

3. 認証付装備機器は、法令の規制が緩やかなため管理が手薄になりやすい。装備機器の説明書に従い専用容器への収納、施錠付き金庫への収納が行われていることを確認することが必要である。また、使用する者や管理する者の全てが、線源に対する正しい認識を持つことが必要である。
4. 全ての事業所では、火災等の事故が起こったことを想定して、必要な情報をすぐに公開できる体制を構築することが必要である。

#### 2.1.4 提言を実現する上での課題やロードマップ

上記の提言は、規制側ではなく事業所側に向けたものである。放射線に関する事故に対する対応が上手くいかない事態が多発した場合、規制を強化せざるを得ないとの風潮になることが想定される。過度な規制に繋がらないよう、全ての事業所において事故の予防に努め、また、適切な対応ができるよう自主的な管理体制を見直す必要があると考えられる。

### 3. 人材育成

#### 3.1 放射線防護人材の確保・育成に関連する取り組み

##### 3.1.1 日本放射線安全管理学会の現状報告

「放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成事業」の令和元年度（平成 31 年度）の活動の一つとして、放射線防護アカデミアに参加している日本放射線安全管理学会、日本放射線影響学会、日本放射線事故・災害医学会、日本保健物理学会の会員に対して若手人材の確保・育成に関するアンケート調査が行われた。日本放射線安全管理学会会員の回答を抽出したものはすでに令和元年度（平成 31 年度）の報告書で報告しているが、本年度、日本放射線安全管理学会誌にも纏め、本学会会員にも現状を紹介した。（松田尚樹、中島 覚、日本放射線安全管理学会誌、**19**, 118-121 (2020)）さらに、統計データに基づいた 4 学会平均と比較した本学会の特徴に加えて自由記述欄についても学術大会で発表された。（松田尚樹、「放射線安全管理人材の確保・育成に関する現状把握のための調査結果」、第 19 回日本放射線安全管理学会学術大会(2020)）放射線管理業務を行うためには博士取得は必ずしも必要ではないが、若手が博士取得のために工夫し、努力した結果はその後の人生に大きな影響を与える可能性がある。そのような日々の努力は施設内でのポストアップにも良い影響を与えるに違いない。放射線安全管理の分野で若手が学位取得できる場を本学会が提供できれば良いと考えられるが、会場からも業務を行いながらの博士取得に関するコメントがあった。

##### 3.1.2 若手奨励金事業

若手奨励金事業を学会規程化し、1 名あたり 10 万円、各年度 2 名を限度に若手が旅費、研究費として使え、研究活動実績ともなる奨励金を公募選考により授与している。若手奨励金を受けるものは規程上、「原則として 45 歳以下の会員または入会后 5 年以内の会員」としていたが、准教授以上のものに授与することがあった。准教授相当になるまでのもう少し若手が選出されるように、「原則として 45 歳以下の会員（但し、職務上の身分が准教授以上またはそれと同等の者は対象外とする）」と規程を変更した。

#### 3.2 若手のポストマッチングや中堅のキャリアアップ支援に関する取り組み

##### 3.2.1 第 19 回日本放射線安全管理学会学術大会における若手セッション

第 19 回日本放射線安全管理学会学術大会において若手セッションを開催した。講演題目と講演者は次の通りである。

「放射線被ばくで生じた DNA 損傷を正確に修復する分子メカニズム」

山内基弘（長崎大学）

「次世代核医学診療に対応可能な RI 施設の構築」

志水陽一（京都大学）

「放射線教育」における放射線安全管理者としての活躍促進を目指して」

岩崎智之（愛媛大学）

日本放射線安全管理学会の特徴は、放射線施設を持っている会員が多いことである。放射線安全管理学が少しずつ認知されてきたが、放射線施設の安全管理と自身の研究や教育との両立に苦勞されている姿は変わっていない。また、自身の研究を遂行するために変更申請をせざるをえず、そこから放射線管理にも関与する姿は今も変わらない。ベテランがどのように両立してきたのかを示し、それを参考に若手がどのようなキャリアパスを描くかが重要となろう。

### 3.2.2 Web による進路等個別相談会への参加

本学会は学生会員が非常に少ない。学生会員が引き続き正会員になるキャリアパスは多くない。就職や配置換え等により業務として放射線管理に携わるようになって初めて正会員になる例が多いため、進路等個別相談会への参加はなかった。

## 4. 特記事項

### 4.1. 放射線防護アカデミアが提案した重点テーマに関する取り組み

#### 「放射線安全管理の新しいパラダイムの創造」と「放射線安全教育の社会的必要性に対応した標準プログラム開発」

日本放射線安全管理学会は、重点テーマとして「多種多様な所属の研究者の放射線業務従事者管理についての検討」、「幅広い分野での放射線管理における線量拘束値の活用のあるり方に関する研究」「教育現場における放射線安全管理体制の確立」を提案し、これを「放射線安全管理の新しいパラダイムの創造」としてまとめた。また、「e-learning を基盤とした放射線業務従事者教育訓練の全国標準オンラインプラットフォーム開発」「N 災害対応のための消防署員への放射線教育プログラム開発と教育教材の提供」を提案し、「放射線安全教育の社会的必要性に対応した標準プログラム開発」としてまとめた。

新型コロナウイルスの感染症拡大により、2020年4月7日に緊急事態宣言が発出された。その影響は放射線施設の運用にも及び、特に教育訓練や健康診断など、法令上必要であるものの、密が想定されることについては各施設で対応せざるを得ない事態となった。このような事態への対応を学会としてまとめることで、今後の長期化も想定される新型コロナウイルス感染拡大防止への放射線施設での取り組みに関する検討課題が明らかになる。また、新たな同様の事態が起こった際の対応を検討する際の情報としても、また記録に残しておく意味でも重要である。そのため会員にアンケート調査を行った。その結果を「新型コロナウイルス感染症拡大による放射線施設への影響調査の取りまとめ」桧垣正吾、三好弘一、伊藤茂樹、松田尚樹、中島 覚、日本放射線安全管理学会誌、**19**, 122-129 (2020)にまとめた。

調査の結果、所属機関から求められた対応は、最低限の入室のみ可能（動物や細胞の維持等）が多く、次に研究室等への入室規制（部分的に実験を行うことは可能）であった。施設の共同利用対応は、最低限の入室のみ可能、原則入室不可、入室規制の順番であった。新規の放射線業務従事者への新規教育訓練対応は、ICT 教育の実施、対面講義の禁止による延期の順番であった。具体的な ICT 教育の方策としては、e-learning を用いたビデオ学習（ビデオファイルをネット端末で閲覧）、ZOOM 等の Web 会議ツールを用いたリアルタイム講義（講義動画配信を含む）の順であった。新規の放射線業務従事者への健康診断対応は、1月～2月延期した、実施未定の順であった。これまでから教育訓練における e-learning の重要性が指摘されていたが、コロナ禍で一気に進んだ。しかし、コンテンツや受講時間の記録等、引き続きクリアしなければならない問題も明確になった。

### 4.2 その他

#### 4.2.1 保健物理学会との連携

これまで日本保健物理学会とは学術大会の合同大会を 2 回開催してきた。本学会から柴副会長、渡部理事、保健物理学会から飯本副会長、藤淵理事でワーキングを構成し、今後の合同学術大会のあり方に関して検討した。その結果、保健物理学会が得意とする分野の情報



が入手できる、参加人数が増え、協賛企業にも呼びかけやすく、集金しやすい、学会の枠を超えた新たな人的交流が加速する等のメリットがある一方、重複会員がどちらかの学会に移行し、両学会の会員数が結果的に減少する可能性、電力業界等と共に安全に関するアカデミック的な活動することに対する懸念等が明らかになった。これらを踏まえて「日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会 ー今後の連携のあり方に関する Web アンケート」を実施した。なお、第3回合同学術大会の開催が決定（金沢、2021/12/1-3）された。

#### 4.2.2 アンブレラ事業「放射線に関わる量の正確な理解と国として対応が必要な点への提言を行う WG」

日本放射線安全管理学会からの保田浩志氏（広島大学）がワーキングメンバーとして参加した。

## 5. 参考資料

- 1) 「新型コロナウイルス感染症拡大による放射線施設への影響調査の取りまとめ」  
桧垣正吾、三好弘一、伊藤茂樹、松田尚樹、中島 覚、日本放射線安全管理学会誌、  
**19**, 122-129 (2020).
- 2) 「放射線安全管理人材の確保・育成に関する現状把握のための調査結果報告」  
松田尚樹、中島 覚、日本放射線安全管理学会誌、**19**, 118-121 (2020).



令和2年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（放射線防護研究分野における  
課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成）

## 放射線防護対策の推進に関する調査と提言

令和3年2月

一般社団法人日本保健物理学会

# 目次

1. 放射線防護に係る海外の最新知見の収集  
臨時委員会「緊急時モニタリング検討委員会」
  - 1.1 臨時委員会の設置趣旨と活動計画
  - 1.2 情報収集項目
  - 1.3 得られた知見
  
2. 国内の放射線規制の課題に関する調査・提言  
臨時委員会「放射線安全文化についての意識と実践に関する検討委員会」
  - 2.1 テーマを選んだ経緯や背景
  - 2.2 調査や提言取りまとめの実施方法
  - 2.3 調査結果および提言
  - 2.4 提言を実現する上での課題やロードマップ
  
3. 人材育成
  - 3.1 放射線防護人材の確保・育成に関連する取り組み
  - 3.2 若手のポストマッチングや中堅のキャリアアップ支援に関する取り組み
    - 3.2.1 学会特有の活動
    - 3.2.2 Webによる進路等個別相談会への参加
  
4. 特記事項
  - 4.1 放射線防護アカデミアが提案した重点テーマに関する取り組み  
JHPS 国際シンポジウム「トリチウム問題をいかに解決すべきか？」
  - 4.2 他学会との連携
  - 4.3 国際会議等への若手研究者の派遣

## 1. 放射線防護に係る海外の最新知見の収集

日本保健物理学会理事会の下に、次の臨時委員会を設置し、緊急時モニタリングに関する調査検討を進めた。

### 「緊急時モニタリング検討委員会」(2020年度-2021年度)

委員長	細田正洋	(弘前大学)
委員	斎藤公明	(JAEA)
委員	真田哲也	(北海道科学大学)
委員	大森康孝	(福島県立医科大学)
委員	武田 晃	(環境科学技術研究所)
委員	山田崇裕	(近畿大学)
委員	平尾茂一	(福島大学)
委員	谷幸太郎	(QST)
委員	折田真紀子	(長崎大学)
委員	外間智規	(JAEA)
委員	辻口貴清	(弘前大学)

#### 1.1 臨時委員会の設置趣旨と活動計画

福島事故の教訓を反映した我が国の緊急時モニタリング体制の整備は、原子力発電所の再開が行われる現状にあって最重要事項である。種々の研究開発が国内外で実施されているが、新しい緊急時モニタリングをどのように誰が運用していくのかは十分に整備されていない。とくに、これまでに十分に検討されてこなかった放射性ヨウ素の小児の甲状腺モニタリングのスクリーニング体制整備、緊急時モニタリング情報の迅速でわかり易い情報伝達の仕組みが福島教訓から求められている。

緊急時モニタリング体制に関して国際機関（IAEA、ISO等）や IRSN等の海外の拠点機関や関連大学等におけるハード及びソフトの両側面からの実態調査を行い、我が国における事故やテロ等に備えたモニタリング体制（中長期的なモニタリングを含む）の整備と強化を目的とした提言を行う。

## 1.2 情報収集項目

令和2年度の活動において、以下の項目について情報収集を実施した。

- 1) 福島原子力発電所事故以前の我が国のモニタリング体制
- 2) 原子力災害対策指針における緊急時モニタリングの概要
- 3) 福島原子力発電所事故後のモニタリング概要
  - (1) モニタリング体制概要（環境、個人、初期～中長期）
  - (2) モニタリング技術（環境、個人、初期～中長期）
  - (3) 情報収集と情報伝達（住民、行政、研究機関、メディア対応）
  - (4) モニタリング要員（誰が担うのか）
- 4) 海外の拠点機関における緊急時モニタリングに関する動向
  - (1) 国際機関における動向
    - \* IAEA、ICRP、ICRU など…
    - モニタリング体制、環境/個人モニタリング、情報収集と情報伝達
  - (2) 海外の研究機関（研究所・大学）における動向
    - \* IRSN、BfS、など…
    - モニタリング体制、環境/個人モニタリング、情報収集と情報伝達
- 5) 課題（委員会からの提言）※上記項目の調査結果を踏まえ継続的に検討予定
  - (1) モニタリング体制
  - (2) 環境モニタリング
  - (3) 個人モニタリング
  - (4) 情報収集と情報伝達
  - (5) モニタリング要員
  - (6) アジア圏内での緊急時モニタリングネットワーク構築の重要性・必要性

### 1.3 得られた知見

#### 1) 福島原子力発電所事故以前の我が国のモニタリング体制

本調査項目について、①スリーマイル島事故以前、②スリーマイル島事故からJCO 臨界事故まで、③JCO 臨界事故から福島事故まで、の三つのフェーズに分けて情報収集を実施している。情報収集の結果、スリーマイル島事故を契機に我が国の緊急時モニタリング体制整備が開始され、JCO 臨界事故発生までには中央防災会議および原子力安全委員会による方針宣言、緊急時環境放射線モニタリング指針などが示されたことにより、緊急時モニタリングの仕組みが導入された点を確認されている。また、JCO 臨界事故以降について、指針類の改訂が行われた点を確認している。一方、スリーマイル島事故以前の我が国の緊急時モニタリングの動向に言及する資料は現在未入手である為、引き続き情報収集を継続していくこととなっている。

#### 2) 原子力災害対策指針における緊急時モニタリングの概要

本調査項目では、福島事故以降の我が国の原子力防災体制整備に係る専門的・技術的事項をまとめた原子力規制庁提示資料を中心に、現行のモニタリング体制整備状況を調査している。具体的に、「原子力災害対策指針」を中心に、原子力規制庁監視情報課提示の補足資料「緊急時モニタリングについて」に記載される環境・個人モニタリングの理念や概要、防護措置実施基準である OIL の判断に必要なモニタリング技術に関する情報が確認された。また、昨今の COVID-19 の流行を踏まえ提示された内閣府資料「新型コロナウイルス感染拡大を踏まえた感染症の流行下での原子力災害時における防護措置の実施ガイドラインについて」において、緊急時における避難や屋内退避等の防護措置実施について、感染拡大防止の徹底が望まれていることを確認している。避難退域時検査等の個人モニタリングの運用にどの様に関わってくるのか、調査を継続する。

#### 3) 福島原子力発電所事故後のモニタリング概要

本調査項目では、原子力災害対策指針等の国提示資料を始め、関連道府県の原子力防災／モニタリング計画に係る資料を基に、モニタリング項目や要員計画、放射線リスクコミュニケーションを含む情報伝達の在り方について情報収集を行っている。事故初期のモニタリングについては、国等の具体的体制整備が進められていることから不足部分の指摘を行う方針とした。事故中長期のモニタリングについては、現在進行中の福島を参考にしつつ、将来の方針について議論することとした。情報収集の結果、放射線緊急時において対象となるモニタリング項目は環境や個人、海域、水道、食品等多岐に渡ることから、本臨時委員会にて言及する項目の選定を行っていくこととなっている。また、緊急事態の規模想定を考慮したモニタリング要員計画、広い対象者を考慮した放射線リスクコミュニケーションの在り方に関する提言をすべく、次年度も継続的に委員間で情報共有していくこととなっている。



#### 4) 海外の拠点機関における緊急時モニタリングに関する動向

本調査項目では、IAEA や ICRP といった国際機関の放射線緊急時対応に係る各種 Report あるいは Publication、また、IRSN・BFS・CEA・KIRAMS を始めとする海外の原子力防災を担う拠点機関を対象とした情報収集を実施している。現在、海外の拠点機関に対する調査については問い合わせ機関(コンタクトパーソン確認を含)および内容の調整をしており、必要に応じて倫理審査を経て質問紙調査を実施することを検討している。

## 2. 国内の放射線規制の課題に関する調査・提言

### 2.1 テーマを選んだ経緯や背景

放射線規制法（旧放射線障害防止法）の本格適用を受け、関連事業者の管理者および放射線ユーザーは、実務・現場の中で放射線安全文化を日々考え、実際に行動するステージに入り、各施設における関連の意見交換、議論がますます活発化している。国際的には、国際放射線防護学会（IRPA）のなかに2017年に設置されたHERT-TG（高等教育・研究施設における放射線安全文化に関するタスクグループ）が英国での経験を基盤とした「10の視点で整理されたキーワード」に基づく各国アンケートを開始し、関係国からの知見集約を開始したところである。ガーナ、コロンビア等もこの具体的な活動に参画し、国際連携活動を大きなミッションのひとつとして掲げている日本保健物理学会もこのTGに代表メンバーを送り積極的な協力をしている。当学会も2018-2019年度に活動していた当学会企画委員会所管「放射線安全文化の醸成に関する専門研究会」が、第2回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会（日本保健物理学会第52回研究発表会）（仙台）の企画セッションで、これまでの活動成果につき中間報告をし、その内容が関係者と共有された。その活動最終報告書が、令和2年度中にまとめられる予定となっている。

このように国内外の動向が活発化し、議論や活動もより具体的になってきていることから、活動の焦点を現状の調査研究にしぼり、前記専門委員会の活動から途絶えることなく継続発展させる形態での検討委員会を理事会裁定に基づき設置することになった。このテーマは当学会として、法令改正を受けての放射線規制上の課題を整理、提言する流れとも完全に合致する。

## 2.2 調査や提言取りまとめの実施方法

当学会理事会の下に、臨時委員会「放射線安全文化についての意識と実践に関する検討委員会」を設置し、本テーマに対応する。

安全文化を形成する人（統括者、管理者、ユーザーの別、等）や施設（教育、研究、医療、産業等の区分、施設規模、放射線利用の形態、等）の特徴に着目し、我が国における放射線安全文化についての意識と実践に関するより詳細な現状調査を実施、その結果を分析して IRPA-TG とその結果を共有すると共に、各国から得られた知見を学会構成員にフィードバックする。国際的な視点により、短期・中長期両方の観点で課題をまとめ、当局やステークホルダーと共有すべき最新の情報を整理する。2年間（2020－2021年度）の活動で、年あたり3回程度の会合を開催、またはインターネットを利用した会議システム・電子メールによる意見交換を主体として活動を進める。学会員、研究会員または関係者へのアンケートや聴取等による情報収集、公開情報に基づく現状調査等を行い、国内各施設の活動等の現状整理及び課題の抽出・整理を行う。国外状況調査は主に IRPA-HERT-TG からの情報に基づく。また、平成 28 年度原子力規制庁報告書で公開された施設管理者の意識調査データについて、追加のヒアリング等でデータを強化しつつ統計的な視点での分析を継続する。報告書とりまとめの前（2021年12月頃を予定）にシンポジウムの開催等により関係者から広く意見を募る。報告書を簡略化された英語の資料にまとめ直し、IRPA 等の国際活動へと情報を展開する。また、放射線安全文化の醸成に関連した、学会独自の認定制度、資格制度等の構築の可能性についても議論する。

### 日本保健物理学会臨時委員会

「放射線安全文化についての意識と実践に関する検討委員会」（2020-2021）

主査 高橋賢臣(大阪大学) ※前期専門研究会幹事

幹事 飯塚裕幸(東京大学)

幹事 工藤 輝(千代田テクノル)

委員 飯本武志(東京大学) ※IRPA HERT-TG メンバー

委員 加藤真介(横浜薬科大学) ※前期関連専門研究会主査

委員 桧垣正吾(東京大学) ※前期関連専門研究会幹事、企画委員

委員 ニツ川章二(元・日本アイソトープ協会)

委員 三浦太一(高エネルギー加速器研究機構)

委員 米内俊祐(放射線医学総合研究所)

委員 古田雅一(大阪府立大学)

委員 小池弘美(東京大学)

委員 菅井研自(元・東京電力) ※学会監事

## 2.3 調査結果および提言

活動初年度となる 2020 年度は、現在までに以下の活動と調査が完了している。

2020 年6月 17 日 検討委員会活動開始準備会

2020 年7月 2 日 第1回検討委員会

### (1) 安全文化醸成に関するこれまでの調査等概要

- ・海外(英国・カナダ)における放射線安全文化醸成に関する動向の紹介  
⇒英国・カナダにおける原子力/放射線施設における安全文化醸成に関する現地調査の内容と IRPA-TG 活動の紹介があった。日本と各国の体制・文化の違い(海外において規制機関が大学や学会に籍を置く、監査における規制側の姿勢など)や、英国における放射線安全文化の醸成に寄与する有効な 10 の視点(経営陣の関与、適切な教育訓練、効果的なコミュニケーション、人や物の適切な管理、事故トラブル対応など)について紹介があり、背景や日本との違いについて議論し、国内状況と鑑みながら安全文化醸成について検討していくこととなった。
- ・前期専門研究会(2018-2019)の研究成果の紹介  
⇒前期専門研究会(2018-2019)が各学会で実施したアンケート結果を基に放射線安全管理に対する意識調査結果について紹介があった。事業所形態(医療機関・原子力発電所・民間企業・研究機関)などによって重視する項目の差があり、各事業所の勤務体制や事業所が抱える問題点などについて議論され、事業所ごとに目指す安全文化について管理者・被管理者が共通認識をもって取り組むことが重要であるとのことであった。
- ・日本アイソトープ協会による規制庁委託調査事業成果の紹介  
⇒国内の許可事業所を対象とした放射線安全に関するアンケート結果の紹介があった。放射性同位元素等規制法(以下、RI 法。旧 放射線障害防止法)の許可事業所は多種多様な事業所が存在し、各事業所において放射線以外の安全を規制する法律との組み合わせを考慮しながら、RI 法独自の体制を整備する必要があるとのことであった。また、規制当局側との関係についても議論され、事業所と規制当局側が連携・協力し、時間をかけて放射線安全文化醸成に取り組んでいくことが必要であるとのことであった。

### (2) 放射線安全文化醸成に関する調査・研究の紹介

- ・我が国における放射線管理者のもつ放射線安全文化に関するイメージ  
⇒日本放射線安全管理学会(2019 年)参加者を対象とした、安全文化醸成のために重視する項目に関するアンケート結果の紹介があった。項目は英国における放射線安全文化の醸成に寄与する有効な 10 の視点を参考にし、『適切な教育訓練』や『効果的なコミュニケーション』などの”人”

にかかわる項目が上位に来る傾向となった。今後は各事業所形態別にヒアリングを実施し、詳細を調査することとなった。

- ・東京大学における放射線施設管理者と放射線ユーザーを対象としたアンケート、ヒアリング等の実施状況
  - ⇒東京大学における放射線施設管理者並びにユーザーを対象として上記と同じように英国の例を参考としたアンケート、ヒアリング結果の紹介があった。東京大学においては「管理者と経営層」、「被管理者の相互関係」を重視する傾向があると考察され、英国との結果と異なる理由・背景について議論された。
- 今後は、大学・研究機関以外の医療機関や民間企業に対してもヒアリングを実施し、事業所形態ごとに調査・分析を実施することとなった。

#### 2020年9月14日 第2回検討委員会

- (1) 東京電力における安全文化醸成に関する取り組み
  - ・福島事故以前の安全文化醸成活動(安全文化の7原則(2009年 WANO Principles for a Strong Nuclear Safety Culture))
  - ・10Traits( Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture )の導入(2014年)へ  
⇒福島事故を受けて事故以前の安全文化活動の見直しを図ったとのこと。現在是对話による安全文化に関する理解の促進, 10Traits (Traits of a Healthy Nuclear Safety Culture)を導入し、原子力部門に所属する全員が定期的に行動のふりかえり並びに結果の評価・議論をする等、様々な活動を実施しているとの事であった。
- (2) 医療法施行規則の改正と関係組織の対応と動向
  - ・改正の概要と指針の策定経緯と理解
  - ⇒被ばく線量の高い診断装置による診断行為を実施した際に、患者毎に被ばく線量の記録必要となり、また年1回の照射線量の見直し(線量管理)が必要となったとのことであった。本改正の検討委員会の当初の想定ではすべての診断装置を対象としようとした背景もあり、今後も対象機種が増加される可能性も十分考えられる中で、医療機関においても被ばく線量の意識は変化していく可能性があるとのことであった。

#### 2020年2月頃 第3回検討委員会(予定)

- (1) 大阪大学における安全文化醸成の取り組み
  - ・大阪大学で実施されている安全文化システムの紹介
- (2) PDCA サイクルのチェック機構・体制の事例紹介
  - ・PDCA サイクルのチェック機構・体制についての調査
- (3) IAEA 国際会議(2020年11月)の振り返り・情報交換
  - ・2020年11月に開催された IAEA 国際会議の情報・意見交換

#### 2.4 提言を実現する上での課題やロードマップ

2020 年度中は主に国内における放射線安全文化の醸成に関する現状の調査とその分析をさらに進めることになる。(令和 2 年 12 月 20 日現在)

2020 年5月に開催予定であった第 15 回国際放射線防護学会会議(IRPA-15)が2021 年1月に延期開催されることを機に、予定通りに英国、カナダ、米国、韓国等との情報交換活動を強化し、IRPA-HERT-TG等のチャンネルを通じて国際社会へ情報の展開を進める。この活動を通じて、放射線安全文化の醸成に関連した、学会独自の認定制度、資格制度等の構築の可能性についても議論をする。

