

令和5年度原子力規制庁委託成果報告書

令和5年度放射線対策委託費
(放射線健康リスク評価コードの開発) 事業

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

令和6年3月

本報告書は、原子力規制委員会原子力規制庁からの委託により実施した業務の成果をとりまとめたものです。

本報告書に関する問い合わせは、原子力規制庁までお願いします。

まえがき

放射性物質等の利用や原子力災害時の対応等、人々を放射線から適切に防護するためには、これらの線源から人が受ける放射線の量（線量）と、その際に人体に発生する健康への影響（健康リスク）の2つを評価することが不可欠となる。これらの評価に関する科学的な知見は、最新の関連データをもとに、原子放射線の影響に関する国連科学委員会や国際放射線防護委員会等での議論を経て刻々と更新され続けている。したがって、最新の科学的知見に基づいて、国際的にコンセンサスの取れた方法で線量評価や健康リスク評価を実施しその品質を維持し続けるためには、継続的な調査やコード開発・改良という作業が必要となる。

我が国においては、原子力規制委員会の安全研究プロジェクトとして「放射線防護のための線量及び健康リスク評価の精度向上に関する研究（令和4年～令和8年度）」が実施されており、同プロジェクトの中で線量評価と健康リスク評価という両輪に関する研究が進められている¹。

このような背景のもと、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構安全研究センターでは、原子力規制庁より令和5年度放射線対策委託費（放射線健康リスク評価コードの開発）事業を受託した。本事業では、放射線被ばくに伴うがんリスクを定量的に予測するためのコード開発に関して、開発工程及び概念設計を検討した。また、コードの概念設計時に必要な利用者層や利用目的を明確にするために、コードの活用法に関する調査として、有識者へのヒアリング調査を実施した。

¹ 原子力規制委員会 HP 参照 (https://www.nra.go.jp/activity/anzen/bunya/bougo_risk.html)

目次

まえがき	i
目次	ii
表リスト	iv
図リスト	vi
事業の概要	vii
1. はじめに	1
1.1. 目的	1
1.2. 本報告書の記載内容	1
2. コードの活用法に関する調査	2
2.1. 調査概要	2
2.2. 調査結果	2
2.2.1. 原子力災害時の医療従事者の立場でのリスクコミュニケーションの観点から	2
2.2.2. 原子力災害時のリスクコミュニケーションの観点から	3
2.2.3. 原子力災害時の地域防災対応の観点から	4
2.2.4. 放射線防護教育の観点から	5
2.2.5. 原子力災害医療研修の観点から	6
2.2.6. 原子力防災研修の観点から	7
2.3. まとめ	8
3. コードの開発工程に関する検討	9
3.1. 開発工程全体において取り組むべき事項及び注意点	12
3.2. 概念設計段階において取り組むべき事項及び注意点	12
3.2.1. 要件定義	12
3.2.2. 計算に使用するモデル・データ	15
3.2.3. コード設計（外部・内部設計）	16
3.3. 開発段階において取り組むべき事項及び注意点	19
3.3.1. コード開発	19
3.3.2. コード機能の検証	20
3.3.3. β版の配布方法の検討	21
3.3.4. コードの高度化に向けた検討	21
3.4. 利用段階において取り組むべき事項及び注意点	22
3.4.1. がんリスク評価と不確かさ要因の解明	22
3.4.2. 公開・公開後の一般利用	23

3.4.3.	維持・管理体制の検討	24
3.5.	まとめ	25
4.	コードの概念設計に関する検討	26
4.1.	要件定義	26
4.1.1.	想定用途、利用者の区分の検討	26
4.1.2.	想定用途を基に基本計算項目の検討	30
4.1.3.	想定用途に基づく評価項目の検討	34
4.1.4.	コードを構成するモデル、データの調査	35
4.1.5.	想定用途に基づく運用形態の調査・検討	37
4.1.6.	想定用途や運用形態に適した開発言語・環境の調査・検討	39
4.2.	計算に使用するモデル・データ	49
4.2.1.	がん死亡率等の必要データ収集・整理	49
4.2.2.	モデル選定、計算方法の選定	56
4.2.3.	データの統計処理の検討	73
4.3.	コード設計（外部・内部）	76
4.3.1.	入出力の設計	76
4.3.2.	ユーザインターフェースの設計	79
4.3.3.	システム内部の動作の設計	85
4.3.4.	コード機能の検証方法の検討	87
4.4.	まとめ	88
5.	データベースの整備に関する検討	89
5.1.	データベースの整備方法	89
5.2.	今年度整備したデータとその引用元	89
5.3.	まとめ	90
6.	研究に必要な国内外の情報収集	96
6.1.	関係する会議等への参加	96
7.	委員会の設置及び開催	104
7.1.	検討委員会委員名簿	104
7.2.	第一回検討委員会議事概要	105
7.3.	第二回検討委員会議事概要	115
7.4.	第三回検討委員会議事概要	127
7.5.	第四回検討委員会議事概要	139
8.	まとめ	150

表リスト

表 2.1	ヒアリング対象者とヒアリング日時の一覧	2
表 3.1	本事業での開発工程	11
表 4.1	既存コードの活用例のまとめ	27
表 4.2	ヒアリングを受けて検討した想定用途と想定利用者	28
表 4.3	利用者の定義	29
表 4.4	各利用者の利用と変更の範囲	29
表 4.5	コード利用者別システムの構成	30
表 4.6	周辺線量当量率 $H^*(10)$ から臓器吸収線量への換算時のシナリオ	33
表 4.7	個人線量当量 $H_p(10)$ から臓器吸収線量への換算時のシナリオ	33
表 4.8	汎用部分の評価項目	34
表 4.9	目的別部分の評価項目	35
表 4.10	汎用部分を構成するモデル、データ	36
表 4.11	目的別部分を構成するモデル、データ	36
表 4.12	各運用形態の利点・欠点	38
表 4.13	配布方法の検討	38
表 4.14	言語としての特徴(1/2)	41
表 4.15	開発段階での特徴	43
表 4.16	保守・運用段階での特徴	44
表 4.17	グラフ作成用ライブラリー一覧	45
表 4.18	関数・統計処理ライブラリ	46
表 4.19	汎用部分に用いる日本人ベースラインデータ等の整備状況	51
表 4.20	ICRP 116とICRP 144で換算係数が整備されている固形がんと血液がんの 整理	53
表 4.21	ICRPの年齢区分（ICRP 72に記載）	53
表 4.22	部位別がん5年生存率（2009～2011年の統計データを利用）	54
表 4.23	部位別の症状の重み	55
表 4.24	リスクモデルのグループ分け	57
表 4.25	先行研究等で評価されているがん部位の種類	60
表 4.26	本コードで評価対象とするがん部位の提案	64
表 4.27	原爆被爆者の疫学研究における生活習慣を考慮したリスクモデルの有無	67
表 4.28	外挿方法の違いによる生涯リスクへの影響	69
表 4.29	既存コードのDDREFの整理	70

表 4.30	LSS14の全死因の線量応答の推定値と文献値の比較.....	75
表 4.31	入力項目の一覧.....	78
表 4.32	出力項目の一覧.....	79
表 5.1	各テーブルに収録した年度.....	95
表 7.1	検討委員会委員名簿.....	104

図リスト

図 3.1	本コードの開発フロー	9
図 3.2	開発工程の範囲	10
図 4.1	利用者層の想定（ユースケース図による表現）	29
図 4.2	コードの計算の流れ	32
図 4.3	コードの汎用部分の計算の流れ	34
図 4.4	原爆被爆者の疫学研究の各がん部位の線量応答（男性）	61
図 4.5	原爆被爆者の疫学研究の各がん部位の線量応答（女性）	62
図 4.6	日本人のがん部位ごとの罹患率及び累積割合（男性）	63
図 4.7	日本人のがん部位ごとの罹患率及び累積割合（女性）	63
図 4.8	罹患率データの外挿方法の比較	68
図 4.9	周辺線量当量率から臓器吸収線量の換算の流れの概要	71
図 4.10	不確かさ解析の流れ	75
図 4.11	コード設計の流れ	76
図 4.12	コードの画面遷移のイメージ図	81
図 4.13	スタートメニューのイメージ図	82
図 4.14	テーブル管理のイメージ図	82
図 4.15	モデル選択、入力値の設定のイメージ図	83
図 4.16	計算結果のイメージ図	84
図 4.17	アプリケーション設計思想のMVVM（Model View ViewModel）の概念 図	86
図 4.18	MVVMに準拠したGUIのフレームワークWPF（Windows Presentation Foundation）を用いた画面作成例	86
図 4.19	放射線健康リスクのクラス図の例	87
図 5.1	生命表テーブル	90
図 5.2	人口分布テーブル	90
図 5.3	がん罹患テーブル	91
図 5.4	がん死亡テーブル	92
図 5.5	モデル・パラメータテーブル	93
図 5.6	生活習慣テーブル	94
図 5.7	5年生存率テーブル	94

事業の概要

本事業では、令和4年度に実施した調査（国内外の主要な既存コード及び疫学研究に関する調査）²に基づいて、放射線被ばくに伴うがんリスクを予測するための計算コードの開発に必要となる基本的な概念設計を検討する。令和6年度以降の事業で今年度（令和5年度）の検討結果をベースに柔軟性をもったコード開発が可能となるよう配慮する。今年度の具体的な実施内容は、（1）コードの活用法の調査、（2）コードの開発工程の検討、（3）コードの概念設計の検討、（4）データベース整備、（5）国内外の情報収集、（6）検討委員会の設置である。

² 原子力規制委員会 HP 参照 (<https://www.nra.go.jp/data/000447891.pdf>)

1. はじめに

1.1. 目的

放射線被ばくに伴うがんリスクの定量的な予測は、放射線安全や原子力災害に関する防護の判断等における主要な根拠の一つである。中でも、緊急時において、小児や妊婦、高齢者等、特定の集団に対する防護措置を考える場合には、当該集団の属性に基づいて放射線被ばくに伴うがんリスクを精緻に予測する必要があるが、我が国においては、放射線防護を目的とした汎用のがんリスク評価コード（以下、コード）が整備されておらず、最新の科学的な知見に基づき、必要な情報を十分に提供できていないのが現状である。原子力規制委員会の安全研究プロジェクト（放射線防護のための線量及び健康リスク評価の精度向上に関する研究）は令和4年度より開始したものであり、これまでに、国内外の主要な既存コード及び疫学研究に関する調査が行われ、放射線防護を目的としたリスク予測のあり方等に係る予備的な検討が行われてきた。令和5年度においては、令和4年度の委託業務成果³に基づいて、我が国として整備すべきコードの開発に必要となる基本的な概念設計を行うことで、次年度以降のコード開発に資することを目的とする。

1.2. 本報告書の記載内容

1.1節に記載した目的のもと、本報告書では、以下の章においてそれぞれの実施結果を記載する。第2章では、コードの活用法に関する調査結果を記載する。第3章では、コードの開発工程に関する検討結果を記載する。第4章では、コードの概念設計に関する検討結果を記載する。第5章では、データベースの整備に関する検討結果を記載する。第6章では、研究に必要な国内外の情報収集の結果を記載する。第7章では、検討委員会の設置及び開催実績として委員名簿と議事概要を記載する。第8章では、各章で記載した調査結果、検討結果をまとめる。

³ 原子力規制委員会 HP 参照 (<https://www.nra.go.jp/data/000447891.pdf>)

2. コードの活用法に関する調査

2.1. 調査概要

コードの概念設計に着手する前に、コードの活用法を明確にする必要がある。そこで本章では、放射線安全や原子力災害に関する防護に携わる者にヒアリングを行い、コード利用者の詳細なニーズを把握し、整理した。

ヒアリング対象者の所属として、国/地方自治体（原子力防災担当者）、指定公共機関（日本原子力研究開発機構、量子科学技術研究開発機構）、大学とした。本ヒアリングは、様々な状況下でのコードの活用法やニーズを把握するため、各々のヒアリングの観点から聞き取り内容を明確にし、事前にヒアリング対象者に聞き取り内容を送付した。本事業のヒアリング対象者とヒアリング日時・場所の一覧を表 2.1に示す。本章では、コードの活用法に関してヒアリング調査で得られた重要な点を示し、議事録を付録1に示す。

表 2.1 ヒアリング対象者とヒアリング日時の一覧

ヒアリングの観点	氏名	所属	ヒアリング日時・場所
原子力災害時の医療従事者の立場でのリスクコミュニケーション	坪倉 正治先生	福島県立医科大学・教授	2023年8月2日 ウェブ
原子力災害時のリスクコミュニケーション	関谷 直也先生	東京大学・教授	2023年8月23日 東京大学
原子力災害時の地域防災対応	片寄 久巳先生	元福島県原子力安全対策課・主幹	2023年8月4日 福島市内
放射線防護教育	飯本 武志先生	東京大学・教授	2023年8月18日 ウェブ
原子力災害医療研修	富永 隆子先生	量子科学技術研究開発機構・次長	2023年10月12日 放射線医学総合研究所
原子力防災研修	伊藤 集通先生 大平 智章先生	日本原子力研究開発機構 グループリーダー 日本原子力研究開発機構 技術副主幹	2023年10月17日 原子力緊急時支援・研修センターとウェブの併用

2.2. 調査結果

2.2.1. 原子力災害時の医療従事者の立場でのリスクコミュニケーションの観点から

① 住民とのリスクコミュニケーションにおける放射線健康リスクに関する情報の役割について

- 東京電力福島第一原子力発電所事故の経験を踏まえると、住民にとっては、放射線健康リスクに係る定量的な情報のように科学的な事実、知見よりも、現実的な日常生活における対処方法に関するような具体的な話のほうが役立つ。
- 住民が欲しい情報は、リスクの絶対値の評価よりもリスクを下げる方法に関するもの

のである。

- 生活習慣等とのリスク比較に関する情報は、一部の属性の人々（理系の方々）には役立つが、多くの場合に有用ではない。特に、事故直後の状況において、生活習慣等とのリスク比較を行っても、住民は直接関心のあること以外の話を持ち出され、はぐらかされているように感じ、住民感情の火に油を注ぐだけである。ただし、中期以降において、有用かもしれない。
- リスク比較に用いる情報は、同種のリスク（過去の放射線被ばくに伴うリスク）が良い。

②放射線健康リスクに関する情報は原子力災害対策の実効性向上に役立つか

- レベル3PRA⁴で得られるような情報をもとに、地域の一般住民ではなく、大方針を最終決定するようなレベルの人が情報の整理をしておくことは、防災対策としては有効なのではないか（例えば、どのくらいの放出量であれば、どの場所で、どのくらいの被ばく量やリスクになるか。そのリスクは、避難のリスクと比べてどうか等。）

③その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- 放射線健康リスクに関する情報は、患者の医療被ばくに関して、医療従事者の教育を行う際に有用な情報となるのではないか。

2.2.2. 原子力災害時のリスクコミュニケーションの観点から

①原子力災害対策の実効性の向上に役立つか

- 首長の意思決定をサポートするには役立つ。
- リスクを伝える難しさがある。他のリスクと比較して低いという結果のみを示しても住民は納得しない。
- 避難したことによるリスクは定量化が難しいので、放射線リスクとの比較は難しい。

②リスクコミュニケーションにおける役割について

- 科学的に正しい情報を発信することは、短期的には難しいが、長期的には有益だと思う。
- 自主避難は個人としては正しいが、集団としては渋滞が起これ、原子力施設の近くの住人の避難が遅れるので、社会全体としては屋内退避をしてもらうことが有益だ

⁴ 確率論的リスク評価（Probabilistic Risk Assessment: PRA）とは、原子力施設等で発生するあらゆる事故を対象として、その発生頻度と発生時の影響を定量的に解析してリスクを算出し、安全性を評価する方法である。このうち、事故シーケンスによる公衆の健康影響及び経済的影響を評価する部分が”レベル3PRA”である。

とわかってもらうためにリスク情報を出すことは有益だと考える。

- 子供や妊婦のリスクを定量的に説明するには放射線健康リスク評価コードが使えるかもしれない。その際のリスク係数の妥当性は議論になる。
- 自治体が国の基準よりも過剰な基準を設定するのを抑制するためにリスク情報を提供することは有益である。
- 実動機関ではなく、災害対応が平時の任務として与えられていない学校、医療、福祉関係者へのリスク教育が有効である。
- 実動機関は任務として放射線被ばくが想定され教育訓練が用意されているが、学校・医療・福祉関係者に教育訓練がない。線量に加えてリスクの情報を提供し、自分は大丈夫かどうかを知ってもらうのは有益である。

③その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- コードは公開されていることが重要である。
- 放射線健康リスク評価コードの結果を誤用されることを前提に準備することが大切ではないか。

2.2.3. 原子力災害時の地域防災対応の観点から

①放射線健康リスクに関する情報は原子力災害対策の実効性向上に役立つか

- 事故直後はリスク評価を実施する時間が無く、初期対応に放射線健康リスク評価の結果は使えないと思う。(事故直後(1か月程度)は、リスク評価よりも原子力発電所付近のモニタリングによる状況把握、避難時のスクリーニングチームの立ち上げ、各都道府県からの応援チームの指揮、水道水の検査、農地の検査、学校の検査などが重要であった。)
- モニタリングを実施する県職員に対するリスク・インフォームド・コンセントに関して、普段から放射線業務に従事している人(例:モニタリング要員等)であれば、理解できる可能性はある。ただし、緊急時には普段放射線と関係が無い人も召集されモニタリングに従事する。そういった人たちには、リスクを説明しても、かえって不安に思うだけかもしれない。
- 緊急時の被ばく管理は線量で行われ、その説明にリスクは入らない(例えば、線量限度に近づきベルが鳴ったら引き上げてくださいという感じ)。ただし、それを決める意思決定者に対しては、その線量がどういうリスクに相当するかを勉強しておく必要があるかもしれない。例えば、中期対応や復旧段階等の時間的に余裕がある時には緊急時から現存被ばく状況への移行の決定をサポートする人(県で言えば、部長課長、対策本部メンバー等)に対して有効性があると思う。

- なお、2011年に契約した除染業者には、放射線除染講習会にあたりテキストを作成し、仮置き場の必要性などを説明した。被ばく関連の説明はあったとしても線量のみであった。

②リスクコミュニケーションにおける放射線健康リスクに関する情報の役割について

- 地域住民で、リスクの考え方を分かる人は少なく、行政側の判断に頼っている人が多いと感じる。

③その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- 例えば、内閣府原子力防災担当が幹部クラスでやっているような研修の中で、リスクについて説明する際に利用できるのではないかな。
- 個人個人のデータ（個人線量、行動記録、各家屋内の線量率など）は、誰もが持っているわけではないため、個人個人の詳細な線量評価は難しいのではないかな。

2.2.4. 放射線防護教育の観点から

①原子力災害への準備と対応に関して、放射線健康リスクに関する教育の在り方

- 原子力緊急時に意思決定をする人、又はそれを支援する人に対する研修に使うかどうか。現在、内閣府や原子力規制庁などが関与する研修プロジェクトが進行中であり、放射線リスクの講義や放射線健康リスク評価コードを使用した研修ができるとう良い。ただし、今のカリキュラムに入れられるかが問題である。

②原子力災害への準備と対応に関して、放射線健康リスクに関する学生への教育の在り方

- 学部生向けの講義では放射線リスク評価や、他のリスクと比較に活用できる。
- 大学院教育では、数値を計算するプロセスが重要である。どんなパラメータがリスク評価に影響するか、そのパラメータはどのように選定され、代表値が確定しているかを講義で扱うことになる。放射線健康リスク評価コードの大学院への教育版としては、簡易版ではなくて、ある程度パラメータなどが操作できるバージョンが良い。
- 例えば、生活上での被ばく線量や航空機被ばく線量に関する評価コードと連携し、それらの出力を用いて放射線健康リスクを評価できれば、学習が深まるのではないかな。

③その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- 放射線取扱主任者、大学の放射線業務従事者教育に使える提案があると良い。
- 医療系の授業では放射線教育が強化されているので、薬学や看護学での活用が考えられる。

- 出力として不確実さの範囲をエラーバーで表現する場合、エラーバーの意味が誤解されないように、出力の見せ方には注意が必要である。
- 放射線健康リスク評価コードの入力値として空間線量率や食品中濃度を用いるのは賛成である。
- この放射線健康リスク評価コードの開発を学会等で周知しておくことが大切である。
- 低線量被ばくによるリスクが独り歩きしないために、放射線健康リスク評価コードを理解して使ってもらうための解説書や講義が必要である。

2.2.5. 原子力災害医療研修の観点から

①原子力災害時の医療及びその研修に役立つか

- コードを用いて計算することよりも、リスクの出力結果の方が重要。つまり、出力値が何を意味しているか、出力値の解釈が重要である。
- 原子力災害医療研修の講義は1テーマ20分のため、コードに関する説明を入れる余地がほとんどない。
- リスクコミュニケーションにおいて、がんリスクの知識としてリスクの数値を知っている方が良い。ただし、安心と安全の両面から説明できないとその数値には意味がない。

②その他の使い道

- 事故後から長期にわたる医療的なフォローアップについて、健康リスク評価に対する需要は無い。まずフォローアップに従事する人と研修受講者が異なり、研修ニーズが無い。
- がんリスク以外のリスク評価コードを作成した場合、臨床の症状と計算で出力された症状が合っているかに使える可能性がある。ただし、入力すべきデータ（線量、被ばく時期、血液採取時期等）を入手できるかが非常に難しい。

③その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- 住民は事故直後においては現状が危険かどうかを知りたい、長期的には将来どうなるかが知りたいと考えていると感じる。
- コードを原子力災害に活用するには、防護措置を取った場合と取らない場合にリスクがどの程度異なるかを示すのに利用できるのではないかと。被ばくした人と被ばくしていない人との比較は、被ばくした人が値としては高くなるので、説明が難しいと感じる。
- コードの利用に関して、アクセスしやすいスマホで利用できると良い。そのためには、入力項目の数を制限することが重要。行動調査とリンクさせることも重要かもしれない。

- 甲状腺がんのリスク評価には使える可能性がある。安定ヨウ素剤投与に関して、40歳以上は不要であり、検査は未成年が対象となる根拠として、リスク評価情報が使えるのではないかと。

2.2.6. 原子力防災研修の観点から

①原子力災害対策業務に従事する国・自治体等職員への研修に役立つか

- 中核人材研修の参加者（機能班長、課長、局長など）は受動的な立場であり、国が出力を準備すると認識しており、国から情報を提供されたら検討する程度である。しかし、国、内閣府側からも積極的にリスクに関する情報を出すという動向は現在のところ見られていない。
- 実務人材研修の参加者（道府県、防災要員など）は、コードの結果を持っていても、その出力結果に責任を持っていないため、使いづらい。
- 防災業務に携わる人の線量限度は事前の協定で決まっており、それを決める際に、リスクに基づくのではなく、すでに運用されているものを基にしている。
- 簡易の甲状腺モニタリングは、いかに合理的に住民の負担を少なくするかが主となっており、リスクは入らない。また、住民にリスクを尋ねられても、回答内容に責任を持っていないため、その場で説明しない。
- 甲状腺モニタリングの研修はこれから作るため、その中にリスクに関する内容を入れる可能性はあるが、検討中である。研修パッケージを作って、公開することで需要が広がる可能性はある。
- 環境省の被災者生活支援チームが東京電力福島第一原子力発電所事故時にリスクの対処をしていたことより、彼らが活用する可能性がある。

②その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- 出力結果に対する責任所在の問題を除けば、リスクコミュニケーションに本放射線健康リスク評価コードが使える可能性がある。
- 出力結果に対する責任所在が難しいため、コードを利用した結果が国や論文等で公認されたものがあると良い（例えば、環境省の放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料⁵）。リスクコミュニケーションの際には、その公認された資料を引用しながら説明することが考えられる。
- コードを作成して、どういったメッセージがあるのかをまとめておくことが重要である。

⁵ 環境省 HP 参照 (<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/r4kisoshiryo/r4kisoshiryohtml.html>)

2.3. まとめ

7名の有識者のヒアリングから得られたコードに対する要望あるいは評価を以下にまとめる。

①意思決定者又はそれを支援する者に対するリスク情報の提供

意思決定者又はそれを支援する者に対する事前の研修として放射線健康リスク評価コードを活用することで、リスクリテラシーが向上し、意思決定のサポートにつながる事が期待される。研修項目として新たに追加する場合は、既存項目との調整が必要である。

②初動対応者以外へのリスク情報の提供

普段は防災に従事していない学校・医療・介護関係者への放射線健康リスク情報の提供が有用である。

③学生への教育

学部生向けの講義では放射線リスク評価や、他のリスクとの比較に活用できる一方、大学院教育では計算のプロセスを一通り確認・操作することができ、かつ、他の既存の放射線被ばく線量評価コードと連携して、身の回りの放射線に関連付けた教育内容であれば学習が深まる。

④住民とのリスクコミュニケーション

放射線健康リスク評価コードが公開されていることに意味がある。ただし、放射線健康リスクに関する情報は必ずしも有用とは言えない。特に事故直後のコミュニケーションにおいて、住民の感情を逆なでする可能性もある。中期以降においては、対象と方法を選べば、他のリスクとの比較に用いると、有用となる可能性もある。防護措置の実施と未実施の比較に有用となる可能性がある。甲状腺がんのリスク評価には使える可能性がある。ただし、出力結果に対する責任所在が難しいため、放射線健康リスク評価コードを使用した公文書、査読付き学術論文や学会のガイドライン等があると、リスクコミュニケーション時に役立つ。

⑤研修

既存の研修では枠と時間がほとんどない。新たな研修であれば、研修項目として追加できる可能性があり、研修パッケージを作るのが良い。放射線健康リスク評価コードそのものよりも出力結果が重要である。

3. コードの開発工程に関する検討

本章では、本事業で開発するコードの開発フロー（コードの要件定義からコード利用（コード公開、維持、管理）までの流れ（図 3.1））に基づいて開発工程を検討し、表 3.1 のように整理した。開発工程は、安全研究プロジェクトの5ヵ年計画（図 3.2）の各年度のステップに従って検討した。なお、本章は図 3.2に示したR5年度（5ヵ年計画の2年目）内の“評価コード開発・概念設計”に該当する。本章では、概念設計から利用までの工程を細分化し、各工程で検討すべき項目や文書化すべき技術情報資料を「取り組むべき事項」として、また、それらを検討する際、また資料を作成する際に考慮や注意が必要な点について「考慮すべき点・注意すべき点」としてまとめた。

開発工程の細分化に関して、内部被ばく線量評価コード（Internal Dose Calculation Code, IDCC）（日本原子力研究開発機構, 2010）を参考とした（表 3.1）。開発工程を作成するにあたり、IDCCの開発工程で示されていた重複部（概念設計という単語が2回表記される点）を修正し、本コードの開発に必要な事項（リスクモデルや不確かさ評価に関連する事項）を追加した。

