

平成 30 年度放射線対策委託費
(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)
放射線安全規制研究推進事業

包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究
成果報告書

平成 31 年 3 月

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

目次

| | | |
|-------|--------------------------------------|----|
| 1 | 研究事業の概要 | |
| 1.1 | 背景と目的 | 1 |
| 1.2 | 研究内容 | 2 |
| 1.3 | 研究計画 | 3 |
| 1.3.1 | 調査研究1：初動対応手順の検討とマニュアル等の作成 | 3 |
| 1.3.2 | 調査研究2：医療機関での受け入れ体制整備 | 3 |
| 1.3.3 | 調査研究3：専門的支援体制等の整備 | 4 |
| 1.3.4 | 検証1：モデル地域での検証 | 4 |
| 1.4 | 実施体制 | 4 |
| 1.5 | 研究のマイルストーン | 8 |
| 2 | 【調査研究1】初動対応手順の検討とマニュアル等の作成 | |
| 2.1 | 本年度の研究計画 | 9 |
| 2.2 | 検討の経緯 | 9 |
| 2.2.1 | 避難退域時検査 | 9 |
| 2.2.2 | CBRNE テロ災害の初動対応の教育 | 9 |
| 2.2.3 | ソフトターゲットを標的として CBRNE テロ災害 | 12 |
| 2.2.4 | 第40回日本中毒学会学術集会 | 13 |
| 2.2.5 | 第24回日本災害医学会総会学術集会 | 13 |
| 2.2.6 | テロ対策特殊装備展'18 | 14 |
| 2.3 | 結果 | 14 |
| 2.3.1 | 避難退域時検査における課題 | 14 |
| 2.3.2 | CBRNE テロ災害での初動対応における課題 | 16 |
| 2.3.3 | ソフトターゲットを標的とした CBRNE テロ災害対応での課題 | 17 |
| 2.4 | 考察 | 18 |
| 2.4.1 | 避難退域時検査の実行性の向上施策 | 18 |
| 2.4.2 | CBRNE テロ災害に関する教育の充実 | 19 |
| 2.4.3 | CBRNE テロ災害の想定と対策 | 20 |
| 2.4.4 | All hazard approach による初動対応手順 | 22 |
| 2.5 | 結論 | 23 |
| | 資料 2-1 2018 年度原子力総合防災訓練 避難退域時検査実動訓練 | 24 |
| | 資料 2-2 2018 年度 CBRNE 災害対処千葉連携研修 机上演習 | 27 |
| | 資料 2-3 2018 年度市川市消防局西消防署 特殊災害研修 | 29 |

| | | |
|--------|-------------------------------|----|
| 資料 2-4 | 国際空港エマルゴトレーニング | 31 |
| 資料 2-5 | CBRN 対処合同訓練 | 33 |
| 資料 2-6 | 大規模集客施設防災訓練 | 39 |
| 3 | 【調査研究 2】医療機関での受け入れ体制整備 | |
| 3.1 | 本年度の研究計画 | 41 |
| 3.2 | 検討の経緯 | 41 |
| 3.3 | 結果 | 42 |
| 3.3.1 | 原子力災害医療に関する研修の体系化 | 42 |
| 3.3.2 | 原子力災害医療に関する研修の高度化 | 46 |
| 3.3.3 | 原子力災害医療に関する研修で使用する標準テキスト作成 | 47 |
| 3.3.4 | 原子力災害医療に関する研修制度と人材の一元管理 | 48 |
| 3.3.5 | 被ばく医療に関わる人材へのインセンティブ | 50 |
| 3.3.6 | 包括的被ばく医療の研修と教材 | 51 |
| 3.3.7 | 被ばく医療の初療のフロー図と診療記録用紙 | 53 |
| 3.4 | 考察 | 56 |
| 3.4.1 | 原子力災害医療の研修に関する課題 | 56 |
| 3.4.2 | 包括的被ばく医療に関する課題 | 56 |
| 3.5 | 結論 | 57 |
| 4 | 【調査研究 3】専門的支援体制の整備 | |
| 4.1 | 本年度の研究計画 | 59 |
| 4.2 | 検討の経緯 | 59 |
| 4.3 | 結果 | 59 |
| 4.3.1 | ネットワーク会議を活用した専門的支援 | 59 |
| 4.3.2 | 検知システム等を活用した専門的支援 | 61 |
| 4.3.3 | 情報共有システムを活用した専門的支援 | 64 |
| 4.3.4 | 災害医療との連携 | 64 |
| 4.4 | 考察 | 65 |
| 4.5 | 結論 | 66 |
| 5 | 【検証 1】モデル地域での検証 | |
| 5.1 | 本年度の研究計画 | 67 |
| 5.2 | 検討の経緯 | 67 |
| 5.2.1 | 初動対応機関の研修 | 67 |
| 5.2.2 | 医療機関の研修 | 67 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.2.3 | 災害医療との連携の研修 | 67 |
| 5.3 | 結果 | 67 |
| 5.3.1 | 初動対応機関の研修 | 67 |
| 5.3.2 | 医療機関の研修 | 68 |
| 5.3.3 | 災害医療との連携の研修 | 68 |
| 5.4 | 考察 | 69 |
| 5.5 | 結論 | 69 |
| | 資料 5-1 原子力災害拠点病院以外の医療機関での被ばく医療研修 | 71 |
| | 資料 5-2 研修用資機材一覧 | 73 |
| 6 | まとめ | 75 |
| | 診療記録用紙 | 77 |
| | 参考資料 原子力災害、放射線事故・テロ・災害時の患者搬送における汚染拡大防止 | 79 |
| | 別添資料 1 | 85 |
| | 別添資料 2 | 257 |
| | 別添資料 3 | 609 |

1. 研究事業の概要

1.1. 背景と目的

原子力災害、放射線テロまたは核攻撃（以下：RN テロ・災害）、放射線障害防止法の対象事業所（以下：RI 事業所）での労災事故など、発生あるいは災害の種類によって区別されることなく、初動対応や緊急被ばく医療は実施される必要がある。しかし、それぞれの発生場所あるいは災害の種類によって、対応する初動機関、医療機関が分かれており、それぞれの体制整備、人材育成が実施されている(図 1-1)。

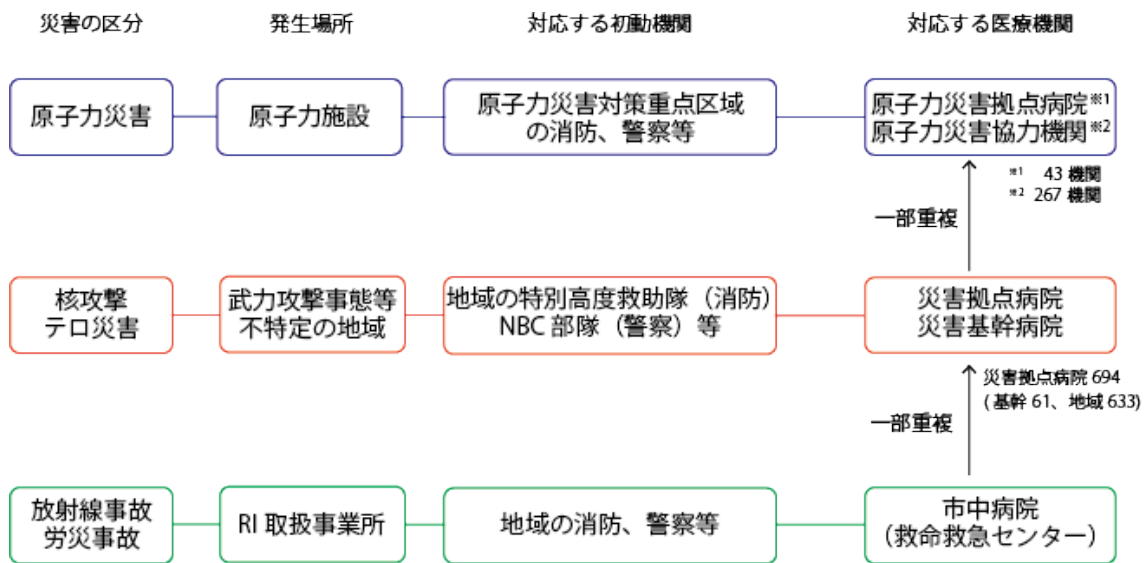


図 1-1 災害の区分と対応機関

原子力災害対策指針は東電福島第一原発事故の経験を踏まえ、被ばく医療等の体制の充実、強化が図られている。しかし、国、支援センター、地方公共団体等が行なっている研修について、研修内容の重複、対象者のミスマッチ等が生じており、研修を整理・体系化し、効率的・効果的な人材育成を行うことが必要であると原子力規制庁により示されている¹。さらに多数の公衆等への迅速な避難と適切な避難退域時検査の両立の困難等も示されており、原子力災害対策指針等に基づく防護措置及び医療対応の実際的な運用に必要な解決策を見出す必要がある。

また、RI 事業所での事故や RN テロ・災害等に対応できる体制については整備が遅れている。RI 利用の拡大、昨今の核セキュリティへの国際的な取り組みを鑑みると、これらの対策は喫緊の課題である。放射線障害防止法の改正により数量の極めて大きい RI の許可届出使用者又は大規模研究用加速器施設の許可使用者を対

¹ 原子力規制庁；平成 30 年度第 3 回原子力規制委員会 資料 1 「原子力災害拠点病院等の施設要件」の見直しの方向性について，平成 30 年 4 月 18 日

象に、危険時の措置の強化として消防、警察、医療等の対応機関との連携が求められている。また、国民保護に関する基本指針では、核攻撃等による医療、防護措置等の必要性が示され、オリパラ・テロ対策推進要綱では、テロ等発生時の救護体制の強化として、多数傷病者の搬送体制の整備等が示されている。

本研究事業では、原子力災害に限らず、RI事業所での事故、RNテロ・災害等に対応可能な被ばく医療体制構築のため、対応機関の初動対応、初療のマニュアル、専門的支援、人材育成について、現行の原子力災害対策指針等の体制等に基づき検証し、対応機関が包括的に被ばく医療を実践できる対処能力の実効性を向上させる方法を明らかにし、原子力災害等における防護措置及び医療対応の実際の運用方法を明らかにする。

1.2. 研究内容

原子力災害対策指針では、原子力災害対策重点区域（24道府県）での被ばく医療体制整備が進められているが、それ以外の地域（23都県）も含め、RI事業所での放射線事故、労災事故など危険時の措置の強化、国民保護に関する基本指針では武力攻撃事態等、緊急対処事態における放射線テロまたは核攻撃等の放射線緊急事態での医療、放射線防護措置等の必要性も示されており、包括的かつ実地的な被ばく医療の体制整備が求められている。

また、多人数を対象とした実地的な放射線防護及び医療対応についての検討、包括的に被ばく医療を提供するためのガイドラインやマニュアル、効果的な現場運用のための研修方法等について、課題の整理、抽出および実施体制の整備等が求められる。さらに、放射線防護、放射線管理、被ばく医療、線量評価等に関して専門的支援体制、情報共有システムの整備が必要である。

このため本研究では、これまで量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所（以下：量研放医研）で実施してきた緊急被ばく医療体制整備、各種セミナー、協力協定病院等を活用し、【調査研究1】初動対応手順の検討とマニュアル等の作成、【調査研究2】医療機関での受け入れ体制整備、【調査研究3】専門的支援体制の整備、【検証1】モデル地域での検証の区分に分けて実施する（図1-2）。さらに本研究では、化学剤、爆発物によるテロ災害等の知見を取り入れ、原子力災害のみでなく、RI事業所や輸送中の事故、核攻撃等も含め、初動対応の手順、医療等を検討する。

最終的な研究成果としては、包括的被ばく医療の体制構築のために、次の項目を目標とする。

- 地域の実情に合わせた研修やマニュアル、ガイドライン等の**最適化**
- 研修内容の**標準化**
- 研修の**体系化、効率化**
- 原子力災害時の医療に関しては、人材育成の**高度化**

- 原子力災害時の医療に携わる人材の一元管理
- 包括的被ばく医療の人材育成
- 専門的支援体制の整備

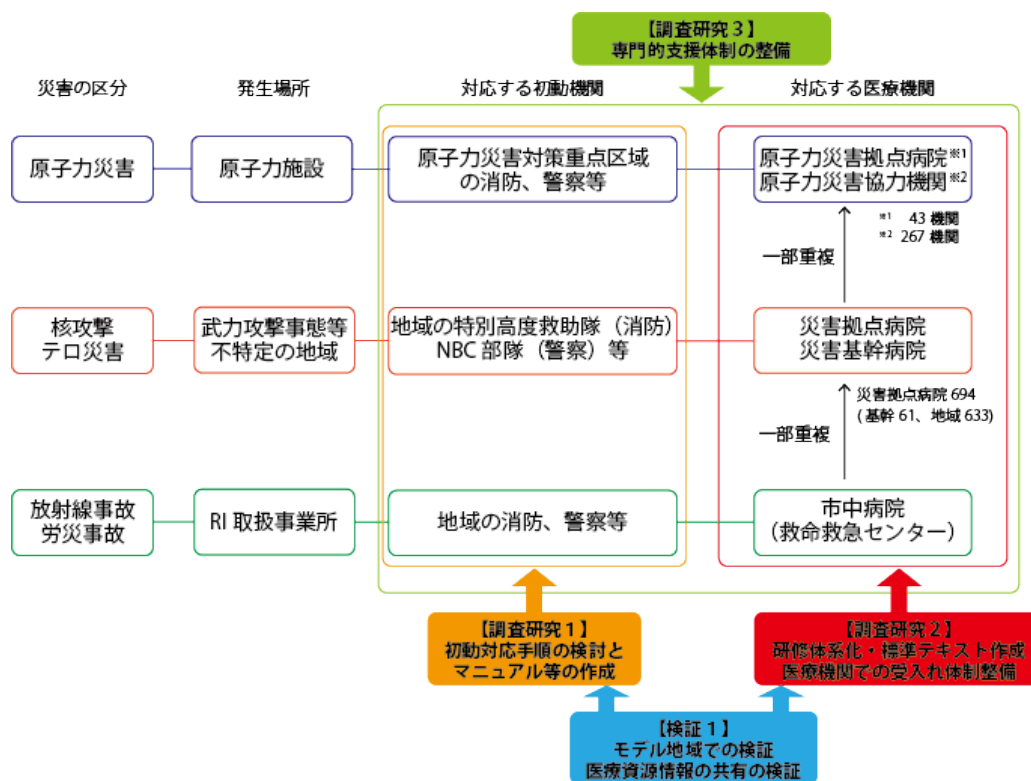


図 1-2 研究の概要

1.3. 研究計画

研究は、平成 30 年度から 3 年間の調査研究を計画している。研究区分ごとの計画を示す。

1.3.1. 調査研究 1：初動対応手順の検討とマニュアル等の作成

迅速、的確な初動対応、関係機関間の連携による実効性向上を目的とする。

H30 年度は原子力災害等の研修、演習あるいは有識者等から初動対応機関、RI 事業所の原子力災害等への対応、多機関連携に関連する情報を収集することにより課題を比較・抽出して整理する。H31 年度は脅威の迅速な検知と All hazard approach も含めた初動対応手順及び多人数のスクリーニング方法等を検討し、マニュアル、教材等を作成、検証する。H32 年度は、マニュアル等を再検証し、各地域の実状に合わせて改善する。

1.3.2. 調査研究 2：医療機関での受け入れ体制整備

全国の医療機関の被ばく医療の診療能力の向上により迅速かつ適切な被ばく医療を提供する手段の開発を目的とする。

H30年度は量研放医研の協力協定病院、有識者等の協力を得て、現場除染なしまたは乾的除染で医療機関が傷病者を受入れるために必要な体制、教育等について課題を抽出する。さらに既存の原子力災害医療の研修の体系を整理し、既存のテキストを改定し、研修による人材育成の実効性を向上する。H31年度は、多人数の被災者への対応を含めた、医療機関での初療マニュアル、教材を作成、効果的研修法を検証する。H32年度は、マニュアル等を再検証し、医療機関の実状に合わせて改善する。

1.3.3. 調査研究3：専門的支援体制等の整備

専門的支援の充実による初動対応、被ばく医療の実効性向上を目的とする。

H30年度は、専門機関、染色体および物理学的線量評価ネットワークを活用した被ばく線量評価、被ばく医療等の専門的支援に必要な項目、課題を整理する。H31年度は、専門的支援について、具体的手順、方法、器材等を検討する。初年度から平行して平常時、災害時に活用できる専門的支援における情報共有システムについて課題等を整理し、システムを設計する。また、既存の広域災害救急医療情報システム(EMIS)や健康危機管理支援ライブラリー(H-CRISIS)との連携についても検討する。

1.3.4. 検証1：モデル地域での検証

H30年度は、原子力災害対策重点区域(24道府県)及びそれ以外の地域(23都県)で研修等を実施するモデル地域を選定する。H31～32年度は、モデル地域で効果的な現場運用のための研修法を検討し、調査研究1～3へ反映する。

1.4. 実施体制

本年度は、調査研究1～3および検証1のそれぞれの担当者を図1-3のように割り振り、本研究を実施した。

研究代表者：富永隆子

量子科学技術研究開発機構

放射線医学総合研究所 被ばく医療センター

表 1-1 研究協力者一覧

| | | | |
|---|-------|------|-------------------|
| 1 | 井瀧千恵子 | 弘前大学 | 大学院保健学研究科看護学領域 |
| 2 | 伊藤勝博 | 弘前大学 | 医学部附属病院高度救命救急センター |
| 3 | 岩熊真司 | 東洋紡 | AC製品事業部特需グループ |

| | | | |
|----|-------|--------------------------------------|--|
| 4 | 宇佐俊郎 | 長崎大学 | 長崎大学病院 国際ヒバクシャ医療センター |
| 5 | 大津留晶 | 福島県立医科大学 | 放射線健康管理学講座 |
| 6 | 奥村徹 | 日本中毒情報センター | |
| 7 | 河本志朗 | 日本大学 | 危機管理学部危機管理学科 |
| 8 | 河野恭彦 | 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 | 核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部環境監視課 |
| 9 | 近藤久禎 | 国立病院機構 災害医療センター 厚生労働省 DMAT 事務局 | 臨床研究部・災害医療部 |
| 10 | 酒井明子 | 福井大学 | 医学部看護学科 |
| 11 | 隅田博臣 | 広島大学 | 広島大学病院診療支援部 |
| 12 | 高田千恵 | 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 | 核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部線量計測課 |
| 13 | 武田聡司 | 国立病院機構東埼玉病院 | 放射線科 |
| 14 | 田崎修 | 長崎大学 | 長崎大学病院救命救急センター |
| 15 | 永岡美佳 | 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 | 核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部環境監視課 |
| 16 | 中川貴博 | 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 | 核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部放射線管理第1課 |
| 17 | 長谷川有史 | 福島県立医科大学 | 放射線災害医療学講座 |
| 18 | 廣橋伸之 | 広島大学 | 原爆放射線医科学研究所 放射線災害医療研究センター 放射線医療開発研究分野 |
| 19 | 細井義夫 | 東北大学 | 大学院医学系研究科 放射線生物学分野 |
| 20 | 安田仲宏 | 福井大学 | 附属国際原子力工学研究所 原子力防災・危機管理部門 |
| 21 | 山口芳裕 | 杏林大学 | 医学部救急医学教室 高度救命救急センター |

| | | | |
|----|-------|---|-----------------------------|
| 22 | 山村仁 | 地方独立行政法人 市立東 大阪医療センター 大阪府立中河内救命救急セ ンター | |
| 23 | 山本荘一郎 | エス・ティ・ジャパン | 危機管理製品部 |
| 24 | 山本尚幸 | 原子力安全研究協会 | 放射線災害医療研究所 |
| 25 | 吉村崇 | 大阪大学 | ラジオアイソトープ総合センター 同位体化学研究室 |

表 1-2 研究参加者一覧

| | | | |
|---|--------|--------------|--|
| 1 | 金ウングジュ | 量子科学技術研究開発機構 | 放射線医学総合研究所 計測・線量評価部 内部被ばく線量評価チーム |
| 2 | 栗原治 | 量子科学技術研究開発機構 | 放射線医学総合研究所 計測・線量評価部 |
| 3 | 小林圭輔 | 量子科学技術研究開発機構 | 放射線医学総合研究所 被ばく医療センター |
| 4 | 相良雅史 | 量子科学技術研究開発機構 | 放射線医学総合研究所 被ばく医療センター |
| 5 | 数藤由美子 | 量子科学技術研究開発機構 | 放射線医学総合研究所 計測・線量評価部 生物線量評価チーム |
| 6 | 高島良生 | 量子科学技術研究開発機構 | 放射線医学総合研究所 計測・線量評価部 生物線量評価チーム |
| 7 | 立崎英夫 | 量子科学技術研究開発機構 | 放射線医学総合研究所 被ばく医療センター |
| 8 | 谷幸太郎 | 量子科学技術研究開発機構 | 放射線医学総合研究所 計測・線量評価部 内部被ばく線量評価チーム |
| 9 | 堤弥生 | 量子科学技術研究開発機構 | 放射線医学総合研究所 被ばく医療センター |

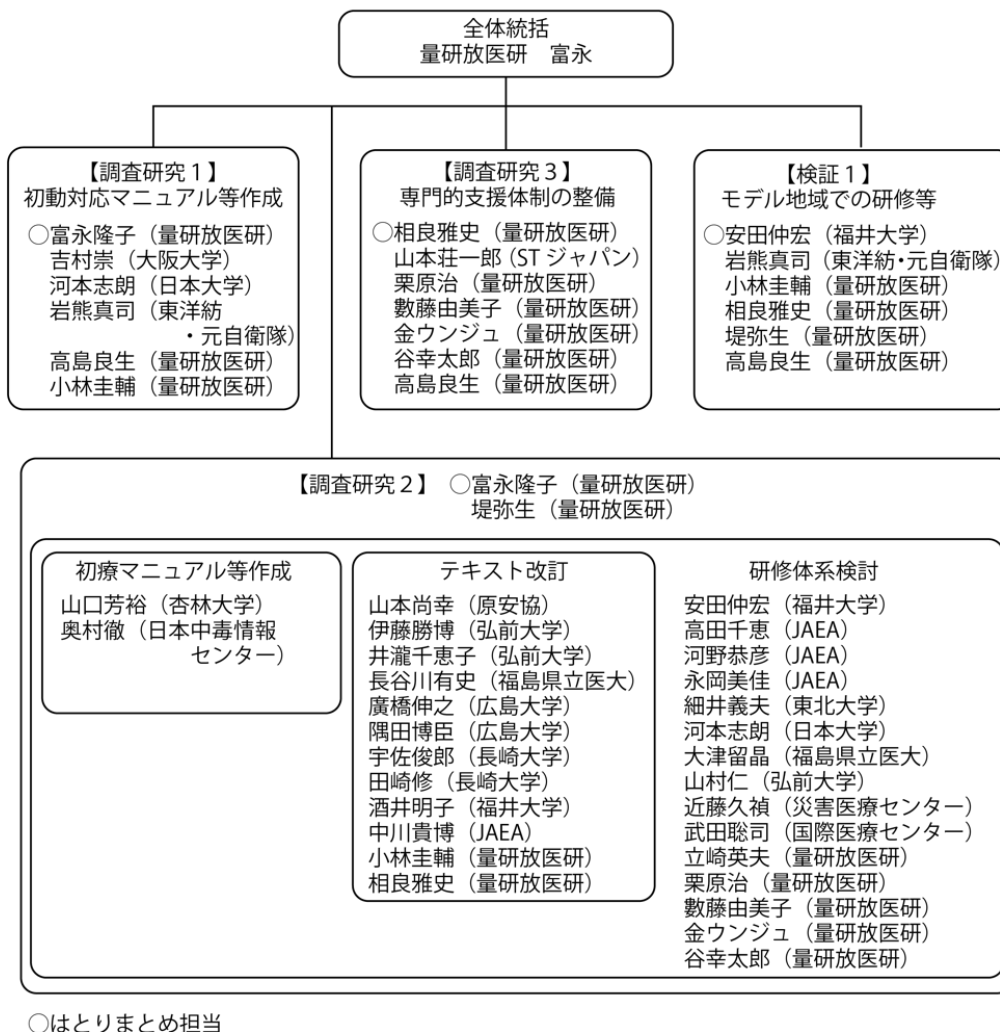


図 1-3 平成 30 年度 (2018 年度) 実施体制

1.5. 研究のマイルストーン

3年間の研究のマイルストーンを図1-4に示す。

| | H30年度 | H31年度 | H32年度 |
|--|---------------------------------------|--|--------------------------------------|
| 【調査研究1】 ・迅速、的確な初動対応、関係機関間の連携による実効性向上 | ▲ ・情報を収集 ・課題の比較・抽出・整理 | ▲ ▲ ・検知と初動対応手順、スクリーニング等の検討 ・マニュアル、教材等の作成 | ▲ ▲ ・マニュアル等を再検証 ・各地域の実状に合わせて改善 |
| 【調査研究2】 ・原子力災害時の医療に関する研修の体系化、標準テキスト作成 ・全国の医療機関の被ばく医療診療能力の向上により迅速・適切な被ばく医療を提供する手段の開発 | ▲ ▲ ▲ ・研修体系化提案 ・標準テキスト作成 | ▲ ▲ ・新研修体系での研修開始（パイロットコース） | ▲ ・マニュアル等を再検証 ・医療機関の実状に合わせて改善 |
| 【調査研究3】 ・専門的支援の充実による初動対応、被ばく医療の実効性向上 | ▲ ▲ ・専門機関、NWを活用した専門的支援に必要な項目、課題の整理 | ▲ ▲ ・専門的支援について、具体的手順、方法、器材等を検討 | ▲ ▲ ・EMIS、H-CRISISとの連携の検討 |
| 【検証1】 ・モデル地域での研修等による検証 | ▲ ・モデル地域の選定 | ▲ ・モデル地域で効果的な現場運用のための研修法を検討 ・調査研究1～3へ反映 | |

有識者等による技術検討会

図1-4 研究のマイルストーン

2. 【調査研究 1】 初動対応手順の検討とマニュアル等の作成

2.1. 本年度の研究計画

消防等の初動対応機関での迅速、的確な初動対応、関係機関間の連携による実効性向上を目的とし、今年度は、原子力災害等の研修、演習あるいは有識者等から初動対応機関、RI 事業所の原子力災害等への対応、多機関連携に関連する情報を収集することにより課題を抽出して整理する。

2.2. 検討の経緯

原子力災害、放射線事故、放射線テロ災害等に関連する訓練、研修、演習、学会等に参加あるいは開催し、情報を収集し、原子力災害等での初動対応、教育に関連する課題を抽出し、整理した。

2.2.1. 避難退域時検査

(1) 原子力総合防災訓練 避難退域時検査実動訓練（資料 2-1）

2018 年度原子力総合防災訓練（2018 年 8 月 26 日）において実施された避難退域時検査実動訓練を視察し、より現実的かつ実行可能な課題解決策について、検討が必要であることを確認した。

さらに避難退域時検査及び簡易除染マニュアル（平成 29 年 1 月 30 日修正）を放射線テロ災害時に活用することの可能性あるいは活用にあたっての課題についても抽出できた。

2.2.2. CBRNE テロ災害の初動対応の教育

座学、実習、机上演習から構成される研修により CBRNE テロ災害での初動対応機関向けの教育に関する課題を抽出した。

(1) CBRNE 災害対処千葉連携研修会（資料 2-2）

CBRNE 災害対処千葉連携研修会は千葉県警察本部、千葉市消防局、量研放医研が中心となって、千葉地域での CBRNE テロ災害対処の能力向上のために 2014 年度から開催している研修会である。毎年、CBRNE テロ災害対処に関係する講義や資器材の取り扱い実習、机上演習、実動演習を実施している。本年度は、ダーティボムを想定した対応に必要な研修項目を検討し、ターニケット（止血帯）の使用に関する講演と実習を 2 回、オリンピック・パラリンピックの競技会場となる幕張メッセでのダーティボムによるテロ災害を想定した机上演習を 2 回、「放射線テロ災害での放射線防護と初動対応」の講義を 1 回開催し、参加者から千葉における CBRNE テロ災害対処について、研修等の要望などを聞き取るとともに、机上演習では、初動対応の課題を抽出した（表 2-1）。

表 2-1 2018 年度 CBRNE 災害対処千葉連携研修会

| | 研修項目 | 日時 | 内容等 |
|---|-----------------------|------------|----------------------------|
| 1 | 机上演習 | 2018.7.11 | イベントの競技会場での ダーティボムのテロ災害を想定 |
| 2 | ターニケット研修会 | 2018.8.27 | ターニケット（止血帯）の使用方法について講義と実習 |
| 3 | ターニケット研修会 | 2018.8.28 | ターニケット（止血帯）の使用方法について講義と実習 |
| 4 | 「放射線テロ災害での放射線防護と初動対応」 | 2018.9.26 | 講義 |
| 5 | 机上演習 | 2018.11.28 | イベントの競技会場での ダーティボムのテロ災害を想定 |

(2) 市川市消防局西消防署特殊災害研修（資料 2-3）

市川市消防局西消防署の機動化学隊、指揮隊、ポンプ隊、救急隊の職員に対する研修の依頼があり、現有部隊、現有資器材での CBRNE テロ災害対応の能力を目的として、化学テロ災害、放射線テロ災害の初動対応のための基礎知識の講義、各種検知器等の資器材を使用した実習、CBRNE テロ災害を想定した机上演習からなる合計 6 回の研修会を実施した（表 2-2）。この研修により、総務省消防庁が各地域の消防本部等に貸与している機材を使用した研修方法、教材について検討でき、保有する資器材が少ない状況での初動対応で安全と危険の判断、早期の救助を実現するにあたっての課題、CBRNE の脅威が複合した場合の初動対応等について、総務省消防庁のマニュアル¹⁾には詳細が記載されていない課題について検討できた。

● 化学テロ災害の講義、実習

化学テロ災害の基礎知識の講義の後に、簡単な状況を付与し、考えられる化学剤の可能性をグループで検討したことは、化学剤と症状を整理することに効果的であったと思われる。また、検知紙の実習では擬剤を使用しているため、実際の色調を確認できたことは、経験として有意義であったと思われる。

● 放射線テロ災害の講義、実習

放射線テロ災害の基礎知識の講義の後に、実習を行なっているが、実習で使用した放射線測定器は、総務省消防庁から各消防局、消防本部に貸与されているものと同じ機材を使用した。さらに表示付認証機器とパウチしたマントルを使用して実際に放射線を測定する実習を行なった。このため、警報値の設定など具体的で、詳細な使用方法について習得でき、実際の放射線の測定について、機器の応答速度や感度、特性を実体験できたことは有意義であったと思われる。

● 机上演習

6～7名を1グループとして、入電から出発までと現着から事態收拾までに区分し、与えられた情報を基に状況判断と対応要領を討議し討議結果を発表する実施要領は、全員が参画し真剣に考え意見を交える場を提供できたと考える。

爆発物の爆破に伴う放射性物質及び催涙物質の散布を状況として付与した事は、爆破テロ発生時にあらゆる可能性を予期して対応する原則を印象付けるための効果があった。また、原因物質として、放射性物は医療用ヨウ素、化学物質は一般に入手容易な熊スプレーとした事は、実際に発生する可能性が十分にある印象を与え、CBRNE対応の意識向上につながったものとする。

表 2-2 特殊災害研修の概要

| 日時 | 時間 | 方式 | 内容 |
|------------------|---------------|----|---|
| 第1回 2019.1.30 | 9:05 - 10:30 | 講義 | 1 有毒化学剤の基礎 2 Cテロ災害対応 |
| 第2回 2019.1.31 | 10:40 - 11:20 | 討議 | 症状による初期判断 ・各種有毒化学剤の症状と対応の基本 |
| 「化学テロ災害」 | 11:20 - 12:00 | 実習 | 検知紙の取り扱い ・検知紙の変色と判断 ・被服等に付着した液滴の検知要領 |
| 第3回 2019.2.19 | 9:05 - 10:00 | 講義 | 「放射線テロ災害対応の基本」 ・放射線の基礎 ・放射線防護 |
| 第4回 2019.2.20 | | | ・放射線テロ災害の種類 ・放射線テロ災害の初動対応 |
| 「放射線テロ災害」 | 10:00 - 10:10 | 準備 | 実習準備 |
| | 10:10 - 11:50 | 実習 | 1. 個人防護装備着用 2. 空間線量率測定 3. ゾーニング 4. 汚染検査 5. 脱衣 |
| 第5回 2019.3.5 | 9:05 - 9:10 | 説明 | 机上演習のルールについて |
| 第6回 2019.3.6 | 9:10 - 9:50 | 討議 | 討議1 情報シート1を配布 |
| 「机上演習」 | 9:50 - 10:20 | 発表 | 各班の討議内容の発表 (発表後10分休憩) |
| | 10:30 - 11:20 | 討議 | 討議2 |

| | | | |
|--|---------------|----|------------|
| | | | 情報シート2を配布 |
| | 11:20 - 11:50 | 発表 | 各班の討議内容の発表 |
| | 11:50 - 12:00 | 説明 | 想定 of 解説 |

2.2.3. ソフトターゲットを標的とした CBRNE テロ災害

大規模集客施設でのソフトターゲットを標的とした CBRNE テロ災害を想定した訓練（表 2-3）の視察、評価により、初動対応での課題を抽出し、整理した。

表 2-3 ソフトターゲットを標的とした訓練等の視察、評価

| | 訓練、研修 | 日時 | 内容等 |
|---|---|--------------|----------------------|
| 1 | 国際空港エマルゴトレーニング | 2018.7.12 | CBRNE テロ災害を想定した演習の視察 |
| 2 | CBRN 対処合同訓練 | 2018.8.2 - 3 | |
| 3 | 国際空港エマルゴトレーニング | 2018.12.20 | CBRNE テロ災害を想定した演習の視察 |
| 4 | 大規模集客施設防災訓練 | 2019.1.24 | 防災訓練の視察 |
| 5 | 平成 30 年度多数傷病者発生時における方面救助救急訓練（日本武道館テロ災害対応訓練） | 2019.2.7 | テロ災害対応訓練の視察 |

(1) 国際空港エマルゴトレーニング（資料 2-4）

エマルゴトレーニングシステム®とは、スウェーデンのリンショーピング大学病院に隣接された Centre for Teaching and Research in Disaster Medicine & Traumatology（災害医療・外傷学教育研究センター）にて 20 年以上前から地域とともに開発されてきた救急・災害医療の机上シミュレーションによる研修法である。災害を想定し、医療従事者及び被災者に見立てたマグネット人形を使用し、これらを白板上で災害現場や病院などに移動する。これらは設定された病床数・増床数職員数・限られた資源を用い、訓練上の時間経過に沿って行われ、評価は、設定された対応法の妥当性及び避けられた合併症、避けられた死の有無の検討で行われる。様々な職種の方が参加することが有用であり、行政職員、自衛隊警察、消防、病院関係者などがトレーニングに参加することにより実災害に近い訓練となる。

国際空港では、エマルゴトレーニングシステムによる航空機災害の研修を実施してきたが、今年度より CBRNE テロ災害（爆発テロ）を想定した研修を実施している（表 2-3）。大規模集客施設での CBRNE テロ災害への事業者を含めた対応について、視察することで、訓練シナリオの作成、初動対応などの課題を抽出した。

(2) CBRN 対処合同訓練 (資料 2-5)

来年度のラグビーワールドカップ開催を控え、CBRN テロ対策に関心が高まっている事を受け、警察、消防、自衛隊の合同訓練が各組織の持ち回りで担当となり実施されており、今回は 3 回目であった。屋内施設にサリンを散布され、約 40 名の傷病者の発生した状況を想定し、初日に机上演習、2 日目に実動訓練を実施し、各機関間の情報共有・連携要領について訓練されていた。化学テロ災害での初動対応について、防護装備や検知活動と救助の連携、関係機関の連携について得られた知見により、All hazard approach の観点から関係機関連携を含めた初動対応手順等の検討に必要な項目の整理ができた。

(3) 大規模集客施設防災訓練 (資料 2-6)

千葉県内に所在する大規模集客施設の地震と津波を想定した防災訓練を視察し、ソフトターゲットを標的にした CBRNE テロ災害の想定や発生時の対応について、課題を整理し、解決策等を検討した。

(4) 多数傷病者発生時における方面救助救急訓練 (日本武道館テロ災害対応訓練)

東京消防庁第一方面本部及び麴町消防署が中心となって開催された 2020 オリンピック・パラリンピックの競技会場である日本武道館における爆発テロによる多数傷病者発生時の訓練に評価者として参加し、大規模イベントにおける現場対応、早期病院搬送のための現場トリアージといった課題等の情報を得た。この訓練の想定は、国際的大規模イベントの開催場所であり、テロ対応の準備が整っている状況での爆発物テロが発生し、対処についての検証を行っていることから、不測の事態が発生しても迅速に対応できる状況での CBRNE テロ災害対処について検証できた。本訓練には、千代田区の行政職員やオリンピック組織委員会等も参加しており、関係機関間の連携の調整の難しさの知見も得られた。

2.2.4. 第 40 回日本中毒学会学術集会 (2018.7.20 - 21)

日本中毒学会における CBRN テロへの最新の取り組み状況 (「CBRN 脅威と対応に関するセミナー」「Tokyo2020 コンソーシアムと中毒学会の取り組み」「安全な社会を守るために海外から学ぶ」「毒ガス講談 化学テロから身を守るには」) について情報収集し、All hazard approach の観点から関係機関連携を含めた初動対応手順等の検討に必要な項目の整理のための知見を得た。

2.2.5. 第 24 回日本災害医学会総会 学術集会 (2019.3.18 - 20)

CBRNE テロ災害、大量殺傷型テロ対応における初動対応での新たな対応方針の提言や医療機関との連携、医療機関での対応について、現状の報告や様々な提言がなさ

れた。また、原子力災害、被ばく医療の教育についても地域の医療機関での研修や現状について報告があった。CBRNE テロ災害、大量殺傷型テロ等への初動対応、原子力災害時の医療の教育、災害医療と被ばく医療との連携について、最新の知見、関係者の意見が得られた。

2.2.6. テロ対策特殊装備展'18 (2018.10.10 - 12)

テロ対策特殊装備展で、検知機材、検知システム等の最新の機材について情報収集するとともに、CBRNE クラウドシステムについて、テロ災害での活用について研究協力者と検討した。

2.3. 結果

2.3.1. 避難退域時検査における課題

避難退域時検査の実動訓練での実施地域の実状と抱える課題の中で、どの地域でも共有できる課題と解決策を整理した。

①車両汚染検査と再検査

ゲートモニターによる車両側面の汚染検査と、GM サーベイメーターでのワイパー部分の汚染検査で、OIL 4 以上の表面汚染があれば再汚染検査を実施しているが、マニュアルでは、再汚染検査の項目はなく、不要である。人材確保が困難となる災害時には、省略すべきポイントであると思われる。今回の訓練会場のレイアウトでは、図 2-1 に示す通り、汚染検査後に汚染がある車両と汚染がない車両の動線が交差していた。

②通過証配布

この避難退域時検査は、OIL に基づく避難等の指示を受けた住民等が対象となるため、放射性物質が放出される前に避難した住民等は対象とならない。このため、後日、避難所や仮設住宅等への入所等に通過証が求められるような事態になった場合は、混乱が生じる可能性がある。また、このような場合に通過証の提示を求めないように行政が要請するのであれば、そもそも通過証の発行は不要と思われる。

車両への配布となっているが、汚染があったのか、除染できたのか、などその後の公衆の線量評価に必要な情報の登録等は実施されていない。通過証を発行する場合、公衆の線量評価にも使用できるような情報の管理（通過時刻等の情報の保管）体制も今後の課題となる。

③車両の除染

マニュアルでは、ウェス等での拭き取りによる簡易除染が原則との記載がある。除染テント、除染用の水の準備、水の回収、除染のための人員配置などの労力を考慮すると、拭き取り除染を優先して実施するのが良いと思われる。また、簡易

除染後の再検査は、除染エリアで実施した方が、除染が不完全であり OIL4 以下となっていない場合、すぐに再度の拭き取り除染が可能である。

今回の水を吹きかける程度では、量研放医研等における東電福島原発事故での車両汚染とその除染の経験からは、除染はできないと思われる。本格的に流水による除染をするのであれば、より大量の水、ブラシ等の使用が必要である。

④住民の汚染検査

住民の汚染検査は、車両の汚染があった場合のみに実施されるが、今後、甲状腺簡易検査による内部被ばくの評価等の公衆の線量評価の手順が確立された場合は、汚染状況を確認するのみではなく、内部被ばくの評価のための検査との組合せの方法を検討する必要があると思われる。

原子力災害時に避難指示が出る状況では、迅速に避難させることが優先されるべきである。そのため、住民の汚染検査を全員に実施することが迅速な避難の妨げになるということを考慮して、30km 圏の外に一時的に避難者が待機できる場所を確保し、そこでの避難退域時検査と避難が両立する方法等を検討することも解決策の一つとなり得る。避難後の汚染検査やゲートモニターの使用あるいは指定箇所検査といった短時間で多人数の汚染検査が実施できる体制を構築することが課題となるが、現状として、公園や運動場などの広いエリアが避難退域時検査場所の候補地になっていることも多く、一時的に待機できる場所が選定されていないこともあり、この場所の確保が課題でもある。

⑤住民の汚染検査に関する動線

車両の除染後に住民の汚染検査の区域まで徒歩で移動後、同じルートで車両に戻っている。今回は、住民の汚染の想定はなかったが、実際に汚染がある場合、靴底の汚染が最も考えられるため、汚染拡大防止の観点からは、汚染した靴で歩行したルートとは別のルートを除染後に歩く方が良いと思われる。

⑥避難退域時検査の会場設営、人員配置

車両の除染テントは関西電力、千代田テクノルによる設営、人の除染テントは福井県から委託された業者が設営することになっているとのことであるが、訓練前にテントやゲートモニターの設置がなされており、実際に災害時にどれだけの時間が必要であるのか検証が必要と思われる。

⑦対応者の防護服

汚染検査や誘導係は、タイベックスーツの着用の必要性は低いため、ディスポ白衣、ゴム手袋、綿手袋の着用での対応も考慮できる。

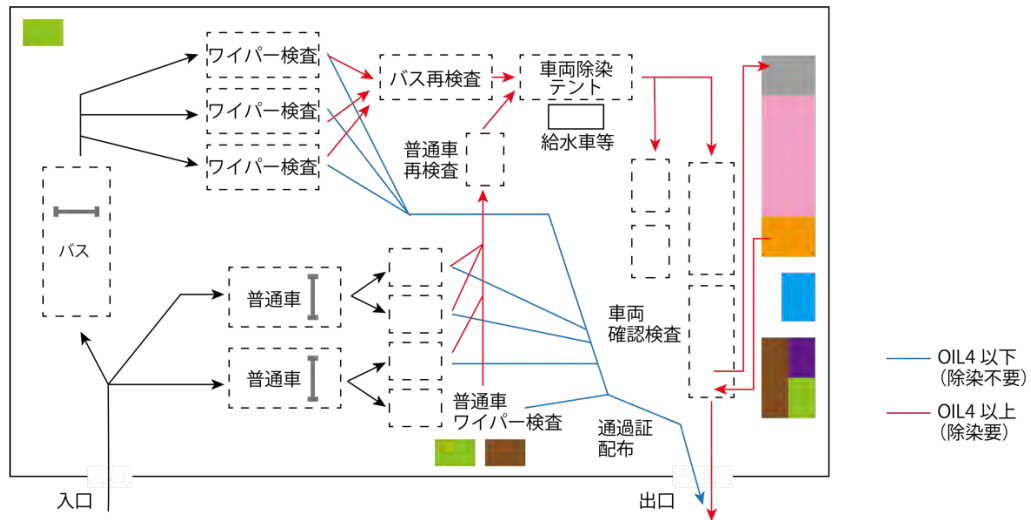


図 2-1 車両の動線

2.3.2. CBRNE テロ災害での初動対応における課題

研修や訓練への参加で抽出した課題は次のとおりである。

- 爆発事案の発生時に、NBC 出動となるか、明確な指針が示されていない。
- 多数傷病者発生時に、初動で NBC 対応が開始されない場合、放射線の検知活動が開始されず、放射線テロ災害の認知が遅れ、汚染拡大が懸念される。
- 爆発物の事案であれば、安全確保のため、消防のマニュアルでは集結場所は現場から 300~400m 離れた場所に位置することになっている。要救助者に接触するまでに時間がかかり、爆傷の処置、医療介入が遅れ、救命できない。
- 初動機関の既存の個人線量計は、警備担当の警察職員等には、配備されておらず、活動する職員全員の装着はできない。また、放射線測定器も数量が少なく（消防、警察の各組織で数個程度）、数百人の被災者の汚染検査を短時間で実施するには不十分であった。
- 訓練参加者の CBRNE 対応に関する知識の差がある。爆発テロの想定で、事業者、医療機関は、CBRNE テロ災害時の安全確保の手段、必要性、現有の資器材、体制についての検討がなされなかった一方で、警察、消防は、CBRNE テロ災害を疑い、初動を検討していた。各組織の活動内容や活動方針について、相互理解の機会が必要である。
- 有毒化学剤（放射性物質や生物剤も同様）の特性に関する普及教育が必要である。特に有毒化学剤では、最初に到着できる消防の迅速な対応で、防ぎ得た死をなくすることができるかが左右される。有毒化学剤を正しく認識し恐れず侮らず適切かつ迅速な対応が不可欠である。

2.3.3. ソフトターゲットを標的とした CBRNE テロ災害対応での課題

CBRNE テロ災害対応での課題は次のとおりである。

- 各組織の CBRNE テロ災害対応のマニュアル、活動方針の相互理解が不足している。特に、爆発事案であり、他の不審物の爆発の危険性がある中での活動を検討する必要がある場合に、消防や医療機関は独自に安全を判断できないが、警察が安全を保証することはできないことが、相互理解されておらず、安全に関する必要な情報共有、活動方針の調整が円滑でなかった。安全に関する情報と危険に関する情報を整理して、関係機関の活動を調整するための指針等が必要である。
- 初動の時点では、化学剤、放射線、放射性物質、生物剤の脅威に関する情報がない場合に、初動の活動方針について、明確なガイドライン等がなく、初動対応機関の集結場所、装備等について整理されていない。All hazard approach での手順の検討が必要である。
- 爆発による多数傷病者の災害という情報では、多数傷病者対応で活動が開始され、CBRNE テロ災害対応がなされず、検知活動や防護装備による安全確保の対策が実施されない可能性もある。多数傷病者対応と CBRNE テロ災害対応の相違を明確にし、現状の多数傷病者対応に何を追加するのか、あるいは多数傷病者対応で CBRNE テロ災害に対応した場合の問題など課題を抽出し、整理する必要がある。
- 放射線検知に関して、具体的にかかる時間、手順などが検討されていない。放射線テロ災害時のモニタリング体制、汚染検査や除染の体制、手法について検討が必要である。
- 原因物質が判明していない状況で、消防機関は陽圧式化学防護服のレベル A 装備を選択することがほとんどである。これは消防庁のマニュアルに示されている装備の選定基準であるため、変更することは容易ではない。しかし、レベル A 装備でも 40 分間の活動と、かなりの重労働が可能（気温約 40°Cであったにもかかわらず）であることも確認した。1 回の任務に限界がある（時間的、生理的負荷）ので、ボンベの交換と人員の交代が順調にできれば、レベル A 装備での活動も、現着後、検知活動などせず徹底的にまずはショートピックアップで要救助者を危険区域から救助する運用は、非常に有効であると思料する。
- 放射線テロ災害時の専門機関による支援体制の検討が必要である。
- 保有する放射線、化学剤の検知器が少ないため、要救助者の汚染確認に検知器が使用できないなど、活動や対応に制限がある。
- 発災現場における安全性の確認において化学剤検知器を用いていたが、一度化学剤を吸入し警報を発すると清浄空気を通さなければ警報が出っ放しになるため、復帰用の活性炭布製のページ袋の必要性とその運用要領の検討が必要である。

2.4. 考察

避難退域時検査、CBRNE テロ災害に関する教育や初動対応手順について、それぞれの課題の解決策について考察した。

2.4.1. 避難退域時検査の実行性の向上施策

「原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル」（原子力規制庁放射線防護企画課 平成 29 年 1 月 30 日修正）では、OIL による避難する住民等の汚染状況の確認が目的であるが、車両の汚染検査で OIL4 以上でない場合は、乗員（住民）の汚染検査を実施しないため、住民等の汚染状況の把握ができない。避難の受入の地方公共団体の不安解消をも目的として汚染状況の把握をするには、全員の汚染検査をすることを追求することになるが、迅速な避難とバランスをとる検討が必要となる。一方で、住民としても自身の汚染状況を把握したいという要望があれば、それに応える対応体制も求められる。実際に、避難退域時検査の対象を原則として車両ではなく「人」とする¹ことや、原則、全住民の検査を実施することを計画²している地域もある。さらに、避難退域時検査の効率化のためには、短時間で指定箇所検査ができる方法として、車両に乗車したままの指定箇所検査の方法や人のゲートモニター等の装置、公衆の線量評価のための行動調査、検査結果を後からでも参照できる避難退域時検査情報のシステム等の検討も考慮していく必要がある。この点は、引き続き検討していく予定である。

また、迅速な避難を優先とするのであれば、原子力災害対策重点区域の境界周辺から避難所までの間で実施することになっているため、避難退域時検査を避難所の近傍で実施し、すぐに避難所に移動できるように検討が必要である。

さらに汚染がある車両・乗員（住民等）と汚染がない車両・乗員（住民等）の動線が可能な限り交差しないようにすること、汚染区域と非汚染区域を視覚的にも明瞭に区分し、明示することも必要である。車両および住民の動線、各エリアについて、汚染の可能性があるエリアと汚染のないエリアが混在しないようにした配置図の案を図 2-2 に示す。前述の車両の動線と住民等の動線、エリアの配置案を示しているが、各地域で実施する避難退域時検査の場所や広さ、動員できる人材や機材の人数等、それぞれの実状に応じた対応が必要である。本報告書で示した案は、訓練視察した研究協力者等で考察し、検討した結果であり、放射線テロ災害等での汚染検査の実施にも参考になるものと思われる。

今回は、車両も人も除染テントが準備されていたが、ふき取りによる簡易除染を実施するのであれば、テントは不要である。テント設営の時間と人員を削減することが

¹ 新潟県スクリーニング・簡易除染マニュアル（Ver.1.1 平成 31 年 3 月）

² 内閣府 大飯地域の緊急時対応

(https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/pdf/02_fukui_0303l.pdf)

可能となり、車両の水除染による水の回収等も不要となる。

放射線テロ災害でも、発生場所によっては、被災者だけでなく自家用車等の汚染検査を考慮しなくてはならない可能性もある。多くの国民保護に関する実動訓練や CBRNE テロ対応の訓練においても車両の汚染検査を取り入れているものは見られない。そのため、車両の動線や汚染検査の指針等として活用できるマニュアルの作成も必要であると思われる。

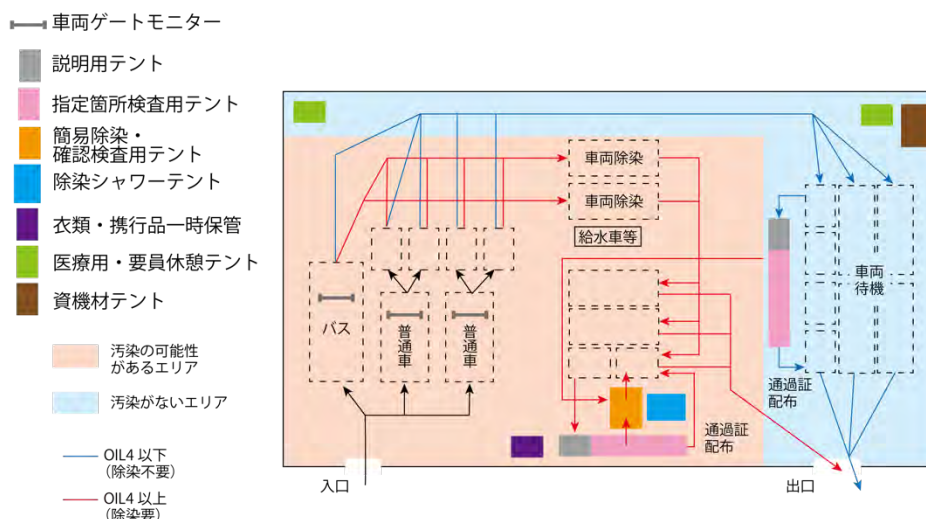


図 2-2 レイアウト案

- (ア)バスのワイパーの部分の汚染検査は、車両ゲートモニターの検査場
所で実施する。ゲートモニターは低速 (5km/h) での走行より停止
した方が感度が良いため、一旦停止してワイパーの汚染検査を実施
することは問題ない。
- (イ)汚染した車両の乗員 (住民) と汚染のない車両の乗員 (住民) の汚
染検査の場所は別にする。可能な限り汚染拡大防止となるように配
置する。

2.4.2. CBRNE テロ災害に関する教育の充実

原子力防災には関連がない機関が CBRNE テロ災害対応をする場合は、被ばく医療、原子力災害時の対応の基礎知識を放射線テロ災害対応に応用するという事は期待できないことから、放射線テロ災害に関連する教育、訓練の機会を別途提供し、原子力災害以外でも全ての医療機関、初動対応機関が、最低限の対応ができるようにすべきである。さらに医療機関や初動対応機関が保有する放射線測定器、放射線防護に関連する資器材の種類、保有数等を整理し、現状での効率的な使用方法、配置等を検討し、効率的かつ効果的な資器材の使用法について教育、研修が必要である。

CBRNE テロ災害対応では、防護装備や検知活動、ゾーニングなど過剰に安全対策

を講じる傾向があると思われる。このために要救助者の救助開始までに時間がかかり、救命率低下の原因になると考えられる。これは、CBRNE テロ災害に関して、化学剤、放射線、放射性物質、生物剤の危険性や影響については、教育がなされるが、濃度や密度などの原因物質の存在する量によるリスクの評価とその判断方法、要救助者対応での許容できるリスクの程度について、具体的に教育されていないことが、実際の対応での過剰な安全対策となってしまう原因の一つと考えられる。安全と危険、リスク、防護対策の効果、および相互の関係性と判断方法について、教育方法を検討する必要がある。

化学テロ災害と放射線テロ災害の基礎知識の講義と、消防署の現有資器材を使用した実習により、実際の活動における知識と検知や救助技術の向上が図られたと推測する。このような研修は、消防局、消防本部の資器材がある程度同じである場合は、他の消防本部でも同様に実施することが可能であり、標準的な研修としての展開も可能だと思われる。しかし、研修の指導者は、それぞれの資器材の取り扱いに精通している必要があり、講師の確保は容易でない可能性がある。

2.4.3. CBRNE テロ災害の想定と対策

- 地震等自然災害の被害状況との相違

地震の被害は、施設全体に被害が発生し、負傷者が広範囲に存在すると想定されるため、少数の看護師等を有効活用するには、負傷者を仮説救護所に搬送し、集中的に管理することが望ましいと思われるが、CBRNE テロ災害では、被害は局所に限局（複数箇所の同時多発でもそれぞれの発災場所は限局している）していること、化学剤や放射性物質が付着した可能性のある被災者とこれらの付着の危険がない発災場所から離れた場所にいた来客者が混在しないように避難誘導する必要があること、二次被害の防止のために化学剤や放射性物質が付着した可能性のある被災者を広範囲に移動させない方がよいことを考えると、発災場所の近くに救助者や救護所を展開し、応急救護や除染すべきである。危険物質の流動拡散からの回避を考慮した避難誘導要領の検討も必要である。

また、化学剤や放射性物質の関与は、発災直後に事業所側で検知するのは、検知器材を保有していないとできないため、CBRNE テロ災害が疑われる場合は、救助者は直ちにマスクやゴム手袋の装着ができるように準備しておくことも必要であると思われる。これらの簡易的な防護装備により、救助者の化学剤や放射性物質の吸入による二次被害を防ぐことも可能であると思われる。

- 爆発物テロ

もっとも被害が多くなると想定されるのは、パレードやショーなどで観客が集中している場所での爆発物テロ、放射性物質を混合した Dirty bomb（汚い爆弾）によるテロの発生がある。この場合、避難経路が1か所に集中する、避難経路に観客が座して

いる場合などは、円滑な避難の妨げとなることが予想され、避難時の混雑による転倒や将棋倒しの二次被害の危険もある。

爆発物テロの場合、爆傷による四肢損傷で動脈性出血がある場合は、数分以内の止血が救命率向上のためには不可欠であり、このため、AED の設置場所（施設内のどこにでも 5 分以内に到着できる場所に設置されている。）等に止血帯（ターニケット）を準備しておくことも対策の一つと考えられる。

また、発災場所を迂回し、混雑箇所や通路の狭い場所を回避した避難誘導についても検討が必要だと思われる。

● 化学テロ

大勢が集まり、特に小児や幼児の利用の多い、広い空間のある屋内施設で化学剤が散布された場合には、被害の範囲は限定的であっても重症者が多く発生すると予想される。このため、屋内からの迅速な救助と避難経路の明確な指示、屋内の排気を考慮して対応すべきである。排気口の位置によっては二次被害が考えられるため、確認しておくべきである。また、排気システムにガス吸収剤(活性炭)の設置も一案である。

発災当初、化学テロと認識することは非常に困難であり、迅速適切な初期対応がなされない場合、傷病者の拡大・重篤化、二次被害の発生等、被害が拡大することが予測される。このため、職員の教育と訓練、マニュアルの整備が必要である。また、現場救護と並行して除染の所要が発生するが、救命のためには現場職員による迅速な処置が有効であり、職員用の呼吸保護等の防護装備、化学剤による汚染の有無を確認する検知紙、脱衣除染後の毛布等の準備、ふき取り除染用のウェット又はドライシート等の準備も必要である。

● 放射線テロ

人が滞留する場所に放射線源を放置し、外部被ばくの被害が出る場合、線源の発見は非常に難しいと予想される。何らかの状況で線源が発見された場合は、線源の情報により、周辺に滞在した被害者の線量を想定する必要があるが、被害者を特定するのは困難である。事業者と行政が協力して状況、健康影響等について広報する必要があると思われる。また、爆発を伴わない放射性物質の散布でも同様であると考えられる。

放射性物質が散布されても身体的な影響や症状はすぐには出現しないため、放射性物質の散布や汚染を覚知するのは困難であるが、例えば目に見える形で不審な状況で散布されるなど、放射性物質の関与も疑い、検知を行い、放射性物質の付着が発見された場合は、除染の方法を計画しておく必要がある。外套等の脱衣、皮膚や頭髮の拭き取りの実施場所を確保する、脱衣後の衣服の持ち帰り、洗濯方法の広報などは、行政との調整が必要である。

● 原因物質の検知

放射性物質、化学剤の関与がある場合は、検知による原因物質の危険性の把握、原因物質の特定が最終的には必要であるが、まずは放射性物質あるいは化学剤の存在を

認識することが優先である。放射線、化学剤の検知器は公設消防署が保有していると思われるが、通報から検知開始までは時間がかかることが予想される。そのため、物質の特定よりも存在を大まかに把握、検知できる簡易的な検知器等を事業者としても保有しておくことも来客者の安全に寄与すると考えられるが、実効性向上には、検知開始のタイミングや状況、異変や被災者の様態等からの判断要領、検知方法などは簡易的なガイドライン等が必要である。

2.4.4. All hazard approach による初動対応手順

大規模集客施設での爆発事案では、多数傷病者対応と同時に CBRNE を考慮した対応を開始するように初動の手順を明確にすべきであるが、CBRNE テロ災害対応が開始されると、必要以上に原因物質に対する警戒心が先行し、重症の要救助者を救助し、医療が介入するまでに時間がかかり、救命率が著しく低下することも懸念される。

一般的には、爆発事案で多数傷病者発生 of 通報であれば、通常の火災対応を専門とする隊が一番先に到着することとなる。これらの部隊は、NBC 対応装備は限定的であり、関連する識能も残念ながら十分とは言えない。この制約の中で、消防隊員の安全の確保と迅速な対応による救命率の向上を実現しなければならない。そこで、下記の対応を提案する。

- ① 初動対応者全員にアラーム付きのデジタル式個人線量計（線量率も測れるタイプ）を装備し、先着隊には必ず保有させる。
- ② 防護装備は通常火災対応の空気呼吸器と防火服とし、気道の防護と不審液体の皮膚への直接接触を避けることを徹底する。
- ③ 現場に急行して要救助者と接触し、要救助者の症状や臭気など現場の状況から NBC の存在を判断し、努めて迅速に要救助者を危険地域から搬出する。
- ④ 不審な液体等が被災者に付着していることを確認した場合は、脱衣、ふき取りによる除染を実施した後、医療機関へ搬送する。（この際、安価な検知紙を全消防隊員が保有していることが望ましい）
- ⑤ 原因物質の特定のための検知は実施せず、汚染地域と予測される場所（被害者の症状・場所で判断）での活動は努めて短時間にして離脱し、消防服も脱衣しビニール袋等に入れて現場に残置し安全距離を確保して危険が予測される地域（風向・施設形状で判断）を封鎖する。
- ⑥ 検知器を保有する警察・消防の NBC 専門部隊の到着を待ち、汚染物質、汚染地域の処置を任せる。
- ⑦ 発災現場で生存している多量の被災者に対しては、活性炭入りの簡易マスク等を配布装着させ、落ち着いて避難誘導することも必要である。
- ⑧ 汚染された地域の確認、除染の要否等、液状の有毒化学剤の存在を軽易に判断できる装備として、検知紙の普及が有効である。

2.5. 結論

訓練の視察により避難退域時検査及び簡易除染マニュアルの実効性のある運用について検討した。このマニュアルを原子力災害でより実効性のある対応とするための方法を今後提案する。また、このマニュアルを放射線テロ災害時に活用するための応用方法についても、今後検討が必要である。

CBRNE テロ災害の対応としては、原因物質や脅威が特定された後のマニュアルや活動要領、対応手順は示されており、それぞれの消防組織でも研修や訓練が実施されている。しかし、CBRNE テロ災害発生時に、原因物質が判明しない初動対応では、All hazard approach も含めた対応手順が必要であり、そのガイドラインや教材作成のために必要な情報をこの一連の研修から得られた。初動対応での安全と危険の判断を適切に行い、状況に応じた最善策を選択できるように知識と技術を習得できることを目標とした研修内容、教材が必要であり、これらの開発を今後行う。

参考資料

- 1) 総務省消防庁国民保護・防災部参事官付, 平成 28 年度 救助技術の高度化等検討会報告書, 平成 29 年 3 月.
http://www.fdma.go.jp/neuter/about/shingi_kento/h28/terro_taiou/houkoku/houkokusyo.pdf (2019.3.11 アクセス)
- 2) 内閣官房国民保護ポータルサイト 国民保護訓練
<http://www.kokuminhogo.go.jp/kunren/> (2019.3.11 アクセス)

資料 2-1

2018 年度原子力総合防災訓練 避難退域時検査実動訓練

1. 日時：2018 年 8 月 26 日（日） 10:00～13:00
2. 場所：総合運動公園駐車場
3. 訓練参加人数

表 1 参加内訳

| | | | |
|-----|-----------|-------|-------|
| 避難者 | バス 21 台 | 562 人 | 634 人 |
| | 乗用車 34 台 | 44 人 | |
| | 福祉車両 11 台 | 28 人 | |
| 運営 | 医師 | 1 人 | 73 人 |
| | 車両検査 | 27 人 | |
| | 車両除染 | 8 人 | |
| | 人 指定箇所検査 | 16 人 | |
| | 人 確認検査 | 4 人 | |
| | 人 簡易除染 | 4 人 | |
| | 事務 | 2 人 | |
| | 誘導 | 7 人 | |
| | 通過証 | 2 人 | |
| | 指導 | 2 人 | |

4. 事故想定：原子力発電所 3 号機において、北部を震源とした地震による外部電源喪失後、原子炉冷却材の漏えいが発生し、さらに設備故障等により非常用炉心冷却装置による原子炉への全ての注水が不能となり、全面緊急事態となる。他方、別の原子力発電所 4 号機においては、地震による影響は認められなかったが、送電線事故による外部電源喪失後、蒸気発生器への給水が不能となり、また、設備故障等により非常用炉心冷却装置による原子炉への注水が直ちにできなくなり、全面緊急事態となる。

5. 会場配置と運営

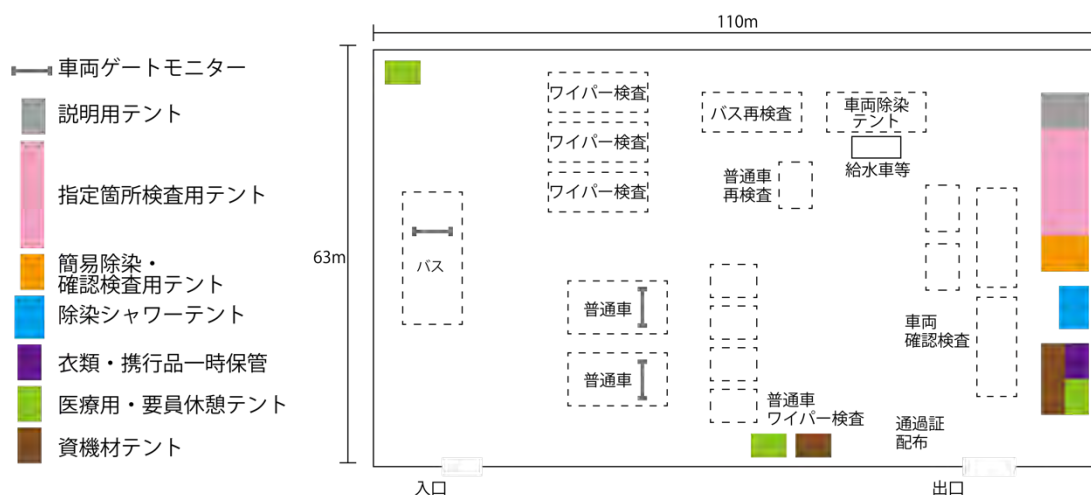


図1 会場配置図

6. 訓練の流れ

- ① 対応者の防護服：炎天下での訓練のため、「タイベック着用中」のビブスを着用。
- ② 車両汚染検査：ゲートモニターで側面(タイヤの部分)の汚染検査後、GM サーベイメータを使用し、2人でワイパー部分を検査。バスと普通車は別々のレーンで実施。約2分で完了。



図2 ゲートモニターの通過



図3 ワイパー部分の検査

- ③ 通過証配布：車両1台に対し、1枚配布。
- ④ 汚染再検査：2名がGM サーベイメータを使用し、車両全体の汚染検査を実施。
- ⑤ 車両の除染：水を吹きかけての除染。ブラシ等の使用なし。除染の水はポンプでドラム缶に回収。



図4 通過証



図5 バスの再汚染検査



図6 バスの除染

- ⑥ 除染後車両検査：ワイパー、タイヤ部分の検査。
- ⑦ 乗員(住民)の汚染検査：降車して汚染検査場所に移動。
- ⑧ 避難所へ移動：汚染検査後に同じルートを歩いてバス、乗用車に乗車後、避難所へ移動。

※今回の訓練想定では、住民の汚染はなし。簡易除染の実施はなし。



図7 除染後の再検査



図8 住民の汚染検査

資料 2-2

2018 年度 CBRNE 災害対処千葉連携研修 机上演習

1. 概要

(1) 第 1 回 机上演習

開催日時：2018 年 7 月 11 日(水)14:00 – 17:00

開催場所：量研機構放射線医学総合研究所 講堂

参加機関：千葉県（3 名）、千葉県警察（13 名）、千葉市消防局（18 名）、放射線医学総合研究所（7 名）

(2) 第 2 回 机上演習

開催日時：2018 年 11 月 28 日(水)9:00 – 12:00

開催場所：量研機構放射線医学総合研究所 講堂

参加機関：千葉県（3 名）、千葉県警察（17 名）、千葉市消防局（16 名）、幕張メッセ（3 名）、オリエンタルランド（14 名）、成田空港（4 名）、放射線医学総合研究所（7 名）

2. 想定

訓練内容：CBRNE テロを想定した机上演習

訓練想定：演習シナリオ概要

- 想定発生日は 7 月末の平日、夏の日中。
- 幕張メッセでは大規模イベント開催中につき、千葉県警はイベント警備を実施中。
- イベント来場者から幕張メッセ警備へ、エスプラナード中央付近に不審物が留置されているとの通報があり、警備員が現認に向かう途上、エスプラナード中央付近で爆発により負傷者が発生する。
- 現着した消防救助隊等が現場に進入したところ負傷者近くで放射線を検知、同刻不審物件捜索を行っていた警察官がエスプラナード南西側入り口付近にて不審物を発見。
- 放射線検知により消防は NBC 対応へ切替、県警は NBC 隊が出動。不審物件発見のため県警爆処理隊が出動。併せて消防より量研放医研へ現場支援要請。

訓練目的：爆発等の活動危険が伴う状況にて、現実的な部隊展開、迅速な負傷者救出と医療介入、汚染検査や除染等被災者対応、現場保存等について演習にて検討する。

3. 訓練内容

災害発生から活動終了までの現場初動対応者が行う活動を対象に、参加機関が連携して対応する。机上演習には2つの目的を設定し、2班に別れて、発災から20分間の初動対応とそれ以降の活動の2つのフェーズに分けて、現有資器材、現有部隊を想定して、それぞれ検討、議論し、検討事項を発表する。

目的1：演習参加者は各機関の活動計画と現場の裁量に鑑みかつ他機関と連携して、演習班ごとに各機関の活動目的達成のための最善の活動手順を検討する。

目的2：千葉県が設置する対策本部等へ共有すべき情報の内容と意味を整理する。



資料 2-3

2018 年度市川市消防局西消防署 特殊災害研修

1. 開催日時、参加者

| | 日時 | 参加者（名） | | | |
|-----|------------------------|--------|--------|-----|-------|
| | | 主催消防署 | 近隣消防本部 | 事業者 | 量研放医研 |
| 第1回 | 1月30日（水） 9:00~12:00 | 28 | 3 | 3 | 3 |
| 第2回 | 1月31日（木） 9:00~12:00 | 25 | 2 | 2 | 3 |
| 第3回 | 2月19日（火） 9:00~12:00 | 27 | 3 | 3 | 4 |
| 第4回 | 2月20日（水） 9:00~12:00 | 25 | 2 | 3 | 4 |
| 第5回 | 3月5日（火） 9:00~12:00 | 26 | 3 | 2 | 4 |
| 第6回 | 3月6日（水） 9:00~12:00 | 25 | 3 | 4 | 4 |

2. 研修内容

(1) 第1回・第2回 「化学テロ災害」

| 時間 | 方式 | 内容 | 担当 |
|---------------|----|--|----------|
| 9:05 - 10:30 | 講義 | 1 有毒化学剤の基礎 ・有毒化学の種類と特性 ・有毒化学剤の検知 ・有毒化学剤の防護 ・身体への影響 2 Cテロ災害対応 ・対処準備 ・症状及び兆候による判断 ・ゾーニング及び救護 ・現地調整所 | 岩熊 |
| 10:40 - 11:20 | 討議 | 症状による初期判断 ・各種有毒化学剤の症状と対応の基本 | 岩熊、富永 |
| 11:20 - 12:00 | 実習 | 検知紙の取り扱い要領 ・検知紙の変色と判断 ・被服等に付着した液滴の検知要領 | 岩熊、小林、富永 |

(2) 第3回・第4回「放射線テロ災害」

| 時間 | 方式 | 内容 | 担当 |
|---------------|----|---|----------------|
| 9:05 - 10:00 | 講義 | 「放射線テロ災害対応の基本」 ・放射線の基礎 ・放射線防護 ・放射線テロ災害の種類 ・放射線テロ災害の初動対応 | 富永 |
| 10:00 - 10:10 | 準備 | 実習準備 | |
| 10:10 - 11:50 | 実習 | 1. 個人防護装備着用 2. 空間線量率測定 3. ズーニング 4. 汚染検査 5. 脱衣 | 宮後、小林、 堤、富永 |

(3) 第5回・第6回「机上演習」

| 時間 | 方式 | 内容 | 担当 |
|---------------|----|--------------------------|------------|
| 9:05 - 9:10 | 説明 | 机上演習のルールについて | 富永 |
| 9:10 - 9:50 | 討議 | 討議1：情報シート1を配布 | 岩熊、小林、堤、富永 |
| 9:50 - 10:20 | 発表 | 各班の討議内容の発表 (発表後10分休憩) | 富永 |
| 10:30 - 11:20 | 討議 | 討議2：情報シート2を配布 | 岩熊、小林、堤、富永 |
| 11:20 - 11:50 | 発表 | 各班の討議内容の発表 | 富永 |
| 11:50 - 12:00 | 説明 | 想定 of 解説 | 富永 |

3. 参加者の感想・評価

受講者から自由記載で研修の感想、要望、評価等を調査した。

多くは、研修が有意義であり、特殊災害に関する知識の習得に役立ったというものであった。また、実習は、保有する資器材を使用して、擬剤の検知や放射線の検知を実施したことで、使用方法などを実践的に考えられるようになったという意見も多くみられた。講義と関連する資器材を使用した実習で1回の研修を構成するのは、非常に学習効果があると思われる。

さらに、研修の継続、反復を要望する意見や、多くの職員への教育の必要性を訴える意見もあった。

机上演習では一つの想定に対して、様々な意見、活動方針が出たことで、今後の訓練や活動計画、マニュアルの変更等に反映されることを期待する。

資料 2-4 国際空港エマルゴトレーニング

1. 訓練概要

開催日時：2018年7月12日(木)10:00 - 17:00

開催場所：国際空港内 多機能施設

参加機関：国際空港株式会社、医療機関、警察、消防本部等

訓練内容：CBRNE テロを想定したシミュレーション訓練

(エマルゴトレーニングシステムを使用)

訓練想定：第2旅客ターミナルビル国際線到着ロビー付近において、大きな爆発音と閃光があり、煙が立ち込めている。周辺には多数の負傷者が倒れており、多くの人が現場から避難している状況。現場では、爆発以外の不審物は発見されず、化学剤、放射線は検知されない。

2. 訓練内容

(1) 各組織での検討

- ・ 空港ブース、医療機関ブース、消防ブース、県警ブースごとに①発災の覚知、②各機関内での情報共有、③現場先着隊の活動、テロの判断と認定、④現場指揮所の活動、⑤複数機関の連携、⑥傷病者、無傷病者、黒タグの対応、について検討し、発表による活動方針、内容の共有を図った。



(2) エマルゴトレーニングシステム※による訓練

- ・ 組織ごとに状況を付与し、活動方針を検討し、訓練の時間想定に合わせて対応の結果を反映させ、全ての要救助者の救助完了までを実施した。
- ・ 爆発発生からの対応の時系列は下記の通り。
14:00 爆発、負傷者多数発生、軽傷者は屋外の駐車場への誘導開始
14:40 警察による不審物の検索では、発見されない。消防は安全確保されたと判断し、進入、検知活動開始。

- 14:44 屋内の検知活動完了、DMAT は救急指揮所に到着
14:46 通常の多数傷病者対応で活動開始
14:52 全ての要救助者の搬出は完了



※エマルゴトレーニングシステム；エマルゴトレーニングシステム®とは、スウェーデンのリンショーピング大学病院に隣接された Centre for Teaching and Research in Disaster Medicine & Traumatology（災害医療・外傷学教育研究センター）にて20年以上前から地域とともに開発されてきた救急・災害医療の机上シミュレーションによる研修法である。

災害を想定し、医療従事者及び被災者に見立てたマグネット人形を使用し、これらを白板上で災害現場や病院などに移動する。これらは設定された病床数・増床数職員数・限られた資源を用い、訓練上の時間経過に沿って行われ、評価は、設定された対応法の妥当性及び避けられた合併症避けられた死の有無の検討で行われる。様々な職種の方が参加することが有用であり、行政職員、自衛隊警察、消防、病院関係者などがトレーニングに参加することにより実災害に近い訓練となる。

資料 2-5 CBRN 対処合同訓練

1. 訓練の概要

時期：平成30年8月2日（木）～3日（金）

参加：

警察：60名

消防局：37名

陸上自衛隊：38名

要救助者：隊員家族15名、自衛官161名

内容：屋内施設にサリンを散布され、約40名の傷病者の発生した状況への対応

初日に図上演習、2日目に実動訓練を実施し、各機関間の情報共有・連携要領を練成

2. 訓練の状況

(1) 図上演習：2日（木）14:30～17:00

警察、消防は課長級の管理者が主として参加、自衛隊は特殊武器防護隊長が進行役と自衛隊の対応役を務め討議を進めた。演習は、実動訓練で使用する場所の地図上において、患者発生から、CBRNを予測した出動準備、現着、指揮所開設、状況把握、役割調整、相互活動の理解、救出、救助、警戒、避難誘導、自衛隊への派遣要請等、時系列で各機関の対応要領・能力等について相互理解を深めた。



(2) 実動訓練：3日（金）09:00～12:00

(ア) 演習の概要

- ・「工場で異臭発生、数十名の要救護者発生」の通報で状況を開始
- ・被災者には症状がタグ付けされており、検知器に反応する擬剤を散布（気体のみ）
- ・基本的には、被災者の症状と検知器を確認しながら状況判断し処置をするブライント訓練
- ・周辺地域への影響への対処、受入病院の調整等、自治体、医療機関等との連携は

ない

- ・自衛隊は発災後約1時間で現着（実際には困難、またこのケースで派遣要請も疑問）
- ・要救助者を全員回収した時点で状況終了

(イ) クロノロジー

| 警 察 | 消 防 | 自 衛 隊 |
|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 0900 発災通報 | 0900 発災通報 | |
| | 0910 到着 | |
| | 0913 施設管理者との調整 | |
| | 0916 進入統制線仮設定 | |
| | 0923 施設管理者より内部図面入手 | |
| | 0925 歩行可能な子供2名を掌握 | |
| 0928 警察到着、消防との情報交換 | 0928 警察との情報交換 | |
| | 0932 大人1子供2掌握 | |
| 0933 救助者から聞き取り | 0936 偵察レベルA 出発 | |
| 0935 機動隊到着、情報収集 | 0939 レベルA 1F | |
| 0939 被災者から聞き取り | 0940 CPに無線「神経剤」反応」 | |
| 0945 被災状況の把握→CPに連絡 | 0943 CPに無線、被災状況、「G」検出 | |
| 0946 消防とのバンダレー調整 (警察が1・2階を担当) | 0946 警察とのバンダレー調整 (消防が3・4階を担当) | 0954 LO現着 |
| 0949 偵察出発 | 0951 11名の要救助者確認→本部報告 | 0958 35iLS到着→情報交換 |
| 1006 G検知→CPに無線 | 1003 偵察要員4F 離脱 | 1003 偵察小隊長 現着 |
| | 1011 救出1名 レベルA 担架 4名 | 1006 救出のため35i準備開始 |
| | 1016 偵察帰隊 | 1022 偵察班長⇄機動隊と役割調整 |
| 1026 自衛隊との協同偵察出発 | | 1026 機動隊との協同偵察出発 |
| 1039 救出 レベルB 4名 | 1039 患者除染 | 1031 救出出発 レベルC(35i12名) |
| 1041 救出 レベルC 4名 | 1040 救出 レベルA 4名 | 1039 患者後送 →除染所 |
| | 1047 救出 レベルA 4名 | 1044 衛生隊へ申し送り |
| | | 1045 偵察2派出発 レベルA |
| 1108 再度任務区分調整 | 1108 再度任務区分調整 | 1108 再度任務区分調整 |
| 1121 除染要領について自衛隊と調整 | | 1121 除染要領について機動隊と調整 |
| | | 1129 要救助者1名 搬送・除染 |
| | | 1132 要救助者1名 搬送・除染 |
| | | 1145 要救助者1名 階段下搬送 |
| 1149 要救助者を掌握搬送 | | 1149 搬送途中患者を機動隊に申し送り |
| 1152 要救助者を除染 | | |
| 1157 状況終了 | 1157 状況終了 | 1157 状況終了 |

(ウ) 訓練の様子

a. 現地調整所（現場指揮所）の開設

現着後、速やかにテーブルを展開し、現場状況の把握と施設責任者から現場の内部地図を入手し、情報の整理と対処方針の決定を実施していた。

以後、後着した消防、警察がここで調整を行っており、現地調整所としての機能を発揮していた。



b. 統制線の設定

現場指揮所からの指示に従い、統制線（ウォームゾーンとコールドゾーンの境界）を設定し、コーンとポールで明示していたが、その根拠は、前方約 100m の地点に生存者らしき人の存在であった。

c. 目視できた要救助者の状況

有毒化学剤の存在が疑われる地域に、生存しており救助を待つ女性と子供が目視できているにもかかわらず、確認してから救助に向かったのは約 15 分後であった。この地域は発災現場（ホットゾーン）の近傍のウォームゾーンであり、早く避難誘導しなければならぬとの認識は感じられなかった。



d. 避難誘導

その後、避難誘導したが、歩行可能な 2 名の少女を誘導したのみで、足を怪我した少女 2 名と母親は置き去りにされた。

自分はレベル B で防護された状態で、危険地域との認識があるにもかかわらず、無防護の弱者を危険地域に置き去りにしているとの認識は感じられなかった。



e. 現地調整所での調整

後着の消防隊、警察は逐次当初開設した消防指揮所に集まり、情報収集を行っていたが、この時点では迅速な要救助者の把握と救出のための任務分担等の調整はされておらず、全般的に急いで対処しなければならないとの認識はいずれの機関にも感じられなかった。



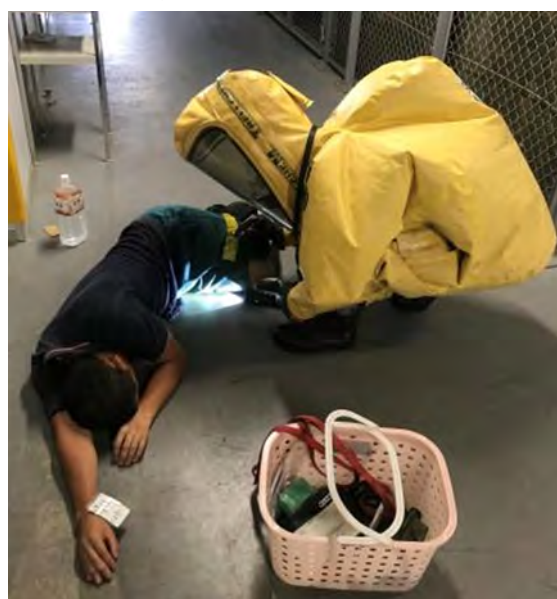
f. 歩行可能要救助者への対応

発災施設内に残っていた歩行可能被災者をウォームゾーン内で問診していたが、有毒化学剤による症状が発症していない弱者から、危険なウォームゾーン内で自分はレベルBのままで何を確認する必要があるのか不明であった。(マニュアルの1次トリアージを形式的に実施したものと思われる)



g. レベルAでの行動

レベルAの防護服は、活動時間が短く、行動にも大きな制約があり、視認性も悪いため、偵察活動、救助救出活動等には一般的には不向きであるが、今回確認できた事として、活動時間は高圧縮ボンベにより約40分可能であり、40℃近くの厳しい環境であったが、歩行不能者を2名で引きずり出す程度の行動は可能であった。しかしながら被災者のバイタルサインの確認



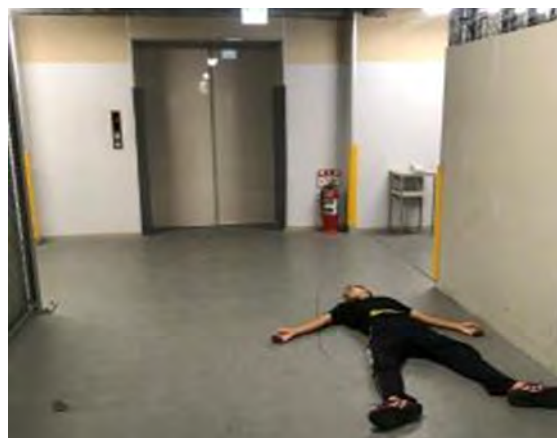
や検知器による機微な状況把握等は相当の訓練が必要であると感じた。

また、化学剤検知は、侵入当初から警報が鳴りっぱなしとなり、状況判断にはほとんど使用されていなかった。

h. 要救助者の放置

4名の偵察要員は、約30分かけて要救助者の位置と数を確認

(15名)して、放置したまま拠点に戻ってしまった。写真は4階のサリンのガスが放出された現場であり、擬剤ガスが存在していたにもかかわらず、ショートピックアップの概念はなかった。また、すぐ近くに稼働して



いるエレベータがあるにもかかわらず、これを使用せず、階段を使用して搬送していた。

i. 三者三様

同じホットゾーンからの救出に当たり、消防はレベルAを固執、警察はレベルA、B、Cを使用していたが、確たる根拠に基づき使い分けている様子はなかった。自衛隊はレベルCのみの使用であった。

搬出にあたっては、警察、消防が保有する引きずるタイプのストレッチャーは体力温存のために有効であるが、2名で十分運搬できそうなところ警察、消防とも4名で運用していた。

レベルA、B、Cの同地域の混在は、原理原則的には違和感を感じるが、訓練実施者においてはそれぞれの組織の文化との理解か、特に違和感を感じている様子はなかった。

j. レベルAのその後

レベルAの体力的な負担は非常に大きいため、1回の任務でほぼその隊員は次の任務に就くことは困難である。従って、一度レベルAで活動（約30分間）した後は、まだ要救助者が残されている状況であっても軽装となり、水を十分補給し、涼しい所で十分な休息を取る必要がある。

k. 警察、消防による水除染

警察、消防が連携し、手際よく被服の裁断、水除染を実施して



いた。しかしながら、汚染の状況を確認しておらず、運ばれた被災者はとりあえず全員全身を水除染し、除染後の確認等も実施している様子はなかった。本状況では、サリンガスの吸入による被災なので除染の必要性はなかった。

1. 人員除染待ち

搬送された歩行不能者が、人員除染所の入口で待たされている様子。隣の大型除染所は稼働していなかった。

今回は被災者が少なく、搬送速度が遅いため1名の除染待ちであったが、大量の被災者が発生した場合、除染の要否の確認、除染要領の検討が必要である。



m. 要救助者の放置

除染を終了した歩行不能者が現場指揮所（現地調整所）の後方に運ばれた後、放置されていた。現場指揮所では、発災現場の方向ばかりに関心があり、後方の患者収容、医療機関への引き渡しまで気が回っていないようであった。現地調整所には医療関係者の存在が必要である。



資料 2-6 大規模集客施設防災訓練

1. 訓練概要

場所：千葉県内の大規模集客施設

日時：2019年1月24日 20:30 - 21:30

訓練想定：東京湾で地震、津波が発生し、来客者を避難誘導する。負傷者は仮設救護所へ担架で移送し、トリアージ後に診療所等へ救急搬送する。

参加者数：職員 2500 人（被災者役 2000 人を含む）

2. 訓練内容

(1) 屋内外の来客者の避難誘導

地震発生直後に、避難経路の安全確認を実施し、屋内外の来客者を避難誘導していた。屋外の避難は夜間であり足元が暗かったが、避難経路はほとんど段差がなく、つまずきや転倒の危険はあまりなかった。

(2) 屋外での待機

電車等が停止しているため、避難者は一旦屋外で待機していた。外気温は低かったが3歳以下の幼児の避難を優先する対応がなされていた。建物の安全確認後に、屋内への避難を行っていた。避難者の人数によっては、負傷者の搬送ルート、救急車のルートの確保の検証が必要である。

(3) 仮設救護所の設置、トリアージ

負傷者は訓練エリア内に2箇所設置された仮設救護所に搬送され、看護師によるトリアージ後に診療所等への救急搬送となっていた。出血等に対する現場での応急救護は実施されていないようであった。実際には、止血等の応急処置がなされた方がよい。

担架での搬送には、来園者による互助の呼びかけ、活用を実施していた。夜間の屋外でのトリアージでは仮設の照明が準備されていたが、暗い中でのトリアージ（状態が記載されたカードの内容確認）には、時間がかかっていたようである。一次トリアージ後にすぐ搬送となっていたため、トリアージ後のエリアは設定されていなかった。

(4) 屋内避難場所の設置

安全が確認された建物を屋内避難場所として利用しており、冬季や雨天時では、避難者の低体温などの健康影響を回避する対策となる。特に寒冷時には極力速やかに屋内を利用することが好ましいが、どのような施設点検を行うことにより安全を担保するのかを明確にし、いかに早くこの点検を実施し屋内へと誘導するのかの検討も必要である。

3. 【調査研究2】医療機関での受け入れ体制整備

3.1. 本年度の研究計画

全国の医療機関の被ばく医療の診療能力の向上により迅速かつ適切な被ばく医療を提供する手段の開発を目的とする。

H30年度は量研放医研の協力協定病院、有識者等の協力を得て、現場除染なし、または乾的除染で医療機関が傷病者を受入れるために必要な体制、教育等について課題を抽出し、解決策を検討する。さらに既存の原子力災害医療の研修の体系を整理し、新たな研修体系を提案するとともに、既存のテキストを改定し、標準テキストを作成することで研修による人材育成の実効性を向上する。

3.2. 検討の経緯

今年度は、調査研究2を担当する研究協力者、研究参加者による検討会を4回開催（第1回～第4回）し、以下の項目について議論した。検討会開催前に、調査研究2を担当する研究協力者に、本件研究事業の概要と今年度の研究計画として原子力災害医療の研修体系化と標準テキストの作成を中心として、包括的被ばく医療の人材育成について検討することを個別に説明し、原子力災害医療の研修体系化と標準テキストについて意見を聴取した。その意見をもとに原案を作成し、4回の検討会の中で議論した。

- 原子力災害医療に関する研修の体系化
- 原子力災害医療に関する研修の高度化
- 原子力災害医療に関する研修で使用する標準テキスト作成
- 原子力災害医療に関する研修制度と人材の一元管理
- 原子力災害医療に関わる人材へのインセンティブ
- 包括的被ばく医療の研修と教材
- 被ばく医療の初療のフロー図と診療記録用紙

検討会の開催日程は下記の通りである。

1. 第1回検討会

日時：2018年8月6日(月) 14:00 – 16:00

場所：フクラシア丸の内オアゾ

東京都千代田区丸の内 1-6-5 丸の内北口ビルディング 15階

議題：議題1：事業概要説明

議題2：研修体系化案

議題3：標準テキスト担当割

議題4：今後について

2. 第2回検討会

日時：2018年9月25日(火) 14:00 - 16:00

場所：フクラシア丸の内オアゾ

議題：議題1：研修体系化案；高度専門研修（バイオアッセイ、染色体）

議題2：被ばく医療人材管理システム；受講者データベース

議題3：標準テキスト作成の状況

議題4：今後について

3. 第3回検討会

日時：2019年1月11日（金）14:00～16:00

場所：フクラシア丸の内オアゾ

議題：議題1：研修体系化最終案（バイオアッセイ研修、染色体分析研修）

議題2：標準テキスト最終案

議題3：その他

4. 第4回検討会

日時：2019年3月12日(火) 13:30 - 15:00

場所：フクラシア丸の内オアゾ

議題：議題1：新研修体系化での2019年度研修開催案

議題2：資料作成「患者搬送における汚染拡大防止」

議題3：資料作成「診療記録」

議題4：成果報告と来年度計画

3.3. 結果

3.3.1. 原子力災害医療に関する研修の体系化

原子力規制庁の委託事業として実施してきた既存の研修（表3-1）を見直し、研修の重複がなく、効率的に研修を履修できるようにした研修体系化を次のように提案する（図3-1、表3-2）。

- ① 基礎研修、専門研修、高度専門研修の3つに区分する。
- ② 研修の履修状況によりステップアップする。
- ③ 基礎研修は、立地道府県等が実施する研修で、原子力災害拠点病院あるいは原子力災害医療協力機関の職員、行政職員、消防や警察等の関係者を対象とする。研修は、「原子力防災体制」「放射線の基礎」「放射線の影響」「放射線防護」「汚染検査・除染」「安定ヨウ素剤」「避難退域時検査」「避難と屋内退避の支援」の8つの座学から構成される。
- ④ 専門研修は、基礎研修の履修者を対象とする。被ばく医療研修は、医療関係者を対象とし、高度被ばく医療支援センターが実施する。研修は、「医療機関の原子力災害対策」「医療機関での初期対応」「放射線障害の診断と治療」「外部被

ばくと内部被ばくの線量評価」「原子力災害時のメンタルヘルス」といった講義、実習と机上演習から構成され、原子力災害拠点病院での診療に必要な知識と技能の習得を目標とする。

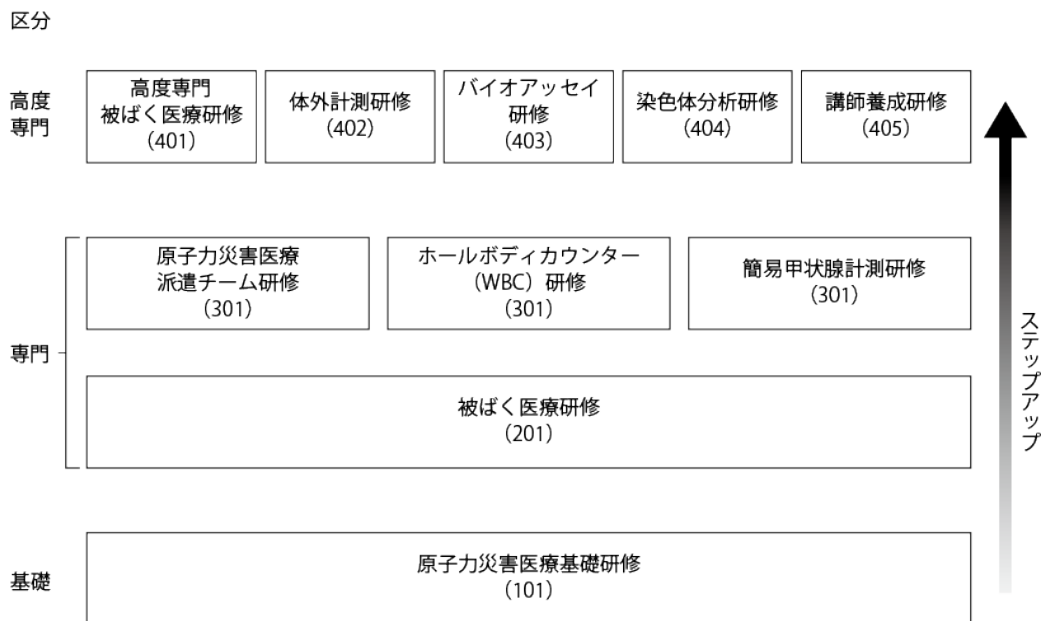
- ⑤ 専門研修の原子力災害派遣チーム研修は、原子力災害拠点病院が保有する原子力災害派遣チーム要員で、被ばく医療研修を履修した者を対象とした研修であり、原子力災害・総合支援センターが実施する。研修は、「原子力災害医療派遣チームの活動」「原子力災害時の救護所活動」「原子力災害時のリスクコミュニケーション」の講義と診療手技の実習から構成され、原子力災害時に、原子力災害が発生した地域の原子力災害拠点病院での診療支援のための知識と技能の習得を目標とする。
- ⑥ 専門研修の WBC 研修は、被ばく医療研修を履修した者で、原子力災害拠点病院等で WBC（ホールボディカウンター）による体外計測に携わる医療関係者を対象として、高度被ばく医療支援センターが実施する。研修は、「線量評価の概念」「体外計測法」「バイオアッセイ法」「公衆の線量評価」の座学と体外計測の実習から構成される。
- ⑦ 専門研修の甲状腺簡易計測研修は、被ばく医療研修の履修者で、立地道府県等で甲状腺簡易計測に携わる者を対象にした研修で、高度被ばく医療支援センターが実施する。「線量評価の概念」「体外計測法」「公衆の線量評価」「甲状腺簡易検査」の座学と実習から構成される。
- ⑧ 専門研修まで修了した医療関係者等が、その後に基礎研修、専門研修の講師を務める。
- ⑨ 高度専門研修は、主に高度被ばく医療支援センターと原子力災害医療・総合支援センターの職員を対象として、基幹高度被ばく医療支援センターが実施する研修で、被ばく医療の専門的治療、線量評価ができ、原子力災害拠点病院等での診療の支援ができるようになることを目標とする。高度専門被ばく医療研修、体外計測研修、バイオアッセイ研修、染色体分析研修、講師養成研修の 5 つの研修である。
- ⑩ 各研修にはコースコードを付与する。コードは、基礎研修が 100 番台、専門研修の被ばく医療研修が 200 番台、専門研修としての原子力災害医療派遣チーム研修、WBC 研修、甲状腺簡易計測研修が 300 番台、高度専門研修が 400 番台とする。

表 3-1 2018 年度に実施されている原子力災害医療の研修

| 研修名 | 実施施設 | 頻度・定員 | 対象者 | 研修概要 |
|----------------|---------------------|---------------|-----------------------------------|---|
| 原子力災害時医療中核人材 | 高度被ばく医療支援センター | 6回/年 | 原子炉施設等立地道府県等の医療従事者 | 原子力災害時の医療拠点病院として受け入れ対応と中核人材としての高度専門的な知識と技能を習得する |
| | | 20名/回 | | |
| 原子力災害医療派遣チーム | 原子力災害医療・総合支援センター | 1回/年 (道府県) | 原子炉施設等立地道府県等の医療従事者 | 原子力災害医療派遣チームの活動のための研修 |
| | | 10名/回 | | |
| WBC 計測研修 | 高度被ばく医療支援センター (放医研) | 1回/年 | 原子炉施設等立地道府県等の医療従事者 (放射線防護に携わる者) | 拠点病院での被ばく線量推定、測定を行う人材の育成 |
| | | 15名/回 | | |
| 甲状腺簡易計測研修 | 高度被ばく医療支援センター (放医研) | 1回/年 | 原子炉施設等立地道府県等の医療従事者 (放射線防護に携わる者) | 原子力災害時に周辺住民等、相当数の被験者に対して迅速に甲状腺簡易測定を行う人材の育成 |
| | | 20名/回 | | |
| 講師養成講座 | 原子力安全研究協会 | 4回/年 | | 放射線の基礎と基本的機材の使用について「いかに教えるか」を学ぶ |
| | | 20名/回 | | |
| 避難退域時検査・簡易除染 | 原子力安全研究協会 | 4回/年 | | 避難退域時検査、簡易除染の従事要員に効率的に活動するために必要な知識と技術について「いかに教えるか」を学ぶ |
| | | 20名/回 | | |
| 講師養成講座 実践研修 | 原子力安全研究協会 | 2回/年 | 原子炉施設等立地道府県等の医療従事者 消防関係者、行政職員等 | 汚染傷病者等を医療機関に搬送し、救命に寄与するために必要な知識と技術について「いかに教えるか」を学ぶ |
| | | 20名/回 | | |
| 原子力災害時の医療 | 原子力安全研究協会 | 3回/年 | | 被ばく傷病者へ対応について必要な知識と技術について「いかに教えるか」を学ぶ |
| | | 20名/回 | | |
| 安定ヨウ素剤 | 原子力安全研究協会 | 2回/年 | | 安定ヨウ素剤の配布に関わる要員が、必要な知識と技術について「いかに教えるか」を学ぶ |
| | | 20名/回 | | |

表 3-2 新たな原子力災害医療の研修

| 区分 | 研修名 | 実施機関 | 頻度・定員 | 対象者 | 研修概要・目的 |
|------|----------------------|------------------|--------------------------|------------------------------|---|
| 基礎 | 基礎研修 | 関係道府県 | 2回/年 (関係道府県) | 原子力防災に関わる関係機関の職員 | 原子力防災に関する基礎知識、測定器の取扱いの知識の習得研修 |
| | | 拠点病院 | 50名/回 | | |
| | 被ばく医療研修 | 高度被ばく医療支援センター | 5回/年 20名/回 | 被ばく医療に携わる医療従事者、医療関係者 | 被ばく・汚染のある傷病者を医療機関で対応するために必要な知識と技能の習得研修 |
| | | 原子力災害医療・総合支援センター | 4回/年 20名/回 | 原子力医療派遣チームの要員 | 原子力災害医療派遣チームの活動に必要な知識と技能の習得研修 |
| 専門 | ホールボディカウンター (WBC) 研修 | 高度被ばく医療支援センター | 1回/年 20名/回 | 原子力災害拠点病院の線量推定に携る職員の要員 | 原子力災害医療拠点病院での被ばく線量推定、測定を行う人材の育成 |
| | | 高度被ばく医療支援センター | 2回/年 (関係道府県) 20名/回 | 原子力災害時の線量推定に携る職員の要員 | 原子力災害時に周辺住民等、相当数の被験者に対して迅速に甲状腺簡易測定を行う人材の育成 |
| | 高度専門被ばく医療研修 | 基幹高度被ばく医療支援センター | 1回/年 10名/回 | 高度被ばく医療支援センターの職員 | 高度専門的対応が必要な患者を受け入れ、診療するのに必要な専門知識の習得研修、最新のトピック |
| | | 基幹高度被ばく医療支援センター | 1回/年 1~2名/回 | 高度被ばく医療支援センターの職員 | 高度被ばく医療支援センターでの体外計測による線量評価を実践できる人材の育成 |
| 高度専門 | バイオアッセイ研修 | 基幹高度被ばく医療支援センター | 1回/年 1~2名/回 | 高度被ばく医療支援センターの職員、原子力事業所の職員等 | 高度被ばく医療支援センターでのバイオアッセイによる線量評価を実践できる人材の育成 |
| | | 基幹高度被ばく医療支援センター | 1~2回/年 20名/回 | 全国の医療機関の染色体分析の専門技術者等 | 放射線事故時に染色体分析による線量評価に協力、支援できる人材の育成、人材確保 |
| | 講師養成研修 | 基幹高度被ばく医療支援センター | 1回/2年 20名/回 | 講師として活動している高度被ばく医療支援センターの職員等 | 研修内容、標準テキストの見直しとともに実習内容の擦り合わせを実施 |



() 内の数字はコースコード

図 3-1 新たな原子力災害時の医療に関する研修体系化案

3.3.2. 原子力災害医療に関する研修の高度化

前述の新たな研修体系化の中で高度専門研修として、高度被ばく医療支援センターと原子力災害医療・総合支援センターの職員を対象とした研修を提案している。これは、現行の原子力災害医療に関する研修は、各地域の原子力災害拠点病院での被ばくあるいは汚染のある傷病者の受け入れのための研修であり、高線量被ばくの病態や治療、内部被ばくの専門的な治療や線量評価、あるいはより複雑な状況（複数の核種が関与している場合など）での体外計測などに関する高度専門的な研修の機会がなかったという問題の解決策の一つとして提案する。

米国保険物理学会、日本保険物理学会の会員数の減少が報告されているが、被ばく医療にとって被ばく線量評価は不可欠であり、若手の人材育成と確保は重要な課題である。特にバイオアッセイの技術は専門性が高く、短期間の研修では習得が難しい。そこで、量研の施設を使用して、4週間前後の研修として、バイオアッセイの標準プロトコルを作成し、放射線管理区域内でのアルファ核種を使用した研修を提案する。研修の内容については、現在詳細を検討中であり、パイロット研修を実施して、研修生の受け入れ、指導方法、安全性について検証している。

染色体分析研修については、日本人類遺伝学会の臨床細胞遺伝学認定士を対象とした研修として実施し、事故や災害時に量研が実施する染色体分析による線量評価において、画像診断の支援ができる人材の育成を目的とする。

3.3.3. 原子力災害医療に関する研修で使用する標準テキスト作成

原子力災害医療に関する研修の体系化で示した研修のうち、基礎研修、被ばく医療研修、原子力災害医療派遣チーム研修、WBC（ホールボディカウンター）研修、簡易甲状腺計測研修については、必要な講義項目を整理し、内容が極力重複しないように講義資料を作成した。また、基本的に一つの講義時間は30分とした。これらは標準テキストとして、講義で使用するとともに、受講生に配布し、受講後にはテキストとして使用できるように各スライドには解説を記載した（別添資料1、別添資料2）。

さらに、各地域での汚染のある傷病者の搬送に関する実践的研修のために、参考資料として「原子力災害、放射線事故・テロ・災害時の患者搬送における汚染拡大防止」を作成した。

各研修の講義項目は以下の通りである。

(1) 基礎研修

- ・ 原子力防災体制
- ・ 放射線の基礎
- ・ 放射線の影響
- ・ 放射線防護
- ・ 汚染検査・除染
- ・ 安定ヨウ素剤
- ・ 避難退域時検査
- ・ 避難と屋内退避の支援

(2) 被ばく医療研修

- ・ 医療機関の原子力災害対策
- ・ 医療機関での初期対応
- ・ 放射線障害の診断と治療
- ・ 外部被ばくと内部被ばくの線量評価
- ・ 原子力災害時のメンタルヘルス
- ・ 放射線管理要員の役割
- ・ 原子力災害事例

(3) 原子力災害医療派遣チーム研修

- ・ 原子力災害医療派遣チームの活動
- ・ 原子力災害時の救護所活動
- ・ 原子力災害時のリスクコミュニケーション

(4) WBC（ホールボディカウンター）研修

- ・ 線量評価の概念
- ・ 体外計測法
- ・ バイオアッセイ法

- ・ 公衆の線量評価
 - ・ 内部被ばく線量評価の計算
- (5) 甲状腺簡易計測研修
- ・ 甲状腺簡易検査

3.3.4. 原子力災害医療に関する研修制度と人材の一元管理

原子力災害医療に関する研修として、3つの区分で10種類の研修を提案しているが、これらの研修の質の担保と研修状況の把握、被ばく医療に関わる人材の受講歴管理のために、被ばく医療研修制度を提案する。

この研修制度として以下の仕組みを検討した（図3-2）。

- ・ 基幹高度被ばく医療支援センターに被ばく医療研修認定委員会を設置する。
- ・ 研修の主催者から被ばく医療研修認定委員会に対して、研修コースの認定を申請する。
- ・ 被ばく医療研修認定委員会が研修コースを認定し、受講者に研修修了を認定する。
- ・ 受講者は研修主催者に受講申し込みをする。
- ・ 研修主催者は受講者に受講案内する。
- ・ 研修主催者は、研修コース内容、受講者情報を所在する地域の高度被ばく医療支援センターに登録する。
- ・ 高度被ばく医療支援センターは、基幹高度被ばく医療支援センター事務局に研修コースの情報を登録する。
- ・ 基幹高度被ばく医療支援センター事務局は、医療機関、人材・受講歴、研修のデータベースを管理する。
- ・ 技能維持のために、研修修了の認定には一定期間の有効期限（3年程度）を設け、更新制度を設ける。

被ばく医療研修制度（案）

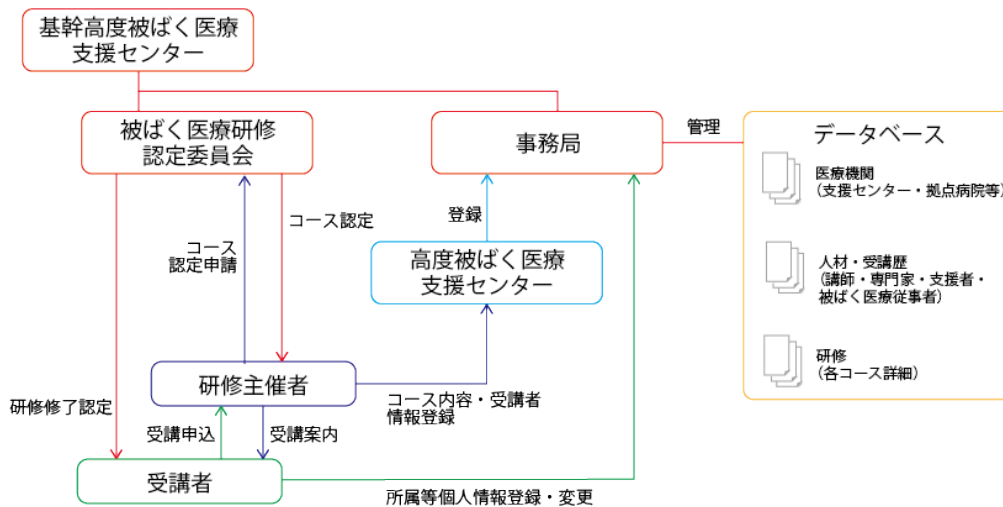


図 3-2 被ばく医療研修制度案

この研修制度による研修、受講者、各地域の原子力災害拠点病院、原子力災害協力機関などの情報をデータベース化し、個人の受講歴や各施設の職員の受講歴を一元管理するための被ばく医療研修管理システム（図 3-3）の構築も提案する。このシステム案は、受講申し込みや研修の認定申請もできるようにすることで、全ての被ばく医療の研修に関連する情報を一元管理することを目的としている。ただし、システムの構築は、予算等を鑑み、段階的に実施することも考慮すべきである。

さらに、研修体系化で提案している各研修コースのコード付与は、この研修制度の中で、研修修了者が自身のレベルを把握する、あるいは研修コースのレベルを把握するための指標となる。また、原子力災害時の医療に関する研修のみでなく、他の被ばく医療の研修でも同様のコースコードを付与することで、研修レベルの比較、把握がしやすくなると考えられる。

被ばく医療研修管理システム（案）

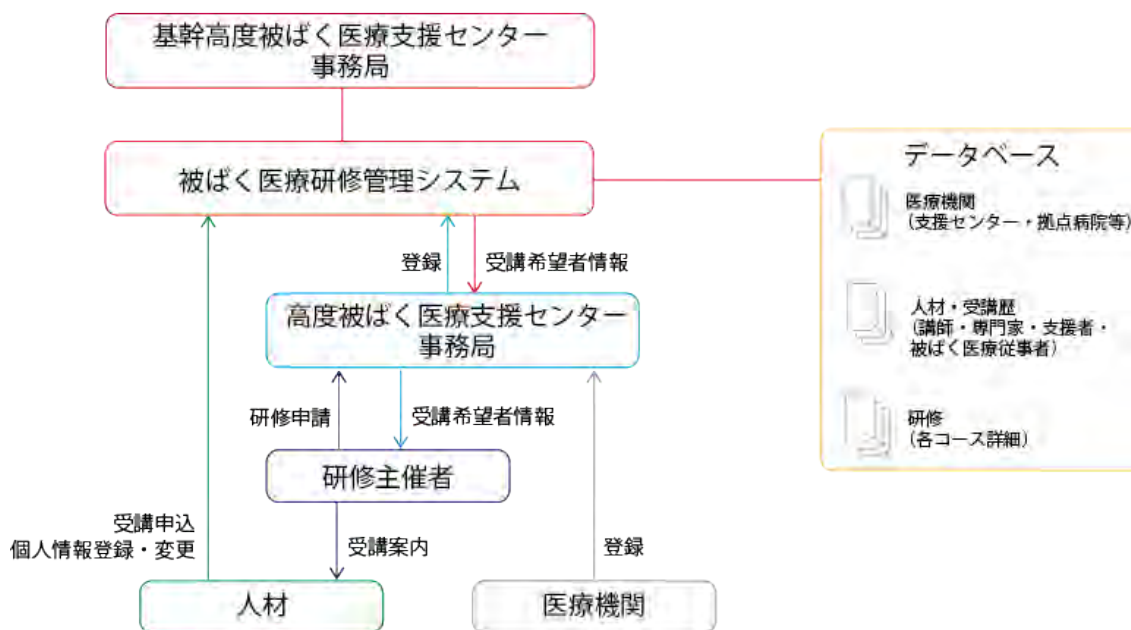


図 3-3 被ばく医療研修管理システム案

3.3.5. 被ばく医療に関わる人材へのインセンティブ

研修の受講または指導として関わる人材のモチベーションの向上あるいは、新たに参画する人材をこの被ばく医療に惹きつけるには、組織へのインセンティブと個人へのインセンティブが付与されることが望まれる。組織へのインセンティブは、原子力災害の医療体制の制度設計の中で議論されるべきである。本研究事業では、個人へのインセンティブについて検討し、次の点を個人へのインセンティブとして提案する。

- ・ 日本専門医機構が認定する専門医の基本領域学会の一つである日本救急医学会の救急科専門医更新制度救急科領域講習の Off-the Job Training (Off-JT) として、高度被ばく医療支援センターが主催する被ばく医療研修と原子力災害医療派遣チーム研修を提案する。
- ・ 日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士の更新の研修に放射線被ばくによる染色体異常の画像診断実習の追加を提案する。
- ・ 高度専門研修の染色体分析研修を日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士の更新単位として提案する。

今後、上記のインセンティブについては、関係する学会との調整を行う必要があるが、そのためには、研修の内容、目的、開催場所や開催回数、対象者の選定などを決める必要があり、次年度以降に検討する予定である。

日本救急医学会救急科専門医については、高度被ばく医療支援センター、原子力災害拠点病院等で被ばく医療に携わっている医師で、救急科領域を専門分野としている

医師が比較的多いこと、2011年に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故に関連して、J ビレッジに設置された医療班、あるいは東電福島第一原子力発電所内に設置された5・6号機サービス建屋内救急診療室(5/6ER)へは、日本救急医学会から医師が派遣されていた¹ことから、需要があると見込んでいる。

日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士制度は、臨床検査として染色体検査にたずさわる医師、研究者および技術者を対象として、臨床細胞遺伝学の専門家の養成と認定を目的としており、染色体分析の基本的な知識と技術をすでに保持している人材であることから、被ばく線量推定での染色体分析の画像診断の知識を習得することで、被ばく医療での染色体分析の支援者としての活躍が期待できる。

この他、日本医学放射線学会放射線科専門医、日本放射線腫瘍学会放射線治療専門医制度の更新単位や、看護師、診療放射線技師の資格に関連したインセンティブについても今後検討することとしている。

3.3.6. 包括的被ばく医療の研修と教材

原子力災害対策重点区域(24道府県)での被ばく医療体制整備が進められているが、それ以外の地域(23都県)におけるRI事業所での放射線事故、労災事故など危険時の措置の強化、国民保護に関する基本指針では武力攻撃事態等、緊急処理事態における放射線テロまたは核攻撃等の放射線緊急事態での医療を実施するためには、医療従事者に被ばく医療の教育が必要であり、包括的被ばく医療の研修を検討した。

医療機関での被ばく医療に関する教育や研修は、法的拘束力はないため、各医療機関の自主的な活動に頼ることになる。事故や緊急事態での医療の受け皿としては救急医療部門が最も適していると考えられるが、多忙な業務の中で、医療機関の救急部門の職員に長時間の教育は現実的ではない。

これらの課題を抽出すると以下の点が挙げられる。

- ・ 被ばく医療の知識、技術がないと傷病者の受け入れができない。
- ・ 原子力災害対策重点区域以外の地域では、被ばく医療の教育の機会が少ない。
- ・ 被ばく医療のマニュアル、ガイドライン等がない。
- ・ 研修後の自己学習の方法がない。
- ・ 研修の開催には専門家の協力が不可欠である。

上記課題解決には、効率的な教育が必要であるため、被ばく医療のために必要な最低限の知識と技術を整理し標準テキストを作成し、2～4時間程度の短時間で効率的

¹ 日本救急医学会福島原発事故緊急ワーキンググループ; 福島第一原発事故復旧作業に対する救急。災害医療支援。日本救急医学会誌。2012; 23: 116-29.

に実施できる研修のプログラムを提案する。講義と実習の項目は以下である。

<講義> (標準テキストは別添資料)

- ・ 被ばく医療 (講義時間 45 分)
- ・ 医療対応における放射線防護と管理 (講義時間 30 分)
- ・ 医療機関での被ばく医療と放射線防護 (講義時間 45 分)

<実習>

- ・ 施設資機材の養生実習 (60 分) : 講義室の一部を汚染傷病者の受入れエリアと想定して、床の養生について指導しながら、実際に研修生が養生を実施
- ・ 個人防護装備着装 (15 分) : サージカルガウン等の PPE を着装
- ・ 汚染検査と除染 (30 分) : 汚染 (パウチしたマントルを模擬汚染として使用)のある傷病者に見立てたマネキンの汚染検査と除染を実施
- ・ 個人防護装備脱衣と養生の撤収 (15 分) : 自身の PPE の脱衣の仕方について、講師が注意点を解説しながら受講者が各自で脱衣
- ・ 放射線測定器の取り扱い (60 分) : 放射線測定器 (GM サーベイメーター、NaI シンチレーションサーベイメーター) の使用方法の説明、マントル等を測定

研修プログラムは、講義と実習から構成されるが、医療機関のニーズに応じて組み合わせが可能である。研修プログラムの例を表 3-3、表 3-4 に示す。

表 3-3 プログラム例 1

| 項目 | 時間 |
|---------------------|------|
| 講義：被ばく医療 | 45 分 |
| 講義：医療対応における放射線防護と管理 | 30 分 |
| 実習：施設資機材の養生 | 60 分 |
| 実習：個人防護装備着装 | 15 分 |
| 実習：汚染検査と除染 | 30 分 |
| 実習：個人防護装備脱衣と養生の撤収 | 15 分 |

表 3-4 プログラム例 2

| 項目 | 時間 |
|----------------------|------|
| 講義：医療機関での被ばく医療と放射線防護 | 45 分 |
| 実習：放射線測定器の取り扱い | 60 分 |

3.3.7. 被ばく医療の初療のフロー図と診療記録用紙

現場除染なし、または乾的除染で医療機関が傷病者を受入れるために必要な体制整備として、被ばく医療の診療マニュアルやプロトコルが必要である。本研究事業では、救急外来等で外部被ばく、あるいは内部被ばく、または放射性物質が皮膚や創傷部に付着した傷病者を受け入れた時の初療について、外来で必要な処置や検査を一つの流れとして示した(図3-4)。さらに、フロー図を組み込んだ診療記録用紙も作成した(図3-5)。診療記録は、汚染検査の結果等を記載する面と被ばくと汚染、汚染検査時の注意点、被ばく線量と前駆症状、被ばく線量と発症期の所見を記載した面から構成される。

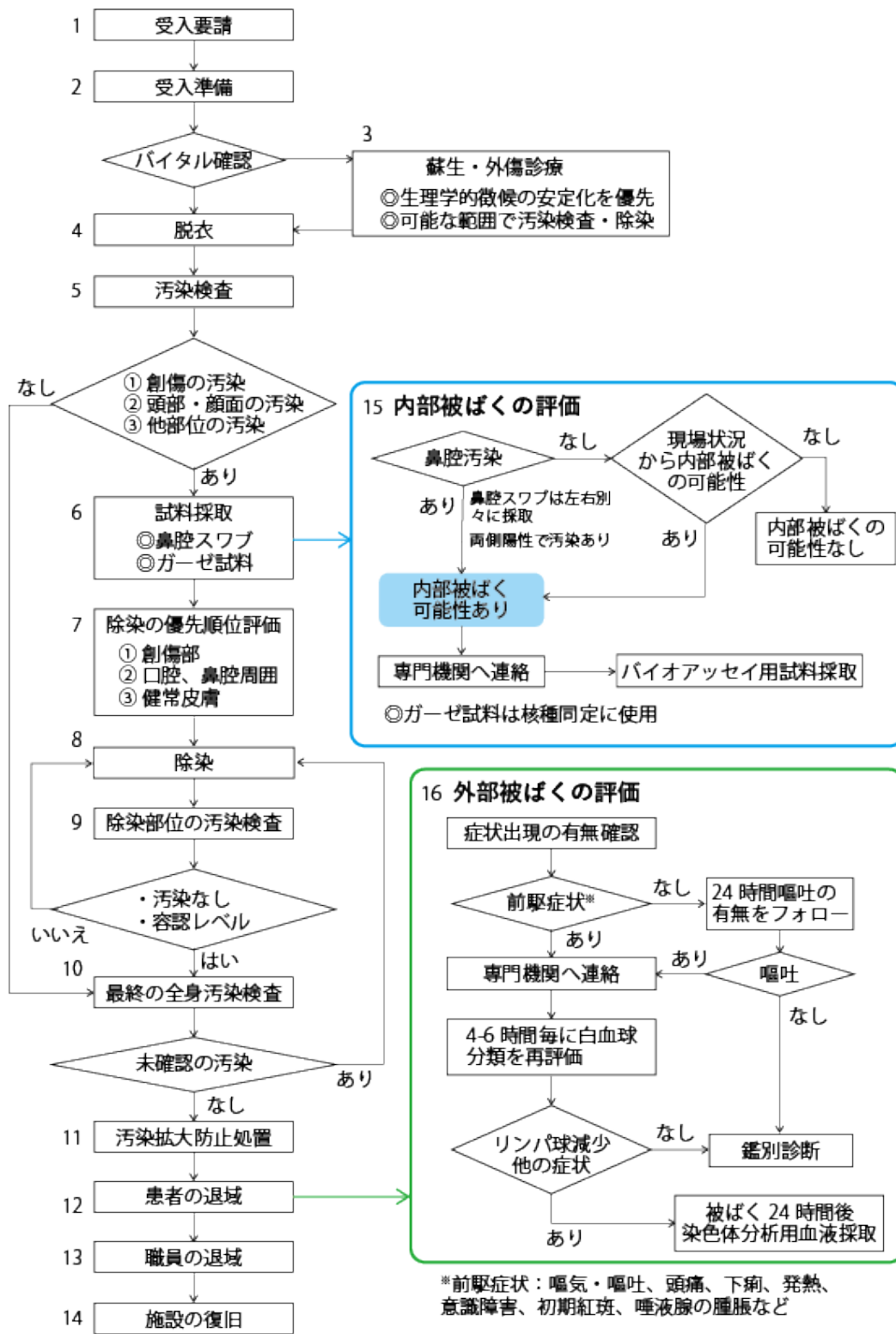


図 3-4 被ばく医療の初療フロー図

| | | | |
|------------|-----------|---------|---|
| ID | 氏名 (男・女) | 年齢 | 事故概要 |
| 受傷日時 | 年 月 日 時 分 | | |
| 来院日時 | 年 月 日 時 分 | | |
| 来院時バイタルサイン | BP / mmHg | HR /min | RR /min |
| | BT °C | JCS | GCS (E V M) |
| | | | SpO ₂ % (O ₂ L/min) |

| | | | |
|----------|-----------|-------|---|
| 測定器 | 表面汚染計 | 空間線量計 | 汚染残存 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有 |
| 型式 | | | 外部被ばくの可能性 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有 |
| B.G.レベル | cpm (min) | µSv/h | 内部被ばくの可能性 <input type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> 有 |
| B.G.測定日時 | | | 評価・診断 |
| 測定面積 | | | |
| 機器効率 | | | |
| 校正定数 | | | |

表面密度 = (測定値 - B.G.) / 60
Bq/cm² = 機器効率 × 測定面積 × 線源効率

B.G.: バックグラウンドレベル
通常時の測定値

| | |
|-----|-----|
| 担当医 | 看護師 |
|-----|-----|

All copyrights © reserved by GST - NIRS.

外部被ばく

放射線源
体の外から放射線をあびる

内部被ばく

吸入
経口摂取
皮膚(創傷)吸収
放射性物質を体内に取り込み、体の中から放射線をあびる

体表面汚染

体や衣服、物体の表面に放射性物質が付着する

表面汚染検査時の注意点

- ・ブロー（検出部）を汚染しないようにビニール袋、ラップなどで覆う。
- ・基本的に消音とする。

距離を一定に保つ

- ・測定する表面からの距離が離れると測定値が小さくなる。
- ・除染前後で距離が異なると、正確な比較ができない。

角度を一定に保つ

- ・測定する表面と検出部の角度が異なると、検出部との距離が異なる。
- ・測定器への放射線の入射方向によって感度が異なる。

速度を一定に保つ

- ・時定数や応答時間を意識する。
- ・早く動かすと、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまう。

被ばく線量と前駆症状

| 症状 | 線量 | 1~2 Gy | 2~4 Gy | 4~6 Gy | 6~8 Gy | >8 Gy |
|----|----|-----------------|-----------------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| 嘔吐 | | 10~50% 2hr以降 | 70~90% 1~2hr | 100% 1hr以内 | 100% 30min以内 | 100% 10min以内 |
| 下痢 | | (-) | (-) | 中等度 <10% 3~8hr | 重度 >10% 1~3hr | 重度 ほぼ100% 1hr以内 |
| 頭痛 | | 軽度 | 軽度 | 中等度 50% 4~24hr | 重度 80% 3~4hr | 重度 80~90% 1~2hr |
| 意識 | | 正常 | 正常 | 正常 | 混濁例あり | 喪失 (50Gy以上で100%) |
| 体温 | | 正常 | 上昇 10~80% 1~3hr | 発熱 80~100% 1~2hr | 高熱 100% 1hr以内 | 高熱 100% 1hr以内 |

IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998 より改変

被ばく線量と発症期の見解

| | 急性放射線症の重症度と被ばく線量 | | | | |
|--|------------------|----------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------|
| | 軽症 1~2 Gy | 中等度 2~4 Gy | 重症 4~6 Gy | 極めて重症 6~8 Gy | 致死性 >8 Gy |
| リンパ球数 (x 10 ³ /mm ³) 被ばく後 3~6 日 | 0.8~1.5 | 0.5~0.8 | 0.3~0.5 | 0.1~0.3 | 0.0~0.1 |
| 顆粒球数 (x 10 ³ /mm ³) | >20 | 1.5~2.0 | 1.0~1.5 | ≤0.5 | ≤0.1 |
| 血小板数 (x 10 ³ /mm ³) | 60~100 10~25% | 30~60 25~40% | 25~35 40~80% | 15~25 60~80% | <20 80~100%*1 |
| 下痢 | なし | なし | 稀 | 被ばく後 6~9日に出現 | 被ばく後 4~5日に出現 |
| 脱毛 | なし | 中等度 被ばく後 15日以降 | 中等度ないし 完全 11~21日 | 完全 11日以降 | 完全 10日以前 |
| 潜伏期(日) | 21~35 | 18~28 | 8~18 | ≤7 | なし |
| 臨床症状 | 倦怠感 衰弱 | 発熱、感染 出血、衰弱 | 高熱、感染 出血 | 高熱、下痢、 嘔吐、めまい、 見当識障害、 血圧低下 | 高熱、下痢、 意識障害 |
| 致死率 死亡時期*2 | 0 | 0~50% 6~8週以降 | 20~70% 4~8週以降 | 50~100% 1~2週以降 | 100% ~2週 |

*1 50Gy を越すような高線量被ばくの場合は、血小板減少の前に死亡する。
*2 治療内容により死亡率、死亡時期は変化する。 青木 芳朗・前川和彦「緊急被ばく医療テキスト」(医療科学社)より改変

図 3-5 診療記録用紙 (表と裏)

3.4. 考察

3.4.1. 原子力災害医療の研修に関する課題

原子力災害医療の研修として体系化案、標準テキスト、研修制度を提案している。研修の体系化案で、基礎から専門、高度専門の各研修にステップアップすることとしているが、現行の研修修了者、講師がどのように移行するのか、行政としての制度設計を検討しておく必要がある。

各研修の講師は、高度専門研修の修了者が担うことが望ましいが、講師としての資質を評価することは難しい。そのため研修の質の担保の方法として、高度被ばく医療支援センターの専門家等の被ばく医療の研修の指導歴が長い人材が研修に必ず関与するなどの方針が必要である。

標準テキストを使用した講義を実施し、内容を検証し、より使い易く、学習効果のあるテキストに改定していく必要もある。これは、来年度の計画として、研修を実施し、検証する。また、研修には測定器の取り扱いやシミュレーションなどの実習も必要であり、これらの実習の項目、指導要領についても今後検討が必要である。ただし、実習は、それぞれの研修の主催者である高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターの各施設の状況や資機材、指導者によって柔軟に対応すべきであり、実習の指導要領は各高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターで作成されるべきである。

関係する個人へのインセンティブについては、今後、関連する学会等との調整が必要であるが、原子力災害対策重点区域（24 道府県）の医療従事者に限定した研修で、専門医の更新単位として認定されるのか、不公平が生じないかなど、検討が必要であると思われる。

3.4.2. 包括的被ばく医療に関する課題

外部被ばく、内部被ばく、放射性物質による汚染の傷病者に対する処置、診断、治療は、原子力災害でも放射線事故、テロでも発生原因にかかわらず同じである。そのため、医療機関での処置については、原因ごとに区別する必要はない。しかし、その教育に関して、原子力災害対策重点区域（24 道府県）とそれ以外の地域（23 都県）では、機会に差があり、それぞれ別の教育方法を用意する必要がある。本研究では、原子力災害での医療に関する研修体系化とは別に、23 都県の医療機関での被ばく医療研修の教材とプログラムを提案したが、今後は、包括的被ばく医療としての研修制度の設計、運用あるいは統合することも検討すべきである。さらに原子力災害拠点病院には、被ばく医療の研修を修了した救急医や看護師が在籍し、被ばく医療に関する講義等の指導も行っているが、量研放医研以外で基本的な被ばく医療について講義、実習の指導ができる人材を確保し、全国の救命救急センターでの被ばく医療の研修の開催を支援する体制構築が望まれる。

また、初療の流れと診療記録用紙を提案しているが、初療については、それぞれの項目を解説したマニュアルの作成が必要である。なお、標準的な診療のマニュアルと多数傷病者発生時のマニュアルを区別して作成することも要検討である。

3.5. 結論

原子力災害時の医療に関する研修の体系化、研修制度を提案した。次年度はこれらの研修体系化の詳細な制度を検討し、実習を含めたプログラムを作成するとともに、研修で標準テキストを使用して、内容等を検証する。

研修制度としては、高度被ばく医療支援センターの中で、中心的・先導的な役割を担う基幹高度被ばく医療支援センターで、詳細を設計し、運用していくことが望まれる。さらに、基幹高度被ばく医療支援センターは、高度専門研修を実施することも望まれる。

また、原子力災害以外の被ばく医療については、本研究事業で初療マニュアルを作成し、医療機関における包括的被ばく医療の対処能力の向上に貢献できるようにする。

4. 【調査研究3】専門的支援体制等の整備

4.1. 本年度の研究計画

専門的支援の充実による初動対応、被ばく医療の実効性向上を目的とする。

H30年度は、専門機関、染色体および物理学的線量評価ネットワークを活用した被ばく線量評価、被ばく医療等の専門的支援に必要な項目、課題を整理する。平常時、災害時に活用できる専門的支援における情報共有システムについて課題等を整理し、システムを設計する。また、既存の広域災害救急医療情報システム（EMIS）や健康危機管理支援ライブラリー（H-CRISIS）との連携についても検討する。

4.2. 検討の経緯

今年度は、被ばく医療の専門機関である量研放医研および量研放医研が設置している染色体ネットワーク会議、物理学的線量評価ネットワーク会議を活用した専門的支援について、委員長等と検討した。

さらに専門的支援として、現地派遣の専門家による脅威や原因物質の検知結果を派遣元の災害対策本部等で共有できるシステムとして CBRNE クラウドシステム等の最新の検知器、検知システムを使用した検討を行った。

情報共有システムについては、量研放医研で運用している「緊急被ばく線量評価情報共有・伝達システム」を利用して、量研放医研からの専門家派遣時の情報共有、量研放医研以外の高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターの派遣者との情報共有について、必要項目を整理し、システムの設計に着手できるようにした。さらに、既存の広域災害救急医療情報システム（EMIS）を本システムから閲覧し、災害医療の情報にアクセスすることで、災害医療の情報を確認しながら、原子力災害時の専門家支援で共有すべき情報について検討できるように調整した。

4.3. 結果

4.3.1. ネットワーク会議を活用した専門的支援

量研放医研が設置している物理学的線量評価ネットワーク会議と染色体ネットワーク会議は、量研放医研で被ばく医療を実施する際に必要となる線量評価について専門家からの支援を得るためのものであり、量研放医研に対する支援が目的である。

そこで、これらのネットワーク会議を活用した原子力災害等での専門的支援体制の一つとして、染色体ネットワーク会議に、支援者を登録し、事故や災害が発生した際に染色体分析の画像診断に支援を依頼するというものである。これは、調査研究2で提案している原子力災害時の医療に関する研修体系の中で、高度専門研修の一つである染色体分析研修を受講した日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士を、染色体ネットワーク会議の支援者として登録し、事故や災害時に支援を依頼することを検討して

いる。この専門的支援体制の構築には、今後染色体ネットワーク会議での議論、承認が必要となるとともに、研修の実施が不可欠である。また、画像診断を依頼する際には、運用方法、画像の受け渡し方法、結果の受け渡し方法などを決めておく必要がある。

日本人類遺伝学会の臨床細胞遺伝学認定士は、2018年4月時点で、全国に178名、指導士は64名おり、認定士のうち64名は立地隣接道府県の医療機関に所属している。ただし、原子力災害拠点病院、原子力災害医療協力機関に所属している認定士は15名、指導士は7名である。さらに高度被ばく医療支援センターに所属している認定士は量研放医研、弘前大学、広島大学、長崎大学に各1名おり、指導士は量研放医研、弘前大学、広島大学に各1名である。原子力災害拠点病院および原子力災害医療協力機関以外の医療機関に所属している認定士、指導士から、被ばく医療での染色体分析で協力を得られると多数の染色体分析による線量評価が可能となり、線量評価体制の充実にもなる。

物理学的線量評価ネットワーク会議を活用した専門的支援体制については、十分議論ができていないため、次年度にまずは支援として可能な項目を整理する。

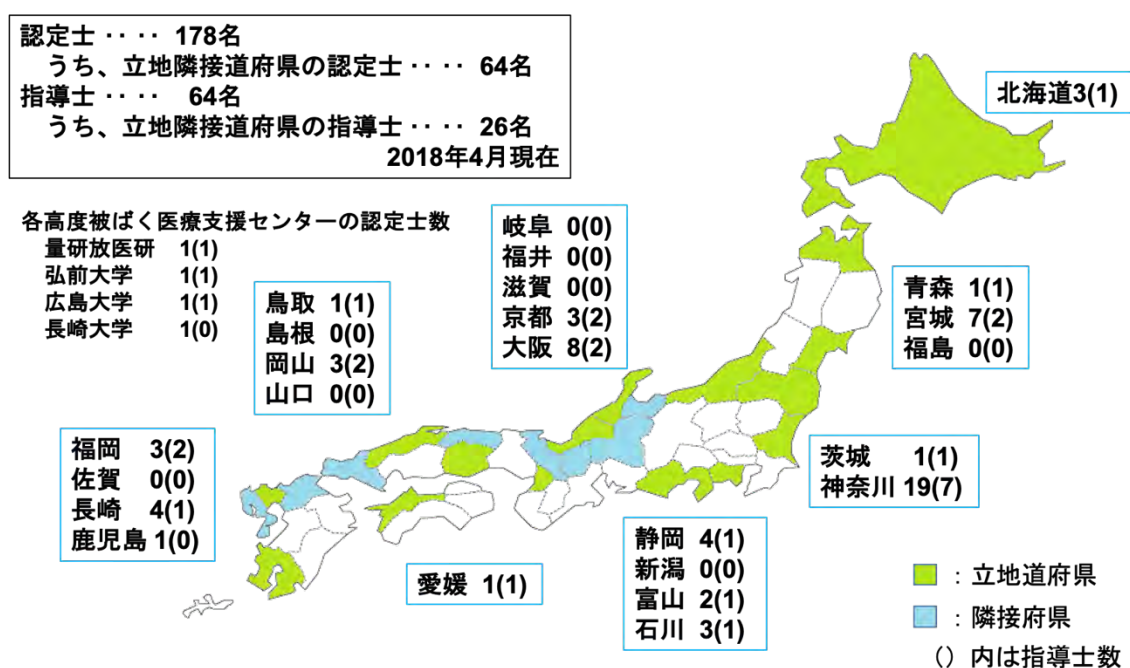


図 4-1 原子力災害対策重点区域の日本人類遺伝学会臨床細胞遺伝学認定士（指導士）
原子力災害対策重点区域（24 道府県）に所属している臨床細胞遺伝学認定士と指導士の人数を道府県別に示した。また、高度被ばく医療センターに所属する臨床細胞遺伝学認定士と指導士の人数も示している。

4.3.2. 検知システム等を活用した専門的支援

本研究事業で検討した検知システムは放射線モニタリングシステム（ラジプローブシステム）と CBRNE 情報共有システム(CBRNe クラウドシステム)であり、各システムの概要を示す。

1. 放射線モニタリングシステム（ラジプローブシステム）

可搬型の機材は、放射線測定器、制御用パソコン、カメラ、GPS、通信機器から構成され、測定結果等を地上通信もしくは、衛星通信で量研放医研のサーバーにも伝送する。伝送された情報は、モニタリングマップ、核種分析のスペクトル、線量率時間変化、積算線量、中性子線量、周辺映像が一画面として、サーバーにアクセスできるパソコンやタブレットで閲覧可能である。さらに放射線測定器は、高線量 γ 線・中性子線検出器、携帯型ゲルマニウム半導体検出装置（高精度測定装置）、高感度小型線量計（CsI(Tl)シンチレーション検出器）を接続できる。これらは環境モニタリング、核種分析など用途に応じて選択する。



図 4-2 ラジプローブシステムの概要

2. CBRNE 情報共有システム(CBRNe クラウドシステム)

CBRNE 情報共有システムは、化学剤検知器と放射線測定器をネットワーク化させて、検知情報、位置情報等をクラウドサーバーに転送し、このクラウドサーバーを通じて測定現場の携帯端末と対策本部等の遠隔地の端末で情報共有ができるシステムである。本システムでは、化学剤検知器は、イオンモビリティ・スペクトロメーターであり、放射線測定器は、空間線量率、各種識別が可能である器材を使用している。さらに、以下のマニュアル類を横断的に検索でき、検知結果とリンクし、警戒区域や新入統制ライン等を地図上に表示できる。

- ・ 緊急時応急処置指針（Emergency Response Guidebook：通称 ERG）
- ・ 総務省消防庁 BC 災害マニュアル（平成 28 年度 救助技術の高度化等

検討会報告書)からの引用

- ・ 総務省消防庁特殊災害室「医療機関、研究機関その他の放射性同位元素等取扱施設等における消防活動上の留意事項に関する検討会」の報告書からの引用、および添付資料個票 (RI, 装備機器, 発生装置)
- ・ 爆発物探知ハンドブックからの引用 (元 科学警察研究所爆発研究室 中村順先生監修)



図 4-3 CBRNe クラウドシステムの概要

4.3.2.1. 専門家派遣での活用

放射線モニタリングシステム (ラジプローブ) は、量研放医研の研究成果の一つであり、原子力災害や放射線テロ災害での活用も考慮している。ラジプローブシステムは、放射線測定器として核種分析が可能である可搬型 Ge 半導体検出器あるいは核種判定機能付き携帯型の検出器を使用すれば、核種の特定や内部被ばくの詳細検査の一つであるバイオアッセイ法による生体試料の簡易的な計測が可能であり、測定結果を後方支援の本部等と情報共有できることで、より詳細な分析結果を現場での専門的支援に活用できる。

また、医療機関ではエリアモニターとして空間線量率を常時測定し、診療エリア等の安全確認に活用できる。NaI シンチレーションサーベイメーター等を常時誰かが監視するのは、狭い空間での人員配置としても難しいと思われる。さらに多数傷病者が

発生したテロ災害で、大勢の汚染した被災者を受け入れ、被災者とともに原因物質が新たに医療機関内に持ち込まれた場合、放射線や化学剤のエリアモニターを設置し迅速に脅威の検知ができることは、エリアの危険性を迅速に確認・把握できることになり、二次災害の防止にも繋がると思われる。

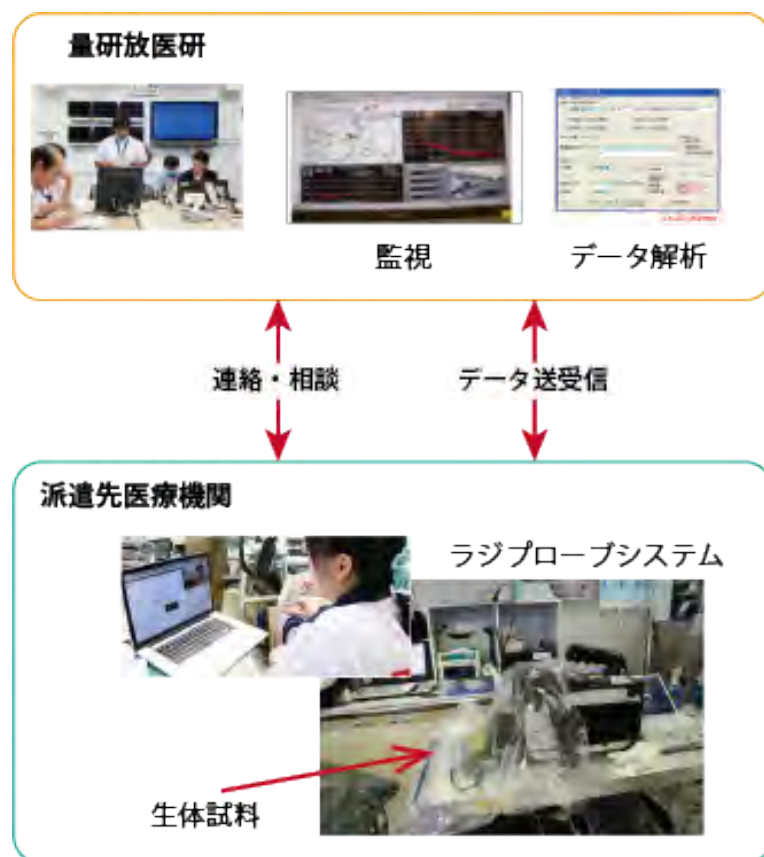


図 4-4 派遣先での簡易計測による活用事例

派遣先の医療機関で、専門家による生体試料（尿）の簡易的測定結果をデータ送信し、測定データを量研放医研の専門家が解析して、解析結果を派遣先の医師等に伝達する。その情報を元に治療の必要性、治療薬等を判断し、派遣先の医療機関で専門的支援をする。

4.3.2.2. 初動対応での活用

CBRNE テロ災害発生時に、初動対応機関等がこれらのシステムを使用して、テロ災害の発生現場で検知活動を行い、災害対策本部や現地調整所、現地指揮本部にいる専門家や、遠隔地の専門機関、研究機関等と検知結果等の危機管理情報をリアルタイムで共有することで、迅速に適切な対策を講じることができ、被害を最小限にとどめる効果があると思われる。

4.3.3. 情報共有システムを活用した専門的支援

量研放医研で運用している「緊急被ばく線量評価情報共有・伝達システム」の機能の中で、専門家派遣で活用できる機能としては、複数の職員間での情報共有としての掲示板機能とラジプローブシステムの閲覧機能である。情報共有システムに派遣先である量研放医研以外の場所からアクセスが可能となるように本年度は、設定を変更した。

量研放医研以外の高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターとその派遣者との情報共有については、それぞれの専門家派遣の状況、患者の受入れの状況が考えられるが、これらも掲示板機能で対応可能と思われる。

また、原子力災害医療派遣チームの派遣と待機の状況、チームの派遣先、活動状況の共有が必要と思われるが、本システムに機能追加するには、原子力災害医療派遣チームの活動の具体的運用方法の整理が必要である。

これらの情報共有システムのページの構成としては、現時点では、ログイン画面、掲示板、ラジプローブシステム、EMIS となる（図 4-5）。

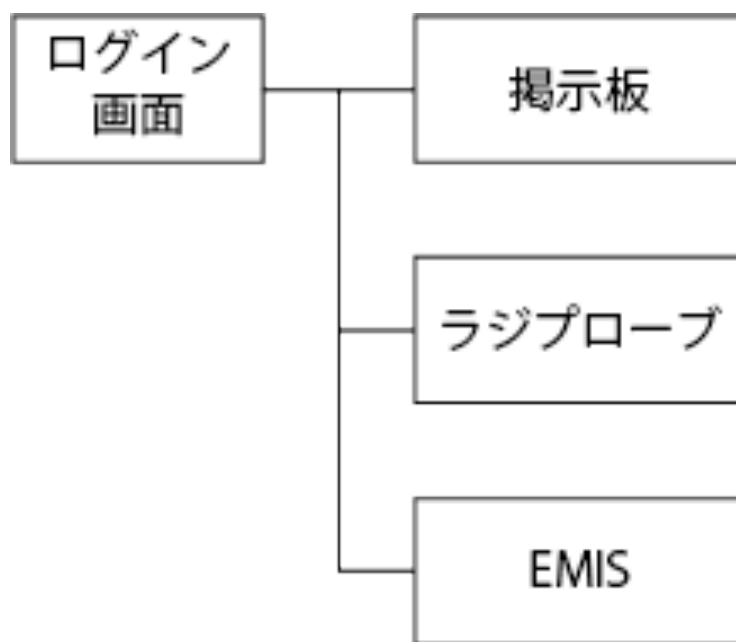


図 4-5 情報共有システムのページの構成

4.3.4. 災害医療との連携

災害医療と原子力災害時の被ばく医療の連携としては、被災地域の医療の状況、原子力災害拠点病院と原子力災害医療協力機関の被災状況、原子力災害医療派遣チームの活動状況の情報共有がある。EMIS には、すべての医療機関がアクセスできることから、被災地域の医療の状況、原子力災害拠点病院の被災状況については、EMIS で

の情報共有が可能である。被災地域の災害医療の状況を把握するため、情報共有システムのページに EMIS のページを表示させる（図 4-6）ことで、ウェブページの切り替えがややスムーズに行える。なお、EMIS のウェブページにアクセスするには、EMIS のログイン ID とパスワードが必要である。なお、通常の EMIS のウェブページから本情報共有システムにはアクセスできない。

原子力災害医療協力機関のうち、医療機関であればこの EMIS を利用することができるが、医療機関でない協力機関は EMIS を利用できない。

原子力災害時の被ばく医療に特有の情報として、被ばくあるいは汚染がある傷病者の受入れに関する情報、避難退域時検査の状況、放射線モニタリング情報、原子力災害医療派遣チームの活動状況などがある。これらの項目は、EMIS には、入力できないため、原子力災害時の情報共有システムとして独自に設計、構築する必要がある。

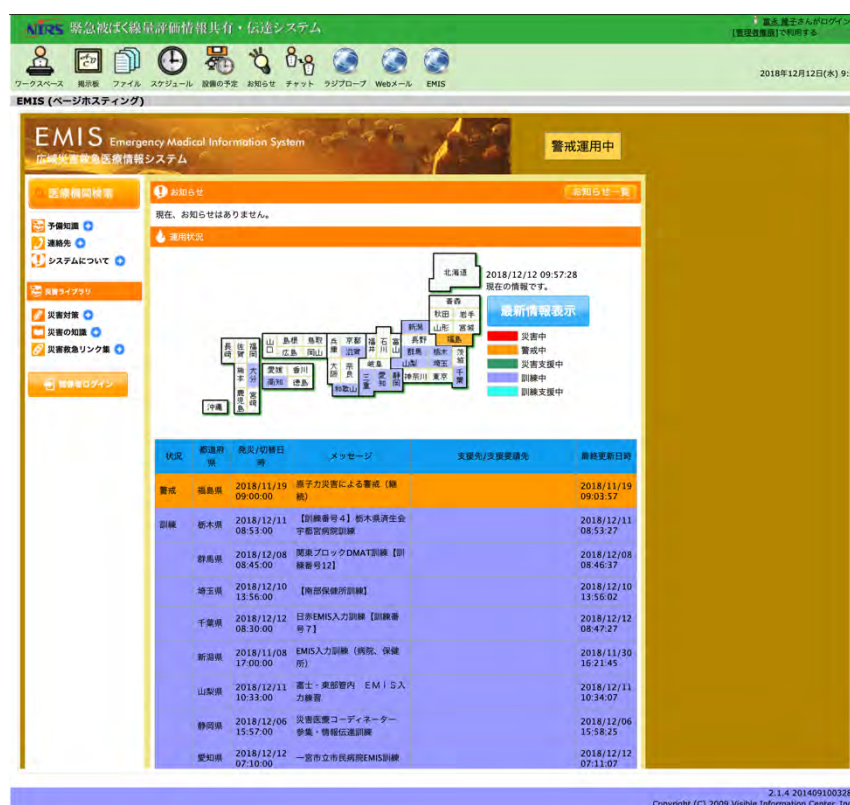


図 4-6 情報共有システム内の EMIS のウェブページ

4.4. 考察

量研放医研が設置している染色体ネットワーク会議を活用する方策の一つとして、日本人類遺伝学会の臨床細胞遺伝学認定士の協力を得る方法がある。これには、被ばく医療での染色体分析の画像診断についての研修開催により被ばく医療での染色体分析の知見を付与し、協力体制の強化につなげる。

検知システムを活用した専門的支援については、All hazard approach による初動対

応手順の検討とともに、有効な活用方法、関係機関との連携方法について、さらに検討が必要である。

情報共有システムの活用として、EMIS との連携があるが、高度被ばく医療支援センターでの利用であれば、現行の EMIS にそれぞれがアクセスし、情報共有が可能であるが、医療機関でない原子力災害医療協力機関が使用するには、災害医療と原子力災害のそれぞれの所管省庁である厚生労働省、原子力規制庁、内閣府での調整、制度設計が必要である。DMAT 隊員への被ばく医療の研修など、災害医療と原子力災害時の被ばく医療の連携が、現場で活動する医療従事者間で進展すれば、情報共有システムが不可欠となることが予想される。原子力災害時の情報共有システムとして新たにシステムを構築するのであれば、システムの詳細設計、管理主体、予算措置などを考慮する必要がある。

4.5. 結論

原子力災害、RN テロ・災害、RI 事業所等での労災事故などにおける専門的支援体制について、染色体ネットワーク会議等の活用、検知システムの活用、情報共有システムの利用、災害医療との連携の各項目について検討した。今後、この専門的支援体制の構築と強化のためには、詳細な検討が必要であり、次年度以降に検討する。

5. 【検証1】モデル地域での検証

5.1. 本年度の研究計画

本年度は、原子力災害対策重点区域（24 道府県）及びそれ以外の地域（23 都県）で研修等を実施するモデル地域を選定し、調査研究1～3へ反映する。

5.2. 検討の経緯

5.2.1. 初動対応機関の研修

原子力災害対策重点区域（24 道府県）における初動対応機関の研修を実施する地域の選定を研究協力者と検討した。さらに、原子力災害対策重点区域以外の地域（23 都県）の初動対応機関である消防、警察に対する研修、講習会に関しては、量研放医研に依頼があった CBRNE 災害対処千葉連携研修会、市川市消防局西消防署特殊災害研修を活用し、多機関連携に関連する情報収集、初動対応の手順、研修方法、教材の開発について検討した。

5.2.2. 医療機関の研修

原子力災害時の医療に関する研修は、調査研究2で提案する新たな体系化による研修を来年度以降に開催して検証する予定とした。原子力災害対策重点区域以外の地域（23 都県）の医療機関に対する研修としては、量研放医研と被ばく医療に関する協力協定を締結している医療機関を対象として研修を実施することを検討し、全国の医療機関に展開できるためのプログラム、研修方法、教材の作成を検討した。

5.2.3. 災害医療との連携の研修

原子力災害が発生した際、地震や津波などの自然災害との複合災害である場合は、災害医療と緊密に連携して、活動することとなっている。そこで、日本 DMAT（災害派遣医療チーム）の技能維持研修の参加者に対して、原子力災害、被ばく医療について研修の機会を提供することを検討した。

5.3. 結果

5.3.1. 初動対応機関の研修

原子力災害対策重点区域（24 道府県）の初動対応機関では、各地域あるいは各地域の消防本部等で研修や訓練が実施されているので、統一された研修体系や教材がない。そこで、来年度は、原子力災害時の対応に関して、実際に初動対応機関の職員が必要と考えている研修や教材について、研究協力者等を交えて検討することとした。その結果として、全国で統一した研修や教材の作成を目的とする。

RI 事業所での事故や RN テロ・災害等の初動対応に関する研修としては、CBRNE

災害対処千葉連携研修会と市川市消防局西消防署特殊災害研修で、研修および机上演習等を実施し、All hazard approach での初動対応手順や教材について検討した。教材については、実際に研修で使用した。

CBRNE 災害対処千葉連携研修会では、特にダーティボムを想定した事態に対する必要な項目を検討した結果、「放射線テロ災害での放射線防護と初動対応」の講義の他、負傷者の救命率の向上にはターニケット(止血帯)の使用が不可欠であると考え、これらの研修を実施した。机上演習もダーティボムを想定して実施したところ、出動時の指令、爆発物の事案での対応者の安全確保と救助および救急、医療の介入の遅れといった課題が抽出された。

市川市消防局西消防署特殊災害研修では、CBRNE の原因物質が複合して存在する場合の初動対応について、必要な項目を検討した結果、「化学テロ災害」「放射線テロ災害」の基本的な講義と関連する資機材を使用した実習による研修、CBRNE テロ災害を想定した机上演習を実施した。この結果、教材としては講義資料を作成したが、今後は、標準的なテキストおよび自己学習できる教材として開発予定である。また、初動対応手順については、CBRNE の原因物質が特定されるまでの手順がマニュアルやガイドライン等で明確になっていないことから、同じ想定の上上演習でも参加者によって対応や活動計画が異なる結果となり、基本的な All hazard approach での初動対応手順を検討する必要がある。

また、原子力災害対策重点区域の消防本部とは異なり、放射線測定器の保有数が少なく、限られた数量の測定器を有効に活用して、初動対応要員が安全に活動できるための手順等も検討する必要があることが判明した。

5.3.2. 医療機関の研修

原子力災害時の医療に関する研修は、今回提案した研修体系の研修を 2019 年 5 月に量研で開催予定とした。この研修では、本研究事業で作成した標準テキストも使用予定である。

全国の医療機関向けの RI 事業所での事故や RN テロ・災害等での被ばく医療に関する体制整備の課題を抽出するため、量研放医研と被ばく医療に関する協定を締結している医療機関で、現場除染なしまたは乾的除染で医療機関が傷病者を受入れるために必要な知識や技術の習得を目的とした研修を実施した(資料 8 および資料 9)。この研修で参加者に被ばく医療に関する研修についての要望等を自由記載で調査した結果、包括的被ばく医療の研修や教育に関する課題が挙げられた。これは、調査研究 2 の医療機関での受け入れ体制整備の項目に記載している。

5.3.3. 災害医療との連携の研修

災害医療と原子力災害医療、被ばく医療の体制が連携するには、それぞれの活動を

担う医療従事者が共通認識を持つことが不可欠である。防災基本計画では、原子力災害対策編において、「被災地方公共団体及び被災地の医療機関は、原子力災害以外の災害の発生状況等を勘案しつつ、拠点となる原子力災害医療機関を中心として医療活動を行うものとする。その際、災害拠点病院や DMAT 等が行う災害医療活動と緊密に連携するものとする」との記載があり、DMAT との連携にあたり、被ばく医療と災害医療について相互に共通認識を持つ必要がある。原子力災害拠点病院の中には、災害拠点病院、基幹災害拠点病院に指定されている医療機関もあり、災害医療と原子力災害時の医療についてどちらも研修を受講している医療従事者は一定数存在する。しかし、原子力災害対策重点区域以外の災害拠点病院、基幹災害拠点病院の職員が原子力災害や被ばく医療の研修を受講する機会はほとんどないと思われる。そこで、本研究事業では、原子力災害対策重点区域以外の 23 都県の DMAT 隊員に被ばく医療の研修の機会を提供することとした。今後は、DMAT の技能研修の日程に合わせ、パイロット研修の実施に向けて、研修内容を検討し、関係者との調整を行う予定である。

5.4. 考察

包括的被ばく医療の体制構築には、原子力災害対策重点区域（24 道府県）以外でも初動対応機関、医療機関が、RN テロ・災害や被ばく医療についての共通認識を持っていることが重要である。そのためには、標準的な研修、講習、テキストが不可欠であるが、原子力災害以外の RI 事業所での事故や RN テロ・災害等に関連する教育は、各関係機関で独自に実施されているのみであり、体系的に実施されていない。対象となる事案、事故、災害の規模や被災者の状況、対応時の安全確保や危険情報についてもそれぞれ異なることから、原子力災害に関する研修よりも広範な事象に対し、最低限必要な対応が確実に実施できるようになる研修が求められる。

DMAT の技能研修での被ばく医療研修の機会の提供については、DMAT と原子力災害医療の所管省庁が異なることから、統一した研修による認識、知識の共通化に支障があると予測されることより、災害医療と原子力災害時の被ばく医療が円滑に連携できないため、省庁間の調整は不可欠である。今後、パイロット研修を実施して、連携あるいは協働した研修の必要性が認識された際には、行政的な調整がなされることを期待する。

5.5. 結論

原子力災害に関する研修は、原子力災害対策指針、原子力災害拠点病院等の施設要件で、教育研修、訓練等の実施について言及されている。しかし、RI 事業所での事故や RN テロ・災害等に関連する教育は、関係機関の独自の研修があるのみで、原子力災害の研修や訓練と統一されたものは実施されていない。そのため、今後は、原因ご

とに必要な研修や教育の内容と、統一して実施すべき研修や教育の内容を詳細に検討し、相互に整合性の取れた研修や教材を作成すべきである。

本研究事業では、次年度以降、原子力災害に関する研修は基礎から専門的な研修まで体系化したものを教材とともに作成し、RI 事業所での事故や RN テロ・災害等に関連する研修は、関係機関に対して効率的に短時間で教育できる教材を作成することを目標とする。

資料 5-1

原子力災害拠点病院以外の救命救急センター等での研修

1. 日本医科大学千葉北総病院

1. 研修概要

開催日時：2018年9月27日(木)13:30 – 17:00

開催場所：日本医科大学千葉北総病院

参加者： 日本医科大学千葉北総病院救命救急センターおよび放射線センターの
職員 15 名
放医研講師 4 名

研修内容：

- ① 講義（40分）「被ばく医療」
- ② 講義（40分）「放射線防護」
- ③ 実習（30分）「施設資機材の養生」
- ④ 実習（60分）「PPE 着脱、汚染検査、除染」

2. 研修内容の詳細

- 講義「被ばく医療」；放射線の基礎、放射線の人体影響、放射線事故・テロ・災害の種類、被ばく医療の概要、医療機関での被ばく医療について講義
- 講義「放射線防護」；外部被ばく防護、内部被ばく防護、
- 実習「施設資機材の養生」；講義室の一部を汚染傷病者の受入れエリアと想定して、床の養生について指導しながら、実際に研修生が養生を実施
- 実習「PPE 着脱、汚染検査、除染」；サージカルガウン等の PPE を着装し、汚染のある傷病者に見立てたマネキンの汚染検査と除染を実施したのちに、自身の PPE の脱衣の仕方について、講師が注意点を解説しながら各自で脱衣



2. 日本医科大学付属病院

1. 研修概要

開催日時：2018年10月11日

開催場所：日本医科大学付属病院

参加者： 日本医科大学付属病院の職員 37名
放医研講師 4名

2. 研修内容

① 講義（30分）「サーベイメーターについて」

② 実習（30分）「放射線測定器の取扱」

3. 研修内容の詳細

- 講義「サーベイメーターについて」；放射線測定器のうち主に GM サーベイメーターの取り扱い方について講義
- 実習「放射線測定器の取扱」；放射線測定器（GM サーベイメーター）を用いてマントル等を測定する。

3. 東京大学医学部付属病院

1. 研修概要

開催日時：2018年11月28日 18:00 – 20:00

開催場所：東京大学医学部附属病院

参加者： 東京大学医学部附属病院の職員 22名
放医研講師 4名

2. 研修内容

① 講義（45分）「被ばく医療と放射線防護」

② 実習（60分）「放射線測定器の取扱」

3. 研修内容の詳細

- 講義「被ばく医療, 放射線防護」；放射線の基礎、放射線の人体影響、放射線事故・テロ・災害の種類、被ばく医療の概要、医療機関での被ばく医療、外部被ばく防護、内部被ばく防護について講義
- 実習「放射線測定器の取扱」；放射線測定器（GM サーベイメーター、NaI シンチレーションサーベイメーター）の使用方法的説明、マントル等を測定する。

資料 5-2
研修用資機材一覧

講義用

| | |
|-----------------|---------------|
| ノートパソコン | 1 台 |
| 発表用データ | 必要数 |
| プロジェクター | 1 台 |
| プロジェクター周辺機器 | 必要数 |
| ポインタ | 1 個 |
| 配布資料 | 人数分+ α |
| 延長コード (ドラム) | 必要数 |
| 延長コード (テーブルタップ) | 必要数 |

養生実習

| | |
|-------------------|---------|
| ビニールシート | 1 本 |
| 養生シート | 2 本 |
| ハサミ | 5 本 |
| 養生テープ | 5 個 |
| トラテープ | 2 個 |
| アララシート | 2 本 |
| 立入禁止用コーン | 必要数 |
| ゴミ袋 (撤去用) | 90 L 二袋 |
| ラミロール 840mm x 20m | 1 本 |