### 3. 人材育成

#### 3.1 放射線防護人材の確保・育成に関連する取り組み

当学会の人材育成に関する直近の活動については、2020 年第 9 回定時社員総会資料 第 1 号議案「2019 年度事業報告書」に以下の記述がある。

—————(抜粋)—————

2019 年度の特筆すべき活動として次の点を上げることができる。

第一に、学会連携および若手育成についてである。仙台の東北大学において第 52 回研究発表会を(一社)放射線安全管理学会と合同大会として実施したことである。合同大会は 2017 年度の大分大会に続いて 2 回目となる。これまで学会連携を強化することで放射線安全管理学会との合同大会を進めてきたが、国内外から 500 名を超える参加者が集まった。IRPA の会長、本学会と関係を強化してきた英国放射線防護学会(SRP)の会長、さらに韓国放射線防護学会(KARP)の会長、オーストラリアの放射線防護学会(ARPS)の会長など多数のゲストを迎えての合同大会となった。この合同大会でのハイライトは、IRPA YGN メンバー企画による Joint JHPS-SRP-KARP Workshop of Young Generation Network(YGN)を開催し、国際色豊かな参加者のもとで熱心な討論が行われたことである。この企画は若手が中心に企画運営することによって、若手育成につながる重要な取り組みとなった。

また、当学会の人材育成に関する活動方針については、2020 年第 9 回定時社員総会資料 第 7 号議案「2020 年度事業計画書」に以下の記述がある。

—————(抜粋)—————

会員の高齢化と若手人材供給減少による会員数の減少は、引き続き、日本保健物理学会の最重要な課題である。

若手会員数の増加および育成は強化すべき取組として、担当理事を設け、学友会、大学等教員協議会、若手研究会の既存組織を活用する仕組みを動かし、企画行事や学会活動の取組みに若手を集めて会員獲得および育成する工夫を重ねていく。2019 年第 2 回合同大会で成功した YGN の国際取組も推進し、放射線防護分野の次世代を担う質の高い人材育成を目指す。

これに基づき、計画を実現、実装するため、当学会では以下の3つの既存組織、すなわち「若手研究会」、「学友会」、「教員等協議会」の組織を再整備し、確実な活動実施のための予算を優先的に確保した。また担当理事を新たに設置することで、相互の活動に関する情報共有と連携を強化した。

【若手研究会】 40歳以下の有志学会員で構成(15組織・機関43名)

- ・若手の相互研鑽のための勉強会等を開催
- ・若手の学会活動(各種委員会、研究発表、若手研活動など)への参加を奨励
- ・IRPA-YGN や国際 YGN との連携・協働を推進
- ・放射線に関する基礎知識の普及のための学会外主催の各種行事、企画に参画

【学友会】 有志の正学生、準学生会員で構成(4大学10名)

- ・若手研と協働または独自活動として学生の相互研鑽のための勉強会等を開催
- ・放射線に関する基礎知識の普及のための学会外主催の各種行事、企画に参画

【教員等協議会】 大学等に属する教職員の有志で構成(34大学(院)36名)

- ・研究内容、教員・学生構成等の情報共有(構成員の研究室専門キーワード(2020年現在):環境放射線(能)(9)、線量評価(9)、放射線計測(6) 医療被ばく(5)、放射線影響・リスク解析(5)、放射線教育(5)、ラドン・トロン(4)、データ処理(3)、リスクコミュニケーション(2)等(括弧内数値は回答数)
- ・研究と相互連携の活性化、進路情報の共有
- ・社会人ドクターの受け皿としての組織強化と情報共有

これら3組織による活動成果として、2020年度には主に以下を実現した。

・「若手研」及び「学友会」組織の運営について、学会理事会が(関連する予算面や人事・組織面を強化することで)積極的に後方支援する活動をさらに前進させた。

・若手研主催で「内部被曝モデル勉強会(シリーズ)」をオンライン形式で開始した(令和2年12月末までに2回開催。今後も定期的に開催)。ICRP刊行物のOIRシリーズ(Occupational Intake of Radionuclides:ICRP Publ. 130他)を題材に、内部被ばく計算の基礎から応用まで、輪講会形式で報告・議論している。すべての学会員や関連する他学会員にも開かれた勉強会のため、様々な専門性を有する学生・若手からベテラン・シニアが集まり、活発な質疑等がなされている。

・IRPAの下で組織されている若手ネットワーク(IRPA-YGN)を通じて、IRPA-15(令和3年1月18~2月5日、オンライン+韓国)において、若手研は、若手企画セッション等の計画・運営を主導的に行っている(セッションタイトル:Innovation in Radiation Protection、目的:放射線防護分野におけるAIや機械学習などの最新の適用状況や将来を議論する)。また、IRPA-YGNは新型コロナウイルスの放射線防護への影響に関する国際アンケートを行っており、若手研としてレポート作成等に携わった。



・人材育成に関連の深い、「若手研」、「学友会」及び「教員等協議会」の3組織の合同会議を月1回のペースで開催(令和2年6月から12月(現在)までに7回開催)し、相互の情報・課題共有や課題解決に向けた議論等を通じて連携を強化した。この成果は、次の当学会企画シンポジウム(令和3年1月開催予定)で公表され、学会員と意見交換をする予定となっている。

**セッションタイトル:**

学友会と若手研活動を通して見えた日本保健物理学会 ～未来に向けた提案～

**座長:**

安岡 由美(神戸薬科大学)

**プログラム:**

講演タイトル(時間)	発表者(所属)
趣旨説明(5分)	迫田 晃弘(日本原子力研究開発機構)
若手研、学友会の設立経緯とその活動を通して得たこと(15分)	高橋 史明(日本原子力研究開発機構) 森下 祐樹(日本原子力研究開発機構)
学友会と若手研の最近の実績(15分)	福田 一斗(東京大学大学院) 片岡 憲昭(東京都立産業技術研究センター)
学友会の課題と今後の展望(10分)	仲宗根 峻也(琉球大学大学院)
若手研の課題と今後の展望(10分)	廣内 淳(日本原子力研究開発機構)
総合討論(35分)	パネラー: 廣内 淳、廣田 誠子、仲宗根 峻也、福田 一斗 指定発言あり

**概要:**

本シンポジウムの目的は、若手研究会と学友会の活動を通して見えてきた、若手研・学友会が保健物理学会全体と連携して取り組むべき課題と今後の展望について議論することである。シンポジウムの始めに、若手研、学友会に携わってきた方より、設立経緯及び活動を通じて経験したこと(現在の職に生かすことができた点など)を紹介する。次に、現若手研・学友会メンバーより、最近の実績として、勉強会、アウトリーチ活動、IRPA-YGN等の国際活動について紹介する。さらに、それらの活動を通して浮き彫りになった若手研・学友会の課題と今後の展望について紹介する。課題の例として人材不足や情報発信、今後の展望例としてオンライン勉強会の有効性が挙げられるが、これらの中には学会全体と連携して取り組むべきものもある。本シンポジウムの最後には、学会の将来像とそれに向けて今後取り組むべきことなど、参加者も

交えて議論する。

今後は、“古典的な保健物理”分野を専門とする新たな人材を確保しにくい現状背景の中、活気のある医療・社会科学等の若手・学生にアプローチし、社会が求める”新時代の保健物理“分野の中核的組織への変革を、学術団体として目指すことになる。また、次世代層の国際連携活動(IRPA-YGN)について、すでに韓国、中国、英国、仏国などと進めているが、さらに世界に広げ深めようとしており、個人や組織としての経験値を継続的に高めることで若手を育成するための支援・仕掛けを学会として構築する。

## 3.2 若手のポストマッチングや中堅のキャリアアップ支援に関する取り組み

### 3.2.1 学会特有の活動

若手研の有志メンバーによって所属メンバーの専門分野の特徴や、最近の就職、転職等に関する実績と傾向に関する概要の整理がなされ、学友会等との情報共有がなされた。

### 3.2.2 Web による進路等個別相談会への参加

学会の公式ホームページやコミュニケーション委員会が2週間毎に配信しているニュースレターで進路等相談会の情報を周知すると共に、教員等協議会、学友会、若手研での宣伝活動、本相談会への協力要請等を実施した。

## 4. 特記事項

### 4.1. 放射線防護アカデミアが提案した重点テーマに関する取り組み

#### JHPS 国際シンポジウム「トリチウム問題をいかに解決すべきか？」

東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発と略す）事故に伴うトリチウム水は、処理方法としての海洋放出に国内及び国外から社会的な注目が集まっている。経済産業省に設置された多核種除去設備 (ALPS: Advanced Liquid Processing System) 等処理水の取扱いに関する小委員会（以下、ALPS 小委員会と略す）は、トリチウムを希釈して海洋に放出することは技術的に可能であり現実的な選択肢としている。一方で漁業関係者を中心に「風評被害」について懸念が上がっており、社会的な合意の難しさを示している。この状況において、放射線防護の視点から日本保健物理学会が果たしていくべき役割は、技術的な課題に注目するだけでなく、社会的な課題を含めて、放射線防護のあり方はどうあるべきかを俯瞰しつつ、解決の道筋をみつける手助けをしていくことである。そこで、保健物理学会では、第 53 回研究発表会にて、トリチウム水に関するシンポジウムを行うことを理事会で決定した。シンポジウムは、現在経済産業省の ALPS 小委員会で議論されているトリチウム処理問題を取りあげ、技術的な問題と社会的な問題を整理し、韓国と台湾の専門家を含めたステークホルダーを交えた議論を通して、今後の問題解決の道筋を明らかにすることを目指して行われた。本シンポジウムは、新型コロナウイルス感染症対策のため、web 開催となった。

シンポジウムは第一部として講演及び指定発言、第二部としてライブ討論の 2 部構成で行われた。第一部の講演者及び指定発言者は以下の通りである。

ファシリテータ：吉田浩子（東北大学）

1: 山口一郎（国立保健医療科学院）

トリチウムの問題 専門家への問いかけ

2: Shu-Jun Chang（台湾行政院原子能委員会技能研究所）

How much do we know about the ALPS treated water?

3: Ik Jae Chung（ソウル国立科学技術大学）

Social Aspects of Tritium Water Release: Messages of 3 traps  
from a neighbor country

4: 小松理虔（地域活動家、ライター・いわき市）

福島第一原発のトリチウム水海洋放出についての私見

5: 菊地基文（漁師・相馬市）

指定発言者：安東量子（NPO 法人福島ダイアログ/福島のエートス・いわき市）

## ライブ討論の概要

トリチウム水の科学的安全性については、

- ・ トリチウムを含む処理水の環境放出の安全性は多角的に評価されているが、今後も地道なモニタリングでその安全性を確認する必要がある
- ・ 安全性は信頼の問題であり、そのためには専門家がその役割を誠実に果たす必要がある
- ・ 1次データや情報の発信の仕方が信頼の点で重要であり、科学者やコミュニケーターとの連携が必要である
- ・ 海外から見ると、日本政府は影響評価、詳細な行動計画、モニタリング計画などより詳細な情報提供が十分でない

また、社会的合意形成に関しては、

- ・ 科学者、一般公衆、政府の3つのステークホルダーが一貫性、民主主義、ゼロリスクの3つの罠に陥っており、社会的合意は個別の結果ではなく、多くの関係者が相互に関わり合うプロセスである
- ・ 安全かどうかの問題設定が漁業者を追い詰める
- ・ トリチウム水処理の問題は合意形成のあり方の問題である
- ・ トリチウムの安全性議論は地域にとっては信頼性の問題、地域に寄り添った支援が必要
- ・ 各立場の主張は個別にみれば合理的に見えるが、透明で十分な情報のもとでの社会的合意のあり方が問われている

という意見が述べられた。

最後にファシリテータから、

- ・ 福島第一原発事故後、重要な決定がさまざまな場面で行われてきた。
- ・ いずれの場合も合意形成はきわめて難しく、すべてのステークホルダーを満足させられるベストな答え・正解というものはなかった
- ・ 科学的情報はそれらがすべてそろったとしても、科学的知識は情の鞆に包まなければ人の心には届かないことも我々はこれまでに学んできた。(菅原道真の名言「知は情の鞆に入れなければ相手も自分も傷つける」より。知(識)は切れ味の鋭い刃のようなもの、情(なさけ)という鞆に入れて用いなければ相手も自分も傷つける、の意。)
- ・ 演者からの指摘にもあったように、トリチウム水問題を地域の問題に矮小化せぬようにする姿勢が必要であり、SympathyではなくEmpathyが必要である。
- ・ 放射線防護の専門家集団である本学会の役割として、何をなすべきか、何ができるか、本日の議論をベースに我々自身もさらに考えていきたい。

と締めくくりのコメントが述べられた。

#### 4.2 他学会との連携

当学会と日本放射線安全管理学会とで、各学会を代表する副会長と理事4名で構成する連携協力に関する検討を進めるワーキンググループを設置し、特に研究発表会・学術大会に関する合同大会の実施等に関して、情報交換と意見交換の活動を強化した。(メンバー; 保物学会: 飯本(副会長)、藤淵(理事)、管理学会: 柴(副会長)、渡部(理事)。第1回会合令和2年6月10日、第2回会合令和2年6月18日、第3回会合令和2年7月2日、第4回会合令和2年7月28日、第5回令和2年8月20日、第6回令和2年9月23日、第7回令和2年10月29日、第8回令和2年12月1日、第9回令和3年2月3日(予定))

また、会員の意見を聴取する目的で、「日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会 ―今後の連携のありかたに関するアンケート」を実施し、207名からの回答を得た。この結果の一部については、両学会のホームページで会員向けに公開し、また、日本放射線管理学会第13回学術大会(令和2年12月9-11日)の場を利用して、ポスター発表することで、両会員の関連の議論を深め、活性化するのに大きく寄与した。この結果については、現在も両学会の理事会等で分析が進められており、今後、両学会の特色を明確化すると共に、協力活動、連携活動のありかたをより具体的に検討することに利用される予定となっている。

#### 4.3 国際会議等への若手研究者の派遣

令和2年度国際的機関主催会合等への若手派遣事業へ、当学会所属の東京大学大学院新領域創成科学研究科(修士課程2年生)小池弘美氏がIAEA主催 International Conference on Radiation Safety: Improving Radiation Protection in Practice (2020年11月9-13日、ウィーン)

<https://www.iaea.org/events/international-conference-on-radiation-safety-2020> IAEA主催 International Conference on Radiation Safety: Improving Radiation Protection in Practice)の派遣申請をし、令和2年6月21日に採択決定された。

その後、派遣事業を請け負う量子科学技術研究開発機構(量研)の新型コロナウイルス感染症への対応方針等に従い、7月31日時点における海外渡航の原則禁止が解除されなかった状況から、同氏の派遣が見合されることとなった。

最終的には当該会議が会期を延長しての遠隔開催となり、同氏は東京大学本郷キャンパスの研究室より参加し、令和2年11月14日に、演題「CONSCIOUSNESS ANALYSIS ON SAFETY CULTURE IMPROVEMENT IN RADIATION FACILITIES OF JAPAN」を発表した。

以上

令和2年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(放射線防護研究分野における  
課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)

## 令和2年度活動報告

令和3年2月

日本放射線事故・災害医学会



日本放射線事故・災害医学会では、本年度は「放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成」事業に関する直接的な取り組みとしては調査、研究を実施していないが、関連する活動として「第8回日本放射線事故・災害医学会」と「被ばく医療診療手引き編集委員会への参画」について報告する。

## 1. 第8回日本放射線事故・災害医学会

### 1.1. テーマ:被ばく医療で目指すべき線量評価のあり方

多様な放射線事故に際し、患者の被ばく線量がタイムリーに得られることが理想であり、そのための技術の開発や維持が重要である。その一方で、被ばく医療に本当に役立てられる線量評価とは何かという点について、過去の様々な放射線事故事例を俯瞰しながら、医療と放射線防護の双方の関係者が議論できる機会を提供した。

### 1.2. 日時

2020年10月3日(土)13:25 - 17:00 オンラインでの開催

### 1.3. プログラム

基調講演1「我が国における被ばく医療の経験」

特別講演「放射線輸送シミュレーションに基づく線量評価」

基調講演2「我が国の被ばく事故における線量評価の経験と課題」

パネルディスカッション;多様な被ばく事故に対峙する被ばく医療の立場から必要とされる線量評価の質や精度, また今後取り組むべき技術開発等について議論

## 2. 被ばく医療診療手引き編集委員会への参画

量研機構高度被ばく医療センターに設置された「被ばく医療診療手引き編集委員会」に学会代表理事が参加し、被ばく医療の専門家として執筆、編集に協力している。

実効線量と実用量に関するWebinar  
(全5回シリーズ)

資料集



# 「線量の歴史的背景と意味合い」 -実効線量を中心として-

岩井 敏

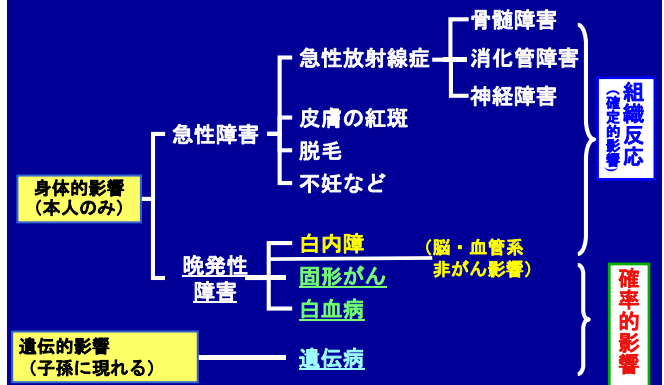
## 目次

1. 必要な基礎知識
2. 外部被ばくの放射線防護の線量体系
3. 防護量の変遷
4. 防護量と実用量との関係
5. 法令で使用される線量概念

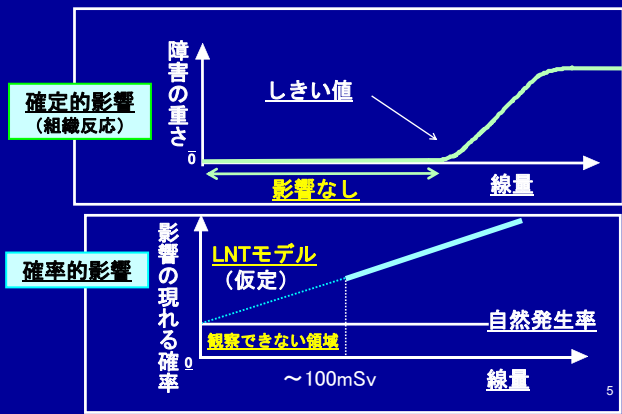
## 第1章の目次

1. 必要な基礎知識
  - 1.1放射線の人体への影響
  - 1.2放射線防護・計測・影響に関わる国際組織

## 1.1 放射線の人体への影響(その1)



## 1.1 放射線の人体への影響(その2)



## 1.1 放射線の人体への影響(その3)

### 確定的影響の急性被ばくしきい値

健康影響	器官	影響発現時期	しきい値(1%発生率)
一時的不妊	精巣	3~9週間	~100mGy
永久不妊	精巣	3週間	~6000mGy
永久不妊	卵巣	1週間未満	~3000mGy
造血系機能低下	骨髄	3~7日	~500mGy
皮膚発赤(主要期)	皮膚(広い区域)	1~4週間	<3000~6000mGy
皮膚火傷	皮膚(広い区域)	2~3週間	5000~100000mGy
一時的脱毛	皮膚	2~3週間	~4000mGy
白内障(視覚障害)	水晶体	20年未満	~500mGy

出典: ICRP, Publ.118, (2011)

緊急時の放射線業務従事者の従来の実効線量の線量限度: 100mSv

## 1.2 放射線防護・計測・影響に関わる国際組織(その1)

International Commission on Radiological Protection  
(国際放射線防護委員会:ICRP)

- 専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う民間の国際学術組織である。ICRPはイギリスの非営利団体(NPO)として公認の慈善団体であり、科学事務局の所在地はカナダのオタワに設けられている。

7

## 1.2 放射線防護・計測・影響に関わる国際組織(その2)

ICRP の組織構成

ICRP は主委員会と下記専門委員会から構成される。

- 第1専門委員会 放射線影響(放射線生物学・疫学)
- 第2専門委員会 線量評価(線量評価モデル)
- 第3専門委員会 医療被ばくにおける防護
- 第4専門委員会 現場への適用
- 第5専門委員会 環境の放射線防護 → 廃止

8

## 1.2 放射線防護・計測・影響に関わる国際組織(その2)

International Commission on Radiological Unit and Measurement  
(国際放射線単位・測定委員会:ICRU)

- 非営利組織(NPO)で非政府組織(NGO)であり、世界の物理学者、科学者、技術者等がボランティアで参加している。事業目的は、(1)放射線と放射能の単位、(2)放射線医学的診断、放射線治療、放射線生物学、核医学、放射線防護、産業・環境活動等における放射線と放射能の計測と手順、及び(3)この手順の決定に必要な物理的データの検討と適切な勧告である。

9

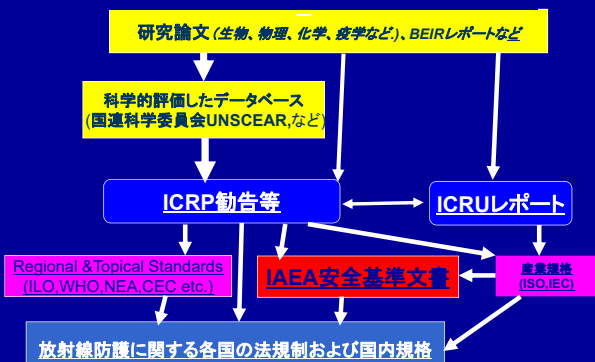
## 1.2 放射線防護・計測・影響に関わる国際組織(その3)

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation  
(原子放射線影響に関する国連科学委員会:UNSCEAR)

核実験の影響が懸念され始めた1955年に設立された。人工放射線及び自然放射線の線源と、放射線の被ばくによる人体に及ぼす身体的・遺伝的影響、環境への影響について調査してその結果をまとめる国連の委員会である。加盟国は日米欧など27カ国である。

10

## 1.3 放射線防護に関わる法規制等ができるまで



11

## 第2章の目次

2. 外部被ばくの放射線防護の線量体系
  - 2.1 使用分野により異なる線量概念
  - 2.2 放射線防護のための線量体系
  - 2.3 防護量

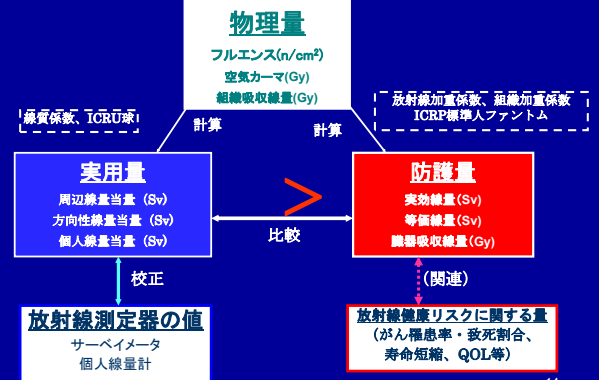
12

## 2.1 使用分野により異なる線量概念

- 放射線物理学
- 放射線生物学
- 医療被ばく(放射線治療)
- 放射線防護(Sv)
- (事故被ばく)

13

## 2.2 放射線防護のための線量概念(その1) 放射線防護の諸線量の関係



14

## 2.2 放射線防護のための線量概念(その2)

放射線防護に使用される線量の概念

<b>防護量</b> (Protection quantity)	国際放射線防護委員会 (ICRP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ <b>実効線量 (Sv)</b></li> <li>■ 等価線量 (Sv)</li> <li>■ 組織吸収線量 (Gy)</li> </ul>
<b>実用量</b> (Operational quantity)	国際放射線単位測定委員会 (ICRU)	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 周辺線量当量 (Sv)</li> <li>■ 方向性線量当量 (Sv)</li> <li>■ 個人線量当量 (Sv)</li> </ul>

15

## 2.2 放射線防護のための線量概念(その3) 防護量と実用量の関係

測定対象	防護量	実用量	法令で使用される実用量
場所の線量測定 (エアモニタリング) (ex 眼の水晶体、皮膚)	実効線量	周辺線量当量 $H^*(10)$	(1cm線量当量)*
	等価線量	方向性線量当量 $H'(3,0), H'(0,07,0)^*$	(3mm線量当量)* (70μm線量当量)*
個人の外部被ばく測定 (個人モニタリング) (ex 眼の水晶体、皮膚)	実効線量	個人線量当量 $H_p(10)$	(1cm線量当量)*
	等価線量	個人線量当量 $H_p(3), H_p(0,07)$	(3mm線量当量)* (70μm線量当量)*

( \* 法令では0センチメートル線量当量と記載 )