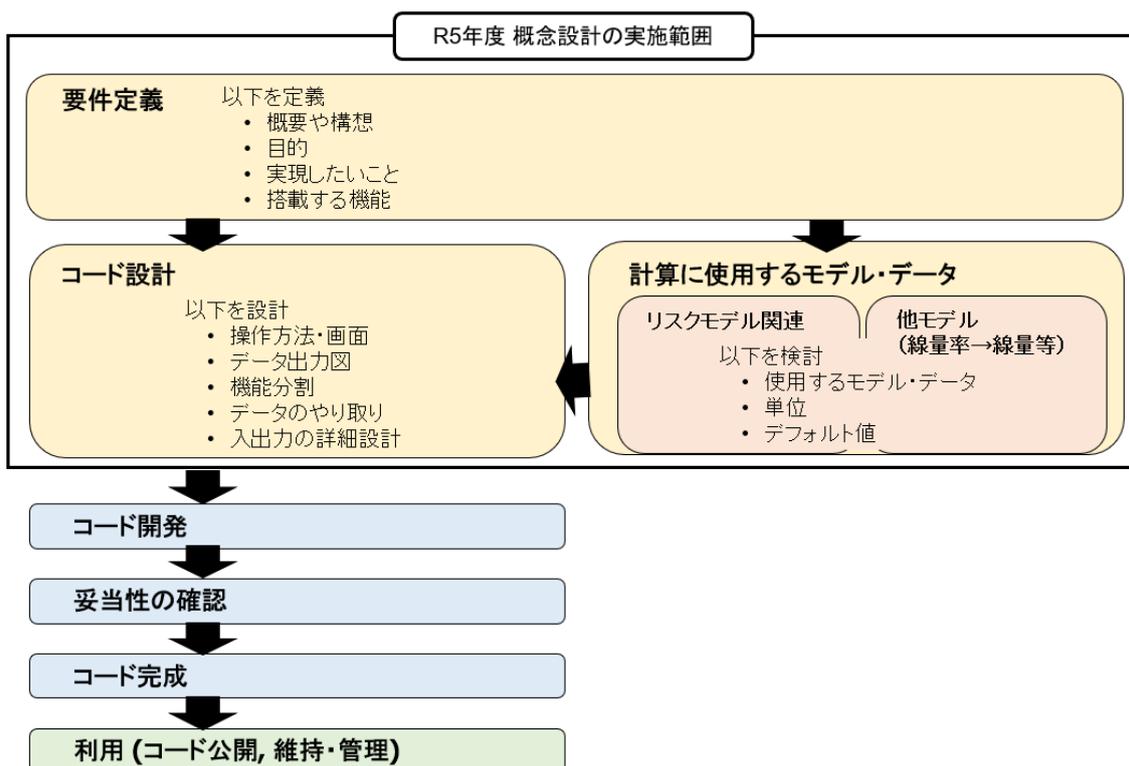


図 3.1 本コードの開発フロー

行程表（2）放射線健康リスク評価コードの開発

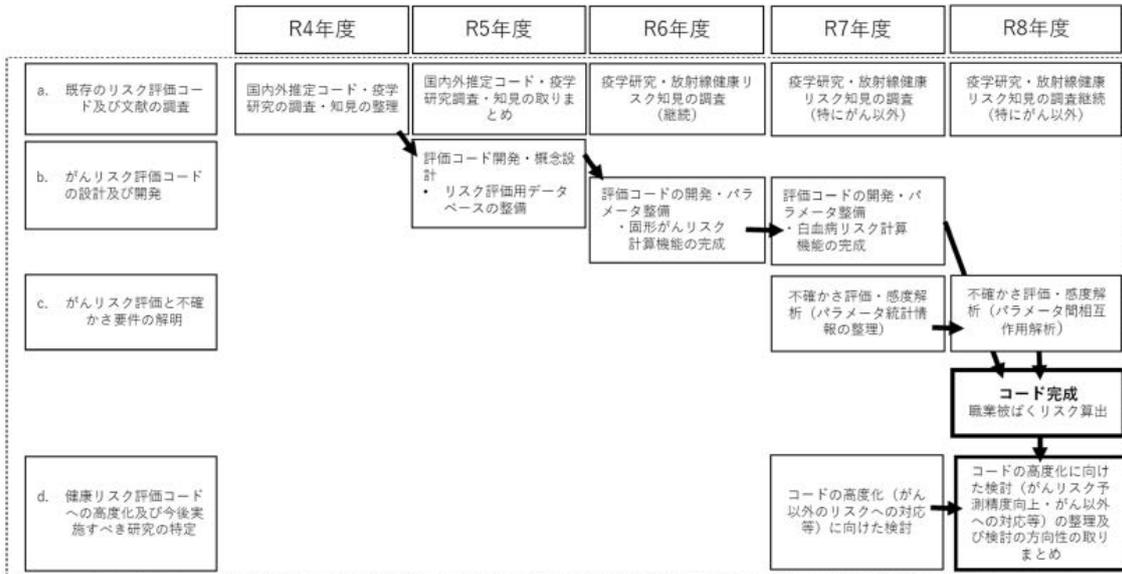


図 3.2 開発工程の範囲
(原子力規制委員会, 2022)⁶

⁶ 原子力規制委員会 HP 参照 (<https://www.nra.go.jp/data/000442902.pdf>)

表 3.1 本事業での開発工程

工程	本事業の開発工程	IDCCの開発工程* (参考)
1. 概念設計	A. 要件定義	■ 概念設計
	(1A-1) 想定用途、想定利用者層	・ 前提仕様
	(1A-2) 基本計算項目	- 想定用途
	(1A-3) 評価項目	- 基本計算項目
	(1A-4) コードを構成するモデル、データ (仕様のみ)	- 評価項目
	(1A-5) 運用形態	- コードを構成するモデル、データ
	(1A-6) 開発環境・言語	・ モデルの概要、構造
	B. 計算に使用するモデル・データ (詳細設計)	・ 既存コードの調査
	(1B-1) データ収集・整理	・ 概念設計
	(1B-2) モデル選定	- システムの概念構成
	(1B-3) データの統計処理	- 利用者層の想定 (コード公開、 運用形態含む)
	C. コード設計 (外部・内部設計)	- モデル改定への対応
	(1C-1) 入出力の設計	- ユーザインターフェース
	(1C-2) ユーザインターフェース	■ 運用形態 (デスクトップ or Web)
(1C-3) システム内部の動作	■ 開発環境	
(1C-4) コード機能の検証方法の検討		
2. 開発	A. コード開発	■ コード開発
	(2A-1) 固形がんに関するコード開発	
	(2A-2) 白血病に関するコード開発	
	B. コード機能の検証	■ 妥当性の確認
	(2B-1) 固形がんリスクコード全体の検証	
	(2B-2) 白血病リスクコード全体の検証	
	C. ベータ版の配布	
	D. コードの高度化に向けた検討	
	(2D-1) がん以外のリスクへの対応	
	(2D-2) がんリスク予測精度向上や機能の 拡張	
3. 利用	A. がんリスク評価と不確かさ要因の解明	■ 維持・管理方法
	(3A-1) リスクモデルに対する感度解析	
	(3A-2) リスクの不確かさ解析	
	B. 公開・公開後の一般利用	
	(3B-1) 著作権の検討	
	(3B-2) コード配布	
	C. 維持・管理方法	
	(3C-1) コード更新・履歴管理	
(3C-2) ユーザサポート体制の検討		

* IDCCの開発工程はH21年度報告書(日本原子力研究開発機構, 2010)に該当する章、節、項タイトルをそのまま記載。

3.1. 開発工程全体において取り組むべき事項及び注意点

始めに、開発工程全体に共通して取り組むべき事項、考慮すべき点・注意すべき点について記載する。

<取り組むべき事項>

- 要求される要件や機能を実現するうえで複雑なコーディングが予想される部分や標準では準備されていないオブジェクトが必要となる場合に関しては、その都度簡単なプログラムやオブジェクトを作成して実装が可能かどうかを検証する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 各工程で取り組むべき事項を順に実施し、工程での不具合や問題が発生した場合、その理由と変更点を文書に残す。
- コードの用途、開発項目や開発プロセスについて、コード開発関係者と情報を共有する。

3.2. 概念設計段階において取り組むべき事項及び注意点

3.2.1. 要件定義

(R5年度(5ヵ年計画の2年目))

要件定義とは、コードの開発目的や機能、利用者のニーズ、開発の範囲など、コードを完成させるために必要な要素を1つ1つ定めていくことである。それによって、関係者間(発注側と開発側)でコードの完成イメージを共有することが可能となる。

そのため、始めにコードの想定用途と想定利用者を検討した。その後、想定用途を満たすためにどういった計算項目、評価項目、データ・モデルが必要であるかを検討した。さらに、コードの配布形態、開発する環境を検討した。以下では、これらに関して細分化し、表 3.1に記載した項目に対して取り組むべき事項と考慮すべき点・注意すべき点をまとめた。

(1) 想定用途、利用者の区分の検討(1A-1)

<取り組むべき事項>

- 既存コードの想定用途や利用者を調査する。
- 本コードの開発目的に沿った有識者へのヒアリングの結果等より、用途と利用者区分を決定し、それぞれの一覧を作成する。
- 用途と利用者区分を決定した後、区分ごとに利用できる機能や操作の範囲を検討し、その実装方法を考案する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- ヒアリング等を通じて利用想定者のニーズを把握し、想定用途が十分にそのニーズを満足するかに留意する。
- 本来のコードの目的を見失わないように、想定用途の範囲に留意する。
- 利用者のコードの利用範囲（アクセス権限）は、利用者の習熟度⁷と役割を考慮する。
- R6年度（5ヵ年計画の3年目）は、決定論的手法（各モデルのパラメータの推定値を利用した点推定値を評価する手法）のコードを開発する計画であることに留意する。
- R7年度（5ヵ年計画の4年目）から、確率論的手法（各モデルのパラメータの不確かさを考慮した手法）のコードを開発し、確率論的解析（不確かさ評価）と感度解析⁸を実施する計画であることに留意する。
- R7年度（5ヵ年計画の4年目）以降のがん以外のリスク評価を見据える。

(2) 想定用途に基づく基本計算項目の検討（1A-2）

<取り組むべき事項>

- 想定用途ごとに基本計算項目（「〇〇から△△を求める」のような表記）を決定する。
- 基本計算項目ごとに必要となる変数や定数について、ユーザが入力する値とコード内に予め整備しておく値に分けて整理する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 基本計算項目が想定用途を十分に満足するかに留意する。

(3) 想定用途に基づく評価項目の検討（1A-3）

<取り組むべき事項>

- 想定用途を満たすために必要な評価項目を検討する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 評価項目が想定用途を十分に満足するかに留意する。
- R7年度（5ヵ年計画の4年目）から、確率論的解析、感度解析を実施することに留意する。

(4) コードを構成するモデル、データの調査（1A-4）

<取り組むべき事項>

⁷ 本報告書では、放射線防護に係る専門性の度合いを意味する。

⁸ 5ヵ年計画では、本コードを利用して不確かさ評価・感度解析を実施する計画となっている。本コードには不確かさ評価を行う機能を設けるが、感度解析を実施する機能を有しない。そのため、感度解析を実施する際には、本コードの出力結果を用いて、別で実施することとなる。

- 既存モデルや利用するデータの調査結果より、利用可能なモデル、データの候補を挙げる。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- モデルやデータを引用する場合、引用元を見失わないように留意する。
- モデルを引用する場合、そのモデルの利用限界（線量入力値の上下限值など）に留意する。
- モデルとデータを用いた結果が、想定用途に合うかに留意する。

(5) 想定用途に基づく運用形態（デスクトップアプリ or Web 等）の調査・検討（1A-5）

<取り組むべき事項>

- 既存コードの用途と利用形態の調査結果や想定利用者へのヒアリング調査を参考とし、上記の(1)で検討した想定用途と想定利用者に対して使いやすい運用形態を検討する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 想定利用者の想定利用場所を考慮する。
- 運用形態の違いによる開発コスト（期間、予算等）を考慮する。
- 配布、保守・管理についても考慮する。

(6) 想定用途や運用形態に適した開発言語・環境の調査・検討（1A-6）

<取り組むべき事項>

- 上記の(5)で示した運用形態ごとに、その開発に適した言語の候補を挙げる。
- 開発言語ごとに、言語としての特徴（主な開発用途、対応 OS、アプリケーション開発言語としての評価）、開発段階での特徴（開発環境、別途開発にかかる費用、ライブラリ（グラフ描画、関数・統計）、ソース量、文法の難易度、GUI、ライセンス）、運用段階での特徴（動作環境、動作環境のライセンス、処理速度、配布の容易さ、コードの安全性、バージョン依存性、保守の単位）の一覧表を作成する。
- ユーザがコードを使用する際に必要な動作環境（利用環境）についても上記と同様に検討する。
- 使用するライブラリや使用するデータベースを管理するソフト（以下“データベースシステム”と呼ぶ。これにはMicrosoft社のMicrosoft Accessなどが含まれる）についても上記と同様に検討する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 開発言語・環境は想定用途、運用形態を十分に満足するかに留意する。

- コード開発と配布に必要なライセンスに留意する。
- 本コードのメンテナンス・更新の容易さを考慮する。
- 本コードの開発コストを考慮する。
- 本コードで満たすべき計算速度を考慮する。
- 開発者以外のユーザによるモデル変更が可能なコード体系を考慮する。
- 開発言語の調査は、開発者以外のユーザによるモデル変更の可能性を踏まえ、言語の可読性を高め、コード内で共通した作法（変数やオブジェクトの命名規約やコーディング作法）になるように留意する。
- 配布、保守・管理についても考慮する。

3.2.2. 計算に使用するモデル・データ

(R5年度（5ヵ年計画の2年目）)

モデルやデータの選定は、コード開発のコアとなる部分で、開発するコードの特徴を決定づける工程である。ここでは、3.2.1(4)に示した事項に関して、さらに詳細に検討した。具体的には、必要なデータ収集と整理、本コードで利用するモデルの選定、データの統計処理方法の検討が含まれる。

(1) がん死亡率等の必要データ収集・整理（1B-1）

<取り組むべき事項>

- 予めコード内に整備しておく生命表⁹、がん罹患率・死亡率、人口分布（年齢構成）のデータを取得する。
- 取得したデータに対して、単位や入力フォーマットを検討する。
- 今後のデータ更新に伴い、ダウンロード先のデータフォーマットが変更された時の対応を検討する。
- 整備しておくデータを年齢や地域に対してどこまで細分化するかを検討する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 収集したデータの「年度」を整理し、入力画面で選択できるようにすることを想定しておく。
- 人口データなどは1年ごとに更新されることを考慮する。
- データのフォーマットが将来変更されることを考慮する。

(2) モデル選定（観測値→臓器別吸収線量の換算やリスクモデルに関わるパラメータ

⁹ 特定の年齢層・性別に対して、死亡率（各年齢での1年間に死ぬ確率）や平均余命を示す表である。

(DDREF¹⁰等)の決定など) (1B-2)

<取り組むべき事項>

- デフォルトとして設定しておくモデルと他に選択可能なモデルを選定し、各モデルの必要なパラメータを整理する。R6年度(5ヵ年計画の3年目)は決定論的手法に備えて各モデルのパラメータの推定値を整備する。R7年度(5ヵ年計画の4年目)は確率論的手法に備えて各モデルのパラメータを不確かさも含めて整備する。
- ユーザが変更できる範囲を整理する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 使用する単位に留意する。
- EAR・ERRモデルが更新されることを考慮する。
- EAR・ERRモデルのパラメータが更新されることを考慮する。
- ユーザがモデルを変更する際にエラーが生じにくい設計とし、開発者が想定しない計算式とならないように留意する。

(3) データの統計処理の検討 (EPICURE (Preston et al., 1993)を利用した EAR・ERR モデルのパラメータ等の不確かさ範囲の予備的検討等) (1B-3)

<取り組むべき事項>

- 確率論的手法に備えて不確かさを考慮するパラメータを検討し、その不確かさの範囲と分布を検討する。
- 不確かさ解析に必要な共分散行列¹¹を修正可能な設計とする。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- R7年度(5ヵ年計画の4年目)からの確率論的解析に備えて、不確かさのあるパラメータとその範囲・分布を考慮する。

3.2.3. コード設計 (外部・内部設計)

(R5年度(5ヵ年計画の2年目))

コード設計は、本コード開発において基礎となる部分の概念を設計し、発注者や想定利用者からのヒアリングを基に、ユーザ視点でコード全体の設計を行う工程である。ここでは、3.2.1節と3.2.2節で検討した項目を基に進めていく。

¹⁰ 線量・線量率効果係数 (dose and dose rate effectiveness factor)。放射線がんリスクが低線量・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同じ累積線量での違いを定量化したもので、放射線防護上、ICRPが定めた係数。

¹¹ 共分散行列とは、複数の確率変数の分散と共分散をまとめた行列である。共分散とは、二つの確率変数の値がどれだけ同じ方向に変動するかを示す指標である。共分散行列の対角成分は分散であり、非対角成分は共分散である。共分散行列は、確率変数の相関や分布の形を分析するのに役立つ。

(1) 入出力の設計 (1C-1)

<取り組むべき事項>

- 想定用途を基に入力項目一覧、出力項目一覧を作成する。
- ユーザが不適切な値（開発者の意図した用途に適していない値）を入力した際の処理方法の検討を行う。
- 出力結果が負となる場合の内部処理方法と出力方法を検討する。
- R7年度（5ヵ年計画の4年目）からの確率論的手法に備えて、計算回数、乱数の処理方法を検討する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 使用する単位に留意する。
- 入出力項目が想定用途を十分に満足するかに留意する。
- 利用者が異常値を入力する可能性があることを考慮する。
- 線量を時系列で入力可能とする場合、ユーザが煩雑にならないように留意する。

(2) ユーザインターフェースの設計 (1C-2)

<取り組むべき事項>

- 入力画面と出力画面を作成する。
- 画面の遷移図を作成する（1画面に情報を集約し詳細条件は別画面で設定する並列方式、または条件設定をウィザードで1つずつ画面遷移していく直列方式）。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 利用者の入力しやすさ、分かりやすさ（入力を項目ごとにグループ分けするなど）に留意する。
- デスクトップ版とウェブ版の両方を開発した時の画面上の操作の共通化に留意する。

(3) システム内部の動作の設計 (1C-3)

<取り組むべき事項>

- リスク計算の基本フロー図を作成する。
- データベースを設計し、ER図（Entity Relationship diagram）¹²を作成する。
- 機能ごとにモジュール¹³分割した内容を記した概要設計書を作成する。

¹² データベースのテーブル（Entity）とテーブル同士の関連（Relationship）を図に表したものであり、データベースのテーブル設計に用いられる。

¹³ プログラムにおいて特定の機能を持ったひとまとまりの構成要素。

- データフロー図¹⁴を作成する。
- 物理データ¹⁵設計書（データフォーマット、単位の検討を含む）を作成する。
- シーケンス図¹⁶を作成する。
- アクティビティ図¹⁷を作成する。
- エラー処理の方法とログのフォーマットを設計する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 機能の漏れや重複が無いように留意する。
- 維持・管理のしやすさに留意する。
- 通常のアプリケーション開発や既存コードの情報を参考に、合理的なコード体系や処理方法を考慮する。例えば、ユーザインターフェースの内部処理と計算コードのプログラムの分離を考慮する。
- 5 年計画以降（R9 年度以降）にコードのバージョンアップ（改良・機能追加）が可能ないように、想定される機能の追加を容易にできることを考慮したコード体系を準備する。また、コードの設計書には、5 年計画以降の想定されるバージョンアップと今回実装するユーザによるモデル変更やパラメータや統計データの変更を分けて記載する。

(4) コード機能の検証方法の検討（1C-4）

<取り組むべき事項>

- 本コードの機能を検証（コード内の計算が正常に作動しているかを確認）するため、本コードの計算結果と比較するための文献を準備する。
- 検証方法の手順を検討し、検証結果の判断基準を検討する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- コード機能を検証するための比較対象となる計算例を再現するために必要な入力情報が全て含まれているかに留意する。

¹⁴ システムにおけるデータの流れを表した図。

¹⁵ データの型や属性、範囲を定義し、そのまま実際のプログラミングに実装できるレベルまで落とし込んだデータのこと。

¹⁶ システムの概要・仕様・処理の流れを実行される順序に沿って記載した図。

¹⁷ 連続する一連の「手続き（エラー処理などを含む）」を表現するために用い、ある事象の開始から終了までの機能を実行される順序に沿って記載した図。

3.3. 開発段階において取り組むべき事項及び注意点

3.3.1. コード開発

3.2.3節に示したコード設計をもとに、コードの詳細設計を実施する。詳細設計ではプログラミングに必要なすべての事項を決定する。機能を分割してシステムのメンテナンスがしやすいように設計し、3.2.3節で決定した入力値やデータベースからの参照値の処理を具体的にどのようにプログラミングするかを設計する。

(1) 固形がんに関するコード開発 (2A-1)

(R6年度 (5ヵ年計画の3年目)) (プログラム詳細設計書 (エラー時の処理含む) 作成～コーディング)

<取り組むべき事項>

- 固形がんに関するコード内で共通で使用できる関数 (例えば、単位変換や和暦から西暦への変換) を洗い出し、共通関数の仕様を作成する。
- モジュール、サブルーチン¹⁸ごとの詳細設計書を作成する。
- エラー項目とエラーコードの検討とエラー処理設計書を作成する。
- コーディング規約¹⁹を作成する。
- 単体テスト²⁰の仕様を作成する。
- 取扱説明書 (利用マニュアル) を作成する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- エラー発生時に、そのエラーに関する情報をユーザから開発者側への連絡しやすいように、エラー時のコード内の処理を工夫する。
- 3.2.3節のコード設計の仕様を満たすことに留意する。
- R7年度 (5ヵ年計画の4年目) から、不確かさ評価・感度解析を実施することに留意する。

(2) 白血病等の血液がんに関するコードの開発 (2A-2)

(R7年度 (5ヵ年計画の4年目)) (プログラム詳細設計書 (エラー時の処理含む) 作成～コーディング)

<取り組むべき事項>

- 血液がんリスクの計算に関して、モジュール、サブルーチンごとの詳細設計書を作成し、前年度までに作成した固形がんに関するコードの詳細設計書に追記する。

¹⁸ プログラム中で動作内容が決まっていて、繰り返し利用される 同じ作業を別プログラムとしてまとめたもの。

¹⁹ エンジニアやプログラマーが複数人で同一のタスクやプロジェクトを行う際に、ソースコードについて定めたルールで、品質を保つために必要。

²⁰ 関数単位、モジュール単位での動作確認。

- 血液がんリスクの計算に関して、エラー項目とエラーコードの検討とエラー処理設計書を作成し、前年度までに作成した固形がんに関するコードのエラー処理設計書に追記する。
- 血液がんリスクの計算に関して、単体テストの仕様を作成する。
- 血液がんリスクの計算に関して、前年度までに作成した固形がんに関するコードの取扱説明書（利用マニュアル）に追記する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- エラー発生時に、そのエラーに関する情報をユーザから開発者側への連絡しやすいように、エラー時のコード内の処理を工夫する。
- 3.2.3節のコード設計の仕様を満たすことを確認する。
- R7年度（5ヵ年計画の4年目）から、確率論的解析・感度解析を実施することに留意する。

3.3.2. コード機能の検証

本工程では、モジュール単位での動作確認を行う単体テスト、設計書通りに動作するかを確認する結合テスト²¹を実施する。単体テストでは詳細設計の確認を行い、結合テストでは基本設計との整合確認を行い、かつ、参考文献や既存の計算結果との照合を実施し、コード機能を検証する。

(1) 固形がんリスクコード全体の検証（2B-1）

（R6年度（5ヵ年計画の3年目））

<取り組むべき事項>

- テスト用の文献・入力データを準備する。
- 結合テストの仕様の作成（テストをするための要領書²²の作成）とテストを実施する。
- 計算ケース毎にモデルの引用元の論文等の結果と比較し、本コードと参考論文との差を整理する。
- モデル、パラメータ、データベースをユーザが作成、追加、修正した場合にうまく機能するか確認する（テストをするための要領書の作成とテストの実施）。

<考慮すべき点・注意すべき点>

²¹ 単体テストを終えた各モジュールを組み合わせて、意図した通りの動作や挙動になっているかを確認するテストのこと。

²² 複数のテスト条件と想定される結果を仕様としてまとめたもの。

- モジュール毎に正常に動作するかに留意する。
- コード機能の検証で使用する既存コードを再現できるように留意する。

(2) 血液がんリスクコード全体の検証 (2B-2)

(R7年度 (5ヵ年計画の4年目))

<取り組むべき事項>

- テスト用の文献・入力データを準備する。
- 血液がんリスクを計算する部分について、前年度までに作成した固形がんに関するコードの結合テストの仕様に追記する。(テスト仕様書の作成とテストの実施)
- 血液がんリスクを計算する部分について、計算ケース毎にモデルの引用元の論文等の結果と比較し、本コードと参考論文との差を整理する。
- モデル、パラメータ、データベースをユーザが作成、追加、修正した場合にうまく機能するか確認する。(テスト仕様書の作成とテストの実施)
- 血液がんリスクを評価するために追加したモジュール等に対して単体テストを実施した後、全固形がんリスクコードも含めた健康リスク評価コード全体を通したテストを実施する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 各モジュールが正常に動作するかに留意する。
- コード機能の検証で使用する既存コードを再現できるように留意する。

3.3.3. β版の配布方法の検討

β版を作成し、ユーザに配布して性能や機能性を評価してもらい、ユーザの意見や評価結果をコードの性能向上に役立てる。

<取り組むべき事項>

- 配布先の選定と配布方法を検討する。
- 利用したユーザの感想や意見を聴取してまとめ、コードにフィードバックするかどうかを検討し、その結果、追加された要件をコードに反映する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 配布するユーザ、どういった意見を伺うかを考慮する。
- どこまでの機能を有効にして、配布するかを考慮する。

3.3.4. コードの高度化に向けた検討

(R8年度 (5ヵ年計画の5年目))

モデルやコードに関する最新の情報を入手し、コードへの反映の可否を検討し、コードの高度化に資する。

(1) がん以外のリスクへの対応 (2D-1)

<取り組むべき事項>

- 放射線被ばくに由来するがん以外（白内障、循環器系疾患等）の健康リスクについての調査と本コードへの適用可能性を検討する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 放射線被ばくに伴うがん以外の健康影響に関して、国際的に十分にコンセンサスを得られているかに留意する。

(2) がんリスク予測精度向上や機能の拡張 (2D-2)

<取り組むべき事項>

- 最新の情報を収集し、本コードの精度向上が可能かどうかを検討し、可能であればコードに反映する。
- β版配布のフィードバックにより得られた意見を本コードに反映するかどうかを検討し、可能であればコードに反映する。反映した内容は報告書へ記載する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- リスク予測精度をどの程度まで向上させるかの目標を検討する。
- リスク精度を向上させる手法、機能の拡張性を検討する。

3.4. 利用段階において取り組むべき事項及び注意点

3.4.1. がんリスク評価と不確かさ要因の解明

(R8年度 (5ヵ年計画の5年目))

本工程では、感度解析や不確かさ解析を実施し、どのパラメータが最も計算結果に影響を与えるのか、および計算結果がどの程度の不確かさがあるのかを評価する。

(1) リスクモデルに対する感度解析 (3A-1)

<取り組むべき事項>

- 感度解析用の入力データの作成と計算を実施し、リスク評価の結果に影響の大きなパラメータを特定する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- パラメータ間の相互作用を考慮する。

(2) リスクの不確かさ解析 (3A-2)

<取り組むべき事項>

- リスクの不確かさ解析用の入力データの作成と計算を実施する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- 健康リスクを評価するための不確かさの指標を検討する。

3.4.2. 公開・公開後の一般利用

(R9年度以降)