防護装備着脱実習

| | |
|--------------------|---------------|
| アンダーウェア | 人数分+ α |
| 個人線量計 | 人数分+ α |
| 個人線量計の記録用紙 | 一式 |
| マスク | 人数分+ α |
| 帽子 (男性用/女性用) | 人数分+ α |
| タイベックスーツ (M/L/L L) | 人数分+ α |
| アイソレーションガウン | 人数分+ α |

| | |
|------------------|----------------|
| フェイスシールド | 人数分+ α |
| シューズカバー | 人数分+ α |
| 綿手袋 (M/L/L L) | 人数分+ α |
| ゴム手袋 (M/L/L L) | 人数分 $\times 2$ |
| 養生テープ | 人数分 $\div 2$ |
| サインペン (赤/青/黒) | 各 3 本 |
| 椅子 (研修先から借用) | 人数分+ α |
| ゴミ袋 (脱衣用) | 90 L 二袋 |
| ハサミ | 2 本 |
| GMサーベイメーター (デモ用) | 1 台 |

汚染検査実習

| | |
|---------------------|---------------|
| GMサーベイメーター | 人数分+講師 |
| NaI シンチレーションサーベイメータ | 1 台 |
| 予備電池 | 数個 |
| マントル (パウチしたもの) | 必要数 |
| 記録用紙 | 人数分+ α |

除染実習

| | |
|---------------------------------|---------|
| NaI シンチレーションサーベイメータ | 1 台 |
| ゴミ箱 (折りたたみ式) | 3 個 |
| ゴミ袋 | 90 L 二袋 |
| ゴム手袋 (替え用) | 数枚 |
| GMサーベイメーター (ホット用) | 1 台 |
| GMサーベイメーター (コールド用) | 1 台 |
| 記録用紙 | 実習分 |
| スミアろ紙 | 一箱 |
| ビニール袋 (ホット \rightarrow コールド用) | 20 L 一袋 |
| 除染資機材一式 | 1 式 |
| 訓練用マネキン | 1 体 |
| 水濡れ検知シート (必要であれば) | 1 本 |

6. まとめ

本研究事業は、包括的被ばく医療の体制構築のために、原子力災害、放射線テロまたは核攻撃（以下、RN テロ・災害）、放射線障害防止法の対象事業所（以下、RI 事業所）での放射線事故や労災事故など、発生場所あるいは災害の種類によって区別されることなく、その事象に対して適切な初動対応や緊急被ばく医療が実施されるように、初動対応機関、医療機関の体制整備、人材育成に資する課題、解決策、システム、教材等を提案することが目的である。この包括的な被ばく医療の体制構築には、これまでの緊急被ばく医療体制、原子力災害医療体制、原子力防災体制などを鑑み、原子力災害への対応の充実と強化、原子力災害以外の RN テロ・災害、労災事故、放射線事故などへの対応能力の向上が必要となる。そこで、本研究事業では、初動対応機関、医療機関、専門機関に分けてそれぞれの対応の充実と強化のための方策を調査、検討し、体制構築、人材育成に必要な資料、教育方法、教材の開発を中心として、課題の抽出と整理を行い、解決策の一案を提案した。

【調査研究1】では、避難退域時検査及び簡易除染マニュアルの実効性のある運用についての課題と解決のために必要な情報、All hazard approach も含めた対応手順の作成のために必要な情報が得られた。

【調査研究2】では、原子力災害での被ばく医療に関する研修の新たな体系化と高度専門的研修、研修制度の提案と、標準テキストの教材の作成を行い、原子力災害以外の被ばく医療については、初療のためのフローチャートを作成し、全国の医療機関（救命救急センター等）で効率的に短時間での研修の座学と実習から構成されるプログラムとテキストを作成した。

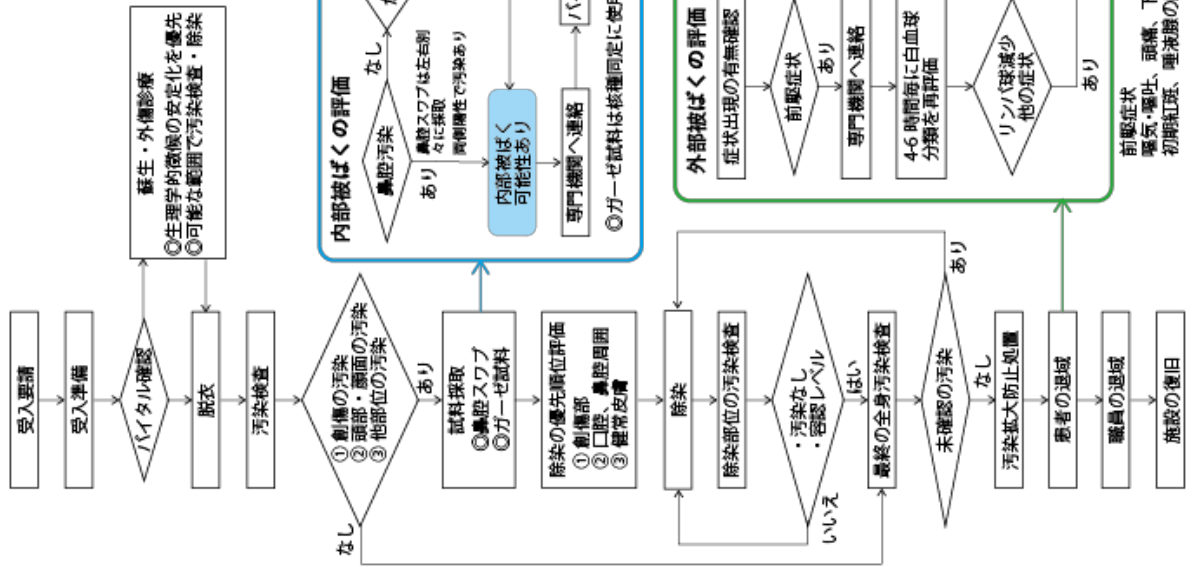
【調査研究3】では、専門的支援体制として既存のネットワークの活用と検知システムの活用について提案し、情報共有システムによる原子力災害時の関係機関間の情報共有、災害医療体制との情報共有について考察し、課題と解決策を提案した。

【検証1】では、本年度に作成した教材、研修内容で、実際に研修を行うことで、参加者からのフィードバックが得られ、包括的被ばく医療の体制構築に必要な人材育成の方法、教材等について調査研究1～3に反映できる課題が見出された。

本年度は、包括的被ばく医療の体制構築の課題、その解決策について整理した。次年度以降は、対応機関ごとの研修や人材育成、専門的支援体制からの視点で得られたことや作成した教材や研修体系、研修制度、提案したシステム等を実際に使用、運用し、さらに課題を抽出し、改善していくこととする。

| | | | | |
|------------|-----------|---------|-------------|---|
| ID | 氏名 | (男・女) | 年齢 | 事故概要 |
| 受傷日時 | 年 月 日 | 時 分 | | |
| 来院日時 | 年 月 日 | 時 分 | | |
| 来院時バイタルサイン | BP / mmHg | HR /min | RR /min | SpO ₂ % (O ₂ L/min) |
| | BT / °C | JCS | GCS (E V M) | |

表面密度 = $\frac{\text{測定値} - \text{B.G.}}{60}$
 $\text{Bq/cm}^2 = \text{機器効率} \times \text{窓面積} \times \text{線源効率率}$



| | | |
|----------|------------|-------|
| 測定器 | 表面汚染計 | 空間線量計 |
| 型式 | | |
| B.G.レベル | cpm (mir-) | μSv/h |
| B.G.測定日時 | | |
| 窓面積 | | |
| 機器効率 | | |
| 校正定数 | | |

B.G.:バックグラウンドレベル
 通常時の測定値

| | | |
|-----------|----------------------------|----------------------------|
| 汚染残存 | <input type="checkbox"/> 無 | <input type="checkbox"/> 有 |
| 外部被ばくの可能性 | <input type="checkbox"/> 無 | <input type="checkbox"/> 有 |
| 内部被ばくの可能性 | <input type="checkbox"/> 無 | <input type="checkbox"/> 有 |
| 評価・診断 | | |



担当医

看護師

被ばく線量と前駆症状

| 症状 | 線量 | 1~2 Gy | 2~4 Gy | 4~6 Gy | 6~8 Gy | > 8 Gy |
|----|----|------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 嘔吐 | | 10~50% 2hr 以降 | 70~90% 1~2 hr | 100% 1hr 以内 | 100% 30min 以内 | 100% 10min 以内 |
| 下痢 | | (-) | (-) | 中等度 <10% 3~8 hr | 重度 >10% 1~3 hr | 重度 ほぼ 100% 1hr 以内 |
| 頭痛 | | 軽度 | 軽度 | 中等度 50% 4~24 hr | 重度 80% 3~4 hr | 重度 80~90% 1~2 hr |
| 意識 | | 正常 | 正常 | 正常 | 混濁例あり | 喪失 (50Gy 以上で 100%) |
| 体温 | | 正常 | 上昇 10~80% 1~3 hr | 発熱 80~100% 1~2 hr | 高熱 100% 1 hr 以内 | 高熱 100% 1 hr 以内 |

IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998 より改変

被ばく線量と発症期の所見

| | 急性放射線症の重症度と被ばく線量 | | | | | |
|--|------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------|--|
| | 軽症 1~2 Gy | 中等度 2~4 Gy | 重症 4~6 Gy | 極めて重症 6~8 Gy | 致死性的 > 8 Gy | |
| リンパ球数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$) 被ばく後 3~6 日 | 0.8~1.5 | 0.5~0.8 | 0.3~0.5 | 0.1~0.3 | 0.0~0.1 | |
| 顆粒球数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$) | > 2.0 | 1.5~2.0 | 1.0~1.5 | ≤ 0.5 | ≤ 0.1 | |
| 血小板数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$) | 60~100 10~25% | 30~60 25~40% | 25~35 40~80% | 15~25 60~80% | < 20 80~100%*1 | |
| 下痢 | なし | なし | 稀 | 被ばく後 6~9 日に出現 | 被ばく後 4~5 日に出現 | |
| 脱毛 | なし | 中等度 被ばく後 15 日以降 | 中等度ないし 完全 11~21 日 | 完全 11 日以降 | 完全 10 日以前 | |
| 潜伏期 (日) | 21~35 | 18~28 | 8~18 | ≤ 7 | なし | |
| 臨床症状 | 倦怠感 衰弱 | 発熱、感染、 出血、衰弱 | 高熱、感染、 出血 | 高熱、下痢、 嘔吐、めまい、 見当識障害、 血圧低下 | 高熱、下痢、 意識障害 | |
| 致死率 | 0 | 0~50% | 20~70% | 50~100% | 100% | |
| 死亡時期*2 | | 6~8 週以降 | 4~8 週以降 | 1~2 週以降 | ~2 週 | |

*1 50Gy を越すような高線量被ばくの場合は、血球減少の前に死亡する。

*2 治療内容により死亡率、死亡時期は変化する。

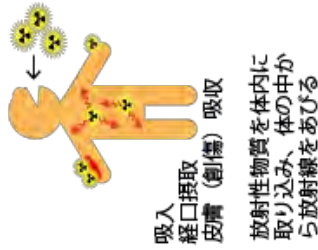
青木芳朗/前川和彦「緊急被ばく医療テキスト」(医務科学社)より改変

被ばくと汚染

外部被ばく



内部被ばく



体表面汚染



表面汚染検査時の注意点

- ・プローブ (検出部) を汚染しないようにビニール袋、ラップなどで覆う。
- ・基本的に消音とする。

距離を一定に保つ



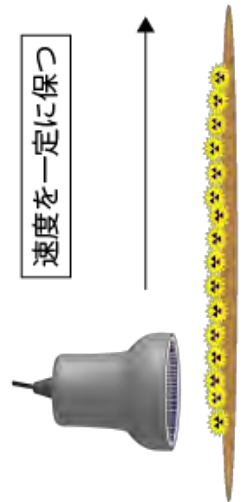
- ・測定する表面からの距離が離れると測定値が小さくなる。
- ・除染前後で距離が異なると、正確な比較ができない。

角度を一定に保つ



- ・測定する表面と検出部の角度が異なると、検出部との距離が異なる。
- ・測定器への放射線の入射方向によって感度が異なる。

速度を一定に保つ



- ・時定数や応答時間を意識する。
- ・早く動かすと、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまう。

参考資料

**原子力災害、放射線事故・テロ・災害時の
患者搬送における汚染拡大防止**

平成 31 年 3 月

量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所

本資料は、原子力規制庁平成 30 年度放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）放射線安全規制研究推進事業（包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究）において作成された成果です。

原子力災害、放射線事故・テロ・災害時の患者搬送

1. 背景と目的

放射性物質が付着した傷病者を搬送するにあたっては、搬送車両等（救急車やヘリコプター）への汚染拡大防止対策を講じる。対策は、搬送車両や搭載機材、搬送を担当する救急隊員等への放射性物質の付着の防止となる。これらの対策の目的は、放射性物質の汚染拡大防止と資機材の早期の復旧（放射性物質の付着がなく、通常の業務に使用できるようにする）である。本資料はその対策について解説する。

2. 傷病者の汚染拡大防止

搬送する傷病者に放射性物質が付着している場合は、その部分をシートやガーゼなどで被覆して接触による汚染拡大を防止する（図1）。放射性物質の付着が全身あるいは広範囲におよび、個別の被覆が困難である場合は、全身を搬送シート等で被覆して汚染拡大を防止する（図2）。事業者によっては、搬送用の袋状になったシート等を保有していることもあり、使用可能な場合もある。このシートは全身の被覆ができるとともに複数箇所にファスナーがついており、血圧測定などで腕のみをシートの外に容易に出せる。

搬送する傷病者の放射性物質の付着部位や全身が搬送シート等で被覆され、汚染拡大防止の処置が講じられている場合は、車両や航空機の養生は状況に応じて不要となる場合がある。



図1 部分的な被覆

シート等で放射性物質が付着している部分を被覆する。



図2 全身の被覆とバックボードでの固定

3. 救急車の汚染拡大防止

(1) 車両内部

救急車内部の汚染拡大防止の方法は、車両の床と壁の養生である。

1. 車両の床をビニールシートで養生する。ストレッチャーの架台などは動作を妨げないようにする。雨天時などビニールシートでは滑るような場合は、車両の床をビニールシートの上から紙シートで養生する。
2. 車内の椅子にビニールシートあるいは大きいビニール袋等を被せる。シートベルトなどの装着ができるように必要な箇所には切れ込みを入れる。
3. シートベルト等は傘用のビニール袋など細長いビニール袋を使用して養生する。
4. 車両の壁はビニールシートで天井近くから床まで養生する。ビニールシートは上辺にあらかじめテープが付いているものを使用すると作業の時間短縮となる。
5. バックドアも壁と同様に養生する。



図3 車両内部の養生

ビニールシートとろ紙シートで床を養生する。

6. 養生終了後は、養生シートがストレッチャーの架台等の動作の妨げになっていないことを確認する。

(2)資機材

車両等に搭載されているモニター等は、個別にビニール袋等で被覆する方法と、車両の壁の養生の奥に設置されるようにする方法（図4）がある。車両の壁の養生の奥にモニター類がある場合は、ビニールシートに切り込みを入れて、ケーブル等を出し、使用できるようにする。



図4 バックドアの養生

壁の養生と同様に風で剥がれないように辺縁にテープを貼付する。



壁のシートの切れ込み部分からケーブル等を出す。

図5 モニター類の養生

壁の養生シートの奥にモニター類を設置する。

この場合、シート的一部分に切り込みを入れて、ケーブル等を出す。切り込み部分はテープで補強する。

(3)ストレッチャー

ストレッチャーのマットレス等はビニールシートあるいはビニール袋(45～120ℓの大きいもの)を使用して養生する。サイドフレームやハンドルなどの動作のために放射性物質が付着した手指等で接触する部分は、ビニールシートやラップ、テープ等で養生する。脚部は養生が困難であり、車両に搭載するために脚折れ式となっていることもあり、養生しない。



図6 ストレッチャーの養生

マットレス、サイドフレーム、ハンドルなどはビニール袋、ビニールシート、ラップなどを使用して養生し、ベルト等を通す部分はテープで補強する。

ベルトは、傘用のビニール袋などを利用すると養生が容易である。

4. ヘリコプターの汚染拡大防止

搬送にヘリコプターを使用する場合も可能な限り機内の養生をする。ただし、安全な運行に支障がある場合は、養生を実施せず傷病者の搬送を行い、その後汚染検査と除染を実施することとする。

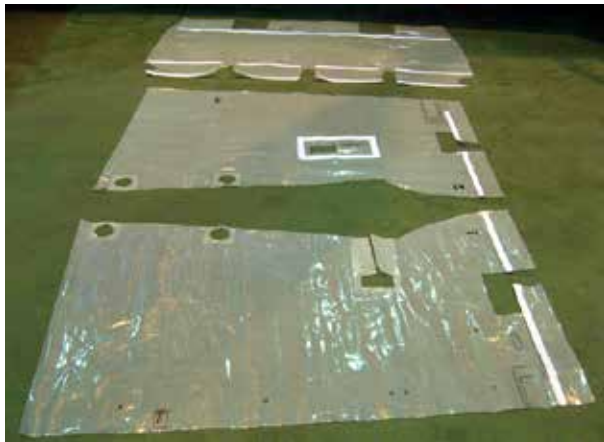


図7 切り抜いた養生シート
ベルト等を通す部分はテープで補強する。



図8 養生シートの保管
切り抜いた養生シートは折りたたんで保管する。

(1)養生シートの準備

あらかじめ機内の構造に合わせてビニールシートを切り抜いておく。貼り付ける部分は、バルクロテープなどを貼付しておくことで養生の時間を短縮できる。

(2)機内

救急車と同様にビニールシートで機体内を養生する。風等で剥がれないように辺縁はテープで貼付する。

(3)資機材

機内に搭載しているモニターやストレッチャーは救急車の資機材と同様にビニールシートやビニール袋で養生する。



図9 養生シートの貼付
辺縁はテープでしっかりと貼り付ける。
ベルトなどはビニールに切り込みを入れて出す。ベルト自体は、傘用のビニール袋などを利用すると養生が容易である。



ケーブル類は使用できるように切り込み部分から出す。
図10 モニター類の養生
ビニールシートで一括で覆うか、ビニール袋で個別に被覆する。

5. 搬送要員の汚染拡大防止

搬送に従事する要員の汚染拡大防止としては、個人防護装備を着用する。



図 11 搬送時の個人防護装備

タイベックスーツ、ゴーグル、マスク、ゴム手袋（二重）、靴カバーを着用する。

内側のゴム手袋、靴カバーは、放射性物質が侵入しないようにテープで目張りをする。

靴カバーは屋外で使用した場合、すぐに破れてしまう、あるいは滑りやすいため、靴底が全面ゴム製のものなどを使用するか、通常の装備であるブーツをそのまま使用し、活動後に靴底の汚染検査、除染をすることでも良い。

6. 活動後の汚染検査と除染

搬送終了後には、養生シートをゆっくり丁寧に剥がす。その後、車両内部、資機材の汚染検査を行う。汚染があれば拭き取りで除染する。

養生シートを剥がす時は搬送時と同様に個人防護装備を着用する。使用済みの養生シートは放射性物質が付着している廃棄物として、処理する。

7. 空調

全身の被覆、防護装備の着用状況では、長時間の搬送による熱負荷での発汗、体温上昇による生理的負荷を回避するため、搬送中の空調は基本的に使用する。環境への放射性物質の放出がない場合は外気循環、環境への放射性物質の放出がある場合は内気循環でエアコンを使用する。エアコンの送風口は塞がない。

8. 最後に

放射性物質が付着している傷病者の搬送における車両等の汚染拡大防止対策について解説した。車両等の養生については、傷病者の緊急度、災害の規模、準備にかかる時間などを考慮して、傷病者の被覆のみにする、あるいは床面の養生のみに省略することも可能である。養生にかかる時間は、あらかじめ訓練等で確認しておくことが望ましい。

平成 30 年度放射線対策委託費
(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)
放射線安全規制研究推進事業

包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究

成果報告書

別添資料 1

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

放射線医学総合研究所 被ばく医療センター

放射線の影響

原子力災害 基礎研修
原子力災害基礎-3

講義時間；30分

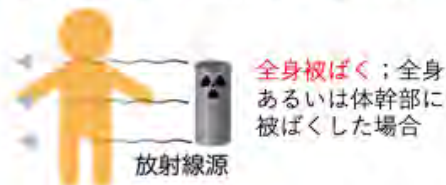
内容

- 外部被ばくと内部被ばく
- 放射線の影響と単位
- 放射線とDNA損傷
- 生存率曲線
- ベルゴニー・トリボンドーの法則
- 実質細胞の放射線感受性
- 放射線の人体影響
- 確率的影響
- 確定的影響（組織反応）
- しきい値
- 被ばくの種類
- 急性放射線症
- 放射線皮膚障害
- 晩発障害
- 放射線によるがんの増加

外部被ばくと内部被ばく

外部被ばく

外部被ばくとは、放射性物質（線源）から放出される放射線を体の外から浴びること。被ばく後、身体には放射線は残らない。



内部被ばく

内部被ばくとは、身体に取り込んだ（吸入、摂食）放射性物質からの放射線を体内で浴びること。



- 体内に取り込む経路
- 吸入摂取
 - 経口摂取
 - 経皮（創傷）吸収

体表面汚染

局所被ばく；体の一部分が被ばくした場合



放射性物質が体表面、衣服等に付着した状態で、一般的に表面汚染では危険な外部被ばくはしない。噴霧、放出された放射性物質を吸入すると内部被ばくにつながる。同時に頭部、顔面の汚染も存在することが多い。

放射線を受ける事を放射線被ばくと言います。

体の外から放射線を浴びるのが外部被ばく、放射性物質を体内に取り込んで体の中から放射線を浴びることが内部被ばくです。

外部被ばくには、全身あるいは体幹部の重要な臓器の大部分を被ばくする全身被ばくと、手指や四肢の一部など身体の一部だけを被ばくする局所被ばくがあります。局所被ばくでは、被ばくした部分の皮膚や骨の影響が現れます。

内部被ばくには、吸入摂取、経口摂取、経皮（創傷）吸収の3つの経路があります。

放射性物質が体の表面や衣服等に付着した状態が汚染です。頭部や顔面に体表面汚染がある場合は、噴霧あるいは放出された放射性物質を吸入したり、放射性物質が浮遊していた空間に滞在していた可能性があるため、内部被ばくの可能性を考えます。

体表面汚染のある部位からは、放射線を検知できますが、局所被ばくの症状が出現するほどの被ばくは通常はありません。ただし、とてもエネルギーが高い放射性物質が高濃度に付着した場合は、皮膚が外部被ばくすることもあります。表面汚染がある人から、周囲の人が外部被ばくするのはとても低いレベルです。

汚染に接触すると汚染拡大するため、注意が必要です。

放射線の影響と単位



放射線を受ける側の単位としては、グレイ (Gy)とシーベルト (Sv)があります。放射線が通ったところでは、放射線のエネルギーを吸収します。この吸収線量の単位がGyです。

人体への影響は、各組織・臓器に対する影響と全身に対する影響とに分けて評価します。各組織・臓器に対する影響を「等価線量」、全身に対する影響を「実効線量」で表します。等価線量、実効線量ともに単位はSvです。

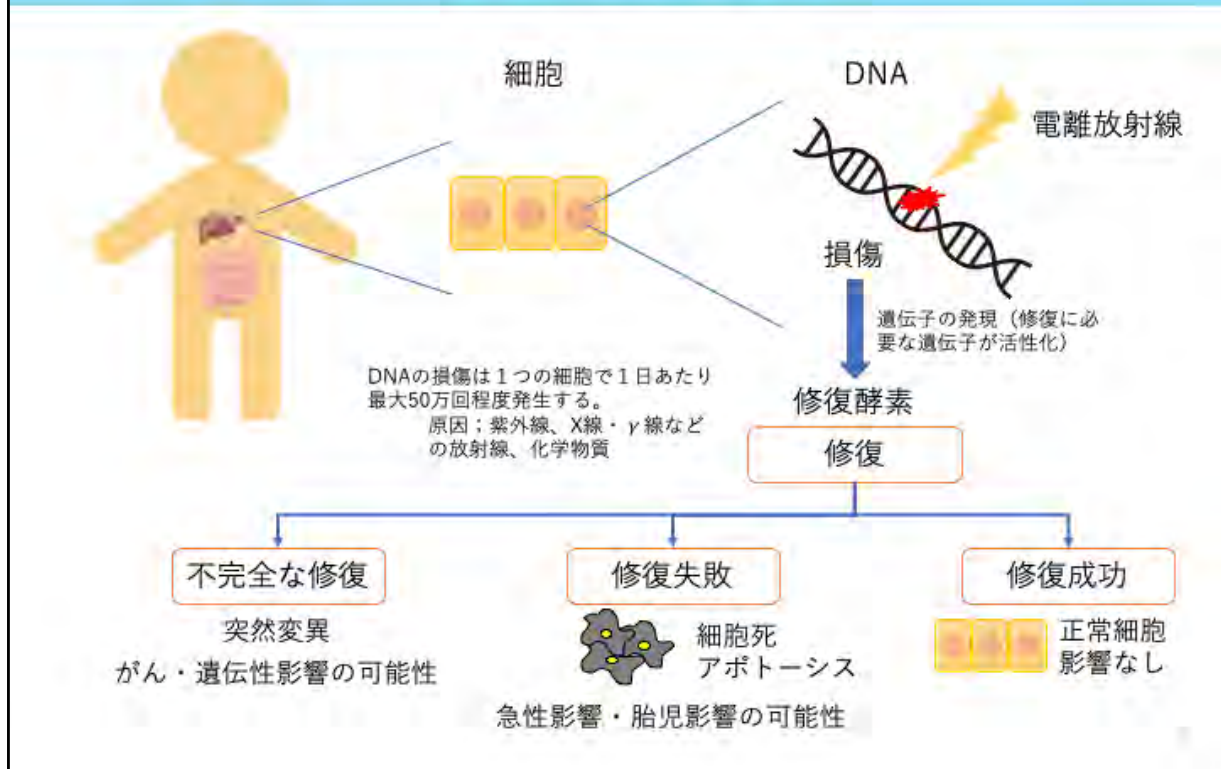
放射線による各組織・臓器への影響は、吸収線量が同じでも、受けた放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い（放射線荷重係数）を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。甲状腺の等価線量、水晶体の等価線量といった使われかたをします。

各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その臓器により影響の現れ方（感受性）が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い（組織荷重係数）を加味して全身について合計したものが実効線量です。防災業務活動では実効線量を測定することになります。

このようにシーベルトは、全身が受ける放射線の量（実効線量）、内部被ばくによって受ける放射線の量（預託実効線量）、ある場所だけ放射線を受取る局所被ばくの量（等価線量）の単位として用いられます。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

放射線とDNA損傷



放射線の生物影響は、生体を通過してエネルギーを与える際の連鎖反応の結果です。

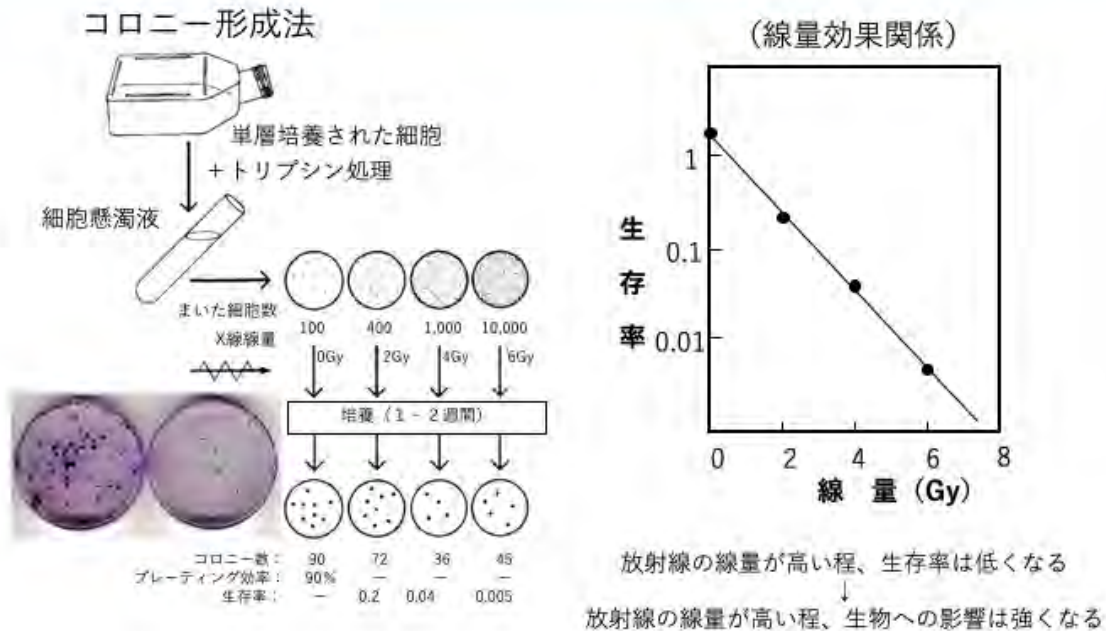
細胞での放射線のターゲットはDNAです。DNAの傷は体の中に備わっているシステムで修復されます。少しの傷なら修復が成功し、元に戻ります。傷が多ければ修復できずに細胞自体が死んでしまいます。また修復が不完全のまま、この細胞は生きながらえた場合、この細胞からがん細胞などが生じる可能性があります。

放射線による人体影響は、細胞が死ぬか、あるいは突然変異を起こすかのどちらかによるものです。

放射線の物理的相互作用は10の⁻¹⁵乗秒で起こります。がんが発症するまでには年単位での時間がかかります。

遺伝性影響とは被ばくした個体の子孫に現れる影響を指しますが、ヒトでは観察されていません。

生存率曲線



自己増殖する細胞をシャーレに播いて培養すると細胞が増殖を繰り返し、シャーレに細胞塊（コロニー）が形成されます。この細胞の増殖を定量的にするために用いられる方法がコロニー形成法です。

放射線を照射した細胞は、増殖が出来なくなりコロニーの形成が少なくなります。放射線を照射していない細胞群を1としたとき、放射線を照射した細胞群でコロニーが形成される割合を生存率と言います。放射線の線量が高くなるほど生存率は低下します。

生存率 = コロニー数 / (まいた細胞数 × プレーティング効率)

ベルゴニー・トリボンドーの法則

細胞分裂頻度が高い（細胞周期が短い）細胞
将来、長期にわたって分裂を続ける細胞
形態的・機能的に未分化な細胞

→ 放射線感受性が高い



放射線の影響を受け易い

基本的に“未分化で増殖盛んな細胞の放射線感受性が高い”

細胞の種類によっても放射線の感受性が異なり、その細胞の再生能力に比例し、分化の程度に反比例します。

細胞分裂の頻度が高い細胞ほど、将来、長期にわたって分裂を続ける細胞ほど、形態や機能が未分化な細胞ほど放射線の感受性が高いため、放射線の影響を受けやすくなります。これをベルゴニー・トリボンドー（Bergonie and Tribondeau）の法則といいます。

この法則は、組織内の細胞の放射線感受性について細かい比較にまで当てはまるものではないが、基本的に“未分化で増殖盛んな細胞の放射線感受性が高い”ことを示しています。

細胞レベルでの放射線の影響は、細胞周期と関連します。細胞が分裂して再び分列を終了するまでの期間を細胞周期といい、G₁期（DNA合成が始まるまでの準備期間）、S期（DNA複製が行われる期間）、G₂期（細胞分裂に必要なタンパク質が合成される細胞分裂準備期間）、M期（細胞分裂が行われる期間）に分けられます。また、G₁期から静止期(G₀期)に移行します。放射線感受性はM期が最も高く、G₁初期から中期にかけていったん低下し、G₁後期からS期にかけて再び感受性が高まります。S期に入ると再び感受性が低下し、この状態がG₂期まで続きます。G₀期は一般に感受性が低いです。このことから盛んに細胞分裂を繰り返している組織や器官では、放射線の感受性が高くなります。

実質細胞の放射線感受性

| 感受性 | グループ | 増殖、分化 | 実質細胞の例 |
|---|---------------------|----------------|-----------------------------------|
|  高い | 増殖幹細胞 | 分裂未分化 | 造血幹細胞、小腸クリプト（幹細胞）、精原細胞、表皮幹細胞、リンパ球 |
| | 分化している幹細胞 | 分裂分化 | 血液系の分化した幹細胞、精母細胞、食道上皮細胞、膀胱上皮細胞 |
| | (血管系、線維芽細胞などの結合組織系) | | |
| | 再生可能な分裂頻度の低い細胞 | 通常はほとんど分裂しない分化 | 肝臓、腎臓、膵臓、副腎、甲状腺、脳下垂体、成人の骨、成人の軟骨 |
| | 低い | 分裂終了細胞 | 分裂終了分化 |

出典：日本放射線技術学会「放射線生物学（改訂2版）」

細胞分裂が盛んで、分化の程度の低い細胞ほど、放射線感受性が高い傾向にあります。

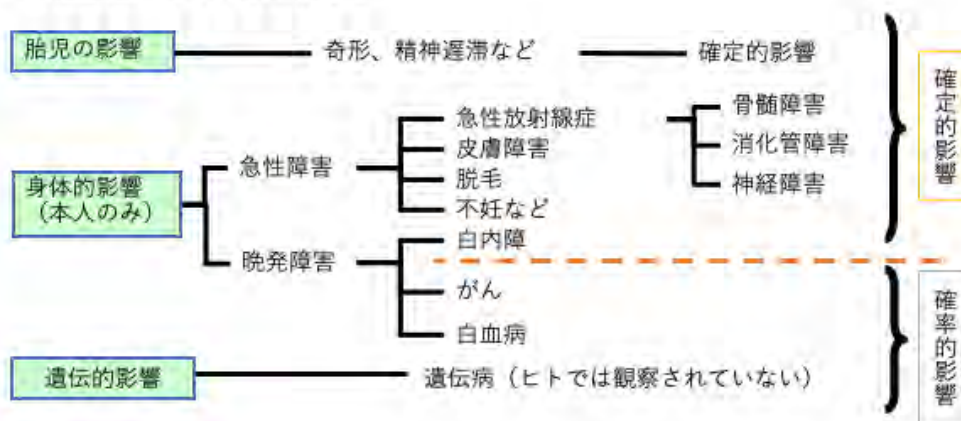
例えば、骨髄にある造血幹細胞はさかんに分裂しながら、血液中の各種細胞に分化する細胞です。幹細胞から分裂（増殖）が進んだ未成熟（未分化）な造血細胞の放射線感受性は極めて高く、分化した細胞よりも少量の放射線で細胞死が起こります。

その結果、血液細胞の供給が止まり、血中の各種の細胞の数が減少します。また消化管の上皮も常に新しい細胞に置き換わる新陳代謝が激しい臓器なので、放射線感受性が高くなります。

一方、細胞分裂をしない神経組織や筋組織は放射線に強いことが知られています。

放射線の人体への影響

- 急性障害
 - 急性放射線症：全身に短時間で1Gy以上の線量を被ばくしたときに生じる
 - 放射線熱傷：放射線による皮膚障害、体の一部分の被ばくでも生じる
- 晩発障害
 - 白内障：数年～十数年後に現れる目の症状
 - 悪性腫瘍：がんや白血病など



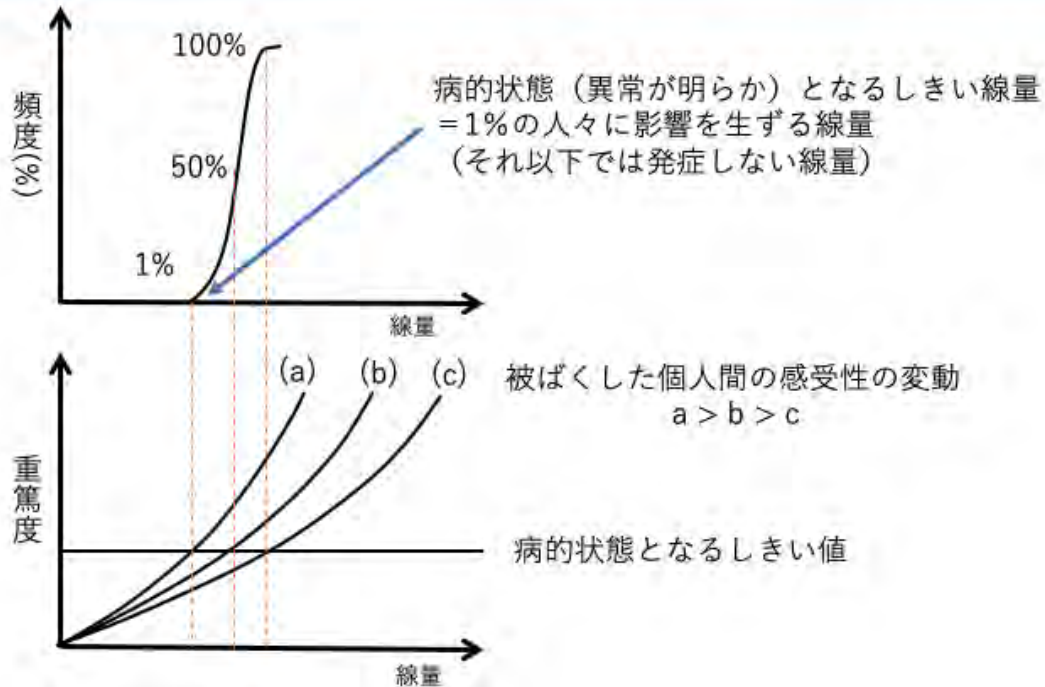
放射線の人体への影響は、医学的な観点から被ばくした本人に現れる身体的影響と被ばくした人の子孫に現れる遺伝的影響があります。遺伝的影響は人では観察されていません。

身体的影響は、被ばくした本人の体に症状が現れる時期によって急性障害と晩発障害に分けられます。急性障害は、被ばくして数週間以内に現れる症状で、全身に短時間で1 Gy以上の線量を被ばくした時には、骨髄障害、消化管障害、神経障害などの全身の症状が現れます。これを急性放射線症といいます。また、体の一部分だけを被ばくする事を局所被ばくといい、高線量の局所被ばくをした場合は、皮膚の障害として、熱傷のような症状が現れます。

被ばく後数年から数十年経ってから現れる症状を晩発障害といいます。晩発障害には、白内障、がん、白血病などがあります。

母親の胎内にいた時に被ばくした場合は、胎児の影響があり、奇形や精神遅滞などが現れます。

確定的影響（組織反応）



確定的影響とは、大量の放射線を被ばくした場合に、死滅する多くの細胞を補う正常な細胞の分裂増殖が十分でないために発生すると考えられているもので、ある線量以上の被ばくを受けた場合にだけ現れます。この線量を「しきい値」といい、しきい値を超えた線量を被ばくすると、症状の現れ方には多少の個人差はありますが、誰にも同じように症状が現れます。

確定的影響の特徴を整理すると、次のようになります。

- ・症状は、しきい値以上の放射線を被ばくした場合に現れる。
- ・症状の重さは、被ばくした放射線の量に依存する。
- ・同じ程度の量の放射線を被ばくした人には、誰にでも同じような症状が現れる。

なお、症状の発生する頻度が1%の値をしきい値としています。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

しきい値

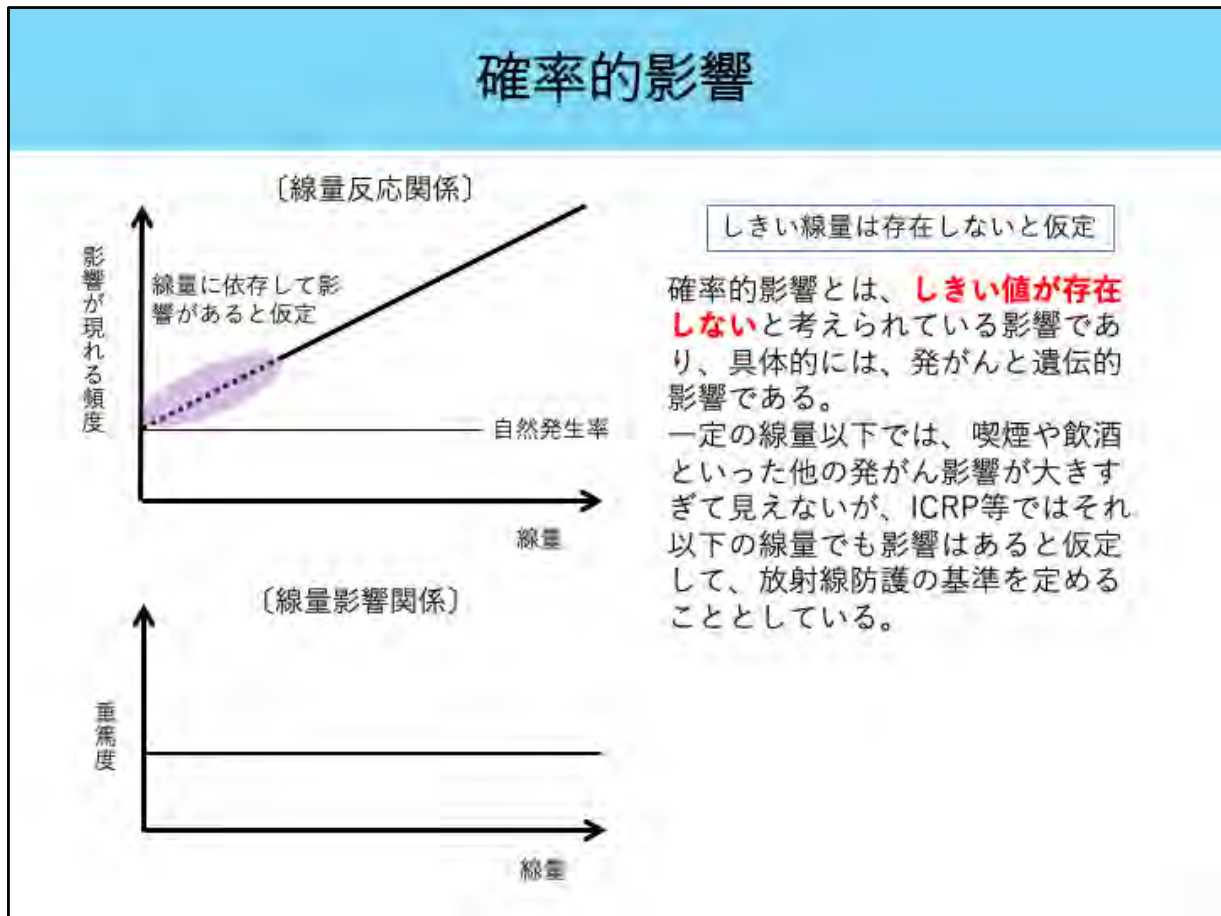
| 影響 | 器官/組織 | 発症までの期間 | 受けた線量 (Sv) | 出展 |
|---------------|----------|----------|------------|---------|
| 罹患率: | | | 1% の人に生じる | |
| 一時的な不妊 | 精巣 | 3-9週間 | ~0.1 | a, b |
| 永久不妊 | 精巣 | 3週間 | ~6 | a, b |
| 永久不妊 | 卵巣 | < 1週間 | ~3 | a, b |
| 造血能低下 | 骨髄 | 3-7日間 | ~0.5 | a, b |
| 皮膚の発赤 | 皮膚 (広範囲) | 1-4 週間 | <3-6 | b |
| 放射線熱傷 | 皮膚 (広範囲) | 2-3 週間 | 5-10 | b |
| 一時的な脱毛 | 皮膚 | 2-3 週間 | ~4 | b |
| 白内障 (視力障害) | 水晶体 | 数年 | ~1.5 | a, c |
| 死亡: | | | | |
| 骨髄症候群: | | | | |
| - 治療なし | 骨髄 | 30-60 日間 | ~1 | b |
| - 適切な治療 | 骨髄 | 30-60日間 | 2-3 | b, d |
| 胃腸の障害: | | | | |
| - 治療なし | 小腸 | 6-9日間 | ~6 | d |
| - 適切な治療 | 小腸 | 6-9日間 | >6 | b, c, d |
| 肺臓炎: | 肺 | 1-7ヶ月 | 6 | b, c, d |

放射線の確定的影響は、それぞれ被ばく後から発現するまでの期間としきい値が決まっています。この表はICRPによって示された、全身γ線被ばく後の成人の臓器および組織にかかわる罹病の1%発生率と死亡に対する、急性吸収線量のしきい値の予測推定値です。急性に1回で被ばくした場合の値です。

出典：ICRP Publication 103

- a) ICRP (1984)。
- b) UNSCEAR (1988)。
- c) Edwards と Lloyd (1996)。
- d) Scott と Hahn (1989), Scott (1993)。
- e) ほとんどの数値は四捨五入してGy に丸められている。範囲は、皮膚については面積依存性が、骨髄については様々な補助的治療があることを示している。

確率的影響



確率的影響とは、しきい値が存在しないと考えられている影響であり、具体的には、発がんや遺伝的影響です。

これらの影響には、細胞の突然変異が関わっています。遺伝的影響の場合、生殖細胞に1回、発がんの場合、ひとつの体細胞に数回の突然変異が生じることで起こります。つまり、確率的影響は細胞が一つでも性質を変えれば、発生する可能性があります。

放射線の被ばく線量と影響の間には、しきい値がなく直線的な関係が成り立つという考え方をLNT(Liner non-threshold)仮説といいます。

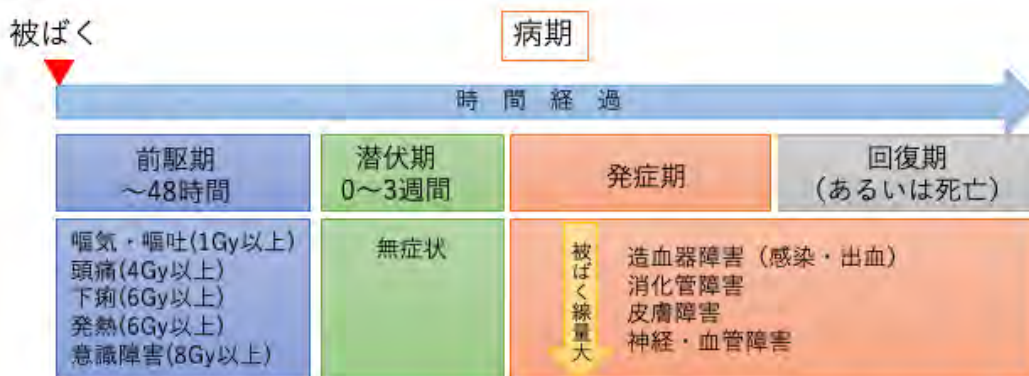
出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

急性放射線症

短時間に1 Gy (1000mGy) 以上の全身被ばく後、数時間～数週間後に起こる臨床症状の総称

→多くの組織や臓器障害をおこす

特に細胞増殖の盛んな組織（造血器、消化管粘膜、皮膚、生殖腺の幹細胞など）が影響を受けやすく、これらの臓器の障害による症状が主体



全身に1グレイ (1,000ミリグレイ) 以上の放射線を一度に受けた場合、急性放射線症と呼ばれる、一連の臓器障害をきたすことがあります。この時間経過をみると、典型的には、前駆期、潜伏期、発症期の経過をたどり、その後、回復するか、あるいは死に至ります。

被ばく後およそ48時間以内に見られる前駆症状により、おおよその被ばく量を推定することができます。

1グレイ以上の被ばくで、食欲不振、悪心、嘔吐と言った症状が見られることがあります。

4グレイ以上の被ばくをした場合、頭痛などを訴えることがあります。

下痢や発熱といった症状を示す場合は6グレイ以上被ばくした可能性があります。その後、潜伏期を経て、発症期に入ると、被ばくした線量に応じて造血器障害、消化管障害、神経血管障害の順で現れます。これらの障害は、放射線感受性の高い臓器や組織を中心に現れます。概して線量が多いほど潜伏期は短くなります。

皮膚は、大人で1.3～1.8m²と、大きな面積を持つ組織です。被ばく直後に初期皮膚紅斑がでることもありますが、一般には皮膚障害は被ばく後数日以上たってから現れます。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

急性放射線症の前駆症状

| 症状と治療方法 | | 軽度 (1-2Gy) | 中等度 (2-4Gy) | 重症 (4-6Gy) | 非常に重症 (6-8Gy) | 致死的 (>8Gy) |
|---------|--------------|-----------------|-----------------------|------------------------|---------------------|---|
| 嘔吐 | 発現時期 発現頻度 | 2時間以降 10-50% | 1-2時間以降 70-90% | 1時間以内 100% | 30分以内 100% | 10分以内 100% |
| 下痢 | 発現時期 発現頻度 | なし — | なし — | 軽度 3-8時間 <10% | 重度 1-3時間 >10% | 重度 数分以内-1時間 ほぼ100% |
| 頭痛 | 発現時期 発現頻度 | 軽微 — | 軽微 — | 中等度 4-24時間 50% | 重度 3-4時間 80% | 重度 1-2時間 80-90% |
| 意識 | 発現時期 発現頻度 | 障害なし — | 障害なし — | 障害なし — | 障害の可能性 — | 意識喪失 秒分のオーダー 数秒-数分 <100% (> 50Gy) |
| 体温 | 発現時期 発現頻度 | 正常 — | 微熱 1-3時間 10-80% | 発熱 1-2時間 80-100% | 高熱 <1時間 100% | 高熱 <1時間 100% |

(| AEA/WHO Safety Reports Series No.2 "Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries".1998.Vienna
に基づき原子力施設等防災専門部会が作成)

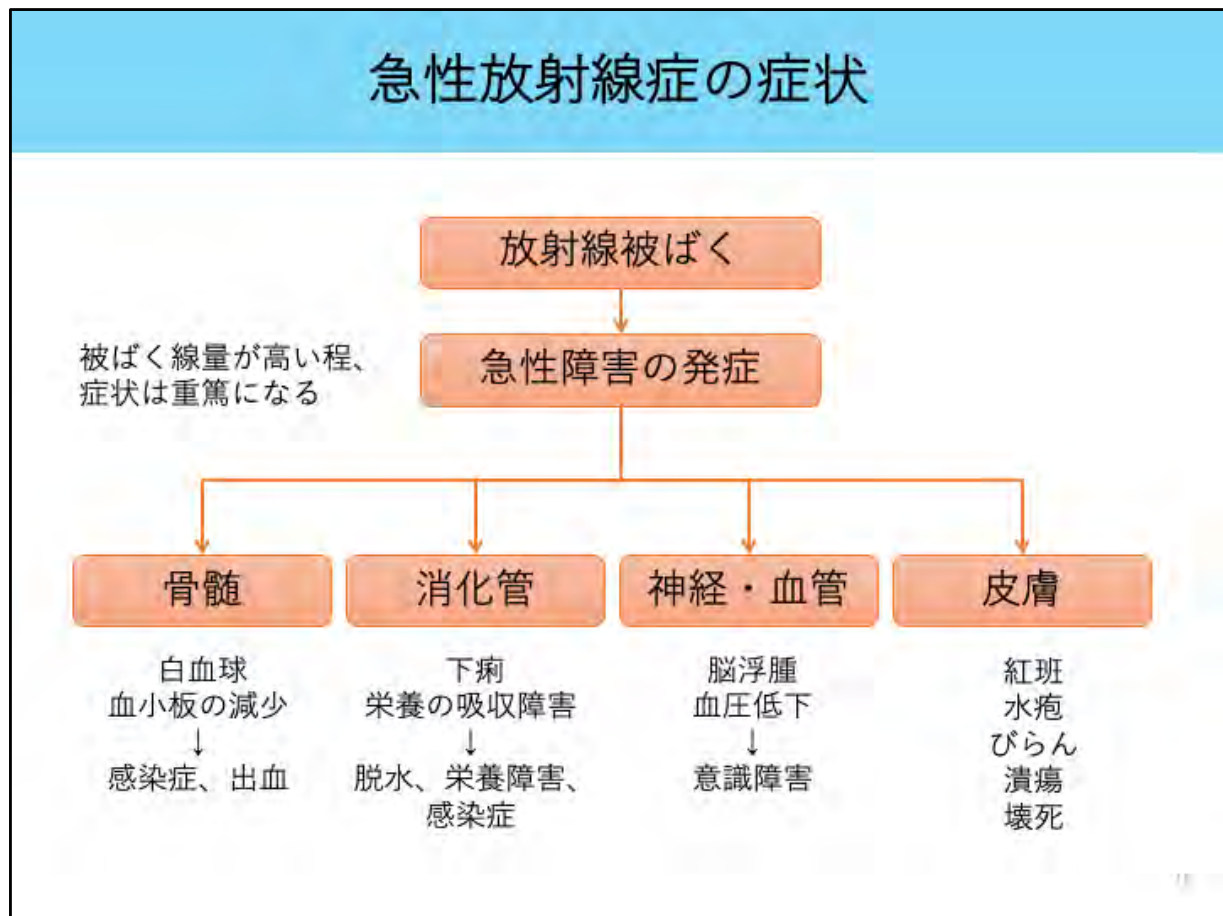
17

急性放射線症の前駆症状と被ばく線量をまとめた表です。

前駆期は被ばく後数分から数時間以内に現れ、48時間まで続くことがあります。食欲低下・悪心・嘔吐・下痢が主な前駆症状で、線量が高いほど出現までの時間が短く重篤です。

嘔吐であれば、1~2Gyの被ばくの場合、2時間以降に10~50%に症状が出現し、2~4Gyでは1~2時間以降に70~90%、4~6Gyでは1時間以内に100%、6~8Gyでは30分以内に100%、8Gy以上では10分以内に100%に症状が出現します。

急性放射線症の症状



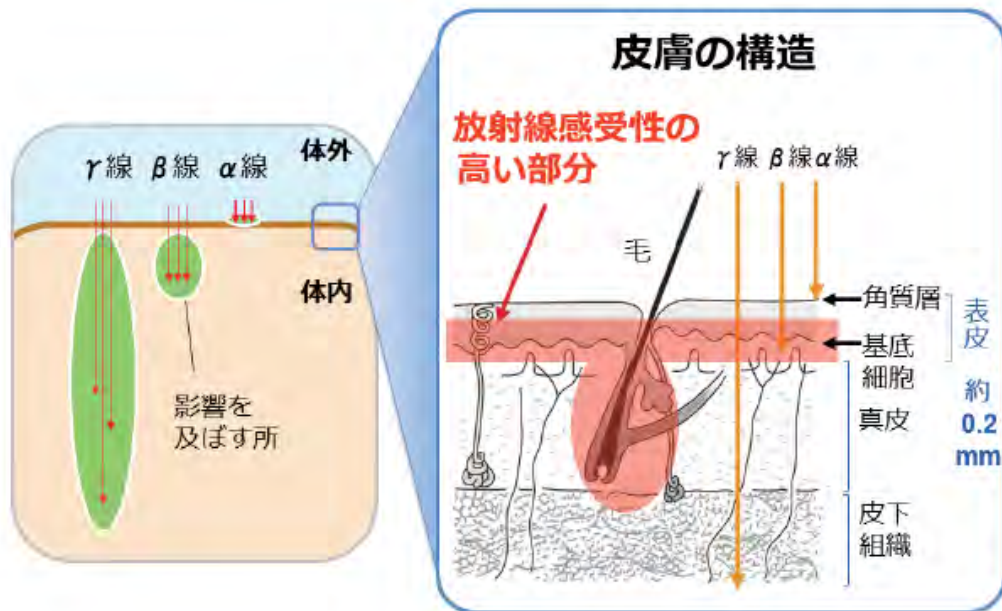
急性放射線症の症状は主に骨髄障害、消化管障害、中枢神経・循環器障害、皮膚障害に分けられます。

骨髄障害は、被ばく後に白血球、血小板が減少し、感染症、敗血症、出血症状を引き起こします。

致死的な線量の被ばくの場合、脳浮腫や血圧低下などの中枢神経と循環器障害が起こり、意識障害となります。

皮膚障害も被ばく線量に応じて、紅斑、水疱、びらん、潰瘍、壊死といった症状が出現します。

放射線皮膚障害



放射線による皮膚障害は、症状が熱傷に似ているため、放射線熱傷ともいいます。 γ 線は皮膚の基底細胞層まで透過するため、皮膚障害を発症します。透過力の弱い α （アルファ）線は表皮で止まってしまうので影響を及ぼすことはありませんが、 β （ベータ）線を出す放射性物質が大量に体表面に付着し、長く放置された場合は、皮膚の放射線感受性の高い基底細胞層や毛根細胞に影響を及ぼすこともあります。

皮膚障害では、被ばくの線量と面積が予後を大きく左右する因子です。

初発症状は発赤（初期紅斑）で、通常は一過性です。およそ2-3 Gy（グレイ）の被ばくから現れます。線量により数日から1~2週間の間を経て、脱毛、色素沈着、落屑、水疱、潰瘍、壊死が生じます。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

放射線皮膚障害

| | 熱傷 | 放射線皮膚障害 (放射線熱傷) |
|-----------------|-------------------------------------|--|
| 症状 | すぐに痛む 激しい炎症反応 患部の細胞死 組織の破壊 | 始めは痛みがない 被ばくの線量に応じて症 状の発現時期は異なる |
| 障害の 機序 | 高温による障害 蛋白凝固 細胞代謝障害 局所循環障害 | 放射線によるDNA損傷 (細胞の種類により感受 性は異なる) |
| エネルギー (2度熱傷) | 大 (4Cal/cm ²) | 小 (0.0126Cal/cm ²) :30Gy |

- 皮膚障害の無自覚と深達度の判断の困難性
- **遅発性**；症状発現が遅い
 - 潜伏期（期間は被ばく線量による）がある
- **難治性**；治りにくい
 - 例えば、中性子被ばく（線質）、高線量被ばく（線量）などにより障害がより深達性となる
- **反復性**；繰り返す
 - 障害が反復したり、一度治癒した部分が血流障害の悪化により再度症状再燃する。（～年単位）

放射線による局所の皮膚障害は、熱傷の症状と似ており、放射線熱傷とも呼ばれます。しかし、その発症のメカニズムは異なります。

熱傷は、高温によるタンパク凝固、細胞代謝障害、局所循環障害が原因となり、受傷直後から痛みや水疱、びらんなどの症状が出現します。

放射線熱傷の場合は、皮膚の基底細胞が放射線による影響を受けた結果、細胞分裂ができなくなり、皮膚細胞が再生されなくなるために症状が出現します。このため、始めは痛みの症状はなく、症状の出現にも時間がかかります。

放射線皮膚障害の線量と時期

皮膚症状は被ばく直後には出現しない
(時間が経ってから現れる)

| 症状 | 線量(Gy) | 発症(day) |
|------|--------|---------|
| 紅斑 | 3-10 | 12-21 |
| 脱毛 | >3 | 14-18 |
| 乾性落屑 | 8-12 | 25-30 |
| 湿性落屑 | 15-20 | 20-28 |
| 水疱 | 15-25 | 15-25 |
| 潰瘍 | >20 | 14-21 |
| 壊死 | >25 | >21 |

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

国際放射線防護委員会 (ICRP) などが放射線皮膚障害のしきい線量、症状の出現時間をまとめています。

皮膚障害も被ばく線量が高くなればなるほど症状は重篤になります。さらに、症状の出現が遅いため、被ばく直後に皮膚障害の程度を判断するのは、非常に困難です。

紅斑は、被ばくから2週間ほどの時間を経て出現します。

3Gy以上の被ばくで脱毛が起こります。8~12Gyでは乾性落屑が起こり、15~20Gyでは湿性落屑や水疱が出現します。

20Gy以上では潰瘍が出現し、25Gy以上では壊死します。潰瘍や壊死などの皮膚障害は、非常に治癒が難しく、一旦症状が軽快しても再び潰瘍が出現する等の難治性、再発性といった特徴があります。

晩発障害

晩発障害

| | | 潜伏期間 | 例 | 放射線影響の機序 |
|--------|-------|---------------------------|------------------------|---|
| 影響の出現 | 身体的影響 | 数週間以内 = 急性影響 (早期影響) | 急性放射線症候群 ^{※1} | 細胞死/細胞変性 で起こる 確定的影響 ^{※2} |
| | | | 急性皮膚障害 | |
| | 遺伝性影響 | 数か月以降 = 晩発影響 | 胎児の発生・発達異常(奇形) | 突然変異で起こる 確率的影響 |
| 水晶体の混濁 | | | | |
| がん・白血病 | | | | |
| | | | 遺伝性疾患 | |

※1：主な症状としては、被ばく後数時間以内に認められる嘔吐、数日から数週間にかけて生じる下痢、血液細胞数の減少、出血、脱毛、男性の一過性不妊症等。
 ※2：一定量以上の被ばくがないと発生しない。

放射線被ばく後、数ヶ月以上経過した後に現れる影響を晩発障害といい、皮膚障害（表皮の萎縮、色素沈着など）、白内障、がん（白血病を含む）などの症状があります。

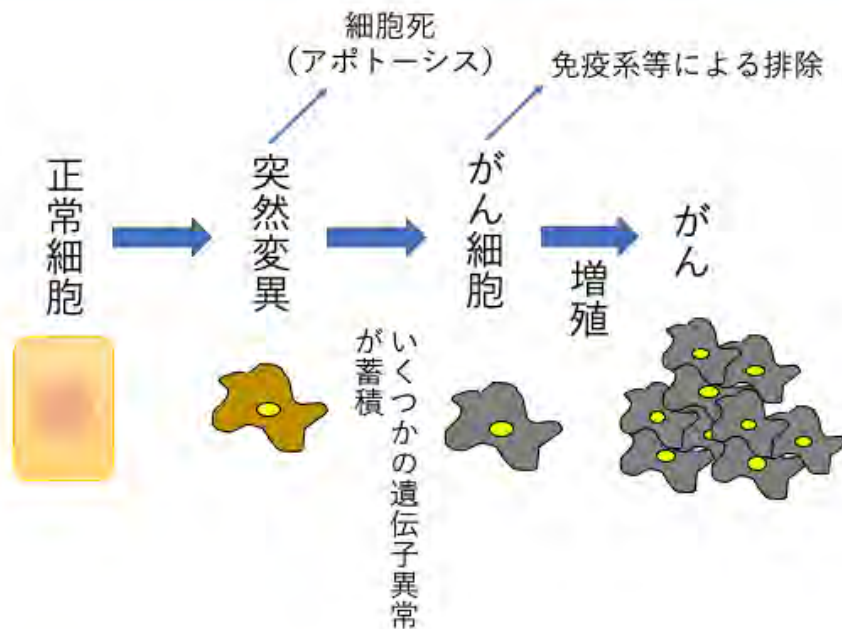
軽度の白内障である水晶体の混濁は500mSvから発症し、白内障は2,000mSv以上の線量を受けた場合に発症します。

急性障害を起こさない程度の放射線を被ばくした場合でも、数年から数十年経過した後にがんを発症することがあります。原爆被爆者の追跡調査によると、がんによる死亡リスクは100-200mSv以上では放射線の被ばく線量に正比例していますが、それ以下の被ばくについては確認されていません。

また、遺伝的影響も人では確認されていません。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

発がんの仕組み

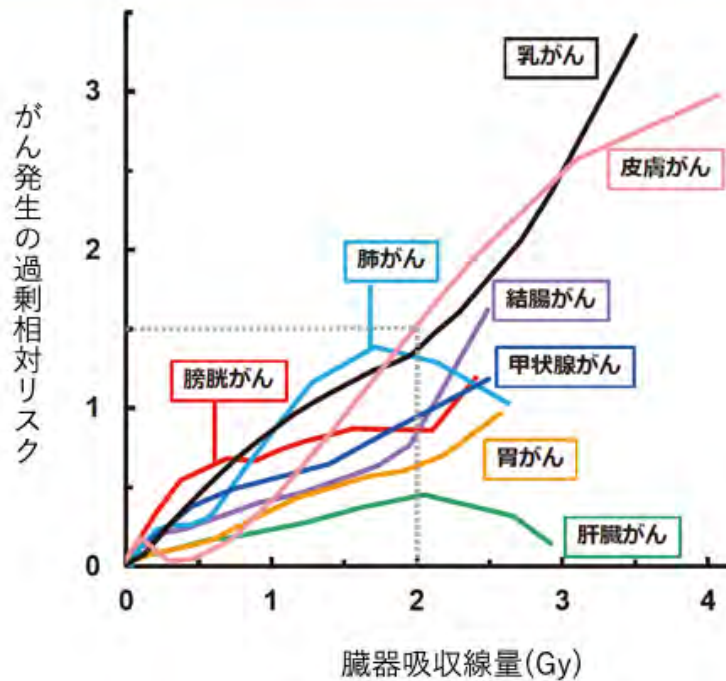


放射線ばかりではなく、様々な化学物質や紫外線等にもDNAを傷つける作用があります。しかし、細胞には傷ついたDNAを修復する仕組みがあり、大抵の傷はすぐに元どおりに修復され、また修復に失敗した場合でも、その細胞を排除する機能が体には備わっています。

ごく稀に、修復し損なった細胞が、変異細胞として体の中に生き残ることがあります。こうしたがんの芽は生じては消え、消えては生じといたことを繰り返します。その中でたまたま生き残った細胞に遺伝子の変異が蓄積し、がん細胞となることがありますが、それには長い時間が掛かります。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

がん発生の過剰相対リスク



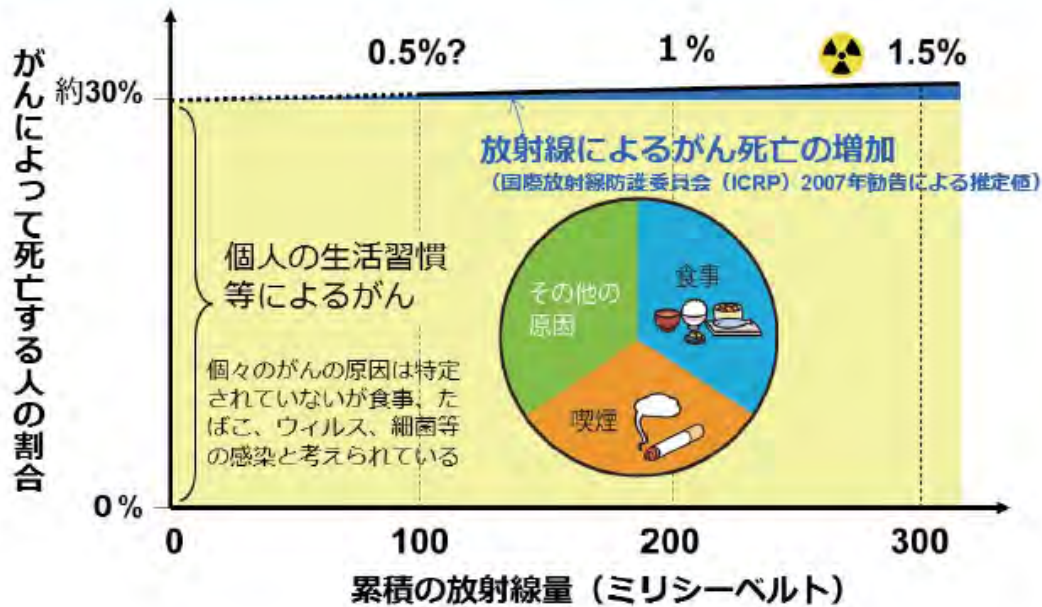
原爆被爆者を対象に、どれだけの線量をどこに受けるとがんのリスクが増加するかを調べたものです。横軸は、原爆投下時の高線量率一回被ばくによる臓器吸収線量で、縦軸は、過剰相対リスクです。相対リスクは、被ばくしていない集団と比べて、被ばくした集団ではどのくらいがん発症のリスクが増加したかを調べたものです。相対リスクが1であれば影響がないことになります。過剰相対リスクは、相対リスクから1を引いたもので、過剰リスクだけを示したものです。

例えば、臓器吸収線量が2Gyの場合は、皮膚がんの過剰相対リスクは1.5となっています。放射線を受けなかった集団と比べて1.5倍のリスクが過剰に発症していることを意味しています。つまり、2Gy被ばくした集団では皮膚がんの発症リスクは、放射線を受けていない集団（1倍）の2.5倍（1+1.5）となります。

こうした疫学研究の結果から、乳腺、皮膚、結腸等は、放射線によってがんが出やすい組織・臓器であることが分かりました。国際放射線防護委員会（ICRP）の2007年勧告では、臓器の感受性やがんの致死性等も考慮し、組織加重係数を定めています。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

放射線によるがんの増加



がんは放射線だけでなく、食事、喫煙、ウイルス、大気汚染など様々な要因によって発症すると考えられます。起こった個々のがんが放射線によるものであると特定することはできません。従って、放射線でがんが起きているかどうかを検証するには、多くの集団において、受けた線量とともにがんが起る確率も上昇するかどうかを調べる必要があります。

原爆被爆者を主とした疫学調査では、およそ100ミリシーベルト以上の線量では、線量とともにがん死亡が増加することが確認されています。およそ100ミリシーベルトまでの線量では、放射線とがんについての研究結果に一貫性はなく、放射線によりがん死亡が増えることを示す明確な証拠はありません。しかしながら放射線防護の目的のための慎重な考え方として、年間100ミリシーベルトまでゆっくりと被ばくする場合、放射線によるがん死亡が1,000ミリシーベルトあたりおよそ5%であるとされており、国際放射線防護委員会 (ICRP) もこれを妥当であるとしています。

日本人は元々約30% (1,000人のうち300人) ががんで亡くなっています。この国際的な推定値を用いると、仮に1,000の方が100ミリシーベルト※の線量を受けたとすると、生涯にがんで亡くなる方が300人から305人に増加すると計算できます。ただし、ICRPは同時に、この仮定は確実ではないが起る可能性のある障害を予防するという考え方であり、100ミリシーベルトよりもごく低い線量を合計して集団で出るがんなどの症例数を計算するといった影響の評価には不確実性が大きく、適切でないとしています。

*ここで言う100ミリシーベルトとは年間の被ばく線量ではなく、これまで受けた積算線量です。また、この100ミリシーベルトには自然界から受ける放射線量は含まれません。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

まとめ

- 各組織・臓器への影響は「等価線量」、全身への影響は「実効線量」である。
- 放射線はDNAを損傷し、その結果、修復、細胞死（急性影響）、突然変異（発癌など）が起こる。
- 確定的影響には、しきい値があり、被ばく線量に応じて重篤度が増す。
- 確率的影響には、しきい値がなく、発生頻度が被ばく線量に応じて高くなる。
- 癌発生リスクは被ばく量に相関する。

安定ヨウ素剤

原子力災害 基礎研修

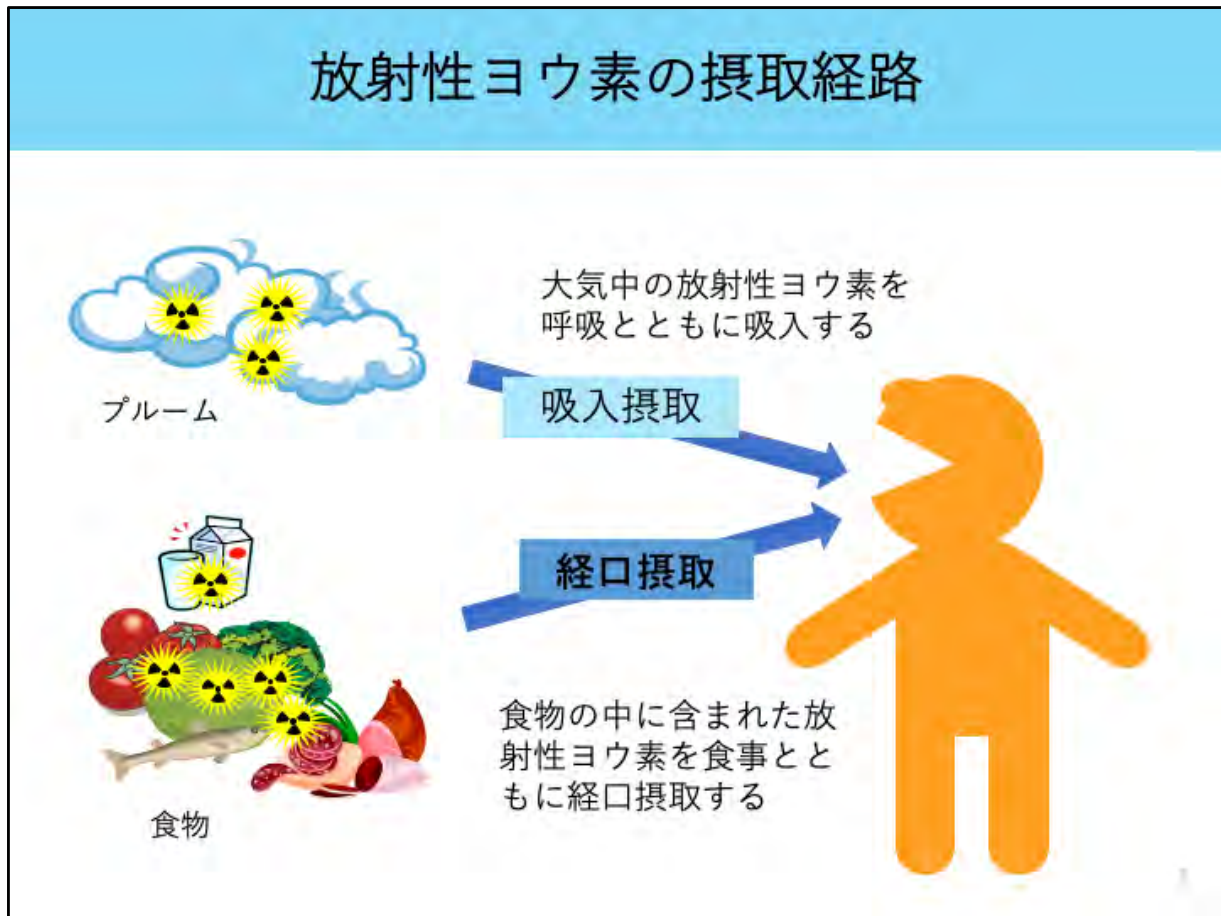
原子力災害基礎-6

時間：30分

内容

- 放射性ヨウ素の摂取経路
- 安定ヨウ素剤服用の必要性
- 放射性ヨウ素によって引き起こされる健康障害
- 甲状腺癌
- チェルノブイリ原発事故での甲状腺がん
- 甲状腺癌と年齢
- 安定ヨウ素剤の働きと限界
- 安定ヨウ素剤配布
- 服用対象者
- 安定ヨウ素剤服用指示について
- 防災業務関係者の安定ヨウ素剤服用
- 服用ができない場合
- 服用に注意が必要な場合
- 服用時期、服用方法、服用量
- 安定ヨウ素剤の副作用
- 副作用が起こった場合の対処方法
- 過剰服用による影響

放射性ヨウ素の摂取経路

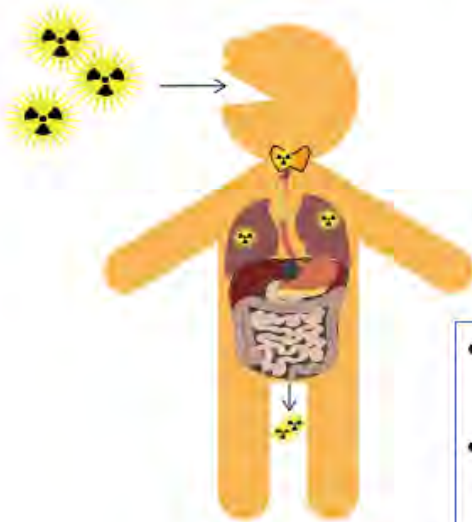


原子力発電所の事故時に大気中に放出された放射性ヨウ素の摂取経路としては、吸入摂取と経口摂取があります。

吸入摂取は、呼吸とともに放射性ヨウ素を吸い込むことで、体内に放射性ヨウ素を取り込みます。

経口摂取は、大気中に放出された放射性ヨウ素が土壌や水に沈着した後、農作物、海産物に移行したり、飲料水に取り込まれたりして、食事とともに食べることで体内に放射性ヨウ素を取り込みます。

放射性物質の体内動態



1. 臓器に蓄積する
2. 排泄される
3. 自然に減っていく

- 体の中に残っている放射性物質からの放射線によって被ばくする
- 体の中から放射性物質は時間が経つと減っていく
- 時間経過と共に体内残留量、排泄量が変化する

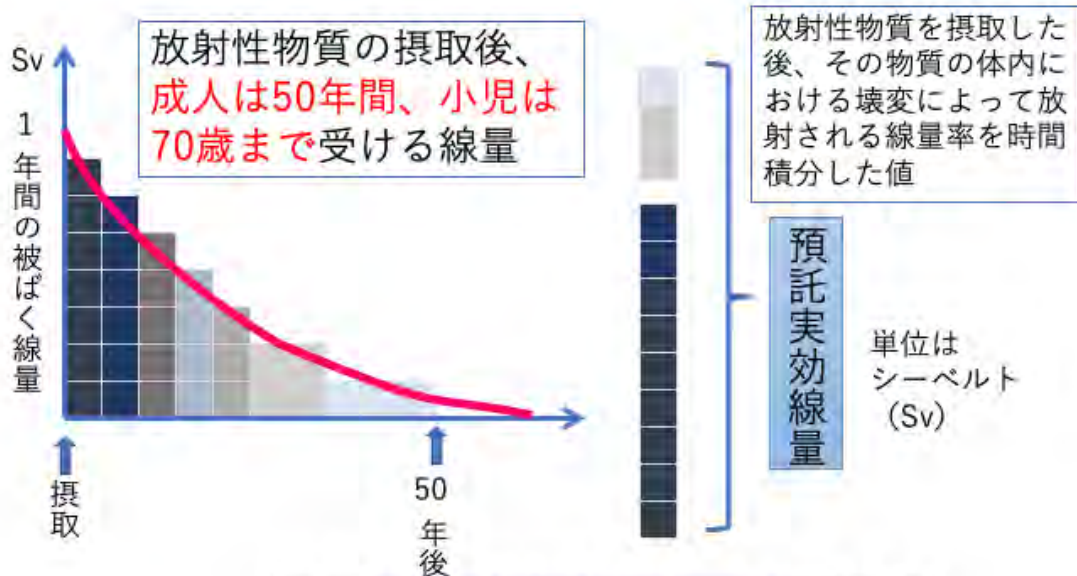
体の中に取り込まれた放射性物質は、臓器に蓄積したり、尿や便で体外に排泄されたりします。また、放射性物質に含まれる放射能は時間とともに減っていくため、体内の放射能も時間経過とともに減っていきます。

内部被ばくは放射性物質が体内に存在している間は被ばくし続けることとなります。しかし、内部被ばくでは外部被ばくと異なり、預託実効線量が1シーベルト (Sv) を超えても急性の症状がでることはほとんどありません。

また、放射性物質である元素の種類によって蓄積する臓器が異なります。たとえば、放射性ヨウ素は甲状腺に蓄積し、その他の臓器にはほとんど集積しないため、全身への影響は少ないのが特徴です。放射性セシウムはカリウムと性質が似ており、量に違いはありますが、特定の臓器に集積せず、全身に分布します。

このようなことから、時間経過とともに放射性物質の体内残留量や排泄量は変化します。

内部被ばくの線量（預託実効線量）



ある量の放射性物質を摂取したら、その後
に受ける未来の被ばく線量を表している

内部被ばく線量は、放射性物質を摂取した後、その物質の体内における壊変によって放射される線量率を時間積分した値ということになります。

これは、成人であれば放射性物質の摂取後50年間、小児では摂取から70歳までの被ばく線量を足し合わせたもので、預託実効線量といい、単位はSv（シーベルト）で表されます。

安定ヨウ素剤服用の必要性

- ヨウ素は甲状腺ホルモンの成分で、体内ではほとんどが甲状腺内に存在します。
- 甲状腺ホルモンは、新陳代謝を促したり、子供では成長を促進します。
- 甲状腺は、頸部前面に位置し、重さ15～20 g、3～5 cmの蝶が羽を広げたような形をしています。
- 放射性ヨウ素を体内に取り込んだ場合、肺や消化管から体循環に入り、10～30%が甲状腺に集積し、残りは尿中に排泄されます。
- 安定ヨウ素剤の予防服用で、放射性ヨウ素の甲状腺への集積を阻害、低減します。



ヨウ素は甲状腺ホルモンの成分で、体内ではほとんどが甲状腺内に存在します。

甲状腺ホルモンは、新陳代謝を促したり、子供では成長を促進します。甲状腺ホルモンは、全身の細胞に作用して、呼吸量、エネルギー産生量が増大します。

甲状腺は、頸部前面に位置し、大人では15～20g、3～5cmの蝶が羽を広げたような形をしています。

放射性ヨウ素を吸入または経口摂取した場合、肺や消化管から血液中に入り、吸収された放射性ヨウ素の10～30%が甲状腺に集積します。甲状腺に集積しなかった放射性ヨウ素は腎臓から尿中に排泄され、体の外にでます。甲状腺に集積した放射性ヨウ素からはベータ線が放出されるので、甲状腺の細胞が障害を受けやすくなります。

安定ヨウ素剤を予防服用しておくことで、放射性ヨウ素が甲状腺へ集積するのが阻害されます。このため、原子力災害時に放射性ヨウ素の環境中への放出の可能性がある場合は、事前に安定ヨウ素剤を服用します。

放射性ヨウ素による健康障害

・急性障害

・甲状腺機能低下症

- ・ しきい線量は5,000 mGy以上
- ・ 甲状腺の細胞が障害を受け、細胞死の結果、甲状腺ホルモンの分泌が低下して発症する
- ・ 症状：全身倦怠感、無力感、皮膚の乾燥、発汗減少、便秘、体重増加、低体温、浮腫、不整脈

高濃度の放射性ヨウ素を吸入する可能性のある作業員のみ

・晩発性障害

・甲状腺がん

- ・ 予後が比較的よい乳頭がんが多い
- ・ 致命的なことは少ない
- ・ 甲状腺等価線量で50 - 100 mSvを超える線量から増加がみられる
- ・ 被ばくして4～5年後から増加がみられる
- ・ 乳幼児の方が甲状腺がんの発生のリスクは高い
- ・ I-131内部被ばくと甲状腺がんリスクとの定量的関係に関する情報は十分でない（国連科学委員会2008年報告書）

放射性ヨウ素による被ばくに関して、住民の放射線防護の目的は、晩発性障害の低減である

放射性ヨウ素が甲状腺に極めて大量に集積した場合、甲状腺の細胞が放射線の影響で細胞死を起こし、その結果、急性障害として甲状腺ホルモンの分泌が低下して甲状腺機能低下症が起こります。甲状腺機能低下症の症状は、活動性の低下、全身倦怠感、無力感、皮膚の乾燥、発汗の減少、便秘、体重増加、低体温、浮腫、不整脈などがあります。

また、晩発性障害として、放射性ヨウ素が甲状腺に集積し、放射性ヨウ素が放出する放射線によって数～数十年後に甲状腺がんを発症する可能性があります。甲状腺等価線量で50～100ミリシーベルト以上の放射線被ばくによって甲状腺にがんが過剰に発生することが広島、長崎の原爆被爆者の疫学調査やチェルノブイリ原子力発電所の事故後の調査などによって知られています。

甲状腺がん

甲状腺悪性腫瘍の組織分類

| | | |
|--------|---------------------------------|--------------------|
| 乳頭癌 | Papillary carcinoma | 一番多いタイプ |
| 濾胞癌 | Follicular carcinoma | 甲状腺癌の約8% |
| 低分化癌 | Poorly differentiated carcinoma | 乳頭癌や濾胞癌に比べて進行がやや早い |
| 髄様癌 | Medullary carcinoma | 甲状腺癌の約1.5% |
| 未分化癌 | Undifferentiated carcinoma | 甲状腺癌の約1% |
| 悪性リンパ腫 | Malignant lymphoma | 甲状腺癌の約2.5% |

- チェルノブイリ原発事故時(1986年4月26日)に18歳以下だった12,514人が対象
 - 2001年～2007年の2～4回目の検査で65人の甲状腺がんが診断された
 - Papillary : 61名
 - Follicular : 1名
 - Medullary thyroid cancer : 3名

Brenner et al., Environmental Health Perspectives 119(7):933 – 939, 2011

甲状腺悪性腫瘍の組織分類としては、乳頭癌、濾胞癌、低分化癌、髄様癌、未分化癌、悪性リンパ腫があります。甲状腺がんの発生率のピークは60～70歳代で、他のがんに比べると20～30歳代の若年者での発症も比較的多いです。甲状腺がんの生命予後は10年生存率約90%と比較的良好です。

放射線被ばくによって誘発される甲状腺がんのほとんどは、甲状腺濾胞細胞に由来する乳頭癌で、一般的に予後が良いとされています。

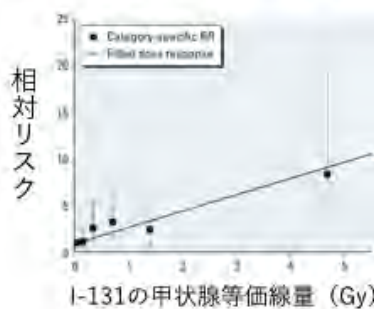
チェルノブイリ原発事故での甲状腺がん

ロシア、ベラルーシ、ウクライナにおける甲状腺等価線量 (mGy)

| | 未就学児 | 就学児童 | 青年 | 成人 | 全人口 |
|-------|------|------|----|----|-----|
| 3カ国合計 | 48 | 19 | 13 | 12 | 16 |
| 汚染地域* | 289 | 110 | 84 | 75 | 102 |

*汚染地域とは、土壌表面のセシウム-137の量が1平方メートルあたり37キロベクレルを上回る地域

UNSCEAR 2008年報告



- * ウクライナの研究、チェルノブイリ原発事故時に18歳以下だった人を対象
- * 甲状腺がんのリスクは被ばく線量に依存して直線的に増加する
- * 過剰相対リスク 1.91 / Gy
- * 過剰絶対リスク 2.21 / 1万人・年・Gy

Brenner et al., 2011

甲状腺等価線量の平均が100mSvの1万人の集団を想定すると、40年間で8.8名の甲状腺癌症例が過剰に発症する。

放射線被ばくにより甲状腺がんが誘発され、その発生確率は、特に乳幼児において高くなります。

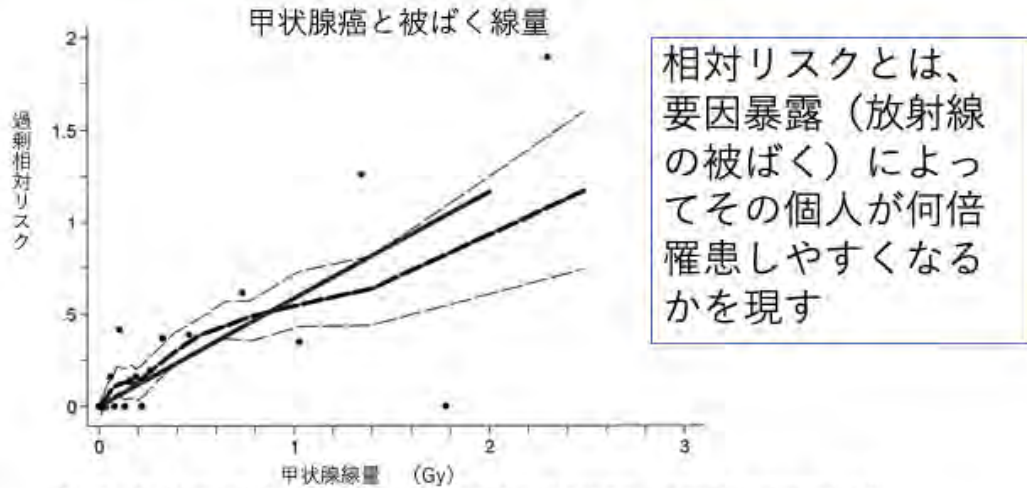
チェルノブイリ原子力発電所事故では、放射性ヨウ素による甲状腺の内部被ばくが問題となりました。

チェルノブイリ原発事故での調査では、過剰絶対リスクの大きさは、2.21 / 1万人・年・Gyです。言い換えると、1万人の甲状腺等価線量の平均が100 mSvの場合、40年間で8.8人の甲状腺がんが過剰に発生することになります。

がんで死亡する人が被ばくのないときに比べてどれだけ増加するかを比率を表わしたのが過剰相対リスクであり、死亡率がどれだけ上乗せされたかを表わすのが過剰絶対リスクです。

甲状腺癌と過剰相対リスク

広島・長崎の原爆被ばく者の追跡調査



直線は、被ばく時年齢30歳の人70歳に達した場合に当てはめた、男女平均過剰相対リスク (ERR) の線形線量反応を示す。太い点線は、線量区分別リスクを平滑化したノンパラメトリックな推定値であり、細い点線はこの平滑化推定値の上下1標準誤差を示す。

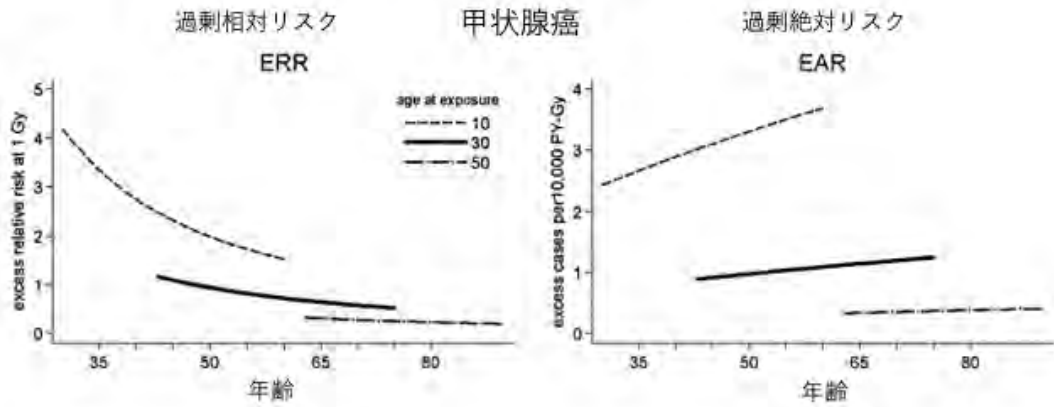
Preston, D. L., etc., Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958-1998, Radiat. Res. 168, 1-64 (2007).

甲状腺がんは、内部被ばく以外でも原爆被爆者や医療被ばくでの外部被ばくに起因するものもあります。原爆被爆者の追跡調査では、甲状腺被ばく線量の増加に伴い、甲状腺がんの発生率は増加しており、線形の線量反応関係が認められています。

過剰相対リスクは、性別と年齢を一致させた対照群と比較して被ばく群のリスクが何倍になっているかを示すものが相対リスクで、相対リスクが1であれば影響がないこととなります。過剰相対リスクは、相対リスクから1を引いたもので、過剰リスクだけを示したものです。いずれも対照群に対する比率を示しています。

甲状腺癌の年齢依存性

- 広島長崎の原爆被ばく者の調査
- 被ばく時の年齢が若いほど、リスクが高い

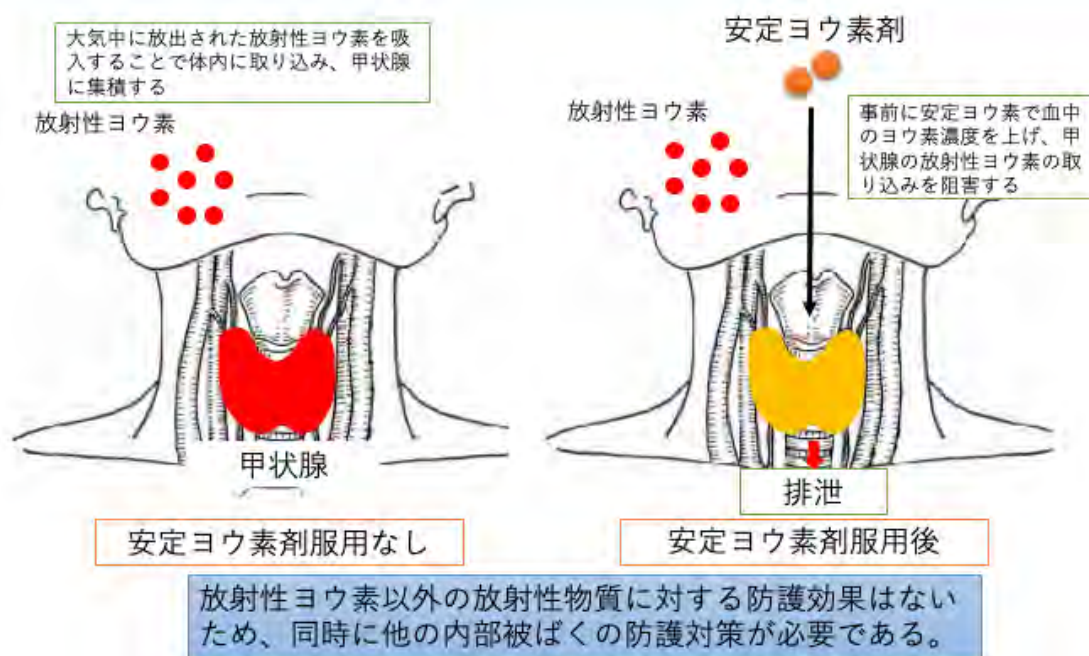


Preston, D. L., etc., Solid Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors: 1958-1998. Radiat. Res. 168, 1-64 (2007).

10

原子爆弾被爆者の調査では、被ばく時の年齢が低いほど甲状腺がんの過剰相対リスクは増加し、リスクが高いことが示唆されています。

安定ヨウ素剤の働き



放射性ヨウ素は、呼吸により吸入されて、肺から血液中に移行します。また、吸入された放射性ヨウ素の一部は、食道、消化管から吸収されて血液中に移行します。取り込まれた放射性ヨウ素の約10～30パーセントは、24時間以内に甲状腺に集積し、残りの大部分は、主に腎臓から尿中に排泄されます。

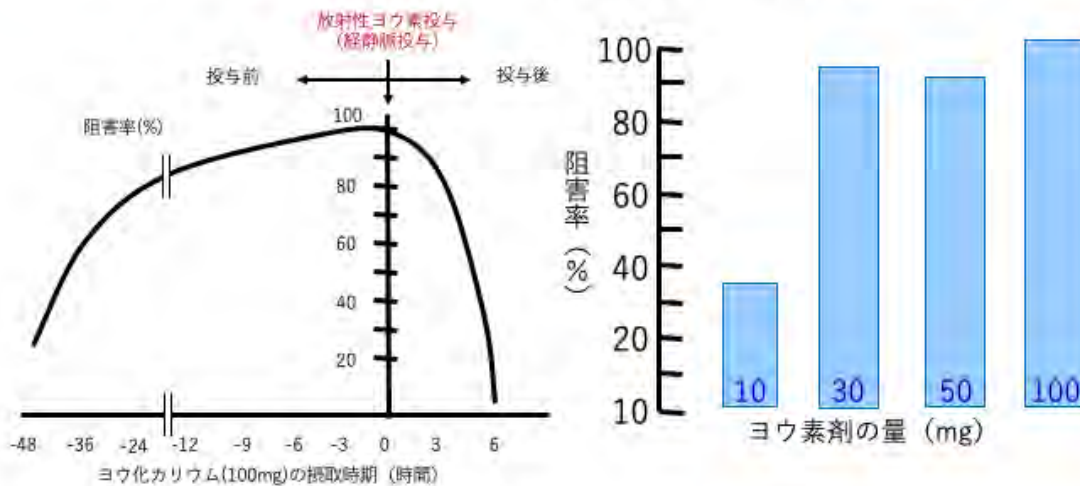
健康な人が安定ヨウ素剤を服用すると、服用後1～2時間以内に、その尿中排泄量が最大となります。その後、時間とともに排泄量は減少し、72時間後には服用した安定ヨウ素剤のほとんどが体から排泄されます。

安定ヨウ素剤の予防服用による放射性ヨウ素の甲状腺への集積を低減させる効果は、高濃度の安定ヨウ素剤との共存によって血中の放射性ヨウ素の甲状腺への取込みと競合することや細胞内へのヨウ素の取込みを抑制することによります。

安定ヨウ素剤は、放射性ヨウ素以外の放射性物質に対する防護効果はないため、同時に放出される他の放射性物質に対する防護対策としてマスクなどの呼吸保護具を使用する必要があります。

投与時期、投与量と効果

放射性ヨウ素を摂取する前（24時間以内）の予防投与が原則



Becker, JAMA 1987; 258: 649-654から引用

放射性ヨウ素を吸入あるいは、摂取する前24時間以内または直後に、安定ヨウ素剤を服用すると、放射性ヨウ素の甲状腺への集積を約90パーセント以上抑制することができます。すでに放射性ヨウ素が吸入された後でも数時間以内の服用であれば、約40パーセントの抑制効果が期待できます。

しかし、時間が経過した後であればその効果はほとんどないと報告されています。

成人では、ヨウ素量30 mg以上であれば、放射性ヨウ素の甲状腺への集積を効果的に抑制できます。日本で市販されている安定ヨウ素剤（ヨウ化カリウム丸）50 mgはヨウ素を38 mg含有している製剤で、1～2丸の服用が必要となります。

安定ヨウ素剤配布

- PAZ (予防的防護措置を準備する区域) : 原子力施設から概ね5km
 - 地域の住民に対して事前に安定ヨウ素剤を配布
 - 全面緊急事態に至った場合、避難の際に速やかに安定ヨウ素剤を服用
 - 安定ヨウ素剤の服用不適切者や、3歳未満の乳幼児やそのほか丸剤の服用が困難な者にはゼリー剤の準備、あるいは一般住民より早い段階(施設敷地緊急事態)から災害時要援護者等とともに、優先的に避難する体制等を整備
- PAZ外 : 原子力施設から概ね 30 kmを目安とするUPZ (緊急時防護措置を準備する区域)
 - 全面緊急事態に至った場合、安定ヨウ素剤は、避難や屋内退避の際に服用
 - 迅速に安定ヨウ素剤を配布できる体制を整備 : ゼリー剤の準備あるいは集合場所や避難所等において「薬剤師等」が粉末剤から液状の安定ヨウ素剤を調製
 - 避難や屋内退避の際に迅速な配布が困難と考えられる地域や対象者等については安定ヨウ素剤を事前配布

原子力防災体制における安定ヨウ素剤の配布は、次のような方針となっています。

原子力施設から概ね 5 kmのPAZ (予防的防護措置を準備する区域) 地域の住民に対しては、事前に安定ヨウ素剤を配布しておきます。全面緊急事態に至った場合、避難の際に速やかに安定ヨウ素剤を服用するよう指示します。

安定ヨウ素剤の服用不適切者や、3歳未満の乳幼児やそのほか丸剤の服用が困難な者にはゼリー剤を準備したり、一般住民より早い段階(施設敷地緊急事態)から災害時要援護者等とともに、優先的に避難する体制等を整備しておきます。

原子力施設から概ね 30 kmを目安とするUPZ (緊急時防護措置を準備する区域) の住民に対しては、全面緊急事態に至った場合に安定ヨウ素剤を避難や屋内退避の際に配布し、服用するよう指示します。このため、迅速に安定ヨウ素剤を配布できる体制を整備しておくことが必要で、3歳未満の乳幼児やそのほか丸剤の服用が困難な者のために、ゼリー剤または集合場所や避難所等において「薬剤師等」が粉末剤から液状の安定ヨウ素剤を調製する体制も必要です。

避難や屋内退避の際に迅速な配布が困難と考えられる地域や対象者等については安定ヨウ素剤を事前配布しておくことも考慮します。

出典 : 原子力規制庁原子力防災課 : 安定ヨウ素剤の配布・服用に当たって (平成28年9月30日修正)

服用対象者

- 下記の者を除いて、安定ヨウ素剤服用の指示を受けた時点で、一時滞在者等を含む全員が服用する。
 - 服用不適切者
 - 自らの意思で服用をしない者
- 3歳未満の乳幼児は、ゼリー剤又は薬剤師等が避難所等で調製した液状の安定ヨウ素剤を服用させる。



ヨウ化カリウム

- 注射用水
- 単シロップ

安定ヨウ素剤水薬
(12.5mg/ml ヨウ素含有)



ヨウ化カリウム内服ゼリー16.3mg「日医工」



ヨウ化カリウム内服ゼリー32.5mg「日医工」

安定ヨウ素剤は、服用の指示を受けた時点で、服用不適切者と自らの意思で服用しない者を除いて、一時滞在者等を含む全員が服用します。

3歳未満の乳幼児は、ゼリー又は薬剤師等が避難所等で調製した液状の安定ヨウ素剤を服用することとなります。

出典：原子力規制庁原子力防災課：安定ヨウ素剤の配布・服用に当たって
(平成28年9月30日修正)

安定ヨウ素剤服用指示

- 施設敷地緊急事態
 - PAZでは、安定ヨウ素剤服用の準備として、PAZ内の住民に事前配布した安定ヨウ素剤を手元に置くように指示する
- 全面緊急事態
 - PAZ；原則として、原子力規制委員会が避難とともに安定ヨウ素剤服用の必要性を判断し、原子力災害対策本部又は地方公共団体が服用の指示を出す
 - PAZ外；原則として、原子力規制委員会が原子力施設の状況や空間線量率等を勘案し、避難や屋内退避と併せた防護措置として、安定ヨウ素剤の配布・服用の必要性を判断し、原子力災害対策本部又は地方公共団体が配布・服用の指示を出す

原子力災害時の安定ヨウ素剤の服用指示は次の方針です。

施設敷地緊急事態となった場合、安定ヨウ素剤服用の準備として、PAZ内の住民に事前配布した安定ヨウ素剤を手元に置くように指示します。

全面緊急事態となった場合、PAZの住民等に対しては、原則として原子力規制委員会が避難とともに安定ヨウ素剤服用の必要性を判断し、原子力災害対策本部又は地方公共団体が服用の指示を出します。PAZ外の住民等に対しては、原則として原子力規制委員会が原子力施設の状況や空間線量率等を勘案し、避難や屋内退避と併せた防護措置として、安定ヨウ素剤の配布・服用の必要性を判断し、原子力災害対策本部又は地方公共団体が配布・服用の指示を出します。

防災業務関係者の服用



防災関係者のうち、原子力施設内において災害に発展する事態を防止する措置等の災害応急対策活動を実施する者で、かなりの被ばくが予測される恐れのある場合は、甲状腺等価線量を瞬時に測定できる計測器がないこと、防護マスク等の装備の機能を考慮しつつ、甲状腺機能低下症の急性障害を予防するため、念のため、安定ヨウ素剤の服用について考慮します。

また、防災関係者が住民の避難誘導、連絡等のために全面緊急事態以降において屋外で災害対策業務に従事する場合は、各所属機関からの服用の指示に基づき、安定ヨウ素剤を服用します。また、作業が1日以上継続する場合は、連続服用も考慮します。

放射性ヨウ素がほとんど存在しない場合や、原子炉の運転停止後から時間が経過して、放射性ヨウ素がほとんどなくなっている場合には、安定ヨウ素剤の服用は必要ありません。

服用ができない場合

次の該当者は安定ヨウ素剤の服用できません

- ヨウ素に過敏症の既往がある者
 - ヨウ素に過敏症がある場合、あるいはポピドンヨード液（うがい薬や消毒薬に含まれています）、ルゴール液を使用した後、気分不良、吐き気、嘔吐、腹痛、蕁麻疹、ぜんそく発作、呼吸困難、血圧低下などのアレルギー反応を経験したことがある場合は、安定ヨウ素剤の服用はできません。



ポピドンヨード液

ヨウ素に対して過敏症の既往がある人は安定ヨウ素剤を服用できません。
安定ヨウ素剤を服用した後、または、ヨウ素が含まれているポピドンヨード液（うがい薬や消毒薬）、ルゴール液を使用した後に、気分不良や吐き気、嘔吐、腹痛、蕁麻疹、ぜんそく発作、呼吸困難、血圧低下などのアレルギー反応を経験した事がある場合は、ヨウ素に対して過敏症があるため、安定ヨウ素剤の服用はできません。

放射性ヨウ素の放出前に避難をしたり、活動を中止する必要があります。

服用に注意が必要な場合①

次の場合は安定ヨウ素剤の服用に注意が必要です

- ヨード造影剤過敏症；造影剤過敏症には種々の要因による過敏症が含まれており、その一部がヨウ素過敏症と考えられます。しかし造影剤過敏症に含まれるヨウ素過敏症の割合は推測できません。そのため、すべての造影剤過敏症の人が、安定ヨウ素剤服用によってヨウ素過敏症を発症するとは限りませんが、造影剤過敏症の人は、事前にヨウ素過敏症があるか医師に相談しておくことが望ましい。
- 甲状腺機能亢進症；甲状腺機能亢進症がある場合は、ヨウ素の甲状腺摂取率が上昇しているため、安定ヨウ素剤を服用するが、病状の悪化の恐れがある。
- 甲状腺機能低下症；甲状腺機能低下が悪化する恐れがある。
- 腎機能障害、先天性筋強直症、高カリウム血症；安定ヨウ素剤には、カリウムが含まれるため、血清カリウム濃度の上昇によって病状が悪化する恐れがある。
- 低補体血症性蕁麻疹様血管炎、ジューリング疱疹状皮膚炎；日本では、極めて稀な病気であるが、ヨウ素に過敏であると考えられており、ヨウ素摂取により病状が悪化するとされている。
- 肺結核；ヨウ素は結核組織に集まりやすく、結核を再燃させる恐れがある。

次の場合は、安定ヨウ素剤の服用に注意が必要で、各個人でかかりつけの医師と安定ヨウ素剤服用の可否について事前に相談し、安定ヨウ素剤の服用をするか否かを決定しておく必要があります。

- ヨード造影剤過敏症；造影剤過敏症には種々の要因による過敏症が含まれており、その一部がヨウ素過敏症と考えられます。しかし造影剤過敏症に含まれるヨウ素過敏症の割合は推測できません。そのため、すべての造影剤過敏症の人が、安定ヨウ素剤服用によってヨウ素過敏症を発症するとは限りませんが、造影剤過敏症の人は、事前にヨウ素過敏症があるか医師に相談しておくことが望ましいです。
- 甲状腺機能亢進症；ヨウ素の甲状腺摂取率が上昇しているため、安定ヨウ素剤を服用しますが、病状の悪化の恐れがあります。
- 甲状腺機能低下症；悪化する恐れがあります。
- 腎機能障害、先天性筋強直症、高カリウム血症；安定ヨウ素剤には、カリウムが含まれるため、血清カリウム濃度の上昇によって病状が悪化する恐れがあります。
- 低補体血症性蕁麻疹様血管炎、ジューリング疱疹状皮膚炎；日本では、極めて稀な病気ではありますが、ヨウ素に過敏であると考えられており、ヨウ素摂取により病状が悪化するとされています。
- 肺結核；ヨウ素は結核組織に集まりやすく、結核を再燃させる恐れがあります。

服用に注意が必要な場合②

次の薬剤を服用している場合は、安定ヨウ素剤の服用に注意が必要です。

- 現在服用している薬剤と安定ヨウ素剤を併用した場合、健康影響が起こる可能性があります。
- ただし、1回の服用であれば重大な健康影響への懸念は少ないと考えられます。
 - カリウム含有製剤：カリウム補給
 - カリウム貯留性利尿剤：高血圧症
 - エプレレノン：高血圧症
 - リチウム製剤：双極性障害
 - 抗甲状腺薬：甲状腺機能低下症
 - ACE阻害剤：高血圧
 - アンジオテンシンII受容体拮抗剤：高血圧
 - アリスキレンフマル酸塩：高血圧症

次の薬剤を服用している場合は、安定ヨウ素剤と併用した場合に、健康影響が起こる可能性があるため、事前に医師と相談する事が望ましいです。

ただし、1回の服用であれば、重大な健康影響への懸念は少ないと考えられます。安定ヨウ素剤を服用した場合は、かかりつけの医師を受診し、必要な検査等を受けてください。

- カリウム含有製剤：カリウム補給
- カリウム貯留性利尿剤：高血圧症
- エプレレノン：高血圧症
- リチウム製剤：双極性障害
- 抗甲状腺薬：甲状腺機能低下症
- ACE阻害剤：高血圧
- アンジオテンシンII受容体拮抗剤：高血圧
- アリスキレンフマル酸塩：高血圧症

安定ヨウ素剤服用時の注意点

安定ヨウ素剤予防服用にあたって注意すべき事項

- 甲状腺機能異常症
→ 服用（長期摂取でなければ副作用は少ない）
- 結核
→ 服用
- 新生児
→ 服用、ただし甲状腺機能をモニター
- 妊婦
→ 服用（優先度高い、ただし後期の場合新生児の甲状腺機能をモニター）
- 授乳婦
→ 服用し、母乳から人工栄養に切り替える

安定ヨウ素剤服用時に次のような場合は、注意が必要です。

甲状腺機能異常症：服用させます。長期摂取でなければ副作用は少ないです。

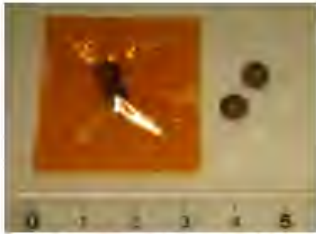
結核：服用させます。

新生児：服用させますが、甲状腺機能をモニターします。

妊婦：優先度が高く、服用させますが、後期の場合新生児の甲状腺機能をモニターします。

授乳婦：服用させますが、母乳から人工栄養に切り替えるように説明します。

服用時期、服用方法、服用量



ヨウ化カリウム丸 (50mg)

安定ヨウ素剤水薬
(12.5mg/ml ヨウ素含有)

- 服用時期
 - 全面緊急事態でPAZに安定ヨウ素剤の服用指示が出た場合
- 服用回数
 - 原則 1 回
 - 連続服用をしなくてよいように、避難等の防護措置を講じることが前提
- 服用方法
 - 経口摂取

| 対象者 | ヨウ素量 | ヨウ化カリウム量 |
|-------------|---------|--|
| 新生児 | 12.5 mg | 16.3 mg (安定ヨウ素剤水薬1 ml) 16.3mgゼリー剤1包 |
| 生後1ヶ月以上3歳未満 | 25 mg | 32.5 mg (安定ヨウ素剤水薬2 ml) 32.5mgゼリー剤1包 |
| 3歳以上13歳未満 | 38 mg | 50 mg (ヨウ化カリウム丸1丸) |
| 13歳以上 | 76 mg | 100 mg (ヨウ化カリウム丸2丸) |

安定ヨウ素剤は、日本では、ヨウ化カリウム丸 (50 mg) として承認されています。

安定ヨウ素剤は、放射性ヨウ素を吸入摂取する前に服用します。成人では、1日1回、1回にヨウ化カリウム丸を2丸 (100 mg)、経口摂取します。

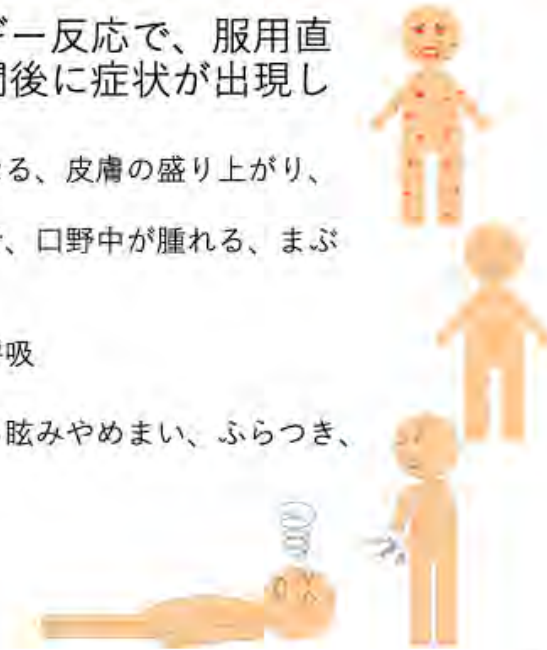
活動が1日以上継続する場合は、2日目以降の服用はなるべく避けるように活動計画を見直す方がいいですが、避けられない場合は、2日目以降の安定ヨウ素剤の連続服用も考慮します。

安定ヨウ素剤の副作用

• ヨウ素に対する過敏症

- ヨウ素に対するアレルギー反応で、服用直後（数分後）から数時間後に症状が出現します。

- 蕁麻疹様皮疹：皮膚が赤くなる、皮膚の盛り上がり、かゆみ
- 浮腫：皮膚のむくみ、唇、舌、口野中が腫れる、まぶたが腫れる
- 喘息発作
- 喘鳴：ゼーゼーと音のする呼吸
- 呼吸困難：息苦しさ
- 血圧低下（ショック）：立ち眩みやめまい、ふらつき、ひどくなると意識を失う
- 嘔吐
- 腹痛



ヨウ素に対する過敏症は、アレルギー反応の一つで、服用直後（数分後）から数時間後に症状が出現します。

症状は、皮膚の症状、粘膜の症状、呼吸器系の症状、循環器の症状、消化器系の症状があります。

- 皮膚の症状
蕁麻疹様皮疹：皮膚が赤くなる、皮膚の盛り上がり、かゆみ
- 粘膜の症状
浮腫：皮膚のむくみ、唇、舌、口野中が腫れる、まぶたが腫れる
- 呼吸器系の症状
喘息発作
喘鳴：ゼーゼーと音のする呼吸
呼吸困難：息苦しさ
- 循環器の症状
血圧低下（ショック）：立ち眩みやめまい、ふらつき、ひどくなると意識を失う
- 消化器系の症状
嘔吐
腹痛

過剰服用による影響

- 甲状腺機能異常症
 - 安定ヨウ素剤を長期間連用することで、次のような症状が現れる
 - 甲状腺機能亢進症
 - 動悸（頻脈）、体重減少、発汗、高血糖、めまい、不整脈、震え
 - 甲状腺機能低下症
 - 全身倦怠感、無力感、皮膚の乾燥、発汗減少、便秘、体重増加、低体温、浮腫、不整脈

安定ヨウ素剤を一週間以上の長期間連用することで甲状腺の機能異常が起こることがあります。一つは甲状腺機能亢進症で、甲状腺ホルモンが過剰に分泌されて、動悸（頻脈）、体重減少、発汗、高血糖、めまい、不整脈、震えなどの症状がでます。

もう一つは、甲状腺機能低下症で、甲状腺ホルモンの分泌が低下して、全身倦怠感、無力感、皮膚の乾燥、発汗減少、便秘、体重増加、低体温、浮腫、不整脈などの症状がでます。

これらの症状がある場合は、安定ヨウ素剤の服用を中止し、医療機関を受診し、適切な検査等を受けてください。

副作用が起こった場合の対処方法

| 病態 | 症状 | 対処方法 |
|------------------|--|--|
| アナフィラキシー ショック | ショック症状（意識障害、 血圧低下など）や呼吸器系 の強い症状（強い喘鳴、呼 吸困難） | 速やかに（救急車 等で）最寄りの医 療機関を受診 |
| ヨウ素過敏症 | 膨疹や浮腫、ぜんそく発作、 嘔吐、腹痛など | 最寄りの医療機関 を受診 |
| 甲状腺機能亢進症 | 動悸（頻脈）、体重減少、 発汗、高血糖、めまい、不 整脈、震え | 直ちに服用を中止 医療機関を受診し、 甲状腺機能の検査 を実施 |
| 甲状腺機能低下症 | 全身倦怠感、無力感、皮膚 の乾燥、発汗減少、便秘、 体重増加、低体温、浮腫、 不整脈 | 通常は、服用を中 止することで症状 は回復する。 |

*アナフィラキシーショック

ショック症状（意識障害など）や呼吸器系の強い症状（強い喘鳴、呼吸困難）などがあり、状態が重篤な場合は、救急車を呼び、速やかに最寄りの医療機関を受診してください。この場合は、アドレナリンの投与や抗ヒスタミン薬、副腎皮質ステロイド薬などを投与し、入院して経過観察が必要です。

*ヨウ素過敏症

蕁麻疹様皮疹や浮腫、ぜんそく発作、嘔吐、腹痛など症状が現れたら、医療機関を受診してください。この場合、軽い皮膚や粘膜症状の場合は抗ヒスタミン薬、呼吸器症状には気管支拡張薬、症状が重くなってくると経口副腎皮質ステロイド薬などの内服薬を投与します。

*長期連用による副作用

甲状腺機能亢進症または甲状腺機能低下症の症状が出現した場合は、安定ヨウ素剤の服用を中止して、医療機関を受診してください。

通常は、安定ヨウ素剤の服用を中止することで、症状は回復します。

まとめ

- 安定ヨウ素剤は体内に取り込んだ放射性ヨウ素の甲状腺への影響のみに防護効果
- 安定ヨウ素剤は、外部被ばくの防護効果なし
- 安定ヨウ素剤服用時は、避難や屋内退避など他の内部被ばくの防護対策も必要
- 安定ヨウ素剤は、放射性ヨウ素の放出がない場合には、服用不要
- 安定ヨウ素剤の服用ができない場合、注意が必要な場合を確認するため、事前に問診票で確認

原子力防災体制

原子力災害 基礎研修

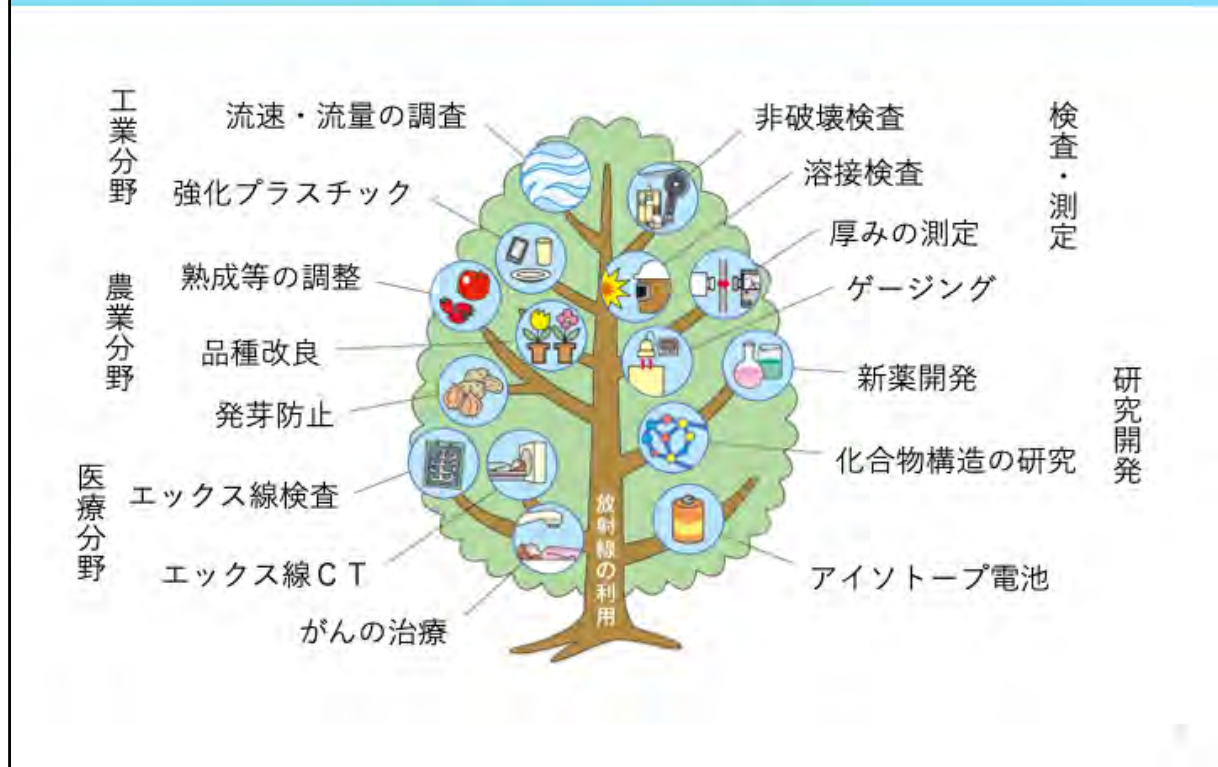
原子力災害基礎-1

時間：30分

内容

- 放射線の様々な利用
- 放射線事故・災害の種類
- 原子力災害
- 関連文書
- 原子力災害対策指針
- 原子力災害対策重点区域
- 緊急事態の段階
- 緊急事態区分及び緊急時活動レベル(EAL)
- 運用上の介入レベル(OIL)
- OILの初期設定値と防護措置の内容
- 原子力災害時の防護の考え方・基準
- 原子力災害時の医療体制
- 安定ヨウ素剤の予防服用の体制
- 緊急時モニタリング
- 避難退域時検査及び除染

放射線の様々な利用



放射線は、医療のみならず、農業、工業などの様々分野で利用されています。

医療の分野では、診断に利用するX（エックス）線撮影、X（エックス）線の透過度の差から臓器を画像化するCT（コンピューター断層撮影）、注射器、手術用の手袋やガウンなどの滅菌、ガンの治療にも利用されています。

農業分野では、放射線を照射することで突然変異を惹起して、病気に強い品種や栄養価値を高めた品種の開発などの品種改良やジャガイモの発芽防止にも利用されています。また、不妊化した成虫を野外に放し、繁殖を抑制することによる害虫の駆除にも役立っています。

工業の分野では、自動車のタイヤなどの高分子化合物に放射線を当てると、熱が強くなり、機械的強度も増します。また、医療のX（エックス）線撮影と同じように物を壊さないで内部を検査する非破壊検査や連続的に物の厚さや密度を測るのにも利用されています。

また、半減期を使用した年代測定や放射性物質の熱を使用したアイソトープ電池等にも利用されています。

出典：原子力・エネルギー図面集2016

放射線事故・災害の種類



原子力災害は、原子力発電所や原子力施設などの事故・災害です。原子力災害対策特別措置法では、原子力災害とは、原子力緊急事態により国民の生命、身体または財産に生ずる被害を指します。ここでいう原子力緊急事態とは、原子力事業者の原子炉等の運転等により放射性物質または放射線が異様な水準で当該原子力事業者の原子力事業所外へ放出された事態を指します。

その他、放射線の事故・テロ・災害には、放射線源による外部被ばく、放射性物質の拡散による汚染と内部被ばくを生じるものがあります。爆発物を使用した放射性物質の拡散の場合は、被災者に放射性物質による汚染や体内への吸入等による内部被ばくに加えて爆傷の被害が生じます。また原子力施設の破壊行為や核兵器の使用では、外部被ばく、内部被ばく、汚染の全てが混在することになります。

放射線事故や災害の種類は、

原子力施設の事故

放射性物質及び放射線の使用施設の事故

核物質や放射性物質の輸送中の事故

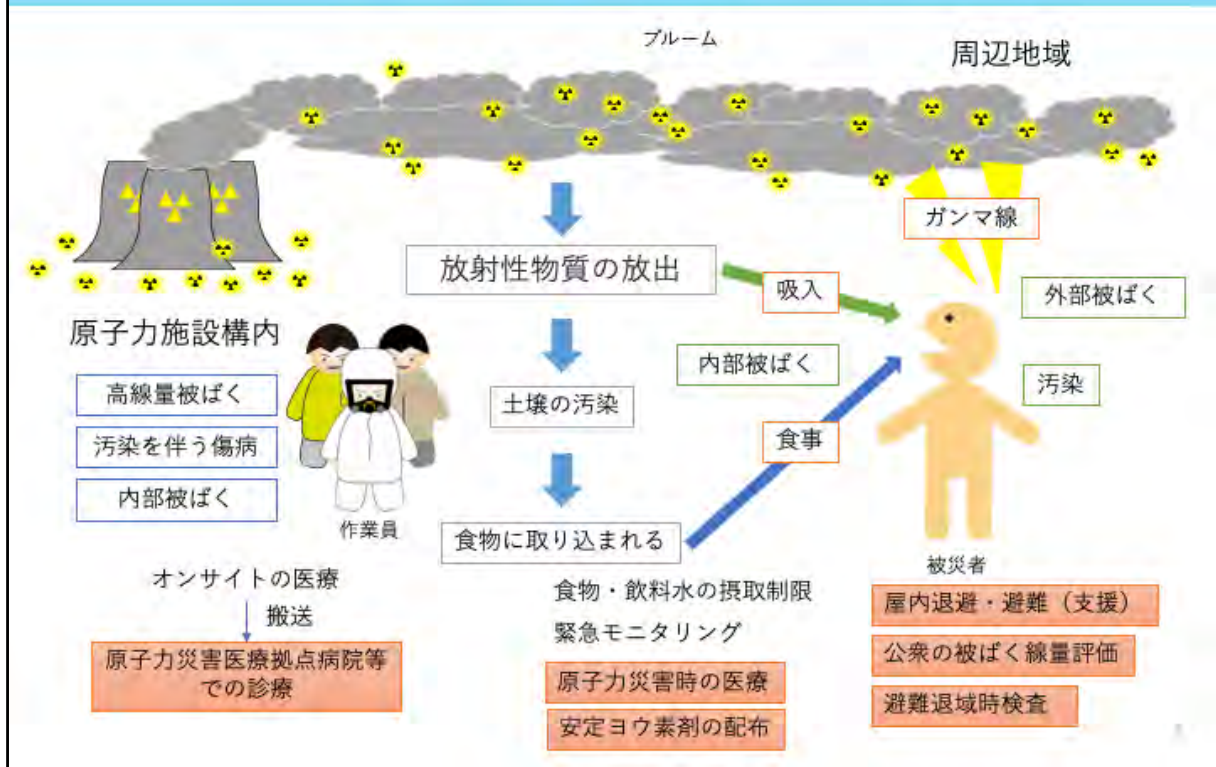
小規模な核兵器

原子力発電所や放射線使用施設への破壊行為、いわゆるテロ

放射性物質を意図的なまき散らし、いわゆる、ダーティボムなど、

様々種類が考えられます。

原子力災害

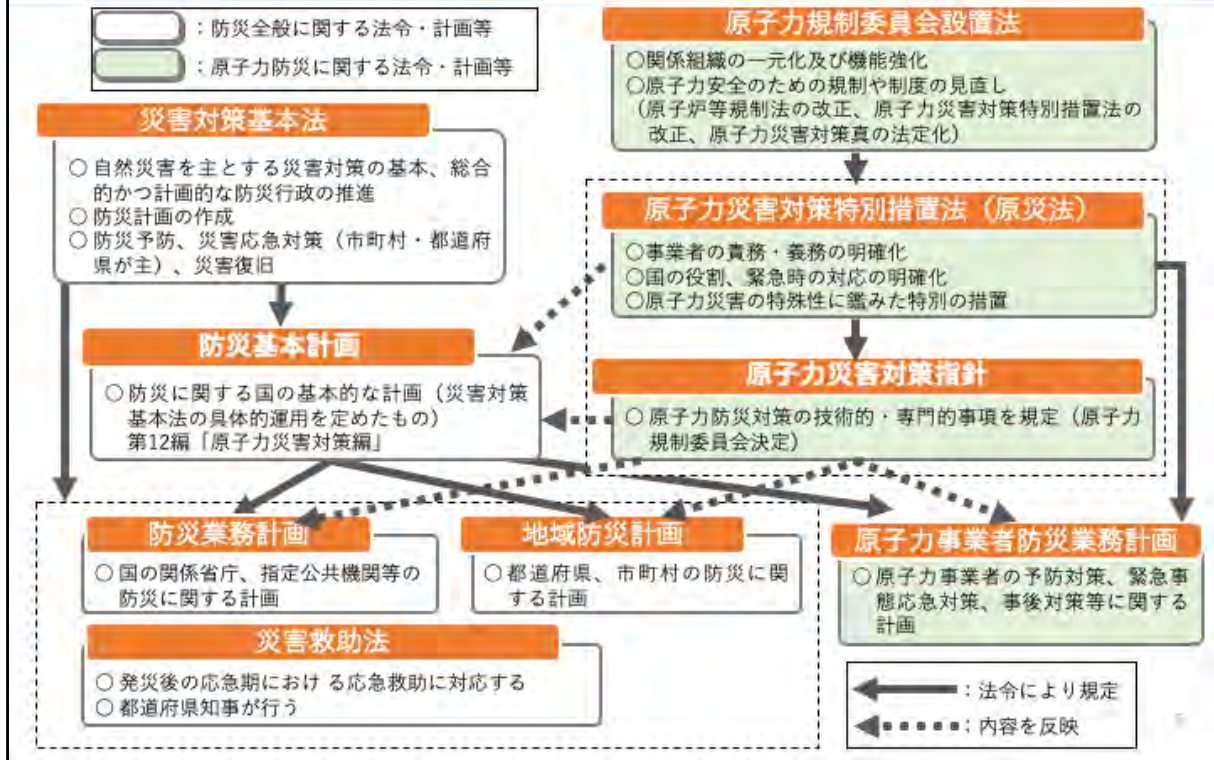


原子力発電所では、ウランが核分裂して発生させる熱を発電に利用しています。この核分裂によって生じたものが核分裂生成物で、放射性物質を多く含んでいます。主に、キセノン、クリプトンなどの放射性希ガス、ヨウ素-131、ヨウ素-133、トリチウムの揮発性物質、クロム-51、マンガン-54、鉄-59、コバルト-58、コバルト-60、セシウム-134、セシウム-137、ストロンチウム-90など粒子状物質の気体や液体が生じます。事故で燃料のペレットや被覆管が破損すると、これらの放射性物質が外部へ漏れ出ます。

福島第一原子力発電所の事故では、津波によって全電源が喪失し、そのために原子炉を冷却できなくなり、原子炉内の温度や圧力が上昇して大量の放射性物質が環境中に放出されました。放出された気体状の放射性物質は、雲のような状態で大気中を流れます。このプルームから降ってきた放射性物質が地表に沈着したり、野菜などの食物に取り込まれます。そこで、プルームが通過した地域にいと汚染したり、プルームからのガンマ線による外部被ばくをしたり、吸入や食事から内部被ばくをしたりします。

原子力災害時における医療対応には、通常の救急医療、災害医療に加えて被ばく医療の考え方が必要となります。すなわち、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供する事です。

原子力防災に関する主な法令及び計画



原子力災害も他の災害と同じように「災害対策基本法」と、「災害対策基本法」等の特別法である、「原子力災害対策特別措置法」が基本になります。

また、「災害対策基本法」に基づき、中央防災会議は、内閣の重要政策に関する会議の一つとして、内閣総理大臣をはじめとする全閣僚、指定公共機関の代表者及び学識経験者により構成され、防災基本計画の作成や、防災に関する重要事項の審議等を行います。

この防災基本計画は、政府の防災対策に関する基本的な計画で、災害の種類に応じて、災害予防・事前準備、災害応急対策、災害復旧・復興という災害対策の時間的順序に沿って記述され、国、地方公共団体、住民等、各主体の責務を明確にするとともに、それぞれが行うべき対策をできるだけ具体的に記述されています。その第12編が原子力災害対策についてです。

さらに、原子力災害対策指針は、「原子力災害対策特別措置法」に基づき、原子力規制委員会が、原子力災害策を円滑に実施するために、専門的・技術的事項について定めたものです。

この防災基本計画及び原子力災害対策指針に基づき、指定行政機関及び指定公共機関は防災業務計画を、地方公共団体は地域防災計画を作成し、災害

原子力災害対策指針（H30.7.25全部改正）

- 原子力災害対策指針は、原子力災害対策特別措置法に基づき、原子力事業者、指定行政機関の長及び指定地方行政機関の長、地方公共団体、指定公共機関及び指定地方公共機関その他の者が原子力災害対策を円滑に実施するために定めるもの。
- 国民の生命及び身体の安全を確保することが最も重要であるという観点から、緊急事態における原子力施設周辺の住民等に対する放射線の重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するための防護措置を確実なものとする。
- 原子力災害特別措置法では、次の事項を定めるとされている。
 - 一 原子力災害対策として実施すべき措置に関する基本的な事項
 - 二 **原子力災害対策の実施体制**に関する事項
 - 三 原子力災害対策を重点的に実施すべき区域の設定に関する事項
 - 四 前三号に掲げるもののほか、**原子力災害対策の円滑な実施の確保に関する重要事項**

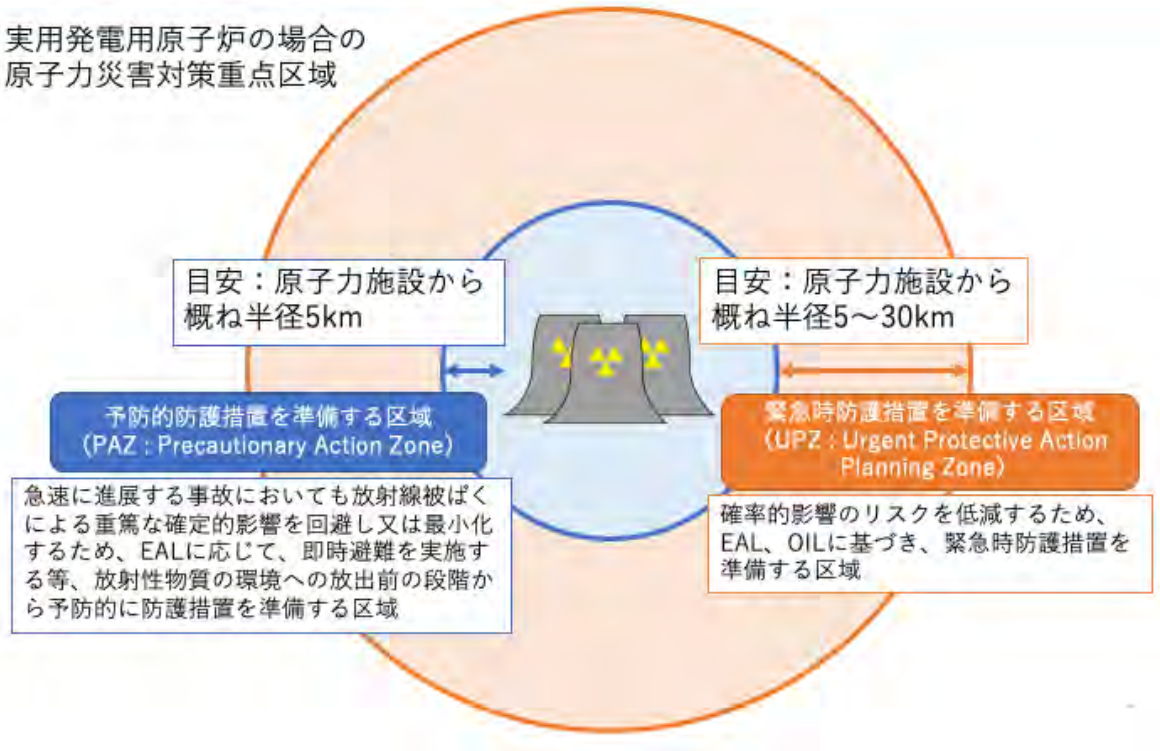
本指針は、原子力災害対策特別措置法(平成11年法律第156号。以下「原災法」という。)第6条の2第1項に基づき、原子力事業者、指定行政機関の長及び指定地方行政機関の長、地方公共団体、指定公共機関及び指定地方公共機関その他の者が原子力災害対策を円滑に実施するために定められたものです。

本指針の目的は、「国民の生命及び身体の安全を確保することが最も重要であるという観点から、緊急事態における原子力施設周辺の住民等に対する放射線の重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するための防護措置を確実なものとする」とあります。

この指針を十分に理解し、関係者の間で共通認識としておくことは、原子力災害に対応するにあたって、極めて重要です。また、様々な防護措置等につ

原子力災害対策重点区域

実用発電用原子炉の場合の
原子力災害対策重点区域



予防的防護措置を準備する区域 (PAZ : Precautionary Action Zone)

PAZとは、急速に進展する事故においても放射線被ばくによる重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、EALに応じて、即時避難を実施する等、通常の運転及び停止中の放射性物質の放出量とは異なる水準で放射性物質が放出される前の段階から予防的に防護措置を準備する区域です。発電用原子炉施設に係るPAZの具体的な範囲については、IAEAの国際基準において、PAZの最大半径を原子力施設から3～5 kmの間で設定すること(5kmを推奨)とされていること等を踏まえ、「原子力施設からおおむね半径5km」を目安としています。

緊急防護措置を準備する区域 (UPZ : Urgent Protective Action Planning Zone)

UPZとは、確率的影響のリスクを低減するため、EAL、OILに基づき、緊急防護措置を準備する区域です。発電用原子炉施設に係るUPZの具体的な範囲については、IAEAの国際基準において、UPZの最大半径は原子力施設から5～30kmの間で設定されていること等を踏まえ、「原子力施設からおおむね半径30km」を目安としています。

ただし、炉規法第43条の3の33の規定に基づく廃止措置計画の認可を受け、かつ、照射済燃料集合体が十分な期間冷却されたものとして原子力規制委員会が定めた発電用原子炉施設については、原子力災害対策重点区域の範囲は原子力施設からおおむね半径5kmを目安とし、当該原子力災害対策重点区域の全てをUPZとしています。

緊急事態の段階

1. 準備段階

- ・原子力事業者、国、地方公共団体等がそれぞれの行動計画を策定
- ・関係者に周知
- ・訓練等で検証・評価し、改善

2. 初期対応段階

- ・情報が限られた中でも、放射線被ばくによる重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するため、迅速な防護措置等の実施

3. 中期対応段階

- ・放射性物質又は放射線の影響を適切に管理
- ・環境放射線モニタリングや解析による放射線状況の把握
- ・初期対応段階で実施した防護措置の変更・解除や長期にわたる防護措置の検討

4. 復旧段階

- ・その段階への移行期に策定した被災した地域の長期的な復旧策の計画に基づき、通常の社会的・経済的活動への復帰の支援

緊急事態においては、事態の進展に応じて、関係者が共通の認識に基づき意思決定を行うことが重要です。

すなわち、緊急事態への対応の状況を、準備段階・初期対応段階・中期対応段階・復旧段階に区分し、各段階の対応の詳細について検討しておくことが有効です。

・準備段階では、原子力事業者、国、地方公共団体等がそれぞれの行動計画を策定して関係者に周知するとともに、これを訓練等で検証・評価し、改善する必要があります。

・初期対応段階では、情報が限られた中でも、放射線被ばくによる重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するため、迅速な防護措置等の対応を行う必要があります。

・中期対応段階では、放射性物質又は放射線の影響を適切に管理することが求められ、環境放射線モニタリングや解析により放射線状況を十分に把握し、それに基づき、初期対応段階で実施した防護措置の変更・解除や長期にわたる防護措置の検討を行う必要があります。

・復旧段階では、その段階への移行期に策定した被災した地域の長期的な復旧策の計画に基づき、通常の社会的・経済的活動への復帰の支援を行う必要があります。

緊急事態区分及び緊急時活動レベル(EAL)

- 原子力施設の状況に応じた3区分
- 各区分での原子力事業者、国及び地方公共団体の果たすべき役割の明確化
 - **警戒事態**；その時点では公衆への放射線による影響やそのおそれが緊急のものではないが、原子力施設における異常事象の発生又はそのおそれがあるため、情報収集や、緊急時モニタリングの準備、施設敷地緊急事態において早期の避難等の防護措置の実施が必要な者の避難等の防護措置の準備を開始する必要がある段階
 - **施設敷地緊急事態**；原子力施設において公衆に放射線による影響をもたらす可能性のある事象が生じたため、原子力施設周辺において緊急時に備えた避難等の主な防護措置の準備を開始する必要がある段階
 - **全面緊急事態**；原子力施設において公衆に放射線による影響をもたらす可能性が高い事象が生じたため、重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するため、迅速な防護措置を実施する必要がある段階

緊急事態の初期対応段階においては、情報収集により事態を把握し、原子力施設の状況や当該施設からの距離等に応じ、防護措置の準備やその実施等を適切に進めることが重要です。このような対応を実現するため、以下のとおり、原子力施設の状況に応じて、緊急事態を、警戒事態、施設敷地緊急事態及び全面緊急事態の3つに区分し、各区分における、原子力事業者、国及び地方公共団体のそれぞれが果たすべき役割を明らかにしています。

これらの緊急事態区分に該当する状況であるか否かを原子力事業者が判断するための基準として、原子力施設における深層防護を構成する各層設備の状態、放射性物質の閉じ込め機能の状態、外的事象の発生等の原子力施設の状態等に基づき緊急時活動レベル(Emergency Action Level；EAL)を設定しています。

運用上の介入レベル（OIL）

- OIL（Operational Intervention Level）とは、防護措置導入の判断に用いられる測定器による測定値などより求めたレベル
- OILは、事故の態様、放出放射性核種の別、気象条件、被ばくの経路（外部、吸入、食物摂取）等を仮定して、包括的判断基準（個々の防護措置の実施によって予想される線量あるいは既に受けてしまった線量によって表わされる判断基準）に相当する計測可能な値として導き出される。
- OILとしては、空間線量率、表面汚染密度、食品中の放射性核種濃度から初期設定値が定められている。

緊急時活動レベル（EAL）の他に、放射性物質の放出後、緊急時モニタリングの結果等の実測値に基づいて防護措置を実視する必要があります。この防護措置を実施すべき基準が、運用上の介入レベル（OIL）です。

次項に初期設定値と防護措置の内容を記載しています。

OILの初期設定値と防護措置の内容

| | 基準の種類 | 基準の概要 | 初期設定値 ^{*1} | 防護措置の概要 | | |
|----------------------|---------------|---|---|------------------------------|---------------|------------|
| 緊急防護措置 | OIL 1 | 地表面からの放射線、放射性物質の吸入等による被ばくを防止するため、住民等を避難や屋内退避等させるための基準 | 地上1mでの線量率 ^{*2} 500 μ Sv/h | 数時間内に区域を特定し、避難等を実施 | | |
| | OIL 4 | 経口摂取、皮膚汚染からの被ばくを防止するため、除染を講じるための基準 | β 線：40,000cpm ^{*3} β 線：13,000cpm ^{*4} 【1ヶ月後】 | 避難者のスクリーニング、除染 | | |
| 早期防護 | OIL 2 | 地表面からの放射線、放射性物質の吸入等による被ばく影響を防止するため、地域生産物摂取を制限、住民等を1週間程度内に一時移転させるための基準 | 地上1mでの線量率 ^{*2} 20 μ Sv/h | 生産物の摂取制限、1週間程度内に一時移転 | | |
| 飲食物摂取制限 [†] | 飲食物のスクリーニング基準 | OIL6による飲食物の摂取制限を判断する基準として、飲食物中の放射性核種濃度測定を実施すべき地域を特定する際の基準 | 地上1mでの線量率 ^{*2} 0.5 μ Sv/h [†] (BGによる寄与も含めた値) | 数日以内に飲食物中の放射性核種濃度の測定区域を特定 | | |
| | OIL 6 | 経口摂取による被ばく影響を防止するため、飲食物の摂取を制限する際の基準 | 核種 ^{*1} | 飲料 [†] 水、牛乳・乳製品、魚、他 | 基準を超えるものは摂取制限 | |
| | | | ヨウ素 | 300Bq/kg | | 2,000Bq/kg |
| | | | セシウム | 200Bq/kg | | 500Bq/kg |
| | | | プルトニウム、超U元素、 α 核種 | 1Bq/kg | | 10Bq/kg |
| ウラン | 20Bq/kg | 100Bq/kg | | | | |

- ※ 1 「初期設定値」とは緊急事態当初に用いるOILの値であり、地上沈着した放射性核種組成が明確になった時点で必要な場合にはOILの初期設定値は改定される。
- ※ 2 本値は地上1mで計測した場合の空間放射線量率である。実際の適用に当たっては、空間放射線量率計測機器の設置場所における線量率と地上1mでの線量率との差異を考慮して、判断基準の値を補正する必要がある。
- ※ 3 我が国において広く用いられている β 線の入射窓面積が 20cm^2 の検出器を利用した場合の計数率であり、表面汚染密度は約 $120\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となる。他の計測器を使用して測定する場合には、この表面汚染密度より入射窓面積や検出効率を勘案した計数率を求める必要がある。
- ※ 4 ※ 3と同様、表面汚染密度は約 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となり、計測器の仕様が異なる場合には、計数率の換算が必要である。
- ※ 5 「地域生産物」とは、放出された放射性物質により直接汚染される野外で生産された食品であって、数週間以内に消費されるもの（例えば野菜、該当地域の牧草を食べた牛の乳）をいう。
- ※ 6 実効性を考慮して、計測場所の自然放射線によるバックグラウンドによる寄与も含めた値とする。
- ※ 7 その他の核種の設定の必要性も含めて今後検討する。その際、IAEAのGSG-2におけるOIL6値を参考として数値を設定する。
- ※ 8 根菜、芋類を除く野菜類が対象。

※9 IAEAでは、飲食物摂取制限が効果的かつ効率的に行われるよう、飲食物中の放射性核種濃度の測定が開始されるまでの間の暫定的な飲食物摂取制限の実施及び当該測定の対象の決定に係る基準であるOIL3等を設定しているが、我が国では、放射性核種濃度を測定すべき区域を特定するための基準である「飲食物に係るスクリーニング基準」を定める。

原子力災害時の防護の考え方・基準

| | | PAZ | UPZ | UPZ外 |
|----------|--------|--|--|---|
| 警戒事態 | 地方公共団体 | ・住民への情報伝達 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備 | ・住民への情報伝達 | ・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力 |
| | 国 | ・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備の指示 | | ・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力の要請 |
| 施設敷地緊急事態 | 地方公共団体 | ・住民への情報伝達 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難 ・住民避難の準備 ・安定ヨウ素剤の服用の準備 | ・住民への情報伝達 ・屋内退避の準備 | ・住民への情報伝達 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ ・住民の避難準備への協力 |
| | 国 | ・施設敷地緊急事態要避難者の避難の指示 ・住民避難の準備の指示 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示 | ・屋内退避の準備の指示 | ・施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ要請 ・住民の避難の準備への協力の要請 |
| 全面緊急事態 | 地方公共団体 | ・住民への情報伝達 ・住民避難 ・住民等への安定ヨウ素剤の服用の指示 | ・住民への情報伝達 ・屋内退避 ・安定ヨウ素剤の服用の準備 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応 | ・住民への情報伝達 ・住民避難の受け入れ ・安定ヨウ素剤の服用の準備 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応 |
| | 国 | ・住民避難の指示 ・地方公共団体への安定ヨウ素剤の服用の指示 | ・屋内退避の指示 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応 | ・住民避難の受け入れ要請 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応 |

原子力発電所の事故が発生した場合、防護措置が開始されます。

防護措置は、緊急時活動レベル（EAL）に基づいた緊急事態区分に基づいて予め定められている防護措置と、緊急時モニタリング等で得られた測定値を基準値とした運用上の介入レベル（OIL）に基づいて実施されます。

緊急時活動レベル（EAL）に基づいた防護措置の考え方

予防的防護措置を準備する区域（PAZ）においては、確定的影響を回避するために、警戒事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難準備を行い、施設敷地緊急事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難、住民避難の準備及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行い、全面緊急事態にいたった場合は、住民避難及び安定ヨウ素剤の服用されます。

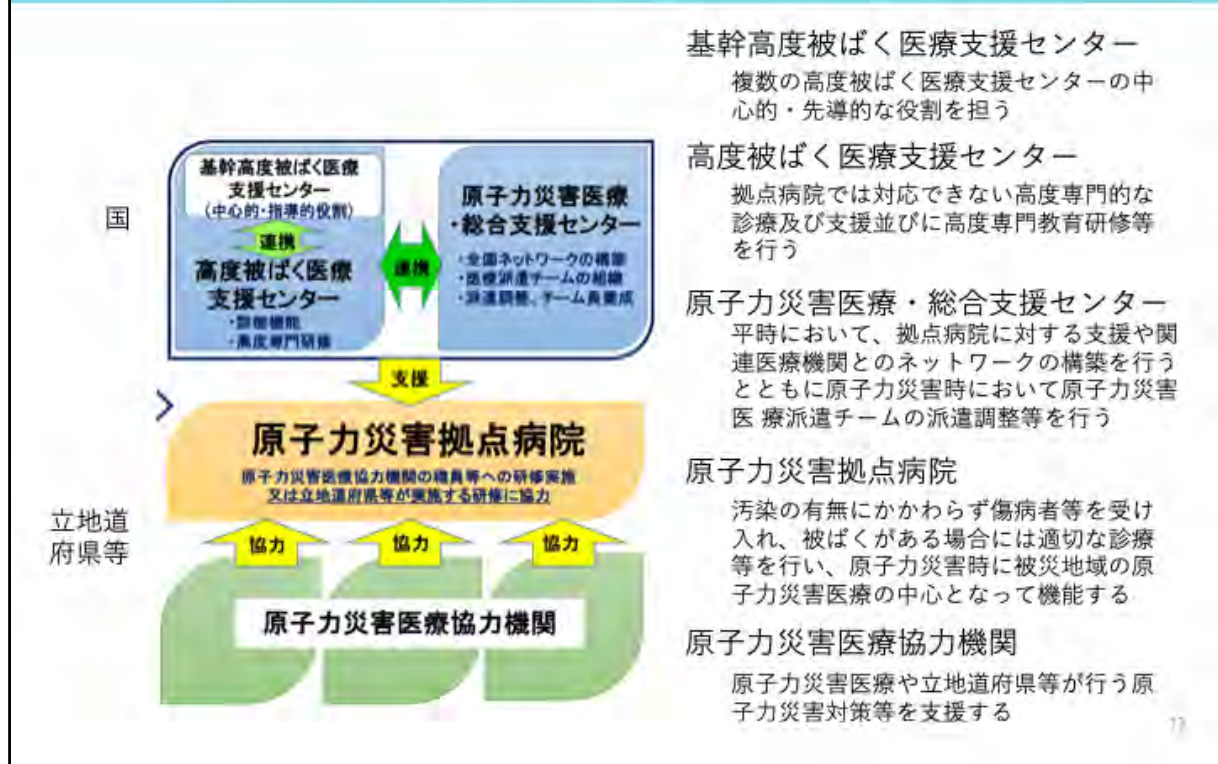
また、緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）においては、確率的影響のリスクを低減するために、施設敷地緊急事態において、屋内退避の準備を行い、全面緊急事態において、屋内退避及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行います。

放射性物質の放出後、UPZ及びUPZ外においては、OILに基づいて、防護措置が実施されます。

施設敷地緊急事態要避難者

避難の実施に通常以上の時間がかかり、かつ、避難の実施により健康リスクが高まらない災害時要援護者等（傷病者、入院患者、高齢者、障害者、外国人、乳幼児、妊産婦その他の災害時に援護を必要とする者をいう。）、安定ヨウ素剤を事前配布されていない者及び安定ヨウ素剤の服用が不適切な者のうち、施設敷地緊急事態において早期の避難等の防護措置の実施が必要な者をいいます。

原子力災害時の医療体制



原子力災害時における医療対応には、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供することが必要となります。そのためには、各地域の状況を勘案して、各医療機関等が各々の役割を担うことが必要であり、平時から救急・災害医療機関が被ばく医療に対応できる体制と指揮系統を整備・確認しておくことが重要です。

次の体制が整備されています。

- 原子力災害時において、被災地域の原子力災害医療の中心となって機能し、汚染の有無にかかわらず傷病者等を受け入れ、被ばくがある場合には適切な診療等を行う「原子力災害拠点病院」
- 原子力災害医療や立地道府県等が行う原子力災害対策等を支援する「原子力災害医療協力機関」
- 拠点病院では対応できない高度専門的な診療及び支援並びに高度専門教育研修等を行う「高度被ばく医療支援センター」
- 複数の高度被ばく医療支援センターの中心的・先導的な役割を担う「基幹高度被ばく医療支援センター」
- 平時において、拠点病院に対する支援や関連医療機関とのネットワークの構築を行うとともに原子力災害時において原子力災害医療派遣チームの派遣調整等を行う「原子力災害医療・総合支援センター」
- 拠点病院等に所属し、原子力災害が発生した立地道府県等内において救急医療等を行う「原子力災害医療派遣チーム」

各地域の担当



高度被ばく医療支援センターの担当地域は次のようになっています。

- 弘前大学；北海道、青森県、宮城県
- 福島県立医科大学；福島県、新潟県、茨城県、神奈川県、静岡県
- 広島大学；石川県、富山県、岐阜県、福井県、滋賀県、京都府、大阪府、鳥取県、島根県、山口県、愛媛県
- 長崎大学；福岡県、佐賀県、長崎県、鹿児島県

安定ヨウ素剤の予防服用の体制

- 放射性ヨウ素は、身体に取り込まれると、甲状腺に集積し、数年～十数年後に甲状腺がん等を発生させる可能性がある。このような放射性ヨウ素による内部被ばくは、安定ヨウ素剤をあらかじめ服用することで低減することが可能である。このため、放射性ヨウ素による内部被ばくのおそれがある場合には、安定ヨウ素剤を服用できるよう、その準備をしておくことが必要である。

〔服用の方策〕 投与指示は、原子力規制委員会が判断

- PAZ：事前配布し、原則として、避難の際に服用の指示に基づき服用し、服用できない者は、施設敷地緊急事態において避難する。
- PAZ外：避難や一時移転等と併せて、原子力施設の状況等に応じて必要性を判断して配布・服用を指示。

原子力発電所で事後が発生した場合、放射性ヨウ素を含む放射性物質が環境中に放出される場合があります。放射性ヨウ素が体内に取り込まれると甲状腺に集積し、将来ガンなどを発生させる可能性があります。

そのため、事前に安定ヨウ素剤を服用すると、血中のヨウ素濃度が高くなり、甲状腺ホルモンの合成が一時的に抑えられ、甲状腺へのヨウ素の取り込みが抑制されます。これが、安定ヨウ素剤の予防服用です。

安定ヨウ素剤の服用に当たっては、甲状腺に対する被ばく防止以外に効果がないこと、抑制効果は1日程度しか続かず、服用するタイミングが重要なこと、副作用の可能性があること、避難や屋内退避等の防護措置と組み合わせて実施されることにも注意しなければなりません。

通常は、市販されている丸薬を大人が2丸、小児が1丸、3歳未満には、ヨウ化カリウムゼリー剤またはヨウ化カリウム末から調整した水薬を服用してもらいます。

服用の指示は、原子力規制委員会が判断し、予防的防護措置を準備する区域（PAZ）においては、事前に配布し避難の際に服用します。緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）においては、プラントの状況、空間放射線量率等に応じて避難や一時移転等の防護措置が講じられ、その際に服用が指示されます。

緊急時モニタリング

- 国、地方公共団体、原子力事業者及び関係指定公共機関は、緊急時モニタリング実施計画に基づいて緊急時モニタリングセンターの指揮の下、緊急時モニタリングを実施する。初期モニタリングにおいては、**OILによる防護措置の判断に必要な空間放射線量率の測定**を重視する。また、**放射性ヨウ素を中心とした空气中放射性物質濃度の測定**も行う。
- 緊急時モニタリングの結果は、緊急時モニタリングセンターで妥当性を判断した後、国が一元的に集約し、必要な評価を実施して、OILによる防護措置の判断等のために共有し、活用する。また、国は、集約及び共有した全ての緊急時モニタリング結果を分かりやすく、かつ迅速に公表する。

施設敷地緊急事態において、国は、地方公共団体の協力を得て、緊急時モニタリングセンターを立ち上げ、動員計画に基づき必要な動員の要請を行い、緊急時モニタリングを開始する等の初動対応を行います。

避難退域時検査及び除染

- 避難退域時検査等による汚染程度の把握は、吸入及び経口摂取による内部被ばくの抑制及び皮膚被ばくの低減、汚染の拡大防止のためには不可欠であり、医療行為を円滑に行うためにも実施しなければならない。
- 避難退域時検査等の実施に当たっては、それが必要な対象全てに対して実施できるような場所を選定すべきであり、この避難退域時検査等は、可能な限りバックグラウンドの値が低い所で行うことが望ましい。
- なお、OILに基づく防護措置としての避難又は一時移転の対象となった住民等については、原子力災害対策重点区域の境界周辺から避難所等までの場所において、避難退域時検査を行い、基準値を超えた場合には簡易除染等を行うことが必要である。

立地道府県等は、OILに基づく防護措置として避難又は一時移転を指示された住民等(ただし、放射性物質が放出される前に予防的に避難した住民等を除く。)を対象に避難退域時検査及び簡易除染を実施します。なお、避難退域時検査及び簡易除染は、避難や一時移転の迅速性を損なわないよう十分留意して行います。また、避難退域時検査及び簡易除染によって健康リスクが高まると判断される住民等については、体調等が悪化しないように十分配慮します。

まとめ

- 原子力施設においては、原子力災害の発生を未然に防止するため、炉規法、原災法等に基づき、原子力災害予防対策が講じられる。
- しかし、原子力災害予防対策を講じているにもかかわらず、原子力災害が発生した場合には、原子力事業者、国、地方公共団体等が、住民の健康、生活基盤及び環境への影響を、事態の段階に応じた最適な方法で緩和し、影響を受けた地域が可能な限り早く通常の社会的・経済的な活動に復帰できるよう、様々な行動をとらなければならない。
- これらの行動が、事態の段階に応じて有効に機能するためには、平時から、適切な緊急時の計画の整備を行い、訓練等によって実行できるように、準備を十分に行っておく必要がある。

確定的影響の包括的判断基準

| 包括的判断基準 | 防護措置あるいは他の措置の例 |
|--|--|
| 急性外部被ばく (10時間未満) 赤色骨髄*1: 1 Gy 胎児: 0.1 Gy 体組織*2: 25 Gy (深部0.5cm) 皮膚*3: 10 Gy (100cm ²) | 線量が予測されたら、包括的判断基準以下に線量を保つための予防的緊急防護措置 (困難な状況下においても) <ul style="list-style-type: none"> ・ 公衆への情報提供及び警告 ・ 早期除染等の防護活動を予防的に行う |
| 急性摂取による内部被ばく AD (Δ) (Δ=30日間*4) 赤色骨髄: 0.2 Gy (原子番号90以上の核種*5) 2 Gy (原子番号89以下の核種*5) 甲状腺: 2 Gy 肺*7: 30 Gy 結腸: 20 Gy 胎児*8: 0.1 Gy | もし被ばくを受けたら、以下を実施: <ul style="list-style-type: none"> ・ 迅速な医療診断、問診及び所要の処置 ・ 汚染管理 ・ 直ちに体内除染*6 (適用可能な場合) ・ 長期医療追跡調査の登録 ・ 包括的な心理カウンセリング |

出典: IAEA GSR Part7 TABLE II.1.

*1 均一な放射場での強い透過性放射線の照射によって生じる赤色骨髄、肺、小腸、生精腺、甲状腺、水晶体に対する外部被ばく
 *2 (手やポケットに入れて携帯される放射源などの) 接触により、組織の深さ0.5cm で100cm²にもたらされる線量
 *3 線量は、表皮から40mg/cm²の深度 (すなわち0.4mm) で100cm²の皮膚組織に対するものである。
 *4 AD (Δ)は、被ばくした人の5%に健康影響を生じるような摂取量(I₀₅)

によって期間Δの間にもたらされる吸収線量を指す。
 *5 放射性核種の摂取量閾値の違いを考慮するため異なる基準を使用。
 *6 体内除染に対する包括的判断基準は、体内除染なしの予測線量に基づく。
 *7 本文書の目的上、「肺」とは、気道の肺胞-間質領域(AI)を意味する。
 *8 子宮内での成長期間における吸収線量。

国際的には、重篤な確定的影響を回避する為の包括的判断基準Generic Criteria (以下GC)、確率的影響のリスクの低減に関する緊急のGC、確率的影響のリスクの低減に関する早期のGC、飲食物制限に関するGC、の4つのGCが定められて、GCを達成するべく種々の基準値が定められている。

確率的影響の包括的判断基準

| 包括的判断基準 | | 防護措置あるいは他の措置の例 |
|---|-------------------|--|
| 以下の包括的判断基準を超える予測線量：緊急防護措置と他の対応措置を実施する | | |
| 甲状腺等価線量 | 50mSv (最初の7日間) | 安定ヨウ素剤予防服用 |
| 実効線量 | 100mSv (最初の7日間) | 屋内退避、避難、除染、食物やミルク、水の摂取制限、汚染管理、公衆の安心確保 |
| 胎児等価線量 | 100mSv (最初の7日間) | |
| 以下の包括的判断基準を超える予測線量：緊急時の早い段階での防護措置と他の対応措置を実施する。 | | |
| 実効線量 | 100mSv (年間) | 一時的避難、除染、食物やミルク、水の摂取制限、汚染管理、公衆の安心確保 |
| 胎児等価線量 | 100mSv (子宮内発育全期間) | |
| 以下の包括的判断基準を超えて受けた線量：放射線に起因する健康影響を検出し効率よく対処するため、長期医療対策を実施する。 | | |
| 実効線量 | 100mSv (月間) | (医療追跡調査の基礎としての) 特定の放射線感受性の高い臓器の等価線量に基づくスクリーニング、カウンセリング |
| 胎児等価線量 | 100mSv (子宮内発育全期間) | 個々の状況で告知に基づく決定を実施するためのカウンセリング |

出典：IAEA GSR Part7 TABLE II.2.