16

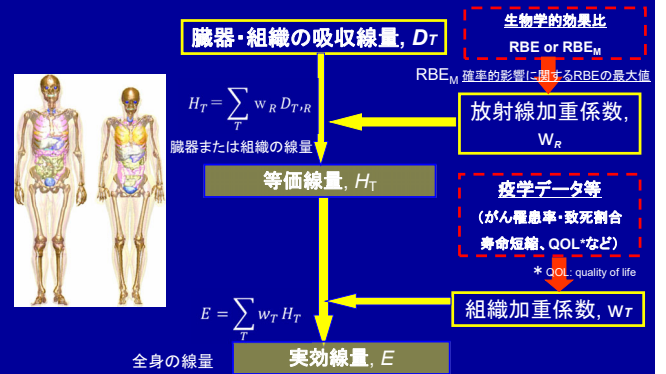
## 2.3 防護量(その1)

防護量:放射線健康リスクに関する被ばくの程度を定量化する線量概念であるが、測定できない量

臓器・組織等	健康影響	防護量
皮膚	皮膚障害	等価線量
眼の水晶体	白内障	等価線量
全身	がん、遺伝的影響	実効線量

17

## 2.3 防護量(その2)



18

## 2.3 防護量(その3)

### 放射線加重係数( $W_R$ )

◆ 1990 ICRP Publ.60で初めて勧告、Publ.103で改定

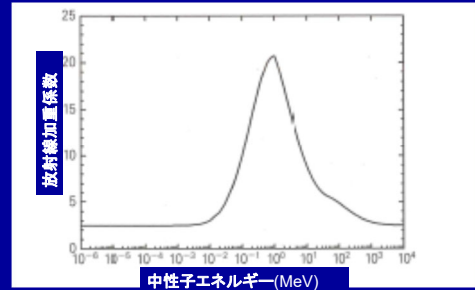
放射線の種類	放射線加重係数
光子	1
電子とミュオン	1
陽子と荷電パイ中間子	5*→2
α粒子、核分裂片、重粒子	20
中性子	中性子エネルギーの連続関数

出典: ICRP Publ.103 \* ICRP Publ.60の陽子

19

## 2.3 防護量(その4)

### 中性子の放射線加重係数( $W_R$ )



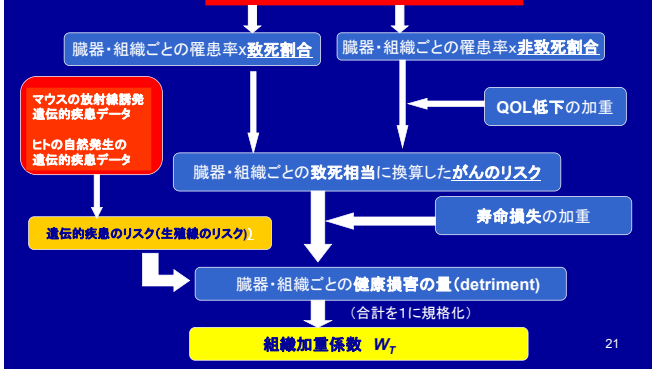
(出典: ICRP Publ.103)

20

## 2.3 防護量(その5)

### 組織加重係数の求め方

広島・長崎のがんの疫学データ等



21

## 2.3 防護量(その6)

### 組織加重係数

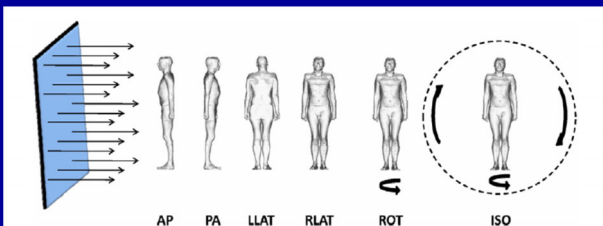
組織加重係数 $W_T$	ICRP Publ. 60で該当する組織又は器官 (1990)	ICRP Publ.103で該当する組織又は器官 (2007)
0.20	生殖腺	—
0.12	赤色骨髄, 結腸, 肺, 胃	乳房, 赤色骨髄, 結腸, 肺, 胃
0.08	—	生殖腺
0.05	乳房, 甲状腺, 食道, 肝臓, 膀胱	—
0.04	—	甲状腺, 食道, 肝臓, 膀胱
0.01	骨表面, 皮膚	骨表面, 皮膚, 脳, 唾液腺
—	残りの10組織・器官:0.05 副腎, 脳, 大腸上部, 小腸, 腎臓, 筋肉, 脾臓, 脾臓, 胸腺, 子宮	残りの14組織・器官: 0.12 副腎, 胸腔外(ET)領域, 胆嚢, 心臓, 腎臓, リンパ節, 筋肉, 口腔粘膜, 膵臓, 前立腺, 小腸, 脾臓, 胸腺, 子宮頸部

22

## 2.3 防護量(その6)

・防護量は常に放射線入射方向依存性がある。

・実効線量は計算値であるため、原理的に実測できない。



出典: ICRP Publ.116

23

## 第3章の目次

### 3. 防護量の変遷

- 3.1 線量当量以前の防護量の概念
- 3.2 線量当量の概念とその拡張
- 3.3 実効線量当量の概念の導入
- 3.4 等価線量、実効線量への変遷

24

## 第3.1章の目次

### 3.1 線量当量以前の防護量の概念

#### 3.1.1 照射線量

#### 3.1.2 吸収線量

25

### 3.1.1 照射線量(その1)

- 1895: レントゲン(W.C.Roentgen)のX線発見以来、X線は広く利用されるようになったが、皮膚障害が頻発した。
- 1925: X線装置取扱者の線量制限値(耐容線量)が提案されたが、統一された線量概念がなく、鉛遮蔽体の厚さによる遮蔽能力で示された。



26

### 3.1.1 照射線量(その2)

- 1928: 第2回国際放射線会議(ストックホルム)で、IXUC\*によって、国際的に統一された放射線の単位:レントゲン(記号表記:r)が規定された。

\*IXUC: International X-ray Unit Committee. 後にICRUと改名

「電離箱の壁の影響がない状態で、二次電子による電離がすべて取り入れられ、0°C、76cmHgの空気1ccあたり、飽和電流のもとで1esuの電荷を生じるX線の量」を1レントゲンとした。

- 1934: 第4回国際放射線会議(チューリッヒ)で測定単位にγ線も含める必要性を再認識
- 1937: 第5回国際放射線会議(シカゴ)でレントゲンはラジウムのγ線にも拡大された。

「1レントゲンは、空気0.001293gあたりに放出された粒子線(二次電子の意味)によって作られたイオンが空气中で正または負1esuの電荷を生成するようなX線またはγ線の量」と測定器に依存しない量として再定義された。

27

### 3.1.1 照射線量(その3)

- 1930年代: エネルギーの高いX線の利用で皮膚障害だけでなく骨髄障害、白血病が発生。  
⇒皮膚線量だけでなく、体内の臓器の線量が必要
- 1940年代: 加速器、原子炉の利用で、β線と中性子の被ばくが発生。  
⇒X線、γ線以外の放射線にも使用できる線量単位が必要
- 1948年: rep(roentgen equivalent physical)が定義された。  
! 1rep=組織に83erg/gのエネルギーを吸収させる放射線の単位
- 1948年: rem(roentgen-equivalent-man)が定義された。  
! 1rem=1レントゲンのX線、γ線に暴露されたヒト(または哺乳類)の線量と等価な生物学的効果を持つ電離放射線による被ばく線量の単位

28

### 3.1.1 照射線量(その4)

- 'rep'も'rem'も、この時点では、レントゲン(r)に基づく単位に過ぎなかったが、

rep ⇒ 吸収線量  
rem ⇒ 線量当量

の線量概念に繋がっていった。

- 1956 レントゲンは照射線量(exposure dose)という線量概念となる。
- 1962 レントゲン(rからRに変更)は放射線場の強度の指標とされ、防護量の概念から外れる(ICRU 10(a))。

29

### 3.1.2 吸収線量

1953: ICRUの会議(コペンハーゲン)

- 吸収線量(absorbed dose)の概念と単位の定義

! 吸収線量とは放射線で照射された物質の対象となる場所(place)の単位質量あたりに付与されるエネルギーであり、単位はradで表記され、1rad=100erg/g

- レントゲンは放射線場の強度を表す指標となり、防護量とは区別された。

- remはICRP1954年勧告で、R.B.Eが掛かった吸収線量の単位とされていた。

! R.B.E(relative biological effectiveness, RBE): 生物学的効果比

30



### 3.2 線量当量の概念とその拡張(その1)

#### 放射線生物学上のRBEの概念

種類の異なった放射線からの害(harm)の程度を比較する係数

- 1930 Fallia, Henshaw: 最初の概念
- 1945 Cantril, Parker : relative biological factor
- 1950 ICRP勧告(番号なし): relative biological efficiency

31

### 3.2 線量当量の概念とその拡張(その2)

#### 放射線生物学のRBE:

同じ生物効果を生じさせる2種類の放射線の吸収線量の比

#### 放射線防護分野でのRBE

吸収線量にける係数  
種類の異なる放射線の比較と加算

- 1959 ICRU 9: RBE⇒放射線生物学のみで使用
- 1962 ICRU 10(a): 放射線防護⇒ QF(線質係数)
- 1963 RBEに関する専門委員会(ICRP/ICRU): QF値
- 1977 ICRP 26: 線質係数Q (晩発性・確率的影響のみ)
- 1990 ICRP 60: 放射線加重係数:  $w_R$  (晩発性・確率的影響のみ)

32

### 3.2 線量当量の概念とその拡張(その3)

- 種類の異なる放射線の生物影響を合計した線量概念として「RBE線量」という用語が容認されていた。

- 1962: ICRUはReport10(a)で、「線量当量」(dose equivalent: DE)を以下の式で定義。

$$DE = D \cdot (QF) \cdot (DF) \dots$$

D: 吸収線量

QF: 線質係数(水中LETに依存する放射線防護に使用する係数)

DF: 分布係数

線エネルギー付与(LETまたはL): 物質中を移動する荷電粒子が経路の単位長あたりに失う平均エネルギー単位(keV/μm)



33

### 3.2 線量当量の概念とその拡張(その4)

- 1962: ICRPもPubl.6から、線量当量を防護量として導入。しかし、線量当量を定義する領域の体積の記述はない。
- 1972: ICRUはReport19で、線量当量を1点で以下のように再定義した。

$$H = D \cdot Q \cdot N$$

D: 吸収線量

Q: 線質係数

N: 修正係数(その他の修正)

34

### 3.2 線量当量の概念とその拡張(その5)

- 放射線防護の対象は確定的影響から確率的影響(がん、遺伝的影響)が中心となってきた。
- 1977: ICRPはPubl.26でICRU Report19の定義をそのまま採用したが、「晩発性の確率的影響によりよく結びつく量」と明記した。
- ICRPはPubl.26で、1点で定義された線量当量の概念を、「臓器、組織の平均線量当量 $H_T$ 」と見なすとして、臓器、組織 $T$ の体積全体に拡張した。

35

### 3.3 実効線量当量の概念の導入(その1)

- 1977: ICRPはPubl.26で実効線量当量の概念を導入して、1978年のストックホルム声明で実効線量当量(effective dose equivalent: 記号 $H_E$ )と命名した。
- 実効線量当量は確率的影響について不均等被ばくをそれと等価な全身均等被ばくで表す線量概念であり、外部被ばくと内部被ばくを合算することが可能となった。

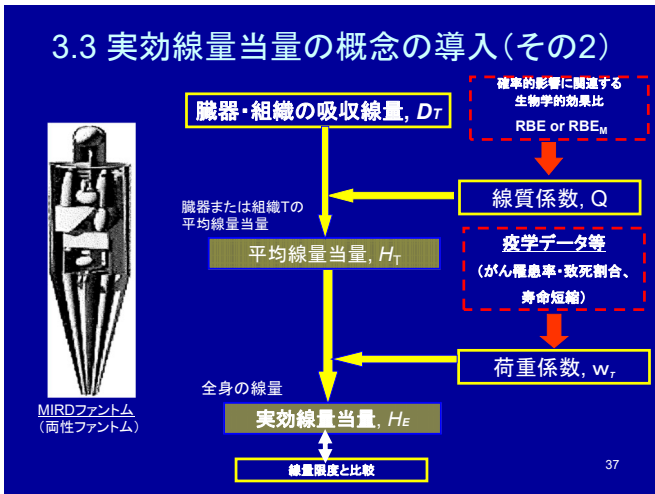
$$H_E = \sum_T w_T H_T$$

$H_T$ は臓器、組織の平均線量当量

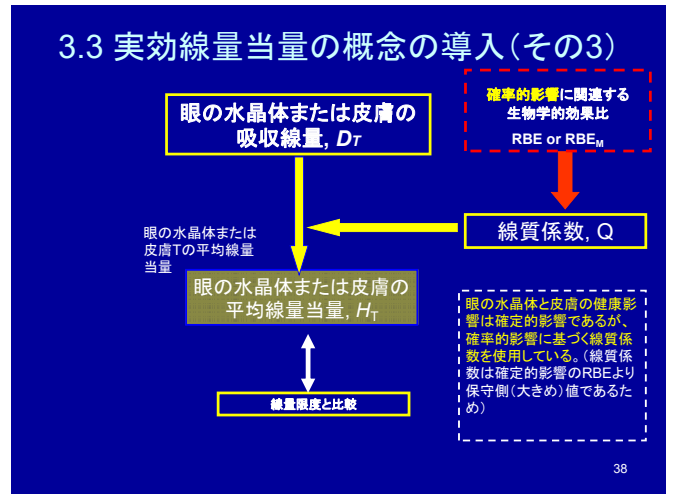
$w_T$ は荷重係数(Publ.60以降の組織加重係数 p22 参照)

36

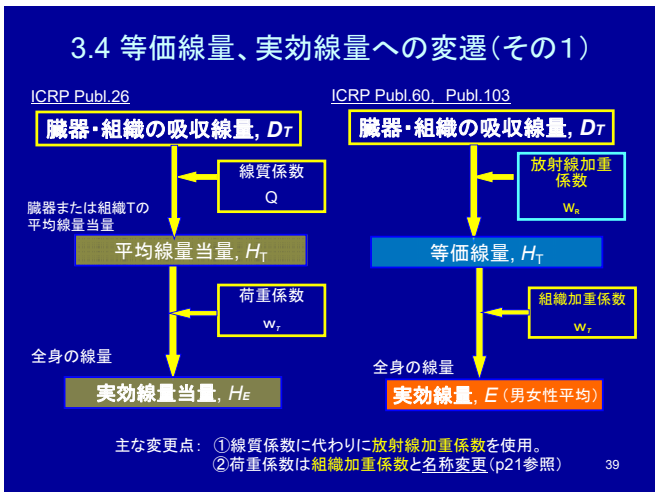
### 3.3 実効線量当量の概念の導入(その2)



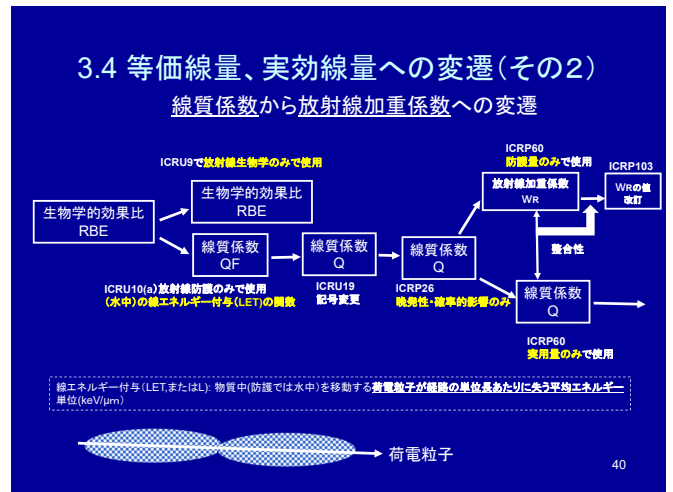
### 3.3 実効線量当量の概念の導入(その3)



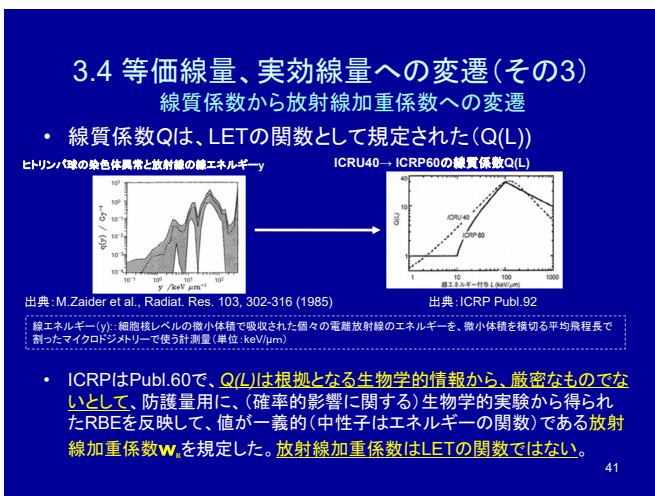
### 3.4 等価線量、実効線量への変遷(その1)



### 3.4 等価線量、実効線量への変遷(その2)



### 3.4 等価線量、実効線量への変遷(その3)



### 3.4 等価線量、実効線量への変遷(その4)

放射線加重係数( $w_R$ )

◆ 1990 ICRP Publ.60で初めて勧告、Publ.103で改定

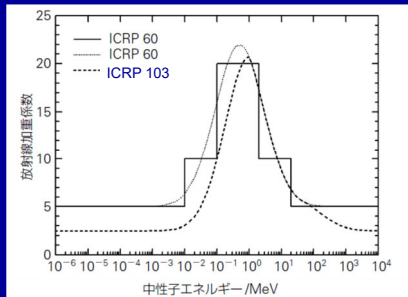
放射線の種類	放射線加重係数
光子	1
電子とミュオン	1
陽子と荷電パイ中間子	5*→2
α粒子、核分裂片、重粒子	20
中性子	中性子エネルギーの連続関数(p20参照) #

出典: ICRP Publ.103 \*ICRP Publ.60の陽子 #Publ.60から改訂

42

### 3.4 等価線量、実効線量への変遷(その5)

中性子の放射線加重係数の改訂



(出典: ICRP Publ.103)

### 3.4 等価線量、実効線量への変遷(その6)

放射線加重係数( $w_R$ )

- 放射線加重係数 $w_R$ は、**身体に入射する放射線**、あるいは体内線源については、その線源から放出される放射線に関する値である。  
(両地点性: bilocality: ICRP Publ.92の(219)~(230)で議論)
- ICRPの放射線加重係数の表、グラフに含まれていない放射線の種類エネルギーについては、ICRU球深さ10mmにおける線質係数を計算することで、放射線加重係数の近似値をうることができるとPubl.60の(A14)項で記述している。
- ICRPは線質係数との整合性から、陽子ならびに中性子の放射線加重係数をPubl.103で改訂した。
- ICRPは、Publ.60以降では防護量には放射線加重係数 $w_R$ を適用し、実用量には線質係数 $Q(L)$ を適用することとなった。

### 3.4 等価線量、実効線量への変遷(その7)

臓器、組織の等価線量と平均線量当量の違い

- 等価線量  $H_T$  は  $H_T = \sum_T w_R D_{T,R}$  となり、 $w_R$  は放射線加重係数、 $D_{T,R}$  は放射線  $R$  による臓器・組織  $T$  の平均吸収線量。
- 放射線加重係数  $w_R$  は人体外部から入射する放射線に対して規定されている値であるため、人体内で発生する2次放射線による吸収線量に対しても、2次放射線の $w_R$ で加重して、等価線量 $H_T$ を計算する。そのため、**2次放射線のLETに合わせた $Q(L)$ を用いて計算する従来の臓器・組織の平均線量当量とは異なる値となる。**
- この不整合を調整するため、ICRPはPubl.103で陽子と中性子の $w_R$ の値を改訂した。

### 3.4 等価線量、実効線量への変遷(その8)

#### 実効線量

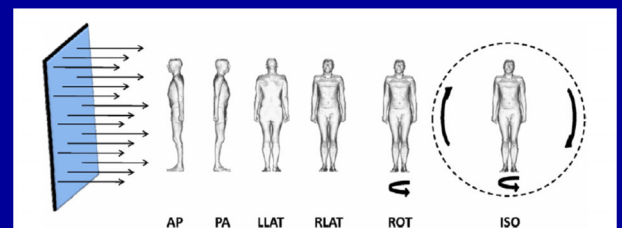
- 実効線量  $E$  は等価線量  $H_T$  と組織加重係数  $w_T$  の積の和である。  
$$E = \sum_T w_T H_T$$
- 組織加重係数  $w_T$  は Publ.26 の荷重係数と同じである(p21参照)。ただし、基となる疫学データの更新により、数値は改訂される。(p 22参照)。
- 放射線防護のための実効線量 $E$ は、**特定の個人の線量推定値を示すものではない\***。被ばく条件は考慮するが、特定の個人の特徴考慮しない値を与える(ICRP Publ.103の(134))  
(Publ.110の男女別標準人ファントムによる等価線量の性別平均値を使用)  
(\* ICRP Publ.92(2003)の(226)では「本来、 $E$  (実効線量)は被ばくが定量化される特定の人の身体に関係している...」)
- 眼の水晶体と皮膚の等価線量の計算には、確定的影響に基づくRBEでなく、確率的影響に基づく放射線加重係数を使用する。

## 第4章の目次

- 4. 防護量と実用量の関係
  - 4.1 実用量導入の必要性
  - 4.2 実効線量と実用量の関係
  - 4.3 最新の防護量の考え方
  - 4.3 最新の実用量の考え方

### 4.1 実用量導入の必要性(その1)

- 実効線量は常に放射線入射方向依存性がある。



出典: ICRP Publ.116

### 4.1 実用量導入の必要性(その2)

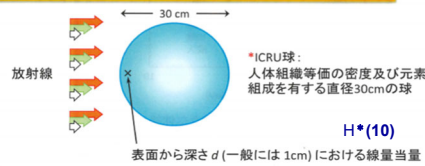
- 放射線測定器(サーベイメータまたは個人線量計)で、方向依存性のある実効線量(防護量)を測定器指示値として示すことは現実的には無理である。
- 全入射方向に対する実効線量(防護量)を下回らない実効線量(防護量)の近似値を考える。
- このような防護量の近似値が**実用量**である。
- ➔ 実際的には、測定した物理量に一つの換算係数(物理量→実用量)を乗じた値で、かつ防護量下回らない近似値に放射線測定器を値付け(校正)している。

### 4.1 実用量導入の必要性(その3)

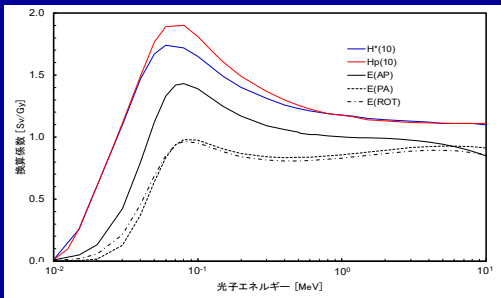
#### 実用量—周辺線量当量

- 放射線場のモニタリングに用いる量
  - 周辺線量当量(下図参照)、方向性線量当量
- 個人のモニタリングに用いる量
  - 個人線量当量

**周辺線量当量  $H^*(d)$  (Sv):**  
 対応する整列・拡張場により、ICRU球・内の整列場に対向する半径上の深さ  $d$  において生じる線量当量  
 ⇨ 空間線量を測定するサーベイメータは、周辺線量当量を測定するように設計、校正されている



### 4.2 実効線量と実用量の関係(その4)



$H^*(10)$ : 周辺線量当量、 $H_p(10)$ : 個人線量当量

E: 実効線量 Ap: 前側、PA 後側、ROT 回転

### 4.2 実効線量と実用量の関係(その5)

#### 防護量と実用量の関係

測定対象	防護量	実用量	法令で使用される実用量
場所の線量測定 (エアモニタリング)	実効線量	周辺線量当量 $H^*(10)$	(1cm線量当量)*
	等価線量 (ex 眼の水晶体、皮膚)	方向性線量当量 $H^*(3,0)$ , $H^*(0,0,7,0)$	(3mm線量当量)* (70μm線量当量)*
個人の外部被ばく測定 (個人モニタリング)	実効線量	個人線量当量 $H_p(10)$	(1cm線量当量)*
	等価線量 (ex 眼の水晶体、皮膚)	個人線量当量 $H_p(3)$ , $H_p(0,07)$	(3mm線量当量)* (70μm線量当量)*

(\* 法令では0センチメートル線量当量と記載)

線量限度等 < 放射線測定器の測定値 → 実測値が規制値以内であれば問題ない 52

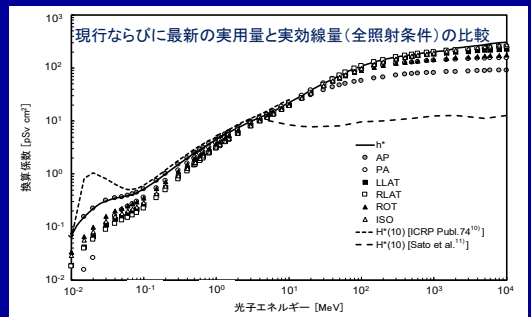
### 4.3 最新の防護量の考え方

ICRPのドラフトThe Use of Effective Dose as a Radiological Protection Quantityによれば、

- ① 等価線量は実効線量を計算する中間のステップにすぎないと見なし、**独自の防護量としては必要でない**。
- ② 眼の水晶体、皮膚および手足の組織反応(確定的影響)に関する線量限度は等価線量(Sv)ではなく、吸収線量(Gy)で定めることが適切である。
- ③ 実効線量は発生しうるリスクを近似しうる指標として使用することができる。