開発したコードを公開するにあたり、コードの著作権に関する内容を確認する。また、コードを配布するための手続きや配布形態についても検討し、各種マニュアルを作成して実際に配布を行う。

(1) 著作権の検討 (3B-1)

<取り組むべき事項>

- 契約書への著作権の明記を行う。
- 著作権の帰属を確認する。
- 利用許諾の範囲を設定する。
- インターネット上で扱うシステムであれば、国内だけではなく国外での権利についても検討する。
- 受注者側の許可なく発注者側のみで使える許諾なのか、著作権はいくつかの権利に分かれているため、どの権利についてどのような許諾をするかを検討する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- コード利用に関する著作権に留意する。
- 再配布時の開発環境等の著作権に関わる注意事項に留意する。

(2) コード配布方法の検討 (マニュアル作成、更新時の手順書の作成等を含む) (3B-2)

<取り組むべき事項>

- インストールマニュアル、利用マニュアルを作成する。
- モデルやデータベースの更新手順マニュアルを作成する。
- インストールするバッチファイルまたはインストーラー(msi等)を作成する。
- インストーラーの動作確認を実施する。
- 利用者の専門性があることを証明する書類、どのように専門性が高いかの確認方法

を検討する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- コードの配布（インストーラの作成と配布）、モデルやデータベースの更新手順マニュアルの作成はデスクトップ版のみとし、Web版を開発する場合は実行可能なコードと利用マニュアルのみを所定のサイトに置いてコードの実行・マニュアルの閲覧が可能な状態とする。
- 必要な動作環境をマニュアルに明記する。
- 開発者の想定していない入力値によって計算された、誤った解釈を引き起こしうる結果が出回らないように留意する。
- モデルやデータが更新された場合の対応を考慮する。
- 継続的な維持・管理を考慮する。

3.4.3. 維持・管理体制の検討

(R9年度以降)

コードの管理方法についての手順を確立し、コードのバージョン管理、バグ対応、ユーザサポートを含めた管理体制を整える。

(1) コード更新・履歴管理体制の検討 (3C-1)

<取り組むべき事項>

- 公開後のシステム運用や保守を行うための設計を実施し、必要に応じて、運用・保守ツールの設定を行う。
- コード更新の手順書を作成する。
- コード更新管理用の履歴表を作成する。
- ビルド番号等によりバージョン管理を行う。
- 改善点が見つかった場合は、アップデートを実施する。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- コードの維持・管理、モデルやデータ更新のしやすさに留意する。
- いつでも任意のバージョンに戻せるように、旧バージョンのコードも保管しておく。
- OSのバージョン（Windows）が変更された場合にコードの互換性を維持する。

(2) ユーザサポート体制の検討 (3C-2)

<取り組むべき事項>

- ユーザサポートの手順書を作成する。
- 維持管理者の体制と役割分担を決める。

<考慮すべき点・注意すべき点>

- コード完成後、コードの所有者と維持管理者の体制と役割分担、予算等をあらかじめ明確にしておく必要がある。

3.5. まとめ

概念設計、開発、利用の各段階において、取り組むべき事項、考慮すべき点、注意すべき点をまとめた。なお、これらに関しては、コード作成に精通している者の確認を受けたものである。

第4章では、概念設計に関して本章でまとめた注意すべき点を考慮しながら、取り組むべき事項について検討した。

4. コードの概念設計に関する検討

本章では、概念設計にかかわる部分として、要件定義、計算に使用するモデル・データ、コード設計に関する検討結果をまとめた。まとめる際には、3章で示した取り組むべき事項に従って整理した。

4.1. 要件定義

4.1.1. 想定用途、利用者の区分の検討

(1) 既存コードの調査

本コードの想定用途を検討するにあたり、既存コードの調査を実施した。ここでは、R4年度に実施した調査(日本原子力研究開発機構, 2023)を表 4.1に示す。レベル3PRA関連のコードである、HEINPUT(外川他, 1999; 高原他, 2009, 2015)、MACCS内の健康リスク評価モデル(U.S. NRC, 2022)、Korean Specific Model(Lee et al., 2020)は主にレベル3PRAで利用するがんリスク係数(単位線量当たりの生涯がん罹患・死亡リスク)の算出が目的となっている。生涯寄与リスクを出力するコードであるRadRAT(Berrington de Gonzalez et al., 2012)、X-ray RISK(ASRT, 2023)、Blue Book Model(EPA, 2011)、JAXAのコード(JAXA, 2013)は利用目的がそれぞれ異なっており、例えば、X-ray RISKでは医療被ばく時のがんリスク評価に焦点が当てられており、JAXAのコードは宇宙飛行士に対するがんリスク評価に焦点が当てられている。原因確率を出力するコードであるIREP(Kocher et al., 2008)とProZES(Jacob et al., 2017; Ulanowski et al., 2020)は職業被ばく時のがんリスク評価を目的とするコードである。

(2) 有識者へのヒアリング

2章に示したように、利用想定者のニーズを把握するために、有識者へのヒアリングを実施した。2章に示したヒアリング結果を受けて検討した想定用途と想定利用者を表 4.2にまとめた。表 4.2は原子力災害時における緊急事態の段階を3つ(計画時、緊急時、復旧時)に区分し、さらに対象者を公衆と公衆以外(規制当局、意思決定者等)に区分し、それぞれまとめたものである。

ヒアリングの結果、計画時と復旧時に関しては意思決定者への情報提供等に役立つことが示され、緊急時にはリスク評価そのものの困難さと説明の困難さが示された。そのため、本コードは、表 4.2に示したように主に計画時と復旧時の利用が考えられ、緊急時準備計画を除いた緊急対応の利用は現時点では想定しないこととした。なお、例えば、机上訓練や防災訓練等の際に、意思決定をした後にその意思決定がどの程度妥当であったかどうかを検証するために、本コードを利用できる可能性もある。

また、想定利用者としてはリスクに関する研究者・技術者の他に、原子力災害時の防護措置の立案者や行政担当者、大学院生及び学部生が挙げられる。

表 4.1 既存コードの活用例のまとめ

コード名	開発主体	活用例
HEINPUT	日本 JAEA ¹⁾	OSCAARコードの前処理プログラム
MACCS内の健康リスク評価モデル	米国 NRC ²⁾	米国の実際の原子力発電所に対する仮想事故影響を評価 (SOARCAプロジェクト)
Korean Specific Model	韓国 MSIT ³⁾	韓国の原子力発電所の規制当局と電力会社による、放射線被ばくによる長期的な健康影響の評価
RadRAT	米国 NCI ⁴⁾	計画被ばく状況での職業被ばく、公衆被ばく、及び医療被ばくにおけるがんリスクの推定
X-ray RISK	米国 ASRT ⁵⁾	患者が自身の画像記録により、発がんリスクに関するX線リスクレポートを作成
Blue Book Model	米国 EPA ⁶⁾	連邦ガイダンス報告書第13号 (FGR-13) において、発がんリスク係数の算出
JAXAのコード	日本 JAXA ⁷⁾	放射線被ばく管理規定に対応するため、ISS搭乗宇宙飛行士に対して利用
IREP	米国 NIH ⁸⁾	電離放射線による職業被ばく後のがんに対する補償請求
ProZES	独国 BfS ⁹⁾	電離放射線による職業被ばく後のがんに対する補償請求

1) 日本原子力研究開発機構 (Japan Atomic Energy Agency: JAEA)

2) 米国原子力規制委員会 (U.S. Nuclear Regulatory Commission: NRC)

3) 韓国科学技術情報通信部 (Ministry of Science and ICT: MSIT)

4) 米国国立がん研究所 (National Cancer Institute, NCI)

5) 米国放射線技師学会 (American Society of Radiologic Technologists: ASRT)

6) 米国環境保護庁 (U.S. Environmental Protection Agency: EPA)

7) 宇宙航空研究開発機構 (Japan Aerospace Exploration Agency: JAXA)

8) 米国国立衛生研究所 (National Institutes of Health : NIH)

9) ドイツ連邦放射線防護庁 (Bundesamt für Strahlenschutz: BfS)

表 4.2 ヒアリングを受けて検討した想定用途と想定利用者

段階	ヒアリング概要	想定用途	想定利用者
対象：公衆（学生や普段は防災業務に携わらない人を含む）			
計画時 （緊急時準備計画含む）	<ul style="list-style-type: none"> 学生への教育に役立つ 普段は防災に従事していない学校・医療・介護関係者等の情報提供に役立つ。 	<ul style="list-style-type: none"> 教育現場での利用 放射線リテラシー向上と科学的合理的な判断への貢献 	<ul style="list-style-type: none"> 大学院生、学部生 普段防災業務に携わらない学校、医療、介護関係者等
緊急時 （緊急時準備計画除く）	<ul style="list-style-type: none"> 住民に対して、事故直後に他のリスクとの比較を示すのは、かえって困難が生じる。 	/	/
復旧時	<ul style="list-style-type: none"> 科学的に正しいことは長期的には認められるため有用となる。 	<ul style="list-style-type: none"> 教育現場での利用 放射線リテラシー向上と科学的合理的な判断への貢献 	<ul style="list-style-type: none"> 大学院生、学部生 普段防災業務に携わらない学校、医療、介護関係者等
対象：公衆以外（規制当局、意思決定者等）			
計画時 （緊急時準備計画含む）	<ul style="list-style-type: none"> 意思決定者等への研修等に役立つ。 コードが公開されていることに意義がある。 甲状腺がんのリスク評価には使える可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 原子力緊急事態における住民の被ばくリスクの計算を行い、初期対応及び復旧段階における意思決定等の枠組みの検討に利用 意思決定の妥当性の検証 甲状腺がんのリスク評価 研修パッケージを作成 確率論的リスク評価や安全目標を議論する際に利用 	<ul style="list-style-type: none"> リスクに関する研究者・技術者 原子力災害時の防護措置の立案者 行政担当者
緊急時 （緊急時準備計画除く）	<ul style="list-style-type: none"> 緊急時の観測値を利用したリスク評価は難しい。 個人レベルのリスク評価及び説明が困難。 	/	/
復旧時	<ul style="list-style-type: none"> 科学的に正しいことは長期的には認められるため有用となる。 意思決定者等への情報提供に役立つ。 責任所在が難しいため、国や論文等で公認されたものがあると、リスクコミュニケーション時に役立つ。 	<ul style="list-style-type: none"> 現存被ばく状況におけるリスクの評価に利用 放射線リテラシー向上と科学的合理的な判断への貢献 	<ul style="list-style-type: none"> リスクに関する研究者・技術者 原子力災害時の防護措置の立案者 行政担当者

(3) 利用者区分ごとの利用できる機能や操作の範囲の検討

図 4.1と表 4.3に、本コードの利用者層が必要とする用途を利用者の習熟度と役割に応じて整理し、表 4.4に各利用者層が利用できる範囲をまとめた。

ここで整理した各利用者層が本コードを適切に利用できるように、本コードを整備する必要がある。つまり、コードの利用者に区分を設けるため、それぞれの利用者区分で利用

できる機能も分ける必要がある。例えば、習熟度が“専門家”の場合には、ほぼすべての計算条件（詳細版）を利用することができる一方で、習熟度が“一般”の場合には特定の計算条件のみ（機能制限版）を利用することができる。利用者区分により利用できる機能を実現するためのシステム構成についての特徴を調査した。表 4.5に3種類のシステム構成について、それぞれの利点と欠点を示す。表 4.5のシステム(1)は、開発段階では単一システムとして開発し、配布時に一部の機能をロックするようにコードを変更して配布するものである。システム(2)は、一部の機能にロックをかけた状態でフルスペックバージョンを配布し、そのロックがかかった一部の機能を解除するにはパスワード等を要求するものである。

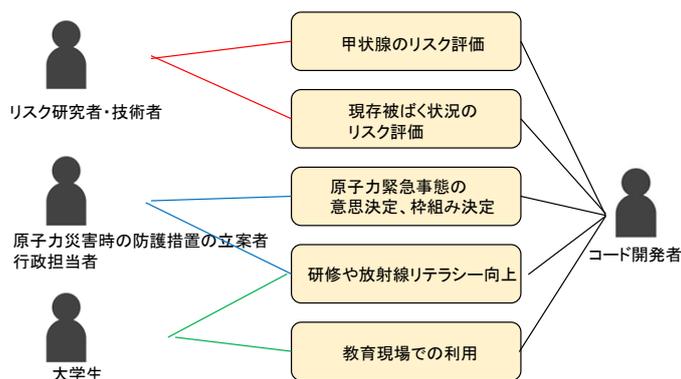


図 4.1 利用者層の想定（ユースケース図による表現）

表 4.3 利用者の定義

利用者層	習熟度	定義	利用形態
コード開発者	専門家	・コードの利用 ・保守・管理	・計算実施 ・コードモデル改訂
リスクに関する研究者・技術者	専門家	・コードの利用	・通常の計算実施 ・モデル・ライブラリ等を変更して計算実施
大学院生	専門家	・コードの利用	・通常の計算実施 ・モデル・ライブラリ等を変更して計算実施
原子力災害時の防護措置の立案者	一般	・コードの利用	・通常の計算実施
行政担当者	一般	・コードの利用	・通常の計算実施
学部学生	一般	・コードの利用	・通常の計算実施

表 4.4 各利用者の利用と変更の範囲

	コード開発者	利用者（専門家）	利用者（一般）
ライブラリ	利用・変更可能	利用・変更可能	利用可能、変更不可
モデル	利用・変更可能	利用・変更可能	利用可能、変更不可
計算コード	利用・変更可能	利用可能、変更不可	利用可能、変更不可
計算条件	全ての計算条件を設定可能	全ての計算条件を設定可能	特定の計算条件のみ利用可能
計算結果	利用可能	利用可能	利用可能
GUI	利用可能	利用可能	利用可能
コード形態案	詳細版	詳細版	機能制限版

表 4.5 コード利用者別システムの構成

システム構成	利点	欠点
利用形態別独立システム	コード利用者の習熟度別に特化したシステムとなる。	各システムの管理が煩雑になる可能性が高い。
利用形態切り替え内蔵システム(1) 配布時の機能制限切替え*	単一のシステムでの開発。	切り替えるスイッチの準備が必要。結果的に2種類の実行形式ファイルの準備が必要。
利用形態切り替え内蔵システム(2) パスワード等による機能制限 ⁺	単一のシステム提供。用途に応じた GUIのカスタマイズが可能となる。	モデルやライブラリの追加・変更する機能を整備するための開発コストが高くなる。

* 同じシステムを使用する。利用者の習熟度によって利用できる機能を切り替えてから配布する（使用できない機能の表示をオフにする）。

⁺ 同じシステムを使用する。利用形態によりパスワード等で利用できる機能の制限を切り替える。

4.1.2. 想定用途を基に基本計算項目の検討

(1) 基本計算項目

本コードの計算の流れを図 4.2 に示す。既存コードでは、入力値を線量として出力を生涯死亡・罹患リスクとする流れはほとんど同じであった。また、ヒアリング調査の結果で示された様々な想定用途に対応するためには、様々な入出力が必要となる。そこで、本コードは汎用部分と目的別部分の 2 つに分類した。汎用部分は放射線健康リスクを計算するための基幹部分であり、目的別部分はユーザのニーズに応じて変更できるように設計する部分である。

汎用部分は、既存コードの線量から生涯死亡・罹患リスクを計算する部分である。本コードの汎用部分の基本計算項目は、既存コードの計算の流れを参考にし、以下のとおりとした。

- ① 臓器吸収線量、被ばく時年齢、性別、被ばく条件を入力し、過剰リスク（ERR と EAR）を計算する。
- ② ベースラインがん死亡率・罹患率と過剰リスクを用いて、過剰がん死亡率・罹患率を計算する。
- ③ 生存率と過剰がん死亡率・罹患率を用いて、生涯寄与リスクを計算する。
- ④ 過剰リスクの重みを利用して、リスク転換²³した生涯死亡・罹患リスクを計算する。

目的別入力の部分に関して、緊急時モニタリングやレベル 3PRA など得られる観測値や推定値の入力から汎用部分の入力である臓器吸収線量を求めるためには、シナリオや仮定などの決めるべき事項²⁴が多く、本コードに全ての被ばく経路を実装するのは現実的で

²³ 一つの集団について推定されたリスク係数を異なる特性を持つ別の集団に適用すること。ほとんどのケースにおいて、元の集団は EAR と ERR を推定するために用いられた日本の原爆被爆者集団である。

²⁴ 例えば、プルーム通過時の被ばくを考える際、プルーム通過時間、プルーム中の核種組成、呼吸率、代表的個人（成人、小児など）などを決める必要がある。また、食物摂取による被ばくを考える際、その汚染された食物の流通率、調理による除去率、摂食率、代表的個人、代謝などを決める必要がある。

はない。そこで、本コードでは、実装可能な単純な被ばく経路を検討するとともに、他のモデルやコード等を利用し、その出力と各臓器の吸収線量を連結させることも想定する。

有識者へのヒアリングを受け、本コードは計画時と復旧時に使用することを重点的に想定しており、緊急時への使用の優先度は低い。そこで、緊急時の主要な被ばく経路の一つであるクラウドシャインを目的別入力部分では考慮しないこととした。一方、復旧時の主要な被ばく経路であるグラウンドシャインは目的別入力部分で考慮することとした。原子力発電所事故時において、長期的には Cs-134 と Cs-137 からの γ 線の寄与が大半を占めることから (IAEA, 2010)、核種は Cs-134 と Cs-137 を想定することとした。また、他の核種組成に対応するため、特定の核種を想定せずに単色の γ 線エネルギーを放出する仮想核種も想定することとした。本事業では、観測値の一つとして周辺線量当量率 $H^*(10)$ を用い、周辺線量当量率と曝露時間を与えて、期間内の周辺線量当量率の減衰を考慮した（または考慮しない）場合の各年の臓器別吸収線量を計算することとする。周辺線量当量率から臓器吸収線量を計算する際に必要なシナリオを表 4.6 に示す。

有識者へのヒアリングの他のコメントとして、普段は防災に従事していない学校、医療、介護関係者等の情報提供に本コードが役立つ可能性が挙げられた。そのため、他の観測値として、個人線量当量 $H_p(10)$ を想定する。なお、個人線量当量を用いて将来の線量予測は実施せずに、それまでに受けた個人線量当量を基に臓器別吸収線量を計算し、リスクを計算することを想定する。個人線量当量から臓器吸収線量を計算する際に必要なシナリオを表 4.7 に示す。

目的別出力の部分に関して、生涯死亡・罹患リスク以外に、他の分野（環境、化学、公衆衛生など）で利用されているリスク指標を出力することを想定する。本コードでは、他のリスク指標として、損失余命と障害調整生存年（Disability-adjusted Life Year, DALY）(Murray and Lopez, 1997) を評価することを想定した。損失余命は、余命の短縮を表した指標であり、発がん物質への曝露によるリスク評価などに利用されている (蒲生他, 1996)。DALY は死亡損失のみならず障害損失を定量的に捉えることのできる指標であり、公衆衛生分野などで使用されている (池田・田端, 1998)。

本コードの目的別部分の基本計算項目は以下のとおりである。

- ⑤ 目的別入力：周辺線量当量率または個人線量当量から臓器別吸収線量を計算する。
- ⑥ 目的別出力：生存率と過剰がん死亡率・罹患率を用いて、損失余命と DALY を計算する。

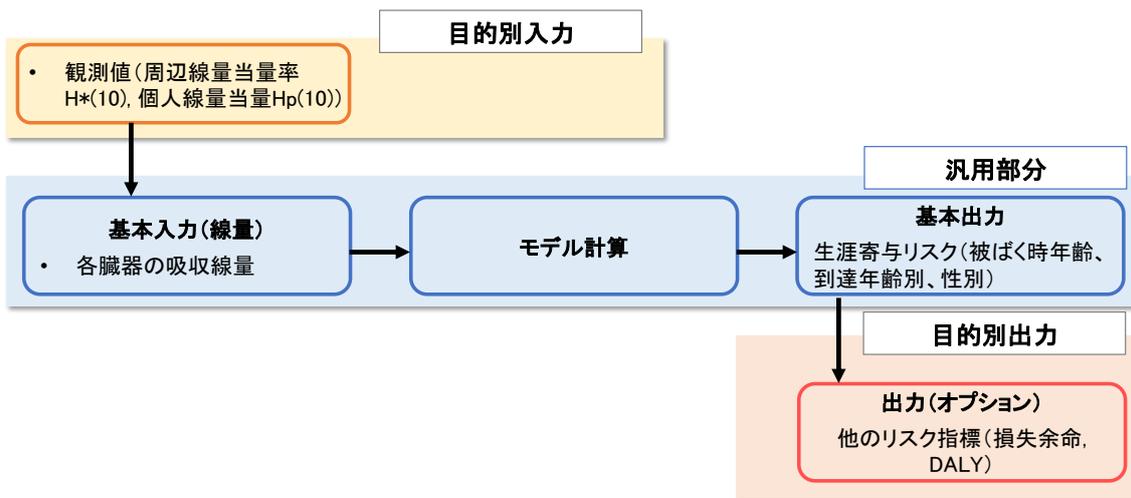


図 4.2 コードの計算の流れ

表 4.6 周辺線量当量率H*(10)から臓器吸収線量への換算時のシナリオ

被ばく経路	グラウンドシャイン
核種	Cs-134、Cs-137、特定の核種を想定せずに単色の γ 線エネルギーを放出する核種のいずれか。単色 γ 線の場合にはエネルギーはタブ選択。
環境動態	物理学的半減期、環境半減期（任意値の入力可能）
曝露時間	任意値の入力可能（～110年程度）
生活習慣	屋外A時間+木造建屋内(24-A)時間（任意のAを入力可能）

表 4.7 個人線量当量Hp(10)から臓器吸収線量への換算時のシナリオ

照射体系	ROT ¹⁾
核種	特定の核種を想定せずに単色の γ 線エネルギーを放出する核種。エネルギーはタブ選択。

¹⁾ 人体を中心軸で回転させながら、人体の側面から γ 線を照射する体系

(2) 必要となる変数や定数

4.1.2(1)に示した基本計算項目を基に、汎用部分の各計算で必要な入力項目を図 4.3 に示す。図 4.3 の入力部に示した項目が必要となる変数や定数となり、データベースはコード内に予め取り込んでおく必要があるものとなる。また、喫煙等の生活習慣（例えば、一日の喫煙本数）も入力項目となりうる。この生活習慣に関する検討は 4.2.2(1)に示す。

目的別入力において必要となる変数や定数は以下のとおりである。

- ・ 周辺線量当量率から各臓器の臓器吸収線量に換算する係数
- ・ 個人線量当量から各臓器の臓器吸収線量に換算する係数
- ・ 核種または γ 線エネルギー
- ・ 物理学的半減期（周辺線量当量率を利用する場合のみ）
- ・ 環境半減期（周辺線量当量率を利用する場合のみ）
- ・ 曝露時間（周辺線量当量率を利用する場合のみ）
- ・ 屋外滞在時間（周辺線量当量率を利用する場合のみ）

目的別出力において、汎用部分の変数に加えて必要となる変数や定数は以下のとおりである。後述（4.2.2(3)）するが、損失余命と DALY の計算は Shimada and Kai (2015)を基にした。

- ・ 症状ごとの重み
- ・ 5年生存率

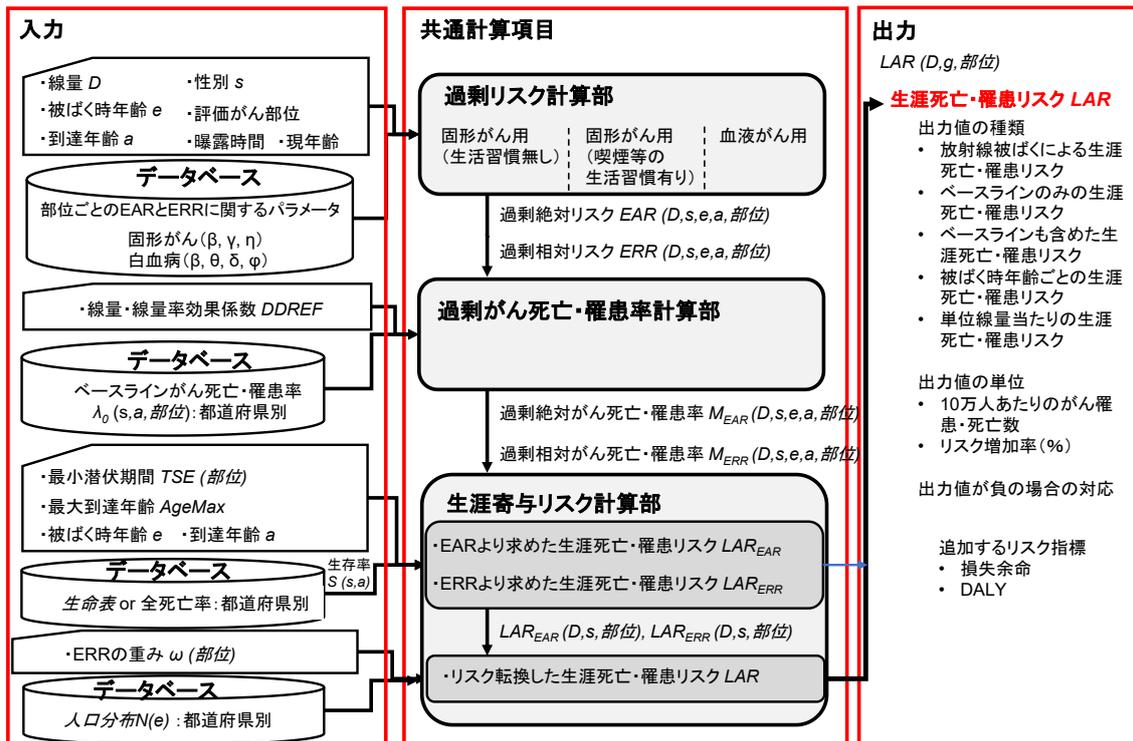


図 4.3 コードの汎用部分の計算の流れ

4.1.3. 想定用途に基づく評価項目の検討

本コードは汎用部分に関しては表 4.8の項目、目的別部分に関しては表 4.9の項目に基づいて評価を行う。

表 4.8 汎用部分の評価項目

評価分類	評価項目
評価対象者	<ul style="list-style-type: none"> 被ばく時年齢 現年齢 性別 (男性、女性)
被ばくの形態	<ul style="list-style-type: none"> 急性被ばく 慢性被ばく
その他考慮項目	<ul style="list-style-type: none"> 喫煙等の生活習慣
計算項目	<ul style="list-style-type: none"> 生涯死亡・罹患リスク
不確かさ解析	<ul style="list-style-type: none"> 平均値、中央値、標準偏差、信頼区間等

表 4.9 目的別部分の評価項目

	評価分類	評価項目
入力部	観測値	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺線量当量率 ・個人線量当量
	評価対象者	<ul style="list-style-type: none"> ・公衆（周辺線量当量率） ・作業者（個人線量当量）
	核種	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺線量当量率：Cs-134、Cs-137、単色エネルギー ・個人線量当量：単色エネルギー
	照射体系	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺線量当量率：グラウンドシャイン ・個人線量当量：ROT
	計算項目	<ul style="list-style-type: none"> ・臓器吸収線量
出力部	計算項目	<ul style="list-style-type: none"> ・損失余命、DALYなどの他のリスク指標

