

平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業 -内部被ばく線量評価コードの開発に関する研究-

研究成果報告会 平成31年2月15日

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
安全研究・防災支援部門 安全研究センター
リスク評価研究ディビジョン 放射線安全・防災研究グループ



(研究代表者) 高橋 史明

【研究概要】 本研究の背景と目標



【背景】

- 国際放射線防護委員会(ICRP)の2007年勧告の国内の放射線規制への取入れに伴い、新しい実効線量係数*に基づき、内部被ばくの防護基準値（空气中濃度限度等）も改正
→ 実効線量係数が基本とするモデル等に従い、正確に導出されていることの検証が必要
- 上記の改正後は、各事業所等でも2007年勧告に従い内部被ばく線量評価を遂行

*実効線量係数：単位はSv/Bqで、摂取した核種の量(Bq)にこの係数を乗じることで実効線量を導出

【目標】

我が国の放射線規制への2007年勧告の取入れ、事業所等における内部被ばく防護に対し、有益な技術基盤となる線量評価コードを開発（平成29年度～平成32年度）

研究開発の内容（コードの構成要素）

- ICRPが示す実効線量係数等について、基本とする線量評価モデルやデータ等に従い、正しく導出していることを検証する機能（以下、「線量係数計算機能」）の開発
- モニタリング値に基づく内部被ばく線量評価に必要な核種の摂取量を推定する機能（以下、「核種摂取量推定機能」）の開発
- 利便性や操作性を鑑みた機能（条件設定の補助、計算結果の効果的な表示等）の開発

【研究概要】 ロードマップ及びH29年度の達成状況



実施項目	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度
1) 線量係数計算機能の開発	ICRP刊行物の調査	ICRPの線量評価モデルの調査		
	計算機能の開発及び検証 (OIR Part 2 掲載核種)	新規データ等の取り込みへ向けた機能設計		
	基本機能の完成 ▲	機能の完成 ▲		
2) 核種摂取量推定機能の開発	摂取量推定機能に係るニーズ調査	推定機能の開発	推定機能の検証	
	解析法の検討			
	概念設計	基本機能の完成 ▲	機能の完成 ▲	
3) 利便性や操作性の向上を図る機能の開発、コードの開発		パラメータ設定法の検討 (GUIの基本設計を含む)		試用による意見収集
			GUI及び結果表示機能の開発	改良・マニュアル整備等
			β版の完成 ▲	コード完成、公開 ▲

【H29年度の達成状況】 概ね当初の計画通りに進捗

- 線量係数計算機能の開発

OIR* part 2の掲載元素について、実効線量係数を正確に導出 → 基本機能の完成

*Occupational Intakes of Radionuclides (職業人の放射性核種摂取)

- 核種摂取量推定機能の開発

既存コードの分析、機構内での意見交換に基づき、完成形イメージを提示 (課題として、機構外の専門家からのニーズ調査)

【研究概要】 平成30年度の実施内容と目標 (1)