### 4.4 最新の実用量の考え方

ICRP/ICRUドラフトOperational Quantities for External Radiation Exposure



光子に対する防護量と現行ならびに今後の実用量

(実線  $h^*$ : 新実用量 (ICRP final draft 2017)、点線  $H^*(10)$  (ICRP Publ.74およびO. Sato et al., J.Nucl. Sci Technol. 36(1),977-987 (1999)): 現行実用量、○AP、●PA、□LLAT、■RLAT、△ROT、▲ISO: 防護量 (ICRP Publ.116)

## 5. 法令で使用される線量概念

- ICRU/ICRPの定義では、実用量と防護量は一般的に同じ値ではない。
- 我国の現行法令上は技術指針\*1に基づき、告示等\*2により、**防護量は実用量と同一の値とみなすと規定されている。**

\*1 外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術指針(平成11年4月)

\*2 例えば、放射線を放出する同位元素の数量等を定める件(平成12年10月23日 科学技術庁告示第5号 最終修正 平成25年3月29日 文部科学省告示第58号)

56

## まとめ

1. 外部被ばくの放射線防護の線量体系
2. 防護量の変遷
3. 防護量と実用量との関係
4. 法令で使用される線量概念

56

## 日本原子力学会誌への寄稿

- 日本原子力学会誌(ATOMO Σ)の12月号に、特集「外部被ばくの放射線防護における線量概念の変遷と展望」が掲載される予定です。

本講演は、その一部である「Ⅱ. 防護量の変遷と今後の見通し」を中心としてお話をさせて頂きました。

57



ご清聴ありがとうございました。

58



# 放射線リスクと実効線量

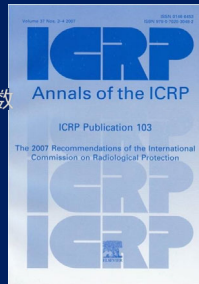
2020年11月24日 16:00-17:30  
 実効線量と実用量に関するWebinar(第2回)  
 電力中央研究所 佐々木道也

## 本講演の目的

- ◆ 放射線防護における「防護量」としての役割をもつ実効線量は、定義上は特定の臓器及び組織の吸収線量に放射線加重係数を乗じた等価線量を計算し、それらに組織加重係数の重みづけを行うことで評価される。
- ◆ 最新のICRP2007年勧告においては実効線量の推定方法について詳述されているが、放射線リスクとしての意味合い、年齢の扱いなどで理解が難しいポイントが存在する。
- ◆ 本Webinarでは、2007年勧告を中心に放射線リスクと実効線量の評価における課題等を共有することを目的とする。

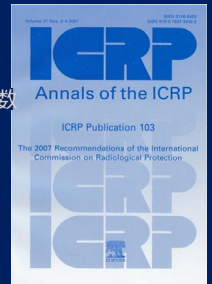
## 目次

1. 実効線量について
  1. 実効線量の計算
  2. 放射線加重係数、組織加重係数
2. 名目リスク係数とデトリメント
  1. 名目リスク係数
  2. デトリメント
  3. 基礎データ、科学的知見
3. 放射線リスク評価と課題
  1. 放射線のリスク推定とリスク予測
  2. 被ばく状況、カテゴリーと数値の扱い



## 目次

1. 実効線量について
  1. 実効線量の計算
  2. 放射線加重係数、組織加重係数
2. 名目リスク係数とデトリメント
  1. 名目リスク係数
  2. デトリメント
  3. 基礎データ、科学的知見
3. 放射線リスク評価と課題
  1. 放射線のリスク推定とリスク予測
  2. 被ばく状況、カテゴリーと数値の扱い



## 実効線量の計算

- (本Webinarシリーズ第1回岩井先生のご講演)
- ◆ 放射線防護の進展に伴って開発
  - ◆ 黎明期は照射(吸収)線量、遮蔽を基本にした線量管理
    - ◆ 測定技術の進歩
  - ◆ RBE、防護対象が主にがんリスク
    - ◆ 対象臓器
  - ◆ 内部被ばくと外部被ばく



## 放射線防護と関連する量

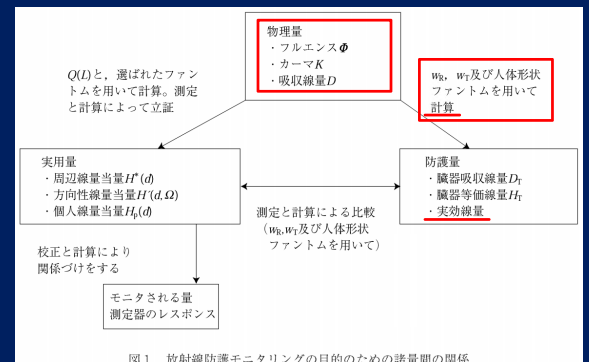
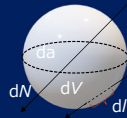


図1 放射線防護モニタリングの目的のための諸量間の関係  
[http://www.icrp.org/docs/P74\\_Japanese.pdf](http://www.icrp.org/docs/P74_Japanese.pdf)

### 物理量

- フルエンス： $\Phi = dN/da$  or  $dI/dV$   
単位面積あたりの放射線通過数  
単位は $cm^2(\text{個 } cm^{-2})$ 
  - フルエンス率：単位時間、単位面積あたりの放射線通過数
- カーマ： $K$   
ガンマ線、中性子等非荷電粒子が荷電粒子に与える初期運動エネルギーの総和(質量あたり)  
単位は $Gy(J kg^{-1})$
- 吸収線量： $D$   
質量 $dm$ 中に電離放射線によって与えられる平均エネルギー。単位は $Gy(J kg^{-1})$



### 空気カーマ

- 放射線場の評価、空気カーマ
- 例えば0.3MeVの光子に対する換算係数は  $1.38 pGy cm^2 = 1.38 \times 10^{-12} Gy cm^2$
- $1 cm^2$ あたり  $10^{12}$ 個の光子が入射する放射線場は、1.38Gy(空気カーマ)となる。

光子のデータ

表 A.1. 単一エネルギー光子の単位フルエンスあたりの空気カーマに対する換算係数\*  $K_e/\Phi$ 。

光子エネルギー(MeV)	$K_e/\Phi$ ( $\mu Gy cm^2$ )
0.010	7.43
0.015	3.12
0.020	1.68
0.030	0.721
0.040	0.429
0.050	0.323
0.060	0.289
0.080	0.307
0.100	0.371
0.150	0.599
0.200	0.856
0.300	1.38
0.400	1.89
0.500	2.38
0.600	2.84
0.800	3.69
1.000	4.47

[http://www.icrp.org/docs/P74\\_Japanese.pdf](http://www.icrp.org/docs/P74_Japanese.pdf)

### 臓器吸収線量

ICRP Pub. 74

- ICRP Pub. 74  
単位空気カーマ当たりの膀胱(右上図)と皮膚(右下図)の吸収線量。
- 横軸は光子エネルギー。
- 人体ファントムに入射する放射線の向きによっても変化する。

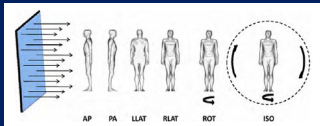
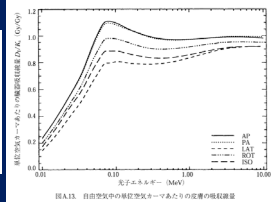
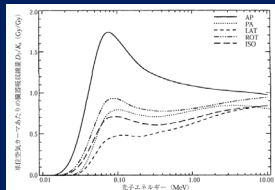


Fig. 3.2. Schematic representation of the idealized geometries considered. AP, antero-posterior; PA, postero-anterior; LLAT, left lateral; RLAT, right lateral; ROT, rotational; ISO, isotropic.

ICRP Pub. 116

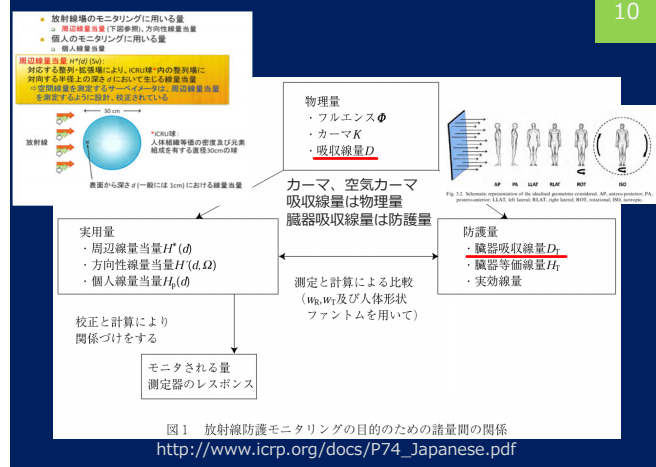


図1 放射線防護モニタリングの目的のための諸量間の関係  
[http://www.icrp.org/docs/P74\\_Japanese.pdf](http://www.icrp.org/docs/P74_Japanese.pdf)

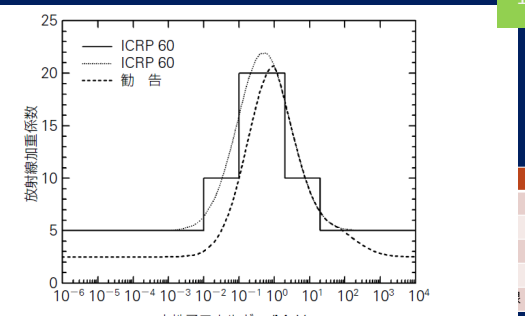
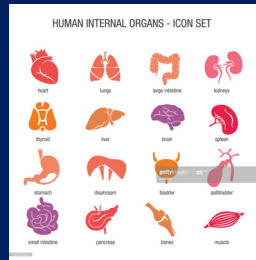


図 B.4. 中性子の放射線加重係数  $w_R$  と中性子エネルギーとの関係  
Publication 60 (1991b) に与えられたステップ関数と連続関数、及び、2007年勧告に採用された関数。

### 組織加重係数

- 身体への均一照射の結果生じた健康損害全体(ドトリメント)に対する組織又は臓器の相対的寄与を表現するために、組織又は臓器Tの等価線量に加重する係数。
- 確率的影響の誘発に対する様々な臓器・組織の放射線感受性の変動を考慮。
- 全身にくまなく照射されている状況を前提。(確率的影響による)健康損害全体として、がん、遺伝的影響を考慮。



## 組織加重係数

13

- ◆ 1990年勧告と若干異なるが、これは放射線影響の知見蓄積によるもの（今後も変更される可能性がある）
- ◆ 固形がん、白血病、遺伝性影響

表3 組織加重係数の勧告値

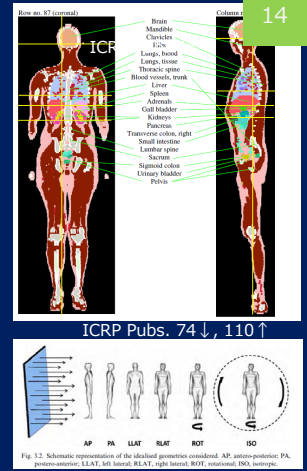
組織	$w_T$	$\Sigma w_T$
骨髄 (赤色)、結腸、肺、胃、乳房、残りの組織*	0.12	0.72
生殖腺	0.08	0.08
膀胱、食道、肝臓、甲状腺	0.04	0.16
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	0.01	0.04
合計		1.00

\* 残りの組織：副腎、胸郭外(ET)領域、胆嚢、心臓、腎臓、リンパ節、筋肉、口腔粘膜、脾臓、前立腺 (♂)、小腸、脾臓、胸腺、子宮/頸部 (♀)。

## 実効線量の計算

14

- ◆ 実効線量  $E = \sum w_T H_T$
- ◆ 人体ファントムには、(前頁表)組織加重係数に含まれない部位もある。
- ◆ そのような部位での、放射線の吸収、散乱、内部被ばくでは放射性核種の蓄積、移行、崩壊による放射線放出等もシミュレーションに含まれているものの、臓器吸収線量(実効線量分)として寄与しない。



## 実効線量(2007年勧告での説明)

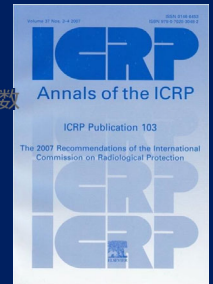
15

- ◆ 実効線量は個人についてではなく標準人について計算される。(標準男性及び標準女性の等価線量と、標準人の実効線量の評価は、人体形状モデル(ファントム)の使用に基づく)。
- ▶ 実効線量の主な利用は、放射線防護の計画立案と最適化のための予測的な線量評価、及び規制目的のための線量限度の遵守の実証である。
- ▶ 実効線量を疫学的評価のために使用することは推奨されない。また、個人の被ばくとリスクの詳細な特定の遡及的調査にも使用すべきでない。
- ▶ 等価線量と実効線量は、比較的高い線量の定量化又は組織反応に関係する何らかの処置の必要性の決定には使用すべきでない。

## 目次

16

1. 実効線量について
  1. 実効線量の計算
  2. 放射線加重係数、組織加重係数
2. 名目リスク係数とデトリメント
  1. 名目リスク係数
  2. デトリメント
  3. 基礎データ、科学的知見
3. 放射線リスク評価と課題
  1. 放射線のリスク推定とリスク予測
  2. 被ばく状況、カテゴリーと数値の扱い



## 名目リスク係数とデトリメント

17

- ◆ 代表的集団における性及び被ばく時の年齢で平均化された生涯リスク推定値
- ◆ 1990年勧告では名目確率係数

被ばく集団	損害(Detriment)( $10^{-2} Sv^{-1}$ )			
	致死がん	非致死がん	重篤な遺伝的影響	計
全集団	5.0	1.0	1.3	7.3
成人作業者	4.0	0.8	0.8	5.6

- ◆ 2007年勧告では名目リスク係数

被ばく集団	低線量率放射線被ばく後の確率的影響に対する損害で調整された(Detriment-adjusted)名目リスク係数( $10^{-2} Sv^{-1}$ )		
	がん	遺伝性影響	計
全集団	5.5	0.2	5.7
成人	4.1	0.1	4.2

## 名目リスク係数の基礎データ

18

表A.4.1. 性で平均した名目リスクと損害の要約

組織	名目リスク係数 (1万人当たり 1Sv当たりの症例数)	致死割合	致死率と QOLを調整した 名目リスク*	相対的 損傷率 (第1機関値)	損害	相対損害†
<b>全集団</b>	15	0.93	15.1	0.97	13.1	0.022
皮膚	79	0.83	77.0	0.88	67.7	0.118
結腸	65	0.48	49.4	0.97	47.9	0.083
肝臓	30	0.85	29.2	0.88	25.6	0.046
肺	114	0.89	112.9	0.80	90.3	0.157
骨	7	0.43	5.1		5.1	0.009
乳房	1000	0.002	4.0		4.0	0.007
食道	112	0.29	61.9		79.8	0.139
膀胱	11	0.57	8.8	1.12	9.9	0.017
脾臓	43	0.29	23.5	0.71	16.7	0.029
甲状腺	33	0.07	9.8	1.29	12.7	0.022
骨髄	29	0.67	37.7	1.63	61.5	0.107
その他の固形がん	144	0.47	110.2	1.03	113.5	0.198
白血病(遺伝性)	20	0.82	19.3	1.32	25.4	0.044
合計	1715	0.62	586		674	1.000
<b>成人作業者</b>	11	0.43	3		3.4	0.006
皮膚	670	0.002	3		2.7	0.006
乳房	49	0.29	27		32.6	0.077
脾臓	7	0.57	4	1.16	4.6	0.016
膀胱	42	0.29	23	0.85	19.3	0.046
甲状腺	9	0.07	3	1.19	3.4	0.008
骨髄	23	0.67	20	1.17	23.9	0.057
その他の固形がん	88	0.49	67	0.97	65.4	0.115
白血病(遺伝性)	12	0.80	10	1.32	15.3	0.036
合計	1179	0.62	411		422	1.000

- ◆ 全集団、がんについて5.5%/Sv
- ◆ 性および年齢平均(0-84 or 18-64歳被ばく)。
- ◆ 1万人あたり、1Sv当たりの症例数の「名目リスク係数」に、致死割合、及びQOLを調整した名目リスク





## 基礎データ、科学的知見

25

- 放射線影響研究所が取り組んでいる広島長崎の原爆被爆者追跡調査研究。
- 原爆投下時の人口は広島市では約34~35万人、長崎市では約25~27万人と推定。広島市で約9~17万人、長崎市で約6~8万人が1945年末までに死亡したと推定。
- 1950年の国勢調査時等の資料に基づき爆心地からの距離による層化抽出により約12万人が設定され生死および死因、がん罹患状況が追跡されている（寿命調査）。

<http://www.f.kpu-m.ac.jp/k/jkpum/pdf/120/120-12/ozasa12.pdf>

## 原爆被ばく者の線量評価

26

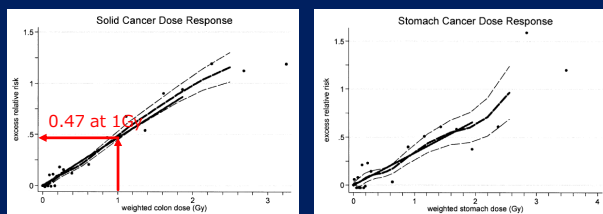
- 線量評価システム：T65D、DS86、DS02(DS02R1)
- あらたな断面積データの利用、エネルギー分割、角度分割の詳細化、位置補正によるアップデート
- 核分裂により放出されるガンマ線及び中性子のエネルギー輸送計算。
- 空気カーマ⇒遮蔽カーマ、さらに年齢、体位、体の向きへの調査⇒臓器線量(15臓器別)
- 重みづけされた吸収線量(10n+y)が固形がんの線量応答に用いられる。

[http://www.rii.kyoto-u.ac.jp/IPA/DS02/Final\\_pdf/Fujita.pdf](http://www.rii.kyoto-u.ac.jp/IPA/DS02/Final_pdf/Fujita.pdf)他

## 原爆被ばく者のリスク推定 (線量応答)

27

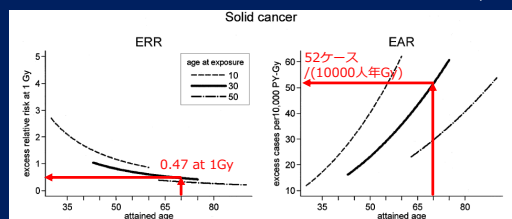
- Preston et al., 2007.
- 1958-98年までのデータ解析。
- 固形がん、部位別がんの罹患を対象。



## 原爆被ばく者のリスク推定 (モデルと年齢)

28

Preston et al., 2007.



- 過剰相対リスク(ERR)と過剰絶対リスク(EAR)モデル
- 罹患率=ベースライン罹患率(1+ERR)
- 罹患率=ベースライン罹患率+EAR
- 30歳被ばく、70歳到達を代表値。

## 性別と年齢によるリスクの変化 (全固形がん)

29

モデル	1Gy当たりのリスク			男女比	被ばく時年齢の影響 ※1	到達年齢の影響 ※2
	男性	女性	平均			
ERR ※3	0.35 (0.28; 0.43)	0.58 (0.43; 0.69)	0.47 (0.40; 0.54)	1.6 (1.31; 2.09)	-17% (-25%; -7%)	-1.65 (-2.1; 1.2)
EAR	43 (33; 55)	60 (51; 69)	52 (43; 60)	1.4 (1.10; 1.79)	-24% (-32%; -16%)	2.38 (1.9; 2.8)

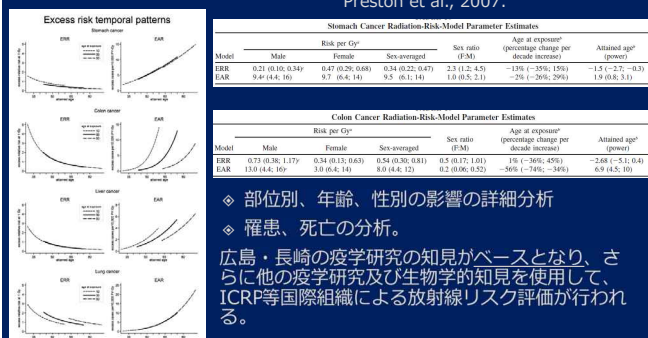
$$s(e, a) = \theta, \exp(\alpha e + \omega \log(a)),$$

- 性別(θ)、被ばく時年齢(e)と到達年齢(a)による調整
- ※1 被ばく時年齢10年増加ごとの変化。
- ※2 到達年齢の何乗で変化するか。
- ※3 カッコは90%信頼区間。

## 性別と年齢によるリスクの変化 (部位別がん)

30

Preston et al., 2007.

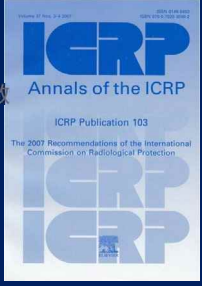


- 部位別、年齢、性別の影響の詳細分析
- 罹患、死亡の分析。
- 広島・長崎の疫学研究的知見がベースとなり、さらに他の疫学研究及び生物学的知見を使用して、ICRP等国際組織による放射線リスク評価が行われる。

## 目次

31

1. 実効線量について
  1. 実効線量の計算
  2. 放射線加重係数、組織加重係数
2. 名目リスク係数とデトリメント
  1. 名目リスク係数
  2. デトリメント
  3. 基礎データ、科学的知見
3. 放射線リスク評価と課題
  1. 放射線のリスク推定とリスク予測
  2. 被ばく状況、カテゴリーと数値の扱い



## 放射線リスク推定と評価

32

低LET、低線量(率)、全身被ばく

疫学研究等で観察した集団固有のリスク推定

一般化された放射線被ばくでのリスク予測

◆ Preston et al 2007  
◆ Ozasa et al 2012

特定の条件(年齢、被ばく状況等)におけるリスク予測

◆ チェルノブイリ報告書  
◆ WHO福島報告書

リスクの推定とは、疫学研究に代表されるように過去の放射線被ばくを経験した集団の観察結果に基づいてモデル式等により、その集団固有のリスクの大きさを推定することを指す。

リスクの予測とは、疫学研究等で推定されたリスクを参考に、一般化された放射線被ばくの状況、あるいは特定の集団について、そのベースライン、年齢、被ばく状況等に関して特定の条件を想定して計算した、リスク管理のための将来の予測値を指す。

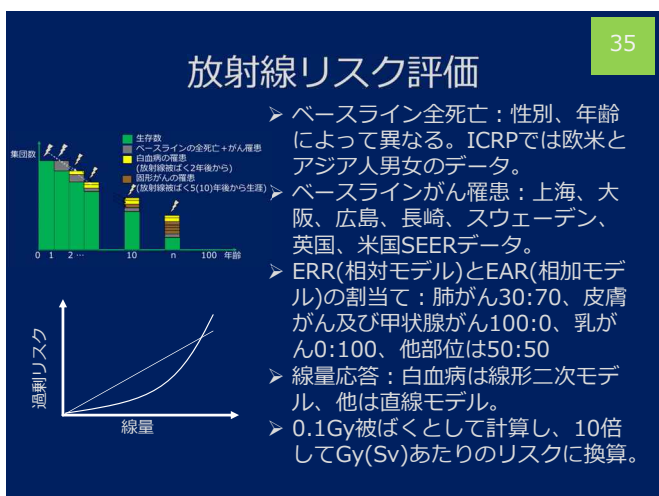
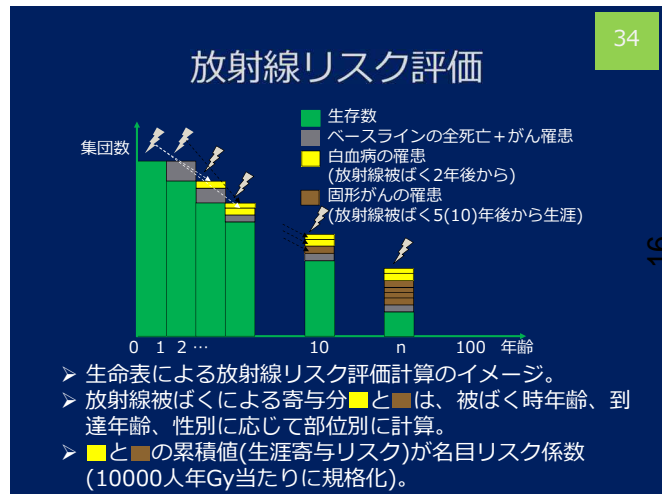
低線量リスクに関するコンセンサスと課題、放射線生物研究 (2020)

## ICRPの放射線リスク評価

33

- ◆ 名目リスク係数の計算。リスク予測に該当。
- ◆ 放射線デトリメント計算の途中過程。
- ◆ ICRP Pub103 及び2020年1月にICRPより意見募集されたドラフト文書に詳述されている。