確率的影響に関する包括的基準に関しては、ALARAの概念に従い、可能な限り無理なく達成することを目標としています。

飲食物に関する包括的判断基準

| 包括的判断基準 | | 防護措置あるいは他の措置の例 |
|--|------------------|--|
| 食物、牛乳、飲料水の摂取および他の商品の使用により以下の包括的判断基準を超える予測線量：防護措置と他の対応措置を実施する | | |
| 実効線量 | 10mSv (年間) | 食物、牛乳、飲料水の消費、流通、販売を制限し、他の商品の仕様と流通を制限する。必要な食物、牛乳、飲料水をできるだけ早く交換するか、代替品が入手できない場合は影響を受ける人々を避難させます。食物、牛乳、飲料水を摂取あるいは他の商品を使用した可能性のある人の線量を推定して、表II.2に従って、医療上の注意が必要な線量になったかどうかを判断します。 |
| 胎児等価線量 | 10mSv (子宮内発育全期間) | |

出典：IAEA GSR Part7 TABLE II.3.

食品、牛乳、飲料水を制限すると、脱水症状、深刻な栄養失調、その他の深刻な健康への影響が生じる可能性があります。したがって、必要不可欠な食品、牛乳、飲料水は、代替品がある場合に限り制限されるべきです。

IAEAと原子力災害対策指針のOIL比較

| | IAEA (EPR-NPP-OILs) | | | 原子力災害対策指針 | | | |
|-------------------|---------------------------|--|---|------------------|---|-------------------------------------|------------|
| | 包括的判断基準 (実効線量) | 初期設定値 | | 初期設定値 | | | |
| 避難等 | 100mSv/週 | OIL1 | 1,000μSv/h | OIL1 | 500μSv/h 【GC: 50mSv/週に相当】 | | |
| 除染 | 皮膚線量10Gy/10時間 100mSv/週 | OIL4 | γ線: 1μSv/h β線: 60,000cpm | OIL4 | β線: 40,000cpm 【GC: 50mSv/週に相当】 β線: 13,000cpm (1ヶ月後の値) | | |
| 一時移転等 | 100mSv/年 | OIL2 | 100μSv/h (炉停止後10日間) 25μSv/h (11日以降) | OIL2 | 20μSv/h 【GC: 20mSv/年に相当】 | | |
| 飲食物 摂取制限 | 10mSv/年 | OIL3 | 1μSv/h | 飲食物に係るスクリーニング基準 | 0.5μSv/h 【GC: 5mSv/年に相当】 | | |
| | 10mSv/年 | OIL7 | 核種 | 飲料水 牛乳 食べ物 | 核種 | 飲料水 牛乳・乳製品 野菜類、穀類、肉、魚、 その他 | |
| | | | I-131 | | | | 1,000Bq/kg |
| | 10mSv/年 | OIL6 (GSG-2より、 核種合計 で評価 Σ≦1) | 357核種ごとの値を設定。 うち、 I-131: 3,000Bq/kg Cs-137: 2,000Bq/kg U-238: 100Bq/kg Pu-239: 50Bq/kg | | OIL5 (放射線ヨウ素は 甲状腺等価線量 50mSv、それ以外は 実効線量5mSv/年) | 放射性セシウム | 200Bq/kg |
| ウラン | | | 20Bq/kg | 100Bq/kg | | | |
| 健康調査対象 スクリーニング | 幼児の甲状腺 等価線量100mSv | OIL8 | 0.5μSv/h | OIL8 | — | | |

*: 根菜、芋類を除く野菜類が対象

出典：平成 30 年 4 月 11 日 原子力規制庁 資料2 「包括的判断基準 (GC) 及び運用上の介入レベル (OIL)について」

放射線の基礎

原子力災害 基礎研修

原子力災害基礎-2

講義時間；30分

内容

- 放射線、放射能、放射性物質
- 放射線の種類
- 放射線の性質
- 原子の構造と周期律
- 壊変
- 物理学的半減期
- 放射性核種と半減期
- 放射線的作用
- 放射線的作用と放射線測定器
- 放射線の単位
- 補助単位
- 身の回りの放射線
- 大地の放射線
- まとめ

放射線、放射能、放射性物質



放射線の事故、災害対応、マニュアルを使用する際には、放射線、放射性物質、放射能という用語を知っておく必要があります。

放射線とは、放射性物質から出てくるエネルギーです。種類としては、高いエネルギーを持つ電磁波のガンマ線、エックス線と高速で動く粒子線のアルファ線、ベータ線などがあります。中性子線は、電荷を持たない放射線です。放射線は原子核が不安定な状態から安定な状態に変化（壊変）するときに出したり、原子核以外では発生装置からも放出されます。

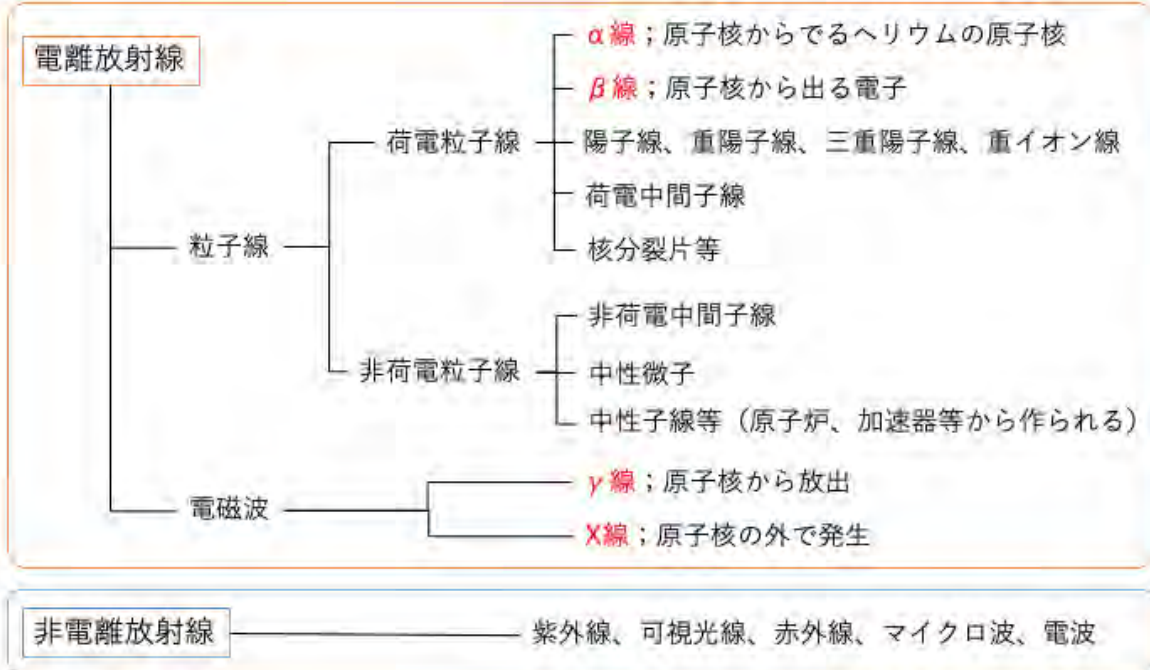
原子は原子核とその周りを回る電子から構成されており、原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されています。原子核がエネルギー的に不安定な場合は、安定になるよう放射線を出します。原子核から放射線を出すことを壊変といい、壊変は大きく分けると α （アルファ）壊変と β （ベータ）壊変があります。

放射線は五感で感じることはできませんが、測定器で検知、計測ができます。

放射性物質とは、放射線を出す物質のことです。形状としては気体、液体、固体などがあります。放射性物質を放射線源ということもあります。

放射性物質が放射線を出す能力のことを放射能といいます。放射能の単位はBq（ベクレル）であり、数値が大きいほど放射性物質からたくさんの放射線が出ていることとなります。

放射線の種類



※一般的に放射線といった場合は、電離放射線を指す。

放射線には、物質を構成する原子を電離（+電荷のイオンと-電荷の電子に分離）する能力を持つ電離放射線と原子を電離する能力を持たない非電離放射線があります。

放射線と一般的にいった場合は、電離放射線を指します。

電離放射線には、粒子の粒の流れの粒子線と光の仲間の電磁波があります。

粒子線の仲間には、 α （アルファ）線、 β （ベータ）線、中性子線等が含まれます。

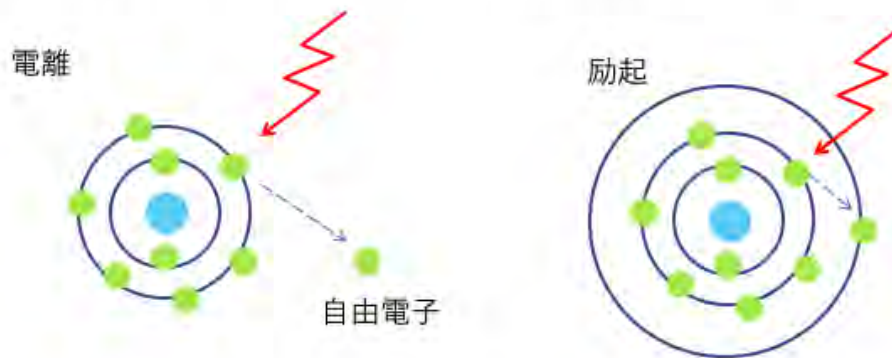
α （アルファ）線は、原子核から放出された陽子2個と中性子2個とが一つになった、ヘリウムの原子核の流れです。 β （ベータ）線は、原子核から放出された電子の流れです。

中性子線は、原子核を構成する、中性子の流れです。

電磁波には、X（エックス）線、 γ （ガンマ）線があります。X（エックス）線は原子核の外側で発生し、 γ （ガンマ）線は原子核の内側で発生し、発生機構で区別しています。

電離と励起

- 放射線が物質を通過するとき、放射線が原子や分子にぶつかり相互作用が起こる。
 - 電離：分子（原子）がエネルギーを受けて電子を放出したり、外から電子を得ること
 - 励起：軌道電子が原子から出ず、外側の軌道に移ること



放射線は、物質を通過する際に、物質を構成する原子や分子と互いに影響を与えます。これが放射線と物質の相互作用です。

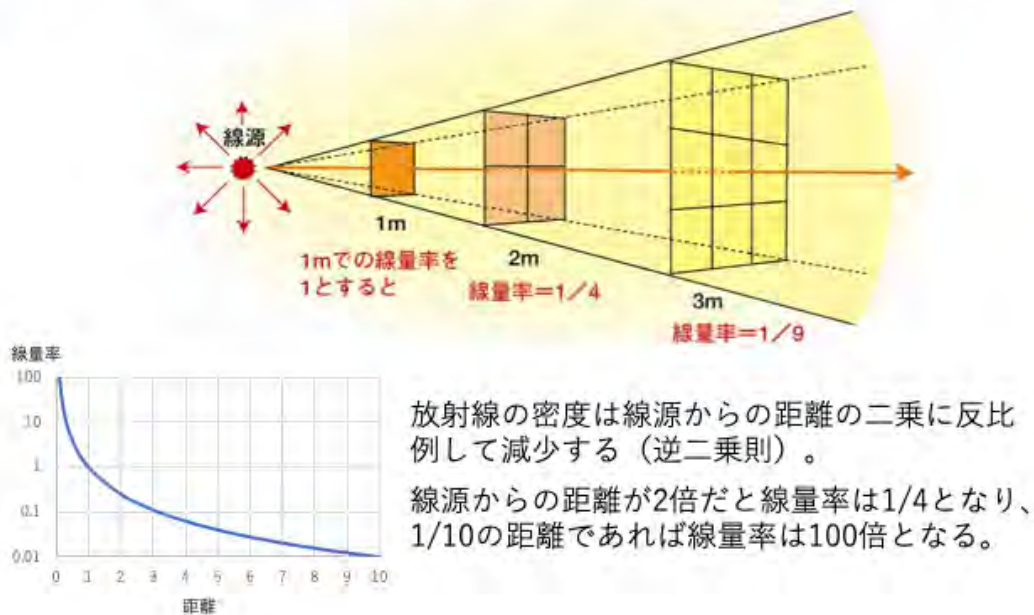
放射線が物質中を通過する場合、持っているエネルギーにより、原子が持つ軌道電子をはじき出して、陽電荷を帯びた状態の原子（または陽イオンの分子）と自由な電子（自由電子）とに分離します。軌道電子が原子の外に弾き出してしまうことを電離と言います。

軌道電子が原子から飛び出さず、外側の軌道に移ることを励起と言います。励起原子では、外側の軌道電子が内側の空の軌道に移ろうとします。内側の軌道電子が持つエネルギーは小さいので、電子は余分なエネルギーを光（電磁波）の形で放出します。この励起原子から出る光は蛍光と呼ばれます。

放射線の性質；等方性

等方性

放射線は、放射性物質（線源）から全方向に均一に放出される。



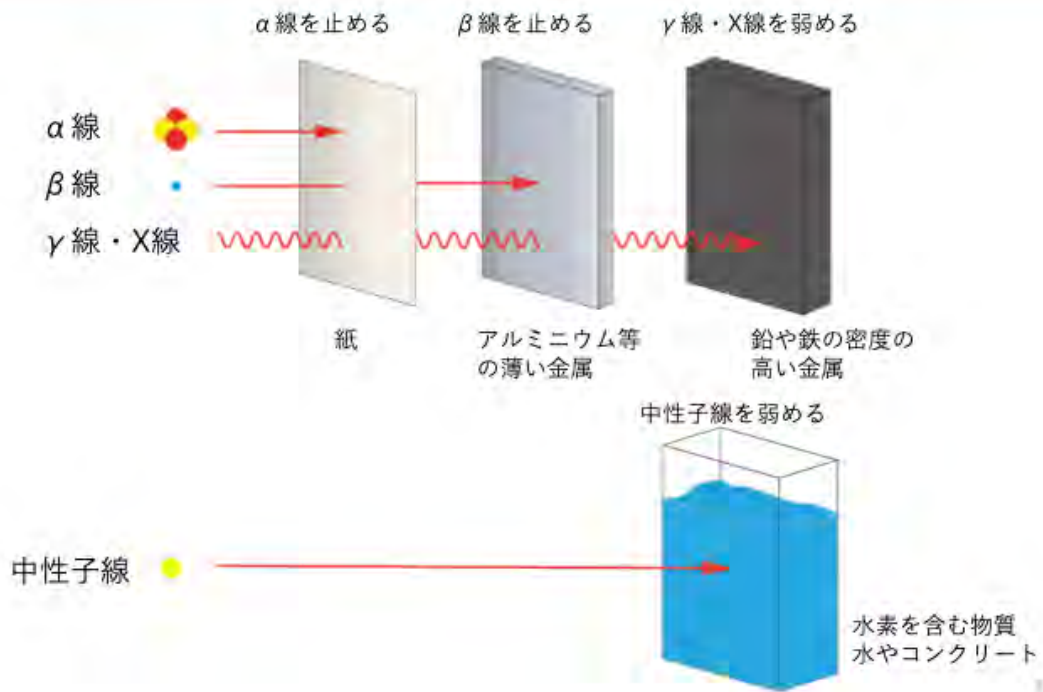
放射性物質からの放射線は光と同様に全方向に均一に放出され、これを等方性といいます。

電球の近くでは明るく、遠くでは暗いのと同様に、放射性物質の近くでは放射線の量は多く、遠くでは少なくなります。放射線の密度は放射性物質からの距離の二乗に反比例することから「逆二乗則」といいます。

例えば、1 mの距離の放射線量率を1とすると、2 mの距離では4分の1、3 mの距離では1/9になります。

なお、逆二乗となるのは放射線源が点線源かそれに近い場合で、点線源とみなせない場合は、必ずしも当てはまらないことには注意が必要です。（例えば、地表などに沈着した放射性物質や空気中の放射性物質からの放射線、リニアック、コリメートされた線源形状、加速器等からのビーム状の放射線等）

放射線の性質；透過力



放射線には物質を通り抜ける力（透過力）があります。物質内に入った放射線（電荷を持つ粒子や電磁波）は、電気、磁気的作用によってエネルギーを失い、最終的には止まります。つまり、遮へい物によって放射線を遮ることができます。

アルファ線は、透過力が弱いので、紙一枚で止めることができます。ベータ線は、核種ごとのエネルギーに依存しますが、アルミニウムやアクリルなどの薄い板で止めることができます。ガンマ線、X線は、透過力が大きく、密度の高い鉛や鉄の板で弱めることができます。中性子線は、電荷を持たないため、透過力が大きいですが、水素原子の弾性衝突で止めることができます。そのため、水素原子の密度が高い、水やコンクリートで弱めることができます。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」を改変

原子の構造と周期律

原子



原子核

- 陽子；+（プラス）の電荷を持つ
- 中性子；電荷を持たない

電子；-（マイナス）の電荷を持つ

化学的性質；陽子の数で決まる。

質量数 = 陽子 + 中性子

同位元素；陽子の数が同じで、中性子の数が異なる元素

| | | 族 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|----------------|----------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| 周期 | 1 | 1 H 1.008 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He 4.002 | |
| | 2 | 3 Li 6.941 | 4 Be 9.012 | | | | | | | | | | | 5 B 10.81 | 6 C 12.01 | 7 N 14.01 | 8 O 16.00 | 9 F 18.99 | 10 Ne 20.18 | |
| | 3 | 11 Na 22.99 | 12 Mg 24.31 | | | | | | | | | | | 13 Al 26.98 | 14 Si 28.09 | 15 P 30.97 | 16 S 32.07 | 17 Cl 35.45 | 18 Ar 39.95 | |
| | 4 | 19 K 39.1 | 20 Ca 40.08 | 21 Sc 44.96 | 22 Ti 47.88 | 23 V 50.94 | 24 Cr 52 | 25 Mn 54.94 | 26 Fe 55.85 | 27 Co 58.93 | 28 Ni 58.69 | 29 Cu 63.55 | 30 Zn 65.39 | 31 Ga 69.72 | 32 Ge 72.61 | 33 As 74.92 | 34 Se 78.96 | 35 Br 79.9 | 36 Kr 83.8 | |
| | 5 | 37 Rb 85.47 | 38 Sr 87.62 | 39 Y 88.91 | 40 Zr 91.22 | 41 Nb 92.91 | 42 Mo 95.94 | 43 Tc (99)* | 44 Ru 101.1 | 45 Rh 102.9 | 46 Pd 106.4 | 47 Ag 107.9 | 48 Cd 112.4 | 49 In 114.8 | 50 Sn 118.7 | 51 Sb 121.8 | 52 Te 127.6 | 53 I 126.9 | 54 Xe 131.3 | |
| | 6 | 55 Cs 132.9 | 56 Ba 137.3 | 57 La (138.905) | 58 Ce 140.12 | 59 Pr 140.908 | 60 Nd 144.24 | 61 Pm (145) | 62 Sm 150.36 | 63 Eu 151.96 | 64 Gd 157.25 | 65 Tb 158.93 | 66 Dy 162.50 | 67 Ho 164.93 | 68 Er 167.26 | 69 Tm 168.93 | 70 Yb 173.05 | 71 Lu 174.967 | | |
| | 7 | 87 Fr (223) | 88 Ra (226) | 89-103 (227) | 104 Rf (261)* | 105 Db (262)* | 106 Sg (263)* | 107 Bh (264)* | 108 Hs (265)* | 109 Mt (266)* | 110 Ds (269)* | 111 Rg (272)* | 112 Cn (277)* | 113 Uut (278)* | | | | | | |

* つけられた値は、その元素の代表的な放射同位体の質量数である (IUPAC)

文部科学省 「一家に一枚周期表6版」

原子は原子核とその周りを回る電子から構成されています。原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されています。

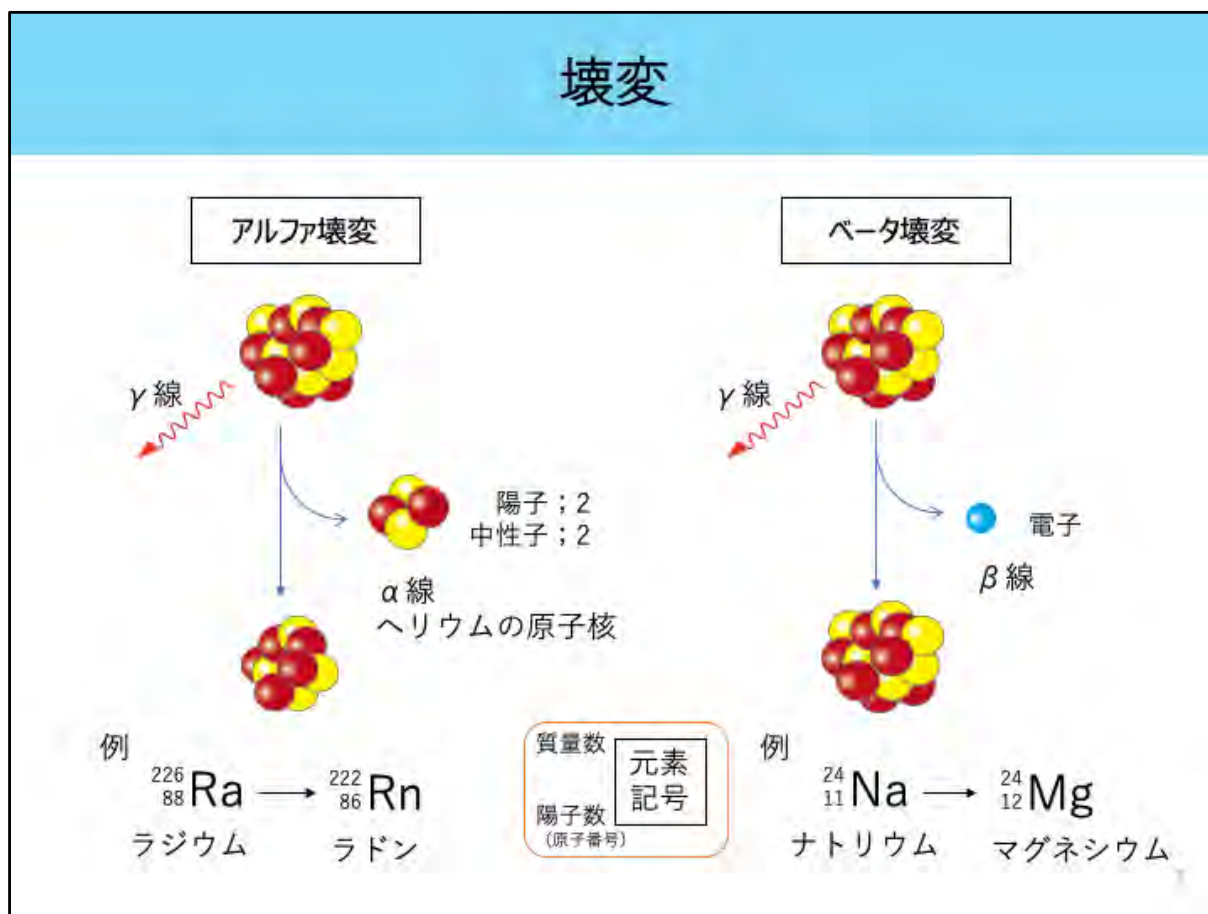
原子の化学的性質は陽子の数で決まります。例えば炭素は陽子が6個の元素ですが、中性子が5個のもの、6個のもの、7個のもの、8個の炭素などが存在しています。

陽子と中性子の数を足したものを質量数と呼びます。

例えば陽子が6個の炭素は、中性子が5個のものは質量数11、中性子が6個のものは質量数12、中性子が7個のものは質量数13、中性子が8個のものは質量数14となります。

これらの原子を区別して呼ぶ場合は、元素名のあとに質量数を付けて、炭素11、炭素12、炭素13、炭素14と呼びます。

壊変



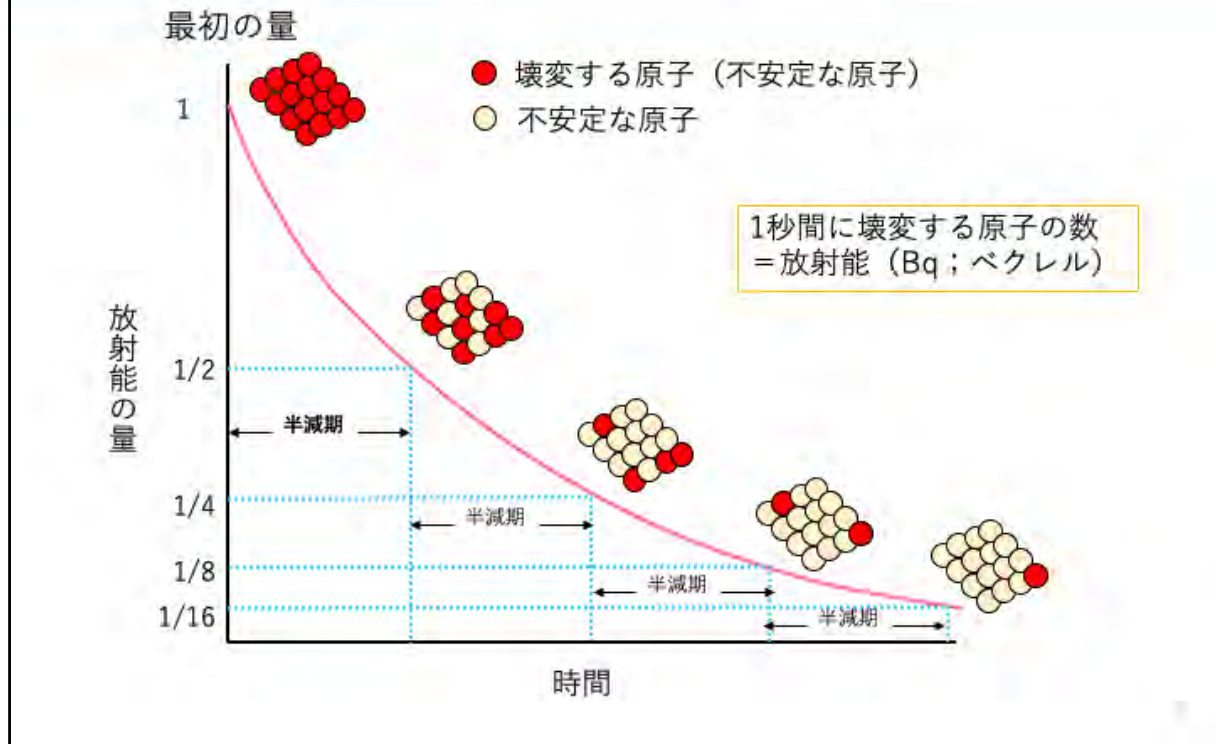
原子核がエネルギー的に不安定な場合、安定になろうとして放射線を放出します。原子核から放射線を放出し、別の原子核に変化する現象を壊変といいます。壊変は大きく分けると α 壊変と β 壊変になります。

α 壊変は、原子核から陽子2個と中性子2個が一塊の粒子（ヘリウムの原子核）となって放出される壊れ方で、このヘリウムの原子核が α （アルファ）線です。多くの場合、 α 線の放出に伴って電磁波である γ 線も放出されます。比較的質量数の大きい原子核で起こり、質量数が4、原子番号（陽子の数）が2つ減ります。

β 壊変は、原子核から電子が放出される壊れ方で、この電子が β 線です。 α 壊変同様、多くの場合、 β 線の放出に伴って電磁波である γ 線も放出されます。 α 壊変を起こす質量数より小さい原子核で起こり、質量数は変わらず、原子番号（陽子の数）が1つ増えます。中性子線はウランやプルトニウムが核分裂したときや、 α 壊変に伴って放出される中性子です。

例えば、炭素14は、窒素14に宇宙線の一つである中性子が当たり、陽子を追い出してできる自然界に存在する放射性物質です。原子核には陽子が6個、中性子が8個ありますが、両者の数のバランスが悪く、エネルギー的に不安定な状態です。一つの中性子が陽子になると、陽子も中性子も7個ずつになって安定します。このとき、余分なエネルギーが電子として放出されます。これが β 線の正体です。つまり、炭素14は β 線を出すことで、陽子数が7個の窒素に戻り、エネルギー的に安定になります。

物理学的半減期



放射能の単位にはBq (ベクレル) が用いられます。放射能は、単位時間当たり放射物質に含まれている原子核が「どれだけ壊れるか」で定義され、1 Bqは1秒間当たり1個の原子核が壊れることを表します。Bqは単独で使う以外に、単位体積、単位面積あるいは単位重量当たりの放射能を表す、 Bq/cm^3 、 Bq/cm^2 、 Bq/kg などを使います。

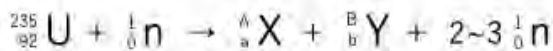
放射性核種が壊れて別の原子核に変わるということは、時間の経過とともに放射物質に含まれる放射性核種の数も段々減っていくこととなります。したがって、放射能も段々減っていきます。この変化の時間は、核種(放射性物質)の種類ごとに決まっており、元の放射物質が半分に減少するまでの期間を「物理学的半減期」と呼んでいます。

半減期は放射性核種の種類によって異なり、数十億年という長いものから1秒以下の短いものまで色々あります。

核分裂反応

- 核分裂反応；不安定核が分裂してより軽い元素を二つ以上作る反応

- U-235原子核に低速の中性子が当たるといったん複合核を形成した後、2個の核分裂片XとYに分裂し、その際2～3個の中性子が放出される。
- 核分裂によって膨大な熱エネルギーが発生する。



- 核分裂生成物；核分裂反応によって発生する核分裂片

- 核分裂では、原子番号の和と質量数の和は、いずれも分裂の前後で保存されるが、A、B、a、bの値が一意的には定まらず、分裂パターンは多様化し、核分裂生成物の質量数は、72～162まで広く分布する。

熱中性子による核分裂で生じる主な核分裂生成物

| 生成物 | U-235収率 | Pu-239収率 | 半減期 |
|-----------|---------|----------|---------|
| セシウム133 | 6.70% | 7.02% | 安定 |
| ヨウ素135 | 6.28% | 6.54% | 6.57h |
| ジルコニウム93 | 6.30% | 3.80% | 1.53My |
| セシウム137 | 6.19% | 6.61% | 30.17y |
| テクネチウム99 | 6.05% | N/A | 211ky |
| ストロンチウム89 | 4.73% | 1.72% | 50.53d |
| ストロンチウム90 | 5.75% | 2.10% | 28.9y |
| ヨウ素131 | 2.83% | 3.86% | 8.02d |
| プロメチウム147 | 2.27% | N/A | 2.62y |
| サマリウム149 | 1.09% | 1.22% | 安定 |
| ヨウ素129 | 0.54% | 1.37% | 15.7My |
| キセノン133 | 6.70% | 7.02% | 5.2475d |

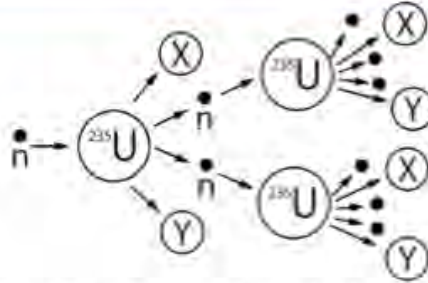
U-235原子核に低速の中性子が当たるといったん複合核を形成した後、2個の核分裂片XとYに分裂し、その際2～3個の中性子が放出されます。さらに核分裂の伴って膨大な熱エネルギーが発生します。これを核分裂反応といい、核反応の一つです。核分裂はU-235だけでなく、Th-232やU-233、U-238、Pu-239でも起こります。

核分裂片は核分裂生成物（FP; Fission Products）と呼ばれます。核分裂生成物の大部分は、強い放射能を帯びており、放射性廃棄物になります。核分裂では、原子番号の和と質量数の和は、いずれも分裂の前後で保存されますが、A、B、a、bの値が一意的には定まらず、分裂パターンは多様化し、核分裂生成物の質量数は、72～162まで広く分布します。

ウラン238、カリウム40のように半減期が長い放射性物質は、遠い昔に宇宙で作られ、地球が誕生する時に地球に取り込まれたものです。

セシウム137、ストロンチウム90、ヨウ素131、プルトニウム239は、原子力発電所が事故を起こすと環境中に放出されることがあります。

臨界



- **連鎖反応**；核分裂の際に放出された中性子が、近くのU-235原子核に当たると、そこでも核分裂が起こる。このように中性子が担い手となって次々にねずみ算式に次々と増大しながら進む反応
- **臨界**；中性子の数が増えもせず、減りもしない状態で、核分裂の連鎖反応が一定に持続している状態
 - 原子炉は連鎖反応が徐々に進み、それを制御できるようにした装置
 - U-235の濃度や量が少ないと核分裂で生じた中性子が次のU-235に当たらないので、連鎖反応が起こらない。

核分裂の際に放出された中性子が、近くのU-235原子核に当たると、そこでも核分裂が起こります。このように中性子が担い手となってねずみ算式に次々と増大しながら進む反応を連鎖反応と言います。

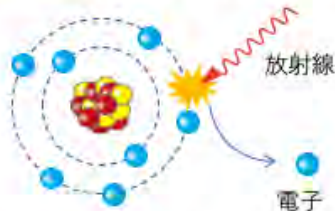
原爆は連鎖反応が瞬時に進むようにしたものであり、原子炉は連鎖反応が徐々に進み、それを制御できるようにした装置です。

中性子の数が増えもせず、減りもしない状態で、核分裂の連鎖反応が一定に持続している状態を臨界と言います。U-235の濃度や量が少ないと核分裂で生じた中性子が次のU-235に当たらないので、連鎖反応が起こりません。連鎖反応が起こるためには、一定量以上のU-235が必要になります。その最小量を臨界量と言います。

臨界量は、核燃料の種類、濃度、量、形状、溶液の有無などのよって変わります。そのため、臨界量以上の核燃料を1箇所に集めると、連鎖反応が一気に進み、危険です。これが臨界事故となります。

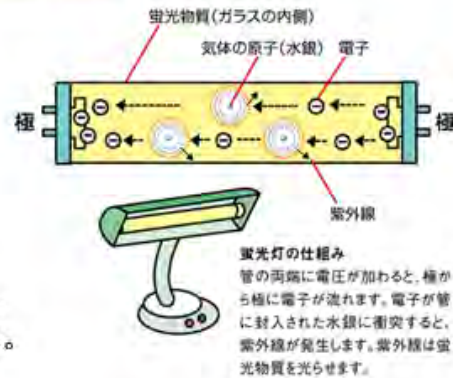
放射線の作用

電離作用 電子をはじき出す



直接作用；物質を直接電離する。
間接作用；物質との相互作用によって発生した二次電子によって間接的に電離する。

蛍光作用 光を出させる



透過作用

物質を通り抜ける



放射線が物質中を通過する場合、持っているエネルギーにより、原子が持つ軌道電子をはじき出して、陽電荷を帯びた状態の原子（または陽イオンの分子）と自由な電子とに分離します。これを電離作用といいます。

電離放射線の中には、直接物質を電離するものと、間接的に電離するものがあります。

α （アルファ）線、 β （ベータ）線等の電気を持った粒子線は、物質を直接電離します。特に α 線は、 β 線等の数百倍の密度の電離を引き起こします。

γ （ガンマ）線、X（エックス線）は、物質との相互作用によって発生した二次電子によって、物質を間接的に電離します。

蛍光作用とは、紫外線や放射線などが特別な物質に当たった時、その物質から特殊な光を出させる働きのことです。

透過作用とは、前述の通り物質を通り抜ける作用です。物質を通り抜けるときに、放射線（電荷を持つ粒子や電磁波）は、電気、磁気的作用によってエネルギーを失い、最終的には止まります。

放射線の他の作用として写真作用や化学作用もあります。写真作用の原理は、原則としてフィルムの写真と同じです。放射線が写真乳剤中の原子・分子に電離作用を及ぼしてイオンや自由電子を発生させます。このイオンを還元すると像として残ります。この像を現像、定着すると放射線の写真ができます。

出典；「原子力・エネルギー図面集2015」より改変

放射線の作用と放射線測定器

| 検出方法 | 測定器の例 | 主な測定対象放射線 |
|------------|----------------------|-----------|
| 気体の電離作用を利用 | 電離箱式サーベイメータ | γ線 |
| | GM計数管式サーベイメータ | β線, γ線 |
| 固体の電離作用を利用 | 電子式ポケット線量計 | γ線 |
| 蛍光作用を利用 | シンチレーション式 サーベイメータ | γ線, α線 |
| | TLD、蛍光ガラス線量計 | γ線, β線 |

放射線は人間の五感に感じないので、なんらかの手段によって検出する必要があります。放射線の検出（測定器）は、電離作用、蛍光作用などを利用して、放射線を検出し、測定することができます。

放射線の検出方法と測定器の例及び主な測定対象放射線を示します。

気体の電離作用を利用した放射線測定器に、電離箱式サーベイメータがあります。電離箱式サーベイメータは、放射線の電離作用によって生じた、電離箱内の空気中を流れる電流を測定することにより、放射線の量を測る測定器です。

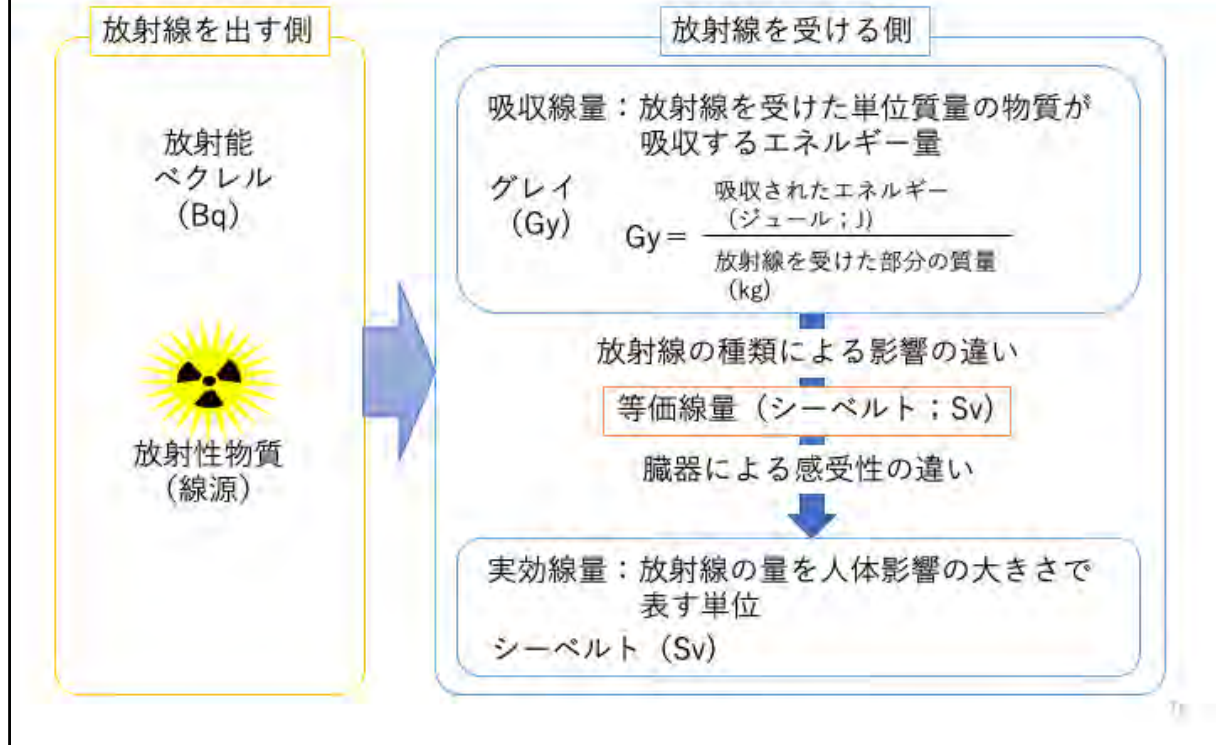
GM計数管式サーベイメータも放射線の電離作用を利用した測定器ですが、GM計数管は信号を増幅しているため電離箱よりも感度がよく、微量な放射線の測定に適しています。

個人線量計の一つである電子式ポケット線量計は固体（半導体）の電離作用を利用した測定器です。同じ作用を利用したものに、γ線のエネルギーの違いから放射性核種の種類を判別するために用いられるゲルマニウム半導体γ線スペクトロメータがあります。

蛍光作用を利用した放射線測定器に、シンチレーション式サーベイメータがあります。シンチレーション式サーベイメータはシンチレータと呼ばれる蛍光物質が出す光を電気信号に変えて計測することにより、放射線の量を測定する測定器です。

TLD（熱ルミネセンス線量計）及び蛍光ガラス線量計は、放射線を照射した後に所要の処理を施すことにより蛍光を発する作用を利用しています。

放射線の単位



放射線が物質に当たった場合、放射線の「エネルギーがどれだけ物質に吸収されたか」を表す量を吸収線量といいます。吸収線量の単位にはGy（グレイ）を用います。1 Gyは、物質1 kg当たり1ジュールのエネルギーが吸収されたときの放射線量です。

人が被ばくしたとき、放射線が人体に与えた影響の大きさを表す単位がSv（シーベルト）です。人体への影響は、各組織・臓器に対する影響と全身に対する影響とに分けて評価します。各組織・臓器に対する影響を「等価線量」、全身に対する影響を「実効線量」といいます。等価線量、実効線量ともにSvで表します。

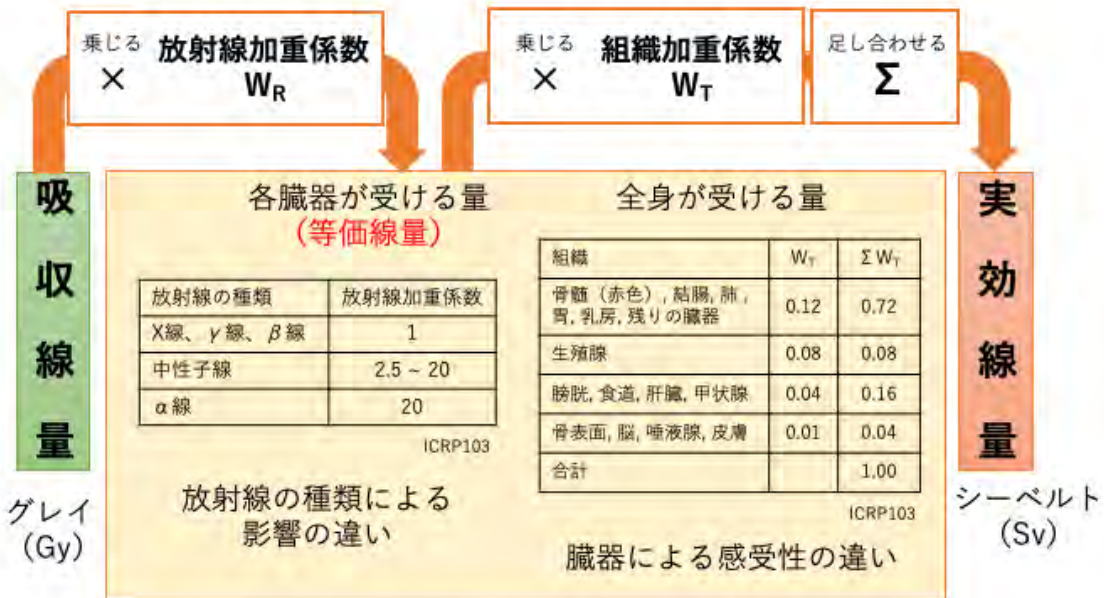
放射線による各組織・臓器への影響は、吸収線量が同じでも、受けた放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い（放射線荷重係数）を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。甲状腺の等価線量、水晶体の等価線量といった使われかたをします。各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その部位により影響の現れ方（感受性）が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い（組織荷重係数）を加味して全身について合計したものが実効線量です。防災業務活動では実効線量を測定します。

Svは単独で使う以外に、単位時間当たりの線量としてのSv/h（1時間当たりの線量）やSv/年（年間当たりの線量）のような使い方があります。自然界の

バックグラウンド線量率は $\mu\text{Sv/h}$ 又は nSv/h で表され、緊急時の防護対策では mSv/h や mSv が多く使われます。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

放射線の影響と単位



人が被ばくしたとき、放射線が人体に与えた影響の大きさを表す単位がSv (シーベルト) です。

人体への影響は、各組織・臓器に対する影響と全身に対する影響とに分けて評価します。各組織・臓器に対する影響を「等価線量」、全身に対する影響を「実効線量」で表します。等価線量、実効線量ともに単位はSvです。

放射線による各組織・臓器への影響は、吸収線量が同じでも、受けた放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い (放射線荷重係数) を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。甲状腺の等価線量、水晶体の等価線量といった使われかたをします。

各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その臓器により影響の現れ方 (感受性) が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い (組織荷重係数) を加味して全身について合計したものが実効線量です。防災業務活動では実効線量を測定することになります。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

補助単位（接頭語）

- 非常に大きな数値や小さな数値を扱う場合、その数値をそのまま表現したら分かりにくいので、補助単位（接頭語）を使用する。

大きい数値を表す補助単位

| 補助単位 | よみ | 大きさ |
|------|----|-----------|
| k | キロ | 10^3 |
| M | メガ | 10^6 |
| G | ギガ | 10^9 |
| T | テラ | 10^{12} |

小さい数値を表す補助単位

| 補助単位 | よみ | 大きさ |
|-------|------|------------|
| m | ミリ | 10^{-3} |
| μ | マイクロ | 10^{-6} |
| n | ナノ | 10^{-9} |
| p | ピコ | 10^{-12} |

$$1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv} = 1000000 \text{ }\mu\text{SV}$$
$$1 \text{ }\mu\text{SV} = 0.001 \text{ mSv} = 0.000001 \text{ Sv}$$

Bq、Sv、Gyなどの単位の他に、接頭語が使われます。

これは、放射線分野で扱う数値が非常に大きいものから小さいものまであり、その数値をそのまま表現したら分かりにくいので、特に、M（メガ、百万倍）、m（ミリ、千分の一）、 μ （マイクロ、百万分の一）、n（ナノ、十億分の一）などの接頭語が多く使われます。

1Svは1000mSvであり、1,000,000 μ Svということになります。

身の回りの放射線



mSv : ミリシーベルト

出典：国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告、
原子力安全研究協会「新生活環境放射線 (平成23年)」、ICRP103 他より作成

17

日常生活をする中で、知らず識らず、私たちは放射線を受けています。

宇宙からそして大地から受ける自然放射線による外部被ばくや、食物や空気中のラドンから受ける自然由来の放射性物質から受ける内部被ばくは、合計すると年間で2.4mSv になります(世界平均)。また日本においては放射線検査等で受ける医療被ばくの割合が大きいことが知られています。これは一回の検査あたりの被ばく量が多いCT検査が広く普及していることや胃がん検診で上部消化器検査が行われているためと考えられます。

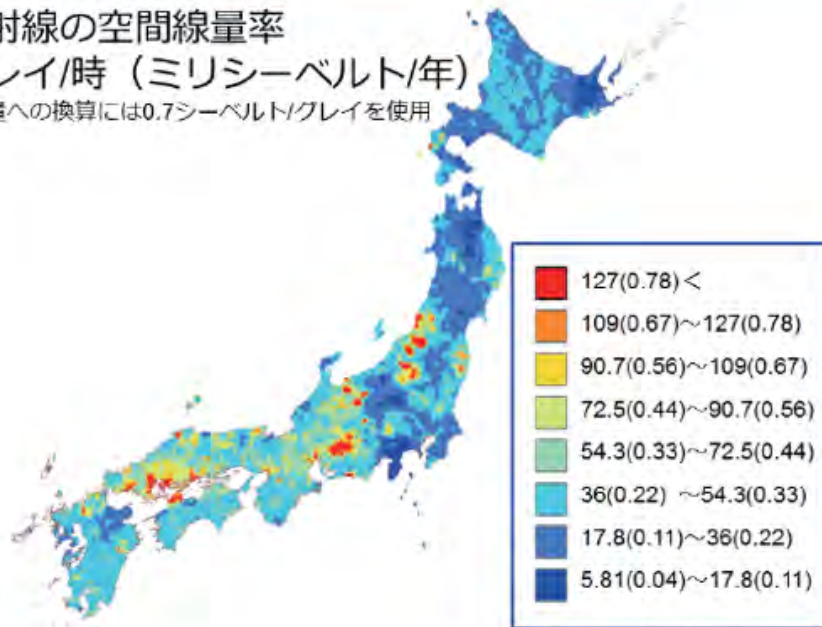
日本人が欧米諸国に比べて食品からの線量が高い理由は、魚介類を多く摂取する日本人の食生活が関係しています。魚介類にはポロニウム210が多く含まれているため、その分、実効線量が大きくなっています。一方、ラドン・トロンによる被ばくが少ないのは、日本家屋は通気性が良く、地中から屋内に侵入したラドン・トロンが速やかに屋外に拡散するためと考えられています。

出典；環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

大地の放射線

自然放射線の空間線量率 ナノグレイ/時 (ミリシーベルト/年)

・実効線量への換算には0.7シーベルト/グレイを使用



出典：日本地質学会ウェブサイトより

18

日本国内でも、大地からの放射線レベルにはわずかに差があります。

関東ローム層が大地からの放射線を遮へいする関東平野では、おおむね大地からの放射線量は少なくなっています。一方、花崗岩が直接地表に露出した地質が多い西日本では、東日本より大地からの放射線の量が高い傾向にあります。

最も高い岐阜県と最も低い神奈川県では年間0.4ミリシーベルトの差があるといわれています。しかし、だからといって、西日本に住んでいる人達に、放射線による悪影響がある、ということではありません。そのような事実はありません。この高低差はあくまで、低い自然放射線のレベルの中での高低差であって、日常生活の範囲での話です。事故時などのレベルは、これよりもはるかに高いレベルになります。

自然放射線量を計算で求めるには、大地に含まれるウランとトリウムとカリウム（放射性K-40）の濃度を用いますが、すでに公表されている元素の濃度分布図である地球化学図のデータを用いることができます。

地上1mの高さでの線量率D(nGy/h)の計算

$$D = 13.0 C_K + 5.4 C_U + 2.7 C_{Th}$$

ここでCK(%), CU(ppm), CTh(ppm)はそれぞれカリウム、ウラン、トリウムの濃度です。単位はナノグレイ(nGy)であるのでこれをマイクログレイ(μ Gy)に換算して表したのが上図です。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」（日本地質学会ウェブサイトより引用）
産総研地質調査総合センターウェブサイト
(<http://www.geosociety.jp/hazard/content0058.html>)
参考：<https://gbank.gsj.jp/geochemmap/>
<https://gbank.gsj.jp/geochemmap/setumei/radiation/setumei-radiation.htm>

まとめ

- 放射線 (α 線、 β 線、 γ 線、X線、n線) と放射能 (放射線を出す能力)
- 放射線の作用による、電離 (電子の放出) と励起 (外側の軌道に移転)
 - 電離作用、蛍光作用→放射線測定器、透過作用→X線撮影、CT
- 等方性による距離の2乗減衰と遮蔽減衰 (α :紙、 β :7 μ m、 γ :鉛、n:水)
- α 壊変 (α 線+ γ 線)、 β 壊変 (β 線+ γ 線)、核分裂 (n線+ γ 線)
- 臨界 (連鎖反応に至る限界) →連鎖反応 (核分裂が次々に増大)
- 放射線により透過力が違う。
- 核種毎固有の半減期を有し、放射能は1半減期で1/2、2半減期で1/4
- 放射線の単位
 - ベクレル(放射能の単位)
 - グレイ(物質が吸収したエネルギーを表す単位)
 - シーベルト (放射線量、被ばく線量の単位)
- 自然界にも放射線は存在する。
 - 日本の年間自然放射線の量 2.1mSv
 - 世界の年間自然放射線の量 2.4mSv

放射線防護

原子力災害 基礎研修
原子力災害基礎-4

時間：30分

内容

- 原子力災害時の放射線防護の目的
- 防護の三原則
- 被ばく線量限度
- 放射線測定器
- 外部被ばく防護の三原則
- 外部被ばく対策
- 空間線量率個人被ばく線量
- 個人被ばく線量計
- 個人被ばく線量管理
- 遮へいの効果
- 遮へいと屋内退避
- 放射能防護服
- 内部被ばく経路の防護
- 吸入摂取の防護
- 鼻スワブ検査
- 汚染対策
- 汚染と被ばく線量

原子力災害時の放射線防護の目的

- 無用な被ばくをしない
 - 確定的影響の防止と確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させる
 - 外部被ばくの防護
 - 内部被ばくの防護
- 二次災害の予防
 - 対応者の無用な被ばくの防止
 - 汚染拡大防止：汚染検査、除染
 - 関係機関での安全・危険情報の共有
- 住民の保護
 - 広報：情報提供（内容、方法）
 - 避難退域時検査
 - 避難
 - 屋内退避

原子力災害時の放射線防護の目的は、外部被ばく防護と内部被ばく防護による無用な被ばくをしないことと、二次災害の予防です。具体的には、確定的影響の防止と確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させることとなります。このために、原子力災害時には、放射線防護を実施します。放射線防護の方法は、外部被ばくの防護と内部被ばくの防護に分けられます。さらに二次災害の予防として汚染拡大防止対策を講じます。

防護の三原則

正当化

便益
(ベネフィット、メリット) >> 放射線のリスク

防護の最適化 個人の被ばく線量や人数を、経済的及び社会的要因を考慮に入れた上、合理的に達成できる限り低く保つこと

ALARA(As Low As Reasonably Achievable)

線量限度の適用

| | |
|--------------|-------------|
| 職業人 (実効線量) | 一般公衆 (実効線量) |
| 1年間 50mSv かつ | 1年間 1mSv |
| 5年間 100mSv | |

がんや遺伝性影響では、影響の現れ方が確率的であり、現在の放射線防護では、低線量域でも直線しきい値なし(LNT)モデルを適用しているので、安全と危険を明確に区分することはできません。そこで、国際放射線防護委員会(ICRP)は、どんなに小さくても有限のリスクがあるものとして、「リスクを容認できること」を基準に、防護のレベルを考えることを推奨しています。その防護の三原則が、「正当化」「線量限度の最適化」「線量限度の適用」です。

正当化とは、放射線を使う、被ばくの変化をもたらす行為や活動に対して、もたらされる便益(ベネフィット、メリット)が放射線のリスクを上回る場合のみ認められることです。

放射線を伴う行為のメリットが放射線のリスクを上回る場合は、合理的に達成可能な限り被ばく量を減らして、放射線を利用します。これがALARAの原則です。防護の最適化とは、社会的、経済的なバランスも考慮しつつ、できるだけ被ばくを少なくするよう努力するということで、必ずしも被ばくを最小化することではありません。

線量限度は計画被ばく状況に適用されます。ICRPの2007年勧告では、職業人の実行線量限度は5年間で100mSv、特定の1年間に50mSvと定めています。一般公衆の場合は、実行線量限度は年間1mSvです。線量限度は、管理の対象となるあらゆる放射線源からの被ばくの合計が、その値を超えないように管理するための基準値であり、安全と危険の境界を示す線量ではありません。

被ばく線量限度

電離放射線障害防止規則による線量限度

| 区 分 | 実効線量限度 | 等価線量限度 |
|-------|--|---|
| 業務従事者 | 100 mSv/5年 (50mSv/年) 女子 5mSv/3月 妊娠中の女子 (出産までの内部被ばく) 1mSv | 水晶体：150mSv/年 皮膚：500mSv/年 妊娠中の女子 (出産までの腹部表面) 2mSv |
| | 緊急作業：100mSv | 水晶体：300mSv 皮膚：1Sv |
| 一般公衆 | 1mSv/年 | 水晶体：15mSv/年 皮膚：50mSv/年 |

※ 国家公務員の場合は、人事院規則10-5（職員の放射線障害の防止）で被ばく線量限度が定められている。

ICRPの放射線防護の考え方及びその勧告に基づき、放射線障害の防止に関する法令で放射線を職業的に扱う人（放射線業務従事者）に対し、線量限度を定めています。国家公務員の場合は、人事院規則10-5（職員の放射線障害の防止）で被ばく線量限度が定められています。また、放射線業務従事者である個人の線量のほか、公衆に対する線量の寄与を把握するため、事業所の境界や、放射線を取り扱う管理区域の境界など、場所についての線量も定められています。

放射線業務従事者の線量限度は、男性では1年間で50mSv、5年間で100mSv、女性の場合は、3ヶ月で5mSvと定められています。人命救助などの緊急作業では100mSvです。一般公衆の線量限度は、1年間で1mSvです。

原子力災害や放射線事故、災害の現場活動では、被ばくを”0（ゼロ）”とすることはできません。このため、線量限度を越えないように活動計画では被ばく線量を管理しなければなりません。また、無用な被ばくをしないように対処することも重要です。

放射線測定器

| 対象 | 測定方法 | 測定する放射線 | 測定器 |
|-------------|--------------------------------------|----------------|----------------------------|
| 空間線量率 | 1時間あたりの線量 測定場所ごとの短時間測定 | ガンマ線 | NaIシンチレーション式 サーベイメーター |
| | | | 電離箱式サーベイメーター |
| | | GM計数管式サーベイメーター | |
| | | 中性子線 | ^3He 計数管式（レムカウンタ） |
| 表面汚染 | 直接法 (対象物を直接測定) 間接法 (スミア法など) | アルファ線 | ZnSシンチレーション式 サーベイメーター |
| | | ベータ（ガンマ）線 | GM計数管式サーベイメーター |
| 個人被ばく 線量 | 積算線量 | ガンマ線 中性子線 | 電子式個人線量計 |
| | | | 警報付き個人線量計 |

放射線を測定する場合、測定する目的と測定の対象とする放射線の種類によって、適切な測定機器を選ぶ必要があります。適切な放射線測定器を選ばないと、過剰な被ばくをしたり、身体汚染を起こすこととなり、注意する必要があります。

放射線を測定する目的は、

- ・空間放射線量率の測定
- ・表面汚染の測定
- ・個人被ばく線量の測定 があります。

空間放射線量率の測定に適している測定器は、ガンマ(γ)線を測定する場合は、NaIシンチレーション式、電離箱式、GM計数管式です。中性子線の空間放射線量率を測定する場合、 ^3He 計数管式（レムカウンタ）です。

アルファ(α)線を放出する放射性物質の表面汚染の測定に適しているのは、ZnSシンチレーション式が、ベータ(β)線（ガンマ(γ)線）を放出する放射性物質の表面汚染の測定に適しているのはGM計数管式です。

個人被ばく線量の測定に使用される、電子式個人線量計は、活動中に被ばく線量ができ、さらに、設定した線量に至るとアラーム等で警報を発する、警報付個人線量計（アラームメータ）もあります。

外部被ばく防護の三原則



時間

作業時間を短くする。

被ばく線量は時間とともに増えます。被ばく時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。



距離

線源からできるだけ離れる。

放射線の強さは遠くに離れると弱くなり、線量は距離の2乗に反比例して減ります。



線源

遮へい

線源と人の間に遮へい体を置く。

物体を間に置くと放射線を弱めてくれます。建物の壁などは遮へい体になり、空間線量率が低くなります。



外部被ばく防護のポイントは「時間」「距離」「遮へい」です。被ばくする時間を短くする、放射線源からの距離をとる、放射線を遮へいすることで、被ばく線量が低減できます。

放射線にさらされる活動時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。放射線は、放射線源からの距離の二乗に反比例して減少します。そのため放射線源からの距離をとることで被ばく線量を少なくすることができます。逆に、放射線源からの距離が半分の位置(1/2の距離)に近づくと放射線量は元の位置の4倍になり、急激に空間線量が上昇することになるため、特に危険区域での活動時には注意が必要です。

放射線源との間に遮へい物があると放射線量は減少します。コンクリートの壁、鉄や鉛の金属の板などがあれば、遮へい材として使用できます。放射線源の位置、形状が明確であれば、鉛のブロックなどで線源を囲むことによって周辺の空間線量率を低減することもできます。

外部被ばく対策

空間線量率の測定

活動する場所の安全確認、管理
危険区域の設定



個人線量計の装着

線量限度以下での活動、個人被ばく線量の管理
アラームの設定：線量限度以上の被ばくを避ける



時間管理

現場の空間線量率に応じて、線量
限度を超えないように管理

$$\text{被ばく線量} = \text{空間線量率} \times \text{活動時間}$$



外部被ばくの対策には、空間線量率を測定して、活動する場所の安全確認と管理をします。

個人被ばく線量計を装着して、被ばく線量管理を行います。

活動時間は、活動する場所の空間線量率に応じて、線量限度を越えないように管理します。

空間線量率と個人被ばく線量

実効線量

放射線被ばくによる全身の影響を表す。計算により算出し、直接測定はできない。

被ばく管理のために、実効線量の代わりに実際に測定できる線量当量を用いる。

周辺線量当量（空間線量）；Sv シーベルト

環境モニタリングで用いられる。
人体の組織を模した直径30cmの球の表面から深さd※で生じる線量当量測定を行った空間の線量を表す。



個人線量当量；Sv シーベルト

個人モニタリングで用いられる。
人体のある指定された点における深さd※の線量当量測定器を体に身につけて測定するときの単位



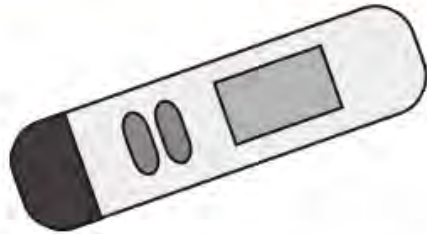
※深さd：実効線量 1 cm、水晶体3mm、皮膚70 μ m

実効線量は計算によって算出される量で、直接測定することはできません。そこで、被ばく管理のために、実効線量の代わりに実際に測定できる量（実用量）として、周辺線量当量と個人線量当量を用います。

空間線量計は周辺線量当量を示し、個人線量計は個人線量当量が示されます。

周辺線量当量は、人体の組織を模した直径30cmの球の表面から1cmの深さにおける線量（1cm線量当量）で表されます。人体の組織の多くは体表面から1cmより深いところにあるので、結果的に周辺線量当量は実効線量よりも高い値となります。そのため周辺線量当量を用いることで、安全側での被ばく管理ができます。

個人被ばく線量計



電子式個人線量計



汚染させないように防護服の中あるいはビニール袋などに入れて装着する。

- ・ 活動中の被ばく線量の積算値
- ・ 装着の方向を確認する。
- ・ アラームの設定ができる。
- ・ アラーム音は小さいため、聞こえない場合がある。
- ・ 誤計数の可能性があるため、携帯電話、PHS、高出力トランシーバーなどの装置の近辺での使用は十分注意する。

電子式・直読式の個人線量計を用いると、被ばくの積算線量がリアルタイムで表示されるので、一定期間ごと、あるいは作業ごとに、自分の線量を知ることができます。また、被ばく線量があらかじめ設定した値に達すると、アラームや振動で着用者に知らせてくれる、アラーム付きのポケット線量計もあります。放射線の事故や災害などの緊急時の対応にはアラーム付きのポケット線量計を使用します。

男性は胸部に、女性は妊娠の可能性も考慮し腹部に付けることが一般的です。個人線量計は汚染させないように防護服の内側に、向きを確認して装着します。誤計数の可能性があるため、携帯電話、PHS、高出力トランシーバーなどの装置の近辺での使用は十分注意します。

個人線量計には、光刺激ルミネッセンス（OSL）線量計、ガラス線量計といったタイプのももあります。これらは、一ヶ月等の一定期間、身につけて、積算線量を測定するもので、リアルタイム値は表示されません（現像しないと分からない写真フィルム、のようなイメージに近いです）。

個人被ばく線量管理

個人被ばく線量の測定記録票の例

| 記録年月日 | 平成 年 月 日（曜日） | | | | | | | |
|-------|------------------------|----|-----------------------|-----------------------|----------------------|-------|-------|------|
| 記録者氏名 | | | | | | | | |
| 測定条件 | ①天候（晴れ、曇り、雨、雪） ②その他（ ） | | | | | | | |
| 作業場所 | | | | | | | | |
| 作業者氏名 | 線量計型式及び番号 | | 作業前指示値 (μ Sv) | 作業後指示値 (μ Sv) | 被ばく線量 (μ Sv) | 作業時間 | | |
| | 型式 | 番号 | | | | 作業前時刻 | 作業後時刻 | 作業時間 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

注：被ばく線量 = 作業後指示値 - 作業前指示値

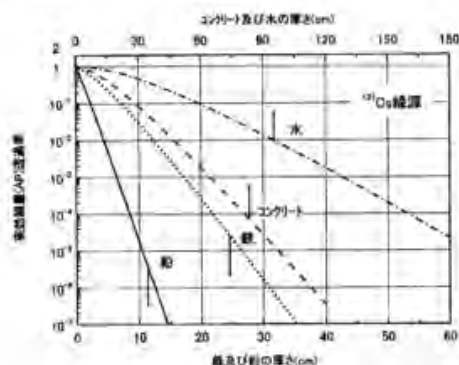
70

活動時の個人被ばく線量を記録します。

個人線量計の中には、電源を切ると測定結果がリセットされてしまうものもありますので、注意が必要です。

遮蔽の効果

| 核種 | 鉛(cm) | | 鉄(cm) | | コンクリート(cm) | |
|--------|-------|--------|-------|--------|------------|--------|
| | 半価層 | 1/10価層 | 半価層 | 1/10価層 | 半価層 | 1/10価層 |
| Co-60 | 1.2 | 4.0 | 2.0 | 6.7 | 6.1 | 20.3 |
| I-131 | 0.7 | 2.4 | - | - | 4.6 | 15.3 |
| Cs-137 | 0.7 | 2.2 | 1.5 | 5.0 | 4.9 | 16.3 |



放射線は透過する物質の密度が高いほど減衰する。

遮へい材の遮へい効果を表すのに半価層及び1/10価層がよく用いられています。半価層は入射 γ 線の線量率を1/2に減じるのに必要な遮へい物の厚さ、1/10価層は入射ガンマ(γ)線の線量率を1/10に減じるのに必要な遮へい物の厚さになります。

ガンマ(γ)線では、実効線量透過率を1/10程度にするのに、鉛や鉄を用いても数cmの厚さが必要なこと、コンクリートでは同程度の遮へい効果を得るには、20cm前後の厚さが必要となることが分かります。

実効線量透過率とは遮へい体がない場合のガンマ(γ)線の実効線量率と遮へい体がある場合のガンマ(γ)線の実効線量率の比をいいます。この図は、線源から5m離れた場所に遮へい物を置いたときに、その後方でどれだけ実効線量透過率が低下するかを示しています。例えば、Co-60線源の場合、厚さ30cmの鉄では、その後方で実効線量透過率は約 10^{-4} 、すなわち、1万分の1に低下します。

出典；JAERI-Data/Code 2000-044 実効線量評価のための光子・中性子・ベータ線制動輻射線に対する遮へい計算定数

総務省消防庁 スタート！RI119 消防職員のための放射性物質事故対応の基礎知識（平成23年3月（平成27年3月一部改定））

遮へいと屋内退避



| 場所 | 低減係数* |
|---|-------|
| 木造家屋（1～2階建） | 0.4 |
| ブロックあるいはレンガ家屋（1～2階建） | 0.2 |
| 各階450～900m ² の建物（3～4階建）の1～2階 | 0.05 |
| 各階900m ² 以上の建物（多層）の上層 | 0.01 |

*建物から十分離れた屋外での線量を1とした時の、建物内の線量の比

原子力災害時の防護措置として屋内退避があります。これは、屋内では建材による遮へいの効果、床下には汚染がないことから屋外よりも空間線量率が低くなるためです。

屋内での線量率を求める場合は、建築物による遮へいや床下に汚染がないことを考慮して、近くの屋外線量率の値に低減係数を乗じて、屋内の空間線量率を推定します。

低減係数は、建材の種類によって異なります。木造家屋は、外からの放射線の約6割を低減します。ブロックやレンガの家屋、鉄筋コンクリート家屋ではより遮へい効果が高まります。また、高層階になるに従い、土壌表面の放射性物質からの距離が離れるため、放射線量も少なくなります。

出典；環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

原子力安全委員会「原子力施設等の防護対策について」（昭和55年6月（平成22年8月一部改訂））

鉛入り防護服



人体ファントム（人体模型）に個人線量計を装着し、防護服の有無による遮へい効果を、3種類（Am-241 (60keV)、Cs-137 (662keV)、Co-60 (1250keV))の線源を用いて確認した。

| エネルギー(keV) | 遮へい効果(%) |
|------------|----------|
| 60 | 94.2 |
| 662 | 9.4 |
| 1250 | 4.4 |

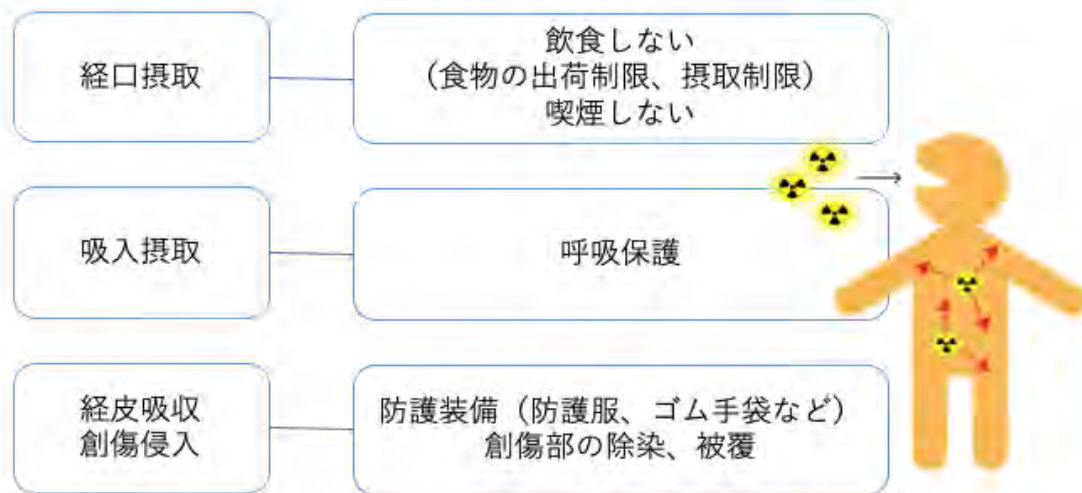
防護服一式に含まれる鉛ベストは鉛3mm相当でしかなく、アメリカシウム-241や線といった低エネルギーの放射線に対しては遮へい率95%前後と、有効であると言えるが、セシウム-137やコバルト-60に対しては遮へい率が10%以下となる。

鉛入りのインナーベストや放射能防護服がありますが、その遮へい効果を実際に確認した結果を示しています。防護服一式に含まれる鉛ベストは鉛3mm相当でしかなく、アメリカシウム-241や線といった低エネルギーの放射線に対しては遮へい率95%前後と、有効であると言えるますが、セシウム-137やコバルト-60に対しては遮へい率が10%以下となります。また、鉛ベストの側面(脇腹部分)は鉛が入っておらず、側面から被ばくをした場合、遮へい効果は期待できません。

防護服一式の総重量等による機動性の低下により、活動時間が延長し、被ばく線量が増大することも考えられます。

出典；総務省消防庁 スタート！RI119 消防職員のための放射性物質事故対応の基礎知識（平成23年3月（平成27年3月一部改定））

内部被ばく経路の防護



内部被ばくの経路には、経口摂取、吸入摂取、傷口や皮膚から体内に入る経皮摂取の三つがあります。そのため、内部被ばくを防ぐためには、この三つの経路から、放射性物質が体のなかに取り込まれないようにします。

経口摂取を防ぐには、汚染している区域で飲食、喫煙等をしない、手や物品を舐めるなど、口を使った作業をしないようにします。

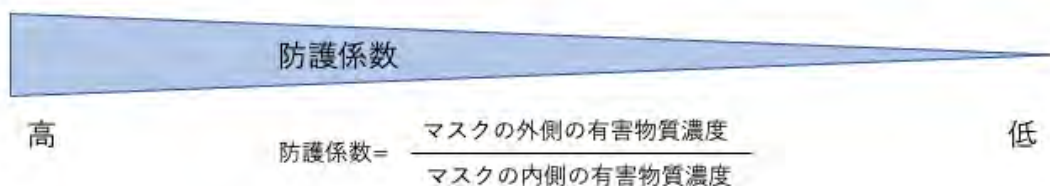
吸入摂取の防止は、次のページに例示するマスクなど、必要に応じて、呼吸保護具を着用します。

経皮摂取の防止ですが、傷口や皮膚からの放射性物質の取り込みを防ぐためには、傷口であれば保護（カバー、覆い）をする、皮膚については、次のページに例示する身体用の防護装備（つなぎ服、ゴム手袋等）を着用するなどして、放射性物質が直接、皮膚に接触しないようにします。

以上の3つは、人の内部被ばくにつながる三つの経路を断つという、身体に関する防護ですが、放射性物質そのものに対する防護としては、「閉じ込め」、「除染」、「整理・整頓（線源の管理）」の、内部被ばく防護の三原則があります（数は諸説あり）。これらはいずれも、「汚染状況の把握と拡大・飛散の防止」という、シンプルな原則に基づくもので、考え方は難しくないのでありますが、いずれも放射線計測・測定を伴うため、放射性物質の取扱い・管理について不明な場合には、放射線管理要員の助言を得ることがよいでしょう。

吸入摂取の防護

防護性能は、顔面とマスクの密着度合にも左右される。



吸入摂取の防護には、呼吸保護具（マスク）を装着します。このマスク性能を表す数値として防護係数があります。防護係数が高いほどマスク内への粉じんの漏れ混みが少ないことを示しています。

原子力災害時の対応では、使用するマスクは、空気中に舞っている放射性物質の種類と濃度によりますが、汚染の程度が低ければ、サージカルマスクやN95マスクで対応します。

放射性物質濃度が高い場合、放射性ヨウ素、 α 線放出核種等の場合には、チャコールフィルター（活性炭フィルター）等により可能な、半面マスクや全面マスクを使うこともあります。

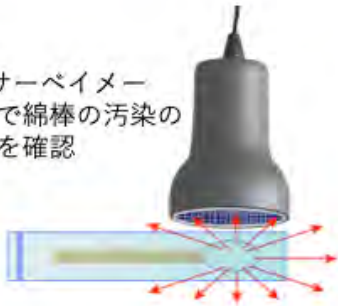
なお、派遣チームで標準的に利用することは想定されませんが、事業所内の状況によっては、陽圧式呼吸保護具など、特殊な装備が使われることもあります。

マスク着用の際の注意点ですが、写真の例であれば、サージカル・N95などでは、鼻筋に当たる部分を密着させる（針金部を曲げて調整する）こと、面体のあるマスク（写真の例は全面マスク）では、顔にしっかり密着させることです。

鼻腔スワブ（鼻スメア）検査



GMサーベイメーターで綿棒の汚染の有無を確認



- ・ 綿棒を生食で湿らせ、鼻腔を傷つけないように採取
- ・ 左右別々に採取
- ・ 採取部位、日時、氏名等を記入
- ・ 汚染があれば、内部汚染の可能性があるため、詳細な検査（ホールボディカウンターなど）を実施

19

放射性物質を吸入した場合、鼻腔の粘膜に放射性物質が付着します。そこで、内部被ばくの可能性を確認する場合に鼻腔スワブの汚染検査で確認する方法があります。綿棒を生食で湿らせて、鼻腔を擦ります（綿棒を生食等で湿らせる方が粘膜を傷つけません。）。綿棒やスワブに汚染があれば、放射性物質を吸入した可能性があるため、ホールボディカウンターでの計測などで、詳細な検査を行います。

汚染対策

放射線あるいは放射性物質のみが原因の場合、放射性物質の付着防止のために防護服はタイベックスーツが選択される。
(どんな防護服でも外部被ばくは防護できない)

タイベックスーツ

二重のゴム手袋

テープで目張り

くつカバー

靴底が全面ゴム製になったものだと野外での活動でも破れない

ゴーグル

マスク(シールド付)

必要に応じて吸収缶付きマスクを着用

- ・放射線を防ぐものではない
- ・放射性物質の吸入、付着を防ぐことが目的

表面汚染対策としては、防護衣、マスク、ゴーグル、ゴム手袋、靴カバーを装着します。

適切な防護装備の選択には、作業環境の線量率、汚染（表面汚染密度）、放射性物質の種類（核種）等を勘案します。

例えば、汚染が低い場合は、白衣、綿手及びマスク等で十分ですが、汚染が高い場合には、より重い装備を選択する必要があります。対象となる放射性物質の種類や、作業環境の情報が得られず、不明である場合は、重装備を選びます。

汚染することが前提である場合や可能性が高い場合は、ゴム手袋を二重にし、一重目を交換していくなどの運用も必要です。

汚染と被ばく線量

$$H = A \times D \times T \times K \quad (\text{nSv})$$

A：単位皮膚表面汚染密度あたりの吸収線量 [(nGy/h)/(Bq/cm²)]
(皮膚表面から70μm直下)で図より読取ります

D：汚染した箇所の表面汚染密度 (Bq/cm²)

T：皮膚被ばくの継続時間 (h)

K：吸収線量 (Gy) から皮膚の被ばく線量 (Sv) への換算係数 (1Sv/Gy)

皮膚が表面密度120Bq/cm²のI-131に汚染し、汚染してから除染が完了するまで2時間かかったときの皮膚の被ばく線量は、

$$\begin{aligned} H &= A \times D \times T \times K \\ &= 1,400 \times 120 \times 2 \times 1 \\ &= 336,000 \quad (\text{nSv}) \\ &= 0.34 \quad (\text{mSv}) \end{aligned}$$

皮膚の被ばく線量の計算式； $H = A \cdot D \cdot T \cdot K$ (nSv)

A：単位皮膚表面汚染密度あたりの吸収線量 [(nGy/h) / (Bq/cm²)] (皮膚表面から70μm直下)で図より読取ります

D：汚染した箇所の表面汚染密度 (Bq/cm²)

T：皮膚被ばくの継続時間 (h)

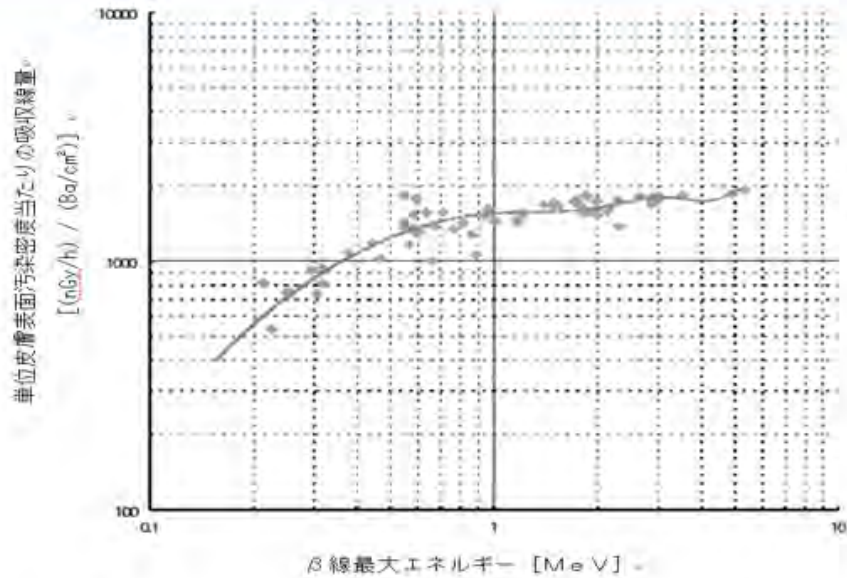
例として、I-131が表面汚染密度120 Bq/cm²で汚染して、汚染してから除染が完了するまでに2時間かかったときの、皮膚の被ばく線量は0.34mSvとなります。

放射線業務関係者の皮膚に関する等価線量限度500mSv (緊急時においては1Sv(1,000mSv))にくらべて、小さいことが分かります。

まとめ

- 防護の三原則；正当化、防護の最適化、線量限度の適用
- リスクの容認(便益>>リスク、可能な限り低く(ALARA)、線量限度の適用)
- 目的に応じた測定器の使用(空間線量率Sv/h、表面汚染cpm、個人被ばく線量Sv)
- 外部被ばく防護三原則:出来るだけ短時間、距離を離隔、遮蔽体を使用
- 個人被ばく線量計:防護服内側、胸部(男)腹部(女)、向き確認、電波機器から離す
- 半価層:鉛1.2cm(Co-60)、0.7cm(Cs-137)であり、鉛ベスト(3mm)では、遮蔽の効果10%、屋内退避が有効
- 内部被ばく防止:口、鼻、皮膚、創傷からの侵入防止、汚染の把握・拡大飛散防止
- 放射性浮遊物;空気呼吸器・吸収缶マスク、汚染検査等;防塵マスク(密着注意)
- 汚染対策:防護衣、マスク、ゴーグル、ゴム手袋(二重)、靴カバー、テープ目貼り

参考



例えば、
I-131の場合、 β 線のエネルギーを
0.6MeV (横軸) とすると、単位皮膚表面汚染密度あたりの吸収線量 (縦軸) は
約1,400 (nGy/h) / (Bq/cm²) と読みます。

図1-5 単位皮膚表面汚染密度当たりの吸収線量と β 線最大エネルギーとの関係 (出典: ICRU Report 56, 1997 改)

汚染検査・除染

原子力災害 基礎研修

原子力災害基礎-5

時間；30分

内容

- 表面汚染
- 汚染検査
- 表面汚染計の使用方法
- 身体汚染検査
- 記録用紙の例
- 表面汚染の測定時の注意点
- 表面密度の計算
- OIL4について
- 医療機関での汚染検査
- 除染
- 身体除染

表面汚染

- 放射性物質が体表面、衣服等に付着した状態
- 表面汚染では危険な外部被ばくはしない
- 浮遊した放射性物質による内部被ばくに注意
- 放射線災害で汚染があれば汚染拡大防止
- **表面汚染計**で測定
- 防護服で皮膚、衣類への付着を防止



汚染の濃度が極端に高くない限り、全身または皮膚の被ばくの症状は出ない

放射性物質が体表面、衣服、資機材等に付着した状態が表面汚染です。体表面の汚染からの放射線は、それほど強くないため、近くで対応しても危険な外部被ばくはしません。

放射線災害で汚染が関与していれば、汚染拡大防止を行います。。そのためには表面汚染計で汚染の程度を測定し、防護服で皮膚、衣類等への付着を防止します。

汚染検査

- 表面汚染検査は、物体や身体、衣服などに付着した放射性物質の量を測定
- 表面汚染の程度を測る測定器は、測定器に入ってきた放射線の数を1分間当たりあるいは1秒間当たりの計数として表示
 - 単位；は min^{-1} 、cpm (count per minute)、 s^{-1} 、cps (count per second)
- 表面汚染の測定器の種類
 - GM計数管式サーベイメータ；ベータ線、ガンマ線の表面汚染を測定
 - ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータ；アルファ線の表面汚染を測定



GM計数管式サーベイメータの例

表面汚染検査は、物体や身体、衣服などに付着した放射性物質の量を測定します。

表面汚染の程度を測る測定器は、測定器に入ってきた放射線の数を1分間当たりあるいは1秒間当たりの計数として表示し、単位は min^{-1} 、 s^{-1} などを使用します。測定器の種類には、GM計数管式サーベイメータ、シンチレーション式サーベイメータがあります。ベータ線の表面汚染の計測には、GM計数管式サーベイメータが用いられ、アルファ線の表面汚染の計測には、ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータが用いられます。ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータでは、ベータ線は測定できませんし、GM計数管式サーベイメータでは、アルファ線は測定できません。

表面汚染計の使用法

1. 電源を入れる。
 - サーベイメーターは電池を使用するため、電池の残量を確認する。
 2. バックグラウンドレベル (B.G.) を測定する。
 - 自然界にも放射線は存在する。そのため、自然界の放射線のレベルを測定しておく。
 - 測定結果の計数値からこのバックグラウンドレベルの値を差し引くことで正味の計数値が得られる。
 3. 汚染と判断する基準値あるいは警報値の設定を確認する。
 - 同じ表面密度でも測定器ごとに測定値が異なる。
 - 測定器によっては警報値を設定することができる機種もある。
 4. 測定を開始する。
- ❖測定器は経年劣化するため年1回校正する。
❖校正：測定器の指示値の正確さを確認する。

基本的な表面汚染計の使用法は以下です。

1. 電源を入れる。

サーベイメーターは電池を使用するため、電池の残量を確認します。
2. バックグラウンドレベル (B.G.) を測定する。

自然界にも放射線は存在するため、自然界の放射線のレベルを測定します。そして、測定結果の計数値からこのバックグラウンドレベルの値を差し引くことで正味の計数値が得られます。
3. 汚染と判断する基準値あるいは警報値を設定を確認する。

同じ表面密度でも測定器ごとに測定値が異なります。また、測定器によっては警報値を設定することができる機種もあります。
4. 測定を開始する。

放射線測定器は、経年劣化します。そのため、測定器の性能をチェックするために最低でも年1回の校正が推奨されています。放射線測定器の校正とは、国家計量標準とつながる基準測定器の値（基準値）と、測定器の値（測定値）を比較し、測定器の指示値の正確さを確認する作業です。

身体汚染検査

- 検査は、2人 or 3人 1組が望ましい。
- GMサーベイメーターを使用して体表面汚染を検査する。
- 頭部からつま先まで検査する。
- 身体表面から約1cm離し、1秒間に5cm程度のゆっくりした速さで、検出部を移動
- 全身の汚染検査には5～10分程度必要
- 汚染の箇所と数値を記録する。



身体汚染検査では、GM計数管式サーベイメーターを使用して、全身を測定します。原則として、検査は2人1組で行い、1人が測定を、もう1人が記録を行います。要員に余裕があれば、検査員2人が協力して検査し、時間短縮が可能です。

全身汚染検査では、頭からつま先、背中側をまんべんなく検査します。このため、全身汚染検査には、一人当たり約10分ほど時間を要します。

簡易汚染検査では、頭部、顔面、肩、手指、靴といった汚染が付着しやすい部位を検査します。この場合は、全身汚染検査よりも検査時間を短縮することができます。

汚染検査の結果を記録用紙に記載します。

口角、鼻周囲などの開口部に汚染が確認された場合は、放射性プルームの吸入が疑われますので、体内汚染の有無を判断するために、鼻腔スワブを綿棒で採取します。汚染検査の結果、有意な体内汚染の可能性が高いと判断された場合は、WBC（ホールボディカウンター）や甲状腺モニターによる内部被ばくの評価が必要となります。これらの検査は、被ばく医療機関等に設置されているWBC、甲状腺モニターを利用します。

記録用紙の例

| 実習・汚染検査 | | スクリーニング測定記録票 | |
|---------|----------------------|--|--|
| 氏名 | 被災者A | <div style="text-align: right; border: 1px solid red; padding: 2px; color: red;">記入例</div> <p style="text-align: center;">(1,500 cpm) ①(1,300 cpm)</p> <p style="text-align: center;">汚染箇所を○で囲む</p> <p style="text-align: center;">最初の計数値が1,500cpm 1回目の除染後の計数値が1,300cpm</p> <p style="text-align: center;">除染後の結果も記載する。</p> <p style="text-align: center;">除染後の値について、除染回数を○で、数値を () 内に記載する。</p> | |
| 測定年月日 | 平成23年12月6日 | | |
| 時間 | 16:30 ~ 16:40 | | |
| 測定器機種 | GMサーベイメータ TGS-136 | | |
| 測定器番号 | 装置3-3 | | |
| B.G値 | 70 cpm | | |
| 測定者氏名 | *** | | |
| 記録者氏名 | *** | | |
| 除染 | ○ 要 不要 | | |
| 備考 | | | |

記録用紙には、被検査者氏名、測定年月日、時間、測定器機種、測定器番号、バックグラウンド値、測定者氏名、記録者氏名、除染の可否等を記載します。

これらの情報があれば、後日、表面密度を求めることも可能となります。

測定結果は、汚染のある部位を○で囲み、計数値を記載します。

除染した場合は、除染の回数を○で示し（例；1回目の除染①、2回目の除染②）、除染後の計数値を記載します。

表面汚染の測定時の注意点

- プローブ（検出部）を汚染しないようにビニール袋、ラップ等で覆う。
- 消音とする。

距離を一定に保つ



- 測定する表面からの距離が離れると測定値が小さくなる。
- 除染前後で距離が異なると、正確な比較ができない。

角度を一定に保つ



- 測定する表面と検出部の角度が異なると、検出部との距離が異なる。
- 測定器への放射線の入射方向によって感度が異なる。

速度を一定に保つ



- 時定数や応答時間を意識する
- 早く動かすと、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまう。

測定器のプローブ（検出部）に放射性物質が付着しないようにします。通常はビニール袋やラップなどで覆い、汚染したらこのビニール袋等を交換します。

また、被災者の放射線被ばくに対する不安を考慮して、サーベイメータのスピーカーはオフにします。

測定時は、測定の対象物から一定の距離を保つこと、角度を一定に保つこと、ゆっくり動かすことに注意します。

計測する表面からの距離が離れると計数値は小さくなります。また、距離が異なると正確な評価ができません。

GMサーベイメータは、検出部の窓以外からはベータ線が入射しません。表面と検出部の角度が異なると検出部との距離も異なります。そのため、表面と検出部の角度を一定に保ちます。

表面汚染検査では、検出部は1秒間に5~6cmの距離を動かします。速度が速すぎると、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまいます。

表面密度の計算

$$\text{表面密度 } A [\text{Bq}/\text{cm}^2] = \frac{n - n_b}{\varepsilon_i \cdot W \cdot \varepsilon_s}$$

A : 表面密度[Bq/cm²]

n : 測定された計数率 [cps]

n_b : バックグラウンド計数率 [cps]

ε_i : β(α) 線に対する機器効率 (2π)

W : 検出部の入射窓面積 [cm²]

ε_s : 対象核種の線源効率

ALOKA TGS-146の場合
入射窓面積 : 19.6 cm²

| | |
|------|------------------|
| S/N | R03011 |
| 機器効率 | 48.3%(2π at 5mm) |
| 校正日 | 平成24年7月23日 |
| 線源 | Cl-36 |

10000 cpm (min⁻¹) の
汚染を検出した

計算すると・・・

35 Bq/cm²

表面汚染は、単位表面積に存在する放射能(Bq/cm²)で表され、これを表面密度といいます。

表面汚染の測定器によって得られた計数(min⁻¹)から表面密度を求めるには、計算が必要です。

機器効率とは、標準線源に対して一定の条件で測定した時のアルファ線またはベータ線表面放出率に対する測定器の正味の計数率の比（線源から放出される放射線の量と測定器で検出される放射線の量の比率）であり、測定器ごとに異なります。測定器の校正をしている場合、校正証明書に記載されています。線源効率とは、汚染表面の材質、状態等によるアルファ線やベータ線の散乱や吸収の程度を示すものです。測定器の入射窓面積は取扱説明書に記載されています。

同じ汚染を測定しても、測定器が異なると測定器の機器効率、入射窓面積が異なるため、実際に表示される計数は異なります。そのため、同じ現場で、異なる種類の表面汚染の測定器を使用する場合、除染の適応のレベルを同じ表面密度で統一するには、あらかじめ測定器ごとに計数を設定しておく必要があります。

線源効率

β線最大エネルギーが0.4MeV以上；0.5

β線最大エネルギーが0.15から0.4MeV；0.25

α線放出核種；0.25

OIL4について

- 不注意な経口摂取、皮膚汚染からの外部被ばくを防止するため、除染を講じるための基準
- 基準を超える際は迅速に除染



40,000cpm



?? cpm
計数率を求める

- β 線：40,000cpm
 - 主に放射性ヨウ素を想定
 - 我が国において広く用いられている β 線の入射窓面積が 20cm^2 の検出器を利用した場合の計数率であり、表面密度は約 $120\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となる。他の計測器を使用して測定する場合には、この表面密度より入射窓面積や検出効率を勘案した計数率を求める必要がある。
- β 線：13,000cpm【1ヶ月後の値】
 - 放射性ヨウ素が減少し、放射性セシウムが汚染の主体となることを想定
 - 表面密度は約 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となり、計測器の仕様が異なる場合には、計数率の換算が必要である。

OIL4は不注意な経口摂取、皮膚汚染からの外部被ばくを低減するために、除染を講じるための基準です。

基準値を超える場合は、迅速に除染します。

原子力災害が発生し、最初の1ヶ月は β 線で40,000cpmが基準値です。これは主に放射性ヨウ素を想定しており、さらに日本で広く用いられている入射窓面積が 20cm^2 の測定器での計数値を想定しています。この場合、表面密度は約 $100\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となります。他の測定器を使用する場合は、この表面密度から計数値を計算します。

原子力災害が発生して1ヶ月後には、OIL4は β 線で13,000cpmになります。これは、半減期の短い放射性ヨウ素が減少して、汚染の主体は放射性セシウムとなるためです。この場合、表面密度は約 $40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 相当となります。

医療機関での対応

- 救命や蘇生に必要な処置を優先する。汚染検査のために医療処置が遅れてはならない。
- 創傷部位があれば優先する。
- 「可能な限り」除染するが、健常皮膚を傷めるなどは逆効果。
- 臥位の傷病者は、背部も忘れずに実施。



10

救命や蘇生に必要な処置を優先します。また、臥位の傷病者の汚染検査では、背部の汚染検査を忘れないようにします。

病院での除染は、創傷部の汚染は可能な限り除染します。また、健常皮膚部の汚染も、除染の効果があれば、可能な限り除染します。

どこまで除染をするかは、医療にかける時間（傷病者の負担を含む）と除染の効果（低減される線量）により判断されます。

除染

- 除染の目的
 - 汚染拡大防止
 - 内部被ばくの危険性を低減
- 除染を行う者
 - 本人による実施が基本、必要により介助
- 除染の原則
 - ①できるだけ早く行う
 - ②汚染の拡大を防止しながら行う
 - ③体内への侵入を防止しながら行う

汚染があれば、除染します。除染とは、放射性物質を拭きとったりして、除去する事です。

拭きとった布やタオルには、汚染が付着します。これらは、汚染を広げないようにビニール袋などに入れて保管し、可能であれば除染します。廃棄できる使い捨ての不織布等を使用した場合や除染ができない場合は、廃棄します。

除染は、基本的に本人が実施しますが、必要な場合は、介助します。

また、除染はできるだけ早く実施します。これは、汚染拡大防止のためでもあり、汚染からの被ばくをできるだけ低減する事にもなります。除染時には、汚染が広がらないように、汚染の中心に向かって拭きとることが原則です。なお、頭髪や顔面の除染時には、流れた水を飲み込まないように注意が必要です。

身体除染 衣服の除染（脱衣）

汚染した衣服は脱いで着替える



被災者の汚染は、ほとんどの場合、衣服で、脱衣によりほぼ除染ができます。脱衣がされずに搬送されてきた場合は、そこから始めます。汚染されている衣類は、ポリ袋に入れ、氏名・日時を明記したラベルを貼り、保管します。着替えやバスタオル等をあらかじめ用意しておくことが望まれます。

身体除染 頭髪の除染



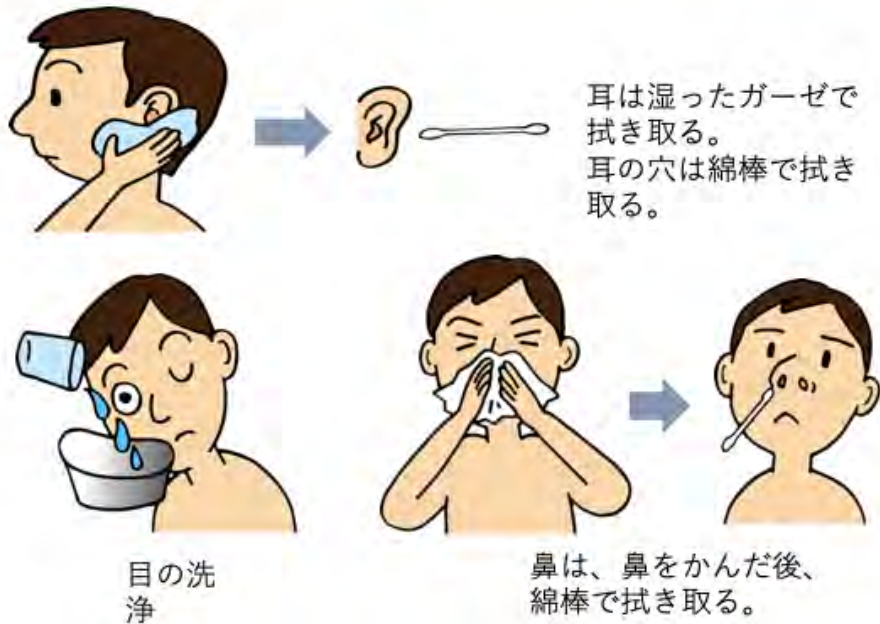
湿った布で拭き取る。
拭き取りは上から下に一方向に限定



拭き取りで不十分な場合、
シャンプーを用いて洗髪する。

頭髪は湿った布で毛先に向かって拭き取ります。これで除染が不十分な場合は、シャンプーで頭髪を洗う等の処置を行います。頭髪を切ることは、通常行いません。

身体除染 顔面の除染



目は清潔な水を用いて、洗びんなどをつかって、除染側を下にして受水器を当てながら洗い流します。水は鼻側から外側へ流れるようにします。

鼻は本人に鼻をかませてから、湿った綿棒で軽く拭き取ります。

口は口角を綿棒で拭き取り、洗ってから、うがいをします。

耳は表面を湿ったガーゼでよく拭き取ってから、聞こえや痛みなどの異常が無いことを確認後湿った綿棒で耳の穴を拭き取ります。

その他の皮膚は湿ったガーゼで拭き取ります。いずれの場合も、目、鼻、耳に除染に用いた濡れたガーゼの水（汚染水）が入らないよう注意します。

これらの処置で生じる洗い水、ガーゼ、綿棒等は、場合によっては測定・分析対象とすることがありますので、安易に廃棄扱いとしないようにしま

身体除染 皮膚の除染



皮膚の除染は湿ったガーゼ等によるふき取りで行います。

拭き取りは、常に汚染の中心に向かって行い、汚染を拡げないように注意します。このため一度使用したガーゼは再使用しません。

皮膚の除染は、除染効果が期待できるかどうかによりますが、通常は2回程度までを目安とします。

落ちないからといって、過度の除染を試みることは、健全な皮膚を傷つけ、逆効果になりかねません。

除染しても落ちないということは、汚染が拡散・拡大しない、ということでもありますので、その部分はシート等で覆って、より高度な除染が可能な機関へ搬送するなどの対応も考えられます。

まとめ

- 身体表面の汚染検査の目的
 - 外部被ばく、内部取り込み、汚染拡大の防止 → 線量低減
- 身体表面の汚染検査の方法
 - 検出部を身体表面から約1cm離し、約5cm/秒で動かし測定
 - 身体の除染
 - 衣服の除染 脱衣
 - 頭髪の除染 湿った布で拭き取る。洗髪する。
 - 顔面の除染 湿った布で拭き取る。綿棒も活用する。
 - 皮膚の除染 汚染を広げないように除染する。

参考 GMサーベイメーターの使い方



・電源スイッチを約2秒間押すと、液晶表示器の表示が下記のようになり、自動的に電源チェック等が行われ、問題がなければ測定状態となる。

ALOKA TGS-146 : 形名
 ↓
 15/02/1413:30 : 時刻
 ↓
 BATT. = ■■■■ : 電池残量
 ↓
 ALARM OFF : 警報動作設定
 ↓
 HV=OK : HV状態
 ↓
 3 : 測定状態
 ↑ 時定数 ↑ 計数率

なお、エラー表示については、以下のとおりである。

- ・電池残量表示

電池残量表示がBATT.=■□□□で点滅している場合、バッテリーダウン予告表示なので電池を早めに交換する。なお、測定中に液晶表示器の左に“B”が点灯した 場合も同様である。

- ・HV状態表示

HV=ERRORは、HV出力異常のため、正しい計測ができないので、調整をメーカー等に依頼する。

避難退域時検査

原子力災害 基礎研修
原子力災害基礎-7

時間：30分

出典；原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル（原子力規制庁）より抜粋

内容

- 避難帯域時検査の概要
- 避難帯域時検査の流れ
- 検査及び簡易除染の体制
- 標準的な要因の役割と人数
- 資機材

避難退域時検査の概要

- 原子力災害時に放射性物質が放出された後に緊急時モニタリングの結果により必要があると判断された場合にOIL1に基づく防護措置として住民に避難や一時移転の指示される。その防護措置としての避難等の際に避難や一時移転される方の汚染状況を確認することを目的として実施される検査
- 対象者
 - OILに基づく防護措置としての避難等の指示を受けた住民等
 - 避難等の指示があった後に、この指示の対象となる区域から避難等をする住民のほか、労働者や旅行者等の一時滞在者も含む
- 国がOILに基づく防護措置の指示とともに地方公共団体に実施を指示
- 検査場所
 - 原子力災害対策重点区域の境界周辺(境界から概ね数キロメートルの範囲)から避難所等までの場所
 - 地域の実情を踏まえ選定
 - 避難経路上に複数の検査場所を設置

原子力災害時においては、国又は地方公共団体は、放射性物質が放出される前に予防的に実施する避難の指示の他、放射性物質が放出された後に緊急時モニタリングの結果により必要があると判断された場合には、「OIL1に基づく防護措置として住民に避難や一時移転(以下：避難等)」の指示を出します。

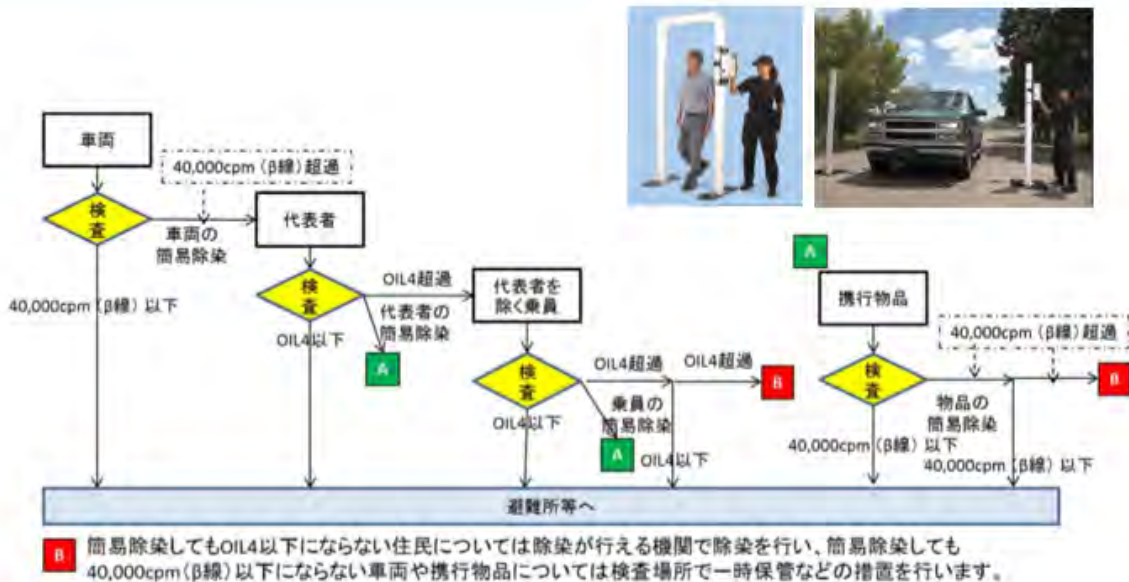
このOILに基づく防護措置としての避難等の際に、避難や一時移転される方の汚染状況を確認することを目的として実施される検査のことを「避難退域時検査」といいます。

対象者は、OILに基づく防護措置としての避難等の指示を受けた住民等で、避難等の指示があった後に、この指示の対象となる区域から避難等をする住民のほか、労働者や旅行者等の一時滞在者も含まれます。

検査の指示は、国がOILに基づく防護措置の指示とともに地方公共団体に実施を指示します。

検査場所は、原子力災害対策重点区域の境界周辺(境界から概ね数キロメートルの範囲)から避難所等までの場所で、地域の実状を踏まえ選定します。

避難退域時検査の流れ



自家用車やバス等の車両を利用して避難等をする住民の検査は、乗員の検査の代用として、まず車両の検査を行います。この結果がOIL4(初期設定40,000cpm(β線))超の場合には、乗員の代表者に対して検査を行います。この代表者がOIL4超の場合には、乗員の全員に対して検査を行います。

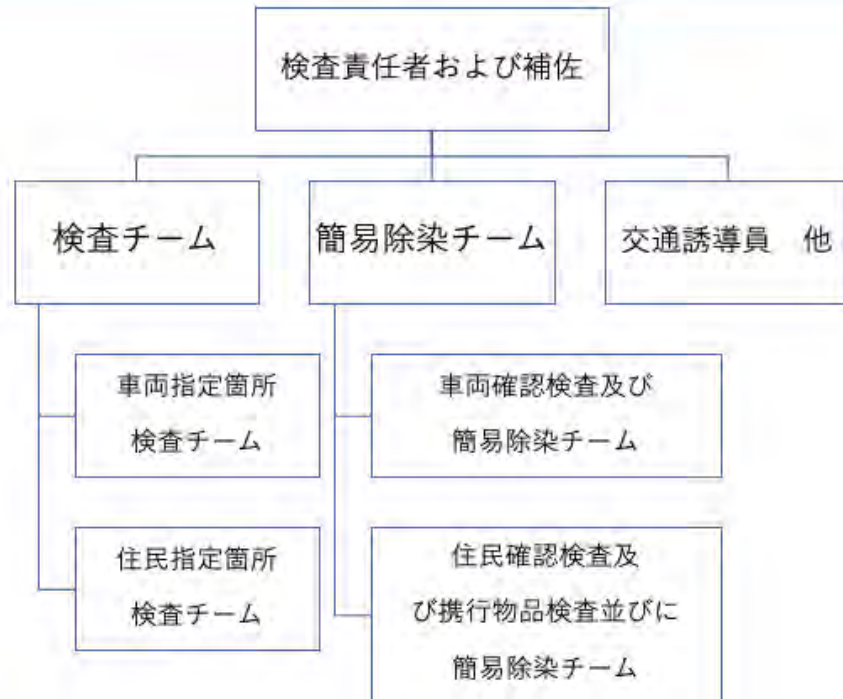
携行物品の検査は、これを携行している住民がOIL4超の場合にのみ検査を行います。

検査の結果、OIL4超の住民、車両及び携行物品には簡易除染を行います。簡易除染によってもOIL4超の住民は除染が行える機関で除染を行い、簡易除染によってもOIL4超車両や携行物品は検査場所以一時保管などの措置を行います。

なお、検査の実施に際しては、要配慮者に対する健康上の配慮等が必要です。例えば、避難所等から離れた場所で行う場合、この検査によって健康リスクが高まると判断される要配慮者及びその車両については、避難所等そのまま向かっていただき、そこで健康上の配慮を行いつつ検査を行うことも考慮する必要があります。

出典；原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル(原子力規制庁)より抜粋

検査及び簡易除染の体制



検査及び簡易除染を行う者だけではなく、検査場所の規模に応じ、車両の誘導を行う交通誘導員、空調等の運転保守要員、受付・説明員、通信・連絡員等を配置することが望ましいです。

出典；原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル（原子力規制庁）より抜粋

標準的な要員の役割と人数

| チーム区分、要員 | 役割 | 要員数 |
|--------------------------|---|------|
| 検査責任者及び補佐 | <ul style="list-style-type: none"> 検査場所における業務の全体統括及び地方公共団体の現地災害対策本部等との連絡調整(検査及び簡易除染の状況、バックグラウンドレベル等の報告等) バックグラウンドの測定、検査責任者へ検査チームや簡易除染チームの活動状況等の報告 | 2名 |
| 車両指定箇所検査チーム | <ul style="list-style-type: none"> 車両用ゲート型モニタ又は表面汚染検査用の放射線測定器による車両の指定箇所検査 | 1名以上 |
| 車両確認検査及び簡易除染チーム | <ul style="list-style-type: none"> 表面汚染検査用の放射線測定器による車両の確認検査及び簡易除染後の簡易除染の効果の確認 車両の簡易除染 | 2名以上 |
| 住民指定箇所検査チーム | <ul style="list-style-type: none"> 体表面汚染モニタ又は表面汚染検査用の放射線測定器による住民の指定箇所検査 | 1名以上 |
| 住民確認検査及び携行物品検査並びに簡易除染チーム | <ul style="list-style-type: none"> 表面汚染検査用の放射線測定器による住民の確認検査及び携行物品の検査並びに簡易除染後の簡易除染の効果の確認 住民及び携行物品の簡易除染並びにその補助(説明・指導等) | 2名以上 |
| その他 | <ul style="list-style-type: none"> 車両の誘導 他 | 1名以上 |

検査の効率化を図るため、検査対象となる車両、住民及び携行物品の数に応じて、上記に示すチームの複数配置や他のチームによる支援などのチーム間での役割分担の調整、必要に応じて各チームの要員の増員を考慮します。

検査責任者及び補佐は、原則、地方公共団体の職員(又は地方公共団体が指定する者)で、原子力防災に関する基礎的な研修を受講した者、同等の知識を有する者又は実務経験者等の中から、検査会場の全体統括など、その役割を果たすことができる者が担います。

また、検査責任者及び補佐を除く要員には、本マニュアルで示す検査及び簡易除染が実践できるよう、原子力防災に関する基礎的な研修及び機器の取扱い実習を、予め受講しておくことが望ましいです。

資機材

| | |
|--------|--|
| 個人防護装備 | 不織布防護服、綿手袋、ゴム手袋、サージカルマスク、キャップ(帽子)、シューズカバー、個人被ばく線量計(ポケット線量計(PD)等) |
| 放射線測定器 | 表面汚染検査用の放射線測定器(GM サーベイメータ等)、空間線量率用の放射線測定器(NaI シンチレーション式サーベイメータ等) (使用できる場合)体表面汚染モニタ、車両用ゲート型モニタ |
| 養生資材 | 養生用シート、粘着テープ等 |
| 簡易除染用品 | 養生用シート、粘着テープ、ウェットティッシュ、ウエス、洗車用ブラシ、ビニールシート、大小ポリ袋、帽子、綿手袋、ゴム手袋、サージカルマスク、着替え用衣類とタオル等 |

このほか、地方公共団体の現地災害対策本部等との通信連絡のため、携帯電話、衛星携帯電話などの通信機器を整備する必要があります。
また、検査場所によっては、運営に必要な仮設テントや机、照明器具、熱中症対策のための保冷剤、送風機、暖房器具、雨具、荒天時対策の装備等が必要となります。なお、自動体外式除細動器(AED)は用意することが望ましいです。

数量等はチーム数等に応じて調整します。

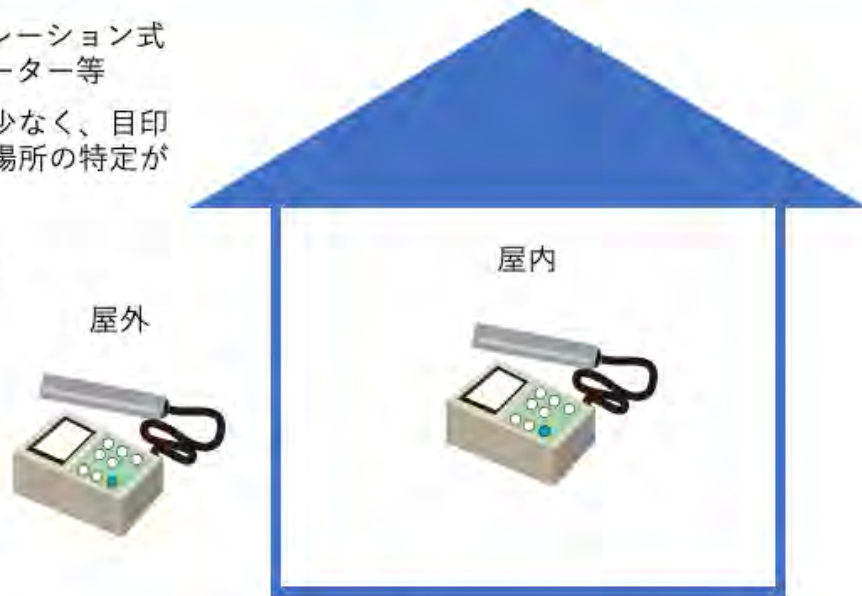
- 個人被ばく線量計は、原則として、日本工業規格(JIS Z4511)に準拠して校正された機器を用います。また、長期使用しない場合は、電池を取り外し、予備電池を用意しておきます。必要数は、要員と交代要員の数に加え、予備を考慮します。
- 空間線量率用の放射線測定器は、原則として、日本工業規格(JIS Z4511)に準拠して校正された機器を用います。放射線測定器は、定期的(半年に1回以上推奨)に動作確認を行い、バックグラウンド計測値に異常がないことを確認しておきます。また、長期使用しない場合は、電池を取り外しておくとともに、予備電池を用意しておきます。
- GMサーベイメーター(入射窓面積が 20cm^2)以外の表面汚染検査用の放射線測定器を使用する場合は、指示値のOIL4 (40,000 cpm)への換算を個別に確認しておきます。また、機器の仕様によっては、メーター針とデジタル表示を持つもの、デジタル表示のみのものなど、様々です。
- 体表面汚染モニタ又は車両用ゲート型モニタを使用する場合は、40,000cpmを検出できる性能であることをメーカーに確認しておきます。

バックグラウンドの測定方法と取扱い

NaI シンチレーション式
サーベイメーター等

車の通行が少なく、目印
があって、場所の特定が
容易な地点

時定数10秒



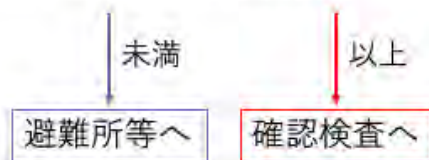
測定日時、測定場所、測定者及び測定値を記録

検査責任者の補佐は、検査の準備段階から検査終了までの間、空間線量率用の放射線測定器(NaI シンチレーション式サーベイメーター等)を使って、以下の方法により、定期的にバックグラウンド測定を行います。

1. 検査責任者の補佐は、検査場所の屋内・外の2ヶ所程度を選んで測定点(定点)とします。測定点は、車の通行が少なく、目印があって、場所の特定が容易な地点を選びます。
2. 測定器を準備し、測定点において検出部を地上から1m(腰部付近)の高差で水平に保ちます。毎回、同一の向きで測定します。
3. 時定数を10秒とし、約30秒(時定数の3倍)経過後、指示値を読み、記録します。指示値の読み方は、メーター針のある機種では、針の振れの中央を読みます。
4. 空間線量率の測定は、検査を開始する前及び検査中1時間に1回程度行います。
5. 測定結果として測定日時、測定場所、測定者及び測定値を記録します。
6. 原子力施設の状況の変化や各チームからの検出報告等、注意すべき情報が得られた場合には、連続監視等、測定の頻度を上げます。

指定箇所検査

- GMサーベイメータ（入射窓面積が20cm²のもの）を用いた測定
- 設定
 - 時定数；3秒
 - 測定レンジ；10kcpm(10,000cpm)
 - 消音
 - 距離；対象物の表面から数cm以内
 - 速度；毎秒約10cm
- 測定箇所；放射性物質が付着する可能性が高いところ(指定箇所)
- 基準値；6kcpm(6,000cpm)



1. 時定数を3秒に設定します。
2. 測定レンジは、10kcpm (10,000 cpm)に設定します。
3. 計数音はオフ(消音)にします。
4. 検査対象の表面と検出部の距離を数cm以内に保ちながら、毎秒約10cmの速度でプローブを移動させます。
5. 検査を行う箇所は、放射性物質が付着する可能性が高いところ(指定箇所)とします。
6. 指示値が6kcpmを超えていないことを確認します。超えた場合は、次の「確認検査」に移行します。
7. 一世帯又は車両1台の検査が終わった後、バックグラウンド値に著しい変化がないことを確認します。確認の結果、著しい変化があった場合は、ラップフィルムを交換します。ラップフィルムの交換後もバックグラウンド値が戻らない場合は、他の原因が考えられますので、検査責任者の補佐に連絡します。

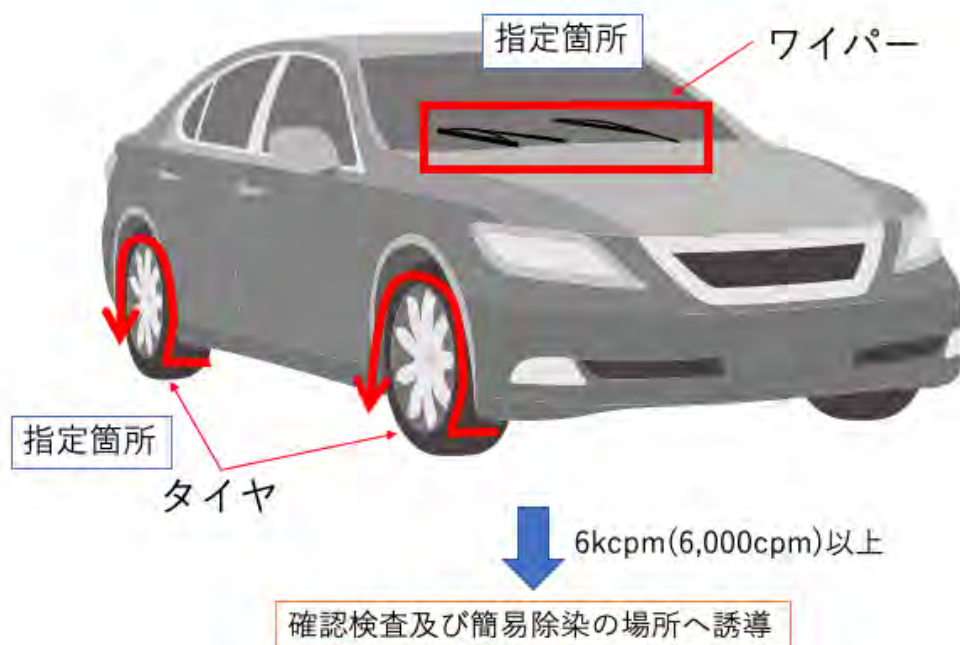
線源と検出部の距離を10mmに固定して測定した際に40,000cpm (β 線)に相当する計数率が得られる場合、この線源に対し、時定数3秒、検出部入射面との高さを10mmに保ち、毎秒約10cmで水平移動させて測定できる計数率の最大値は6,000cpm以上となります(白川芳幸「サーベイメータの適切な使用のための応答実験」『ISOTOPE NEWS』第635号, 2007年3月, 19-24頁を参照)。

確認検査

- GMサーベイメータ
- 設定
 - 時定数；3秒
 - 測定レンジ；指示値に応じて切り替える
 - 消音
 - 距離；対象物の表面から数cm以内
 - 速度；毎秒約10cm
 - 測定箇所
- 測定箇所；指定箇所検査で検出された箇所を含めた検査対象の全面又は簡易除染を行うときはその箇所
- 有意に指示値が高い場所でプローブを縦・横に動かし、指示値が最も高くなる箇所でプローブを約 10 秒固定して、測定

1. 時定数を3秒に設定します。
2. 測定レンジは、指示値に応じて適宜、切り替えます。
3. 計数音はオフ(消音)にします。
4. 検査対象の表面と、検出面の距離を数cm以内に保ちながら、毎秒約10 cmの速度でプローブを移動させます。
5. 検査を行う箇所は、指定箇所検査で検出された箇所を含めた検査対象の全面又は簡易除染を行うときはその箇所です。原則として検査員による検査が可能な範囲とします。
6. 有意に指示値が高い場所でプローブを縦・横に動かし、指示値が最も高くなる箇所でプローブを約 10 秒固定して、測定値を読み、OIL4以下であるかを確認します。バックグラウンドの減算は行いません。
7. 有意に指示値が高い場所が複数あるときは、それぞれの箇所で同様に測定します。
8. バックグラウンド値の確認と処置は、指定箇所検査の7と同様に行います。

車両の検査

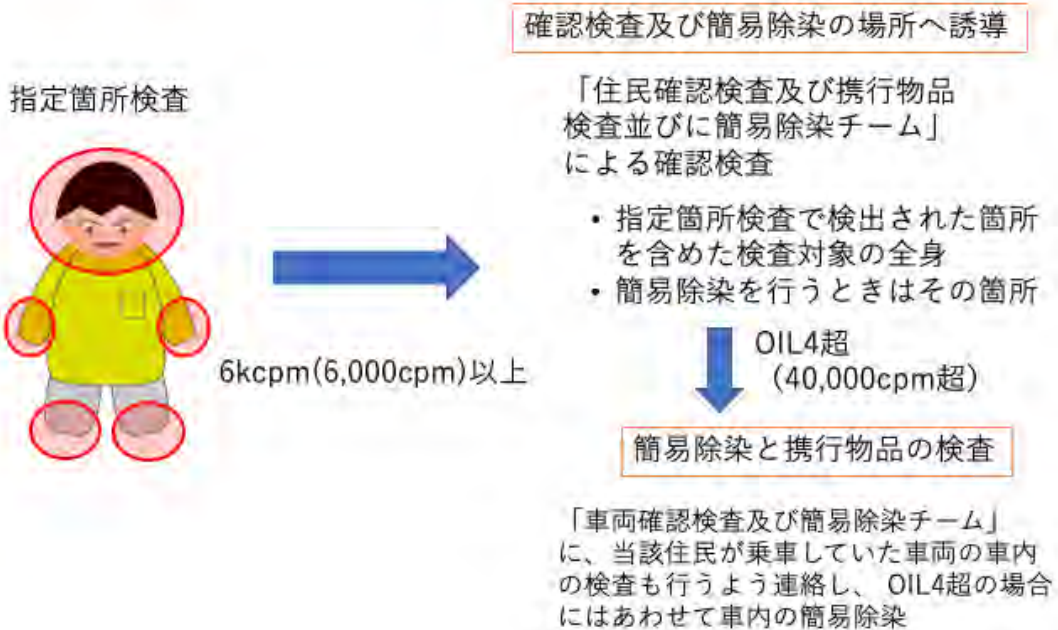


車両は以下の指定箇所検査を行います。

1. タイヤ(原則として全輪) シャーシより下部の接地面(ゴム部)を中心に、側面ゴム部も検査します。
2. ワイパー部(フロントガラス下部) ワイパーのゴム部分だけでなく、フロントガラスの下部パッキンにかけてのワイパー周辺一帯も検査します。

指定箇所検査でOIL4超の可能性があると判定(6,000cpm以上)された場合は、確認検査及び簡易除染の場所へ誘導し、「車両確認検査及び簡易除染チーム」による確認検査を実施します。その結果、OIL4超の場合は、簡易除染と乗員の検査を行います。

住民の検査

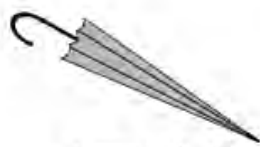


「住民指定箇所検査チーム」による表面汚染検査用の放射線測定器を用いた住民の検査では、放射性物質が付着している可能性が高い、①頭部、顔面、②手指、③靴底を指定箇所検査します。なお、検査の際には、帽子、上着等は着衣のまま、その上から検査します。

指定箇所検査でOIL4超の可能性があると判定された場合は、確認検査及び簡易除染の場所へ誘導し、「住民確認検査及び携行物品検査並びに簡易除染チーム」による確認検査を実施します。その結果、OIL4超の場合は、簡易除染と携行物品の検査を行います。また、「車両確認検査及び簡易除染チーム」に、当該住民が乗車していた車両の車内の検査も行うよう連絡し、OIL4超の場合にはあわせて車内の簡易除染を行います。

携行物品の検査

- 対象となる物品の表面検査
- 原則として表面全面の検査
- スーツケース、鞆、袋など密封されたものは、開封せずに、外側を検査



表面を検査



外側を検査

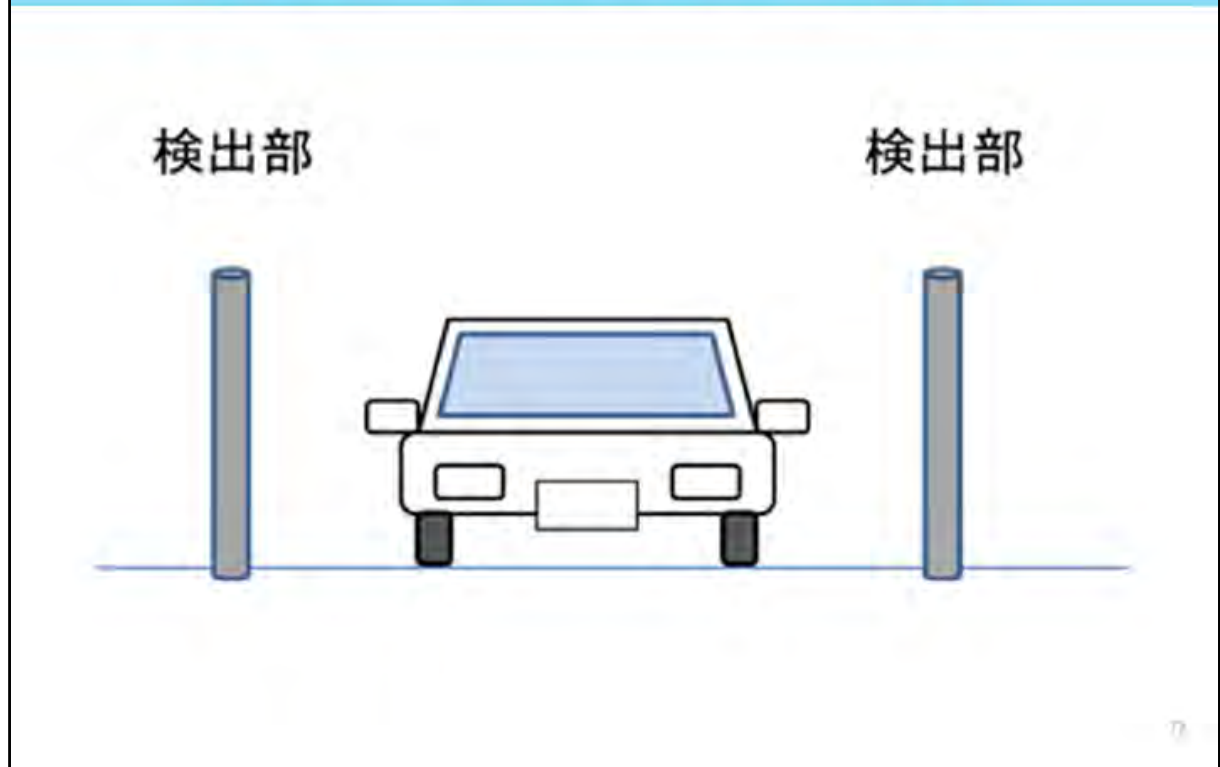


OIL4超 (40,000cpm超)

簡易除染

「住民確認検査及び携行物品検査並びに簡易除染チーム」による表面汚染検査用の放射線測定器を用いた携行物品の検査では、対象となる物品の表面を検査します。原則として表面全面を行って下さい。なお、スーツケース、鞆、袋等密閉されたものは、開封して検査する必要はありません。検査OIL4超の場合は、簡易除染を行います。

車両用ゲート型モニタによる検査



一般的に車両用ゲート型モニタは、検出部に大容量のプラスチックシンチレータ等を用いており、 β 線ではなく γ 線を検出する方式のものが多くです。検出部は移動できる2本のポールで構成し、車両は、ポールとポールの間(ゲート)を通過する方式としたものがほとんどです。

車両用ゲート型モニタは、以下に示す検査方法等であれば、表面汚染検査用の放射線測定器による指定箇所検査に代えることができます。実際に車両用ゲート型モニタを導入するときには、その性能等をメーカーによく確認して下さい。

1. 検査員は、通過する車両の大きさ(バス、乗用車の車幅等)に合わせて、車体側面からポールまで1.5 m以内の間隔となるように設置します。
2. ゲートの手前で車両を一時停止させ、ゲートの中心線に沿って、およそ5km/h以下で一台ずつ通過させます。
3. 検査員は、ゲート通過後、車両を再度、一時停止させます。このとき、要員の安全を確保するため、ギアはパーキング又はニュートラルに、また、サイドブレーキが引いてあることを確認します。
4. 検査員は、ワイパー部(フロントガラス下部)を表面汚染検査用の放射線測定器で指定箇所検査します。ワイパー部は、車体に体が触れない程度の、手の届く範囲を検査します。
5. 検査の終わった車両を、次のところに誘導します。

車両の簡易除染

- 原則として、簡易除染員が濡らしたタオル等を用い、付着している放射性物質を拭き取る
 - OIL4超の箇所の周囲から中心に向かって一方向に拭き取ります。
 - 1枚のタオル等で何度も繰り返して拭き取らないようにします。
 - 1度拭き取りに使ったタオル等は所定の容器等へ入れます。
 - 該当箇所に強固に泥が付着している場合は、洗車用ブラシを使うなどして、泥を落とす。

原則として、簡易除染員が濡らしたタオル等を用い、付着している放射性物質を拭き取ります。拭き取りの方法は、以下のとおりです。

- OIL4超の箇所の周囲から中心に向かって一方向に拭き取ります。
- 1枚のタオル等で何度も繰り返して拭き取らないようにします。
- 1度拭き取りに使ったタオル等は所定の容器等へ入れます。

該当箇所に強固に泥が付着している場合は、洗車用ブラシを使うなどして、泥を落とします。落とした泥は、シートで受け、ビニル袋等に集めておき、一般の廃棄物と分別しておきます。

流水を利用する場合は、簡易除染員の吸入・汚染防止(マスク、防水用装備の着用)と水の拡散防止(周囲に防水シートを敷き、立ち上がりを設けて堰とします)を確保した上で行います。

住民・携行品の簡易除染

- 原則として住民本人による脱衣
- 手袋とマスクを着用
- 衣服の表を中に巻き込むように脱衣

携行品の簡易除染

- 水で濡らしたタオル等による拭き取り
- 所有者の希望があれば、本人が手袋をした上で、拭き取り



脱衣

衣服がOIL4超の場合は、原則として住民本人による脱衣を行ってまいります。その際、替えの衣服も予め用意しておきます。脱衣の際は、衣服や身体への放射性物質の拡大を防止する必要があります。そのため、簡易除染員から住民へ以下の説明と指導を行います。なお、自分で脱衣を行えない住民には、簡易除染員が手伝います。

- 手袋とマスクを着用します。
- 衣服の表を中に巻き込むように脱ぎます。
- 脱衣の際に皮膚に触れる場合は、テープ等で覆ってから脱衣します。

脱衣後、該当箇所の身体を確認検査し、測定の結果、OIL4超の場合は、次の簡易除染を行います。

なお、放射性物質の付着がごく一部分に限られている場合は、拭き取ることもできます。

拭き取り

頭髪や皮膚がOIL4超の場合は、原則として住民本人によるウェットティッシュ等を用いた拭き取りを行ってまいります。

簡易除染員から住民へ以下の説明と指導を行います。なお、自分で拭き取りが行えない住民には、簡易除染員が手伝います。

- ・手袋(手の簡易除染時は着用しません)とマスクを着用します。
- ・OIL4超の箇所周囲から中心に向かって拭き取ります。
- ・1枚のウェットティッシュ等で何度も繰り返して拭き取らないようにします。
- ・1度拭き取りに使ったウェットティッシュ等は所定の容器等へ入れます。
- ・アルコールにアレルギーのある住民には、水でぬらしたガーゼ、布等を使います。

1回の簡易除染でOIL4超の場合は、2回を目安に簡易除染を行い、確認検査を行います。

流水の利用

流水を利用する場合は、原則として住民本人に洗い流してもらいます。簡易除染員から住民へ以下の説明と指導を行います。なお、自分で行えない住民には、簡易除染員が手伝います。

- ・目や口に水が入らないようにします。
- ・頭髪がOIL4超の場合は、洗髪します。
- ・傷がある場合には、傷口に水がかからないよう、絆創膏で保護するなどして行います。なお、創傷の程度によっては、医療処置を優先します。

携行品は、水で濡らしたタオル等による拭き取ります。所有者の希望があれば、本人が手袋をした上で、拭き取りをしてもらうこともできます。

簡易除染の効果の確認方法は、「確認検査」に準じて行います。1回の簡易除染でOIL4超の場合は、2回を目安に簡易除染を行い、確認検査を行います。

OIL4以下にならなかった場合の処置

- 車両
 - 車両の所有者氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録
 - 当該車両に対する取扱いについては、例えば、検査場所が避難所等に近接している場合は、検査場所に一時保管（駐車）して徒歩で移動
 - 避難所等から離れている場合は、一時保管後、バス等の代替え交通手段で移動
- 住民等
 - 住民の氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録
 - 当該住民に対しては、追加の除染を行う必要があるため、検査結果を記載した書面を渡すとともに、OIL4以下でない部位をタオル等で覆うなどして拡散防止処置を施した上で、除染処置について専門的な知識及び技能を有する機関まで移動
- 衣服、携行品
 - 脱衣した衣服、携行物品は、ポリ袋に入れて封をし、所有者氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録
 - 封をしたまま避難所まで持参、廃棄処分、検査場所で一時保管のいずれか

車両

車両の所有者氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録します。

当該車両に対する取扱いについては、例えば、検査場所が避難所等に近接している場合は、検査場所に一時保管(駐車)して徒歩で移動することが考えられます。一方、避難所等から離れている場合は、一時保管後、バス等の代替え交通手段で移動することも考えられます。

住民等

住民の氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録します。

当該住民に対しては、追加の除染を行う必要があるため、検査結果を記載した書面を渡すとともに、OIL4超の部位をタオル等で覆うなどして拡散防止処置を施した上で、除染処置について専門的な知識及び技能を有する機関まで移動をお願いします。

衣類、携行物品

脱衣した衣服、携行物品は、ポリ袋に入れて封をし、所有者氏名、連絡先、年月日及び検査結果の情報を記録します。その後の取扱いは、(イ) 封をしたまま避難所等まで持参、(ロ) 廃棄処分（住民が所有権を放棄した場合）、(ハ) 検査場所で一時保管します。

汚染物等の取扱い



簡易除染で発生したタオルやウェットティッシュ等の汚染物（所有者が所有権を放棄した携行物品を含む）は、「汚染」と表記したポリ袋に入れ、一般の廃棄物と分別



流水を利用した場合等の廃水の処理については、「汚染」と表記したドラム缶やポリ容器等に封入

17

簡易除染で発生したタオルやウェットティッシュ等の汚染物（所有者が所有権を放棄した携行物品を含みます。）は、「汚染」と表記したポリ袋に入れ、一般の廃棄物と分別しておきます。なお、検査員等が使用したゴム手袋や防護服、マスク等も、汚染している可能性があるともみなし、同様に取り扱います。

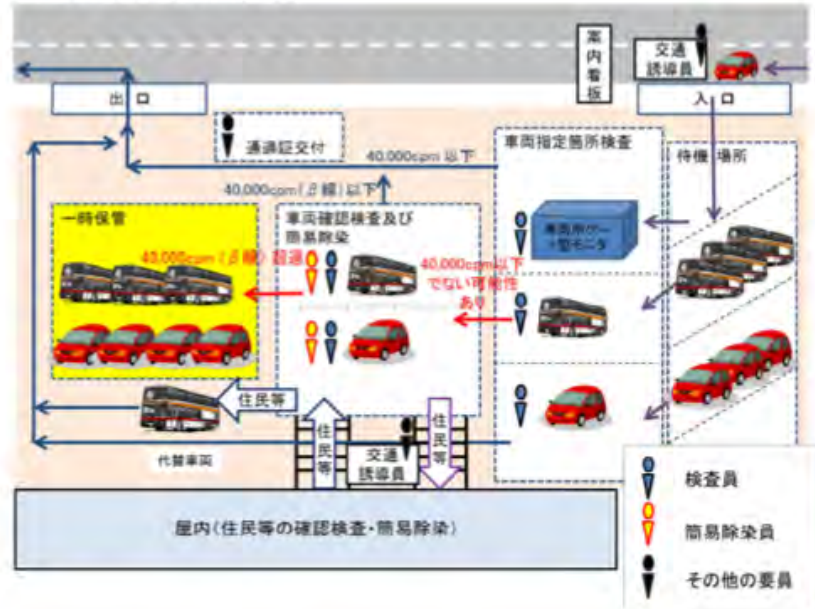
流水を利用した場合等の廃水の処理については、環境や一般の下水道へ排水することは適切でないため、「汚染」と表記したドラム缶やポリ容器等に封入し、一時的に貯留します。

これらの汚染物等は、計画に定めた保管場所に一時保管します。一時保管場所は、住民や要員の出入りの少ない場所とし、可能であれば、施錠できる場所であってコンクリート壁等に囲まれた、遮へい効果が期待できる場所を選びます。

汚染物等の引取りは、地方公共団体が、予め、国及び原子力事業者と協議の上、決めておくことが必要です。

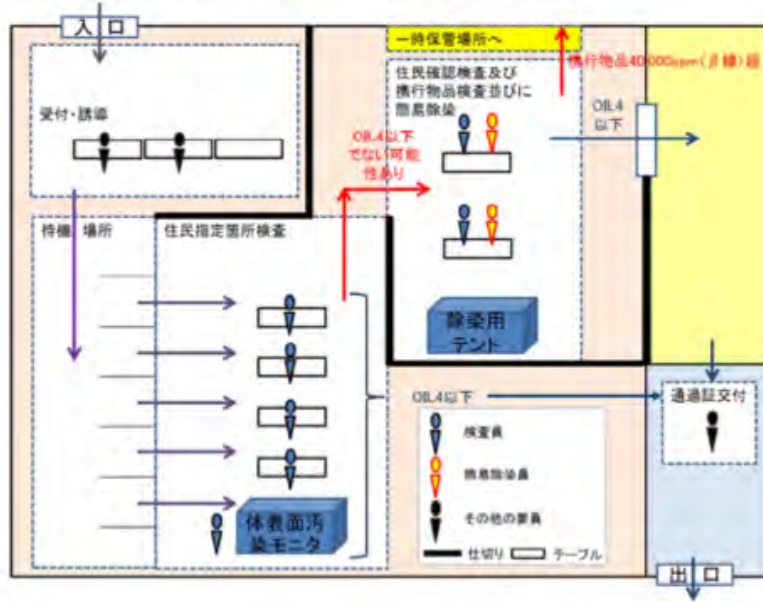
検査場所の例（屋外）

屋外の配置計画図、動線図の例



検査場所の例（屋内）

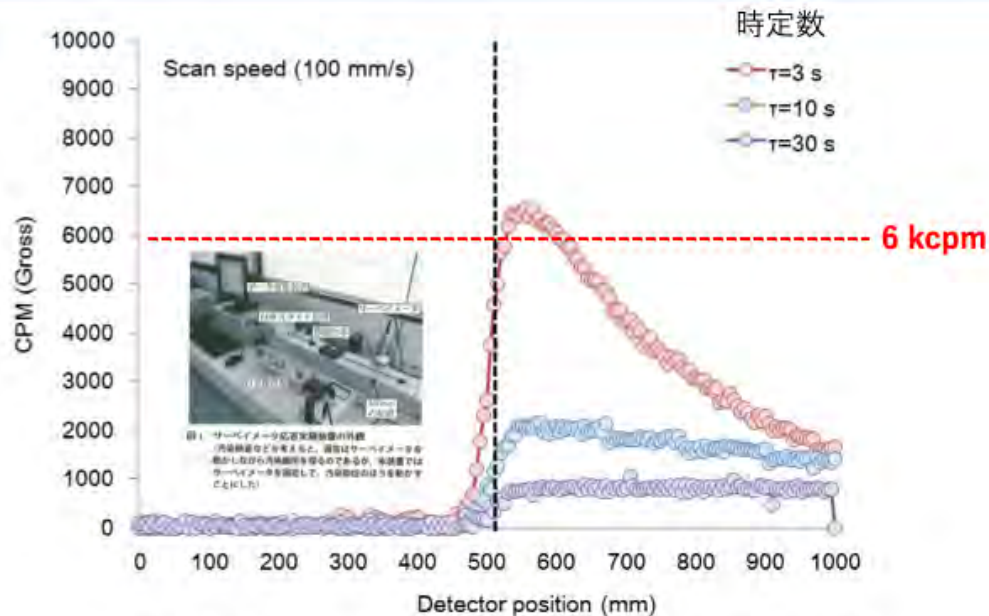
屋内の配置計画図、動線図の例(住民等の検査が必要となった場合)



まとめ

- 判断基準：OIL4（初期値40,000cpm）
- 体制：責任者、検査チーム、簡易除染チーム、交通誘導員他
- 資機材：個人防護装備、放射線測定器、養生資材、簡易除染用品
- 車両の検査（ワイパー、タイヤ）：6,000cpm以上→確認監査、簡易除染
- 住民の検査（頭部、手、靴）：6,000cpm以上→簡易除染、携行品検査
- 携行品検査（表面全面の検査、開封しない）：OIL4超→簡易除染
- 車両の簡易除染：濡らしたウエスで拭き取る
- 住民の簡易除染：表を中に巻き込む様に脱衣しポリ袋に入れる
- 携行物品の簡易除染：濡らしたウエスで拭き取る
- OIL4超の場合：氏名、連絡先、月日、検査結果を記録（保管、飛散防止）
- 汚染物の取扱い：ゴミ袋に「汚染」と記載し、一時保管

補足



スキャン速度に応じたGMサーベイメータの指示値の変動
 (コイン線源の1cm直上にプローブが静止状態にある場合の指示値は40000cpm)

白川, Isotope News 2007年3月号参考

線源と検出部の距離を10mmに固定して測定した際に40,000cpm (β 線)に相当する計数率が得られる場合、この線源に対し、時定数3秒、検出部入射面との高さを10mmに保ち、毎秒約10cmで水平移動させて測定できる計数率の最大値は6,000cpm以上となります(白川芳幸「サーベイメータの適切な使用のための応答実験」『ISOTOPE NEWS』第635号, 2007年3月, 19-24頁を参照)。

避難と屋内退避の支援

原子力災害 基礎研修

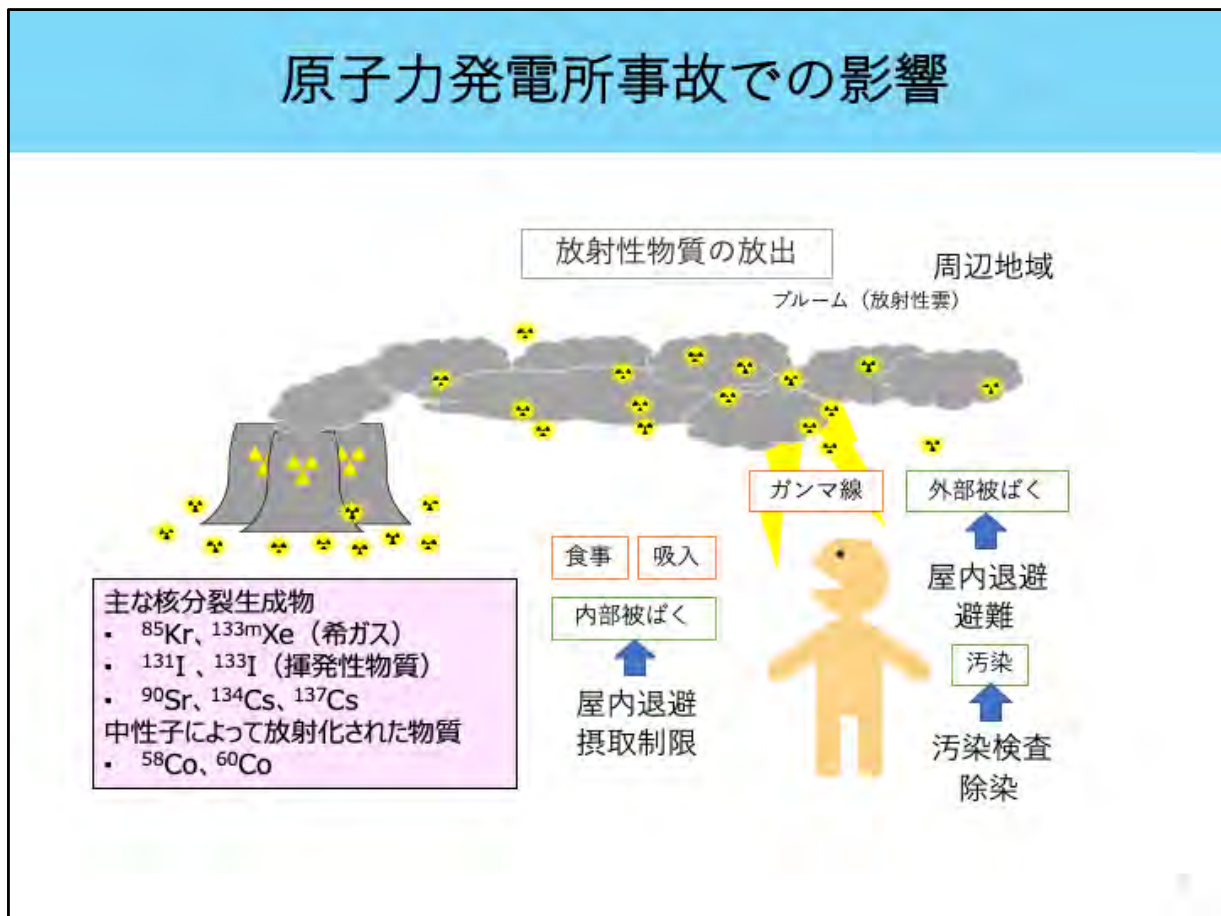
原子力災害基礎-8

時間；30分

内容

- 原子力発電所事故での影響
- 原子力災害時の防護措置
- 原子力発電所事故時の防護
- 防護措置の効果
- 屋内退避時の注意点
- 医療・福祉施設の避難
- 避難時の注意点
- 避難退域時検査
- 汚染検査
- 原子力災害時の病院避難
- 避難時の防護対策
- 車椅子の汚染検査
- 受け入れ先医療機関での対応
- 屋内退避・避難時のチェックリスト

原子力発電所事故での影響



原子力発電所では、ウランが核分裂して発生させる熱を発電に利用しています。この核分裂によって生じたものが核分裂生成物で、放射性物質を多く含んでいます。

原子力災害では、事故で燃料のペレットや被覆管が破損すると、大量の放射性物質が環境中に放出されます。

放出された気体状の放射性物質は、雲のような状態で大気中を流れます。このプルームから降ってきた放射性物質が地表に沈着したり、野菜などの食物に取り込まれます。そこで、プルームが通過した地域にいと汚染したり、プルームからのガンマ線による外部被ばくをしたり、吸入や食事から内部被ばくをしたりします。このため、原子力施設周辺の住民等に対する放射線の重篤な確定的影響を回避し又は最小化するため、及び確率的影響のリスクを低減するための防護措置を講じる必要があります。

原子力災害時の防護措置

| 主体 | PAZ | UPZ | UPZ外 |
|----------|--------|--|--|
| 警戒事態 | 地方公共団体 | ・住民への情報伝達 | ・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力 |
| | 国 | ・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備の指示 | ・施設敷地緊急事態要避難者の避難準備への協力の要請 |
| 施設敷地緊急事態 | 地方公共団体 | ・住民への情報伝達 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難 ・住民避難の準備 ・安定ヨウ素剤の服用の準備 | ・住民への情報伝達 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ ・住民の避難準備への協力 |
| | 国 | ・施設敷地緊急事態要避難者の避難の指示 ・住民避難の準備の指示 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示 | ・屋内退避の準備の指示 ・施設敷地緊急事態要避難者の避難の受け入れ要請 ・住民の避難の準備への協力の要請 |
| 全面緊急事態 | 地方公共団体 | ・住民への情報伝達 ・住民避難 ・住民等への安定ヨウ素剤の服用の指示 | ・住民への情報伝達 ・住民避難の受け入れ ・安定ヨウ素剤の服用の準備 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応 |
| | 国 | ・住民避難の指示 ・地方公共団体への安定ヨウ素剤の服用の指示 | ・屋内退避の指示 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応 ・住民避難の受け入れ要請 ・安定ヨウ素剤の服用の準備の指示 ・防護措置基準に基づく防護措置への対応 |

原子力発電所の事故が発生した場合、防護措置が開始されます。

緊急時活動レベル（EAL）に基づいた防護措置の考え方

予防的防護措置を準備する区域（PAZ）においては、確定的影響を回避するために、警戒事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難準備を行い、施設敷地緊急事態において、施設敷地緊急事態要避難者の避難、住民避難の準備及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行い、全面緊急事態にいたった場合は、住民避難及び安定ヨウ素剤の服用されます。

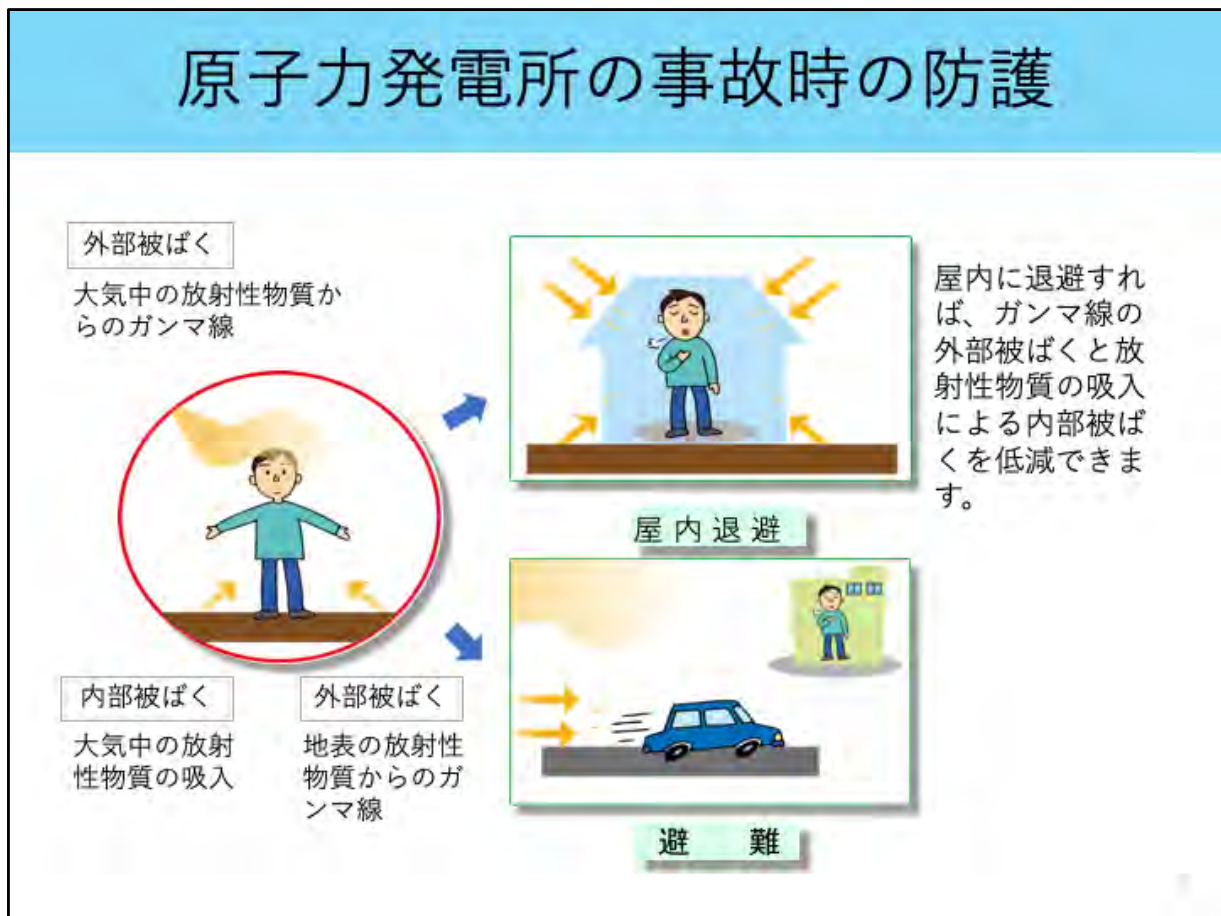
また、緊急時防護措置を準備する区域（UPZ）においては、確率的影響のリスクを低減するために、施設敷地緊急事態において、屋内退避の準備を行い、全面緊急事態において、屋内退避及び安定ヨウ素剤の服用の準備を行います。放射性物質の放出後、UPZ及びUPZ外においては、OILに基づいて、防護措置が実施されます。

PAZの医療機関は施設敷地緊急事態で、避難を開始することになります。

施設敷地緊急事態要避難者

避難の実施に通常以上の時間がかかり、かつ、避難によって健康リスクが高くなる要配慮者等（傷病者、入院患者、高齢者、障害者、外国人、乳幼児、妊産婦その他の災害時に援護を必要とする者をいう。）、安定ヨウ素剤を事前配布されていない者及び安定ヨウ素剤の服用が不適切な者のうち、施設敷地緊急事態において早期の避難等の防護措置の実施が必要な者をいいます。

原子力発電所の事故時の防護



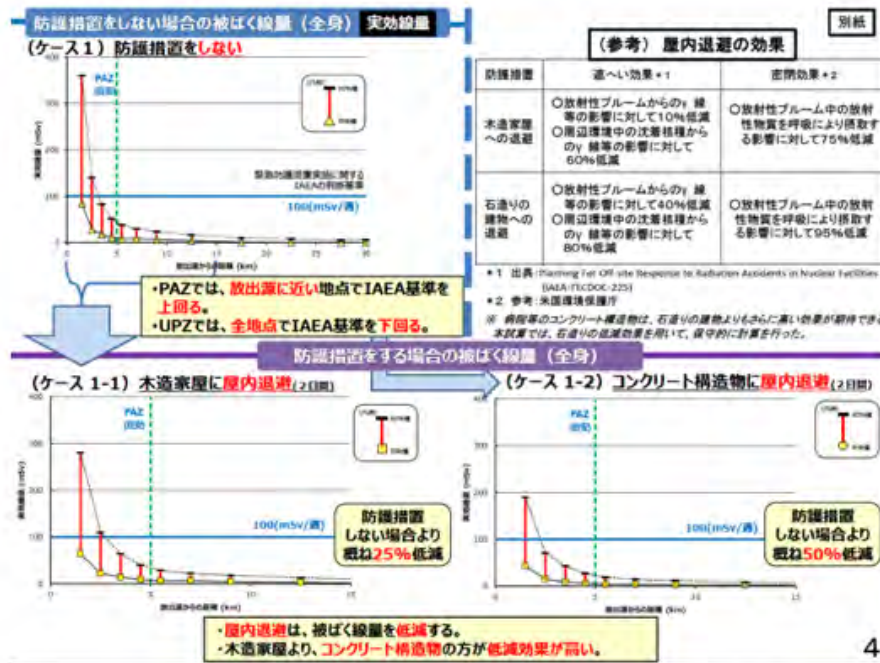
放射性物質が環境中に放出された場合、大気中あるいは地表の放射性物質からのガンマ線によって外部被ばくします。屋内に滞在した場合は、建物の壁や屋根によって放射線を遮ることができ、被ばく線量を低減できます。建物は木造建屋よりもコンクリート建屋の方が放射線の遮へい効果があります。

また、窓や扉を閉めることで、大気中の放射性物質が建物の中に入ってくることを防ぎ、放射性物質の吸入を防ぐことによって内部被ばくの防護ができます。

原子力災害が起こった時の防護の基本は、屋内退避と避難です。これらの行動の基準は、原子力災害対策指針（原子力規制委員会）に定められており、国や地方公共団体によって指示されます。医療機関や介護福祉施設等の避難に支援が必要な機関では、地域防災計画等によって定められている屋内退避や避難をします。

原子力災害時には、空間線量率が毎時500マイクロシーベルトを超えた地域は、直ちに避難をします。また、毎時20マイクロシーベルトを超えた地域は、1週間を目処に一時移転します。これらは、防護措置の実施を判断する基準として運用上の介入レベル(OIL)として設定されています。

防護措置の効果（全身の被ばく線量）



出典：緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について（案）平成26年5月28日 原子力規制委員会

屋内退避の防護効果を示します。ここでは、セシウム137が100テラベクレル、その他核種がセシウム137と同じ割合で換算された量、さらに希ガス類が全量、環境中に放出されるような仮想的な事故を想定しています。

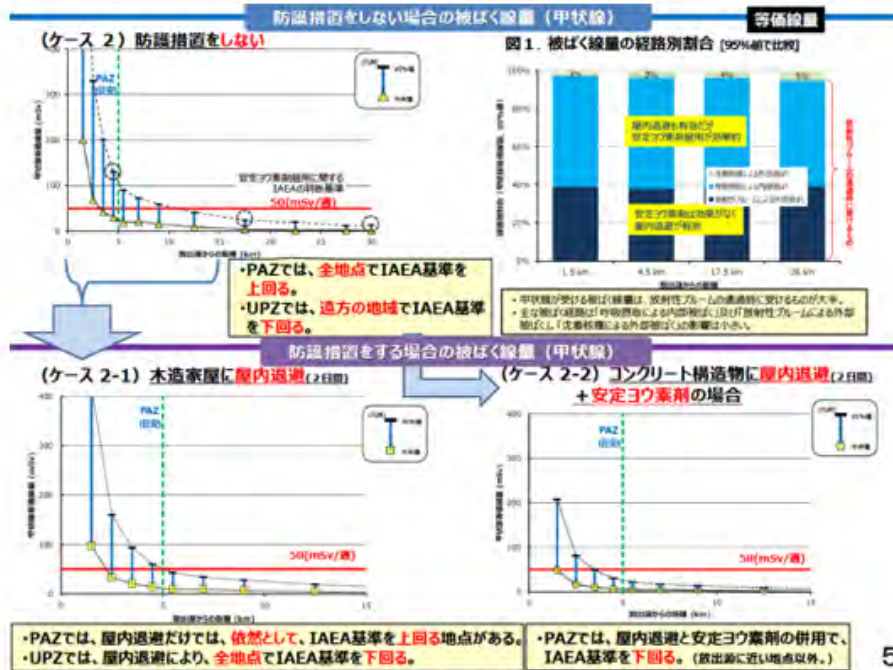
防護措置をしない場合に比べて、屋内退避は被ばく線量を低減することができます。さらに木造家屋より、コンクリート構造物の方が被ばく線量の低減効果は高いです。

このように、一時的には、屋内退避による防護効果が期待できるため、PAZでは、予防的な避難を行うことによって、かえって健康リスクが高まるような要配慮者については、無理な避難を行わず、屋内退避を行うとともに、適切に安定ヨウ素剤を服用することが合理的です。

病院等のコンクリート建物に対して放射線防護機能を付加することで、より一層の低減効果を期待できます。

避難勧告・避難指示、屋内退避が長期に及ぶと予想される場合は、避難に切り替えることが必要です。

防護措置の効果（甲状腺）



出典：緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について（案）
平成26年5月28日 原子力規制委員会

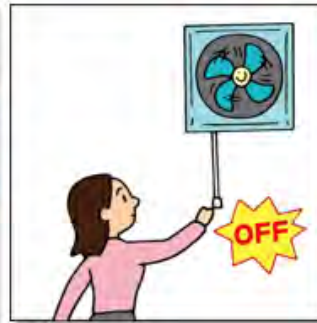
屋内退避による甲状腺の被ばく線量の低減効果を示します。
木造家屋に屋内退避した場合より、コンクリート建屋への屋内退避と安定ヨウ素剤の服用の併用によって、さらに甲状腺の被ばく線量を低減する効果が高くなります。

屋内退避時の注意点

窓を閉める



換気扇を止める



冷暖房器具を止める。



空調を止める。



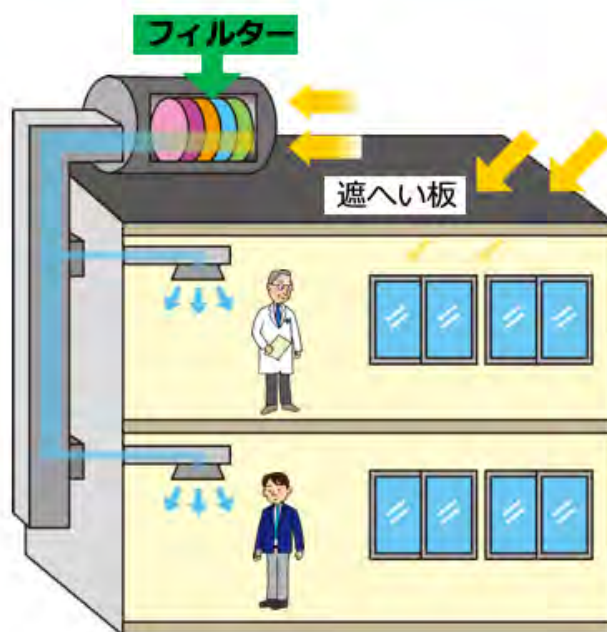
屋内退避が指示されたときの注意事項は、外気を取り入れないことがポイントです。

- ・窓や扉を閉める。
- ・換気扇を止める。(空気の流れを止める。)
- ・冷暖房器具を止める。
ただし、家庭用のエアコンなど外気を取り入れない(熱交換だけを行う物)は、使用することができます。
- ・大きな建物などに設置されている、換気装置を止める。

その他

- ・テレビ、ラジオ、防災無線、広報車等から、正確な最新の情報を入手します。
- ・外から建物の中に入るとき、手洗い等を行います。
- ・食品を汚染させないように、食品をタッパ、ラップ、冷蔵庫等に保管します。
- ・避難、一時移転の防護措置が指示された場合に備えて、避難の際に持ち出す物品を準備します。