4.1.4. コードを構成するモデル、データの調査

本コードでは、4.1.2項に示した計算を実施するために、表 4.10と表 4.11に示したモデル、データを用いる。また、モデルに関してはいくつか候補があるため、本コードに備えておくモデルの候補を示した。データはダウンロード元候補を示した。

過剰リスクモデルに関して、LSS13 (Preston et al., 2003)とPreston et al. (2007)は令和4年度の事業で調査された既存のがんリスク評価コードで利用されていた。LSS14 (Ozasa et al., 2012)と全固形がんの罹患率 (Grant et al., 2017)はLSS13とPreston et al. (2007)よりも新しく、現状ではこれらのモデルを実装している健康リスク評価コードは見当たらない。

リスク転換に関して、令和4年度の事業に調査したコードで見ると、BEIR VIIモデル (National Research Council, 2006)とX-Ray RISKは重み付き幾何平均を利用している。一方で、ICRP、Blue Book Model、Korean Specific Model、RadRAT、JAXAのコードは重み付き算術平均を利用している。

なお、コードを構成するモデル、データの詳細な検討は4.2.2項に示す。

表 4.10 汎用部分を構成するモデル、データ

基本計算項目*	必要となるモデル	候補
① 過剰リスクの計算	過剰リスクモデル (EAR、ERR)	<ul style="list-style-type: none"> ・ (死亡率) LSS13 ・ (死亡率) LSS14 ・ (罹患率) Preston et al., (2007), Grant et al., (2017)
④ リスク転換した生涯リスクの計算	生涯寄与リスク計算 (重みづけ方法)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 重み付き算術平均 ・ 重み付き幾何平均
基本計算項目*	必要となるデータ	ダウンロード元候補
② 過剰がん死亡率・罹患率の計算	ベースラインがん死亡率・罹患率	・ 国立がん研究センター
③ 生涯寄与リスクの計算	生命表	・ e-Stat
④ リスク転換した生涯リスクの計算	人口分布	・ e-Stat

* 基本計算項目の番号は4.1.2項に示した汎用部分の番号と対応している

表 4.11 目的別部分を構成するモデル、データ

基本計算項目*	必要となるモデル・データ	候補
⑤ 周辺線量当量率→地表面濃度 地表面濃度→臓器別吸収線量 個人線量当量→空気カーマ 空気カーマ→臓器別吸収線量	<ul style="list-style-type: none"> ・ 換算係数 ・ 核種の半減期 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 周辺線量当量率 : ICRP 144 (ICRP, 2020) ・ 個人線量当量 : ICRP116 (ICRP, 2010) ・ 半減期 : ICRP 107 (ICRP, 2008)
⑥ 損失余命、DALY	<ul style="list-style-type: none"> ・ 症状ごとの重み ・ 5年生存率 	・ (Shimada and Kai, 2015)

* 基本計算項目の番号は4.1.2項に示した目的別部分の番号と対応している

4.1.5. 想定用途に基づく運用形態の調査・検討

運用形態を検討するにあたり、Web版（サーバー・クライアント型）²⁵とデスクトップ版（スタンドアロン型）²⁶の利点・欠点を表 4.12にまとめた。さらに、各形態での配布方法も検討し、配布方法別の利点・欠点を表 4.13に示す。なお、配布形態を検討する際に、本コードの配布は利用者が限定的であることと、利用者に対しては商用目的ではないため、インストール時の制限（例えば、プロダクトキーやライセンスキー等による複数端末へのインストール制限など）を行うライセンス認証システムのような機能の付加については検討しなかった。

習熟度が“専門家”の場合、過剰リスクモデル、各パラメータ、ベースラインがん死亡率などの統計データの追加や変更の可能性がある。しかしながら、Web版ではこれらの操作は非常に困難であり、ソースコードを含めた提供物のオリジナル性の保護も考慮する必要がある。そのため、ユーザによるモデル等の変更が可能であるコード開発を選択する場合は、デスクトップ版としての開発が有効である。一方で習熟度が“一般”の場合には、モデル等の変更の可能性が無いため、Web版も候補として挙がる。

コード開発において、予め想定される機能を備えておき、後から機能を制限させる方が、徐々に機能を追加していくことよりも簡易である。そのため、モデル変更等のあらゆる機能を備えたコード（詳細版）の開発を始めに行うことを想定し、本報告書ではデスクトップ版としてコード設計を行う。

コードの保守・管理の詳細はコード公開前に検討する必要があるが、ここでは運用形態や開発言語を検討する段階で検討しておくべきことを以下に示す。

- コード変更時の対応
- OS変更時の対応
- 不具合時の対応

配布後のユーザによるモデルの追加や変更時の対応として、計算モジュールの入れ替えを簡素化することや、ユーザがコード全体を再コンパイルしないことが望ましい。例えば、計算機能（例：線量からERRの計算）をクラスライブラリとして開発（DLL²⁷で提供）することが考えられる。新規作成部分のコンパイルで対象のDLLを生成し、古いものと入れ替えることによって、コード全体の再コンパイルは不要となる。

OS変更時の対応について、具体的な策は無く、その都度動作を確認する必要がある。また、正常に動作しない場合のコードの更新、再配布を検討しておく必要がある。

不具合時の対応として、モジュール又は関数単位でログを出力する構造としておくことやシステムのエラーが生じた場合にはエラーメッセージを表示することが考えられる。これらを開発元へ連絡することによって、不具合に対応できると考えられる。

²⁵ ネットワーク上に計算システムと Web サーバを配置し、ユーザが Web ブラウザによってコードにアクセスする。

²⁶ 利用者ごとに用意した PC に、予め提供側で用意したセットアッププログラムを利用して、専用のソフトウェアをインストールすることでコードを利用する。

²⁷ Dynamic Link Library(DLL)。ライブラリの一種であり、実行時にプログラムとリンクする、いわゆる動的リンクを用いたライブラリ。拡張子は.dll のファイル。

表 4.12 各運用形態の利点・欠点

	利点	欠点
Web版	<ul style="list-style-type: none"> ・コードの更新が容易 ・ユーザの動作環境に依存しない ・いかなる端末においても、ブラウザが利用でき、サーバに接続できればリスク計算が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ユーザによるモデル変更等が困難 ・維持・管理まで含めたコストが高い ・ユーザの習熟度の管理が困難
デスクトップ版	<ul style="list-style-type: none"> ・ユーザによるモデル変更等を組み込むことが容易 ・維持・管理まで含めたコストが安い ・ユーザの習熟度を管理できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・コードの更新が煩雑 ・ユーザの動作環境に依存 ・コードのセットアップ作業が必要

表 4.13 配布方法の検討

配布体系	利点	欠点
CD等のメディアでの提供	<ul style="list-style-type: none"> ・コード利用者の限定・把握が可能。 ・ネットワーク設備が不要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・提供者側において配布の都度、メディアの準備や配布のコストが必要。 ・コード改訂時に再配布の必要があり、上記配布のためのコストが必要。 ・利用者側にメディアの読み込み装置が必要
ネットワークを利用したダウンロード提供	<ul style="list-style-type: none"> ・提供者側においてコード利用者を限定・把握できる（但し、ネットワーク上で限定・把握するためのシステムが必要）。 ・アップデートに伴う再配布が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> ・提供者側においてサーバ等のコード運用のための機器や維持コストが必要。 ・ネットワーク設備（ダウンロードサーバ）が必要。
ウェブブラウザ上で直接実行	<ul style="list-style-type: none"> ・利用者側においてはセットアップ手続きが不要。 ・提供者側においてはコード改訂時の配布手続きが軽減される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・提供者側においてサーバ等のコード運用のための機器や維持コストが必要。 ・ユーザによるモデルや統計データの入れ替えが非常に難しい。 ・ネットワーク設備（Webサーバ）が必要。 ・不適切な利用を避けるために、ユーザ認証システムが必要（RadRATでは、ユーザ認証システムは無し）

4.1.6. 想定用途や運用形態に適した開発言語・環境の調査・検討

(1) 開発言語の調査

本コードの開発に適した言語を選定するために、各言語の特徴について調査した。言語としての特徴を表 4.14に、開発段階での特徴を表 4.15に、保守運用段階での特徴を表 4.16に示す。

4.1.1～4.1.5節までの検討結果を基に、本コードの開発言語に必要であると考えられる要件を以下に示す。なお、優先順位が高い要件を上位に示している。

- 4.1.1～4.1.5節までに示した要件を満たすこと；これには、単一の計算のみならず、利用者がモデルやデータを追加して計算できるような機能、不確かさを含めた評価が可能となることが必要となる。また、出力結果を見やすくするためのグラフ表示が必要となる。
- リスクを計算するまでに必要な数学・統計ライブラリが入手可能（ライセンスも考慮）であること。
- デスクトップ版から Web 版への移行がしやすいこと。
- 導入する開発環境での制作物（開発コード）に対し、著作権者（例えば、開発環境を作成した企業）から許諾を得ずに無料で配布が可能なこと。
- コード開発と配布に必要なライセンスとして、開発したコードの所有権が開発者に与えられ、かつ、バイナリ（実行ファイル）のみの配布が許諾されていること。
- 維持・管理が容易であること；維持・管理を容易にする方法の一つとして、モジュール単位で設計することが挙げられる。モジュール単位のプログラミング設計には、Fortran のような手続き型プログラミング言語よりも Python のようなオブジェクト指向言語が適している。
- コード変更に対する容易であること；つまり、ユーザによるリスクモデルの更新や計算式の入れ替えには、コード全体を再コンパイルする必要がなく、対象の関数のみを入れ替えて対応できるようにする必要がある。このような対応には、Web 版よりも DLL や API (Application Programming Interface)²⁸による対応の方が適している。
- 開発者チームの言語に対する精通度合い（開発コストの低減とバグのない安全なコード開発に影響）が高いこと。
- システムのパフォーマンスが高いこと（不確かさ解析やグラフ描写が可能であり、計算時間が短いこと）。
- 開発環境の構築コストが安価であり、コードの誤動作や不正改造等に対する安全性が高いこと。

上記の要件と調査した各コードの特徴を踏まえた結果、コードの利用体系がデスクトップ版の場合、開発用途がアプリケーション開発であり、高速な処理能力を有し、オブジェ

²⁸ DLL は機能などが入ったファイルで、プログラム本体に機能として付けたり、実行時にロードして使うのに対し、Application Programming Interface(API)は、アプリケーションをプログラミングするためのインターフェースという意味で、プログラムからコール（呼び出）して使用する。

クト指向言語でかつ、開発や再配布²⁹に関するライセンス³⁰が煩雑ではない、という理由により.NET系の開発言語(VB.NET, C#.NET)が適していると考えられる。

また、ユーザによるモデルの変更や登録外のデータベースが使用できないという条件で開発するWeb版の場合、デスクトップ版と同様の理由に加え、汎用的でメジャーな開発コードであり、デスクトップ版で使用されている同系列のASP.NETが適していると考えられる。

本報告書では、4.1.5節に示したようにデスクトップ版としてコード設計を行うため、.NET系の開発言語を想定したコード設計を検討した。

(2) ライブラリの調査

本コードの開発に必要なグラフ作成用ライブラリと関数・統計用ライブラリについて、それぞれ表 4.17と表 4.18に示す。

ライブラリに関して、開発言語を.NET系とした場合、開発や再配布に関するライセンスが煩雑ではない、という理由により、グラフ作成ライブラリとしてはScott Plotが適していると考えられる。関数・統計処理ライブラリとしては、開発や再配布に関するライセンスが煩雑ではない点と市場シェアが高いMath.NET Numericが適していると考えられる。

²⁹ ある開発環境下で作成したコードを開発者が利用者に配布する場合、“再配布”という用語が使用されるため、本報告書でも“再配布”という用語を利用する。

³⁰ 各開発環境や、ライブラリに関して、ライセンスを調査したところ、ほとんどのものでライセンスの明記や商用利用が可能であった。大きな違いとしては、利用者へのコード公開の必要性の有無、利用物（本事業で言えば、健康リスク評価コード）のコード公開の必要性の有無、改造物（利用者がコードを改良し、第三者に再配布するもの）のコード公開の必要性の有無であり、それらをまとめた。

表 4.14 言語としての特徴(1/2)

株式会社プログラム総合研究所: <https://programming-sc.com/column/column1/>を参考にして作成。

言語 (コンパイル言語) ¹⁾	主な開発用途	対応OS	アプリケーション開発言語としての評価	備考
VB.NET	<ul style="list-style-type: none"> ・アプリケーション開発 ・3Dゲーム開発 ・オフィスアプリ拡張機能開発 	Windows, Mac, Linux	◎変数のスコープ ³⁾ が操作しやすく分かりやすい。コードは簡素。Microsoft Officeとの相性良。GUIの開発が容易。	<ul style="list-style-type: none"> ・デスクトップアプリに適す ・オブジェクト指向型プログラミング
C#.NET	<ul style="list-style-type: none"> ・パソコンアプリ開発 ・Webアプリ開発 ・VR・MR²⁾開発、ゲーム開発 	Windows, Mac, Linux	◎処理が高速で開発が容易。OFFICEとの相性良。GUIの開発が容易。	<ul style="list-style-type: none"> ・デスクトップアプリに適す ・オブジェクト指向型プログラミング ・C++やJAVAがベース、開発実績：ProZES
C++	<ul style="list-style-type: none"> ・OSの開発 ・ソフトウェア開発 ・組み込みソフト開発 ・ゲーム開発 	Windows, Mac, Linux	○処理が高速で開発の難易度がやや高い。GUIを使用する場合はVisual C(有料)等が必要となる。	<ul style="list-style-type: none"> ・OS開発、産業用システム、ゲーム等の比較的規模の大きなシステム向け ・オブジェクト指向型プログラミング
RCpp	<ul style="list-style-type: none"> ・機械学習や統計解析 ・データの分析・解析 ・ビジネスアナリティクス ・ビジネスインテリジェンス 	Windows, Mac, Linux	△上級者向けだが、処理が高速で使いやすい。開発・運用ともに、環境設定、操作が煩雑。GUIは基本的に不可。	<ul style="list-style-type: none"> ・統計計算に適す、Rから呼び出すため、Rの導入、知識や操作の熟練が必要 ・手続き型プログラミング
JAVA	<ul style="list-style-type: none"> ・Androidアプリの開発 ・Webアプリケーション開発 ・ゲームの開発 ・組み込みシステムの開発 	Windows, Mac, Linux	○処理が高速で開発が容易だが、開発環境の設定が煩雑。運用にはJDKが必要。GUIの開発は比較的容易。	<ul style="list-style-type: none"> ・デスクトップアプリに適す業務システム向け ・オブジェクト指向型プログラミング
FORTRAN	<ul style="list-style-type: none"> ・科学技術計算 	Windows, Mac, Linux	△上級者向け。再利用性が低いなど開発や修正にコストがかかる。処理は高速だが、GUIが弱く一般的ではない。	<ul style="list-style-type: none"> ・OSにより開発環境が異なる ・手続き型プログラミング ・開発実績：HEINPUT(GUI無しバージョン)
Delphi	<ul style="list-style-type: none"> ・アプリケーション開発 	Windows	△処理が高速で開発が容易。マイナー言語。GUIの開発が容易。	<ul style="list-style-type: none"> ・デスクトップアプリに適す、ソースコードを別な言語に変換して利用 ・手続き型プログラミング
ASP.net	<ul style="list-style-type: none"> ・Webアプリケーション開発 	Windows, Mac, Linux	○文法がVB.NETに近く、VB.NETからの移植も容易。	<ul style="list-style-type: none"> ・Webアプリに適す ・オブジェクト指向型プログラミング

¹⁾ コンパイルとはソースコードを機械語に翻訳する作業を必要とする形式の言語で、インタプリタ言語とは、ソースコードを1行ずつ解釈・実行するタイプの言語のこと。

²⁾ VRは「仮想現実」、MRは「複合現実」、ほかに、AR「拡張現実」がある。

³⁾ ソース内で使用できる範囲であり、スコープが広いほうが変数の定義がより容易である。

表 4.14 言語としての特徴(2/2)

株式会社プログラム総合研究所: <https://programming-sc.com/column/column1/>を参考にして作成。

言語 (スクリプト言語) ¹⁾	主な用途	対応OS	アプリケーション開発言語としての評価	備考
Python	<ul style="list-style-type: none"> AI・Webアプリ開発 ゲーム開発 データ分析 解析 	Windows, Mac, Linux	○データの高度分析・解析向き。バージョン間の互換性が低い	<ul style="list-style-type: none"> AI・機械学習プログラムの開発、Webアプリのバックエンド向け スクリプト言語のため処理速度が遅い オブジェクト指向型プログラミング
Perl	<ul style="list-style-type: none"> 動的機能開発 Webサイトのサーバーサイド開発 WordPressをはじめとするCMS⁴⁾開発 	Windows, Mac, Linux	○Web版のコード開発向け、難易度中	<ul style="list-style-type: none"> Webアプリのバックエンド向け スクリプト言語のため処理速度が遅い オブジェクト指向型プログラミング
Ruby	<ul style="list-style-type: none"> ショッピングサイト制作 チャットボット⁵⁾の開発 SNSやスマホアプリの作成 	Windows, Mac, Linux	○Web版のコード開発向け、難易度低	<ul style="list-style-type: none"> Webアプリのバックエンド向け スクリプト言語のため処理速度が遅い オブジェクト指向型プログラミング
PHP	<ul style="list-style-type: none"> 動的機能開発 Webサイトのサーバーサイド開発 WordPress⁶⁾をはじめとするCMS開発 	Windows, Mac, Linux	○Web版のコード開発向け、難易度低	<ul style="list-style-type: none"> Webアプリのバックエンド向け スクリプト言語のため処理速度が遅い オブジェクト指向型プログラミング・開発実績：RadRAT, IREP

⁴⁾ CMS : (Contents Management System)の略称で、Webサイトの構築・管理・運用を行うための管理システムのこと。

⁵⁾ チャットボット : ロボット化されたチャット技術のこと。

⁶⁾ WordPress : オープンソースのブログソフトウェアで、コンテンツ管理システム としてもしばしば利用される。

表 4.15 開発段階での特徴

株式会社プログラム総合研究所: <https://programming-sc.com/column/column1/>を参考にして作成。

言語	開発環境例	別途開発にかかる費用	ライブラリ	ソース量	文法の難易度	GUI	コンパイラを含む開発環境のライセンス ¹⁾ の種類とコード公開義務			
							ライセンス名	利用者への公開	利用物の公開	改造物の公開
VB.NET	• SharpDevelop • MonoDevelop • Visual studio 等	基本無料 (SharpDevelop, MonoDevelop)、 VSは商用	豊富、 ほぼ無料	普通(以下、 これを基準とする)	簡素(以下、 これを基準とする)	容易、内包(以下、 これを基準とする)	SharpDevelop, MonoDevelopはMIT	不要	不要	不要
C#.NET	• SharpDevelop • MonoDevelop • Visual studio 等	基本無料 (SharpDevelop, MonoDevelop)、 VSは商用	豊富、 ほぼ無料	やや多い	中級者向け	容易、内包	SharpDevelop, MonoDevelopはMIT	不要	不要	不要
C++	• エディタとg++(GUIは別途必要) • RAD Studio(有料) • Eclipse • Net Beans 等	基本無料(GUI以外)、 RAD StudioやVSは商用	豊富、 ほぼ無料	多い	上級者向け	本体には機能なし、 Visual C++ (有償)には内包	EclipseはEPL(copyleft) Net BeansはGNU	不要	必要(Eclipse) 不要(Net Beans)	必要(Eclipse) 不要(Net Beans)
RCpp	• エディタとg++(GUIは別途必要) • RAD Studio(有料) • Eclipse • Net Beans 等	無料(RとRCpp)	豊富、 ほぼ無料	多い	上級者向け	RのGUI	GPL	不要	必要	必要
JAVA	• Eclipse • Net Beans • IntelliJ IDEA • JRE(私有ソフト)等	無料(Open JDK等)/ 有料(ORACLE JDK等)	豊富、 有料(JDK)	多い	上級者向け	上級者向け、 内包	EclipseはEPL(copyleft) Net BeansはGNU	不要	必要(Eclipse) 不要(Net Beans)	必要(Eclipse) 不要(Net Beans)
FORTRAN	• G95 • gFortran • Intel Fortran(有料・ 無料)等	無料(g77等)/ 有償(Intel Fortran等)	有料・無料	普通	簡素	別売のライブラリが必要	gFortran, G95はGNU	不要 (gFortran, G95)	必要 (gFortran, G95)	必要 (gFortran, G95)
Delphi	• Delphi	有償(無料版あり)	有料	普通	簡素	内包	商用ライセンス			
python	エディタ+Python	無料	豊富、 ほぼ無料	少ない	簡素	△要ライブラリ(例: Tkinter)	GNU	不要	必要	必要
Perl+HTML	スクリプト言語	無料	豊富、 ほぼ無料	やや多い	上級者向け	HTML+JavaScript等	GNU, Artistic	不要	必要	必要
php+HTML	スクリプト言語	無料	豊富、 ほぼ無料	普通	中級者向け	HTML+JavaScript等	PHP	不要	必要	必要

¹⁾ 開発環境がOpen Source License (開発コストが無料のもの)のもののみを記載。

表 4.16 保守・運用段階での特徴

言語	GUI使用時の必要な動作環境	再配布時のライセンス種類とコード公開義務				処理速度 ¹⁾	再配布 ²⁾	コードの安全性	バージョン依存	保守 ³⁾
		ライセンス名	利用者への公開	利用物の公開	改造物公開					
VB.NET	.NET Frameworkまたは .NET Core	Microsoft Reference License	不要	不要	不要	高速	○容易	安全性が高い	互換性が高い	クラス単位
C#.NET	.NET Frameworkまたは .NET Core	同上	不要	不要	不要	高速	○容易	安全性が高い	上位互換	クラス単位
C++	.NET Frameworkまたは .NET Core	同上	不要	不要	不要	高速	○容易	メモリーリークやバッファオーバーフロー ³⁾ の可能性	互換性が高い	クラス単位
RCpp	R	GNU等	不要	必要	必要	高速	△Rが必要	同上	互換性が高い	コード単位
JAVA	JRE(私有ソフト)	商用ライセンス				中速	△JREが必要	安全性が高い	互換性が高い	クラス単位
FORTRAN	別途要	商用ライセンス				高速	○容易	安全性が高い	互換性が高い	ファイル・モジュール単位
Delphi	変換後の言語に依存	商用ライセンス				高速	○容易	安全性が高い	互換性が高い	モジュール単位
python	別途要	GNU	不要	必要	必要	遅い	○容易	一般的にコードが丸見え状態	互換性が低い	モジュール単位
Perl	HTML+CSS+JavaScript等	GNU, Artistic	不要	必要	必要	遅い	Webで運用	サーバのセキュリティ設定に依存	互換性が高い	クラス・モジュール単位
Ruby	HTML+CSS+JavaScript等	Ruby, GPL	不要	必要	必要	遅い	Webで運用	サーバのセキュリティ設定に依存	互換性が高い	モジュール単位
PHP	HTML+CSS+JavaScript等	PHP	不要	必要	必要	遅い	Webで運用	サーバのセキュリティ設定に依存	互換性が高い	モジュール単位
ASP.net	.NET Frameworkまたは .NET Core	Apache	不要	不要	不要	高速	Webで運用	サーバのセキュリティ設定に依存	互換性が高い	クラス単位

¹⁾ コンパイル言語は「高速」、スクリプト言語は「遅い」に分類し、JAVAについては、起動時のライブラリアクセスにやや時間がかかるため「中速」とした。

²⁾ クラス単位とモジュール単位はファイル単位の違い：「クラス」は「メソッド（オブジェクト指向プログラミングにおいて、クラスに属しているサブルーチン）」を集めたもので、その「クラス」を集めたものが「モジュール」、FORTRANは複数のサブルーチンやファンクションを一つのファイルにまとめることができる。

³⁾ メモリーリークは、処理のため確保したメモリ領域を、プログラミング上、解放しないまま放置してしまうために起こる。メモリーリークを放置するとOSが異常停止してしまう可能性がある。バッファオーバーフローとは、プログラムが確保したメモリの領域を超えて領域外のメモリを上書きされ、意図しないコードを実行してしまう可能性があり、メモリ上に攻撃コードを送り込まれ、不正アクセスに利用されることもある。

表 4.17 グラフ作成用ライブラリー一覧

ライブラリ名	再配布時のライセンス種類とコード公開義務				主な適用言語	開発環境・プラットフォーム	ソース量	機能
	ライセンス名	利用者への公開	利用物の公開	改造物の公開				
Scott Plot	MIT	不要	不要	不要	.NET、XAML	.NET 4.6.1~ .NET Core 2.0.NET~ .NET5.0	少なめ	折れ線、棒、円、散布図等
Oxy Plot	MIT	不要	不要	不要	WPF、Windows Form、UWP、Silverlight、Windows Phone、Android、Mac、iPhone		少なめ	折れ線、棒、円、散布図、ヒートマップ
Live Charts	無料(MIT)・商用	不要	不要	不要	.NET、XAML	WPF、Windows Form	少なめ	折れ線、棒、円、散布図等
MS chart	MS-PL	不要	不要	不要	.NET、XAML	WPF、.Net 3.5 SP1~	多め	
ZedGraph	LGPL	不要	不要	必要	.NET	WPF、Windows Form	少なめ	
Espress	商用				Java	Java 8 以降	不明	
JFreeChart	LGPL	不要	不要	必要	Java	Java 8 以降	不明	折れ線、棒、円、散布図等
matplotlib-cpp	MIT	不要	不要	不要	C++	matplotlibcpp.h	不明	
gnuplot ¹⁾	独自ライセンス	不要	不要	不要	FORTRAN C++等	Linux、OS/2、Windows、MacOS、VMS等	やや多め	
PGPLOT	LGPL	不要	不要	必要	Perl、Ruby C++等	Linux、Windows、MacOS等	やや多め	折れ線、棒、円、散布図等
Matplotlib	BSD	不要	不要	不要	Python	-	やや多め	
GD	BSD	不要	不要	不要	Perl、C、PHP等	Perl 5.6.0以上	やや多め	
JpGraph	商用				PHP	PHP 5.1~5.6、PHP7、PHP8	不明	
pChart	GPL	不要	必要	必要	PHP		不明	

¹⁾ gnuplotはアプリケーションであるが、パイプ処理等により制御するなど、プログラム言語からの使用ケースも多いため記載している。

表 4.18 関数・統計処理ライブラリ

ライブラリ名	再配布時のライセンス種類とコード公開義務				主な適用言語	開発環境・プラットフォーム	市場シェア	機能
	ライセンス名	利用者への公開	利用物の公開	改造物の公開				
Math.NET Numeric	MIT, X11	不要	不要	不要	VB.NET、C#.NET等	クロスプラットフォーム ¹⁾	高い	数値計算・統計処理
NumSharp	Apache License 2.0	不要	不要	不要	VB.NET、C#.NET等	Windows, Linux, MacOS , (NetCore3.0以降)	不明	科学技術計算
NAG	商用ライセンス				Fortran, C, C++, JAVA等	Windows, Linux, Solaris, HP-UX ,IBM AIX, SGI IRIX, スパコン	不明	数値計算・統計解析
Boost	BSL-1.0	不要	不要	不要	C, C++	Windows(Visual C++7.1~10.0)、UNIX系環境	不明	数値計算・統計処理
Apache Commons Math 2.0	Apache License 2.0	不要	不要	不要	JAVA	JAVAプラットフォーム	不明	数値計算・統計処理
Numpy.NET	修正BSD	不要	不要	不要	VB.NET、C#.NET等	Linux, MacOS, (NetCore3.0以降)	不明	Numpyの.NET版
Numpy	修正BSD	ユーザが環境を構築するため配布・再配布は不要	Python			クロスプラットフォーム	高い	科学技術計算
Pandas	BSD	ユーザが環境を構築するため配布・再配布は不要			Python	クロスプラットフォーム	高い	データ解析
PDL	LGPL	不要	不要	必要	Perl	クロスプラットフォーム	不明	統計処理
PECL stats	PHP	不要	必要	必要	PHP	クロスプラットフォーム	不明	統計処理