組織	名目リスク係数 (1/Sv当りの定率)	致死割合	QOLを調整した 名目リスク*	致死割合 (がん寿命の損失)	損傷 (第1欄参照)	概時被害†
<b>a) 全集団</b>						
食道	15	0.93	15.1	0.87	13.1	0.023
食道	79	0.83	77.9	0.88	67.7	0.118
肺	65	0.48	49.4	0.97	47.8	0.083
肝臓	30	0.55	30.2	0.88	26.6	0.046
脾臓	114	0.89	112.9	0.90	90.3	0.157
骨	7	0.45	4.1	1.00	5.1	0.009
皮膚	1000	0.002	4.0	1.00	4.0	0.007
乳房	112	0.29	61.9	1.29	79.8	0.139
骨髄	11	0.57	8.8	1.12	8.8	0.017
膀胱	43	0.29	23.5	0.71	16.7	0.029
甲状腺	33	0.07	9.8	1.29	12.7	0.022
骨髄	42	0.67	32.7	1.83	41.5	0.107
その他の固形がん	144	0.49	116.2	1.03	113.5	0.198
生殖腺 (遺伝性)	20	0.80	19.3	1.32	25.4	0.044
合計	1716		656		674	1.000
<b>b) 成年年齢集団 (18~64歳)</b>						
食道	16	0.93	16	0.91	14.2	0.024
食道	69	0.83	68	0.89	51.6	0.123
肺	50	0.48	38	1.13	43.0	0.102
肝臓	21	0.55	21	0.95	19.7	0.047
脾臓	117	0.89	105	0.96	100.7	0.206
骨	5	0.45	3	1.00	3.4	0.008
皮膚	679	0.002	3	1.00	2.7	0.006
乳房	49	0.29	27	1.20	22.6	0.077
骨髄	7	0.57	6	1.16	6.6	0.016
膀胱	42	0.29	23	0.85	19.3	0.046
甲状腺	9	0.07	3	1.19	3.4	0.006
骨髄	23	0.67	20	1.17	23.9	0.057
骨髄	88	0.49	67	0.97	63.4	0.135
その他の固形がん	112	0.80	112	1.32	113.5	0.206
生殖腺 (遺伝性)	12					
合計	1179		423		422	1.000



## ICRP2007年勧告において採用されたパラメータ(ERR)

36

- ▶ ERR、EARそれぞれのモデルに対する代表地、年齢、性別の違いを考慮する際のパラメータをICRPが決定。
- ▶ 広島・長崎の2007年の論文の知見を基本としているが、他の知見を参考としているパラメータもある。

部位	性別	線量(0.1Gy)による10000人年当りのERRの増加(%)	ERRの増加(%)	女性と男性の比	P <sub>confidence</sub>
<b>位置関係</b>					
食道	男	0.30	+17%	-1.65	1.65
食道	女	0.38			
食道	男	0.40	-17%	-1.65	1.65
食道	女	0.35			
肺	男	0.25	-17%	-1.65	0.48
肺	女	0.38			
肝臓	男	0.25	-17%	-1.65	0.48
肝臓	女	0.35			
脾臓	男	0.25	-17%	-1.65	0.48
脾臓	女	0.35			
骨	男	0.29	+17%	-1.65	0.47
骨	女	0.39			
皮膚	男	0.47	0%	-2.36	0.37
皮膚	女	0.52	-17%	-1.65	>0.5
膀胱	男	0.67	-17%	-1.65	0.37
膀胱	女	1.09			
甲状腺	男	0.53	-50%	0.00	2.00
甲状腺	女	0.65			
その他の部位	男	0.22	-34%	-1.65	0.78
その他の部位	女	0.37			

\* 肝臓は、年齢、性別(時年齢及び(または年齢))の性別の差が、組織別の解釈から得られるこれらの知見よりも、1.65倍より大きく記述するという見解の確信のためである。甲状腺がんについては、線量依存性、その後の甲状腺がん発生率、DNA損傷に2006年以前から存在するデータに基づいて、1995年の推定に基づくモデルを用いたERRデータを適切に記述する必要があるためである。



### 線量・線量率効果係数

- ◇ (単位線量当たりの) 生物学的効果が低線量・低線量率の放射線被ばくでは高線量・高線量率における被ばくと比較して通常低いことを一般化した、判断によって決められた係数。
- ◇ 疫学、生物学的知見に基づいた判断。

	名称	数値
UNSCEAR 1988	Reduction factor	2-10
ICRP 1990	DDREF	2
UNSCEAR 2006	-	-
BEIR-VII	DDREF	1.5(1.1-2.3)
ICRP 2007	DDREF	2
WHO 2013*	DDREF	採用しない
UNSCEAR 2013*	-	-

Rühm et al., Radiat Environ Biophys. 2015 Nov;54(4):379-401.  
doi: 10.1007/s00411-015-0613-6. Epub 2015 Sep 5.

### ICRPの放射線リスク評価

- ◇ 広島・長崎の原爆被爆者追跡調査研究等のリスク推定の科学的知見。
- ◇ 代表的な集団と全死亡、がん罹患の統計データ。
- ◇ 生涯過剰リスクを計算。線量・線量率効果係数。
- ◇ 名目リスク係数⇒名目リスク⇒ドトリメント⇒組織加重係数。

表A.4.1. 性別平均した名目リスクと組織加重係数の積約

組織	名目リスク係数 (1Sv当たりの発症数)	組織加重係数	積約した名目リスク*	組織加重係数 (ICRP勧告)	積約した名目リスク*
全集団	15	0.93	15.1	0.87	13.1
気道	79	0.83	77.0	0.88	67.7
肺	465	0.48	494.4	0.97	472.0
胃	30	0.50	30.2	0.88	26.6
腸	114	0.80	112.9	0.80	90.3
骨	7	0.45	5.1	1.00	5.1
皮膚	1000	0.002	4.0	1.00	4.0
乳腺	112	0.29	61.9	1.29	79.9
眼	11	0.37	8.8	1.12	9.9
膀胱	43	0.29	23.5	0.71	16.7
卵巣	33	0.07	9.8	1.29	12.7
骨髄	42	0.67	37.7	1.03	61.5
甲状腺	144	0.80	115.2	1.03	118.6
その他の臓器がんと全臓器 (遺伝性)	20	0.80	16.3	1.32	21.4
合計	1716	-	866	-	874

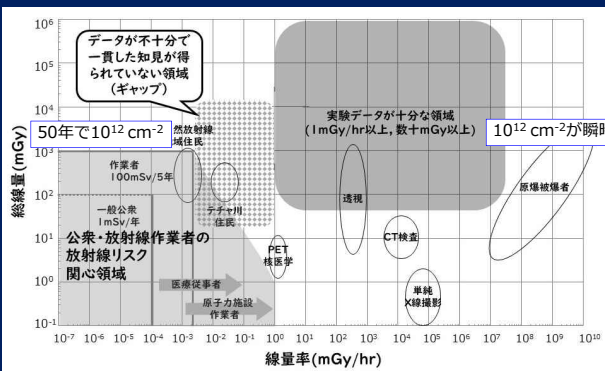
被ばく集団

被ばく集団	名目リスク係数 (10 <sup>-2</sup> Sv <sup>-1</sup> )	がん	遺伝性影響	計
全集団	5.5	0.2	5.7	
成人	4.1	0.1	4.2	

b) 被ばく年齢別 (18-64歳)

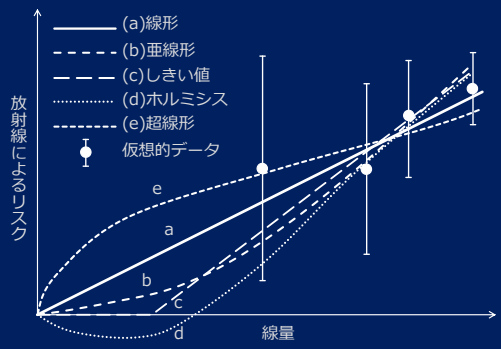
年齢	名目リスク係数 (10 <sup>-2</sup> Sv <sup>-1</sup> )	がん	遺伝性影響	計	
高年齢	36	0.93	36	0.91	14.2
中年	69	0.83	58	0.89	51.8
低年齢	59	0.48	38	1.13	43.9
乳児	21	0.85	21	0.83	15.7
胎児	127	0.89	126	0.96	120.7
骨	5	0.45	3	1.00	3.4
皮膚	670	0.002	3	1.00	2.7
乳腺	49	0.29	27	1.29	32.6
卵巣	7	0.07	6	1.36	8.6
甲状腺	42	0.29	32	0.85	35.3
甲状腺	9	0.07	3	1.19	3.4
骨髄	25	0.67	20	1.17	23.9
その他の臓器がんと全臓器 (遺伝性)	88	0.49	47	0.87	62.4
生体組織 (遺伝性)	12	0.80	12	1.32	15.3
合計	1178	-	423	-	422

### 放射線リスク評価と課題



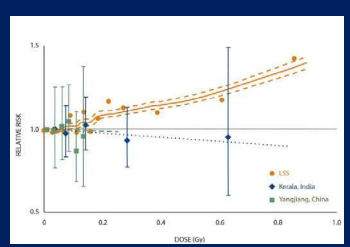
量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所。放射線リスク・防護研究基盤準備委員会報告書、2017 低線量リスクに関するコンセンサスと課題、放射線生物研究 (2020)

### 放射線リスク評価と課題



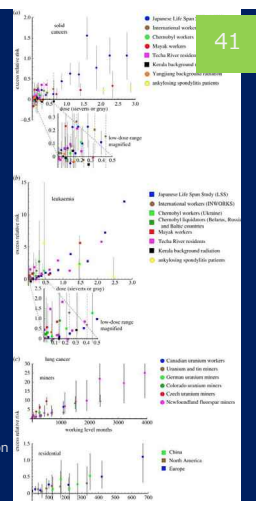
▶ 低線量・低線量率の放射線被ばくにおけるリスク予測に対するLNTモデル使用の妥当性  
低線量リスクに関するコンセンサスと課題、放射線生物研究 (2020)

### 線量応答の分析例



UNSCEAR 2017, Report to the General Assembly with Scientific Annexes. ANNEX B Epidemiological Studies Of Cancer Risk Due To Low-dose-rate Radiation From Environmental Sources

A restatement of the natural science evidence base concerning the health effects of low-level ionizing radiation  
Angela R. et al. Published:13 September 2017  
https://doi.org/10.1098/rspb.2017.1070



### DDREFの課題

- ◇ ICRP TG91 放射線防護目的のための低線量・低線量率被ばくにおける放射線リスクの推論
- ◇ 高線量時の線量反応の傾きを評価した上で、DDREFを適用して低線量時のリスクを推定し続けることが望ましいかどうか(代替案としては、利用可能なすべての情報とベイズ分析の技術を用いて低線量時のリスク係数を推論し、最良の専門家の判断を推定するというUNSCEARのアプローチを採用すること)。
- ◇ そのような係数が急性、慢性、長期被ばくに適用できるか、あるいは特定の補正を必要とするかどうか。

	名称	数値
UNSCEAR 2006	-	-
BEIR-VII	DDREF	1.5(1.1-2.3)
ICRP 2007	DDREF	2

## その他の課題

43

- ◆ **内部被ばくを扱う線量の評価**  
体内動態モデルが用いられるが、移行係数等のパラメータは、年齢、個人による差異が大きい。
- ◆ **EARモデル、ERRなどのモデル選択**  
モデル選択の科学的合理性とリスク予測への影響に注目必要。
- ◆ **遺伝性影響(経世代影響)の推定**  
ICRPの2007年勧告では、遺伝性影響のリスクの推定における将来世代として、第2世代までが含まれた。また遺伝性影響は特殊なマウスの系統では認められているが、動物実験で一般に用いられている2つの系統では認められていない。また、原爆被爆者の追跡調査研究では現時点での結果からは認められていない。
- ◆ **集団から個人のリスク予測への展開**

## 実効線量の記述

44

- ◆ ICRP Publ.103 para(134)  
…被ばく条件は考慮するが、特定の個人の特徴を考慮しない値を与える(ICRP Publ.103の(134))
- ◆ … a value which takes account of the given exposure conditions but not of the characteristics of a specific **individual**.
- ◆ ICRP Publ.92 para(226)  
「本来、 $E$  (実効線量) は被ばくが定量化される特定の人の身体に関係している・・・」)
- ◆ Primarily,  $E$  is related to the body of a specific **person** whose exposure is quantified.

## 内部被ばくの扱い

45

- ◆ ICRP Publ.103 para(130)
- ◆ 臓器・組織の等価線量の計算に、**成人の標準男性と成人の標準女性の標準コンピュータファントム**を用いている。
- ◆ 公衆に対する内部被ばくの線量係数(Sv/Bq)
- ◆ ICRP Publication 56, 67等の表より(預託等価と実効線量)

摂取年齢	3か月	1歳	5歳	10歳	15歳	成人
副腎	2.5E-09	7.5E-10	4.6E-10	2.8E-10	1.9E-10	8.6E-10
膀胱壁	2.5E-09	7.5E-10	4.6E-10	2.8E-10	1.9E-10	8.6E-10
骨表面	2.1E-09	6.1E-10	4.5E-09	2.9E-09	1.8E-09	6.0E-10
...						
...						
実効線量	7.5E-09	2.4E-09	1.7E-09	1.1E-09	7.7E-10	3.3E-10

## 実効線量(放射性薬剤)

46

- ◆ ICRP Publications 17, 53, 62, 80, 106, 128
- ◆ 単位放射能摂取あたりの(臓器)吸収線量
- ◆ 単位放射能摂取あたりの実効線量
- ◆ それぞれの換算係数が年齢に応じて示されている。
- ◆ 検査、医療の最適化目的。使い方には配慮が必要。

C9.4. Absorbed doses for <sup>18</sup>F-FDG

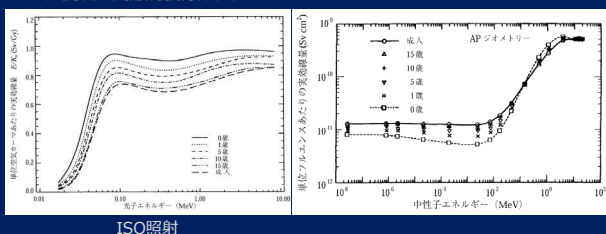
<sup>18</sup>F: 1.83 h

Organ	Absorbed dose per unit activity administered (mGy/MBq)				
	Adult	15 years	10 years	5 years	1 year
Adrenals	1.2E-02	1.8E-02	2.4E-02	3.9E-02	7.1E-02
Bladder	1.1E-01	1.6E-01	2.5E-01	3.4E-01	4.7E-01
Bone surfaces	1.1E-03	1.4E-02	2.2E-02	3.4E-02	6.4E-02
Brain	3.3E-02	3.9E-02	4.1E-02	4.4E-02	6.3E-02
Breast	8.8E-03	1.1E-02	1.8E-02	2.9E-02	5.6E-02
Gallbladder	1.3E-02	1.8E-02	2.4E-02	3.7E-02	7.0E-02
Gastrointestinal tract					
Stomach	1.1E-02	1.4E-02	2.2E-02	3.5E-02	6.7E-02
Small intestine	1.2E-02	1.4E-02	2.5E-02	4.0E-02	7.3E-02
Colon	1.3E-02	1.6E-02	2.5E-02	3.9E-02	7.0E-02
Upper large intestine	1.2E-02	1.5E-02	2.4E-02	3.8E-02	7.0E-02
Lower large intestine	1.4E-02	1.7E-02	2.7E-02	4.1E-02	7.6E-02
Heart	6.7E-02	8.7E-02	1.3E-01	2.1E-01	3.8E-01
Kidneys	1.7E-02	2.1E-02	2.9E-02	4.5E-02	7.8E-02
Liver	2.1E-02	2.8E-02	4.2E-02	6.3E-02	1.2E-01
Lungs	2.0E-02	2.9E-02	4.1E-02	6.2E-02	1.2E-01
Muscles	1.0E-02	1.3E-02	2.0E-02	3.3E-02	6.2E-02
Oesophagus	1.2E-02	1.5E-02	2.2E-02	3.5E-02	6.6E-02
Ovaries	1.4E-02	1.8E-02	2.7E-02	4.3E-02	7.6E-02
Pancreas	1.3E-02	1.6E-02	2.6E-02	4.0E-02	7.6E-02
Red marrow	1.1E-02	1.4E-02	2.1E-02	3.2E-02	5.9E-02
Spleen	7.9E-03	9.8E-03	1.5E-02	2.4E-02	5.0E-02
Spleen	1.1E-02	1.4E-02	2.1E-02	3.5E-02	6.6E-02
Testes	1.1E-02	1.4E-02	2.4E-02	3.7E-02	6.8E-02
Thymus	1.2E-02	1.5E-02	2.2E-02	3.5E-02	6.6E-02
Thyroid	1.0E-02	1.3E-02	2.1E-02	3.4E-02	6.5E-02
Uterus	1.8E-02	2.2E-02	3.6E-02	5.4E-02	9.0E-02
Remaining organs	1.2E-02	1.5E-02	2.4E-02	3.8E-02	6.4E-02
Effective dose (mSv/MBq)	1.9E-02	2.4E-02	3.7E-02	5.6E-02	9.5E-02

## 外部被ばくの扱い

47

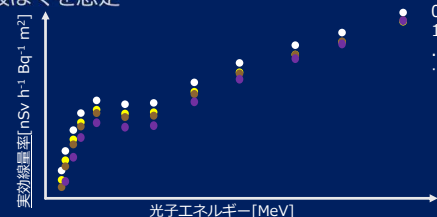
- ◆ ICRP Publication 74



## 外部被ばくの扱い

48

- ◆ ICRP Publication 144
- ◆ Dose Coefficients for External Exposures to Environmental Sources
- ◆ 放射性物質が地表に沈着、大気中に滞留した場合の被ばくを想定



## 組織加重係数

49

- ◇ 組織加重係数は全集団、職業人とも同じ値を使用。

デトリメントと組織加重係数

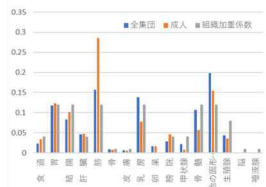


表3 組織加重係数の動向

組織	47	57
骨髄 (赤血球、紅血球、白血球、血小板の組織)	0.12	0.12
生検臓	0.08	0.08
腎臓、気管、肺臓、腎臓	0.01	0.01
骨髄、脳、脊髄、皮膚	0.01	0.01
合計	1.00	1.00

表A.4.1. 性で平均した名目リスクと線量の要約

組織	名目リスク係数 (1.7人年あたり 1Sv当りの年間線量)	線量割合	線量率と QOLを再評価した名目リスクの割合	相対的 線量率と 線量率を再評価した名目リスクの割合	線量率 (第1種関連)	相対的線量率*
全集団	15	0.93	15.1	0.97	13.1	0.023
食道	79	0.83	77.0	0.98	67.7	0.118
結腸	65	0.48	49.4	0.77	47.9	0.083
肝臓	30	0.95	30.2	0.88	26.6	0.046
腎臓	114	0.89	112.9	0.90	99.3	0.157
骨髄	7	0.45	5.1	1.00	5.1	0.009
皮膚	1000	0.002	4.9	1.00	4.9	0.007
乳房	112	0.29	63.9	1.29	79.8	0.139
膀胱	11	0.57	8.8	1.12	9.9	0.017
膀胱	43	0.29	23.5	0.71	16.7	0.029
甲状腺	23	0.07	9.8	1.29	12.7	0.022
骨髄	42	0.67	37.7	1.63	61.5	0.107
その他の組織から (当帰線 (遺伝性))	144	0.49	110.2	1.03	113.5	0.198
合計	20	0.80	19.5	1.32	25.4	0.044
合計	1715		662		674	1.000

## 放射線リスクと実効線量の課題

50

- ◇ 放射線リスク推定(線量評価、リスクモデル、年齢依存)、リスク予測(統計データと仮定、線量線量率効果係数、リスクモデル)、実効線量評価(人体ファントム、内部被ばく評価等のパラメータ)には様々な不確かさがあることを認識。

- ◇ 実効線量を疫学的評価のために使用することは推奨されない。個人のリスクも同様。

- ◇ どのように活用するか。(組織加重係数の評価はその一例)

被ばく集団	名目リスク係数(10 <sup>-2</sup> Sv <sup>-1</sup> )		
	がん	遺伝的影響	計
全集団	5.5	0.2	5.7
成人	4.1	0.1	4.2

## リスク情報の活用と課題

51

- ◇ 個人あるいは特定の被ばく集団に対しリスクを知りたいニーズ。
- ◇ 東京電力福島第一原子力発電所事故後、医療被ばくの状況。
- ◇ 対象地域の防護方策を検討する上での基礎情報として活用することが望ましい。しかし、予測されたリスクの扱い、解釈、適用が明確でないまま数値が発表されたことは、住民に誤解を招いた。
- ◇ 国際機関等が実施する被ばく線量評価及び健康リスク評価の結果が提供される場合には、緊急時の線量評価方法、リスク予測の一時的な発表ではなく、専門家が十分に説明できるコミュニケーション体制構築と活用方策まで含めた議論が必要。



低線量リスクに関するコンセンサスと課題、放射線生物研究 (2020)

## 放射線防護体系

52



- ◇ 放射線防護の三原則
- ◇ 正当化、防護の最適化、線量制限
- ◇ 実効線量"管理"は線量制限に関連するが、用途は限られない(p15)。正当化、最適化も考慮する必要がある。
- ◇ これらは科学的知見、経験、及び価値(感)に基づく (Three pillars of radiological protection)。
- ◇ Publication 101b  
最適化とは、現在の事情の下において最善が尽くされてきたかどうかを常に問い続ける心構えである。

## まとめ

53

- ◇ 「防護量」としての役割をもつ「実効線量」
- ◇ 計算方法、加重係数
- ◇ 放射線リスク推定とリスク予測 (ERR/Gy, ERR at Gy)
- ◇ 年齢、性別、部位による差。不確かさ
- ◇ 低線量・低線量率放射線リスク評価の課題 生物+疫学+モデル⇒リスクの科学的知見 ⇔経験⇔及び価値(感))
- ◇ 実効線量、放射線リスクの扱い
- ◇ 放射線防護体系

## 最後に

54

- ◇ 名目リスク計算の説明において、ICRP Publicationsに加え、ドラフト文書「放射線デトリメントの計算方法」を参考としている。本ドラフトは参考文献扱いは不可であるため明示しなかったことをご承知いただきたい。

### 参考文献

- ◇ ICRP Publications
- ◇ 広島・長崎の原爆被爆者の追跡調査関連報告
- ◇ Rühm et al., Radiat Environ Biophys. 2015 Nov;54(4):379-401.
- ◇ 低線量リスクに関するコンセンサスと課題、放射線生物研究 (2020)

本発表資料の作成においては若井敏氏、JAEA佐藤大樹氏、真辺健太郎氏、及び電力中央研究所放射線安全研究センターの諸氏より多大なアドバイスを頂いた。ここに記して感謝いたします。



## ICRU/ICRPが提案する 新たな実用量と課題

神戸大学 小田 啓二

ICRU/ICRPは入射放射線の方向と人体模擬ファントムによる実効線量換算係数に基づいた実用量の定義を提案している。これは拡張整列場とICRU球及びICRUスラブファントム内部の評価点に基づく現状からの大きな変更となり、校正、モニタリング等放射線管理の現場に影響をもたらさう。日本保健物理学会の実効線量・実用量委員会、規制庁の放射線対策委託費事業の成果を解説し、新たな実用量と現場に関連した課題を概説する。

1. 現在の線量体系
2. 現行線量の問題点
3. ICRU/ICRPによる提案

## お断り

本日の講演の一部には、個人的な見解や不適切な表現が含まれています。ご了承のほど、お願い申し上げます。

- 1) 測定する立場から ← 実用量
  - ・測定器の精度向上
  - ・測定器レスポンスの改良
- 2) 理解して貰う立場から ← 大学での講義の経験
  - ・学生諸君が悩むところ、理解し難いところ
  - ・一部正確性よりアバウトな説明  
原本→和訳→翻訳(行間)、たとえ話、くだけた表現、脱線
- 3) 専門家の立場から
  - ・日本保健物理学会での活動
  - ・規制庁委託事業のとりまとめ

## 目次

1. 現在の線量体系
  - 線量の歴史
  - 物理量、防護量、実用量
  - 実用量の必要性
2. 現行線量の問題点
  - 過去の議論
  - 実用量の問題点
  - 改訂の動き
3. ICRU/ICRPによる提案
  - Joint Report
  - JHPS臨時委員会
  - 今後の対応

## 線量の歴史 (私見)

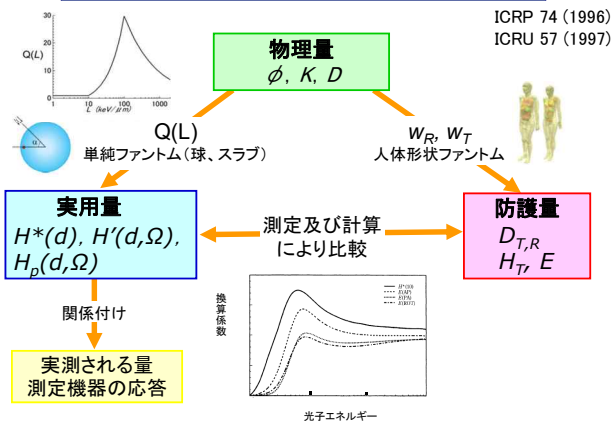
- 第1期 レントゲン単位～線量当量の確立 ICRU 10a(1962)
- 第2期 基本線量の定義の明確化
- 第3期 実効線量当量、実用量の導入 ICRP 26(1977), ICRP 39(1985)
  - 非確率的影響 と 確率的影響
  - 組織当たり線量当量 実効線量当量 → 実用量の導入
- 第4期 組織当たりの量への変更 ICRP 60(1990)

着目点当たりの量(1977)	組織当たりの量(1990)
吸収線量	組織当たりの吸収線量
線質係数	放射線加重係数
線量当量	等価線量
実効線量当量	実効線量

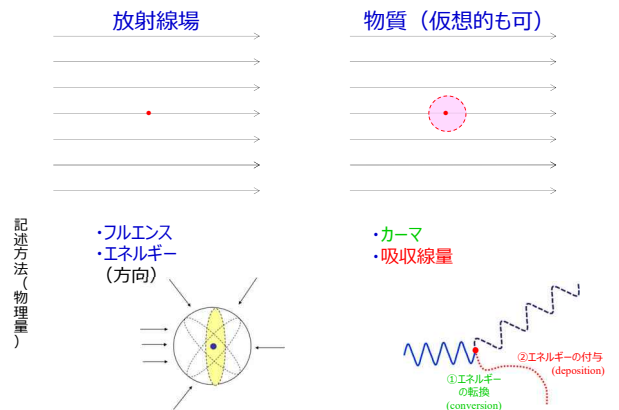
・「1点における等価線量」は定義されない  
・「組織臓器当たりの等価線量」と言う必要はない

- 第5期 精緻化・合理化と概念の整理

## 現在の線量体系



## 物理量による場の記述



## カーマの定義

7

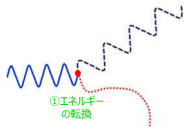
ICRU85

The *kerma*,  $K$ , for ionizing **uncharged particles**, is the quotient of  $dE_{tr}$  by  $dm$ , where  $dE_{tr}$  is the mean sum of the **initial kinetic energies** of all the charged particles liberated in a mass  $dm$  of a material by the uncharged particles incident on  $dm$ , thus

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

Unit: J kg<sup>-1</sup>

The special name for the unit of kerma is **gray (Gy)**.



kinetic energy released per mass

## 吸収線量の定義

8

ICRU85

The *absorbed dose*,  $D$ , is the quotient of  $d\bar{\epsilon}$  by  $dm$ , where  $d\bar{\epsilon}$  is the **mean energy imparted** by ionizing radiation to matter of mass  $dm$ , thus

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

Unit: J kg<sup>-1</sup>

The special name for the unit of absorbed dose is **gray (Gy)**.