屋内退避時の注意点



避難や一時移転を実施した方が良いが、避難により健康リスクが高まる災害時要配慮者（傷病者、入院患者、高齢者、障害者、外国人、乳幼児、妊産婦等）等、実施が困難な場合、国及び地方公共団体の指示により屋内退避が実施されます。その際、一般的に遮へい効果や建家の気密性が比較的高いコンクリート建屋への屋内退避が有効です。さらに、空気の清浄装置や遮へい材の設置も考慮されます。

特に、屋内退避を実施している期間は、食料、医薬品及び日常生活の必需品等支援を受ける必要があるため、事前に市町村や道府県等の関係機関と十分調整し、実効性のある計画を策定する必要があります。

原子力緊急事態が発生した場合は、道府県や市町村の災害対策本部と連絡を密にし、上記の支援物資の提供や放射線防護について留意し、必要な情報の提供を絶えず受け取ります。情報が提供されない場合は、退避者側から取りに行くことも大切です。

医療・福祉施設の避難

- 施設内にいた患者、職員は基本的に汚染されていない。
- 放射性物質の放出後に外出した職員あるいは外から来た家族等は汚染の可能性がある。
- 放射線防護の観点から、汚染検査よりも迅速な避難が優先される。



病院や福祉施設において、屋内退避から避難に防護措置が切り替わったときは、避難者に医師や看護師が同行します。

医師や看護師は、避難先へ避難者に関する情報をできるだけ早い段階に提供することも必要です。

防災計画として、避難先と受け入れの調整を事前に実施しておくことが推奨されます。

避難時の注意点



戸締まりを忘れずにする。



近所の人に避難するよう声をかける。



皮膚を出さない服装をする。



常用薬、お薬手帳は必ず携行する。



元栓を閉め、ブレーカーを忘れず落とす。

原子力災害が起こった時の防護の基本は、屋内退避と避難です。避難の時には、放射性物質が、万が一、環境中に放出された場合の対策も必要です。

外部被ばくの対策として、屋外の滞在時間をなるべく短くします。避難する場合には、車やバスなどを使用します。

内部被ばくの対策として、放射性物質を吸入しないようにマスクを使用します。マスクがない場合は、ハンカチなどで口を覆と放射性物質の吸入が少なくなります。

汚染の対策として、帽子、手袋、コートなどの長袖の衣類を一枚多く着用します。これは、汚染が髪や皮膚に付着することを防ぎ、汚染した場合には脱衣することで放射性物質を取り除くことができます。

避難する際には、戸締まりをして、電気のブレーカーを落とし、ガス・水道の元栓を閉め、近所の人に声をかけることも必要です。

医療・衛生関係では、常用薬、お薬手帳、粉ミルク、紙おむつなどは忘れずに必ず携行しましょう。

避難退域時検査



避難時の検査

避難時に汚染していないことを確認するために、避難退域時検査が行われます。特に、避難の初期は迅速性が重んじられ、避難車両の検査が中心に行われ、検査結果がOILの基準を超えている場合は、除染が実施されます。

汚染検査



GMサーベイメーターを使用して、体表面の放射性物質の付着の有無を調べます。これを汚染検査と言います。

測定器のプローブを体表面から1cmほど離して、毎秒5～6cm動かしながら検査します。



頭からつま先まで腹側と背側の両方を検査します。靴底も忘れずに検査します。



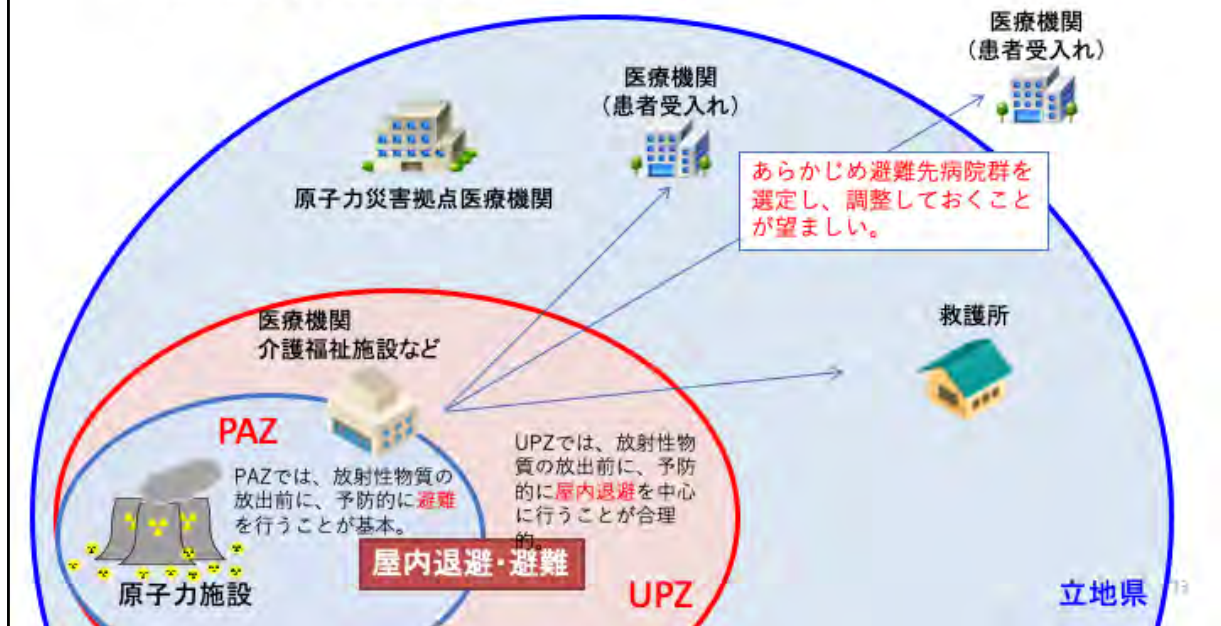
車椅子やストレッチャーに乗っている場合も、全身の汚染検査をできる限り実施します。

汚染検査には、GMサーベイメーターなどの表面汚染計を使用します。人の汚染検査の場合、手や靴底の汚染検査が重要で、手指の汚染は内部被ばくの可能性を示唆し、靴底の汚染は、歩行した範囲の汚染を示唆します。

ストレッチャーや車椅子での避難時にもできる限り汚染検査を実施します。

原子力災害時の病院避難

地元自治体からの指示に基づき、屋内退避、避難を行う。
搬送手段は、原則地元自治体が確保する。



入院患者は、施設敷地緊急事態要避難者であることから、PAZに立地する医療機関や介護福祉施設などは、施設敷地緊急事態となった時点で避難を開始することになります。また、避難先の選定には時間を要するため、平時にあらかじめ避難先病院群を選定し、調整しておくことが望ましいです。
搬送手段は、原則地元自治体が確保することになります。

避難時の防護対策

- 避難時の外部被ばくの対策
 - 屋外の滞在時間を短くする
 - 車やバスなどを利用する
- 避難時の内部被ばく対策
 - マスク、ハンカチ
- 避難時の汚染対策
 - 帽子
 - 手袋
 - コートなどの長袖の洋服



ストレッチャー等での搬送時には、使い捨てのシーツを上からかけておくと、毛布や衣服の汚染防止になる。



避難時の服装
汚染した場合は、帽子、マスク、上着、手袋を脱ぐ。

医療・福祉施設の避難時にも、外部被ばく、内部被ばくの防護対策が必要です。これらの防護対策は入院患者も病院職員なども同じです。ストレッチャーでの搬送時には、使い捨てのシーツを上からかけておくと、毛布や衣服の汚染防止になります。

車椅子の汚染検査



15

車椅子を使用している避難者の汚染検査は、車椅子に乗ったまま行うか、車椅子から移動できる場合は、別の椅子や車椅子に移動してから汚染検査を行います。

車椅子を養生する場合は、車輪の養生は難しく、汚染が付着します。そのため、汚染がある区域から汚染がない区域へ移動する場合は、車椅子を変えることで汚染拡大防止ができます。

ストレッチャーでの搬送の場合も同様です。

受入れ先医療機関での対応

- 基本的に、放射性物質が環境中に放出される前に避難が開始されるので、汚染されている可能性は小さい。
- そのため、受け入れ医療機関での安全確保、汚染対策は基本的に不要である。
 - 対応者の安全確保
 - 汚染検査と除染の対応者は個人線量計、防護装備を準備する。
 - 被ばく対策：空間線量計と個人線量計による管理
 - 汚染対策：防護装備
 - 施設の受入れ準備
 - 汚染対策
 - 汚染が院内に広がらないように汚染検査、除染のエリアを設置する。
 - 受入れ
 - 汚染検査と除染（必要な場合）を行なったのち、汚染のない区域へ移動する。

医療・福祉施設等の避難の場合、入院患者や高齢者にとって長距離の避難は負担となります。また、屋内に滞在していたのち、車両での避難である場合は、身体表面の汚染はほとんどないことが予想されます。そのため、受け入れ先の医療機関等では、汚染検査に時間をかけることで、避難してきた入院患者や高齢者等の負担を増幅することがないようにすべきです。

避難者の汚染が想定される場合には、汚染検査を実施し、必要に応じて除染します。

まとめ

- 原子力災害時の防護措置はEAL及びOILを組み合わせて実施
- 避難は、放射線・放射性物質から遠ざかることによって防護
- 屋内退避は、建物の気密性や遮へい効果を利用して防護
- 屋内退避の注意点
 - 扉・窓を閉める
 - 換気扇を止める
 - 正確で最新の情報の入手
 - 避難等を実施すべき際の屋内退避
 - 支援を確実に受けられる体制の整備
- 避難時の注意点
 - 皮膚を出さない服装
 - 戸締まりやガスの元栓等を閉める
 - 避難退域時検査
 - 救護所
- 原子力災害時の医療機関の避難では、あらかじめ避難先病院群を選定し、調整しておくことが望ましい。

平成 30 年度放射線対策委託費
(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)
放射線安全規制研究推進事業

包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究

成果報告書

別添資料 2

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
放射線医学総合研究所 被ばく医療センター

医療機関の 原子力災害対策

原子力災害 被ばく医療 専門研修

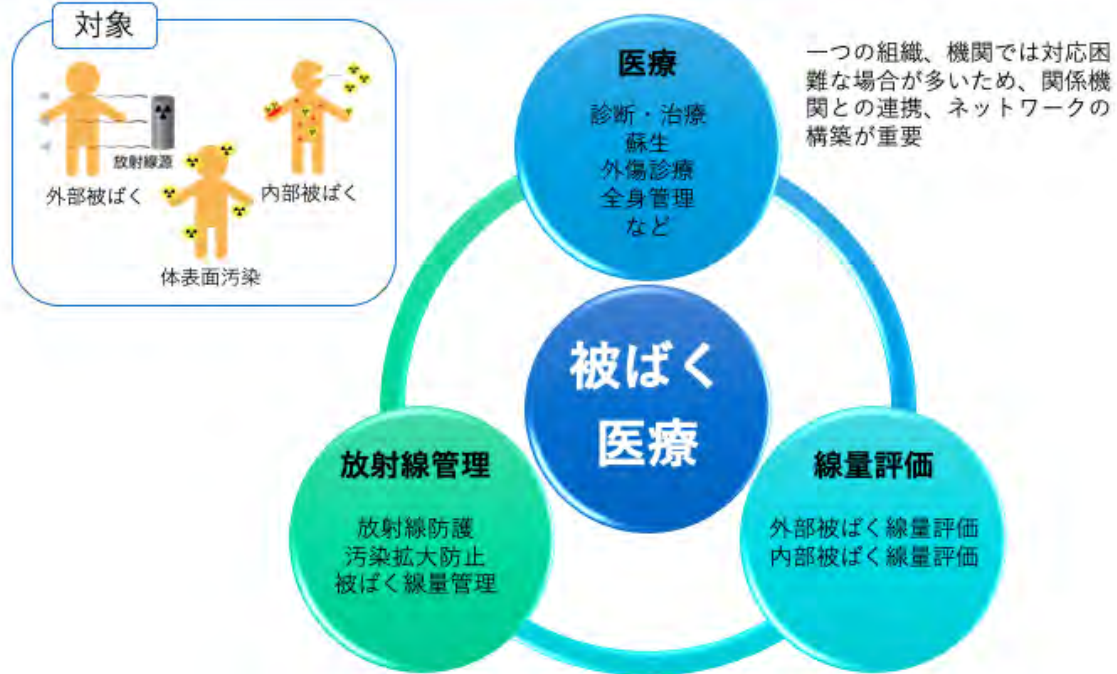
被ばく医療-1

時間；30分

内容

- 被ばく医療
- 原子力災害と被ばく医療
- 災害医療と原子力災害
- 原子力災害拠点病院
- 原子力災害医療協力機関
- 被ばく医療の診療の準備
- 汚染傷病者の診療エリア
- 記録用紙
- 防護装備
- 除染室、除染テント
- 処置室の養生
- 病室の養生
- 医療機材の養生
- 除染用紙機材
- 放射線測定器
- 体外計測機器
- 試料採取用資材
- 教育、研修、訓練

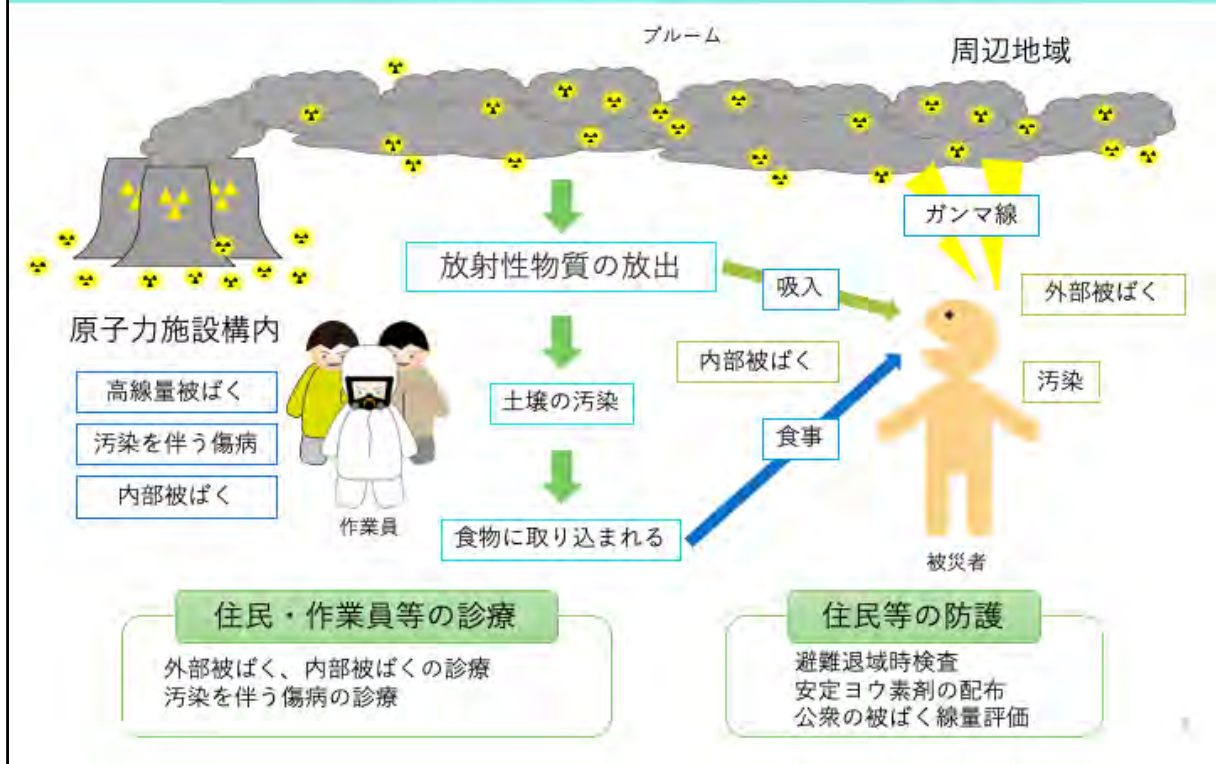
被ばく医療



被ばく医療の対象は、原子力施設あるいは原子力災害等で、外部被ばく、内部被ばくをした人と体表面汚染を合併した傷病者となります。

被ばく医療は、医療としての放射線障害の診断と治療、蘇生や外傷診療、全身管理と同時に被ばく線量評価と放射線管理を行う必要があります。被ばく線量評価は専門的な対応が必要なため、一つの組織や機関では対応困難なことがあります。そのため、平時に関係機関との連携やネットワークを構築して、事故や災害が発生した場合に備えておきます。また、医療機関は、原子力災害時に被ばく医療を円滑に提供できるように備えておくことが重要です。

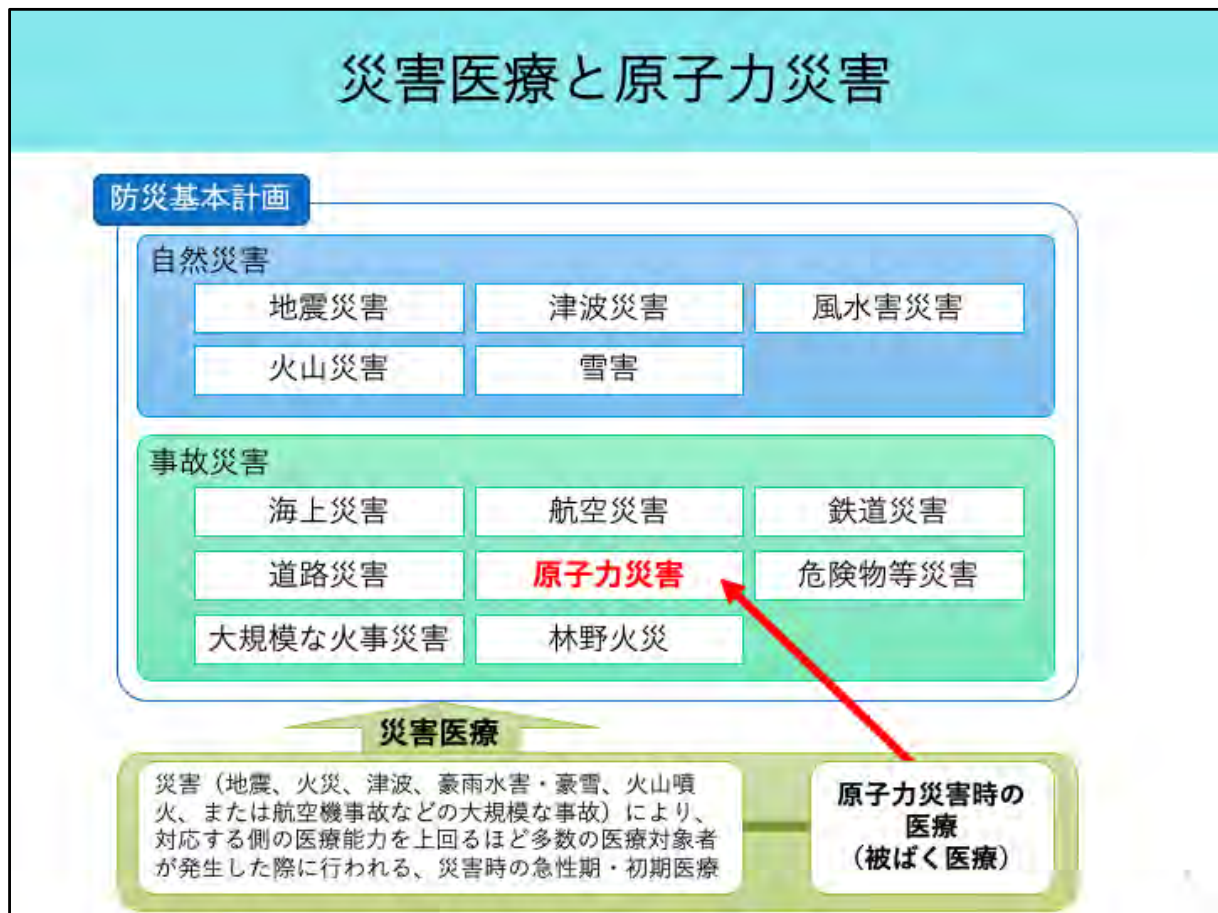
原子力災害と被ばく医療



原子力災害時における医療対応には、通常の救急医療、災害医療に加えて被ばく医療の考え方が必要となります。すなわち、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供する事です。これは、住民や作業員等の被ばくや汚染を伴う傷病の診療と、住民等の防護措置に分けられます。

原子力災害拠点病院、原子力災害医療協力機関、高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターは、外部被ばく、内部被ばくあるいは汚染を伴う傷病の診療を行います。さらに汚染または被ばくしている人たちに対する検査、除染、救護所等における健康管理も実施します。

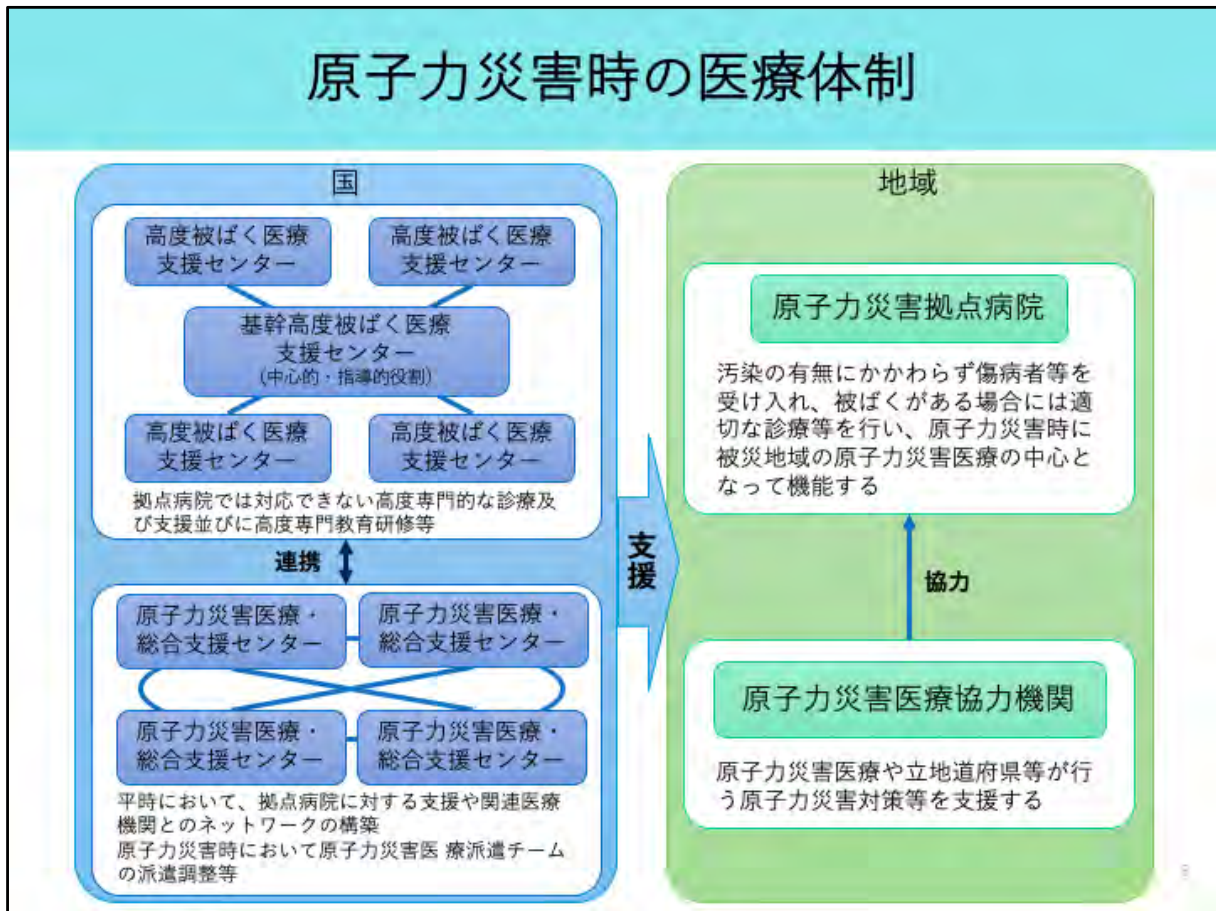
災害医療と原子力災害



防災基本計画は、災害対策基本法（第34・35条）に基づき、中央防災会議が作成する基本指針を示す防災計画で、防災分野の最上位計画です。防災に関する総合的かつ長期的な計画、中央防災会議が必要とする防災業務計画および地域防災計画作成基準を示し、防災予防、発生時の対応、復旧等が記されています。行政のみではなく、住民の自治防災についても記述されています。

自然災害と事故災害が記述されており、原子力災害もその一つです。災害医療は、災害（地震、火災、津波、豪雨水害・豪雪、火山噴火、または航空機事故などの大規模な事故）により、対応する側の医療能力を上回るほど多数の医療対象者が発生した際に行われる、災害時の急性期・初期医療です。原子力災害時の医療は、原子力災害発生時に提供される被ばく医療などで、複合災害では、災害医療と同時に提供するため連携あるいは協働が必要になります。

原子力災害時の医療体制



原子力災害時における医療対応には、被ばく線量、被ばくの影響が及ぶ範囲、汚染の可能性等を考慮して、被災者等に必要な医療を迅速、的確に提供することが必要となります。そのためには、各地域の状況を勘案して、各医療機関等が各々の役割を担うことが必要であり、平時から救急・災害医療機関が被ばく医療に対応できる体制と指揮系統を整備・確認しておくことが重要です。

次の体制が整備されています。

- 原子力災害時において、被災地域の原子力災害医療の中心となって機能し、汚染の有無にかかわらず傷病者等を受け入れ、被ばくがある場合には適切な診療等を行う「原子力災害拠点病院」
- 原子力災害医療や立地道府県等が行う原子力災害対策等を支援する「原子力災害医療協力機関」
- 拠点病院では対応できない高度専門的な診療及び支援並びに高度専門教育研修等を行う「高度被ばく医療支援センター」
- 複数の高度被ばく医療支援センターの中心的・先導的な役割を担う「基幹高度被ばく医療支援センター」
- 平時において、拠点病院に対する支援や関連医療機関とのネットワークの構築を行うとともに原子力災害時において原子力災害医療派遣チームの派遣調整等を行う「原子力災害医療・総合支援センター」
- 拠点病院等に所属し、原子力災害が発生した立地道府県等内において救急医療等を行う「原子力災害医療派遣チーム」

原子力災害拠点病院

- ❖ 地域の原子力災害医療の中心
 - ◇ 施設管理者を含め、原子力災害医療に関する専門的な研修を受講した者を配置
- ❖ 放射性物質による汚染や被ばくを伴う傷病者の受入れ、診療
 - ◇ 災害時に多発する重篤な傷病者に対し高度な診療を提供
 - ◇ 被ばく傷病者等に対して、線量測定、除染処置、集中治療等の診療を提供
 - ◇ 救急医療と被ばく医療の両方を連携して提供する
- ❖ 原子力災害医療派遣チーム
 - ◇ 災害医療の知識と技能、被ばく医療に係る専門的知見を有する医師、看護師、診療放射線技師等から構成
 - ◇ 原子力災害時に被災した立地道府県内等の原子力災害拠点病院での救急医療等を実施
- ❖ 平時から教育研修、訓練等で理解を深める
- ❖ 地域連携ネットワークの構築
 - ◇ 立地道府県等、原子力災害医療協力機関、他の原子力災害拠点病院との連携、支援、

原子力災害拠点病院は、災害拠点病院であることを原則として、災害拠点病院に準ずる医療機関であると立地道府県等が認めた施設であり、地域の原子力災害医療の中心としての役割を担い、次の要件を満たすものです。

診療機能としては、汚染の有無にかかわらず重篤な傷病者に対し高度な診療を提供し、被ばく傷病者に対して線量測定、除染処置、集中治療等の診療を提供し、救急医療と被ばく医療の両方を連携して提供できる医療機関です。また、災害医療の知識と技能、被ばく医療にかかる専門的知見を有する医師等から構成される原子力災害医療派遣チームを有しています。

そのため、平時から教育研修、訓練等で原子力災害、被ばく医療に関する理解を含め、立地道府県等、原子力災害医療協力機関や他の原子力災害拠点病院との連携と支援のための地域連携ネットワークを構築します。

原子力災害医療協力機関

- ❖ 原子力災害時に立地道府県等や原子力災害拠点病院が行う原子力災害対策に協力できる医療機関、職能団体等
- ❖ いずれかの機能を有する
 - ◇ 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
 - ◇ 放射性物質による汚染の測定
 - ◇ 原子力災害医療派遣チームとその派遣体制
 - ◇ 救護所への医療従事者の派遣
 - ◇ 避難退域時検査を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
 - ◇ 安定ヨウ素剤配布の支援
 - ◇ 原子力災害発生時に必要な支援
- ❖ 必要な研修、訓練を実施
- ❖ 原子力災害拠点病院が構築する地域連携ネットワークに積極的に参画

原子力災害医療協力機関は、立地道府県等が指定した原子力災害時に原子力災害対策に協力できる医療機関、職能団体等です。

以下のいずれかの機能を有し、必要な研修や訓練を実施したり、参加します。

- 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
- 放射性物質による汚染の測定
- 原子力災害医療派遣チームとその派遣体制
- 救護所への医療従事者の派遣
- 避難退域時検査を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
- 安定ヨウ素剤配布の支援
- 原子力災害発生時に必要な支援

被ばく医療の診療の準備

- ❖ 被ばく医療のマニュアル等の整備
- ❖ 人材；被ばく医療に関する研修・訓練を受けた人材の確保
 - ◇ 教育、研修、訓練
 - ◇ 被ばく医療チーム（医療機関での受入れ）
 - ◆ チームリーダー；被ばく医療に精通していること
 - ◆ 医師 ◆ 臨床検査技師
 - ◆ 看護師 ◆ 薬剤師
 - ◆ 診療放射線技師 ◆ ロジスティック
- ❖ 施設；被ばく医療の診療の場所、資機材の保管場所を確保
 - ◇ 汚染がある傷病者の対応が可能な除染室、処置室、入院病室等の設定
 - ◇ 導線の確認；汚染と非汚染が交差しないように設定
- ❖ 資機材；通常の診療で使用する医療機材に加え、以下のものを準備
 - ◇ 個人防護装備（PPE）
 - ◇ 養生用資機材；汚染拡大防止のための資機材
 - ◇ 除染用資機材
 - ◇ 放射線測定器
 - ◇ 試料採取用資材；染色体分析やバイオアッセイなどの試料採取用
 - ◇ 災害時の通信機器；衛星電話、衛星回線など

必要な種類、個数を
確認、保管

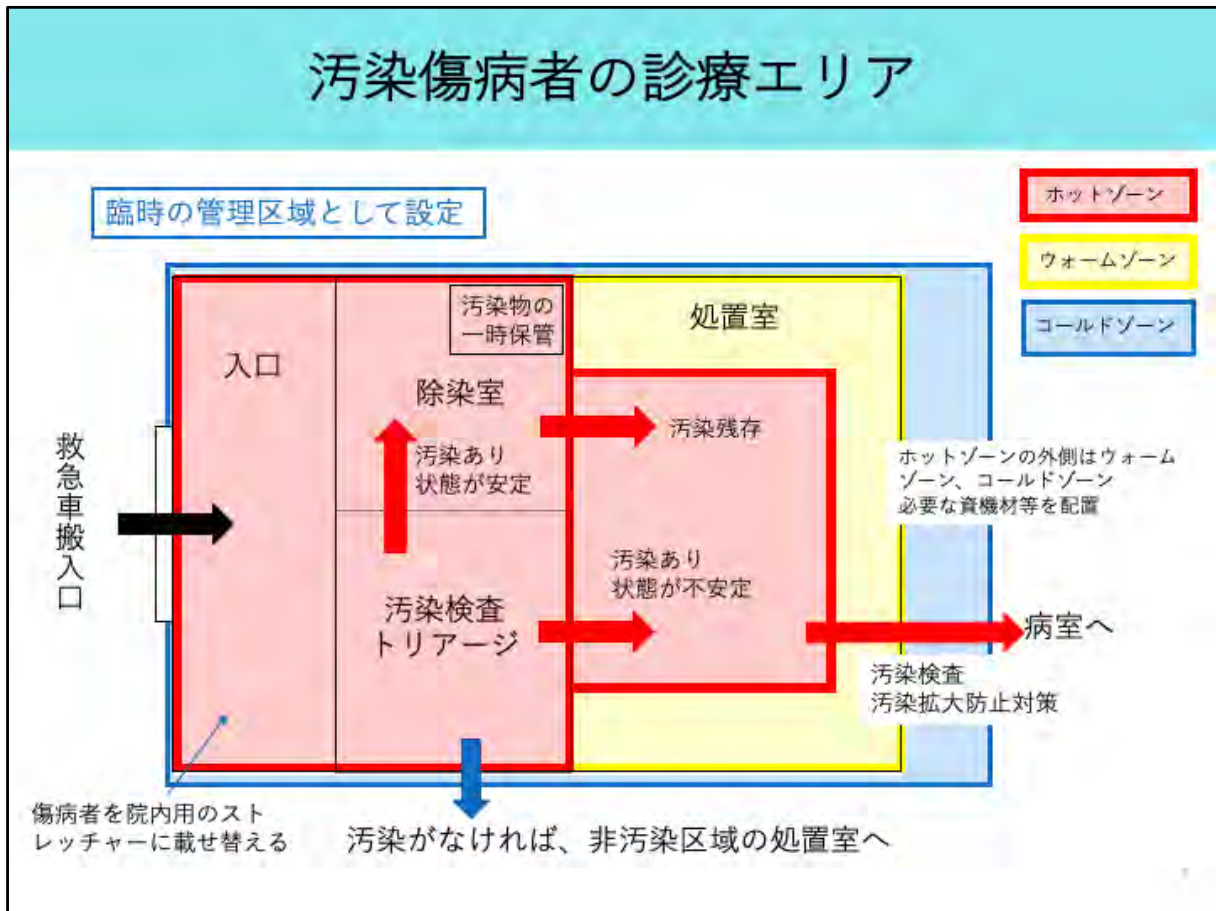
放射線障害あるいは放射性物質による汚染のある傷病者の診療をするには、準備が必要です。

まず、医療機関や地域の実情に合わせた被ばく医療のマニュアル等を整備します。マニュアル等を作成したら実効性のある体制を確保するため、教育、研修、訓練等を実施して人材育成するとともに、マニュアルの実効性も検証します。

被ばく医療の診療の場所や資機材の保管場所の確保も必要です。汚染がある傷病者の対応が可能な除染室、処置室、入院病室等を予め設定しておきます。また、汚染がある傷病者と汚染がない傷病者が交差しないように導線も確認しておきます。

通常の診療で使用する医療機材に加え、個人防護装備、養生様資機材、除染用資機材、放射線測定器、試料採取用資材、災害時の通信機器等を準備します。資機材は、必要な種類、個数を確認し、保管します。

汚染傷病者の診療エリア

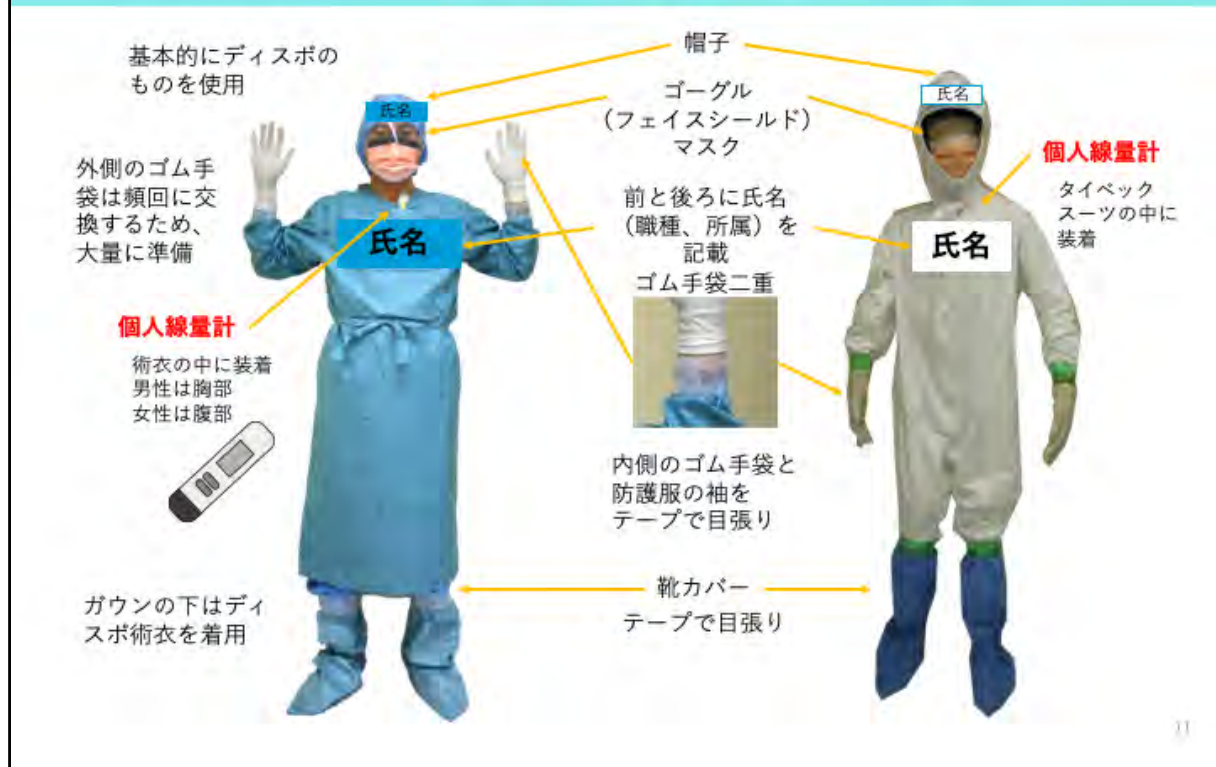


汚染のある傷病者の診療エリアは、汚染拡大防止対策と放射線管理が行えるように、一方通行の導線、汚染のない区域との交差をしない導線となるようなエリアを設定します。救急車からの搬入口が近い場所、救急医療の処置が可能な場所が望ましいです。

診療エリアには、院内用のストレッチャーに載せ替える入り口のスペース、汚染検査やトリアージを行うスペース、除染室（除染テントでも代用可能）、汚染のある傷病者の処置室、汚染物の一時保管場所等を設定します。これらはホットゾーンとなります。医療機材等はホットゾーンの外側に配置し、汚染拡大防止対策を講じます。除染後には、汚染検査あるいは汚染拡大防止対策を実施して、入院病室等へ移動させる導線を確保します。汚染傷病者の診療エリアは、処置後の汚染検査が終了するまで臨時の放射線管理区域として設定し、対応します。

放射線管理では、区域はホットゾーンとコールドゾーンの2つに分けます。医療等で使用しているホットゾーンとウォームゾーンが放射線管理の分野で使用する用語でホットゾーンとなります。原則として、ウォームゾーンは汚染が拡大している可能性があるため、ウォームゾーンからの退域時には汚染検査を行います。

個人防護装備

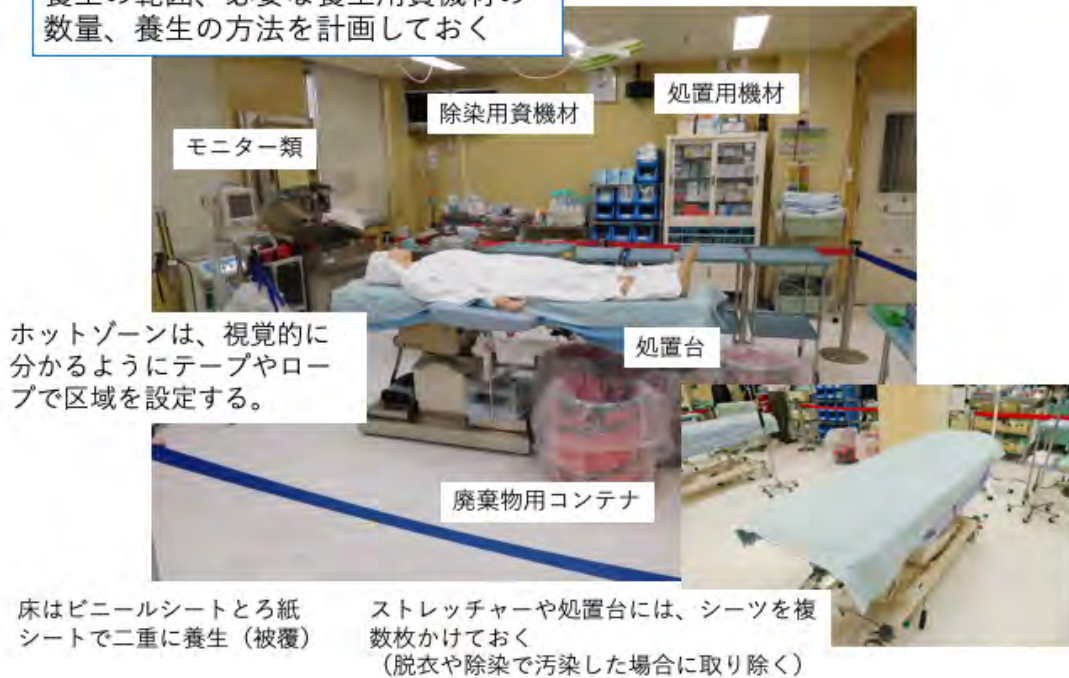


個人防護装備は、基本的にディスポのものを使用します。

院内での対応には、通常の業務でも使用しているガウンやディスポ術衣、帽子、マスク、ゴーグルを着用します。ゴム手袋は二重に装着し、外側のゴム手袋は汚染が付着するような処置を実施したら、その都度交換します。また、内側のゴム手袋と袖口、靴カバーと術衣のズボン、は、テープで目張りし、放射性物質の侵入を防止します。ガウンの代わりにタイベックスーツでも良いです。被ばく線量管理のため、防護服の中に個人線量計を着用します。また、職種あるいは所属と氏名を記載します。

処置室の養生

養生の範囲、必要な養生用資機材の数量、養生の方法を計画しておく



12

処置室は、養生の範囲や必要な養生用資機材の数量、養生方法を計画しておきます。ホットゾーンは視覚的に明確になるようにテープやロープ等で区域を設定できるようにします。また、除染後には、汚染が付着した廃棄物が多量に出るため、コンテナやゴミ袋は十分数量を準備しておきます。床は、ビニールシートで養生しますが、これだけでは、除染で水がこぼれた場合に滑りやすくなるなど危険であるため、ろ紙シートで二重に養生します。ストレッチャーや処置台には、複数枚のシーツをかけておくと、脱衣や除染で汚染した場合に、1枚のシーツを取り除いても、問題ありません。モニター類は、検知部分以外は可能な限り養生しますが、画面等は、操作あるいは表示を確認できるようにしておきます。

病室の養生



ベッドの養生

操作が必要なものは可能な限り
ビニール袋などで被覆

廊下と病室の床はビニールシー
トとろ紙シートで養生



ベッド本体、マットレス等を
別々にビニールシートで被覆
可能であれば、ディスポのリ
ネンを使用

13

汚染が残存したままで入院する可能性がある場合は、病室の養生も行います。ベッドは本体、マットレス等を別々にビニールシートで被覆して、可能であれば、ディスポのリネン類を使用します。廊下と病室の床はビニールシートとろ紙シートで養生します。

また、操作のために汚染した手指等で触れる可能性があるリモコン等はビニール袋等で被覆します。

医療機材の養生

❖ ポータブルX線撮影装置



Hot zoneの中で操作する部分だけビニール袋で養生

本体はHot zoneの外で操作



フィルムカセットはビニール袋で養生

❖ 表面汚染計



特に汚染が付着しやすい検出部（プローブ）はビニール袋やラップ等で覆う

❖ 超音波診断装置



プローブカバーで長さが足りない部分は、細長いビニール袋で対応

長時間使用時は、排気口を開ける

❖ モニター等



表示が分かるように透明のビニール袋等で覆う
ケーブルなども可能であれば、細長いビニール袋等で覆う

14

医療機材は、その機能や操作の妨げにならない程度に養生します。

除染用資機材



水や除染用ボトル



吸水シート

除染に使用した水を吸水し、汚染拡大防止（取扱やすくなる）



ドレープ

周辺への汚染拡大防止のため被覆用



膿盆

使い捨てケリーパッド



使い捨て鑷子



ガーゼ類



ブラシ

除染用の資機材は、除染用の水やボトルとガーゼやブラシ、ディスポの鑷子を使用して、汚染箇所を洗い流すため、汚染した水等を受ける膿盆と吸水シートを準備します。また、膿盆の代わりに使い捨てのケリーパッドを使用することもできます。

放射線測定器

空間線量計

活動する場所の空間線量の測定による安全管理



NaI(Tl)シンチレーション式
サーベイメーター



電離箱式サーベイメーター

表面汚染計

表面汚染を測定
汚染拡大防止



GM計数管式
サーベイメーター
 β (γ) 線を測定



ZnS(Ag)シンチレーション式
サーベイメーター
 α 線を測定

個人線量計

活動中の被ばく線量の
積算
個人被ばく線量管理

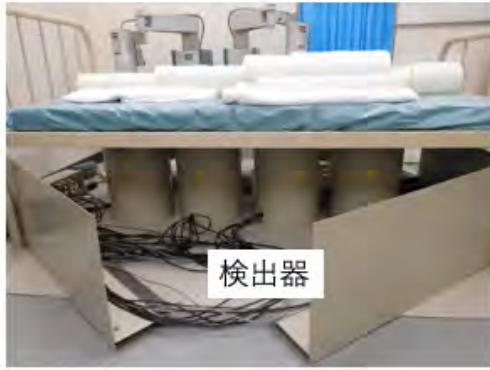


デジタル式の場合、活
動後に被ばく線量の確
認がすぐに出来る

放射線測定器は、空間線量計、表面汚染計、個人線量計の3種類を準備します。

体外計測機器

ホールボディカウンター



ベッド型



立位型

甲状腺モニター



ファントムによる校正を行い、正確な計測できるように準備しておく

17

内部被ばく線量評価に必要な対外計測機器には、ホールボディカウンターや甲状腺モニター、肺モニターがあります。ホールボディカウンターには、ベッド型、立位型などがあります。また、ファントムによる校正を定期的の実施して、正確な計測ができるように準備しておきます。

試料採取用資材

鼻腔スワブ（鼻スメア）用



綿棒やスワブ



試料受け渡し用のビニール袋



ヘパリン採血管
染色体分析用
3~10ml



ラベル

| 試料番号: | | ID: |
|---------|---------------|-------|
| 患者氏名 | | |
| 試料名 | 鼻腔スワブ(右・左) | 口角スワブ |
| | 創傷ガーゼ(部位:) | |
| | 除染ガーゼ(部位:) | 血液 尿 |
| | 衣服() 排泄物品() | |
| | その他() | |
| 採取日時 | 年 月 日 時 分 | |
| 測定結果 | 汚染なし・() | |
| 測定日時 | 年 月 日 時 分 | |
| 検査種別 | | |
| 担当者名 | | |
| 測定・検査項目 | 定性・定量・生化学・() | |
| 結果報告 | 来・済 (年 月 日) | |
| 備考 | | |

採取した試料の情報を記載

汚染の核種分析のためにガーゼを使用することもある

被ばく医療の診断のための生体試料の採取が必要となります。
内部被ばくの可能性を確認する鼻腔スワブ（鼻スメア）には、綿棒やスワブを準備します。汚染の放射性物質を分析するためにガーゼ等で拭き取った試料を使用することもあります。染色体分析にはヘパリン採血管（緑色のキャップ）を準備します。これらの試料を採取したら、患者氏名のほか、試料の採取部位あるいは試料名、採取日時、容器の汚染検査結果等を記載します。予めラベルを準備しておきます。

また、試料を採取したら、測定、分析の担当者に受け渡すためのビニール袋等を準備します。

教育、研修、訓練

- ❖ 原子力災害の医療に関する教育、研修
 - ◇ 原子力災害拠点病院が実施する研修
 - ◇ 高度被ばく医療支援センターが開催する研修
 - ◇ 原子力災害医療・総合支援センターが開催する研修（原子力災害医療派遣チーム） etc.

- ❖ 立地道府県等が行う訓練
 - ◇ 被ばく医療
 - ◇ 安定ヨウ素剤配布
 - ◇ 避難退域時検査 etc.

- ❖ 国が行う原子力総合防災訓練
 - ◇ 原子力災害対策特別措置法に基づき国が主体となって行う
 - ◇ 立地道府県等が行う訓練と連携して実施される

被ばく医療のマニュアル等や資機材を準備するだけでなく、原子力災害の医療に関する教育や研修、訓練に、医療従事者も参加します。原子力災害拠点病院や高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターが開催する被ばく医療の研修や、立地道府県等が行う被ばく医療、安定ヨウ素剤配布、避難退域時検査の訓練、国が行う原子力総合防災訓練などがあります。

まとめ

- ❖ 被ばく医療は、外部被ばく、内部被ばくした人あるいは汚染を合併した傷病者に対応する医療
- ❖ 被ばく医療には、診療、放射線管理、被ばく線量評価が必要
- ❖ 原子力災害時には、医療機関等は、被ばくあるいは汚染を伴う傷病者に対応する医療と住民等の防護に関する措置を行う
- ❖ 立地道府県等では原子力災害発生時には、原子力災害拠点病院が中心となって被ばく医療を実施する
- ❖ 被ばく医療の診療の準備として、マニュアル等の整備、教育、訓練、施設や資機材の準備が必要
- ❖ 施設の動線や養生の範囲、資機材の使用方法等は、対応者が熟知しておく

医療機関での初期対応

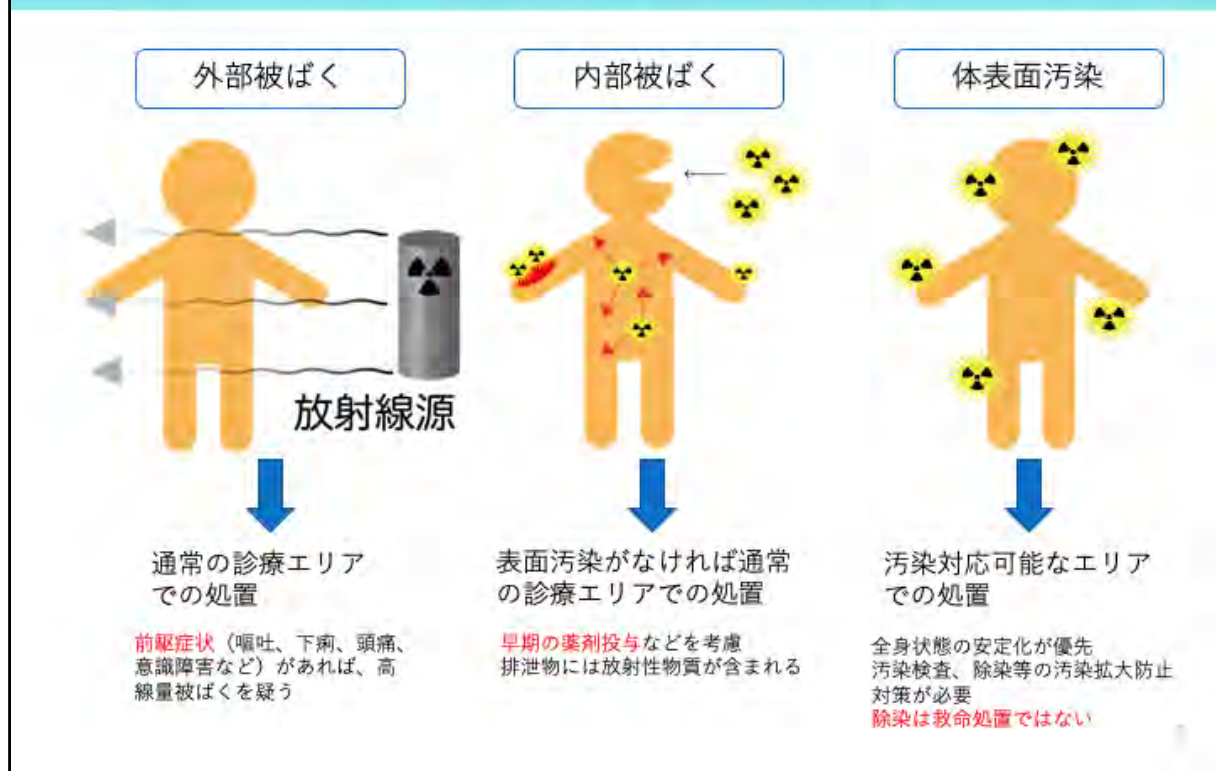
原子力災害 被ばく医療 専門研修
被ばく医療-2

時間；30分

内容

- 被ばくと汚染への対応
- 放射線事故・災害対応の原則
- 被ばく医療での体系的アプローチ
- 医療機関での受け入れ準備
- 対応者の安全確保
- 病院での患者対応の流れ
- 外傷診療と被ばく医療
- 被ばく医療の初期評価
- 診療の流れ
- 脱衣と表面汚染検査
- 除染
- 試料などの受け渡し
- 記録
- ホットゾーンからの移動
- 活動後の対応
- 処置室の復帰

被ばくと汚染への対応



被ばく医療では、放射線障害のある外部被ばく、内部被ばくの傷病者や体表面汚染のある傷病者の診療を行います。

外部被ばくのみの場合は、通常の診療エリアでの処置を行います。

内部被ばくがある場合は、表面汚染の有無を確認し、汚染がなければ、通常の診療エリアでの処置が可能です。排泄物には、放射性物質が含まれるので、取り扱いには注意します。

体表面汚染がある場合は、汚染対応可能なエリア（施設等の養生による放射線管理）での処置を行います。ただし、除染は救命処置ではないため、全身状態の安定化など重篤な病態への対応が優先されます。

放射線事故・災害対応の原則

❖ 二次災害の予防

- ◇ 救助者の安全確保、被ばく線量管理（放射線防護）
 - ◆ 外部被ばく防護：防護三原則、放射線測定器、個人線量計
 - ◆ 内部汚染の防護：マスク、喫煙、飲食の禁止
- ◇ 汚染拡大防止：防護装備、ゾーニング、汚染検査、除染、封じ込め（被覆）
- ◇ 事故状況、被ばく状況、汚染状況の把握

❖ 医療優先

- ◇ 傷病者の全身状態の評価、安定化は最優先
- ◇ 全身状態やバイタルサイン等が不安定な状態では最小限の拡大防止措置で早期搬送判断（早期の医療介入）
- ◇ 放射線障害による症状は一般的に被ばく後すぐには出現しない
- ◇ 被ばく・汚染だけで緊急に治療が必要なことはない

放射線事故・災害では、二次災害の予防として、汚染拡大防止対策、救助者の安全確保、被ばく線量管理を行います。

傷病者への対応としては、医療優先が原則です。傷病者の全身状態の評価、安定化は、汚染検査や除染よりも優先されます。これは、被ばくや汚染だけでは、緊急に治療が必要となることはなく、放射線障害による症状は一般に被ばくすぐには出現しないのですが、不安定なバイタルサインの状況を放置すると、さらに生理学的異常が増悪して生命の危険が増します。

被ばく医療での体系的アプローチ

| | |
|-----------------------------------|---|
| 指揮命令系統・連携の確立 Command & Control | <ul style="list-style-type: none"> 各機関は縦の連携、関係機関は個々の役割り分担を明確にし、関係機関の連携を効率的に行う。 |
| 安全管理 Safety | <ul style="list-style-type: none"> 現場活動する自身：個人防護装備 現場：危険・有害な物質の確認、エリア設定、ゾーニング 被災者・患者：救助、処置、避難、汚染検査 |
| 情報伝達・共有 Communication | <ul style="list-style-type: none"> 安全、危険情報の共有 情報不足、確認不足、協力不足が起こらないようにする。 |
| 評価 Assessment | <ul style="list-style-type: none"> 災害現場の状況（被ばく、汚染）をいち早く把握し、傷病者の数、重症度を見積もる。 |
| トリアージ Triage | <ul style="list-style-type: none"> 限られた資源でトリアージ（搬送先等の選定） 救命等処置優先の判断 |
| 治療 Treatment | <ul style="list-style-type: none"> 被ばく線量評価 高線量被ばく、内部被ばくの治療 創傷汚染等の除染 |
| 搬送 Transport | <ul style="list-style-type: none"> 原子力災害拠点病院への搬送 高度被ばく医療支援センターへの搬送 |

被ばく医療における体系的アプローチを記載します。原子力災害時には、通常の災害医療の一部として被ばく医療や原子力災害時の医療を提供します。

各機関は機関内の指揮命令系統を確立するとともに、連携の確立では、被ばく医療における様々な関係機関、組織の個々の役割り分担を明確にして、関係機関間の連携を効率的に行う必要があります。また、災害医療との連携も必要です。

安全管理としては、個人防護装備、現場の安全確認、放射線管理を行います。また、放射線計測の結果等の安全・危険情報の共有や被ばくや事故状況の情報共有をおこなます。

被ばくや汚染の状況を把握し、傷病者の数や重症度、被ばくの程度を評価します。多数傷病者が発生した場合や、高線量被ばくの治療、内部被ばくの線量評価や治療など特殊な対応が必要な場合は、搬送先の選定などを状況に応じて行います。被ばく線量評価を行い、治療します。外傷等に放射性物質による汚染が合併している場合は、除染等の処置を行います。

原子力災害医療協力機関での対応が困難な場合は、原子力災害拠点病院への搬送、原子力災害拠点病院での対応が困難な場合は、高度被ばく医療支援センターへの搬送を行います。

参考：MIMMS 大事故災害への医療対応 現場活動における実践的アプローチ 第3版（MIMMS日本委員会, 永井書店）

医療機関での受入準備（CSCA）

- ❖ 被ばく医療の対応者の参集
 - ◇ チームリーダー、医師、看護師、診療放射線技師等を参集
 - ◇ 得られた情報の共有
- ❖ 情報収集
 - ◇ 患者情報：状態（全身状態、外傷、症状など）、数、氏名、年齢等、被ばく、汚染の有無・程度、核種
 - ◇ 事故の状況：発生日時、場所（管理区域内での事故か？）
 - ◇ 追加情報の要請、連絡先の確認
 - ◇ 事業所の専門家（放射線管理要員）の同行を要請
 - ◇ 到着予定時刻
- ❖ 放射線管理
 - ◇ 個人防護装備
 - ◇ 施設；区域の設定（臨時的放射線管理区域、ホットゾーンなど）、処置室や病室の養生
- ❖ 資機材
 - ◇ 放射線測定器
 - ◇ 除染用資機材
 - ◇ 通常の医療資機材

被ばくあるいは汚染のある傷病者の受け入れが決定したら、計画に基づいた受入れ準備を開始します。

被ばく医療の専門的知識や技能を有した医療従事者を参集し、得られた情報を共有します。

また、施設や現場の救急隊員から患者情報、事故の状況などの情報を収集し、事業所の放射線管理要員の同行を要請します。

施設と対応者の放射線管理を実施します。また、放射線測定器、除染用資機材、医療資機材を準備します。

対応者の安全確保 (Safety)

❖ 外部被ばく対策

- ◇ 空間線量計による活動場所の測定
- ◇ 個人被ばく線量計の装着



❖ 内部被ばく対策

- ◇ サージカルマスク、防塵マスク等での吸入の防止

❖ 汚染拡大防止

- ◇ 防護服等による防護
- ◇ 汚染検査と除染

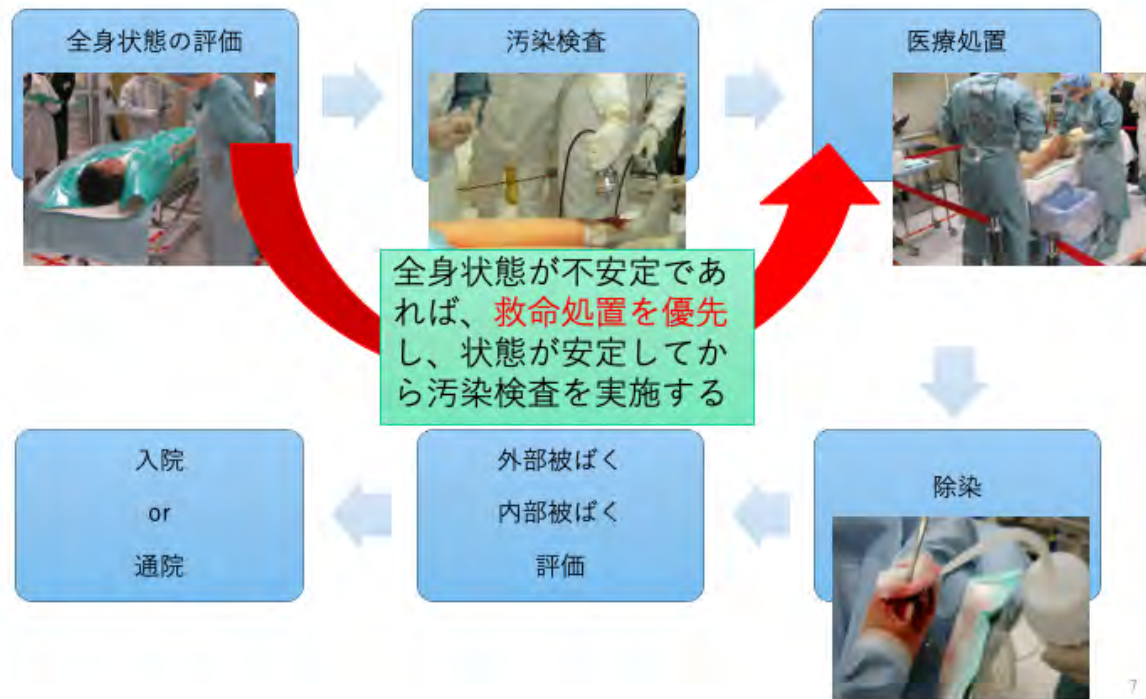


原子力災害時の対応者の安全確保としては、外部被ばく対策として、空間線量計による活動場所の測定を行い、個人被ばく線量計を装着します。

内部被ばく対策としては、呼吸保護をします。医療機関での処置では、汚染物質の性状や汚染の程度等に応じてサージカルマスクや使い捨ての防塵マスク等で対応します。医療機関での汚染検査、除染などの処置では、通常はサージカルマスクでの対応で十分です。

汚染拡大防止対策としては、防護服等による防護と確実な汚染検査、除染を行います。

病院での患者対応の流れ



まず生理学的評価を行います。状態が不安定であれば救命処置を行います。全身状態が安定している場合は解剖学的評価と全身の汚染検査を並行して行います。状態に応じて医療処置や除染を行います。その後、外部被ばくと内部被ばくの評価を行います。

ここまでが外来での処置となります。最後に必要に応じて入院または通院によるフォローを継続します。

外傷診療と被ばく医療

| 外傷診療 | | 被ばく・汚染傷病者診療 |
|-------------------|---|--|
| 第一印象 | + | <ul style="list-style-type: none"> 空間線量率の確認 放射線線源の持ち込みの有無 場所の安全確認 |
| Primary surveyと蘇生 | + | <ul style="list-style-type: none"> 脱衣（衣服に汚染があることを考慮） 汚染検査（可能な範囲で、顔面、頸部、胸部） 画像検査装置の汚染拡大防止 |
| Secondary survey | + | <ul style="list-style-type: none"> 全身の汚染検査 除染 内部被ばくの有無の確認（鼻腔スワブ） |
| Tertiary survey | + | <ul style="list-style-type: none"> 被ばく線量評価 外部被ばく（ARS、局所被ばく）→個人線量計、染色体分析 内部被ばく→体外計測、バイオアッセイ（生体試料の測定） |
| 根本治療 | + | <ul style="list-style-type: none"> 外部被ばく（ARS、局所被ばく）の治療 内部被ばくの治療（体内除染剤等の投与） |

外傷診療の流れに被ばく医療の診療を組み合わせる場合は、それぞれの外傷の処置、診療の場面ごとに被ばくや汚染への対応を追加します。

外傷診療で、第一印象を確認する間に、診療放射線技師により空間線量率を確認し、放射線源の持ち込みの有無など処置時の場所の安全確認を行います。

Primary surveyと蘇生では、ポータブルエックス線撮影、超音波検査装置の汚染拡大防止の対策を講じるとともに脱衣し、同時に可能な範囲で顔面、頸部、胸部の汚染検査を行います。Secondary surveyでは、全身の汚染検査と除染を行い、内部被ばくの有無を確認するため、鼻腔スワブを採取します。Tertiary surveyでは被ばく線量評価に必要な情報（被ばく時の状況、個人線量計の値、前駆症状の有無と発症時期など）と試料（尿、便、染色体分析用血液）を採取します。根本治療は急性放射線症、局所被ばく、内部被ばくの治療を行います。

被ばく医療の初期診療

- ❖ バイタルサインの確認
 - ◇ 被ばくあるいは汚染以外の重篤な傷病の処置、治療
- ❖ 病歴聴取
 - ◇ 事故等の状況
 - ◆ 外部被ばく、内部被ばく、体表面汚染の可能性を確認
 - ◇ 前駆症状等の有無
 - ◆ 嘔吐、下痢、発熱、意識障害
 - ◆ 外部被ばくの可能性、その程度を評価
- ❖ 身体所見
 - ◇ 汚染検査；汚染箇所の同定
 - ◇ 前駆症状；唾液腺の腫脹、疼痛、圧痛、皮膚の紅斑、口腔粘膜の毛細血管拡張
 - ◇ 皮膚障害の有無（局所被ばくから数日経過している場合）
- ❖ 試料採取
 - ◇ 血液
 - ◆ 白血球数（特にリンパ球数）の経時的変化
 - ◆ 高線量被ばくが疑われ、骨髄移植を考慮する場合は、HLAタイピング用の血液試料
 - ◆ 染色体分析用の血液試料（通常は被ばくから24時間後に採取）
 - ◇ 鼻腔スワブ（鼻スメア）；内部被ばくの可能性の評価
 - ◇ 尿、便；内部被ばくのバイオアッセイ用
 - ◇ 汚染したガーゼ等；核種同定

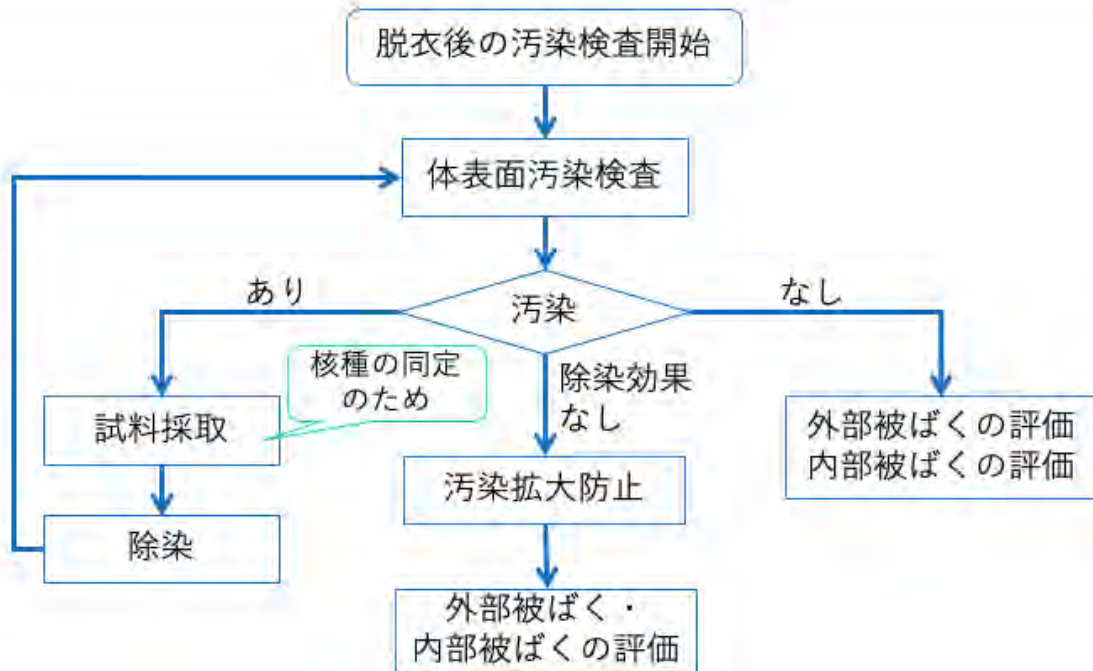
被ばく医療の初期診療としては、バイタルサインの確認により、被ばく医療の重篤な状態を評価し、処置、治療を行います。

病歴の聴取は、事故の状況から外部被ばく、内部被ばく、体表面汚染の可能性を確認し、医療機関に受診する前に前駆症状等の出現がなかったか確認します。

身体所見として汚染箇所の特定、前駆症状として唾液腺の腫脹や疼痛、皮膚の初期紅斑、口腔粘膜の毛細血管拡張、皮膚障害の有無の所見を確認します。

被ばく線量評価に必要な、血液、鼻腔スワブ、尿、便、汚染したガーゼ等の試料を採取します。

汚染検査の流れ



衣類を脱衣させた後に、全身の汚染検査を行います。その流れを示しています。

汚染検査は、体表面から約1 cmの距離を表面汚染計測器のプローブを毎秒5～6 cmずつ動かしながら、頭から足まで検査します。汚染があれば、汚染の原因の放射性核種を同定するために、汚染したガーゼなどを試料として採取します。その後、除染を行います。汚染の核種は、内部被ばくの評価に必要な情報となります。除染後に再度汚染検査を行い、汚染が残っていれば再度除染します。除染後と除染前とで汚染の程度に変化がなく除染の効果がない場合は、ガーゼ等で被覆し、汚染拡大防止を行います。

除染後に外部被ばくと内部被ばくの評価を行います。

脱衣と表面汚染検査



- **脱衣**→約90%の除染ができる
- 衣類、シーツ、毛布等は必ずビニール袋へ
- 衣類や汚染した物を触った後は手袋をかえる
- 粉塵が舞い散るようであれば、患者にマスクを装着し、内部被ばくを防止

汚染検査

- 1.創部
- 2.開口部
- 3.健常皮膚

頭からつま先まで
汚染のサーベイ
背部も忘れずに

11

汚染のある衣服を脱がせることで、体表面の汚染の約90%を取り除くことができます。搬送時に傷病者を包んできた毛布やシーツ、衣類は、取り除いた後にビニール袋へ入れ、汚染が拡大しないようにします。脱衣時に粉塵が舞い散るようであれば、患者にマスクを装着し、内部被ばくを防止します。

汚染した衣類などを触った後は、素早く外側のゴム手袋を交換します。

1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で汚染検査を行います。頭からつま先までの汚染検査したら、背部の汚染検査を行います。

ただし、生理学的異常があり、救命処置が必要な場合は、顔面、頸部、胸部の汚染検査を優先して行います。

参考：<https://chemm.nlm.nih.gov>

The Primary Response Incident Scene Management (PRISM) “Rule of tens”

除染

1.創部 → 2.開口部 → 3.健常皮膚

◆ 除染の方法

- ◇ ぬれたガーゼでふき取る
- ◇ 水で洗い流す
- ◇ 洗剤、オレンジオイルでふき取る
- ◇ うがい
- ◇ 全身のシャワー除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控える
 - ◆ 汚染対応のシャワー室があれば使用する

◆ 除染の基本

- ◇ 患者自身にできることは患者にさせる
- ◇ 創傷部を最初に行う
- ◇ 以後は汚染の程度の高い部位から順に
- ◇ 使用した綿球・ガーゼ等（一回目）は氏名・部位・日時を記して測定へまわす
- ◇ 水、ガーゼは放射性廃棄物として管理する

体表面汚染は、1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で除染します。

除染の方法は、ぬれたガーゼで拭き取ったり、部分的に水で洗い流したりします。水だけでは除染できない場合は、洗剤やオレンジオイル等を使って拭き取ります。口腔内の汚染はうがいをしてもらいます。

全身のシャワーによる除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控えます。

除染は、本人が行える場合は、自分で拭き取ったり、洗ったりしてもらいます。核種の同定が必要な場合は、使用したガーゼなどをビニール袋に入れ、患者氏名、採取部位、採取日時を記録して、測定者に渡します。

除染後の水やガーゼは放射性物質の汚染がついた廃棄物として管理、処分します。

創傷部の除染（例）

1. 汚染のない部分を被覆する
2. 膿盆、吸水シート等で水を受ける
3. 水をかけながら ガーゼ等で創傷部を洗浄する



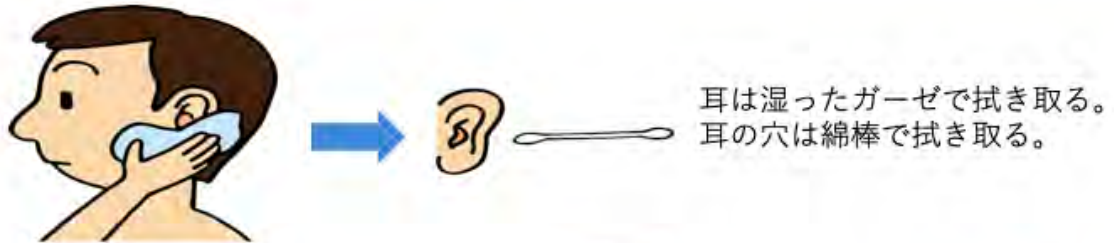
13

創傷部の汚染は、部分的に水をかけながら除染するので、汚染のない部分は防水のシート等を用いて被覆し、汚染した水がかからないようにします。

膿盆や紙おむつで汚染した水を受けるようにします。

創傷部は、ガーゼと鑷子を用いたり、ブラシを用いて水をかけながら除染します。除染後は再度表面汚染の検査を行います。汚染がなくなるか、除染の効果がなくなるまで除染を繰り返します。

顔面の除染（例）



目の洗浄



鼻は、鼻をかんだ後、綿棒
で拭き取る。

耳の汚染がある場合は、耳殻は湿ったガーゼやタオルで拭き取り、外耳道は綿棒等で拭き取ります。

目の汚染は、流水をかけながら洗浄します。

鼻腔の汚染がある場合は、鼻をかんでもらい、汚染が残っている場合は、綿棒で拭き取ります。

皮膚の除染（例）

1. 汚染のない部分を被覆する
2. 膿盆や紙おむつで水を受ける
3. 濡れたガーゼ等で外側から内側の方向に拭き取る
4. 水で除染できない場合はボディソープや石けん、スポンジを使用する

皮膚を傷つけないようにする（健常皮膚に発赤が出現しない程度に機械的刺激を抑える）



15

皮膚の汚染がある場合は、汚染のない部分を防水のシート等で被覆して、汚染した水がかからないようにします。膿盆や紙おむつで水を受けるようにします。ぬれたガーゼやスポンジなどで外側から内側の方向に拭き取り、汚染を広げないようにします。水で除染出来ない場合は、ボディソープや石けん、洗剤などを使用します。

皮膚を傷つけないように丁寧に除染します。

試料などの受け渡し

❖ 試料の受け渡し

- ◇ ウォームゾーンで直接汚染に触れないように受け渡す
- ◇ ウォームゾーンではビニール袋の外側が汚染されないように受け取る
- ◇ 採取部位、日時、氏名等を記入した試料袋に入れ、測定に出す
- ◇ ウォームゾーンからコールドゾーンへは、ビニール袋の表面の汚染検査（スミア法）を実施して検体検査する測定者に渡す（確実な汚染拡大防止）

❖ 単純X線撮影

- ◇ フィルムカセットはビニール袋に入れる
- ◇ ポータブルX線撮影装置のアームをのばして撮影する
- ◇ ホットゾーンからカセットを出す時はビニール袋から取り出し、ウォームゾーンに渡す
- ◇ ウォームゾーンからコールドゾーンへは、カセットの表面の汚染検査をする



汚染の原因となっている核種の同定や内部被ばくの評価、その他通常の血液検査などのために採取した試料をホットゾーンからウォームゾーンの測定員に渡す必要があります。

そこで、汚染拡大防止のため、ウォームゾーンの担当者がビニール袋で試料を受け取り、ビニール袋の表面をガーゼなどでぬぐって汚染検査を実施します。汚染がなければ、試料をコールドゾーンの測定員に渡します。採取した試料の容器には、採取部位、採取日時、氏名を記入します。

外傷等がありホットゾーンでの単純X線撮影が必要な場合は、フィルムカセットをビニール袋に入れ、汚染の付着を防止します。可能であればポータブルX線撮影装置のアームをウォームゾーンから伸ばして撮影します。撮影後は、ビニール袋からカセットを取り出して、ウォームゾーンの担当者に渡します。

ウォームゾーンからコールドゾーンへ試料を受け渡す場合には、必ず表面の汚染検査を行います。

検査室等でビニール袋から検体を取り出す場合は、容器の表面の汚染検査を実施します。ウォームゾーン等で容器表面の汚染検査を実施している場合は、検査室での汚染検査は省略することも可能です。

記録

患者情報
 氏名: _____ 性別: _____ 年齢: _____
 生年月日: _____ 住所: _____

検査項目
 全身線量計測定 尿中放射性物質測定 尿中放射性物質定性検査

| 検査項目 | 測定結果 | 測定単位 |
|-------------|------|------|
| 全身線量計測定 | | |
| 尿中放射性物質測定 | | |
| 尿中放射性物質定性検査 | | |

検査結果の記録

検査結果の記録欄には、検査項目ごとの測定結果を記録します。測定結果が「正常範囲内」の場合は「正常」と記載し、異常な場合は具体的な数値や範囲を記載してください。

検査結果の解釈

検査結果の解釈は、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的な解釈については、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果の報告

検査結果の報告は、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的な報告については、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果の保存

検査結果の保存は、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的な保存については、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果の活用

検査結果の活用は、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的な活用については、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果の共有

検査結果の共有は、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的な共有については、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果の公開

検査結果の公開は、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的な公開については、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果の削除

検査結果の削除は、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的な削除については、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果のバックアップ

検査結果のバックアップは、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的なバックアップについては、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果のリカバリ

検査結果のリカバリは、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的なリカバリについては、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果の復元

検査結果の復元は、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的な復元については、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果の削除

検査結果の削除は、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的な削除については、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果のバックアップ

検査結果のバックアップは、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的なバックアップについては、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果のリカバリ

検査結果のリカバリは、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的なリカバリについては、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

検査結果の復元

検査結果の復元は、検査項目ごとの測定結果に基づいて行われます。具体的な復元については、検査項目ごとの説明書をご覧ください。

外来等での処置の内容、採取した試料、汚染の部位とその程度を記録します。放医研ホームページから対応のフロー図も記載されている記録用紙をダウンロードすることができます (URL: <http://www.nirs.go.jp/hibaku/pdf/Karte.pdf>)。他に試料の汚染検査票、個人線量計の記録等も記載します。

ホットゾーンからの移動



退出
病室へ移動

ホットゾーンの中いろ紙シートを敷いて、新たなストレッチャーを入れ、患者を移動させる。
ろ紙シートを汚染させないようにホットゾーンでの対応者はろ紙シートを踏まないように注意！

18

処置が終了したら、ホットゾーンから入院病室等へ患者を移動させます。

ホットゾーンで処置に使用したストレッチャーの車輪等の汚染検査を行って、ホットゾーンから移動させることも可能ですが、より確実に汚染拡大防止対策を行うには、新たなストレッチャーに寄せ換える方法があります。一つの方法としては、ホットゾーンとウォームゾーンの境界までストレッチャーを移動させ、ウォームゾーンに準備した新しいストレッチャーに寄せ換えます。別の方法としては、ホットゾーンの中に新たにろ紙シートを敷き、その上を移動させて新たなストレッチャーをホットゾーンの中に入れ、患者を載せ替えます。この時、ホットゾーンでの対応者はろ紙シートを踏まないように注意が必要です。

また、患者のストレッチャー間での移送の際にホットゾーンのスタッフが協力する場合には、両上肢や胸部前面など患者に触れる可能性のある部分について測定器で汚染がないことを確認してから行います。

活動後の対応

❖ ホットゾーンからの退出

1. 外側の手袋とテープをとる
2. 帽子とマスクをとる
3. 内側を外にするように巻きながらガウンを脱ぐ
4. 靴カバーを内側を外に巻きながら脱ぐ
5. 足底の汚染検査を行ってから、足をウォームゾーンにつける
6. コールドゾーンへの退域前に脱衣後の全身の汚染検査



ホットゾーンでの処置が終了したら、対応した医療スタッフは防護服を脱衣し、汚染検査を実施してホットゾーン、臨時の管理区域から退出します。

ホットゾーンでの防護服の脱衣は次の順番で行います。

1. 外側の手袋とテープをとる
2. 帽子とマスクをとる
3. 内側を外にするように巻きながらガウンを脱ぐ
4. 靴カバーを内側を外に巻きながら脱ぐ
5. 足底の汚染検査を行ってから、足をウォームゾーンにつける

原則として、ウォームゾーンは汚染が拡大している可能性があるため、ウォームゾーン（緩衝地帯）からコールドゾーンへの退域時に脱衣後の全身の汚染検査を行います。

処置室の復帰

1. 処置室から廃棄物を移動する
2. 処置室の汚染検査
3. 必要であれば除染
 - ◇ 通常の清掃と同じ
 - ◇ 再度、汚染検査を実施する
4. 臨時の管理区域の設定を解除する

❖ 放射性物質による汚染のある廃棄物

- ◇ 汚染のない廃棄物とは区別する
- ◇ 放射性物質の付着している廃棄物はビニール袋もしくはコンテナに入れる
- ◇ ビニール袋あるいはコンテナをサーベイする
- ◇ 放射性物質の廃棄物からの被ばくを避けるために壁での遮蔽や距離をとる



すべての処置が終了したら、ポットゾーンと管理区域を設定した処置室を復帰させます。

まず、廃棄物をすべて臨時の保管場所に移動させます。その後、処置室の床、資機材などの汚染検査を行います。汚染があれば除染しますが、あらかじめカバーなどをしていた場合は、そのカバーを取り外します。床などに直接汚染が付着している場合は、通常の清掃と同じようにモップや布などで除染し、除染後に再度汚染検査を行います。

すべての汚染検査が終了したら、管理区域の設定を解除します。

汚染のある廃棄物は、ビニール袋やコンテナに入れ、汚染が拡散しないようにします。さらに容器の外側の空間線量率を測定し、保管場所の安全を確認します。保管場所は可能なかぎり個室や人の通行から離れた場所にします。

退出後に汚染を検知した場合の対応

- ❖ 汚染している可能性のあるエリアを全て閉鎖する
 - ◇ 患者や職員の動線から推定
- ❖ エリア内の職員は、汚染検査を実施後、エリア外へ出る
- ❖ エリア内の施設、資機材の汚染検査を実施
- ❖ 汚染があれば除染する
- ❖ 汚染が広がっていても、その後の検査、除染をきちんとすれば汚染拡大防止ができます

処置後や活動後にホットゾーンや管理区域を退出した後に汚染が新たに発見された場合は、汚染している可能性のあるエリアを全て閉鎖します。

エリア内の職員は、汚染検査を行った後にエリア外へ出ます。エリア内の処置室や施設、資機材の汚染検査を行います。汚染があれば除染します。

汚染が後から発見されても、その後の検査、除染をきちんと対応すれば以降の汚染の拡大防止ができます。

まとめ

- ❖ 外部被ばくの患者対応では対応者は被ばくしない
- ❖ 汚染では、患者も対応者も危険な被ばくはしない
- ❖ 汚染では即死しない
- ❖ まずは、生理学的評価しを行い、必要に応じて救命処置を行う
- ❖ 汚染検査は最優先ではない
- ❖ 除染は、脱衣、拭き取り、水をかけながら洗い流すの三つの方法がある

放射線障害の診断と治療

原子力災害 被ばく医療 専門研修
被ばく医療-3

時間；30分

内容

- 急性放射線症の病態
- 急性放射線症の発症期
- 急性放射線症の診断
- ARSのPrimary Triage
- 急性放射線症の前駆期の処置
- 急性放射線症の治療方針
- 複合障害
- 放射線皮膚障害の病態
- 放射線皮膚障害の病期と初期変化
- 放射線皮膚障害の診断
- 放射線皮膚障害の治療
- 内部被ばくの診断
- 内部被ばく対応の基本方針
- 内部被曝の治療
- プルシアンブルー
- DTPA

急性放射線症の病態

❖ 急性放射線症(acute radiation syndrome: ARS)

- ◇ 1Gy (グレイ) を超える急性被ばくを全身受けると、骨髓障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による確定的影響が被ばく線量に応じて発現



1Gyを超える急性被ばくを全身に受けると骨髓障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による確定的影響が被ばく線量に応じて発現します。これらの一連の症候を急性放射線症(acute radiation syndrome: ARS)と言います。

ARSの病期は、時間的経過によって前駆期、潜伏期、発症期、回復期に分けられます。

前駆期は、悪心、嘔吐、下痢、発熱、初期紅斑、唾液腺の腫脹などの前駆症状と呼ばれる症状が一過性に出現します。これらの症状は、消化管の蠕動運動亢進や消化管ホルモン分泌亢進、皮膚、粘膜の毛細血管拡張および透過性亢進、神経血管反応亢進などの基礎病態に基づきます。

潜伏期は、比較的無症状の期間で、被ばく線量が高いほど短くなります。発症期は放射線による細胞死に伴う細胞の欠落による臓器の症状が発現する時期です。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

急性放射線症の発症期

| | | 急性放射線症の重症度と被ばく線量 | | | | |
|------|--|-----------------------|----------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | 軽症(1-2Gy) | 中等度(2-4Gy) | 重症(4-6Gy) | 極めて重症(6-8Gy) | 致命的(>8Gy) |
| 血液細胞 | リンパ球数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$) (被ばく後3~6日) | 0.8 - 1.5 | 0.5 - 0.8 | 0.3 - 0.5 | 0.1 - 0.3 | 0.0 - 0.1 |
| | 顆粒球数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$) | >2.0 | 1.5 - 2.0 | 1.0 - 1.5 | ≤ 0.5 | ≤ 0.1 |
| | 血小板数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$) | 60 - 100 10 - 25 % | 30 - 60 25 - 40 % | 25 - 35 40 - 80 % | 15 - 25 60 - 80 % | <20 80 - 100 % ^{※1} |
| 潜伏期 | 長さ(日) | 21 - 35 | 18 - 28 | 8 - 18 | ≤ 7 | なし |
| 臨床症状 | 下痢 | なし | なし | 稀 | 被ばく後 6~9日に出現 | 被ばく後 4~5日に出現 |
| | 脱毛 | なし | 中等度、被ばく後15日以降 | 中等度ないし 完全 11~21日 | 完全 11日以降 | 完全 10日以前 |
| | その他の症状 | 倦怠感 衰弱 | 発熱、感染、 出血、衰弱 | 高熱、感染、 出血 | 高熱、嘔吐、 めまい、 見当識障害、 血圧低下 | 高熱、 意識障害 |
| 予後 | 致死率 死亡時期 ^{※2} | 0 | 0 - 50 % 6-8週以降 | 20 - 70 % 4-8週以降 | 50 - 100 % 1-2週以降 | 100 % -2週 |

※1 50Gyを越すような高線量被ばくの場合は、血球減少の前に死亡する。

※2 治療内容により死亡率、死亡時期は変化する。

1Gy以上の全身被ばくでは、骨髄症候群が発症します。これは、放射線感受性が高い骨髄の造血幹細胞が細胞死によって減少し、血液細胞の減少による機能障害が起こります。白血球が減少すると免疫不全、易感染性となり、血小板減少によって出血傾向となります。末梢血の好中球数は、4Gyでほぼ3週間、2~3Gyでほぼ4週間で、1Gyでは5週間足らずで最低となります。好中球数は、1週間ほどで回復し始め、2~3週間で正常域に回復します。

6Gy以上の全身被ばくでは、消化管粘膜からの細菌移行が起こることが実験的に示されています。10Gy以上の被ばくでは、骨髄障害に加え、水様性下痢や下血などの症状を呈する消化管障害が発現します。消化管障害の発生機序は、放射線による粘膜上皮細胞の再生障害です。10~15Gyの被ばくでは、粘膜上皮の幹細胞であるクリプト（陰窩）細胞の分化が停止し、消化管の絨毛が退縮してバリア機能が低下します。腸管蠕動障害、吸収障害、下痢が発症します。粘膜の剥奪がさらに進行すると消化管出血が生じます。

また、被ばく線量に応じて口腔粘膜に発赤、腫脹、出血、潰瘍、壊死を生じます。7~8Gyを越す被ばくでは、1~3ヶ月後に肺障害の初期症状、肺浮腫が出現します。放射線による肺障害の主なものは肺臓炎と肺線維症です。

10Gyを越す被ばくでは、2~3週間後に放射線皮膚障害が臨床上的の問題となります。20Gyを越す高線量全身被ばくでは、早期に意識障害、血圧低下などの中枢神経症状、血管透過性亢進による浮腫、胸腹水の貯留、肺水腫、下痢などを伴う神経血管症候群が発症します。

出典；青木芳朗／前川和彦「緊急被ばく医療テキスト」（医療科学社）改変

急性放射線症の診断

- ❖ 放射線の関与が明らかな場合
 - ◇ 事故の状況；関係者、施設の放射線管理者から事故の状況に関する情報を得る。線源の種類や大きさ等
 - ◇ 症状、徴候；嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹、疼痛、圧痛などの前駆症状
 - ◇ 事故後の血液の変化；末梢血リンパ球数の減少、血清アミラーゼ値の上昇
 - ◇ 染色体異常、個人線量計の値

- ❖ 放射線の関与が不明な場合
 - ◇ 原因不明の嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹、疼痛があれば、発症時期、1～2週間の生活歴、仕事内容などの問診
 - ◇ 手指や胸腹部、臀部、四肢に浮腫、紅斑、脱毛、落屑、水疱形成、潰瘍形成、壊死などの皮膚変化の診察
 - ◇ 血液検査の変化
 - ◇ 臨床症状が顕在化するまで慎重な観察と検査の繰り返し

原子力施設や大型照射施設等で起こった被ばく事故の場合は、放射線の関与があったことを認識して診療にあたるのがほとんどです。この場合は、施設の関係者や放射線管理者から事故の状況に関する情報を得ることが極めて重要です。また、前駆症状を認めればARSの可能性は高いです。診察時には、唾液腺の腫脹、圧痛を見落とさないようにします。3Gyを越す被ばくでは、皮膚の紅斑や口腔粘膜の毛細血管拡張を観察します。0.5Gyを超える全身被ばくがあれば、前駆期に末梢血リンパ球数の減少、血清アミラーゼ値の上昇が観察されます。発症期には、末梢血のリンパ球数、好中球数、血小板数の減少が認められます。

放射線の関与が不明な場合は、原因不明の嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹と疼痛などがあれば、それらの発症時期、1～2週間の生活歴、仕事の内容などについて注意深く問診を行い、放射線の関与の可能性を検討します。また、四肢、胸腹部、臀部、手指に浮腫、紅斑、脱毛、落屑、水疱形成、潰瘍形成、壊死などの皮膚障害の症状が出現していなか観察します。血液検査による血球細胞数の変化を観察します。臨床症状が顕在化するまで慎重な観察と検査の繰り返し重要です。

ARSのPrimary Triage : 初期の48時間

多数のARS対応が必要な場合のトリアージ



多数の急性放射線症を発症する患者が発生し、入院施設等の医療資源が限られた場合は、入院診療を必要とする被ばくした者を初期の段階でトリアージする必要があります。全ての臨床症状とその発症時期を記録します。1Gy未満と判断される場合には、外来で経過観察するだけで良いです。1Gy以上の患者は、より詳細な線量評価や治療のための入院が必要です。

出典；EBMT pocket guide

<https://www.ebmt.org/sites/default/files/2018-03/EBMT%20Nuclear%20Accident%20Committee%20Pocket%20Guide%202017.pdf>

急性放射線症 前駆期の処置

- ❖ 線量により症状は多様であるが、**対症療法**が中心
- ❖ 悪心、嘔吐に対して（制吐剤投与）
 - ◇ 5-HT₃ (5-hydroxytryptamine,セロトニン) 受容体拮抗薬：Granisetron (カイトリル), Ondansetron (ゾフラン) など
 - ◇ 抗ドパミン薬：メトクロプラミド (プリンペラン)、ドンペリドン (ナウゼリン)
- ❖ 頭痛
 - ◇ 鎮痛剤投与
- ❖ 循環血液量減少
 - ◇ 輸液
 - ◇ 重症(4Gy~)の場合、下痢や嘔吐が激しいため輸液により電解質維持、水分補給が必要になる。非常に重症の場合、血圧低下が起こり、大量輸液、昇圧薬が必要になる。
- ❖ 粘膜炎（→潰瘍、感染）
 - ◇ 口腔内の衛生を保つ→うがいなど
- ❖ 精神的、社会的支援

急性放射線症の前駆期の症状は多様ですが、対症療法が中心となります。

急性放射線症の治療方針

| (Gy) | 1-2 | 2-4 | 4-6 | 6-8 | >8 |
|------|--|---|-----|--|----|
| 治療 | 経過観察 | 入院, 速やかに 無菌室 へ | | | |
| | サイトカイン→ | 速やか(1W以内)にG-CSF かGM-CSF投与開始 | | GM-CSF/G- CSF+EPO+TPO | |
| | 抗生物質など→ | 広域スペクトル抗生物質(潜伏期が終わる頃~), 抗 真菌剤・抗ウイルス剤(必要に応じ), SDD(6Gy↑) | | | |
| | 血液製剤→ | 成分輸血: 血小板, 赤血球(必要に応じて) | | | |
| | * 1-2Gyが予測される場合、 線量が確定するまでは線 量がより高いことを想定 し対処する。 | | | L-グルタミン, エレメンタリー-ダイエット 投与, 完全経静脈栄養, 電解質補正 | |
| | | | | 骨髄移植→ 骨髄幹細胞移植(第1週) | |

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

急性放射線症の治療は、症状と徴候、一般検査の結果、線量評価に基づき行います。治療法の多くは、放射線療法副作用軽減法や治療法の転用、動物実験の臨床応用、数少ない治療経験などで、科学的根拠に基づいたものはほとんどありません。

骨髄障害に起因する感染症などの合併症を予防することが重要です。骨髄機能の回復が見込まれる1~4Gyの被ばくであれば、患者を無菌室に隔離し、注意深く発熱、出血、上咽頭痛や発赤、潰瘍などについての臨床的評価を行います。細菌学的検査を継続し、感染症が起こった場合に備えて、サイトカインを含む有効な治療薬を投与できるようにしておきます。被ばく線量が4~6Gyを越すと考えられる場合は、血液幹細胞が不可逆的に障害を受けている可能性が高いため、感染症対策を入院直後から実施します。さらに複数のサイトカインを組み合わせて治療を行います。また、入院後すぐに選択的消化管除菌法(SDD; selective decontamination of the digestive tract、例えば tobramycin 80mg、polymyxin B 50万単位、amphotericin B 500mmg)を行い、抗生物質の全身的投与を開始します。体表面の消毒を行なった後に、無菌室に隔離します。

3~10Gy程度の被ばく線量で造血幹細胞移植を行うことが考えられてきました。しかし移植両方の副作用とサイトカイン療法の発展から、移植の有効性が合理的に期待できるのは、6~10Gy程度と考えられています。移植の目的は、ドナー由来細胞が永久的に生着することではなく、一過性に生命を支持する

ことです。

顆粒球コロニー刺激因子（G-CSF）や顆粒球マクロファージコロニー刺激因子（GM-CSF）は、被ばく後の患者の造血速度を促進するので、幹細胞が残っている場合には、骨髄移植を不要のものとする可能性があります。2～6(8)Gyの被ばくでは移植を行わずにサイトカイン療法を行います。

消化管障害の治療は、現時点では確立されておらず、輸液による電解質管理、完全静脈栄養、成分輸血などの対症療法が中心となります。

放射線肺臓炎は、8Gy以上の被ばくで発症頻度が増加します。被ばく後の軟部組織の硬化、繊維化を予防、治療するため、長期（半年から1年）にわたるペントキシフィリンとビタミンEの併用が有効であるとの動物実験および臨床研究の報告があります。

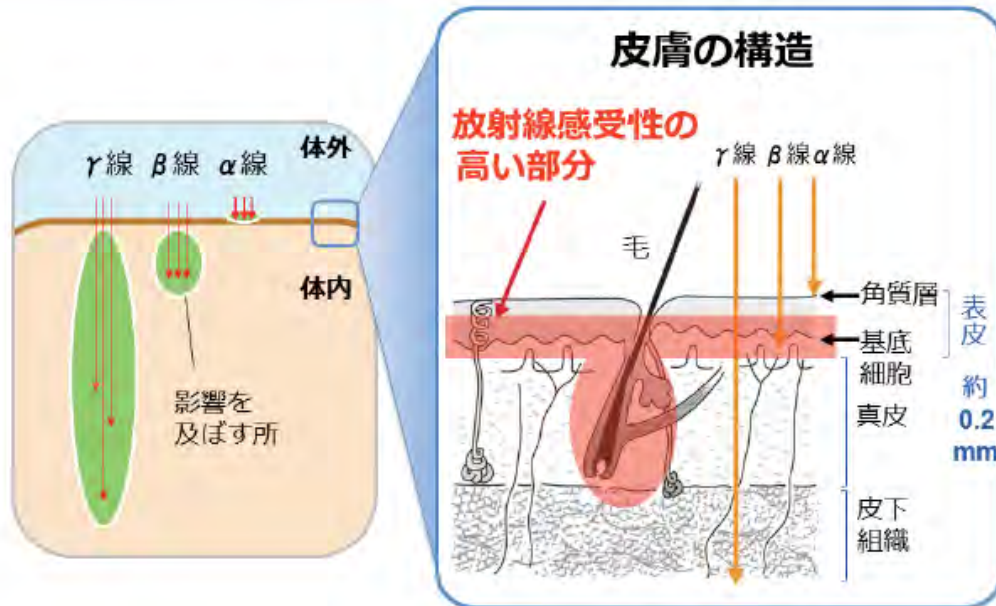
複合障害 (combined radiation injuries)

- ❖ 放射線による障害に外傷、熱傷、感染症、化学障害などが合併したもの
- ❖ 放射線単独の障害より予後が悪い
- ❖ 放射線事故や核爆発では、被災者の多くは放射線被ばくに熱傷や外傷を伴う
 - ◇ 広島・長崎の被爆者の60～70%に外傷を合併していた
 - ◆ 被ばく2～3週間後に合併症を発症：特に骨髄抑制の影響
 - ◆ 創傷治癒の遅滞
 - ◆ 多くの被ばく者が敗血症で死亡
 - ◇ チェルノブイリ事故の237名の被災者のうち10%に重篤な放射線被ばくと熱傷の両方を合併していた
- ❖ 免疫系の障害、感染防御機能の障害のため、少量の病原菌で感染し、症状はより重篤となる
- ❖ 初療は全身状態の安定、合併している外傷の治療を行う
- ❖ 高線量被ばくと外傷において、外科的処置が必要であれば、**被ばく後72時間以内に手術を行う**

放射線による障害に外傷、熱傷、感染症、化学障害などが合併したものを複合障害(combined radiation injuries)と言い、放射線単独の障害よりも予後が悪くなります。動物実験では、全身被ばくと熱傷が合併すると死亡率が上昇する結果があります。

放射線の事故や核爆発では、被災者の多くは放射線被ばくに熱傷や外傷を伴うことが多いです。この複合障害では、骨髄抑制の影響で、少量の病原菌で感染し、症状はより重篤となり、多くが敗血症で死亡します。また、創傷治癒の遅延が起こります。外傷等を合併している場合は、全身状態の安定と外傷等の治療をまず行います。また、外傷診療として外科的処置が必要であれば、被ばく後72時間以内に手術を行います。

放射線皮膚障害の病態



皮膚は表層側から表皮、真皮、皮下組織の3層から構成されます。表皮は、表層から扁平な細胞が重なった角層、数層の顆粒層、数層の有棘層、単層の基底層から構成されます。放射線による障害は、基底細胞に強く出ます。基底層の細胞は分裂が盛んで、皮膚の再上皮化を起こす場所で、ここが放射線で損傷すると皮膚障害が発生します。通常、基底層から顆粒層へ細胞増殖のための移行時間が 14 ± 6 日、顆粒層から表層までには 18 ± 6 日かかります。

放射線皮膚障害の重症度を規定する因子は、放射線の線質、被ばく線量、皮膚の厚さ、年齢などがあげられます。 α 線の場合では、軟部組織表層からの透過距離は約0.04mmであり、表皮基底層には達しません。 γ 線、中性子線による障害は深層への透過性が極めて強く、皮膚、皮下組織、筋肉、骨にも達します。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

放射線皮膚障害の病期と初期変化

| | | |
|-----|---------------|---|
| I | 超急性期 ~7日 | 皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させる。 |
| II | 急性期 7日~6カ月 | 放射線によって引き起こされる表皮基底層のDNA障害は、潜伏期間（通常2~3週単位）を経て、2~3週間（細胞周期と同じ）ごとに細胞障害や組織死が段階的に進み、多彩な症状が続く。 |
| III | 慢性期 6カ月以上 | 表皮が再生した後は、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。 |

| 症状 | 線量(Gy) | 発症(day) |
|------|--------|---------|
| 紅斑 | 3-10 | 12-21 |
| 脱毛 | >3 | 14-18 |
| 乾性落屑 | 8-12 | 25-30 |
| 湿性落屑 | 15-20 | 20-28 |
| 水疱 | 15-25 | 15-25 |
| 潰瘍 | >20 | 14-21 |
| 壊死 | >25 | >21 |

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

10

放射線皮膚障害の病期は、超急性期（7日未満）、急性期（7日以後～6カ月まで）、慢性期（6ヶ月以降～数年）に分けられます。

皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させ、全身組織へのケミカルメディエーターの放出が惹起されます。そのため浮腫や紅斑が出現します。

急性期の放射線皮膚障害の程度は、被ばく線量と被ばくした組織の放射線感受性によって決まります。10Gy前後では初期の皮膚症状（発赤、紅斑、浮腫）が3～4日で消退後、潜伏期の後、3週目ごろより再度、組織腫脹、掻痒感、発赤、疼痛感、市販などが現れます。進行は緩徐です。

慢性期では、表皮が再生した後、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。10Gy以上の被ばくによる皮膚障害では、一度障害された皮膚が上皮化した後も、再度皮膚障害が反復し、潰瘍や皮膚剥離がおきます。また、6カ月以上経過してから皮膚の繊維化や色素沈着などが出現します。真皮層には、多くの血管が存在します。血管内皮細胞は放射線感受性が高いため、被ばくした領域ではこれらの血管の内膜に障害が生じ、内膜の肥厚や微小血栓の形成を通じて微小循環障害や局所の血流障害を起こします。

放射線皮膚障害の診断

- ❖ 病歴の聴取
 - ◇ 密封線源の事故では、被ばくした自覚がないことが多いため、原因不明の熱傷様病変に遭遇した場合には、放射線皮膚障害を念頭に入れ、放射線の可能性を疑って診断を進める。
- ❖ 身体所見の確認
 - ◇ 全身被ばくの有無を評価；線源が大きい場合は、局所被ばく以外にも全身被ばくをしている可能性がある。
 - ◇ 極端に高い線量による局所被ばく；全身への平均被ばく線量の評価として染色体分析を実施
- ❖ 障害部位の評価
 - ◇ 皮膚病変の経時的変化の記録
 - ◇ 骨の変化の比較；X線
 - ◇ CT・MRI；炎症の波及範囲や血流を評価
 - ◇ サーモグラフィ・超音波ドップラ検査法；非侵襲的に血流の程度を評価
- ❖ 線量評価
 - ◇ 物理学的線量評価；線源と被ばく部位の位置関係、被ばく時間、周辺の遮へい物の影響、事故の再構築

11

密封線源の事故では、被ばくした自覚がないことが多いため、原因不明の熱傷様病変に遭遇した場合には、放射線皮膚障害を念頭に入れ、放射線の可能性を疑って、病歴を聴取するなどの診断を進めることが重要です。

線源が大きい場合は、局所被ばく以外にも全身被ばくをしている可能性があるため、全身被ばくの評価も同時に行います。被ばく当日を含む3日間程度は末梢血全血球数計算（CBC）を行い、リンパ球数の減少の有無を確認します。局所被ばくの線量が極端に高い場合は、全身への平均被ばく線量を正確に知るために染色体分析による線量評価を実施します。

皮膚病変の経時的変化の記録をします。骨の変化の比較のため、単純X線撮影を行います。また、CT・MRIでは炎症の波及範囲や血流を評価します。サーモグラフィ・超音波ドップラ検査法でも非侵襲的に血流の程度を評価できます。

放射線皮膚障害の範囲、深達度の判断には、線量評価が必要です。主として、物理学的線量評価を行います。線源と被ばく部位の位置関係、被ばく時間、周辺の遮へい物の影響の情報をもとに計算する他に、事故の再構築により、実際に放射線を測定してその情報をもとに計算します。これらの情報は、記憶に頼る部分があるため、結果には相当な幅があります。

放射線皮膚障害の治療

| 深達度 | 症状 | 治療 |
|------------|--------------------|---|
| I度熱傷相当 | 紅斑や発疹、浮腫 | ・ワセリン基剤などによる皮膚の保湿 |
| 浅達性II度熱傷相当 | 水疱、落屑、乾皮炎、滲出性表皮炎など | ・ステロイドや抗生物質含有のワセリン基剤、創傷被覆剤 ・疼痛コントロールには、モルヒネ、フェンタニルなどの麻薬あるいは非麻薬系の鎮痛剤 |
| 深達性II度熱傷相当 | 滲出性表皮炎、潰瘍、乾酪様壊死など | ・表層のブラッシングなど外科的な処置 ・創感染症には、全身の抗生物質の投与 ・感染の悪化、2ヶ月以上上皮化傾向が認められない潰瘍では、全身状態を勘案して植皮手術も選択 |
| III度熱傷相当 | 全層にわたる乾酪様壊死、壊死 | ・2～3ヶ月以上治癒傾向がないものは、植皮手術の対象 |

放射線皮膚障害の治療はその程度により異なるため、深達度の分類は重要です。原則的には、温熱熱傷の治療と同様に全身管理、局所管理からなります。全身被ばくがあれば骨髄抑制や消化管障害に対する治療も必要です。

・ I度熱傷相当

紅斑や発疹、浮腫などは、被ばく直後または3～4週後以内に出現します。数週から数ヶ月の経緯で徐々に消失します。ワセリン基剤などで皮膚の保湿を図ります。

・ 浅達性II度熱傷相当

水疱、落屑、乾皮炎、滲出性表皮炎などの皮膚障害は、10Gy以上の被ばく後4～6週で発現します。I度熱傷に相当する紅斑が被ばく後3～4週で出現した後に、4～6週でII度熱傷に相当する水疱に移行します。被ばく線量が高いとより早期から症状が出現します。感染すると皮膚の障害はより深部に及ぶ可能性があります。深度や症状が悪化しない様であれば、残存する真皮層が1～2ヶ月の保存的治療でそうは閉鎖します。疼痛は、放射線皮膚障害が重症化する初期の特徴であり、疼痛コントロールには、モルヒネ、フェンタニルなどの麻薬あるいは非麻薬系の鎮痛剤を使用します。局所の治療には、ステロイドや抗生物質含有のワセリン基剤を塗布したり、創傷被覆剤を使用します。

・ 深達性II度熱傷相当

滲出性表皮炎、潰瘍、乾酪様壊死などの皮膚障害は、10Gy以上20Gy未満の被

ばく線量で発症します。紅斑、水疱、皮膚剥離などの症状は4から8週ぐらいの時間経過で潰瘍創となります。潰瘍層表層にはフィブリン様の壊死物質が存在し、薬剤は浸透しません。そのため、表層のブラッシングなど外科的な処置が繰り返し行われます。一般細菌や真菌などの感染を合併して、難治性潰瘍になりやすいです。創感染症には、全身の抗生物質の投与が必要となります。保存療法を第一選択として治療を開始しますが、感染の悪化、2ヶ月以上上皮化傾向が認められない潰瘍では、全身状態を勘案して植皮手術も選択されます。

- III度熱傷相当

20Gy以上の高線量を被ばくすると受傷から3～4周からIII度熱傷相当の全層にわたる乾酪壊死、壊死の皮膚障害を呈します。前述の症状が出現せずに徐々に皮膚構造が崩れ始め、表皮が剥離し、真皮が露出します。潰瘍層ができ、血流に乏しく、出血は認められません。2～3ヶ月以上治癒傾向がないものは、植皮手術の対象となります。しかし、皮下脂肪や筋層の損傷もおこっており、壊死組織の切除深度や四肢の切断の適応の判断は難しいです。

- 慢性期

急性期に上皮化が終了した部分でも、真皮のダメージは慢性期で再燃して、繊維化や色素沈着、再潰瘍化など新たな病像を呈します。放射線による骨壊死には高圧酸素療法が有効とされる。また、血流障害による疼痛や感染がコントロールできず、機能が廃絶している様な場合には、四肢の切断も考慮します。

内部被ばくの診断

- ❖ 体内からの放射性物質もしくは放射線の検出により診断
- ❖ 鼻腔・咽頭スミア；吸入による内部被ばくの可能性
- ❖ 口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染；吸入、吸収の可能性
- ❖ 問診；内部被ばくが疑われる場合は、放射性核種、化学形態、溶媒等について確認



- ❖ 生体試料（尿、便）の放射性物質の計測
- ❖ 体外計測；ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター

➡ 内部被ばくの診断

内部被ばくは、吸入による経気道、経口摂取による経消化管、創傷部からの吸収によって体内に放射性物質が取り込まれることによって起こります。体内に入った放射性物質は、安定型の核種と同じ体内動態を示すため、核種に応じた体内除染が必要になります。

初期には、口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染があれば、放射性物質の吸入や吸収の可能性があります。また、鼻腔や咽頭のスワブ採取によって放射性物質を検出した場合も内部被ばくが疑われます。内部被ばくが疑われた場合、事業所や施設等での事故の場合は、放射線管理要員等に放射性核種、化学形態、溶媒等について確認します。

内部被ばくの最終診断と線量評価は、尿や便の生体試料の放射性物質の計測（バイオアッセイ法）と、体内からの放射線の計測（体外計測）によって行われます。

内部汚染対応の基本方針

- ❖ 将来の生物学的影響の低減が目的
- ❖ 治療の原則；吸収と内部沈着の低減、体内に入った核種の除去と排泄促進
- ❖ 治療の適応；明確な指標はない。実効線量（預託実効線量）を参考に治療するメリット、デメリットを勘案して適応を決定する。
 - ◇ 実効線量20 mSvが1つの目安
- ❖ 事故時には摂取量、体内動態がすぐには判明しない。
- ❖ 治療の副作用が少なく、禁忌がない場合はすぐに治療を開始すべきである。
- ❖ 勘案すべき要素
 - ◇ 確実な汚染か疑いか
 - ◇ 体内動態
 - ◇ 治療目標の現実性
 - ◇ 治療のメリットとデメリット
 - ◇ 年齢、健康状態、精神的状態

内部被ばくでは、基本的に急性障害は起こりません。そのため、治療の目的は、体内の放射性物質からの放射線被ばくによる将来の生物学的影響の低減となります。内部被ばくの治療の原則は、吸収と内部沈着の低減及び体内に入った核種の除去と排泄の促進です。放射性物質が体循環に入っていない場合に最も治療効果が高くなります。また、標的臓器の細胞に取り込まれる前に治療を行う必要があります。しかし、内部被ばくの事故では、摂取量や体内動態がすぐに判明しないことがほとんどです。そのため、内部被ばくが疑われる場合は、治療による副作用が少なく、禁忌がない場合には、すぐに治療を開始すべきです。また、治療の適応には、明確な指標がありません。預託実効線量を参考にして、治療のメリットとデメリットを勘案して適応を決定します。

内部被ばくの治療

❖ 消化管での吸収を低減

- ◇ 胃洗浄
- ◇ 催吐剤
- ◇ 下剤
- ◇ イオン交換剤
- ◇ Prussian Blue
- ◇ アルミニウムを含む制酸剤
- ◇ 硫酸バリウム

❖ 阻害剤／希釈剤；安定元素で代謝過程を飽和して放射性核種の摂取を低減

- ◇ ヨウ素
- ◇ ストロンチウム
- ◇ 水分摂取
- ◇ カルシウム
- ◇ 亜鉛
- ◇ カリウム

❖ キレート剤

- ◇ EDTA
- ◇ DTPA
- ◇ Dimercaprol (BAL)
- ◇ Penicillamine
- ◇ Deferoxamine

❖ その他

- ◇ 抗甲状腺薬
- ◇ 利尿剤
- ◇ 副甲状腺ホルモン剤

内部被ばくの治療には、消化管で吸収を低減する方法、特定臓器を安定同位元素で飽和することによって放射性物質の摂取を低減する方法（阻害）、大量の安定元素または化合物の投与によって放射性物質を希釈する方法、キレート効果による排泄、利尿剤による排泄促進といった方法があります。

内部被ばくの治療は、体内からの放射性物質の排泄量などをモニタリングしながら、薬剤の投与による放射性物質の排泄が効果的にできる場合は、さらに治療を継続することを検討します。

治療した場合と薬剤の投与を行わなかった場合の尿中排泄率の比較や、ホールボディカウンターで判定した体内からの除去効果を考慮して、治療の中止を判断します。

プルシアンブルー

❖ 効能・効果

- ◇ 放射性セシウムによる体内汚染の軽減
 - ◆ 生物学的半減期115日→40日

❖ 用法・用量

- ◇ 1回6カプセル（3g）を1日3回経口投与する。
- ◇ 患者の状態、年齢、体重に応じて適宜増減する

ヘキサシアノ鉄（II）酸鉄（III）水和物
（ラジオガルダーゼ®カプセル500mg）



承認番号：22200AMX00966000

薬価収載：薬価未収載

承認日：2010年10月27日

プルシアンブルー（ラジオガルダーゼ®カプセル500mg）は、フェロシアン化第二鉄に属します。消化管に吸収されない毒性の低いコロイド状の溶解可能な形態を持ち、ある種の一価の陽イオンに対しイオン交換体のような働きがあります。放射性セシウムが血液に入った場合、経口投与されたプルシアンブルーが腸管から再吸収されるセシウムの取り込みを防ぎます。

DTPA

◆ 効能・効果

- ◇ 超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム）による体内汚染の軽減

◆ 用法・用量

- ◇ ペンテト酸カルシウム三ナトリウムとして1000mg、もしくは、ペンテト酸亜鉛三ナトリウムとして1055mgを1日1回点滴静注、又は緩徐に静脈内投与する。
- ◇ 本剤は、100～250mLの5%ブドウ糖注射液又は生理食塩液で希釈して約15～60分かけて点滴静注する、又は3～4分間かけて緩徐に静脈内投与すること。
- ◇ 患者の状態、年齢、体重に応じて適宜減量する。

◆ プロトコール

- ◇ 単独静脈内投与
 - ◆ CaDTPAもしくはZnDTPAを1g
- ◇ 混合静脈内投与
 - ◆ 1日目 CaDTPA
 - ◆ 2～5日 ZnDTPA
 - ◆ 1～2回/週 ZnDTPA

◆ 使用例

- ◇ アメリカではプルトニウムとアメリシウムの体内沈着の除去のため、1995年までに610人に使用された。
- ◇ 2017年プルトニウム内部被ばく事故で日本でも5名の作業員に投与された。

ペンテト酸カルシウム三ナトリウム
(ジトリペンタートカル®静注1000mg)



承認番号:22300AMX00609000
薬価収載:薬価未収載
承認日:2011年7月1日

ペンテト酸亜鉛三ナトリウム
(アエントリペンタート®静注1055mg)



承認番号:22300AMX00610000
薬価収載:薬価未収載
承認日:2011年7月1日

Diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA)はEDTAより多価の放射性同位元素に対してより効果的です。キレート体は、安定で、体外に腎臓から排泄されます。静脈的に投与した後、DTPAは最初の1時間に尿中に約50%が排泄されます。CaDTPA、ZnDTPAは超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム、カリホルニウム、ネプツニウム）をキレートします。

CaDTPAによる重篤な副作用の報告はありません。しかし長期間投与するとCaDTPAにより亜鉛欠乏症を起こします。

まとめ

- ❖ 急性放射線症は、1Gy（グレイ）を超える急性被ばくを全身に受けた場合に発症し、骨髄障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による確定的影響が被ばく線量に応じて発現する。
- ❖ 急性放射線症、放射線皮膚障害の診断は、問診、身体所見、血液検査、線量評価によって行う。
- ❖ 臨床の現場では、線量が決定するまでは、高めに被ばく線量を推定し、治療を開始する。
- ❖ 内部被ばくの診断は、問診や鼻腔スワブ等により可能性を把握し、バイオアッセイ法、体外計測法により診断する。
- ❖ 内部被ばくでは核種ごとに治療に使用する薬剤が異なる。

用法・用量

| 薬品 | 用法・用量 | |
|--------------------------|---|----------|
| プルシアンブルー (フェロシアン化第二鉄) | 水とともに1回3gを1日3回3週間 内服 | 0.5g/cap |
| アルギン酸ナトリウム (アルロイドG) | アルギン酸ナトリウム10g (アルロイドG 200ml) あるいは1.5~3gを内服 | 5%液 |
| ヨウ化カリウム | 成人100mg内服 | 50mg/tab |
| ジメルカプロール (バル) | 1日目 1回2.5mg/kg筋注 6hr毎 2日目~1日1回を6日間 | 100mg/ml |
| CaDTPA ZnDTPA | 1回1gを生食100mlで30分で1日1回静注 週5日連続投与 混合療法: 1回目CaDTPA 1g、2回目以降ZnDTPA 1gを4日間投与。その後超ウラン元素の排泄率の増加が見られなくなるまで1週間に2-dose(1-doseあたりZnDTPA1g)投与。 | 1g/5ml |
| レボチロキシン (チラージンS) | 1回25~100µg内服 | 25µg/cap |
| チオ硫酸ナトリウム (デトキソール) | 1日1~2g 緩徐に静注 | 2g/20ml |
| マーロックス懸濁内服液 | 1回1.6~4.8g (1gを水10mlに懸濁) | 1.2g/包 |
| ラキソベロン液 | (CF前) 1回20ml内服 | 10ml/本 |
| 酸化マグネシウム | | 1g/包 |
| 硫酸バリウム | 1回100~300ml内服 | |
| 薬用炭 | 1回20gを水に懸濁し内服 | 20g/包 |

放射性核種による汚染時の選択薬剤 1

| 核種 | 直後の処置 | 考慮すべき薬剤 | 注意 |
|--------------------------|--------------------|--|---|
| アメリシウム (Am) Americium | DTPA | DTPA, CaEDTA | 可及的早期にキレート化を行う。 DTPAが入手困難ならばCaEDTAを用いる。 |
| セシウム (Cs) Caesium | プルシアンブルー、 洗浄、下剤 | プルシアンブルー、 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ | |
| コバルト (Co) Cobalt | 洗浄、下剤 | 大量被ばくでは、ペ ニシラミンが考慮。 | コバルト塩は不溶性であるから飲 んだ場合は、特に治療は要しない。 |
| フッ素 (F) Fluorine | 水酸化アルミニウ ムゲル | | |
| ヨウ素 (I) Iodine | KI投与 | KI | できるだけ早くヨウ化カリウム100 mg (ヨウ素として16 mg) を飲ま せる。 |
| マンガン (Mn) Manganese | 洗浄 | DTPA | 陰イオンとして存在するMnは治療 不可能。 |
| リン (P) Phosphorus | | 水酸化アルミニウム (経口) | 大量の時は副甲状腺ホルモンも。 |
| プルトニウム (Pu) Plutonium | DTPA | DTPA、 CaEDTA、 DFOA | DTPAが入手困難ならばCaEDTAを 用いる。早期にはDFOAも用いられ る。生物学的半減期は、肝で40年、骨 は100年である。 |

放射性核種による汚染時の選択薬剤 2

| 核種 | 直後の処置 | 考慮すべき薬剤 | 注意 |
|---------------------------|--|--|---|
| ルテニウム (Ru) Ruthenium | 洗浄、下剤 | クロールサイアザイド DTPA | クロールサイアザイドは尿中排泄を増す。DTPAの効果は一定しない。 |
| トリウム (Th) Thorium | DTPA | DTPA DFOA | DTPA、DFOAは可溶性成分に有効で、排泄を増加。二酸化トリウムには、有効な治療はない。 |
| トリチウム (H) Tritium | 洗浄 多量の水分を採らせる | 利尿剤 | |
| ストロンチウム (Sr) Strontium | 洗浄 直ちに磷酸アルミニウムゲル又は水酸化アルミニウムゲル100mlを飲ませる。硫酸マグネシウム10g服用により、消化管停留を短縮し、吸収を減少。 | 安定ストロンチウムステロイド剤 Potassiumrhodizoate(C ₆ O ₂ K ₂) プレドニン | 乳酸ストロンチウム500-1500 mg/日を経口投与し、連日数週間続ける。創傷汚染は、いかに小さくとも見逃してはならず十分水洗いするがPotassiumrhodizoate 1gを撒布すれば、Srは局所的に不溶性となり、吸収されない。コルチコステロイド投与は、放射性ストロンチウムの尿中排泄を3倍に増加。プレドニン経口5-20mg/日、又はメチルプレドニゾロン10-40mg静注。 |
| ウラン (U) Uranium | DTPA | DTPA 重炭酸ナトリウム | DTPAは4時間以内が有効である。重炭酸ナトリウムは、腎を保護する。 |
| 亜鉛(Zn) Zinc | DTPA、洗浄 | DTPA | DTPAが入手困難ならば、CaEDTAを用いる。 |

外部被ばくと内部被ばくの線量評価

原子力災害 被ばく医療 専門研修
被ばく医療-4

時間；40分

内容

- 被ばく線量評価
- 線量評価の方法
- 実効線量
- 血球数による線量推定
- 染色体解析による外部被ばく線量推定
- 前駆症状と被ばく線量
- 個人線量計による算定方法
- 線量推定
- 再構築
- 内部被ばくの特殊性
- 内部被ばく線量評価の方法
- 内部被ばくの線量（預託実効線量）
- 体外計測法とバイオアッセイ法
- 預託実効線量の算出

被ばく線量評価

外部被ばく



- どの程度被ばくしたのか？
- 今後どのような症状が出るのか？
- 健康影響のリスクはどの程度か？

線量評価

様々な手法がある

被ばく医療には線量評価が不可欠

診断、治療方針の決定、予後の評価

内部被ばく



- ◆ 絶対的なものではなく、総合的に評価する
- ◆ 正確な被ばく量が完全に決定するまで実際にはかなり時間がかかる
- ◆ 被ばく線量は幅を持たせて考える必要がある（どちらかといえば重症の方に考えて対処）

放射線に被ばくしたら、診断や治療方針の決定、予後の評価には、被ばくの程度を評価する必要があります。それが線量評価となります。線量評価には、生物学的線量評価と物理学的線量評価があります。

外部被ばくの線量評価には、染色体分析や計測、放射化分析、ESR、再構築、線量推定といった手法があります。内部被ばくの線量評価には、体外計測法、バイオアッセイ法があります。

線量評価は、絶対的な手法はなく、それぞれの評価法を用いて、総合的に評価します。また、正確な被ばく線量が完全に決定するまでには、時間がかかります。また、被ばく線量は、幅をもたせて考える必要があります。

線量評価の方法

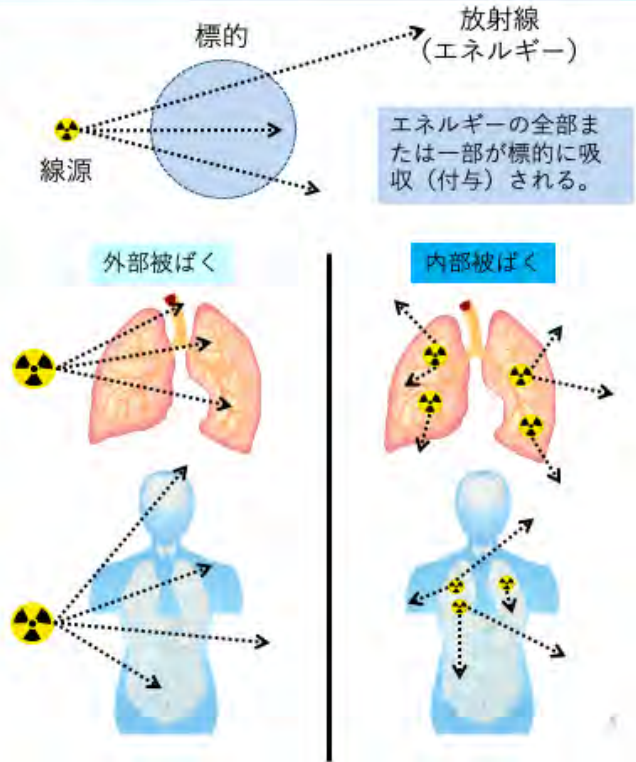
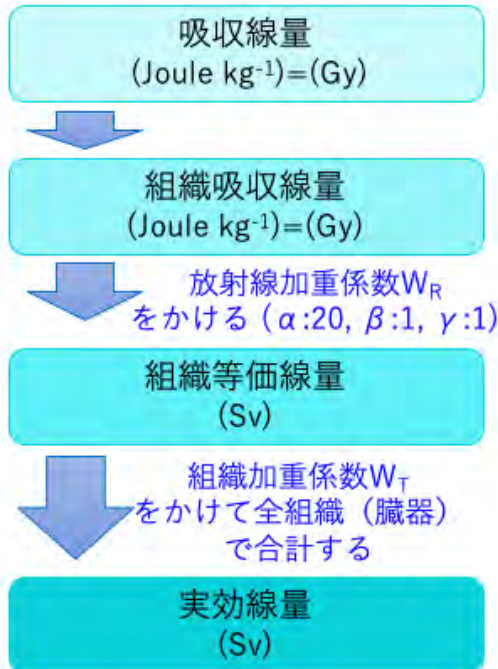
| | 試料・資料 | 対象 | 内容 |
|---------------------------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------|
| 生体試料の測定・観察 放射線の影響による変化の観察、測定 | 血液 | 血球細胞数の変化 | リンパ球、好中球の減少など |
| | | 染色体異常の解析 | 放射線による染色体異常の発現頻度 |
| | 身体所見 | 唾液腺の腫脹、疼痛、口腔粘膜の症状等 | 高線量被ばくによる前駆症状 |
| | | 皮膚症状の出現 | 紅斑や放射線皮膚障害の症状 |
| | スワブ | 鼻腔や口腔粘膜のスワブ | 汚染の有無による内部被ばくの可能性と推定 |
| | 血液、嘔吐物等 | 生体内のナトリウム、塩素の放射化から計測 | 中性子線による放射化の分析 |
| 歯のエナメル質 | 生体組織に生じるラジカルを測定 | 電子スピン共鳴(Electron Spin Resonance; ESR) | |
| 情報の解析 | 問診等での病歴、事故の状況 | 被ばくの可能性の評価 | 患者本人あるいは放射線管理要員より聴取 |
| | 線源、放射性物質等の情報 | 計算 | 計算による線量推定 |
| 放射線、放射性物質の計測 | 個人線量計 | 個人被ばく線量 | 被ばく線量の実測値 |
| | 身体、臓器 | 体外計測（ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター） | 体内残留量の計測 |
| | 尿、便 | バイオアッセイ法 | 排泄量の計測 |
| | 再構築 | 線源等の情報による事故状況の再現と実測結果からの計算 | 事故状況の再現、実測、計算 |

被ばく線量評価には、様々な手法があります。

生体試料を測定して、放射線の影響による実際の細胞や組織の変化を評価する方法があります。これには、血液試料による血球細胞数の変化や染色体異常の解析、身体所見による高線量被ばくの症状の確認と発症時期による線量の推定、鼻腔や口腔粘膜のスワブ（ぬぐいとり試料）の汚染検査による内部被ばくの推定、血液や嘔吐物の放射化の測定による中性子線被ばくの線量評価などがあります。これらの生体試料の測定による方法を生物学的線量評価と称します。

また、事故の状況や被ばくの時間、作業時間等を問診で確認することで被ばくの可能性の評価ができ、さらに線源や放射性物質等の情報を追加することで計算による線量推定ができます。また、実際に放射線や放射性物質を計測して評価することもできます。体外計測は、身体や臓器から放出される放射線を測定して、体内の放射性物質の残留量を計測し、内部被ばく線量を計算します。尿中や便中の放射性物質の排泄量を測定して内部被ばく線量を計算する方法がバイオアッセイ法です。また、線源や被ばくした患者の位置関係などから事故時の状況を再現し、放射線を実測した結果から、被ばく線量を計算する再構築の方法もあります。計算や計測による線量評価を物理学的線量評価と称します。

実効線量

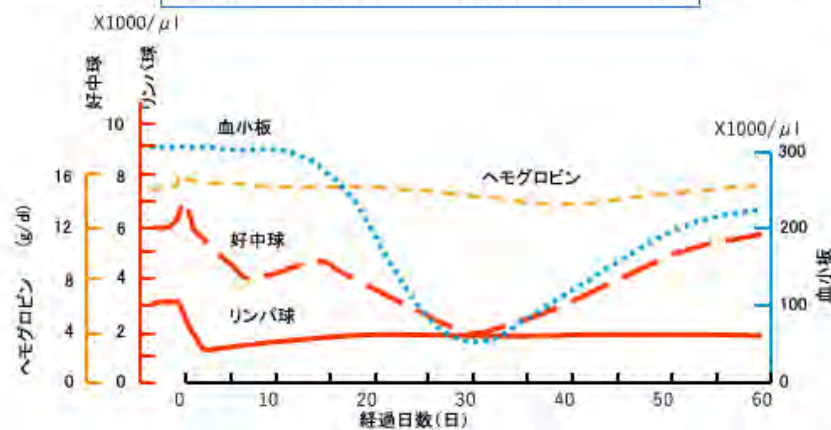


物質が吸収するエネルギーによる影響は、放射線の種類やエネルギーによって異なることが知られています。この放射線の種類やエネルギーによる影響の違い（放射線荷重係数）を考慮して、各組織・臓器への影響を評価した線量が等価線量です。各組織・臓器は、受けた等価線量が同じでも、その臓器により影響の現れ方（感受性）が異なります。各組織・臓器の等価線量にこの影響の現れ方の違い（組織荷重係数）を加味して全身について合計したものが実効線量です。

末梢血による外部被ばく線量評価

- ❖ 容易、低侵襲で確度の高い外部被ばく線量評価が可能
- ❖ 全身平均線量を評価できる
- ❖ 血算、不安定型染色体異常、安定型染色体異常、小核、遺伝子突然変異などを指標とする方法が考案されている

2Gy被ばくしたときの末梢血の変化例



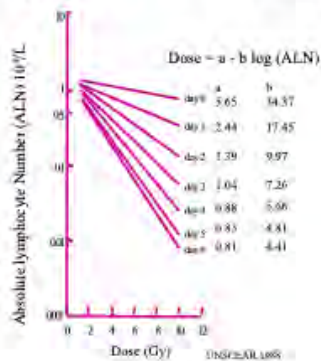
末梢血の血球による被ばく線量評価は、容易であり、侵襲の度合いの低い被ばく線量評価となります。これは、全身の平均線量を評価できます。血球数の推移による評価や染色体異常の分析による線量評価があります。2 Gyの被ばくをした場合の末梢血の血球数の推移を図に示しています。

出典：HÜBNER, K.F., FRY, S.A. (Eds), The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (Proc.REAC/TS International Conference Oak Ridge, 1979), Elsevier, Amsterdam and New York (1980).

血球数による線量推定

| | ARSでの血球数と被ばく線量 | | | | |
|--|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| | 1 - 2 Gy | 2 - 4 Gy | 4 - 6 Gy | 6 - 8 Gy | > 8 Gy |
| リンパ球数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$) (被ばく後3～6日) | 0.8 - 1.5 | 0.5 - 0.8 | 0.3 - 0.5 | 0.1 - 0.3 | 0.0 - 0.1 |
| 好中球数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$) | > 2.0 | 1.5 - 2.0 | 1.0 - 1.5 | ≤ 0.5 | ≤ 0.1 |
| 血小板数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$) | 60 - 100 10 - 25 % | 30 - 60 25 - 40 % | 25 - 35 40 - 80 % | 15 - 25 60 - 80 % | < 20 80 - 100 % |

50 Gyを超えるような非常に高線量被ばくした場合には、血球減少の前に死亡する



- ❖ 高線量被ばくが疑われる場合は、4～8時間毎に末梢血のリンパ球数を評価する。
- ❖ 血球数の減少の程度により、被ばく線量が推定される。

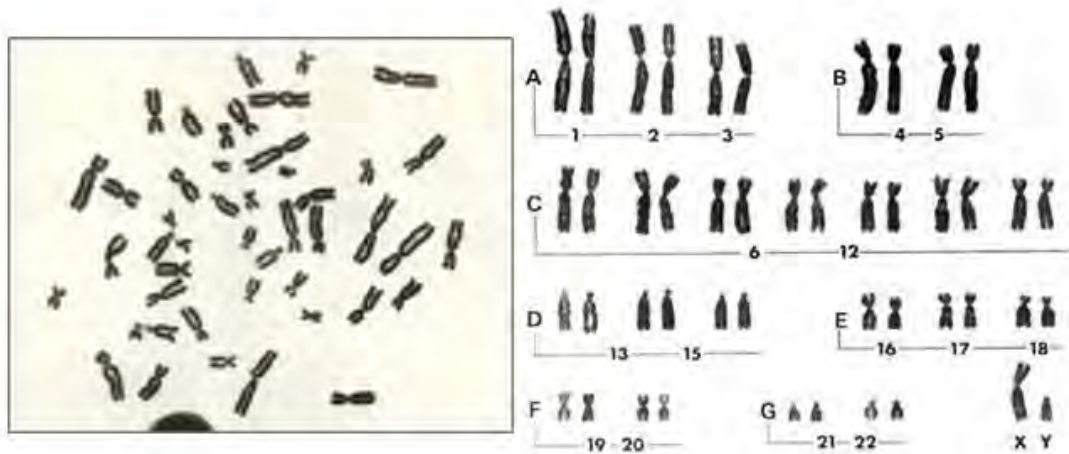
血球数の推移による線量推定の目安を表に示しています。高線量被ばくが疑われる場合は、4～8時間ごとに末梢リンパ球数を評価し、その推移によって被ばく線量を推定します。

50Gyを超える被ばくは、血球減少が出現する前に死亡してしまいます。

出典；IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より改変

ヒト染色体

- ❖ 染色体はヒトの設計図(遺伝情報)の担体である。
- ❖ 常染色体 44本と性染色体2本がある

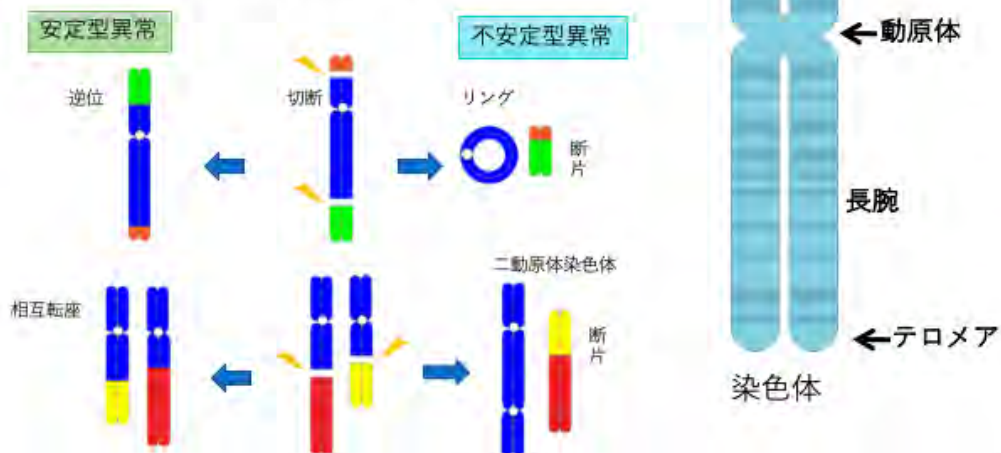


DNAはヌクレオチドという分子が長く繋がった糸状の分子で、そのほとんどが細胞の核の中にあります。DNAは核の中では、ヒストンというタンパク質に巻きついた形で存在し、これをクロマチン構造と言います。クロマチンが最大限に凝縮されたものがM期に見られる中期染色体です。

人の体細胞には、44本の常染色体と2本の性染色体があります。常染色体は第1番から第22番までの染色体が2本ずつあります。中期染色体は、動原体を挟んで両手両足を開いたような形をしています。

染色体解析による外部被ばく線量評価

- ◆ 末梢血リンパ球に起こる不安定型染色体異常を指標とする
 - ◇ スライドガラス上に染色体を展開し、染色して顕微鏡観察する
 - ◆ 二動原体染色体頻度；異常な染色体（二動原体染色体）の数を数える
 - ◆ PCC法
 - ◆ 染色体分染法（FISH法、M-FISH法）
- ◆ 外部被ばくの全身被ばく線量を最も正確に検出することができる
- ◆ 線量評価に採血から3日間程度の時間が必要



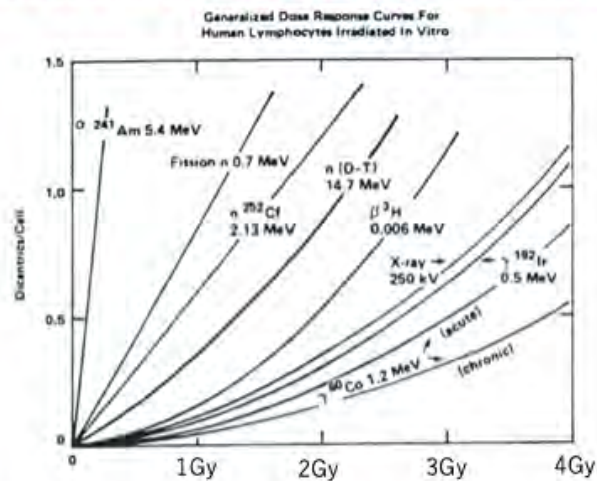
放射線により被ばくすると染色体異常が起こります。放射線によって染色体が切断され、切断面同士が再度接着するときに、染色体異常が起こります。染色体異常の頻度と線量との関係が分かっていると、染色体異常の頻度から被ばく線量を推定することができます。

二動原体染色体や環状染色体のように、細胞分裂を起こすと細胞が死んでしまうような異常を不安定型異常といい、転座や逆位のように生存への影響の少ない異常を安定型異常と言います。不安定型異常は被ばくからの年月に応じて減少しますが、安定型異常は失われずに残ります。

末梢血リンパ球をフィトヘマグルチニン（PHA）という薬剤で処理すると、細胞分裂を人為的に誘発でき、染色体構造を顕微鏡で観察することができるようになります。染色体異常の検出方法には、二動原体染色体頻度によるもの、PCC法、FISH法やM-FISH法といった染色体分染法があります。この染色体異常からの線量評価は、外部被ばくの全身被ばく線量を最も正確に検出することができます。末梢血リンパ球の培養の時間が必要なため、線量評価には採血から3日間程度の時間が必要となります。

染色体解析による外部被ばく線量評価

染色体異常頻度と線量には数理的な関係がある



線質の異なる放射線による二動原体染色体出現頻度

R. J. Dufrain et al., 1980 より抜粋

予め細胞のin vitro照射実験で検量線を作製しておけば、放射線被ばくを受けた人の染色体異常頻度から線量評価ができる。

染色体異常と線量には、数理的な関係があります。あらかじめ照射実験で検量線を作成しておけば、放射線被ばくでの染色体異常頻度から線量評価ができます。

また、二動原体染色体の出現頻度は、放射線の線質によっても異なります。LETが高くなると染色体上の誘発率は増加します。

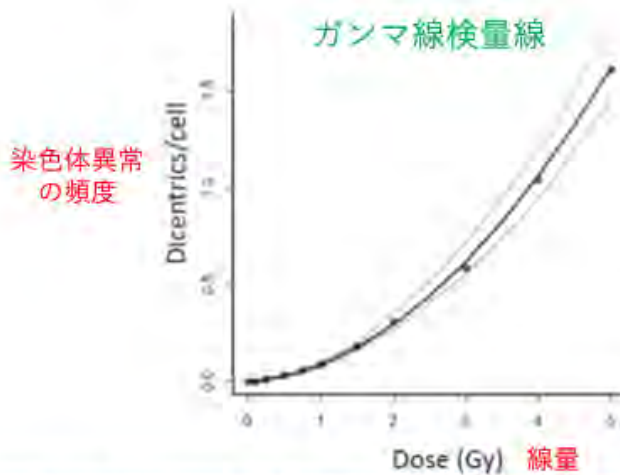
染色体分析による線量評価の流れ



染色体分析用の採血後、リンパ球を分離し、48時間培養します。その後、細胞を回収し、標本を作成します。顕微鏡画像解析システムによる染色体分析を行い、異常の頻度に基づく線量評価を実施します。この手順は、国際標準の手順があります。染色の手法としては、ギムザ染色、蛍光in situハイブリダイゼーション (fluorescent *in situ* hybridization; FISH) がある。

検量線

福島原発事故で線量評価に使用した検量線



$$Y = (0.00015 \pm 0.00017) + (0.0302 \pm 0.0044) \times D + (0.0588 \pm 0.0028) \times D^2$$

Y: 染色体異常の頻度, D: 線量 (Gy); p value of goodness of fit test : $p = 0.73$.

あらかじめ作成した検量線に、測定データを当てはめて被ばく線量を推定します。また、線質により同じ線量でも誘発される突然頻度は異なります。そのため放射線の種類によって検量線を使い分ける場合と、ガンマ線相当に換算して評価する場合があります。

出典；Y. Suto et al., Health Phys. (2013)

染色体分析の試料採取

- ❖ 染色体分析のための血液サンプルを確保する。
- ❖ 採血量：ヘパリン採血で10ml、最低3ml。（シリンジでも採血管でも良い、採血後十分に混合する）
- ❖ 採血時期：事故後24時間以降から4週間（1ヶ月）以内
 - ◇ ただし、高線量被ばくが予想される場合、血液中のリンパ球数の変化を見ながら激減するようであれば直ちに線量評価用の血液を確保する
 - ◇ 輸血などの措置が必要とされる場合は、輸血前に採血する
 - ◇ 採取した血液はただちに輸送できない場合、冷蔵（～室温）保存（凍結させない）
- ❖ 被ばく歴等の確認；線量評価の結果に影響を与えるため、次の項目を確認する。
 - ◇ 生年月日（年齢）
 - ◇ 性別
 - ◇ 医療被ばくの有無（放射線治療、X線検査、IVR検査・治療、核医学検査・治療）
 - ◇ 既往歴
 - ◇ 服薬歴
 - ◇ 飲酒歴
 - ◇ 過去15年間のX線検査歴
 - ◇ 放射線関連作業従事歴

染色体分析に用いる血液サンプルは、ヘパリン採血管を使用します。採血量は10ml（最低3ml）です。採血時期は、被ばく後24時間以降から4週間以内です。被ばくから24時間経過すると、リンパ球が全身に均等に分布するため、正確な評価ができるようになります。ただし、高線量被ばくでリンパ球数が24時間以内に激減するようであれば、直ちに線量評価用の血液サンプルを確保します。また、輸血をする場合は、輸血の前に血液サンプルを採取します。輸血用の血液製剤は、放射線照射をしているため、正確な評価ができなくなるためです。

採取した血液サンプルを保存する場合は、凍結させずに冷蔵保存します。

また、線量評価の結果に影響を与える因子として年齢、性別、被ばく歴、既往歴、服薬歴、飲酒歴などを確認します。

ARS 前駆症状と被ばく線量

| | 1~2Gy | 2~4Gy | 4~6Gy | 6~8Gy | >8Gy |
|----|----------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| 嘔吐 | 10-50% 2h以降 | 70-90% 1-2h | 100% 1h以内 | 100% 30min以内 | 100% 10min以内 |
| 下痢 | (-) | (-) | 中等度 <10% 3~8h | 重度 >10% 1~3h | 重度 100% 1h以内 |
| 頭痛 | 軽度 | 軽度 | 中等度 50% 4~24h | 重度 80% 3~4h | 重度 80~90% 1~2h |
| 意識 | 正常 | 正常 | 正常 | 混濁例あり | 喪失 (50Gy 1) |
| 体温 | 正常 | 微熱 | 発熱 | 高熱 | 高熱 |

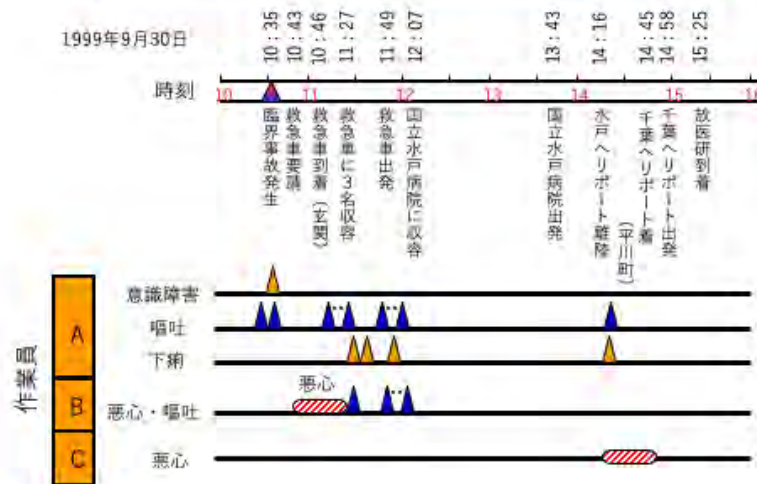
臨床症状からの被ばく線量の推定としては、急性放射線症(ARS)の前駆症状の重篤度と発症時期による推定があります。

前駆症状の発現時期が早ければ早いほど、また症状が重篤であるほど、被ばく線量は高いことが推定されます。これは、医療機関で被ばく患者を受け入れた際に、大まかな状態と高線量被ばくの可能性を推定する際に役立ちます。

出典；IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より改変

嘔吐と推定被ばく線量

| 被ばくからの時間 | 推定被ばく線量(Gy) |
|------------|-------------|
| < 30 分 | > 6 |
| 0.5 - 1 時間 | 4 - 6 |
| 1 - 2 時間 | 2 - 4 |
| 2 - 3 時間 | 1 - 4 |
| 症状なし | < 1 |



前駆症状の中でも嘔吐は最も現れやすい症状です。

被ばく線量が高いほど嘔吐が出現する時期は、早くなります。被ばくから30分以内の嘔吐であれば、6Gy以上の被ばく線量が疑われます。2～3時間での嘔吐は1～4 Gy程度の被ばくが疑われます。4時間以上経過しても嘔吐の症状がなければ、高線量の被ばくの可能性は低くなります。

出典；International Atomic Energy Agency, Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries. Safety Report Series No.2. Vienna, 1998.

International Atomic Energy Agency, Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency. Vienna, 2005.

個人線量計による実効線量及び等価線量の算定方法

| 被ばく状況 | 評価項目 | 算定方法 | |
|--------|------|--|---|
| 均等被ばく | 実効線量 | 胸腹部に装着した個人線量計から評価した1cm線量当量 | |
| | 等価線量 | 皮膚 | 体幹部に装着した個人線量計から評価した70 μ m線量当量（等価と見なせる場合は1cm線量当量でもよい） |
| | | 眼の水晶体 | 体幹部に装着した個人線量計から評価した70 μ m線量当量または1cm線量当量のうちどちらか大きい方（等価と見なせる場合は1cm線量当量でもよい） |
| | | 妊娠を申告した女子の腹部表面 | 腹部に装着した個人線量計から評価した1cm線量当量 |
| 不均等被ばく | 実効線量 | 頭頸部、胸部及び上腕部、腹部及び大腿部、その他の部位に必要な応じて個人線量計を装着し、それらから得られる1cm線量当量の加重平均値を実効線量と見なす | |

個人線量計による実効線量と等価線量の算定方法を示しています。

線量推定

- ❖ 諸条件（核種、放射能など）から被ばく線量を計算し、線量を推定する

線源で全身被ばく 線源で局所被ばく




放射線緊急事態時の評価

核種や放射能などの諸条件から被ばく線量を計算して被ばく線量を推定する方法もあります。

外部被ばく線量の計算

作業者が誤って ^{137}Cs 線源 (37TBq) から1.5m離れた場所で約10分間の照射を受けたことが判明した。この作業者が受けた外部被ばく線量を計算せよ

$\Gamma = 0.0779 (\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1})$ for ^{137}Cs

$$E = \frac{A \times \Gamma \times t}{d^2} = \frac{3.7 \times 10^7 \times 0.0779 \times 1/6}{1.5^2} = 2.1 \times 10^5 (\mu\text{Sv}) = 210 (\text{mSv})$$


実効線量率定数は、放射能(Ba)から被ばく線量(Sv)を算出するのに必要な定数で、核種毎に値が異なり、アイソトープ手帳の放射線同位元素表で確認する必要があります。この際、m、 μ 、M等の桁に注意して計算します。

ある線源からの外部被ばく線量を計算するには、線源の大きさ (放射能; Bq)、線源からの距離 (m)、被ばくした時間 (h)、核種の実効線量率($\mu\text{Sv m}^2 \text{MBq}^{-1} \text{h}^{-1}$)が必要となります。

例えば、Cs-137線源(37TBq = $37 \times 10^6 \text{MBq}$)から1.5m離れた場所で約10分間照射を受けた場合の被ばく線量は、上記の式となり、210mSvとなります。

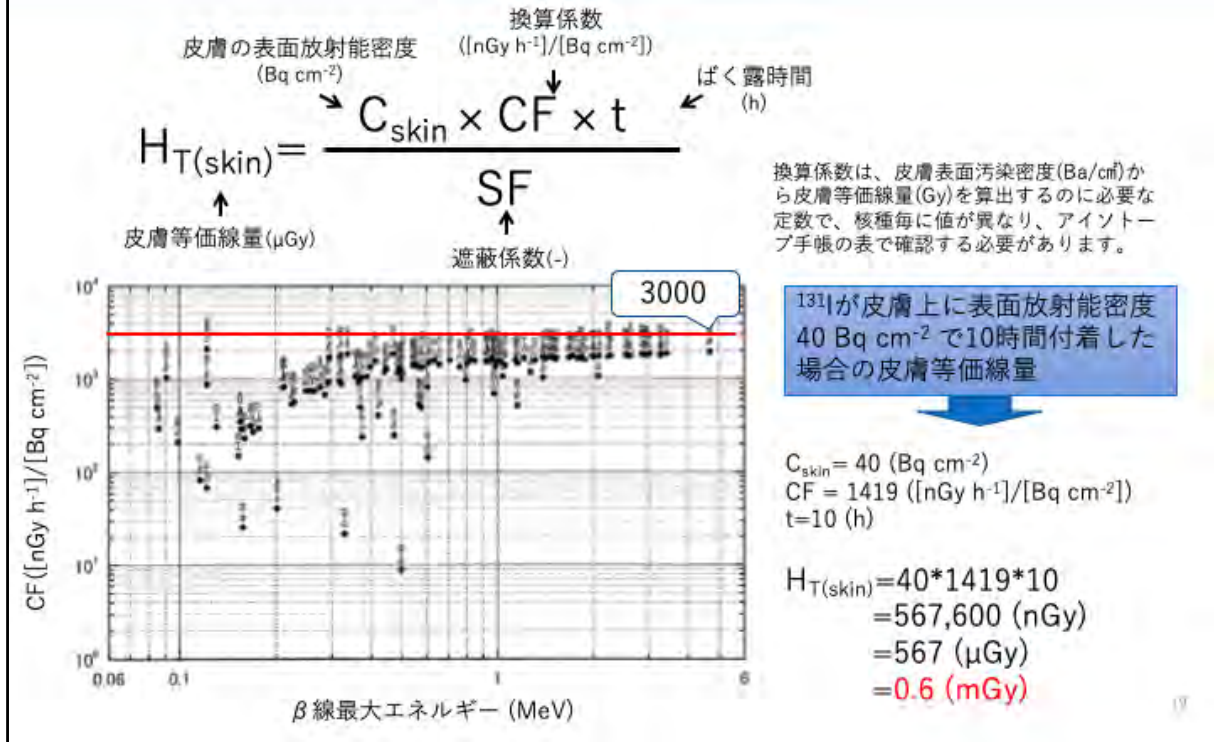
外部被ばく線量率定数

| 放射性核種 | 半減期 | γ線エネルギー (MeV) - 放出率 | 1MBq, 1mでの 実効線量率($\mu\text{Sv h}^{-1}$) | 1MBq, 1mでの 周辺線量当量率($\mu\text{Sv h}^{-1}$) |
|---------------------------|--------|------------------------|--|--|
| ^{24}Na | 2.609y | 1.275 - 99.9% | 0.284 | 0.333 |
| ^{54}Mn | 312.1d | 0.835 - 100% | 0.111 | 0.13 |
| ^{59}Fe | 44.5d | 1.099 - 56.5% | 0.147 | 0.171 |
| | | 1.292 - 43.3% | | |
| ^{60}Co | 5.271y | 1.173 - 100% | 0.305 | 0.354 |
| | | 1.333 - 100% | | |
| ^{85}Sr | 64.84d | 0.514 - 96.0% | 0.0697 | 0.0826 |
| $^{110\text{m}}\text{Ag}$ | 249.8d | 0.658 - 94.0% | 0.354 | 0.416 |
| | | 0.885 - 72.2% | | |
| | | 0.937 - 34.1% | | |
| | | 1.384 - 24.1% | | |
| ^{137}Cs | 30.04y | 0.662 - 85.1% | 0.0779 | 0.0927 |
| ^{192}Ir | 73.83d | 0.296 - 28.7% | 0.117 | 0.139 |
| | | 0.308 - 30.0% | | |
| | | 0.317 - 82.7% | | |
| | | 0.468 - 47.8% | | |
| ^{241}Am | 432.2y | 0.0595 - 35.9% | 0.00395 | 0.0529 |

核種ごとに実効線量率が異なります。その代表的な各種の実効線量率を示しています。

出典：アイソトープ手帳第10版

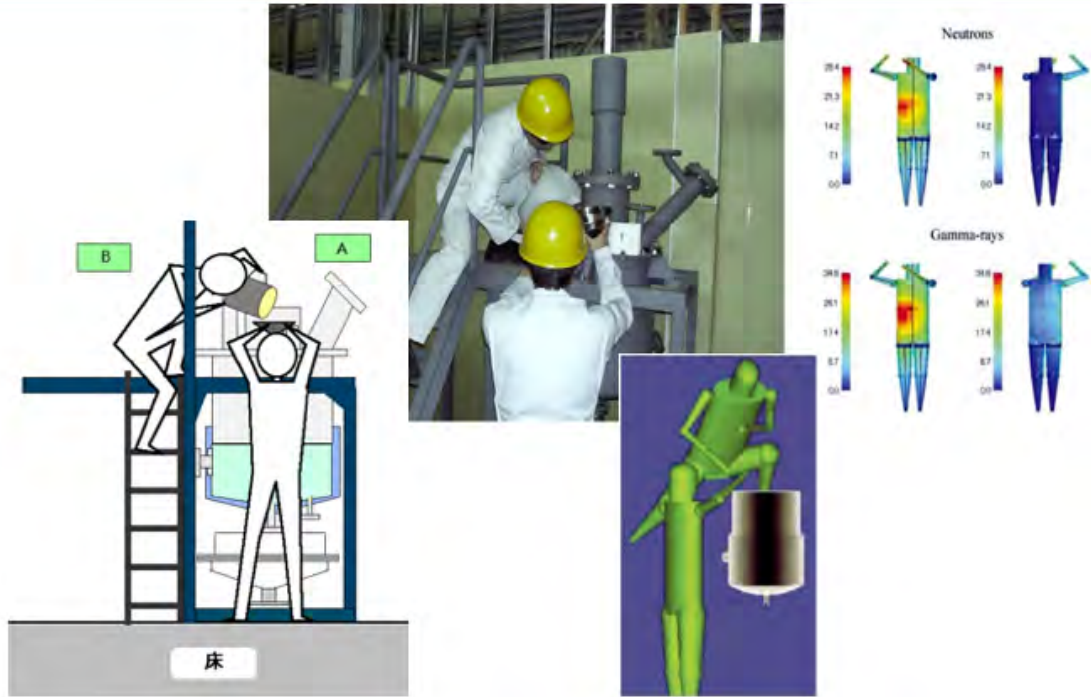
皮膚線量の計算



表面汚染から受ける皮膚の被ばく線量（皮膚等価線量）は、表面密度 (Bq/cm²)、換算係数([nGy h⁻¹]/[Bq cm⁻²])、被ばく時間(h)、遮蔽係数から計算します。

I-131が皮膚上に表面密度40Bq/cm²で10時間付着した場合の皮膚等価線量は0.6mGyとなります。

再構築



20

事故時の状況を再現し、状況と実測結果から被ばく線量を推定します。

内部被ばくの特異性

- ❖ 体内の放射性核種からの被ばく線量が急性障害を引き起こすことはまれ → 全身の症状としては出現しない、鼻腔スワブ等での確認
- ❖ 放射性物質が体内から消失するまで被ばくが続く。
- ❖ 晩発性の健康影響として、放射線誘発がんの危険性の増加がある。
- ❖ 被ばく線量は直接測定できない。
 - ◇ 計測法、分析法、体内挙動の評価モデルなどを用いて線量を評価
 - ◇ 元素の種類によって体内での分布が異なる
 - ◇ α 核種の内部被ばくが特に問題
 - ◇ 線量評価には**摂取量の推定**が必要
 - ◇ 摂取量の推定にはシナリオ（放射性物質の摂取時期、摂取経路、性状などの条件）が必要



内部被ばくとは、放射性物質が体内に入り、被ばくする事です。内部被ばくでは、急性障害が起きることは極めて稀で、全身被ばくの症状は出現しません。身体所見から内部被ばくを診断することはできませんが、鼻腔や口腔粘膜のスワブ（ぬぐいとり試料）に付着した放射性物質を検出することで内部被ばくの可能性を評価できます。

しかし、放射性物質が体内から消失するまで被ばくが続き、低線量率の被ばくとなります。健康影響としては、晩発性の影響で、放射線誘発がんの危険性が増加します。

この内部被ばくの線量は直接測定することはできません。そこで、計測法、分析法、体内挙動の評価モデルなどを用いて、線量を評価します。また、体内に入った放射性物質は、核種によって体内での分布が異なります。内部被ばくの線量評価には、最初に取り込んだ放射性物質の量（摂取量）の推定が必要です。この推定には、放射性物質の摂取時期、摂取経路、性状などのシナリオの条件が必要です。

内部被ばく線量評価の方法

個人モニタリング

体外計測法： 残留量 ÷ 残留割合 = 摂取量

バイオアッセイ法 排泄量 ÷ 排泄割合 = 摂取量

摂取量
(Bq)

×

線量係数
(Sv/Bq)

=

実効線量
(Sv)



後で説明

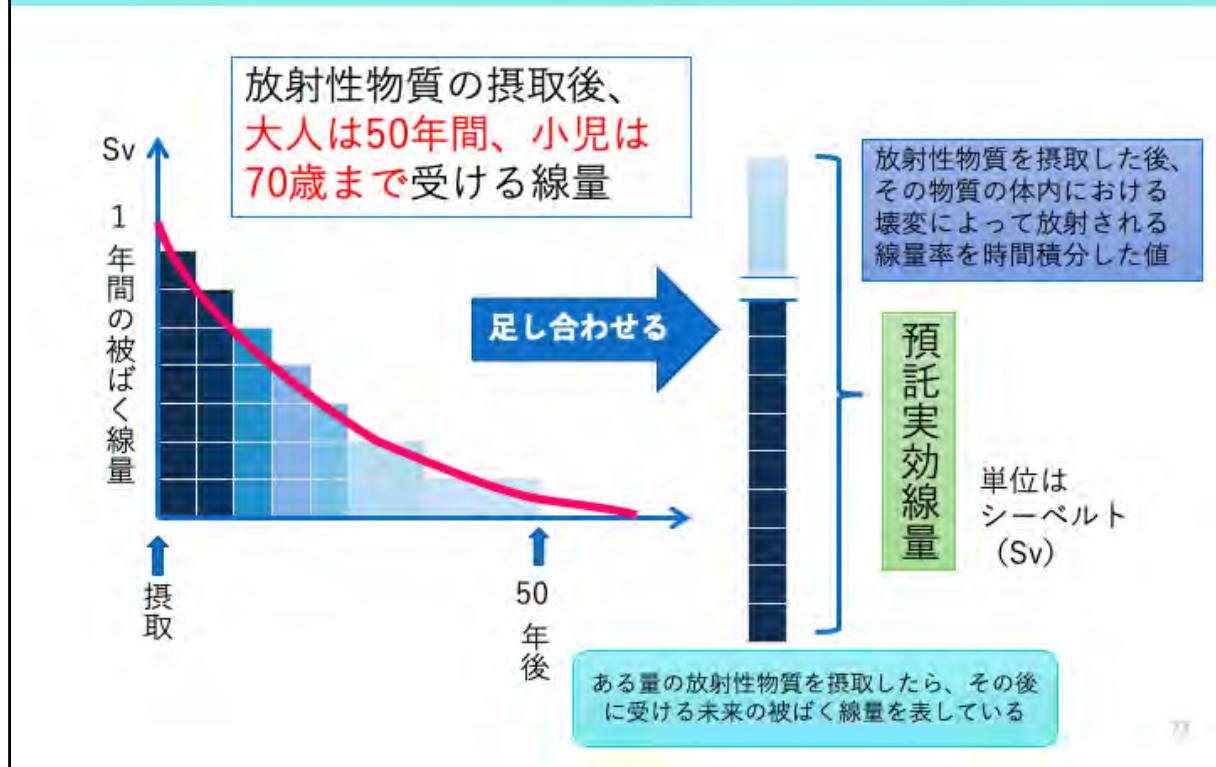
環境モニタリング

空気中濃度 × 呼吸量 = 摂取量 (土壌中濃度 × 再浮遊係数 × 呼吸量 = 摂取量)

飲食物中濃度 × 食べた量 = 摂取量 (土壌中濃度 × 飲食物への移行係数 × 食べた量 = 摂取量)

内部被ばく線量評価のために、まず摂取量を推定する必要があります。これには、個人モニタリングである体外計測法とバイオアッセイ法があり、環境モニタリングである空気中濃度と呼吸量からの推定、飲食物中濃度と食べた量からの推定といった方法があります。

内部被ばくの線量（預託実効線量）



内部被ばくでは、体内の放射性物質が消失するまで被ばくが持続します。そこで、内部被ばく線量評価は、放射性物質を摂取した後、体内で放射される線量率を時間積分した値で表します。成人では、摂取後50年間を積算し、小児では、70歳までの線量を積算します。これが預託実効線量(Sv)となります。外部被ばくの線量は、すでに被ばくしてしまった値を示しますが、内部被ばくの線量は、その後に受ける将来の被ばく線量を表しています。

体外計測法とバイオアッセイ法

| 比較項目 | 体外計測法 | バイオアッセイ法 |
|---------|------------------------------|-------------------------------------|
| 対象核種 | ガンマ線放出核種 | アルファ線放出核種 ベータ線放出核種 (ガンマ線放出核種) |
| 測定対象 | 全身または局所 | 尿、便など |
| 装置 | ホールボディカウンタ 甲状腺モニタ 肺モニタ | 前処理装置 化学分析装置 放射能測定装置 |
| 利点 | 体内放射能の直接測定 | 試料入手により遠隔地でも測定可能 |
| 弱点 | 核種が限定される | 試料採取、化学分析操作に時間を要する |
| 結果が示すもの | 測定時点の体内残留量 | 測定時点の排泄量 |

内部被ばくの線量評価に必要である摂取量の推定には、体外計測法による残留量からの評価と、バイオアッセイ法による排泄量からの評価の方法があります。

体外計測法は、ガンマ線放出核種を対象としますが、バイオアッセイ法はアルファ線放出核種、ベータ線放出核種も対象となります。

体外計測法は、ホールボディカウンターで全身の計測をしたり、甲状腺モニターや肺モニターで局所を計測します。計測の結果は、測定時点での体内の残留量となります。

バイオアッセイ法は、尿や便の中の放射性物質を計測するため、前処理、化学分析が必要で、時間を要します。この結果は、尿中あるいは便中の排泄量となります。

体外計測法

- ❖ 体外に出てくる γ 線を体外に配置した放射線測定器で検出
 - ◇ ^{137}Cs の662keVの全吸収ピーク効率：1%程度



体内からの放射線も
体外からの放射線も
区別なく検出してし
まうため、体表面汚
染を必ず確認する。

25

体外計測法は、体内の放射性物質から放出されるガンマ線を検知して、測定しています。この時、体表面に汚染が付着していると、体内からのガンマ線なのか、体外のガンマ線なのか区別できず、正確な線量評価ができなくなります。そのため、体外計測の前には、必ず体表面汚染の有無を確認します。

バイオアッセイ法

アクチニド核種の場合

前処理

(2日程度)



核種分離

(1日程度)



試料作成

(半日程度)



放射能定量

(1日程度)



灰化



蒸発濃縮



共沈



共沈



イオン交換



電着



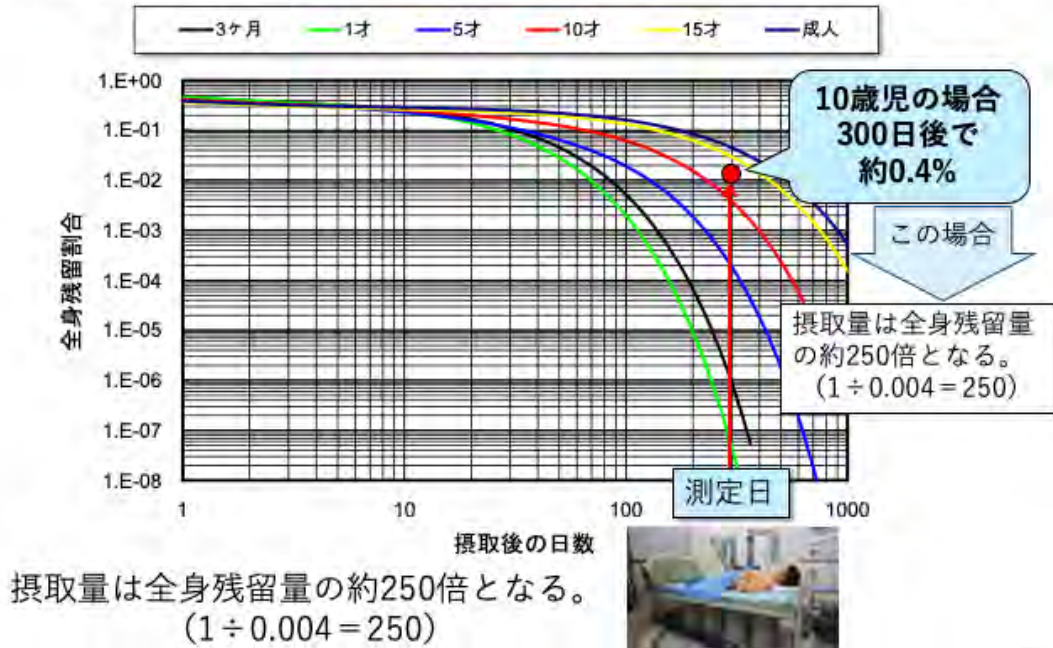
放射能測定 (Si)

26

バイオアッセイの手順を示しています。まず、前処理で便の場合は灰化し、尿の場合は、蒸発濃縮します。それを共沈作用、イオン交換によって核種分離します。その後、プレートに電着し、測定器で放射能測定を実施します。

放射性核種の残留割合

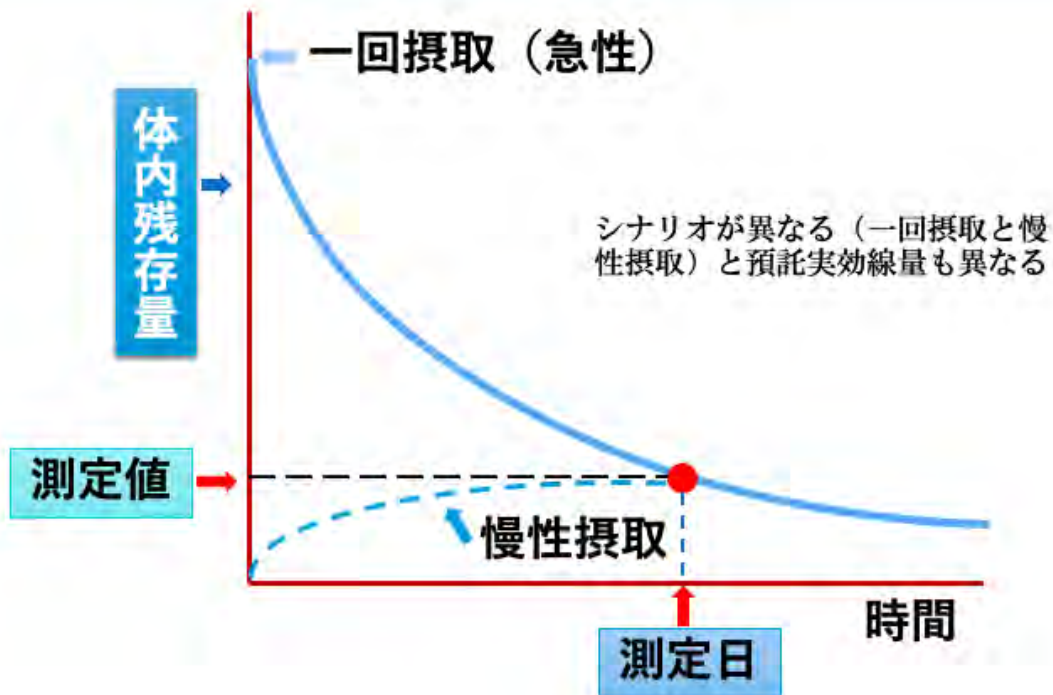
^{137}Cs の急性摂取での全身残留割合（吸入摂取，タイプF，粒径 $1\ \mu\text{m}$ ）



Cs-137 を1回の急性摂取した場合の全身残留割合を示しています。体外計測法での測定結果から摂取量を評価する場合、測定日と測定結果から、体内の残留割合を用いて、最初の摂取量を求めることができます。例えば、10歳児の Cs-137 の摂取から300日後の体内の残留割合は約0.4%です。そのため、最初の摂取量は、全身残留量の約250倍となります。

バイオアッセイ法の場合は、摂取からの時間経過によって体内からの排泄割合が変化します。バイオアッセイ法では、得られた結果と測定時点での排泄割合から最初の摂取量を評価します。

WBCの計測値



また、WBCの測定結果が同じであっても、急性の1回摂取の場合と、少量を継続して摂取する慢性摂取のシナリオでは、預託実効線量は異なります。そのため、被ばく線量評価の推定には、摂取のシナリオ（急性なのか、慢性なのか）も重要です。

内部被ばく線量の算出

- ❖ 実効線量係数とは、摂取した放射性物質の量と被ばく線量の間係を表す係数（単位は Sv/Bq）
- ❖ 1 Bqの摂取による預託実効線量（Sv/Bq）
（1 Bqとは1秒間に1個の原子が壊変すること）
- ❖ **預託実効線量 = 実効線量係数 × 摂取量**
 - ◇ 吸入・経口摂取により異なる
 - ◇ 核種、化学的形態、物理的形態により異なる

ある原子力発電所の定期点検作業中に作業者が⁶⁰Coを含むダストを吸入したおそれのある事象が発生した。事故翌日のWBC測定によって1MBqの残留量が全身にあることが確認された。この作業者の摂取量及び実効線量を評価する。

$$\begin{aligned} \text{摂取量} &= \text{残留量} \div \text{残留率} \\ &= 1\text{E}+06 \div 0.49 = 2.04\text{E}+06 \\ &= 2.04\text{MBq} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{預託実効線量} &= \text{摂取量} \times \text{実効線量係数} \\ &= 2.04\text{E}+06 \times 1.7\text{E}-08 \\ &= 0.0347\text{Sv} \\ &= 34.7\text{mSv} \end{aligned}$$



実効線量係数とは、摂取した放射性物質の量と被ばく線量の間係を表す係数です。同じ核種でも吸入摂取か、経口摂取かにより異なり、核種の化学的形態、物理的形態によっても異なります。

例えば、作業者がCo-60を吸入した場合、WBC測定で1MBqの残留量があると確認された場合、残留率は0.49、実効線量係数は 1.7×10^{-8} であり、計算すると34.7mSvとなります。

内部被ばく線量評価の一例

The screenshot shows the MONDAL Ver. 3.01 (Japanese) interface. The main window is titled 'MONDAL Ver. 3.01 [日本語]' and contains several sections for data entry and calculation results.