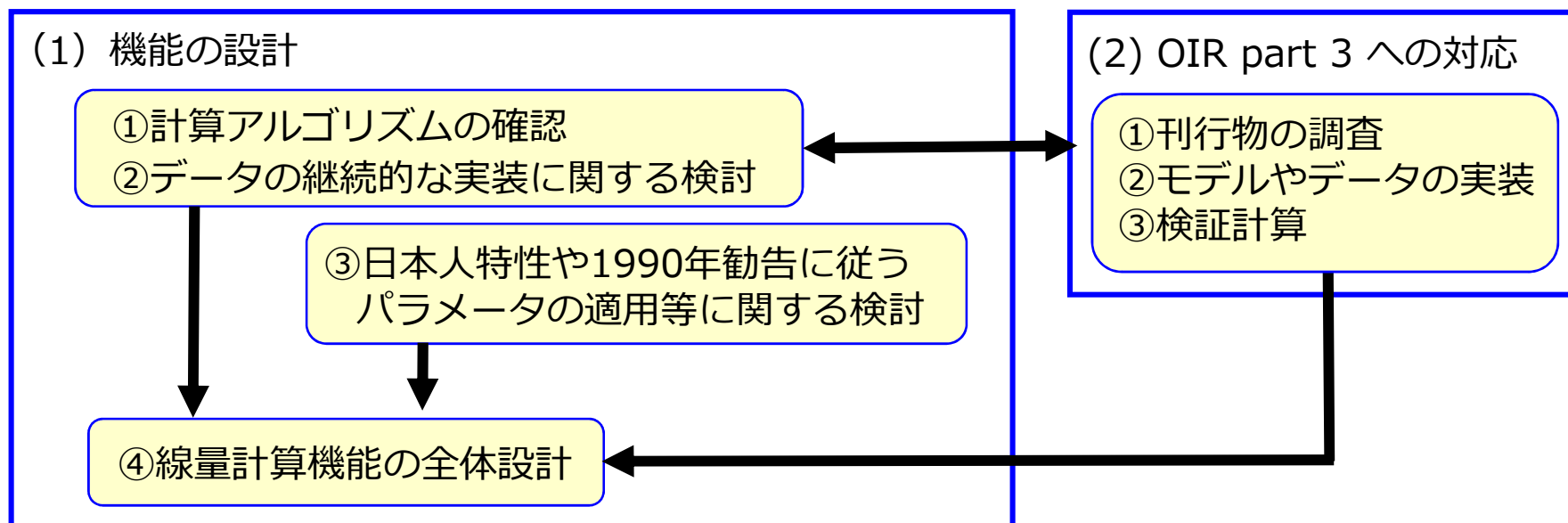


1. 線量係数計算機能の開発

(1) 新規データ等の取込みへ向けた機能の設計

- ・ ICRPから今後公開される新規データの継続的な取り込み等への対応
- ・ グラフィカルユーザーインターフェイス(GUI)で、計算条件を設定する方法の検討

(2) OIR part 3 (H30年1月公開)で与えられたモデルへ対応するための改良



平成30年度の線量係数計算機能の開発に関する実施フロー

今年度の目標：本機能に関するコード設計を完了（機能の完成）

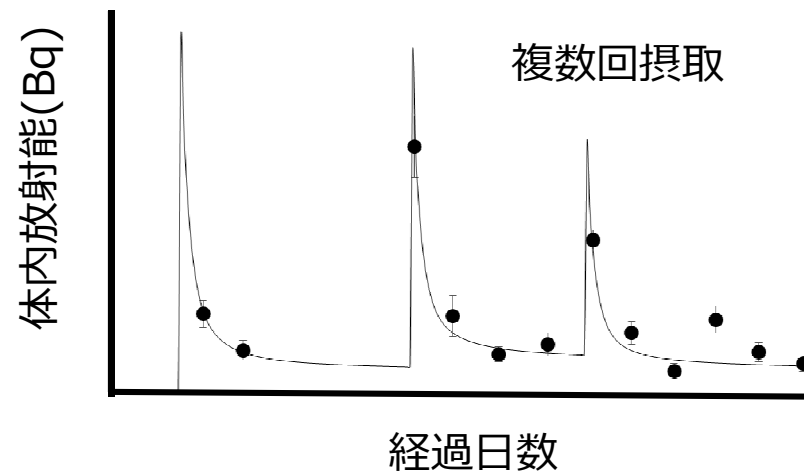
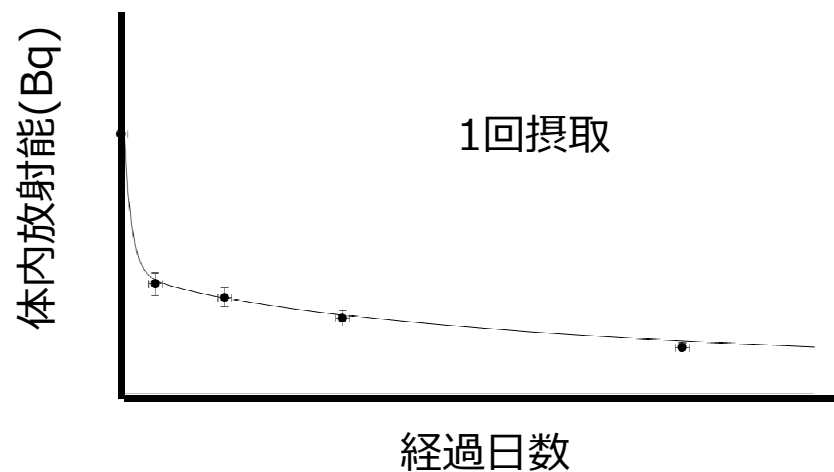
2. 核種摂取量推定機能の開発