The absorbed dose,  $D$ , is considered a **point quantity**, but it should be recognized that the physical process does **not allow  $dm$  to approach zero** in the mathematical sense.

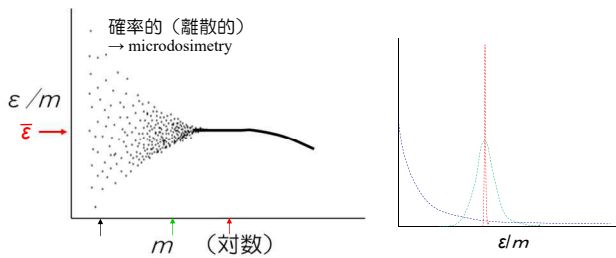
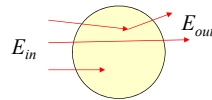
## 付与エネルギー

9

付与エネルギー

$$\epsilon = E_{in} - E_{out} + \Delta Q$$

質量 (増加:負)

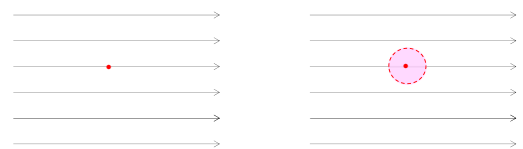


## 物理量 (再掲)

10

放射線場

物質 (仮想的も可)



記述方法 (物理量)

・フルエンス  
・エネルギー  
(方向)

・カーマ  
・吸収線量

$$K = \left( \frac{dE_{tr}}{dm} \right) = \frac{dE_{tr}}{\rho} = \psi \left( \frac{\mu_{en}}{\rho} \right)$$

$$D = \left( \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \right)$$

Radiometric quantity  
(放射計測量)

Interaction coefficient

Dosimetric quantity  
(線量計測量)

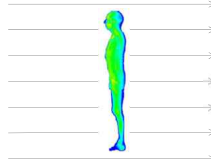
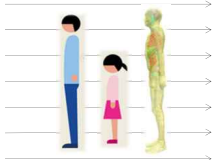
RI法 告示別表第5 自由空気中の空気カーマが1 Gy ... 実効線量 (air-kerma in free air)

## 人体内の線量

11

人体

標準人ファントム

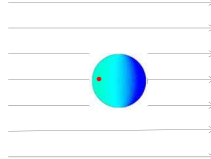


防護量

$$\sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R}$$

ひとつの量で人体内部の線量 (分布) を記述することはできない。測定も不可能

ICRU球



実用量

QD

1) 個人差の排除 → 標準人ファントム

2) 測定するためには (測定可能な量を定義するには)、体系の単純化 → ICRU球

## 実用量の変遷

12

実用量の役割

①測定上の目標

- ・レスポンスを調整する (感度、エネルギー・方向依存性を換算係数に合わせる)
- ・防護量を測定する訳ではない

②防護量の近似値 (代替)

- ・防護量を安全側に (大きめに) 見積もる
- ・この数値を防護量の数値と見做すことにする

Report	20 (1971)	25 (1976)	39 (1985)	47 (1992)
測定量 (実用量)	照射線量 (光子) 皮膚吸収線量 (β線) 円柱ファントム中の最大線量当量 (中性子)	吸収線量指標 (ICRU球中の最大吸収線量) 線量当量指標	周辺線量当量 方向性線量当量 深部個人線量当量 表層部個人線量当量	周辺線量当量 方向性線量当量 個人線量当量
線量限度 (防護量)	決定臓器中の線量当量	決定臓器中の線量当量	実効線量当量 組織当たり線量当量	実効線量 等価線量

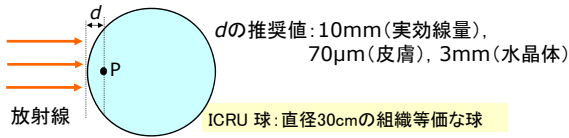
(1R=1rad=1rem)



## 実用量 (エリアモニタリング)

13

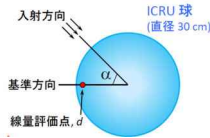
### 1) 周辺線量当量 $H^*(d)$



〔整列・拡張場: フルエンスとそのエネルギー分布が着目する体積全体にわたって、基準点における場と同じ値を持つ〕

### 2) 方向性線量当量 $H'(d, \Omega)$

(ベータ線・低エネルギーX線など)

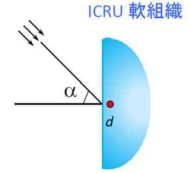


## 実用量 (個人モニタリング)

14

### 3) 個人線量当量 $H_p(d, \Omega)$

ある特定された点の深さdにおける人体組織中の線量



#### 【線量計の校正】

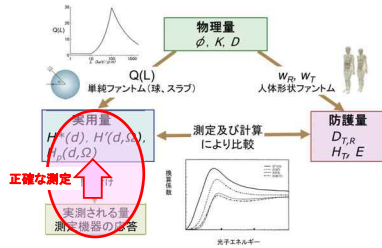
組織等価な30cm×30cm×15cmのスラブ形状のファントムの深さdにおける線量で値付け  
個人線量計  
ファントム

#### 【現行法令の問題点のひとつ】

「1cm線量当量」がきちんと定義されていない  
 $H^*(10)$ と $H_p(10)$ の2つの総称両者の違いが理解されていない?  
(当然、エリアモニタリングの数値>個人線量計の数値)  
「1cm線量当量(環境)」と「1cm線量当量(個人)」というアイデアも…  
混乱を招く→次回改正の際に整理

## 測定の精度について

15



測定の立場からの疑問

$$H = QD = 10 \times (10.2 \pm 0.5) = ?$$

Qに誤差は? → 誤差伝播? 有効数字?  
 $J \cdot kg^{-1}$  でよいのか?

## 誤差、不確かさ?

16

In ICRP Publication 9, para. 17, the Commission recommended a value of 1.7 as being appropriate Quality Factor for  $b^+$ ,  $b^-$  and  $e^-$  ... and concluded that a value of unity is appropriate within the degree of precision required for the purpose of radiological protection. (Health Phys. 17, 1969)

放射線防護の目的のために要求される精度内では...

... It is suggested that when MADE is comparable to the maximum permissible dose, an accuracy of  $\pm 30\%$  be achieved. (ICRU20, 1971)

... If these quantities are of the order of the relevant annual limits, the uncertainties should not exceed a factor of 1.5 at the 95% confidence level. (ICRP35, 1982)

防護量の測定・評価の誤差は、おおよそ30~50%であれば...

## 【参考】リスクを表す?

17

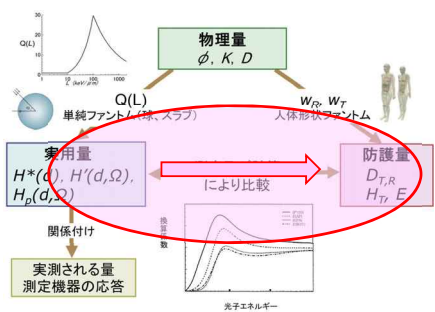
... However, the formulation given can be subject to various interpretations including that in which  $H$  is considered to represent risk and to be dimensionless. ... That publication pointed out that the information on relative radiosensitivity of the different parts of the body is limited and that a common scale of hurt or suffering has not been developed.

It is appropriate, therefore, that for present use, dose equivalent should be considered to have the same dimension as absorbed dose and ... (ICRU19, 1973)

リスクを表す(単位は無次元)のではないかという議論もあった。しかし、共通の物差しは開発されていない。従って、線量当量は加重線量である( $J \cdot kg^{-1}$ )と考えるべき。

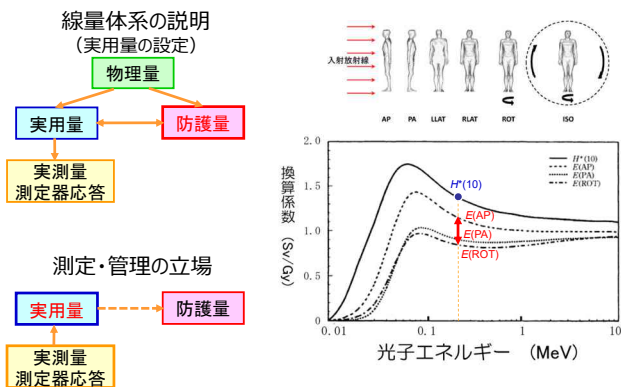
## 実用量から防護量へ

18



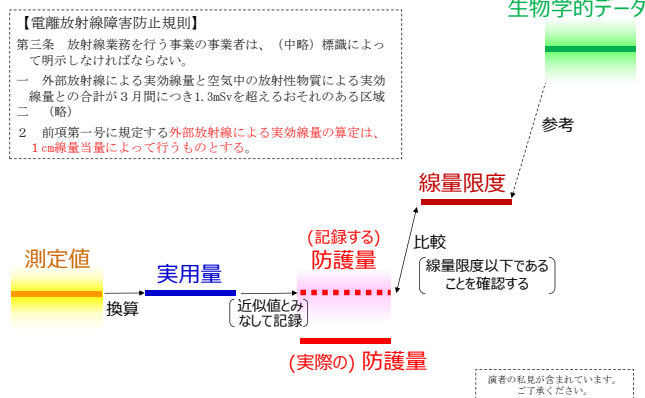
## 防護量と実用量の関係

19



## 測定値から評価値へ

20



## 目次

21

- 現在の線量体系  
線量の歴史  
物理量、防護量、実用量  
実用量の必要性
- 現行線量の問題点  
過去の議論  
実用量の問題点  
改訂の動き
- ICRU/ICRPによる提案  
Joint Report  
JHPS臨時委員会  
今後の対応

## 線量に関する過去の議論

22

### 最近の外部被ばく線量評価方法に関するワークショップ (日本原子力研究所保健物理部主催)

- 第1回(1995)  
・ICRP60における新防護量の導入に関する諸問題(概念上、実用上)  
・従来の実用量との関係(線量係数と放射線加重係数の関係、等)
- 第2回(1996)  
・実用量に絞った議論、人体ファントムの不統一性(ICRU球とスラブファントム)
- 第3回(2002)  
・中性子校正法に関する議論→専門研究会設置

### 放射線防護に用いる線量概念の専門研究会

日本保健物理学会(2005年4月~2007年3月)

- 放射線防護に用いる線量について、これまでの変遷から現行の体系を中心として問題点を抽出し、線量のあるべき姿を議論する
- ICRP基本勧告の改訂に向けたいくつかのドラフト文書(web上で公開)の内容も議論の対象とする(→JHPSコメントとしてICRPへ提出)

日本保健物理学会「放射線防護に用いる線量概念の専門研究会」報告書、2007

## 等価線量に関する問題点

23

- 確定的影響のための防護量として適切か  
「 $w_R$ は、低線量における確率的影響の誘発に関するRBEの値を代表している(ICRP60)」  
「確定的影響に対するRBE < 確率的影響に対する $w_R$ 」  
保守的な評価となっている(ICRP103)
- 2007年勧告のドラフト版では、一時期、適切なRBEで加重された線量、“radiation weighted dose”(単位Gy)が提案され、その後、多くのコメントを受けて取り下げられた。
- 新しい量・単位を導入しても決定打にはならない
  - かえって複雑になるので、代用の防護量と割り切る
  - 吸収線量の方が良いのではないか
  - SI単位でよいのか
- 線量限度/防護量として「腹部表面の等価線量」が残っている  
一点での等価線量は定義されない(概念上間違っている)  
「**胚/胎児の等価線量**」とすべき(ICRP103)  
→次のタイミングで改訂

## 実用量の問題点

24

- 防護量と実用量のダブルスタンダードではないか(線量体系を複雑にするだけではないか)
  - 測定のための量であるが、**実際には定義通りには測定できない**
  - 測定から実効線量への直接経路がない
  - 測定器のレスポンスを実効線量(例えばAP)への線量換算係数のカーブに合わせればよいのではないか  
→新しい実用量を導入したことになる
  - 周辺線量当量と個人線量当量の区別は不要ではないか
  - 異なるファントム(球とスラブ)が使われる
  - 防護量を安全側に評価していない場合がある(中性子、高エネルギー粒子)
- 
- 物理量
- 実用量 ↔ 防護量
- 実測量  
測定器応答

## 現行実用量と実効線量

25

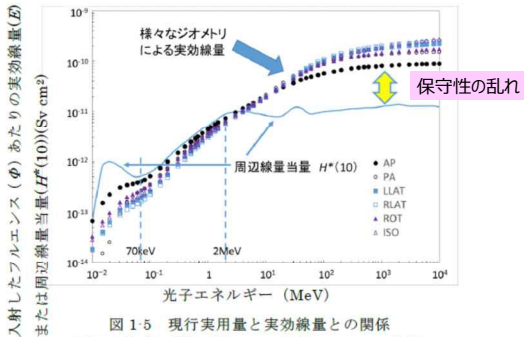


図 1-5 現行実用量と実効線量との関係  
(Akira Endo, "The Operational Quantities and New Approach by ICRU", The 3rd International Symposium on the System of Radiological Protection の資料をもとに作成)

平成30年度原子力規制庁委託成果報告書「実用量及び防護量としての実効線量に係る動向調査」(原子力安全研究協会, 2019)

## 実用量改訂の動き 1

26

遠藤 章氏 (JAEA) 資料より

西暦	ICRP	ICRU
~2000	基本報告検討	外部被ばく実用量の課題分析
2001	標準ファントム開発	
2002		
2003		
2004	外部被ばく防護量線量換算係数評価 ☆参加	
2005		討議資料まとめ
2006		
2007	ICRP103	
2008	ICRP110	
2009		実用量の見直し・提案 ☆参加
2010		
2011	環境核種外部被ばく年齢別換算係数評価	
2012		
2013	ICRP116	
2014		
2015		
2016	ICRP Publication	ICRU Report
2017~		

遠藤 章: 保物セミナー2016講演資料

## 実用量改訂の動き 2

27

### ICRP103 (2007) での変更点の確認とその後の対応

- 加重係数の見直し
- 新標準ファントムの導入 (→計算のやり直し)
- 実効線量の算定手順の変更 (男女の等価線量から平均値を求める)
- ICRP116での換算係数等データの拡張 (線種、エネルギー領域、水晶体の換算係数)

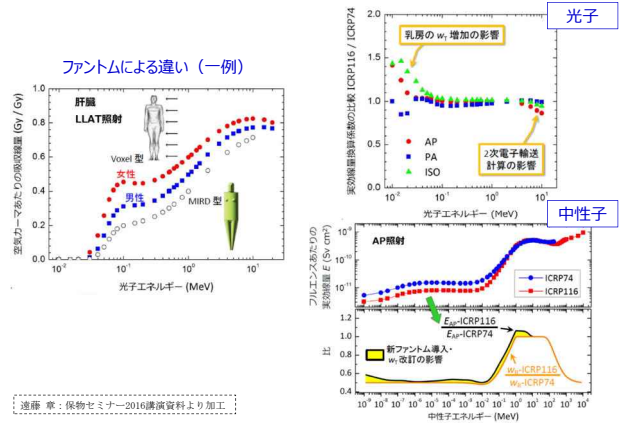
### ICRUにおける検討 (2009~)

- Report Committee No.26 (RC26) のミッション「新たな実用量の提案」
- 実用量の合理性の検討
- 防護量との関係の整理
- 新たな提案が及ぼす実務への影響
- A案: 現在の実用量の継続
- B案: 深さdの変更 →幅広いエネルギー範囲にわたる一つのdでは困難
- C案: 防護量を基にした測定量 → 提案 ( $E_{max}$ の導入)

遠藤 章: 保物セミナー2016講演資料より加工

## 【参考】換算係数の変更

28



遠藤 章: 保物セミナー2016講演資料より加工

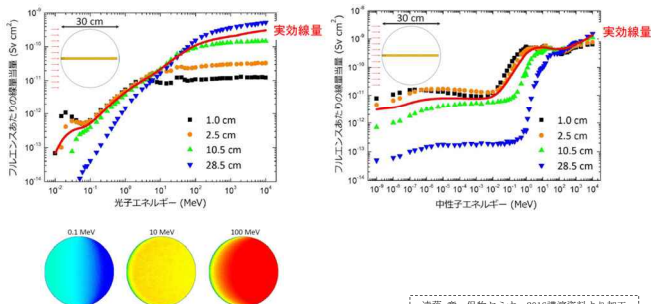
## 実用量改訂の動き 3

29

### B案 (深さdの変更) の限界

光子

中性子



遠藤 章: 保物セミナー2016講演資料より加工

## 目次

30

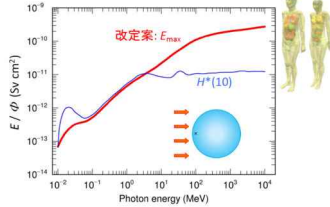
- 現在の線量体系  
線量の歴史  
物理量、防護量、実用量  
実用量の必要性
- 現行線量の問題点  
過去の議論  
実用量の問題点  
改訂の動き
- ICRU/ICRPによる提案  
Joint Report  
JHPS臨時委員会  
今後の対応

## ICRU/ICRPによる提案

31

“Operational Quantities for External Radiation Exposure”  
(ICRU/ICRP Joint Report, Final Draft, July 2017)

- ① 実効線量の管理のための実用量を  $E_{max}$  に関係付け量とする
- ・同じファントムを用いる
  - ・名称：周辺線量、個人線量
- ・概念は確かに変わる  
・測定上は「換算係数が変わるだけ」と解釈してもよい  
新実用量 = 換算係数 × 物理量 ( $\Phi, K$ )



- ② 水晶体や皮膚等の組織反応（確定的影響）の防止は、吸収線量を基に定めることとする（等価線量による管理から吸収線量による管理へ）
- ・ $w_R$ の問題（低線量における確率的影響）の解決 ← ICRPの強い意向？  
限度に近づいたor超えた線量域（緊急被ばく状況）では、適切なRBEを用いて評価する？  
JCO、福島第一原発（復旧作業含む）

## ICRPによる整理と提案

32

“The Use of Effective Dose as a Radiological Protection Quantity”  
(ICRP, TG79, 2018)  
↓  
“The Use of Dose Quantities in Radiological Protection”, in press

### 【等価線量】

Equivalent dose is not required as a protection quantity. It will be more appropriate for limits for the avoidance of tissue reactions for the hands and feet, lens of the eye, and skin, to be set in terms of absorbed dose (Gy) rather than equivalent dose (Sv).

確定的影響の防護量としては、等価線量より吸収線量の方が適切である

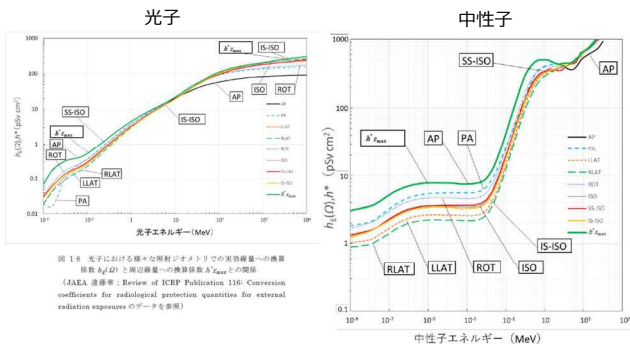
### 【実効線量】

$E$  (effective dose) may be used as an approximate indicator of possible risk, recognising that this is a pragmatic, but unintended, application of effective dose.