核種 / 計算対象と摂取ルート
核種: Co-60 | 5.27 年 | γ (1.17MeV)100%, γ (1.33MeV)100%

摂取パターン
 作業による吸入摂取 | 公衆による吸入摂取
 作業による経口摂取 | 公衆による経口摂取

AMAD・粒径 / タイプ・f1
AMAD: 5 ミクロン(デフォルト)
吸収のタイプ: タイプS
融化物、水酸化物、ハロゲン化物、硝酸塩

測定データ
計測量: 全身残留量 | グラフ
摂取終了後: 1 日後に測定/採取
放射能: 1000000 Bq

計算結果
測定した日の残留割合: 4.90E-01 Bq/Bq
摂取量: 2.0E+06 Bq
実効線量: 3.5E-02 Sv

Buttons: 終了, F4-印刷, 結果印刷, ファイルに保存, 補償等価線量

A callout box points to the '実効線量' (Effective Dose) result, displaying **35mSv**.

前述の作業者のCo-60の吸入について、MONDAL 3に測定結果と必要な条件（核種、作業者の吸入摂取、粒径、吸収のタイプ、計測量、放射能）を入力すると同様の結果が得られます。

内部被ばく線量評価の一例

他の粒径と吸収タイプの条件での線量評価結果

| 条件 | f_1 | $e(50)$ Sv/Bq | 全身残留率 (摂取1日後) | 摂取量 Bq | 実効線量 mSv |
|-----------------|-------|---------------|------------------|-----------|----------------|
| タイプS, 5 μ m | 0.05 | 1.7E-08 | 0.490 | 2.0E+06 | 35 |
| タイプS, 1 μ m | 0.05 | 2.9E-08 | 0.346 | 2.9E+06 | 84 |
| タイプM, 5 μ m | 0.1 | 7.1E-09 | 0.485 | 2.1E+06 | 15 5.6倍 |
| タイプM, 1 μ m | 0.1 | 9.6E-09 | 0.340 | 2.9E+06 | 28 |

この数値の違いが計算結果の違いとなる。
この係数の違いは、吸入した放射性物質の化学的形態の違いによる体内における吸収速度の違いと、粒径の違いによる。

現場の情報が重要!!

化学形態、粒径

内部被ばく線量評価では、同じ核種でも粒径や吸収のタイプが異なると線量評価の結果も異なります。そのため、正確な被ばく線量評価には、現場からの情報が重要です。

まとめ

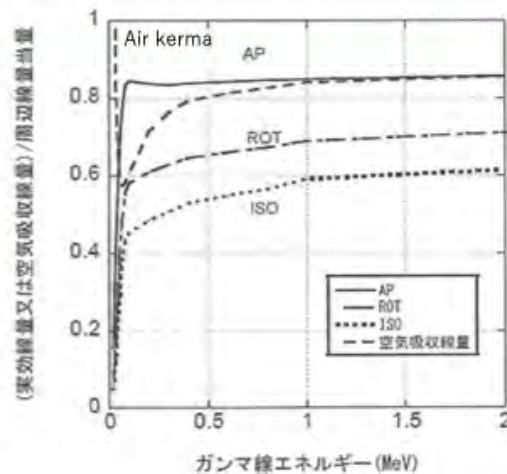
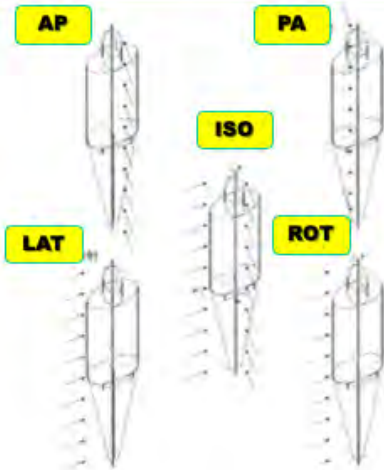
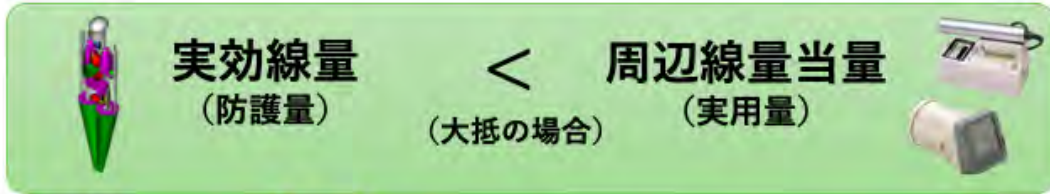
- ❖ 被ばく線量評価は、治療方針、予後の推定等に重要である。
- ❖ 被ばく線量評価は、治療方針・予後の推定等に必要であり、様々な方法を用いて実施し、総合的に判断する。
- ❖ 外部被ばく線量計算: $Bq \rightarrow Sv$ 実効線量率定数 [$\mu Sv m^2 MBq^{-1} h^{-1}$]
- ❖ 皮膚等価線量計算: $Bq/cm^2 \rightarrow Gy$ 換算係数 [$nGy h^{-1}/Bq cm^{-2}$]
- ❖ 内部被ばく線量計算: $Bq \rightarrow Sv$ 内部被ばく線量係数 [Sv/Bq]
- ❖ 急性摂取の残留割合(減衰率×排泄率)、慢性摂取のそれぞれのシナリオから摂取量を計算し、預託実効線量として評価

実効線量（当量）係数-作業者

| 核種 | Publication 68 | | | | | Publication 54 | | |
|-------------------|----------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------|----------------------|
| | タイプ | 吸入摂取 (Sv/Bq) | | | 経口摂取 (Sv/Bq) | | 吸入摂取 (Sv/Bq) | |
| | | f_1 | 粒径1 μm | 粒径5 μm | f_1 | | クラス | 粒径1 μm |
| ⁶⁰ Co | M | 0.1 | 9.6×10^{-9} | 7.1×10^{-9} | 0.1 | 3.4×10^{-9} | W | 8.0×10^{-9} |
| | S | 0.05 | 2.9×10^{-8} | 1.7×10^{-8} | 0.05 | 2.5×10^{-9} | Y | 4.1×10^{-8} |
| ¹⁰⁶ Ru | F | 0.05 | 8.0×10^{-9} | 9.8×10^{-9} | 0.05 | 7.0×10^{-9} | D | 1.5×10^{-8} |
| | M | 0.05 | 2.6×10^{-8} | 1.7×10^{-8} | - | - | W | 2.5×10^{-8} |
| | S | 0.05 | 6.2×10^{-8} | 3.5×10^{-8} | - | - | Y | 1.2×10^{-7} |
| ¹³¹ I | F | 1.0 | 7.6×10^{-9} | 1.1×10^{-8} | 1.0 | 2.2×10^{-8} | D | 8.8×10^{-9} |
| | V | 1.0 | 2.0×10^{-8} | | - | - | | |
| ¹³⁴ Cs | F | 1.0 | 6.8×10^{-9} | 9.6×10^{-9} | 1.0 | 1.9×10^{-8} | D | 1.3×10^{-8} |
| ¹³⁷ Cs | F | 1.0 | 4.8×10^{-9} | 6.7×10^{-9} | 1.0 | 1.3×10^{-8} | D | 8.7×10^{-9} |
| ²³⁸ U | F | 0.02 | 4.9×10^{-7} | 5.8×10^{-7} | 0.02 | 4.4×10^{-8} | D | 6.4×10^{-7} |
| | M | 0.02 | 2.6×10^{-6} | 1.6×10^{-6} | 0.002 | 7.6×10^{-9} | W | 1.7×10^{-6} |
| | S | 0.002 | 7.3×10^{-6} | 5.7×10^{-6} | - | - | Y | 3.2×10^{-5} |
| ²³⁹ Pu | M | 5×10^{-4} | 4.7×10^{-5} | 3.2×10^{-5} | 5×10^{-4} | 2.5×10^{-7} | W | 1.1×10^{-4} |
| | S | 1×10^{-5} | 1.5×10^{-5} | 8.3×10^{-6} | 1×10^{-5} | 9.0×10^{-9} | Y | 8.1×10^{-5} |
| | | | - | - | 1×10^{-4} | 5.3×10^{-8} | | |

作業者の実効線量係数を主な核種について示しています。
一般公衆の実効線量係数は作業者と異なります。

実効線量と周辺線量当量の関係（光子）



実効線量は、人体の臓器や組織の線量から計算される量で、測定器を使って直接測ることはできません。そこで、被ばく管理のために、実際に測定できる量（実用量）として、周辺線量当量と個人線量当量が用いられています。空間線量を測定するNaI(Tl)シンチレーションサーベイメーターや電離箱式サーベイメーターといった機器では、周辺線量当量を表示するように調整されています。

実効線量と周辺線量当量の比率は、核種の違い（放出されるガンマ線エネルギーの違い）や照射条件により異なりますが、成人の場合、実効線量は、概ね周辺線量当量の0.55倍～0.85倍程度になります。

出典；特集 放射線防護に用いられる線量概念，日本原子力学会誌（2013）

ホールボディカウンタの校正



既知量の放射性核種を封入した
ファントム

ピークカウント：C

放射能：A



計数効率： $C/A = \epsilon$



被検者

ピークカウント：C'



放射能： $A' = C' / \epsilon$



ホールボディカウンタの校正として、既知の量の放射性物質を封入したファントムを測定し、ピークカウントと放射能から係数効率を算出しておきます。被検者を実測したときに得られたピークカウントをこの係数効率で除すると体内に残留している放射能が得られます。

原子力災害時のメンタルヘルス

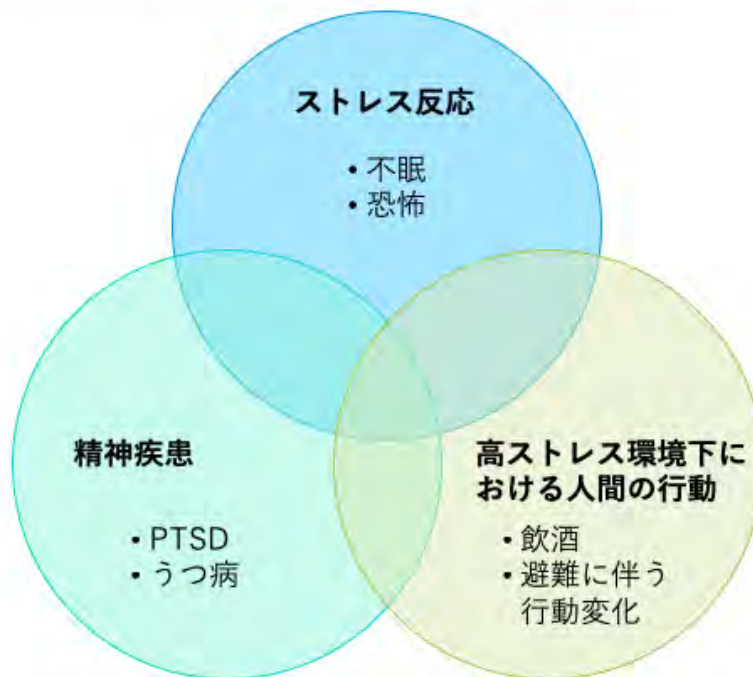
原子力災害 被ばく医療 専門研修
被ばく医療-5

時間；30分

内容

- 災害による心理的影響
- 災害後の心理状態の変化
- 災害に関連するストレス
- 心的外傷後ストレス障害（PTSD）
- 悲嘆反応
- 被災者の回復の二極化
- ハイリスクの被災者
- 災害支援者が被る災害ストレス
- 災害支援者のセルフケア
- 支援者の精神健康対策
- 原子力災害後の心理状態の変化
- 原子力災害の特徴
- スティグマ・差別・中傷
- 原子力災害時のメンタルヘルス対策

災害による心理的影響



アメリカ医学研究所は災害の心理的影響を分類する枠組みを策定し、その中で、行動の変化、ストレス反応、精神疾患の3つの大きなカテゴリーを設定しています。

行動の変化は、災害後に様々な人々の行動や生活において認められる変化を含んでいます。一般的に見られる行動変化として、退行的行動の再発や潜在的に先々問題を引き起こしうる行動をとることが挙げられます。飲酒量の増加や喫煙の再開などはその典型的な例です。

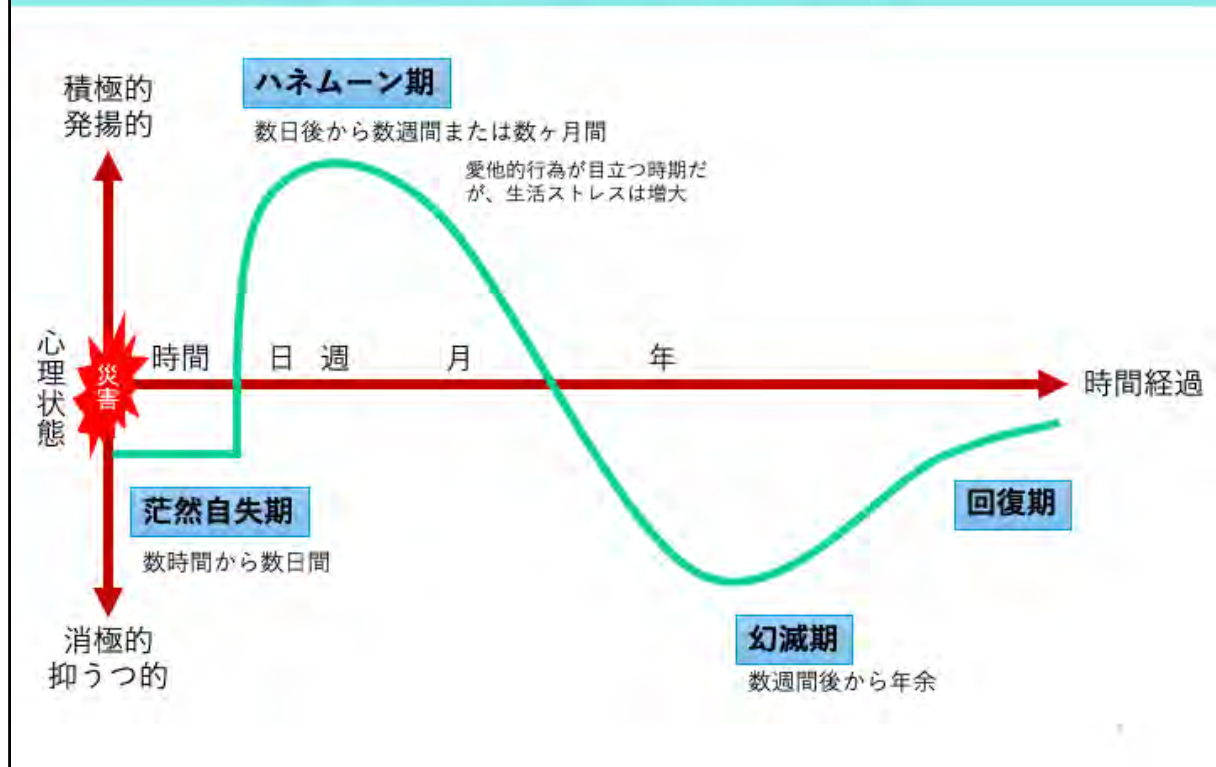
どのような体験に対してもストレス反応は生じます。その反応は異常もしくは不適応な反応であることもあれば、そうでないこともあります。これらの反応は認知、情動、身体の3つの側面に及びます。不眠は行動の変化とストレス反応のカテゴリーに重複して考えられます。認知の変化には、困惑や気が散ることも含まれます。情動的反応にもさまざまあり、典型的なものとして不安、恐怖、悲嘆、諦めなどがあります。共同体意識や精神性の高まりなどのポジティブな情動も生じ得ます。身体的原因が明らかに存在しない場合でも、被災者は頭痛や腹痛などの身体反応が生じることで医療的ケアを求めます。

多くの場合、行動の変化やストレス反応の程度や移り変わりの早さは時間とともに落ち着きます。しかし、このような改善が見られず、いろいろな問題が重なってくると、精神疾患を発症するに至ることもあります。最もよくみられる災害後の精神疾患として、心的外傷後ストレス障害（post-traumatic

stress disorder: PTSD)、うつ病、アルコール使用障害があげられます。PTSDとは、生命や身体に脅威を及ぼし、強い不安、恐怖、無力感をもたらすようなトラウマ体験によって出現する心の後遺症ともいえる症候群です。

出典：フレデリック・J・スタッダードJr.他（編）「災害精神医学」（星和書店 2015）

災害後の心理状態の変化



災害発生後の被災者の心理状態は3相性の段階を踏んで経過します。

茫然自失期は、発災から数時間から数日間であり、誰しもがショックを受け、茫然自失の状態になる時期です。気分は消極的、抑うつ的となります。

ハネムーン期は、発災数日後から数週間または数ヶ月間続きます。被災者が被害の回復に向かい、一丸となって、積極的な気分になります。しかし一見、元気に見えるが、生活ストレスは増大します。

幻滅期は、発災数週間後から年余にかけて続きます。この時期は、メディア等が災害を報じなくなり、被災地外の人々の関心が薄れることで、被災者は無力感や倦怠感にさいなまれるようになります。また、被災者の立ち直り（心理的および経済的生活再建）状況の個人差が拡大していき、災害時要支援者、要配慮者対策の重要性が増します。

その後、復旧が進み生活の目処がつき始めると、現状を受け入れ、気分が安定し、将来のことを考えられるようになります。

このように被災者の心理状態は時間経過とともに変化します。その変化して行くニーズを把握し、柔軟に対応する必要があります。

出典：岩井圭司（金吉晴 編）「心的トラウマの理解とケア 第2版」p66,
（株式会社じほう, 2006）より改変

CDC「Psychological first aid in radiological disasters」

災害に関連するストレス

心的トラウマ

- ◇ 災害の体験；地震の揺れや音、火災の炎や熱、爆発の音や熱風など
- ◇ 災害による被害；負傷、近親者の死傷、自宅の被害など
- ◇ 災害の目撃；死体、火災、家屋の倒壊、人々の混乱など

悲嘆、喪失、怒り、罪責

- ◇ 死別、負傷、家財の喪失などによる悲嘆
- ◇ 罪責；自分だけが生き残ったこと、適切に振る舞えなかったこと
- ◇ 周囲に対する怒り；援助の遅れ、情報の混乱など
- ◇ 過失による災害の場合の過失責任機関・責任者に対する怒り

社会・生活ストレス

- ◇ 避難、転宅；新しい居住環境でのストレス、集団生活など
- ◇ 日常生活の破綻；学校、仕事、地域生活、これまでの疾病への治療、乳幼児や高齢者・障害者のケアなど
- ◇ 新たな対人関係や情報の負担；情報の援助を受けるための対人接触、情報内容の処理
- ◇ 被災者として注目されることの負担；人目につくことのストレス、同情や好奇の対象になっているのではないかと不安など

心的トラウマは生命危機ストレスであり、災害の衝撃に直接起因するものであり、災害直後には急性ストレス反応や激しい興奮あるいは昏迷、幻覚妄想を主体とする一過性の反応性精神病状態を引き起こすことがあります。その発生率は、決して高くはないですが、医療的介入を要することがあります。また、生命危機ストレスの大きさは、その後のPTSDの発症にも影響します。

当初の茫然自失や気持ちの高ぶりが収まった後、深刻な喪失感、悲哀感を感じる場合があります。何か自分に落ち度があるように感じ、特に犠牲者が出た時には、自分だけが生き残ったことへの負い目の気持ち（サバイバーズ・ギルト）や自分が適切に対応できなかったことなどで自分を責める場合があります。また同時に自分がそのような運命に陥ったことへの憤り、援助者や周辺の者への怒りとなることもあります。

社会・生活ストレスは、新しい生活環境によるストレスで、災害後の不自由な生活状況に起因します。被災者の全般的健康を低下させます。具体的には、種々の心身の不調、不定愁訴、不眠、苛立ちなどが増加します。特に体育館などでの集団生活が長期化した場合には、プライバシーの確保、生活環境の整備、子供や高齢者、傷病者などへのケア、避難所での感染症対策などが問題となります。また、報道取材からの保護も重要な問題です。

出典；災害時地域精神保健医療活動ガイドライン

心的外傷後ストレス障害 (PTSD)

- ❖ Post-traumatic stress disorder; PTSD
- ❖ 診断基準DSM-5；トラウマ体験から1ヶ月後においても症状が持続し、苦痛、社会などへの機能の障害を起こしている
 - ◇ ト라우マ体験の定義；災害体験それ自体による衝撃
 - ◇ **侵入症状**
 - ◆ 単に「思い出す」ではなく、「頭の中に入り込んでくる」「目の前にありありと、その場面が再現される」「考えたくない、嫌なのに考えてしまう」
 - ◇ **持続的回避**
 - ◆ 災害についての、苦痛な記憶、思考、感情や、それらを引き起こすような人、場所、会話、行動、物、状況などを避けようとする
 - ◇ **認知と気分の陰性変化**
 - ◆ 災害の重要な側面を思い出せないことや、過剰に否定的な信念や予想が含まれる
 - ◆ 恐怖、戦慄、怒り、罪悪感、恥などの持続や、重要な活動への意欲低下、他者からの孤立感、疎外感などのネガティブな感情に支配され、幸福や満足、愛情を感じられないなど、うつ病と重複する症状も見られる
 - ◇ **覚醒と反応性の変化**
 - ◆ 攻撃性や苛立ち、激しい怒りや無謀あるいは自己破壊的な行動
 - ◆ 過度の警戒心や過剰な驚愕反応で、集中困難や睡眠障害も伴う
- ❖ 1ヶ月未満であれば急性ストレス障害 (ASD)

2013年に改定されたDSM-5（米国精神医学会による精神疾患診断基準マニュアル、Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders）より、PTSDの診断基準が示されています。症状が発症後1ヶ月以上経ってからも続いていることを確認します。これが1ヶ月未満であれば急性ストレス障害（ASD）という診断になります。自然災害においてはPTSDの発症率は10%前後とされています。

A項目は前提となる「トラウマ体験」の定義であり、PTSD症状としてはB項目「侵入症状」、C項目「持続的回避」、D項目「認知と気分の陰性変化」、E項目「覚醒と反応性の変化」の4つのカテゴリーに分けられています。

「侵入症状」は、PTSDを最も特徴付けている症状です。単に「思い出す」ではなく、「頭の中に入り込んでくる」「目の前にありありと、その場面が再現される」「考えたくない、嫌なのに考えてしまう」ということです。解離症状、フラッシュバック、悪夢などです。また、心的外傷的出来事の側面を象徴するまたはそれに類似する、内的または外的なきっかけに対する顕著な生理的反応（動悸など）があります。

「回避」は、災害についての、苦痛な記憶、思考、感情や、それらを引き起こすような人、場所、会話、行動、物、状況などを避けようとするということです。

「認知と気分の陰性変化」は、例えば自分がどのように逃げたか覚えていないといった災害の重要な側面を思い出せないことや、「私が悪い」「誰も

信用できない」「世界は徹底的に危険だ」などの過剰に否定的な信念や予想が含まれます。恐怖、戦慄、怒り、罪悪感、恥などの持続や、重要な活動への意欲低下、他者からの孤立感、疎外感などのネガティブな感情に支配され、幸福や満足、愛情を感じられないなど、うつ病と重複する症状も見られます。

「覚醒と反応性の変化」は、攻撃性や苛立ち、激しい怒りや無謀あるいは自己破壊的な行動といった形で現れます。過度の警戒心や過剰な驚愕反応（特に音に対する過敏性が強くなる）で、集中困難や睡眠障害も伴います。

出典；長純一（編）「大規模災害時医療」 4章復興期（慢性期）メンタルケア：PTSD、悲嘆反応など

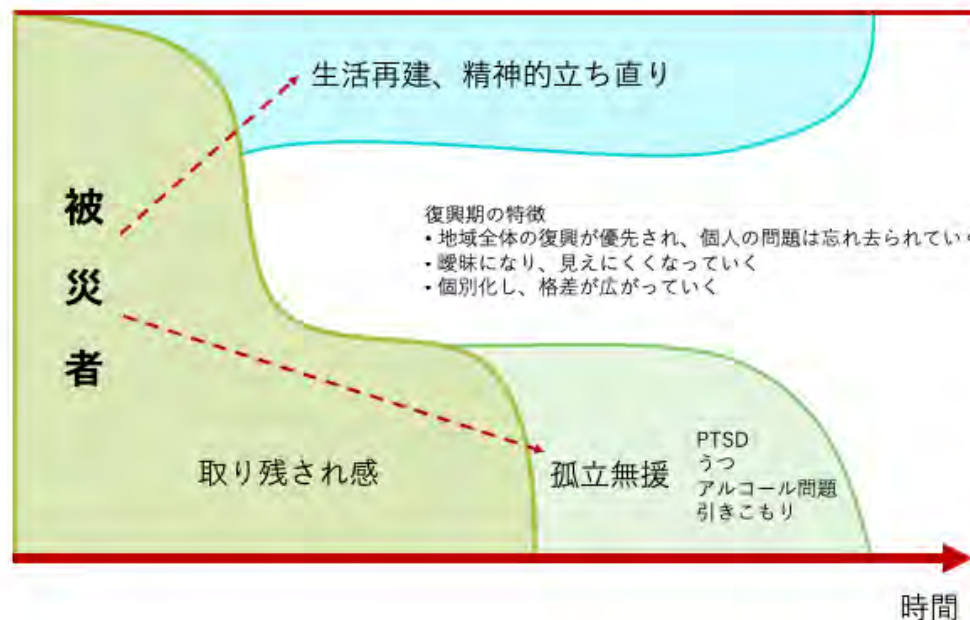
悲嘆反応

❖ 喪失体験の後に現れる悲嘆反応

1. ショック・茫然自失・感覚鈍麻；頭が真っ白になった状態
2. 混乱・興奮・パニック状態；泣き叫ぶなど
3. 事実の否認；喪失した事実（愛する人の死など）を認めたくない、信じたくないという心理
4. 怒り；人為災害など加害者がいる場合、また時には理不尽な怒りとして第三者やケアする救援者に向けられることもある
5. 起こり得ないことを夢想し願う；どこかで生きていると考えるなど、奇跡を願うような気持ち
6. 後悔・自責；サバイバーズギルトとも呼ばれ、「なぜ助けてあげられなかったのか」と自分を責めたりする
7. 事実に直面し、落ち込む（抑うつ）
8. 絶望・深い悲しみ
9. 事実を受け入れる
10. 再適応；新たな環境に適応する

大規模災害における喪失体験とは、大切な家族や友人との死別、家屋や家財道具やペットなどの喪失、自身の健康障害、職業や経済的な喪失、住み慣れた故郷の町の風景やコミュニティの喪失、そして未来への希望や安心感の喪失など多岐にわたります。この喪失体験の後に現れる悲嘆反応のプロセスを示しています。これらは、順番通りに現れるとは限らず、行ったり来たりします。また個人差も大きいです。

被災者の回復の二極化



本格的に復興が始まってくると、復興の話が増え、被災者は世間の関心が薄れてくると感じるようになります。精神的な打撃から比較的立ち直りがスムーズな人と、取り残され感を強くだき、なかなか立ち直れない人に分かれていきます。また、仮設住宅に移転した場合などは、長期的な環境や生活の変化が二次的なストレスの原因となったり、取り残され感が募ると孤立無援の心境になっていきます。中にはうつ状態、アルコール問題などが出現する人もいます。生活面でひきこもりがちになり、支援者が状況を把握できない人も出てくるため、PTSDが見過ごされてしまうこともあります。従って、PTSDをきちんとスクリーニングすることが、復興期のメンタルヘルス対策としては重要です。

出典：岩井圭司, 加藤寛 (金吉晴 編) 「心的トラウマの理解とケア 第2版」p86, (株式会社じほう, 2006) より改変

ハイリスクの被災者

- ❖ 生命の危険が高かった人
- ❖ 近い人を亡くした人
- ❖ 経済損失の大きい人
- ❖ 避難者
- ❖ 女性（特に妊婦）
- ❖ 子供
- ❖ 高齢者
- ❖ 外国人
- ❖ 障害者
- ❖ 支援者・救援者

強烈な体験をした者
要配慮者
支援者・救援者

被災者が心的外傷に起因する精神疾患を発症するリスクを引き上げる数多くの心理社会的要因が特定されています。最も顕著なリスク要因は、暴露の程度です。災害への暴露の程度が大きいほどPTSDを発症するに至るリスクが高まることは多くの研究で支持されています。暴露の程度は個人的要因や経済的要因まで様々な要因を内包し得ます。

心的外傷となる出来事の間近にいること、家族の喪失、大きな身体的外傷を受けること、年少者であること、女性であることといった要因が、災害後の子供の精神的問題に関係していることがわかってきています。さらに親の精神障害（特に不安障害）と心的外傷後ストレス症状は、子供の心的外傷後ストレスに関係していることもわかってきました。

女性の方が災害後に精神面での障害をきたすリスクが高いことが示唆されています。

高齢者は、身体合併症があることがリスク要因となる可能性があります。高齢者の年齢からくる脆弱さ、認知機能障害、身体的健康状態の不良、複数の身体疾患への罹患などがリスク要因としてあげられます。

重篤な精神疾患、持続する精神疾患、精神疾患による社会機能低下の持続、身体的健康状態の不良、複数の身体疾患への罹患、世話をする近親者の欠如などもリスク要因として挙げられます。

身体的な障害を持つ被災者は、災害現場に取り残されたままになる、避難所の運営が身体管理のニーズに対応できなかった、身体上の障害のために、

一般の被災者に提供されたサービスを受けることができなかったなどが理由で、リスクが高まる可能性も示唆されます。

外国人も言葉の問題など、被災者に提供されるサービスを受けられないことも考えられます。

過酷な被災現場での作業に長期間に渡って従事すること自体、心的外傷体験に暴露する機会が高く、過去の心的外傷や精神疾患の既往のような脆弱性を引き起こすような背景がある場合、精神疾患への罹患の可能性を引き上げかねません。

このようにある種のマイノリティ集団は、災害後の困難な状況に対してとりわけ脆弱です。

サイコロジカル・ファーストエイド(PFA)

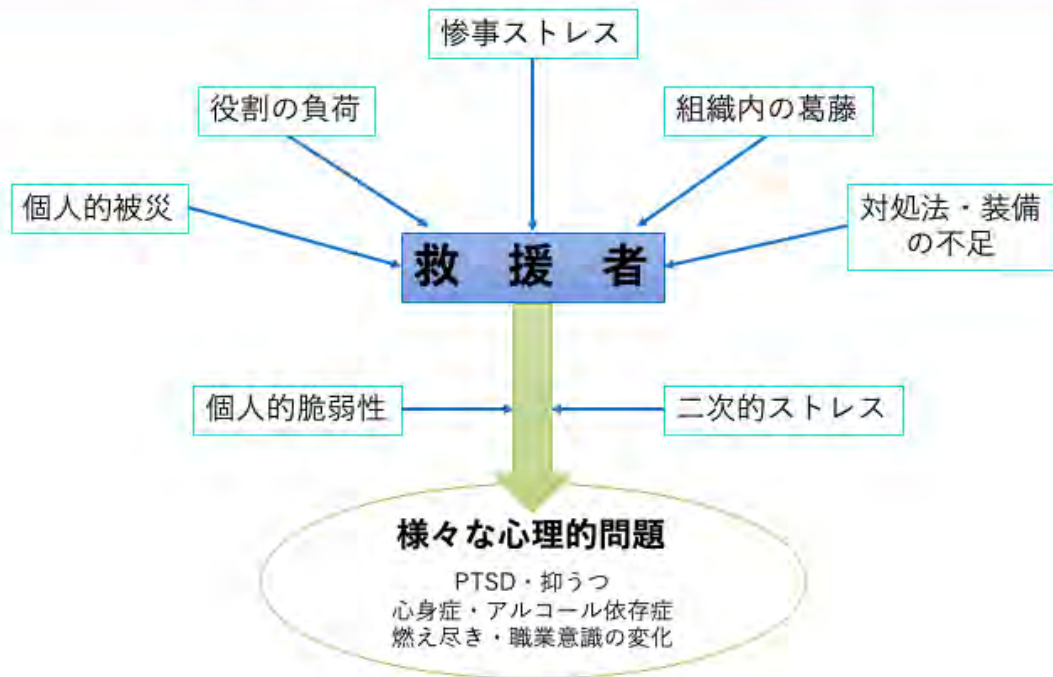
- ❖ 目的；トラウマ的出来事によって引き起こされる初期の苦痛の軽減、短期・長期的な適応機能と対処行動の促進
- ❖ 活動内容
 1. 被災者に近づき、活動を始める
 - ◆ 被災者の求めに応じる。あるいは、被災者に負担をかけない共感的な態度でこちらから手を差し伸べる。
 2. 安全と安心感
 - ◆ 当面の安全を確かなものにし、被災者が心身を休められるようにする。
 3. 安定化
 - ◆ 圧倒されている被災者の混乱を鎮め、見通しが持てるようにする。
 4. 情報を集める
 - ◆ 周辺情報を集め、被災者が今必要としていること、困っていることを把握する。その上で、その人にあったPFAを組み立てる。
 5. 現実的な問題の解決を助ける
 - ◆ 今必要としていること、困っていることに取り組むために、被災者を現実的に支援する。
 6. 周囲の人々との関わりを促進する
 - ◆ 家族・友人など身近にいて支えてくれる人や、地域の援助機関との関わりを促進し、その関係が長続きするよう援助する。
 7. 対処に役立つ情報
 - ◆ 苦痛を和らげ、適応的な機能を高めるために、ストレス反応と対処の方法について知ってもらう。
 8. 紹介と引き継ぎ
 - ◆ 被災者が今必要としている、あるいは将来必要となるサービスを紹介し、引き継ぎを行う。

サイコロジカル・ファーストエイド（Psychological First Aid ; PFA）は、災害や大きなトラウマ的出来事で傷ついた人々の心への、初期の段階での関わり方として、多くの組織、団体で推奨されています。これは、災害やテロの直後に子供、思春期の人、大人、家族に対して行うことのできる効果の知られた心理的支援の方法を、必要な部分だけ取り出して使えるように構成したものです。PFAは、トラウマ的出来事によって引き起こされる初期の苦痛の軽減、短期・長期的な適応機能と対処行動の促進を目的としています。その原理および手法は、次の4つの基本的規格を満たしています。

1. トラウマのリスクと回復に関する研究結果に合致する
2. 災害現場への適応が可能で、実用性がある
3. 生涯発達の各段階に適切である
4. 文化的な配慮がなされており、柔軟に用いることができる

このPFAの提供者として想定されているのは災害救援活動を行う組織の一員として、被災した子供、大人、家族などへの早期支援を行う精神保健担当者、および、その他の分野の災害支援者です。

災害支援者が被る災害ストレス



大規模災害における救援者・支援者のストレス（惨事ストレス）は甚大です。惨事ストレスには、惨状の体験・目撃、被災者・遺族への関わり、遺体への関わり、二次災害の危険性、指揮系統の混乱、過重労働、自分自身も被災者、使命感のために自分自身のストレスを自覚しにくい、などがあります。

職業的な救援者でも、救援活動の遂行中には、気分の高揚を経験します。しかし、高揚した気分や肥大した自尊心が必要以上に長く続くと、周囲と様々な軋轢を生むだけでなく、業務の遂行にも支障をきたすこととなります。活動が十分な成果をあげられなかったり、救援を断念しなければならなかった時は、罪責感が一層強まることとなります。また、支援者自身の体験や感情と、被災者のそれを重ね合わせてしまう「同一化」、被災者が過剰に支援者に依存し、支援者の側はそれに全面的に応えようとする関係に陥る「感情転移・逆転移」に類似したもの、組織的な救援活動がうまくいかなかった場合などに組織に対しての怒りと不信感を生むこともあります。満足な活動ができなかったという不全感は、罪責感に直結するとともに、職業的アイデンティティを深く傷つけ、労働意欲の低下を生みます。さらに大規模災害で支援者自らが被災した場合でも、家族の安全を確認できない場合、あるいは危険な状況に家族を送り出したという不安などから、支援者とその家族の間に葛藤が生じることもあります。

出典：加藤寛（金吉晴 編）「心的トラウマの理解とケア 第2版」 p122,
（株式会社じほう, 2006）より改変

災害支援者のセルフケア

- ❖ 職務の目標選定
 - ◇ 支援業務への専念、業務の重要性、誇りを忘れない、業務請負を見失わない、日報等で頭の中を整理
- ❖ 生活ペースの維持
 - ◇ 十分な睡眠、食事、水分摂取、酒・タバコの摂取過剰に注意
- ❖ 自分の心身の反応に気づくこと
 - ◇ 頭痛、食欲低下、睡眠障害、苛立ち、不安、怒り、罪悪感、恐怖、引きこもり、休息の必要性の否定など
 - ◇ 心身の反応が出ている場合は、休憩・気分転換を心がける
 - ◇ 支援者自身が調子を崩すとその影響が周囲に及びうる
- ❖ 気分転換の工夫
 - ◇ 深呼吸、瞑想、ストレッチ、散歩、食事、入浴など
- ❖ 一人で溜め込まないこと
 - ◇ 家族・友人などに積極的に連絡
 - ◇ 職員同士でお互いのことを気遣う
 - ◆ なるべくこまめに声を掛け合う、お互いの頑張りをねぎらう、お互いの気づきあい
が大切、他職員の負担が強くなっている場合には、本人・管理者に伝える必要性

災害支援者は自分自身のケアなしに、他人のケアに当たることはできません。災害支援者のセルフケアは、災害支援活動中活動後に一部の災害支援者が経験する好ましくない影響を緩和する上でも他人をケアする機能を高める上でも、重要です。セルフケアで重要なのは、自分の感情と他人の感情が自分自身に与える影響を認識することです。二次心的外傷性ストレス、共感性疲労、代理性犠牲という3つの重複する概念は、潜在的に災害支援活動に伴って生じる負の影響です。その影響への対応としては、災害支援を回避するのではなく、適切なセルフケアの計画を立て、実践しながら支援活動に従事することが推奨されます。

燃え尽きは、主に感情的な疲労困憊の結果、徐々に出現するが、これとは対照的に、共感性ストレスや共感性疲労は予兆なしに突然出現する可能性があります。

所属する組織や団体において、職員が自らのストレス状況と心身の状態を知り、対処法を知ることは重要です。日常的なストレスへの対処法だけでなく、異常な状況の現場に遭遇した場合の対処法を事前に学習しておく必要があります。経験のある同僚や上司から対処法について学ぶなどして、具体的な対処法（例えば、悲惨な死体を扱う場合は死体の顔を見ないようにする、単なる物体と思うようにするなど）を知っておくことは、その後の心理的影響を軽減するだけでなく、ストレスの高い現場で最大限に能力発揮するのにも役立ちます。また、利用しやすい相談窓口を整備する必要があります。

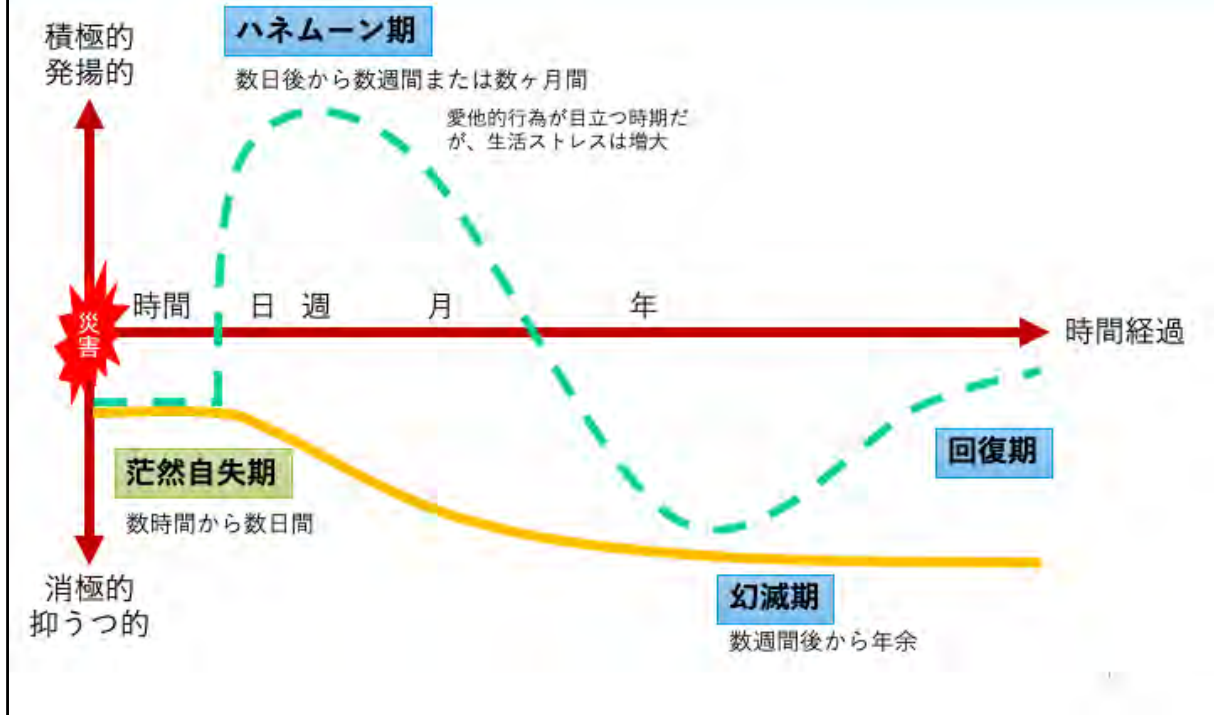
支援者の精神健康対策

- ❖ 業務ローテーションと役割分担の明確化
 - ◇ できるだけ早期に活動期間、交代時期、責任・業務内容の明確化
- ❖ 支援者のストレスについての教育
 - ◇ ストレスは恥じるべきことではなく、適切に対処すべきことである
- ❖ 心身のチェックと相談体制
 - ◇ チェックリスト配布
 - ◇ 健康相談の体制
- ❖ 住民の心理的な反応についての教育
 - ◇ 被災者から心理的な反応として、怒りなどの強い感情を向けられる
 - ◇ 研修でのロールプレイ
- ❖ 被災現場のシミュレーション
 - ◇ 災害現場のスライド等でのシミュレーション
- ❖ 業務の価値付け
 - ◇ 支援業務の意義、効果について価値を明確にし、労をねぎらう

1. 業務ローテーションと役割分担の明確化
できるだけ早期に、動員された支援者の活動期間、交代時期、責任・業務内容を明確にします。
2. 支援者のストレスについての教育
支援者に生じるストレスについて、それが恥じるべきことではなく、適切に対処すべきことであることを教育しておきます。
3. 心身のチェックと相談体制
心身の変調についてチェックリストを支援者に手渡すなどして、必要があれば健康相談を受けられることが重要です。
4. 住民の心理的な反応についての教育
支援活動において、被災者から心理的な反応として、怒りなどの強い感情を向けられることがあることについて教育を行い、可能であれば、研修に被災者とのやりとりについてロールプレイなどを取り入れておくことが有効です。
5. 被災現場のシミュレーション
各種災害が生じた場合の情景、死傷者の光景などについて、スライド体験などのシミュレーションを行っておくことも有効です。
6. 業務の価値付け
支援業務について、それに従事した個々人が組織の中で評価され、報いられることは意外に少ないです。支援業務の意義、効果については、公

の広報などでその価値を明確に記載し、また組織の中ではしかるべき担当者が、支援活動の価値を明確に認め、労をねぎらうことが重要です。

原子力災害後の心理状態の変化



原子力災害時には、自然災害時の心理状態の変化に見られるハネムーン期に大きな違いがあります（オレンジの線）。これは、放射線に対する恐怖と知識の不足から生じるもので、原子力災害の被災者に対して、時には医療関係者や家族が支援を拒否することもあり、社会的な支援等が不足するために生じます。

また、原子力災害では、環境の汚染により長期間の避難あるいは住み替えを余儀なくされることにより、心理状態が回復するのは困難であり、長期的となることもあります。さらに放射線に関連したスティグマ（stigma；他者や社会集団によって個人に与えられた負の烙印）により被災者を孤立させ、復興が遅れます。平時あるいは災害以前の精神状態に戻ることは難しく、“新たな普通の状態”を作る必要があります。

出典：CDC「Psychological first aid in radiological disasters」

原子力災害の特徴

- ❖ 人為災害であり、加害者（過失責任者、監督責任者）が存在
- ❖ 罪の償いを求める気持ち（怨恨感情）が強い
- ❖ 過失責任者や監督責任者から報告される情報への不信（情報不安）
 - ◇ 初期の段階での情報の錯綜
 - ◇ 過失責任者側からのみ被害や汚染に関する情報が開示されると、情報への不信が高まり、情報不安の状態から、苛立ち、精神的動揺、疑心暗鬼といった心理が被災者の間に広くみられるようになる。
- ❖ 長期にわたる健康不安、払拭しきれない不安の遷延
 - ◇ 晩発影響に関する健康不安
 - ◇ 健康不安が続くと身体愁訴が増加する。
 - ◇ 医学的に説明のつかない身体症状
- ❖ 自身の健康不安だけでなく、子どもへの後遺症への懸念
- ❖ 生活への影響
 - ◇ 転居を余儀なくされたり、農漁業などの地域産業が打撃を受けると社会的経済的な二次ストレスと、それによる心身への影響

原子力災害は人為災害であり、加害者が存在するため、被災者心理としては割り切れなさや罪の償いを求める気持ち（怨恨感情）が強く残ることが多いです。

スティグマ・差別・中傷

- ❖ スティグマ；烙印。ある特定の人間や集団に、社会からの心ない偏見が焼き付けられてしまうこと
 - ◇ ト라우マ反応の一部として生じた言動 →本人の劣った点であるかのようにみなす。
 - ◆ PTSDの過覚醒や麻痺が、「怒りっぽい」「態度がはっきりしない」など否定的な評価につながる。
 - ◇ 社会や周囲の人がそのような事故や災害が起こってしまったことを受け入れられず、「本人が悪かった」ということを理由に、自分が落ち着こうとする。
 - ◆ 「内なる不安」を和らげるために「外を攻撃」
 - ◆ 「見えない敵」を「見える敵」に置き換える。
 - ◇ こころのケア自体も、スティグマとして受け取られる



特定集団を批判・差別・中傷の対象とする
スティグマ

スティグマとは、ウシなどに押す焼きごての印のことで、ある特定の人間や集団に、社会からの心ない偏見が焼き付けられてしまうことを指します。

トラウマ反応の一部として生じた言動を捉えて、それが本人の劣った点であるかのようにみなすことがもっとも多いです。PTSD症状の過覚醒や麻痺が、「怒りっぽい」「態度がはっきりしない」などの否定的な評価につながることもあります。

また、このような事件や災害が起こってしまったことを社会や周囲の人が受け入れられず、「本人が悪かった」ということを理由にして、自分が落ち着こうとするものです。

こころのケアもスティグマとして受け取られることがあります。身体のケアや生活相談を並行させるなどの工夫により、スティグマへの不安を刺激しないようにすることが必要です。

原子力災害時のメンタルヘルス対策

安全の確保と生活ストレスの軽減

- 被害状況の把握
- 備蓄物資・機材の確認
- 必要物資・機材の評価
- スタッフ間での役割分担
 - 精神保健活動の担当；精神科医、精神科ソーシャルワーカー、保健師、看護師、臨床心理士など**多職種連携**

- アウトリーチ
- 宣伝活動
- 被災者ニーズの把握
- 被災者援助業務全般への評価、提言
- 精神保健領域以外の一般業務への協力

- 既存の保健医療システムでの活動
- 精神保健の基礎知識を提供
 - 被災者援助上の基礎知識
 - 救援者自身のための基礎知識
- 精神保健的ケアの提供
 - PTSD、うつ病、不安障害、アルコール症などへの個別対策

自然災害等が発生し、災害現場に派遣されたら、まずは被害状況や資機材の状況を確認、把握します。その後、精神保健活動の担当者の役割分担等を行います。被災者に見られる情動的な反応の多くは、災害によって引き起こされた生活上の問題から生じます。そのため、被害状況の把握や被災者のニーズを把握することは重要です。

一般の援助活動の一環として、地域全体（集団）の精神健康を高め、集団としてのストレスと心的トラウマを減少させるための活動を行います。これには、支援者や地域精神保健医療従事者が被災地域へ出かけていくアウトリーチ活動と、災害情報の提供、一般的な心理教育、比較的簡単な相談活動が中心となります。また、災害復旧や生活支援などの現実的な支援は、それ自体が集団の精神健康を高める効果を持ちます。特に高齢者は孤立し、また移動が難しい状況にあるため、アウトリーチ活動が必須となります。

また、個別の精神疾患に対する予防、早期発見、治療のための活動としては、疾患のある個人をスクリーニングし、受診への動機付け、個別的な心理教育、専門医への引き渡しを中心となります。

まとめ

- ❖ 原子力災害時には、自然災害と同様に様々なメンタルヘルスの問題が生じ、さらに原子力災害特有の問題も生じる
 - ◇ 目に見えない脅威
 - ◇ 長期的な健康への不安
- ❖ スティグマ・差別・中傷が生じうる
- ❖ 高リスク者は「要配慮者」であり、対策が必要
- ❖ 平時より、既存の医療保健システムの中でメンタルヘルスを考え、多職種連携を行う

放射線管理要員の役割

原子力災害 被ばく医療 専門研修

被ばく医療-6

時間：30分

内容

- 放射線管理要員とは
- 放射線防護の必要性
- 放射線防護と放射線管理
- 放射線施設
- 放射線障害の防止に関する法規制
- 放射線障害の防止に関するその他の主な法令
- 放射線安全管理の組織
- 放射線安全管理技術
- 線源管理
- 環境管理
- 非密封放射性同位元素を取扱う施設の安全管理
- 個人管理
- 記帳・記録
- 健康診断
- 教育・訓練
- 緊急時・危険時の対応
- 医療処置と放射線管理

放射線管理要員とは

- ❖ 放射性物質を取り扱う事業所内で、放射性物質による人への影響を考慮し、安全で合理的な管理を行う専門家
- ❖ 放射線管理要員は、放射線生物学、物理学、化学、法令の知識を有する。
- ❖ 事業所における事故時には、被ばく患者の身体汚染検査、除染及び被ばく線量の測定、並びに医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止及び汚染検査に協力する。
- ❖ 患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況を搬送先の医療機関に提供する。

放射線管理要員とは放射性物質を取り扱う事業所内で、放射性物質による人への影響を考慮し、安全で合理的な管理を行う専門家のことです。放射線管理要員は、放射線生物学、物理学、化学、法令の知識を有しています。

放射線管理要員は、被ばく患者の身体汚染検査、除染及び被ばく線量の測定、並びに医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止及び汚染検査に協力します。また、被ばく患者を医療機関に搬送する際には、汚染の状況を測定し、傷病の状態を勘案して、できる限りの汚染の拡大防止措置を講じます。また、患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況を搬送先の医療機関に提供し、汚染の拡大防止等に協力します。

事業所は、積極的に放射線管理要員の育成に務めることが求められています。ここでは、まず放射線取扱事業所での放射線管理について説明します。

放射線防護の必要性

❖ 放射線障害の歴史

- ◇ 1895年 RöntgenによるX線発見
- ◇ 1896年 Becquerelにより最初の生物影響の報告（皮膚障害）
- ◇ 1901年 Curieによる皮膚障害の報告
- ◇ 1902年 放射線による皮膚がんの報告
- ◇ 1911年 放射線による白血病の報告
- ◇ 1920年代 ダイヤル・ペインター（ラジウム）の骨肉腫
- ◇ 1930年代 トロトラストによる肝がん、白血病

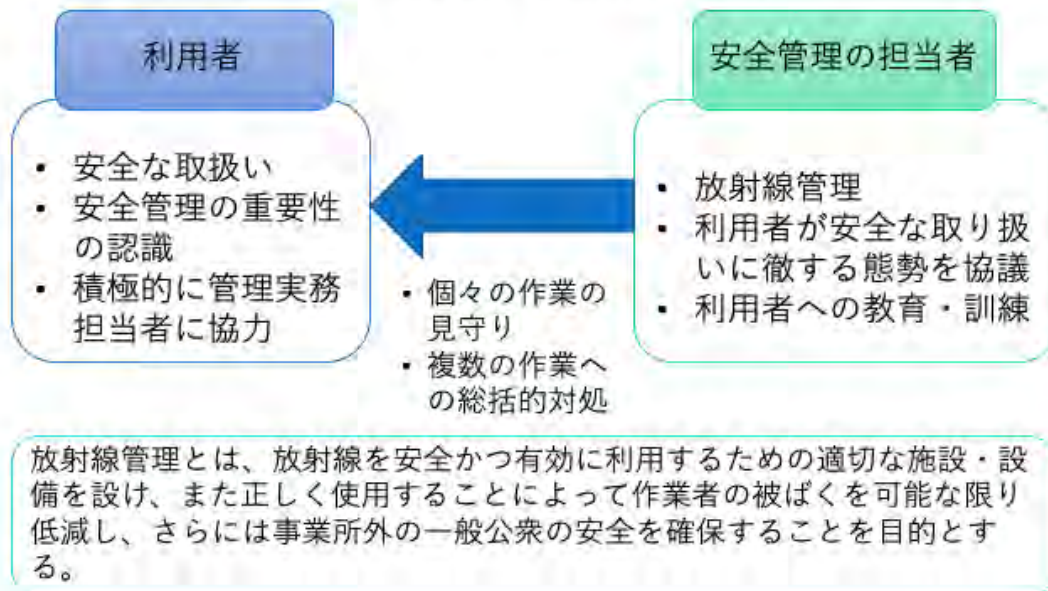
❖ 放射線防護

- ◇ 放射線の利用に伴う障害の防止が必要となった。
- ◇ 放射線利用に関わる線量をはっきりと定義し、放射線の影響と量的関係を知り、効率的な利用を促進するとともに障害を防ごうという動きが起こった。
- ◇ 国際的な機関が設置されるに至った。

1895年にレントゲン博士によりX線が発見されて以降、1896年にベクレル博士が放射能を発見し、以後多くの放射線に関する研究が進められてきました。それと同時に1896年にはベクレル博士によって放射線により皮膚に紅斑が生じた報告がなされ、1901年にはキュリー博士による皮膚障害が報告され、以降も放射線による皮膚がん、白血病の報告、ダイヤルペインターのラジウムによる骨肉腫、トロトラストによる肝がん、白血病といった様々な放射線障害の報告があります。このように放射線の発見直後から、研究者たちは放射線にさらされた皮膚の紅斑や脱毛、潰瘍が生じることを認めていました。放射線の医学利用が発展していきましたが、他方では、放射線利用に伴う障害が問題となっていました。そのため、放射線利用に関わる線量をはっきりと定義し、放射線の影響と量的関係を知り、効率的な利用を促進するとともに障害を防ごうという動きが起こりました。さらに国際放射線単位測定委員会（ICRU）、国際放射線防護委員会（ICRP）、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）、国際原子力機関（IAEA）、経済協力開発機構原子力機関（OECD/NEA）といった国際機関が設置されるに至りました。

放射線防護と放射線管理

- ❖ 放射線・アイソトープの利用に際しては、放射線防護、放射線の安全確保を常に心がけ、その方策を実践



放射線・アイソトープ利用に際しては、放射線防護、放射線安全の確保を常に心がけ、その方策を実践しなければなりません。

利用に直接携わる者は成果を早急に求めるあまり、時として防護・安全の方策をおろそかにすることが懸念されます。これを防止するためには、第三者による放射線管理が必要です。しかし管理のみで、防護・安全をもれなく確保することは困難であり、利用者の安全な取扱いが実行される必要があります。

安全管理の担当者は、利用者が安全取扱いに徹する態勢を協議または必要に応じて教育・訓練によって醸成し、個々の作業を見守るとともに、複数の作業に対しては、総括的に対処することが求められます。さらに利用者が安全管理の重要性を理解して積極的に管理実務担当者に協力する関係を構築することが強く求められます。

医療機関でも放射線・アイソトープを利用している場合は、放射線の安全管理が求められます。しかし医療機関での放射線安全については、専門部署がなく診療放射線技師または医師が業務の傍らに行っているのがほとんどの現状です。医療機関で被ばく医療を実施する場合には、診療放射線技師が放射線管理の役割を担うことが求められます。

放射線施設

- ❖ 放射線発生装置使用施設
- ❖ 密封された（密封）放射性同位元素使用施設
- ❖ 密封されていない（非密封）放射性同位元素使用施設
- ❖ 核燃料物質・核原料物質使用施設
- ❖ 医療施設
- ❖ その他施設

放射線施設は多種多様存在します。

- 放射線発生装置使用施設
- 密封された（密封）放射性同位元素使用施設
- 密封されていない（非密封）放射性同位元素使用施設
- 核燃料物質・核原料物質使用施設
- 医療施設
- その他施設

複数の許可を所持する施設もあります。例えば、放射線発生装置使用施設のなかの非密封放射性同位元素使用施設です。

ただし、放射線事故・災害で汚染患者に対応する救急外来等は、通常放射線施設としては許可された場所ではない施設、区域で実施することになります。対応者の安全、その他の施設の利用者等の安全を確保するために、患者受け入れ時の放射線管理は重要です。

放射線障害の防止に関する法規制

原子力基本法（昭和30年12月19日 法律第186号）

原子力利用によって社会福祉と生活の向上に寄与することを目的とし、原子力の研究、開発、および利用は平和目的に限り、安全の確保、民主・自主・公開の原則のもとに、国際協力に資することが基本方針

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律

放射線障害の防止と公共の安全確保が目的

核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律

エネルギー利用の個別法

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令

施行令

放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則

施行規則

放射線を放出する同位元素の数量等を定める件

告示

我が国の原子力平和利用に関わる基本の法律が1955年に制定・公布されています。これが、「原子力基本法（昭和30年12月19日 法律第186号）」で、原子力利用によって社会福祉と生活の向上に寄与することを目的とし、原子力の研究、開発、および利用は平和目的に限り、安全の確保、民主・自主・公開の原則のもとに、国際協力に資することを基本方針としています。原子力利用は、エネルギー利用と放射線・アイソトープ利用に大別されます。

エネルギー利用の個別法は、「核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律」（原子炉等規制法）で、放射線・アイソトープ利用の個別法は、「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」が定められています。

放射線障害防止法関係法令は、法律、その条項を受けて細目を示した施行令、施行規則で構成されており、さらにこれらを補完するために特定の事項について告示が定められています。

放射線障害の防止に関するその他の主な法令

❖ 原子力関係

- ◇ 核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律
- ◇ 原子炉等規制法施行令

❖ 労働関係

- ◇ 労働安全衛生法
- ◇ 電離放射線障害防止規則（労働省令）
- ◇ 作業環境測定法
- ◇ 職員の保健および安全保持（人事院規則）
- ◇ 職員の放射線障害の防止（人事院規則）

❖ 医療関係

- ◇ 医療法
- ◇ 医療法施行規則（厚生省令）
- ◇ 薬事法

❖ 輸送関係

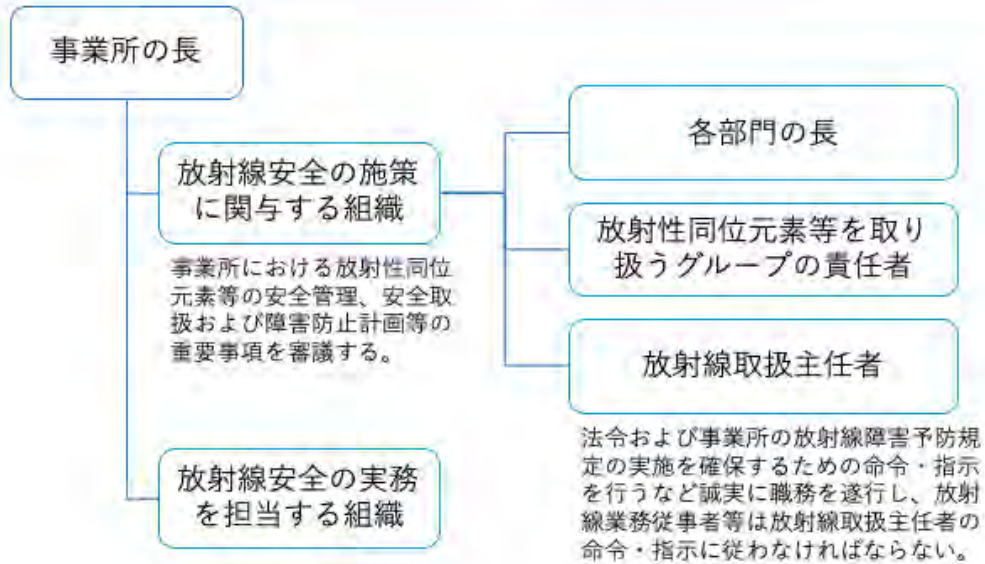
- ◇ 放射性同位元素等車輛運搬規則（運輸省令）

❖ その他

- ◇ 計量法
- ◇ 建築基準法
- ◇ 建築基準法施行令
- ◇ 消防法

行政機関は放射線障害の防止に関する事項を、各関係の関係法令に組み込んでおり、放射線障害防止法はそれらの技術的基準とみなされています。

放射線安全管理の組織



事業所における放射線安全管理の体制は、最高責任者である事業所の長を頂点として、放射線安全の施策に関する組織と放射線安全管理の実務を担当する組織によって構成されます。

また、事業所の長は放射線安全を確保するために、その事業所の実態に適合した管理組織、管理基準等を定め、法令（法第21条、則第21条）に基づく放射線障害予防規定を作成して、原子力規制委員会に届け出ます。

放射線安全管理技術



*X線装置の使用・検査、原子炉の運転なども含む業務

放射線の防護・安全を確保するための管理対象は放射線源と環境と人で、それぞれの放射線管理を線源管理、環境管理、個人管理といいます。事業所の内部で行う放射線安全管理は、日常的に行う教育・訓練、放射線施設の点検に、異常時・危険時の措置のように臨機に行う業務によって遂行されます。

線源管理として、密封放射性同位元素、非密封放射性同位元素、放射線発生装置、放射性廃棄物の管理を行います。環境管理としては、作業環境の管理、周辺環境の管理を行います。個人管理としては、教育訓練の実施、定期的な健康診断、管理区域への入退域記録、外部被ばく線量と内部被ばく線量の管理を行います。

線源管理

密封放射性同位元素 (密封線源)

通常の使用状態では放射性同位元素が外部に漏出する事はないので、放射線（外部被ばく）の防護（時間・距離・遮へい）に留意する。

非密封放射性同位元素 (非密封線源)

放射性同位元素による汚染とその体内摂取による内部被ばくに留意する。

放射線発生装置

運転を停止すると放射線の発生が停止する。運転中は、放射線の防護が必要である。運転中に生成した放射化物が残留するものもあり、放射化物（非密封放射性同位元素）にも放射線防護の措置が必要である。

放射性廃棄物

非密封放射性同位元素によって汚染された物。除染によって発生した物は二次放射性汚染物として取り扱う。法令に定める排気中あるいは排水中の放射性同位元素の種類に対する濃度限度以下であれば、放射線施設の排気・排水設備から一般環境に放出できる。

密封放射性同位元素（密封線源）は、通常の使用では放射性同位元素が容器の外部に漏出することはないので、放射線（外部被ばく）の防護（時間、距離、遮へい）に留意して管理します。

非密封放射性同位元素（非密封線源）は、放射性同位元素等による汚染とそれに関連して発生する体内摂取による内部被ばくが起り得るため、その発生と放射線の防護に留意して管理します。

放射性発生装置は、運転を停止すると放射線の発生が停止します。運転中に生成した放射化物が残留するものもあります。前者では放射線に留意し、後者では放射線と残留する放射化物にも放射線防護措置が必要となります。

放射性廃棄物は非密封放射性同位元素によって汚染された物です。放射性汚染物の汚染を除去（除染）すると、汚染除去の行為によって発生したものは、二次放射性汚染物として取り扱います。極めて低濃度の気体状・液体状の放射性廃棄物は、法令に定める排気中あるいは排水中の放射性同位元素の種類に対する濃度限度以下であれば放射線利用施設の排気・排水設備から一般環境に放出できます。

環境管理

❖ 環境の放射線管理の目的

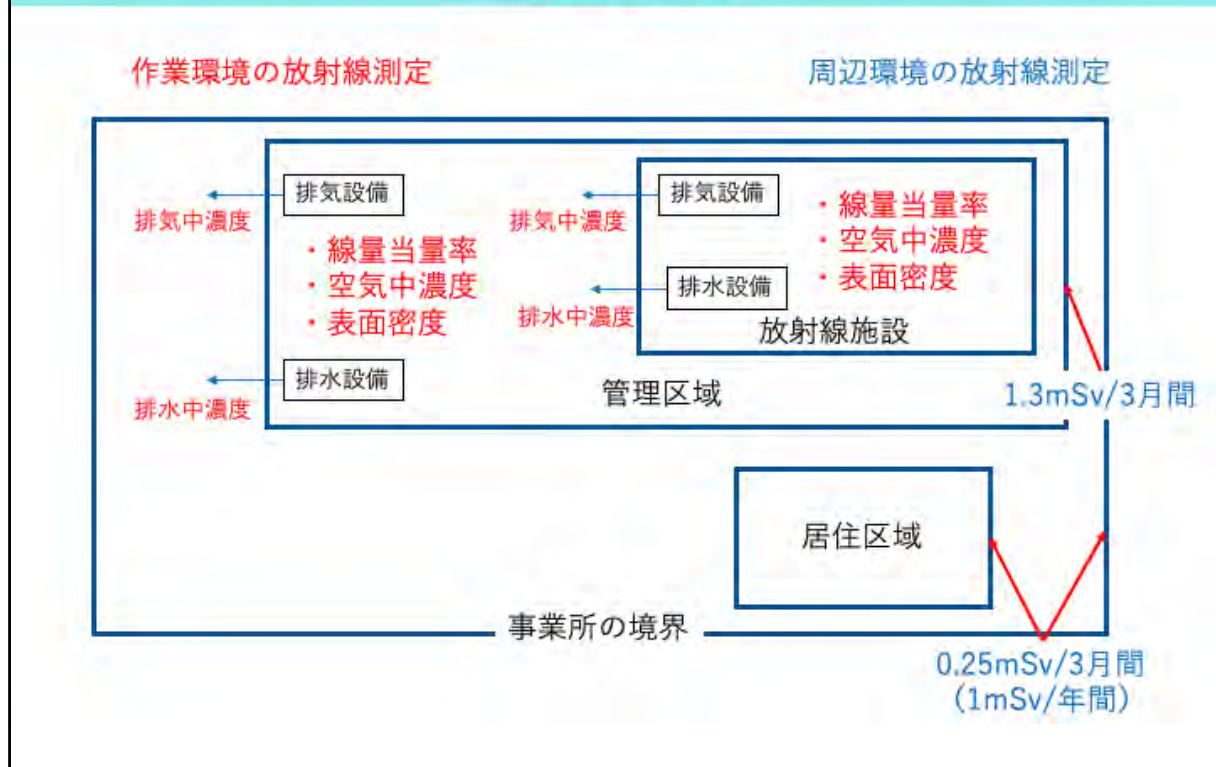
- ◇ 放射線障害の防止；放射線作業従事者等の作業環境の管理
 - 放射線管理区域とその境界の放射線管理
- ◇ 公共の安全確保；公衆が生活する一般環境の保全のための管理
 - 公衆の生活圏の境界における線量が公衆の被ばく線量限度(1mSv/年) を超えないようにする

❖ 放射線の測定

- ◇ 放射線の量；管理区域とその境界および事業所の境界の線量当量率または線量当量
- ◇ 空気汚染；管理区域特に作業室および排気設備の排気口における空気中および排気中の放射性同位元素の濃度
- ◇ 水汚染；排水設備から排出する放射性廃液中の放射性同位元素の濃度
- ◇ 表面汚染；管理区域とその境界および持ち出し物品等の表面の放射性同位元素の密度

放射線の防護・安全に関わる放射線管理の目的は、放射線障害の防止と公共の安全確保です。放射線障害防止とは放射線業務従事者の作業環境の管理で、放射線施設、特に管理区域とその境界の放射線管理です。公共の安全確保とは公衆の生活する一般環境の保全のための管理で、公衆の生活圏の境界における線量が、公衆の被ばく限度（1mSv/年）を越えないようにすることです。放射線量のモニタリングの場所は、管理区域内、管理区域境界、事業所の境界になります。空気汚染については、管理区域特に作業室および排気設備の排気口における空気中および排気中の放射性同位元素の濃度を測定します。水汚染については、排水設備から排出する放射性廃液中の放射性同位元素の濃度を測定します。表面汚染については管理区域とその境界および持ち出し物品等の表面の放射性同位元素の密度を測定します。

非密封放射性同位元素を取扱う施設 の安全管理



管理区域には、密封放射性同位元素のみを取り扱う施設のように放射線の管理のみを行う区域と、非密封放射性同位元素を取り扱う施設のように放射線と汚染の管理を行う区域があります。

非密封放射性同位元素を取り扱う施設では、汚染の管理として床、物品などの表面密度、空気中の放射性同位元素の濃度の管理を行います。表面汚染は、直接法であるサーベイ法（直接物品の表面を測定）と間接法であるスミア法（物品の表面をろ紙等でぬぐい、ろ紙等を測定）があります。

上図は、非密封放射性同位元素を取り扱う施設での作業環境および周辺環境の測定について示しています。

放射線管理区域は、外部放射線量が実効線量で3月間につき1.3mSvを声、3月間についての空気中の放射性同位元素の平均濃度が告示別表第2、第4欄に示す濃度限度の1/10を超え、表面密度限度の1/10を超えるおそれのある場所と定められています。

個人管理

❖ 被ばく線量の管理

- ◇ 個人モニタリング
- ◇ 外部被ばく線量の測定
 - ◆ 個人線量計による測定
 - ◆ 個人線量計の着用部位；男子は原則として胸部、女子は原則として腹部
- ◇ 内部被ばく線量の測定
 - ◆ 体外計測法、バイオアッセイ法、空气中濃度計算法
 - ◆ 吸入摂取、経口摂取した場合またはそのおそれのある場所に立ち入る者に3月を越えない期間ごとに実施

❖ 管理区域への入退域の時刻等の記録

❖ 健康診断

- ◇ 初めて管理区域に立ち入る前の健康診断
- ◇ 管理区域に立ち入った後に定期的健康診断
- ◇ 問診と検査または検診（放射線障害防止法と労働安全衛生法で異なる）

❖ 教育・訓練

- ◇ 放射性同位元素等の取扱業務に従事する者が、取扱技術を習得し、管理区域における作業習慣を会得するため

放射線障害防止法では、「放射性同位元素等の取扱い、管理またはこれに付随する業務」であり、厚生労働省令や人事院規則ではそのほかX線装置の使用・検査、原子炉の運転なども含む業務が放射線業務です。

事業所の所長は放射線業務従事者、取扱い等の業務従事者になろうとする者に教育・訓練および健康診断を受けさせます。管理区域立入後は健康診断を一定期間ごとに、また教育・訓練（再教育）を前回の教育訓練を行った日の属する年度の翌年度の開始日から1年以内に受けさせます。

管理区域に立ち入る者は、入退域の時刻等を記録し、管理区域で受けた放射線の量を外部被ばく線量と内部被ばく線量として測定します。

記帳・記録

- ❖ 目的；現在さらに将来の状況の想定・評価に役立たせる
- ❖ 基本的な記帳・記録の種類
 - ◇ 個人（放射線業務従事者）
 - ◆ 健康診断の記録 永年保存
 - ◆ 被ばく線量の測定記録 永年保存
 - ◆ 教育・訓練の記録 1年ごとに閉鎖、5年間保存
 - ◇ 線源（放射性同位元素、放射線発生装置） 1年ごとに閉鎖、5年間保存
 - ◆ 放射性同位元素の受入れ、保管、使用、運搬、廃棄、払い出し
 - ◆ 放射性発生装置の使用
 - ◇ 環境（放射線施設の内外） 1年ごとに閉鎖、5年間保存
 - ◆ 放射線の量、汚染の状況（表面の放射性同位元素の密度）
 - ◆ 排気中、排水中の放射性同位元素の濃度
 - ◆ 放射線施設の点検及び保守・管理

記帳・記録の目的は、単に過去の事実を書き記し、集積するのではなく、現在さらに将来の状況の想定・評価に役立たせることにあります。

基本的な記帳・記録の種類は、下記の通りです。

個人（放射線業務従事者）

健康診断の記録 永年保存

被ばく線量の測定記録 永年保存

教育・訓練の記録 1年ごとに閉鎖、5年間保存

線源（放射性同位元素、放射線発生装置） 1年ごとに閉鎖、5年間保存

放射性同位元素の受入れ、保管、使用、運搬、廃棄、払い出し

放射性発生装置の使用

環境（放射線施設の内外） 1年ごとに閉鎖、5年間保存

放射線の量、汚染の状況（表面の放射性同位元素の密度）

排気中、排水中の放射性同位元素の濃度

放射線施設の点検及び保守・管理

健康診断

❖ 実施時期

| 放射線障害防止法 | 労働安全衛生法（電離則）・人事院規則 |
|-------------|--------------------|
| 1年を越えない期間ごと | 6月以内ごとに |

❖ 初めて管理区域に立ち入る前

- ◇ 問診；放射線の被ばく歴の有無
- ◇ 検査または検診；末梢血の白血球数、白血球百分率、赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値、白内障（眼）の検査、皮膚の検査

❖ 定期的健康診断

- ◇ 問診；放射線の被ばく歴の有無
- ◇ 検査または検診；末梢血の白血球数、白血球百分率、赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値、白内障（眼）の検査、皮膚の検査
- ◇ 医師の判断等
 - ◆ 検査または検診の項目については、医師が必要と認める場合に限り実施する。（放射線障害防止法）
 - ◆ 検査または検診の全部または一部を省略することができる。（労働安全衛生法）

放射線の取り扱いにかかる業務に就く場合には、放射線障害防止法、労働安全衛生法および人事院規則の法令により特定の健康診断を受診することが義務付けられています。

実施時期は、放射線障害防止法では1年を越えない期間ごと、労働安全衛生法（電離則）・人事院規則では6月以内ごととされています。

健康診断の内容は、初めて管理区域に立ち入る前に行う者では、放射線の被ばく歴の有無、末梢血の白血球数、白血球百分率、赤血球数、血色素量またはヘマトクリット値、白内障（眼）の検査、皮膚の検査を行います。定期健康診断では、初めて管理区域に立ち入る前に実施する健康診断の項目と変わりませんが、放射線障害防止法では、問診以外は医師の判断により必要と認める場合に限り実施するようになっています。

教育・訓練

❖ 教育及び訓練の項目と時間数

| | 放射線の人体に与える影響 | 放射性同位元素等又は放射線発生装置の安全取扱い | 放射線障害の防止に関する法令及び放射線障害予防規程 |
|----------|--------------|-------------------------|---------------------------|
| 放射線業務従事者 | 30分 | 1時間 | 30分 |
| 取扱等業務従事者 | | | |

平成30年原子力規制委員会告示第1号

事業者等は、管理区域に立ち入る者および放射性物質あるいは放射線発生装置の取り扱い業務に従事する者に対して、次の項目の教育訓練を行わなければなりません。

- (1) 放射線の人体に与える影響
- (2) 放射性同位元素等または放射線発生装置の安全な取扱い
- (3) 放射線障害の防止に関する法令及び放射線障害予防規程

教育訓練の時期は、放射線業務従事者に対しては、管理区域に初めて立ち入る前、および立ち入った後では前回の教育訓練を行った日の属する年度の翌年度の開始日から1年以内に行います。取り扱い等の業務従事者には、取り扱い等の業務を開始する前、および開始後では前回の教育訓練を行った日の属する年度の翌年度の開始日から1年以内に行います。

教育訓練の時間数を上記の表に示しています。

このように放射線業務従事者あるいは放射性物質の取り扱いの業務従事者は、放射線の人体影響や放射線障害予防規程などの知識と技術を有しています。

緊急時・危険時の対応

- ❖ 事業所で被ばく患者が発生した場合には、放射線管理要員は、以下のことに協力する。
 - ◇ 被ばく患者の身体汚染検査
 - ◇ 除染及び被ばく線量の測定
 - ◇ 医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止及び汚染検査
- ❖ 被ばく患者、搬送機関関係者、医療関係者、処置室、搬送車両等（船舶及び航空機を含む。）の汚染の拡大防止措置等（養生など）を含めた放射線管理に必要な措置を行い、事業者を含む関係機関に汚染の有無を報告する。
- ❖ 患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況に関する情報を搬送先の医療機関に提供する。

事業所で被ばく患者が発生した場合には、放射線管理要員は、被ばく患者の身体汚染検査、除染および被ばく線量の測定、医療機関や搬送車両等の設備、資機材の汚染防止および汚染検査に協力します。さらに、被ばく患者、搬送機関関係者、医療関係者、処置室、搬送車両等（船舶及び航空機を含む。）の汚染の拡大防止措置等（養生など）を含めた放射線管理に必要な措置を行い、事業者を含む関係機関に汚染の有無を報告します。

また、患者に随行し、事故の状況、患者の被ばく・汚染状況に関する情報を搬送先の医療機関に提供します。

医療処置と放射線管理

- ❖ 医療機関で被ばく患者を受け入れる場合は、放射線管理要員として、その医療機関が放射性同位元素等を取扱う医療機関であれば、放射線施設責任者あるいは放射線管理を担当している者または診療放射線技師がその役割を担うことが望ましい。
- ❖ 蘇生や救命処置は最優先であり、被ばく患者の傷病の状態を勘案して、できる限りの汚染拡大防止措置を講じる。
 - ◇ 患者受入れ時の放射線管理は、規制法に基づく平常時の管理ではなく「災害・事故対応の一部」でもある。
 - ◇ 管理区域からの退出基準；平常時であれば電離則第31条、十分な実績、治療法が確立している内用療法では退出基準がある。
- ❖ 被ばく患者対応をした医療チームや施設の放射線管理も担当する。
 - ◇ ホットゾーン等で処置した医療従事者の汚染検査、放射性廃棄物の管理、施設等の汚染検査など

医療機関で被ばく患者を受け入れる場合、その医療機関が放射線等を取り扱う施設でもある場合は、放射線施設の責任者や放射線管理を担当する者、診療放射線技師など、放射線管理、放射線防護、放射線計測を理解している職員が、被ばく医療の放射線管理の役割を担うことが望ましいです。また、事業所から随行してきた放射線管理要員との調整、協力も必要です。汚染または被ばくした患者を受け入れる際には通常状態ではないので、通常法放射線管理とは違うことを認識する必要があります。医療処置を行う際には、蘇生や救命処置は最優先であり、被ばく患者の傷病の状態を勘案して、できる限りの汚染拡大防止措置を講じる必要があります。そのためには、災害・事故対応、医療処置やその他の対応との連携、調整が大切です。また、管理区域からの退出基準は、平常時であれば電離則第31条、十分な実績、治療法が確立している内用療法では退出基準があります。被ばく医療では、傷病者の状態や必要な処置を勘案して、このような基準を参考に対応します。

まとめ

- ❖ 放射線を取扱う施設、事業所では、放射線管理を実施します。
- ❖ 放射線管理とは、放射線を安全かつ有効に利用するための適切な施設・設備を設け、また正しく使用することによって作業員の被ばくを可能な限り低減し、さらには事業所外の一般公衆の安全を確保することを目的とします。
- ❖ 事故等で被ばく患者が発生した場合には、放射線管理要員が汚染検査、除染等の汚染拡大防止措置、医療機関等への情報提供、処置等に協力します。
- ❖ 医療機関で被ばく患者を受け入れる場合は、放射線管理要員として、その医療機関が放射性同位元素等を取扱う医療機関であれば、放射線施設責任者あるいは放射線管理を担当している者または診療放射線技師がその役割を担うことが望ましいです。

原子力災害事例

原子力災害 被ばく医療 専門研修
被ばく医療-7

時間；30分

内容

- 国際原子力事象評価尺度
- 放射線事故件数と影響
- 代表的な事故
- ウラン加工工場臨界事故
- 東京電力福島第一原子力発電所事故

国際原子力事象評価尺度 INES: International Nuclear Event Scale

- ❖ 国際原子力機関 (IAEA) 及び経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) により制定 (1992年より採用)
- ❖ 放射線源に関連して発生した事象が公衆の安全にどの程度の意味を持つのか迅速かつ一貫して伝えるための指標



国際原子力事象評価尺度 (International Nuclear and Radiological Event Scale ; INES) とは、国際原子力機関(IAEA)及び経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA)により制定された、原子力施設等の異常や事故の共通評価を目的とした指標です。

7つのカテゴリーに分類されます。福島第一原子力発電所事故は、放射性物質の放出量から最も深刻なレベル7 (暫定評価) と判断されています。また、ウラン加工工場臨界事故は、レベル4 と判断されています。

カテゴリー

レベル0 (尺度未満) ; 安全上の問題がない

レベル1 (逸脱) ; 年間許容量の超過に伴う被ばく

レベル2 (異常事象) ; 10mSVを超える公衆の被ばく / 放射線作業従事者の被ばく限度 (1年間) 超過

レベル3 (重大な異常事象) ; 従事者が年間許容量の10倍を被ばく / 放射線からの非致死の確定的影響

レベル4 (局地的な影響を伴う事故) ; 地域の食品制限以外には計画的封鎖等を必要としない軽微な放射性物質の放出

レベル5 (広範囲への影響を伴う事故) ; 計画的封鎖が必要な限られた量の放射性物質の放出

レベル6 (重大な事故) ; 計画的な封鎖が必要となる相当量の放射性物質の放出

レベル7（深刻な事故）；広範囲に及ぶ健康と環境への影響を伴った放射性物質の深刻な放出（計画的、広域封鎖が必要）

出典；放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成29年度版)

原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書(2011年6月) より作成

放射線事故件数と影響

| 事故分類 | 1945-1965 | | 1966-1986 | | 1987-2007 | | 合計 | |
|---------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----|------|
| | 死亡 | 早期影響 | 死亡 | 早期影響 | 死亡 | 早期影響 | 死亡 | 早期影響 |
| 原子力施設 | 13 | 42 | 34 | 123 | 3 | 2 | 50 | 167 |
| | 19件 | | 12件 | | 4件 | | 35件 | |
| 産業施設 | 0 | 8 | 3 | 61 | 6 | 51 | 9 | 119 |
| | 2件 | | 50件 | | 28件 | | 80件 | |
| 身元不明線源 | 7 | 5 | 19 | 98 | 16 | 205 | 42 | 308 |
| | 3件 | | 15件 | | 16件 | | 34件 | |
| 学術/研究作業 | 0 | 2 | 0 | 22 | 0 | 56 | 0 | 29 |
| | 2件 | | 16件 | | 4件 | | 22件 | |
| 医療利用 | 不明 | 不明 | 4 | 470 | 42 | 153 | 46 | 623 |
| | 不明 | | 18件 | | 14件 | | 32件 | |

UNSCEAR2008

1945年から2007年までの放射線事故のうち、死亡や影響が発生した件数を示しています。

最も多いのは、産業施設の事故ですが、原子力施設の事故も35件発生しています。しかし、件数は年々減少しています。

代表的な核兵器関連事故

臨界事故

| 発生年 | 発生国/施設 | 概要 |
|--------------|---------------------------------|--|
| 1945 1946 | アメリカ ロスアラモス研究所 | デーモン・コア事故。安全でない実験操作による臨界 2名が被ばくし1名が死亡 8名が被ばくし1名が死亡 |
| 1957 | 旧ソ連 マヤーク核技術施設 | ウラル核惨事（キシテム事故） 核分裂性物質タンクの不適切な配置により臨界 発熱によるタンク爆発で大量の放射性物質が環境に放出 6名の作業員が被ばくし、1名が死亡。INES 6 |
| 1961 | アメリカ SL-1炉 | 炉の制御棒を素早く手で引き抜いたため臨界 炉の水蒸気爆発により3名死亡 |
| 1964 | アメリカ ウッドリバージャンク シオン化学処理工場 | 人的ミスにより高濃度ウラン溶液を容器に注入 作業員3名被ばく、1名が死亡 |

環境への放出と住民への著しい被ばくの可能性を伴う事故

| | | |
|------|--------------------|--|
| 1957 | イギリス ウインズケール原子炉 | 火災によりI-131 740TBq ほか放射性物質の放出 INES 5 |
|------|--------------------|--|

核兵器関連の事故として臨界事故があります。全ての事故で死亡者が発生しています。

代表的な核兵器非関連事故

臨界事故

| 発生年 | 発生国/施設 | 概要 |
|------|----------------------------------|--|
| 1983 | アルゼンチン コンステティエンス 原子力研究センター | 臨界実験装置 RA-2 核分裂性物質が入ったタンクから水を排出する際 の操作ミスにより臨界状態となり、1名が死亡 |
| 1999 | 日本 東海村JCO | 核燃料加工施設における非正規手順の作業によ って発生 3名が被ばく、2名が死亡。INES 4 |

環境への放出と住民への著しい被ばくの可能性を伴う事故

| | | |
|------|-------------------|--|
| 1979 | アメリカ スリーマイル島原発 | 原子炉の水位が低かったため燃料に深刻な障 害 550GBqのI-131が環境中に放出 一部住民避難を余儀なくされた。INES 5 |
| 1986 | 旧ソ連 チェルノブイリ原発 | 運転規定違反、安全手順不履行、設計不具 合など複合要因によって発生。28名が急性放射線障害で死亡 1760PBqのI-131ほか大量の放射線物質が放 出。INES 7 |
| 2011 | 日本 東電福島第一原発 | 大地震に引き続く津波により全電源喪失 冷却機能喪失により炉心溶融 120PBqのI-131ほか大量の放射線物質が放 出。INES 7 |

核兵器には関連しない臨界事故もあります。その一つが日本で1999年に発生したウラン加工工場臨界事故です。この事故の詳細は後述します。

これまで住民への著しい被ばくの可能性を伴う事故として、米国スリーマイル島原発事故、旧ソ連チェルノブイリ原発事故、日本東電福島第一原発事故があります。東電福島第一事故については後述します。

ウラン加工工場臨界事故 1999年 茨城県東海村

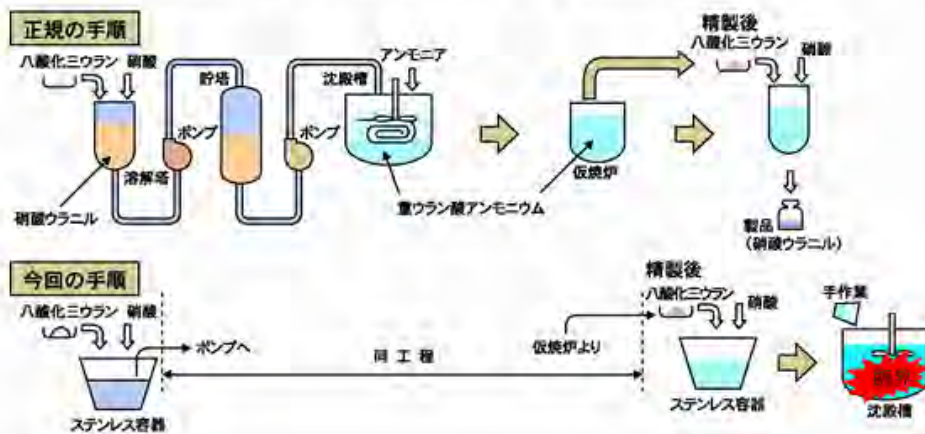
ウラン加工工場臨界事故は、1999年茨城県東海村で発生しました。

事故概要

正規工程を全く無視した手順：
バケツでウランを溶かして沈殿槽に流し込んでいた



ウラン溶液濃度が臨界量を超えた(濃度18.8%)



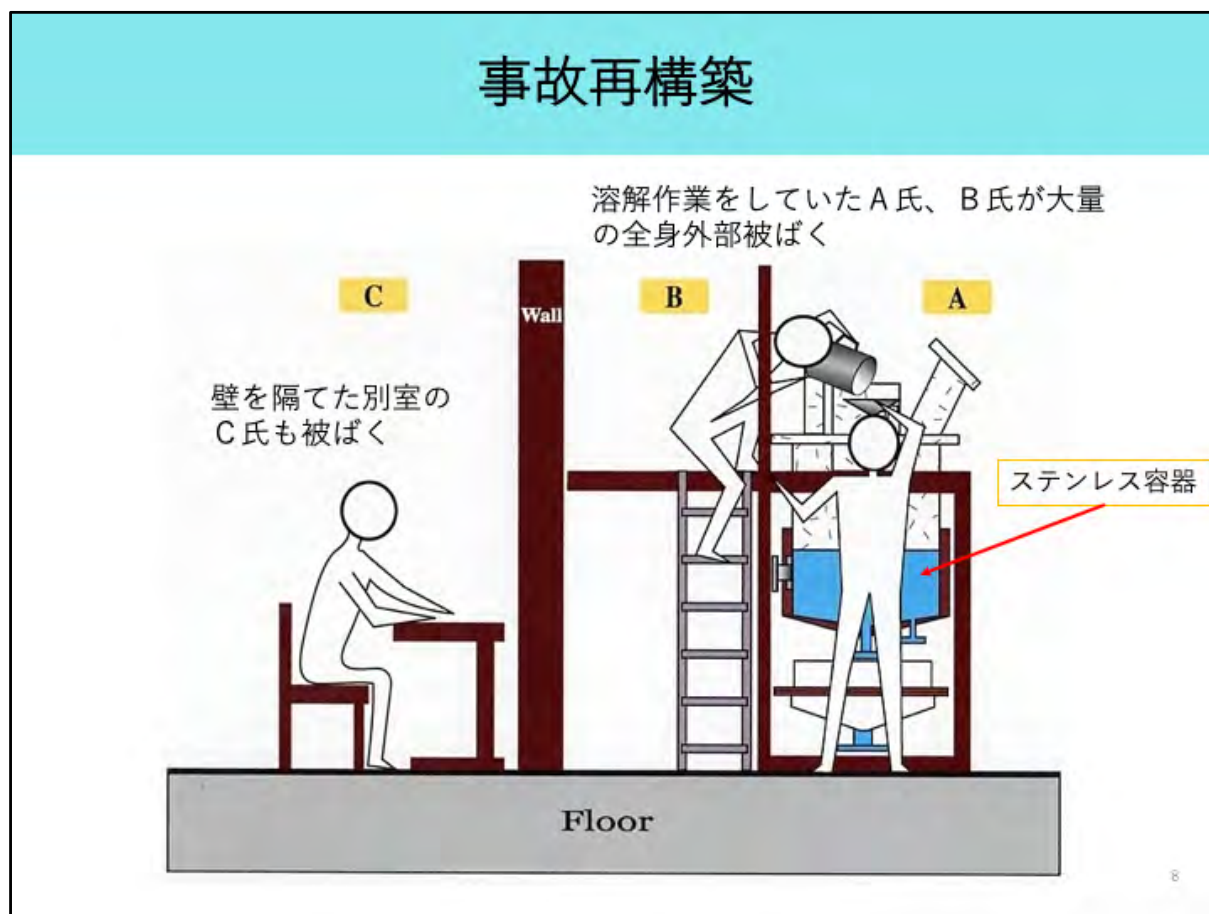
1999年9月30日午前10時35分、茨城県の原子力施設が集中する地域で、高濃度ウラン燃料の加工をしていた工場（茨城県東海村（株）JCO東海事業所 **転換試験棟**）で国内初の臨界事故が発生しました。

事故発生原因は国に提出し認められたマニュアルを改ざんし、さらに発災前日に変えていたためです。臨界条件を避けることを目的に設計された溶解タンクとバッファコラムを用いずに高速増殖炉常陽向け濃縮ウラン(18.8%の²³⁵U)の塊を硝酸の入ったバケツで溶かしては直接沈殿槽に注いでいました。

通常はウランの濃縮度が3～5%の商業用原子炉向け燃料を扱っている為、問題とはなっていませんでした。

この事故で作業員3名が重度の被ばくをし、内2名が死亡しました。周辺住民なども多数被ばくしました。

事故再構築



1999年9月30日の午前10：35分頃、溶解槽内の溶液が約40ℓに達しました。これはウラン16kgに相当し、臨界量です。そのため臨界状態を発生させやすい形状と構造の容器に、大量のウラン235が入ったことで、小型原子炉が臨時に設置されたのと同じ状態になり、その瞬間、核分裂連鎖反応が始まり、大量のγ線と中性子線の放出が始まりました。

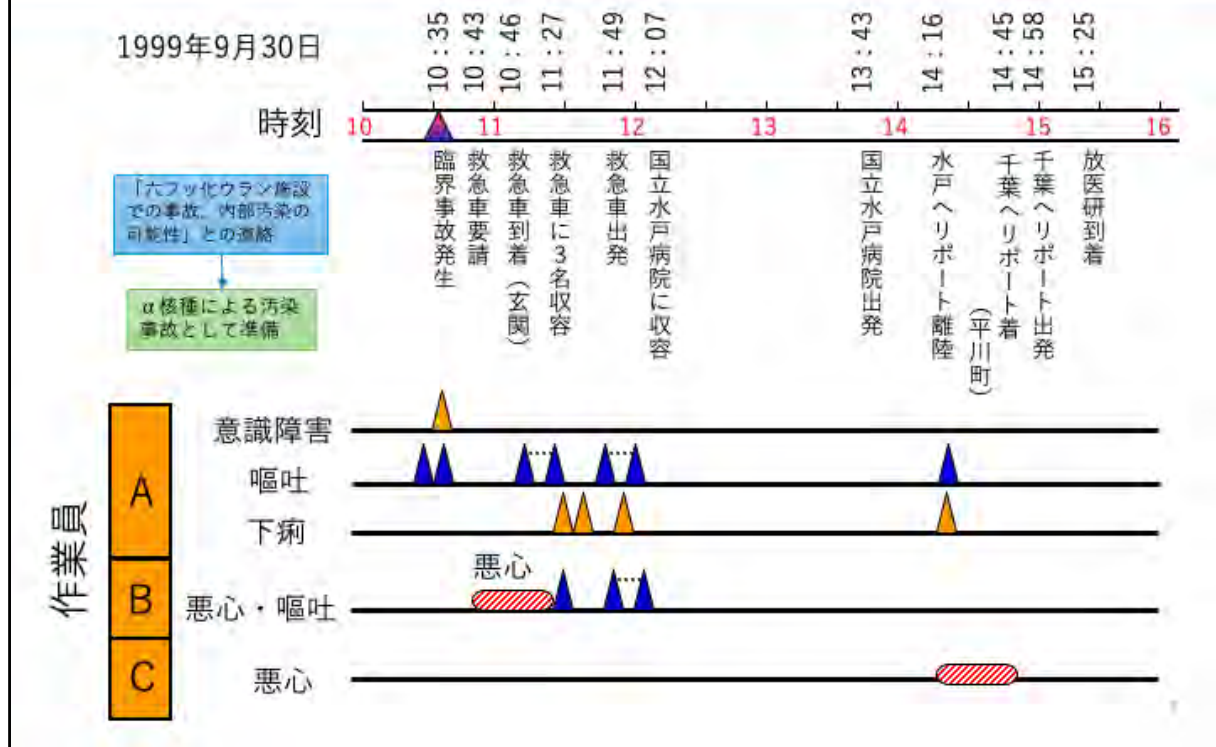
1999年10月1日午前8時50分 臨界から約20時間後に臨界は終息しました。

施設から350m以内に住む161人が避難を命じられ、10km圏内31万人が約18時間屋内に滞在するようにアドバイスされました。

臨界発生時の状況です。

ステンレス容器内でウラン溶液濃度が臨界量を超えたため、大量の中性子が発生し、3名の作業員が被ばくしました。特にステンレス容器の前に立っていたA氏の被ばく線量が最も高く、次にB氏となりました。C氏は壁を隔てた別室にいたため、被ばく線量が最も低かったです。

前駆症状



臨界事故は1999年9月30日10:35に発生しました。3名の作業員の前駆症状の臨床経過を示しています。最も被ばく線量が高いA氏は被ばく後すぐに一時的な意識障害と嘔吐の症状が出現しています。また、1時間後には下痢の症状も出現しています。

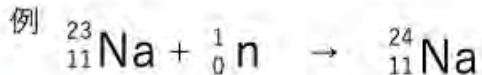
B氏は被ばくから数十分後に悪心を訴え、約1時間後に嘔吐の症状が出現しました。C氏は被ばくから約4時間後に悪心の症状を訴えていました。

この事故は、当初地元の消防署に「転換棟での事故」の通報だったため、「てんかんで人が倒れた」と認識してしまい、当初、消防は放射線の事故だと認識していませんでした。また、放医研へも「東海村ウラン加工施設から放医研に患者搬送」「六フッ化ウラン施設での事故、内部汚染の可能性」との連絡であったことからアルファ核種による汚染事故として受け入れの準備をしました。

放射化

もともとは放射能がない同位体が放射線を受けることによって放射性同位体に変化すること

とくに電荷を持たず運動エネルギーの小さい熱中性子は容易に原子核に接近し核反応を起こす



放射化により人体中で生成される放射性同位元素

${}^{24}\text{Na}$ 、 ${}^{42}\text{K}$ 、 ${}^{32}\text{P}$ 、 ${}^{82}\text{Br}$

${}^{32}\text{P}$ は γ 線を放出せず周辺の要員への被ばくには寄与しない

表面汚染検査 (表面汚染はないが、放射化した放射性同位元素による γ 線を検出する)

- GMサーベイメータ：メータの指針が振り切れる
- α 線サーベイメータ：バックグランドレベル

患者の吐瀉物 → ${}^{24}\text{Na}$, ${}^{42}\text{K}$ } などが検出された
患者の所持品 → ${}^{24}\text{Na}$, ${}^{56}\text{Mn}$, ${}^{198}\text{Au}$ } ⇒ 中性子線の被ばくがあったことの示唆
※血漿中 ${}^{24}\text{Na}$ 濃度は中性子線被ばく量推定に用いられる

もともとは放射能がない同位体が放射線を受けることによって放射性同位体に変化することを放射化と言います。

臨界事故で発生した中性子は、核反応を起こし、体内の Na-23 が Na-24 となり、 γ 線を放出します。体内のナトリウムは血液中に存在するため、全身に分布しています。このため、表面汚染検査で、表面汚染はないが、放射化した放射性同位元素によるガンマ線を検出することになります。

また、吐瀉物や所持品から放射化した同位元素を検出したことから、中性子線の被ばくが示唆されました。

血漿中の Na-24 濃度は中性子線被ばく量推定に用いられました。

病室エリア測定記録



- ◆ 測定日：
平成11年10月01日（金）09:40
- ◆ 測定器：
NaI(Tl)シンチレーションサーベイメーター
（アロカTCS-161）
- ◆ 単位：μSv/hr

患者体内のNa-23が中性子により放射化されNa-24が生成されている

患者から最大12 kcpm (GM管) を検出 (α線は陰性)

放射化したNa-24からガンマ線が放出されるため、被ばくした作業員の周辺の空間線量率も上昇しました。翌日の病室周辺の測定結果を示しています。

Na-24が1MBq存在する場合、1m離れた場所での線量率は0.429μSv/hとなります。

A氏はNa-24が約6MBqでした。また、Na-24の実効半減期は14.1時間です。これから計算すると、

【事故直後のA氏から1mの位置での線量率】

$0.429 \mu\text{Sv/h} \times 6\text{MBq} = 2.6 \mu\text{Sv/h}$ となります。

これは、事故23時間後に測定した患者周辺の線量率と合致します。

このことから、患者から1mの位置にいる対応者の線量は3時間で10μSv以下です。搬送対応者、医療従事者の被ばく線量としては、健康に影響を与える値ではないことが予想されます。

出典；放射線医学総合研究所「東海村ウラン加工工場臨界事故に関する放医研報告書NIRS-M-143」（平成13年1月）

臨床経過

| | A氏 | B氏 | C氏 |
|---------|--------------------------|-------------|-------------------|
| 推定被ばく線量 | 10 - 20 GyEq | 6 - 10 GyEq | 1.2 - 5.5 GyEq |
| 被ばく直後 | 嘔吐、下痢、意識消失 | 嘔吐、下痢、意識消失 | 吐き気 |
| 3日後 | リンパ球が0になる | | 血球細胞減少に対し無菌管理、輸血等 |
| 7日後 | 骨髄移植 人工呼吸開始 皮膚障害悪化 | リンパ球が0になる | |
| 10日後 | | 骨髄移植 | |
| 3週間後 | | 皮膚障害が悪化 | 血球細胞数が回復に転じる |
| 4週間後 | 下痢の重症化 | | 無菌室退室 |
| 7週間後 | 消化管出血増悪 | | |
| 83日後 | 多臓器不全により死亡 | | |
| 3ヶ月後 | | | 退院 |
| 21週間後 | | 消化管出血増悪 | |
| 211日後 | | 多臓器不全により死亡 | |

作業員3名の臨床経過をします。

骨髄障害に対して、A氏には、抹消幹細胞移植が実施されました。C氏には、サイトカインが投与されました。

A氏は83日後、B氏は211日後に多臓器不全により死亡しました。C氏は、骨髄障害は回復し、3ヶ月後に退院しました。

環境放射線モニタリング

- ❖ 一般住民の健康や環境に影響を及ぼすものではないと判断された。
- ❖ 周辺で放射化生成物(Na-24など)やガス状核分裂生成物が微量に検出されるも粒子状物質は検出されず。
- ❖ 施設周辺の地表面、民家、農産物等のサーベイはBレベル
- ❖ ガンマ線積算線量: 300 m 地点で270 μ Gy

周辺住民の個人線量推定

| 実効線量 (mSv) | 東海村住民 (職員除く) | 那珂町住民 (当時) | 職員 | 合計 |
|---------------|-----------------|---------------|----|-----|
| ～5 | 77 | 24 | 78 | 179 |
| 5～10 | 7 | 0 | 8 | 15 |
| 10～15 | 4 | 0 | 0 | 4 |
| 15～20 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20～25 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 合計 | 89 | 24 | 86 | 199 |

環境放射線モニタリングでは、周辺で放射化生成物(Na-24など)やガス状核分裂生成物が微量に検出されるも粒子状物質は検出されていません。また、一般住民の健康や環境に影響を及ぼすものではないと判断されました。これは臨界事故なので、放射性物質の放出による汚染は全く生じません。

出典:National Institute of Radiological Sciences 2002 NIRS M-154

被ばく線量

| 分類 | 人数 | 備考 |
|---------|-----------------------|---|
| 従業員 | 事故発生時に作業に従事していた者 | 3 24.5GyEq (83日後に死亡)、8.3GyEq (211日後に死亡)、3.0GyEq (治療後退院) |
| | 水抜き作業等に従事した者 | 18 ホールボディカウンタ、線量計で検出。3.8~48mSv |
| | ホウ酸水注入に従事した者 | 6 線量計等で検出。0.7~3.5mSv |
| | その他事故時に敷地内にいた者 | 49 ホールボディカウンタ、フィルムバッチで検出。0.6~48mSv 96 敷地内の端の線量評価とJCOが実施した個人行動調査から推定。0.06~17mSv |
| 防災業務関係者 | 政府関係機関 (原研、サイクル機構の職員) | 57 フィルムバッチ、TLDで測定した206名のうち、56名から検出。0.1~9.2mSv |
| | 消防職員 (事故発生時に救助に従事) | 3 ホールボディカウンタで検出。4.6~9.4mSv |
| | 自治体関係者 | 167 行動調査に基づき推定。0.0002~7.2mSv |
| | 国の関係者 | 8 行動調査に基づき推定。0.49~2.1mSv |
| | 報道関係者 | 26 行動調査に基づき推定。0.014~2.6mSv |
| 周辺住民等 | 実測で線量が評価された者 | 7 ホールボディカウンタで検出。6.7~16mSv |
| | 居住または勤務する者 | 199 行動調査に基づき推定。0.01~21mSv |
| | 一時滞在者 | 28 行動調査に基づき推定。0.01~3.6mSv |

出典：第83回原子力安全委員会資料第4号

周辺住民や事故終息に従事した作業員、防災業務関係者等の被ばく線量をフィルムバッチ、ホールボディカウンタ、行動調査に基づいて線量推定しています。その結果を示しています。

社会的影響と風評被害

社会的影響

- ❖ 日常生活関連業務への影響
 - ◇ 10km圏内のスーパー、金融機関、ガソリンスタンド等が営業見合わせ
- ❖ 交通機関等への影響
 - ◇ JR常磐線水戸～日立間運行停止
 - ◇ 常磐自動車道、JCO周辺道路の交通規制
 - ◇ 10km圏内のバス、私鉄等運休
- ❖ 学校・公共施設への影響
 - ◇ 学校230校が休校
 - ◇ 公立の社会福祉施設等67施設が休館

風評被害

- ❖ 農畜産物への影響
 - ◇ 米：533トン、1億3600万円分が出荷停止
 - ◇ 青果物：一時取り引き停止、単価下落
 - ◇ 畜産物：乳業メーカー取引停止、芝浦市場で半径10km以内の豚肉・牛肉の入荷拒否
 - ◇ 水産物：シラス操業停止、消費地市場や量販店で受け入れを拒否
- ❖ 商工業への影響
 - ◇ 売上減少、取引停止、製品の返品など
- ❖ 観光への影響
 - ◇ 観光施設の予約キャンセル（1ヶ月間で17,000名以上）

この事故では、様々な社会的影響がありました。10km圏内のスーパーや金融機関、ガソリンスタンドが営業を見合わせたり、交通規制、バス私鉄等の運休、学校の急行や社会福祉施設等の休館がありました。

汚染を伴う事故ではありませんでしたが、農畜産物、商工業、観光への風評被害もありました。

原子力安全・防災対策

- ❖ 原子力安全規制の抜本的強化と原子力災害に係わる防災対策について、平成11年12月13日に「原子炉等規制法」の一部改正と「原子力災害対策特別措置法」が成立
- ❖ 緊急被ばく医療体制の整備
 - ◇ 「緊急被ばく医療のあり方について」（平成13年6月（平成20年10月一部改定）原子力安全委員会 原子力施設等防災部会
 - ◆ 命の視点を最重要視し、包括的かつ一元的な緊急被ばく医療のあり方とその具体的な対策を取りまとめ
 - ◆ 原子力事業所の従事者と周辺住民等を分け隔てなく、平等に治療する共通認識の確認
 - ◆ 緊急被ばく医療に関わるすべての関係者が適切な研修及び訓練を受けることにより、被ばく患者の診療に際し不安を感じずに、円滑かつ迅速に患者を診療できる具体的体制を提言
 - ◆ 原子力関連施設での事象に限らず、放射性物質が関係した緊急事態をも視野に入れて策定

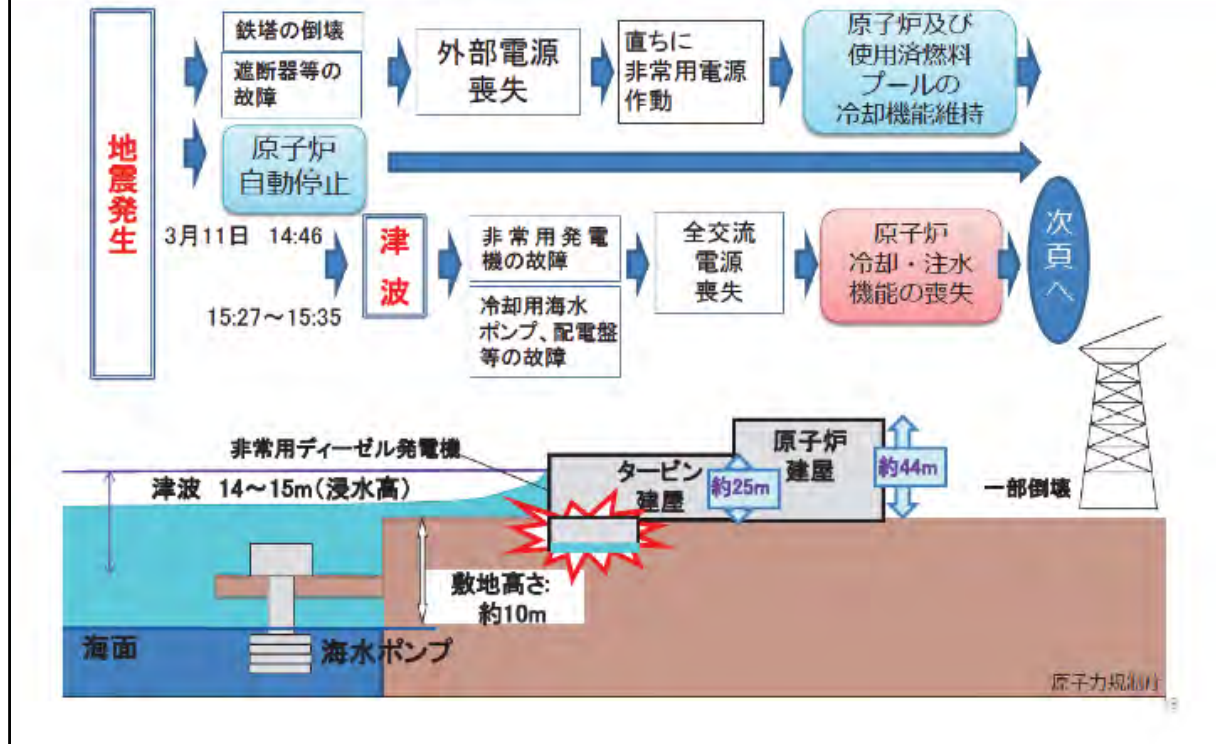
この臨界事故後に原子力安全規制の抜本的強化と原子力災害に係わる防災対策について、平成11年12月13日に「原子炉等規制法」の一部改正と「原子力災害対策特別措置法」が成立しています。また、医療体制も緊急被ばく医療体制が整備され、「緊急被ばく医療のあり方について」（平成13年6月（平成20年10月一部改定）原子力安全委員会 原子力施設等防災部会）が示されています。この中で、緊急被ばく医療に関わるすべての関係者が適切な研修及び訓練を受けることにより、被ばく患者の診療に際し不安を感じずに、円滑かつ迅速に患者を診療できる具体的体制、原子力関連施設での事象に限らず、放射性物質が関係した緊急事態をも視野に入れて策定することを提言しています。

その後、19道府県に緊急被ばく医療体制が整備されました。

東京電力 福島第一原子力発電所事故 2011年 福島県

2011年3月11日14:46に三陸沖でマグニチュード9.0の地震が発生し、東北地方を中心に地震、津波等による大規模な被害が発生しました。

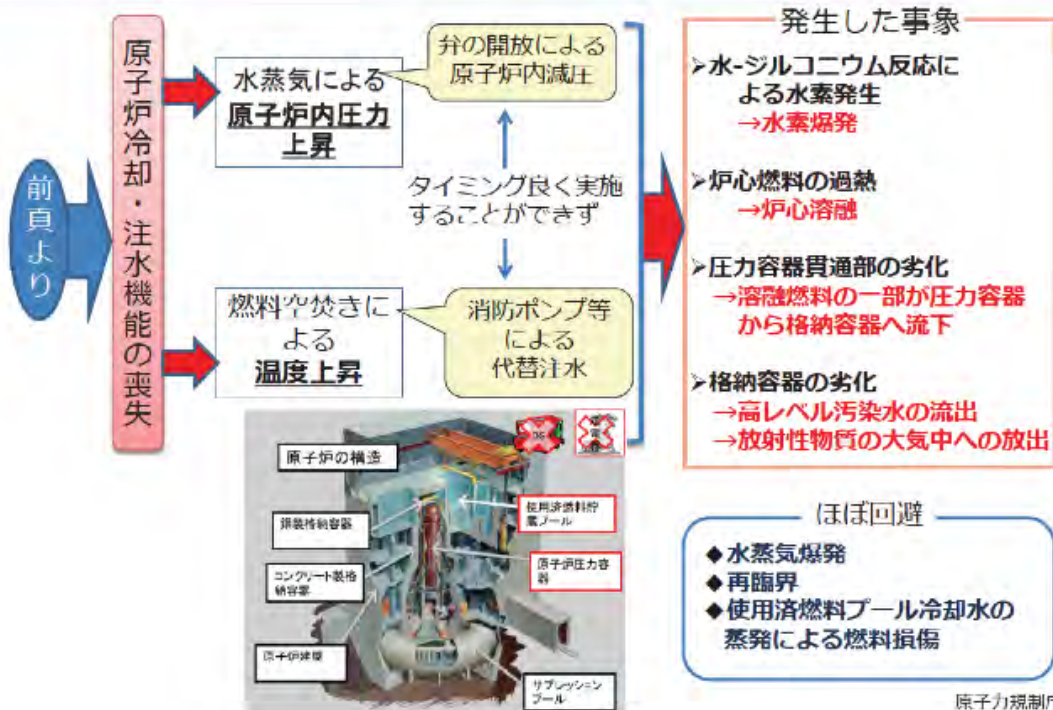
事故の経過



地震発生直後、運転中であった東京電力福島第一原子力発電所の1～3号機は全ての原子炉が自動停止しました。また、送電鉄塔の倒壊等により外部電源が喪失したため、非常用ディーゼル発電機が自動起動しました。しかし、その後の津波の襲来によって非常ディーゼル発電機や配電盤等が被水、冠水したため、6号機を除いて全ての交流電源が喪失し、冷却用の海水ポンプも機能を失いました。その結果、1号機では原子炉を冷却する機能が喪失し、2号機、3号機では、交流電源がなくても駆動できる冷却設備でしばらく原子炉を冷却していましたが、やがてこれらも停止しました。

出典:放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成28年度版)を改変

事故の経過



炉心への注水が停止したことにより原子炉水位が低下して、燃料が露出しました。その結果、炉心溶融が始まり、圧力容器が損傷したと考えられます。格納容器では、炉心損傷の影響で高温・高圧状態となり、閉じ込め機能が劣化し、格納容器の外に通じる配管貫通部等に隙間が生じました。冷却のために原子炉へ注水した水が圧力容器や格納容器から漏洩し、大量の高レベル汚染水が原子炉建屋地下やタービン建屋地下に滞留し、さらにその一部は海洋へ流出しました。圧力容器の損傷や格納容器の閉じ込め機能の劣化により放射性物質を含む蒸気が漏洩したことに加え、原子炉建屋の水素爆発や格納容器ベント等によって大気中に放射性物質が放出されました。

出典:放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成28年度版)を改変

住民の避難経路



全福島県民(約202万人)を対象に福島県が調査した、原発事故発生直後からの各個人の行動パターンが、放射線医学総合研究所が開発した外部被ばく線量評価システムに入力され、個人の外部被ばく線量評価されます。

これは、事故による放射線物質の拡散や避難等を踏まえ、県民の被ばく線量評価を行うとともに、県民の健康状態を把握し、疾病の予防、早期発見、早期治療につなげ、将来にわたる県民の健康の維持、増進を図ることを目的として福島県が実施している「県民健康調査」の基礎調査として実施されたものです。

基本調査の回答率は、福島県全体では27.6%です。

平成29年6月30日までに推計が行われた累計55万2,298人のうち、推計期間いっぱいの4ヶ月間の行動記録の提出が47万3,605人で、さらに放射線業務従事経験者を除いた46万4,420人推計結果では、県南地域では、88.2%、会津・南会津地域では99.3%が1mSv未満となり、相双地域については77.3%が、いわき地域でも99.1%が1mSv未満となっています。最大値は、相双地域の方の25mSvでした。

出典：外部被ばく線量の推計について
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/6494.pdf>

ホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査の実施結果

環境モニタリングの結果等から、他の地域に比べ外部および内部被ばく量が高い可能性がある地域（川俣町山木屋地区、飯舘村、浪江町）や避難区域等の住民に対して、平成23年6月27日からホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査を開始。順次対象地区を県内全域に拡大し、平成29年11月30日までに32万8,354名を実施。セシウム134及び137による預託実効線量で99.9%以上が1ミリシーベルト未満、最大でも3ミリシーベルト未満であり、全員が健康に影響が及ぶ数値ではなかったとされている。

①対象自治体：福島県内全59市町村

②測定実施機関（実績）

福島県、弘前大学医学部附属病院、南相馬市立総合病院、日本原子力研究開発機構、新潟県放射線検査室、広島大学病院、長崎大学病院、大津赤十字病院、杜の都産業保健会、金沢医療センター、愛媛大学医学部附属病院、放射線医学総合研究所

③ホールボディ・カウンタ車の巡回による県外での検査について

福島県では県外に避難された方が受検できるようホールボディ・カウンタ車を巡回して検査を行っており、平成28年3月までに、福島県が検査を委託している常設の機関がない38都道府県（青森県、茨城県、新潟県、石川県、滋賀県、広島県、愛知県、長崎県以外）で検査が実施された。

④測定結果（預託実効線量）（平成29年11月実施分まで：平成29年12月26日発表）

| | 平成23年6月27日～ 平成24年1月31日 | 平成24年2月1日～ 平成29年11月30日 | 合計 |
|------------|---------------------------|---------------------------|----------|
| 1ミリシーベルト未満 | 15,384名 | 312,944名 | 328,328名 |
| 1ミリシーベルト | 13名 | 1名 | 14名 |
| 2ミリシーベルト | 10名 | 0名 | 10名 |
| 3ミリシーベルト | 2名 | 0名 | 2名 |
| 合計 | 15,409名 | 312,945名 | 328,354名 |

※預託実効線量：平成24年1月までは3月12日の1回摂取と仮定。2月以降は平成23年3月12日から検査日前日まで毎日均等な量を継続して日常的に経口摂取したと仮定して、体内から受けとられる内部被ばく線量について、成人で50年歳、子供で70歳までの線量を合計したもの。

福島県ホームページ「ホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査 検査の結果について」より作成

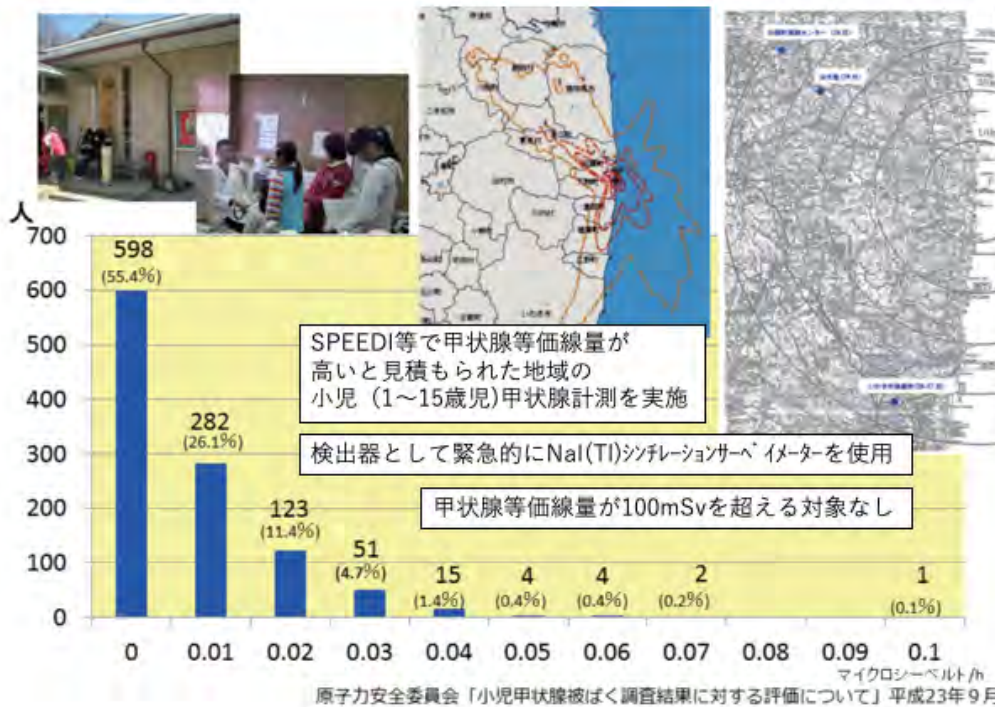
11

環境モニタリングの結果等から、他の地域に比べて外部および内部被ばく量が高い可能性がある地域（川俣町山木屋地区、飯舘村、浪江町）や避難区域等の住民を対象に平成23年6月27日からホールボディ・カウンタ（WBC）による内部被ばく検査が開始されています。対象地区は順次、県内全域に拡大しています。平成29年11月30日までに32万8,354名に検査が実施されています。Cs-134およびCs-137による預託実効線量で99.9%以上が1mSv未満、最大でも3mSv未満であり、全員が健康に影響が及ぶ値ではなかったとされています。

出典：放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成29年度版)

福島県ホームページ「ホールボディ・カウンタによる内部被ばく検査 検査の結果について」

小児甲状腺スクリーニング調査



平成23年3月23日のSPEEDIの試算を踏まえ、小児への健康影響を把握するため、原子力安全委員会緊急助言組織からの依頼（3月23、25日付）に基づき、現地原子力災害対策本部では小児甲状腺スクリーニング調査を実施しました。調査した1,149人のうち、適切に測定された1,080人の結果が示されています。測定場所の環境放射線量が簡易測定を行うには適当でなかった（測定場所の空間線量率が高く、簡易測定による適切な評価が困難であった）ため、適切に測定結果が出せなかった66人と年齢不詳の3人の結果は除かれていますが、調査を受けた全員が、原子力安全委員会がスクリーニングレベルとした「ま毎時0.2 μ Sv」を下回っていました。

出典:放射線の健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成29年度版)を改変

住民の内部被ばく評価

事故直後1年間における公衆の平均実効線量と平均甲状腺吸収線量

| 住宅区域 | 実効線量 (mSv) | | 甲状腺の吸収線量(mGy) | |
|-----------------------|------------|---------|---------------|---------|
| | 成人 | 1歳児 | 成人 | 1歳児 |
| 避難をした地区 | | | | |
| 予防的避難区域* ¹ | 1.1~5.7 | 1.6~9.3 | 7.2~34 | 15~82 |
| 計画的避難区域* ² | 4.8~9.3 | 7.1~13 | 16~35 | 47~83 |
| 避難をしていない地域 | | | | |
| 避難が行われなかった地域の福島県住民 | 1.0~4.3 | 2.0~7.5 | 7.8~17 | 33~52 |
| 福島近隣県 | 0.2~1.4 | 0.3~2.5 | 0.6~5.1 | 2.7~15 |
| 上記以外 | 0.1~0.3 | 0.2~0.5 | 0.5~0.9 | 2.6~3.3 |

※1 2011/3/12~15にかけて避難を指示された地区

※2 2011/3月末から6月にかけて避難を指示された地区

UNSCEAR Report 2013:

LNT仮説に基づけばわずかな発がんリスク増加が示唆されるものの日本人のベースラインから差を検出するには小さすぎるレベルである。

病院避難



2011年3月12日から16日にかけて、20km圏内の避難区域の医療機関から入院患者の避難が実施されました。

医療機関の避難では、情報が関係者間で共有できていなかったり、搬送までに時間がかかったこともあり、搬送中の死亡が発生しています。

3号機原子炉建屋水素爆発



原子力安全・防災対策

- ❖ 災害対策基本法、防災基本計画（第12編「原子力災害対策編」）の改定
- ❖ 原子力規制委員会設置
- ❖ 原子力災害対策指針の策定
 - ◇ 予防的防護措置を準備する区域(PAZ)と緊急時防護措置を準備する区域(UPZ)
 - ◇ 安定ヨウ素剤の予防服用の体制
- ❖ 原子力災害時の医療体制の充実と強化のための見直し
 - ◇ 24道府県に医療体制の整備
 - ◇ 高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターの設置
 - ◇ 道府県による原子力災害拠点病院の指定、原子力災害医療協力機関の登録

2011年に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故により、関連する法令等が改定、策定されました。

中でも原子力災害時の医療体制は、それまでの緊急被ばく医療体制を充実、強化されています。現在も原子力災害時の医療体制は、見直しや改正が行われています。

まとめ

- ❖ 原子力事故・災害には臨界事故、影響が施設内にとどまる事故、放射性物質が環境中に放出される事故、住民の被ばくを伴う事故などがある。
- ❖ 事象の重大さを表す指標としてINESがあり7つのカテゴリーに区分されている。
- ❖ 1945年～2007年までの放射線事故のうち、致死・早期影響事故件数:原子力施設35、産業施設80、不明線源34、研究22、医療32
- ❖ 日本は、1999年ウラン加工工場臨界事故、2011年東京電力福島第一原子力発電所事故があり、事故対応後には、関連する法令等の改正が実施された。

原子力災害医療派遣 チームの活動

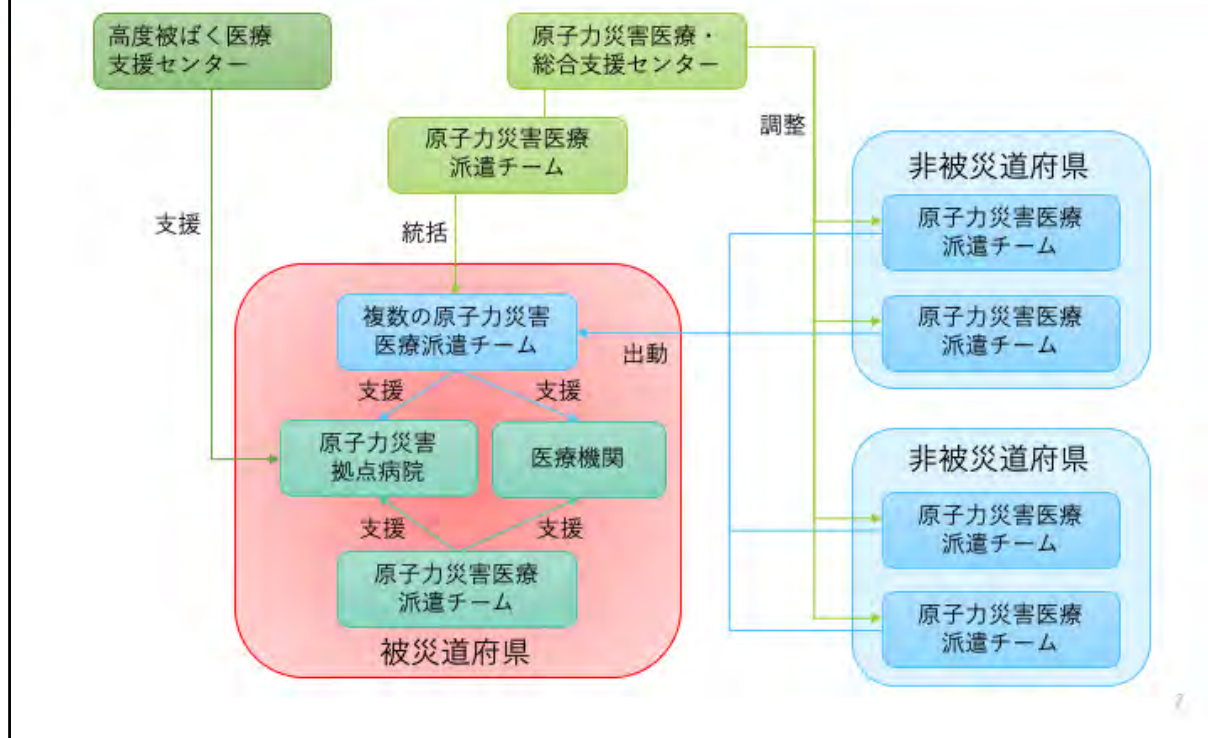
原子力災害 専門研修
派遣チーム-1

時間；30分

内容

- 基本方針
- 関係機関・組織
- 派遣チームの準備
- 資機材
- 派遣チーム受入準備
- 原子力災害発生時の活動の流れ
- 待機要請
- 派遣要請・出動
- 基本的活動
- 安全確保
- 連絡、記録の作成と保管
- 活動の終了
- 費用の支弁

原子力災害医療派遣チーム活動の基本方針



原子力災害医療派遣チーム（以下「派遣チーム」という。）の活動は、平時に派遣チームを保有する医療機関と当該医療機関を管轄する道府県との間で締結された協定（以下「協定」という。）及び地域防災計画等に基づきます。

原子力災害医療・総合支援センター、非被災道府県から派遣チームを出動させることが基本となります。ただし、被災道府県の原子力災害医療調整官が必要性を判断した場合には、被災道府県内の派遣チームを出動させることもできます。

派遣チームの出動先は、被災道府県の原子力災害拠点病院を基本とし、派遣先の機関の長の指揮下で支援活動を行います。

その活動は、例えば汚染のある患者に対する救急医療等の提供など、原子力災害医療に係る活動の支援を基本としますが、出動先の原子力災害拠点病院で対応できない被ばく傷病者等が発生した場合には、高度被ばく医療支援センターまたは原子力災害医療・総合支援センターへ搬送する際の搬送支援を行います。また、原子力災害の発生時に被災道府県または被災道府県内の市町村が事前に策定した原子力防災に係る各種計画の実行に際して、他の関係する対処要員よりも派遣チームによる対応の方がより適切と判断される場合（例えば医療機関における避難計画を実施しようとした際や避難所等での救護活動を行おうとした際に計画上の人員確保が困難と判断される場合）等には、必要に応じて原子力災害時の医療ニーズに可能な範囲で柔軟に対応します。

関係機関・組織

| | 機関・組織 | 役割 |
|--------|------------------------------|--|
| 立地道府県等 | 原子力災害医療調整官 | <ul style="list-style-type: none"> 地域の医療事情に詳しい者 医療機関、消防機関等に対して搬送する患者の汚染や推定被ばく線量に基づいて、その搬送先を適切かつ迅速に指示 必要に応じて、他の立地道府県等に対して派遣チームの派遣を要請 |
| | 原子力災害拠点病院 | <ul style="list-style-type: none"> 被ばくがある場合の適切な診療等の提供 |
| | 原子力災害医療協力機関 | <ul style="list-style-type: none"> 原子力災害での医療対応や立地道府県等が行う原子力災害対策等を支援 |
| | 原子力災害医療派遣チーム | <ul style="list-style-type: none"> 原子力災害が発生またはそのおそれがある被災道府県において救急医療等を行うことのできる専門的な研修、訓練を受けた医療チーム |
| | 原子力災害医療・総合支援センター | <ul style="list-style-type: none"> 原子力災害医療派遣チームの保有と派遣調整 教育・研修、訓練の実施 |
| 国等 | 高度被ばく医療支援センター | <ul style="list-style-type: none"> 被ばく患者の線量評価や診療等に関する指導、助言、支援等を行う専門派遣チームを保有 |
| | 基幹高度被ばく医療支援センター | <ul style="list-style-type: none"> 高度被ばく医療支援センターの中心的・先導的役割 地域の中核となる医療従事者等、高度被ばく医療支援センター、原子力災害医療・総合支援センターの医療従事者、専門技術者等への高度専門的な教育研修 |
| | 緊急事態応急対策等拠点施設（オフサイトセンター：OFC） | <ul style="list-style-type: none"> 原災本部長指示、各種対策の実施 オフサイト対策の支援に係る連絡調整 自治体との具体的対策の検討・調整 |
| | 原子力規制庁緊急時対応センター（ERC） | <ul style="list-style-type: none"> 官邸の意思決定を支える情報分析、現地の対応状況のフォローアップ |

原子力災害とは、原子力施設の事故等に起因する放射性物質または放射線の環境への異常な放出により生じる被害を意味します。原子力災害対策特別措置法（以下「原災法」）では、原子力施設外における放射性物質または放射線の放出が一定の水準を超えた場合には、原子力緊急事態（原災法第2条第2号に規定する「原子力緊急事態」をいう。）に該当するものとされ、緊急事態応急対策が講じられます。こうした事態における原子力災害医療の対応には、通常の救急医療、災害医療に加えて被ばく医療の考え方が必要となります。この原子力災害医療を提供するのが、原子力災害拠点病院、原子力災害医療協力機関、原子力災害医療・総合支援センター、高度被ばく医療支援センター、基幹高度被ばく医療支援センターとなります。この中で、原子力災害拠点病院、原子力災害医療協力機関、原子力災害医療・総合支援センターは原子力災害医療派遣チームを保有します。高度被ばく医療支援センターは専門派遣チームを保有します。

また、原子力災害医療調整官は、地域の医療事情に詳しい者とし、原子力災害医療調整官を長とする複数者からなるグループを組織して立地道府県等が設置する災害対策本部内に配置することとなっています。この原子力災害医療調整官は、医療機関、消防機関等に対して搬送する患者の汚染や推定被ばく線量に基づいて、その搬送先を適切かつ迅速に指示します。その際、救急医療体制を活用し、医療機関に対して傷病者を受け入れるように指示し、その受入れを確認します。特に、重篤な傷病者については指定された原子力

災害拠点病院等に搬送できるようにします。また、原子力災害医療調整官は、必要に応じて、他の立地道府県等に対して派遣チームの派遣要請を行い、立地道府県等内の原子力災害拠点病院等へ派遣します。

原子力災害医療派遣チームの準備

- ❖ 構成員
 - ◇ 医師、看護師、放射線防護関係者、業務調整員等の4名以上
 - ◇ 被ばく医療に必要な知識、技能を保有する者
- ❖ 資機材；7日程度の活動に必要な分量
 - ◇ 備蓄、保管、点検、校正を適切に実施
- ❖ 規程
 - ◇ チームの編成、召集、資機材や車輛の管理、整備、安否確認や情報共有、連絡体制、補償に関する事項
 - ◇ 出動手続き、活動手順、連絡方法等のマニュアル
- ❖ 教育・研修、訓練、ネットワーク構築
 - ◇ 原子力災害医療・総合支援センターが実施する研修を定期的に受講、派遣調整や派遣の訓練に参加
 - ◇ 道府県内で構築される医療ネットワーク会議等及び地域原子力災害時医療連携推進協議会等に参加
- ❖ 道府県との協定締結
 - ◇ 医療機関と管轄する道府県とが派遣チームの運用に関する協定締結
 - ◆ 派遣要請等の手続き、運用、費用支弁、補償
- ❖ 記録の作成・保管
 - ◇ 構成員の教育・研修の受講記録の作成、保管

原子力災害医療派遣チーム（以下、派遣チーム）は4名以上で、原子力災害が発生またはそのおそれがある場合に提供される医療に必要な知識、技能を保有する医師、看護師、放射線防護関係者、業務調整員等から構成されます。

資機材は、移動時間も含めて7日程度の活動に必要な分量を基本として整備し、定期的に点検を行います。

派遣チームの編成や招集、資機材や車輛の管理及び整備、安否確認や情報共有、連絡体制、補償に関する事項など必要とされる規程をあらかじめ院内で整備します。また、派遣チームの出動手続きや活動手順、連絡方法等を定めたマニュアル類を事前に院内で整備しておくことが望ましいです。

原子力災害医療・総合支援センターが主催する派遣チーム研修などの教育・研修を定期的に受講し、派遣調整訓練や派遣訓練等、道府県内で構築される医療ネットワークの会議等及び担当地域の原子力災害医療・総合支援センターが主催する地域原子力災害時医療連携推進協議会等に積極的に参加します。

派遣チームを保有する医療機関は、管轄する道府県と派遣チームの運用に関する協定をあらかじめ締結します。また、派遣チームの構成員の教育・研修の受講記録を作成、保管します。

参考：「原子力災害医療派遣チーム活動要領」 平成29年3月29日 原子力規制庁原子力災害対策・核物質防護課

資機材

| 項目 | 品目 |
|--------|---------------------------------|
| 車輛 | 構成員全員の乗車が可能 構成員が休憩、宿泊できるスペース |
| 通信機器 | 衛星携帯電話など複数の通信手段 |
| 個人防護装備 | 防護服等、個人線量計、安定ヨウ素剤 |
| 放射線測定器 | 空間線量計、表面汚染計 |
| 除染用資機材 | ガーゼ、膿盆、洗浄用ボトル、吸水シートなど |
| 養生用資機材 | ビニール袋、ビニールシート、ろ紙シート、養生用テープなど |
| 医療資機材 | 救急医療、災害医療に必要な資機材 |
| 生活必需品 | 食料、水など7日分 |

原子力災害医療派遣チームの資機材です。

放射線測定器等は、定期的に点検、校正して、常に使用できることを確認しておきます。また、生活必需品は、移動時間も含め7日程度の活動に必要な分量を備蓄します。

参考 DMAT隊員養成研修会 DMAT標準資器材リスト

<http://kenkyuukai-113.skillupjapan.tv/images/sys%5Cinformation%5C20110510100123-6B6B6D40DD150D47D0FB91F8E7521B5C6FD7E359DEF65B6C1DEF4A07C657661C.pdf#search='DMAT資器材>

派遣チーム受入準備

- ❖ 複数の派遣チームの支援を受け入れることを想定
 - ◇ 派遣チームの待機場所、活動控室、宿泊や食事の提供場所等の体制整備
 - ◇ 院内外のスタッフの役割分担、資機材の配置等の工夫
- ❖ 情報提供・共有
 - ◇ 災害対策に係る体制、職種別の院内関係者名簿、院外からの支援者名簿、資機材等の配置場所
 - ◇ 原子力規制委員会の「緊急情報メールサービス」、管轄の道府県からの連絡による原子力災害の発生、事態推移等を速やかに把握、共有
 - ◇ 原子力災害医療・総合支援センター、高度被ばく医療支援センターとの連絡体制
- ❖ 院内原子力災害医療コーディネーター
 - ◇ 外部からの原子力災害医療の支援受入れの調整
- ❖ 職種別院内コーディネーター
 - ◇ 医師、看護師、診療放射線技師、薬剤師などの職種ごとに受入れの調整
- ❖ 複数の派遣チームと協働して活動を行うための研修の実施

派遣チームの支援を受け入れる可能性のある原子力災害拠点病院等の医療機関は、複数の派遣チームの支援を受け入れることを想定し、外部からの原子力災害医療の支援受入に関する院内原子力災害医療コーディネーター（以下「院内

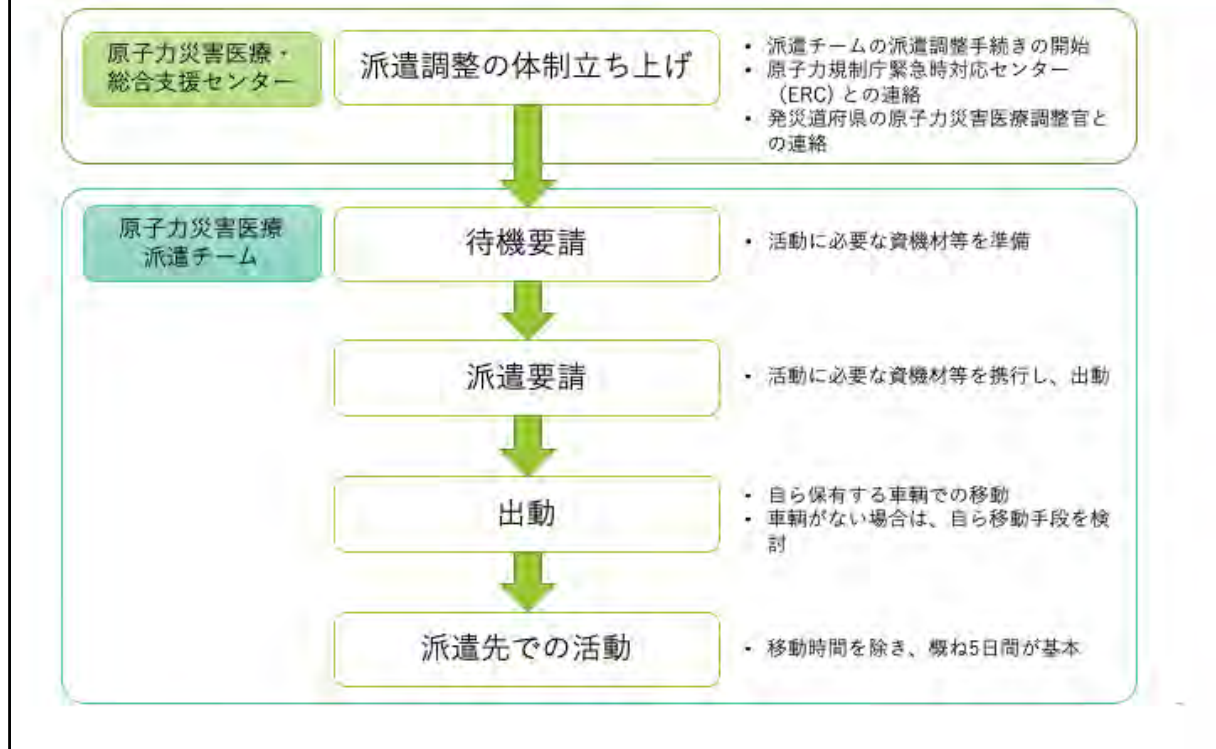
コーディネーター」という。）を定めます。また、必要に応じて、医師、看護師、診療放射線技師、薬剤師といった職種ごとに受入に関する職種別院内コーディネーターを定めます。

体制整備としては、派遣チームの受入待機場所、活動控室、宿泊や食事の提供場所等、災害対策に係る体制、職種別の院内関係者名簿、院外からの支援者名簿、資機材等の配置場所の情報提供体制、原子力規制委員会の「緊急情報メールサービス」、管轄の道府県からの連絡による原子力災害の発生、事態推移等を速やかに把握、共有する体制、原子力災害医療・総合支援センター、高度被ばく医療支援センターとの連絡体制を構築します。

また、複数の派遣チームと協働して活動を行うための研修を実施し、他の機関が主催する訓練等にも積極的に参加します。

派遣チームの緊密な医療ネットワーク構築を目的とする道府県内の医療ネットワークに係る会議や地域を担当する原子力災害医療・総合支援センターが主催する地域原子力災害時医療連携推進協議会等に積極的に参加します。

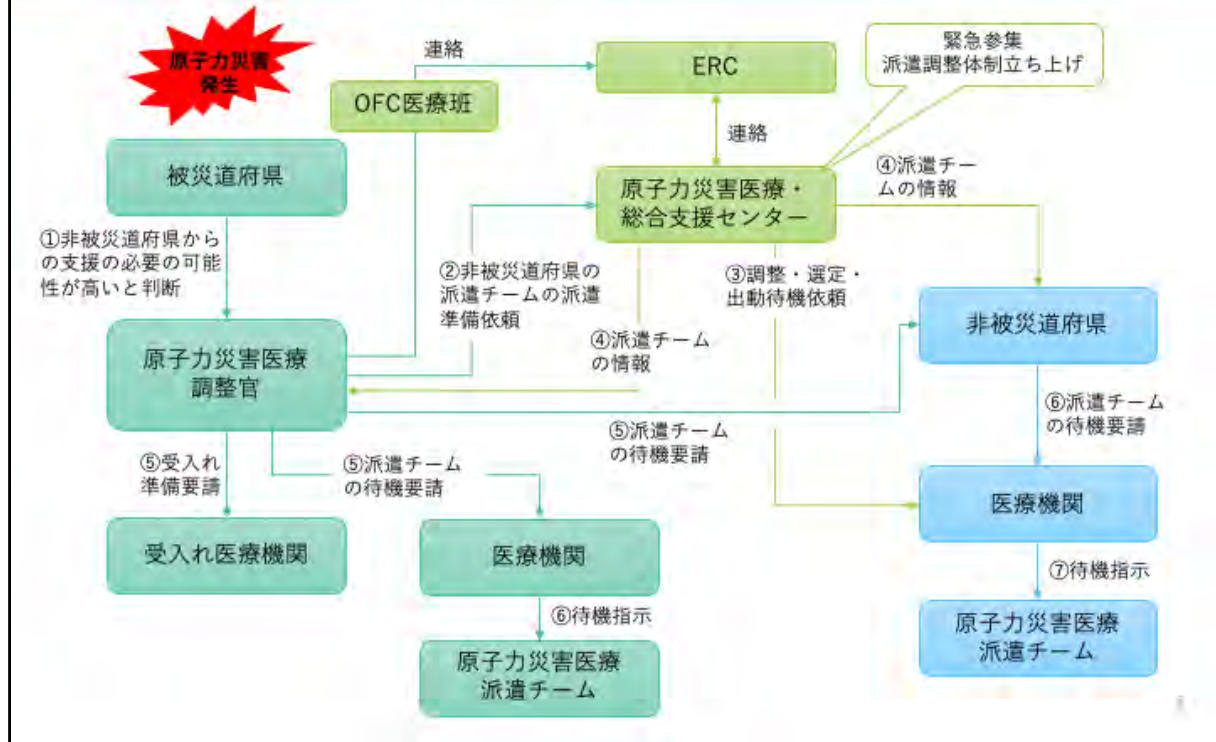
原子力災害発生時の活動の流れ



原子力規制委員会防災業務計画に基づき、事故警戒本部が原子力規制庁緊急時対応センター（ERC）に設置された場合には、警戒事態が発生した道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターは事務局員を当該支援センターに緊急参集させるなど派遣チームの派遣調整手続きを開始できる体制を速やかに構築します。また、原子力統合防災ネットワークシステムの接続を確認するとともに、ERC 及び警戒事態が発生した道府県の原子力災害医療調整官と緊急に連絡がとれる体制を構築します。

原子力災害医療・総合支援センターが派遣チームを保有する医療機関と調整し、派遣候補となる派遣チームを選定し、医療機関に対して出動待機を依頼します。その後、派遣チームは活動に必要な資機材等を準備し、派遣要請がなされた場合は、出動します。

待機要請



原子力災害が発生またはそのおそれがある場合であって、非被災道府県からの原子力災害医療に係る活動の支援が必要になる可能性が高いと被災道府県が判断した場合には、被災道府県の原子力災害医療調整官は被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センター（以下、総合支援センター）に対し、非被災道府県の派遣チームの派遣準備の調整を依頼すると同時にOFC医療班を通じてERCにも連絡します。

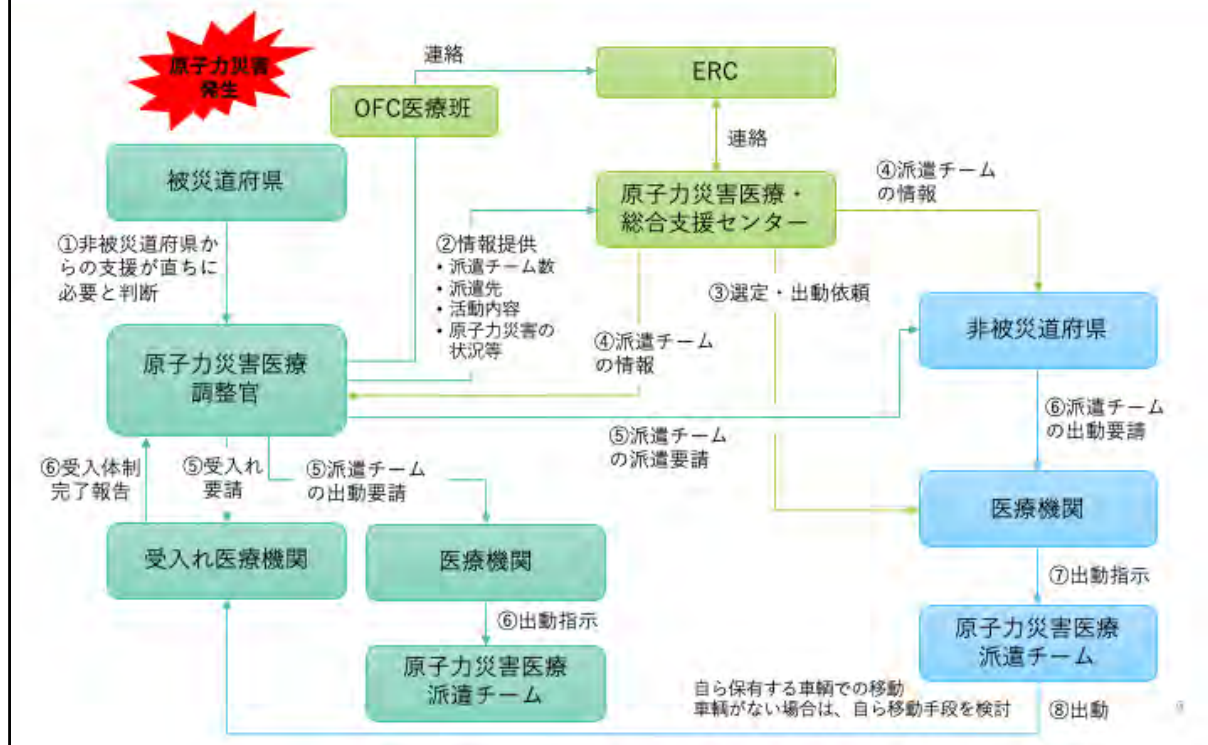
被災道府県を担当する総合支援センターは、非被災道府県の派遣チームを保有する医療機関と調整、派遣チームを選定し、派遣チームを保有する医療機関に対して当該チームの出動待機を依頼します。さらにその派遣チームの情報を被災道府県の原子力災害医療調整官、出動待機を依頼された医療機関を管轄する道府県及びERC医療班にも伝達します。

被災道府県の原子力災害医療調整官は、非被災道府県に派遣チームの待機要請を行い、支援受入医療機関に対し、派遣チームの受入準備の要請を行います。受入準備の要請を受けた派遣チームの支援受入医療機関は、速やかに院内の受入準備を開始します。

管轄の非被災道府県から待機の要請を受けた医療機関の長は、派遣候補となる派遣チームの構成員に対して待機を指示し、派遣チームの構成員は、活動に必要な資機材等を準備し、出動に備えます。