(1) 当該機能に係るニーズ等の意見交換

大学や研究機関において、内部被ばくモニタリング等に関する研究開発を進めている専門家との意見交換等を進め、機能のニーズ等の情報を収集

(2) 基本機能の開発

モニタリング値に基づく核種摂取量の推定に必要なデータフィッティング法、体内放射能の経時変化の解析法等の開発



データフィッティングのイメージ図

今年度の目標：核種摂取量推定機能の**基本機能を完成**

【研究の進捗】 線量係数計算機能の開発 (1)

1. 新規データ等の取込みへ向けた機能の設計

(1) 今後公開されるモデルやデータへの対応

組織系動態モデルで考慮されるコンパートメント(組織等)名、物質の種類等をID番号を用いて正確に認識し、汎用的なソフトウェアによるデータの拡張が可能



組織系動態モデルのXMLデータ化の様子

(2) 1990年勧告に準拠するモデルやデータ、日本人パラメータの使用

- 新旧勧告で体内動態モデル、SAF(比吸収割合)データのみ入れ替えて比較
- 日本人パラメータ (ヨウ素動態モデル等) の使用

→(1)と同様の手法でデータ格納等を行い、任意パラメータの設定が可能な構造

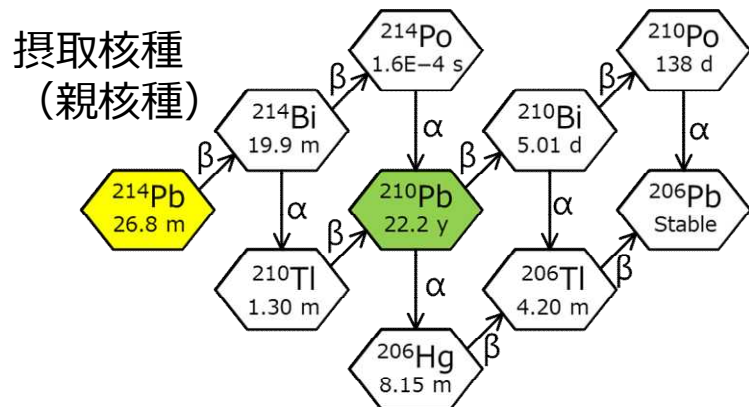
- IDを用いて物質や組織等を認識、編集性に配慮したデータ格納方式の構築
- GUIを通じたデータ設定を鑑みた当該機能の設計を完了

(次年度のβ版開発で、1990年勧告に準拠する線量計算等のアルゴリズムを再確認)

【研究の進捗】 線量係数計算機能の開発 (2)

2. OIR part 3 対応のための改良

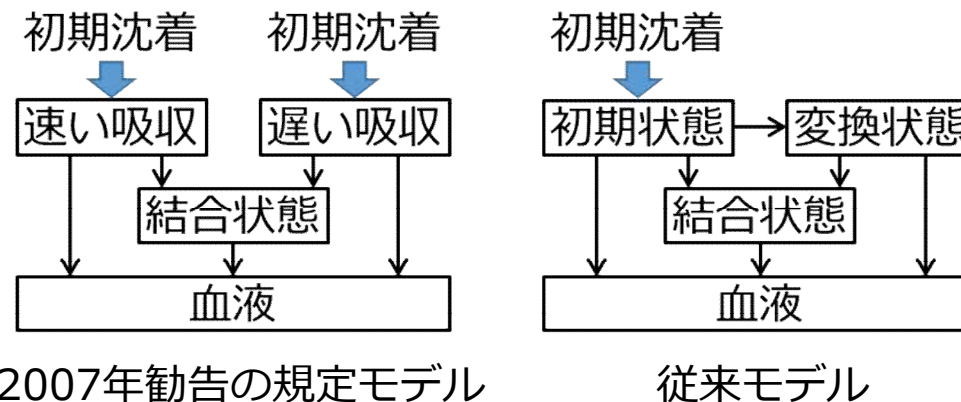
(1) 同一元素異動態モデルへの対応



214Pbの壊変系列

親核種(214Pb)と子孫核種(210Pb)で異なる体内動態モデルを使用可能

(2) 従来の呼吸気道血液吸収モデルへの対応



呼吸気道血液吸収モデルの違い

ウランの一部の化学形で従来モデルを使用することへ対応可能

OIR Data Viewer (ver. 3.01.05.18)にある収録核種の実効線量係数を再現

【今年度の達成状況 (見込み)】

- 今後も新たに公開予定のモデル等の内容を合理的に記述するファイルの作成法、ファイルを格納するディレクトリの適切な配置、これらを効率的に読み込むためのコード設計を完了
- OIR part 3 のデータ実装を完了し、実効線量係数を正確に計算することを検証