実効線量は起こるかも知れないリスクに対する近似的な指標として使用する

## 実効線量への換算係数

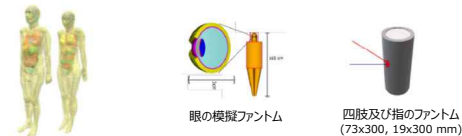
33



## ICRU/ICRPによる提案2

34

	防護量	実用量 (エリアモニタリング)	実用量 (個人モニタリング)
確率的影響	実効線量 (変更無し)	周辺線量当量 ↓ 周辺線量	個人線量当量 ↓ 個人線量
確定的影響	等価線量 ↓ 吸収線量	方向性線量当量 ↓ 方向性吸収線量	個人線量当量 ↓ 個人吸収線量



## 合同レポートのまとめ

35

### 1) 防護量と新実用量の体系の単純化

- ・ファントムの統一
  - ・一貫性の確立
- しかし、実用量は無くならない（実用量→防護量の関係も不変）

### 2) 測定器の対応

通常の光子エネルギー範囲（70keV～2MeV）においては、現行の定義で与えられている換算係数にかなり近い。そのままあるいは一律の係数を乗じて使用することで、従来の測定器の使用に問題がない

### 3) 以下の場合には、機器のレスポンスの改良が必要

- ・70keV 未満のX線やガンマ線（：過剰に大きく見積もる）
- ・水晶体の線量モニタ（光子及び電子による吸収線量）
- ・熱中性子～2MeVの中性子

## H30年度規制庁委託事業

36

### 1) 3つのレポートの解説

- ・ICRP/ICRUレポート：外部放射線被ばくに関する実用量
- ・ICRP TG79レポート：放射線防護量としての実効線量の使用
- ・ICRP TG90レポート：環境線源による外部被ばくのための線量係数

### 2) 各機関の対応状況の調査

・海外機関

検討している	検討していない
IAEA	ISO(国際標準化機構), IEC(国際電気標準会議)
EC	NRCC, DOE, EPA(米)
EURADOS	CNSC(加), ASN(仏), SSK(独), IRSA(米), KINS(韓)

・国内機関

- 日本保健物理学会（臨時委員会）
- 電事連・日本電気計測工業会（情報収集）
- 個人線量測定機関協議会（情報収集、勉強会）、など

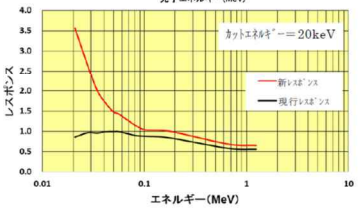
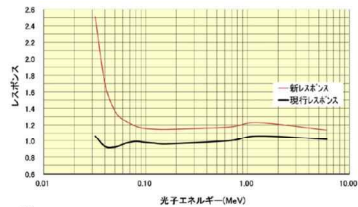
### 3) 概念変更に伴う我が国への影響及び導入に伴う課題の整理

平成30年度原子力規制庁委託成果報告書「実用量及び防護量としての実効線量に係る動向調査」（原子力安全研究協会、2019）



## 測定器への影響の例

37



エネルギー測定範囲  
20keV～

平成30年度原子力規制庁委託成果報告書「実用量及び防護量としての実効線量に係る動向調査」(原子力安全研究協会、2019)

## R元年度規制庁委託事業

38

### 1) 実態調査

- 線量管理の現場における測定器を用いた実用量の測定と評価
- 測定器の性能確保のために実施している校正や特性評価
- 測定器の校正に用いる標準場・校正場等の構築や運用の実態と課題

調査施設	原子力発電所 2、核燃料施設 1、研究施設 4、病院 1、RI施設等 2
コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>導入の際に、従来のものとのは混在は避けてほしい</li> <li>データが不連続になる</li> <li>タイミングは5年ごとの切り替え時か</li> <li>経過措置は</li> <li>予算</li> </ul>

### 2) 変更を国内法令等へ取り入れることとした場合の課題の整理

### 3) 実用量等の概念変更に伴う我が国への影響等

- 測定器への影響 → 換算係数の変化 (大半の線量計レスポンスの調査)
- 法令・規格・マニュアル類 ← 用語、シンボルともに大きく変わる

令和元年度放射線対策委託事業報告書「放射線管理に係る実用量の測定等の実態調査」(原子力安全研究協会、2020)

## JHPS実効線量・実用量委員会

39

### 【背景】

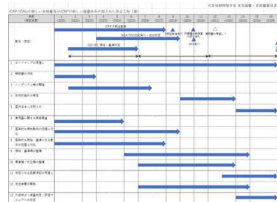
- existing exposure situationの理解不足 (線量限度と参考レベルの違い)
- 線量概念/定義を正しく伝えられなかった (難解な線量体系→誤った説明)
  - $E$ と $H_p(10)$ の違い、 $H^*(10)$ と $H_p(10)$ の違い (国内法令では、1cm線量当量)、 $E_c(50)$ の意味、 $E \leftarrow H_p(10) + E_c(50)$ 、すべて[Sv]単位

### 【活動概要】

- 日本保健物理学会研究発表会における解説 (実用量の課題)
- ICRU/ICRP合同レポートに関する情報収集 (国内外の動向の調査)
- 原子力規制庁放射線対策委託事業への協力 (情報提供など)
- 規制庁アンブレラ事業への参画・協力

### 【今後の課題】

- 関連学会、関連団体への情報提供
  - 合同レポートの内容
  - 考え方や今後の影響や展開
  - 講演会、対話への積極的参加
- ロードマップ策定
  - 手順及びスケジュールの調査
  - 必要な手順やスピード感の予想



## 提案した重点テーマ

40

### ICRP/ICRUの新しい線量概念の導入に係わる課題への対応研究

- 背景
- 原発事故後に顕著だった防護量と実用量の混同に起因する市民の混乱
  - 我が国で検討中の水晶体線量限度の変更における実用量に関する議論の欠如
  - ICRP/ICRUが現在提案中の新しい線量体系への対応準備の必要性

現状と課題 ICRP/ICRU新提案は1～2年以内にはほぼ順次導入予定。国内ではICRP103に未対応。ICRUなど国際機関は先行対応中(我が国は出遅れている)。

- 目的・研究内容
- 新しい線量概念の整理
  - 既存測定器への影響調査、対応策の検討
  - 法令取入れに必要な措置や課題を抽出・整理

ガイドライン、解説書、対応マニュアルに利用可能な文書を作成

### 期待される成果

- わかりやすい解説書案による、幅広い対象の理解促進
  - 防護量と実用量の関係、従来の実用量と新しい実用量の概念の違い等、理解の難しい領域を解説。各官庁・実務者・初心者(一般公衆)等、対象別の解説書が作成可能に。
- 測定器メーカーおよび校正機関の移行措置・対応措置の円滑化
  - 換算係数への対応(レスポンス改訂、新測定器の開発)、校正方法等をメーカーと共同で検討
- 法令取入れの円滑化および迅速化への貢献

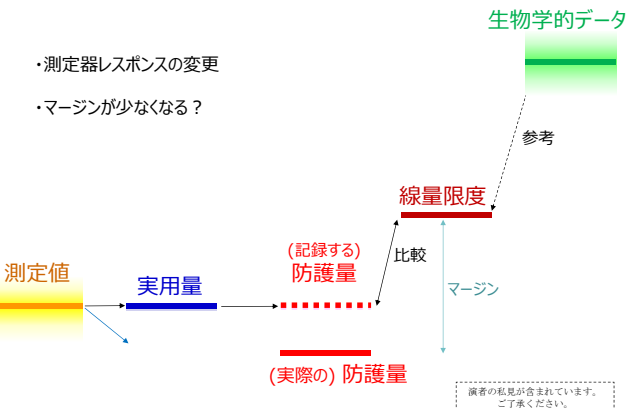
## 新実用量による評価の影響

41

- 測定器レスポンスの変更
- マージンが少なくなる?

### 生物学的データ

### 参考



## Summary of ICRP MC

42

ICRP INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION  
1017 November 2019 - Adelaide, Australia

ICRP Main Commission Meeting  
10-17 November 2019 - Adelaide, Australia

The meeting took place immediately before ICRP 2019, the 19<sup>th</sup> International Symposium on the System of Radiological Protection, hosted by the Australian Society for Radiation Protection and the Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Authority.

The Main Commission discussed a broad plan for the review of the system of radiological protection. This will be accomplished first through a series of Task Groups examining key concepts, leading to a revision of the basic recommendations in ICRP Publication 103 in about a decade. The intention is to include comprehensive engagement with all interested parties during each step of the process.

The third phase of the ICRP Monitoring Programme has been highly successful, with four members already confirmed. Around the end of the year, this programme will be boosted through a lot of membership opportunities and an open invitation to nominate members on 30th October 2020.

It was decided that a summary of the resolution of public comments will be made available each time a new ICRP publication is released, starting with the upcoming Publication 142: Radiological Protection from Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) in Industrial Processes.

Two new Task Groups were established: Task Group 116: Radiological Protection Aspects of Imaging in Radiotherapy, chaired by Colin Martin, and Task Group 117: Radiological Protection in PET and PET/CT, chaired by group M. Marc-Chenev.

Task Group 115: Risk and Dose Assessment for Radiological Protection of Astronauts, chaired by Werner Hühner, had been established shortly after the previous meeting.

The Task Group 64 report Cancer Risk from Alpha Emitters was approved for consultation.

The ICRP/ICRP report Operational Quantities for External Exposures was approved for consultation. This final report will be published by ICRP.

The next meeting will be held in conjunction with RPA 16, the International Congress of the International Radiation Protection Association in Seoul, Korea 11-15 May 2020.

At the conclusion of ICRP 2019, it was announced that ICRP 2021, the 20<sup>th</sup> International Symposium on the System of Radiological Protection, will be held in Vancouver, Canada, 14-18 November 2021, hosted by the Canadian Radiation Protection Association and the Canadian Nuclear Safety Commission.

www.icrp.org

### ICRP Main Commission Meeting November, 2019

The ICRP/ICRP report *Operational Quantities for External Exposures* was approved for publication. This joint report will be published by ICRP.

## まとめ

43

### 1. 現在の線量体系

- ・物理量（場の記述）、防護量（放射線管理 = 線量限度との比較）
- ・実用量（測定上の目的 & 防護量の代用）

### 2. 現行線量の問題点

- ・長期間にわたって議論が続けられてきている
- ・精緻化と合理化
- ・単位も含めて未対応の問題も（RI法にも）

### 3. ICRU/ICRPによる提案

- ・①ICRPファントムへの統一、②確定的影響のための防護量の変更
- ・概念は確かに変わる、しかし、実用量は無くならない
- ・種々の影響（線量計改造など必要な措置）の検討  
正当性・最適化（経済性）、公衆・規制機関・専門家への説明、・・・
- ・完全移行には10年のスパン？  
ICRP/ICRU, IAEA, IEC/ISO, ...

## 確定的影響と生物学的効果比 (RBE)

Deterministic effects and relative biological effectiveness (RBE)



保田 浩志  
Hiroshi Yasuda

広島大学 原爆放射線医学研究所  
Research Institute for Radiation Biology and Medicine  
Hiroshima University



1

## 放射線被ばくの確定的影響

Deterministic effects of radiation exposure



2

## 放射線が人体にもたらす影響

Effects of radiation exposure on human health

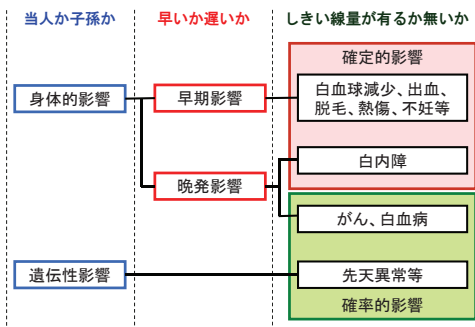


図. 放射線被ばくが人体にもたらす影響の分類.

## しきい線量の有無に基づく区分

Categorizing based on the presence of a threshold dose

放射線が人の健康に及ぼす影響は、発現パターンの違いから以下の2つに大別される:

- **確定的影響 (deterministic effects)**: しきい線量があり、それより低ければ影響が生じない (皮膚の損傷, 血液失調症, 不妊など);
- **確率的影響 (stochastic effects)**: しきい線量が認められず、少ない被ばくでも線量に比例して影響が大きくなるとされる (発がんや遺伝性影響) .

放射線防護の目的は、確定的影響の発生を防ぎ、確率的影響の発生率を減らすこと。

The aim of radiological protection is to prevent deterministic effects and to limit the probability of stochastic effects to acceptable levels.

## 確定的影響と確率的影響

Deterministic and stochastic effects

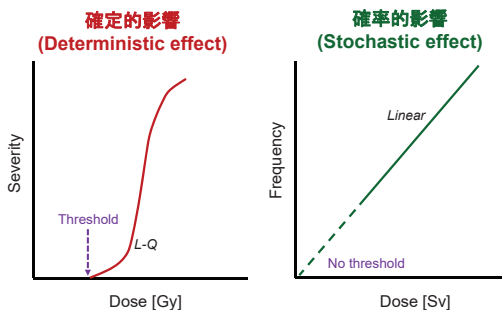


図. 確定的影響(左)と確率的影響(右)と線量との関係.

## 「組織反応」と呼ばなくてよい?

Shouldn't we use the term "tissue reaction"?

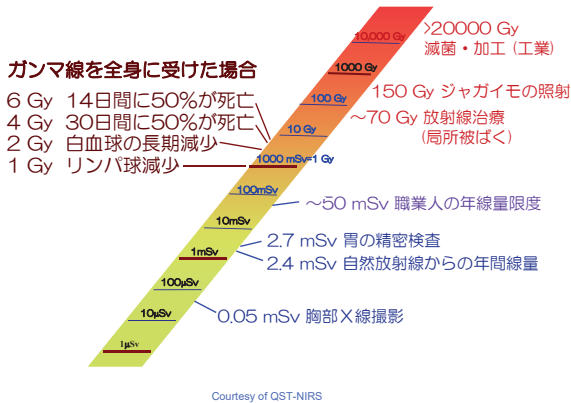
国際放射線防護委員会 (ICRP) は、2007年勧告において「確定的影響」に代わる用語として「組織反応」を採用し、その使用を推奨してきたが、関係者の多くはそれに応じていない。

Though the Commission adopted the term 'tissue reactions' to replace the term 'deterministic effects', many of the interested parties have not responded to their recommendation.



## 確定的影響が生じる線量レベル

Dose levels for deterministic effects



## 確定的影響のしきい値

Threshold doses of selected deterministic effects

表. 主な確定的影響とそのしきい線量および潜伏期 [ICRP, 2007等].

組織/臓器	症状	しきい線量	潜伏期
骨髄	造血機能障害	~0.5 Gy	3~7日
精巣	一時的不妊 (男性)	~0.15 Gy	3~9週
	永久不妊 (男性)	3~6 Gy	~3週
卵巣	一時的不妊 (女性)	~1.5 Gy	~1週
	永久不妊 (女性)	2~7 Gy	~1週
皮膚	一時的脱毛	3 Gy	2~3週
	皮膚紅斑	2~6 Gy	1~4週
	皮膚熱傷	5~10 Gy	2~3週
腸	下痢、下血	6~20 Gy	数日
	死亡 (100%)		1~2週
中枢神経	痙攣、麻痺等	20 Gy~	直後
	死亡 (100%)		数日以内

## 高線量の全身被ばくに伴う症状

Symptoms after a high-dose whole-body exposure

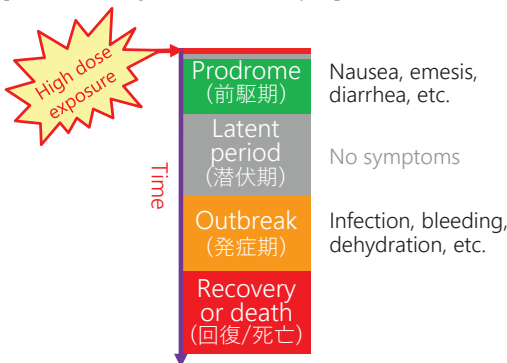


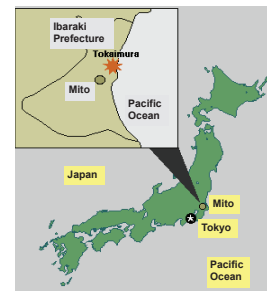
Fig. Typical time change of appearing symptoms following a high-dose whole-body radiation exposure.

13

## 全身被ばくの例—東海村臨界事故—

Example of a whole-body exposure - Tokaimura criticality accident

On September 30, 1999, a serious criticality accident occurred at the nuclear fuel processing facility of JCO in Tokaimura, Ibaraki, Japan.



Courtesy of QST-NIRS

14

## 臨界事故の原因

Cause of the criticality accident

The cause of the accident was "human error and serious breaches of safety principles" (by IAEA), as the workers poured the solution containing  $^{235}\text{U}$  directly into the sedimentation tank, without following the determined procedures/limitations.

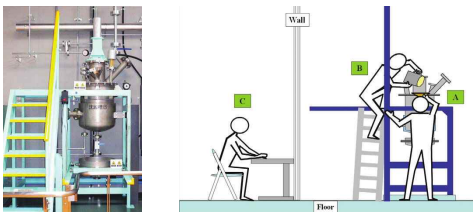


Fig. A photo of the uranium sedimentation tank (left) and an illustration of the situation of three workers when the accident occurred (right).

Courtesy of IAEA

15

## 東海村事故で観られた前駆症状

Prodromal symptoms observed in the Tokaimura accident

Fig. Prodromal symptoms and those onset times observed in three workers (A, B, C) who were highly exposed in the Tokaimura criticality accident.

Worker	Major prodromal symptoms (主な前駆症状)	Time for onset (開始までの時間)
A	Nausea, vomiting Diarrhoea Loss of consciousness High fever (38.5 °C)	< 10 min < 60 min lasted for 10-20 sec.
B	Nausea, vomiting	About 1 hour
C	Nausea	Few hours

Courtesy of IAEA & QST-NIRS

16



## 作業員の血球数

Blood cell counts

Table. Blood cell counts of three high-dose workers (A, B & C) at few hours after the exposure in the Tokaimura criticality accident.

Worker	Granulocytes (顆粒球) [cells/mm <sup>3</sup> ]	Lymphocytes (リンパ球) [cells/mm <sup>3</sup> ]
A	21,888	684 (3%)
B	12,446	127 (1%)
C	10,005	1,495 (13%)

Courtesy of QST-NIRS & IAEA

17

## 血中成分の時間変化

Time changes of blood cell components

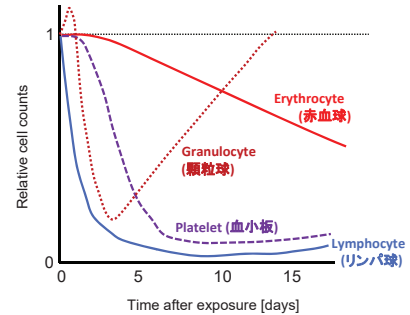


Fig. Typical changes of blood cell counts after 0.5~1 Gy whole-body exposure.

## 放射化分析による中性子線量の評価

Neutron dosimetry using activation

In measurement using WBC, HpGe detector is better than NaI(Tl) detector, because the peaks of <sup>24</sup>Na (1369 keV) and <sup>40</sup>K (1461 keV) are overlapping [Momose, 2001].

1 Bq of <sup>24</sup>Na corresponds to exposure of 0.5 ~ 3 μGy from neutrons and γ-rays. [Ref. IAEA TRS-211, 1982]

Courtesy of QST-NIRS & JAEA

19

## 被ばく線量の推定値

Estimated doses of three workers

Table. Radiation doses [GyEq] estimated for three JCO workers (A, B & C) using different methods of dose reconstruction.

Method	Worker A	Worker B	Worker C
Initially estimated doses (初期の推定線量)	18	10	2.5
Prodromes (前駆症状)	> 8	4~6	< 4
Blood components, mainly lymphocyte counts (血球、主としてリンパ球)	16~23	6~8	1~5
Specific activity of <sup>24</sup> Na in the blood with RBE <sub>n</sub> =1.7 (体内 <sup>24</sup> Na)	19 [n 5.4, r 9.9]	9.0 [n 2.9, r 4.1]	2.9 [n 0.81, r 1.5]
Finally estimated dose (最終的な推定線量)	<b>16~25</b>	<b>6~9</b>	<b>2~3</b>

1) Primarily based on the <sup>24</sup>Na activity in peripheral blood measured within 7 days.  
2) Derived from all the results of the reconstruction analyses above.

Courtesy of IAEA

20

## 臨床的知見との比較

Comparison with clinical data

表. 線量レベルに応じて観察される血中成分量および臨床学的症状 [IAEA, 1998].

レベル	軽症 (1~2 Gy)	中程度 (2~4 Gy)	重症 (4~6 Gy)	きわめて重症 (6~8 Gy)	致命的 (8 Gy~)
潜伏期間 (日)	30~	18~28	8~18	~7	~3
リンパ球数 (×10 <sup>9</sup> /mm <sup>3</sup> )	0.8~1.5	0.5~0.8	0.3~0.5	0.1~0.3	0.0~0.1
顆粒球数 (×10 <sup>9</sup> /mm <sup>3</sup> )	2.0~	1.5~2.0	1.0~1.5	~0.5	~0.1
血小板数 (×10 <sup>9</sup> /mm <sup>3</sup> )	60~100	30~60	25~35	15~25	~20
臨床症状	倦怠感、衰弱	発熱、感染、出血、衰弱等	高熱、感染、出血、脱毛	高熱、下痢、嘔吐、めまい、血圧低下	高熱、下痢、意識障害
脱毛	なし	中程度	中程度か完全	完全	完全
致死率	-	0~50%	20~70%	50~100%	100%
死亡時期	-	6~8週以後	4~8週以後	1~2週以後	1~2週以後

C

B

A

Courtesy of IAEA

## 東海村事故の健康影響

Health effects of the Tokaimura accident

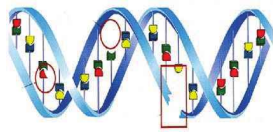
- Persons exposed: 667
- Radiation-induced deaths: 2
  - Worker A died in 3 months
  - Worker B died in 7 months



Courtesy of QST-NIRS

23

## 生物学的効果比 (RBE) Relative biological effectiveness (RBE)



24

## 線質によるエネルギー付与の違い Difference of energy deposition depending on the radiation quality

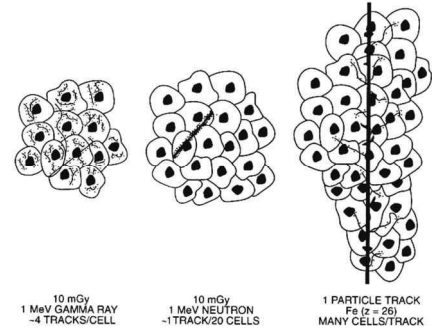


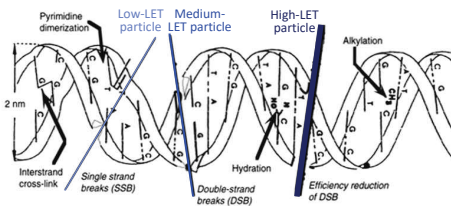
Fig. Illustration showing the difference of energy depositions to tissue cells from photon (left), neutron (center) and heavy ion (right).

Courtesy of NCRP

## 線エネルギー付与 (LET) とは Linear energy transfer (LET)

粒子飛跡の単位長さ (通常は $\mu\text{m}$ ) 当たりに物質に付与されるエネルギー。

The energy transferred from a radiation to the material per unit length of the track.



Courtesy of NCRP

## RBEの定義 Definition of RBE

生物学的効果比 (RBE) は、対象とする放射線が、基準となる放射線 (通常 $\gamma$ /X線) に比べ、同じ生物効果を生じるのに要する線量の比として定義される。

The relative biological effectiveness (RBE) is defined as the ratio of the dose of a radiation in respect to that of a reference radiation (usually  $\gamma$ /X-rays) required by those radiations to cause the same level of biological effect.

$$RBE = \frac{D_{X/\gamma\text{-rays}}}{D_{\text{Particle}}} \quad (1)$$

$$D_{\text{Total}} = D_{X/\gamma\text{-rays}} + RBE \times D_{\text{Particle}} \quad [\text{GyEq}] \quad (2)$$

## 生物学的効果比 (RBE) — 生残率 — Relative biological effectiveness (RBE) – Survival ratio –

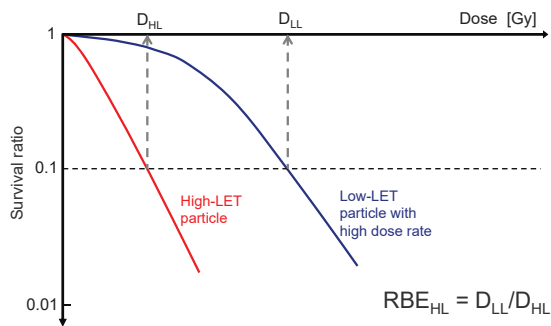


Fig. Relationship between dose and severity of a deterministic effect. RBE is calculated as the ratio of the high-LET particle dose ( $D_{HL}$ ) to the low-LET particle dose ( $D_{LL}$ ) at the same level of severity.

## 生物学的効果比 (RBE) — 生残率 — Relative biological effectiveness (RBE) – Survival ratio –

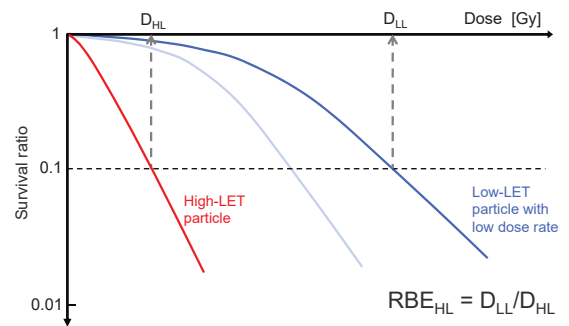


Fig. Relationship between dose and severity of a deterministic effect. RBE is calculated as the ratio of the high-LET particle dose ( $D_{HL}$ ) to the low-LET particle dose ( $D_{LL}$ ) at the same level of severity.

生物学的効果比 (RBE) — 重篤度 —  
Relative biological effectiveness (RBE) – Severity –

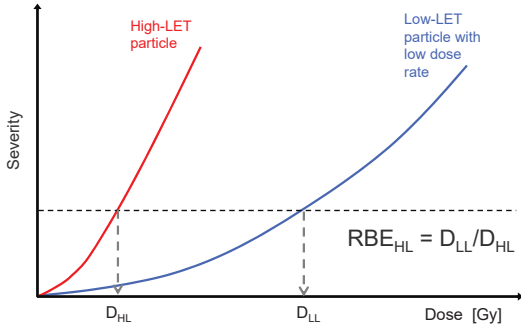


Fig. Relationship between dose and severity of a deterministic effect. RBE is calculated as the ratio of the high-LET particle dose ( $D_{HL}$ ) to the low-LET particle dose ( $D_{LL}$ ) at the same level of severity.

生物学的効果比 (RBE) — 重篤度 —  
Relative biological effectiveness (RBE) – Severity –

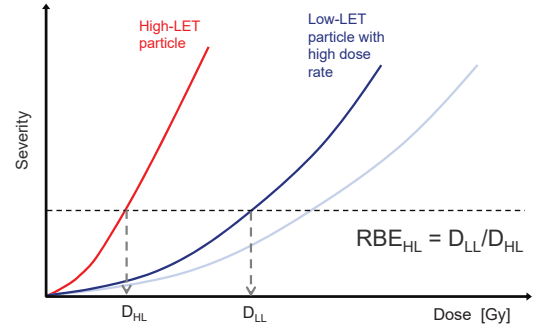


Fig. Relationship between dose and severity of a deterministic effect. RBE is calculated as the ratio of the high-LET particle dose ( $D_{HL}$ ) to the low-LET particle dose ( $D_{LL}$ ) at the same level of severity.

生物学的効果比 (RBE) — 重篤度 —  
Relative biological effectiveness (RBE) – Severity –

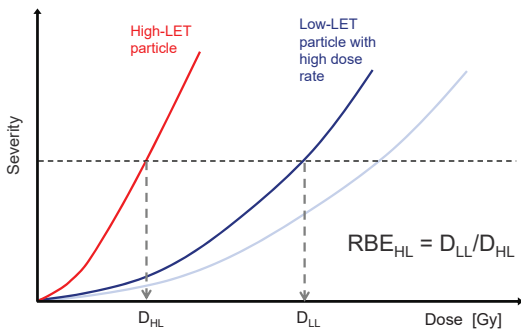


Fig. Relationship between dose and severity of a deterministic effect. RBE is calculated as the ratio of the high-LET particle dose ( $D_{HL}$ ) to the low-LET particle dose ( $D_{LL}$ ) at the same level of severity.