国は被災道府県からの派遣要請がない場合であっても、緊急の必要性があると認めるときは、非被災道府県に対して派遣チームの待機を要請することができます。

派遣要請・出動



非被災道府県からの原子力災害医療に係る活動の支援が直ちに必要であると被災道府県が判断した場合には、被災道府県の原子力災害医療調整官は被災道府県を担当する総合支援センターに対し、必要とされる派遣チーム数、派遣先、活動内容、原子力災害の状況等に関する情報を提供し、派遣チームの派遣調整を依頼すると同時にOFC医療班を通じてERCにも連絡します。被災道府県を担当する総合支援センターは、原子力災害の規模、被災道府県の所在地や派遣先となる原子力災害拠点病院等の地理的な位置関係等を考慮し、出動待機を要請された派遣チームの中から必要とされる派遣チームを迅速かつ適切に選定し、当該チームを保有する医療機関に対し、派遣チームの出動を依頼します。また、選定した派遣チームの情報を被災道府県の原子力災害医療調整官、当該チームを保有する医療機関を管轄する道府県及びERC医療班にも伝達します。

被災道府県の原子力災害医療調整官は、出動を依頼された派遣チームを保有する医療機関を管轄する非被災道府県に対し、派遣チームの派遣を要請します。さらに、派遣チームの支援受入医療機関に対し、派遣チームの受入を要請します。受入医療機関は、受入体制が整った段階でその旨を被災道府県の原子力災害医療調整官に伝達します。

管轄の非被災道府県から派遣要請を受けた派遣チームを保有する医療機関の長は、派遣チームの構成員に対して出動を指示し、出動を指示された派遣チームの構成員は活動に必要な資機材等を携行し出動します。

派遣チームを出動させる医療機関は、管轄の道府県、被災道府県を担当する総合支援センターを通じて、派遣チームの出動時刻と現地到着予定時刻等について、被災道府県の原子力災害医療調整官に伝えます。

基本的活動

- ❖ 1チームの活動は、移動時間を除き、概ね5日間
 - ◇ 長期の活動が必要と判断される場合
 - ◆ 被災道府県の原子力災害医療調整官は、原子力災害医療・総合支援センターの協力を得て、活動期間の延長あるいは交替について調整
- ❖ 支援受入医療機関での活動
 - ◇ 支援受入医療機関の長の指揮下で活動
 - ◇ 汚染のある患者に対する救急医療等の提供
 - ◇ 高度被ばく医療支援センター等への搬送支援
 - ◇ 必要に応じて原子力災害時の医療ニーズに可能な範囲で柔軟に対応
- ❖ 業務の支援体制
 - ◇ 生活必需品等は、基本的に派遣チーム自らが準備、調達
 - ◇ 業務調整員の同行
 - ◆ 移動、食料、宿泊、入浴等の手配・確保
 - ◆ 活動内容の確認、調整
 - ◆ 活動に必要な医薬品や資機材、水等の調達
 - ◆ 活動内容や活動に要した費用等の記録
 - ◆ 医療機関の院内コーディネーター等と十分に調整して、派遣チームが円滑に活動できるように努める

派遣チームの1チームあたりの活動期間は移動時間を除き概ね5日間を基本とします。ただし、さらに長期に活動することが必要であると判断される場合には、被災道府県の原子力災害医療調整官は、派遣チームの派遣調整の手続きと同様、被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターの協力を得て、活動期間の延長または交替について調整します。

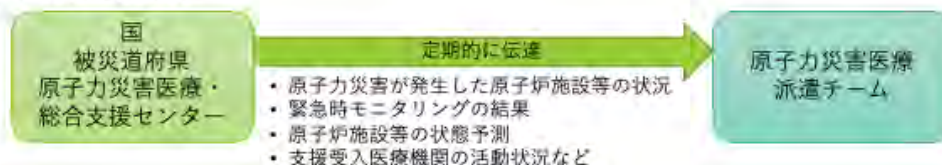
支援受入医療機関での活動は、その医療機関の長の指揮下で行います。汚染のある患者に対する救急医療等の提供、高度被ばく医療支援センター等への搬送支援など原子力災害医療に係る活動の支援が基本となります。また、事前に策定されている各種計画において、派遣チームによる対応の方がより適切と判断される場合（例えば医療機関における避難計画を実施しようとした際や避難所等での救護活動を行おうとした際に計画上の人員確保が困難と判断される場合）等には、必要に応じて原子力災害時の医療ニーズに可能な範囲で柔軟に対応します。

なお、原子力災害医療・総合支援センターの派遣チームが出動した場合は、出動先の組織の長の指示のもと、複数の派遣チームの活動について統括するとともに、必要に応じて他の保健医療関連チームとの活動調整を行います。

関係機関からの支援がなくても単独で活動を続けられるよう、派遣チームの移動時間及び活動期間に必要な食料・飲料水、その他の生活必需品等については、派遣チームが自ら準備・調達することを基本とします。また、後方支援の業務を担う業務調整員の同行が望ましいです。

安全の確保

❖ 情報共有体制



❖ 防護装備

- ◇ 個人被ばく線量計（電子式が望ましい）
- ◇ 個人被ばく線量管理；作業時間、累積線量等を記録
- ◇ 放射性物質による汚染の恐れがある場合は、マスク、防護服等を装着
- ◇ 安定ヨウ素剤の携行

国、被災道府県及び原子力災害医療・総合支援センターは、原子力災害が発生した原子炉施設等の状況、緊急時モニタリングの結果や原子炉施設等の状態予測、支援受入医療機関の活動状況など必要な情報を迅速かつ的確に把握するとともに、これらの情報を派遣チームに定期的に伝達する体制を確保します。また、緊急に対応が必要な場合に迅速に連絡がとれる体制も確保します。

派遣チームを出動させた医療機関の長は構成員一人ひとりに対し、線量管理の観点から個人線量計を貸与し、作業時間、累積線量等を記録します。また、放射性物質による汚染の恐れがある場合は、マスク、防護服等を装着します。原子力施設の状況により放射性ヨウ素を含む放射性物質の放出の可能性が高まった場合に備えて、安定ヨウ素剤を携行します。

連絡、記録の作成と保管

❖ 活動状況

- ◇ 派遣チームの放射線防護関係者は派遣チームを出動させた医療機関の長及び医療機関を通じて被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターに対し定期的に報告

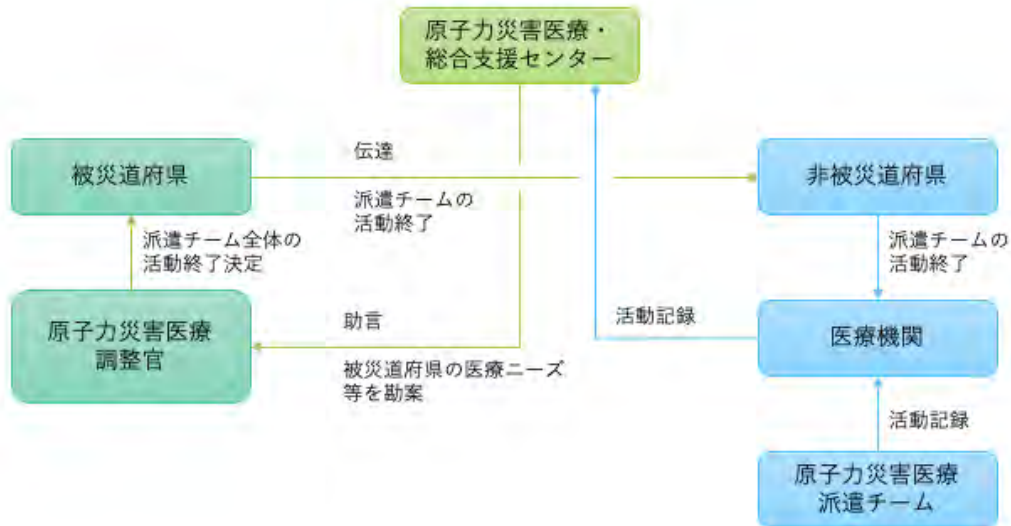
❖ 活動記録

- ◇ 個々の構成員の作業期間
- ◇ 日々の作業時間
- ◇ 作業内容
- ◇ 個人累積線量
- ◇ 環境放射線の測定記録
- ◇ 移動経路、移動手段
- ◇ 所要経費、宿泊費用
- ◇ 購入・借用した資機材等

出動先での活動状況について、派遣チームの放射線防護関係者は派遣チームを出動させた医療機関の長及び医療機関を通じて被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターに対し定期的に報告する。また、可能な範囲で詳細な記録を作成し、紛失または他のものによる改ざん等を受けない措置を講じるよう努めます。

派遣チームの放射線防護関係者は、活動終了後に派遣チームを出動させた医療機関の長に活動記録を提出します。また、個人情報保護に配慮した上で医療機関を通じて被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターにも活動記録の概要を提出します。

活動の終了



出動した個々の原子力災害医療派遣チームの活動の終了は、派遣調整または派遣中の段階であらかじめ調整された（計画された）活動の終了時点の基本とします。

被災道府県における派遣チーム全体の活動の終了は、被災道府県の医療ニーズ等を勘案しつつ、被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターの助言も踏まえ、被災道府県の原子力災害医療調整官が決定します。被災道府県が派遣チーム全体の活動の終了を決定した場合には、被災道府県から派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県に対し、派遣チームの活動の終了を伝達します。

派遣チームの活動の終了を伝達された道府県は、派遣チームを出動させた医療機関に対し、派遣チームの活動の終了を伝達します。派遣チームを出動させた医療機関の長は、被災道府県における全ての派遣チームの活動終了後に、その全記録を集約して被災道府県を担当する原子力災害医療・総合支援センターに報告します。

費用の支弁

❖ 原則

- ◇ 派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県が当該医療機関に支弁
- ◇ 派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県は、派遣チームの派遣要請を行った被災道府県に対し、上記費用を求償できる。

❖ 災害救助法が適用された場合

- ◇ 要請を受けた非被災都道府県は、災害救助法第20条に基づき、被災道府県に対しその費用を求償できる。
- ◇ 災害救助法第20条に基づき派遣チームの活動に要した費用を求償された被災道府県は、同法第18条により求償した非被災道府県に対して費用を支弁する。

❖ 災害救助法が適用されない場合

- ◇ 被災道府県が非被災道府県あるいは医療機関に費用を支弁
- ◇ 原子力事業者が賠償責任を負う。

派遣チームの活動に要した費用は、原則として、派遣チームを出動させた医療機関と医療機関を管轄する道府県があらかじめ締結した協定に基づき、管轄の道府県が当該医療機関に支弁します。派遣チームを出動させた医療機関を管轄する道府県は、派遣チームの派遣要請を行った被災道府県に対し、費用を求償できます。

災害救助法が適用された場合は、要請を受けた非被災都道府県は、災害救助法第20条に基づき、被災道府県に対しその費用を求償し、被災道府県は、同法第18条により求償した非被災道府県に対して費用を支弁します。

災害救助法が適用されない場合は、非被災都道府県が協定に基づき医療機関に費用を支弁した時は、非被災都道府県は、被災道府県に対してその費用を求償できます。協定を締結していない時は、被災道府県は、当該医療機関に対して活動に要した費用を直接支弁します。派遣チームの活動費用は、原則として、原子力事業者が賠償責任を負います。

まとめ

- ❖ 原子力災害医療・総合支援センター、非被災道府県から派遣チームを出動させることが基本
- ❖ 医師、看護師、放射線防護関係者等の4名以上から構成され、移動時間を除く5日間の活動が基本
- ❖ 移動手段、資機材等は自身で準備
- ❖ 関係機関との情報共有、連絡体制は必須
- ❖ 活動記録の作成、保管

原子力災害時の 救護所活動

原子力災害 専門研修
派遣チーム-2

時間；30分

内容

- 原子力災害医療協力機関の支援活動
- 原子力防災体制における救護所活動
- 救護所活動の流れ
- レイアウト、導線 1
- レイアウト、導線 2
- 役割分担
- 救護所活動に必要な防護装備
- 救護所活動での資機材
- 受付・トリアージ・スクリーニング
- 被災地住民行動記録票（例）
- 身体汚染
- 甲状腺簡易検査の方法
- 行動調査
- 行動調査・問診の内容
- 住民対応 外部被ばく線量推定
- 移動型WBC車両の紹介
- 多数傷病者発生時の救護所活動

原子力災害医療協力機関の支援活動

- ❖ 指定避難所等に設置した救護所においては、必要に応じて避難してきた周辺住民等に対する救護や避難等の指示を受けた住民で避難退域時検査を受けていない住民に対する検査及び簡易除染等を行うとともに、被災状況の確認を行う。また、必要に応じて安定ヨウ素剤を配布し、予防服用させる。
- ❖ 原子力災害医療協力機関の支援活動（下記のうち一つ以上を実施）
 - ◇ 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
 - ◇ 被災者の放射性物質による汚染の測定
 - ◇ 原子力災害医療派遣チームを保有し、派遣
 - ◇ 救護所に医療従事者を派遣
 - ◇ 国からの指示に基づき、避難住民等に対し、防護措置を実施すべき基準以下であるか否かを確認する検査（避難退域時検査）を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
 - ◇ 立地道府県等が行う安定ヨウ素剤配布の支援
 - ◇ その他、原子力災害発生時に必要な支援

原子力災害医療協力機関は、原子力災害時に立地道府県等や原子力災害拠点病院が行う原子力災害対策に協力できる機関であり、次の支援活動のうち一つ以上を行います。

1. 被ばく傷病者等の初期診療及び救急診療
2. 被災者の放射性物質による汚染の測定
3. 原子力災害医療派遣チームを保有し、派遣
4. 救護所に医療従事者を派遣
5. 国からの指示に基づき、避難住民等に対し、防護措置を実施すべき基準以下であるか否かを確認する検査（避難退域時検査）を実施できる放射性物質の検査チームの派遣
6. 立地道府県等が行う安定ヨウ素剤配布の支援
7. その他、原子力災害発生時に必要な支援

この中で、原子力災害時などの緊急時に設置させる救護所で行う支援活動としては、4～6があります。また、その他の支援としては、救護所・避難所等での行動調査の聴取や避難者等の心理的不安の解消、事故に関する正確な情報の伝達などがあります。

ここでは、救護所・避難所等で実施する医療に関連した支援活動を解説します。

原子力防災体制における救護所活動

対象；主に施設周辺の住民

活動① 健康状態の把握、救護、健康相談

活動② 汚染状況の把握、必要に応じた除染

活動③ 避難状況の確認；住民の行動軌跡の聴取

活動④ 安定ヨウ素剤の服用の支援

地方公共団体は関係機関の協力を得て、必要に応じて救護を行う場所等を指定し、周辺住民等を対象とした簡易な測定等によるスクリーニングを行うとともに、以下の情報の収集等を行います。

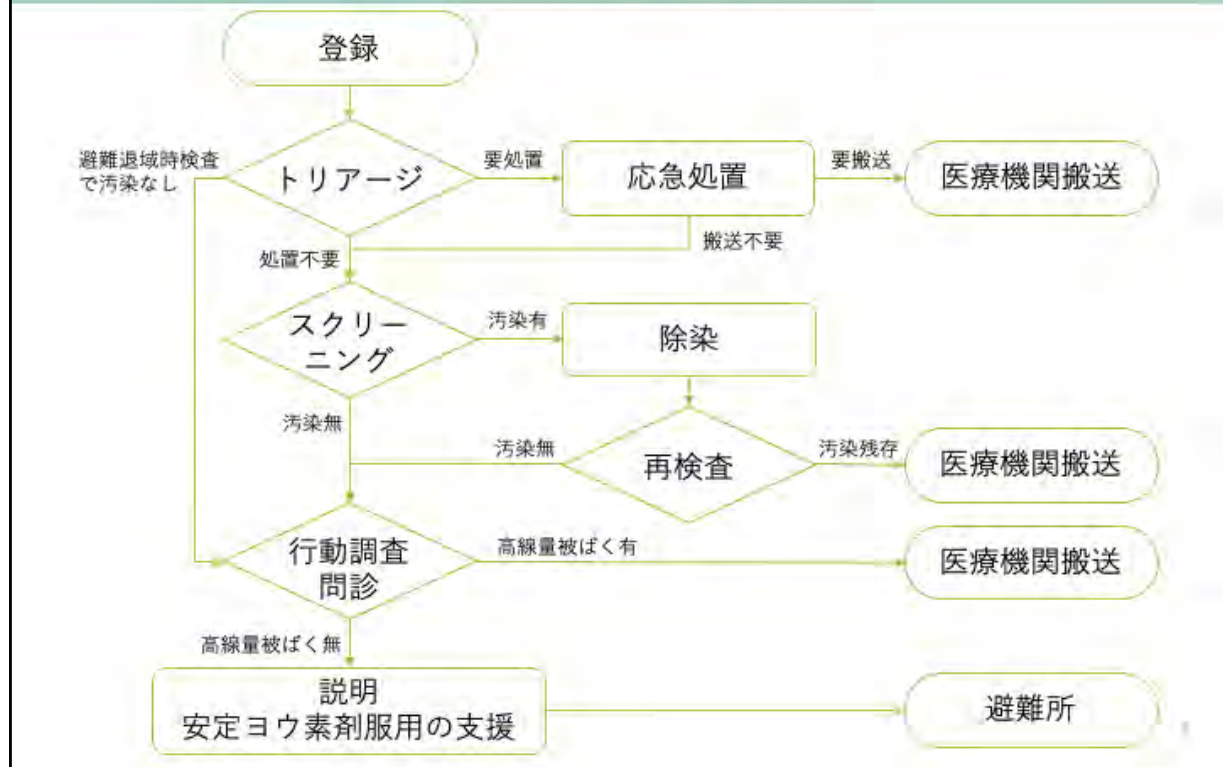
(i)避難した周辺住民等に対し放射線被ばくによる健康影響について説明を行うとともに、住民からの健康相談への対応を行います。

(ii)体表面の汚染レベルや甲状腺等の体内の汚染レベルを測定し、避難所等に到達するまでの汚染状況を把握します。汚染の程度に応じて、ふき取り等の簡易な除染等の処置や医療機関への搬送の決定を行います。

(iii)避難した周辺住民等の登録とスクリーニングレベルを超える周辺住民等の把握を行います。

(iv) 安定ヨウ素剤の服用指示がある場合は、安定ヨウ素剤の服用の支援を行います。これは、安定ヨウ素剤の服用に関連した問診を行い、安定ヨウ素剤服用ができない被災者、慎重投与となる被災者を把握します。

救護所活動の流れ



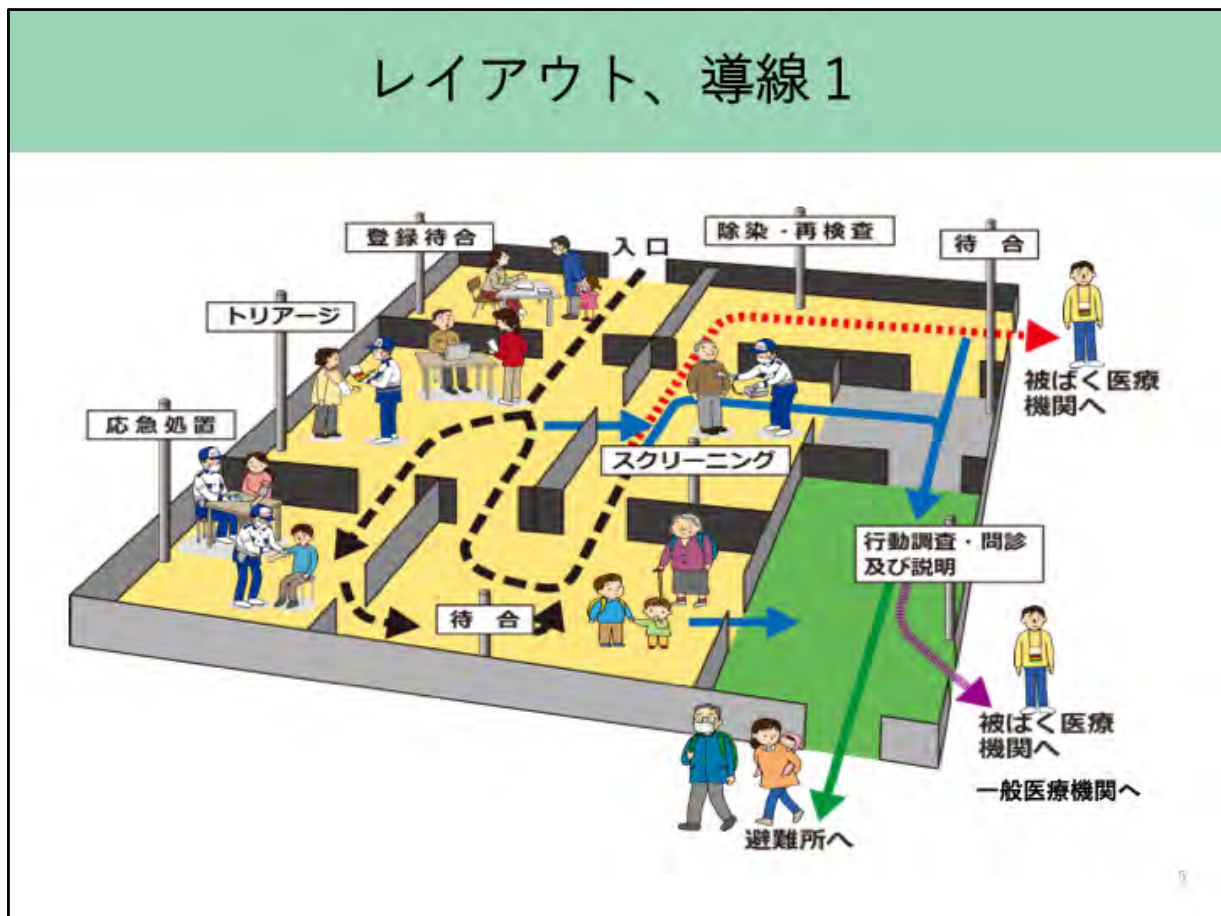
救護所の基本的な流れは、周辺住民の登録、移動中に怪我や具合の悪くなった人に応急処置を行うためのトリアージ、汚染の有無を測定するスクリーニング、スクリーニングより除染が必要とされた人への除染及び再測定、外部被ばく線量を推定するための行動調査・問診、最後に救護所で行われたスクリーニングの結果等の説明となります。

特に傷口が汚染している場合や除染しきれなかった場合、また、大量の被ばくの可能性がある場合は原子力災害医療協力機関あるいは原子力災害拠点病院等の医療機関へ搬送します。

避難退域時検査で、除染の必要が無かった場合は、スクリーニングを実施せず、行動調査に移る場合もあります。

状況に応じて、安定ヨウ素剤の服用の支援も行います。

レイアウト、導線 1



被災者が集まる避難所にスクリーニング等を行うための救護所を開設します。

救護所には、受付、待機場所、スクリーニング、除染、行動調査、説明、応急処置等のエリアを設けます。次に汚染した人の通路と汚染していない人の通路を区別します。汚染が拡大しないように検査の流れは一方通行にします。

待機場所は汚染エリアと非汚染エリアの中間にあり、緩衝地帯としての役割も果たします。検査の流れを円滑に行うために各エリアの標識を表示したり、被災者を誘導する要員を配置することも重要です。汚染した人の通路は、ポリエチレンシート等で覆います。また、傷病者の応急処置のための場所を確保します。

レイアウト、導線 2



スクリーニングを優先して実施する場合のレイアウトの例です。
汚染のある避難者と汚染のない避難者の導線が極力重ならないように工夫してレイアウトします。

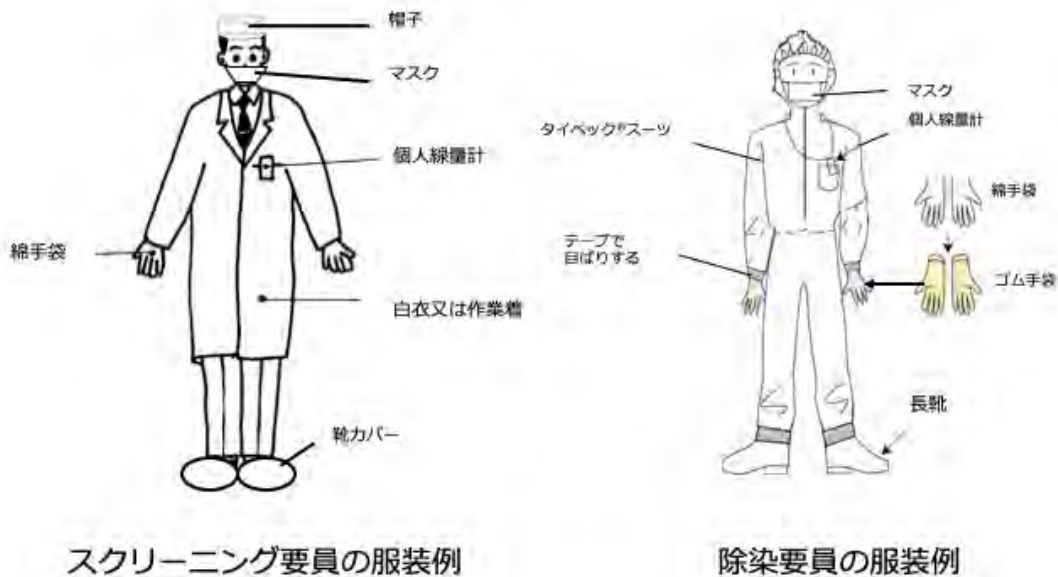
役割分担

| チーム | 役割 |
|------------|---|
| 設置運営チーム | 救護所の開設と運営、被災者の受付及び登録、トリアージ、誘導、情報収集、連絡 |
| スクリーニングチーム | 放射性物質による汚染検査、開口部の汚染検査による内部被ばくのおそれのある被災者のふるい分け |
| 除染チーム | 除染、脱衣後の再検査、甲状腺計測、鼻腔スワブ検査実施、汚染衣服の保管 |
| 調査・説明チーム | 行動調査、説明、被ばく医療機関への搬送の判断、健康相談 |
| 医療チーム | 医療処置の必要な被災者の応急処置、安定ヨウ素剤配布 |

救護所の活動を円滑かつ効率的に実施するために、以下のチームを設けることが考えられます。

- ①設置運営チーム
救護所の開設と運営、被災者の受付及び登録、トリアージ、誘導、情報収集、連絡
- ②スクリーニングチーム
放射性物質による汚染検査、開口部の汚染検査による内部被ばくのおそれのある被災者のふるい分け
- ③除染チーム
除染、脱衣後の再検査、甲状腺計測、鼻腔スワブ検査実施、汚染衣服の保管
- ④調査・説明チーム及び
行動調査、説明、被ばく医療機関への搬送の判断、健康相談
- ⑤医療チーム
医療処置の必要な被災者の応急処置、安定ヨウ素剤配布

救護所活動に必要な防護装備



スクリーニング要員の服装例

身体表面汚染検査は、スクリーニングチームが行い、検査員、記録者からなります。要員はマスク、帽子、綿手袋、白衣や作業着を着用し、個人線量計等を所定の位置に装着します。検査員は検査を受ける人には触れないようにし、またサーベイメータが汚染しないように注意します。

除染要員の服装例

除染チームは、住民の誘導、汚染検査、除染介助、記録などを行います。チーム要員は汚染防護服（例えば、タイベック®スーツ）、キャップ、マスク、綿手袋、ゴム手袋、長靴（もしくは靴にシューズカバーをかける）を着用します。また、要員は個人線量計を男性は胸部、女性は腹部に装着します。

被災者が自分で除染をしている間は、指導を行い、汚染拡大防止に心がけます。また、随時サーベイメータでチーム要員自身の衣服等の汚染を検査し、ゴム手袋が汚染した場合は交換します。

救護所活動での資機材

| 品目 | 用途 |
|--------|---|
| 机、椅子など | 救護所のレイアウトに必要な機材 |
| 筆記具 | 受付、問診等記録 |
| 記録用紙 | 受付、行動記録票、汚染検査記録票、など |
| 放射線測定器 | 空間線量計（活動場所の安全確保）、表面汚染計 |
| 防護装備 | 白衣、帽子、マスク、綿手袋、靴カバー タイベックスーツ、マスク、ゴーグル、ゴム手袋、靴カバー |
| 除染用資機材 | ガーゼ、洗浄用ボトル、ビニール袋など簡易除染のための資機材 |
| 養生用資機材 | ビニールシート、ろ紙シート、養生用テープなど汚染検査場所、 除染場所の汚染拡大防止対策 |
| 医療資機材 | 応急処置に必要な医療機材 |
| 通信機器 | 対策本部や医療機関、消防機関等への連絡 |

救護所活動に必要な資機材を示しています。救護所での活動内容によって適宜必要な資機材を準備します。

受付・トリアージ・スクリーニング

- ❖ 受付；被災者本人が氏名、住所等を被災者登録票に記載
- ❖ トリアージ；傷病等がないか確認
 - ◇ 創傷等あれば、創傷部位の汚染検査と創傷の処置
 - ◇ 救護所での応急処置では不十分であれば、医療機関へ搬送
- ❖ 避難退域時検査後に救護所に来ている場合は、スクリーニングは不要
- ❖ 避難退域時検査を未実施の場合は、スクリーニングを実施
 - ◇ 汚染があれば除染
 - ◇ 除染の基準はOIL4のレベルに準拠

救護所に避難してきた被災者は、まず受付で登録を行います。その際、傷病者の登録を優先的に行いますが、受付などで住民が戸惑ったりしないように誘導する担当者を置くことも必要です。登録手続きは、被災者登録票等を用いて行います。また行動調査票等や汚染検査記録票等も渡しますが、これらの登録票は被災者1人につき1組の登録票を渡します。

記入の際には助言や指導が必要であり、そのための人員の配置が必要です。この登録は、後の追跡調査などの大切な資料になります。受付では被災者本人に氏名、住所などの簡単な記入のみを行わせ、ここでも被災者を受付前で長時間待たせることのないようにします。

なお、被災者登録票や汚染検査記録票は、項目の重複を避けるなど平常時にその様式等について検討しておくことが重要です。

被災者登録は上記のように行っていますが、救護所には数十から数百人といった多数の被災者が避難することになります。その中には避難中にけがをしたり、具合が悪くなったりする人たちがいるかもしれません。このような場合は早期に医療処置を必要とし、外傷があれば創傷汚染の有無を速やかに評価します。また、汚染検査や行動調査などを行う際に介助が必要な被災者もいるかもしれません。受付の段階で多数の被災者の中から処置を優先する必要がある傷病者を的確に選別する（トリアージ）ことが必要です。トリアージにより医療処置が必要となれば応急処置のエリアへ誘導します。創傷があっても全身状態に問題がなければ速やかに汚染検査エリアへ誘導し、創

傷汚染の有無を含め、汚染検査を優先して行います。介助が必要な被災者には誘導要員などが付き添い検査を行っていきます。創傷部に汚染があれば、速やかに医療機関へ移送します。

登録を完了した被災者は、市町村係員の指示に従い、スクリーニングチームにより、身体汚染の有無についてのふるい分け（スクリーニング）の検査を受けます。被災者登録票等や汚染検査記録票等は、汚染検査や処置が終了するまで被災者本人に持たせます。

身体除染

身体除染の原則

除染は、本人による脱衣が基本

除染の留意事項

- ①できるだけ早く除去
- ②汚染の拡大防止
- ③体内への侵入防止
- ④創傷汚染者は傷の手当て後、原子力災医療協力機関等の医療機関へ

除染は汚染検査後、出来るだけ早期に行うことが重要です。時間が経過すると放射性物質が落ちにくく、体内に入ってしまうこともあります。まず、創傷部があれば、そこに汚染があるか否かを判断し、創傷部に汚染がある被災者は最優先で除染が必要です。そのため、創傷汚染のある被災者は創傷の応急処置を行い、汚染拡大防止のため汚染部位を被覆し、速やかに原子力災害医療協力機関等の医療機関へ搬送します。

甲状腺簡易検査の方法



1. 体表面汚染が無いことを確認した後、被検者の咽頭下部（写真）にプローブを密着させた状態で保持し、時定数10秒で指示値が安定したときの数値【測定値（A）】を読み取る。

（補足説明）

- プローブの先端はガーゼ等を被せて、汚染を確認した場合には速やかに外せるようにしておく。
- 可能であれば、プローブを頸部に密着させる前に被検者の頸部前面をウエットティッシュ等で軽く拭う。
- 一度リセットをした場合、指示値が安定するのは30秒後以降（時定数10秒の場合）



2. 着衣の汚染が無いことを確認した後、大腿部中央付近にプローブを密着させた状態で保持し、時定数10秒で指示値が安定したときの数値【測定値（B）】を読み取る。

正味値 = 測定値（A） - 測定値（B）



スクリーングレベルと比較

※測定室内の空間線量率も定期的に測定する。

放射性ヨウ素が放出された場合やスクリーニングで開口部周囲に汚染が認められた場合など放射性ヨウ素の吸入が疑われる場合は、頸部を除染した後、甲状腺の線量を γ 線量率測定用のNaI（Tl）シンチレーション式サーベイメータ（例えば、TCS-161、171等）を用い、頸部に密着して測定します。甲状腺の位置と形状をに示します。

甲状腺の被ばく線量が100mSvの場合、放射性ヨウ素131を3,000Bq程度摂取していると推定します。実際にはサーベイメータの指示値(μ Sv/h)から放射性ヨウ素131の甲状腺沈着量(Bq)を求めるためにあらかじめ換算係数を求めておく必要があります。この量を超えると被ばく医療機関で検査する必要があります。

行動調査

行動調査の目的

外部被ばく線量の推定

行動調査の内容

被災者の健康状態の確認

被災者が救護所に来るまでの行動の調査

聞き取り者

保健師、看護師等医療関係者

服装

白衣、手袋（使い捨て）、個人線量計

行動調査は、被災者の健康状態を確認し、また外部被ばく線量を推定し、残存汚染の程度を考え合わせて被災者を被ばく医療機関へ送るかどうかが判断することを目的として行います。身体汚染検査後スクリーニングレベル未満の場合、もしくは除染後の再検査後に行います。

外部被ばく線量は行動調査と環境モニタリング情報等により推定されます。この行動調査は、除染チームや医療チームの中で、保健師や看護師等の医療職に従事している者が行うことが望まれます。

被災者登録票や汚染検査記録票等を参照しつつ、下記の項目について聞き取り、行動調査票等に記入します。聞き取り者は、白衣を着て、白衣の胸ポケット（女性は腹部）に個人線量計等を装着して被災者と対応します。

行動調査・問診の内容

健康状態の確認

- ①急性放射線症の前駆症状はないか？
- ②健康上の問題はないか？

事故発生後から救護所に来るまでの行動調査

- ①どこにいたのか？
- ②何時間そこにいたのか？
- ③服装は？
- ④雨に濡れたか？
- ⑤飲食をしたか？

現在の健康状態；急性放射線症の前駆症状などが現れていないか確認し、高線量被ばくの可能性をチェックします。また、その他に健康上の問題がないか確認します。

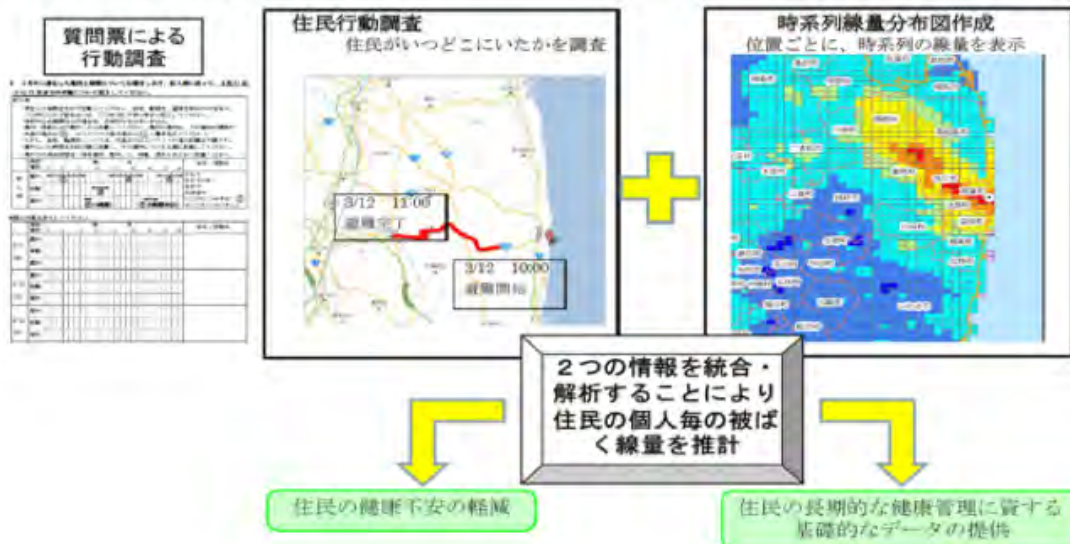
事故発生後から、救護所に来るまでに、以下のことを確認します。これらの情報から、外部被ばくの線量評価を行います。

- どこにいたか（場所、屋外か屋内か、建物の種類はコンクリートか木造か）。
- そこにどのくらいの時間いたか。
- どのような服装でいたのか。
- もし居場所が時間的に変わっていたら、それぞれについて①、②を確かめます。
- 天候によっては、雨や水に濡れたか否か。
- 飲食をしたかどうか。

さらに、安定ヨウ素剤の服用指示が出され、服用の必要がある場合は、安定ヨウ素剤の服用ができない被災者、服用に注意が必要な被災者を確認するための問診を実施します。

住民対応 外部被ばく線量推定

全県民（約202万人）を対象に福島県が調査した、原発事故発生直後からの各個人の行動パターンが、放射線医学総合研究所が開発した外部被ばく線量評価システムに入力され、個人の外部被ばく線量が評価される。



東京電力福島第一原子力発電所では、福島県民を対象に原発事故発生直後からの各個人の行動パターンを調査した情報を時系列で作成された線量分布図の情報と統合して、各個人の被ばく線量を推計しました。

この外部被ばく線量の推定には、事故発生直後からの行動調査が不可欠です。そのため救護所では外部被ばく線量推計のための行動調査を実施します。

移動型WBC車輛の紹介

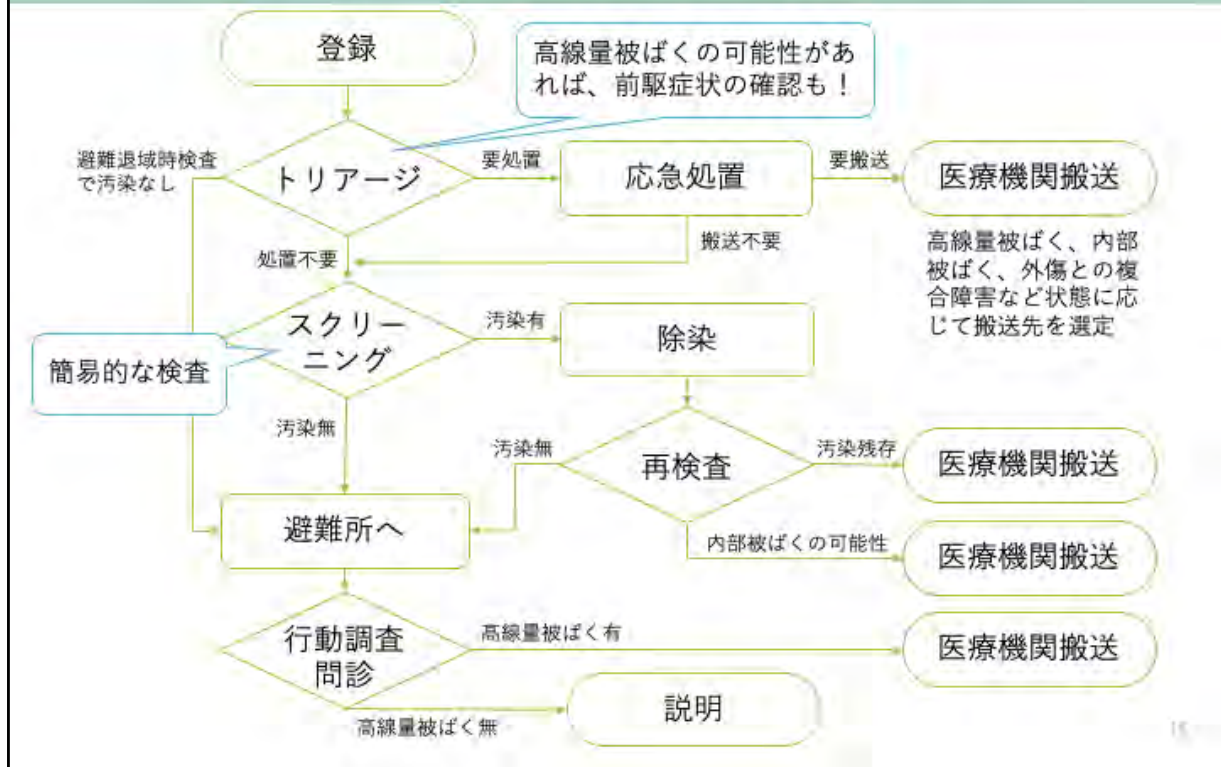
- ❖ いくつかの自治体では、救護所で内部被ばく検査を行うため、移動型WBC車輛を導入しています。
- ❖ 救護所での身体表面汚染検査によって顔面の汚染があったり、放射性プルームの吸入が疑われる場合は、このWBCによって内部被ばくの検査ができます。
- ❖ 内部被ばくがあれば、原子力災害拠点病院等へ搬送し、より精密な評価を行います。



いくつかの自治体では、救護所で内部被ばく検査を行うため、移動型WBC車輛を導入しています。救護所での身体表面汚染検査で、顔面の汚染が検出されたり、放射性プルームの吸入が疑われる場合は、この移動型WBC車輛に搭載しているWBCで内部被ばくの検査ができます。

この移動型WBC車輛での検査は、簡易検査となるため、体内の放射性物質が検出された場合は、原子力災害拠点病院等へ搬送し、内部被ばくの精密な評価が必要となります。

多数傷病者発生時の救護所活動



多数の汚染した被災者が発生したり、多数の負傷者が発生した場合の救護所での活動の流れの一例を示します。状況によって変更が必要です。

トリアージでは、被災者の状態を確認すると同時に高線量被ばくの可能性がある場合は、前駆症状等の有無を確認します。

高線量被ばくや内部被ばく、外傷等の複合障害があれば、状態に応じて搬送先医療機関を選定します。汚染がある傷病者と汚染がない傷病者は別の医療機関に搬送できるように調整しておくことが望ましいです。

多人数のスクリーニングを実施する場合は、頭部、顔面、手指の汚染が付着しやすい部位の汚染検査のみを実施し、短時間で多人数のスクリーニングが可能な体制で実施します。頭部や顔面の汚染があり、鼻腔スワブ等の検査で、内部被ばくの可能性がある場合は、速やかに内部被ばくの精密な検査、処置ができる医療機関へ搬送します。

行動調査や問診は、避難所に移動後に実施することで、救護所に多人数が滞留することなく、対処できるようにします。

まとめ

❖ 救護所活動

- ◇ 必要に応じて避難してきた周辺住民等に対する救護
- ◇ 避難退域時検査を受けていない住民に対する検査及び簡易除染
- ◇ 被災状況の確認
- ◇ 必要に応じて安定ヨウ素剤を配布、予防服用の支援

❖ 受付・登録

- ❖ トリアージ；傷病者の把握
- ❖ スクリーニング；汚染者の把握
- ❖ 簡易除染の実施
- ❖ 行動調査・問診；外部被ばく線量の推定
- ❖ 説明
- ❖ 甲状腺の簡易検査

原子力災害時の リスクコミュニケーション

原子力災害 専門研修
派遣チーム-3

時間；30分

内容

- リスクコミュニケーションとは
- 多様なリスク
- リスクコミュニケーションのフェイズ
- クライシス・コミュニケーション
- リスクに関する「知識の不定性」の度合い
- ハザード種別によるリスクの分類
- ステークホルダー（関与者）
- リスク情報の効果的発信
- 科学技術リテラシーと社会リテラシー
- リスク認知の違い
- リスクコミュニケーションの目的と機能
- リスクに関する様々な非対称性
- リスクコミュニケーションの成功
- 原子力災害の特徴
- リスクコミュニケーションの俯瞰図
- リスクコミュニケーション企画

リスクコミュニケーションとは

- ❖ リスクへの適切な対応のために行われること
 - ❖ 多様な関与者の参加が求められること
 - ❖ 関与者の相互作用を重視していること
 - ❖ 関与者間で情報共有を図り信頼関係を構築すること
-
- ❖ 多様な定義
 - ◇ リスクに関係した情報や意見を、リスク評価者、リスク管理者及びその他の関心ある人たちの間で、双方向的にやりとり（交換）するプロセスのこと
 - ◇ リスク分析の全過程において、リスク評価者、リスク管理者、消費者、事業者、研究者、その他の関係者の間で、情報及び意見を相互に交換すること
 - ◇ リスクのより適切なマネジメントのために、社会の各層が対話・共考・協働を通じて、多様な情報及び見方の共有を図る活動

リスクの多様性に応じて、対応の仕方にもバリエーションがあり、それに伴うコミュニケーションのあり方も様々です。多くのリスクコミュニケーションの定義に共通するのは、リスクへの適切な対応のために行われること、多様な関与者の参加が求められること、関与者の相互作用を重視していることです。

また、対象とするリスク、フェイズなどによってリスクコミュニケーションの目的、機能、方法が異なります。

多様なリスク

安全・安心を脅かす要因の分類

| 分類 | 項目 | 内容 |
|-------|------------|--|
| 人為的要因 | 犯罪・テロ | 犯罪・テロ、迷惑行為 |
| | サイバー空間の問題 | コンピューター犯罪、大規模なコンピューター障害 |
| | 戦争 | 戦争、国際紛争、内乱 |
| 偶発的要因 | 事故 | 交通事故、公共交通機関の事故、火災、化学プラント等の工場事故、 <u>原子力発電所の事故</u> 、社会生活上の事故 |
| | 健康問題 | 新興・再興感染症、病気、子供の健康問題、医療事故 |
| | 災害 | 地震・津波災害、台風などの風水害、火山災害、雪害 |
| 社会的要因 | 食品問題 | O157などの食中毒、残留農薬・薬品等の問題、遺伝子組換え食品問題 |
| | 社会生活上の問題 | 教育上の諸問題、人間関係のトラブル、育児上の諸問題、生活経済問題、社会保障問題、老後の生活悪化 |
| | 経済問題 | 経済悪化、経済不安定 |
| | 政治・行政の問題 | 政治不信、制度変更、財政破綻、少子高齢化 |
| | 環境・エネルギー問題 | 地球環境問題、大気汚染・水質汚濁、室内環境汚染、化学物質汚染、資源・エネルギー問題 |

日常生活の中で「リスク」という言葉を耳にしますが、そもそも「リスク」とは、個人の生活に密着したもののから、社会全体に及ぶものまで、安全・安心を脅かす様々な要因が含まれています。原子力発電所の事故もその一つです。それぞれのリスクについて、適切な対処が求められますが、個々のリスクに目を向けるだけでなく、複数のリスクが複雑に絡み合った、複合リスクも視野に入れる必要があります。また、あるリスクに対してとった行動が、別のリスクを生じさせるリスクについても考慮する必要があります。

リスクとは、「ハザード（危険・危害因子）と確率の積、コストをベネフィット（利益）で割ったもの、ハザードとアウトレージ（怒りや不安、不満、不信など感情的反応をもたらす因子）の和など多様」、「危害の発生確率（発生頻度）と危害の重大性（危害のひどさ）の組合せ」、「期待される結果に対する不確かさの影響」など様々な定義されますが、多くの定義に共通するのは、なんらかの不確かさや確率、不確実性を含む点です。

出典：「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」
報告書(2004年4月)

「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）

（http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm）をもとに作成

リスクコミュニケーションのフェイズ

平常時

- ・危機が発生していない状態
- ・コンセンサス・コミュニケーション
- ・有事（危機発生時）への備え（危機管理や減災・防災に関する合意形成）も含む

非常時

- ・危機発生直後（クライシス・コミュニケーション）
- ・トップダウン的なケア・コミュニケーション
- ・危機管理の実施

回復時

- ・危機からの回復期
- ・コンセンサス・コミュニケーション
- ・準有事のリスク管理や復興に関する合意形成や協議

リスクコミュニケーションのフェイズとしては、危機が発生していない状態の平常時、危機発生直後の非常時、危機からの復興期である回復期に大別されます。危機発生直後は、クライシスコミュニケーションであり、トップダウン的なケア・コミュニケーションとなります。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

クライシス・コミュニケーション

- ❖ 危機発生後にメディアやステークホルダーに対して危機に関する情報提供、説明を行うとともに、情報を交換し合う双方向のコミュニケーション活動
- ❖ 社会的な関心と呼ぶクライシスにおいては、社会への説明責任が強く求められる。
- ❖ 「真実性」、「透明性」、「迅速性」がカギ
 - ◇ その場限りでない組織の基本姿勢を、正直かつ誠実に語る「真実性」
 - ◇ 何事も包み隠さず積極的に情報公開する「透明性」
 - ◇ とてつもない勢いで、思いもかけない方向へと展開していく事態に対抗する「迅速性」
- ❖ 組織内外のステークホルダーのほとんどがメディアの報道を通じて状況を知り、判断する。
- ❖ 組織に変わって事態の説明をしてくれるのがメディア
- ❖ 真実を直ちに語れ

クライシス・コミュニケーションとは、危機発生後にメディアやステークホルダーに対して危機に関する情報提供、説明を行うとともに、情報を交換し合う双方向のコミュニケーション活動をいいます。特に社会的な関心と呼ぶクライシスにおいては、社会への説明責任が強く求められます。

クライシス・コミュニケーションのカギとなるのが、その場限りでない組織の基本姿勢を、正直かつ誠実に語る「真実性」と、何事も包み隠さず積極的に情報公開する「透明性」です。真実性と透明性を基本にした迅速かつ適切なコミュニケーションがとりわけ重要であり、その対象の中心となるのが、メディアです。組織内外のステークホルダーのほとんどがメディアの報道を通じて状況を知り、判断するからです。また、とてつもない勢いで、思いもかけない方向へと展開していく事態に対抗する「迅速性」も求められます。

出典：「リスクマネジメントと危機管理ーコミュニケーションの視点からー」 井上邦夫 経営論集86号 2005年11月

リスクに関する「知識の不定性」の度合い

| 知識の不定性 | 特徴 | 討議のタイプと目的 | 意思決定への関与者 | ハザード 類別 |
|------------------|--|---|-----------------------------|---------|
| 単純 simple | リスクの性質や管理方法がよくわかっている。その事が社会で広く認知されており、異論や対立が見られない。 | 手段的討議 ・リスク削減措置の協力的実施 | 規制当局、直接的関係者、執行機関職員など | |
| 複雑 complex | リスクの評価や管理の仕方について科学的不一致がある。 | 認識論的討議 ・認識の不一致を解消 | 上記+科学的見解を異にする専門家・有識者一般 | |
| 不確実 uncertain | リスクの評価に関して大きな科学的不確実性がある。 | 反省的討議 ・不確実性・無知も考慮した上での受忍性を判断 ・規制・保護の過剰/過少も吟味 | 上記+主要な利害関係集団の代表(産業、直接的被影響者) | |
| 多義的 ambiguous | 解釈の多義性；同じリスクの評価結果に複数の解釈が存在する。 規範的な多義性；「何が受容可能か」など、倫理、QOL、リスクと便益の分配など様々な観点から見た考え方が存在する。 | 参加的討議 ・競合する議論や価値観、信念についてオープンに討議 ・共通の価値、各自の「善き生活」を実現できる選択肢、公正な分配ルール、共通の福祉を実現する方法を追求 | 上記+一般市民 | |

国際リスクガバナンス・カウンシル(IRGC)は、リスク問題をそれらに関する知識の「不定性(incertitude)」の違いによって分類しています。この分類は、リスクの管理ならびにリスクコミュニケーション(特に意思決定に直接関わる討議)の関与者の範囲やコミュニケーションの様式(討議のタイプ)を分類し、どのような目的で、誰と誰がコミュニケーションを行うかなどリスクコミュニケーションの実践の企画を立てたり、実施結果を分析・評価する際に利用する事ができます。

実際のリスク問題はこの四分類のどれか一つに1対1対応するわけではなく、一つの問題が複数の側面を併せ持つこともあること、また立場によって判断が異なることもあることは、リスクコミュニケーションを企画・評価する上で重要です。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構(2014年3月)

「リスクコミュニケーション案内」(文部科学省)

(http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm) をもとに作成

ハザード種別によるリスクの分類

| ハザード種別 | 特徴・例 | 人為性 |
|-------------------|--|-----|
| 自然災害・疾病 | 地震、津波、気候災害（台風、大雨、洪水、干ばつ、酷暑、厳寒など）、感染症等の疾病 | 低い |
| 従来科学技術 | 実用化から長い時間が経ち、社会に普及・定着した科学技術。規制も整備されリスクも低減・制御されている。 | 高い |
| 先端科学技術 萌芽的科学技術 | 実用化から間もない（先端）か、研究開発途上（萌芽的）であるため、リスクの有無・程度についても利用のされ方についても不確か・未知の事が多い。規制も未整備。（遺伝子組み換え食品、ナノテクノロジー、合成生物学など） | 高い |

東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故

津波による全電源消失

リスクについて管理も含めてよく知られており、十分に制御可能だと見なされてきた（従来科学技術だと考えられてきた）技術が、想定を外れた事故を起こし、収束困難になる例

有害事象を発生させる可能性のある物質、生物、技術、行為などのハザードの分類には二つの基準があります。

一つ目の基準は、「人為性」による分類です。自然災害や疾病は、「人為的か、自然的か」を考えれば、人為性が低いものです。

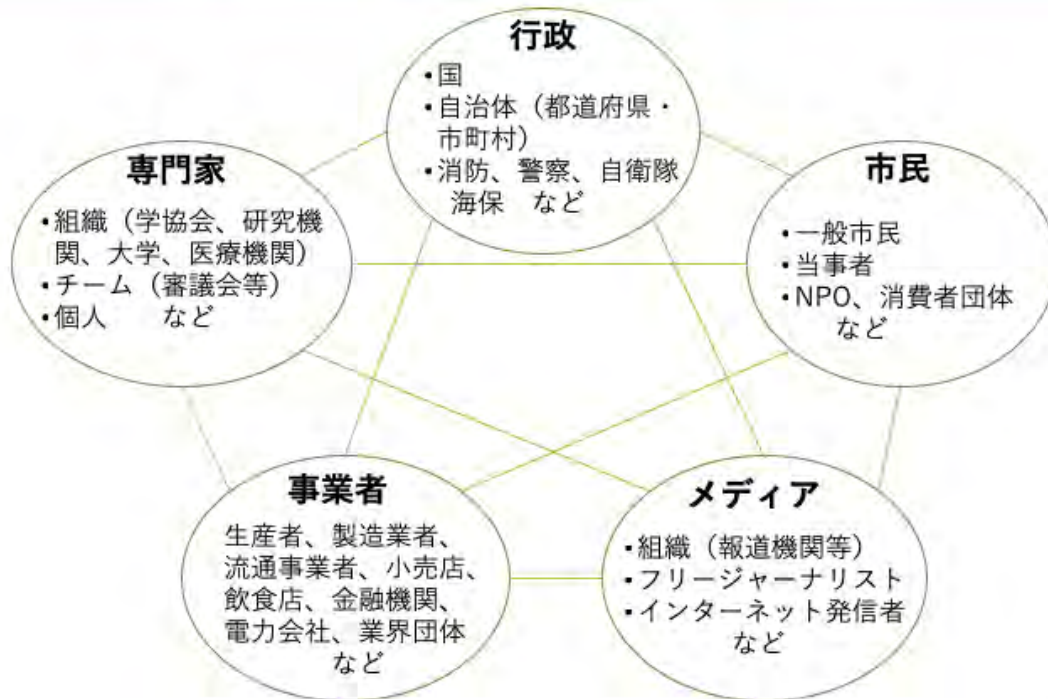
もう一つの基準は、「知識の不定性の度合いによる分類」です。これは、有害事象の発生によってどのような結果（損害）が生じる可能性があるか（発生結果）や、それがどの程度の頻度・確率で発生するのか（発生確率）、あるいはいつどこで発生するのかについての「知識」に、どの程度の不確実性や曖昧さ（多義性）がどれくらいあるか、という基準です。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）

（http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm）をもとに作成

ステークホルダー（関与者）



ステークホルダー（関与者）は、問題への直接的、間接的に関与する者の属性を意味し、「市民」「行政」「メディア」「事業者」「専門家」に大別されています。社会の関与者はそれぞれが「リスクのより適切なマネジメント」のために果たしうる役割があり、ステークホルダー間で対話・共考・協働が積極的になされることが望ましいです。各ステークホルダーが多様な情報及び見方を共有しようとする活動全体がリスクコミュニケーションと言えます。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

リスク情報の効果的発信

- ❖ 不確かさや見解の相違があるリスク情報の公開は、その根拠を受け手側が検証できることが重要
 - ◇ リスク情報の根拠、検討過程、情報の修正・更新の履歴を含めた迅速な情報公開
- ❖ 情報発信の種類
 - ◇ 科学的な正確性を伝えようとする情報発信
 - ◇ **受け手側の行動変容を起こそうとする情報発信**
 - ◆ 伝えるべきメッセージを整理して明確にする
 - ◆ 端的にわかりやすい情報
- ❖ 確率論的な数値を理解しやすく
 - ◇ 1000mSvの被ばくで5%のリスク増加
 - ◆ リスクとして高いのか？低いのか？受け手側の認識に相違がある

不確かさや見解の相違があるリスク情報の公開に当たっては、その根拠を受け手側が検証できるようにすることが重要です。この検証可能性の確保には、リスク情報の根拠や検討過程、情報の修正・更新履歴を含めた迅速な情報公開が求められます。あるリスク情報やその根拠となるデータを、立場や見解のことなるステークホルダーが独立に検証し、結果の相互参照が行われた時、その情報・データは信頼性が高まると考えられます。さらに、その情報・データのみならず、発信側を含め各ステークホルダーの信頼性も高まります。

また、科学的な正確性を伝えようとする情報発信と、受け手側の行動変容を起こそうとする情報発信は、区別して考える必要があります。リスク情報の効果的な発信をするには、科学的な正確性を重視して細部の精緻な情報発信を心がけるよりも、伝えるべきメッセージを整理して明確にし、端的でわかりやすい情報を実践することが重要です。さらにリスク情報を発信する際に確率論的な数値だけが単に示されても、そのリスクを適切に理解するのは容易ではありません。確率論的な数値をどのように発信し、どのように理解してもらう必要があるのか、発信側と受け手側の共考が求められます。

出典： 「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

科学技術リテラシーと社会リテラシー

- ❖ リスクコミュニケーションの推進には、科学技術リテラシーと社会リテラシーの向上が不可欠
- ❖ 科学技術リテラシー
 - ◇ 全てのステークホルダーが身につけることが望まれる素養
 - ◇ 人々が自然や科学技術に対する適切な知識や科学的な見方および態度を持ち、自然界や人間社会の変化に適切に対応し、合理的な判断と行動ができる総合的な資質・能力（国立科学博物館報告書）
- ❖ 社会リテラシー
 - ◇ 研究者等の発信側が身につけることが望まれる素養
 - ◇ リスクが社会においてどのように捉えられるかの把握・理解
 - ◇ 一般国民が、科学技術・学術に対し何を求めているのか、また、科学技術・学術に関する方法をどのように受けて止めるのかを、一般国民の価値観や知識の多様性を踏まえつつ、適切に推測し、理解する能力。また、こうした多様性に配慮しつつ、科学技術・学術に関する情報を適切に発信できる能力。（東日本大震災を踏まえた今後の科学技術・学術政策のあり方について 平成25年1月17日科学技術・学術審議会）

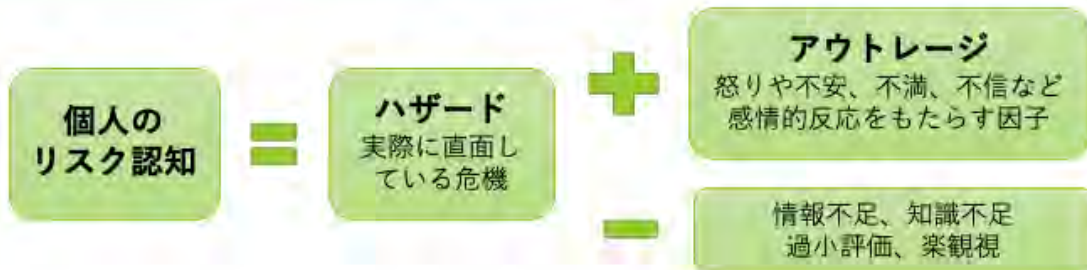
リスクに関する科学技術リテラシーは、リスクマネジメントに携わる人材のみならず、全てのステークホルダーが身につけていくことが望まれる素養です。リスクコミュニケーションが成り立つ社会であるには、今の科学の知識では、答えが一つに定まらないこともあること、不確実性のある事象について一人一人が意思決定を下さないといけない場合があることを全てのステークホルダーが理解することが重要です。

科学技術リテラシーを身につけるには、当事者が主体的に問題発見・解決策を提案する姿勢、またはそのために異なる立場や意見の人々と対話・共考・協同する姿勢を身につけるための教育が必要です。主体的に意思決定を下すことが全ての結果責任を負わなければならないことを意味するのではなく、飽くまでリスクに関する責任はリスクコミュニケーションを通じてステークホルダー間で分配されるものです。

また、リスクの問題には、倫理的・社会的問題も多く含まれるため、特に発信側においては、リスクが社会においてどのように捉えられるかを把握・理解する社会リテラシーを身につけることも重要です。

出典： 「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

リスク認知の違い



- ❖ ハザードが十分小さくてもアウトレンジが大きければリスクとして無視できない。
- ❖ 一方向の説得ではなく、「対話・共考・協働」が重要
- ❖ アウトレンジには様々な要素がある。
 - ◇ 自己決定性、公平性、信頼性などの倫理的・社会的な要素も含む
 - ◇ 倫理的・社会的な要素を軽視したコミュニケーションを行えば、不信や不満など他の要素が増す場合がある。
- ❖ 知識を共有するだけではリスクコミュニケーションとしては不十分

個人はリスクを「ハザード」と「アウトレンジ」の和として捉えるという考え方があります。アウトレンジとは、怒りや不安、不満、不信など感情的反応をもたらす因子で、ハザードが十分小さくてもアウトレンジが大きければ、リスクとして無視できないという認知となります。この場合、「対話・共考・協働」が重要です。アウトレンジには、様々な要素があり、自己決定性、公平性、信頼性などの倫理的・社会的な要素も含まれます。これらの倫理的・社会的な要素を軽視したコミュニケーションを行えば、不信や不満など他の要素が増す場合があります。原子力災害時には、放射線のリスクやその科学的な情報、あるいは測定結果等の数値のみを発信しても、発信者への不信感等があれば、リスクコミュニケーションは成り立ちません。

個人のリスク認知と社会のリスク認知は一般に異なるものです。例えば、個人のレベルでは津波のような甚大な被害をもたらさうるリスクは対処困難として諦めてしまうなど、リスクの深刻さゆえに簡単には認知できない、向かい合えない現実があると考えられます。一方で、社会や集団のレベルでは、そのようなリスクに向き合うことに合理性があります。津波のリスクのように外的要因を認知すれば避けることができるものは、個人のレベルでもリスクを認知し、平常時からリスクコミュニケーションを通じて、このリスク認知の違いを小さくする努力が必要です。

出典： 「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

リスクコミュニケーションの目的と機能

| 目的 | 機能 |
|------------------------------|--|
| 1 教育・啓発と行動変容 | リスクとその対象法に関する知識や情報の普及、関心の喚起。リスクに対処するために行動の仕方を変える。 |
| 2 信頼と相互理解の醸成 | 関係者（政府・自治体・事業者・専門家・市民・NPO/NGOなど当該のリスク問題に係るのある個人・組織・団体）の間で互いの信頼や理解を醸成する。 |
| 3 問題発見と議題構築、論点の可視化 | 意見の交換や各自の熟慮を通じて、テーマとなっている事柄に関して、何が問題で（問題発見）、何を社会として広く議論し、考えるべきか（議題構築）、重要な論点とは何か（論点可視化）、その問題に対する人々の懸念や期待はどのようなものであるかを明確化する。 |
| 4 意思決定・合意形成・問題解決に向けた対話・共考・協働 | 最終的な意思決定・合意形成や問題解決に向けて行われる対話・共考・協働。科学的・技術的な事実問題や法制度等に関する議論だけでなく、関係者間の多様な価値観や利害関心についての議論も含む。 |
| 5 被害の回復と未来に向けた和解 | 物理的のみならず社会的・精神的な被害からの回復を促すとともに、問題発生から現在に至る経緯を振り返りつつ、関係者間の対立やわだかまりを解きほぐし、和解を進める。 |

リスクコミュニケーションを行う目的あるいは機能には様々なものがあります。

国際リスクガバナンス・カウンシル（IRGC）は、リスクのより適切なマネジメントに資するリスクコミュニケーションの目的について、①リスクとその対象法に関する教育・啓発、②リスクに関する訓練等行動変容の喚起、③リスク評価・リスク管理機関等に対する信頼の醸成、④リスクに関わる意思決定への利害関係者や公衆の参加と紛争解決、の4点をあげています。我が国の事例に照らし、より具体的かつ分かりやすくリスクコミュニケーションの目的と機能を分類したものが上記の表です。

リスクコミュニケーションは、ステークホルダーが広く互いの立場や見解を理解しあった上で、それぞれの行動変容に結びつけることのできる「共感をうむコミュニケーション」の場となることを目指すべきです。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

リスクに関する様々な非対称性

| 専門家や行政等 | 要因 | 一般市民等 |
|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| 多い | 情報 | 少ない |
| リスク対処の権限 責任を持つ | リスクに係る権限と責任 | 権限・責任はない |
| 少ない | リスクそのものを 引き受ける度合い | 多い |
| 確率論的事象として リスクを操作的に認識 「統治者視点」 | リスク認知 | 広く概念的および 感覚的にリスクを認識 「当事者視点」 |

ステークホルダー間でリスクコミュニケーションを実施する際、多くの場合に、発信側（専門家や行政等）と受けて側（一般市民等）との間に、情報、リスクに係る権限と責任、リスクそのものを引き受ける度合いの非対称性の課題が伴います。いかにこの非対称性に配慮し、双方向を担保したコミュニケーションの場に近づけるかが、リスクコミュニケーション成功の重要なポイントとなります。また、情報の受け手側は、概ね発信側に行動の指針を示してほしいという意見と、情報を基に自分で判断したいという意見に大別されます。どちらが望ましいというものではなく、このような受け手側のリスク情報の理解の仕方を発信側があらかじめ意識する必要があります。

行政や専門家の「統治者視点」では、統計的・確率論的な見方をするのに対して、リスクに直面する一人一人の「当事者視点」では、危害の確率がいくらかであれ、個人がその危害を受けるか受けないかの二者択一としてリスクを捉えたり、アウトレージの要素による価値判断に基づいた個別的な見方をしたりします。

統治者視点からは、責任ある意思決定のためには不確実性の高いリスク情報は、参考となる度合いが低く、開示すれば混乱を招く可能性があるとして排除されがちとなりますが、当事者視点からみれば、不確実性の高いリスク情報であっても、各自が個々の責任で行う意思決定の参考になり得るため、積極的な公開・周知が望ましいとされます。発信側はこのような視点を十分

理解する必要があります。

出典： 「リスクコミュニケーションの推進方策」 安全・安心科学技術および社会連携委員会（2004年3月27日）

リスクコミュニケーションの成功



上の絵では、ある人のAという考えが、相手にA'という形で伝わっています。下の絵では、AとBという異なる考えを持っていた二人が、C、Dという新しい考えにたどり着いたことをあらわしています。C=Dであれば、合意が形成されたこととなりますが、コミュニケーションは必ずしも合意を目指すものではなく、様々な目的・機能があることに注意が必要です。

リスクコミュニケーションは、参加する個々人の感情や価値観にも深く関係・影響するもので、その手法に画一的な解、ゴールは存在しないと考えられ、これに十分留意する必要があります。リスクコミュニケーションは、リスクを伴う事象に対する向き合い方について一つの結論を導くものでもなく、一方向に知識を伝達し共有するものでもありません。「共感を生むコミュニケーション」の場、すなわちステークホルダーが広く互いの立場や見解を理解しあった上で、それぞれの行動変容に結びつけるための場となるべきです。「共感を生むコミュニケーション」の場を適切に設定するには、ステークホルダー間の信頼関係がなにより重要で、対話・共考・協働といった実践の積み重ねが欠かせません。

出典：「科学コミュニケーション案内」 科学技術振興機構 科学コミュニケーションセンター（2015年3月31日）

「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）

（http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm）をもとに作成

原子力災害の特徴

- ❖ 原子力発電所は、リスクについて管理も含めてよく知られており、十分に制御可能だと見なされてきた（従来科学技術だと考えられてきた）技術だったが、想定を外れた事故を起こし、収束困難になった。
- ❖ 同じリスクの評価結果に複数の解釈が存在する。
- ❖ 科学的には「単純」であっても、「多義的」な問題として扱う必要性
 - ◇ 原子力発電所事故によって汚染された環境での低線量放射線の健康リスクは、科学的な観点からは十分低く、管理可能だとされても、当事者にとってはリスク分配やコスト負担の公平性、医療被ばくのように自らの意思で受けるものではないこと(非自発性)などから受け容れがたいと判断される場合がある。

東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故

津波による全電源消失

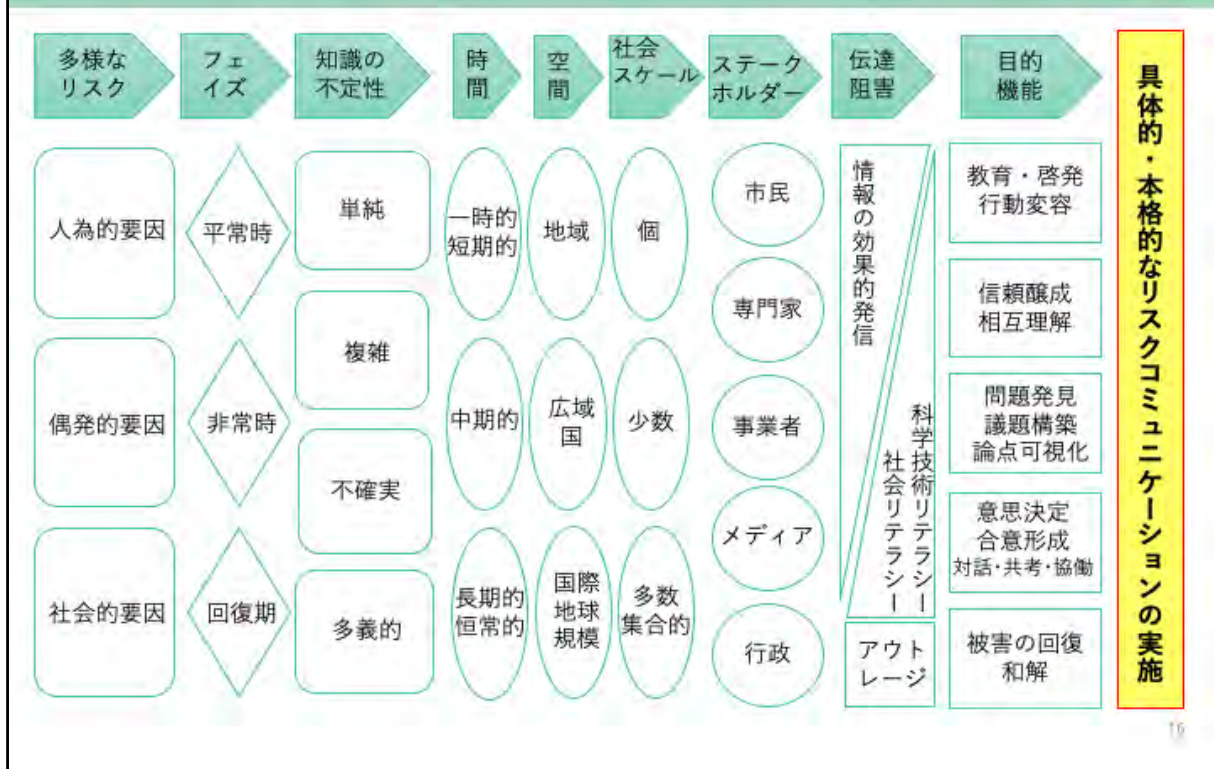
リスクについて管理も含めてよく知られており、十分に制御可能だと見なされてきた（従来科学技術だと考えられてきた）技術が、想定を外れた事故を起こし、収束困難になる例

原子力発電所は、リスクについても十分に制御可能だと見なされていましたが、2011年の東京電力福島第一原子力発電所の事故では、想定を外れた事故を起こし、収束困難になりました。

低線量の放射線の健康リスクは、科学的な観点からは十分に低く、管理可能である「単純」なリスクとされても、周辺住民等の当事者にとっては、リスク分配やコスト負担の公平性、医療被ばくとは違って自らの意思で受け入れるものではないことなどから、受け容れ難いと判断されることもあり、「多義的な」問題として扱う必要があります。

また、同じリスクの評価結果についても、複数の解釈が存在することもあります。

リスクコミュニケーションの俯瞰図



リスクコミュニケーションを適切に行うためには、直面している問題を俯瞰的に捉え直し、目的に応じた手法を選択しなければなりません。リスクコミュニケーションが扱う問題には、時間的・空間的なスケールや分野、人為的か自然的かの相違など、様々な種類があり、これに応じたリスクコミュニケーションの在り方（目的、対象、方法論、時期・期間など）も様々です。国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）科学コミュニケーションセンターで開発された「科学コミュニケーションの分類枠組み」を紹介しています。

リスクの問題とリスクコミュニケーションの分類軸は、問題発生・対応の「時間・空間・社会スケール」、「ハザード種別」、リスクに関する知識の「不定性」の度合い、問題発生・対応の「フェイズ」、問題に関わる「アクター」、リスクコミュニケーションを行う「目的・機能」の6つの軸による複合的な分類枠組みが提案されています。

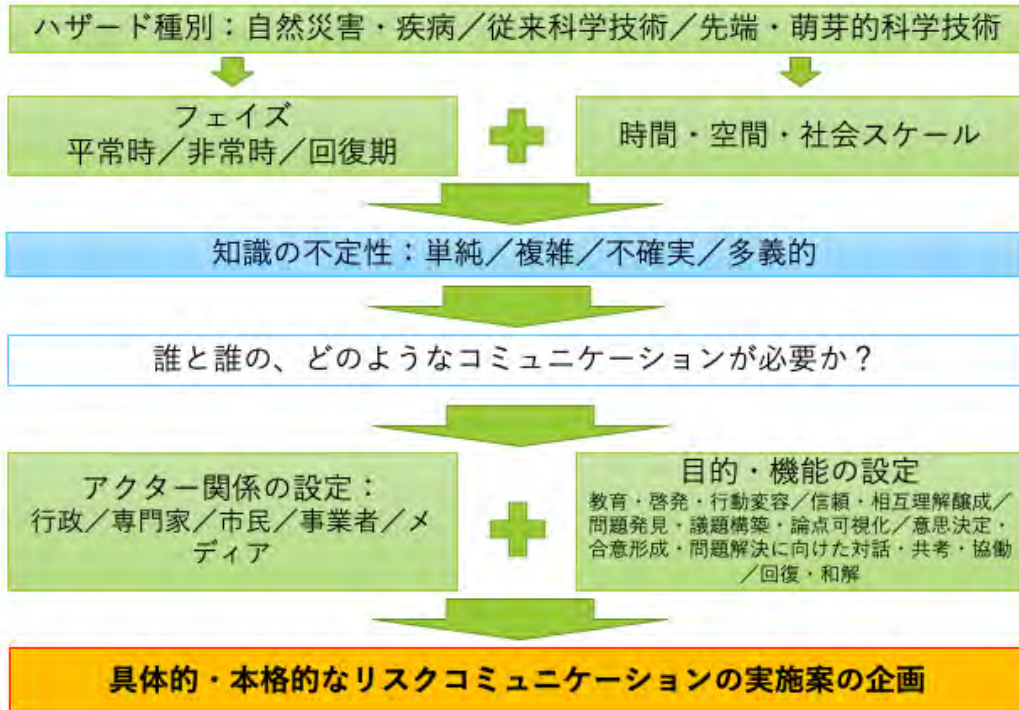
出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

「科学コミュニケーション案内」 科学技術振興機構 科学コミュニケーションセンター（2015年3月31日）

「リスクコミュニケーション案内」（文部科学省）

（http://www.mext.go.jp/a_menu/suishin/detail/1397354.htm）をもとに作成

リスクコミュニケーション企画



- 17 -

リスクコミュニケーションの実践の企画や評価における導入的な目安として、上記のフローチャートを示しています。

例えば、「ハザード種別」が実用化間もない先端科学技術であり、具体的な被害が発生していない場合には、「フェイズ」は「平常時(下流)」となり、予期される問題の性質に応じて時間・空間・社会スケールが選ばれます。さらに「誰と誰の、どのようなコミュニケーションが必要か」を考えるために、リスクに関する知識の「不定性」がどうであるかを検討します。「単純」の場合には、意思決定に直接かかわるコミュニケーションは、規制当局スタッフ等を中心に行われます。他のアクターとのコミュニケーションはもっぱら「教育・啓発と行動変容」を目的としたものとなります。

ただし、規制当局や専門家からは「単純」に分類されるリスクでも、たとえば消費者から見ると、規制当局等に対する不信感があり、「複雑」や「不確実」に分類されることもありますし、同じ対象でも、「単純」に分類されるリスクのほかに「複雑」などに分類されるリスクも併せ持っている場合があります。その場合には、規制当局外部の一般の専門家や利害関係者、さらには一般市民も対象にしたコミュニケーションが、「信頼醸成」や「意思決定への参加」を目的に行われる必要があります。

また、科学的な観点からは「単純」に分類されるリスクであっても、リスクにさらされる当事者にとって、それを受け容れるか否かは、原理的には、QOL(生命/生活の質)も含めた当人の価値判断に依存し、かつ、この判断に基

づいた自己決定が尊重されなければなりません。実際、そうした規範的な問題がリスクコミュニケーションにおいて問題化することは多々あります。たとえば原子力発電所事故によって汚染された環境での低線量放射線の健康リスクは、科学的な観点からは十分低く、管理可能だとされても、当事者にとってはリスク分配やコスト負担の公平性、医療被ばくのように自らの意思で受けるものではないこと(非自発性)などから受け容れがたいと判断される場合があります。そうした場合には、科学的には「単純」であっても、「多義的」な問題として扱う必要があります。

出典：「リスクコミュニケーション事例調査報告書」 独立行政法人科学技術振興機構（2014年3月）

まとめ

- ❖ 有事に行われるクライシス・コミュニケーションは、全てのステークホルダーの参加、強制でない合理的対話、明確な権限と正当性の付与がポイントとなる。
- ❖ リスクコミュニケーションは、参加する個々人の感情や価値観にも深く関係・影響する
- ❖ 「共感を生むコミュニケーション」の場
 - ◇ ステークホルダーが広く互いの立場や見解を理解しあった上で、それぞれの行動変容に結びつけるための場
 - ◇ ステークホルダー間の信頼関係が重要
 - ◇ 対話・共考・協働
- ❖ 原子力災害では、同じリスクの評価結果に複数の解釈が存在する。

線量評価の概念

原子力災害 専門研修
WBC・甲状腺-1

被ばく医療と線量評価

被ばく医療

- 診断
- 除染
- 医療措置(カウンセリング等)



連携

放射線学的な対応

- 放射線測定
- 線量評価・線量再構築
- 放射線防護

多様な放射線事故に対応



東海村ウラン加工施設における臨界事故
(1999)



福島第一原子力発電所事故
(2011)

放射線事故が発生した場合には、被ばく医療と放射線学的な対応との適切な連携が必要となります。

放射線学的な対応の中には、放射線計測、線量評価、線量再構築があります。これらの結果は、放射線防護に関する対応策や除染の必要性の有無を判断する材料としてのみではなく、診断・医療措置にあたって参考とすべき情報のひとつとして役立てられます。

被ばく線量評価

緊急被ばく医療における線量評価のニーズ

- 迅速に被ばく線量の程度を把握する（トリアージ/スクリーニング）
- 医療介入を行うための判断材料のひとつとする

物理学的線量評価

- 国際放射線防護委員会(ICRP)により線量評価の方法が提示されている。
- 放射線防護量(実効線量, 等価線量)はトリアージに適した指標となる。
- 高い線量域(例えば実効線量100mSv以上)では詳細な線量評価(再構築)が必要。放射線防護量ではなく組織吸収線量を評価する。

緊急被ばく医療における線量評価のニーズとして、

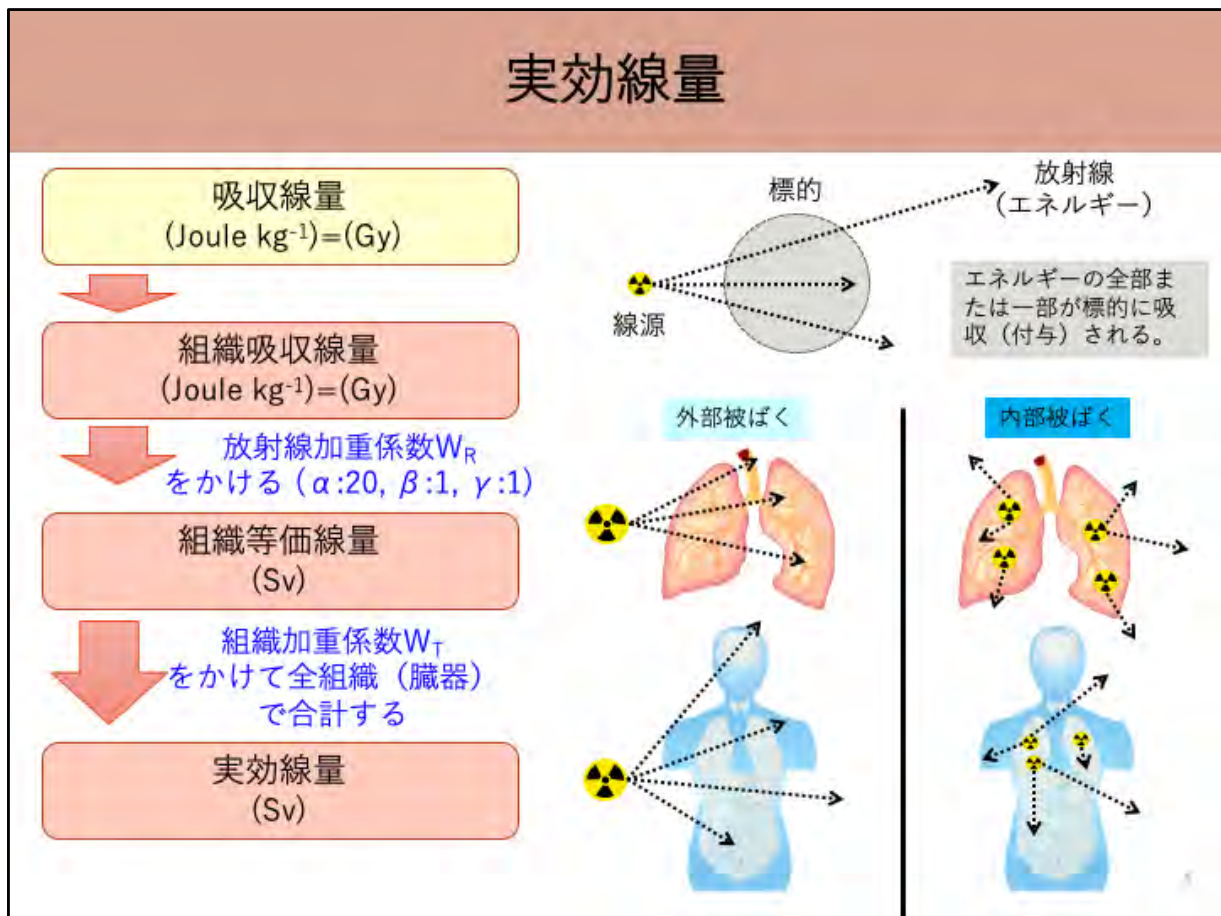
1. トリアージ/スクリーニングにおいて被ばく線量の程度を迅速に把握すること
2. 医療介入を行うための判断材料のひとつとすることが挙げられます。

線量評価には、放射線が人体に付与するエネルギーを直接的に計算する物理学的線量評価と染色体異常の頻度を観察する生物学的線量評価があります。しかし、生物学的線量評価の場合には採血が必要となるため、相当の被ばくを受けたことが明らかでない時点では物理学的線量評価が優先されます。物理学的線量評価の方法は、国際放射線防護委員会(ICRP)によって提示されています。

実効線量や等価線量といった放射線防護量は、平常時において線量限度を超えることがないことを確認する放射線管理の目的に使用されますが、緊急被ばく医療においてもおよその被ばく線量の程度を把握するトリアージに役立てることができると考えています。

実効線量が100mSv以上となる高い線量を被ばくした場合には、放射線防護量ではなく、利用可能な情報(被ばくした個人の体格・代謝、臓器・組織ごとの生物学的効果比など)を考慮して臓器・組織ごとの吸収線量を評価することになりますが、これには時間を要します。

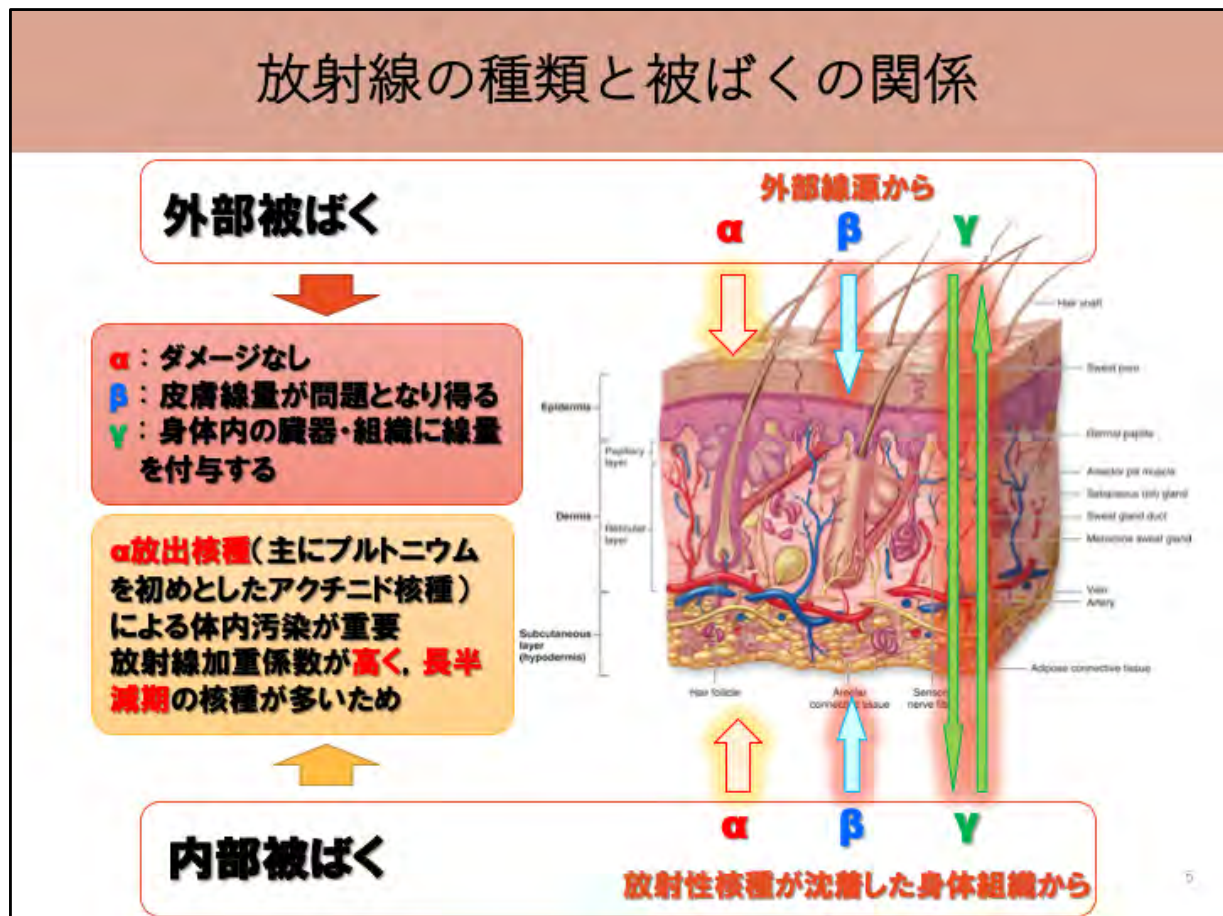
実効線量



放射線被ばくによる臓器・組織ごとの吸収エネルギーは、放射線の種類、臓器・組織の形状、線源の位置などによって変わります。例えば、 α 線や β 線の場合、外部被ばくでは体表面付近にのみにエネルギーが付与されますが、内部被ばくでは放射性核種が取り込まれている体内の臓器・組織に付与されます。臓器・組織が1kgあたりに吸収するエネルギーを組織吸収線量 (Gy) といいます。

たとえ組織吸収線量が同じであったとしても、それが α 線によるものか、 β 線や γ 線によるものかによって生物学的効果は異なります。これを考慮するための係数を放射線加重係数といい、組織吸収線量に掛けることで組織等価線量 (Sv) が計算されます。さらに、臓器・組織ごとの等価線量を組織加重係数で重み付けすることで実効線量 (Sv) が計算されます。

放射線の種類と被ばくの関係



外部被ばくの場合、 α 線は皮膚の表層までしか到達せず、人体への影響はありません。

β 線は、皮膚表面から平均深さ70 μm の位置にある基底層にエネルギーを付与するため、確率的影響や確定的影響を引き起こす可能性があります。

γ 線は、体内の臓器・組織を透過する中で、さまざまな部位に一定のエネルギーを付与する可能性があります。

内部被ばくの場合、 α 線や β 線はそれらを取り込まれた臓器・組織に対して局所的にほぼ全てのエネルギーを付与します。

特に α 線は生物学的効果比が高く、また α 線放出核種であるプルトニウム等のアクチノイド元素の物理学的半減期及び生物学的半減期が両方とも長いので、わずかな摂取でも被ばく線量が高くなる特徴があります。

等価線量を計算するための放射線加重係数

等価線量 [単位 : Sv]

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

H_T : 臓器・組織Tの等価線量

w_R : 放射線加重係数

$D_{T,R}$: 臓器・組織Tの平均吸収線量

| 主な放射線の種類 | Publ. 26 | Publ. 60 | Publ. 103 |
|----------|----------------|----------|-----------|
| 光子 | 1 | 1 | 1 |
| 電子 | 1 [†] | 1 | 1 |
| 陽子 | 25 | 5 | 2 |
| アルファ粒子 | 25 | 20 | 20 |

[†]トリチウムから放出されるベータ線については2

等価線量を計算するための放射線加重係数は、表に示すようにICRPによって与えられ、改訂されてきました。

ICRP Publ. 103において、現在は光子及び電子に対して1、陽子に対して2、アルファ粒子に対して20が与えられています。

実効線量を計算するための組織加重係数

| 臓器・組織 | Publ. 26 | Publ. 60 | Publ. 103 |
|----------|----------|----------|-----------|
| 肺 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| 胃 | - | 0.12 | 0.12 |
| 結腸 | - | 0.12 | 0.12 |
| (赤色)骨髄 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| 乳房 | 0.15 | 0.05 | 0.12 |
| 生殖腺 | 0.25 | 0.20 | 0.08 |
| 甲状腺 | 0.03 | 0.05 | 0.04 |
| 食道 | - | 0.05 | 0.04 |
| 膀胱 | 0.3 | 0.05 | 0.04 |
| 肝臓 | - | 0.05 | 0.04 |
| 骨表面 | - | 0.01 | 0.01 |
| 皮膚 | - | 0.01 | 0.01 |
| 脳 | - | - | 0.01 |
| 唾液腺 | - | - | 0.01 |
| 残りの臓器・組織 | 0.3 | 0.05 | 0.12 |

- 考慮された損害
- ✓ 致死ガンの確率
- ✓ 非致死ガンの加重された確率
- ✓ 重度遺伝的影響の加重された確率
- ✓ 寿命損失の相対的な長さ
- 損害の発生確率の全身平均
- 年齢、性別に関する平均化

実効線量を計算するための組織加重係数も、放射線加重係数と同様にICRPから与えられ、改訂されてきました。

ICRP Publ. 26では6つの臓器・組織にのみに対して個別の組織加重係数が与えられ、それ以外の臓器・組織は「残りの臓器・組織」として扱われていました。

現在は、放射線影響に関する知見に基づいて細分化され、14の臓器・組織について個別の係数が与えられています。特に、遺伝的影響に対するリスクが小さいという理解が進んだことから、生殖腺に対する係数は当初の0.25から0.08にまで下げられました。

放射線加重係数の根拠となる損害（デトリメント）として、致死及び非致死ガンの確率、重度の遺伝的影響の確率、寿命損失などを考慮していますが、これらは人種、年齢、性別等に関して平均化されたノミナルな（名目上の）リスクに基づいています。

それゆえ、実効線量は放射線防護量として、平常時において線量限度を超えることがないことを確認する放射線管理の目的（前向きな評価）に対してのみ使用できるものであり、特に高い線量を被ばくした個人に対する遡及的な評価（後ろ向きな評価）に用いるべきものではありません。

個人線量計による外部被ばく線量の測定

積算式



OSLバッジ



ガラスバッジ

電子式



- 個人線量計は適切な位置に着用!!



外部被ばく線量は一般的に個人線量計による測定によって管理します。個人線量計には、1ヵ月～3ヵ月の期間中に被ばくした線量を測定する積算式と、リアルタイムで線量を確認することができる電子式があります。いずれの個人線量計も、適切な位置に着用して放射線業務に従事することが大切です。

個人線量計による外部被ばく線量の測定

□着用部位

- 体幹部（胸ポケット、腰ベルトの位置）
- 襟元
- 手首又は指

□測定値

- 1cm線量当量
- 70 μ m線量当量
- 3mm線量当量



個人線量計の着用位置は、男性については胸部、女性については腹部となります。

実効線量を評価するためには、組織加重係数が与えられている全ての臓器・組織の組織等価線量を評価する必要がありますが、それは困難であるため、正面からの外部被ばくに対して実効線量よりも高い値が示される1cm線量当量（人体等価物質の深さ1cmの位置での線量）が測定されます。

通常、1cm線量当量と併せて皮膚線量を評価する目的で70 μ m線量当量も測定され、1cm線量当量と70 μ m線量当量のいずれか高い方の値が、水晶体線量を評価する3mm線量当量とみなされます。

指先や頭頸部などが局所的／不均一に被ばくする可能性がある場合には、襟元や手首・指などにも個人線量を着用する場合があります。

近年、水晶体の線量をより正確に測定するために、眼に近い位置で3mm線量当量を直接測定する個人線量計も開発されています。

外部被ばく線量の概念



個人線量計で測定される個人線量当量（1cm/70 μ m/3mm線量当量）やサーベイメータで測定される周辺線量当量は、実際に測定できる実用量と呼ばれています。


実用量は、一般的に防護量（臓器吸収線量、臓器等価線量、実効線量）よりも高い値を示すため、放射線管理の目的で線量限度を超えていないことを簡便に確認することに役立ちます。

外部被ばく線量の概念

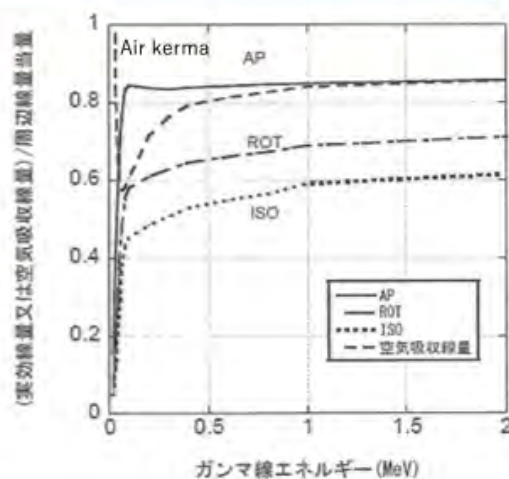
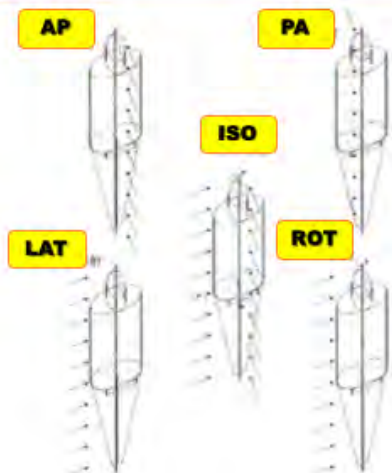

実効線量
 (防護量)

<

周辺線量当量
 (実用量)



(大抵の場合)



特集 放射線防護に用いられる線量概念. 日本原子力学会誌(2013)から引用

環境中において様々な方向からの放射線被ばくする状況についても、サーベイメータで測定される周辺線量当量（実用量）が実効線量（防護量）よりも高い値を示すことが確認されています。

外部被ばく線量の計算

作業者が誤って ^{137}Cs 線源(37TBq)から1.5m離れた場所で約10分間の照射を受けたことが判明した。
この作業者が受けた外部被ばく線量を計算せよ

$\Gamma = 0.0779 \text{ (}\mu\text{Sv m}^2 \text{ MBq}^{-1} \text{ h}^{-1}\text{) for } ^{137}\text{Cs}$

$$E = \frac{A \times \Gamma \times t}{d^2} = \frac{3.7 \times 10^7 \times 0.0779 \times 1/6}{1.5^2} = 2.1 \times 10^5 (\mu\text{Sv}) = 210 (\text{mSv})$$

放射能(MBq) → A
時間(h) → t
距離(m) → d

ある放射性核種の点線源による外部被ばく線量（実効線量）は、実効線量率定数を使用して計算することができます。
実効線量率定数は、1MBqの点線源が1m離れた位置に存在している場合の1時間当たりの実効線量（ μSv ）で、
例えばCs-137の場合は $0.0779 \text{ (}\mu\text{Sv m}^2 \text{ MBq}^{-1} \text{ h}^{-1}\text{)}$ です。
37TBqのC-137線源から1.5m離れた場所で約10分間照射を受けた場合の実効線量は210mSvと計算されます。
スライドの計算式に示すように、線量は距離の2乗に反比例します。

外部被ばく線量率定数

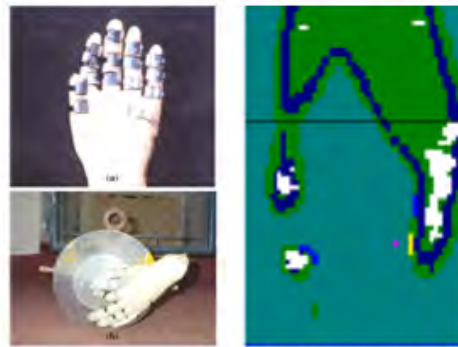
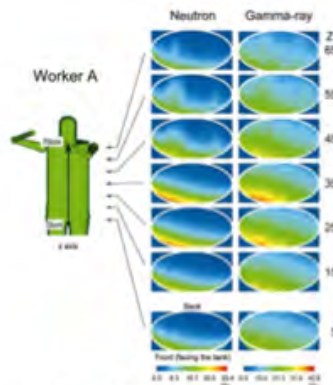
| 放射性核種 | 半減期 | γ線エネルギー (MeV)－放出率 | 1MBq, 1mでの 実効線量率(μSv h ⁻¹) | 1MBq, 1mでの 周辺線量当量率(μSv h ⁻¹) |
|--------------------|--------|----------------------|---|---|
| ²⁴ Na | 2.609y | 1.275 – 99.9% | 0.284 | 0.333 |
| ⁵⁴ Mn | 312.1d | 0.835 – 100% | 0.111 | 0.13 |
| ⁵⁹ Fe | 44.5d | 1.099 – 56.5% | 0.147 | 0.171 |
| | | 1.292 – 43.3% | | |
| ⁶⁰ Co | 5.271y | 1.173 – 100% | 0.305 | 0.354 |
| | | 1.333 – 100% | | |
| ⁸⁵ Sr | 64.84d | 0.514 – 96.0% | 0.0697 | 0.0826 |
| ^{110m} Ag | 249.8d | 0.658 – 94.0% | 0.354 | 0.416 |
| | | 0.885 – 72.2% | | |
| | | 0.937 – 34.1% | | |
| | | 1.384 – 24.1% | | |
| ¹³⁷ Cs | 30.04y | 0.662 – 85.1% | 0.0779 | 0.0927 |
| ¹⁹² Ir | 73.83d | 0.296 – 28.7% | 0.117 | 0.139 |
| | | 0.308 – 30.0% | | |
| | | 0.317 – 82.7% | | |
| | | 0.468 – 47.8% | | |
| ²⁴¹ Am | 432.2y | 0.0595 – 35.9% | 0.00395 | 0.00529 |

参考:アイントープ手帳第10版

主要な放射線源に対する実効線量率定数及び周辺線量当量率定数はスライドに示す通りです。

いずれの核種に対しても、周辺線量当量率定数が実効線量率定数よりもわずかに大きいことが確認できます。

外部被ばく事故時の線量再構築



In the JCO criticality accident
A. Endo and Y. Yamaguchi, Radiation Res. (2003)

In the overexposure case with gamma radiography
FCA DaSaliva et al., J. Radiat.Prot. (2005)

実際の外部被ばく事故では、線源の形状や被ばく時の体勢が状況に応じてさまざまです。

このような状況を再現し、線量を再構築する手法として、数値シミュレーションが有効ですが、専門家の高度な知識及び技術が必要となります。

内部被ばく線量評価の方法

国際放射線防護委員会(ICRP)が放射線防護において推奨する方法



体外計測法
(肺モニタ)



個人モニタリング

摂取から測定までの経過時間に応じた
残留率・排泄率で除す



摂取量の推定

線量係数を乗じる



線量評価 (実効線量)



バイオアッセイ法
(陰イオン交換)



15

内部被ばく線量を評価するためには、体外計測法やバイオアッセイ法による個人モニタリングによって、体内に残留する／排泄物中に含まれる放射能を測定する必要があります。

摂取量を推定するためには、個人モニタリングで測定した体内残留量や排泄物中の放射能を残留率又は排泄率で除すこととなりますが、これらの値は放射性核種を摂取してからの経過時間に依存して変わります。

実効線量は、推定した摂取量に線量係数を乗じることで計算されます。

実効線量の概念

吸収線量 (Gy)

放射線加重係数を乗じる

等価線量 (Sv)

組織加重係数を乗じて、全臓器の合計を計算

実効線量 (Sv)



各臓器の実際の吸収線量は測定できない・・・

したがってモデルを用いる

吸入／経口摂取した放射性核種による内部被ばくの線量係数の導出には、モデルによる計算が必要となります。

はじめに、摂取した放射性核種の体内での挙動を表す体内動態モデルを解析し、各臓器・組織での50年間にわたる総崩壊数が計算されます。

次に、人体を模擬した数値ファントムを使用した放射線輸送計算により、体内で放出された放射線が各臓器・組織にどの程度のエネルギーを付与するかが計算されます。

以上の結果から、1Bqの放射性核種を摂取した場合の実効線量を表す線量係数 (Sv/Bq) が導出されます。

放射性核種の体内動態

核種(厳密には元素)によって体内動態に特徴がある..



甲状腺に集積する元素

ヨウ素



肝臓と骨に集積する元素

プルトニウム

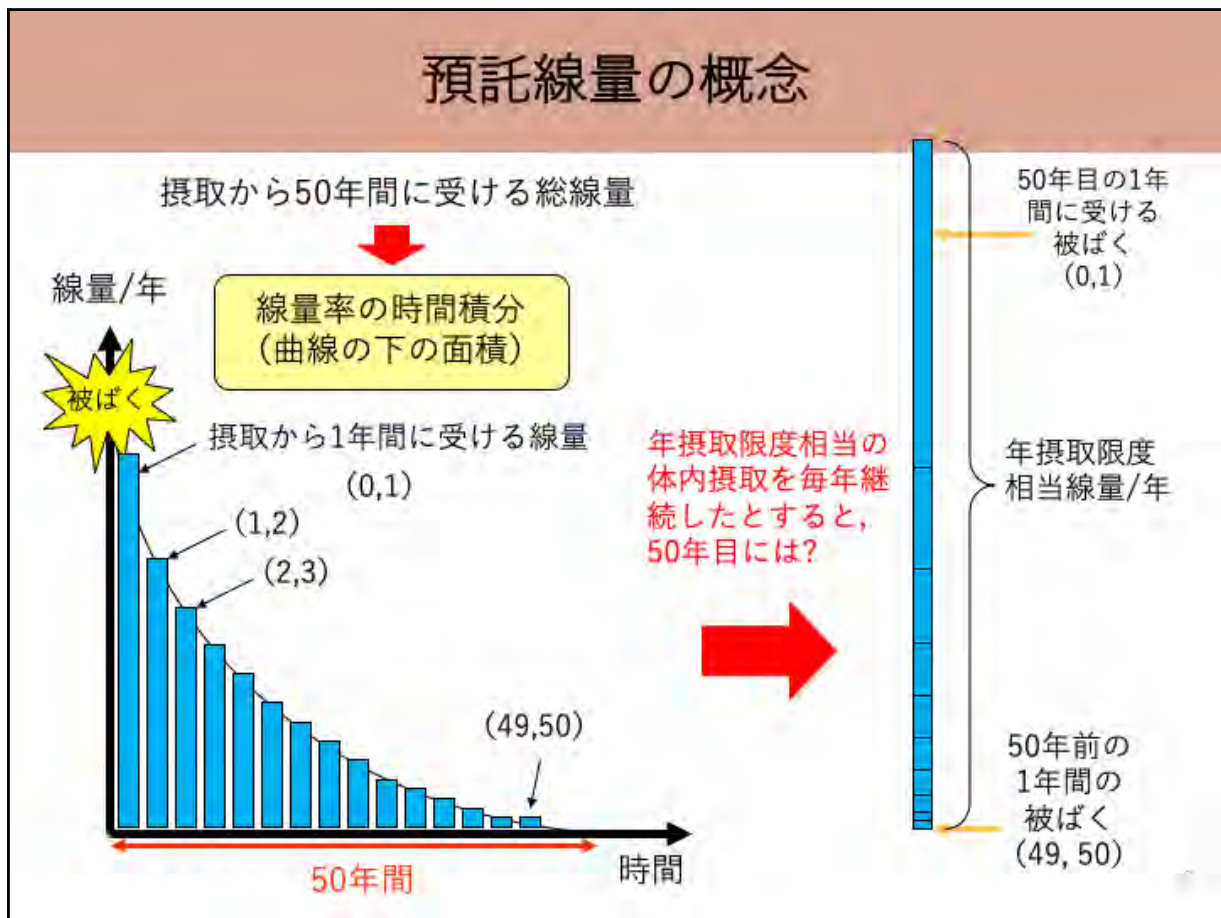


全身に分布する元素

セシウム

放射性核種の体内動態は、元素ごとに大きく異なります。
例えば、ヨウ素は甲状腺、プルトニウムは肝臓と骨に特異的に集積する性質があります。
一方、セシウムは特定の臓器に集積することはなく、全身にほぼ均一に分布します。
これらの性質を踏まえた体内動態モデルがICRPから提示されており、それを解析することにより各臓器・組織での50年間にわたる崩壊数が計算できます。

預託線量の概念

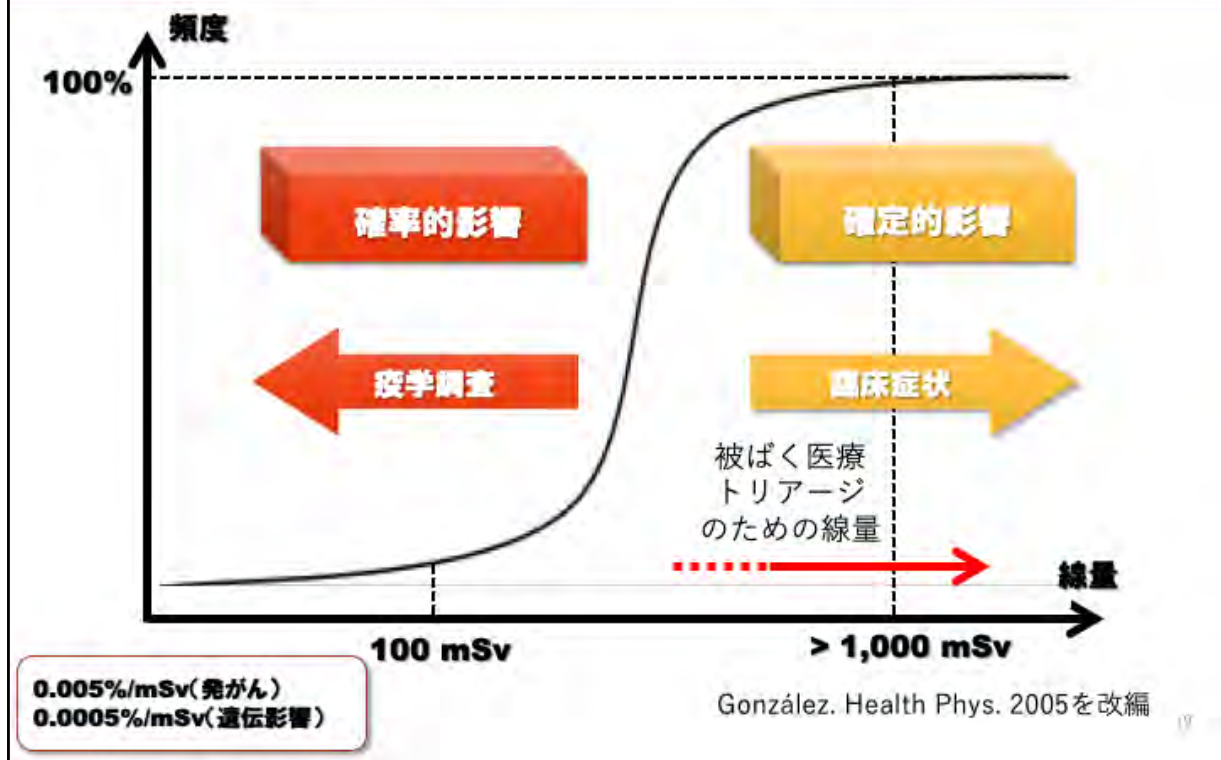


体内に摂取した放射性核種は数年から数十年にわたって残留し、毎年少しずつ被ばくする可能性があります。

しかし、1度摂取した放射性核種によるわずかな被ばく線量を数十年にわたって記録し続けることは放射線管理の観点から効率的ではないため、預託線量という概念によって50年間で被ばくする線量を最初の1年で被ばくしたと仮定して記録し、それが線量限度等を下回ることを確認することとしています。

多くの放射性核種による内部被ばくにおいて、最初の1年目の被ばく線量は、実際に50年にわたる被ばく線量全体の大半を占めます。

放射線被ばくによる健康影響



放射線による被ばく線量が高くなるにつれて、確率的影響のリスクが高くなると考えられています。

広島・長崎における原爆被爆者をはじめとするさまざまな疫学調査の結果として、発がん及び遺伝的影響のリスクは、それぞれ0.005%/mSv及び0.0005%/mSvとされていますが、100mSvを下回る低線量における確率的影響の有意な増加が実際に確認できたことはありません。

被ばく線量が1,000mSvを超えると、臨床症状を伴う確定的影響の頻度が増加していく可能性があると考えられます。

ただし、実効線量や等価線量は低線量における確率的影響のノミナルなリスクに基づいているため、被ばく医療のトリアージを目的とした迅速な評価として利用できる可能性はあるものの、最終的には臓器・組織ごとの生物学的効果比や個人の体格・代謝等を考慮した組織吸収線量 (Gy) の評価に努める必要があります。

放射線による生物学的影響

| 線量 | 生物学的影響 | 疫学的フォローアップ |
|-----------------------------|--|----------------------------------|
| ～10 mSv未満 (実効線量) | 急性影響なし 極めて小さい発がんの長期的リスクの上昇 | 対象者の数が多くても検出困難な影響 |
| ～100 mSvまで (実効線量) | 急性影響なし 約0.5%の発がんの長期的リスクの上昇 | 対象者の数が多数（10万人以上）であれば検出の可能性のある影響 |
| ～1000 mSvまで (急性の全身被ばく線量) | 吐き気や嘔吐の可能性 少ない骨髄の減少 約10%の発がんの長期的リスクの上昇 | 数100名程度以上の対象者に対して検出可能な影響 |
| 1000 mSv以上 (急性の全身被ばく線量) | 吐き気、骨髄障害、医学的評価、治療要 約10%の発がんの長期的リスクの上昇 | 50%致死率（治療しない場合）： 全身の急性被ばくで4Gy |

González. Health Phys. 2005を改編

被ばく線量のレベルに対して起こり得る生物学的影響と疫学的フォローアップが表にまとめられています。

10mSv未満のレベルでは、極めて小さい発がんの長期的リスクが上昇する可能性があるとしていますが、非常に多くの対象者を調査したとしても、疫学的影響の有意な増加を確認することはできないと考えられています。

100mSv以下の被ばくによる発がんの長期的リスクは約0.5%であると考えられています。このようなレベルのリスクの増加を識別するためには10万人以上の規模での疫学調査が必要となると考えられています。

これまでに、100mSv以下の被ばくによる疫学的影響の有意な増加が確認できたことはありません。

1,000mSv以下の被ばくでは、一過性の確定的影響が観察される可能性があります。

発がんの長期的リスクも約10%に上昇する可能性があり、その場合には数100名程度の対象者でも疫学的影響の有意な増加が確認されるかもしれません。

1,000mSvを上回る場合には、重篤な確定的影響が観察される可能性があり、治療が必要となります。

全身の急性被ばくで4Gyに達する場合は、治療をしない場合の致死率が50%に及びます。

体外計測法

原子力災害 専門研修
WBC・甲状腺-2

線量評価が必要となる状況

○放射性核種を予期せず体内に取り込んでしまったとき…



職業被ばく



公衆被ばく

目的

- 規制値（線量限度など）との比較
- 防護対策の実施判断
- 被ばく医療の実施判断（詳細な線量評価含む）

○施設設計や個人モニタリングの立案など ○放射性医薬品の投与



職業被ばく
公衆被ばく

目的

- 施設安全性の評価
- 規制値との比較



目的

- 治療や診断に伴う線量の把握

線量評価が必要となる状況として、

- (1) 放射性核種を予期せず体内に取り込んでしまったとき、
 - (2) 原子力発電所等の施設設計や個人モニタリングの立案を実施するとき、
 - (3) 放射性医薬品を患者に投与するとき
- が挙げられます。

放射性核種が管理区域や原子力施設の中にとどまっている状況では、実際にそこで作業している放射性業務従事者に被ばくの可能性は限られます。しかし、放射性核種が原子力施設の外や環境中に放出される状況では、公衆が被ばくする可能性が生じます。

放射性業務従事者が被ばくすることを職業被ばく、公衆が被ばくすることを公衆被ばくといいます。

放射性核種を予期せず体内に取り込んでしまったときの線量評価の目的として、

- (1) 線量限度などの規制値と比較すること
 - (2) 何らかの防護対策の実施する必要性を判断すること
 - (3) 何らかの被ばく医療を実施する必要性を判断すること
- が挙げられます。

施設設計や個人モニタリングの立案などにおいても、将来起こりうる職業被

ばくと公衆被ばくの両方を想定した上で、
（１）施設の安全性を評価すること
（２）規制値を満たすことを確認すること
を目的とした線量評価が必要となります。

放射性医薬品が投与された場合は、治療や診断に伴う線量が評価されます。

被ばくの形態

外部被ばく



体外からの放射線による

防護方法

- ・被ばく低減の3原則
(遮へい・距離・時間)
- ・防護具の着用
(遮へい)

体表面汚染



内部被ばく(内部汚染)



放射性物質が、吸入、経口、経皮により体内中に摂取される。

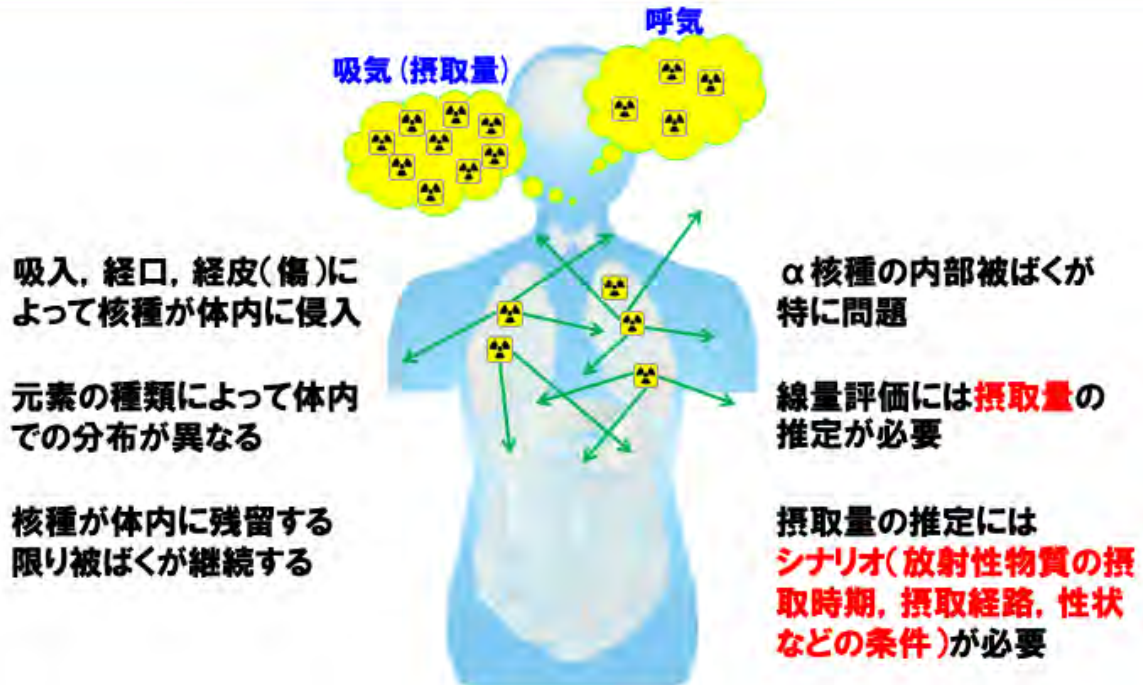
防護方法

- ・呼吸保護具(マスク等)
- ・カバーオール

被ばくする際に、放射性物質がどこに存在しているかによって、
(1) 外部被ばく、(2) 体表面汚染、(3) 内部被ばく(内部汚染)
といった3つの被ばくの形態に分けられます。

外部被ばくは、放射性物質が人体から離れた位置に存在している場合に、その放射性物質から放出される放射線によって被ばくすることです。外部被ばくを防護するための手段として、被ばく低減の3原則(遮へい・距離・時間)が有効です。つまり、鉛などの原子番号の大きい物質が含まれる遮へい材の設置や防護具の着用したり、線源から離れた位置で手際よく作業することによって被ばく線量を低減することができます。放射性物質が人体や身に着けている物に付着した状態を体表面汚染といいます。体表面汚染に対しては被ばく低減の3原則による効果はなく、付着した放射性物質を除染するまで被ばくが続いてしまうことに注意が必要です。内部被ばく(内部汚染)は、吸入や経口、経皮によって体内に放射性物質が取り込まれ、そこから放出された放射線によって被ばくすることです。体内に取り込まれた放射性物質を取り除くことは難しいため、放射性物質を取り込むおそれがある場合には呼吸保護具(マスク等)やカバーオールの着用による防護を実施することが大切です。

内部被ばくの特徴



内部被ばくの特徴として、体内に取り込まれた放射性物質の体内分布が、侵入経路や元素によって異なることが挙げられます。

放射性物質を吸入によって摂取した場合、その一部が呼吸気道に沈着し、残りの放射性物質は呼気とともに体外へと排出されます。

呼吸気道に沈着した放射性物質は、さらに肺から血液中へと吸収されます。一方、経口によって摂取した放射性物質は、肺に沈着することなく、消化管を移動しながら一部が小腸などから血液中へと吸収され、残りは便中に排泄されます。

吸入摂取又は経口摂取した放射性物質が、それぞれ肺又は小腸から血液中に吸収される速度は、その化学形によって異なります。また、血液中の放射性物質がさまざまな臓器・組織に分布しながら代謝・排泄されていく過程は、元素の種類によって変わります。

したがって、測定した体内残留量や尿中／便中排泄量から内部被ばく線量を評価するための摂取量を推定するためには、適切な摂取シナリオ（放射性物質の摂取時期、摂取経路、化学形などの性状）を

仮定し、そのシナリオに基づいて計算された体内残留割合や尿中／便中排泄割合を調べる必要があります。

摂取した核種が体内に残留する限り被ばくが継続すること、とりわけ体内で放出された α 線は局所的に全てのエネルギーを沈着させるために被ばく線量が高くなることも内部被ばくの特徴です。

ラジウム (Ra)



**ダイアルペインター
(ラジウムガール: ^{226}Ra)**



Xofigo ($^{223}\text{RaCl}_2$)
骨転移去勢抵抗性前立腺癌に有効
(バイエル薬品から輸入販売)
※55kBq/kgを4週間間隔で最大6回まで静脈投与する

内部被ばくによる代表的な障害例として、ダイアルペインターの骨髄炎、白血病、骨肉腫があります。

米国では、1900年代から時計の文字盤に放射性物質であるラジウムが含まれた夜光塗料が利用されていました。

ダイアルペインターと呼ばれていた女性従業員は、筆の穂先を舐めて整えながら夜光塗料を文字盤に塗布していたため、その際にラジウムを体内に取り込んでしまいました。

ラジウムには骨に沈着しやすい性質があるため、骨の放射線障害が多く確認されました。

現在、ラジウムは国内で初めての α 線による放射性医薬品として医学利用されています。骨に沈着しやすい性質を利用することで、骨に転移したがん細胞の増殖を抑制させることができます。

職業被ばく線量評価

ICRP の2007年勧告によると

- ❖ 外部被ばく:通常, 均一な全身被ばくによる実効線量よりも高い値を示す個人線量当量Hp(10)を個人線量計で測定される指示値で管理
- ❖ 内部被ばく: 体外計測法やバイオアッセイ法による測定値 (または空气中放射能濃度) から, 摂取シナリオに基づいて放射性核種の摂取量(Bq)を推定し, 預託実効線量(E(50))を掛けて評価

$$E = H_p(10) + E(50)$$

$$E(50) = \sum_j I_{j,inh} \cdot e_{j,inh}(50) + \sum_j I_{j,ing} \cdot e_{j,ing}(50)$$

吸入摂取による線量

吸入摂取による摂取量, $I_{j,inh}$ に
預託実効線量係数 $e_{j,inh}(50)$

経口摂取による線量

経口摂取による摂取量, $I_{j,ing}$ に
預託実効線量係数 $e_{j,ing}(50)$

職業被ばくの線量評価の手法や考え方を含む放射線防護体系については、国際放射線防護委員会（ICRP）の主勧告である2007年勧告に記述されています。外部被ばく線量評価は、局所的な被ばくを伴う作業に従事する場合を除いて、胸部又は腹部に着用した個人線量計で測定される指示値で管理されます。この指示値は個人線量当量Hp(10)であり、あらゆる線種・エネルギーの放射線に対して、全身が均一に被ばくした場合の実効線量よりも常に高い値を示します。

一方、内部被ばく線量は、体外計測法やバイオアッセイ法による測定値から、仮定した摂取シナリオに基づいて摂取量 (Bq) を推定し、その値に預託実効線量 (E(50)) を掛けることで預託実効線量が評価できます。体外計測法やバイオアッセイ法による摂取量の推定が難しい場合には、空气中放射能濃度から推定することになりますが、呼吸量や防護マスク等による低減効果を正確に把握することは難しく、不確かさが大きくなります。

平常時の放射線業務に伴う個人被ばく管理の目的であれば、外部被ばくによる個人線量当量と内部被ばく (吸入・経口摂取等) による預託実効線量の合計値を、線量限度や参考レベルと比較することができます。

内部被ばく線量評価の方法

個人モニタリング

体外計測法: 残留量 ÷ 残留割合 = 摂取量

バイオアッセイ法: 排泄量 ÷ 排泄割合 = 摂取量

$$\text{摂取量 (Bq)} \times \text{線量係数 (Sv/Bq)} = \text{被ばく線量 (Sv)}$$

↑
ICRPによる

環境モニタリング

空気中濃度 × 呼吸量 = 摂取量 (土壌中濃度 × 再浮遊係数 × 呼吸量 = 摂取量)

飲食物中濃度 × 食べた量 = 摂取量 (土壌中濃度 × 飲食物への移行係数 × 食べた量 = 摂取量)

内部被ばく線量は、摂取量に線量係数を掛けることで計算できます。摂取量を推定する方法として、個人モニタリング又は環境モニタリングに基づく2通りがあります。

個人モニタリングでは、体外計測法又はバイオアッセイ法によって、それぞれ体内に存在している放射性物質の残留量又は尿や便等の生体試料に含まれる排泄量が測定できます。それぞれの測定値を、残留割合や排泄割合で割ることで摂取量が計算できますが、これらの割合は摂取日から測定日までの経過日数によって変わることには注意が必要です。

一方、環境モニタリングでは、空気中や飲食物中の放射能濃度が測定できません。これらの濃度に、呼吸量や食べた量を掛けることで摂取量が計算できますが、実際に体内に摂取された放射性物質を測定しているわけではないので、個人差に伴う不確かさが大きくなります。土壌中の放射性物質も、再浮遊や食物への移行によって吸入・経口摂取する可能性があります。このような経路による摂取量は比較的小さくなります。

体外計測法

- ❖ 体内に残留している放射性物質から放出される放射線を、体外の検出器で検出し、全身又は特定の臓器の残留量を測定する方法。その測定結果及び摂取シナリオから摂取量(Bq)算出により預託実効線量(Sv)を評価
- ❖ 放射線検出器(γ (X)線測定用)の種類
 - ◇ NaI(Tl)シンチレーション検出器→全身, 甲状腺
 - ◇ 高純度Ge検出器→全身, 甲状腺, 肺
 - ◇ CsI(Tl)/NaI(Tl)のホスイッチ検出器→ 肺
- ❖ ホールボディカウンタ(WBC)
 - ◇ γ 線検出器, 遮へい体, 回路システム, データ処理装置
- ❖ 測定部位及び測定対象
 - ◇ 全身: ^{131}I , ^{137}Cs , ^{54}Mn , ^{60}Co 等 γ 線放出核種 (50keV ~ 3000keV)
 - ◇ 甲状腺: 放射性ヨウ素
 - ◇ 肺: Pu, Am等 α 線放出核種 (低エネルギー光子10keV~100keV)

体外計測法とは、「体内に残留している放射性物質から放出される放射線を、体外に設置した検出器で検出し、全身又は特定の臓器の残留量を測定する方法」です。

測定できる主な放射線の種類は γ 線であるため、主にNaI(Tl)シンチレーション検出器や高純度Ge検出器が使用されます。

全身残留量を測定するホールボディカウンタ(WBC)は、 γ 線検出器の他、自然放射線によるバックグラウンドの上昇を抑えるための遮蔽体、測定を制御する回路システム、測定結果を分析するデータ処理装置から構成されています。

Cs-137, Mn-54, Co-60等の多くの γ 線放出核種に対しては全身残留量が測定されますが、放射性ヨウ素は甲状腺に特異的に集積することが分かっているため、甲状腺残留量が測定されます。

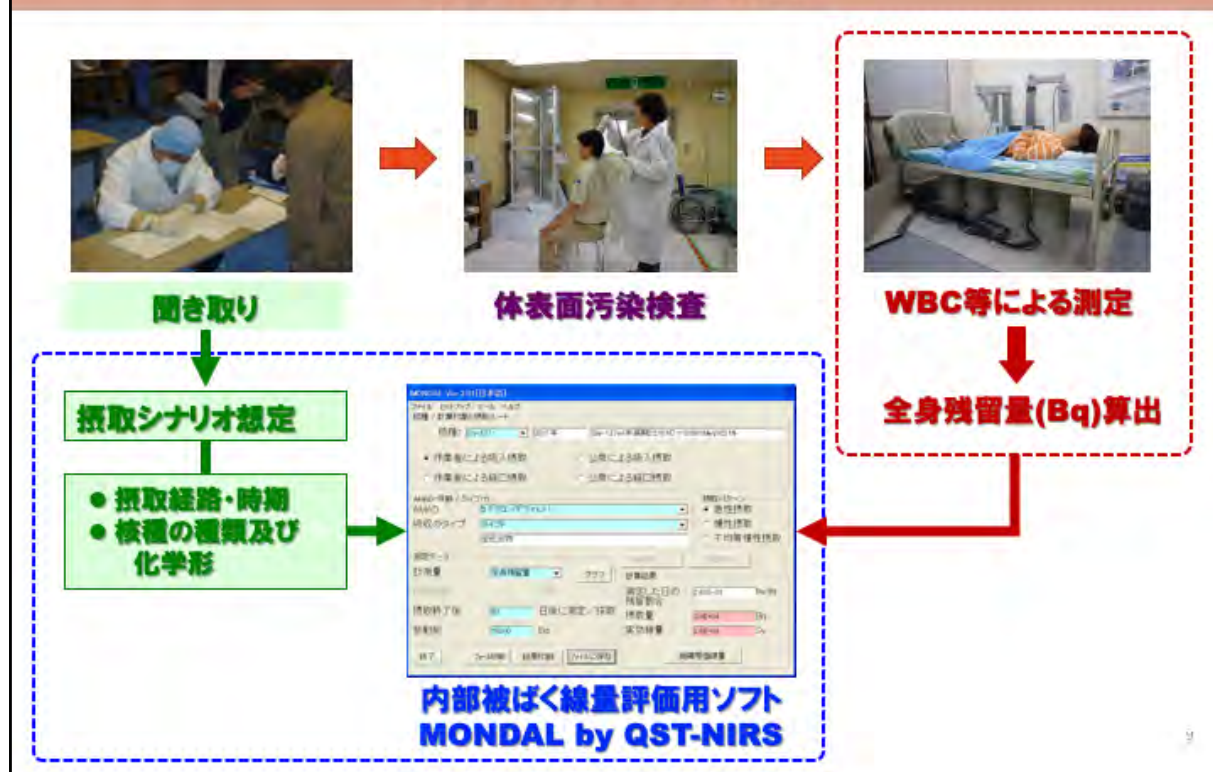
また、吸入摂取したPuやAm等の α 線放出核種であるアクチニド元素は肺に長く沈着するため、肺残留量を測定することが一般的です。

ただし、放射性核種から放出される γ 線のエネルギーは、多くの場合50~3000keVですが、アクチニド元素から放出される光子は10-100keVの γ 線やX線であるため、入射窓を薄くした低エネルギー用のGe検出器を使用する必要があります。

低エネルギー用のGe検出器が主流となる以前は、CsI(Tl)とNaI(Tl)のシンチレータを組み合わせたホスイッチ検出器が肺残留量の測定に使用されていました。

ホスイッチ検出器は、体内から放出された低エネルギー光子を入射面側にあるNaI(Tl)の結晶で検出し、CsI(Tl)とNaI(Tl)の両方の結晶で同時に検出される自然放射線のノイズを除去することができます。

聞き取りから線量評価までのフロー (例：体外計測法)



体外計測を実施する前には、聞き取り調査と体表面汚染検査が必要になります。


聞き取り調査の目的は、摂取経路・時期、核種の種類や化学形を決定する摂取シナリオを想定するために必要な情報を得ることです。
想定した摂取シナリオに基づいて体内残留割合を決定し、体外計測による測定値（例えば、WBCで測定される全身残留量（Bq））から摂取量を推定します。

QST-NIRSで開発された内部被ばく線量評価用のソフトウェアである「MONDAL」を使用すれば、想定したシナリオと測定値を入力するだけで摂取量と被ばく線量が自動的に計算されます。

体外計測を実施する前に最も重要なことは、体表面汚染検査を実施することです。
体表面に放射性物質が付着している状態で測定してしまうと、体内にある放射性物質から放出された放射線が検出されたり、計測装置を汚染させたりするおそれがあります。
体表面汚染が見つかった場合には、必ず着替えたり除染したりしてから測定しなければなりません。

WBCによる全身残留量測定

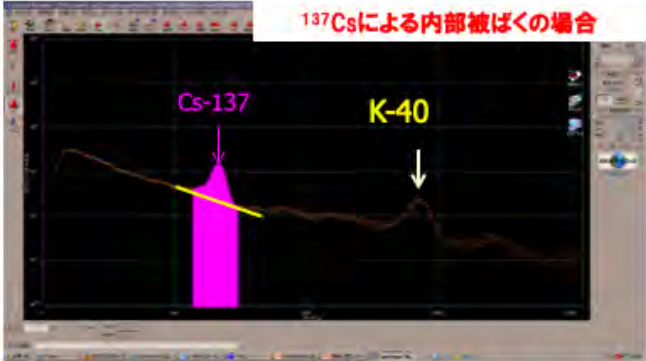
ベッド型WBCによる測定の様子



Nal(Tl)シンチレーション検出器
(Nal(Tl)結晶:直径20cm, 厚さ10cmの4台)

WBC測定値(計数率, cps)

137Csによる内部被ばくの場合



Cs-137 K-40

測定時の全身残留量(Bq)

計数効率 (cps↔Bq)

物理ファントム
既知量の放射性物質が入っている成人男性模擬ファントム
例: ¹³⁷Csの放射能 10000Bq

WBCの計数率: 10000カウント/3分(55.6cps)
計数効率((cps)/Bq)
= 55.6cps/ 10000Bq
= 5.56X10⁻³ (cps/Bq)

137Csのピーク面積の計数率:30cpsの場合, 全身残留量は?

BOMABファントム

WBCで測定した結果は、エネルギースペクトルとして得られます。エネルギースペクトルには、人の体の中に存在している自然放射性核種であるK-40から放出される1460keVの γ 線のピークが必ず現れます。Cs-137を体内に取り込んでいる場合は、K-40のピークとは別に、662keVの γ 線のピークが現れます。ピーク付近に設定した関心領域 (ROI) において、グロス面積 (総計数値) からバックグラウンドの計数値を差し引いたピーク面積 (正味の計数値) が、Cs-137から放出された662 keVの γ 線に対する計数値となります。

662 keVの γ 線のピーク面積=グロス面積-バックグラウンド

また、ピーク面積を測定秒数で割ることで、1秒あたりの計数値である計数率 (cps: counts per second) が計算できます。

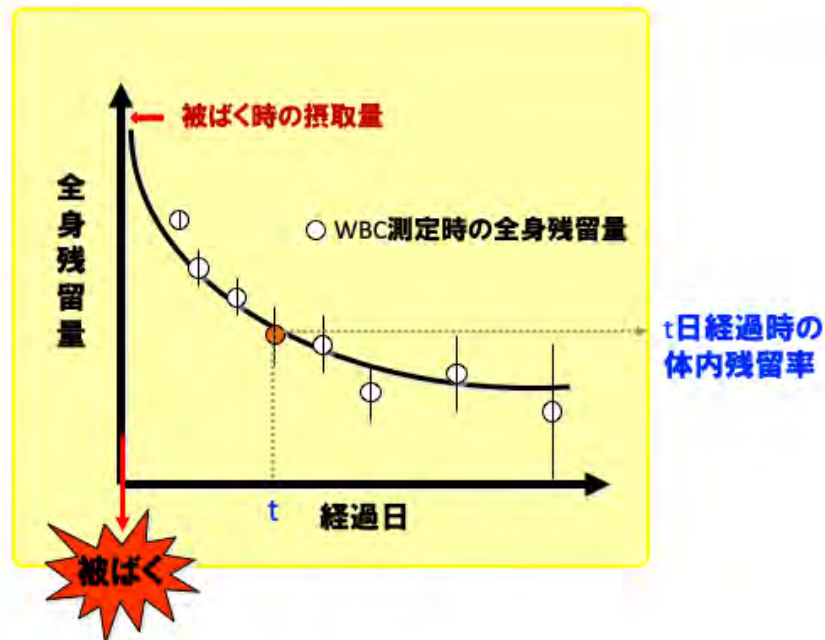
計数率 (cps) から全身残留量 (Bq) を計算するためには、人体を模擬した物理ファントムを使用した校正によって計数効率 (cps/Bq) を予め調べておく必要があります。

典型的な物理ファントムとして、既知量の放射性物質が含まれている円柱状のブロックを並べることで成人男性を模擬できるBOMABファントムがあります。

例えば、10,000BqのCs-137が含まれているBOMABファントムを3分間（180秒）測定した場合の計数値が10,000カウントであったとすると、計数率は55.6cps（=10,000カウント／180秒）となり、計数効率 ϵ は0.00556cps/Bq（=55.6cps／10,000Bq）となります。

このWBCで実際に被験者を測定した時のCs-137のピーク面積に基づく計数率が30cpsであったとすると、被験者の全身残留量は約5,400Bq（=30cps／0.00556cps/Bq）と評価されます。

全身残留量と経過時間との関係



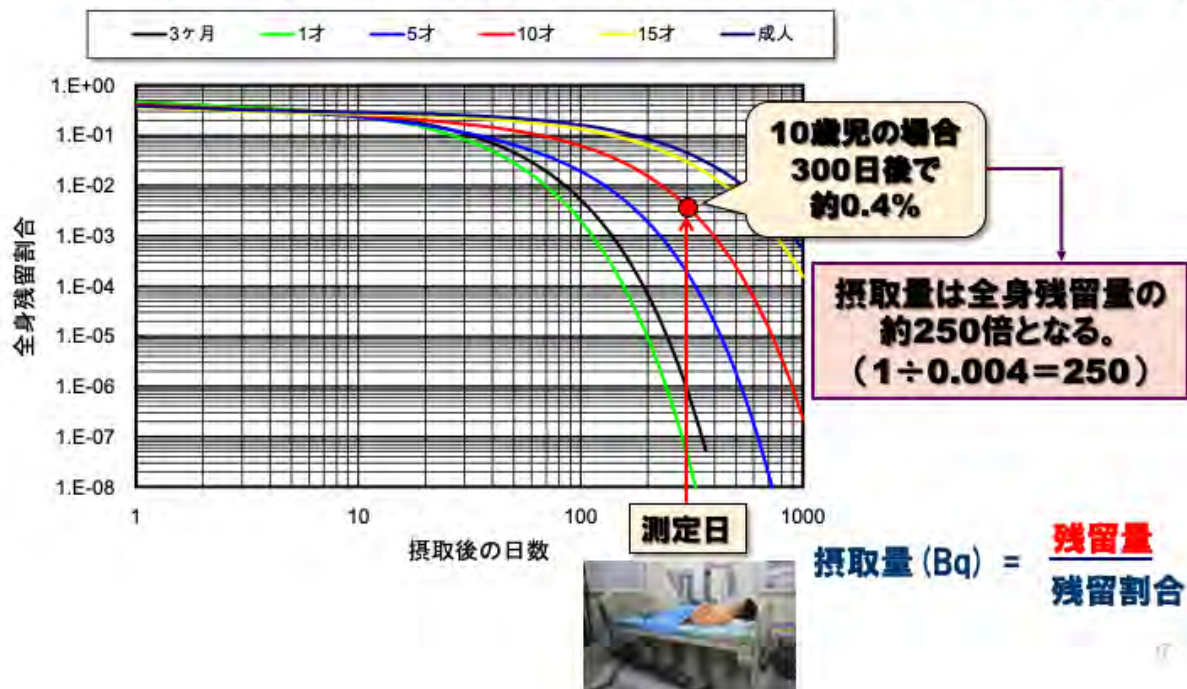
体内に取り込んだ放射性物質の全身残留量は、時間経過とともに物理学的半減期及び代謝・排泄に基づく生物学的半減期の両方の影響で減少していきます。

WBCによる測定を複数回実施することにより、全身残留量の変化を把握することができます。

しかし、一般に全身残留量が減少するほど測定に伴う不確かさが大きくなります。

WBC測定結果から摂取量へ

^{137}Cs の急性摂取での全身残留割合(吸入摂取, タイプF, 粒径 $1\mu\text{m}$)



1Bqの放射性物質を摂取した後の体内残留量を「体内残留割合」といいます。ここでは、摂取シナリオとして、タイプF、粒径 $1\mu\text{m}$ のCs-137の急性吸入摂取を仮定した場合の体内残留割合の時間変化を年齢別（3ヵ月、1才、5才、10才、15才、成人）に示しています。

例えば、摂取から300日後における10歳児の全身残留割合は約0.4%です。したがって、摂取量は、この日に測定した全身残留量の約250倍（ $=1/0.004$ ）であったと評価されます。

代表的核種の実効線量係数（内部被ばく）

体内摂取に伴う実効線量係数

(Sv Bq⁻¹)

| 核種（化学形） | 吸入摂取 | 経口摂取 |
|------------------------|----------------------|----------------------|
| ⁶⁰ Co（酸化物） | 1.7×10^{-8} | 2.5×10^{-9} |
| ¹³¹ I（全て） | 1.1×10^{-8} | 2.2×10^{-8} |
| ¹³⁷ Cs（全て） | 6.7×10^{-9} | 1.3×10^{-8} |
| ²³⁹ Pu（酸化物） | 8.3×10^{-6} | 9.0×10^{-9} |
| ²³⁹ Pu（硝酸塩） | 3.2×10^{-5} | 2.5×10^{-7} |

➤ ICRP Publication 68



プルトニウム(²³⁹Pu)の線量係数が高い理由

- α放射体である。
- 生物半減期・物理半減期が長い。
(主要器官である肝臓, 骨に沈着しやすい)

一方で経口摂取の線量はそれほど高くない
→ 胃腸管吸収が極めて低い(0.1%~0.01%)

単位摂取量（1Bq）あたりの実効線量を表す実効線量係数（Sv/Bq）は、ICRP Publication 68等の中で摂取シナリオごとにまとめられています。ここでは、代表的な核種・摂取シナリオに対する実効線量係数を示しています。

特に、Cs-137とPu-239の線量係数には大きな差があり、摂取量が同じでもPu-239の線量は20倍（経口摂取）～5000倍（吸入摂取）となります。

この理由として、

- (1) Pu-239がα線放出核種であること
- (2) 物理学的半減期が長いこと
- (3) 肝臓や骨に集積しやすく生物学的半減期が長いこと

が挙げられます。

一方、Pu-239の経口摂取による線量が吸入摂取の場合と比べて低い理由は、消化管から血液へ吸収される割合が0.1～0.01%と低く、経口摂取したPu-239の多くが数日以内に便中へと排泄されるためです。

摂取量から預託実効線量へ

$$\text{(預託) 実効線量(Sv)} = \text{摂取量(Bq)} \times \text{実効線量係数(Sv/Bq)}$$

- 単位摂取量あたりの(預託)実効線量を与える係数
- 摂取形態 (吸入摂取, 経口摂取) 毎に与えられる。

例: ^{137}Cs (5 μm , Type F)の線量係数 : 6.7×10^{-9} (Sv/Bq)
 ^{239}Pu (5 μm , Type M)の線量係数 : 3.2×10^{-5} (Sv/Bq)

1. 1mSvに相当する ^{137}Cs の摂取量は

$$0.001(\text{Sv}) / 6.7 \times 10^{-9}(\text{Sv/Bq}) \approx 149254\text{Bq}$$

2. 1mSvに相当する ^{239}Pu の摂取量は?

$$0.001(\text{Sv}) / 3.2 \times 10^{-5}(\text{Sv/Bq}) \approx 31(\text{Bq})$$

実効線量 (Sv) は摂取量 (Bq) に実効線量係数 (Sv/Bq) を掛けることで計算されます。

Cs-137 (5 μm , Type F) 及びPu-239 (5 μm , Type M) の線量係数はそれぞれ 6.7×10^{-9} Sv/Bq及び 3.2×10^{-5} Sv/Bqであり、1mSvに相当する摂取量は149,254Bq及び31Bqとなります。

WBC(ホールボディカウンタ)



立位型WBC



ベッド型WBC



椅子型WBC

15

写真に示すように、WBC（ホールボディカウンタ）には、立位型、ベッド型、椅子型などのいくつかの種類があります。
種類ごとに計数効率や検出下限値が異なるため、装置ごとにファントムを使用した校正が必要です。

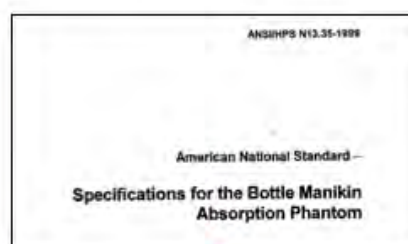
WBC校正用物理ファントム

- ❖ BOMAB ファントム
(Bottle Manikin ABSorption phantom)
- ❖ IGORファントム
(Unified solid phantom of whole body (UP-02T))
- ❖ その他ファントム
(水, アクリル, 塩化ビニルファントム)

WBCを校正するための物理ファントムとして、円柱ブロックを組み合わせたBOMABファントムや小さな直方体ブロックを数多く組み合わせたIGORファントムがあります。
その他、水、アクリル、塩化ビニル等で作成されたファントムが使用されます。

BOMABファントム

- ❖ WBC校正用 (200keV~3MeV光子用)
- ❖ 米国規格 (ANSI/HPS N13.35-1999)
- ❖ 年齢別 (体格別) 規格化
 - ◇ 4歳児, 10歳児, 成人女性, 成人男性, 95パーセントイル成人男性
- ❖ 円柱及び楕円筒を組み合わせた人型
 - ◇ 頭部, 頸部, 胸部, 腹部, 大腿部(左右), 足部(左右), 腕部(左右)の10パーツ
- ❖ 各パーツ: シェル(高密度ポリエチレン, 密度: $0.94\sim 0.965\text{ g/cm}^3$)とフィルター(放射線標準溶液)



BOMABファントムの使用目的, 体格別規格値, ファントム容器の材質, BOMABの品質保証等の関連情報が記載されている。

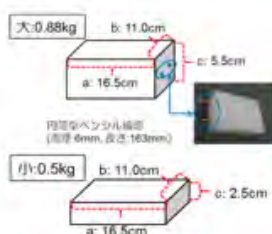
BOMABファントムは、ANSI（米国国家規格協会）によって、使用目的、体格別規格値、ファントム容器の材質、品質保証等が標準化されているWBC校正用ファントムです。

4歳児、10歳児、成人女性及び成人男性の4種類の体格ごとに大きさの異なる10個の円柱又は楕円筒のパーツを組み合わせて人体を模擬します。

各パーツは高密度ポリエチレンで作られた容器で、中に放射線標準溶液が封入されています。

IGORファントム (Unified solid phantom of whole body (UP-02T))

- ❖ ホールボディカウンタ校正用 (350keV~3MeV)
- ❖ ブロックを組み合わせた人型
- ❖ 体格別に組み合わせ可能
- ❖ ブロックへのペンシル線源(直径6mm)の挿入により全身での均一分布
- ❖ ファントム(ブロック)の材質：ポリエチレン(密度: 0.93~0.96g/cm³)



| 年齢 | ブロック (大) | ブロック (小) |
|-------------------------|----------|----------|
| 2歳児 (82.3cm, 10.7kg) | 12 | 0 |
| 6歳児 (122cm, 21.2kg) | 21 | 6 |



実際の使用例

IGORファントムは直径6mmのペンシル線源を挿入した大小2つのポリエチレンブロックを数多く組み合わせることにより、様々な体格及び姿勢を模擬できるファントムです。

水, アクリル, 塩化ビニルファントム



ブロックファントム

BfSボトルファントム



樹脂ブロック
(点線源使用)



アクリル形状
(体積線源使用)

↓
トランスファファントム

Figure 5.3: Bottle phantom (70-kg-configuration) in the WBC.