1. 当該機能に係るニーズ等の意見交換

国内の大学、研究機関において、内部被ばくのモニタリングや線量評価に関する知見や経験を有する研究者や技術者と意見交換

(1) 主な意見

- 摂取シナリオの設定
創傷汚染モデルへの対応、複数の摂取経路の同時考慮
- 体内放射能・排泄率の計算条件
粒径分布や運動状態等の沈着率に影響を及ぼすパラメータの考慮
- モニタリング値の入力
不確かさを取り扱えること、摂取時期の不確かさの考慮
- 結果の出力
計算の途中経過の出力も重要、結果の不確かさの取扱いへの配慮、
時間経過と累積被ばく線量の関係図等、一般向けの説明に有用な出力

(2) まとめ

- 得られた意見の大半は、基本機能の使用法に関連
- 昨年度検討した解析手法（最尤法）は、不確かさの取扱いも可能

基本機能の開発方針、解析手法の選択に影響はない一方、得られた意見はGUI開発（次年度実施）等で非常に有益

2. 基本機能の開発

(1) 計算条件

摂取時期が既知の1回、または複数回の急性摂取及び慢性摂取
 (慢性摂取：1日当たりの摂取量の繰返し摂取として取り扱う)

(2) フィッティングフロー

① 体内放射能予測式 $Q = qI$ を導出

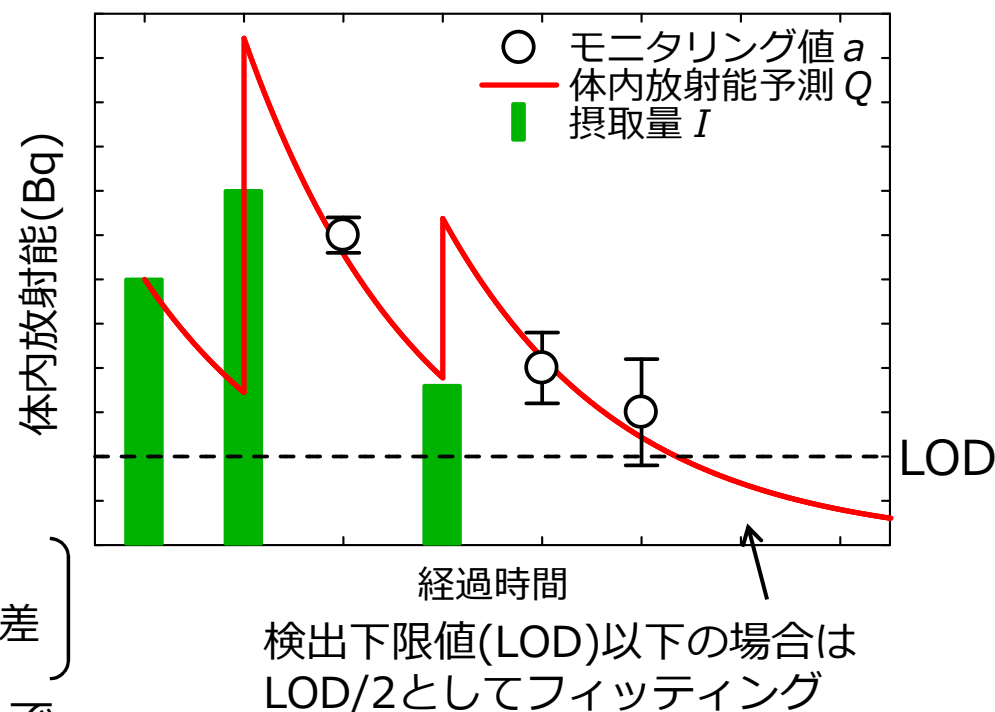
q : 単位放射能摂取時の放射能予測行列
 I : 各回の摂取量ベクトル

② 最尤法に基づく式から I を決定

$$\min_I \sum_i \left[\frac{\log(a_i) - \log\{(qI)_i\}}{\log(\sigma_{g,i})} \right]^2$$