RBE値の変動性

Variability of the RBE value

同じ線質の組み合わせでも、以下の条件が異なると RBE値は大きく変わり得る：

- 対象組織／臓器
- 着目する症状
- 電離密度
- 線量率、等

Even for the same combination of two radiations, the RBE value could considerably change due to the following conditions:

- Tissue/Organ
- Biological endpoint
- Ionization density
- Dose rate

骨髄

Bone marrow



Table. The RBE values of neutrons for bone marrow (effects on CFU-S of mice).

Particle	Energy or source	RBE value	Reference
Neutron	Reactor	3.0	Davids (1972)
Neutron	~2.5 MeV	2.0	Ainsworth et al. (1970)
Neutron	~6 MeV	2.5	Silini et al. (1965)
Neutron	14 MeV	1.4	Carsten et al. (1976)
Neutron	15 MeV	1.2	Broerse et al. (1971)
Neutron	67 MeV	1.7	Hanson et al. (1981)
Neutron	600 MeV	1.5, 2.0	Hendry et al. (1979)

Courtesy of Dr. Arifumi Hasegawa (Fukushima Medical Univ)

皮膚

Skin



Table. The RBE values of fractionated carbon ions for moist desquamation of mice.

Particle	Fraction	LET	RBE value	Reference
Carbon .vs. $\gamma$ -rays	1	14 keV/ $\mu$ m	1.45	Ando et al. (1998)
		20 keV/ $\mu$ m	1.75	
		42 keV/ $\mu$ m	2.15	
		77 keV/ $\mu$ m	2.50	
Carbon .vs. $\gamma$ -rays	8	14 keV/ $\mu$ m	1.60	Ando et al. (1998)
		20 keV/ $\mu$ m	1.90	
		42 keV/ $\mu$ m	2.25	
		77 keV/ $\mu$ m	3.20	
Carbon .vs. X-rays	1	77 keV/ $\mu$ m	1.36	Sorensen et al. (2015)

Courtesy of Dr. Yukari Yoshida & Prof. Akihisa Takahashi (Gunma Univ.)

## 腸 Intestine

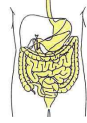


Table. The RBE values of fractionated carbon ions for jejunum crypt survival of mice.

Particle	LET	RBE value	Reference
Carbon	14 keV/μm	1.3	Gueulette et al. (1998)
	41 keV/μm	1.6	
	49 keV/μm	1.7	
	71 keV/μm	1.9	
Carbon	42 keV/μm	1.4–1.5	Uzawa et al. (2009)
	50 keV/μm		
	74 keV/μm		
Carbon	20 keV/μm	1.01	Yoshida et al. (2015)
	77 keV/μm	1.72	

Courtesy of Dr. Yukari Yoshida & Prof. Akihisa Takahashi (Gunma Univ.)

## 生殖器—精巣— Reproductive organs – Testis –

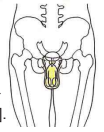


Table. The RBE values of neutrons and selected heavy ions for spermatogonium killing in mice [Wang and Yasuda, 2020].

Particle	Energy or source	RBE value	Reference
Neutron	1 MeV	5.7	Gasinska et al. (1985)
Neutron	5.5 MeV	4.6	Gasinska (1985)
Helium	from <sup>210</sup> Po	6.7	Rao et al. (1991)
Carbon	400-670 MeV/u	< 3	Alpen et al. (1981)
Oxygen	400-670 MeV/u	< 3	Alpen et al. (1981)
Neon	400-670 MeV/u	< 3	Alpen et al. (1981)
Argon	400-670 MeV/u	< 3	Alpen et al. (1981)

Courtesy of Dr. Bing Wang (QST)

## 生殖器—卵巣— Reproductive organs – Ovary –



Table. The RBE values of neutrons and selected heavy ions for oocyte killing in mice [Wang and Yasuda, 2020].

Particle	Energy or source	RBE value	Reference
Neutron	0.43 MeV	1.7	Straume et al. (1987)
Neutron	from <sup>252</sup> Cf	1.6–3.5	Satow et al. (1989)
Carbon	80 MeV/u	1.3–1.5	Zhang et al. (2006)
Neon	450 MeV/u	0.4–0.6	ICRP (1989)
Silicon	670 MeV/u	0.4–3.0	ICRP (1989)
Argon	570 MeV/u	0.4–2.2	ICRP (1989)

Courtesy of Dr. Bing Wang (QST)

## 眼の水晶体 Lens of the eye



Table. The RBE values of neutrons and selected heavy ions for lens opacification [Hamada and Sato, 2016].

Particle	Energy or source	RBE value	Reference
Neutron	Thermal	8–15	Storer & Harris (1952)
Neutron	0.44 MeV	8–500	Worgul et al. (1996)
Proton	55 MeV	~1.5	Lett et al. (1991)
Carbon	400 MeV/u	1–2	Jose & Ainsworth (1983)
Neon	425 MeV/u	1–3	Jose & Ainsworth (1983)
Argon	570 MeV/u	4–200	Brenner et al. (1991)
Iron	450 MeV/u	2–200	Brenner et al. (1993)

Courtesy of Dr. Nobuyuki Hamada (CRIEPI) and Prof. Akihisa Takahashi (Gunma Univ.)

## LETとRBEの関係 Relationship between LET and RBE

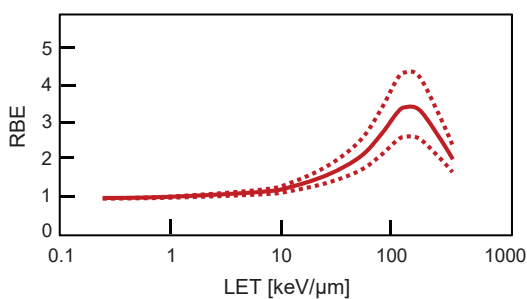


Fig. A typical LET dependency of RBE.

## 放射線加重係数 Radiation weighting factors

Table. Radiation weighting factors ( $w_R$ ) [ICRP, 2007].

Radiation type	Radiation weighting factor, $w_R$
Photons	1
Electrons and muons	1
Protons and charged pions	2
Alpha particles, fission fragments, heavy ions	20
Neutrons	2.5-20 (continuous function of neutron energy)

\* All values relate to the radiation incident on the body or, for internal radiation sources, emitted from the incorporated radionuclide(s).

## 放射線影響学会での検討

Investigation in JRRS



日本放射線影響学会では、被ばく医療における線量評価に際し適切なRBE値の選択に有用な情報を報告書にとりまとめる作業に取り組んでいる。

表. 日本放射線影響学会に設けられた「確定的影響のRBEに関する小委員会」のメンバー。

主な執筆担当分野	委員名	所属	備考
皮膚・腸機能障害	吉田 由香里	群馬大学	
造血機能障害	長谷川 有史	福島県立医科大学	
脳・中枢神経障害	永田 健斗	量子科学技術研究開発機構	若手推薦枠
生殖機能障害、胎児影響	王 冰	量子科学技術研究開発機構	
白内障その他	高橋 昭久	群馬大学	
RBE概説、まとめ	保田 浩志	広島大学	委員長

## まとめ —線量に関して—

Summary – in regard to dose –

- ✓ 確定的影響の予測評価には一般に吸収線量[Gy]が用いられる。
- ✓ 中性子や重荷電粒子が混在する場合には、生物学的効果比 (RBE) により重み付けした線量を用いる必要がある。
- ✓ RBEの値は、放射線のLET/エネルギーや線量率、着目する症状等によって変化する。
- ✓ 重み付けした線量の単位について、表記の仕方 (Gy, GyE, GyEq, Gy(RBE)等)を統一させる必要がある。

第4回実効線量と実用量に関するWebinar (2021年1月25日)  
 “確定的影響と生物学的効果比(RBE)”  
 保田 浩志 (広島大学)

*Thank you for your attention.*



保田 浩志  
 Hiroshi YASUDA, Prof.  
 Department of Radiation Biophysics,  
 Hiroshima University  
 Email: hyasuda@hiroshima-u.ac.jp

医療に関わる領域での実効線量表記の問題点と課題  
—線量に関するコミュニケーションの観点から—

東北大学大学院医学系研究科  
放射線生物学分野  
細井義夫

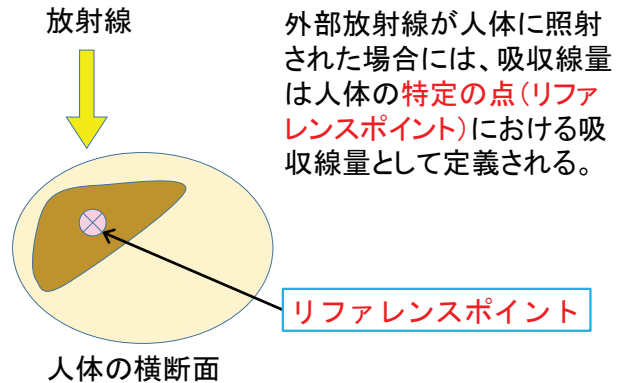
本日のお話の流れ

- (1) 吸収線量の課題
- (2) 実効線量の課題
- (3) 放射線診断による医療被ばくの線量表記
- (4) 緊急被ばく医療での線量表記
- (5) 放射線診断、放射線治療、核医学、緊急被ばく医療における被ばく線量表記

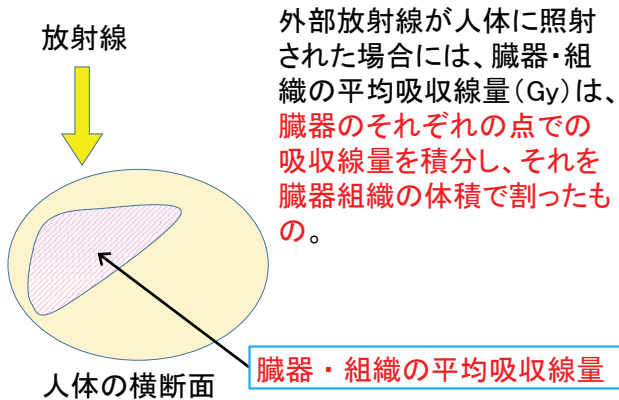
吸収線量

- ・吸収線量  
吸収線量  $D = d\varepsilon / dm$   
dm: 質量  
dε: dmという質量を持った任意の物質に吸収された平均エネルギー
- ・単位  
1Gy(グレイ) = 1J/kg  
Jはエネルギーの単位ジュール

吸収線量(Gy)



臓器・組織の平均吸収線量(Gy)



X線・γ線照射で皮膚や水晶体の吸収線量(Gy)を評価する場合には**ビルドアップ**に注意する必要がある。

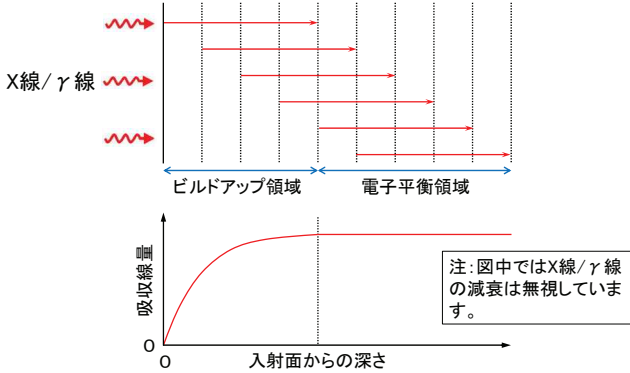
- ・高エネルギーのX線やγ線等では、二次電子の最大飛程の深さに達するまでは吸収線量が小さい。この領域を**ビルドアップ領域**と呼ぶ。
- ・ビルドアップが生じる理由は、X線やγ線が物質に入射すると**二次電子**が生じることによります。**二次電子の最大飛程**の深さまでは二次電子が**電子平衡状態**になく、その領域の吸収線量は低下する。

細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年



# Webinar (1~5回) の資料集

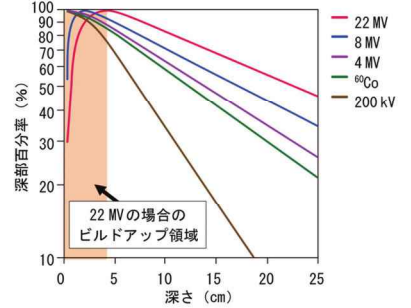
## X線・γ線におけるビルドアップ領域と電子平衡領域



細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年

## X線による深部線量分布 X線のエネルギーに依存してビルドアップ領域が存在する

図1-9-1 X線における深部線量率  
横軸は入射面からの深さを示し、縦軸は線量率がピークとなる深さ(最大深)を100%とした場合の、それぞれの深さでの吸収線量の深部百分率を示しています。



細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年

## 基準深(水中での最大深)

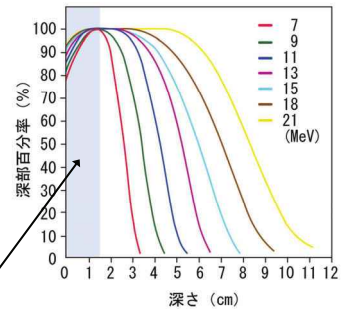
表 1-11-1 基準深(水中での最大深)

	線質	水中の深さ(cm)
X線・γ線	<sup>60</sup> Co	0.5
	4 MV	1.0
	6 MV	1.5
	8 MV	2.0
	10 MV	2.5
	15 MV	3.0
	20 MV	4.0
電子線	30 MV	5.0
	1 ≤ E <sub>0</sub> < 5 MeV	最大深
	5 ≤ E <sub>0</sub> < 10 MeV	1.0
	10 ≤ E <sub>0</sub> < 20 MeV	2.0
	20 ≤ E <sub>0</sub> < 30 MeV	3.0

細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年

## 電子線による深部線量分布 X線におけるビルドアップ領域と同様な領域が存在する

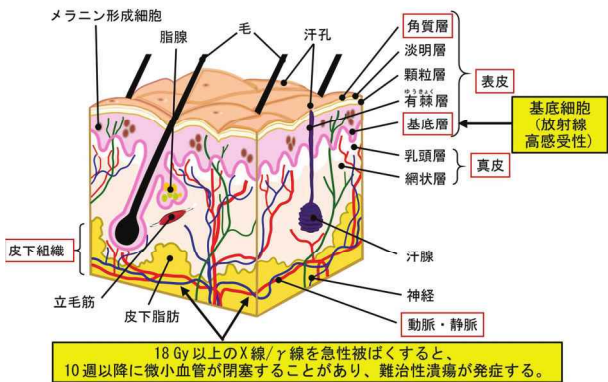
図1-10-1 電子線の深部線量率  
横軸は入射面からの深さ(cm)を示し、縦軸は線量率がピークとなる深さ(最大深)を100%とした場合の、それぞれの深さでの吸収線量の深部百分率を示しています。水色の領域では、ビルドアップ領域と同様に線量率が最大深に比べ低下します。



ビルドアップ領域と類似する領域

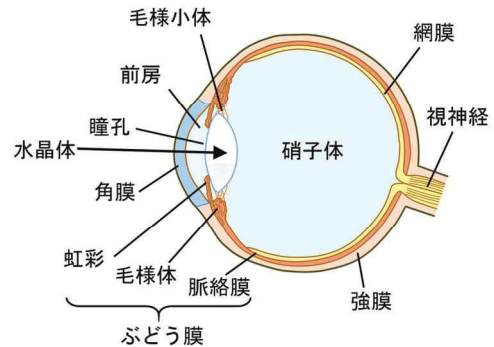
細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年

## 皮膚・水晶体の障害を考える場合にはビルドアップは重要



細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年

## 皮膚・水晶体の障害を考える場合にはビルドアップは重要



細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年

## 生物学的効果比 Relative Biological Effectiveness (RBE)

・RBEは種類の異なる放射線の効果を比較するもので、基準放射線としては慣習的に250kVのX線が用いられる。

$$RBE = \frac{\text{ある生物効果を生じるのに必要な基準放射線の吸収線量}}{\text{同じ生物効果を生じるのに必要な当該放射線の吸収線量}}$$

・細胞生存率を指標とした場合のRBEは以下の通りである。

放射線	細胞生存率を指標としたRBE
陽子線	1.0~1.2程度
速中性子線	1.2~2.8程度
α線	2.0~3.0程度
重イオン(ブラッグピーク)	1.6~3.2程度

## RBEに関する注意点

・RBEの値は同じ種類の放射線を比較しても、**指標とする生物効果**によって異なる可能性がある。

・RBEの値は、以下のような様々な条件によって異なる可能性があります。

- ① 照射する放射線のLET
- ② 線量
- ③ 線量率
- ④ 分割回数
- ⑤ 分割照射の場合には照射期間

細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年

## RBEにおける基準放射線(標準放射線)

・1954年のThe National Bureau of Standardsによる定義ではRBEは次のように定義されている。

The RBE of some test radiation (r) compared with x-ray is defined by the ratio D250/Dr, where D250 and Dr are, respectively, the doses of x-rays and the test radiation required for equal biologic effect.

・250kVのX線が基準放射線として選ばれた理由は、1954年当時の最も標準的な放射線治療に用いられる線源であったからである。

Eric Hall, Amato Giaccia, Radiobiology for the Radiologist (第8版), 2018

## 放射線治療・治療装置の歴史

- 1895年 Roentgen X線を発見
- 1896年 Despeignes (フランス) 胃癌の治療
- 1896年 Grubbe (米) 乳がん・狼瘡を治療
- 1897年 島津製作所が教育用X線装置を製作
- 1898年 東京帝国大学医学部第一医院外科教室にX線器械を設置
- 1899年 仙台医学専門学校(東北帝国大学医学部の前身)にX線器械を設置
- 1902年 Skinner 腹部悪性腫瘍のX線深部治療
- 1908年 島津製作所 医療用X線装置の製造を開始
- 1926年 原 治己 調査による深部治療装置台数 国産 36台 外国製 55台
- 1934年 Brasch他 電子線治療を開始した
- 1938年 Stone R. S. パークレイで速中性子線治療を開始
- 1940年 Kruger: 熱中性子捕獲療法の実験を行った
- 1951年 Farr フルクヘブン医用原子炉で脳腫瘍の熱中性子捕獲療法を開始した
- 1951年 東大などで<sup>60</sup>Co大量照射器による治療開始

## 250kV 管球式X線発生装置の問題点

1. X線管球およびX線発生装置により管電圧が同じであっても**実効エネルギー**が異なる。
2. 生物照射の場合には一般的にフィルターを用いるが、どのような**フィルター**を用いるかによって実効エネルギーは異なる。**アルミニウム**と**銅**がよく用いられるが**厚さ**もまちまちである。
3. X線発生装置により管電流が異なり、**線量率**が異なる。

## X/γ線のエネルギーの違いによるエネルギー付与(LET)の違い

表 3-1-1 線エネルギー付与(linear energy transfer:LET)

LET	放射線の種類
高 LET ↑	核分裂片
	低原子番号の原子核
	α線
	中性子線
低 LET	低エネルギーの陽子線、電子線、X線、γ線
	高エネルギーの陽子線、電子線、X線、γ線

細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年



### 代表的な放射線のLET(Linear Energy Transfer)

放射線	LET(keV/μm)	
コバルト60 γ線 (1.17MeV, 1.33MeV)	0.2	
250kV X線	2.0	
10MeV 陽子線	4.7	
150MeV 陽子線	0.5	
14MeV 中性子	Track average	Energy average
	12	100
2.5MeV α線	1,000	

Eric Hall, Amato Giaccia, Radiobiology for the Radiologist(第8版), 2018

### 線エネルギー付与(Linear energy transfer : LET)

- LETとは、**荷電粒子**の単位飛程当たりのエネルギー損失のこと。
- 単位は、通常 keV/μm を用います。
- 一般にLETは、放射線の電荷の2乗に比例して増加し、粒子の速さにほぼ反比例する。
- 陽子線、電子線、X線、γ線では、**低エネルギーの方が高エネルギーよりもLETが高いことに注意が必要**である。

細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年

LETはX線・γ線・中性子線などの非荷電粒子には使用できない

- LETは、荷電粒子に適用される量として定義されたもので、X線、γ線、中性子線などの非荷電粒子には使用できない。
- しかし医学生物学領域では、X線、γ線、中性子線についても、相互作用後に放出される**二次荷電粒子(二次電子等)**に着目して使用される。
- 物理学では「X線は低LET放射線」は間違い。

細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年

### 本日のお話の流れ

- (1) 吸収線量の課題
- (2) **実効線量**の課題
- (3) 放射線診断による医療被ばくの線量表記
- (4) 緊急被ばく医療での線量表記
- (5) 放射線診断、放射線治療、核医学、緊急被ばく医療における被ばく線量表記

### 等価線量(放射線防護で用いられる線量)

- 等価線量(equivalent dose) : 単位は**シーベルト(Sv)**(**組織反応**)

$$H_T = \sum_R W_R \times D_{T,R}$$

$H_T$  : **組織T**の等価線量

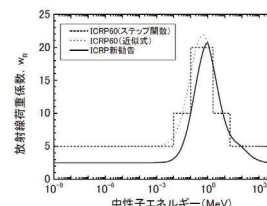
$W_R$  : 放射線Rの**放射線加重係数**

$D_{T,R}$  : 放射線Rによる組織Tの吸収線量  
( $D_{T,R}$ の単位は**グレイ(Gy)**)

- 等価線量は放射線防護のために確率的影響(発癌と遺伝性影響)を評価するためのもので、確定的影響(発癌と遺伝性影響以外の生物影響)は評価しない。

### 放射線加重係数

放射線加重係数(ICRP2007勧告)	
放射線の種類(エネルギーの範囲)	放射線加重係数
光子(全てのエネルギー)	1
電子および <b>ミュー粒子</b> (全てのエネルギー)	1
陽子、 <b>荷電パイ中間子</b>	2
<b>アルファ粒子、核分裂片、重核イオン</b>	20
中性子	与えられた関数



放射線加重計数は、線質と確率的影響との関係を放射線防護を目的としてICRPが定めた数値。

## 実効線量(放射線防護で用いられる線量)

- 実効線量(effective dose) : 単位はシーベルト(Sv)

$$E = \sum_T W_T \times H_T$$

$E$  : 実効線量

$W_T$  : 組織 T の組織加重係数

$H_T$  : 組織 T の等価線量

( $H_T$ の単位はグレイ(Gy))

- $W_T$ は組織 T の組織加重係数で、 $\sum_T W_T = 1$ である。
- 実効線量は放射線防護のために確率的影響評価するためのもので、確定的影響は評価しない。

## 組織加重係数 (ICRP2007年勧告)

組織	$W_T^*$	$\sum_T W_T$
骨髄(赤色)、結腸、肺、胃、乳房、残りの組織**	0.12	0.72
生殖腺	0.08	0.08
膀胱、食道、肝臓、甲状腺	0.04	0.16
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	0.01	0.04
合計		1.00

\*  $W_T$  : 組織 T の組織加重係数で、 $\sum_T W_T = 1$ である。

\*\* 残りの組織 : 副腎、胸郭外領域、胆嚢、心臓、腎臓、リンパ節、筋肉、口腔粘膜、膵臓、前立腺(男性)、小腸、脾臓、胸腺、子宮/頸部(女性)

## GyとSvの比較での注意点

- 中性子線、 $\alpha$ 線、重イオン線では放射線加重係数とRBEが大きく異なる。

放射線の種類	放射線加重係数	RBE(細胞死)
X線	1	1
電子線	1	1
陽子線	2	1.0~1.2
中性子線	与えられた関数(最大20程度)	1.2~2.8
$\alpha$ 線	20	2.0~3.0
重イオン線	20	1.6~3.2

## 低線量・低線量率が発がんや遺伝性影響に及ぼす影響と低線量の定義

- 低線量や低線量率では放射線の生物効果が低下することが知られている。
- 放射線による発がんや遺伝影響も他の放射線による生物効果と同様に、低線量・低線量率でリスクが低下すると考えられている。

表 低線量・低線量率の定義 (UNSCEAR 2006年)

線量・線量率	定義
低線量	線量率に関係なく総線量が100mSv以下の線量
高線量	線量率に関係なく総線量が100mSvを超える線量
低線量率	総線量に関係なく線量率が0.1mGy/分以下の線量
高線量率	総線量に関係なく線量率が0.1mGy/分を超える線量

細井義夫、神田玲子、放射線健康リスク科学 第5版、2020年

## 線量・線量率効果係数 (DDREF)

- 線量・線量率効果係数(dose and dose-rate effectiveness factor: DDREF)とは、放射線管理の目的で確率的影響に関して、高線量・高線量率放射線による影響と比較した低線量・低線量率による放射線影響の低減率を定めた定数である。
- 国際放射線防護委員会(ICRP)2007年勧告ではDDREFを2としている。
- DDREFが2ということは、低線量・低線量率の場合には、高線量・高線量率に比べ発がんや遺伝性影響のリスクが1/2になるということを意味する。

- Svは原則として100mGy以下の範囲で定義されている。
- 放射線加重係数は確率的影響を評価するために定義されている。

## 本日のお話の流れ

- (1) 吸収線量の課題
- (2) 実効線量の課題
- (3) 放射線診断による医療被ばくの線量表記
- (4) 緊急被ばく医療での線量表記
- (5) 放射線診断、放射線治療、核医学、緊急被ばく医療における被ばく線量表記