→ カールスルーエ工科大学 (Karlsruhe Institute of Technology)

その他のファントムとして、比較的大きな直方体容器を並べるブロックファントム、数多くのボトル容器を並べるボトルファントムがあります。また、点線源や体積線源を使用するだけで簡便に校正することを可能としたファントムもあります。

WBC以外の体外計測装置および校正用ファントム



甲状腺モニタ



$^{133}\text{Ba}+^{137}\text{Cs}$



^{133}Ba

頸部模擬ファントム（甲状腺ファントム付き）



肺モニタ



LLNL phantoms
 $^{241}\text{Am}+^{152}\text{Eu}$,
 $^{238}\text{Pu}+^{239}\text{Pu}+^{241}\text{Am}$ each



JAERI phantom
NIRS lung, ^{241}Am

肺模擬ファントム

20

WBC以外の体外計測装置として、甲状腺モニタや肺モニタがあります。それぞれ、甲状腺や肺に含まれる放射性物質に対して校正する必要があるため、甲状腺が含まれる頸部模擬ファントムや肺模擬ファントムが開発されています。甲状腺計測の対象となる主要核種は365keVの γ 線を放出するI-131ですが、I-131の物理学的半減期は8日しかなく、校正できる期間が短いため、一般に356keVの γ 線を放出するBa-133が代用されています。

バイオアッセイ法

原子力災害 専門研修
WBC・甲状腺-3

バイオアッセイ法

- ❖ 生体試料（尿又は便）に含まれる放射性核種（排泄量）を測定し、摂取シナリオに基づく排泄割合を用いて摂取量を推定する方法。摂取量に実効線量係数を掛けることで預託実効線量を計算
- ❖ 体外計測法による線量評価ができない場合
- ❖ 対象核種： α/β 線放出核種、低エネルギー光子放出核種

バイオアッセイ法とは、生体試料（尿又は便）に含まれる放射性核種（排泄量）を測定し、摂取シナリオに基づく排泄割合を用いて摂取量を推定する方法です。

摂取量に実効線量係数を掛けることで預託実効線量が計算されます。

放射性核種の排泄割合には体内動態の個人差に基づく不確かさが伴うため、一般に体外計測法による測定が難しい場合（ α/β 線放出核種や低エネルギー光子放出核種）が対象となります。

生体試料

- ❖ 尿試料：吸入摂取, 経口摂取, 傷口または皮膚
 - ◇ 水溶性放射性核種
 - ◇ 男: 1.4 liter/24hr, 女: 1.2 liter/24hr
 - ◇ 摂取後, ~5日間の全量
 - ◇ スポット尿：クレアチニン量または比重値を用いて補正
- ❖ 便試料：吸入摂取, 経口摂取
 - ◇ 不溶性放射性核種
 - ◇ 摂取後, ~5日間の全量
 - ◇ 男: 150g/24hr, 女: 120g/24hr
 - ◇ 採取後：灰化または冷凍保管
- ❖ 採取時の注意点
 - ◇ 尿試料：壊れにくいポリエチレン容器等を使用, 便試料：専用の容器
 - ◇ 採取場所：非管理区域または自宅
 - ◇ 被検者の所属, 名前, 採取日時及び場所
 - ◇ 薬物の服用及び医療用RI投与有無

水溶性放射性核種を体内に取り込んだ場合には、その摂取経路に関わらず尿中へと排泄される割合が高くなります。一般的な尿の排泄量は1.4L/24hr（男性）、1.2L/24hr（女性）であり、可能な限り放射性物質の摂取から5日間にわたり全量を採取します。全量を採取できない場合は、クレアチニン量又は比重値を用いて補正します。不溶性放射性核種の場合は血中へ吸収されにくいため、尿中への排泄割合は低く、便中へ排泄される割合が高くなります。一般的な便の排泄量は150g/24hr（男性）、120g/24hr（女性）であり、こちらも可能な限り放射性物質の摂取から5日間にわたり全量を採取します。採取後は冷凍保存し、分析の時に灰化します。尿試料を採取する場合は壊れにくいポリエチレン容器等を使用し、便試料の場合は専用の容器を使用します。非管理区域又は自宅で採取し、被験者の所属、名前、採取日時、場所を記録してもらいます。また、他の薬物の服用及び医療用放射性薬剤の投与の有無も重要な情報となります。

バイオアッセイ法の流れ

化学分析過程

前処理
(不純物を除去)
乾式/湿式灰化法, 共沈法



乾式湿式灰化



湿式灰化(強酸化剤)



共沈法

化学分離
(対象核種分離)
共沈法, イオン交換法,
溶媒抽出法



共沈法



イオン交換法



測定用試料作成
(電着法)



電着法による試料作成

測定

注意
クロス汚染

バイオアッセイ法には、前処理、化学分離、測定用試料の作成、測定の手順があります。

前処理：不純物を除去します

化学分離：測定対象とする放射性核種を分離します。化学分離の方法として、共沈法、イオン交換法、溶媒抽出法があります。

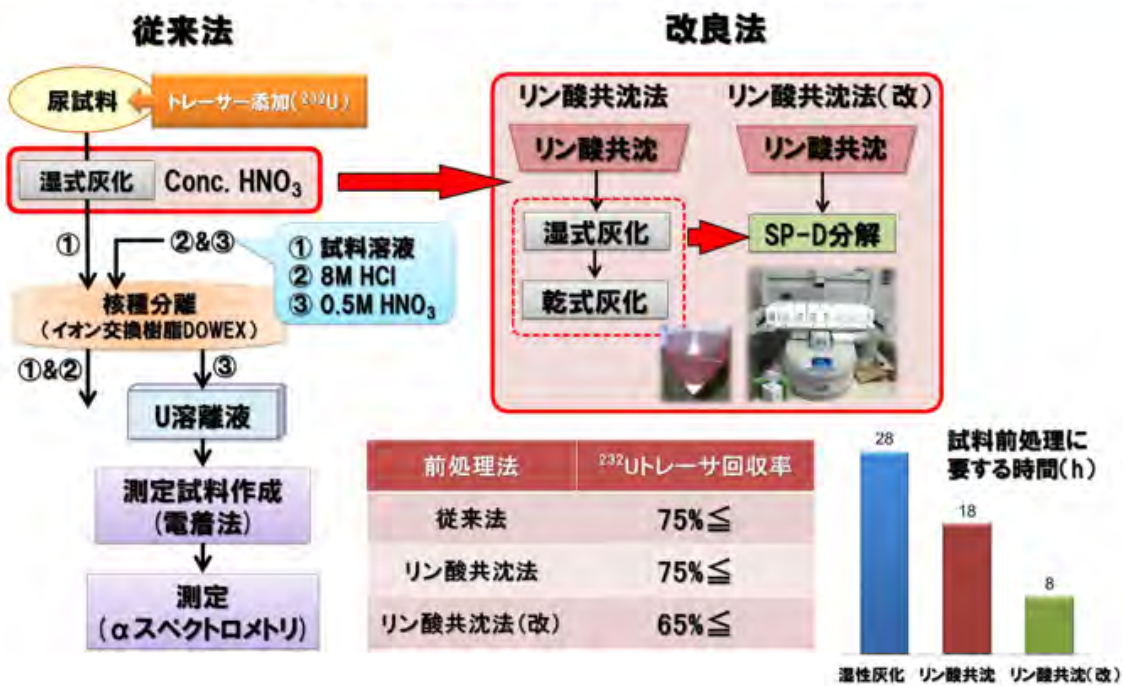
測定用試料作成：分離した放射性核種を電着します。

測定：放射線検出器で電着した試料の放射能を測定します。

バイオアッセイ法の化学分析の過程では、同じ実験室で一度に多数の試料を処理する場合があるため、試料間でのクロス汚染が生じないように注意しなければいけません。

バイオアッセイ法の迅速化

試料前処理の高速化に向けた検討（尿ウラン試料の場合）



バイオアッセイ法の課題として、前処理に時間がかかる点が挙げられます。この課題を解決する方法として、例えばウランを含む尿試料を対象としたリン酸共沈法が開発されています。この方法により、通常湿性灰化の場合には28時間かかる前処理を、18時間に短縮することが可能となります。化学処理の過程による損失を補正するために添加されるトレーサの回収率も、従来法と同等（75%以上）であることが確認できています。さらに、マイクロ波による分解を利用することにより、回収率を65%以上に保ったまま8時間以下にまで短縮することができます。

回収率補正用トレーサ

化学過程（前処理、化学分離等）において対象核種の損失量を評価するため

| 対象核種 | トレーサ |
|---|-------------------|
| ^{90}Sr | Sr標準溶液 |
| ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U | ^{232}U |
| ^{238}Pu , ^{239}Pu | ^{242}Pu |
| ^{241}Am , ^{244}Cm , ^{252}Cf | ^{243}Am |

前処理や化学分離等の化学処理の過程において避けることのできない対象核種の損失量を補正するために、回収率を評価するトレーサの添加が必要となります。

トレーサは対象核種と同じ化学的挙動を示す必要があるため、表に示すような対象核種の同位体を使用されます。

試料測定用放射線計測器



α 線スペクトロメータ



β 線スペクトロメータ
(GMガスフローカウンタ及び
プラスチックシンチレーションカウンタ)



γ 線スペクトロメータ
(HP Ge detector)



α 線/ β 線用液体シンチレーションカウンタ



誘導結合プラズマ質量分析装置

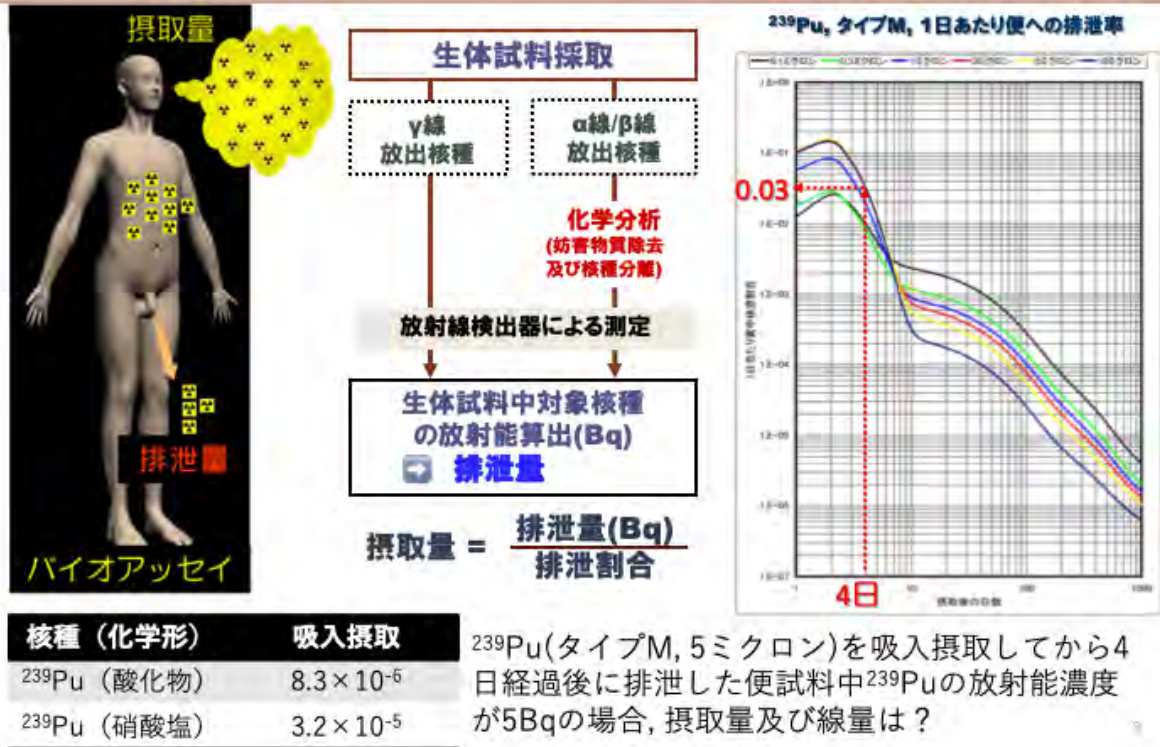
対象核種から放出される放射線の種類によって、使用する放射線計測器を選択します。

α 線や β 線を対象とした測定には、Si半導体検出器を使用した α 線スペクトロメータ、ガスフロー型GM管を使用した β 線スペクトロメータ又は液体シンチレーションカウンタが使用されます。

また、 γ 線を対象とした測定には、高純度Ge半導体を使用した γ 線スペクトロメータが使用されます。

一方、誘導結合プラズマ質量分析装置を使用し、対象核種の放射能ではなく質量を測定する方法もあります。

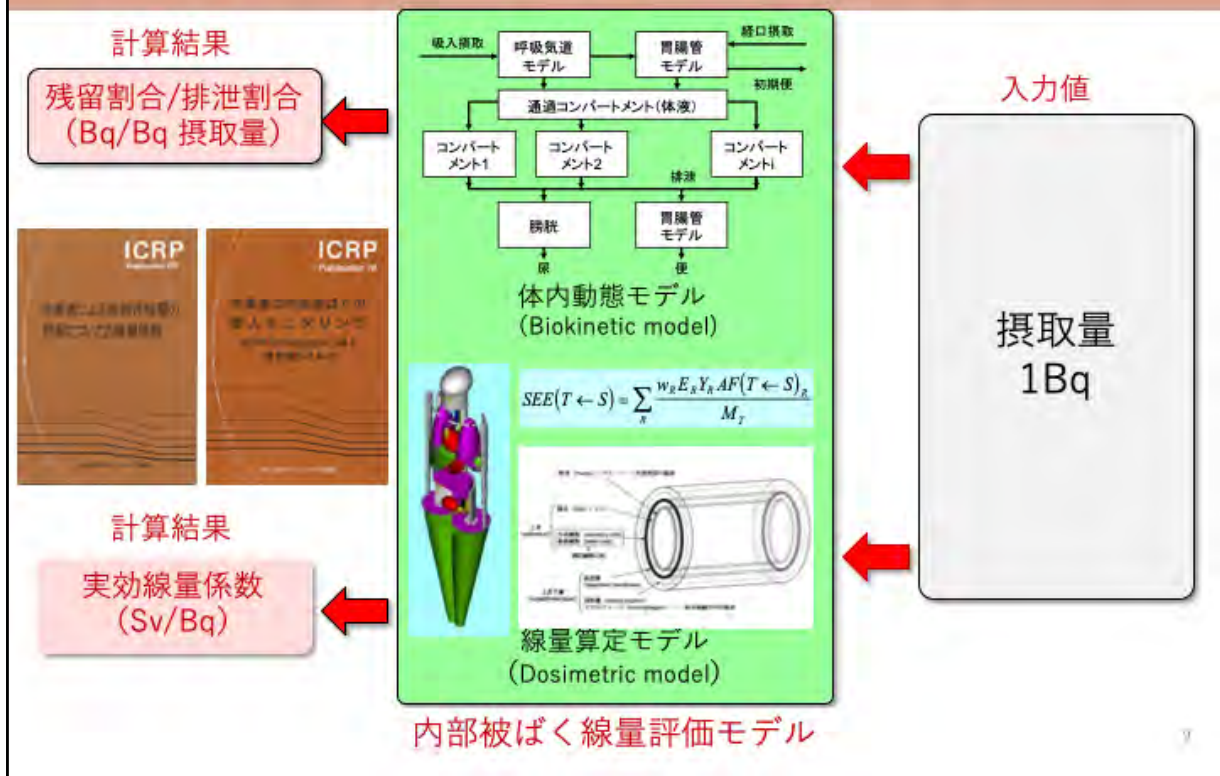
バイオアッセイ法による摂取量算出



放射性核種の摂取量は、バイオアッセイ法によって測定した排泄量 (Bq) を排泄割合で割ることで計算されます。グラフに示すように、排泄割合は粒径及び摂取後の経過日数に応じて変化します。

例えば、Pu-239 (タイプM, 5μm) の吸入摂取から4日経過した時点の1日あたりの便中への排泄割合は0.03です。したがって、採集した便試料に含まれる放射能が5Bqであった場合の摂取量は、約167Bq (=5Bq/0.03) となります。Pu-239の酸化物と硝酸塩の吸収タイプは、それぞれタイプS及びタイプMです。摂取量167Bqに伴う線量は、タイプMの吸入摂取に対する線量係数 3.2×10^{-5} Sv/Bqを用いて、5.34mSvと計算されます。

内部被ばく線量評価のためのモデル



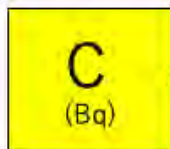
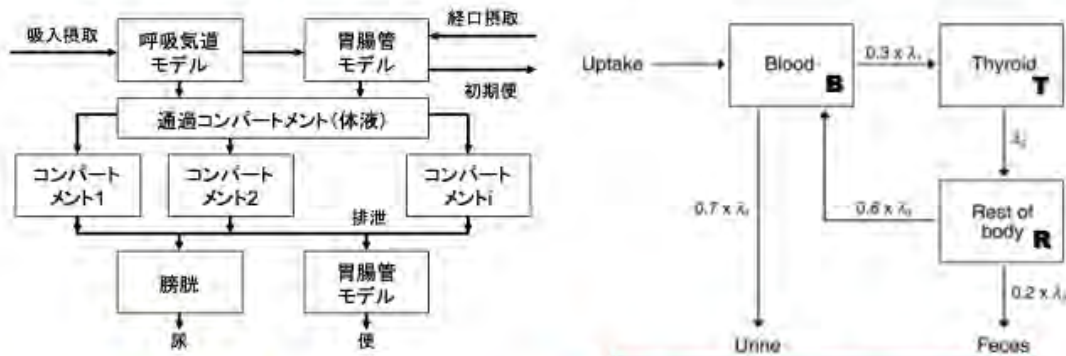
内部被ばく線量を評価するためには、摂取後の各臓器・組織における放射能の時間変化を把握するための体内動態モデルの解析が必要です。1Bq摂取した場合の全身、肺、甲状腺等における残留割合や尿中、便中への排泄割合は、体外計測法やバイオアッセイ法で測定された残留量や排泄量から摂取量を計算するために使用されます。

一方、各臓器・組織における放射性核種の総崩壊数は、人体を模擬した計算用ファントムに基づく線量計算に使用され、1Bqの摂取に対する線量が実効線量係数 (Sv/Bq) として与えられます。

さまざまな核種に対する全身、肺、甲状腺における残留割合や、尿中、便中の残留割合及び実効線量係数はICRP Publication 78などで公表されています。

コンパートメントモデル (例)

体内の放射性核種の動態を数学的に記述するモデル



流出

$$dC/dt = -\lambda C \quad \lambda = \ln(2)/T$$

TはCの半減期

$$\lambda_1 = \frac{0.693}{0.25} \text{d}^{-1} \quad \lambda_2 = \frac{0.693}{80} \text{d}^{-1} \quad \lambda_3 = \frac{0.693}{12} \text{d}^{-1}$$

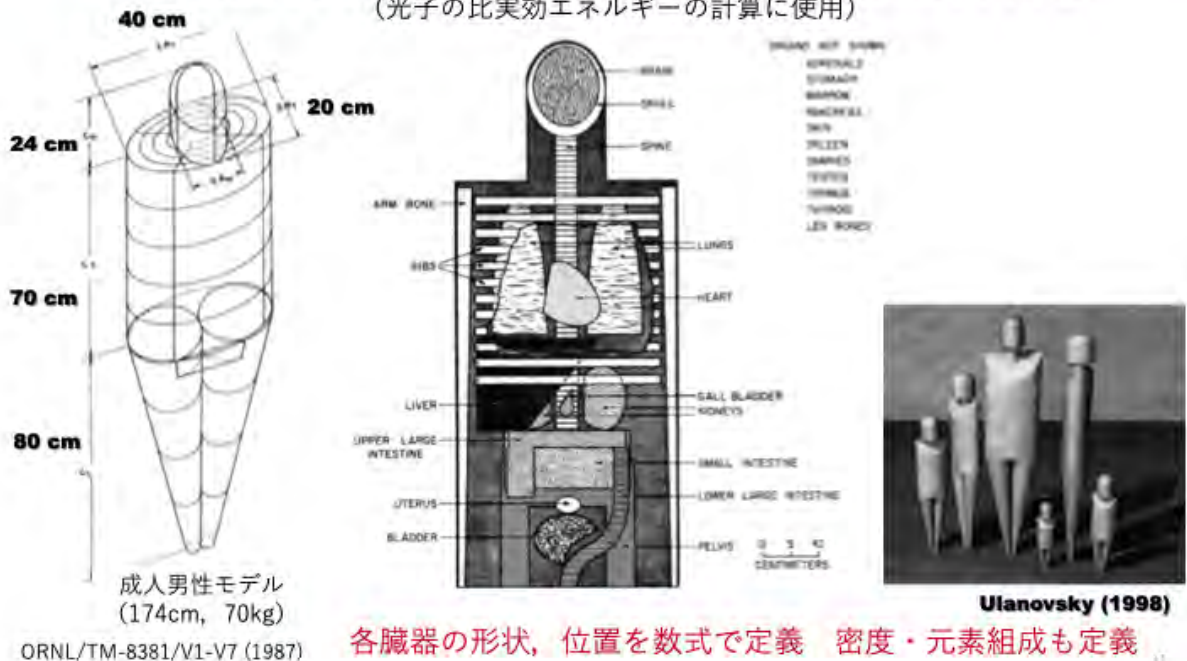
ヨウ素の組織系動態モデル (ICRP Publ.56)

0.25日, 80日, 12日は,
血中, 甲状腺, 残りの部位における
生物半減期

体内動態モデルでは、各臓器・組織がコンパートメントとして表されます。各コンパートメントにおける放射能の時間変化は、物理学的半減期と生物学的半減期に従う微分方程式で記述されます。例えば、ICRP Publication 56に記述されているヨウ素の組織系動態モデルは、血液、甲状腺及びその他の臓器の3つのコンパートメントで構成されています。血液中のヨウ素は生物学的半減期0.25日で70%が尿中へ排泄され、30%が甲状腺へ取り込まれます。甲状腺中のヨウ素は生物学的半減期80日で残りの臓器へ移動し、さらに生物学的半減期12日で20%が便中排泄され、残りの80%は再び血液中に戻ります。

数学ファントム

米国核医学会が規格化したMIRDファントムをベースに改良されたファントム
(光子の比実効エネルギーの計算に使用)



各臓器・組織に放射性核種が存在する時の線量を評価するためには、人体を模擬した数学ファントムを使用した計算が必要になります。
 代表的な数学ファントムとして、米国核医学学会が規格化したMIRDファントムやそれを改良したのがあります。
 これらのファントムは各臓器の形状や位置が数式で定義されており、密度や元素組成も与えられています。
 当初は成人男性のみがモデル化されていましたが、後に年齢別のファントムも開発されました。

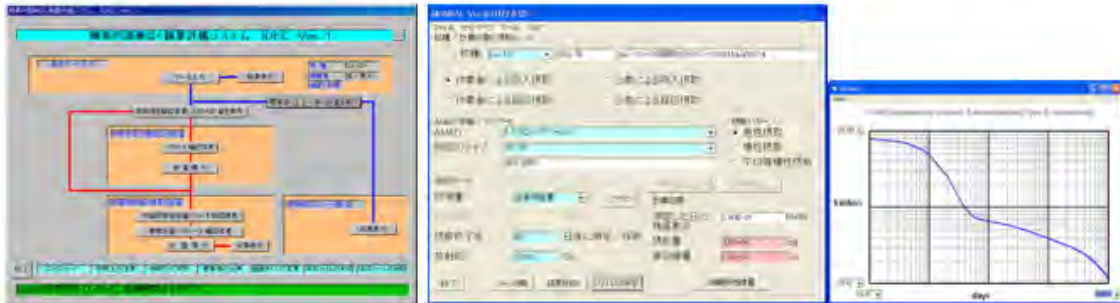
内部被ばく線量計算コード

❖ IDEC (Internal Dose Easy Calculation Code)

- ◇ 日本原子力研究所が開発整備した計算コード
- ◇ ICRP標準コード (ORNL/TM-6980.1980) をもとに、最新のICRP呼吸気道モデル、体内動態モデルを採用して開発

❖ MONDAL3

- ◇ 放医研によって開発された計算コード。Webでの公開あり。
(<http://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/mondal3j.php>)

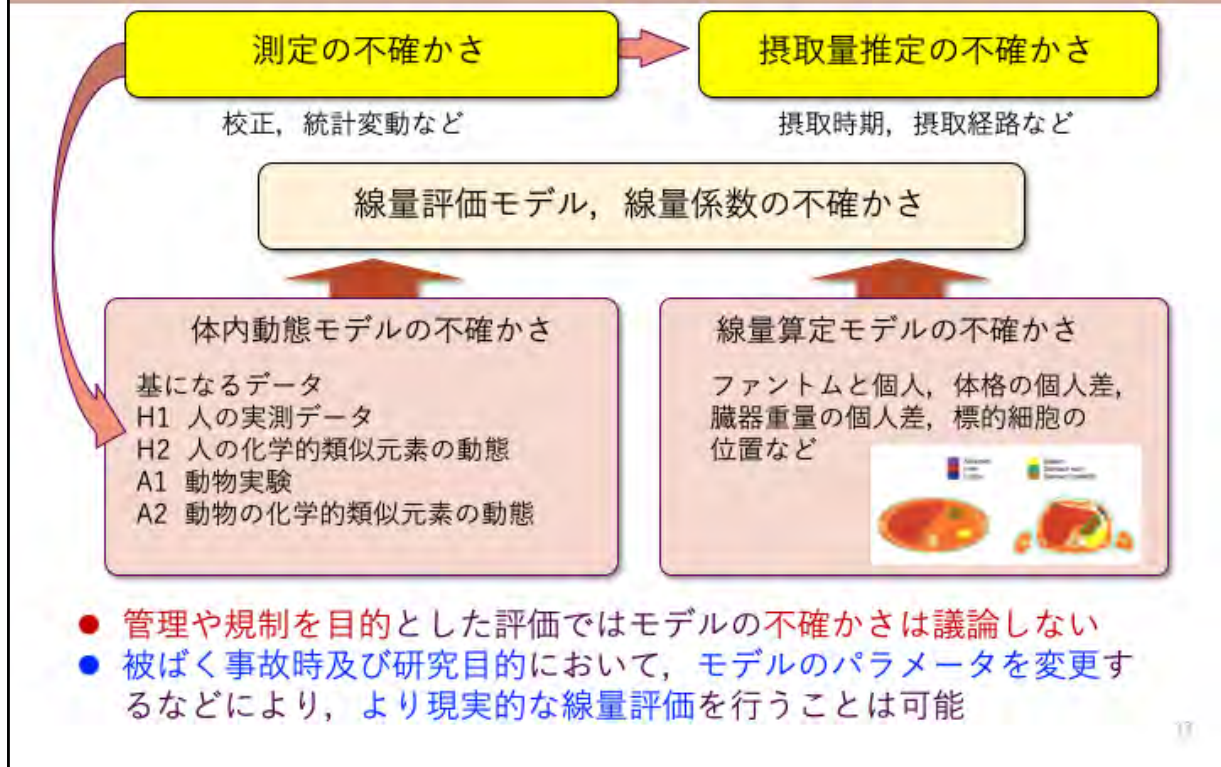


内部被ばく線量を簡便に評価するために、体内動態モデルの計算結果や実効線量係数を出力するコードが開発されています。

日本原子力研究所が開発したIDECは、ICRP標準コードを基に最新の呼吸気道モデルや体内動態モデルが取り入れられました。

また、放射線医学総合研究所が開発したMONDAL3は、年齢別の体内動態モデルの解析結果を出力できるコードで、Web上でも公開されています。

内部被ばく線量評価の不確かさ



内部被ばく線量評価にはさまざまな不確かさが伴います。

体外計測法やバイオアッセイ法の測定には、校正や統計変動などの不確かさがあり、摂取量の推定にあたっては摂取シナリオ（時期・経路等）の仮定に不確かさがあります。

また、ICRP Publicationで与えられている体内動態モデルや線量係数そのものにも不確かさがあります。

体内動態モデルは、必ずしも対象核種に対する人の実測データに基づいているわけではなく、化学的に類似している元素の動態に関するデータや動物実験のデータにも基づいています。

また、線量を計算するためのファントムは標準人を仮定したものであり、実際の個人の臓器・組織の形状、重量、位置等を再現しているとは限りません。しかし、平常時の放射線従事における低線量被ばくに対する管理や規制を目的とした前向きな計画被ばくの評価にあたっては、不確かさを考慮する必要はありません。

被ばく事故後や研究のための評価において、より現実的な線量を評価する場合には、個人ごとに最適なモデルのパラメータを選択したり、不確かさについて議論することになります。

体外計測法とバイオアッセイ法

| | 体外計測法 | バイオアッセイ法 |
|------|-----------------------|--|
| 対象核種 | γ 線放出核種 | α 線放出核種 β 線放出核種 (γ 線放出核種) |
| 測定対象 | 全身, 甲状腺, 肺等 | 生体試料(尿, 便等) |
| 評価法 | 体外計測器による体内残留核種及び放射能評価 | 化学分析法による生体試料中の放射性核種及び放射能評価 |
| 長所 | 測定結果がすぐわかる | 放射線の種類に関連なく評価可能 |
| 短所 | 測定場所及び評価可能な核種が制限 | 生体試料の採集から線量結果が出るまでの時間がかかる。 |

体外計測法とバイオアッセイ法の特徴が表にまとめられています。一般に、体内に存在する放射性核種を直接検出する体外計測法が適用できない場合に、バイオアッセイ法が適用されます。

原子力施設事故での想定核種

❖ 原子力発電所

^{131}I , ^{144}Xe , ^{85}Kr , ^{90}Sr , ^{137}Cs 等
(通常運転時には, ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{131}I 等)

❖ 再処理施設

^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{106}Ru (^{106}Rh), ^{239}Pu , ^{241}Am 等
(臨界事故時には, ほとんど全ての核種)

❖ その他

非破壊検査用の不特定線源による事故等

(松岡著, 核燃料サイクル関連核種の安全評価より)

原子力発電所事故時として想定される核種として、核分裂生成物である I-131、Xe-144、Kr-85、Sr-90、Cs-137等が挙げられます。

一方、再処理施設での事故時として想定される核種には、Pu-239、Am-241等の α 線放出核種であるアクチニド元素が含まれます。

その他、非破壊検査用の不特定線源による事故等が想定されます。

内部被ばく線量用データ集

| リソース | データ | 備考 |
|--|---|--------------------------------|
| ICRP Publication 68 | <ul style="list-style-type: none"> 作業者の線量係数 ※吸入(1μm, 5μm), 経口 | 日本アイソトープ協会より和訳版刊行 |
| ICRP Publication 78 | <ul style="list-style-type: none"> 作業者の線量係数 ※吸入(5μm), 経口 ・残留率/排泄率 ※線量係数と同じ+血液注入 | 日本アイソトープ協会より和訳版刊行 |
| ICRP Publication 71, 72 | <ul style="list-style-type: none"> 公衆の線量係数 ※吸入(1μm), 経口 | |
| ICRP CD-ROM | <ul style="list-style-type: none"> 作業者及び公衆の線量係数 ※吸入(0.001μm~10μm), 経口 | Elsevier Scienceから入手できる(約£100) |
| MONDAL | <ul style="list-style-type: none"> 作業者及び公衆の線量係数 ・残留率/排泄率 | 放医研から無償で入手できる |
| IAEA Safety Series No.37 Methods of assessing occupational radiation dose due to intakes of radionuclides | <ul style="list-style-type: none"> 作業者の線量係数 ※吸入(1μm, 5μm), 経口, 血液注入 ・残留率/排泄率 ※線量係数と同じ条件 | IAEAのHP上で公開 |

内部被ばく線量を評価するための線量係数に関するデータ集を表にまとめます。

古くから放射線業務に従事する作業者を対象としたデータが整備されてきましたが、チェルノブイリでの原子力発電所事故後の後、幼児・小児を含む公衆も対象に含まれました。

内部被ばく線量評価のためのモデル

国際放射線防護委員会（ICRP）の関連刊行物（その1）

| 刊行物No. | 刊行年 | 刊行物名称 |
|----------------------------------|-----------|-------------------------------------|
| Publication 2 | 1959 | 体内放射線の許容線量 |
| Publication 10 | 1968 | 職業被ばくによる体内汚染からの身体組織への線量評価 |
| Publication 10A | 1971 | 反復取込みまたは長期の取り込みに由来する体内汚染の算定 |
| Publication 19 | 1972 | プルトニウム及びその他のアクチノイド化合物の代謝 |
| Publication 20 | 1973 | 成人におけるアルカリ土類金属の代謝 |
| Publication 23 | 1975 | 標準人に関するタスクグループ報告 |
| Publication 30 (Index, Part 1-4) | 1979-1988 | 作業による放射性核種の摂取の限度 |
| Publication 53 | 1988 | 放射性医薬品からの患者の放射線線量 |
| Publication 54 | 1989 | 作業による放射性核種の摂取に関する個人モニタリング：立案と解釈 |
| Publication 56 | 1990 | 放射性核種の摂取による公衆の年齢別線量 - Part 1 |
| Publication 61 | 1991 | 1990年勧告に基づく作業による放射性核種の年摂取量限度 |
| Publication 66 | 1994 | 放射線防護のためのヒト呼吸気道モデル |
| Publication 67 | 1993 | 放射性核種の摂取による公衆の年齢別線量 - Part 2 経口線量係数 |
| Publication 68 | 1994 | 作業による放射性核種の摂取についての線量係数 |

内部被ばく線量を評価するための体内動態モデルに関するICRP Publicationを表にまとめます。

内部被ばく線量評価のためのモデル

国際放射線防護委員会 (ICRP) の関連刊行物 (その2)

| 刊行物No. | 刊行年 | 刊行物名称 |
|-----------------------|------|---|
| Publication 69 | 1995 | 放射性核種の摂取による公衆の年齢別線量 - Part 3 経口線量係数 |
| Publication 70 | 1995 | 放射線防護に用いる解剖学及び生理学に関する基礎データ - 骨格 |
| Publication 71 | 1995 | 放射性核種の摂取による公衆の年齢別線量 - Part 4 吸入線量係数 |
| Publication 72 | 1995 | 放射性核種の摂取による公衆の年齢別線量 - Part 5 経口/吸入線量係数 |
| Publication 78 | 1997 | 作業者の内部被ばくの個人モニタリング (Publ.54に置き換わるもの) |
| Publication 80 | 1998 | 放射性医薬品からの患者の放射線線量 (Publ.53の補遺) |
| Supporting Guidance 3 | 2002 | ICRPヒト呼吸気道モデルの実用化のためのガイド |
| Publication 88 | 2001 | 母親による放射性核種の摂取からの胚/胎児への線量 |
| Publication 89 | 2002 | 放射線防護参考値に用いる解剖学及び生理学に関する基礎データ |
| Publication 95 | 2004 | 母乳中の放射性核種の摂取からの乳児への線量 |
| Publication 100 | 2006 | ヒト消化管モデル |
| Publication 128 | 2014 | 放射性医薬品からの患者の放射線線量：使用頻度の高い薬剤に関する更新の情報の大要 |
| Publication 130 | 2015 | 放射性核種の職業摂取: Part 1 |

スライド17の続きです。

参考資料

❖ ICRP Publications

- ◇ For external exposure:Publ.74
- ◇ For internal exposure:Publ.68 & 78 (Workers), Publ.72 (Public)
- ◇ Others:Publ.60 & Publ.103 (Recommendations), Publ.96 (Radiological Attack)

❖ IAEA Documents

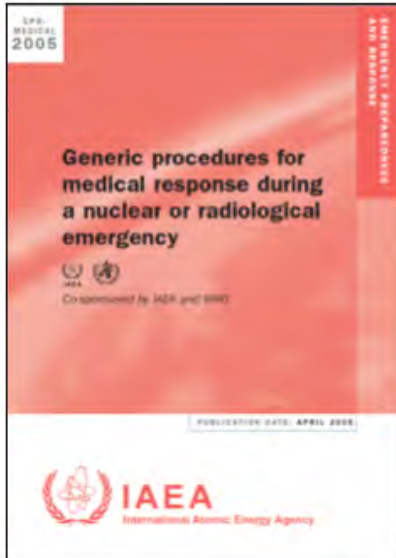
- ◇ Safety Standard Series: No. RS-G-1.1, 1.2 & 1.3
- ◇ Safety Reports Series: No.37 (for internal exposure)
- ◇ Generic Procedures for Medical Response during a nuclear or radiological emergency (IAEA & WHO)



参考資料はスライドの通りです。

原子力災害時の線量評価のあり方

スクリーニングの参考となる資料



20

原子力災害時の線量評価のあり方に関して、スライドに示す資料があります。我が国でも、福島での原子力発電所事故の教訓を活かした甲状腺スクリーニングの実施体制を整えるべく、多くの研究が進行しています。

公衆の線量評価 (東電福島原発事故の経験から)

原子力災害 専門研修
WBC・甲状腺-4

住民の放射線防護及び線量評価対応



原子力事故が発生した場合は、住民の放射線防護及び線量評価を実施しなければいけません。

福島第一原子力発電所事故の直後から、住民避難・屋内退避、緊急時環境モニタリング、食品の放射能検査及び飲食物摂取制限が実施されました。

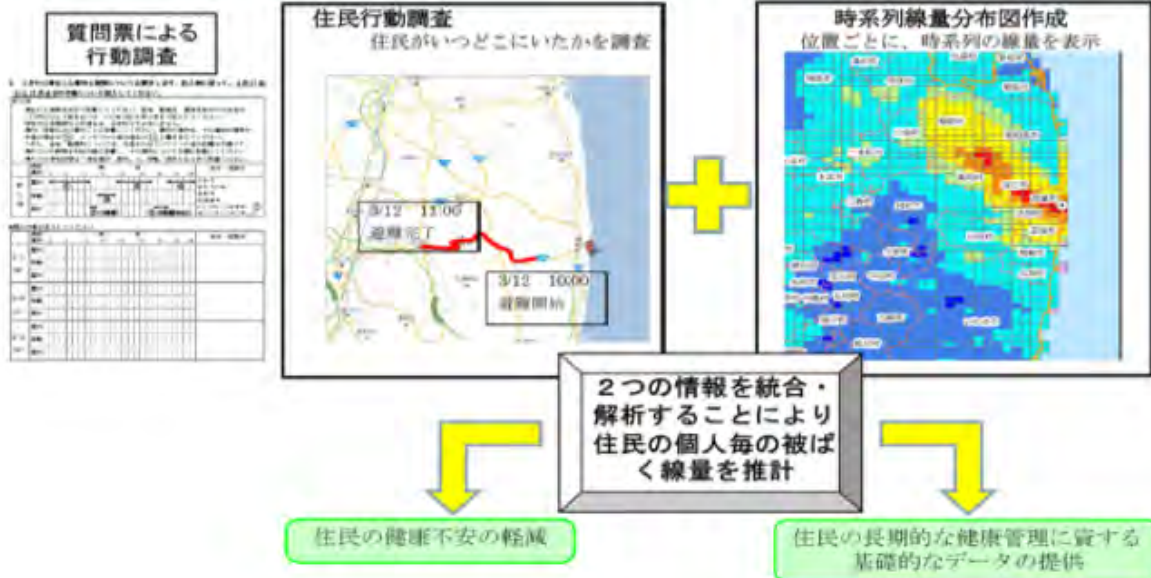
また、事故後1年以内の中期フェーズから、個人線量計を用いた外部被ばく線量測定やWBCを用いた福島県住民の内部被ばく検査が実施されました。

小児を対象とした甲状腺スクリーニングも事故後1ヵ月以内の初期フェーズで実施されましたが、甲状腺被ばくをもたらす主要な核種であるI-131の物理学的半減期が8日であるため、十分な測定ができたとはいえない状況です。

福島での事故の教訓として、事故後1週間以内に甲状腺スクリーニングを実施し、1ヵ月以内により詳細な測定ができるような体制を整備しておく重要性が認識されました。

住民対応 外部被ばく線量推定

全県民（約202万人）を対象に福島県が調査した、原発事故発生直後からの各個人の行動パターンが、放射線医学総合研究所が開発した外部被ばく線量評価システムに入力され、個人の外部被ばく線量が評価される。

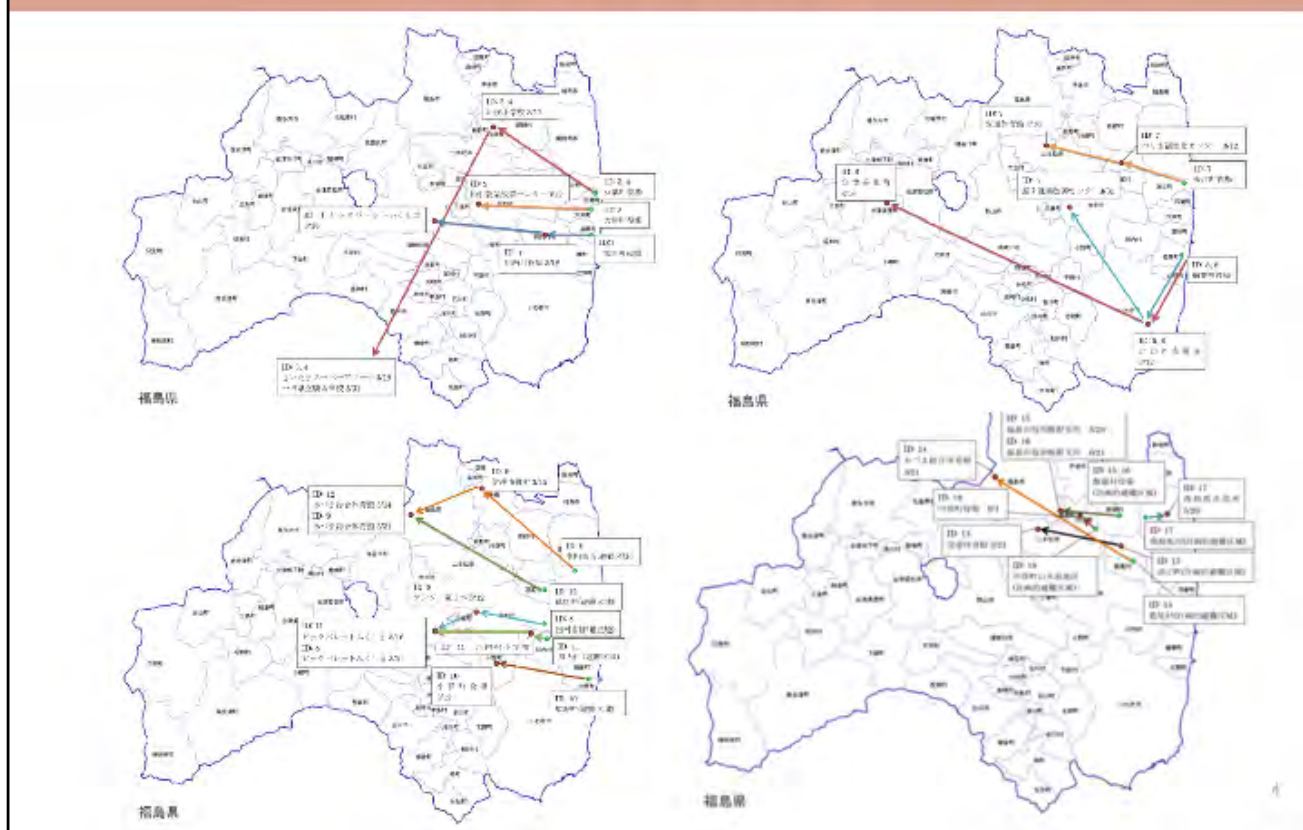


3

福島での事故後は、福島県民を対象に調査した個人の行動パターンに関する情報を整理し、経時的な線量分布図と照らし合わせることで、の外部被ばく線量を推定しました。

このような被ばく線量の推定にあたっては、事故発生直後からの行動を調査し、記録しておくことが不可欠となります。

住民の避難経路



全ての福島県民(約202万人)を対象に調査した各個人の行動パターンは、放射線医学総合研究所が開発した外部被ばく線量評価システムに入力されました。この調査・作業は、住民の被ばく線量を評価するとともに、健康状態の把握、疾病の予防と早期発見・治療に役立てることにより、将来にわたる健康の維持、増進を図ることを目的とした福島県主導の「県民健康調査」の一環として実施されました。

基本調査の回答率は、27.6%です。

平成29年6月30日までに55万2,298人の外部被ばく線量が推定されました。

このうち、事故後4ヶ月間にわたる全ての行動記録を提出できた47万3,605人のうち、放射線業務従事経験者を除いた46万4,420人の推定結果をみると、県南地域の88.2%、会津・南会津地域の99.3%、相双地域の77.3%が、いわき地域の99.1%が1mSv未満でした。最も線量が高かったと推定された住民は、相双地域に住んでいた方で25mSvでした。

外部被ばく線量の推定について、以下のサイトを参照いただけます。

<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/6494.pdf>

甲状腺中ヨウ素-131(¹³¹I)測定

Tokonami *et al*/ Sci. Rep. 2 (2012).

- 浪江町住民の甲状腺中¹³¹Iをスペクトロメータを用いて測定。
- 46人/62人から検出(74%)
- 成人(20歳≤):ND~**33** mSv (median: 3.5 mSv)
- 子ども(≤19歳):ND~**23** mSv (median: 4.2 mSv)



Matsuda *et al*/ Radiation Res. (2013).

- 事故発生から1ヶ月以内に福島県に滞在した初動対応者及び避難者をWBCを用いて測定。
- ¹³¹Iは55人/173人から検出(32%)
- 甲状腺等価線量の最大値:**20.04** mSv
- 滞在時期が早い集団ほど線量が高い。



Kim *et al*/ NIRS-M-252 (2012).

- 原子力安全委員会(当時)の依頼により現地対策本部が行った1,080名のNaI(Tl)サーベイメータを用いたスクリーニング検査
- 甲状腺等価線量の最大値**43** mSv※
※校正定数や摂取シナリオを見直す前の数値

合計しても
1,300件程度...

5

福島での事故後の線量評価に関する課題のひとつは、I-131を対象とした甲状腺計測の件数が非常に限られることです。

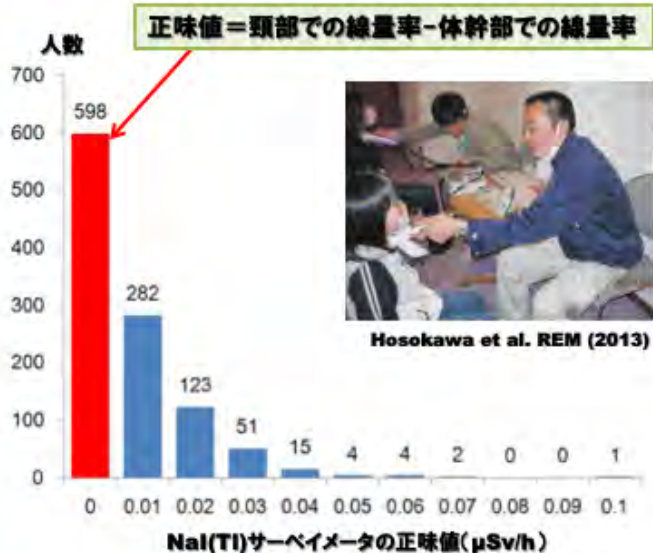
浪江町住民を対象とした測定では62人中46人で検出され、甲状腺線量の最大値は成人で33mSv、子どもで23mSvと評価されました。また、福島県に滞在した初動対応者及び避難者を対象とした測定では、173人中55人で検出され、最大値は20.04mSvと評価されました。

原子力安全委員会の依頼によって実施されたスクリーニング検査は、最も測定件数が多く、1080名の子どもが対象とされ、最大値は43mSvと評価されました。

これらの甲状腺計測を合計しても1,300件程度にしかありません。

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査(1)

- 川俣町、いわき市、飯館村の3市町村にて、**1080名**の子ども(15歳以下)の甲状腺中ヨウ素(^{131}I)の測定が原子力災害現地対策本部によって実施。
- 全員スクリーニングレベル($0.2 \mu\text{Sv/h}$)未満⇒**甲状腺等価線量100mSv未満**



ほぼ全員が30mSv未満

6

事故後に実施された甲状腺計測の中で最も測定件数の多かった1080名の子どもを対象とした甲状腺スクリーニングは、川俣町、いわき市、飯館村飯館村の3市町村で実施されました。

甲状腺等価線量100mSvに相当するスクリーニングレベルとして、NaI(Tl)サーベイメータの指示値として $0.2\mu\text{Sv/h}$ が設定されました。

頸部での線量率から体幹部での線量率をバックグラウンドとして差し引いた正味値がスクリーニングレベルと比較され、対象者全員がスクリーニングレベル未満であり、ほぼ全員が30mSv未満であると評価されました。

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査(2)

スクリーニングレベルの導出(当時)

1歳児の甲状腺等価線量 100 mSv(当時)*

摂取シナリオの設定(12日間連続吸入)

摂取後翌日の甲状腺中¹³¹I残留量を計算

甲状腺中¹³¹I残留量に対応する
検出器の応答を評価

0.2 μSv/h (1歳児)

5歳児では約60mSv, 成人では約15mSvに相当

*100 mSvは「原子力施設等の
防災指針について(当時)」の安定
ヨウ素剤の予防的服用の基準値
として示されていた



参考)鈴木敏和, 放射線事故医療研究会(2011)

7

スクリーニングレベルは、最も線量が高くなる1歳児を想定した12日間の連続した吸入摂取シナリオに基づいて、0.2μSv/hと算出されました。

このスクリーニングレベルに相当する5歳児及び成人の甲状腺線量は、それぞれ約60mSv及び約15mSvとなります。

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査(3)

NaIサーベイメータの校正(当時)

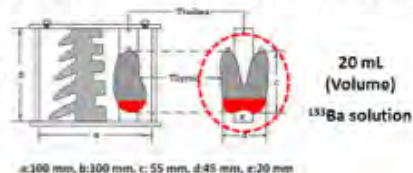


ファントムを用いて校正

測定器:アロカ製(現在, 日立製作所)
TCS-161, 171, 172

校正条件:京都科学製ファントムの甲状腺形状容器に¹³³Ba溶液を, 年齢に応じた甲状腺容積*を考慮して封入

- 1歳児:2.5 ml
- 5歳児:6.1 ml



照射施設で高線量場の再現

| 年齢区分 | 0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 正味値に相当する ¹³¹ I量 | 12日間吸入摂取翌日に計測した場合の実効線量 | 左条件での甲状腺等価線量 |
|------|---|------------------------|--------------|
| 1歳児 | 4400 Bq | 5.4 mSv | 108 mSv |
| 5歳児 | 4690 Bq | 3.2 mSv | 64 mSv |
| 成人 | 6030 Bq | 0.8 mSv | 16 mSv |

(1歳児条件の場合, 1 $\mu\text{Sv/h}$ は約22 kBq)

Ref. Mettler et al. J. Nucl. Medicine (1996)

スクリーニングレベルの設定にあたり、甲状腺残留量 (Bq) とNaIサーベイメータの指示値 ($\mu\text{Sv/h}$) との関係を調べるために、甲状腺ファントムを使用した実験が実施されました。

ファントム内の甲状腺容器に、Ba-133溶液を2.5ml (1歳児を想定) 封入して測定した結果、0.2 $\mu\text{Sv/h}$ の指示値に相当する甲状腺中のI-131は4400Bqであることが明らかとなりました。12日間の吸入摂取を続けた翌日に測定されたとするシナリオに基づく、4400Bqの甲状腺残留量に相当する実効線量及び甲状腺線量は、それぞれ5.4mSv及び108mSvと計算されます。

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査(4)

シンチレーションサーベイメータによる甲状腺線量の簡易測定法 (2011年3月25日改訂版:当時)

1. 概要

本測定法は簡易的に甲状腺内の放射能を調査することを目的とする。

2. 測定対象

1歳児～15歳児

3. 使用可能な測定器

TCS-161, 171, 172に限定する。

4. 測定条件

- 1)音は出ないようにする。
- 2)時定数を10秒にする。
- 3)指示値を $\mu\text{Sv/h}$ 単位とする。
- 4)測定は30秒とし、30秒後の指示値を3回読んで、その平均値を記録する。
- 5)プローブは養生すること。子どもが対象であることから、その上にティッシュを巻くこと。

5. バックグラウンド測定

測定場所のバックグラウンドを甲状腺測定前に測定し、記録する。

6. 甲状腺測定

- 1)首の回りを汚染のない濡れタオルで拭き、除染する。水は未開封のペットボトルの水を用いると良い。
- 2)甲状腺にプローブを密着して測定する。プローブの位置は体軸中心で高さは首と鎖骨の交点である。
- 3)指示値を記録し、バックグラウンドの値を差し引き、正味値を求める。
- 4)正味値が $1\mu\text{Sv/h}$ のとき、甲状腺残留放射能は 22kBq である。これは1歳児の場合であり、年齢とともに数値は減少する。
- 5)正味値は居住地や避難経路とともに記録する。
- 6)1歳児以下で $0.2\mu\text{Sv/h}$ を超える場合、放医研に問合せとする。

当時の資料を一部修正して掲載

9

実際の甲状腺スクリーニング検査では、スライドに示す方法に従って実施されました。

小児甲状腺被ばくスクリーニング検査(5)

各測定場所における被検者数

| 実施日 | 測定場所 | 被検者数 | 評価対象者数 |
|-----------|-----------|-------|--------------------|
| 3月24日 | 川俣町保健センター | 18 | (18) ^{*1} |
| | 川俣町山木屋出張所 | 48 | (48) ^{*1} |
| 3月26, 27日 | いわき市保健所 | 137 | 134 ^{*2} |
| 3月28-30日 | 川俣町中央公民館 | 631 | 631 |
| 3月29, 30日 | 飯館村役場 | 315 | 315 |
| 合計 | | 1,149 | 1,080 |

*1 高BGのため、評価対象者から除外

*2 年齢不詳の3名を評価対象者から除外

| | 川俣町 | いわき市 | 飯館村 |
|------------|-------|--------|-----|
| 評価対象者数 | 631 | 134 | 315 |
| 人口(15歳以下)* | 1,917 | 50,482 | 865 |

* 2010年国勢調査より

10

2011年3月24日～30日にかけて実施された甲状腺スクリーニングの測定場所及び被検者数はスライドに示すとおりです。

評価対象者は川俣町、いわき市、飯館村でそれぞれ631名、134名、315名でした。

15歳以下の全人口に対する評価対象者の割合は、川俣町及び飯館村については約35%であったものの、いわき市については1%にも満たなかったことが課題として残されました。

ホールボディカウンタによる内部被ばく検査

福島県内におけるホールボディカウンタ(WBC)を用いた 福島県等住民の内部被ばく検査

被検者数: 324,858 名(平成23年6月～平成29年8月)
1 mSv 未満 324,832人(99.99%)
(1 mSv:14名, 2 mSv:10名, 3 mSv:2名)



現存被ばく状況下における内部被ばくのリスクはほぼゼロ



福島県HP <http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-wbc-kensa-kekka.html>

11

福島県内におけるWBCを用いた内部被ばく検査は、平成23年6月～平成29年8月の期間に実施され、被検者数は324,858名となりました。

このうち、実効線量が1mSv未満と評価された人数は324,832名(99.99%)で、1mSv、2mSv、3mSvと評価された人数はそれぞれ14名、10名、2名でした。

この結果から、少なくとも事故から1ヵ月～数ヵ月経過した時点の現存被ばく状況下における内部被ばくのリスクはほぼないといえます。

福島県におけるWBC検査の経験



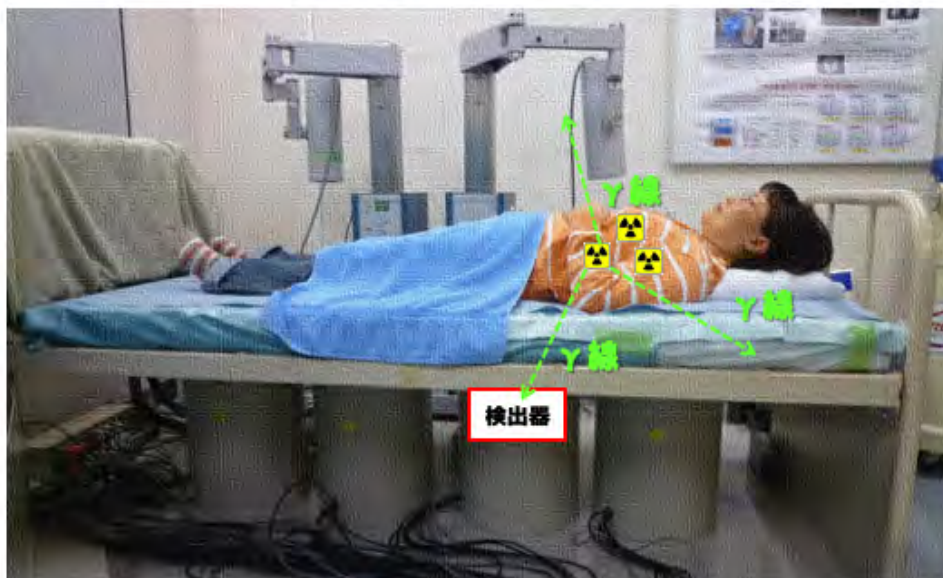
<http://www.jhps.or.jp/report/pdf/report9.1.pdf>

12

福島県におけるWBC検査に関する経験の詳細については、日本保健物理学会が設置した「体外計測に関する標準計測法の策定に関する専門研究会」の報告書にまとめられています。

ホールボディカウンタ(WBC)

放医研の簡易型WBC



体外に出てくる γ 線を**体外**に配置した放射線測定器で検出する

13

放射線医学総合研究所においても、所内の簡易型WBCを使用した測定が実施されました。

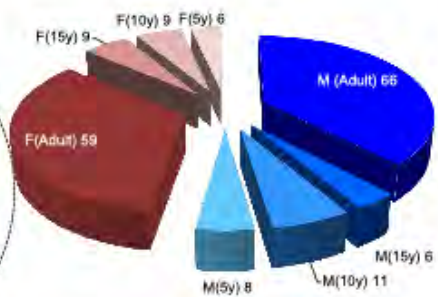
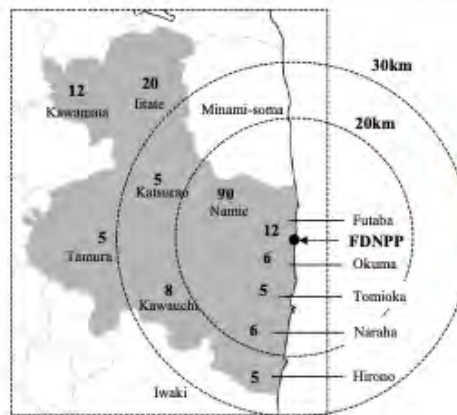
放医研パイロット調査(1)



Paper

EARLY INTAKE OF RADIOCESIUM BY RESIDENTS LIVING NEAR THE TEPCO FUKUSHIMA DAI-ICHI NUCLEAR POWER PLANT AFTER THE ACCIDENT. PART 1: INTERNAL DOSES BASED ON WHOLE-BODY MEASUREMENTS BY NIRS

Eunjoon Kim,* Osamu Kurihara,* Naoaki Kumshima,* Takashi Nakano,* Kotaro Tani,* Misao Hachiya,* Takumaro Momose,† Tetsuo Ishikawa,‡ Shinji Tokonami,§ Masahiro Hosoda,§ and Makoto Akashi*



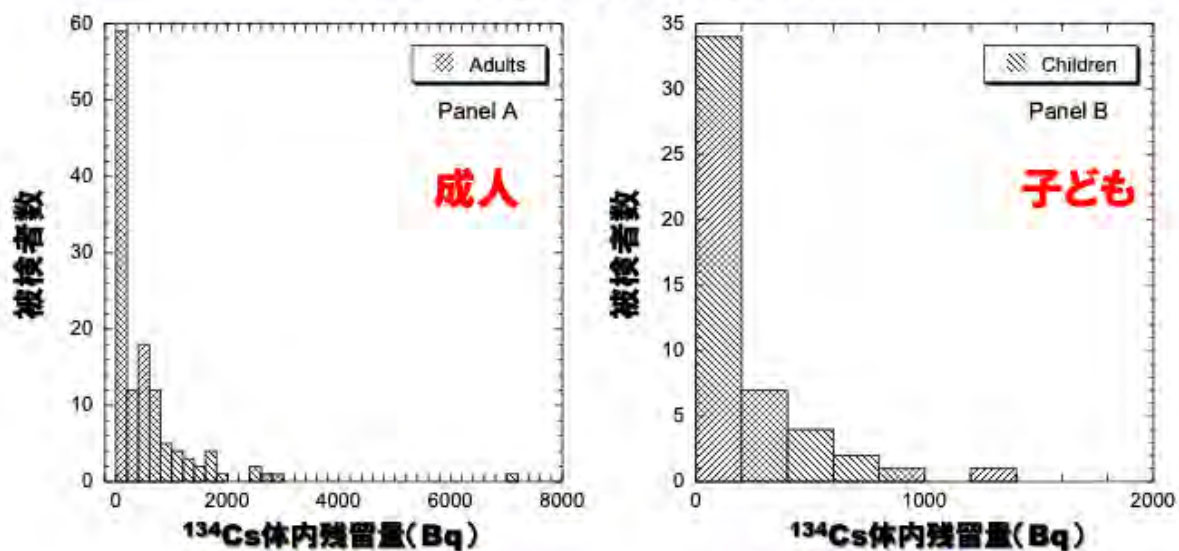
福島県委託により放医研で実施した初期の内部被ばく検査(2011/6/27-7/28)
被検者数:174名(成人125名, 子ども49名)

14

2011年6月27日～7月28日までの期間で、福島県の委託による内部被ばく検査を174名（成人125名、子ども49名）に対して実施しました。

放医研パイロット調査(2)

^{134}Cs 体内残留量の結果

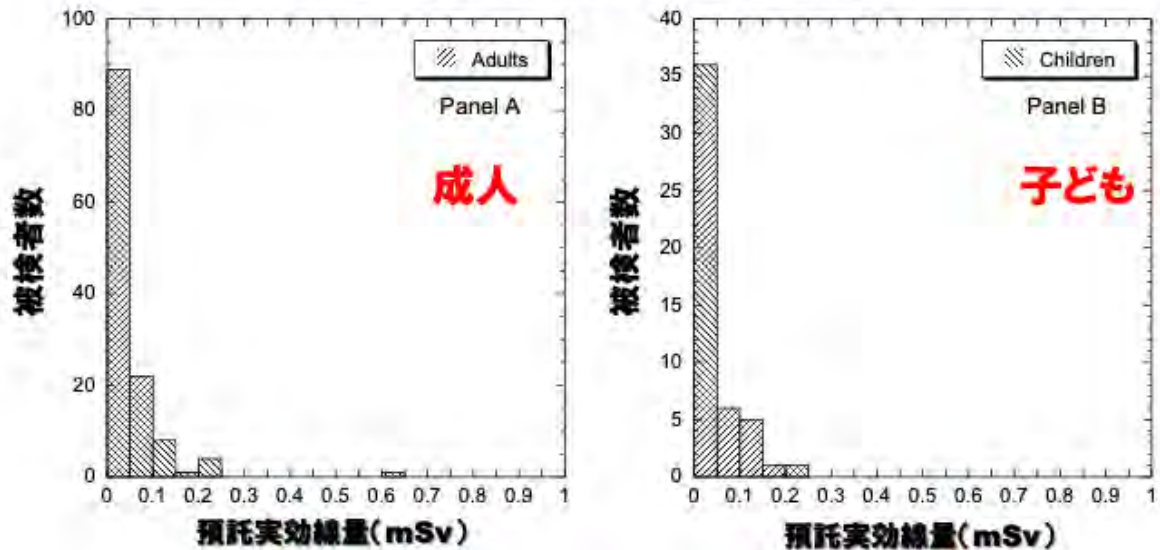


有意差あり ($p = 0.007^*$)

Cs-134の体内残留量は、成人と子どもで有意な差が見られます。

放医研パイロット調査(3)

Csによる預託実効線量の結果



有意差なし($p = 0.264$)

16

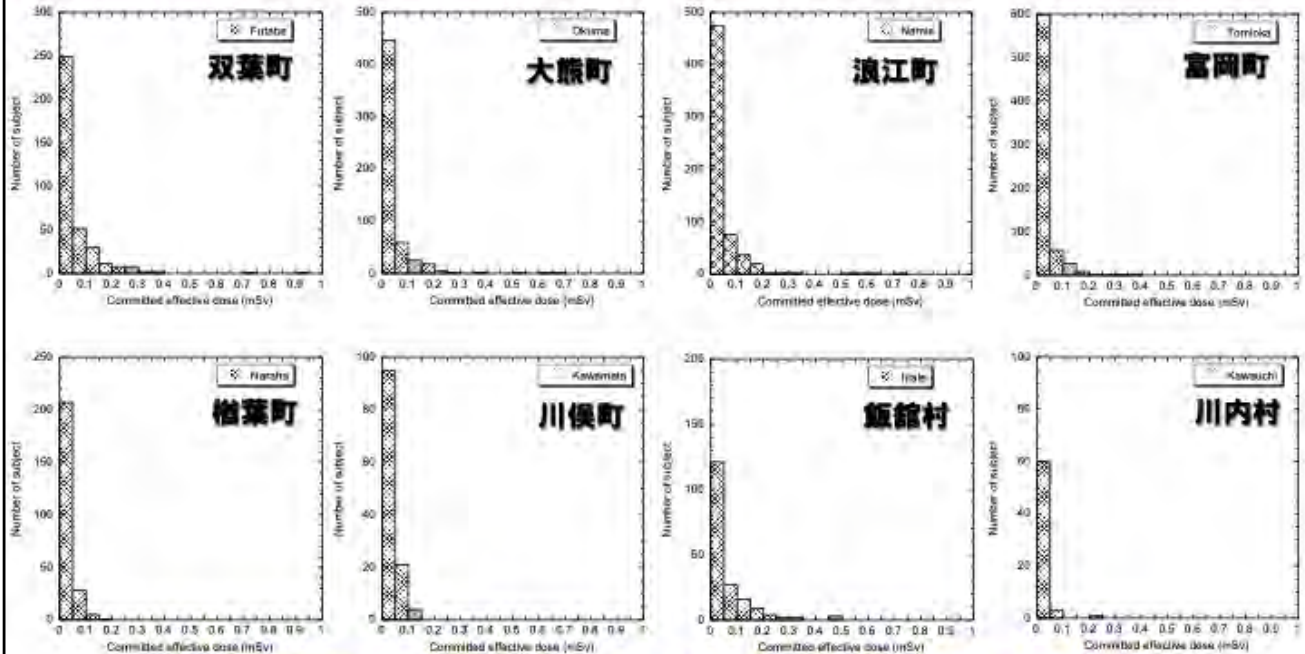
しかし、体内残留量から計算される実効線量には、成人と子どもで差はみられません。

これは、成人と子どもで体内残留割合や線量係数が異なることが理由です。

一般に、子供の代謝・排泄は成人よりも早いため、摂取した放射性物質を測定できる期間は短くなります。

原子力機構によるWBC測定

各市町村の成人被検者の預託実効線量分布



Cs預託実効線量の90パーセントイル値は~0.1 mSv

Kim et al. J. Radiat. Res. (2016)

17

各市町村における成人被検者の実効線量分布をスライドに示します。
放射性セシウムによる実効線量の90%タイル値は0.1mSv以下であり、少なくとも事故後の中長期にわたっては被ばくがほとんどなかったといえます。

福島原発事故の教訓(線量評価)

- **個人モニタリングの遅れ**: 迅速な住民避難や飲食物摂取制限により被ばくを低減できたものの、**初期内部被ばく線量の推計が困難**→対応: 迅速かつ実効的な個人モニタリング体制の構築
- **モニタリング対象者の選定**: 事故初期の甲状腺被ばくスクリーニング検査(3地域のみ)、WBC検査では子供を優先して実施→対応: 後の健康調査等に資する個人モニタリングの検討
- **個人モニタリングの課題(住民、作業員)**: 上昇した放射線バックグラウンド環境下での実施、大規模な自然災害→対応: 最悪な状況を想定した堅牢な個人モニタリング手法の検討



地域の原子力災害対応の一環として確実な準備が不可欠

18

線量評価に関する福島での事故の教訓として、個人モニタリングの遅れ、モニタリング対象者の選定等に関する課題が明らかとなりました。
地域の原子力災害対応の一環として、モニタリング体制を整備を進めています。

甲状腺簡易検査

原子力災害 専門研修
WBC・甲状腺-5

甲状腺簡易検査

【甲状腺簡易検査とは...】

原子力災害が発生し、放射性ヨウ素等の放射性物質が環境中に放出された場合、周辺住民の内部被ばくの状態を速やかに確認し、防護措置を講じる必要がある。その一環として、甲状腺に集積した放射性ヨウ素を簡易的な方法で測定することにより、被ばく線量の程度を迅速に把握するための検査。

【対象者】

UPZ内において放射性核種による顕著な汚染が認められた地域からの避難住民の内、**退域時避難検査で有意な汚染が認められた者が想定される。**
※乳幼児は検査が困難(同じ家族の者を代わりに検査)

【いつ、どのように行うのか...】

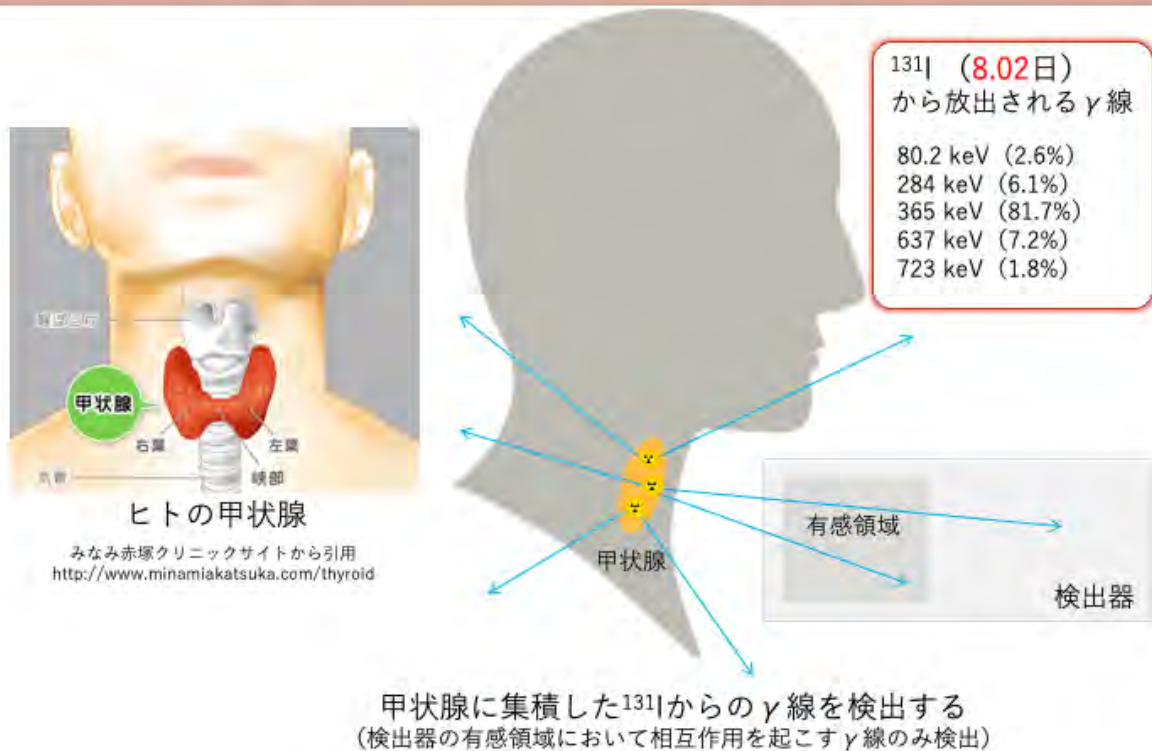
事故発生から**概ね1週間以内**に、空間線量率測定用NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを用いて行う。
※放射性ヨウ素が甲状腺に集積するまでに約1日かかることも考慮

【どこで行うのか...】

避難所または事前に指定した他の公共施設等。

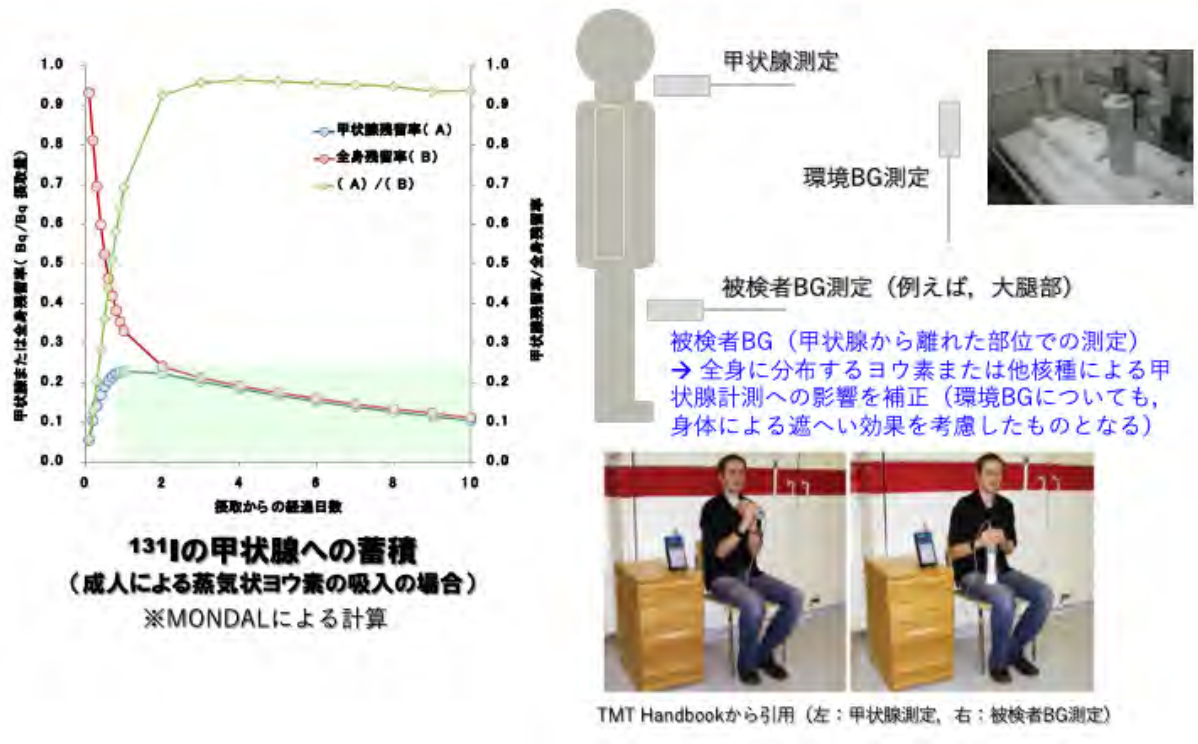
原子力災害によって環境中に放出された放射性ヨウ素による内部被ばくの状態を把握するために、甲状腺簡易検査を実施する必要があります。想定される対象者は、避難住民の退域時検査で有意な汚染が認められたもので、概ね事故後1週間以内にNaI(Tl)サーベイメータを用いて実施することとしています。

甲状腺中ヨウ素の測定原理(1)



ヨウ素は甲状腺ホルモンの合成に必要な元素であり、原子力災害で放出されるI-131などの放射性ヨウ素も甲状腺に選択的に取り込まれます。I-131は物理学的半減期8.02日で崩壊しながら、さまざまなエネルギーの γ 線を放出するため、それらを体外に設置した放射線検出器で測定することで甲状腺に残留するI-131の放射能を定量することができます。

甲状腺中ヨウ素の測定原理(2)



吸入したI-131は、肺から血液中に吸収され、徐々に甲状腺へと移行していきます。

グラフに示すように、I-131の甲状腺残留率は吸入摂取から約1日かけて上昇するため、それ以降のなるべく早い時期に甲状腺計測を実施することが望ましいといえます。

甲状腺以外の全身に分布しているヨウ素や他の核種による甲状腺計測への影響を補正するために、被験者のBG測定も実施する必要があります。

甲状腺を対象とした測定値から、被験者BGの測定値を引いた正味の測定値を算出し、その値に基づいて甲状腺線量を評価します。

測定器

○甲状腺簡易検査用



TCS-172B (日立製)



PMT シンチレータ

機器の仕様

- 測定放射線： γ 線
- シンチレータ：25.4 Φ × 25.4 mm NaI(Tl)
- 時定数：3, 10, 30秒
- 測定エネルギーレンジ：50 keV-3 MeV
- 測定範囲（線量当量率）：BG-30 μ Sv/h
- 測定範囲（計数率）：0-30 ks⁻¹
- エネルギー特性：¹³⁷Csに対して $\pm 15\%$ 以下

※内部で波高スペクトルにG関数を演算して線量率を計算

○詳細検査用



HPGe
検出器

5cm厚鉛遮蔽

機器の仕様

- 検出器：N-type HPGe x1式
(Type: LOAX-70450/30P, ORTEC社製)
- 電気冷却装置 (X-Cooler II, ORTEC社製)
- 鉛シールド (5 cm厚)
- 主な測定部位：甲状腺
- 検出限界値：約40 Bq (¹³¹I, 3分測定)

甲状腺簡易検査には、取り扱いが簡便なNaI(Tl)サーベイメータを使用します。波高スペクトルにG関数を演算して計算される線量率 (μ Sv/h) が読み取れるため、これをスクリーニングレベルと直接比較することで、詳細検査の必要性の有無を判断します。測定時間は約30秒です。

詳細検査では、高純度Ge半導体検出器によって測定した波高スペクトルから、I-131から放出される365keVのカウント数が解析できます。鉛遮蔽等を使用した数分間の測定によって、より正確な評価が可能となります。

甲状腺簡易検査の方法



1. 体表面汚染が無いことを確認した後、被検者の咽頭下部（写真）にプローブを密着させた状態で保持し、時定数10秒で指示値が安定したときの数値【測定値（A）】を読み取る。

（補足説明）

- プローブの先端はガーゼ等を被せて、汚染を確認した場合には速やかに外せるようにしておく。
- 可能であれば、プローブを頸部に密着させる前に被検者の頸部前面をウエットティッシュ等で軽く拭う。
- 一度リセットをした場合、指示値が安定するのは30秒後以降（時定数10秒の場合）



2. 着衣の汚染が無いことを確認した後、大腿部中央付近にプローブを密着させた状態で保持し、時定数10秒で指示値が安定したときの数値【測定値（B）】を読み取る。

正味値 = 測定値（A） - 測定値（B）

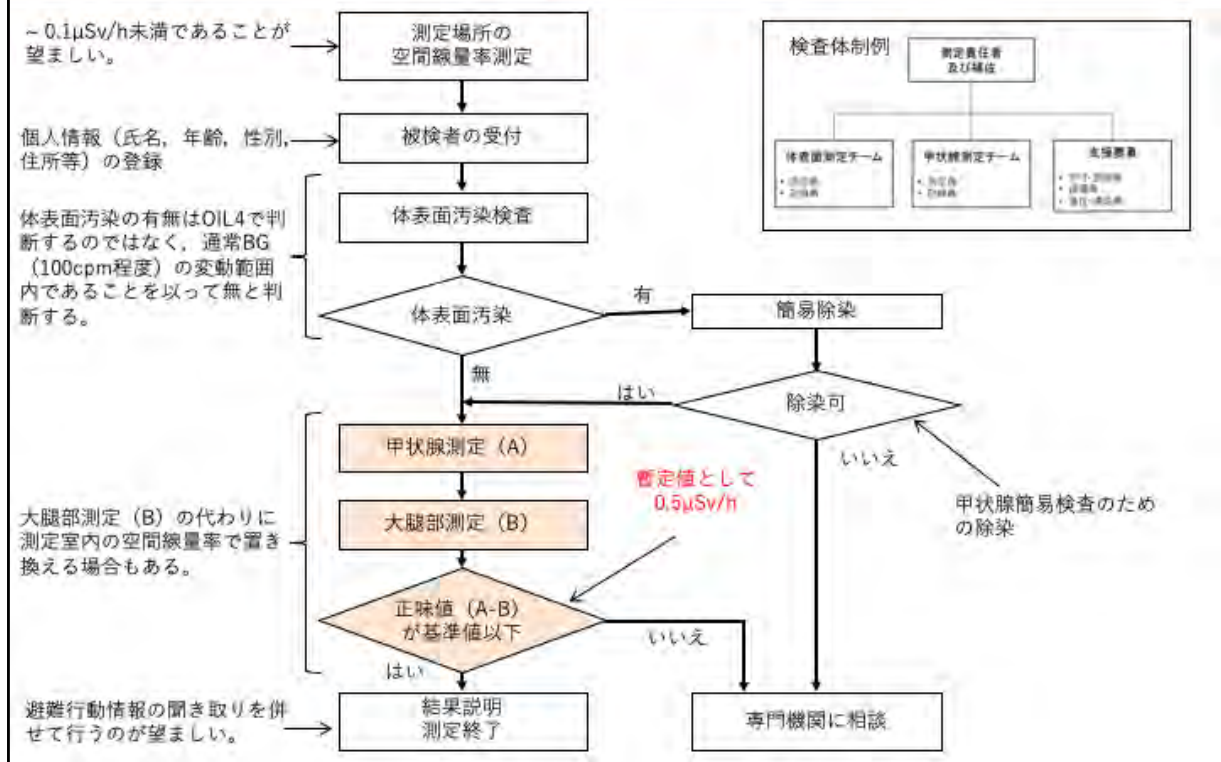
↑↓
スクリーニングレベルと比較

※測定室内の空間線量率も定期的に測定する。

環境中に放出された放射性ヨウ素の吸入が疑われた場合は、頸部の体表面汚染がないことを確認した後で、NaI(Tl)サーベイメータのプローブを頸部に密着させて測定します。

甲状腺を対象とした測定値から大腿部を対象とした被検者BG測定値を引いた正味値をスクリーニングレベルと比較します。

甲状腺簡易検査の流れ



甲状腺簡易検査の実施にあたり、通常よりもバックグラウンドの線量率が高くなっている場合には、できる限り低い場所を探すことで測定の不確かさを低減することができます。

被検者の受付では、氏名、年齢、性別、住所等の情報を登録し、体表面汚染検査に進みます。

体表面検査で汚染が認められた場合には簡易除染を実施し、汚染がなくなったことを確認してから甲状腺測定、大腿部での被検者BG測定を実施します。甲状腺の測定値から被検者BGの測定値を差し引いた正味値がスクリーニングレベル以下であれば、結果を説明して終了しますが、スクリーニングレベルを上回っていれば専門機関に相談の上、詳細検査等を実施することになります。

乳児・幼児・小児の測定



(左から、4歳男児、8歳女児、11歳女児)

(1歳男児)

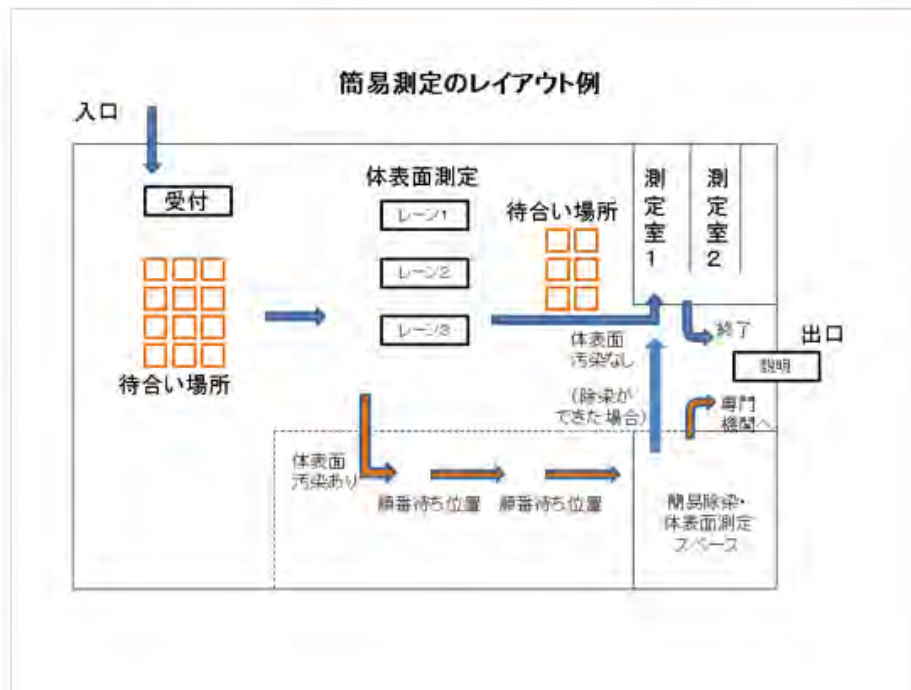
就学前小児の甲状腺検査に関しては今後の検討課題…

甲状腺を測定する際には、サーベイメータのプローブを頸部に密着させて測定します。

しかし、特に1歳児の場合には頸部が短くプローブを密着させることができない可能性があります。

このような状況で正確に測定することは難しく、不確かさが大きくなってしまったため、より良い測定方法を検討していくことが課題となっています。

測定場所のレイアウト例



甲状腺測定場所のレイアウトの例を示します。

甲状腺簡易検査の記録様式例

簡易測定法による甲状腺の放射性ヨウ素測定記録（例）

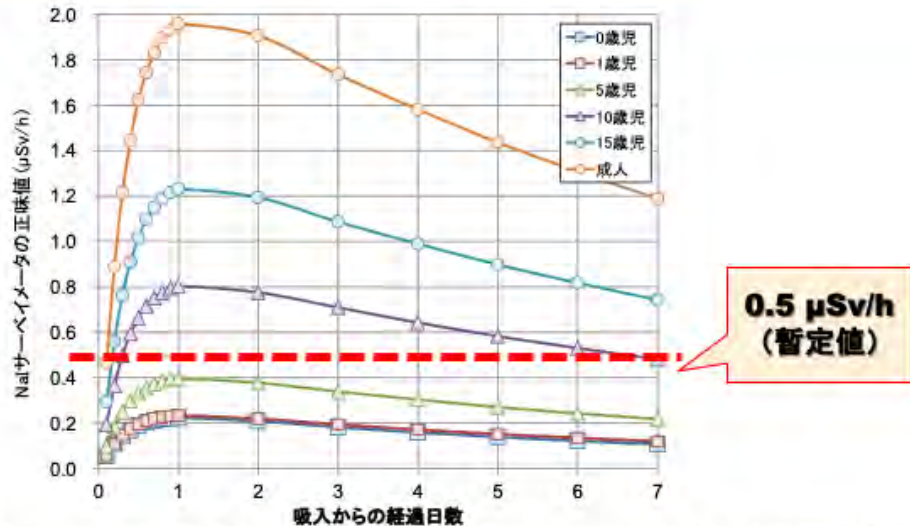
| | | |
|-------|------------------|--------------------------|
| 測定年月日 | 測定者 | 記録者 |
| 氏名 | 氏名 | 校正日 |
| 測定場所 | 測定の種類 | 校正回数 |
| 測定日時 | 環境のバックグラウンド値(時間) | [a Sec] 環境のバックグラウンド値(時間) |
| | 環境のバックグラウンド値(時間) | [a Sec] 環境のバックグラウンド値(時間) |

| 測定者氏名 | 年齢 | 性別 | 住所または所在地 | 対象地域等 | 測定時刻 | 大腸部 | 甲状腺 | 正味値 | 補正値の幅 | 備考 |
|-------|----|----|----------|-------|------|-----|-----|--------|--------|----|
| | | | | | | (a) | (b) | (c)(%) | (d)(%) | |
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | |

使用するNaI(Tl)サーベイメータの定期点検が1年以内に行われていることを確認

甲状腺簡易検査の記録様式の例を示します。
 使用するNaI(Tl)サーベイメータについては、定期点検が1年以内に行われていることを確認する必要があります。

甲状腺簡易検査の基準値



甲状腺等価線量100mSvに相当する ^{131}I 残留量に対するNaI(Tl)サーベイメータの指示値
(ただし、 $1\mu\text{Sv/h}=30\text{kBq } ^{131}\text{I}$ の関係を年齢に関係なく用いた)

(補足) $1\mu\text{Sv/h}\leftrightarrow 30\text{kBq } ^{131}\text{I}$ の換算係数は成人の頸部を模擬したファントムで得られたものである。小児では検出感度が成人よりも高くなるため、成人と同じ ^{131}I 甲状腺残留量でも指示値が高くなる。また、 γ 線放出率の高い ^{132}I (^{132}Te の子孫核種)の単位量当たりの検出感度が ^{131}I よりも高く、線量係数は ^{131}I よりも低いため、 ^{131}I のみと仮定して線量評価を行う場合よりも実際は線量が低くなると考えられる。ただし、サーベイメータの検出感度や測定精度の個体差が大きい($\pm 20\%$ 程度)ことも留意する必要がある。

グラフは、甲状腺等価線量100mSvに相当する摂取があった後に甲状腺計測を実施した場合の指示値 ($\mu\text{Sv/h}$) の変化を年齢別に示したものです。

例えば、スクリーニングレベルを $0.5\mu\text{Sv/h}$ に設定した場合、甲状腺計測によってスクリーニングレベルを下回っていれば、特に甲状腺がんのリスクが高いとされる0歳児、1歳児及び5歳の甲状腺線量は100mSv未満であると判断することができます。

ただし、甲状腺簡易検査や線量評価にはさまざまな不確かさを伴うため、それらを考慮したスクリーニングレベルの設定について今後も検討が必要です。

甲状腺被ばくに対するOIL8



OIL8の基礎となる包括的判断基準は、
甲状腺等価線量で100~200 mSv

表 10 甲状腺からの線量率に対する OIL8 の初期設定値

この OIL の初期設定値は甲状腺からの線量率に対するものであり、以下のように測定される必要がある；(a) 対象者の除染及び汚染着衣の脱衣後に、(b) 放射性ヨウ素の摂取の可能性があった時から 1-6 日後に、(c) 有効面積が 15 cm² 以下のプローブを用い、(d) 甲状腺の前面の皮膚に接触させ、測定用のプローブを設置し、(e) バックグラウンド線量率が 0.2 μSv/h 未満の場所を実施。

| OIL8 ^a | 測定された人々への措置 |
|---|---|
| <p>被ばく後、1 から 6 日後に 甲状腺の前面の皮膚に接触させ バックグラウンド線量率に対する 超過値</p> <p>0.5 μSv/h^c 2 μSv/h^c 年齢 ≤ 7 歳 年齢 > 7 歳</p> | <p>即時：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 未服用であれば、ITB 剤服用を指示； - 不注意による経口摂取を抑制するよう指示； - 測定されたすべての人々を登録し、甲状腺線量率を記録する；さらに - OIL8 を超えた場合、2.3 節と一貫性のある医療スクリーニングを実施。 <p>数日以内：</p> <ul style="list-style-type: none"> - 参考文献[30]に従って、医学検査や診療及び追跡調査が正当とされるかどうか決定するため OIL8 を超えた甲状腺線量率の人々の線量を推定。 |

- a ガンマ線量率測定器の検出部の位置は甲状腺上で皮膚の近傍。
b 手を洗淨するまで飲食、喫煙をしないことや手を口から離れた場所に置いておくことを助言。これは、OIL 値を超過したかどうかにかかわらず、汚染のおそれがあるならば実施される必要がある。
c バックグラウンド線量率に対する超過値。

引用：JAERI-Review 2016-013

事故後の防護策を実施するための基準として、運用上の介入レベル (OIL: Operational Intervention Level) の設定がIAEAから提案されています。被ばく後1-6日後に実施した甲状腺計測に対するスクリーニングレベル (OIL8) としては、7歳以下の小児に対して0.5μSv/hが与えられています。OIL8を我が国に取り入れるべきかどうか、議論が続いています。

人材育成 甲状腺簡易検査実習（1）

量研機構・放医研で実施される
研修プログラムの概要



甲状腺簡易検査に関する体制整備・人材育成のための取り組みの例として、量研機構・放医研が実施する「甲状腺簡易測定研修」があります。この研修は、原子力災害時に甲状腺簡易検査を担当／関与している方、又はその可能性のある方を対象として、甲状腺簡易検査の目的を理解し、NaI(TI)サーベイメータを用いた甲状腺簡易検査方法を習得することを目的として実施されています。

スライドに示す講義、実習、質疑・討論を1日で実施します。

実習では、より実際的な状況を意識して検査方法を習得できるよう、模擬被検者（マネキン）を用いています。

また、原子力災害時には比較的高いレベルのバックグラウンド（BG）の中で検査を実施する必要性が想定されるため、密封線源の設置によって空間線量率を高めた状態での測定にも臨みます。

人材育成 甲状腺簡易検査実習 (2)

Nal (TI) シンチレーションサーベイメータの使い方

TCS-172B (日立製作所製) の場合



計数音 ON/OFF

電源 ON/OFF

検出部 (プローブ)

測定レンジ 上・下切替

測定モード
線量率 (Sv/h)
計数値 (s⁻¹)

時定数の設定



3秒→10秒
→30秒→3秒





バッテリーチェック:
BATT= ■■■■



HVチェック: HV=OK

時定数と測定時間



- ▶ 時定数 τ 、測定時間 t の場合、測定時間 t 後の指示値は最終指示値の $1 - \exp(-t/\tau)$ 倍
- ▶ 指示値の安定する測定時間の目安はリセット後、時定数の3倍程度： $\tau = 10 \text{ s} \Rightarrow \sim 30 \text{ s}$
- ▶ 測定する対象、緊急度などの目的に応じて時定数を選択

サーベイメータ取扱時の注意

使用時：電源投入後、必ずHV(高圧)、BATT(電池)を確認する
バックグラウンド (BG) を適宜測定する
汚染が懸念される際にはプローブを養生し、汚染防止を図る

管理時：定期的な校正を行う (1回/1年)
常温、日光に当たらない場所で保管する
長時間使用しない場合は電池を抜き、液漏れを防止する

甲状腺簡易検査の実習に使用する検出器は、空間線量率を測定するためのNaI (TI) シンチレーションサーベイメータです。

スライドに示すように、実際に使用するサーベイメータ (日立製作所製TCS-172B) の基本的な操作を実習の中で説明します。

特に、指示値の安定する測定時間の目安が、時定数の3倍程度であるということが重要で、例えば時定数を10秒に設定した場合、プローブを測定位置に合わせてから30秒程度経過してから指示値を読まなければいけません。

また、検出器自体が汚染してしまうことが懸念される状況では、プローブ (及び本体) を養生する必要がある場合もあります。

平常時から、1年に1回以上の定期的な校正が望まれます。

人材育成 甲状腺簡易検査実習（3）



模擬被検者（発泡スチロール製マネキン）

頸部下部の内側に甲状腺中ヨウ素放射能を模擬するためのガンマ線ポイント線源を設置

K. Yajima et al. Radiat. Prot. Dosim. (2018)から引用

高レベルBG環境の構築

マネキンの後方に空間線量率用 ^{137}Cs 線源を設置

模擬被検者として発泡スチロール製のマネキン12体を使用しています。

12体のうち、10体のマネキンの頸部下部の内部に甲状腺中放射性ヨウ素を模擬した密封線源を設置し、2体はblankとします。

また、マネキン後方にCs-137（又はCo-60）の密封線源を設置することで高レベルBG環境を再現しました。

人材育成 甲状腺簡易検査実習（４）

模擬被検者の測定



被検者BGは台のボールの目印付近の高さで測定する

被検者BG（大腿部など甲状腺から離れた部位を測定）全身に分布するヨウ素または他核種による甲状腺測定への影響を補正。環境BGについても、身体による遮蔽効果を考慮したものとなる

NaIサーベイメータを用いた模擬被検者の甲状腺測定

甲状腺測定：頸部下部にプローブを軽く密着させて測定

被検者BG：台の下の指定位置における空間線量率（大腿部測定の代用）測定

引用：平成30年度「甲状腺簡易測定研修」甲状腺簡易検査実習テキスト

甲状腺簡易検査実習用 記録用紙

測定日： 年 月 日 測定員： _____

測定場所： _____ 記録員： _____

機器番号： _____ 測定BG： [μSv/h]

校正日： 年 月 日 基準値： 0.5 [μSv/h]

校正定数： _____

測定開始時刻： () 測定終了時刻 ()

| 被検者番号 | 単位：μSv/h | | | | 基準値/測定 |
|-------|----------|---------|--------------|-----------------|--------|
| | ①被検者EG | ②甲状腺測定値 | ③正味値 ④①-② | ⑤補正值 ⑥③×校正定数 | |
| あ | | | | | |
| い | | | | | |
| う | | | | | |

$$\text{正味値 } (\mu\text{Sv h}^{-1}) = \text{甲状腺測定値} - \text{被検者BG測定値}$$

$$\text{補正值} = \text{正味値} \times \text{NaIサーベイ校正定数}$$

大腿部測定はマネキン台下の空間線量率で代用

スクリーニングレベル（暫定 0.5 μSv h⁻¹）と比較

模擬被検者の測定は、甲状腺及び大腿部を想定して1回ずつ実施します。甲状腺を想定した測定では、マネキンの頸部下部に正面からNaIサーベイメータのプローブを軽く密着させます。一方、大腿部を想定した測定は、マネキンの頸部内部に設置した密封線源の影響を受けにくい指定の位置で実施し被検者BG測定値とします。甲状腺の測定値から被検者BG測定値を差し引いた正味値を、スクリーニングレベル（例えば0.5 μSv h⁻¹）と比較します。

人材育成 甲状腺簡易検査実習（5）

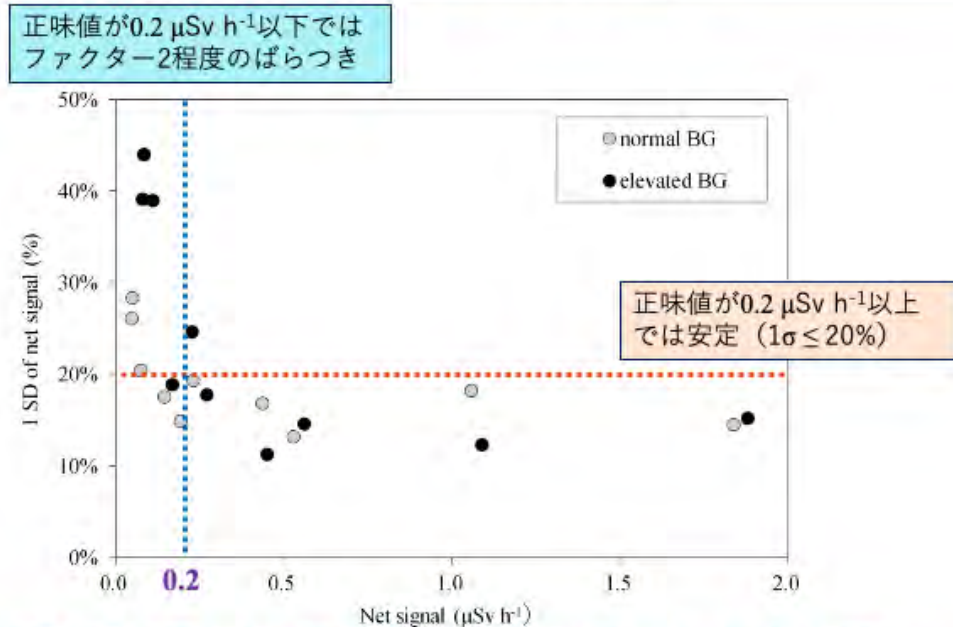


甲状腺簡易検査実習の風景

平成29年度実施実習より K. Yajima et al. Radiat. Prot. Dosim. (2018)から引用

実際の甲状腺簡易検査の実習風景を示します。
この実習には、20人の実習生が2人1組で測定及び記録を体験しました。

甲状腺簡易検査実習からのフィードバック (甲状腺簡易検査精度の考察)



甲状腺線量率正味値とその測定グループ間のばらつき (1σ) の関係

甲状腺簡易検査実習 (平成29年度) で取得されたデータ

K. Yajima et al. Radiat. Prot. Dosim. (2018)から引用した図を加工

この実習の目的は、参加者がNaI(Tl)サーベイメータを使用した甲状腺簡易検査の方法を習得することですが、同時に甲状腺簡易検査における技術面・運用面での問題点を特定するためのデータ解析も実施しています。

スライドに示したグラフは、平成29年度実習において測定された正味値に対する測定グループ間のばらつき (1SD) を示しています。

正味値が $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ 以上の場合、通常BG ($\sim 0.06 \mu\text{Sv h}^{-1}$) と高レベルBG ($\sim 0.5 \mu\text{Sv h}^{-1}$) のいずれの環境下においても、20%未満のばらつきで安定した測定が可能であることが示唆されました。

内部被ばく線量の計算（実習）

量子科学技術研究開発機構
放射線医学総合研究所 計測・線量評価部

1. はじめに

この実習では、被ばくシナリオを与え、内部被ばく線量を実際に算定してみる。この実習を通し、内部被ばく線量算定法の理解を確実なものとし、原子力災害拠点病院等被ばく医療機関に搬送された患者の内部被ばく線量のおおよその算定ができるようにする。

昨日の講義「内部被ばく線量評価の基礎 1」及び「内部被ばく線量評価の基礎 2」で述べられたように、ホールボディカウンタやバイオアッセイの測定結果から摂取量や内部被ばく線量を算定するためには、摂取した量が測定時に何パーセント体内に残っているか（残留率）、あるいは試料採取日に何パーセント排泄されたか（排泄率）、を知る必要がある。これらの値は、複雑なモデル（付録 A, B, C 参照）を用いて計算しなければならず、実際にモデルにまで立ち還って計算することは煩雑な作業であり、現実的ではない。ここでは、ホールボディカウンタ等の測定結果から放射性物質の摂取量と預託実効線量とを計算・評価するために開発された PC 用ソフトウェア:MONDAL3 (Monitoring to Dose Calculation ver.3) を用いた実習を行なう。

2. MONDAL3 の概要と使用法

MONDAL3 は、作業員や一般公衆が吸入もしくは経口により放射性物質を摂取したとき、ホールボディカウンタ等体外計測法による全身または特定臓器中の放射能の測定結果やバイオアッセイ法による尿・糞便中の放射能の測定結果を用いて、放射性物質の摂取量および預託実効線量を計算するソフトウェアである。

2.1. 必要なハード/ソフトウェア

MONDAL3 は、次の環境の下で動作する。

- (a) MS Windows 95, 98, millennium, 2000, XP, 7(互換モード) のいずれかの OS
- (b) CD-ROM が読み込めるドライブ
- (c) 640×480 以上の画面解像度のモニター
- (d) ハードディスク容量の残りが下記以上
 - ・ 23 MB (すべてをハードディスクにコピーする場合)
 - ・ 1 MB (制御プログラムのみコピーし、データは CD-ROM から読み込む場合)
- (e) マウスもしくはポインティングデバイスなどそれに相当するもの

2.2. モデル及びパラメータ値

MONDAL3 は、現行法令が準拠している ICRP (国際放射線防護委員会) の内部被ばく線量評価モデルに基づき計算される。

(1) モデル:

- (a) 呼吸気道モデル: ICRP Publication 66 (付録 A 参照)
- (b) 胃腸管モデル: ICRP Publication 30 (付録 B 参照)
- (c) 組織系動態モデル: ICRP Publications 30, 56, 67, 69, 71 (付録 C 参照)

(2) 評価対象者:

- (a) ICRP の標準作業員 (呼吸率 1.5 m³/h の軽活動を 5.5 時間, 呼吸率 0.54 m³/h の

着席を 2.5 時間行っている成人男子)

(b) ICRP の勧告する公衆の構成員

- 3 ヶ月 (1 才未満)
- 1 才 (1 才以上 3 才未満)
- 5 才 (3 才以上 8 才未満)
- 10 才 (8 才以上 13 才未満)
- 15 才 (13 才以上 18 才未満)
- 成人 (18 才以上)

(3) 放射性エアロゾルの特性 :

(a) AMAD = 0.1, 0.3, 1.0, 3.0, 5.0, 10 μm (作業者の場合), 1.0 μm (公衆の場合)

(b) 粒子の密度 = 3 g/cm^3

(c) 粒子の形状係数 = 1.5

(d) 幾何学的標準偏差 : ICRP Publication 66 の式(16)より計算

$$2.5(\text{AMAD} = 5.0 \mu\text{m}), 2.47(\text{AMAD} = 1.0 \mu\text{m})$$

(4) 計算対象の放射性核種 :

H-3, P-32, Cr-51, Mn-54, Fe-59, Co-57, Co-58, Co-60, Zn-65, Rb-86, Sr-85, Sr-89, Sr-90, Zr-95, Ru-106, Ag-110m, Sb-124, Sb-125, I-125, I-129, I-131, Cs-134, Cs-137, Ba-140, Ce-141, Ce-144, Hg-203, Ra-226, Ra-228, Th-228, Th-232, U-234, U-235, U-238, Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Cm-242, Cm-244, Cf-252 の 42 核種

2.3. MONDAL3 の使用法

2.3.1. インストールとプログラムの起動

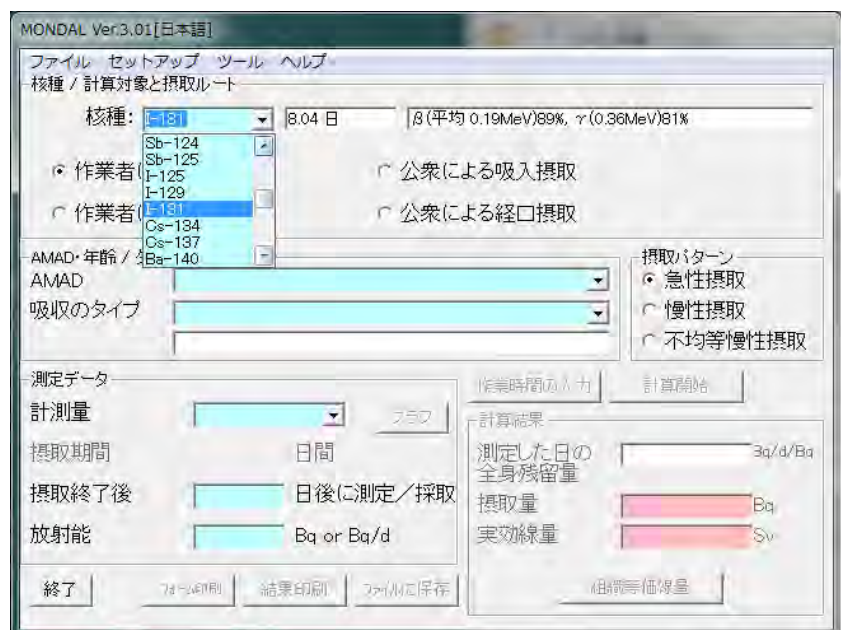
まず, CD-ROM 内のフォルダ [MONDAL-J] を中味ごと各自の PC のハードディスク (HD) にコピーする。次に, PC のフォルダ [MONDAL-J] を開き, 実行ファイル "MONDAL3J.exe" をダブルクリックすると MONDAL3 は起動する。

HD にコピーせず CD-ROM から直接起動することも可能である。なお, 計算結果をファイルとして出力する場合はファイルを保存するフォルダを HD にしておく。

STEP 1 核種を選択

プルダウンメニューから核種を選択する。42 核種が搭載されている。核種の右の窓に半減期, さらにその右の窓に測定に利用される主な放射線の種類, エネルギー, 放出率が表示される。

右図では, I-131 が選択されている。



STEP 2 計算対象と 摂取ルートを選択

ラジオボタンにより、
[作業者による吸入摂取]、
[作業者による経口摂取]、
[公衆による吸入摂取]、
[公衆による経口摂取]、
のどれかを選択する。

右図では、[公衆による
吸入摂取]を選択。

STEP 3 AMAD・年齢 の選択

プルダウンメニュー
から年齢群を選択する。

STEP 2 で作業者による
摂取を選択した場合は、
年齢群の代わりに粒子径
(0.1, 0.3, 1, 3, 5, 10
ミクロン)を選択する。

右図では、10 歳を
選択。

STEP 4 吸収のタイプ の選択

プルダウンメニュー
から吸収のタイプを選択
する。右図では隠れてい
るが、選択した吸収のタ
イプに対応する化合物
が、吸収のタイプの窓の
すぐ下に表示される。

右図では蒸気を選択。

STEP 5 摂取パターンの選択

ラジオボタンにより、
[急性摂取], [慢性摂取],
[不均等慢性摂取], のど
れかを選択する。

右図では, [急性摂取]
を選択。

MONDAL Ver.3.01 [日本語]

ファイル セットアップ ツール ヘルプ

核種 / 計算対象と摂取ルート

核種: I-131 8.04 日 β (平均 0.19MeV)89%, γ (0.36MeV)81%

作業者による吸入摂取 公衆による吸入摂取

作業者による経口摂取 公衆による経口摂取

AMAD・年齢 / タイプ・f1

年齢: 10歳(8歳以上13歳未満)

吸収のタイプ: 蒸気

ヨウ素分子

摂取パターン

急性摂取

慢性摂取

不均等慢性摂取

測定データ

計測量: [] プログ

摂取期間: 日間

摂取終了後: [] 日後に測定/採取

放射能: [] Bq or Bq/d

作業時間の入力 計算開始

計算結果

測定した日の全身残留量: [] Bq/d/Bq

摂取量: [] Bq

実効線量: [] Sv

終了 再印刷 結果印刷 ファイルに保存 組替等値線量

STEP 6 計測量の選択

プルダウンメニュー
からモニタリング計測量
を選択する。

右図では, [甲状腺残留量]
を選択。

MONDAL Ver.3.01 [日本語]

ファイル セットアップ ツール ヘルプ

核種 / 計算対象と摂取ルート

核種: I-131 8.04 日 β (平均 0.19MeV)89%, γ (0.36MeV)81%

作業者による吸入摂取 公衆による吸入摂取

作業者による経口摂取 公衆による経口摂取

AMAD・年齢 / タイプ・f1

年齢: 10歳(8歳以上13歳未満)

吸収のタイプ: 蒸気

ヨウ素分子

摂取パターン

急性摂取

慢性摂取

不均等慢性摂取

測定データ

計測量: [] プログ

摂取期間: []

摂取終了後: [] 日後に測定/採取

放射能: [] Bq or Bq/d

作業時間の入力 計算開始

計算結果

測定した日の全身残留量: [] Bq/d/Bq

摂取量: [] Bq

実効線量: [] Sv

終了 再印刷 結果印刷 ファイルに保存 組替等値線量

STEP 7 測定日を入力

摂取後何日目に測定し
たかを入力する。

たとえば, 7月1日に摂取
し, 7月4日に測定した
場合は, 3と入力する。

MONDAL Ver.3.01 [日本語]

ファイル セットアップ ツール ヘルプ

核種 / 計算対象と摂取ルート

核種: I-131 8.04 日 β (平均 0.19MeV)89%, γ (0.36MeV)81%

作業者による吸入摂取 公衆による吸入摂取

作業者による経口摂取 公衆による経口摂取

AMAD・年齢 / タイプ・f1

年齢: 10歳(8歳以上13歳未満)

吸収のタイプ: 蒸気

ヨウ素分子

摂取パターン

急性摂取

慢性摂取

不均等慢性摂取

測定データ

計測量: 甲状腺残留量 グラフ

摂取期間: 日間

摂取終了後: 3 日後に測定/採取

放射能: [] Bq

作業時間の入力 計算開始

計算結果

測定した日の残留割合: [] Bq/Bq

摂取量: [] Bq

実効線量: [] Sv

終了 再印刷 結果印刷 ファイルに保存 組替等値線量

STEP 8 測定値を入力

放射能の測定値を入力する。

右図は、摂取してから3日経って測定した甲状腺の残留放射能が10000 Bqであった場合を示している。

STEP 9 結果の表示

「計算開始」ボタンを左クリックすると、摂取量と預託実効線量の計算結果が薄赤色の窓に表示される。

右図では、摂取量 5×10^4 Bq、預託実効線量 2.4×10^{-3} Svと評価された。

なお、入力条件および計算結果はファイルに保存、あるいはプリントアウトすることができる。

等価線量の表示

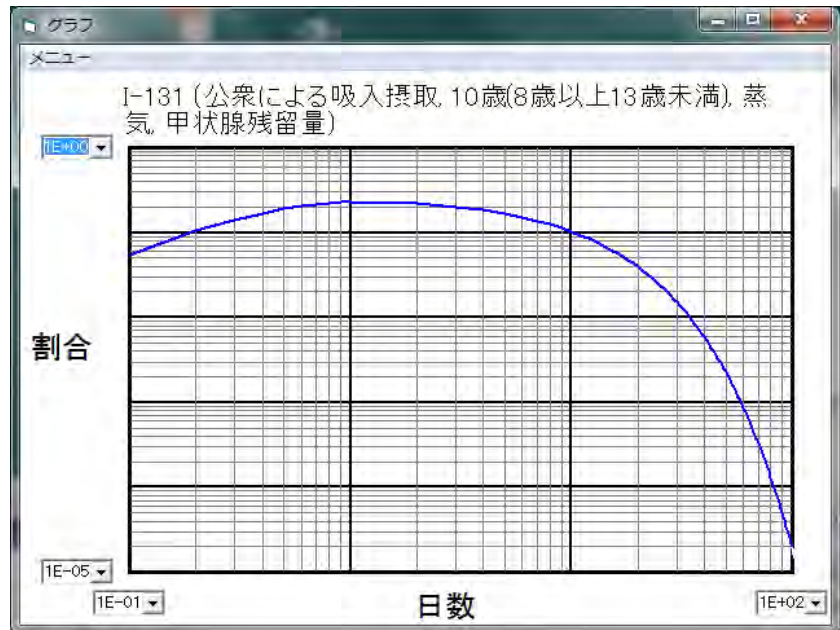
実効線量の算定に用いられる臓器・組織の等価線量を参照したいとき、「組織等価線量」ボタンを左クリックするとそれらが表示される。

右図には、甲状腺の等価線量が、他の臓器・組織に比べて桁違いに大きいことが示されている。

| 単位[Sv] | 1日間 | 7日間 | 30日間 | 1年間 | 5年間 | 10年間 | 20年間 | 30年間 | 60年間 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 副腎 | 2.2E-06 | 3.2E-06 | 4.5E-06 | 4.7E-06 | 4.7E-06 | 4.7E-06 | 4.7E-06 | 4.7E-06 | 4.7E-06 |
| 膀胱壁 | 4.7E-05 | 5.0E-05 | 5.4E-05 | 5.4E-05 | 5.4E-05 | 5.4E-05 | 5.4E-05 | 5.4E-05 | 5.4E-05 |
| 骨表面 | 2.6E-06 | 5.0E-06 | 8.4E-06 | 8.8E-06 | 8.8E-06 | 8.8E-06 | 8.8E-06 | 8.8E-06 | 8.8E-06 |
| 脳 | 2.8E-06 | 5.0E-06 | 8.4E-06 | 8.9E-06 | 8.9E-06 | 8.9E-06 | 8.9E-06 | 8.9E-06 | 8.9E-06 |
| 乳房 | 2.0E-06 | 4.0E-06 | 6.4E-06 | 6.4E-06 | 6.4E-06 | 6.4E-06 | 6.4E-06 | 6.4E-06 | 6.4E-06 |
| 食道 | 3.5E-06 | 1.1E-05 | 2.0E-05 | 2.1E-05 | 2.1E-05 | 2.1E-05 | 2.1E-05 | 2.1E-05 | 2.1E-05 |
| 胃壁 | 6.9E-06 | 7.9E-06 | 8.9E-06 | 8.9E-06 | 8.9E-06 | 8.9E-06 | 8.9E-06 | 8.9E-06 | 8.9E-06 |
| 小腸壁 | 2.5E-06 | 3.1E-06 | 4.1E-06 | 4.3E-06 | 4.3E-06 | 4.3E-06 | 4.3E-06 | 4.3E-06 | 4.3E-06 |
| 大腸上部壁 | 2.9E-06 | 3.9E-06 | 5.9E-06 | 5.9E-06 | 5.9E-06 | 5.9E-06 | 5.9E-06 | 5.9E-06 | 5.9E-06 |
| 大腸下部壁 | 3.4E-06 | 5.9E-06 | 9.4E-06 | 9.9E-06 | 9.9E-06 | 9.9E-06 | 9.9E-06 | 9.9E-06 | 9.9E-06 |
| 結腸 | 3.1E-06 | 4.7E-06 | 7.4E-06 | 7.4E-06 | 7.4E-06 | 7.4E-06 | 7.4E-06 | 7.4E-06 | 7.4E-06 |
| 腎臓 | 2.1E-06 | 2.7E-06 | 3.7E-06 | 3.9E-06 | 3.9E-06 | 3.9E-06 | 3.9E-06 | 3.9E-06 | 3.9E-06 |
| 肝臓 | 2.2E-06 | 3.0E-06 | 4.2E-06 | 4.4E-06 | 4.4E-06 | 4.4E-06 | 4.4E-06 | 4.4E-06 | 4.4E-06 |
| 筋肉 | 2.7E-06 | 6.4E-06 | 1.1E-05 | 1.1E-05 | 1.1E-05 | 1.1E-05 | 1.1E-05 | 1.1E-05 | 1.1E-05 |
| 卵巣 | 2.6E-06 | 3.2E-06 | 4.2E-06 | 4.3E-06 | 4.3E-06 | 4.3E-06 | 4.3E-06 | 4.3E-06 | 4.3E-06 |
| 脾臓 | 2.5E-06 | 3.3E-06 | 4.6E-06 | 4.8E-06 | 4.8E-06 | 4.8E-06 | 4.8E-06 | 4.8E-06 | 4.8E-06 |
| 赤色骨髄 | 2.3E-06 | 4.3E-06 | 6.9E-06 | 6.9E-06 | 6.9E-06 | 6.9E-06 | 6.9E-06 | 6.9E-06 | 6.9E-06 |
| 胸郭外気道 | 1.0E-04 | 1.5E-04 | 1.5E-04 | 1.5E-04 | 1.5E-04 | 1.5E-04 | 1.5E-04 | 1.5E-04 | 1.5E-04 |
| 肺 | 4.3E-05 | 4.6E-05 | 5.0E-05 | 5.0E-05 | 5.0E-05 | 5.0E-05 | 5.0E-05 | 5.0E-05 | 5.0E-05 |
| 皮膚 | 1.9E-06 | 3.4E-06 | 5.4E-06 | 5.4E-06 | 5.4E-06 | 5.4E-06 | 5.4E-06 | 5.4E-06 | 5.4E-06 |
| 脾臓 | 2.2E-06 | 3.1E-06 | 4.4E-06 | 4.6E-06 | 4.6E-06 | 4.6E-06 | 4.6E-06 | 4.6E-06 | 4.6E-06 |
| 精巣 | 2.4E-06 | 2.8E-06 | 3.5E-06 | 3.6E-06 | 3.6E-06 | 3.6E-06 | 3.6E-06 | 3.6E-06 | 3.6E-06 |
| 胸腺 | 3.5E-06 | 1.1E-05 | 2.0E-05 | 2.1E-05 | 2.1E-05 | 2.1E-05 | 2.1E-05 | 2.1E-05 | 2.1E-05 |
| 甲状腺 | 2.9E-03 | 2.2E-02 | 4.4E-02 | 4.7E-02 | 4.7E-02 | 4.7E-02 | 4.7E-02 | 4.7E-02 | 4.7E-02 |
| 子宮 | 3.4E-06 | 4.0E-06 | 4.9E-06 | 5.0E-06 | 5.0E-06 | 5.0E-06 | 5.0E-06 | 5.0E-06 | 5.0E-06 |
| 残りの臓器・組織 | 2.7E-06 | 6.4E-06 | 1.0E-05 | 1.1E-05 | 1.1E-05 | 1.1E-05 | 1.1E-05 | 1.1E-05 | 1.1E-05 |
| 実効線量 | 1.5E-04 | 1.1E-03 | 2.2E-03 | 2.4E-03 | 2.4E-03 | 2.4E-03 | 2.4E-03 | 2.4E-03 | 2.4E-03 |

モニタリング計測量の グラフ表示

「グラフ」ボタンを左クリックすることにより、1Bq急性摂取に対するモニタリング計測量の時間変化予測値のグラフが表示される。



計算結果のファイル保存 とプリントアウト

「結果印刷」ボタンを左クリックすることにより、右図のような計算条件と計算結果がプリントアウトされる。

また、「ファイルに保存」ボタンを左クリックすることにより、右図のような計算条件と計算結果がファイルに保存される。

MONDAL Ver. 3.01 [日本語]

2017/12/04 11:02:41

タイトル : 実習

核種 : I-131

半減期 : 8.04 日

放射線の種類 : β (平均 0.19MeV) 89%, γ (0.36MeV) 81%

計算対象と摂取ルート : 公衆による吸入摂取

年齢 : 10 歳 (8 歳以上 13 歳未満)

吸収のタイプ : 蒸気

化学形 : ヨウ素分子

摂取パターン : 急性摂取

計測量 : 甲状腺残留量

摂取終了後 3 日後に測定 / 採取

放射能 10000 Bq

摂取量 : 5.0E+04 Bq

預託実効線量 : 2.4E-03 Sv

コメント :

注意事項 : いずれの年代も、作業者を対象とした ICPR 30 の胃腸管モデルを使用して計算しました。

3. 被ばくシナリオ

以下に与えられた6つの被ばく事例について、MONDAL3を用いて放射性核種の摂取量および預託実効線量を評価する。

シナリオ1:

倉庫の中に古くなった厚さ計用¹³⁷Cs密封線源が保管されていた。12月10日、男が倉庫に忍び込み、好奇心から線源を盗み出し自宅で分解した。線源粉末が手指に付着したようだが手をきれいには洗わずに調理し食事をした。一週間後、線源の盗難がテレビで報じられ、心配になった男はあくる日(12月18日)H市保健医療センターを訪れた。当センターは原子力災害拠点病院であり、ホールボディカウンタを備えていた。ただちにその男を測定したところ、¹³⁷Csが43000Bq検出された。当センターは、¹³⁷Csの摂取量と預託実効線量とを評価することとした。なお、この男への聞き取り調査によると、盗み出した線源は、12月11日の朝ゴミ出しされており、分解時以外は接触していない。

回答

| | |
|-------------------|--|
| 核種 | |
| 計算対象被検者 | |
| 摂取ルート | |
| 摂取パターン | |
| AMAD | |
| 吸収のタイプ,あるいは f_1 | |
| 化合物の種類 | |
| 計測量 | |
| 摂取期間(慢性摂取の場合) | |
| 測定日(摂取後日数) | |
| 放射能測定値 | |
| 摂取量の計算結果 | |
| 預託実効線量の計算結果 | |

メモ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

シナリオ 2 :

J 県の原子炉施設で ^{131}I の異常放出があり、近隣住民が救護所に避難した。救護所で体表面の汚染検査を行ったところ、3 名に ^{131}I の有意な体表面汚染が認められた。ともにスクリーニングレベルよりも低い値であったが、正確な線量評価を行なうため、同県の原子力災害拠点病院に搬送されてきた。ただちに当機関に設置されている甲状腺モニターで測定したところ、次の放射能の ^{131}I が検出された。

7 歳女 1500 Bq
9 歳男 800 Bq
35 歳女 4200 Bq

当病院は、これら 3 名の被災者について、 ^{131}I の摂取量と預託実効線量とを評価することとした。なお、摂取してから測定までにおおよそ 10 時間が経過していると推測された。

回答

| | | | |
|--------------------|------|------|-------|
| 核種 | | | |
| 計算対象被検者 | 7 歳女 | 9 歳男 | 35 歳女 |
| 摂取ルート | | | |
| 摂取パターン | | | |
| AMAD | | | |
| 吸収のタイプ, あるいは f_1 | | | |
| 化合物の種類 | | | |
| 計測量 | | | |
| 摂取期間(慢性摂取の場合) | | | |
| 測定日 (摂取後日数) | | | |
| 放射能測定値 | | | |
| 摂取量の計算結果 | | | |
| 預託実効線量の計算結果 | | | |

メモ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

付録A ICRPの呼吸気道モデル

A1. はじめに

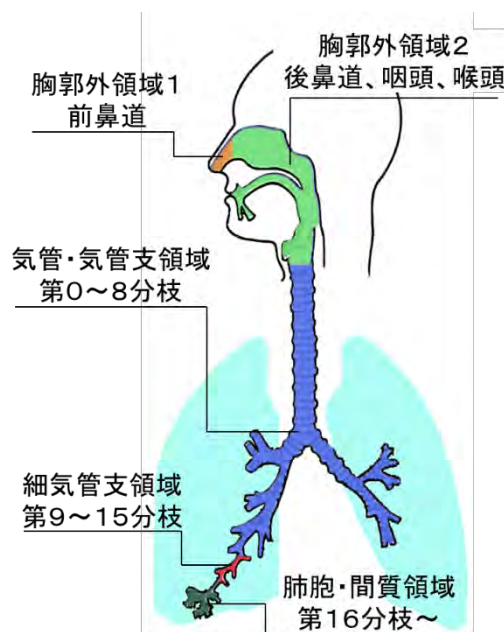
吸入被ばくの評価に用いられている呼吸気道モデルは、20年以上前に刊行されたICRP Publication 66 (1994)で記述されたものである。このモデルは、解剖学、呼吸生理学、そして放射線生物学といった関連する諸分野の当時の学術的段階を踏まえた上で精密に作られており、公衆の全構成員への適用、特定物質の沈着やクリアランス特性の使用の許容といった多様な被ばくの条件にも対応できるオールマイティとも言えるモデルである。

このモデルは、刊行後に行われた研究や新しい知見を反映するように見直しが行われ、一昨年、その改訂版がICRP Publication 130 (2015)に掲載された。改訂モデルがいずれは法令に取り入れられるであろうが、当面は、現行法令が準拠しているICRP Publication 66のモデルが線量算定に使われるものと思われる。

本稿では、現行法令が準拠しているICRP Publication 66のモデルの概要を紹介する。

A2. 呼吸気道の領域区分

人間の呼吸器は、鼻道、咽頭、喉頭、気管、主気管支、気管支、細気管支、終末細気管支、呼吸細気管支、肺胞管+肺胞に大別される。このモデルでは、これらの解剖学的部位が、放射線感受性とクリアランス特性とが反映されるよう整理され、図A1に示すようにグループ化されている。まず胸郭の外の領域と中の領域とに大別し、このうち胸郭の外の領域(ET: Extrathoracic)は、a) 前鼻道からなる胸郭外領域1(ET₁)、b) 後鼻道、咽頭、喉頭からなる胸郭外領域2(ET₂)、の2領域に、胸郭内の領域は、a) 気管、主気管支、気管支からなる気管・気管支領域(BB)、b) 細気管支、終末細気管支からなる細気管支領域(bb)、c) 呼吸細気管支、肺胞管+肺胞からなる肺胞・間質領域(AI)、の3領域に、合計5領域に区分されている。一方、リンパ組織も胸郭外領域のリンパ節(LN_{ET})と胸郭内領域のリンパ節(LN_{TH})とに区分されている。なお、各領域は、その領域名称ではなくET₁等の記号で呼ばれることが多い。以降、本稿においてもこれらの記号を使用する。



図A1 呼吸気道の領域区分

A3. 粒子沈着モデル

吸入被ばくは、空気を吸って吐くその往復の過程における放射性粒子の気道壁への沈着によって始まる。そしてこの粒子沈着には、多くの物理学的、生物学的因子が関わっている。例えば、粒子の大きさ、形、密度は沈着率や気道内の沈着部位に影響する。また、同じ空気を呼吸していても、その人の呼吸の仕方や呼吸気道の寸法によって沈着率は変化する。

「はじめに」で述べたように、このモデルは、多様な被ばくの条件にも対応できることを目標として作られている。例えば、粒子の大きさに対しては、原子の大きさ(およそ0.0005 μm)から空気力学的放射能中央径(AMAD)が100 μmの大きなエアロゾルまで、人が吸入する可能性のある大きさの放射性粒子について沈着計算を行なうことができる。参考までに、図A2に、種々の粒子径に対する領域沈着率の計算結果を示す。一方、睡眠、着席、軽い運動、強い運

動といった身体運動の状態の違いにより、一回換気量，呼吸流量率などが変化し，沈着率は影響を受けるが，このモデルでは，こうした種々の身体運動レベルに応じた沈着計算が可能となっている。図 A2 は，睡眠時の沈着率の計算結果である。さらに，気道の長さなどが異なる種々の年齢に対しても沈着計算が可能となっている。

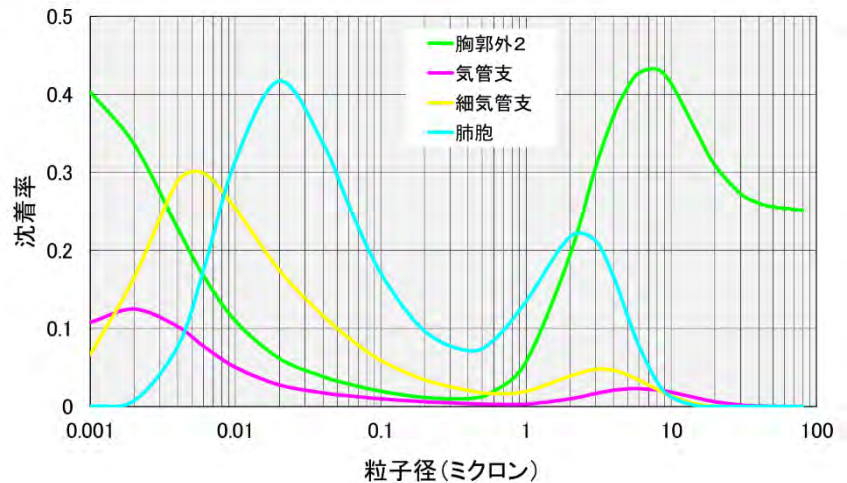


図 A2 睡眠時の領域沈着率の計算結果

A2 章で述べた 5 つの気道領域がそれぞれ固有の沈着効率をもつエアフィルタと見なされ，これらが吸息時には ET_1 から順に AI まで，次に逆に呼息時には AI から ET_1 まで，合計 9 段（口呼吸では ET_1 領域を除く 7 段）直列に連なっている多段フィルタが想定され，この多段フィルタを吸入空気が通過していく過程で粒子が気道壁に沈着・補足されると考えられている。

粒子の沈着機構としては，空気力学的（重力沈降，慣性衝突）および熱力学的（熱拡散）沈着機構が考えられ，各々の機構による沈着効率が計算される。そして，領域個々の各機構による沈着効率が，粒子径等の粒子性状パラメータ，呼吸流量率等生理学パラメータ，および気道の寸法等形態計量学的パラメータ，の 3 者の関数として数式表現されている。また，熱力学的機構による沈着計算に適するよう，粒子径の表現として，AMAD に加え，AMTD（Activity Median Thermodynamic Diameter，熱力学的放射能中央径）が定義・導入されている。

粒子の沈着機構としては，空気力学的（重力沈降，慣性衝突）および熱力学的（熱拡散）沈着機構が考えられ，各々の機構による沈着効率が計算される。そして，領域個々の各機構による沈着効率が，粒子径等の粒子性状パラメータ，呼吸流量率等生理学パラメータ，および気道の寸法等形態計量学的パラメータ，の 3 者の関数として数式表現されている。また，熱力学的機構による沈着計算に適するよう，粒子径の表現として，AMAD に加え，AMTD（Activity Median Thermodynamic Diameter，熱力学的放射能中央径）が定義・導入されている。

A4. クリアランスモデル

このモデルで記述されているクリアランスに関するコンパートメントモデルを図 A3 に示す。

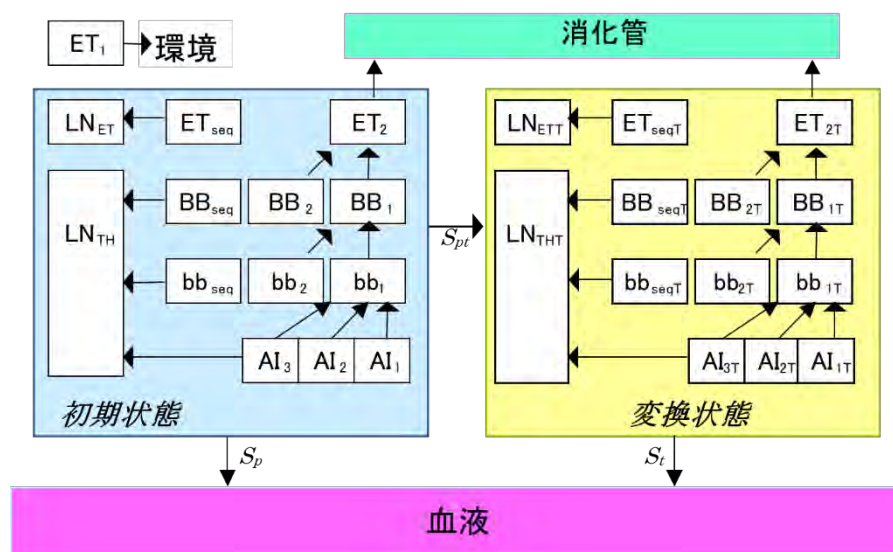


図 A3 クリアランスに関するコンパートメントモデル

一旦気道壁に沈着した物質は，時間が経つと，あるものは気道壁から吸収され，血管を透過し

て血中に入り、血流に乗って他の組織へと運ばれる。他のあるものは、気道壁の粘液繊毛運動によって口の方へ運ばれ、消化管へ飲み込まれる。またわずかではあるが、リンパ液の流れに乗りリンパ節へ運ばれるものもある。そしてこれらの排除過程、いわゆるクリアランスは、沈着物質の化学的性質により影響される。

クリアランスの経路として、a) 血中への吸収、b) 消化管への粒子輸送（図中、上向きおよび斜め上向きの矢印）、c) リンパ組織への粒子輸送（図中、左向きの矢印）、の3経路が考えられており、これらのクリアランス過程が競合的に進行すると仮定されている。

A4. 1. 血中吸収

血中への吸収速度は、粒子の物理化学的性状のみに依存し、 ET_1 領域を除く全ての領域で同じであると仮定されている。なお、 ET_1 領域では血中吸収が起きないと仮定されている。

血中吸収は、粒子の溶解（dissolution）および溶解物質の取り込み（uptake）の2段階を経て行われ、それぞれの段階の速度定数は時間とともに変化すると仮定されている。溶解過程の時間依存性を数学的に容易に処理できるようにするために、“初期状態”にある粒子が、速度 S_p で溶解するのと競合して、速度 S_{pt} で“変換状態”に変化して行くというモデルが考え出された。そしてこの“変換状態”からは、 S_p とは別の速度 S_t で溶解が生ずるとされた。図 A3 の右側の大きいボックスは、この“変換状態”を表したものである。

取り込み過程の時間依存性は、溶解した物質のうち f_b という割合が、気道の組織等との“結合状態”に一旦留まったあと、速度 S_b で血中に取り込まれ、一方、残りの割合 $(1-f_b)$ は溶解と同時に血中に取り込まれるとモデル化されている。但し、今のところ“結合状態”に留まる割合 f_b のデフォルト値は0とされており、実際上は“結合状態”は考慮しなくともよいことになっている。図 A3 においてもこの部分は省略した。

A4. 2. 粒子輸送

粒子輸送の速度は粒子の種類によらず一定とされている。以下に粒子輸送について呼吸気道領域ごとに記述する。

ET_1 領域：この領域に沈着した粒子は、鼻をかんだり拭ったりすることで除去される。除去速度は当然のことながらケースバイケースで異なるが、作業を進めるための半減期のデフォルト値として17時間が与えられている。

ET_2 領域：沈着粒子の大部分は粘液繊毛運動によって半減期10分で咽頭へ輸送され胃腸管に飲み込まれる。ごく一部0.05% (ET_{seq}) は上皮組織の基底膜付近に長期間留まり、半減期700日でリンパ組織に輸送される。

BB 領域：気道表面は $6\ \mu\text{m}$ のゾル層の上に $5\ \mu\text{m}$ のゲル層が乗っており、ゾル層に漬かっている繊毛の運動によって、ゾル層、ゲル層が喉頭へ向かって流れているとモデル化されている。沈着粒子のうち、ゲル層 (BB_1) に分布しているものは、こうした粘液繊毛運動によって半減期100分で ET_2 領域へ輸送され、一方、ゾル層 (BB_2) に分布しているものは、非常にゆっくり（半減期23日） ET_2 領域へ輸送される。なお、沈着粒子の BB_1 と BB_2 への配分比は粒子サイズに依存すると仮定され、これを求める式が幾何学的粒子径の関数として与えられている。また、沈着粒子のごく一部0.7%は、マクロファージの層 (BB_{seq}) に分布し、半減期70日でリンパ組織に輸送される。

bb 領域：BB 領域同様、ゲル層 (bb_1 , $2\ \mu\text{m}$) とゾル層 (bb_2 , $4\ \mu\text{m}$) からなり、 bb_1 に分布する粒子は半減期8時間で、一方 bb_2 に分布する粒子は半減期23日で BB_1 へ輸送される。なお、 bb_1 と bb_2 への配分比は、上記の BB_1 と BB_2 への配分比と同じ数式を使って求める。また、沈着粒子のごく一部0.7%は、マクロファージの層 (bb_{seq}) に分布し、半減期70日でリンパ組

織に輸送される。

AI 領域：ヒトおよび実験動物の観察結果から、不溶性粒子の肺からのクリアランスは3成分の指数関数で表すことが適当と考えられ、この領域は3コンパートメントに分割された。最も速いコンパートメント (AI₁) は半減期 35 日、次に速いコンパートメント (AI₂) は半減期 700 日、最も遅いコンパートメント (AI₃) は半減期 7000 日である。また、AI₁, AI₂, AI₃ への配分比は、0.3 : 0.6 : 0.1 と仮定されている。

A4. 3. 化合物の分類

血中への吸収速度が粒子の物理化学的性状に依存することは既に述べた。パラメータ S_p , S_{pt} , S_t として、化合物に固有の

表A1 デフォルトの吸収速度 (d^{-1})

| モデルパラメータ | タイプF | タイプM | タイプS |
|----------|------|-------|--------|
| S_p | 100 | 10 | 0.1 |
| S_{pt} | 0 | 90 | 100 |
| S_t | 0 | 0.005 | 0.0001 |

値を使うことは許容されているが、信頼性の高い値が得られているものは少ない。このモデルでは、化合物固有の値を使わない場合のデフォルト値が3組勧告されている。すなわち、化合物の中で非常に早く溶解するものをタイプ F (fast の略)、中くらいの速さで溶解する化合物をタイプ M (moderate の略)、容易に溶解しない化合物をタイプ S (slow の略) とし、それぞれのタイプの S_p 等の値が表 A1 のように与えられた。そして各元素の全ての化合物を、この3つのタイプのどれかに割り付けた。表 A2 にいくつかの元素のタイプ分類を示す。化合物に固有の値を使わない、あるいは使えない場合は、実用上、こうした分類とそれぞれの分類

表A2 化合物の吸収のタイプ分類の例

| 元素 | タイプ | 化合物 |
|---------|-----|-----------------------|
| コバルト | M | 不特定の化合物 |
| | S | 酸化物、水酸化物、ハロゲン化物および硝酸塩 |
| ストロンチウム | F | 不特定の化合物 |
| | S | チタン酸ストロンチウム |
| ヨウ素 | F | 全ての化合物 |
| セシウム | F | 全ての化合物 |
| ラジウム | M | 全ての化合物 |
| トリウム | M | 不特定の化合物 |
| | S | 酸化物および水酸化物 |
| ウラン | F | 大部分の6価の化合物 |
| | M | 難溶性の化合物 |
| | S | 非常に不溶性の化合物 |
| プルトニウム | M | 不特定の化合物 |
| | S | 不溶性の酸化物 |

に与えられたパラメータ値に従ってクリアランスを記述することになる。

A5. ガスおよび蒸気

ガス状物質のあるものは、気道表面から吸収され、気道壁内部を拡散し、血液へ吸収されて体組織へ運ばれる。この過程はかなり複雑であり、ガスの性質に強く依存する。このうち気道表面からの吸収は、ガスの、表面の液体との反応性および溶解性に依存する。このモデルでは、反応性と溶解性の大きさに対応して、物質を3つのクラス (SR-0, SR-1, SR-2) に区分した。しかし、ガス状物質の等級付けに関する溶解性等の数値的基準が示されていないし、等級が示されている物質も限られており、実際の適用に当っては、ICRP は十分な情報を与えていない。取りあえず以下に現行のモデルを記述する。

SR-0 クラス (低可溶性かつ低反応性のガス)

H₂, He, N₂, SF₆のような化学作用を起こさないガスがこの例である。これらのガスに対する被ばくでは、呼吸気道内が均一ガス濃度で満たされていて、摂取されないとする。従って、このクラスのガスでは、多くの場合、半無限層の外部被ばくと考えられる。

SR-1 クラス (可溶性または反応性のガス)

可溶性および反応性の組み合わせにより、気道表面からの吸収による摂取が起き得る。O₂, H₂O, Rn 等のガスがその例である。このクラスのガスは、気道からの摂取率の情報がない場合、保守的な仮定として、100%が気道表面から摂取されると仮定されている。

SR-2 クラス (可溶性かつ反応性のガス)

SO₂, HF のような高い溶解性および反応性を示すガスがこの例である。これらは、100%が ET 領域で吸収摂取され、喉頭より深部へは侵入しないと仮定されている。

A6. 線量計算モデル

A6.1. 基本計算方式

ICRP Publication 30 (1979)において、標的組織 T の預託等価線量を、線源組織 S での 50 年間の総壊変数と、S 内で放出された放射線のエネルギーのうち T で吸収される割合 AF (Absorbed Fraction, 吸収割合) とから計算する方式が示された。Publication 66 には、α線、β線および光子について、各気道領域を線源および標的組織とする AF あるいは SAF (Specific Absorbed Fraction, 比吸収割合) が与えられており、これらを利用することができる。

A6.2. 呼吸気道の標的細胞と気道壁の幾何学モデル

このモデルでは、呼吸器全体の平均的な線量ではなく、気道領域ごとに発がんリスクを考慮すべき細胞 (cells at risk) を標的細胞として指定し、その細胞の核が分布する層の吸収線量を計算するようになっている。各気道領域の標的細胞とその気道表面からの深さを表 A3 に、また例として BB 領域の気道壁の幾何学モデルを図 A4 に示す。

しかしながら、表 A3 に示した分泌細胞と基底細胞の両者がともに同等の感受性細胞かどうかについては、現在でもまださまざまな議論があるようである。プルトニウム、ラドン娘核種等、アルファ線放出核種による線量は、アルファ線の飛程が短いので、感受性細胞の位置にとりわけ敏感である。

表A3 各気道領域の標的細胞と深さ

| 気道領域 | 標的細胞 | 核の深さ (μm) |
|-----------------|-------------|-----------|
| ET ₁ | 基底細胞 | 40-50 |
| ET ₂ | 基底細胞 | 40-50 |
| BB | 分泌細胞 | 10-40 |
| | 基底細胞 | 35-50 |
| bb | 分泌 (クララ) 細胞 | 4-12 |
| AI | 分泌 (クララ) 細胞 | 一様分布 |
| | II 型上皮細胞 | |

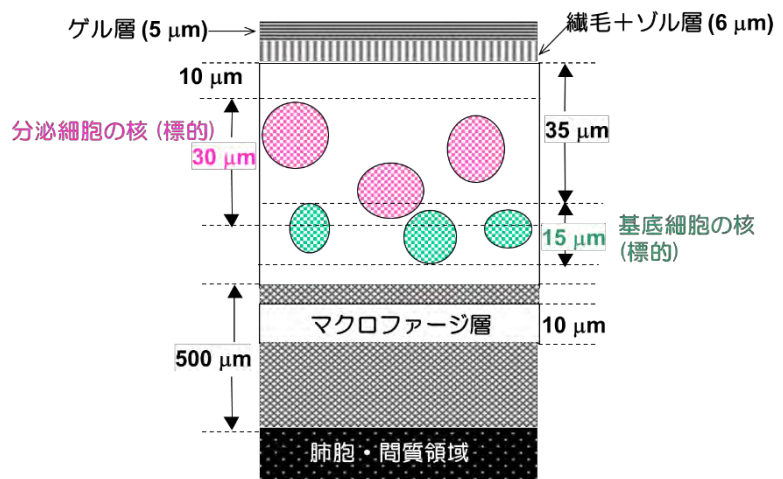


図 A4 BB 領域の気道壁の幾何学モデル

A6.3. デトリメントの気道領域間の分配

放射線感受性が気道領域により異なる可能性を考慮するため、各気道領域にそれぞれの相対的感受性に応じた比率を定め、これを各気道領域の線量に乘じ、合計することによって呼吸気道全体の預託等価線量を求めることとされた。但し、現在のところ、充分信頼にたる詳細なデータに欠けるので、BB, bb, AI の3つの領域に同じ荷重係数 0.333 ずつが与えられている。

A7. 標準パラメータ

ここまで述べたように、この呼吸気道モデルは、沈着モデル、クリアランスモデル、および線量計算モデルから構成されている。実際に線量計算を行うためには、様々なパラメータを用意する必要がある。

A7.1. 粒子性状パラメータ

この ICRP Publication 66 で勧告されている粒子性状パラメータに関するデフォルト値を以下に示す。

- 粒子の密度：3 g/cm³
- 粒子の空気力学的形状係数：1.5
- 空気力学的放射能中央径：1 μm（公衆被ばく）、5 μm（職業被ばく）
- 幾何標準偏差：2.47（公衆被ばく）、2.5（職業被ばく）

これらの値は、種々の放射性物質取扱施設において集積された多くの粒子性状データから判断されたものである。

A7.2. 解剖学的・生理学的パラメータ

前述したように、領域個々の沈着効率、粒子性状パラメータ、気道の形態計量学および、呼吸生理学的パラメータ、これら3者の関数として数式表現されている。ICRP Publication 66 で勧告されているデフォルト値を以下に示す。

(1) 解剖学的パラメータ

- 解剖学的死腔容積：50 mL (ET), 49 mL (BB), 47 mL (bb)
- 機能的残気量：3301 mL

(2) 呼吸生理パラメータ

- 一回換気量：625 mL（睡眠時）、750 mL（着席時）、1250 mL（軽い運動時）、1920 mL（強い運動時）
- 呼吸流量率：250 mL/s（睡眠時）、300 mL/s（着席時）、833 mL/s（軽い運動時）、1670 mL/s（強い運動時）

これらのデフォルト値は、コーカシアン成人男子に対し設定された値であるが、Publication 66 には、この他に、女性、15 才児、10 才児、5 才児、1 才児、3 ヶ月児の値も与えられており、公衆被ばくの評価にも使えるとしている。

付録 B 胃腸管モデル(Publication 30)とヒト消化管モデル(Publication 100)

B1. はじめに

消化管へは、放射性物質を含む飲料あるいは食物の経口摂取により直接到達するか、あるいは呼吸気道に沈着した放射性物質が喉頭の方へ運ばれ、消化管へと飲み込まれることにより到達する。これらの放射性物質の消化管における動態、及び線量算定に関するモデルが ICRP により提示されている。

現行法令が準拠している ICRP Publication 30 の胃腸管モデルが提示されたのは 1979 年とかなり古い。ICRP は、その後の様々な新しい知見を取り入れた消化管モデルの開発に着手し、2006 年に全面的に改定されたヒト消化管モデルを Publication 100 (2006) に掲載した。この消化管モデル、Human Alimentary Tract Model(HATM)は、現在 ICRP により進められている実効線量係数の改訂作業で使われている。

本稿では、現行法令が準拠し、MONDAL3 でも使われている ICRP Publication 30 の胃腸管モデル、及び Publication 100 のヒト消化管モデルについて、その概要を紹介する。

B2. Publication 30 の胃腸管モデル

実効線量係数の導出に使われている Publication 30 の胃腸管モデルを図 B1 に示す。同図に示した数値は、放射性物質が各コンパートメントに滞留する平均期間[h]である。この数値の単位を day に変換し、その逆数をとると次のコンパートメントへの移行係数[d⁻¹]となる。放射性物質の血中への吸収は小腸でのみ起きると仮定されている。血中吸収は小腸→大腸上部への移行と競合して起きるので、血中への移行係数 λ_B は吸収割合 f_1 と大腸上部への移行係数 λ_{ST} とから次式により求められる。

$$\lambda_B = \frac{f_1 \lambda_{ST}}{(1 - f_1)}$$

上式において、 f_1 が 1、すなわち 100%吸収される場合には、 $f_1=0.99$ として計算される。

具体的な情報が得られない場合の f_1 のデフォルト値が様々な元素について ICRP により与えられている。例えば、H, C, K, I, Cs などには 1 が、Ca, Sr, Te などには 0.3 が与えられている。Pu では、不特定の化合物 5.0×10^{-4} 、硝酸塩 1.0×10^{-4} 、不溶性酸化物 1.0×10^{-5} というように化合物の種類により異なった f_1 が与えられている。

このモデルでは、消化管の各区分の粘膜層の線量が計算される。消化管の内容物から放出された放射線の粘膜層に対する比吸収割合(SAF)は、X 線、 γ 線等の透過性放射線と α 線、 β 線等の非透過性放射線とについて別々の方法で計算されている。前者には、数式ファントムによるモンテカルロシミュレーションが、後者には次式が用いられた。

$$SAF = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{M_T} \cdot \nu$$

ここで、 M_T は内容物の質量、 ν は放射線が粘膜を透過する程度を表す 0 と 1 の間の係数である。係数 1/2 は、非透過性放射線の場合、内容物の表面における線量が内容物の体積内の線量のほぼ 1/2 であるという理由で導入されている。 ν は、 α 粒子については一律に 0.01、 β 線に

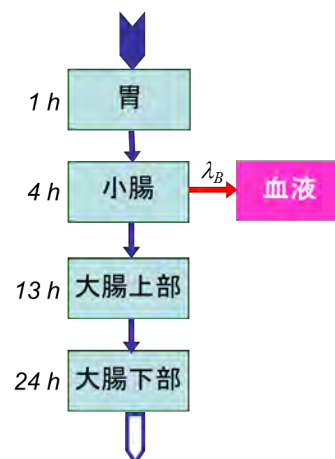


図 B1 ICRP Publication 30 の胃腸管モデル

については一律に1とされている。

B3. Publication 100 のヒト消化管モデル

Publication 30 のモデルでは、経口摂取された、あるいは呼吸気道から消化管へと排出された放射性物質は直接胃に飲み込まれ、その後、胃から小腸、大腸上部、大腸下部を経て糞便中に排泄される。各消化管腔を通過する速さは成人男女、小児、幼児を問わず一律に仮定されている。我が国の現行法令が準拠している 1990 年勧告において、それ以前は一括して“残りの組織”に分類されていた食道、胃、結腸に対し、個別に組織加重係数が割り当てられた。このことにより、各消化管の線量をより詳しく評価する必要性が生じた。しかし、その目的のためには、Publication 30 モデルは、食道が含まれていないなど単純化され過ぎていた。また、チェルノブイリ事故以降、種々年齢で構成される公衆に対しても、内部被ばく線量評価の要求が高まった。Publication 30 のモデルは、もともとは成人作業員の線量評価に用いることを目的とするものであった。ICRP は、1990 年勧告との整合を図り、また呼吸気道モデル等と水準を揃える必要性から、公衆の全構成員に適用できる本格的な消化管モデルの開発を図ったものと推察される。Publication 100 のヒト消化管モデル(HATM)の構造を図 B2 に示した。

B3.1. 物質の消化管通過

Publication 30 モデルにおいて、放射性物質の消化管通過時間の決定は、バリウム検査からの臨床情報にその多くを負い、また、 ^{59}Fe あるいは ^{140}La 標識化合物を用いた実験研究が参考にされた。それらのデータは、各消化管腔の滞留時間が 25~120 分 (胃)、1~7 時間 (小腸)、6~22 時間 (大腸上部)、15~72 時間 (大腸下部) を示しており、これらのデータから、B2 章で述べたように、平均滞留時間を 1 h (胃)、4 h (小腸)、13 h (大腸上部)、24 h (大腸下部) と決定している。

Publication 30 モデルの開発以降、非侵襲的なシンチグラフィ手技を用いることによって、放射性物質の消化管通過に関する多くのデータが得られるようになった。それらのデータには、摂取物が固体か液体かによる相違、年齢や性別による相違、また病気の影響が含まれている。これらの新しいデータが、HATM において、年齢依存性の、また、性に特異的な消化管通過時間の決定に用いられた。

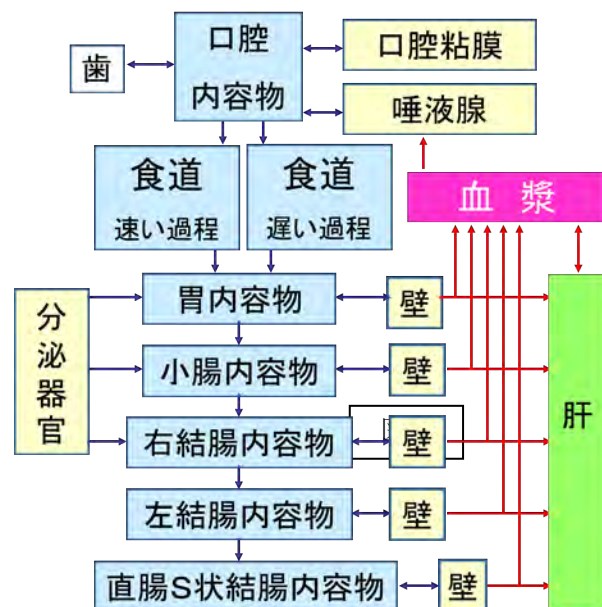


図 B2 ICRP Publication 100 のヒト消化管モデル(HATM)

B3.2. 消化管組織内部での滞留

Publication 30 モデルにおいて、小腸内容物から血中への吸収に際し、消化管組織内部の通過や組織内部での滞留は考慮されていない。つまり、放射性物質が消化管腔を通過する際の線量は、内容物に一樣に分布する放射性核種のみ起因すると仮定されている。近年、放射性物質の中には、小腸の組織内部に滞留し、局所線量に大きく寄与するもののあることが示された。また、哺乳類における出生直後の血中吸収の亢進が小腸の組織内部での滞留に関係していることが明らかとなった。放射性物質の口腔組織における滞留も報告されている。これらの新しい知見を考慮し、限られた場合のみではあるが、HATM では、組織内部に滞留する放射性物質が

らの線量が計算できるようにされた。

B3. 3. 小腸以外の消化管からの血中吸収

多くの放射性物質は、血中への吸収は小腸において生ずる。しかし、他の消化管領域からも血中へ吸収されるものがあることが分かってきた。例えば、ヨウ素は小腸とともに胃からも吸収される。HATM では、小腸以外にも口腔、胃、大腸からの吸収を扱うことができる。但し、種々領域からの吸収に関するデータは限られたものしかなく、多くの放射性物質において、従来通り血中吸収は小腸のみから生ずると仮定されている。

B3. 4. 感受性細胞の線量計算

付録 A で述べたように呼吸気道モデルにおいては、気道領域ごとに発がんリスクを考慮すべき細胞が標的細胞として定められ、その細胞が分布する層の線量が計算されるようになっている。それに対し、Publication 30 の胃腸管モデルでは、B2 節で述べたように、感受性細胞に関する記述は無く、線量の計算は胃腸管各領域の粘膜層について行われる。HATM には、小腸クリプトの幹細胞のようなリスクを考慮すべき細胞群の特異的な配置に関するたいへん詳細な幾何学モデルが組み込まれている。大きな進歩として、呼吸気道モデル同様、上皮組織における感受性幹細胞の位置が定められ、その細胞が分布する層の線量が計算されるようになった。

B4. 胃腸管モデル(Publication 30)とヒト消化管モデル(Publication 100)との比較

参考までに、図 B3 に、それぞれのモデルで計算された糞便中排泄率を示す。

Publication 100 には、女性に対する消化管通過時間のデフォルト値も与えられている。毎日の排泄率には、モデル間、男女間で差がみられ、特に、女性は男性よりもやや遅れて排泄される。しかし、便排泄は、個人間、また同一個人内でも変動が大きいので、摂取が疑われたときは、通常、数日間の糞便が採取・分析される。数日間の合計の排泄率には、モデル間、男女間で殆ど差がみられない。

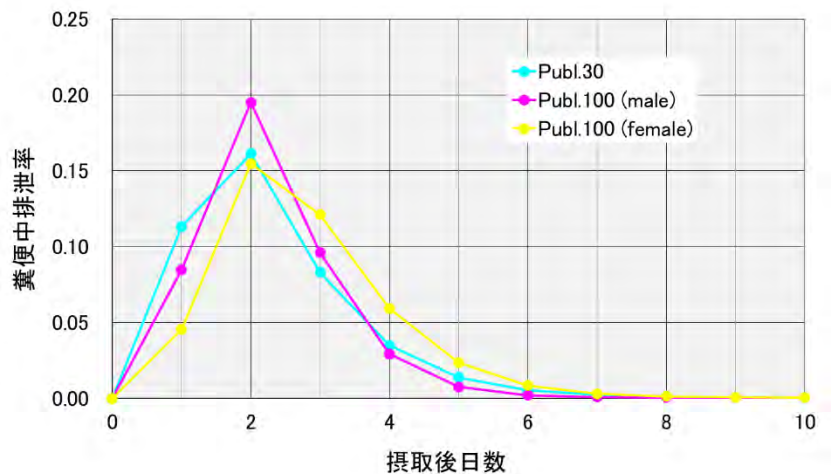


図 B3 ^{90}Sr (Type S, $5\mu\text{m}$) の吸入に対する糞便中排泄率

付録 C 組織系動態モデル

C1. はじめに

吸入あるいは経口摂取された放射性物質のうちある割合のものは血液に吸収される。血液に吸収された放射性核種のプールとしての細胞外液は通過コンパートメントと呼ばれる。このコンパートメントから放射性核種が組織へ移行しあるいは組織から還流しつつ体内に分布・再分布し、また腎臓、胃腸管等を通じて体外へと排泄される。通過コンパートメント内の放射性核種は全身に均等に分布すると仮定されている。またこのコンパートメントからの消失の半減期として、指定がない場合 0.25 日の値を使うことが推奨されている。こうした血液に吸収された放射性核種が組織に移行し排泄される過程を記述したモデルは組織系動態モデルと呼ばれる。

本稿では、現行法令が準拠し、MONDAL3 でも使われている組織系動態モデルのうち、シナリオ 1~6 で対象とした元素について、その概要を紹介する。

C2. 鉄の組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 69 (1995)に記載されたモデルである。(図 C1)。

鉄の代謝については比較的多くの研究が行われており、これらの知見と矛盾しないようにモデルが作られている。

血液循環に入った鉄は血漿トランスフェリンと結合し、その 2/3 が赤色骨髄に移行する。さらにそのうちの 3/4 が赤血球のヘモグロビンと結合して血液循環の流れに入り、120 日という寿命の後、赤血球の分解とともに放出される。赤色骨髄に移行しないもの、すなわち血漿鉄のうち 1/3 は肝臓と代謝回転の速い軟組織に移行し、そこで鉄の交換が行われる。

赤血球の分解により放出された鉄は、肝臓、骨髄、脾臓に蓄えられる。鉄の人体からの消失は、胃腸管系統、皮膚、あるいは尿排泄経路で起こり、その比率は、6 : 3 : 1 と仮定されている。

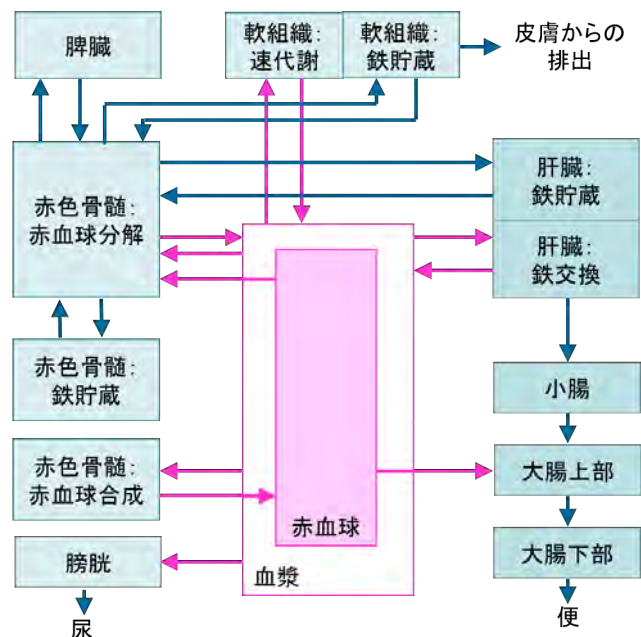


図 C1 鉄の組織系動態モデル

C3. コバルトの組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 69 に記載されたモデルである。(図 C2)。

血液に吸収されたコバルトは、生物学的半減期 0.5 日で血液中から消失する。このとき、50%が直接排泄経路へ、5%が肝臓へ、そして残る 45%がその他のすべての組織へ移行する。肝臓及び他の組織へ移行したコバルトは、その生物学的半減期（以降、単に半減期と記す）によって 3 成分に分けられる。0.6 の割合は半減期 6 日、0.2 は 60 日、残る 0.2

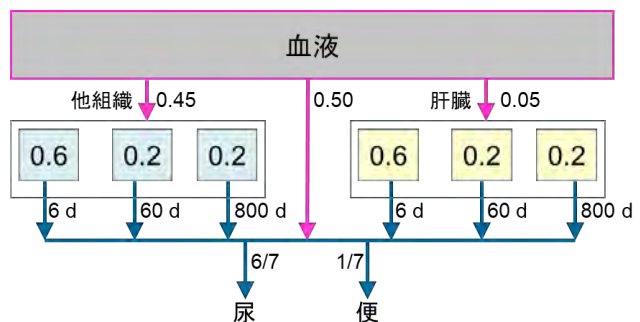


図 C2 コバルトの組織系動態モデル

は 800 日の半減期で排泄される。尿中及び便中に排泄される割合は、6 : 1 と仮定されている。

C4. ヨウ素の組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 56 (1989)に記載されたモデルである。(図 C3)。

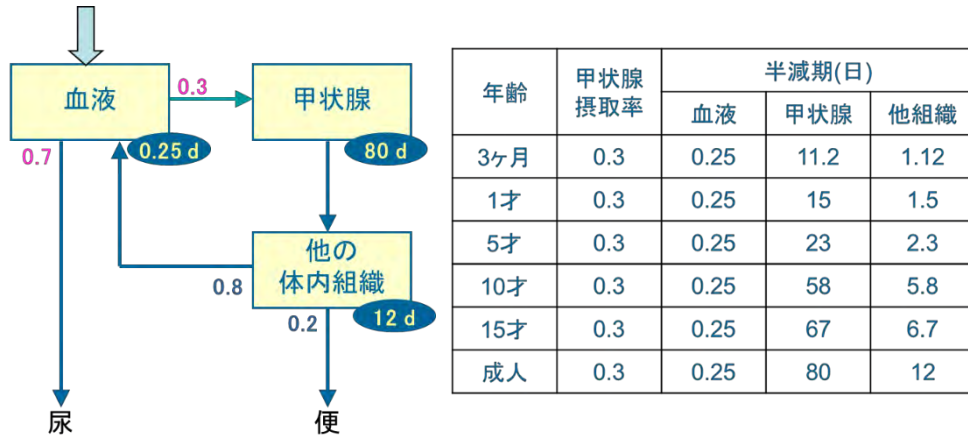


図 C3 ヨウ素の組織系動態モデル

血液に吸収されたヨウ素は、半減期 0.25 日で血液中から消失する。このとき、年齢によらず、70%が直接尿中排泄経路へ、30%が甲状腺へ移行する。甲状腺に移行したヨウ素は甲状腺ホルモンの合成に利用され、甲状腺ホルモンの構成成分として他の体内組織へと運ばれる。この時の半減期は、図 C3 中の表に示したように年齢が若いほど短く、例えば、5 才で 23 日、10 才で 58 日、成人では 80 日とされている。体内組織に運ばれたヨウ素の 20%は無機ヨウ素に解離されて血液循環に入り、そのうちの 70%が直接尿中排泄経路へ、30%が甲状腺へ移行し、甲状腺ホルモンの合成に再利用される。他の体内組織の半減期は、図 C3 に示したように年齢が若いほど短い。以上のように、ヨウ素に対しては、再循環されるモデルが使われている。

C5. セシウム の組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 56 に記載されたモデルである。(図 C4)。

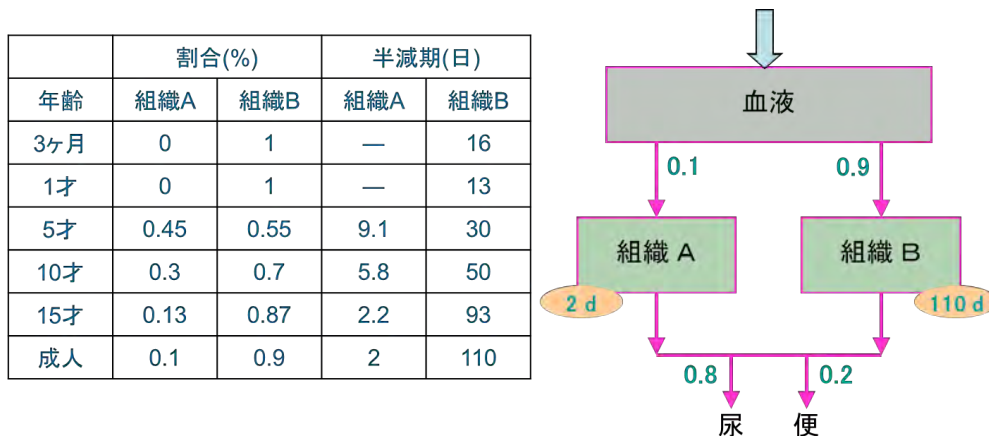


図 C4 セシウムの組織系動態モデル

血液に吸収されたセシウムは、カリウムと類似の挙動を示す。筋肉の濃度が他の組織よりも高いという研究報告があるが、全身の組織間の濃度差は比較的小さく、線量評価の目的には、セシウムは全身に均等に分布すると仮定されている。

セシウムの体内からの排出は、速い成分、遅い成分の 2 つの指数関数の和で表されている。速い成分の排出は、主に腎臓に集積したセシウムの尿中排泄に対応しており、遅い成分は、筋肉その他の組織に沈着したセシウムの、徐々に進行する尿中排泄に対応している。

速い成分、遅い成分それぞれのコンパートメントへの移行割合、及びそれぞれのコンパートメントの半減期が図 C4 中の表のように与えられている。年齢が若いほどセシウムの排出速度が速く、新生児を除き速い成分の割合が増加することを示す証拠がいくつかある。図 C4 中の表の年齢依存性パラメータ値は Publication 56 が刊行された当時の全身のカリウム量の年齢依存性等のデータに基づき求められたものである。

C6. ウランの組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 69 (1995)に記載されたモデルである。(図 C5)。

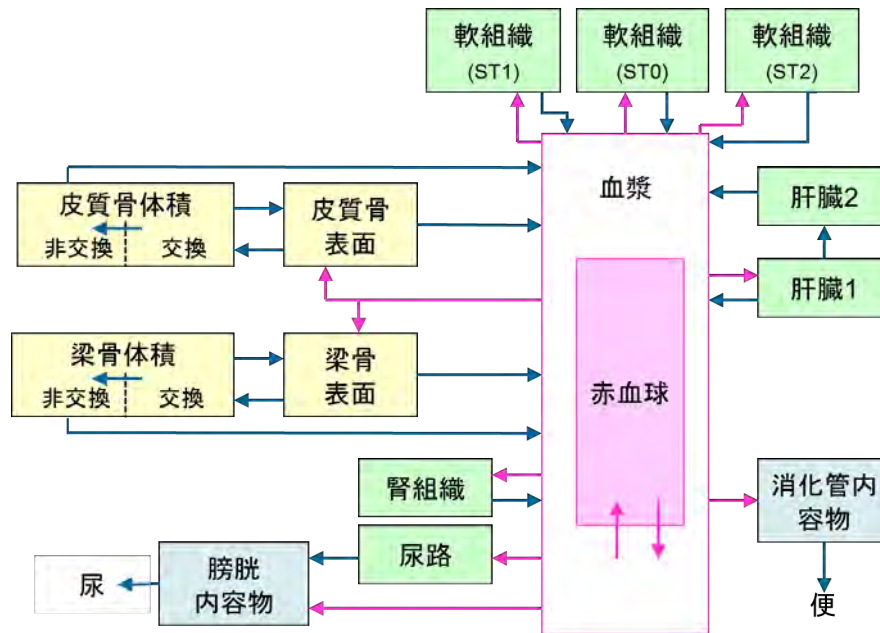


図 C5 ウランの組織系動態モデル

ウランの血漿からの消失の半減期は 0.02 日と仮定されている。血漿中のウランの 30%は、血漿との速い交換を行う軟組織の部分 ST0 へ移行する。残り 70%のうちの 63% (すなわち血漿中ウランの 41%) は膀胱に移行し尿中へと排泄される。以下では、移行割合を、血漿中ウランのうち ST0 へ移行する割合を除く 70%分を 100 とする百分率で表す。

(イ) 骨格における代謝；骨格は梁骨と皮質骨とに分けられる。骨表面へ 15%が移行する。梁骨と皮質骨への沈着率の比は 1.25 : 1 である。骨表面の半減期は 5 日であり、1/2 は骨体積(交換)へ移行し、1/2 は血漿に戻る。骨体積(交換)の半減期は 30 日で、3/4 は骨表面に戻り、1/4 は骨体積(非交換)へと移行する。骨体積(非交換)から血漿へ戻る半減期は、梁骨で約 4 年、皮質骨では 23 年と長い。

(ロ) 肝臓における代謝；肝臓は 2 コンパートメントから成ると仮定されている。血漿から Liver 1 へ 1.5%が移行する。Liver 1 からは、そのうちの 93%が血漿へ戻り、7%が Liver 2 へ移行する。その半減期は 7 日である。Liver 2 からは半減期 10 年で血漿へ戻る。

(ハ) 軟組織における代謝；軟組織は、ST0 の他に中間の代謝回転の部分(ST1)、遅い代謝回転の部分(ST2)に分けられている。ST1 へは、6.65%が移行し、半減期 20 日で血漿に戻る。ST2 へは 0.3%が移行し、半減期 100 年で血漿に戻る。

07. プルトニウムの組織系動態モデル

現行法令が準拠しているのは、ICRP Publication 67 (1993)に記載されたモデルである。(図 C6)。

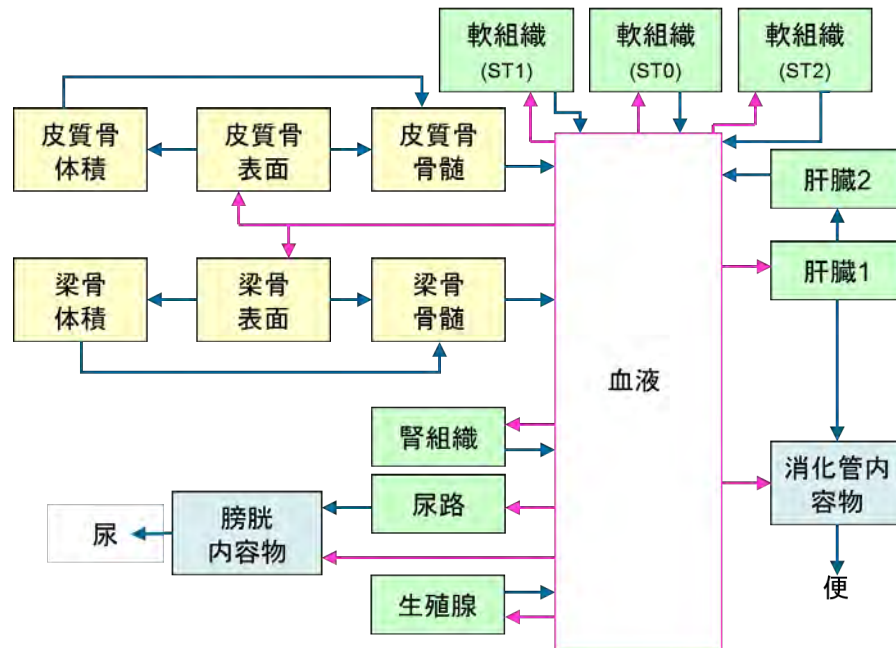


図 C6 プルトニウムの組織系動態モデル

血液に吸収されたプルトニウムは、生物学的半減期 0.75 日で血液中から消失する。主な移行先の組織は、骨格(35%)、肝臓(21%)、軟組織(40%)、生殖腺(0.035%)である。

(イ) 骨格における代謝；骨格は梁骨と皮質骨とに分けられる。さらにそれぞれが骨表面、骨体積、骨髄に分けられている。血液を離れたプルトニウムのうち、21%が梁骨表面に、14%が皮質骨表面に沈着する。骨表面のプルトニウムはその 2/3 が骨再吸収によって骨髄へ移行し、1/3 が骨形成に伴い骨体積へ埋め込まれてゆく。埋め込まれたプルトニウムも骨再吸収によって次第に骨髄へと移行する。このように、骨表面に沈着したプルトニウムは骨髄を経て血液へ戻り、再び体内の組織に再配分される。

(ロ) 肝臓における代謝；肝臓は、胆汁分泌経路で比較的速く消化管へと排出される Liver 1 と長期間残留する Liver 2 の 2 コンパートメントに分けられている。血液から離れたプルトニウムのうち 21%が Liver 1 へ移行する。そのうちの 7%が胆汁の分泌と共に小腸へ排出され、便中に排泄される。残りの 93%は Liver 2 へ移行する。Liver 2 からは生物学的半減期 9 年で血液へ戻る。

(ハ) 軟組織における代謝；軟組織は、速い代謝回転の部分(ST0)、中間の代謝回転(ST1)の部分、遅い代謝回転(ST2)の部分の 3 コンパートメントに分けられている。血液から離れたプルトニウムのうち、30%が ST0 に、12.5%が ST1 に、2%が ST2 へ移行する。ST0 は細胞外液を含むプルトニウムのプールであり、数時間から数日のオーダーで血液とプルトニウムの交換を行っている。ST1 と ST2 は、特定のコンパートメントとしてはモデルに明示されていない軟組織の部分であり、このうち 2 年までの残留を示す部分を ST1、それ以上の残留を示す部分を ST2 としている。

参考文献

- ICRP : ICRP Publication 30 Part 1 “Limits for Intakes of Radionuclides by Workers”, Ann. ICRP 2(3/4), 1979.
- ICRP : ICRP Publication 56 “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides: Part 1”. Ann. ICRP 20(2), 1989.
- ICRP : ICRP Publication 66 “Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection”. Ann. ICRP 24(1-3), 1994.
- ICRP : ICRP Publication 67 “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides: Part 2 Ingestion Dose Coefficients”. Ann. ICRP 23(3/4), 1993.
- ICRP : ICRP Publication 69 “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides: Part 3 Ingestion Dose Coefficients”. Ann. ICRP 25(1), 1995.
- ICRP : ICRP Publication 71 “Age-dependent Doses to Members of the Public from Intakes of Radionuclides: Part 4 Inhalation Dose Coefficients”. Ann. ICRP 25(3/4), 1995.
- ICRP : ICRP Publication 78 “Individual Monitoring for Internal Exposure for Workers”. Ann. ICRP 27(3/4), 1997.
- ICRP : ICRP Publication 100 “Human Alimentary Tract Model for Radiological Protection”. Ann. ICRP 36(1-2), 2006.
- ICRP : ICRP Publication 130 “Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1”. Ann. ICRP 44(2), 2015.
- Ishigure, N., Matsumoto, M., Nakano, T., Enomoto, H. : “Development of Software for Internal Dose Calculation from Bioassay Measurements”. Radiat. Prot. Dosim., 109, 235-242, 2004.
- 石樽信人 : 内部被ばくの防護に用いられる線量. RADIOISOTOPES, 62, 465-492, 2013.