¹⁾クロスプラットフォーム（英: cross-platform）とは、異なるプラットフォーム（例えばPC/AT互換機とMacintosh、あるいはWindows・macOS・FreeBSD・Linuxなどのように、仕様が全く異なる機械（ハードウェア）またはオペレーティングシステム）上で、同じ仕様のものを動かすことが出来るプログラム（ソフトウェア）のこと。

(3) プログラム開発環境の検討

ここでは、プログラム開発環境の検討を行う。第一前提として、(1)の開発言語の調査で選定した言語が使用できる必要がある。また、他の要件として以下が考えられる。

- 開発環境の構築コストが低いこと
- 開発環境の構築が簡単で動作が軽いこと
- Windows 等のバージョン間での互換性が高いこと
- 開発環境の環境メンテナンスの容易さ
- 制作物の商用目的の使用に必要なライセンスがフリーであり、著作権に関する手続きが煩雑でないこと
- 可能であれば、プラットフォーム依存度が低いこと
- コード補完、デバッグなどのプログラミングが可能な統合開発環境があること
- 科学技術計算に用いることができる数値計算ライブラリがあること
- グラフィカルユーザインターフェースの開発ができること
- 計算結果を図表に表示できるライブラリがあること

なお、開発言語を利用することができる開発環境であれば、異なった開発環境に変わった時でも概ね問題なく動作する。そのため、ここでは特定の開発環境を絞らず、コード作成者や維持・管理者に委ねることが良いと考えられる。以下には、.NET開発環境で使用するフレームワークの例として、.NET MAUI、XAML、Blazorについて調査した結果を示す。

.NET Multi-Platform App UI (.NET MAUI) は、C# と XAML を使用して、ネイティブのモバイルアプリやデスクトップアプリを作成するためのクロスプラットフォームフレームワークである。.NET MAUI を使用すると、1つの共有コードベースから Android、iOS、macOS、Windows で実行できるアプリを開発できる（クロスプラットフォームフレームワーク）。

各プラットフォームで統一されたユーザインターフェース（UI）を記述する方法として、.NET MAUIでは基本的にXAMLを使用する。XAMLとは、XML（Extensible Markup Language、任意のデータを定義するルールを提供するマークアップ言語）をもとにした宣言型マークアップ言語である。マークアップ言語とは、タグと呼ばれる特殊な文字列を使用して、文章の構造やタイトル、文字の修飾情報などを埋め込んでいく言語のことである。

BlazorはWebアプリケーションの開発にあたり、JavaScriptの代わりに.NETとC#を使用して単一ページのアプリを構築するためのクロスプラットフォームWeb UIフレームワークである。最大のメリットは、ASP.NET Web Formsと共通点（再利用可能なコンポーネントモデル、ユーザイベントを処理する簡単な方法）もあり、C#でUI側も含め全てのコードが記述できる。

(4) データベースシステムの選定

本コードでは、モデルのパラメータ、生命表、ベースラインがん罹患率・死亡率、生活習慣のデータが今後追加・更新されることを想定する必要がある。そのためには、データの追加・更新・削除が容易で、安全に実施する必要があるため、本コードで使用するデータはデータベースシステムのテーブルとして扱うことが望ましい。

データベースシステムの要件として、以下が挙げられる。

- 小規模なシステムであること
- 選定する開発言語との親和性が高いこと
- 商用に使用するライセンスがフリーであること
- ExcelやCSVファイルからテーブルへの変換が容易であること

候補としては、無償で配布が可能なデスクトップ環境向けのデータベースシステムであるMicrosoft Access (mdb形式)、MySQL、ProgreSQLなどが挙げられる。

また、ユーザが独自に準備したデータを容易に利用できるように、CSV形式のファイルの取り扱いを可能とすることも検討する。

データベースへのデータの登録には、専用のアプリケーションや環境が必要となる。対処法として、予めデータのファイル形式やフォーマットを確定しておくことが挙げられる。ファイル形式やフォーマットが確定している場合、専用のアプリケーションを使用せずにデータをデータベース化できるようなバッチファイルやExcelのマクロ等を準備しておけば、データベースへの登録が容易となる。

4.2. 計算に使用するモデル・データ

本節では、4.1.4 項に示したコードを構成するモデル、データをより詳細に検討し、どのような考えの基で本コードにモデルやパラメータ等を組み込むのかを示す。

4.2.1. がん死亡率等の必要データ収集・整理

(1) 汎用部

汎用部の計算に必要な主なデータは、以下の生涯寄与リスク (Lifetime Attributable Risk: LAR) を算出する式に示されている、ERR/EAR モデル (以下、リスクモデル)、対象集団の自然がん罹患・死亡率の統計データ λ (以下、ベースラインデータ)、生命表 (生存率: S)、人口分布 N である。

$$LAR = \frac{1}{DDREF} \int_0^{AgeMax} N(e) \int_{e+L}^{AgeMax} (\omega * ERR(d, s, a, e) \cdot \lambda(a) + (1 - \omega) EAR(d, s, a, e)) \frac{S(a)}{S(e)} da de \quad (4.1)$$

e : 被ばく時年齢 (y)

d : 線量 (Gy)

a : 到達年齢 (y)

s : 性別

L : 最小潜伏期間 (y)

$N(e)$: 被ばく時年齢 e の人口(人)

$S(a)$: 年齢 a の生存率

$S(e)$: 年齢 e の生存率

ω : リスク転換時に使用するパラメータ。ERR の重み。EAR の重みは $1 - \omega$ 。

ERR、EAR : 過剰相対リスク、過剰絶対リスク

λ : ベースラインがん罹患・死亡率 (一人当たりの人数)

DDREF : 線量・線量率効果係数

AgeMax : 生涯寄与リスクを算出する最大年齢

1) 固形がんのリスクモデル

R4 年度で調査した既存コードで利用されているリスクモデルには、原爆被爆者の疫学研究が用いられていた。さらに、R4 年度において文献調査した原爆被爆者以外の放射線疫学研究より、被ばく時年齢・到達年齢の修飾効果をモデル化しているのは原爆被爆者の疫学研究のみであることが分かった (日本原子力研究開発機構, 2023)。そこで、本コードで用いるリスクモデルは原爆被爆者の疫学研究から得られたリスクモデルから選定することとする。

2) 血液がん（白血病、悪性リンパ腫、多発性骨髄腫）のリスクモデル

原爆被爆者の疫学研究より、血液がんの罹患率においては、線量依存性がみられる病型とそうでない病型が存在することが分かっている (Hsu et al., 2013)。血液がんのリスクの種類の中で急性骨髄性白血病 (Acute Myeloid Leukemia : AML)、急性リンパ性白血病 (Acute Lymphoblastic Leukemia: ALL)、慢性骨髄性白血病 (Chronic Myelogenous Leukemia: CML)、非ホジキンリンパ腫は線量依存性が認められる一方で、慢性リンパ性白血病 (Chronic Lymphocytic Leukemia: CLL、WHO 分類では成人T細胞白血病/リンパ腫と分類)、ホジキンリンパ腫や多発性骨髄腫においては、線量依存性が見られない。また、線量応答のモデル式に関しては、白血病 (CLL 又は Adult T-cell leukemia/lymphoma: ATL 以外) に対しては線形二次モデル、急性骨髄性白血病 (AML) に対しては二次モデル、急性リンパ性白血病 (ALL)、慢性骨髄性白血病 (CML)、非ホジキンリンパ腫に対しては線形モデルが提案されている (Hsu et al., 2013)。

ここで、LSS14 において血液がんの死亡率に関しては、線形二次モデルにおいて 1 Gy での性平均 ERR が 3.1 (95% CI: 1.8,4.3) および 0.1 Gy での ERR が 0.15 (0.01, 0.31) であることが示されている (Ozasa et al., 2012)。しかし、LSS14 には血液がんの死亡リスクモデルの詳細が示されておらず、修飾効果を考慮していない。血液がんの死亡リスクモデルが示されているものとして、Richardson et al. (2009)の論文がある。Richardson et al. (2009)の死亡リスクモデル式は、修飾効果のモデル式が複雑であることや国際的に受け入れられたモデルではないことから、固形がんのリスクモデルと比較してコード化が容易でないと言える。また、修飾効果として到達年齢のみを考慮したモデルが提案されている (Kaiser and Walsh, 2013)。本リスクコードで採用する血液がんの死亡 ERR モデルについては今後も検討する必要があると言える。

3) 自然がんベースラインデータ

本コードのデータベースに整備する自然がんベースラインデータについて調査・検討した。2024年3月でホームページ等から得られる日本人のがん統計データとして、罹患データ年は1975–2015年（地域がん登録）および2016–2019年（全国がん登録）、死亡データ年は1958–2021年（全国）および1995–2021年（都道府県別）である（表 4.19）。本コードでは、現時点で入手可能なデータのいくつかを予め整備しておき、ユーザが必要に応じてデータを追加できるような設計とする。なお、データベースの整備に関する検討は5章に示す。

これらのデータベースを利用する際、症例数の少ないものに関しては、単年のベースラインリスクのばらつきが大きくなる。これを解消する策の一つとして、複数年のデータの平均値を利用することが考えられる。そこで本コードでは、単年度のみならず複数年の平均データも利用できる設計とする。

4) 生命表

厚生労働省では、生命表として完全生命表と簡易生命表の2種類を作成している。完全生命表は国勢調査による日本人人口（確定数）や人口動態統計（確定数）を基に5年ごとに作成されている。一方、簡易生命表は推計人口による日本人人口や人口動態統計月報年計（概数）を基に毎年作成されている。完全生命表と簡易生命表のどちらの生命表を採用するかを検討した結果、簡易生命表は1年毎のデータを利用できる利点があるものの、1年毎の生存率の違いは小さく、5年ごとの完全生命表を利用しても生涯リスクの出力に大きな影響を与えないことが分かった。これより、本コードに用いる生命表は、国勢調査（確定数）に基づいた完全生命表が望ましいと考えられる。

表 4.19 汎用部分に用いる日本人ベースラインデータ等の整備状況

		年齢区分	データ間隔	最新データ年	部位ごと	引用元
日本全国	ベースラインがん死亡率	5歳刻み(85歳まで)	毎年	2021年	○	国立がん研究センター
	ベースラインがん罹患率	5歳刻み(100歳まで)	毎年	2019年	○	国立がん研究センター
	生命表(完全生命表)	1歳刻み	5年おき	2020年	—	e-stat, 厚生労働省
	人口分布	1歳刻み	毎年	2022年	—	e-stat, 厚生労働省
都道府県別	ベースラインがん死亡率	5歳刻み(80歳まで)	毎年	2021年	×	国立がん研究センター
	ベースラインがん罹患率	5歳刻み(100歳まで)	毎年	2019年	○	国立がん研究センター
	生命表(完全生命表)	1歳刻み	5年おき	2020年	—	e-stat, 厚生労働省
	人口分布	1歳刻み	毎年	2022年	—	各都道府県HP

(2) 目的別入力部

目的別入力部に必要なデータは、周辺線量当量率と個人線量当量から臓器別吸収にする際の換算係数である。周辺線量当量率から臓器吸収線量への換算では、ICRP 144 (ICRP, 2020)に掲載されている換算係数を、個人線量当量から臓器吸収線量への換算では、ICRP 116 (ICRP, 2010)の換算係数を用いる。リスクモデルのある固形がんと血液がんに関して、ICRP 116と144で換算係数が整備されているかについて表 4.20 にまとめる。なお、全固形がん、白血病、悪性リンパ腫、多発性骨髄腫に該当する換算係数は存在しないため、本コードでは、結腸線量の換算係数を用いて全固形がんのリスクを、赤色骨髄の換算係数を用いて白血病、悪性リンパ腫、多発性骨髄腫のリスクを評価することとした。直腸、子宮頸部、子宮体部のように、換算係数が存在しない部位も存在するため、他の部位の換算係数

で代替する（例えば、直腸は結腸、子宮頸部と子宮体部は子宮の値で代替する）、または必要に応じて換算係数を整備する必要がある。

換算係数は γ 線のエネルギーまたは核種の他に、性別と年齢に依存する。本コードでは、性別ごと、年齢区分（表 4.21）ごとに換算係数を整備することとする。なお、ICRP116 の対象者は作業員であり、換算係数は成人のみ整備されている。今後のICRPの更新によって対象者が拡大することに備え、個人線量当量から臓器吸収線量への換算係数に関して、成人以外の枠も用意することとする。さらに、年齢区分が変更された場合に備えるため、周辺線量当量率と個人線量当量からの換算係数は 1 歳ごとに整備することが望ましい。また、緊急時の γ 線の平均エネルギーの推移をみると、0.1~2.0 MeV に収まる (Takahara et al., 2018)ことから、整備する γ 線のエネルギー範囲は 0.1~2.0 MeV とすることが望ましい。

表 4.20 ICRP 116とICRP 144で換算係数が整備されている固形がんと血液がんの整理

臓器	整備/未整備	臓器	整備/未整備
全固形がん	未整備 (結腸で代用)	白血病 (全体)	未整備 (赤色骨髄で代用)
口腔・咽頭	○	白血病 (CLL,ATL 以外)	未整備 (赤色骨髄で代用)
食道	○	AML	未整備 (赤色骨髄で代用)
胃	○	ALL	未整備 (赤色骨髄で代用)
結腸	○	CML	未整備 (赤色骨髄で代用)
直腸	未整備	CLL	未整備 (赤色骨髄で代用)
肝臓	○	悪性リンパ腫	未整備 (赤色骨髄で代用)
胆嚢・胆管	○	非ホジキンリンパ腫	未整備 (赤色骨髄で代用)
膵臓	○	ホジキンリンパ腫	未整備 (赤色骨髄で代用)
肺	○	多発性骨髄腫	未整備 (赤色骨髄で代用)
皮膚	○		
乳房	○		
子宮	○		
子宮頸部	未整備		
子宮体部	未整備		
卵巣	○		
前立腺	○		
膀胱	○		
腎・尿路	○		
脳・中枢神経系	○		
甲状腺	○		

AML:急性骨髄性白血病

ALL:急性リンパ性白血病

CML:慢性骨髄性白血病

CLL:慢性リンパ性白血病

表 4.21 ICRPの年齢区分 (ICRP 72に記載)

年齢区分 (ICRP 表記)	対応する年齢
新生児 (3ヶ月)	0歳
1歳	1~2歳
5歳	3~7歳
10歳	8~12歳
15歳	13~17歳
成人	18歳以上

(3) 目的別出力部

目的別出力部のみで必要となるデータは5年生存率³¹と症状ごとの重み³²である。日本における部位別の5年生存率を国立がん研究センター³³が報告している（表4.22）。

WHOや世界の疾病負担研究（Global Burden of Diseases Study: GBD研究）は症状ごとの重みをまとめているが、WHOとGBD研究で提示された値は異なる（WHO, 2004; Salomon et al., 2015）。WHOが報告している値は部位ごとに異なっており（表4.23）、GBD研究では部位によらず0.288と報告されている。現状では、WHOよりもGBD研究の知見が新しいという理由からGBD研究を参考にして部位によらず0.288をコードに設定することが望ましい。ただし、今後、症状ごとの重みが部位ごとに異なる可能性に備えて、部位ごとに症状の重みを設定できるように設計するのが望ましい。

表 4.22 部位別がん5年生存率（2009～2011年の統計データを利用）

（引用：国立がん研究センター，https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/data/dl/index.html#a30）

部位	男性 (%)	女性 (%)
全部位	62.0	66.9
口腔・咽頭	60.7	69.4
食道	40.6	45.9
胃	67.5	64.6
結腸	72.4	70.1
直腸	72.8	69.4
大腸	71.7	71.9
肝臓	36.2	35.1
胆嚢・胆管	26.8	22.1
膵臓	8.9	8.1
喉頭	81.8	81.7
肺	29.5	46.8
皮膚	94.4	94.6
前立腺	99.1	—
乳房	—	92.3
子宮	—	78.7
子宮頸部	—	76.5
子宮体部	—	81.3
卵巣	—	60.0
膀胱	76.5	63.0
腎・尿路（膀胱除く）	70.4	64.8
脳・中枢神経系	34.1	37.4
甲状腺	91.3	95.8
悪性リンパ腫	66.4	68.6
多発性骨髄腫	41.9	43.6
白血病	43.4	44.9

³¹ 病気と診断された患者たちが、5年後に何%生存しているか、という値。

³² 病気の程度によって健康状態が良好な場合を0、死亡した場合を1とした値。

³³ 国立がん研究センター：https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/data/dl/index.html#a30

表 4.23 部位別の症状の重み

(引用：WHO, 2004)

部位	症状の重み
全固形	0.2
胃	0.2
結腸	0.2
肝臓	0.2
肺	0.15
乳房	0.09
膀胱	0.09
白血病	0.09
その他の固形がん	0.09

4.2.2. モデル選定、計算方法の選定

(1) 汎用部

汎用部において、以下の項目について、それぞれ検討した。

- 1) 固形がんのリスクモデルの選定
- 2) 血液がんのリスクモデルのコード化における検討
- 3) 評価対象とするがん部位の検討
- 4) 生活習慣を考慮したリスクモデルに関する検討
- 5) ベースラインリスクデータの外挿に関する検討
- 6) がんリスクの潜伏期間に関する検討
- 7) リスク転換の重みに関する検討
- 8) 線量・線量率効果係数（DDREF）に関する検討

1) 固形がんのリスクモデルの選定

原爆被爆者の疫学研究の論文の中からどのリスクモデルを選定するかを検討した。原爆被爆者の疫学研究はがん死亡率に関しては追跡期間に応じて番号が振られており、2024年3月時点ではLSS14 (Ozasa et al., 2012)が最新である。一方、がん罹患率は調査期間に応じた番号は振られていないため、ここでは論文の筆頭著者と発行年で研究を区別する。原爆被爆者のがん罹患率の研究では、全固形がんリスクにおいては Grant の論文 (Grant et al., 2017)(Grant et al., 2017)が最新の論文であり、最新の調査期間におけるがん部位ごとのリスクを評価した論文が報告されている (Cahoon et al., 2017; Sadakane et al., 2019a; Sakata et al., 2019; Sugiyama et al., 2020; Utada et al., 2021; Brenner et al., 2018; Grant et al., 2021; Furukawa et al., 2013; Brenner et al., 2020; Mabuchi et al., 2021)。

このようにリスクモデルは疫学研究の進展に伴い今後も更新される可能性があり、またリスクモデルの形も今後変わってくる可能性はある。そこで本コードでは、今まで提案されてきたリスクモデル以外にもユーザが独自にモデル作成またはパラメータを変更できるような設計が望ましいと考えられる。

従来報告されてきたリスクモデルは大きく二つに分けられる。一つは、既存コードで採用されているもの、もう一つは論文自体が新しく既存コードに採用されていないものである。本コード自体がうまく機能するか（例えば生涯寄与リスクの計算結果が正しく出力されているか）を確認するためには、入力条件を合わせて他のコードと比較する必要がある。

以上のような検討から、本コードでは、リスクモデルを3つに分類し、それぞれの特徴を表4.24に示す。

- ① グループ1のリスクモデル：既存コードで採用例があるリスクモデルである。具体的には、死亡リスクに関してはRadRAT、X-ray RISK、Blue Book Modelが採用しているLSS13 (Preston et al., 2003)であり、罹患リスクに関しては、JAXAやProZESが採用し

ている罹患率モデル (Preston et al., 2007) が該当する。これらのリスクモデルを本コードに組み込んでおき、既存コードの出力と比較することで生涯寄与リスクが正しく出力されていることを確認できる。なお、このモデルは習熟度によらず誰でも利用できることを想定している。

- ② グループ2のリスクモデル：上記の最新の原爆被爆者の疫学研究のリスクモデルであり、既存コードで採用例が無いものである。具体的には、死亡リスクに関してはLSS14であり、罹患リスクに関しては全固形がん (Grant et al., 2017) である。なお、生涯寄与リスク等の出力結果については現時点では妥当性を検証することが難しいため、このグループのリスクモデルの出力結果に関しては、検証が未実施である旨を明示する必要がある。なお、このモデルを利用した結果の妥当性の検証が難しいことから、習熟度が一般の利用は不適と考えられる。さらに、リスクモデルの線量応答の式に関しては、線形 (Linear: L) モデルだけでなく、線形二次 (Linear Quadratic: LQ) モデルも選択可能な設計とする。具体的には、全固形がん (Grant et al., 2017) のLQモデルを追加する。
- ③ グループ3のリスクモデル：ユーザが独自に作成したリスクモデルである。なお、このモデルを利用した結果の妥当性の検証が難しいことから、習熟度が一般の利用は不適と考えられる。プログラムの設計上、モデル式に用いるパラメータ数に上限を設定する必要がある。例えば、LQモデルの場合、4つのパラメータ (β_1 , β_2 , δ_1 , δ_2) を考慮したプログラムの設計が必要である。

$$ERR \text{ or } EAR = (\beta_1 d + \beta_2 d^2) \cdot \exp\left(\delta_1 \log\left(\frac{a}{70}\right) + \delta_2 \left(\frac{e-30}{10}\right)\right) \quad (4.2)$$

- d : 線量 (Gy)
 a : 到達年齢 (y)
 e : 被ばく時年齢 (y)
 $\beta_1, \beta_2, \delta_1, \delta_2$: 統計解析から評価するパラメータ

表 4.24 リスクモデルのグループ分け

グループ	リスクモデル例	コード検証の可能性	利用者
1	LSS13, Preston 2007	○	誰でも利用可能
2	Grant 2017 など	×	習熟度が一般の利用は不可
3	ユーザ設定	×	習熟度が一般の利用は不可

2) 血液がんのリスクモデルのコード化における検討

血液がんのリスクモデルは、固形がんのリスクモデルとは異なる検討項目が存在する。まず、ERRモデルの入力パラメータとして、被ばく経過年数を追加する必要がある (Hsu et

al., 2013)。また、血液がんの罹患ERRはHsu et al. (2013)が最新のモデルであるが、死亡ERRのモデルは複数の論文で提案されている (Richardson et al., 2009; Kaiser and Walsh, 2013)。本リスクコードに採用する血液がんの死亡ERRモデルの種類については今後検討が必要である。

さらに、日本人がん統計データとして、白血病、悪性リンパ腫、多発性骨髄腫のデータが整備されているが、急性骨髄性白血病 (AML)、急性リンパ性白血病 (ALL)、慢性骨髄性白血病 (CML)、非ホジキンリンパ腫の日本人全体のがん統計データは整備されていない。そのため、それらの血液がんの種類ERRモデルを日本人集団に対して適用することができないことが課題である。

R4年度の調査より、既存コードにおける血液がんの扱いは、RadRATのように白血病を一種類として評価している場合がほとんどであった。ただし、ドイツのProZESは白血病の種類を詳細に設定できる仕様となっていたが、ProZESは原因確率を推定するコードであるため、対象集団のベースラインリスクを必要としない点が本コードと異なる。

以上の検討結果より、血液がんのリスク評価は、日本人がん統計データが整備されている白血病、悪性リンパ腫、多発性骨髄腫を整備しつつ、今後いくつかの種類白血病/悪性リンパ腫に分けて白血病のリスク評価をする可能性を考慮してその分のリスクモデルの枠をコード内に予め用意することを提案する。

3) 評価対象とするがん部位の検討

本コードの評価対象とするがん部位の種類について検討した。がん部位の中には、線量依存性が有意でないものや症例数自体が少ないものもある。それらのがん部位を対象とした場合、リスクの不確かさが大きくなり、出力結果を予期しない形で利用される可能性がある。

本コードで評価対象とするがん部位は、全固形がんに加えて、リスクモデルがあるがん部位 (表 4.25) を選択可能とした。さらに今後のデータ更新に伴い、新たになん部位が追加されることに備えて、がん部位の配列を余分に備えておくこと想定する。また、リスクモデルがあるがん部位であっても、線量依存性が有意でないがん部位と症例数が少ないがん部位の扱いには注意が必要である。

線量依存性が有意でない部位

図 4.4と図 4.5に原爆被爆者の疫学研究 (Preston et al., 2007)の各がん部位の線量応答 (ERR/Gy) の値を比較した結果を男女それぞれ示す。これらの線量応答の値より、胆嚢は中央値が負であるため、出力結果の扱いに注意が必要である。また、90%信頼区間が負の値を含むがん部位も出力結果の扱いに注意が必要である。このように出力結果の扱いに注意が必要ながん部位に対して、習熟度が一般の利用は不適と考えられる。

症例数が少ない部位

症例数が少ないがん部位はデータの不確かさが大きくなり、出力結果の扱いに注意が必要である。ここでは、日本人の最新のがん統計の罹患率が大きいがん部位の累積割合を算出し、男女のいずれかのがん罹患率の累積割合が90%までに含まれるがん部位を把握した。図 4.6と図 4.7に日本人集団のがん部位ごとのがん罹患率を男女別に示す。累積割合が90%に含まれないものとして、甲状腺がんや食道がんが挙げられるものの、これらはICRP2007年勧告 (ICRP, 2007)において組織加重係数が与えられている重要な部位である。

次に、子宮、子宮頸部、子宮体部のリスク評価に関して検討した。ProZESにおいては子宮頸部、子宮体部を分けて評価されており、その理由として、それぞれのベースラインリスクの値が上昇する年齢が異なることが挙げられていた。そこで本コードでは、子宮全体の評価または子宮頸部と子宮体部を分けた評価をできる設計を提案する。

表 4.26に本コードで対象とするがん部位を示す。表において、“○”は出力結果に注意が必要なく誰でも利用可能ながん部位、“△”は出力結果に注意が必要であり、習熟度が一般の利用が不適ながん部位、“-”はユーザが独自にモデルを設定する必要（本コードではモデルを組み込まない）があり、出力結果に注意が必要であり、習熟度が一般の利用が不適ながん部位である。

最後に、その他の固形がんの算出方法については、全固形がんのリスクの出力結果から、選択したがん部位のリスクの合計値を引いた値を提案する。この計算方法では、選択したがん部位の数が多い場合は、その他のがんのリスクが負になる可能性がある。本コードにおけるリスクが負になる場合の結果の表記、説明方法については引き続き検討する必要がある。