a_i : i 番目のモニタリング値
 $\sigma_{g,i}$: i 番目のモニタリング値の幾何標準偏差

Σ を最小にする I を求めるプロセスで
 Java言語ライブラリ la4j (ver.0.6.0)を使用



フィッティングのイメージ

メインコードの開発言語 (Java)により、モデル予測値をモニタリング値に
 フィッティングする手法等の基本機能を開発

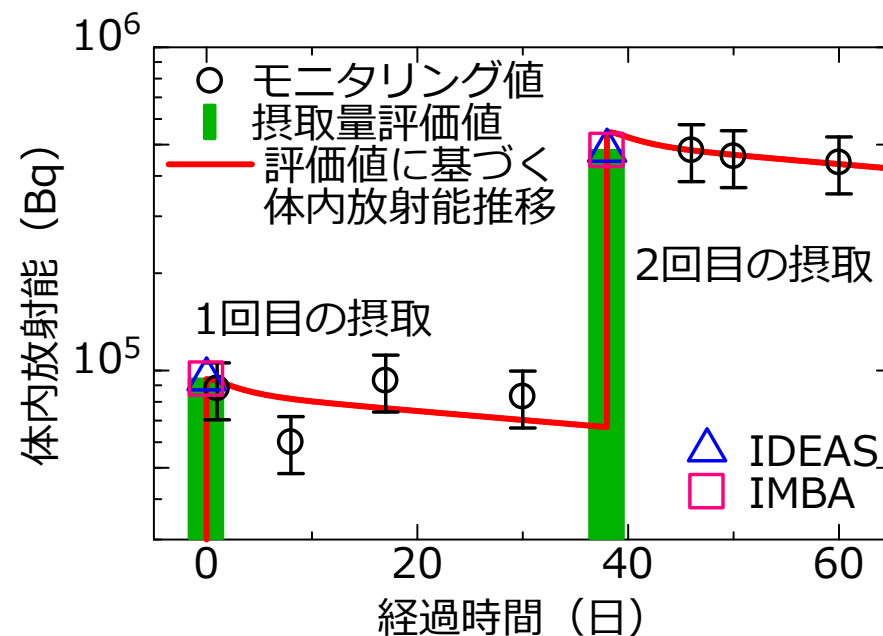
2. 基本機能の開発

(3) 開発した機能を用いた試計算

例題：欧州線量評価委員会(EURADOS)の
IDEASガイドラインver. 2より

- ^{137}Cs の経口摂取
- 摂取回数：2回 (0日、38日)
- モニタリング値の数：7個
(全身カウンタ)

→ 各回の摂取量を計算により評価



例題(試計算)の評価結果

開発した基本機能による評価値は、IDEASガイドライン、IMBA* (英国PHE) の評価値をよく再現 (次年度、多くの例題による本格的な検証)

* *Integrated Modules for Bioassay Assessment*

【今年度の達成状況(見込み)】

- 機構外の専門家との意見交換により、今後のコード開発へ向けて、有益な情報等を広く収集
- 核種の摂取条件等に応じたモニタリングデータのフィッティング法等を開発し、当該機能に実装するとともに試計算を実施

【成果発表】

- 日本放射線事故・災害医学会第6回学術集会にてポスター発表 (1件)
真辺 他: ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発
- 12th International Conference of the Health Effect of Incorporated Radionuclides (HEIR2018) にて口頭発表 (1件) 及びプロシーディングス提出
K. Manabe et al.: Development of a function calculating internal dose coefficients based on ICRP 2007 Recommendations
- 日本原子力学会2019年春の年会にて口頭発表 (2件) (平成31年3月予定)
高橋 他: ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発
 (1) 線量係数計算機能の開発 -平成30年度の進捗状況-
真辺 他: ICRP2007年勧告に基づく内部被ばく線量評価コードの開発
 (2) 核種摂取量推定機能の開発 -平成30年度の進捗状況-

1. 線量係数計算機能の開発の達成度

OIR part 3へ対応するための改良や検証を行うとともに、今後のモデル公開を想定したコード拡張、ユーザーの条件設定に応じたデータ読み込み等、**本機能の全体設計は完了**する見込みである。

(1990年勧告に準拠する線量計算法への対応は、次年度にβ版開発の中で確認する。)

2. 核種摂取量推定機能の開発の達成度

機構外の専門家との意見交換により、当該機能のニーズ、今後の開発へ有益な情報をより広く収集し、開発方針の妥当性を確認した。

核種の摂取条件に応じて、検出下限値以下のモニタリングデータを考慮し、データフィッティング法等を開発し、**摂取した核種の量や体内放射能等を計算する機能(基本機能)の開発**を完了する見込みである。