平成 30 年度放射線対策委託費
(放射線安全規制研究戦略的推進事業費)
放射線安全規制研究推進事業

包括的被ばく医療の体制構築に関する調査研究

成果報告書

別添資料 3

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
放射線医学総合研究所 被ばく医療センター

医療機関での 被ばく医療と放射線防護

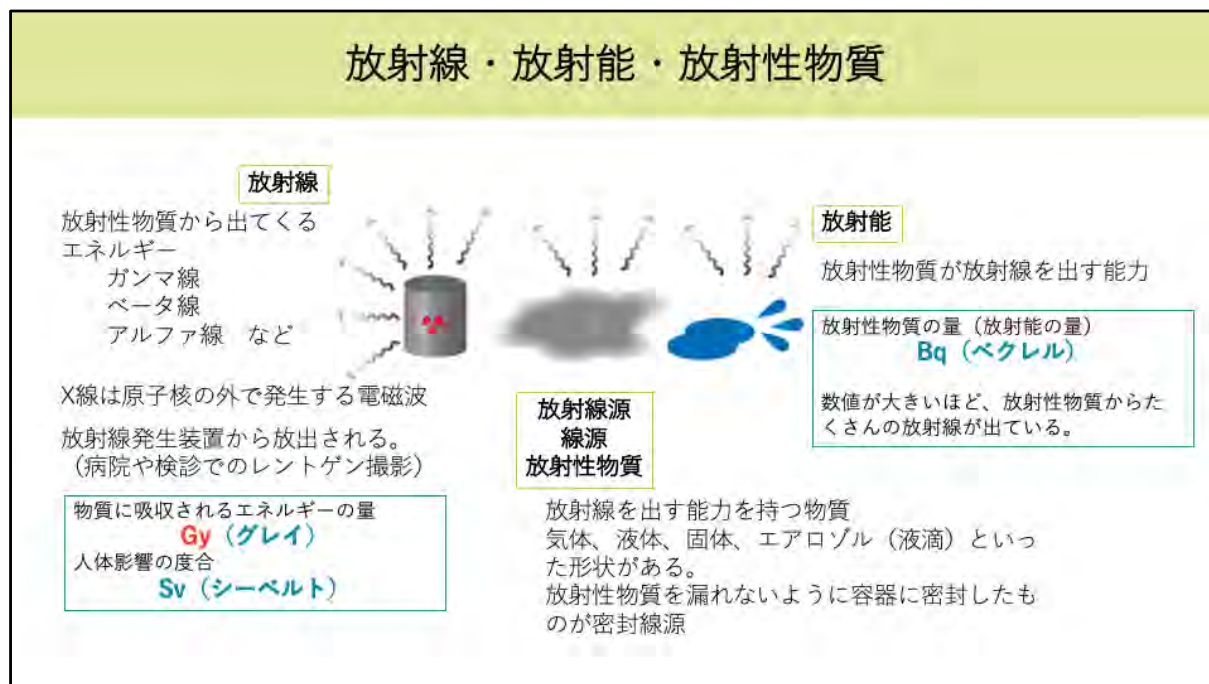
放射線事故医療対応

時間；45分

内容

- 放射線・放射能・放射性物質
- 被ばくと汚染
- 放射線の人体影響
- 外部被ばく、内部被ばく、体表面汚染への対策
- 放射線テロ・災害の種類
- 被ばく医療の概要
- 被ばく医療の実践

放射線・放射能・放射性物質



放射線とは、放射性物質から出てくるエネルギーです。種類としては、高いエネルギーを持つ電磁波のガンマ線、エックス線と高速で動く粒子線のアルファ線、ベータ線などがあります。中性子線は、電荷を持たない放射線です。放射線は原子核が不安定な状態から安定な状態に変化(壊変)するときに出されたり、原子核以外では発生装置からも放出されます。

原子は原子核とその周りを回る電子から構成されており、原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されています。原子核がエネルギー的に不安定な場合、安定になるうとして放射線を放出します。原子核から放射線を出すことを壊変といい、壊変は大きく分けると α (アルファ)壊変と β (ベータ)壊変があります。



放射線は五感で感じることはできませんが、測定器で検知、計測ができます。

放射性物質とは、放射線を出す物質のことです。形状としては気体、液体、固体などがあります。放射性物質を放射線源ということもあります。

放射性物質が放射線を出す能力のことを放射能といいます。放射能の単位はBq(ベクレル)であり、数値が大きいほど放射性物質からたくさんの放射線が出ていることとなります。

また、放射線の強さを放射線による人体への影響の度合いで表す単位がSv(シーベルト)となります。

放射線被ばくと汚染

| 被ばく | 汚染 |
|---|--|
| <p>放射線をあびること</p>  <p>放射線源 全身被ばく 局所被ばく 吸入摂取 経口摂取 経皮（創傷）吸収 外部被ばく 内部被ばく</p> <p>外部被ばくとは、放射性物質（線源）から放出される放射線を体の外から浴びること。 被ばく後、身体には放射線は残らない。 ・ 全身被ばく；全身あるいは体幹部に被ばくした場合 ・ 局所被ばく；体の一部分が被ばくした場合</p> <p>内部被ばくとは、身体に取り込んだ（吸入、摂食）放射性物質からの放射線を体内で浴びること。</p> | <p>放射性物質が付着すること</p>  <p>放射性物質が皮膚や衣類に付着すること。 汚染に接触すると汚染は広がる = 汚染拡大</p> <p>噴霧、放出された放射性物質を吸入すると内部被ばくにつながる。同時に頭部、顔面の汚染も存在する 경우가多い。</p> |

放射線を浴びる事を放射線被ばくと言います。

体の外から放射線を浴びるのが外部被ばく、放射性物質を体内に取り込んで体の中から放射線を浴びることが内部被ばくです。

外部被ばくには、全身あるいは体幹部の重要な臓器の大部分を被ばくする全身被ばくと、手指や四肢の一部など身体の一部だけを被ばくする局所被ばくがあります。局所被ばくでは、被ばくした部分の皮膚や骨の影響が現れます。

内部被ばくには、吸入摂取、経口摂取、経皮（創傷）吸収の3つの経路があります。

放射性物質が体の表面や衣服等に付着した状態が汚染です。頭部や顔面に体表面汚染がある場合は、噴霧あるいは放出された放射性物質を吸入したり、放射性物質が浮遊していた空間に滞在していた可能性があるため、内部被ばくの可能性も考えます。

体表面汚染のある部位からは、放射線を検知できますが、局所被ばくの症状が出現するほどの被ばくは通常はありません。ただし、とてもエネルギーが高い放射性物質が高濃度に付着した場合は、皮膚障害が出現することもあります。表面汚染がある人から、周囲の人が外部被ばくするのはとても低いレベルです。

汚染に接触すると接触した手などに放射性物質が付着します。放射性物質が付着した手などで別の場所、部位を触ると放射性物質が触った場所、部位に新たに付着して汚染拡大するため、注意が必要です。

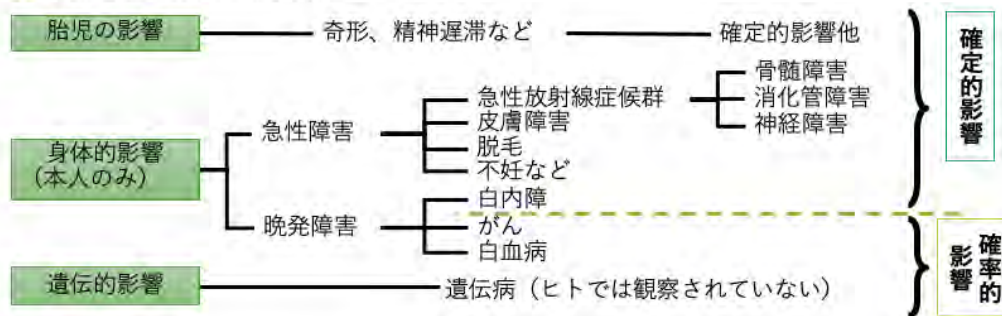
放射線の人体への影響

❖ 急性障害

- ◇ 急性放射線症候群：全身に短時間で1Gy以上の線量を被ばくしたときに生じる
- ◇ 放射線熱傷：放射線による皮膚障害、体の一部分の被ばくでも生じる

❖ 晩発障害

- ◇ 白内障：数年～十数年後に現れる目の症状
- ◇ 悪性腫瘍：がんや白血病など



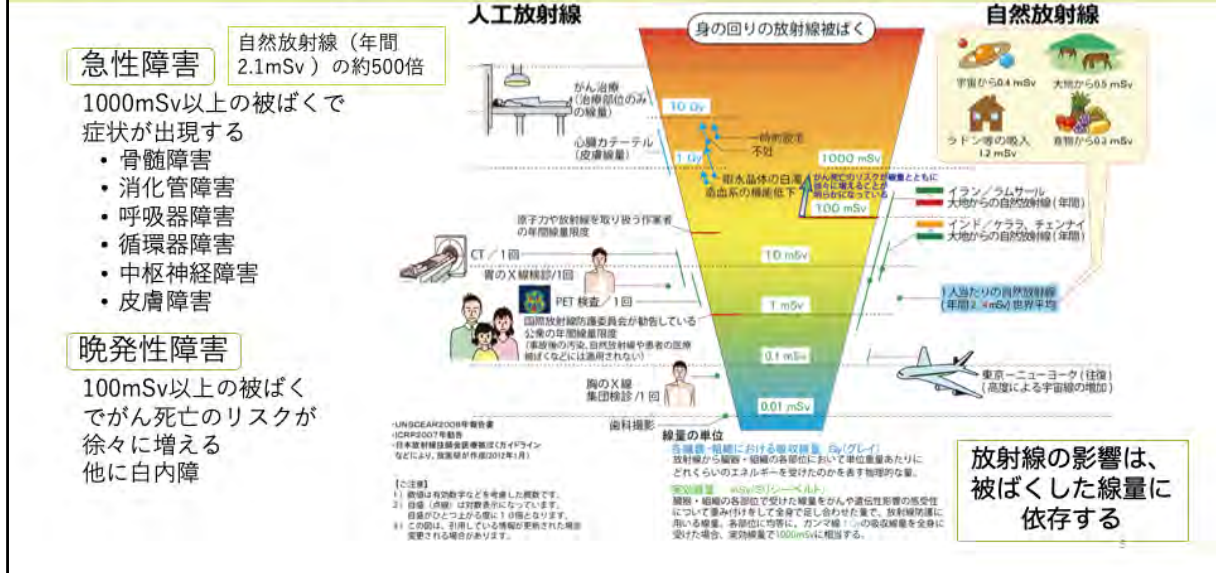
放射線の人体への影響は、医学的な観点から被ばくした本人に現れる身体的影響と被ばくした人の子孫に現れる遺伝的影響があります。遺伝的影響は人では観察されていません。

身体的影響は、被ばくした本人の体に症状が現れる時期によって急性障害と晩発障害に分けられます。急性障害は、被ばくして数週間以内に現れる症状で、全身に短時間で1 Gy以上の線量を被ばくした時には、骨髄障害、消化管障害、神経障害などの全身の症状が現れます。これを急性放射線症候群といいます。また、体の一部分だけを被ばくする事を局所被ばくといい、高線量の局所被ばくをした場合は、皮膚の障害として、熱傷のような症状が現れます。

被ばく後数年から数十年経ってから現れる症状を晩発障害といいます。晩発障害には、白内障、がん、白血病などがあります。

母親の胎内にいた時に被ばくした場合は、胎児の影響があり、奇形や精神遅滞などが現れます。

身の回りの放射線被ばくと影響



放射線の影響は、被ばくした線量に依存します。
身の回りの放射線被ばくの線量と影響を図にまとめたものを示します。

放射線による外部被ばく対策



- ❖ 放射線を体の外から浴びる
- ❖ 一度に大量に浴びると危険 ⇒急性障害
- ❖ 放射線災害では、ガンマ線（ γ 線）に注意
- ❖ **空間線量率**で危険性を把握



- ❖ **個人線量計**で被ばく管理
 - ◇ 活動中の被ばく線量の測定
 - ◇ 被ばく線量限度と警報値の設定
- ❖ 浴びてしまったら、なかったことにはできない



外部被ばくとは、放射線を身体の外から浴びることで、一度に大量の放射線を浴びると急性障害を発症し、危険です。

放射線事故、災害、テロの対応では、ガンマ線に注意し、空間線量率を測定して、その場所の危険性を把握します。また、外部被ばくは個人線量計で管理します。外部被ばくは被ばく時間を短くする、または線源から離れる、もしくは遮蔽することで、被ばく線量を抑えることができます。しかし、放射線を外部被ばくした場合、浴びてしまった放射線量を減らすことはできません。

線量限度

一般職国家公務員の被ばく線量限度と健康管理は、人事院規則10-5「職員の放射線障害の防止」（昭和38年9月25日）に基づいて実施される。
 災害・テロ対処では、放射線被ばくが“0”（ゼロ）は、ありえない。そのため線量限度が設定されている。

| 区 分 | 実効線量限度 | 等価線量限度 |
|-------|--|---|
| 国家公務員 | 100 mSv/5年 (50mSv/年) 女子 5mSv/3月 妊娠中の女子（出産までの内部被ばく） 1mSv | 水晶体：150mSv/年 皮膚：500mSv/年 妊娠中の女子（出産までの腹部表面） 2mSv |
| | 緊急作業：100mSv | 水晶体：300mSv 皮膚：1Sv |
| 一般公衆 | 1mSv/年 | 水晶体：15mSv/年 皮膚：50mSv/年 |

ICRPの放射線防護の考え方及びその勧告に基づき、放射線障害の防止に関する法令で放射線を職業的に扱う人（放射線業務従事者）に対し、線量限度を定めています。国家公務員の場合は、人事院規則10-5（職員の放射線障害の防止）で被ばく線量限度が定められています。また、放射線業務従事者である個人の線量のほか、公衆に対する線量の寄与を把握するため、事業所の境界や、放射線を取り扱う管理区域の境界など、場所についての線量も定められています。

放射線業務従事者の線量限度は、男性では1年間で50mSv、5年間で100mSv、女性の場合は、3ヶ月で5mSvと定められています。人命救助などの緊急作業では100mSvです。一般公衆の線量限度は、1年間で1mSvです。

原子力災害や放射線事故、災害の現場活動では、被ばくを“0（ゼロ）”とすることはできません。このため、線量限度を越えないように活動計画では被ばく線量を管理しなければなりません。また、無用な被ばくをしないように対処することも重要です。

外部被ばくの防護三原則



時間

作業時間を短くする。

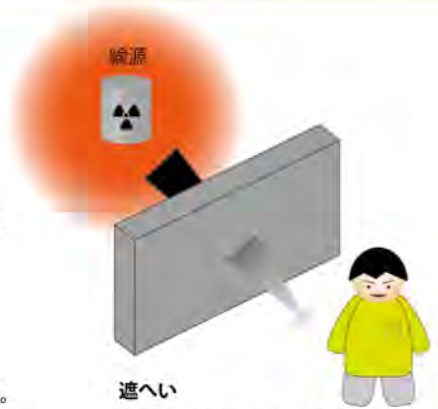
被ばく線量は時間とともに増えます。被ばく時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。



距離

線源からできるだけ離れる。

放射線の強さは遠くに離れると弱くなり、線量は距離の2乗に反比例して減ります。



遮へい

線源と人の間に遮へい体を置く。

物体を間に置くと放射線を弱めてくれます。建物の壁などは遮へい体になり、空間線量率が低くなります。

外部被ばく防護のポイントは「時間」「距離」「遮へい」です。被ばくする時間を短くする、放射線源からの距離をとる、放射線を遮へいすることで、被ばく線量が低減できます。

放射線にさらされる活動時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。

放射線は、放射線源からの距離の二乗に反比例して減少します。そのため放射線源からの距離をとることで被ばく線量を少なくすることができます。逆に、放射線源からの距離が半分の位置(1/2の距離)に近づくと放射線量は元の位置の4倍になり、急激に空間線量が上昇することになるため、特に危険区域での活動時には注意が必要です。

放射線源との間に遮へい物があると放射線量は減少します。コンクリートの壁、鉄や鉛の金属の板などがあれば、遮へい材として使用できます。放射線源の位置、形状が明確であれば、鉛のブロックなどで線源を囲むことによって周辺の空間線量率を低減することもできます。

放射性物質による内部被ばく対策



吸入摂取
経口摂取
経皮（創傷）吸収


- ❖ 放射性物質を体内に取り込んで被ばく
- ❖ 急性障害はない
 - ◇ 線量評価は、体の中に取り込んだ放射性物質の量から今後50年間で被ばくする量
 - ◇ 体外計測、バイオアッセイで評価
- ❖ 頭部・顔面に汚染があれば内部被ばくを疑う
 - ◇ 表面汚染検査で可能性をチェック
 - ◇ 鼻腔スワブ
- ❖ 体内に取り込まないように呼吸保護



空気呼吸器




全面マスクフィルタ
(吸収缶)




半面マスクフィルタ
(吸収缶)

放射性物質の浮遊がある／疑われる



使い捨て防じんマスク
(N95マスク)



サージカルマスク

汚染対応（汚染検査、搬送など）

内部被ばくは、放射性物質を吸入したり、経口摂取して体内に取り込んで被ばくすることである。内部被ばくは、放射性物質が体内に存在している間は、被ばくし続けることになるが、一度に被ばくすることではないため、急性の症状が出ることはほとんどない。

また、頭部や顔面に汚染がある場合は、放射性物質が浮遊した空間を移動して呼吸によって放射性物質を吸入した可能性がある。そのため、表面汚染検査、鼻腔スワブの検査で内部被ばくの可能性を確認する。

内部被ばくの防護は、呼吸保護をする。

放射性物質による表面汚染対策



汚染の濃度が極端に高くない限り、全身または皮膚の被ばくの症状は出ない

- ❖ 放射性物質が体表面、衣服等に付着した状態
- ❖ 表面汚染では危険な外部被ばくはしない
- ❖ 浮遊した放射性物質による内部被ばくに注意
- ❖ 放射線災害で汚染があれば汚染拡大防止
 - ◇ 養生
 - ◇ 汚染検査
- ❖ **表面汚染計**で測定
- ❖ **防護服**で皮膚、衣類への付着を防止
 - ◇ **防護服で外部被ばくは防護できない**



タイベックスーツ

ゴーグル
マスク

ゴム手袋
(二重)
目張り

靴カバー

放射性物質が体表面、衣服、資機材等に付着した状態が表面汚染です。体表面の汚染からの放射線は、それほど強くないため、危険な外部被ばくはしません。

放射線災害で汚染が関与していれば、汚染拡大防止を行います。そのためには表面汚染系で汚染の程度を測定し、防護服で皮膚、衣類等への付着を防止します。

防護服は、タイベックスーツの他に、アイソレーションガウンなどを使用しても良いです。

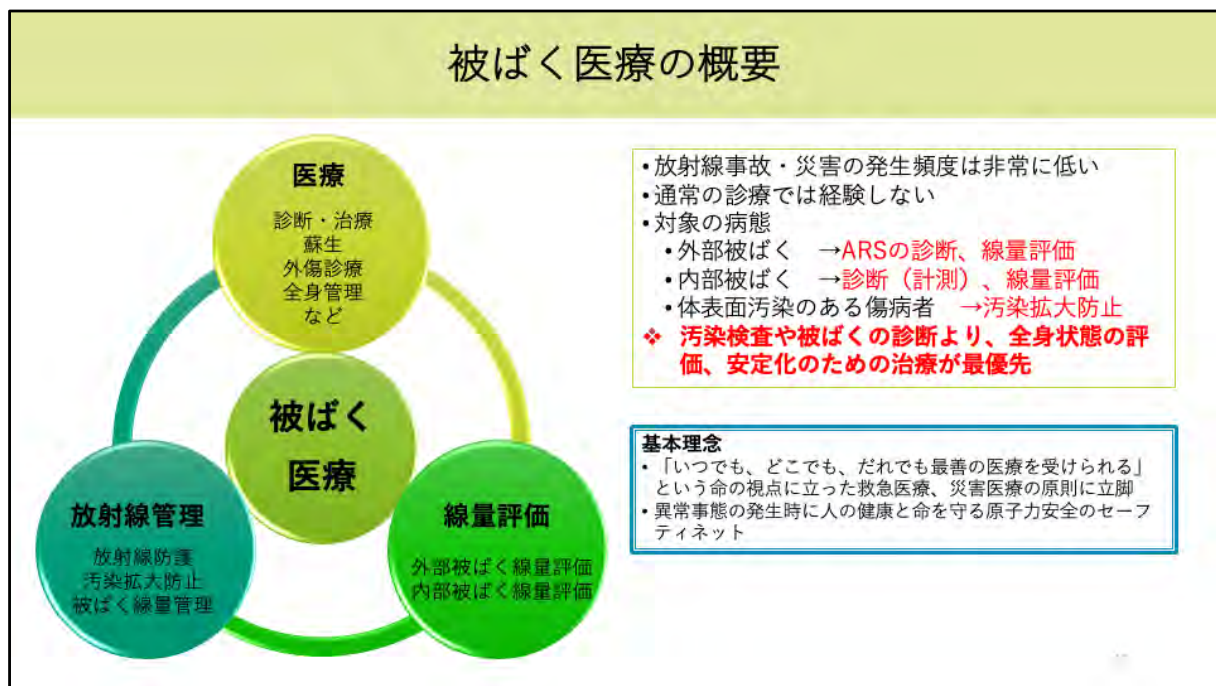
放射線テロ・災害の種類

放射線源（放射線を出す物質の塊）からの放射線に暴露される、あるいは放射性物質の汚染が拡散する事態



放射線のテロ・災害には、放射線源の放置による外部被ばく、放射性物質の拡散による汚染と内部被ばくを生じるものがあります。爆発物を使用した放射性物質の拡散の場合は、被災者に爆傷の被害が生じます。また原子力施設の破壊行為や核兵器の使用では、外部被ばく、内部被ばく、汚染の全てが混在して生じることになります。

被ばく医療の概要



被ばく医療の対象は、原子力施設あるいは原子力災害、放射線事故、放射線テロ等で、外部被ばく、内部被ばくをした傷病者と体表面汚染が合併した傷病者となります。

被ばく医療は、医療としての放射線障害の診断と治療、蘇生や外傷診療、全身管理と同時に被ばく線量評価と放射線管理を行う必要があります。被ばく線量評価は専門的な対応が必要なため、一つの組織や機関では対応困難なことがあります。そのため、平時に関係機関との連携やネットワークを構築して、事故や災害が発生した場合に備えておきます。また、医療機関は、原子力災害時等が発生した場合に、被ばく医療を円滑に提供できるように備えておくことが重要です。

病院での緊急被ばく医療

計画

- ・院内マニュアルの整備
- ・教育、訓練

準備

- ・事故発生後の情報収集
- ・受け入れ施設の準備（臨時の管理区域設定を含む）、資機材の準備
- ・スタッフの防護

診療

- ・傷病者の受け入れから処置
- ・汚染の程度、被ばくの線量評価

復帰

- ・個人防護装備の脱衣
- ・施設の復帰

病院での緊急被ばく医療としての初期対応の流れを示しています。
できれば、院内マニュアルを整備し、関係者に教育、訓練を行います。
実際に事故等が発生し、被ばくあるいは汚染した傷病者を受け入れる場合は、施設、スタッフの準備を行い、診療後には、スタッフ及び施設の汚染検査等を行い、施設を元どおりに復帰させます。

患者受け入れの準備

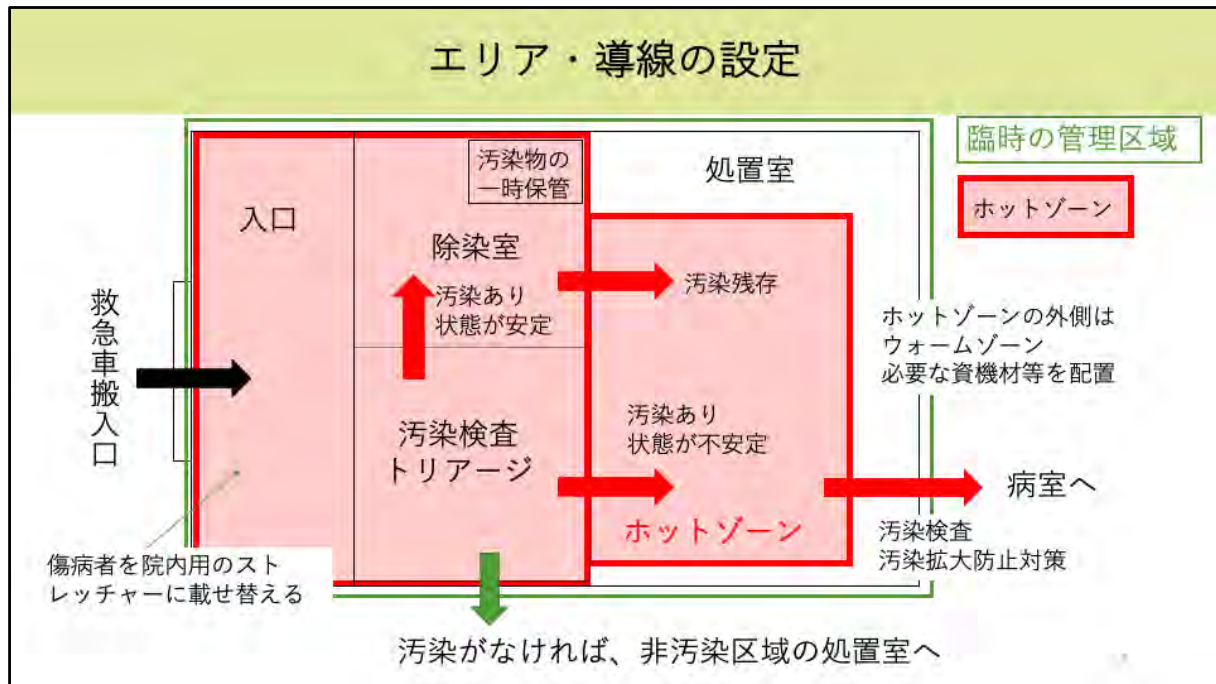
| 外傷診療 | 汚染患者診療 |
|------------------------|-------------------------|
| ホットラインでの情報収集 | 被ばく、汚染に関する情報収集 |
| 受け入れ決定、助言 | 脱衣、被覆等の助言 |
| スタッフ招集、情報共有、役割分担 | HOT、COLDの役割分担 |
| 蘇生用具一式、加温した輸液類 | 養生（汚染拡大防止）・除染の資機材 |
| 各種モニター | 放射線測定器 |
| ポータブルエックス線撮影装置、超音波診断装置 | 汚染対策（エリアの設定、施設・医療機材の養生） |
| 感染に対する標準予防策 | PPE(個人防護装備、個人線量計) |

被ばくあるいは汚染のある傷病者の受け入れが決定したら、計画に基づいた受入れ準備を開始します。

被ばく医療の専門的知識や技能を有した医療従事者を参集し、得られた情報を共有します。

また、施設や現場の救急隊員から患者情報、事故の状況などの情報を収集し、事業所の放射線管理要員の同行を要請します。

医療機関では、放射線管理や汚染検査に慣れている診療放射線技師が施設と対応者の放射線管理を担当します。また、放射線測定器、除染用資機材、医療資機材を準備します。



汚染のある傷病者の診療エリアは、汚染拡大防止対策と放射線管理が行えるように、一方通行の導線、汚染のない区域との交差をしない導線となるようなエリアを設定します。救急車からの搬入口が近い場所、救急医療の処置が可能な場所が望ましいです。

診療エリアには、院内用のストレッチャーに載せ替える入り口のスペース、汚染検査やトリアージを行うスペース、除染室（除染テントでも代用可能）、汚染のある傷病者の処置室、汚染物の一時保管場所等を設定します。これらはホットゾーンとなります。医療機材等はホットゾーンの外側に配置し、汚染拡大防止対策を講じます。除染後には、汚染検査あるいは汚染拡大防止対策を実施して、入院病室等へ移動させる導線を確保します。汚染傷病者の診療エリアは、処置後の汚染検査が終了するまで臨時の放射線管理区域として設定し、対応します。

養生（例）

- ❖ 汚染のない患者を移動させる
- ❖ 必要のない資機材を移動させるかカバーをかける
- ❖ 資機材に耐水性、使い捨てのカバーをかける
- ❖ 傷病者が到着する前に資機材、測定器の動作確認チェック
- ❖ バックグラウンドの確認
- ❖ 管理区域を設定する



入り口から処置室までの廊下の養生



モニター類
ビニール袋等で被覆

廃棄物用コンテナ
ゴミ袋等は多めに必要

床；ビニールシートとろ紙シートで二重に養生（被覆）

養生

医療施設や機材が放射性物質によって汚染されないようにビニールシート等で予め被覆しておくこと

ストレッチャーや処置台には、シーツを複数枚かけておく
（脱衣や除染で汚染した場合に取り除く）



処置台

長時間使用時は、
排気口を開ける

17

処置室は、養生の範囲や必要な養生用資機材の数量、養生方法を計画しておきます。ホットゾーンは視覚的に明確になるようにテープやロープ等で区域を設定できるようにします。また、除染後には、汚染が付着した廃棄物が多量に出るため、コンテナやゴミ袋は十分数量を準備しておきます。床は、ビニールシートで養生しますが、これだけでは、除染で水がこぼれた場合に滑りやすくなるなど危険であるため、ろ紙シートで二重に養生します。ストレッチャーはや処置台には、複数枚のシーツをかけておくと、脱衣や除染で汚染した場合に、1枚のシーツを取り除いても、問題ありません。モニター類は、検知部分以外は可能な限り養生しますが、画面等は、操作あるいは表示を確認できるようにしておきます。

医療機材は、その機能や操作の妨げにならない程度に養生します。

外傷診療と被ばく医療

| 外傷診療 | 被ばく・汚染傷病者診療 |
|-------------------|--|
| 第一印象 | <ul style="list-style-type: none"> 空間線量率の確認 放射線線源の持ち込みの有無 場の安全確認 |
| Primary surveyと蘇生 | <ul style="list-style-type: none"> エックス線撮影・FASTの汚染拡大防止 脱衣（衣服に汚染があることを考慮） 汚染検査 |
| Secondary survey | <ul style="list-style-type: none"> 全身の汚染検査 除染 内部被ばくの有無の確認（鼻腔スワブ） |
| Tertiary survey | <ul style="list-style-type: none"> 被ばく線量評価 外部被ばく（ARS、局所被ばく）→個人線量計、染色体分析 内部被ばく→体外計測、バイオアッセイ（生体試料の測定） |
| 根本治療 | <ul style="list-style-type: none"> 外部被ばく（ARS、局所被ばく）の治療 内部被ばくの治療（体内除染剤等の投与） |

外傷診療の流れに被ばく医療の診療を組み合わせる場合は、それぞれの外傷の処置、診療の場面ごとに被ばくや汚染への対応を追加します。

外傷診療で、第一印象を確認する間に、診療放射線技師により空間線量率を確認し、放射線源の持ち込みの有無など処置時の場所の安全確認を行います。

Primary surveyと蘇生では、ポータブルエックス線撮影、超音波検査装置の汚染拡大防止の対策を講じるとともに脱衣、汚染検査を行います。Secondary surveyでは、全身の汚染検査と除染を行い、内部被ばくの有無を確認するため、鼻腔スワブを採取します。Tertiary surveyでは被ばく線量評価に必要な情報と試料を採取します。根本治療は急性放射線症、局所被ばく、内部被ばくの治療を行います。

単純X線撮影

- ❖ フィルムカセットはビニール袋に入れる
- ❖ ポータブルX線撮影装置のアームをのばして撮影する
- ❖ ホットゾーンからカセットを出す時はビニール袋から取り出し、コールドゾーンに渡す



19

外傷等の診療において、除染よりも単純エックス線撮影を優先する場合は、フィルムカセットの汚染対策が必要です。カセットはビニール袋等で覆い、ホットゾーンからカセットを出す時にはビニール袋から取り出し、カセットのみをコールドゾーンに出します。

ポータブルエックス線撮影装置は、本体はコールドゾーン（ウォームゾーン）に置き、アームを伸ばして撮影します。

脱衣と体表面汚染検査



汚染した衣服をシートごと
取り除く
→新しいシートが下にある



1.創部→2.開口部→3.健常皮膚
頭からつま先まで汚染のサーベイ
背部も忘れずに

20

汚染のある衣服を脱がせることで、体表面の汚染の約90%を取り除くことができます。搬送時に傷病者を包んできた毛布やシート、衣類は、取り除いた後にビニール袋へ入れ、汚染が拡大しないようにします。

汚染した衣類などを触った後は、素早く外側のゴム手袋を交換します。

1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で汚染検査を行います。頭からつま先までの汚染検査したら、背部の汚染検査を行います。

除染

1.創部 → 2.開口部 → 3.健常皮膚

❖ 除染の方法

- ◇ ぬれたガーゼでふき取る、洗剤、オレンジオイルでふき取る
- ◇ 水で洗い流す
- ◇ うがい
- ◇ 全身のシャワー除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控える

❖ 除染の基本

- ◇ 汚染検査で汚染の範囲を確認する
- ◇ 患者自身にできることは患者にさせる
- ◇ 使用した綿球・ガーゼ等（一回目）は氏名・部位・日時を記して測定（核種の同定）
- ◇ 水、ガーゼは汚染のある廃棄物として管理する
- ◇ 除染後に再測定する→必要に応じて再除染
- ◇ 基本的に汚染が残存しても皮膚障害は起きない→Debridementは急性障害を起こすもしくは医学的理由があるときのみ



体表面汚染は、1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で除染します。

除染の方法は、ぬれたガーゼで拭き取ったり、部分的に水で洗い流したりします。水だけでは除染できない場合は、洗剤やオレンジオイル等を使って拭き取ります。口腔内の汚染はうがいをしてもらいます。

全身のシャワーによる除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控えます。

除染は、本人が行える場合は、自分で拭き取ったり、洗ったりしてもらいます。核種の同定が必要な場合は、使用したガーゼなどをビニール袋に入れ、患者氏名、採取部位、採取日時を記録して、測定者に渡します。

除染後の水やガーゼは放射性物質の汚染がついた廃棄物として管理、処分します。

創傷部の除染

1. 汚染のない部分を被覆する
2. 膿盆、紙おむつ等で水を受ける
3. 水をかけながらガーゼ等で創傷部を洗浄する



22

創傷部の汚染は、部分的に水をかけながら除染するので、汚染のない部分は防水のシート等を用いて被覆し、汚染した水がかからないようにします。

膿盆や紙おむつで汚染した水を受けるようにします。

創傷部は、ガーゼと鑷子を用いたり、ブラシを用いて水をかけながら除染します。除染後は再度表面汚染の検査を行います。汚染がなくなるか、除染の効果がなくなるまで除染を繰り返します。

顔面の除染



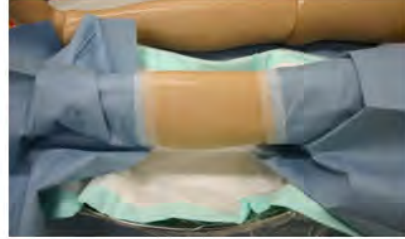
耳の汚染がある場合は、外耳は湿ったガーゼやタオルで拭き取り、外耳道は綿棒等で拭き取ります。

目の汚染は、流水をかけながら洗浄します。

鼻腔の汚染がある場合は、鼻をかんでもらい、汚染が残っている場合は、綿棒で拭き取ります。

皮膚の除染

- ❖ 汚染のない部分を被覆する
- ❖ 膿盆や紙おむつで水を受ける
- ❖ 濡れたガーゼ等で外側から内側の方向に拭き取る
- ❖ 水で除染できない場合はボディソープや石けん、スポンジを使用する



皮膚の汚染がある場合は、汚染のない部分を防水のシート等で被覆して、汚染した水がかからないようにします。膿盆や紙おむつで水を受けるようにします。ぬれたガーゼやスポンジなどで外側から内側の方向に拭き取り、汚染を広げないようにします。水で除染出来ない場合は、ボディソープや石けん、洗剤などを使用します。

皮膚を傷つけないように丁寧に除染します。

除染後の再検査

どこまで除染するか？

❖ 創傷汚染

- ◇ バックグランドレベルまで
- ◇ 除染の効果がなくなるまで

❖ 健常皮膚

- ◇ B.G.まで
- ◇ 除染の効果がなくなるまで
- ◇ 皮膚を傷つけない程度まで（発赤が出現しない程度）

❖ 汚染が残った場合

- ◇ 皮膚の新陳代謝（ターンオーバー）で自然に除染される
- ◇ GMサーベイメーターで測定できる範囲であれば、皮膚、創傷部の汚染から吸収される放射性物質が内部被ばくに寄与する程度は小さい

内部被ばくの診断

- ❖ 体内からの放射性物質もしくは放射線の検出により診断
- ❖ 鼻腔・咽頭スミア；吸入による内部被ばくの可能性
- ❖ 口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染；吸入、吸収の可能性
- ❖ 問診；内部被ばくが疑われる場合は、放射性核種、化学形態、溶媒等について確認



- ❖ 生体試料（尿、便）の放射性物質の計測
- ❖ 体外計測；ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター

➡ 内部被ばくの診断

内部被ばくは、吸入による経気道、経口摂取による経消化管、創傷部からの吸収によって体内に放射性物質が取り込まれることによって起こります。体内に入った放射性物質は、安定型の核種と同じ体内動態を示すため、核種に応じた治療薬が必要になります。

初期には、口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染があれば、放射性物質の吸入や吸収の可能性があります。また、鼻腔や咽頭のスワブ採取によって放射性物質を検出した場合も内部被ばくが疑われます。内部被ばくが疑われた場合、事業所や施設等での事故の場合は、放射線管理要員等に放射性核種、化学形態、溶媒等について確認します。

内部被ばくの最終診断と線量評価は、尿や便の生体試料の放射性物質の計測（バイオアッセイ法）と、体内からの放射線の計測（体外計測）によって行われます。

試料の受け渡し

- ❖ ビニール袋の外側が汚染されないように受け取る（コールドエリア）
- ❖ 採取部位、日時、氏名等を記入した試料袋に入れ、測定に出す
- ❖ ビニール袋の表面の汚染検査（スメア法）を実施して測定者に渡す（確実な汚染拡大防止）



27

汚染の原因となっている核種の同定や内部被ばくの評価、その他通常の血液検査などのために採取した試料をホットゾーンからコールドゾーンの測定員に渡す必要があります。

そこで、汚染拡大防止のため、コールドゾーンの担当者がビニール袋で試料を受け取り、ビニール袋の表面をガーゼなどでぬぐって汚染検査を実施します。汚染がなければ、試料を測定員に渡します。採取した試料の容器には、採取部位、採取日時、氏名を記入します。

外傷等がありホットゾーンでの単純X線撮影が必要な場合は、フィルムカセットをビニール袋に入れ、汚染の付着を防止します。可能であればポータブルX線撮影装置のアームをコールドゾーンから伸ばして撮影します。撮影後は、ビニール袋からカセットを取り出して、コールドゾーンの担当者に渡します。

医療機関での対応

- ❖ 外部被ばく → 前駆症状を確認する。
高線量外部被ばくの線量評価を行う。
治療の必要性、程度の判断をする。
- ❖ 内部被ばく → 急性障害はない。
内部被ばくの線量評価を行う。
薬剤による治療の判断をする（核種に応じた薬剤の選択）。
- ❖ 体表面汚染 → 生命の危険には関与しない。
除染は救命処置にはならない。



- ❖ 医療機関での救命処置は、まず放射線以外の原因、外傷等に対して実施される。
- ❖ これらの救命処置は、除染よりも優先される。

医療機関での対応として、外部被ばくが疑われる場合は、前駆症状を確認し、高線量外部被ばくの線量評価を行い、治療の必要性や程度を判断、診断します。内部被ばくが疑われる場合は、急性障害はありませんが、線量評価を行い、核種に応じた薬剤を選択して、早期の治療を開始します。体表面汚染は生命の危険には関与しないため、除染は救命処置にはなりません。

医療機関での救命処置は、放射線以外の原因、外傷等に対して優先して実施されます。

線量評価の方法

| | 試料・資料 | 対象 | 内容 |
|---------------------------------|---------------|----------------------------------|--|
| 生体試料の測定・観察 放射線の影響による変化の観察、測定 | 血液 | 血球細胞数の変化 | リンパ球、好中球の減少など |
| | 身体所見 | 染色体異常の解析 | 放射線による染色体異常の発現頻度 |
| | | 唾液腺の腫脹、疼痛、口腔粘膜の症状等 | 高線量被ばくによる前駆症状 |
| | スワブ | 皮膚症状の出現 | 紅斑や放射線皮膚障害の症状 |
| | スワブ | 鼻腔や口腔粘膜のスワブ | 汚染の有無による内部被ばくの可能性と推定 |
| | 血液、嘔吐物等 | 生体内のナトリウム、塩素の放射化から計測 | 中性子線による放射化の分析 |
| | 歯のエナメル質 | 生体組織に生じるラジカルを測定 | 電子スピン共鳴 (Electron Spin Resonance; ESR) |
| 情報の解析 | 問診等での病歴、事故の状況 | 被ばくの可能性の評価 | 患者本人あるいは放射線管理要員より聴取 |
| | 線源、放射性物質等の情報 | 計算 | 計算による線量推定 |
| 計測 | 個人線量計 | 個人被ばく線量 | 被ばく線量の実測値 |
| 放射線、放射性物質の計測 | 身体、臓器 | 体外計測 (ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター) | 体内残留量の計測 |
| | 尿、便 | バイオアッセイ法 | 排泄量の計測 |
| | 再構築 | 線源等の情報による事故状況の再現と実測結果からの計算 | 事故状況の再現、実測、計算 |

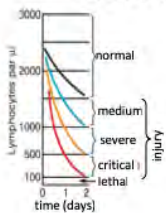
被ばく線量評価には、様々な手法があります。

生体試料を測定して、放射線の影響による実際の細胞や組織の変化を評価する方法があります。これには、血液試料による血球細胞数の変化や染色体異常の解析、身体所見による高線量被ばくの症状の確認と発症時期による線量の推定、鼻腔や口腔粘膜のスワブ（ぬぐいとり試料）の汚染検査による内部被ばくの推定、血液や嘔吐物の放射化の測定による中性子線被ばくの線量評価などがあります。これらの生体試料の測定による方法を生物学的線量評価と称します。

また、事故の状況や被ばくの時間、作業時間等を問診で確認することで被ばくの可能性の評価ができ、さらに線源や放射性物質等の情報を追加することで計算による線量推定ができます。また、実際に放射線や放射性物質を計測して評価することもできます。体外計測は、身体や臓器から放出される放射線を測定して、体内の放射性物質の残留量を計測し、内部被ばく線量を計算します。尿中や便中の放射性物質の排泄量を測定して内部被ばく線量を計算する方法がバイオアッセイ法です。また、線源や被ばくした患者の位置関係などから事故時の状況を再現し、放射線を実測した結果から、被ばく線量を計算する再構築の方法もあります。計算や計測による線量評価を物理学的線量評価と称します。

ARSのPrimary Triage : 初期の48時間

| | Score I | Score II | Score III |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 症状が出現するまでの時間 | 12時間以内 | 5時間以内 | 30分以内 |
| 皮膚紅斑 | 0 | +/- | +++; 3時間以内 |
| 衰弱 | + | ++ | +++ |
| 悪心 | + | +++ | (-) |
| 24時間での嘔吐の回数 | 最大 1 | 1 to 10 | 10以上; 対処困難 |
| 下痢/ 24時間あたりの便の数 | 最大 2-3; 固形便 | 2-9; 軟便 | 10以上; 水様便 |
| 腹痛 | 軽度 | 重度 | 激烈 |
| 頭痛 | 0 | ++ | 激烈; 頭蓋内圧上昇の兆候 |
| 体温 | 38°C以下 | 38-40°C | 40°C以上 |
| 血压 | 正常 | 正常—一時的な低下の可能性 | 拡張期 80mmHg以下 |
| 一時的な意識障害 | 0 | 0 | + / 昏睡 |
| depletion of blood lymphocytes | | | |
| at 24 hour | 1500/ μ l以上 | 1500/ μ l以下 | 500/ μ l以下 |
| at 48 hour | 1500/ μ l以上 | 1500/ μ l以下 | 100/ μ l以下 |
| | 外来診療 | 治療のための 入院診療 | 入院診療 (多臓器不全) |



多数の急性放射線症を発症する患者が発生し、入院施設等の医療資源が限られた場合は、入院診療を必要とする被ばくした者を初期の段階でトリアージする必要があります。全ての臨床症状とその発症時期を記録します。

1Gy未満と判断される場合には、外来で経過観察するだけで良いです。1Gy以上の患者は、より詳細な線量評価や治療のための入院が必要です。

出典；EBMT pocket guide

<https://www.ebmt.org/sites/default/files/2018-03/EBMT%20Nuclear%20Accident%20Committee%20Pocket%20Guide%202017.pdf>

内部汚染への対応

- ❖ 病歴、開口部汚染等から内部汚染を疑う
- ❖ 核種の同定、預託実効線量（50年間）の評価
- ❖ Risk vs benefit を考慮した治療
 - ◇ 一般的な治療
 - ◇ 適切な体外除去剤の選択と早期投与
- ❖ 排泄物等の管理（線源として）
- ❖ 尿、便等も検体となる→保管
- ❖ 口腔、胃、肺、気道等の洗浄（リスクを考慮）
- ❖ 内部汚染除去剤
 - ◇ セシウム →プルシアンブルー
 - ◇ プルトニウム →DTPA
- ❖ 競合剤
 - ◇ 放射性ヨウ素に対する安定ヨウ素剤



内部被ばくでは、基本的に急性障害は起こりません。そのため、治療の目的は、体内の放射性物質からの放射線被ばくによる将来の生物学的影響の低減となります。内部被ばくの治療の原則は、吸収と内部沈着の低減及び体内に入った核種の除去と排泄の促進です。放射性物質が体循環に入っていない場合に最も治療効果が高くなります。また、標的臓器の細胞に取り込まれる前に治療を行う必要があります。しかし、内部被ばくの事故では、摂取量や体内動態がすぐに判明しないことがほとんどです。そのため、内部被ばくが疑われる場合は、治療による副作用が少なく、近畿がない場合には、すぐに治療を開始すべきです。また、治療の適応には、明確な指標がありません。預託実効線量を参考にして、治療のメリットとデメリットを勘案して適応を決定します。

プルシアンブルー（ラジオガルドーゼ®カプセル500mg）は、フェロシアン化第二鉄に属します。消化管に吸収されない毒性の低いコロイド状の妖怪可能な携帯を持ち、ある種の一価の陽イオンに対しイオン交換体のような働きがあります。放射性セシウムが血液に入った場合、経口投与されたプルシアンブルーが朝刊から再吸収されるセシウムの取り込みを防ぎます。

Diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA)はEDTAより多価の放射性同位元素に対してより効果的です。キレート体は、安定で、体外に腎臓から排泄されます。静脈的に投与した後、DTPAは最初の1時間に尿中に約50%が排泄されます。CaDTPA、ZnDTPAは超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム、カリホルニウム、ネプツニウム）をキレートします。

CaDTPAによる重篤な副作用の報告はありません。しかし長期間投与するとCaDTPAにより亜鉛欠乏症を起こします。

まとめ

- ❖ 外部被ばくの患者対応では対応者は被ばくしない
 - ◇ 外部被ばくの対策；「時間を短く」「距離を取る」「遮へいを利用」
 - ◇ 個人線量計による被ばく線量管理
- ❖ 内部被ばくでは急性障害はない
 - ◇ 内部被ばくの対策；呼吸保護
- ❖ 汚染では、患者も対応者も危険な被ばくはしない
 - ◇ 汚染拡大防止；防護服、汚染検査、除染
- ❖ まずは、医療処置で状態を評価し、安定化させる（呼吸と循環の安定）
 - ◇ 通常の処置に汚染検査、除染を追加
- ❖ 汚染検査は最優先ではない（除染で救命はできない）

參考資料

用法・用量

| 薬品 | 用法・用量 | |
|--------------------------|--|----------|
| プルシアンブルー (フェロシアン化第二鉄) | 水とともに1回3gを1日3回3週間 内服 | 0.5g/cap |
| アルギン酸ナトリウム (アルロイドG) | アルギン酸ナトリウム10g (アルロイドG 200ml) あるいは1.5~3gを内服 | 5%液 |
| ヨウ化カリウム | 成人100mg内服 | 50mg/tab |
| ジメルカプロール (バル) | 1日目 1回2.5mg/kg筋注 6hr毎 2日目~1日1回を6日間 | 100mg/ml |
| CaDTPA ZnDTPA | 1回1gを生食100mlで30分で1日1回静注 週5日連続投与 混合療法：1回目CaDTPA 1g、2回目以降ZnDTPA 1gを4日間投与。その後超ウラン元素の排泄率の増加が見られなくなるまで1週間に2-dose(1-doseあたりZnDTPA1g)投与。 | 1g/5ml |
| レボチロキシン (チラージンS) | 1回25~100μg内服 | 25μg/cap |
| チオ硫酸ナトリウム (デトキソール) | 1日1~2g 緩徐に静注 | 2g/20ml |
| マールックス懸濁内服液 | 1回1.6~4.8g (1gを水10mlに懸濁) | 1.2g/包 |
| ラキソベロン液 | (CF前) 1回20ml内服 | 10ml/本 |
| 酸化マグネシウム | | 1g/包 |
| 硫酸バリウム | 1回100~300ml内服 | |
| 薬用炭 | 1回20gを水に懸濁し内服 | 20g/包 |

内部被ばくの選択薬剤 1

| 核種 | 直後の処置 | 考慮すべき薬剤 | 注意 |
|--------------------------|--------------------|--|---|
| アメリシウム (Am) Americium | DTPA | DTPA, CaEDTA | 可及的早期にキレート化を行う。 DTPAが入手困難ならばCaEDTAを用いる。 |
| セシウム (Cs) Caesium | プルシアンブルー、 洗浄、下剤 | プルシアンブルー、 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ | |
| コバルト (Co) Cobalt | 洗浄、下剤 | 大量被ばくでは、 ペニシラミンが考慮。 | コバルト塩は不溶性であるから 飲んだ場合は、特に治療は要しない。 |
| フッ素 (F) Fluorine | 水酸化アルミニウム ゲル | | |
| ヨウ素 (I) Iodine | KI投与 | KI | できるだけ早くヨウ化カリウム 130 mg (ヨウ素として100 mg) を飲ませる。 |
| マンガン (Mn) Manganese | 洗浄 | DTPA | 陰イオンとして存在するMnは治療不可能。 |
| リン (P) Phosphorus | | 水酸化アルミニウム (経口) | 大量の時は副甲状腺ホルモンも。 |
| プルトニウム (Pu) Plutonium | DTPA | DTPA、 CaEDTA、 DFOA | DTPAが入手困難ならばCaEDTA を用いる。早期にはDFOAも用い らる生物学的半減期は、肝で40 年、骨は100年である。 |

内部被ばくの選択薬剤 2

| 核種 | 直後の処置 | 考慮すべき薬剤 | 注意 |
|---------------------------|--|--|--|
| ルテニウム (Ru) Ruthenium | 洗浄、下剤 | クロールサイアザイド DTPA | クロールサイアザイドは尿中排泄を増す。DTPAの効果は一定しない。 |
| トリウム (Th) Thorium | DTPA | DTPA DFOA | DTPA、DFOAは可溶性成分に有効で、排泄を増加。二酸化トリウムには、有効な治療はない。 |
| トリチウム (H) Tritium | 洗浄 多量の水分を採らせる | 利尿剤 | |
| ストロンチウム (Sr) Strontium | 洗浄 直ちに磷酸アルミニウムゲル又は水酸化アルミニウムゲル100mlを飲ませる。 硫酸マグネシウム10g服用により、消化管停留を短縮し、吸収を減少。 | 安定ストロンチウムステロイド剤 Potassiumrhodizoate(C ₆ O ₂ K ₂) プレドニン | 乳酸ストロンチウム500-1500 mg/日を経口投与し、連日数週間続ける。創傷汚染は、いかに小さくとも見逃してはならず十分水洗いするがPotassiumrhodizoate 1gを撒布すれば、Srは局所的に不溶性となり、吸収されない。コルチコステロイド投与は、放射性ストロンチウムの尿中排泄を3倍に増加。プレドニン経口5-20mg/日、又はメチルプレドニゾン10-40mg静注。 |
| ウラン (U) Uranium | DTPA | DTPA 重炭酸ナトリウム | DTPAは4時間以内が有効である。重炭酸ナトリウムは、腎を保護する。 |
| 亜鉛(Zn) Zinc | DTPA、洗浄 | DTPA | DTPAが入手困難ならば、CaEDTAを用いる。 |

医療対応における 放射線防護と管理

放射線事故医療対応

時間；30分

内容

- 放射線防護の目的
- 外部被ばく、内部被ばく、体表面汚染への対策
- 線量限度
- 測定器
- 汚染検査
- 処置室の準備
- 処置後の対応

医療対応時の放射線防護の目的

- ◆ 無用な被ばくをしない
 - ◇ 確定的影響の防止と確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させる
 - ◇ 外部被ばくの防護
 - 個人被ばく線量管理、空間線量率の測定
 - ◇ 内部被ばくの防護
 - 呼吸保護
- ◆ 二次災害の予防
 - ◇ 対応者の無用な被ばくの防止
 - ◇ 汚染拡大防止：汚染検査、除染、施設の養生
 - ◇ 関係機関での安全・危険情報の共有

原子力災害時の放射線防護の目的は、外部被ばく防護と内部被ばく防護による無用な被ばくをしないことと、二次災害の予防です。具体的には、確定的影響の防止と確率的影響の低減となるリスクを合理的に達成できる程度に減少させることとなります。

放射線防護の方法は、外部被ばくの防護と内部被ばくの防護に分けられます。さらに二次災害の予防として汚染拡大防止対策を講じます。

放射線による外部被ばく対策



- ❖ 放射線を体の外から浴びる
- ❖ 一度に大量に浴びると危険 ⇒急性障害
- ❖ 放射線災害では、ガンマ線（ γ 線）に注意
- ❖ **空間線量率**で危険性を把握



- ❖ **個人線量計**で被ばく管理
 - ◇ 活動中の被ばく線量の測定
 - ◇ 被ばく線量限度と警報値の設定
- ❖ 浴びてしまったら、なかったことにはできない



外部被ばくとは、放射線を身体の外から浴びることで、一度に大量の放射線を浴びると急性障害を発症し、危険です。

放射線事故、災害、テロの対応では、ガンマ線に注意し、空間線量率を測定して、その場所の危険性を把握します。また、外部被ばくは個人線量計で管理します。外部被ばくは被ばく時間を短くする、または線源から離れる、もしくは遮蔽することで、被ばく線量を抑えることができます。しかし、放射線を外部被ばくした場合、浴びてしまった放射線量を減らすことはできません。

外部被ばくの防護三原則



時間

作業時間を短くする。

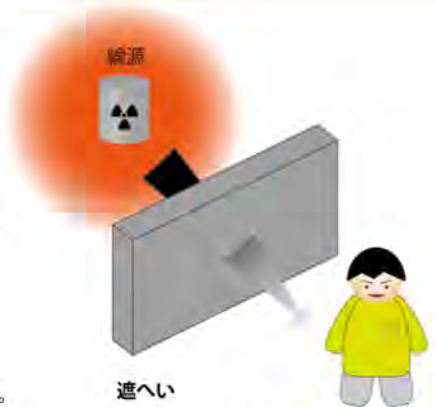
被ばく線量は時間とともに増えます。被ばく時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。



距離

線源からできるだけ離れる。

放射線の強さは遠くに離れると弱くなり、線量は距離の2乗に反比例して減ります。



遮へい

線源と人の間に遮へい体を置く。

物体を間に置くと放射線を弱めてくれます。建物の壁などは遮へい体になり、空間線量率が低くなります。

外部被ばく防護のポイントは「時間」「距離」「遮へい」です。被ばくする時間を短くする、放射線源からの距離をとる、放射線を遮へいすることで、被ばく線量が低減できます。

放射線にさらされる活動時間を短くすることで被ばく線量を少なくできます。

放射線は、放射線源からの距離の二乗に反比例して減少します。そのため放射線源からの距離をとることで被ばく線量を少なくすることができます。逆に、放射線源からの距離が半分の位置(1/2の距離)に近づくと放射線量は元の位置の4倍になり、急激に空間線量が上昇することになるため、特に危険区域での活動時には注意が必要です。

放射線源との間に遮へい物があると放射線量は減少します。コンクリートの壁、鉄や鉛の金属の板などがあれば、遮へい材として使用できます。放射線源の位置、形状が明確であれば、鉛のブロックなどで線源を囲むことによって周辺の空間線量率を低減することもできます。

個人被ばく線量計



電子式個人線量計



汚染させないように防護服の中あるいはビニール袋などに入れて装着する。

- ・ 活動中の**被ばく線量の積算値**
- ・ 装着の方向を確認する。
- ・ アラームの設定ができる。
- ・ アラーム音は小さいため、聞こえない場合がある。
- ・ 誤計数の可能性があるため、携帯電話、PHS、高出力トランシーバーなどの装置の近辺での使用は十分注意する。

電子式・直読式の個人線量計を用いると、被ばくの積算線量がリアルタイムで表示されるので、一定期間ごと、あるいは作業ごとに、自分の線量を知ることができます。また、被ばく線量があらかじめ設定した値に達すると、アラームや振動で着用者に知らせてくれる、アラーム付きのポケット線量計もあります。放射線の事故や災害などの緊急時の対応にはアラーム付きのポケット線量計を使用します。

男性は胸部に、女性は妊娠の可能性も考慮し腹部に付けることが一般的です。個人線量計は汚染させないように防護服の内側に、向きを確認して装着します。誤計数の可能性があるため、携帯電話、PHS、高出力トランシーバーなどの装置の近辺での使用は十分注意します。

個人線量計には、光刺激ルミネッセンス (OSL) 線量計、ガラス線量計といったタイプのももあります。これらは、一ヶ月等の一定期間、身につけて、積算線量を測定するもので、リアルタイム値は表示されません (現像しないと分からない写真フィルム、のようなイメージに近いです)。

線量限度

一般職国家公務員の被ばく線量限度と健康管理は、人事院規則10-5「職員の放射線障害の防止」（昭和38年9月25日）に基づいて実施される。

災害・テロ対処では、放射線被ばくが“0”（ゼロ）は、ありえない。そのため線量限度が設定されている。

| 区 分 | 実効線量限度 | 等価線量限度 |
|-------|--|---|
| 国家公務員 | 100 mSv/5年 (50mSv/年) 女子 5mSv/3月 妊娠中の女子（出産までの内部被ばく） 1mSv | 水晶体：150mSv/年 皮膚：500mSv/年 妊娠中の女子（出産までの腹部表面） 2mSv |
| | 緊急作業：100mSv | 水晶体：300mSv 皮膚：1Sv |
| 一般公衆 | 1mSv/年 | 水晶体：15mSv/年 皮膚：50mSv/年 |

ICRPの放射線防護の考え方及びその勧告に基づき、放射線障害の防止に関する法令で放射線を職業的に扱う人（放射線業務従事者）に対し、線量限度を定めています。国家公務員の場合は、人事院規則10-5（職員の放射線障害の防止）で被ばく線量限度が定められています。また、放射線業務従事者である個人の線量のほか、公衆に対する線量の寄与を把握するため、事業所の境界や、放射線を取り扱う管理区域の境界など、場所についての線量も定められています。

放射線業務従事者の線量限度は、男性では1年間で50mSv、5年間で100mSv、女性の場合は、3ヶ月で5mSvと定められています。人命救助などの緊急作業では100mSvです。一般公衆の線量限度は、1年間で1mSvです。

原子力災害や放射線事故、災害の現場活動では、被ばくを“0（ゼロ）”とすることはできません。このため、線量限度を越えないように活動計画では被ばく線量を管理しなければなりません。また、無用な被ばくをしないように対処することも重要です。

空間線量計

| |  |  |  |  |  |  |
|-------------|---|---|---|---|---|---|
| 種類 | NaIシンチレーションサーベイメーター | 電離箱式サーベイメーター | RadEye PRD-ER (NaI検出器) | RadEye G-10 (GM検出器) | 中性子サーベイメーター | HDS-101G/GN (CsI(Tl), 半導体, LiI(Eu)) |
| 測定原理 | 励起作用 | 電離作用 | 励起作用 | 電離作用 | ³ He比例計数管 | 励起作用、半導体 |
| 検出対象 | γ線 | γ線、β線 | γ線 | γ線 | 中性子線 | γ線、中性子線 |
| 単位 | μSv/h | mSv/h, Sv/h | cps, μSv/h, mSv/h, Sv/h | μSv/h, mSv/h, Sv/h | μSv/h, mSv/h, Sv/h | Sv/h, mSv/h |
| 測定範囲 | B.G.~30μSv/h | 0.03mSv/h~1Sv/h | 0.01μSv/h~100mSv/h | 0.05μSv/h~100mSv/h | 0.01μSv/h~10mSv/h | 0.01~100μSv/h 拡張 0.1~10mSv/h |
| 光子エネルギーの範囲 | 50keV~3MeV | 30keV~2MeV | 60keV~1.3MeV | 45keV~1.3MeV | 0.025eV~約15MeV | γ線:30keV~3MeV 中性子線:0.025eV~15MeV |
| 時定数 応答時間 | 時定数 3秒 10秒 30秒 | 応答時間 5秒以内 | 反応時間 < 150 cps:16秒 151~400 cps:4秒 > 400 cps:1秒 | 応答時間 B.G.~1μSv/h~:60秒 B.G.~3μSv/h~:20秒 B.G.~10μSv/h:3秒 | 各指示範囲で標準偏差10%以内となるよう設定されている | |
| 保護レベル | なし | なし | 完全防塵/耐噴流 IP65 | 完全防塵/耐噴流 IP65 | | 耐衝撃/耐振動/防水 IP54 |
| 動作時間/周辺温度 | | | -20~+50°C | -20~+50°C | -10~+45°C | -20~+50°C |

放射線を測定する場合、測定する目的と測定の対象とする放射線の種類によって、適切な測定機器を選ぶ必要があります。適切な放射線測定器を選択していないと、過剰な被ばくをしたり、身体汚染を起こすこととなり、注意する必要があります。


放射線を測定する目的は、

- ・空間放射線量率の測定
- ・表面汚染の測定
- ・個人被ばく線量の測定 があります。

空間放射線量率の測定に適している測定器は、ガンマ(γ)線を測定する場合は、NaIシンチレーション式、電離箱式、GM計数管式です。中性子線の空間放射線量率を測定する場合、³He計数管式(レムカウンタ)です。

また、放射線測定器は、それぞれ測定原理、測定範囲、応答時間等が異なります。測定の目的に応じて、適切な測定器を選択します。

放射性物質による内部被ばく対策

- 
- 吸入摂取
経口摂取
経皮（創傷）吸収
- ❖ 放射性物質を体内に取り込んで被ばく
 - ❖ 急性障害はない
 - ◇ 線量評価は、体の中に取り込んだ放射性物質の量から今後50年間で被ばくする量
 - ◇ 体外計測、バイオアッセイで評価
 - ❖ 頭部・顔面に汚染があれば内部被ばくを疑う
 - ◇ 表面汚染検査で可能性をチェック
 - ◇ 鼻腔スワブ
 - ❖ 体内に取り込まないように呼吸保護



内部被ばくは、放射性物質を吸入したり、経口摂取して体内に取り込んで被ばくすることである。内部被ばくは、放射性物質が体内に存在している間は、被ばくし続けることになるが、一度に被ばくすることではないため、急性の症状が出ることはほとんどない。

また、頭部や顔面に汚染がある場合は、放射性物質が浮遊した空間を移動して呼吸によって放射性物質を吸入した可能性がある。そのため、表面汚染検査、鼻腔スワブの検査で内部被ばくの可能性を確認する。

内部被ばくの防護は、呼吸保護をする。

放射性物質による表面汚染対策



汚染の濃度が極端に高くない限り、全身または皮膚の被ばくの症状は出ない

- ❖ 放射性物質が体表面、衣服等に付着した状態
- ❖ 表面汚染では危険な外部被ばくはしない
- ❖ 浮遊した放射性物質による内部被ばくに注意
- ❖ 放射線災害で汚染があれば汚染拡大防止
 - ◇ 養生
 - ◇ 汚染検査
- ❖ **表面汚染計**で測定
- ❖ **防護服**で皮膚、衣類への付着を防止
 - ◇ **防護服で外部被ばくは防護できない**



放射性物質が体表面、衣服、資機材等に付着した状態が表面汚染です。体表面の汚染からの放射線は、それほど強くないため、危険な外部被ばくはしません。

放射線災害で汚染が関与していれば、汚染拡大防止を行います。そのためには表面汚染系で汚染の程度を測定し、防護服で皮膚、衣類等への付着を防止します。

防護服は、タイベックスーツの他に、アイソレーションガウンなどを使用しても良いです。

汚染検査

- ❖ 表面汚染検査は、物体や身体、衣服などに付着した放射性物質の量を測定
- ❖ 表面汚染の程度を測る測定器は、測定器に入ってきた放射線の数をもとに1分間当たりあるいは1秒間当たりの計数として表示
 - ◇ 単位；は min^{-1} 、cpm (count per minute)、 s^{-1} 、cps (count per second)
- ❖ 表面汚染の測定器の種類
 - ◇ GM計数管式サーベイメータ；ベータ線、ガンマ線の表面汚染を測定
 - ◇ ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータ；アルファ線の表面汚染を測定



GM計数管式サーベイメータの例

表面汚染検査は、物体や身体、衣服などに付着した放射性物質の量を測定します。

表面汚染の程度を測る測定器は、測定器に入ってきた放射線の数をもとに1分間当たりあるいは1秒間当たりの計数として表示し、単位は min^{-1} 、 s^{-1} などを使用します。測定器の種類には、GM計数管式サーベイメータ、シンチレーション式サーベイメータがあります。ベータ線の表面汚染の計測には、GM計数管式サーベイメータが用いられ、アルファ線の表面汚染の計測には、ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータが用いられます。ZnS(Ag)シンチレーションサーベイメータでは、ベータ線は測定できませんし、GM計数管式サーベイメータでは、アルファ線は測定できません。

身体の汚染検査

- ❖ 検査は、2人 or 3人 1組が望ましい。
- ❖ GMサーベイメーターを使用して体表面汚染を検査する。
- ❖ 頭部からつま先まで検査する。
- ❖ 身体表面から約1 cm離し、1秒間に5 cm程度のゆっくりした速さで、検出部を移動
- ❖ 全身の汚染検査には5～10分程度必要
- ❖ 汚染の箇所と数値を記録する。



身体の汚染検査では、GM計数管式サーベイメーターを使用して、全身を測定します。原則として、検査は2人1組で行い、1人が測定を、もう1人が記録を行います。要員に余裕があれば、検査員2人が協力して検査し、時間短縮が可能です。

全身汚染検査では、頭からつま先、背中側をまんべんなく検査します。このため、全身汚染検査には、一人当たり約10分ほど時間を要します。

簡易汚染検査では、頭部、顔面、肩、手指、靴といった汚染が付着しやすい部位を検査します。この場合は、全身汚染検査よりも検査時間を短縮することができます。

汚染検査の結果を記録用紙に記載します。

口角、鼻周囲などの開口部に汚染が確認された場合は、放射性プルームの吸入が疑われますので、体内汚染の有無を判断するために、鼻腔スワブを綿棒で採取します。汚染検査の結果、有意な体内汚染の可能性が高いと判断された場合は、WBC（ホールボディカウンター）や甲状腺モニターによる内部被ばくの評価が必要となります。これらの検査は、被ばく医療機関等に設置されているWBC、甲状腺モニターを利用します。

記録用紙の例

| 実習 汚染検査 | | スクリーニング測定記録票 | |
|---------|----------------------|--------------|--|
| 氏名 | 被検者A | | <div style="border: 1px solid red; border-radius: 5px; padding: 2px; display: inline-block;">記入例</div> |
| 測定年月日 | 平成23年12月6日 | | |
| 時間 | 16:30 ~ 18:40 | | |
| 測定器機種 | GMサーベイメータ TGS-136 | | |
| 測定器番号 | 装置3-3 | | |
| B.G値 | 70 cpm | | |
| 測定者氏名 | *** ** | | |
| 記録者氏名 | *** ** | | |
| 除染 | ①・不要 | | |
| 備考 | | | |

記録用紙には、被検査者氏名、測定年月日、時間、測定器機種、測定器番号、バックグラウンド値、測定者氏名、記録者紙面、除染の要否等を記載します。これらの情報があれば、後日、表面密度を求めることも可能となります。測定結果は、汚染のある部位を○で囲み、計数値を記載します。除染した場合は、除染の回数を○で示し（例；1回目の除染①、2回目の除染②）、除染後の計数値を記載します。

表面汚染の測定時の注意点

- ❖ プローブ（検出部）を汚染しないようにビニール袋、ラップ等で覆う。
- ❖ 消音とする。

距離を一定に保つ



- ・測定する表面からの距離が離れると測定値が小さくなる。
- ・除染前後で距離が異なると、正確な比較ができない。

角度を一定に保つ



- ・測定する表面と検出部の角度が異なると、検出部との距離も異なる。
- ・測定器への放射線の入射方向によって感度が異なる。

速度を一定に保つ



- ・時定数や応答時間を意識する
- ・早く動かすと、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまう。

測定器のプローブ（検出部）に放射性物質が付着しないようにします。通常はビニール袋やラップなどで覆い、汚染したらこのビニール袋等を交換します。

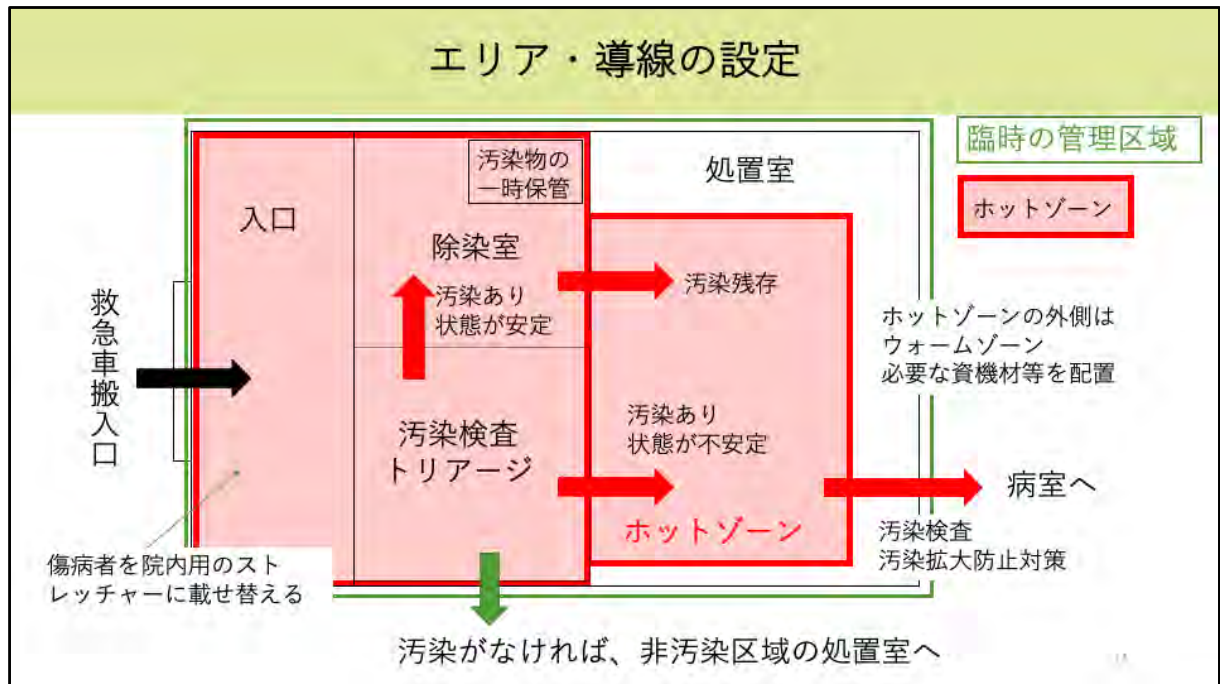
また、被災者の放射線被ばくに対する不安を考慮して、サーベイメータのスピーカーはオフにします。

測定時は、測定の対象物から一定の距離を保つこと、角度を一定に保つこと、ゆっくり動かすことに注意します。

計測する表面からの距離が離れると計数値は小さくなります。また、距離が異なると正確な評価ができません。

GMサーベイメータは、検出部の窓以外からはベータ線が入射しません。表面と検出部の角度が異なると検出部との距離も異なります。そのため、表面と検出部の角度を一定に保ちます。

表面汚染検査では、検出部は1秒間に5～6cmの距離を動かします。速度が速すぎると、指示値が表示される前に汚染のない箇所に移動してしまい、汚染を見逃してしまいます。



汚染のある傷病者の診療エリアは、汚染拡大防止対策と放射線管理が行えるように、一方通行の導線、汚染のない区域との交差をしない導線となるようなエリアを設定します。救急車からの搬入口が近い場所、救急医療の処置が可能な場所が望ましいです。

診療エリアには、院内用のストレッチャーに載せ替える入り口のスペース、汚染検査やトリアージを行うスペース、除染室（除染テントでも代用可能）、汚染のある傷病者の処置室、汚染物の一時保管場所等を設定します。これらはホットゾーンとなります。医療機材等はホットゾーンの外側に配置し、汚染拡大防止対策を講じます。除染後には、汚染検査あるいは汚染拡大防止対策を実施して、入院病室等へ移動させる導線を確保します。汚染傷病者の診療エリアは、処置後の汚染検査が終了するまで臨時の放射線管理区域として設定し、対応します。

養生（例）

- ❖ 汚染のない患者を移動させる
- ❖ 必要のない資機材を移動させるかカバーをかける
- ❖ 資機材に耐水性、使い捨てのカバーをかける
- ❖ 傷病者が到着する前に資機材、測定器の動作確認チェック
- ❖ バックグラウンドの確認
- ❖ 管理区域を設定する



入り口から処置室までの廊下の養生



床；ビニールシートとろ紙シートで二重に養生（被覆）

養生

医療施設や機材が放射性物質によって汚染されないようにビニールシート等で予め被覆しておくこと

ストレッチャーや処置台には、シーツを複数枚かけておく
(脱衣や除染で汚染した場合に取り除く)

廃棄物用コンテナ
ゴミ袋等は多めに必要

15

処置室は、養生の範囲や必要な養生用資機材の数量、養生方法を計画しておきます。ホットゾーンは視覚的に明確になるようにテープやロープ等で区域を設定できるようにします。また、除染後には、汚染が付着した廃棄物が多量に出るため、コンテナやゴミ袋は十分数量を準備しておきます。床は、ビニールシートで養生しますが、これだけでは、除染で水がこぼれた場合に滑りやすくなるなど危険であるため、ろ紙シートで二重に養生します。ストレッチャーはや処置台には、複数枚のシーツをかけておくと、脱衣や除染で汚染した場合に、1枚のシーツを取り除いても、問題ありません。モニター類は、検知部分以外は可能な限り養生しますが、画面等は、操作あるいは表示を確認できるようにしておきます。

医療機材の養生

❖ ポータブルX線撮影装置



❖ 超音波診断装置



❖ 表面汚染計



フィルムカセットはビニール袋で養生

❖ モニター等



16

医療機材は、その機能や操作の妨げにならない程度に養生します。

活動後の対応

❖ 汚染エリアからの退出

- ◇ 外側の手袋とテープをとる
- ◇ 帽子とマスクをとる
- ◇ 内側を外にするように巻きながらガウンを脱ぐ
- ◇ 靴カバーを内側を外に巻きながら脱ぐ
- ◇ 足底の汚染検査を行ってから、足をコールドゾーンにつける
- ◇ 汚染検査



ホットゾーンでの処置が終了したら、対応した医療スタッフは防護服を脱衣し、汚染検査を実施してホットゾーン、臨時の管理区域から退出します。

防護服の脱衣は次の順番で行います。

1. 外側の手袋とテープをとる
2. 帽子とマスクをとる
3. 内側を外にするように巻きながらガウンを脱ぐ
4. 靴カバーを内側を外に巻きながら脱ぐ
5. 足底の汚染検査を行ってから、足をコールドゾーンにつける

処置室の復帰

1. 処置室から廃棄物を移動する
2. 処置室の汚染検査
3. 必要であれば除染
 - ◇ 通常の清掃と同じ
 - ◇ 再度、汚染検査を実施する
4. 管理区域の設定を解除する

❖ 汚染のある廃棄物

- ◇ 汚染のない廃棄物とは区別する
- ◇ 放射性物質の付着している廃棄物はビニール袋もしくはコンテナに入れる
- ◇ ビニール袋あるいはコンテナをサーベイする
- ◇ 放射性物質の廃棄物からの被ばくを避けるために壁での遮蔽や距離をとる



すべての処置が終了したら、ポットゾーンと管理区域を設定した処置室を復帰させます。

まず、廃棄物をすべて臨時の保管場所に移動させます。その後、処置室の床、資機材などの汚染検査を行います。汚染があれば除染しますが、あらかじめカバーなどをしていた場合は、そのカバーを取り外します。床などに直接汚染が付着している場合は、通常の清掃と同じようにモップや布などで除染し、除染後に再度汚染検査を行います。

すべての汚染検査が終了したら、管理区域の設定を解除します。

汚染のある廃棄物は、ビニール袋やコンテナに入れ、汚染が拡散しないようにします。さらに容器の外側の空間線量率を測定し、保管場所の安全を確認します。保管場所は可能なかぎり個室や人の通行から離れた場所にします。

退出後に汚染が見つかったら・・・

- ❖ 汚染している可能性のあるエリアを全て閉鎖する
 - ◇ 患者や職員の動線から推定
- ❖ エリア内の職員は、汚染検査を実施後、エリア外へ出る
- ❖ エリア内の施設、資機材の汚染検査を実施
- ❖ 汚染があれば除染する
- ❖ 汚染が広がっていても、その後の検査、除染をきちんとすれば問題ない

処置後や活動後にホットゾーンや管理区域を退出した後に汚染が発見された場合は、汚染している可能性のあるエリアを全て閉鎖します。

エリア内の職員は、汚染検査を行った後にエリア外へ出ます。エリア内の処置室や施設、資機材の汚染検査を行います。汚染があれば除染します。

汚染が後から発見されても、その後の検査、除染をきちんと対応すれば問題ありません。

まとめ

- ◆ 対応者の安全
 - ◇ 外部被ばくの防護
 - ◇ 内部被ばくの防護
- ◆ 汚染拡大防止
 - ◇ 対応者；个人防护装備、汚染検査
 - ◇ 施設；養生

被ばく医療

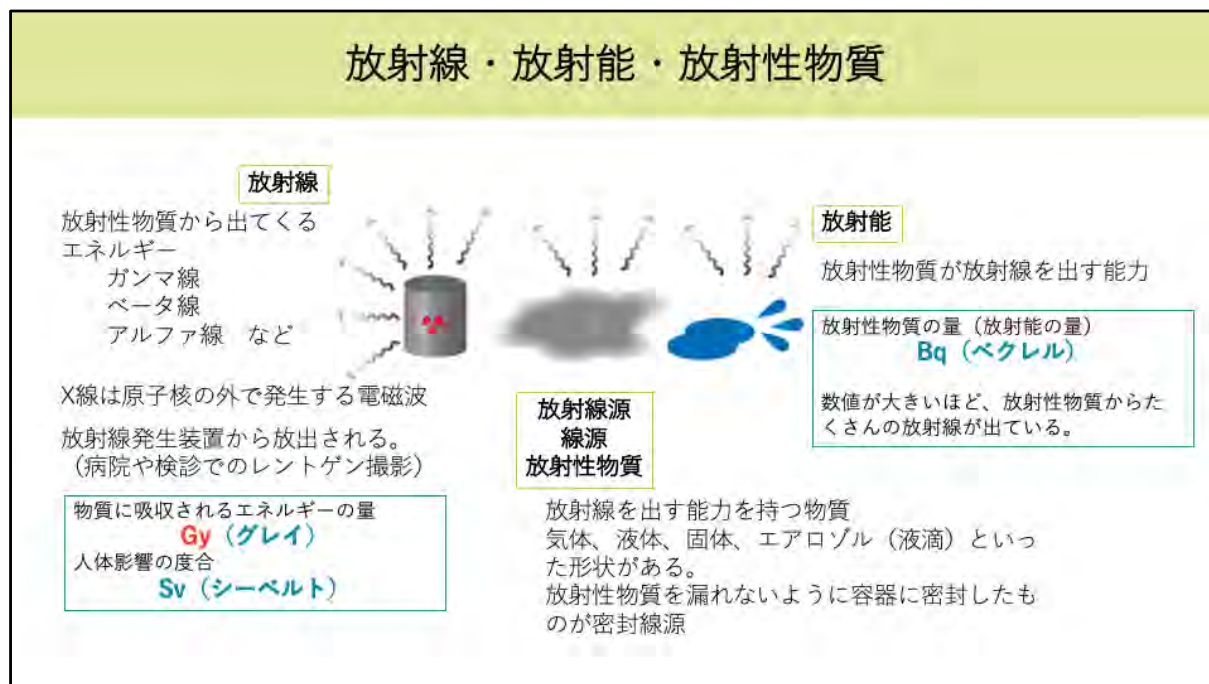
放射線事故医療対応

時間；45分

内容

- 放射線の基礎
- 放射線の人体影響
- 放射線テロ・災害の種類
- 被ばく医療の概要
- 被ばく医療の実践

放射線・放射能・放射性物質



放射線とは、放射性物質から出てくるエネルギーです。種類としては、高いエネルギーを持つ電磁波のガンマ線、エックス線と高速で動く粒子線のアルファ線、ベータ線などがあります。中性子線は、電荷を持たない放射線です。放射線は原子核が不安定な状態から安定な状態に変化（壊変）するとき放出されたり、原子核以外では発生装置からも放出されます。

原子は原子核とその周りを回る電子から構成されており、原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されています。原子核がエネルギー的に不安定な場合、安定になるようとして放射線を放出します。原子核から放射線を放出することを壊変といい、壊変は大きく分けると α （アルファ）壊変と β （ベータ）壊変があります。



放射線は五感で感じることはできませんが、測定器で検知、計測ができます。

放射性物質とは、放射線を出す物質のことです。形状としては気体、液体、固体などがあります。放射性物質を放射線源ということもあります。

放射性物質が放射線を出す能力のことを放射能といいます。放射能の単位はBq（ベクレル）であり、数値が大きいほど放射性物質からたくさんの放射線が出ていることとなります。

また、放射線の強さを放射線による人体への影響の度合いで表す単位がSv（シーベルト）となります。

放射線被ばくと汚染

| 被ばく | 汚染 |
|---|--|
| <p data-bbox="264 456 480 483">放射線をあびること</p>  <p data-bbox="331 663 440 689">外部被ばく</p> <p data-bbox="555 663 663 689">内部被ばく</p> <p data-bbox="277 714 724 763">外部被ばくとは、放射性物質（線源）から放出される放射線を体の外から浴びること。</p> <p data-bbox="277 763 632 790">被ばく後、身体には放射線は残らない。</p> <ul data-bbox="300 790 730 831" style="list-style-type: none">・ 全身被ばく；全身あるいは体幹部に被ばくした場合・ 局所被ばく；体の一部分が被ばくした場合 <p data-bbox="277 842 735 891">内部被ばくとは、身体に取り込んだ（吸入、摂食）放射性物質からの放射線を体内で浴びること。</p> | <p data-bbox="1043 456 1326 483">放射性物質が付着すること</p>  <p data-bbox="842 689 1214 716">放射性物質が皮膚や衣類に付着すること。</p> <p data-bbox="842 716 1241 743">汚染に接触すると汚染は広がる = 汚染拡大</p> <p data-bbox="842 763 1289 835">噴霧、放出された放射性物質を吸入すると内部被ばくにつながる。同時に頭部、顔面の汚染も存在する人が多い。</p> |

放射線を浴びる事を放射線被ばくと言います。

体の外から放射線を浴びるのが外部被ばく、放射性物質を体内に取り込んで体の中から放射線を浴びることが内部被ばくです。

外部被ばくには、全身あるいは体幹部の重要な臓器の大部分を被ばくする全身被ばくと、手指や四肢の一部など身体の一部だけを被ばくする局所被ばくがあります。局所被ばくでは、被ばくした部分の皮膚や骨の影響が現れます。

内部被ばくには、吸入摂取、経口摂取、経皮（創傷）吸収の3つの経路があります。

放射性物質が体の表面や衣服等に付着した状態が汚染です。頭部や顔面に体表面汚染がある場合は、噴霧あるいは放出された放射性物質を吸入したり、放射性物質が浮遊していた空間に滞在していた可能性があるため、内部被ばくの可能性も考えます。

体表面汚染のある部位からは、放射線を検知できますが、局所被ばくの症状が出現するほどの被ばくは通常はありません。ただし、とてもエネルギーが高い放射性物質が高濃度に付着した場合は、皮膚障害が出現することもあります。表面汚染がある人から、周囲の人が外部被ばくするのはとても低いレベルです。

汚染に接触すると接触した手などに放射性物質が付着します。放射性物質が付着した手などで別の場所、部位を触ると放射性物質が触った場所、部位に新たに付着して汚染拡大するため、注意が必要です。

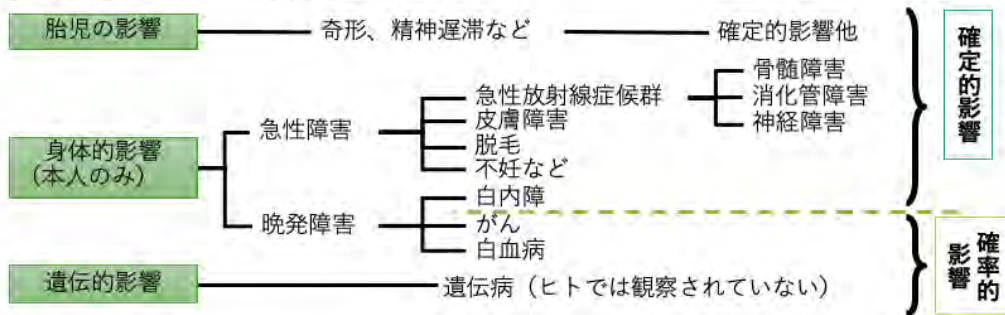
放射線の人体への影響

◆ 急性障害

- ◇ 急性放射線症候群：全身に短時間で1Gy以上の線量を被ばくしたときに生じる
- ◇ 放射線熱傷：放射線による皮膚障害、体の一部分の被ばくでも生じる

◆ 晩発障害

- ◇ 白内障：数年～十数年後に現れる目の症状
- ◇ 悪性腫瘍：がんや白血病など



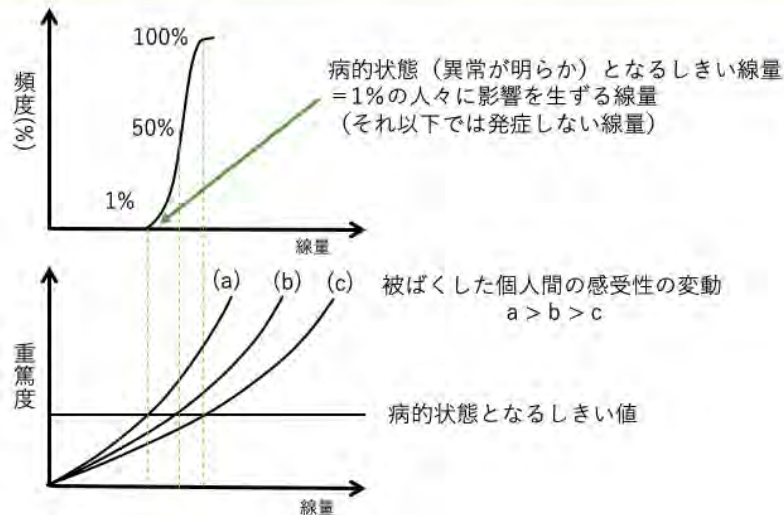
放射線の人体への影響は、医学的な観点から被ばくした本人に現れる身体的影響と被ばくした人の子孫に現れる遺伝的影響があります。遺伝的影響は人では観察されていません。

身体的影響は、被ばくした本人の体に症状が現れる時期によって急性障害と晩発障害に分けられます。急性障害は、被ばくして数週間以内に現れる症状で、全身に短時間で1 Gy以上の線量を被ばくした時には、骨髄障害、消化管障害、神経障害などの全身の症状が現れます。これを急性放射線症候群といいます。また、体の一部分だけを被ばくする事を局所被ばくといい、高線量の局所被ばくをした場合は、皮膚の障害として、熱傷のような症状が現れます。

被ばく後数年から数十年経ってから現れる症状を晩発障害といいます。晩発障害には、白内障、がん、白血病などがあります。

母親の胎内にいた時に被ばくした場合は、胎児の影響があり、奇形や精神遅滞などが現れます。

確定的影響（組織反応）



確定的影響とは、急性障害、胎児への影響及び晩発障害のうちの確率的影響以外のものをいいます。これらの影響は、大量の放射線を被ばくした場合に、死滅する多くの細胞を補う正常な細胞の分裂増殖が十分でないために発生すると考えられており、ある線量以上の被ばくを受けた場合のときだけに現れます。

この線量を「しきい値」といい、しきい値を超えた線量を被ばくすると、症状の現れ方には多少の個人差はありますが、誰にも同じように症状が現れます。

確定的影響の特徴を整理すると、次のようになります。

- ・症状は、しきい値以上の放射線を被ばくした場合に現れる。
- ・症状の重さは、被ばくした放射線の量に依存する。
- ・同じ程度の量の放射線を被ばくした人には、誰にでも同じような症状が現れる。

なお、症状の発生する頻度が1%の値をしきい値としています。

しきい値

| 影響 | 器官/組織 | 発症までの期間 | 受けた線量 (Sv) |
|-------------|----------|----------|---------------------------------|
| 罹患率: | | | |
| 一時的な不妊 | 精巣 | 3-9週間 | 1%の人に生じる ~0.1 ^{a,b} |
| 永久不妊 | 精巣 | 3週間 | ~6 ^{a,b} |
| 永久不妊 | 卵巣 | < 1週間 | ~3 ^{a,b} |
| 造血能低下 | 骨髄 | 3-7日間 | ~0.5 ^{a,b} |
| 皮膚の発赤 | 皮膚 (広範囲) | 1-4 週間 | < 3-6 ^b |
| 放射線熱傷 | 皮膚 (広範囲) | 2-3 週間 | 5-10 ^b |
| 一時的な脱毛 | 皮膚 | 2-3 週間 | ~4 ^b |
| 白内障 (視力障害) | 水晶体 | 数年 | ~1.5 ^{a,c} |
| 死亡: | | | |
| 骨髄症候群: | | | |
| - 治療なし | 骨髄 | 30-60 日間 | ~1 ^b |
| - 適切な治療 | 骨髄 | 30-60 日間 | 2-3 ^{b,d} |
| 胃腸の障害: | | | |
| - 治療なし | 小腸 | 6-9日間 | ~6 ^d |
| - 適切な治療 | 小腸 | 6-9日間 | > 6 ^{b,e,d} |
| 肺臓炎: | 肺 | 1-7ヶ月 | 6 ^{b,c,d} |

放射線の確定的影響は、それぞれ被ばく後から発現するまでの期間としきい値が決まっています。この表はICRPによって示された、全身γ線被ばく後の成人の臓器および組織にかかわる罹病の1%発生率と死亡に対する、急性吸収線量のしきい値の予測推定値です。急性に1回で被ばくした場合の値です。

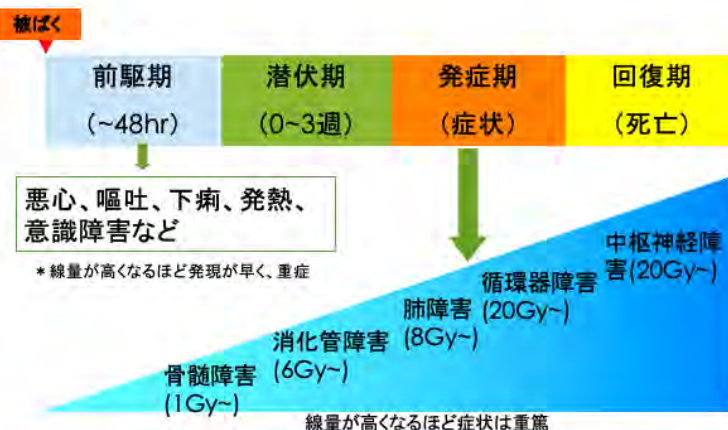
出典：ICRP Publication 103

- a) ICRP (1984)。
- b) UNSCEAR (1988)。
- c) Edwards と Lloyd (1996)。
- d) Scott と Hahn (1989) , Scott (1993)。
- e) ほとんどの数値は四捨五入してGy に丸められている。範囲は、皮膚については面積依存性が、骨髄については様々な補助的治療があることを示している。

急性放射線症 (Acute Radiation Syndrome, ARS)

❖ 短時間に全身被ばく (1Sv 以上) 後、数時間～数週間後に起こる臨床症状の総称
→ 多くの組織や臓器障害をおこす

❖ 特に細胞増殖の盛んな組織 (造血器、消化管粘膜、皮膚、生殖腺の幹細胞など) が影響を受けやすく、これらの臓器の障害による症状が主体



全身に1グレイ (1,000ミリグレイ、ガンマ線であれば1シーベルト) 以上の放射線を一度に受けた場合、急性放射線症と呼ばれる、一連の臓器障害をきたすことがあります。この時間経過をみると、典型的には、前駆期、潜伏期、発症期の経過をたどり、その後、回復するか、あるいは死に至ります。

被ばく後およそ48時間以内に見られる前駆症状により、およそその被ばく量を推定することができます。

1グレイ以上の被ばくで、食欲不振、悪心、嘔吐といった症状が見られることがあります。

4グレイ以上の被ばくをした場合、頭痛などを訴えることがあります。

下痢や発熱といった症状を示す場合は6グレイ以上被ばくした可能性があります。その後、潜伏期を経て、発症期に入ると、被ばくした線量に応じて造血器障害、消化管障害、神経血管障害の順で現れます。これらの障害は、放射線感受性の高い臓器や組織を中心に現れます。概して線量が多いほど潜伏期は短くなります。

皮膚は、大人で1.3~1.8m²と、大きな面積を持つ組織です。被ばく直後に初期皮膚紅斑がでることもありますが、一般には皮膚障害は被ばく後数日以上たってから現れます。

ARS 前駆症状と被ばく線量

| | 1~2Gy | 2~4Gy | 4~6Gy | 6~8Gy | >8Gy |
|----|----------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| 嘔吐 | 10-50% 2h以降 | 70-90% 1-2h | 100% 1h以内 | 100% 30min以内 | 100% 10min以内 |
| 下痢 | (-) | (-) | 中等度 <10% 3~8h | 重度 >10% 1~3h | 重度 100% 1h以内 |
| 頭痛 | 軽度 | 軽度 | 中等度 50% 4~24h | 重度 80% 3~4h | 重度 80~90% 1~2h |
| 意識 | 正常 | 正常 | 正常 | 混濁例あり | 喪失 (50Gy↑) |
| 体温 | 正常 | 微熱 | 発熱 | 高熱 | 高熱 |

臨床症状からの被ばく線量の推定としては、急性放射線症(ARS)の前駆症状の重篤度と発症時期による推定があります。

前駆症状の発現時期が早ければ早いほど、また症状が重篤であるほど、被ばく線量は高いことが推定されます。これは、医療機関で被ばく患者を受け入れた際に、大まかな状態と高線量被ばくの可能性を推定する際に役立ちます。

出典；IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より改変

ARSの治療方針

| (Gy) | 1-2 | 2-4 | 4-6 | 6-8 | >8 |
|------|---|---|-----|---|----|
| 治療 | 経過観察 | 入院, 速やかに 無菌室 へ | | | |
| | サイトカイン→ | 速やか(1W以内)にG-CSF かGM-CSF投与開始 | | GM-CSF/G- CSF+EPO+TPO | |
| | 抗生物質など→ | 広域スペクトル抗生物質(潜伏期が終わる頃~), 抗真菌剤・抗ウイルス剤(必要に応じ), SDD(6Gy↑) | | | |
| | 血液製剤→ | 成分輸血: 血小板, 赤血球(必要に応じて) | | | |
| | *1-2Gyが予測される場合、 線量が確定するまでは線 量がより高いことを想定 し対処する。 | L-グルタミン, エレメンタリー-ダイエット投 与, 完全経静脈栄養, 電解質補正 | | 血漿交換(必要に応じ第2または3週~) DIC の予防(必要に応じ第2週~) | |
| | | 骨髓移植 → | | 骨髓幹細胞移植(第1週) | |

急性放射線症の治療は、症状と徴候、一般検査の結果、線量評価に基づき行います。治療法の多くは、放射線療法の副作用軽減法や治療法の転用、動物実験の臨床応用、数少ない治療経験などで、科学的根拠に基づいたものはほとんどありません。

骨髓障害に起因する感染症などの合併症を予防することが重要です。骨髓機能の回復が見込まれる1~4Gyの被ばくであれば、患者を無菌室に隔離し、注意深く発熱、出血、上咽頭痛や発赤、潰瘍などについての臨床的評価を行います。細菌学的検査を継続し、感染症が起こった場合に備えて、サイトカインを含む有効な治療薬を投与できるようにしておきます。被ばく線量が4~6Gyをコスト考えられる場合は、血液幹細胞が不可逆的に障害を受けている可能性が高いため、感染症対策を入院直後から実施します。さらに複数のサイトカインを組み合わせて治療を行います。また、入院後すぐに選択的消化管除菌(SDD、例えばtobramycin 80mg, polymyxin B 50万単位、amphotericin B 500mg)を行い、抗生物質の全身的投与を開始します。体表面の消毒を行なった後に、無菌室に隔離します。

3~10Gy程度の被ばく線量で造血幹細胞移植を行うことが考えられてきました。しかし移植両方の副作用とサイトカイン療法の発展から、移植の有効性が合理的に期待できるのは、6~10Gy程度と考えられています。移植の目的は、ドナー由来細胞が永久的に生着することではなく、一過性に生命を支持することです。

顆粒球コロニー刺激因子(G-CSF)や顆粒球マクロファージコロニー刺激因子(GM-CSF)は、被ばく後の患者の造血速度を促進するので、幹細胞が残っている場合には、骨髓移植を不要のものとする可能性があります。2~6(8)Gyの被ばくでは移植を行わずにサイトカイン療法を行います。

消化管障害の治療は、現時点では確立されておらず、輸液による電解質管理、完全静脈栄養、成分輸血などの対症療法が中心となります。

放射線肺臓炎は、8Gy以上の被ばくで発症頻度が増加します。被ばく後の軟部組織の硬化、繊維化を予防、治療するため、長期（半年から1年）にわたるペントキシフィリンとビタミンEの併用が有効であるとの動物実験および臨床研究の報告があります。

放射線皮膚障害

| | 熱傷 | 放射線皮膚障害（放射線熱傷） |
|-----------------|---|--|
| 症状 | すぐに痛み 激しい炎症反応 患部の細胞死 組織の破壊 | 始めは痛みがない 被ばくの線量に応じて 症状の発現時期は異なる |
| 障害の機序 | 高温による障害 蛋白凝固, 細胞 代謝障害, 局所 循環障害 | 放射線によるDNA損傷 (細胞の種類により感 受性は異なる) |
| エネルギー (2度熱傷) | 大(4Cal/cm ²) | 小 (0.0126Cal/cm ²):30Gy |

- ❖ 皮膚障害の無自覚と深達度の判断の困難性
- ❖ 遅発性
 - ◇ 潜伏期（期間は被ばく線量による）がある
- ❖ 難治性
 - ◇ 例えば、中性子被ばく（線質），高線量被ばく（線量）などにより障害がより深達性となる
- ❖ 障害の反復性
 - ◇ 障害が反復したり，一度治癒した部分が血流障害の悪化により再度症状再燃する（～年単位）

放射線皮膚障害の症状は熱傷の症状と類似していますが、病態は異なります。放射線による障害は、基底細胞に強く出ます。基底層の細胞は分裂が盛んで、皮膚の再上皮化を起こす場所で、ここが放射線で損傷すると皮膚障害が発生します。通常、基底層から顆粒層へ細胞増殖のための移行時間が 14 ± 6 日、顆粒層から表層までには 18 ± 6 日かかります。

放射線皮膚障害の重症度を規定する因子は、放射線の線質、被ばく線量、皮膚の厚さ、年齢などがあげられます。 α 線の場合では、軟部組織表層からの透過距離は約0.04mmであり、表皮基底層には達しません。 γ 線、中性子線による障害は深層への透過性が極めて強く、皮膚、皮下組織、筋肉、骨にも達します。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

放射線皮膚障害の病期と初期変化

| | | |
|-----|---------------|---|
| I | 超急性期 ～7日 | 皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させる。 |
| II | 急性期 7日～6カ月 | 放射線によって引き起こされる表皮基底層のDNA障害は、潜伏期間（通常2～3週単位）を経て、2～3週間（細胞同期と同じ）ごとに細胞障害や組織死が段階的に進み、多彩な症状が続く。 |
| III | 慢性期 6カ月以上 | 表皮が再生した後は、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。 |

| 症状 | 線量(Gy) | 発症(day) |
|------|--------|---------|
| 紅斑 | 3-10 | 12-21 |
| 脱毛 | >3 | 14-18 |
| 乾性落屑 | 8-12 | 25-30 |
| 湿性落屑 | 15-20 | 20-28 |
| 水疱 | 15-25 | 15-25 |
| 潰瘍 | >20 | 14-21 |
| 壊死 | >25 | >21 |

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

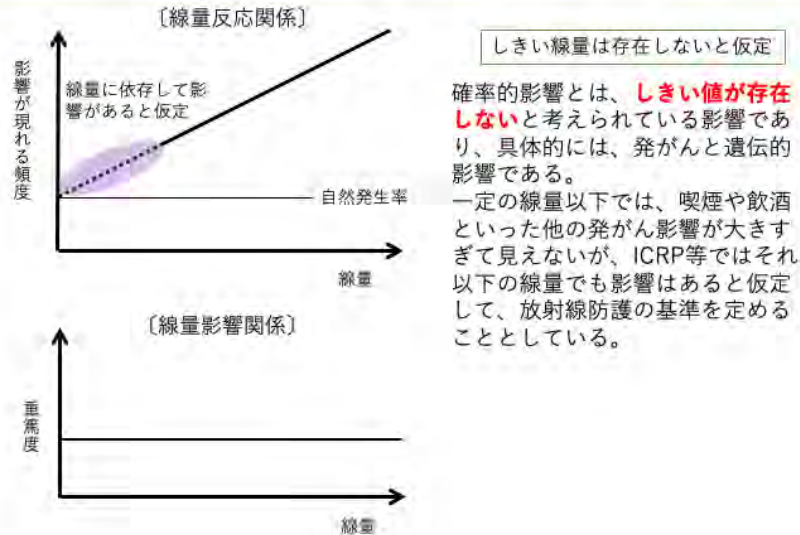
放射線皮膚障害の病気は、超急性期（7日未満）、急性期（7日以後～6カ月まで）、慢性期（6ヶ月以降～数年）に分けられます。

皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させ、全身組織へのケミカルメディエーターの放出が惹起されます。そのため浮腫や紅斑が出現します。

急性期の放射線皮膚障害の程度は、被ばく線量と被ばくした組織の放射線感受性によって決まります。10Gy前後では初期の皮膚症状（発赤、紅斑、浮腫）が3～4日で消退後、潜伏期の後、3週目ごろより再度、組織腫脹、掻痒感、発赤、疼痛感、市販などが現れます。進行は緩徐です。

慢性期では、表皮が再生した後、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。10Gy以上の被ばくによる皮膚障害では、一度障害された皮膚が上皮化した後も、再度皮膚障害が反復し、潰瘍や皮膚剥離がおきます。また、6カ月以上経過してから皮膚の繊維化や色素沈着などが出現します。真皮層には、多くの血管が存在します。血管内皮細胞は放射線感受性が高いため、被ばくした領域ではこれらの血管の内膜に障害が生じ、内膜の肥厚や微小血栓の形成を通じて微小循環障害や局所の血流障害を起こします。

確率的影響

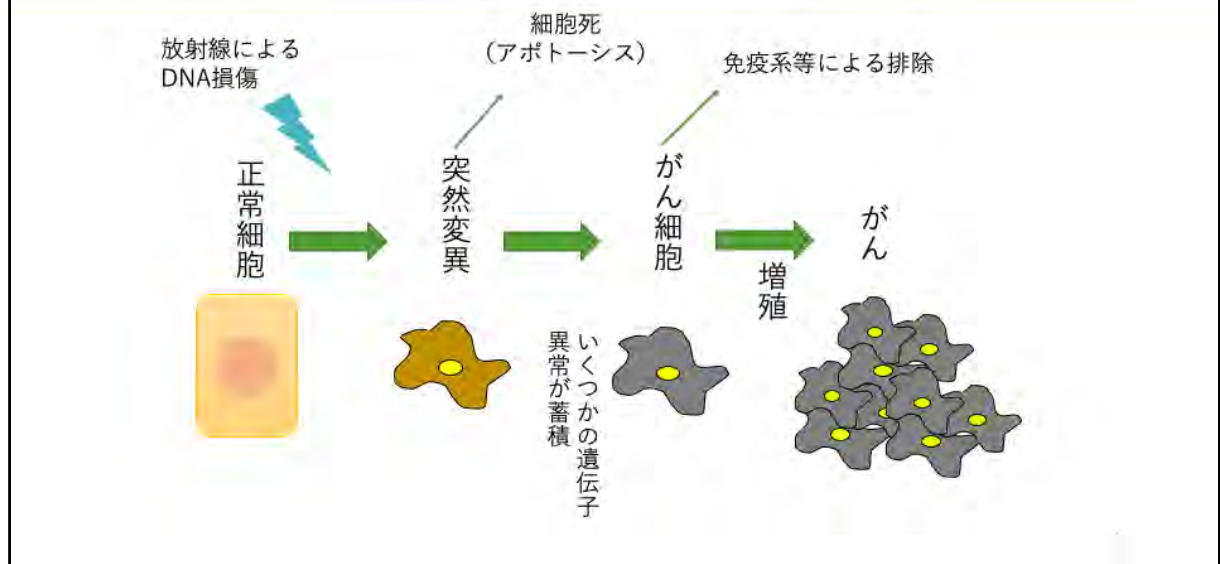


確率的影響とは、しきい値が存在しないと考えられている影響であり、具体的には、発がんや遺伝的影響です。

これらの影響には、細胞の突然変異が関わっています。遺伝的影響の場合、生殖細胞に1回、発がんの場合、ひとつの体細胞に数回の突然変異が生じることで起こります。つまり、確率的影響は細胞が一つでも性質を変えれば、発生する可能性があります。

放射線の被ばく線量と影響の間には、しきい値がなく直線的な関係が成り立つという考え方をLNT(Liner non-threshold)仮説といいます。

放射線と発がん

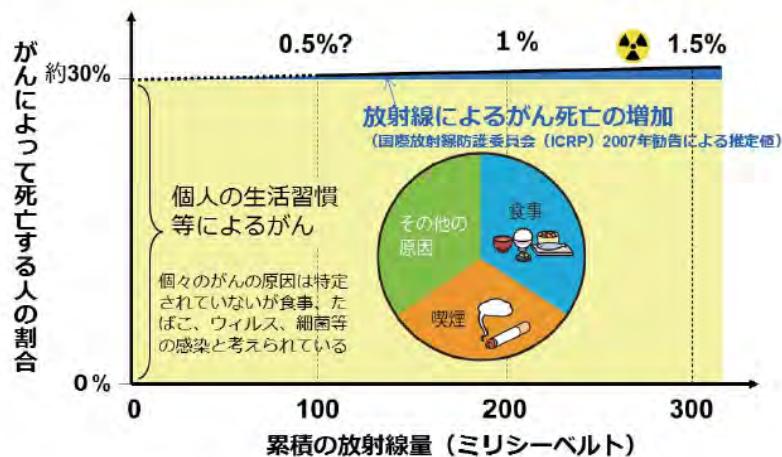


放射線ばかりではなく、様々な化学物質や紫外線等にもDNAを傷つける作用があります。しかし、細胞には傷ついたDNAを修復する仕組みがあり、大抵の傷はすぐに元どおりに修復され、また修復に失敗した場合でも、その細胞を排除する機能が体には備わっています。

ごく稀に、修復し損なった細胞が、変異細胞として体の中に生き残ることがあります。こうしたがんの芽は生じては消え、消えては生じといったことを繰り返します。その中でたまたま生き残った細胞に遺伝子の変異が蓄積し、がん細胞となることがありますが、それには長い時間が掛かります。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

放射線によるがんの増加



がんは放射線だけでなく、食事、喫煙、ウイルス、大気汚染など様々な要因によって発症すると考えられます。起こった個々のがんが放射線によるものであると特定することはできません。従って、放射線でがんが起きているかどうかを検証するには、多くの集団において、受けた線量とともにがんが起これる確率も上昇するかどうかを調べる必要があります。

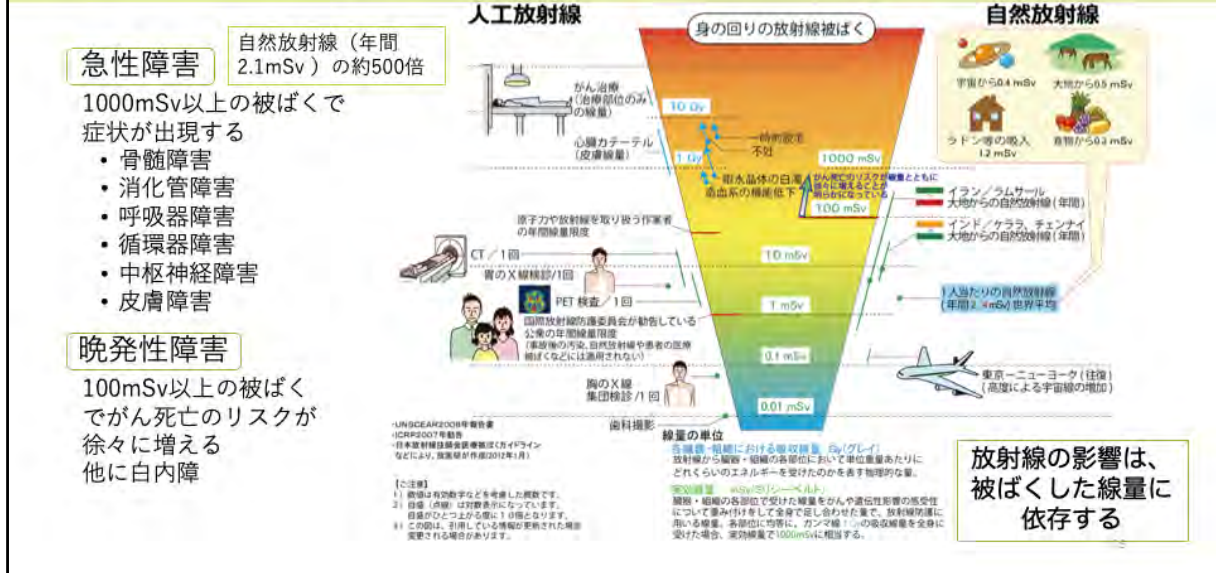
原爆被爆者を主とした疫学調査では、およそ100ミリシーベルト以上の線量では、線量とともにがん死亡が増加することが確認されています。およそ100ミリシーベルトまでの線量では、放射線とがんについての研究結果に一貫性はなく、放射線によりがん死亡が増えることを示す明確な証拠はありません。しかしながら放射線防護の目的のための慎重な考え方として、年間100ミリシーベルトまでゆつくりと被ばくする場合、放射線によるがん死亡が1,000ミリシーベルトあたりおよそ5%であるとされており、国際放射線防護委員会 (ICRP) もこれを妥当であるとしています。

日本人は元々約30% (1,000人のうち300人) ががんで亡くなっています。この国際的な推定値を用いると、仮に1,000人の方が100ミリシーベルト※の線量を受けたとすると、生涯にがんで亡くなる方が300人から305人に増加すると計算できます。ただし、ICRPは同時に、この仮定は確実ではないが起これる可能性のある障害を予防するという考え方であり、100ミリシーベルトよりもごく低い線量を合計して集団で出るがんなどの症例数を計算するといった影響の評価には不確実性が大きく、適切でないとしています。

*ここで言う100ミリシーベルトとは年間の被ばく線量ではなく、これまで受けた積算線量です。また、この100ミリシーベルトには自然界から受ける放射線量は含まれません。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

身の回りの放射線被ばくと影響



放射線の影響は、被ばくした線量に依存します。
身の回りの放射線被ばくの線量と影響を図にまとめたものを示します。

放射線テロ・災害の種類

放射線源（放射線を出す物質の塊）からの放射線に暴露される、あるいは放射性物質の汚染が拡散する事態



放射線のテロ・災害には、放射線源の放置による外部被ばく、放射性物質の拡散による汚染と内部被ばくを生じるものがあります。爆発物を使用した放射性物質の拡散の場合は、被災者に爆傷の被害が生じます。また原子力施設の破壊行為や核兵器の使用では、外部被ばく、内部被ばく、汚染の全てが混在して生じることになります。

被ばく医療の概要



被ばく医療の対象は、原子力施設あるいは原子力災害、放射線事故、放射線テロ等で、外部被ばく、内部被ばくをした傷病者と体表面汚染が合併した傷病者となります。

被ばく医療は、医療としての放射線障害の診断と治療、蘇生や外傷診療、全身管理と同時に被ばく線量評価と放射線管理を行う必要があります。被ばく線量評価は専門的な対応が必要なため、一つの組織や機関では対応困難なことがあります。そのため、平時に関係機関との連携やネットワークを構築して、事故や災害が発生した場合に備えておきます。また、医療機関は、原子力災害時等が発生した場合に、被ばく医療を円滑に提供できるように備えておくことが重要です。

病院での緊急被ばく医療

計画

- ・院内マニュアルの整備
- ・教育、訓練

準備

- ・事故発生後の情報収集
- ・受け入れ施設の準備（臨時の管理区域設定を含む）、資機材の準備
- ・スタッフの防護

診療

- ・傷病者の受け入れから処置
- ・汚染の程度、被ばくの線量評価

復帰

- ・个人防护装備の脱衣
- ・施設の復帰

病院での緊急被ばく医療としての初期対応の流れを示しています。

できれば、院内マニュアルを整備し、関係者に教育、訓練を行います。

実際に事故等が発生し、被ばくあるいは汚染した傷病者を受け入れる場合は、施設、スタッフの準備を行い、診療後には、スタッフ及び施設の汚染検査等を行い、施設を元どおりに復帰させます。

患者受け入れの準備

| 外傷診療 | 汚染患者診療 |
|------------------------|-------------------------|
| ホットラインでの情報収集 | 被ばく、汚染に関する情報収集 |
| 受け入れ決定、助言 | 脱衣、被覆等の助言 |
| スタッフ招集、情報共有、役割分担 | HOT、COLDの役割分担 |
| 蘇生用具一式、加温した輸液類 | 養生（汚染拡大防止）・除染の資機材 |
| 各種モニター | 放射線測定器 |
| ポータブルエックス線撮影装置、超音波診断装置 | 汚染対策（エリアの設定、施設・医療機材の養生） |
| 感染に対する標準予防策 | PPE(個人防護装備、個人線量計) |

被ばくあるいは汚染のある傷病者の受け入れが決定したら、計画に基づいた受入れ準備を開始します。

被ばく医療の専門的知識や技能を有した医療従事者を参集し、得られた情報を共有します。

また、施設や現場の救急隊員から患者情報、事故の状況などの情報を収集し、事業所の放射線管理要員の同行を要請します。

医療機関では、放射線管理や汚染検査に慣れている診療放射線技師が施設と対応者の放射線管理を担当します。また、放射線測定器、除染用資機材、医療資機材を準備します。

医療機関での対応

- ❖ 外部被ばく → 前駆症状を確認する。
高線量外部被ばくの線量評価を行う。
治療の必要性、程度の判断をする。
- ❖ 内部被ばく → 急性障害はない。
内部被ばくの線量評価を行う。
薬剤による治療の判断をする（核種に応じた薬剤の選択）。
- ❖ 体表面汚染 → 生命の危険には関与しない。
除染は救命処置にはならない。



- ❖ 医療機関での救命処置は、まず放射線以外の原因、外傷等に対して実施される。
- ❖ これらの救命処置は、除染よりも優先される。

医療機関での対応として、外部被ばくが疑われる場合は、前駆症状を確認し、高線量外部被ばくの線量評価を行い、治療の必要性や程度を判断、診断します。内部被ばくが疑われる場合は、急性障害はありませんが、線量評価を行い、核種に応じた薬剤を選択して、早期の治療を開始します。体表面汚染は生命の危険には関与しないため、除染は救命処置にはなりません。

医療機関での救命処置は、放射線以外の原因、外傷等に対して優先して実施されます。

外傷診療と被ばく医療

| 外傷診療 | 被ばく・汚染傷病者診療 |
|-------------------|--|
| 第一印象 | <ul style="list-style-type: none"> 空間線量率の確認 放射線線源の持ち込みの有無 場の安全確認 |
| Primary surveyと蘇生 | <ul style="list-style-type: none"> エックス線撮影・FASTの汚染拡大防止 脱衣（衣服に汚染があることを考慮） 汚染検査 |
| Secondary survey | <ul style="list-style-type: none"> 全身の汚染検査 除染 内部被ばくの有無の確認（鼻腔スワブ） |
| Tertiary survey | <ul style="list-style-type: none"> 被ばく線量評価 外部被ばく（ARS、局所被ばく）→個人線量計、染色体分析 内部被ばく→体外計測、バイオアッセイ（生体試料の測定） |
| 根本治療 | <ul style="list-style-type: none"> 外部被ばく（ARS、局所被ばく）の治療 内部被ばくの治療（体内除染剤等の投与） |

外傷診療の流れに被ばく医療の診療を組み合わせる場合は、それぞれの外傷の処置、診療の場面ごとに被ばくや汚染への対応を追加します。

外傷診療で、第一印象を確認する間に、診療放射線技師により空間線量率を確認し、放射線源の持ち込みの有無など処置時の場所の安全確認を行います。

Primary surveyと蘇生では、ポータブルエックス線撮影、超音波検査装置の汚染拡大防止の対策を講じるとともに脱衣、汚染検査を行います。Secondary surveyでは、全身の汚染検査と除染を行い、内部被ばくの有無を確認するため、鼻腔スワブを採取します。Tertiary surveyでは被ばく線量評価に必要な情報と試料を採取します。根本治療は急性放射線症、局所被ばく、内部被ばくの治療を行います。

単純X線撮影

- ❖ フィルムカセットはビニール袋に入れる
- ❖ ポータブルX線撮影装置のアームをのばして撮影する
- ❖ ホットゾーンからカセットを出す時はビニール袋から取り出し、コールドゾーンに渡す



23

外傷等の診療において、除染よりも単純エックス線撮影を優先する場合は、フィルムカセットの汚染対策が必要です。カセットはビニール袋等で覆い、ホットゾーンからカセットを出す時にはビニール袋から取り出し、カセットのみをコールドゾーンに出します。

ポータブルエックス線撮影装置は、本体はコールドゾーン（ウォームゾーン）に置き、アームを伸ばして撮影します。

脱衣と体表面汚染検査



汚染した衣服をシートごと
取り除く
→新しいシートが下にある



1.創部→2.開口部→3.健常皮膚
頭からつま先まで汚染のサーベイ
背部も忘れずに

24

汚染のある衣服を脱がせることで、体表面の汚染の約90%を取り除くことができます。搬送時に傷病者を包んできた毛布やシート、衣類は、取り除いた後にビニール袋へ入れ、汚染が拡大しないようにします。

汚染した衣類などを触った後は、素早く外側のゴム手袋を交換します。

1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で汚染検査を行います。頭からつま先までの汚染検査したら、背部の汚染検査を行います。

除染

1.創部 → 2.開口部 → 3.健常皮膚

❖ 除染の方法

- ◇ ぬれたガーゼでふき取る、洗剤、オレンジオイルでふき取る
- ◇ 水で洗い流す
- ◇ うがい
- ◇ 全身のシャワー除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控える

❖ 除染の基本

- ◇ 汚染検査で汚染の範囲を確認する
- ◇ 患者自身にできることは患者にさせる
- ◇ 使用した綿球・ガーゼ等（一回目）は氏名・部位・日時を記して測定（核種の同定）
- ◇ 水、ガーゼは汚染のある廃棄物として管理する
- ◇ 除染後に再測定する→必要に応じて再除染
- ◇ 基本的に汚染が残存しても皮膚障害は起きない→Debridementは急性障害を起こすもしくは医学的理由があるときのみ



体表面汚染は、1.創傷部、2.開口部（顔面）、3.健常皮膚の順番で除染します。

除染の方法は、ぬれたガーゼで拭き取ったり、部分的に水で洗い流したりします。水だけでは除染できない場合は、洗剤やオレンジオイル等を使って拭き取ります。口腔内の汚染はうがいをしてもらいます。

全身のシャワーによる除染は、周囲に汚染が広がるため実施は控えます。

除染は、本人が行える場合は、自分で拭き取ったり、洗ったりしてもらいます。核種の同定が必要な場合は、使用したガーゼなどをビニール袋に入れ、患者氏名、採取部位、採取日時を記録して、測定者に渡します。

除染後の水やガーゼは放射性物質の汚染がついた廃棄物として管理、処分します。

創傷部の除染

1. 汚染のない部分を被覆する
2. 膿盆、紙おむつ等で水を受ける
3. 水をかけながらガーゼ等で創傷部を洗浄する



26

創傷部の汚染は、部分的に水をかけながら除染するので、汚染のない部分は防水のシート等を用いて被覆し、汚染した水がかからないようにします。

膿盆や紙おむつで汚染した水を受けるようにします。

創傷部は、ガーゼと鑷子を用いたり、ブラシを用いて水をかけながら除染します。除染後は再度表面汚染の検査を行います。汚染がなくなるか、除染の効果がなくなるまで除染を繰り返します。

顔面の除染



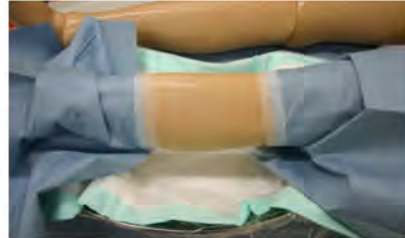
耳の汚染がある場合は、外耳は湿ったガーゼやタオルで拭き取り、外耳道は綿棒等で拭き取ります。

目の汚染は、流水をかけながら洗浄します。

鼻腔の汚染がある場合は、鼻をかんでもらい、汚染が残っている場合は、綿棒で拭き取ります。

皮膚の除染

- ❖ 汚染のない部分を被覆する
- ❖ 膿盆や紙おむつで水を受ける
- ❖ 濡れたガーゼ等で外側から内側の方向に拭き取る
- ❖ 水で除染できない場合はボディソープや石けん、スポンジを使用する



皮膚の汚染がある場合は、汚染のない部分を防水のシート等で被覆して、汚染した水がかからないようにします。膿盆や紙おむつで水を受けるようにします。ぬれたガーゼやスポンジなどで外側から内側の方向に拭き取り、汚染を広げないようにします。水で除染出来ない場合は、ボディソープや石けん、洗剤などを使用します。

皮膚を傷つけないように丁寧に除染します。

除染後の再検査

どこまで除染するか？

❖ 創傷汚染

- ◇ バックグランドレベルまで
- ◇ 除染の効果がなくなるまで

❖ 健常皮膚

- ◇ B.G.まで
- ◇ 除染の効果がなくなるまで
- ◇ 皮膚を傷つけない程度まで（発赤が出現しない程度）

❖ 汚染が残った場合

- ◇ 皮膚の新陳代謝（ターンオーバー）で自然に除染される
- ◇ GMサーベイメーターで測定できる範囲であれば、皮膚、創傷部の汚染から吸収される放射性物質が内部被ばくに寄与する程度は小さい

30

線量評価の方法

| | 試料・資料 | 対象 | 内容 |
|---------------------------------|---------|---------------------------------|---|
| 生体試料の測定・観察 放射線の影響による変化の観察、測定 | 血液 | 血球細胞数の変化 染色体異常の解析 | リンパ球、好中球の減少など 放射線による染色体異常の発現頻度 |
| | 身体所見 | 唾液腺の腫脹、疼痛、口腔粘膜の症状等 皮膚症状の出現 | 高線量被ばくによる前駆症状 紅斑や放射線皮膚障害の症状 |
| | スワブ | 鼻腔や口腔粘膜のスワブ | 汚染の有無による内部被ばくの可能性と推定 |
| | 血液、嘔吐物等 | 生体内のナトリウム、塩素の放射化から計測 | 中性子線による放射化の分析 |
| | 歯のエナメル質 | 生体組織に生じるラジカルを測定 | 電子スピン共鳴 (Electron Spin Resonance; ESR) |
| | 情報の解析 | 問診等での病歴、事故の状況 | 被ばくの可能性の評価 |
| 線源、放射性物質等の情報 | | 計算 | 計算による線量推定 |
| 計測 | 個人線量計 | 個人被ばく線量 | 被ばく線量の実測値 |
| 放射線、放射性物質の計測 | 身体、臓器 | 体外計測（ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター） | 体内残留量の計測 |
| | 尿、便 | バイオアッセイ法 | 排泄量の計測 |
| | 再構築 | 線源等の情報による事故状況の再現と実測結果からの計算 | 事故状況の再現、実測、計算 |

被ばく線量評価には、様々な手法があります。

生体試料を測定して、放射線の影響による実際の細胞や組織の変化を評価する方法があります。これには、血液試料による血球細胞数の変化や染色体異常の解析、身体所見による高線量被ばくの症状の確認と発症時期による線量の推定、鼻腔や口腔粘膜のスワブ（ぬぐいとり試料）の汚染検査による内部被ばくの推定、血液や嘔吐物の放射化の測定による中性子線被ばくの線量評価などがあります。これらの生体試料の測定による方法を生物学的線量評価と称します。

また、事故の状況や被ばくの時間、作業時間等を問診で確認することで被ばくの可能性の評価ができ、さらに線源や放射性物質等の情報を追加することで計算による線量推定ができます。また、実際に放射線や放射性物質を計測して評価することもできます。体外計測は、身体や臓器から放出される放射線を測定して、体内の放射性物質の残留量を計測し、内部被ばく線量を計算します。尿中や便中の放射性物質の排泄量を測定して内部被ばく線量を計算する方法がバイオアッセイ法です。また、線源や被ばくした患者の位置関係などから事故時の状況を再現し、放射線を実測した結果から、被ばく線量を計算する再構築の方法もあります。計算や計測による線量評価を物理学的線量評価と称します。

外部被ばくの線量評価

❖ 生物学的線量評価

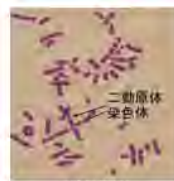
- ◇ 臨床症状：症状の重篤度、発現時期などから推定
- ◇ リンパ球数：リンパ球数の減少の程度から推定
- ◇ 染色体分析：染色体異常の割合から評価（専門家による評価のため、ヘパリン採血管(10 ml)を使用し、輸送)

❖ 物理学的線量評価

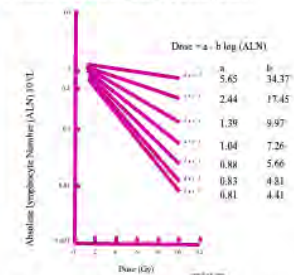
- ◇ 計測：測定器による計測
 - ◆ 個人線量計の値
 - ◆ 電子スピニング共鳴 (Electron Spin Resonance, ESR)
- ◇ 再構築：事故現場を再構築し、シミュレーション計算
- ◇ 線量推定：諸条件（核種、放射能など）から被ばく線量を計算し、線量を推定

| 被ばくからの時間 | 推定被ばく線量(Gy) |
|-----------|-------------|
| < 30分 | > 6 |
| 0.5 - 1時間 | 4 - 6 |
| 1 - 2時間 | 2 - 4 |
| 2 - 3時間 | 1 - 4 |
| 症状なし | < 1 |

1. International Atomic Energy Agency, Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries. Safety Report Series No.2. Vienna, 1998.
 2. International Atomic Energy Agency, Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency. Vienna, 2005.



染色体分析



被ばく線量ごとのリンパ球数

外部被ばくの線量評価の方法には、生体試料等を使用する生物学的線量評価として、臨床症状からの推定、リンパ球数による推定、染色体の異常分析による評価の方法があります。

血球数の推移による線量推定の目安を表に示しています。高線量被ばくが疑われる場合は、4～8時間ごとに抹消リンパ球数を評価し、その推移によって被ばく線量を推定します。50Gyを超える被ばくは、血球減少が出現する前に死亡してしまいます。

臨床症状からの被ばく線量の推定としては、急性放射線症(ARS)の前駆症状の重篤度と発症時期による推定があります。

前駆症状の発現時期が早ければ早いほど、また症状が重篤であるほど、被ばく線量は高いことが推定されます。これは、医療機関で被ばく患者を受け入れた際に、大まかな状態と高線量被ばくの可能性を推定する際に役立ちます。

前駆症状の中でも嘔吐は最も現れやすい症状です。

被ばく線量が高いほど嘔吐が出現する時期は、早くなります。被ばくから30分以内の嘔吐であれば、6Gy以上の被ばく線量が疑われます。2～3時間での嘔吐は1～4 Gy程度の被ばくが疑われます。4時間以上経過しても嘔吐の症状がなければ、高線量の被ばくの可能性は低くなります。

染色体分析に用いる血液サンプルは、ヘパリン採血管を使用します。採血量は10ml（最低3ml）です。採血時期は、被ばく後24時間以降から4週間以内です。被ばくから24時間経過すると、リンパ球が全身に均等に分布するため、正確な評価ができるようになります。ただし、高線量被ばくでリンパ球数が24時間以内に激減するようであれば、直ちに線量評価用の血液サンプルを確保します。また、輸血をする場合は、輸血の前に血液サンプルを採取します。輸血用の血液製剤は、放射線照射をしているため、正確な評価ができなくな

るためです。

採取した血液サンプルを保存する場合は、凍結させずに冷蔵保存します。

また、線量評価の結果に影響を与える因子として年齢、性別、被ばく歴、既往歴、服薬歴、飲酒歴などを確認します。

計測等による物理学的線量評価の方法もあります。

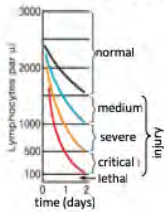
個人線量計の値といった測定器による計測や、核種や放射能などの諸条件から被ばく線量を計算して被ばく線量を推定する方法などがあります。

出典；IAEA Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998より改変

International Atomic Energy Agency, Generic procedures for medical response during a nuclear or radiological emergency. Vienna, 2005.

ARSのPrimary Triage : 初期の48時間

| | Score I | Score II | Score III |
|---------------------------------------|-------------|------------------------|-------------------------|
| 症状が出現するまでの時間 | 12時間以内 | 5時間以内 | 30分以内 |
| 皮膚紅斑 | 0 | +/- | +++; 3時間以内 |
| 衰弱 | + | ++ | +++ |
| 悪心 | + | +++ | (-) |
| 24時間での嘔吐の回数 | 最大 1 | 1 to 10 | 10以上; 対処困難 |
| 下痢/ 24時間あたりの便の数 | 最大 2-3; 固形便 | 2-9; 軟便 | 10以上; 水様便 |
| 腹痛 | 軽度 | 重度 | 激烈 |
| 頭痛 | 0 | ++ | 激烈; 頭蓋内圧上昇の兆候 |
| 体温 | 38°C以下 | 38-40°C | 40°C以上 |
| 血压 | 正常 | 正常—一時的な低下の可能性 | 拡張期 80mmHg以下 |
| 一時的な意識障害 | 0 | 0 | + / 昏睡 |
| depletion of blood lymphocytes | | | |
| | at 24 hour | at 24 hour | at 24 hour |
| | at 48 hour | at 48 hour | at 48 hour |
| | 1500/μ以上 | 1500/μ以下 | 500/μ以下 |
| | 1500/μ以上 | 1500/μ以下 | 100/μ以下 |
| | 外来診療 | 治療のための 入院診療 | 入院診療 (多臓器不全) |



急性放射線症（ARS）での重症度の判定のガイドラインの例です。
 多数の急性放射線症を発生する患者が発生し、入院施設等の医療資源が限られた場合は、入院診療を必要とする被ばくした者を初期の段階でトリアージする必要があります。全ての臨床症状とその発症時期を記録します。
 1Gy未満と判断される場合には、外来で経過観察するだけで良いです。1Gy以上の患者は、より詳細な線量評価や治療のための入院が必要です。

出典；EBMT pocket guide

<https://www.ebmt.org/sites/default/files/2018-03/EBMT%20Nuclear%20Accident%20Committee%20Pocket%20Guide%202017.pdf>

内部被ばくの診断

- ❖ 体内からの放射性物質もしくは放射線の検出により診断
- ❖ 鼻腔・咽頭スミア；吸入による内部被ばくの可能性
- ❖ 口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染；吸入、吸収の可能性
- ❖ 問診；内部被ばくが疑われる場合は、放射性核種、化学形態、溶媒等について確認



- ❖ 生体試料（尿、便）の放射性物質の計測
- ❖ 体外計測；ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター

➡ 内部被ばくの診断

内部被ばくは、吸入による経気道、経口摂取による経消化管、創傷部からの吸収によって体内に放射性物質が取り込まれることによって起こります。体内に入った放射性物質は、安定型の核種と同じ体内動態を示すため、核種に応じた治療薬が必要になります。

初期には、口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染があれば、放射性物質の吸入や吸収の可能性があります。また、鼻腔や咽頭のスワブ採取によって放射性物質を検出した場合も内部被ばくが疑われます。内部被ばくが疑われた場合、事業所や施設等での事故の場合は、放射線管理要員等に放射性核種、化学形態、溶媒等について確認します。

内部被ばくの最終診断と線量評価は、尿や便の生体試料の放射性物質の計測（バイオアッセイ法）と、体内からの放射線の計測（体外計測）によって行われます。

試料の受け渡し

- ❖ ビニール袋の外側が汚染されないように受け取る（コールドエリア）
- ❖ 採取部位、日時、氏名等を記入した試料袋に入れ、測定に出す
- ❖ ビニール袋の表面の汚染検査（スメア法）を実施して測定者に渡す（確実な汚染拡大防止）



34

汚染の原因となっている核種の同定や内部被ばくの評価、その他通常の血液検査などのために採取した試料をホットゾーンからコールドゾーンの測定員に渡す必要があります。

そこで、汚染拡大防止のため、コールドゾーンの担当者がビニール袋で試料を受け取り、ビニール袋の表面をガーゼなどでぬぐって汚染検査を実施します。汚染がなければ、試料を測定員に渡します。採取した試料の容器には、採取部位、採取日時、氏名を記入します。

外傷等がありホットゾーンでの単純X線撮影が必要な場合は、フィルムカセットをビニール袋に入れ、汚染の付着を防止します。可能であればポータブルX線撮影装置のアームをコールドゾーンから伸ばして撮影します。撮影後は、ビニール袋からカセットを取り出して、コールドゾーンの担当者に渡します。

内部汚染への対応

- ❖ 病歴、開口部汚染等から内部汚染を疑う
- ❖ 核種の同定、預託実効線量（50年間）の評価
- ❖ Risk vs benefit を考慮した治療
 - ◇ 一般的な治療
 - ◇ 適切な体外除去剤の選択と早期投与
- ❖ 排泄物等の管理（線源として）
- ❖ 尿、便等も検体となる→保管
- ❖ 口腔、胃、肺、気道等の洗浄（リスクを考慮）
- ❖ 内部汚染除去剤
 - ◇ セシウム → プルシアンブルー
 - ◇ プルトニウム → DTPA
- ❖ 競合剤
 - ◇ 放射性ヨウ素に対する安定ヨウ素剤



内部被ばくでは、基本的に急性障害は起こりません。そのため、治療の目的は、体内の放射性物質からの放射線被ばくによる将来の生物学的影響の低減となります。内部被ばくの治療の原則は、吸収と内部沈着の低減及び体内に入った核種の除去と排泄の促進です。放射性物質が体循環に入っていない場合に最も治療効果が高くなります。また、標的臓器の細胞に取り込まれる前に治療を行う必要があります。しかし、内部被ばくの事故では、摂取量や体内動態がすぐに判明しないことがほとんどです。そのため、内部被ばくが疑われる場合は、治療による副作用が少なく、近畿がない場合には、すぐに治療を開始すべきです。また、治療の適応には、明確な指標がありません。預託実効線量を参考にして、治療のメリットとデメリットを勘案して適応を決定します。

プルシアンブルー（ラジオガルドーゼ®カプセル500mg）は、フェロシアン化第二鉄に属します。消化管に吸収されない毒性の低いコロイド状の妖怪可能な携帯を持ち、ある種の一価の陽イオンに対しイオン交換体のような働きがあります。放射性セシウムが血液に入った場合、経口投与されたプルシアンブルーが朝刊から再吸収されるセシウムの取り込みを防ぎます。

Diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA)はEDTAより多価の放射性同位元素に対してより効果的です。キレート体は、安定で、体外に腎臓から排泄されます。静脈的に投与した後、DTPAは最初の1時間に尿中に約50%が排泄されます。CaDTPA、ZnDTPAは超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム、カリホルニウム、ネプツニウム）をキレートします。

CaDTPAによる重篤な副作用の報告はありません。しかし長期間投与するとCaDTPAにより亜鉛欠乏症を起こします。

まとめ

- ❖ 外部被ばくの患者対応では対応者は被ばくしない
- ❖ 内部被ばくでは急性障害はない
- ❖ 汚染では、患者も対応者も危険な被ばくはしない
- ❖ まずは、医療処置で状態を評価し、安定化させる（呼吸と循環の安定）
- ❖ 汚染検査は最優先ではない
- ❖ 除染は、脱衣、拭き取り、水をかけながら洗い流すの三つの方法がある

サーベイメータの使用方法及び実習



- 1. 放射線の種類、測定器について
- 2. サーベイメーター取り扱い方法
- 3. サーベイメーター測定方法（実習）

放射線計測器

現在配備しているサーベイメーター一覧

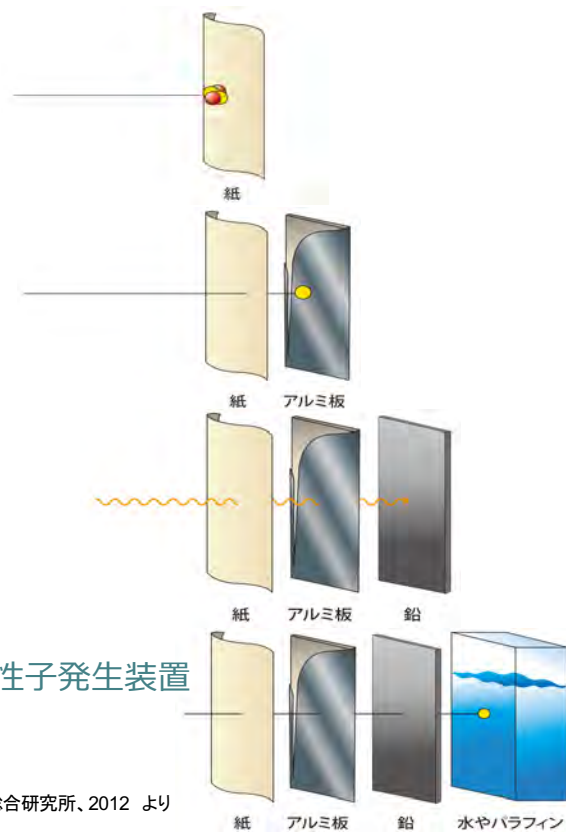


| | |
|--|----|
| (1)α線用シンチレーションサーベイメータ TCS-232B(アロカ製) | 1台 |
| (2)β線用シンチレーションサーベイメータ TCS-312 (アロカ製) | 1台 |
| (3)NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ TCS-171(アロカ製) | 1台 |
| (4)GMサーベイメータ TGS-146B(アロカ製) | 2台 |
| (5)電離箱式サーベイメータ ICS-321B(アロカ製) | 1台 |
| (6)収納ケース TH-D8299 | 1台 |

- 1. 放射線の種類、測定器について
- 2. サーベイメーター取り扱い方法
- 3. サーベイメーター測定方法（実習）

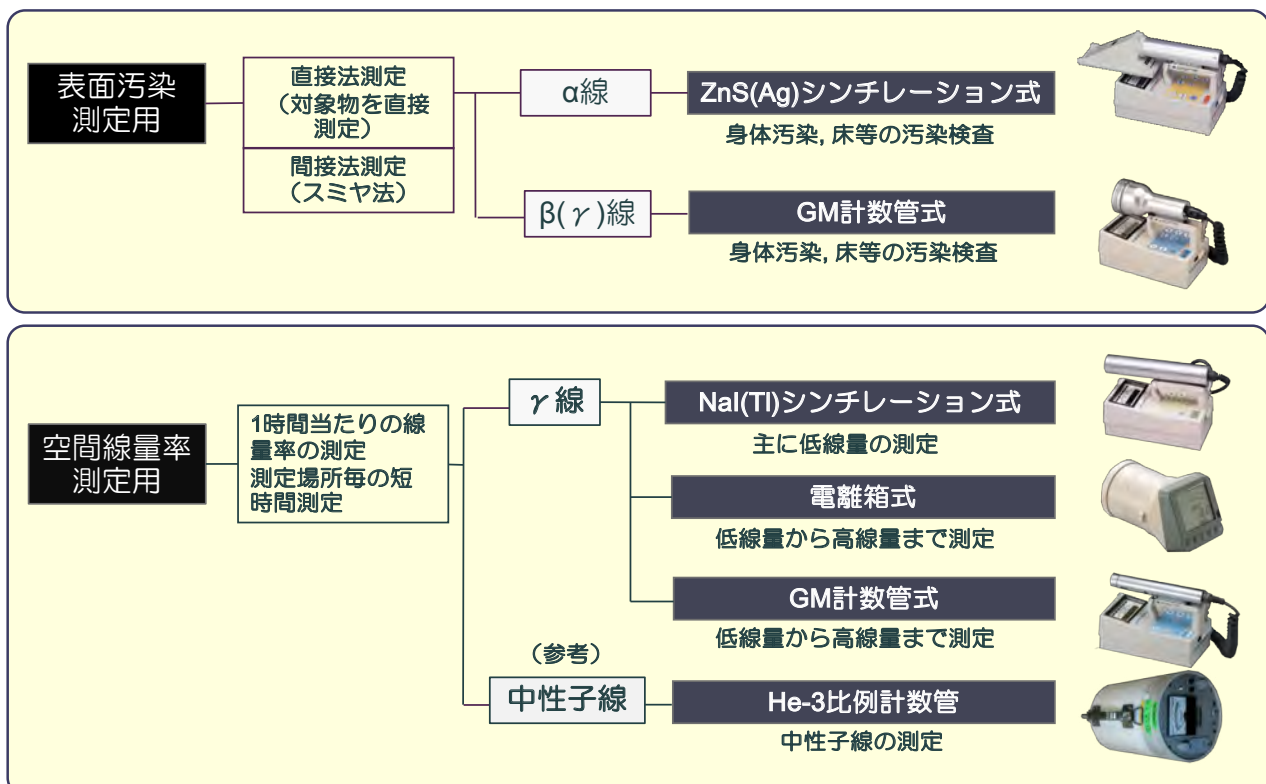
放射線の種類

- アルファ線（ヘリウム原子核）
主に核燃料・粒子加速器
荷電粒子
空気中で数cmオーダーの飛程
- ベータ線（電子）
多くの放射性物質・電子加速器
荷電粒子
空気中で数mオーダーの飛程
- ガンマ線・X線（電磁波）
多くの放射性物質・X線発生装置
非荷電粒子
空気中で～100mオーダーの飛程
- 中性子線（中性子）
臨界事故・原子炉・中性子線源・中性子発生装置
非荷電粒子
空気中で～100mオーダーの飛程



医学教育における被ばく医療関係の教育・学習のための参考資料、放射線医学総合研究所、2012 より
http://www.nirs.qst.go.jp/publication/igaku_siryō/igaku_siryō.pdf

放射線計測器（サーベイメータ）の種類



GM管式サーベイメーター

- ・ β (γ)線測定用
GMサーベイメーター

| | |
|--------|-------------------|
| 主な測定対象 | B (γ)線 |
| 主な測定用途 | 表面汚染検査 |
| 検出器 | GM計数管 |
| 時定数 | 3, 10, 30 sec |
| 重さ | 約 1.5kg(検出器、電池含む) |



NaI (TI) シンチレーションサーベイメータ

- ・ γ 線測定用
NaI (TI) シンチレーションサーベイメータ

| | |
|--------|--|
| 主な測定対象 | γ 線 |
| 主な測定用途 | 空間線量(比較的低い線量率 $\sim 30 \mu\text{Sv/h}$) |
| 検出器 | NaIシンチレーション検出器 |
| 時定数 | 3, 10, 30 sec |
| 重さ | 約 1.5kg(検出器、電池含む) |



電離箱式サーベイメータ

- β (γ) 線測定用
電離箱式サーベイメータ(ICS-321)

| | |
|--------|----------------|
| 主な測定対象 | γ線、X線、β線 |
| 主な測定用途 | 比較的線量の高いγ線等の測定 |
| 検出器 | PC/ABS製円筒型電離箱 |
| 時定数 | — |
| 重さ | 約620 g |



β線用サーベイメータ

- β (γ) 線用
β線用シンチレーションサーベイメータ(TCS-312)

| | |
|--------|-------------------|
| 主な測定対象 | B線、γ線 |
| 主な測定用途 | β線放出核種による汚染測定 |
| 検出器 | プラスチックシンチレーション検出器 |
| 時定数 | 3, 10, 30 sec |
| 重さ | 約0.6 kg |



α 線用サーベイメータ

- α 線測定用
 α 線用サーベイメータ(TCS-232)

| | |
|--------|-----------------------|
| 主な測定対象 | α 線 |
| 主な測定用途 | α 線放出核種による汚染測定 |
| 検出器 | ZnS(Ag)シンチレーション検出器 |
| 時定数 | 3, 10, 30 sec |
| 重さ | 約0.8 kg |



- 1. 放射線の種類、測定器について
- 2. サーベイメータ取り扱い方法
- 3. サーベイメータ測定方法（実習）

○ GM計数管式サーベイメータ (TGS-146)



測定線種 : $\beta(\gamma)$ 線
 主な用途 : $\beta(\gamma)$ 核種による汚染の検査、測定
 単 位 : cpm(counts per minute) = min^{-1}

- 人や物品に付着した放射性物質の確認に使用します。
- 検出面を、対象の表面から数cm以内に近接させて測ります。
- 検出部を薄手のラップで包み(カバー)、汚染を防止します。
対象に触ってしまうなどして汚れた場合は、カバーを交換します。
- 突起物で検出部の窓(GM計数管)を破損しないように注意する。

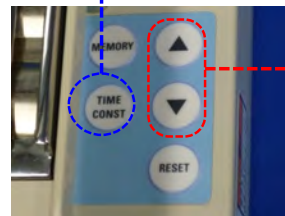
○ 起動動作 (GM計数管式サーベイメータ)



○メーターの読み方（GM計数管式サーベイメータ）



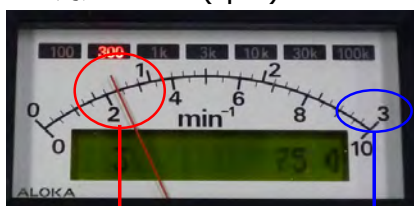
時定数: 3, 10, 30
測定時間(秒): 時定数×3



測定レンジ(cpm) :
100, 300, 1k, 3k,
10k, 30k, 100k

▲ → 測定レンジを広げる
▼ → 測定レンジを狭める

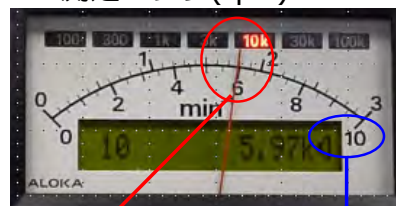
測定レンジ(cpm): 300



赤針: 70cpm

300を意味する

測定レンジ(cpm): 10k



赤針:
6kcpm

10kを意味する

測定レンジを超える場合



汚染レベルが100kcpmを超えていることを意味する。

○ NaI(Tl) シンチレーションサーベイメータ

(TCS-171)



測定線種 : γ 線のみ
主な用途 : 場所(空間)の線量率測定
単位 : $\mu\text{Sv/h}$

- 現場や病院(処置室)の放射線線量率の確認に使用します。
- 地上(床面)から高さ1m(腰の高さ付近)での測定が標準です。
- 感度に方向性があります。検出部を正面に向けます。
- γ 線しか検知しません。
- 表面の汚染を測る用途には使えません。その場所(空間)を飛び交っている γ 線を拾います。

○起動動作

NaI(Tl) シンチレーションサベーパーイメータ

Sound (ON/OFF)

電源 (ON/OFF)

測定レンジ (UP/DOWN)

測定モード (線量率 / 計数値)

検出部

PMT: 光電子増倍管

信号処理部

NaI(Tl) 結晶の大きさ:
直径 25.4 mm × 厚さ 25.4 mm
測定エネルギー範囲: 50 keV ~ 3 MeV

○メーターの読み方 (NaI(Tl) シンチレーションサベーパーイメータ)

単位: $\mu\text{Sv/h}$

時定数

レンジ

0.3 1 3 10 30 $\mu\text{Sv/h}$ ks

10 0.07 $\mu\text{Sv/h}$ 10

7 SURVEY METER TCS-172

0.3、3、30が点灯
目盛りに対して、
・0.3 $\times 0.1$
・3 $\times 1$
・30 $\times 10$

1、10 が点灯
目盛りに対して、
・1 $\times 0.1$
・10 $\times 10$

サーベイメータ取扱い上の注意点

(測定時)

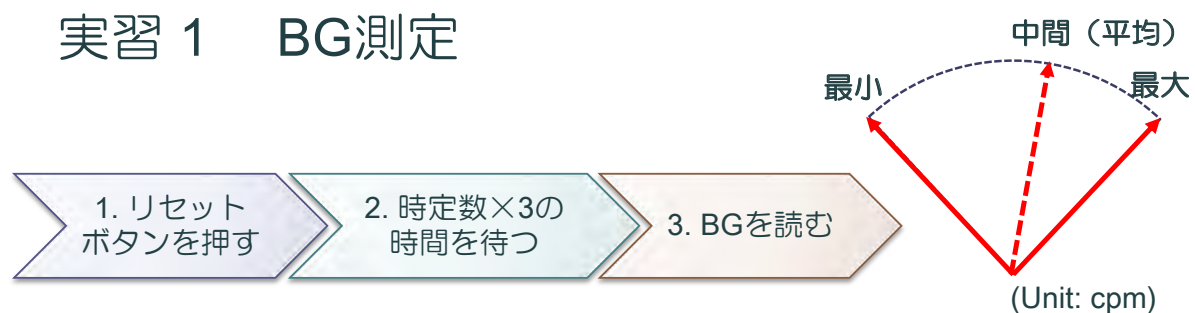
- 必ずバックグラウンド測定を実施します。
- 指示値は一定しません。変動（針の振れ）の中央を読みます。
- 指示値は低い値から高い値まで、大きく変動する場合があります。レンジの切り替え（上げ下げ）をし、おおむね、針がメーターの中央付近に来るようにします。
- モニター音は患者さんの心理的な動揺につながるおそれがありますので、OFFが基本です。

(保管中)

- 正しい値を指示させるため、年1回校正を行います。
なお、「測定値×校正定数」で値を補正します。
- 検出部の破損とケーブルの断線に、特に注意します。
- 長時間使用しない場合は電池を抜き、液濡れを防止する

- 1. 放射線の種類、測定器について
- 2. サーベイメーター取り扱い方法
- 3. サーベイメーター測定方法（実習）

実習 1 BG測定



| 時定数 | 最大値 | 最小値 | 中間値 (平均値) |
|------|-----|-----|-----------|
| 10 秒 | | | |

- 赤い針の揺れに注意して、最大値, 最小値, 中間値を読み, 記録用紙に記入する。
- 時定数を3秒、30秒に変えて、赤い針の揺れを確認する。

- 時定数が短い：
 - 変化に対して敏感だが揺らぎが大きい。
 - 時定数が長い：
 - 変化に鈍感だが揺らぎが平均化されて値が読みやすい。
 - しかし, 測定に時間がかかる。
- 指示値のゆらぎの大きさ : 時定数 $3 > 10 > 30$
- 指示値の読みやすさ : 時定数 $3 < 10 < 30$

**時定数は, 測定する対象, 緊急度等その目的に合わせて,
選択する必要がある。**

実習用試料について

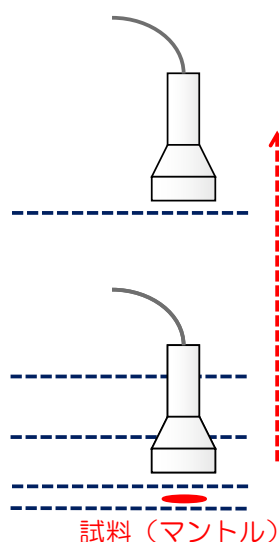
ランタン用マンテル(市販品)

繊維にトリウムが含まれている。
トリウム(^{232}Th)は自然界に存在する放射性物質であり、マンテルからは α 線, β 線, γ 線を放出する。



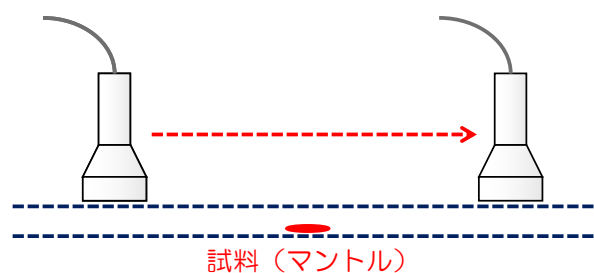
測定の距離

1. 時定数を10秒にセットする。
2. 試料を測定する距離を変えて測定を行い、その時の最大値を読み取る。



測定の速さ

1. 時定数を10秒にセットする。
2. 試料を測定する速さ (ゆっくり、速く) を変えて測定を行う、

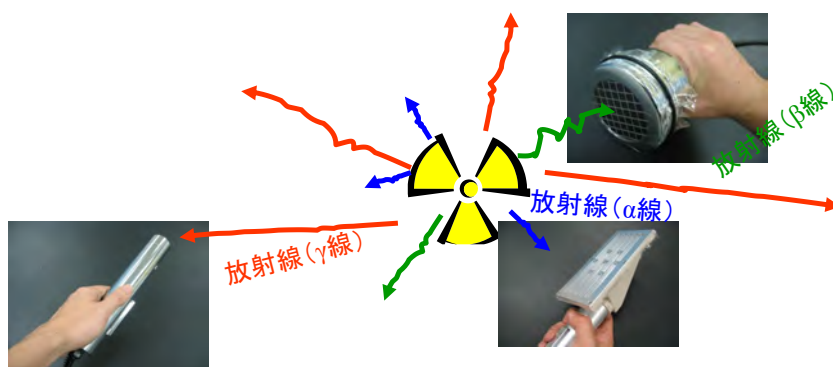


- 検出部と試料は一定の距離(約1cm程度)を維持

正味値* = 計測値 - バックグラウンド

- 放射線によって、検出方法が異なるため、測定器を間違えると、測れない。
- メーターの読み方を間違えると、測定結果が大きく変わってしまう。
- 検出部が汚染箇所と離れすぎていたり、早く動かしすぎると汚染を見逃してしまうことがある。

→ 測定したい放射線の種類や強度に応じた測定器の選択、操作方法の習熟、検出部の位置や関係・速度に配慮



スクリーニング測定記録票

| | | |
|-------|------|--|
| 氏名 | | |
| 測定年月日 | | |
| 時間 | ~ | |
| 測定器機種 | | |
| 測定器番号 | | |
| B G 値 | cpm | |
| 測定者氏名 | | |
| 記録者氏名 | | |
| 除染 | 要・不要 | |
| 備考 | | |

* 除染後の値については、除染回数を○で、数値を()で記載すること。

まとめ

※ 汚染核種が不明なケースもありますが、被災者の受け入れを想定するケースでは、

「GMサーベイメータ」による表面汚染の検査 と、
「NaIサーベイメータ」によるその場のγ線のモニタ
が適切です。

※ 被災者の測定にあたっては・・・

- 救命措置を優先する。
- 創傷部から測定する。
- 全身を測定する。（内部被ばくの取込み部（目、鼻、口）、露出部（手）から測定）
- 検出部と身体表面から1cm位離し、身体表面と平行に測定する。
- 毎秒で1～数cm動かすつもりで汚染箇所を捜す。早すぎると、見付からない。
- 汚染箇所が見付かったら、検出器をそこで止めて最大値を検出する。
- 汚染箇所は1箇所とは限らないので注意する。

時定数と測定時間 (参考)

時定数:T, 測定時間:tの場合,
測定時間 t での指示値 = 最終指示値の(1-exp(-t/T))倍を示す

(例) 時定数: 3秒の場合,

測定時間: 3秒での指示値: 最終指示値の0.63倍
 6秒での指示値: 最終指示値の0.86倍
 9秒での指示値: 最終指示値の0.95倍

➡ 測定時間は時定数の3倍

| GMの計数値 | 時定数: 3秒 | 時定数: 10秒 | 時定数: 30秒 |
|----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 100cpm | 100±32 (68 ~ 132) | 100±17 (83 ~ 117) | 100±10 (90 ~ 100) |
| 10000cpm | 10000±320 (9680 ~ 10320) | 10000±173 (9827 ~ 10173) | 10000±100 (9900 ~ 10100) |

n : 計数値(cpm), r : 時定数(min)

$$\sigma = \frac{n}{\sqrt{2nr}} = \frac{100}{\sqrt{2 \times 100 \times 0.5}} = 10[\text{cpm}]$$



汚染レベル:

低い場合: 時定数は長く, 高い場合: 時定数を短く

汚染の表面密度の計算方法

(参考)

測定された正味計数率が検出限界計数率より大きい場合、汚染の表面密度 A_s (Bq/cm²) は次式で示すことができる。

$$A_s = \frac{N - N_b}{\epsilon_i \times W \times \epsilon_s}$$

N : 測定された計数率 (cps)

N_b : バックグラウンド計数率 (cps)

ϵ_i : α 線または β 線に対する機器効率

ϵ_s : 汚染物の線源効率

W : 検出器の入射窓面積 (cm²)

機器効率 (ϵ_i)、線源効率 (ϵ_s) を合わせて計数効率 (検出効率) とする場合もある

問題

GMサーベイメータで対象物を測定したところ、1分間当たり2000カウント検出された。この時の汚染の表面密度(Bq/cm²)を求めよ。ただし、B.Gは60cpm、機器効率50%、線源効率50%、検出器の入射窓面積は19.6cm²とする。