表 4.25 先行研究等で評価されているがん部位の種類

部位	ICD-10 (厚生労働省, 2013)	ICD-9 (CDC, 2011)	Preston2007 (Preston et al., 2007)	ICRP2007 (ICRP, 2007)	LSS13 (Preston et al., 2003)	LSS14 (Ozasa et al., 2012)	HEINPUT (Takahara, 2015)	Korean (Lee et al., 2020)	BEIRVII (National Research Council, 2006)	RadRAT (Berrington de Gonzalez et al., 2012)	Blue Book (EPA, 2011)	ProZES (Ulanowski et al., 2020)	IREP (Koehler et al., 2008)
全固形がん	C00-80	×	○	○	○	○	×	×	×	○	×	×	×
口腔・咽頭	C00-C14	140-149	○	×	○	×	×	×	×	△(口腔の み)?	×	×	○
食道	C15	150	○	○	○	○	×	×	×	○	×	×	○
胃	C16	151	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
結腸	C18	153	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
直腸	C19-C20	154	○	×	○	○	×	×	×	○	×	×	○
肝臓	C22	155	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
胆嚢・胆管	C23-C24	156	△(胆嚢のみ)	×	△(胆嚢のみ)	△(胆嚢のみ)	×	×	×	△(胆嚢のみ)	×	×	○
膵臓	C25	157	○	×	○	○	×	×	×	○	×	×	○
喉頭	C32	161	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
肺	C33-C34	162	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
皮膚	C43-C44	172-173	△(C44のみ)	○	×	×	×	×	×	×	×	△(C44のみ)	△(173のみ)
乳房	C50	174-175	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△(174のみ)
子宮	C53-C55	179-182	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×	△(184を含む)
子宮頸部	C53	180	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×
子宮体部	C54	182	○	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×
卵巣	C56	183	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○
前立腺	C61	185	○	×	×	○	○	○	○	○	○	×	×
膀胱	C67	188	○	○	×	○	○	○	○	○	○	×	○
腎・尿路 (膀胱除く)	C64-C66,C68	189	×	×	△(腎臓のみ)	○	×	×	×	△(腎臓のみ)	×	×	○
脳・中枢神経 系	C70-C72	191-192	○	×	○	×	×	×	×	○	×	△(目(C69)を 含む)	○
甲状腺	C73	193	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○

○：評価あり、×：評価なし、△：一部の部位で評価あり

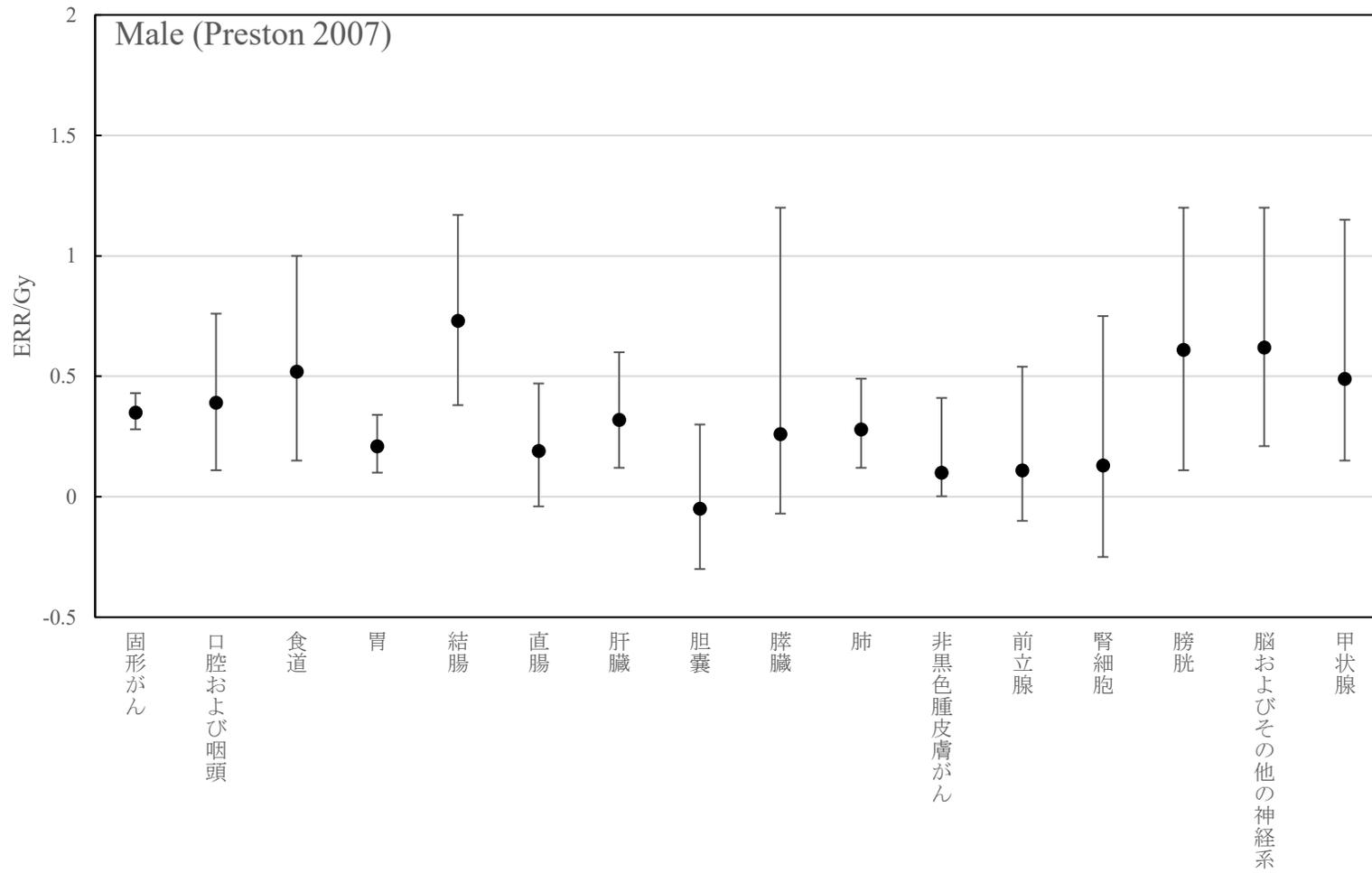


図 4.4 原爆被爆者の疫学研究の各がん部位の線量応答（男性）

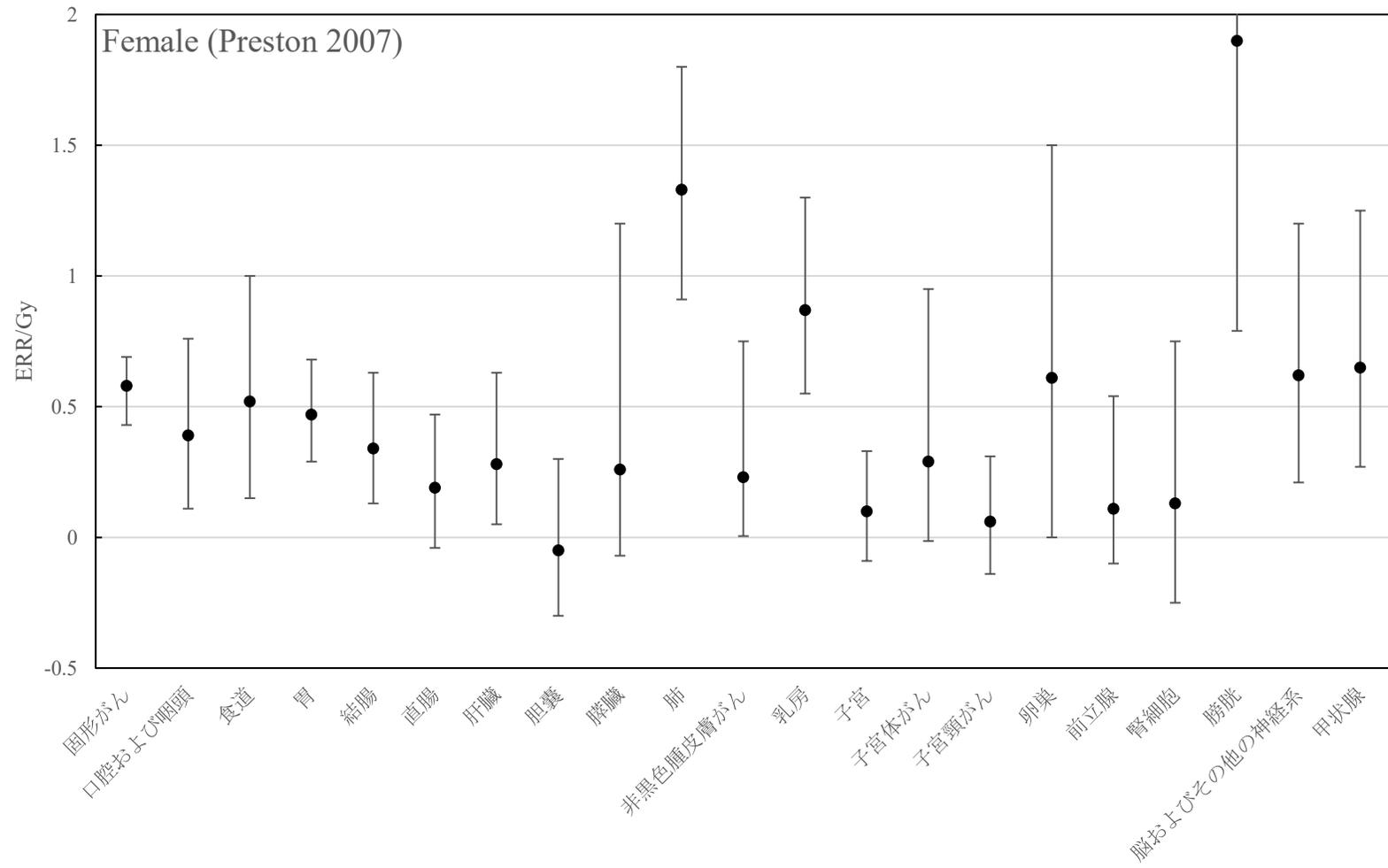


図 4.5 原爆被爆者の疫学研究の各がん部位の線量応答 (女性)

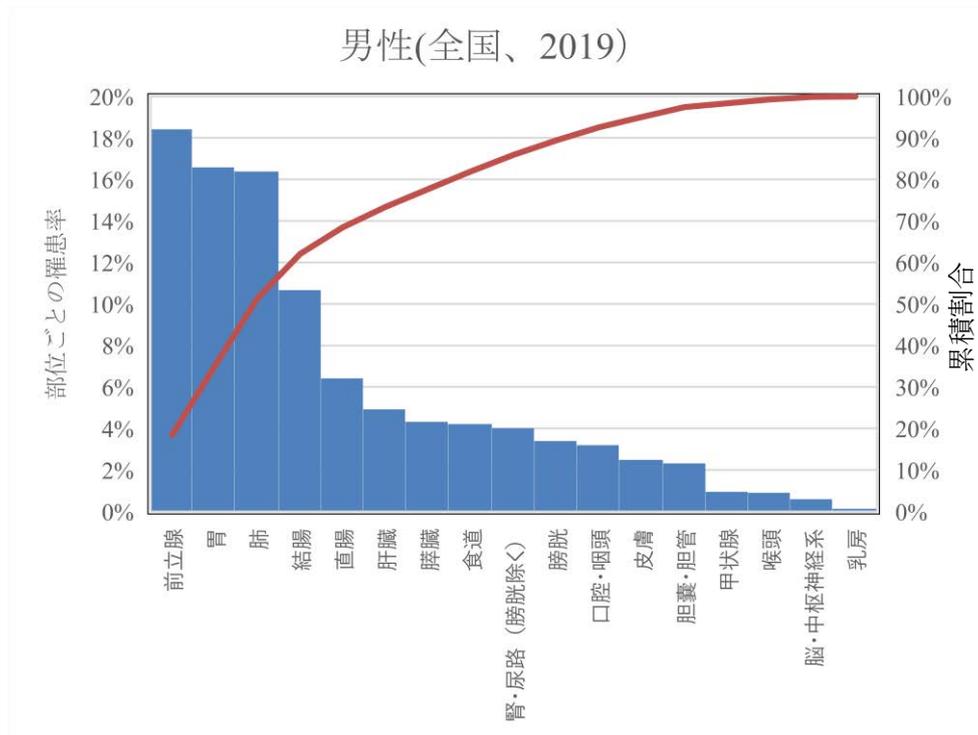


図 4.6 日本人のがん部位ごとの罹患率及び累積割合 (男性)

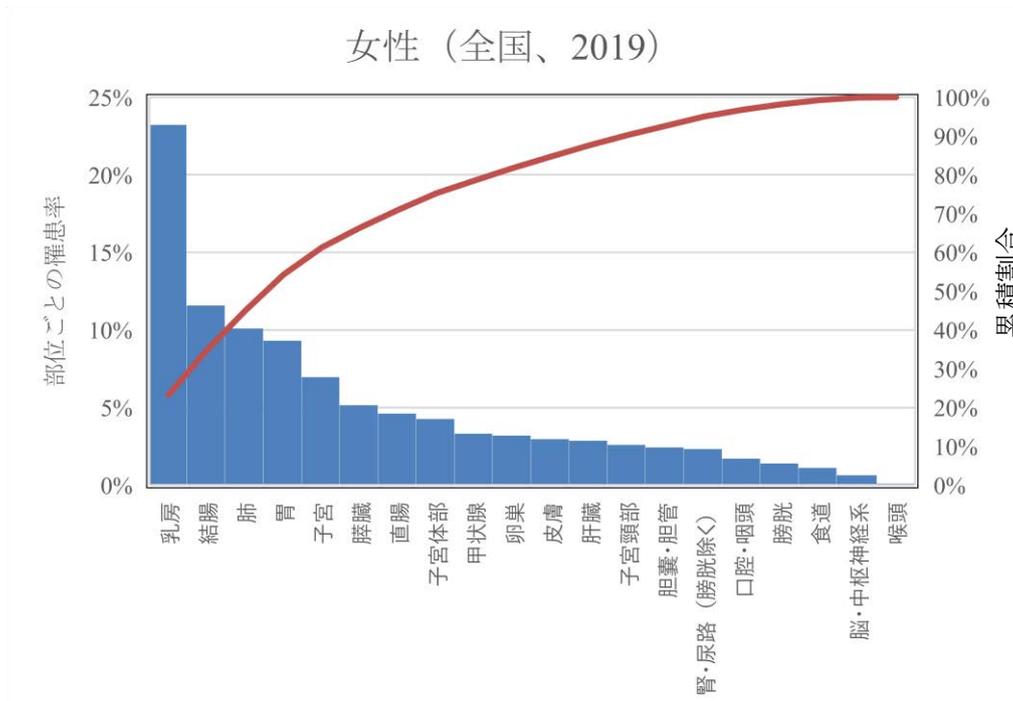


図 4.7 日本人のがん部位ごとの罹患率及び累積割合 (女性)

表 4.26 本コードで評価対象とするがん部位の提案

部位	ICD-10 (厚生労働省, 2013)	ICD-9 (CDC, 2011)	男性	女性
全固形がん	C00-80		○	○
口腔・咽頭	C00-C14	140-149	△	△
食道	C15	150	○	○
胃	C16	151	○	○
結腸	C18	153	○	○
直腸	C19-C20	154	○	○
肝臓	C22	155	○	○
胆嚢・胆管	C23-C24	156	△	△
膵臓	C25	157	○	○
喉頭	C32	161	—	—
肺	C33-C34	162	○	○
皮膚	C43-C44	172-173	△	△
乳房	C50	174-175	—	○
子宮	C53-C55	179-182	該当なし	○
子宮頸部	C53	180	該当なし	△
子宮体部	C54	182	該当なし	△
卵巣	C56	183	該当なし	○
前立腺	C61	185	○	該当なし
膀胱	C67	188	○	○
腎・尿路（膀胱除く）	C64-C66, C68	189	○	○
脳・中枢神経系	C70-C72	191-192	△	△
甲状腺	C73	193	○	○

○は出力結果に注意が必要なく、誰でも評価可能ながん部位

△は出力結果に注意が必要であり、習熟度が一般の利用が不適ながん部位

—はユーザが独自にモデルを設定する必要があり、さらに出力結果に注意が必要であり、習熟度が一般の利用が不適ながん部位

4) 生活習慣を考慮したリスクモデルに関する検討

最新の原爆被爆者の疫学研究においては、放射線被ばくに伴うがんリスクモデルに加えて、喫煙などの生活習慣を考慮したがんリスクモデルが開発されている。令和4年度に既存コードを調査した結果、ドイツのProZESのみが肺がん罹患リスクを評価する際に喫煙習慣を考慮しているが、当該コードは原因確率を推定するコードであるため後述する対象集団のベースラインの設定の問題が発生しない。一方、生涯リスクを推定する本コードに喫煙習慣を考慮した肺がんリスクモデルを採用するためには、日本人の非喫煙者の肺がんベースラインが必要となる。ここでは、日本人の非喫煙者の肺がんベースラインを推定する手法を開発した論文(Shimada and Kai, 2021)を基に喫煙習慣のリスクモデルをコード化する際の課題を検討した。

本コードに喫煙習慣を考慮したリスクモデルを用いる場合、喫煙本数などの生活習慣の情報を入力する必要があるため、放射線被ばくのリスクモデルとは数式が大きく異なる。そのため、リスクモデルをモジュール化することで、喫煙習慣を考慮したリスクモデルを後から追加することがプログラム作成上効率的であると考えられる。

喫煙習慣を考慮したERRモデルを適用する対象集団のがん統計データの設定が課題となる。喫煙習慣を考慮したERRモデルを用いる場合、対象集団を非喫煙者と喫煙者に分けたがん統計データを適用する必要がある。なぜなら、喫煙者集団に喫煙習慣を考慮したERRを適用すると、喫煙リスクを二重に評価してしまうからである。日本のがん統計は喫煙者と非喫煙者を分けて整備されておらず、喫煙者と非喫煙者の混合集団に対するがん統計データとなっている。そのため、日本人集団のがんベースラインデータに喫煙習慣のERRモデルを適用するとリスクを過大評価する可能性がある。そこで、先行研究において日本人の非喫煙者集団の肺がんのベースラインを推定する手法が開発されている。次の式を用いることで、混合集団の肺がんベースラインリスクから非喫煙者集団の肺がんベースラインリスクを推定することが可能となっている(Grant et al., 2021; Shimada and Kai, 2021)。

$$\lambda_n = \frac{\lambda_m}{SR \times ERR_s + 1} \quad (4.3)$$

λ_n : 非喫煙者の肺がんベースラインリスク

λ_m : 日本人集団の肺がんベースラインリスク(Sugiyama et al., 2020; Brenner et al., 2018)

SR : 日本人集団の喫煙率

ERR_s : 喫煙による肺がん罹患のERR

本手法を用いて非喫煙者の肺がんベースラインリスクを推定し、本コードのベースラインデータとして整備することで、喫煙習慣を考慮したリスクモデルを用いた肺がんリスク評価が可能になると考えられる。

肺がん以外のがん部位に対しても生活習慣を考慮したリスクモデルが開発されている。表 4.27 に、最新の原爆被爆者の疫学研究のリスクモデルにおける生活習慣のモデル化の有無を示す (Grant et al., 2017; Sakata et al., 2019; Sadakane et al., 2019b; Brenner et al., 2018; Utada et al., 2018)。喫煙習慣に加えて、飲酒、BMI に対してもリスクモデルが開発されている。さらに、結腸がんに対しては肉食習慣に対してもリスクモデルが検討されている (Sugiyama et al., 2020)。しかしながら、生活習慣を考慮したリスクモデルをコード化するためには、対象集団のベースラインをどのように設定するかを検討する必要がある。日本人のがん罹患のベースラインデータは年齢、性別で分けられているものの、喫煙、飲酒、BMI 等の生活習慣の情報では分けられていない。そのため、生活習慣を考慮したリスクモデルを本コードに組み込んだとしても、そのモデルを適用する集団のベースラインデータが整備されていないため、推定する生涯リスクは不正確な値となる。したがって、本概念設計で検討する生活習慣とがん部位は喫煙習慣による肺がんリスクとし、それ以外のモデルのコード化は R9 年度以降 (5 か年以降) に改めて検討することが望ましい。

表 4.27 原爆被爆者の疫学研究における生活習慣を考慮したリスクモデルの有無

がんの名称	喫煙	飲酒	BMI	著者	発行年
全固形がん	○			Grant	2017
大唾液腺がん				Sakata	2019
口腔+咽頭のがん	○	○			
食道がん					
胃がん	○				
結腸がん	○	○	○	Sugiyama	2020
近位結腸	○	○	○		
遠位結腸	○	○	○		
直腸がん	○	○	○		
肝臓がん	○	○	○	Sadakane	2019
胆管がん+	○	○	○		
胆嚢がん等					
膵臓がん					
肺がん	○			Cahoon	2017
喉頭がん	○				
その他呼吸器系のがん	○				
乳がん			○	Brenner	2022
すべての子宮がん				Utada	2019
子宮頸がん					
子宮体がん			○		
卵巣がん等					2021
Type 1					
Type 2					
尿路がん	○			Grant	2022
尿管					
膀胱がん					
腎盂・尿管がん					
その他の泌尿器がん					
腎臓がん					

空欄箇所の生活習慣はモデル化されていない。

5) ベースラインリスクデータの外挿に関する検討

生涯寄与リスクを計算するためのベースラインリスクの外挿方法について検討した。ここでは、生涯寄与リスクの積分期間の最大年齢とベースラインがん罹患・死亡リスクデータの85歳以上の外挿方法について検討する。

Blue Book model (EPA, 2011)では生涯寄与リスクの積分期間の最大年齢を110歳に設定していた。そこで、本コードでは、デフォルト値を110歳に設定し、ユーザが変更可能な設定とする。

2015年までの日本のがん罹患率データは85歳以上の数値が合算されており、2016～2018年のデータは100歳以上の数値が合算されていた。これにより、85歳以上のデータをどのように外挿すべきかを検討する必要がある。そこで本事業において、外挿方法の違いによる出力結果の違いを調査するために、85歳時点と100歳時点に対して線形外挿と一定外挿の2通りの外挿方法（合計4通り）を比較した。図 4.8に、がん罹患率（全固形がん、女性、2019）の生涯積算値の外挿方法による違いを示す。その結果、外挿方法の違いが出力に与える影響は1～2%程度で軽微であった（表 4.28）。この原因は、生涯寄与リスクを計算するうえでベースラインデータに対して生存率を乗ずることから、高年齢の数値が小さくなることに起因する。これにより、外挿方法はシンプルかつ全ての年でデータが存在することから、85歳時点の値が一定であると仮定する外挿方法を提案する。

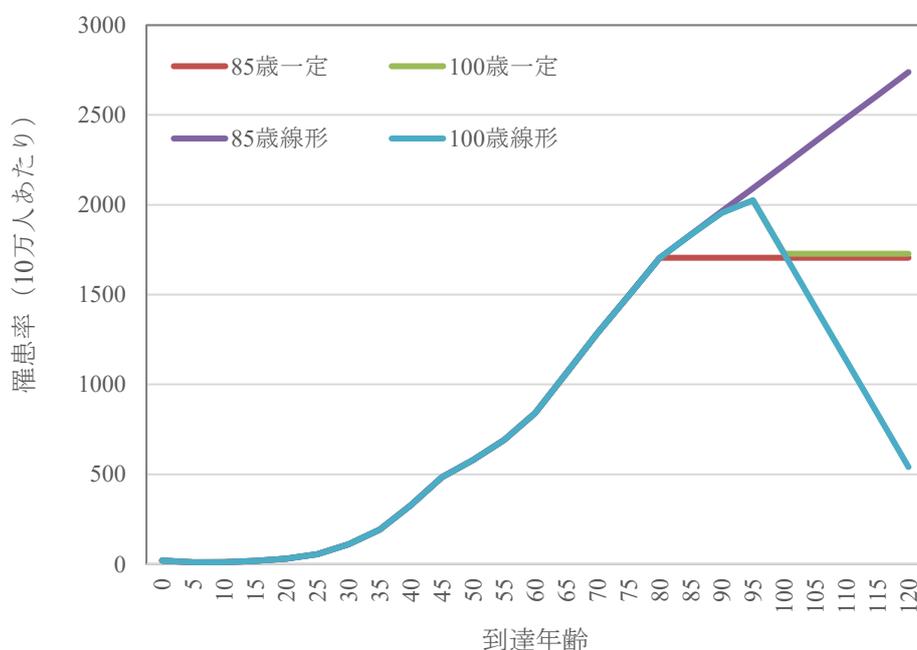


図 4.8 罹患率データの外挿方法の比較

表 4.28 外挿方法の違いによる生涯リスクへの影響

外挿方法	累積リスク	85歳線形の累積リスクに対するリスク比
100歳一定	337.0	1.018
100歳線形	337.0	1.018
85歳一定	337.8	1.021
85歳線形	330.9	1.000

6) がんリスクの潜伏期間に関する検討

本コードで用いるがんリスクの潜伏期間について検討した。既存コードでは、固形がんについては5年、白血病については2年、またはS-Shape関数（RadRAT、ProZES）が利用されている。本コードにおいて、決定論的手法で計算する場合は潜伏期間に固定値を設定する。具体的には固形がんについては5年、白血病については2年とし、これらの値はユーザが変更可能な設計とする。一方、不確かさを含めて計算する場合、関数形も選択可能な設計を検討する。潜伏期間の関数形については既存コードを参考としつつ、詳細は今後の検討課題とする。

7) リスク転換の重みに関する検討

本コードで用いるリスク転換の重みについて検討した。原爆被爆者のリスクモデルを原爆被爆者とは異なるベースラインの集団に適用する際には、ERR及びEARの二つのリスク推定値の相対的な適用性に関する判断に基づいた加重を用いて、ERRリスク推定値とEARリスク推定値の加重平均として集団のリスクを転換する(ICRP, 2007)。このリスク転換の際の加重平均の重みが臓器ごとに提案されている。

まず、ICRPでは、特定の臓器に対するリスク転換の重み係数 ω が固定されており、具体的には非特定の臓器に対しては $\omega = 0.5$ 、肺に対しては $\omega = 0.3$ 、乳房と骨髄には $\omega = 0$ 、甲状腺と皮膚には $\omega = 1$ が適用されている (ICRP, 2007)。(ERR : EAR = $\omega : 1 - \omega$) そこで本コードでは、決定論的手法においては ω にICRPの固定値を設定し、ユーザが数値を変更可能な設計を提案する。また、確率論的手法においては ω に分布形を選択可能な設計とし、ユーザが分布形を変更可能な設計を提案する。リスク転換の分布形については既存コードを参考としつつ、詳細は今後の検討課題とする。

次に、リスク転換の計算手法として、加重平均とするか、相乗平均とするかを検討した。BEIR VII (National Research Council, 2006)では相乗平均、ICRPやEPA (EPA, 2011)では加重平均がそれぞれ利用されている。EPAが加重平均を選定した理由として、加重平均が相乗平均よりも保守的な評価となることを挙げている。本コードのリスク転換の計算手法は第二回検討委員会での議論の結果（第二回議事録参照）、現時点では手法を定めず、ユーザが

加重平均と相乗平均の両方を選択できる余地を残すこととした。

8) 線量・線量率効果係数 (DDREF) に関する検討

本コードで用いるDDREFを検討した。既存コードではDDREFに様々な固定値や関数形が設定されている (表 4.29)。既存コードのDDREFの値を参考にし、本コードの決定論的手法ではDDREFにデフォルト値として2を設定し、ユーザが変更可能な設計とすることを提案する。また、確率論的手法ではDDREFに分布形も選択可能な設計を検討し、その分布形もユーザが変更可能とすることを提案する。

次に、DDREFの適用範囲として、UNSCEAR2010年報告書 (UNSCEAR, 2010)を参考に線量が200 mGy未満または線量率が6 mGy h⁻¹未満の場合に適用することを提案する。また、このDDREFの適用範囲は、ユーザが変更可能とする。DDREFに関しては、ICRP Task Group 91等の情報を参考に、本コードでは数値、分布形、DDREFの適用範囲を柔軟に反映可能な設計を提案する。