(試算を実施したが、本格的な検証は次年度に実施する。)

自己評価：概ね当初の計画通りに進捗

【次年度計画】 (1) 核種摂取量推定機能の開発等

1. 核種摂取量推定機能の開発等

(1) 核種摂取量推定機能の開発

当該機能を完成させるための研究開発を進捗させていく予定(上半期)

- 開発した基本機能の検証計算
 - IDEASガイドライン、IAEAレポートの例題等を活用
(種々の摂取条件について、摂取量・被ばく線量を計算して検証)
- 入力設定用のGUI の設計
 - 昨年度並びに今年度に聴取した意見を反映したGUIの設計

(2) 線量係数計算機能の検証等

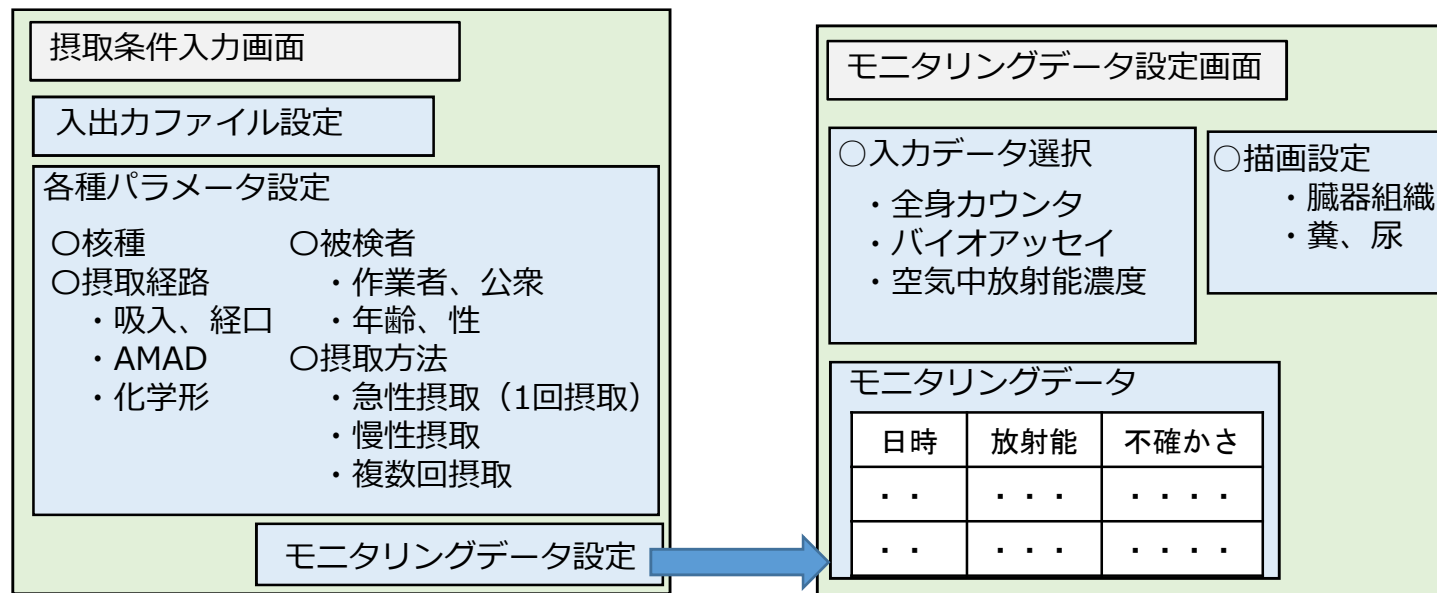
β版の開発(次頁)の中で進捗させていく予定

- 1990年勧告に従う計算(例、SAFデータの取扱い)等のアルゴリズムの再検証
- 新しい線量評価モデルの調査(OIR part 4 等)

2. 利便性や操作性の向上を図る機能及びコードβ版の開発

(1) 利便性や操作性の向上を図る機能

ユーザーによる条件設定に用いるGUI、結果を効果的に表示する機能(線量係数を取りまとめた数表、体内放射能の経時変化を示すグラフ等)を開発



摂取量推定のためのGUIイメージ

(2) コードβ版の開発 (次年度の重点実施項目、マイルストーン)

プログラム言語の運用等にも留意しつつ、**全機能を統合したコードのβ版を完成**

以上、当初の計画通りに実施の予定