表 4.29 既存コードのDDREFの整理

部位	NUREG	BEIR VII	ICRP	BBM(1)	KSP(2)	RadRAT	X-Ray	JAXA	IREP
固形がん	2	1.5	2	1.5	1.3	L(3)	1.5	2	L(3)
白血病	2	1	1	1	1	1	1	1	1
例外	1 甲状腺 乳房	—	—	1 骨、皮膚	1 100 mGy 以上 または6 mGy h ⁻¹ 以上	—	—	—	—

(1) Blue Book Model、(2) Korean Specific Model、(3)ロジスティックス

(2) 目的別入力部

1) 周辺線量当量率から臓器吸収線量への換算

4.1.2節と4.1.3節に示したように、周辺線量当量率から臓器吸収線量への換算では単純な被ばく経路と仮定を想定する。計算の流れは、始めに周辺線量当量率 ($Sv h^{-1}$)から地表面濃度 ($Bq m^{-2}$)に換算し、その地表面濃度 ($Bq m^{-2}$)から臓器吸収線量 (Gy)に換算する。両方の換算にはICRP 144の換算係数を用いる。

ただし、周辺線量当量率から臓器吸収線量への換算には曝露時間が必要となり、周辺線量当量率も時々刻々と変化するため、その影響を考える必要がある。また、ICRP 144(ICRP, 2020)に示されている換算係数も年齢によって異なり、長期的な評価をする際には、人の成長による換算係数の変化も考慮する必要がある。なお、ICRP 144には各年齢区分の該当年齢に関する記載はないため、ICRP 72 (ICRP, 1995)に示されている該当年齢 (表 4.21) を予めコード内に組み込むこととした。時間変化も考慮した周辺線量当量率から臓器吸収線量への換算の流れの概要図を図 4.9に示す。

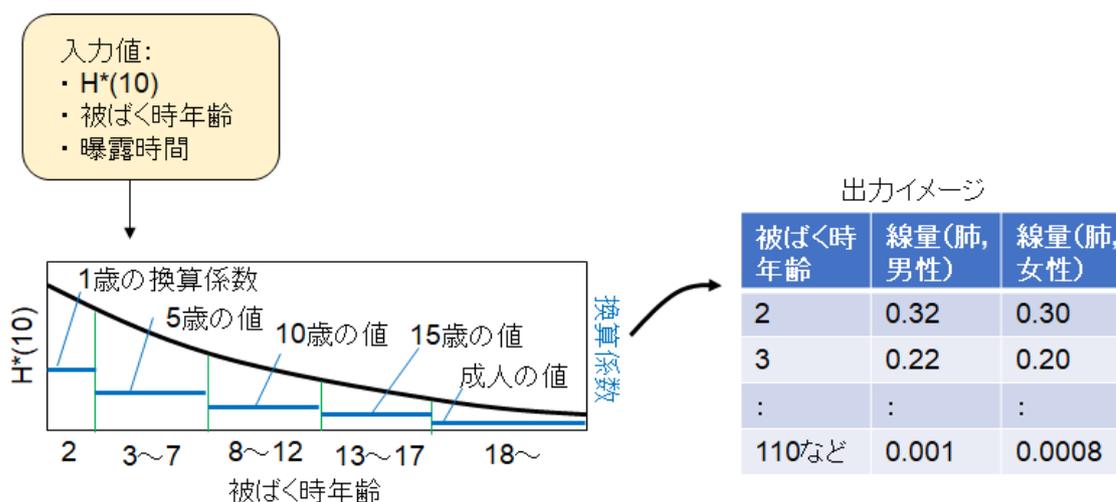


図 4.9 周辺線量当量率から臓器吸収線量の換算の流れの概要

周辺線量当量率から地表面濃度と地表面濃度から臓器吸収線量の2つの工程があるが、便宜上、それらをまとめて記載する。

2) 個人線量当量から臓器吸収線量への換算

4.1.2節と4.1.3節に示したように、個人線量当量から臓器吸収線量への換算では単純な被ばく経路と仮定を想定する。計算の流れは、始めに個人線量当量 (Sv)から空気カーマ (Gy)に換算し、その空気カーマ (Gy)から臓器吸収線量 (Gy)に換算する。両方の換算にはICRP 116の換算係数 (ICRP, 2010)を用いる。

周辺線量当量率からの換算とは異なり、それまでに受けた被ばく線量のみからのリスクを計算する。さらに、想定用途としては、防災業務に携わった人 (成人) の個人線量当量からのリスク計算であり、成長による換算係数の変化を考慮する必要はないと考えられる。

(3) 目的別出力部

損失余命と DALY の計算は、Shimada and Kai (2015)の手法を基にする。DALY は早死によって平均寿命から失われた年数 (損失余命, YLL) と障害を有することで生活の質が損なわれた年数 (YLD) の和である。

$$DALY = YLL + YLD \quad (4.4)$$

損失余命 YLL は以下の式で表される。

$$YLL(e, d) = CYLL(e, d)/N(e)$$

$$CYLL(e, d) = \int_{e+L}^g M_i(e, d, a) \cdot RC(a) \cdot N(a) \cdot \frac{S(a)}{S(e)} \cdot LE(a) da \quad (4.5)$$

$$M_i(e, d, a) = \omega \cdot ERR \cdot \lambda + (1 - \omega) \cdot EAR$$

- e : 被ばく時年齢 (y)
- d : 線量 (Gy)
- a : 到達年齢 (y)
- g : 平均寿命 (年齢 0 歳での余命) (y)
- L : 最小潜伏期間 (y)
- $M_i(e, d, a)$: 被ばく時年齢 e 、到達年齢 a 、被ばく線量 d の集団の過剰がん罹患数 (人)
- $N(a)$: 年齢 a の人口 (人)
- $N(e)$: 年齢 e の人口 (人)
- $RC(a)$: 年齢 a のがん死亡率と罹患率の比 (死亡率/罹患率)
- $S(a)$: 年齢 a の生存率
- $S(e)$: 年齢 e の生存率
- $LE(a)$: 年齢 a の余命 (y)
- ω : リスク転換時に使用するパラメータ。ERR の重み。EAR の重みは $1 - \omega$ 。
- ERR、EAR : 過剰相対リスク、過剰絶対リスク (4.2.2(1)参照)
- λ : ベースラインがん罹患率 (一人当たりの人数)

障害を有することで失われた年数 YLD は以下の式で表される。

$$YLD(e, d) = CYLD(e, d)/N(e)$$

$$CYLD(e, d) = DW \cdot YD \cdot \int_{e+L}^g M_i(e, d, a) \cdot N(a) \cdot \frac{S(a)}{S(e)} da \quad (4.6)$$

$$YD = -\frac{\log 2}{0.2 \times \log SF}$$

- DW* : 症状ごとの重み
SF : 5年生存率
YD : 障害を有する平均年数 (y/人)

4.2.3. データの統計処理の検討

令和 7 年度からの不確かさ解析に備えて、不確かさを考慮するパラメータを検討し、その不確かさの範囲と分布を検討する必要がある。なお、本事業では、リスク評価に関わる部分のみの不確かさを考慮するとし、目的別入力部（観測値から線量への換算）と目的別出力部（損失余命と DALY の計算）の不確かさは考慮しないこととした。さらに、臓器吸収線量を直接入力する場合においても、その臓器吸収線量の不確かさは考慮しないこととした。

不確かさ解析の流れを図 4.10 に示す。始めに不確かさを考慮するパラメータの確率分布を決める必要がある。その確率分布を基に、乱数を発生させ、試行回数分のパラメータセットを作成する。そのパラメータセットごとに生涯死亡リスク等を計算し、入力値のパラメータセットと出力値を表などでまとめて出力する。その出力結果を基に確率分布の作成や、50%値、95%値などを出力する。

不確かさ解析時に不確かさを考慮するパラメータとして、4.2.2 節の検討から以下が挙げられる。

- ・ EAR と ERR に関するパラメータ (β 、 γ 、 η 等)
- ・ 線量・線量率効果係数 DDREF
- ・ 最小潜伏期間
- ・ リスク転換 (EAR、ERR の重み)

(1) リスクモデルのパラメータの不確かさに関する予備的検討

本事業では、原爆被爆者の疫学研究に基づいて得られたリスクモデルとパラメータを用いてリスクコードを開発する。この原爆被爆者の疫学研究に基づいて得られたリスクモデルのパラメータ間には相互関連性がある(Ozasa et al, 2012)。リスクモデルのパラメータ間の相互関連性を考慮するためには、パラメータの分散共分散の情報（分散共分散行列）が必

要である。分散共分散行列は、モデルのパラメータがどの程度相互に関連しているか、またそれらがどの程度不確かであるかを示すために必要である。しかし、原爆被爆者の疫学研究の論文にはパラメータの推定値と信頼区間しか公開されていない。このため、原爆被爆者の疫学研究で使用された統計解析ソフト Epicure を利用し、パラメータの分散共分散を独自に推定する必要がある。本年度は Epicure を購入し、試計算を実施した。

1) Epicureの概要

Epicure は、1980 年代に、原爆被爆者の発ガンリスクを推定するためのモデルを提供することを目的として米国の放射線影響研究所の Dale Preston 博士によって開発された。1990 年代に Epicure は Hirossoft International Corporation によって商用化され、Windows や Mac などのパーソナルコンピュータやワークステーションで動作するように改良された。その後 Epicure は、放射線被ばくだけでなく、医学、公衆衛生、疫学、経済、環境、信頼性などの分野で広く使われるようになった。2010 年代に Epicure は、RSI (Risk Sciences International) によって買収され、グラフィカルユーザインターフェイス (GUI) を備えた Epicure 2.0 としてリリースされた。Epicure は、リスク解析のための最先端のソフトウェアとして、現在も開発と改善が続けられている (Preston et al., 1993; RSI, 2024)。

Epicure の統計解析手法は、主に以下の 4 つに分類される。

- 生存時間データの解析：生存時間データとは、観察開始からイベント（例えば死亡や発症）が起こるまでの時間を測定したデータである。Epicure では、生存時間データに対して、相対リスクモデル、相対オッズモデル、過剰リスクモデル、過剰率モデルなどのリスク回帰モデルを用いることができる。これらのモデルは、放射線被ばくや他の危険因子とイベントの発生率との関係を推定するのに適している。
- 二項データの解析：二項データとは、二つのカテゴリー（例えば発症したか否か）に分類されるデータである。Epicure では、二項データに対して、相対リスクモデル、相対オッズモデル、過剰リスクモデル、過剰率モデルなどのリスク回帰モデルを用いることができる。これらのモデルは、放射線被ばくや他の危険因子と二項データとの関係を推定するのに適している。
- ポアソンデータの解析：ポアソンデータとは、ある期間や空間におけるイベント（例えば死亡や発症）の発生回数を測定したデータである。Epicure では、ポアソンデータに対して、相対リスクモデル、相対オッズモデル、過剰リスクモデル、過剰率モデルなどのリスク回帰モデルを用いることができる。これらのモデルは、放射線被ばくや他の危険因子とポアソンデータとの関係を推定するのに適している。
- 症例対照データの解析：症例対照データとは、症例（例えばがん患者）と対照（例えば健常者）のグループを比較することで、危険因子と疾患との関連を調べるデータで

ある。Epicure では、症例対照データに対して、相対オッズモデルを用いることができる。相対オッズモデルは、放射線被ばくや他の危険因子と症例と対照の比率との関係を推定するのに適している (RSI, 2024)。

2) 今回の検討

Epicureの試計算を行うため、放射線影響研究所（放影研）より公開提供されているLSS14のがんおよびがん以外の死亡率データとEpicureのスキプト³⁴を利用して、LSS14の論文 (Ozasa et al., 2012) の値の再現を試みた。表 4.30には、原爆被爆者の全死因に対するERR/Gyの本解析結果と論文値を示す。なお、本解析欄の数値はEpicureに出力された有効数字を用いている。本解析結果は論文値と有効数字2桁で一致した。

表 4.30 LSS14の全死因の線量応答の推定値と文献値の比較

死因		推定値	95%信頼区間の下限と上限	
All cases	本解析	0.1500	0.1035	0.1986
	Ozasa et al. (2012)	0.15	0.10	0.20

3) 今後の方針

今後は、Epicure を用いたパラメータの分散共分散を出力する手法を検討する必要がある。検討にあたって、原爆被爆者の死亡データ (LSS13, 14) に対して Epicure を用いてリスクモデルのパラメータの分散共分散を推定することが挙げられる。一方、原爆被爆者の調査期間が 2009 年までの最新のがん罹患データは現在公開されておらず入手できないため、最新のデータを用いた解析を行うためには放影研との共同研究の締結等の調整が必要となる。

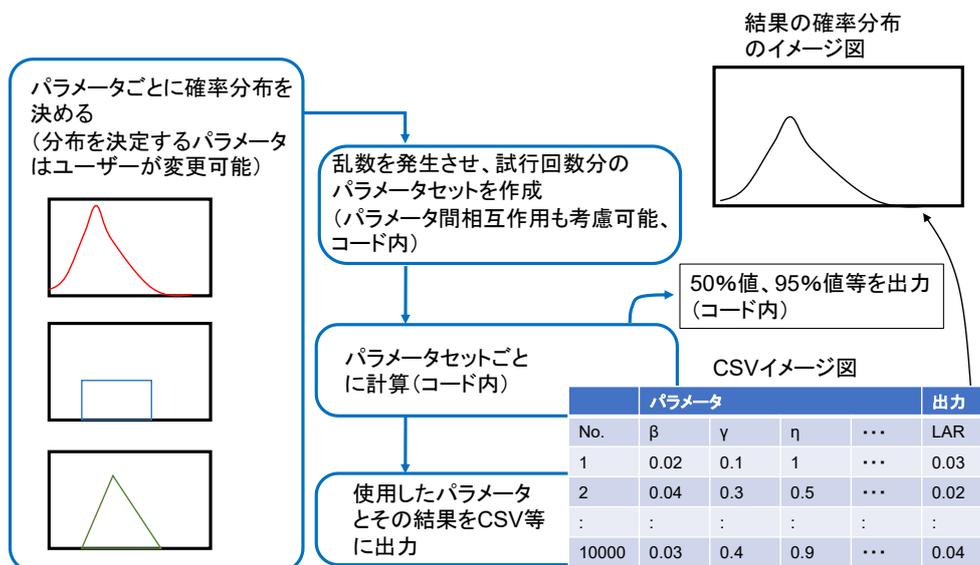


図 4.10 不確かさ解析の流れ

³⁴ <https://www.rerf.or.jp/library/data/lss14/> に LSS14 における 1950–2003 年のがんおよびがん以外の死亡率の解析に用いたデータの詳細な付録表や例示スクリプトが公開されている。

4.3. コード設計（外部・内部）

要件定義を行った後に、その要件に従ってユーザが操作する部分の外部設計を行う。その後画面のイベント処理などの内部動作や計算などの内部機能またはデータベース設計を行うこととなる（図 4.11）。

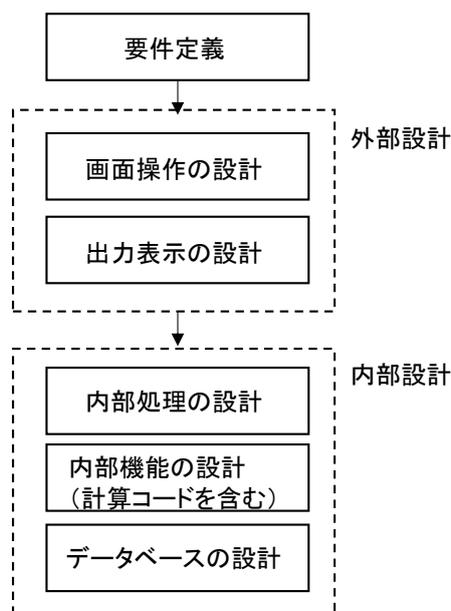


図 4.11 コード設計の流れ

4.3.1. 入出力の設計

入出力項目の一覧を表 4.31 と表 4.32 に示す。

入力項目に関しては、利用者が異常値を入力する可能性を考慮し、入力範囲を設定する。その範囲を超えた場合には、入力範囲を記載するとともに、計算を実行できないような設計とする。例えば、屋内滞在時間の入力範囲は0～24時間までであるが、25時間を入力した場合に、“屋内滞在時間の入力できる範囲は0～24時間までです”などを表記するとともに、その後のプロセスに進まないようにする。

4.2.3 節に示したEARとERRに関するパラメータ、DDREF、最小潜伏期間、EARとERRの重みは不確かさ解析時に不確かさを考慮するパラメータとなる。そのため、これらのパラメータに関しては、不確かさ解析時に必要な処理方法（不確かさ分布に関するパラメータ、計算試行回数、乱数の処理方法）を備えておく必要がある。

出力項目に関して、入力パラメータによっては生涯死亡リスクが負となるケースがある。RadRATでは、生涯死亡リスクが負となる場合には、計算内部では負の値で保持しておき、出力の際に“< 0”と表示することになっている。本コードでは、計算内部では負の値で保持しておき、出力の際に“< 0”と表示するか、負の値をそのまま表示するかの二種類を選択で

きるように設計する。例えば、過剰リスクが負となり得る胆嚢の生涯死亡リスクが“-100”であった場合、出力としては“< 0”または“-100”が切り替えられるように設計される。また、残りのがんを計算する際には全固形がんのリスクから各臓器のリスクを差し引くことになり、その際には胆嚢の生涯死亡リスクとして“-100”の値が利用されることになる。

表 4.31 入力項目の一覧

	入力項目	単位	入力方法	入力範囲
目的別入力	核種または γ 線エネルギー	MeV	タブ選択	0.1-2.0 MeV
	周辺線量当量率 \rightarrow 地表面濃度の換算係数	(Bq m ⁻²)/(Sv h ⁻¹)	データベース	0より大きい
	地表面濃度 \rightarrow 臓器吸収線量の換算係数	(Gy h ⁻¹)/(Bq m ⁻²)	データベース	0より大きい
	個人線量当量 \rightarrow 空気カーマの換算係数	Gy/Sv	データベース	0より大きい
	空気カーマ \rightarrow 臓器吸収線量の換算係数	Gy/Gy	データベース	0より大きい
	物理学的半減期	h	データベース	0より大きい
	環境半減期	h	任意入力	0より大きい
	曝露時間	h, y (選択可能)	任意入力	0-110年
汎用部分	屋内滞在時間	h	任意入力	0-24 h
	臓器吸収線量	Gy	目的別入力からの入力または任意入力	0より大きい
	性別	—	タブ選択	男性、女性
	被ばく時年齢	y	任意入力 (整数のみ)	0-110歳
	曝露時間	h, y (選択可能)	任意入力	0-110年
	現年齢	y	任意入力 (整数のみ)	0-110歳
	評価がん部位	—	チェック方式	—
	EAR、ERRに関するパラメータ (β, γ, η 等) *	—	データベース	—
	利用するリスクモデル	—	タブ選択	—
	DDREF*	—	任意入力	0より大きい
	ベースラインがん死亡、罹患率	10万人当たりの人数	データベース	0より大きい
	利用するベースラインデータ	—	タブ選択	—
	最小潜伏期間*	y	任意入力	0以上
	最大到達年齢	y	任意入力	0-110歳
	生存率	—	データベース	0-1
	利用する生命表	—	タブ選択	—
	リスク転換時に使用するパラメータ。ERRの重み*	—	データベース	0-1
	リスク転換手法	—	チェック方式	加重平均、相乗平均
	人口分布	人	データベース	0より大きい
	利用する人口分布	—	タブ選択	—
	生活習慣に関するパラメータ (喫煙本数等)	パラメータ依存	任意入力	パラメータ依存
	不確かさ解析時の試行回数	回	任意入力	0より大きい
	不確かさに関するパラメータ (分布形、最小値、最大値、最頻値等)	パラメータ依存	任意入力	パラメータ依存
目的別出力	症状ごとの重み	—	データベース	0-1
	5年生存率	—	データベース	0-1

* 不確かさ評価時に不確かさを考慮するパラメータ

表 4.32 出力項目の一覧

	出力項目	単位
汎用部分	ベースラインのみの生涯死亡・罹患リスク	10万人当たりの数
	被ばくにより増加した生涯死亡・罹患リスク	10万人当たりの数
	ベースラインも含めた生涯死亡・罹患リスク	10万人当たりの数
	被ばく時年齢ごとの生涯死亡・罹患リスク	10万人当たりの数
	単位線量当たりの生涯死亡・罹患リスク	10万人当たりの数 Sv ⁻¹
目的別出力	ベースラインのみの損失余命	y
	被ばくにより増加した損失余命	y
	ベースラインも含めた損失余命	y
	ベースラインのみのDALYs	y
	被ばくにより増加したDALYs	y
	ベースラインも含めたDALYs	y

4.3.2. ユーザインターフェースの設計

ユーザインターフェースの設計として、画面遷移図のイメージ図と入力画面と出力画面のイメージ図を作成し、図 4.12～図 4.16に示す。

スタートメニューでは、各パラメータのテーブル（データベース）の管理画面への移行とコードに必要な入力値の設定画面への移行の選択が可能となる。なお、習熟度が“一般”の方が利用するバージョン（機能制限版）の場合には、テーブルの管理画面への移行をできないようにすることも考慮する。

テーブルの管理では、本コードに備えられているデータベースを閲覧することができる。また、ここでデータの修正、削除が可能である。さらにユーザが用意したデータファイル（フォーマットを整えておく必要がある）を読み込むことによって、データベースに保存することができ、それらを計算で使用することも可能となる。

モデルの選択、入力値の設定では、始めに周辺線量当量率と個人線量当量の観測値からのリスク計算、または臓器吸収線量を直接入力する場合のリスク計算が選択できる。周辺線量当量率と個人線量当量を選択した場合には、そこで必要な入力項目（核種またはγ線エネルギー、人口分布（年齢、性別等）、環境半減期、曝露時間、屋内滞在時間）が表示され、それらを入力し、計算を実行することによって、汎用部分で必要な入力項目が表示される。この場合、被ばく状況（線量と曝露時間）と人口分布の部分は自動的に入力されているため、再度入力する必要はなくなる。臓器吸収線量を入力値とした場合には、被ばく状況（線量と曝露時間）を入力する必要がある。その後、人口分布、リスクモデル、ベースライン、生命表、評価するがん部位の選択を行う。

図 4.12では、スタートメニューから入力パラメータの設定、出力結果までを直列で画面

遷移するものとなっているが、入力パラメータを設定した後に、スタートメニューに戻り、その後、計算を実行するプロセスも考えられる。

各入力項目の詳細は下記のとおりである。

核種または γ 線エネルギー：核種としてCs-134とCs-137のいずれかが選択可能である。 γ 線エネルギーは0.1～2.0 MeVの範囲で、ICRP 116または144で計算されているエネルギーが選択可能である。

環境半減期：0より大きな値で、利用者が任意の値の入力が可能である。0以下の値が入力された場合には、エラーとなる。

曝露時間：0～110年の間で、利用者が任意の値の入力が可能である。また、利用者は単位として、hour、day、month、yearを選択可能である。0～110年の範囲を超えた場合には、エラーとなる。

屋内滞在時間：0～24時間の間で、利用者が任意の値の入力が可能である。0～24時間の範囲を超えた場合には、エラーとなる。

臓器吸収線量（直接入力時）：0より大きな値で、利用者が任意の値の入力が可能である。0以下の値が入力された場合には、エラーとなる。被ばく状況として、“急性被ばく”または“慢性被ばく”を選択可能である。“慢性被ばく”を選択した場合には、曝露時間も入力する必要がある。なお、他モデルからの入力に対応するために、各年の被ばく線量をファイル形式で入力することも可能な設計とする。

人口分布：始めにある属性のリスクを計算するか、ある集団のリスクを計算するかを選択する。属性のリスクを計算する場合には、性別、被ばく時年齢、及び現年齢を入力する。性別は男性と女性を選択可能とした。被ばく時年齢と現年齢は0～110歳の間で、利用者が任意の値の入力が可能である。0～110歳の範囲を超えた場合と現年齢が被ばく時年齢よりも小さい値の場合には、エラーとなる。集団のリスクを計算する場合には、テーブルに格納された人口分布データを選択可能である。また、複数年にわたって同じ集団のデータがある場合には、使用する年、範囲を選択可能である。範囲を選択した場合には、その期間の平均値が利用される。

リスクモデル：テーブルに格納されたリスクモデルを選択可能である。選択されたリスクモデルの各パラメータ値は画面上に表示され、必要に応じて値の変更が可能である。また、DDREF、最小潜伏期間、ERRの重みも利用者が変更可能である。DDREFは0以下、最小潜伏期間は0より小さい値、ERRの重みは0～1以外の値が入力された場合には、エラーとなる。さらに、生活習慣を考慮できるモデルに対しては、生活習慣の考慮/未考慮を選択できる。生活習慣を考慮する場合には、さらに喫煙本数などの情報を入力する必要がある。

不確かさ解析の実施：不確かさ解析を実施/未実施を選択可能である。不確かさ解析を実施する場合には、さらに試行回数や各パラメータの分布形とその分布を決定する値

を入力する必要がある。

ベースラインがん罹患・死亡率：テーブルに格納されたベースラインがん罹患・死亡率データを選択可能である。また、複数年にわたって同じ種類のデータがある場合には、使用する年、範囲を選択可能である。範囲を選択した場合には、その期間の平均値が利用される。

生命表：テーブルに格納された生命表データを選択可能である。また、複数年にわたって同じ種類のデータがある場合には、使用する年、範囲を選択可能である。範囲を選択した場合には、その期間の平均値が利用される。なお、生命表で選んだ都道府県が連動し、ベースラインがん罹患・死亡、人口分布に同じ都道府県が自動的にセットされる。また、個別入力の切り替えにより、別々の地域のデータを選択できるように設計する。

評価するがん部位：計算可能ながん部位が画面上に表示され、ユーザが計算したいがん部位をチェックすることによって、その部位の計算が行われる。

計算結果では、表示したいがん部位、出力値（表 4.32）、最大積算年齢を入力することで、図表が表示される。表に関して、出力値が負の場合には“<0”または負の値のいずれかを利用者が選択できる。また、計算結果に対しての注意点、例えば比較的小さな値や不確かさが大きい時の解釈等を示すメッセージボックスを設けることも重要である。図に関して、縦軸と横軸の範囲、軸ラベル名を利用者が変更可能である。また、データ一式をcsvなどで出力することも可能である。

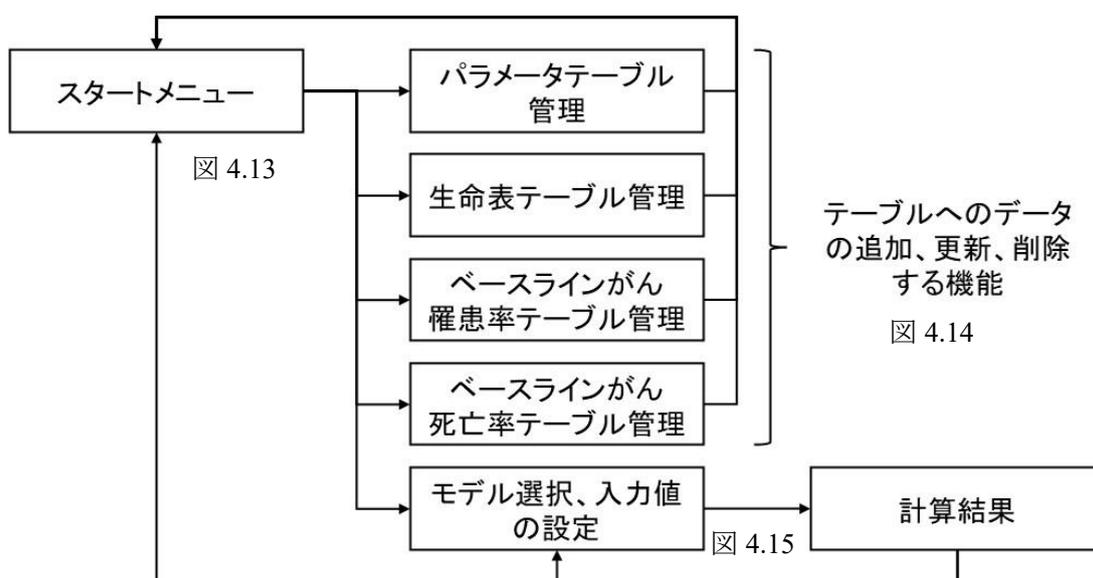


図 4.12 コードの画面遷移のイメージ図

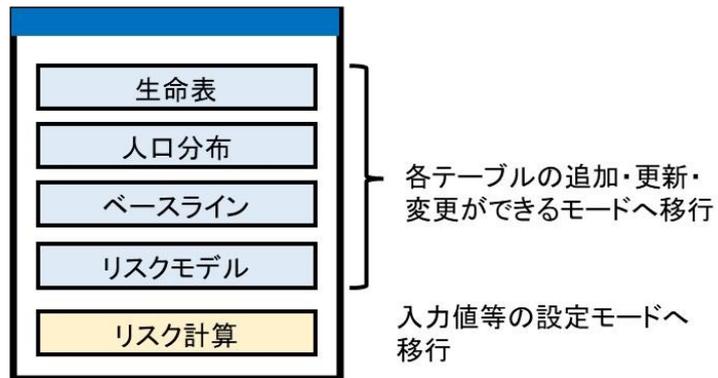


図 4.13 スタートメニューのイメージ図

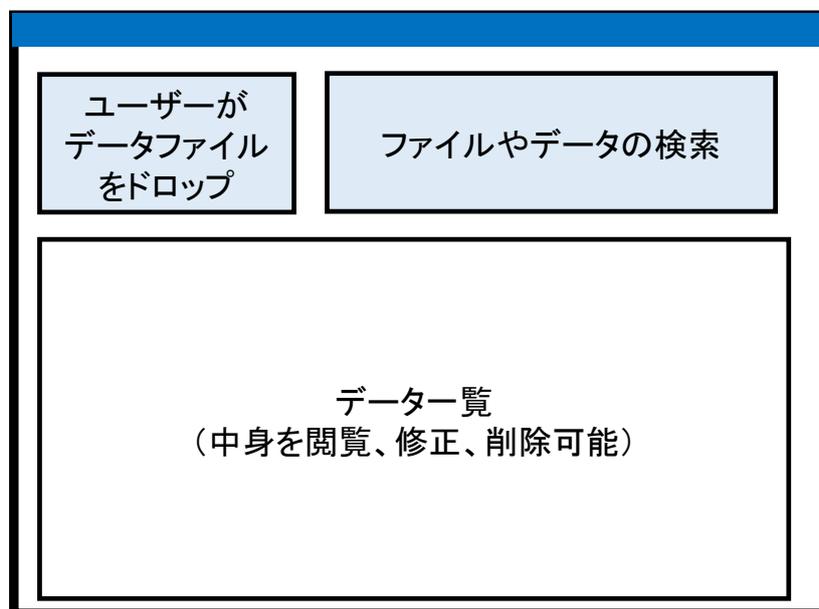


図 4.14 テーブル管理のイメージ図

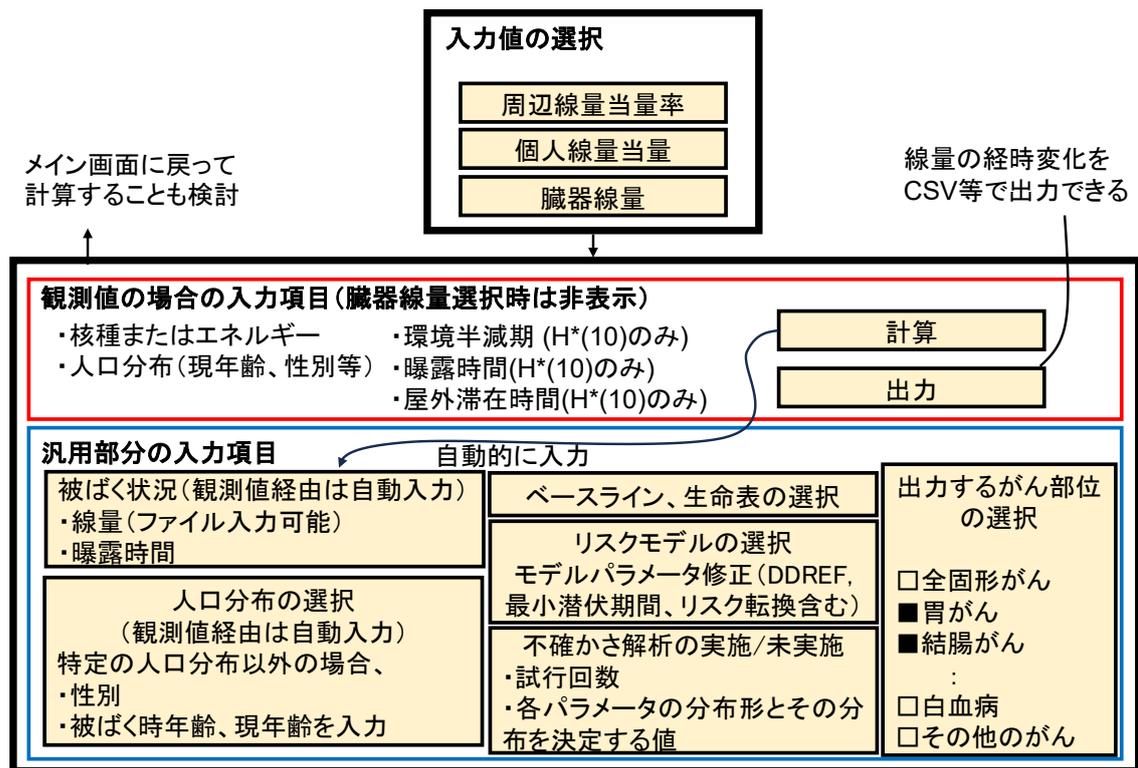


図 4.15 モデル選択、入力値の設定のイメージ図

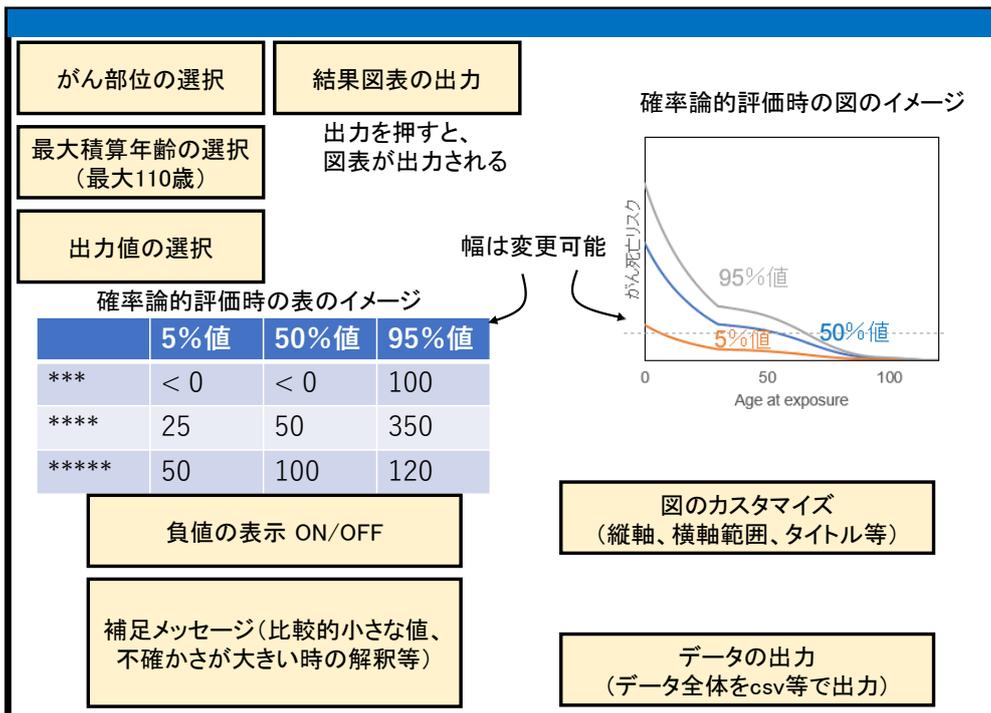
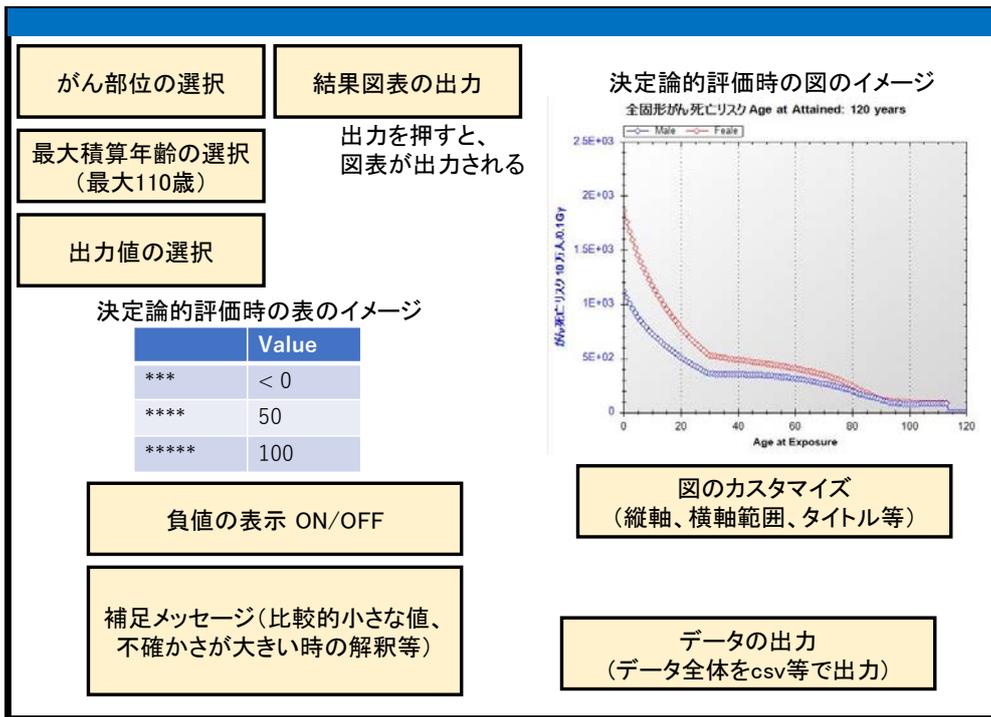


図 4.16 計算結果のイメージ図
(上：決定論的評価時、下：確率論的評価時)

4.3.3. システム内部の動作の設計

ここでは、ユーザインターフェース部とモジュール化の考え方のみを記す。細かな詳細（ER図、概要設計書、データフロー図、物理データ設計書、シーケンス図、アクティビティ図、エラー処理の方法とログのフォーマット）は付録2に示す。

4.3.2節に示したグラフィカルユーザインターフェース（GUI）を持つアプリケーション設計にはマイクロソフトが提唱したMVVM（Model View ViewModel）がある（図 4.17）。MVVMは画面表示を担うView、バックグラウンドで行う様々な処理を担うModelおよびViewとModelとの間の仲介を行うViewModelの3つに分けて開発する。このように分けることによりViewとModelを依存関係のないプログラムとすることができる（ViewとModelを個別に開発することが可能）。

さらにMVVMの特徴としてViewとViewModelにデータバインディング（ソースオブジェクトとターゲットオブジェクトのデータを同期する仕組み）を導入することで、画面上の値の変更とViewModelの状態変数（プロパティ）が同期でき、逆にModelから取得した値はViewModelの状態変数を介して自動的に画面上の値に設定される。

MVVMに準拠したGUIのフレームワークとしてマイクロソフトの.NETに属するWPF（Windows Presentation Foundation）がある。スタンドアロン型のアプリケーションの開発には、このWPFが使用できる。図 4.18にWPFを使用してView（画面）を作成した例を示す。WPFでは画面の作成にXML言語を拡張したXAMLを使用し、画面を単独で開発することができる。

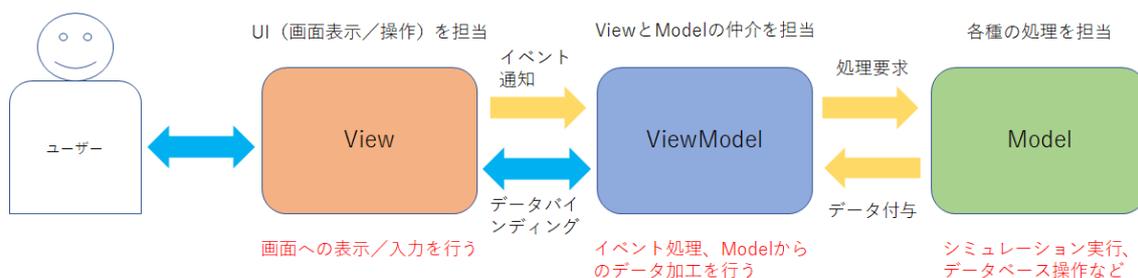
このように計算コード（Model部）とユーザインターフェース（View部）を独立させることによって、ユーザインターフェースが実行できない環境下でも、コマンドプロンプトにより計算自体が実行できるようになり、利便性が向上すると考えられる。

汎用部では放射線被ばくに起因したがんリスクを評価する。放射線に起因したリスクを評価するには、過剰相対リスクおよび過剰絶対リスクのリスクモデルを与える必要がある。これらリスクモデルには4.2.2(1)に示したように様々なモデルが提案されており、また将来的に改訂されることもあり得る。この汎用部で評価されるのは、生涯寄与リスクである。

この汎用部をオブジェクト指向言語によりコード化するためのクラス図³⁵の例を図 4.19に示す。「放射線健康リスク」クラスがリスク評価を行う本体で、「リスクモデル」インターフェースを持ち、そのインターフェースは「放射線健康リスク」クラスの外部で実装するようにしている。このようにすることによって「放射線健康リスク」クラスの内部でリ

³⁵ クラス図とは、クラス、属性（プロパティ）、クラス間の関係からシステムの構造を記述する静的な構造図である。“クラス”は“メソッド（オブジェクト指向プログラミングにおいて、クラスに属しているサブルーチン）”を集めたもので、その“クラス”を集めたものが“モジュール”、FORTRANは複数のサブルーチンやファンクションを一つのファイルにまとめることができる。

スクモデルを切り替えるのではなく外部で切り替えることができることとなる。したがって将来的にリスクモデルの改訂があった場合に「リスクモデル」インターフェースを新たに実装したプログラムを作成すればよく、「放射線健康リスク」クラス自体を変更する必要がない。



データバインディングとは、ソースオブジェクトとターゲットオブジェクトのデータを同期する仕組み

図 4.17 アプリケーション設計思想のMVVM (Model View ViewModel) の概念図



画面

```
<Window x:Class="RadiationRisk.MainWindow"
        xmlns="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml/presentation"
        xmlns:x="http://schemas.microsoft.com/winfx/2006/xaml"
        xmlns:mc="http://schemas.openxmlformats.org/markup-compatibility/2006"
        xmlns:d="http://schemas.microsoft.com/expression/blend/2008"
        xmlns:local="clr-namespace:RadiationRisk"
        mc:Ignorable="d"
        Title="放射線による健康リスク評価" Height="650" Width="550" MinHeight="650" MinWidth="550">
    <StackPanel>
    <StackPanel>
    <GroupBox Header="対象者" Margin="2">
    <Grid>
    <Grid.RowDefinitions>
    <RowDefinition />
    <Grid.RowDefinitions>
    <Grid.ColumnDefinitions>
    <ColumnDefinition />
    <ColumnDefinition />
    <ColumnDefinition />
    <ColumnDefinition />
    <Grid.ColumnDefinitions>
    <Grid Grid.Row="0" Grid.Column="0">
    <ComboBox SelectedIndex="0" Width="60" Margin="4" HorizontalAlignment="Left">
    <ComboBoxItem Content="男性" />
    <ComboBoxItem Content="女性" />
    </ComboBox>
    </Grid>
    </Grid>
    </StackPanel>
    </StackPanel>
    </Window>
```

XAML (Extensible Application Markup Language)

図 4.18 MVVMに準拠したGUIのフレームワークWPF (Windows Presentation Foundation) を用いた画面作成例

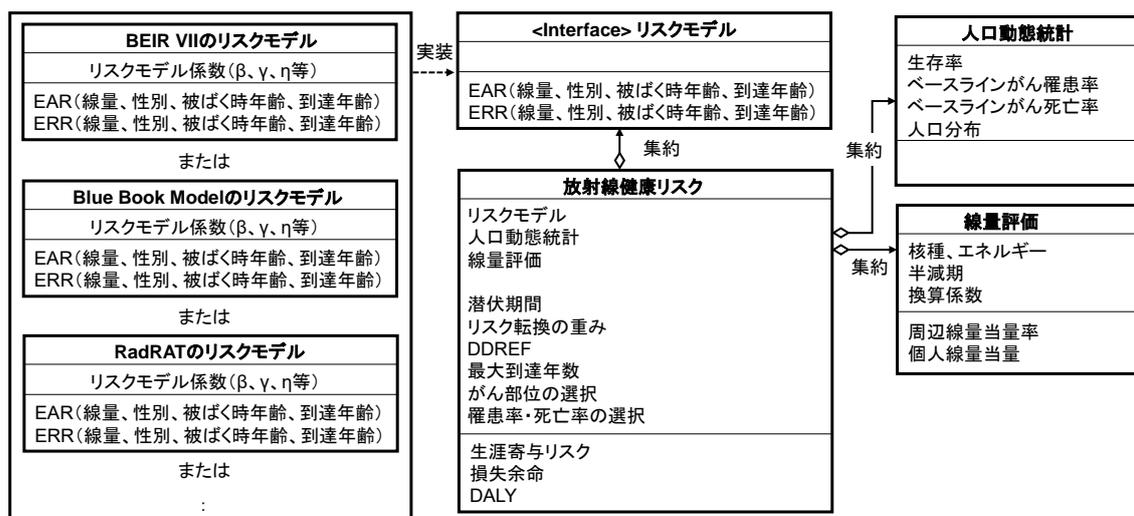


図 4.19 放射線健康リスクのクラス図の例

4.3.4. コード機能の検証方法の検討

コード機能を検証するために、他のモデルやコードと以下の情報を揃えて計算し、結果を比較する必要がある。

- ・ 生命表
- ・ ベースラインがん罹患率または死亡率
- ・ EARとERRに関するパラメータ (β 、 γ 、 η 等)
- ・ 線量・線量率効果係数 (DDREF)
- ・ リスク転換
- ・ 最小潜伏期間

このうち、生命表とベースラインがん罹患率または死亡率はほとんどのモデルやコードで公開されていない。これらのデータが公開されているものとして、BEIR VIIとBlue Book Modelが挙げられる。BEIR VIIでは、米国における1999年の生命表 (Anderson and De Turk, 2002) が使用されており、ベースラインがん死亡率に1995～1999年の米国がん死亡率³⁶が使用されている。Blue Book Modelでは、米国における1998年～2002年の生命表 (平均値) が使用されており、ベースラインがん罹患率に米国NIH (National Cancer Institute)のSEER (Surveillance, Epidemiology, and End Results Program) がん登録データ (SEER9～13, 17)³⁶が使用されている。そのため、本健康リスク評価コードの機能の検証には、BEIR VIIまたはBlue Book Modelとの比較が良いと考えられる。

機能の検証では、上記パラメータ値を揃え、がん部位、線量、曝露時間、被ばく時年齢、性別等を変更し、計算結果の一致度を把握する。計算条件が同じであるため、計算結果は一致すると考えられるが、ベースラインデータ等の補間方法や外挿方法の違いにより、多

³⁶ http://seer.cancer.gov/csr/1975_2000

少の差が生じる可能性があることは念頭に入れておく必要がある。

4.4. まとめ

概念設計にあたり、本健康リスク評価コードの要件定義を行い、計算に使用するモデル・データの検討、コードの構造の検討を実施した。

要件定義として、重要な点は以下のとおりである。

- ・ 本コードでは、計画時と復旧時に利用することを重点的に想定し、緊急時への利用は優先度が低い。
- ・ 利用者としては、大きく2パターンに分けられ、習熟度に応じたコード開発を検討する。
- ・ 本健康リスク評価コードの計算の流れは、観測値から臓器別吸収線量を計算する目的別入力部分、臓器吸収線量からリスクを計算する汎用部分、リスク以外の出力として損失余命とDALYを計算する目的別出力部分に分けられる。
- ・ 本健康リスク評価コードの詳細版は、ユーザによるモデル変更やデータベースの入れ替え等を鑑み、デスクトップ版が望ましい。なお、機能制限版に関してはデスクトップ版とウェブ版のどちらも適している。
- ・ 開発言語として、使用用途を満足し、デスクトップ版からウェブ版への移行のしやすさ等を鑑み、.NET系の開発言語（VB.NET, C#.NET）が適している。

計算に使用するモデル・データとして、本コードでは、様々なモデルやデータを予め備えておき、ユーザが選択できるような設計としている。コードの計算機能を検証するために既存コードと同じモデル（LSS13等）・データの他に新しいモデル（LSS14等）・データも予め備えておくこととした。

コード設計では、要件に従ってユーザが操作する部分の設計と内部機能の設計を実施した。さらに、コード機能の検証方法についても検討した。

来年度以降のコード開発では、本章の概念設計をベースとしてコード開発を実施することになる。ただし、リスクモデルやデータベースは現在も更新されており、本章で検討した概念設計が適さなくなる可能性もある。そういった場合には、今年度の概念設計に固執するのではなく、適宜柔軟に対応しながらコード開発を進めていくことが重要である。

5. データベースの整備に関する検討

今年度は、本健康リスク評価コードに必要となる基礎的なデータとして、汎用部分のデータ（ベースラインがん罹患率、ベースラインがん死亡率、生命表、人口分布、生活習慣（喫煙）、5年・10年生存率及びEARとERRに関するパラメータ）をデータベース化し、電子データを納品した。

5.1. データベースの整備方法

健康リスク計算を実施するためには、いくつかの統計データが必要であり、統計を取った年度や地域などの違いにより、膨大なデータとなる。また、発行元の違いや、発行年度によりフォーマットが異なる場合があるため、これらの統計データがまとめられた個々のファイルで管理すると、ファイル数が多くなり、また、データを読み込むためには複数のフォーマットに対応したプログラムが必要となる。そこで、Microsoft Accessを利用し、これらのデータを一つのデータベースに収録し、リスク評価が可能となるようにフォーマットを統一した形のテーブルとして管理する方法を採用した。

5.2. 今年度整備したデータとその引用元

今年度整備したデータベースの一覧を表 5.1に示す。

表 5.1以外に、EARとERRに関するパラメータ (β_1 , β_2 , γ , η , δ , φ , θ など) について、最小値、最大値、平均値を収録した。罹患については、BEIR VII、Blue Book Model、RadRAT、Grant et al. (2017)のモデル、死亡についてはLSS14 (Ozasa et al., 2012)のモデルを収録した。

データはインターネットの各サイトよりダウンロードし、フォーマットを統一してそれぞれのデータにシートを作成して1つのExcelファイルとし、VBA (Visual Basic for Application)³⁷でMicrosoft Access データベースを作成して保存するプログラムを作成してデータベースに登録した。

図 5.1に生命表テーブル、図 5.2に人口分布テーブル、図 5.3にがん罹患テーブル、図 5.4にがん死亡テーブル、図 5.5にモデル・パラメータテーブル、図 5.6に生活習慣テーブル、図 5.7に5年生存率テーブルを示す。図では、最上部にテーブル名、2段目以降にフィールド名を示し、鍵マーク（図 5.1のNumberの横についているマーク）のついていないフィールド名はキー（1つの情報を特定できるフィールド）を示す。

³⁷ Microsoft Office に含まれるアプリケーションソフトの拡張機能。

5.3. まとめ

健康リスク評価コードに必要な基礎データとして、汎用部分のデータ（ベースラインがん罹患率、ベースラインがん死亡率、生命表、人口分布、生活習慣（喫煙）、5年・10年生存率及びEARとERRに関するパラメータ）に関して、Microsoft Accessを利用してデータ整備した。

<table border="1"> <thead> <tr> <th>死亡率_全国_完全版_厚労省</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Number</td></tr> <tr><td>Year</td></tr> <tr><td>Age</td></tr> <tr><td>male</td></tr> <tr><td>female</td></tr> </tbody> </table>	死亡率_全国_完全版_厚労省	Number	Year	Age	male	female	<table border="1"> <thead> <tr> <th>死亡率_全国_完全版_阪神・淡路大震災の影響を除去_厚労省</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Number</td></tr> <tr><td>Year</td></tr> <tr><td>Age</td></tr> <tr><td>male</td></tr> <tr><td>female</td></tr> </tbody> </table>	死亡率_全国_完全版_阪神・淡路大震災の影響を除去_厚労省	Number	Year	Age	male	female	<table border="1"> <thead> <tr> <th>死亡率_都道府県別</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Number</td></tr> <tr><td>Year</td></tr> <tr><td>prefecture</td></tr> <tr><td>gender</td></tr> <tr><td>Age</td></tr> <tr><td>死亡率</td></tr> <tr><td>生存数</td></tr> <tr><td>死亡数</td></tr> <tr><td>定常人口nLx</td></tr> <tr><td>定常人口Tx</td></tr> <tr><td>平均余命</td></tr> </tbody> </table>	死亡率_都道府県別	Number	Year	prefecture	gender	Age	死亡率	生存数	死亡数	定常人口nLx	定常人口Tx	平均余命
死亡率_全国_完全版_厚労省																										
Number																										
Year																										
Age																										
male																										
female																										
死亡率_全国_完全版_阪神・淡路大震災の影響を除去_厚労省																										
Number																										
Year																										
Age																										
male																										
female																										
死亡率_都道府県別																										
Number																										
Year																										
prefecture																										
gender																										
Age																										
死亡率																										
生存数																										
死亡数																										
定常人口nLx																										
定常人口Tx																										
平均余命																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>死亡率_全国_国立社会保障・人口問題研究所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Number</td></tr> <tr><td>Year</td></tr> <tr><td>Age</td></tr> <tr><td>male</td></tr> <tr><td>female</td></tr> </tbody> </table>			死亡率_全国_国立社会保障・人口問題研究所	Number	Year	Age	male	female																		
死亡率_全国_国立社会保障・人口問題研究所																										
Number																										
Year																										
Age																										
male																										
female																										

図 5.1 生命表テーブル

人口分布
年齢
男女計
男
女
人口性比

図 5.2 人口分布テーブル

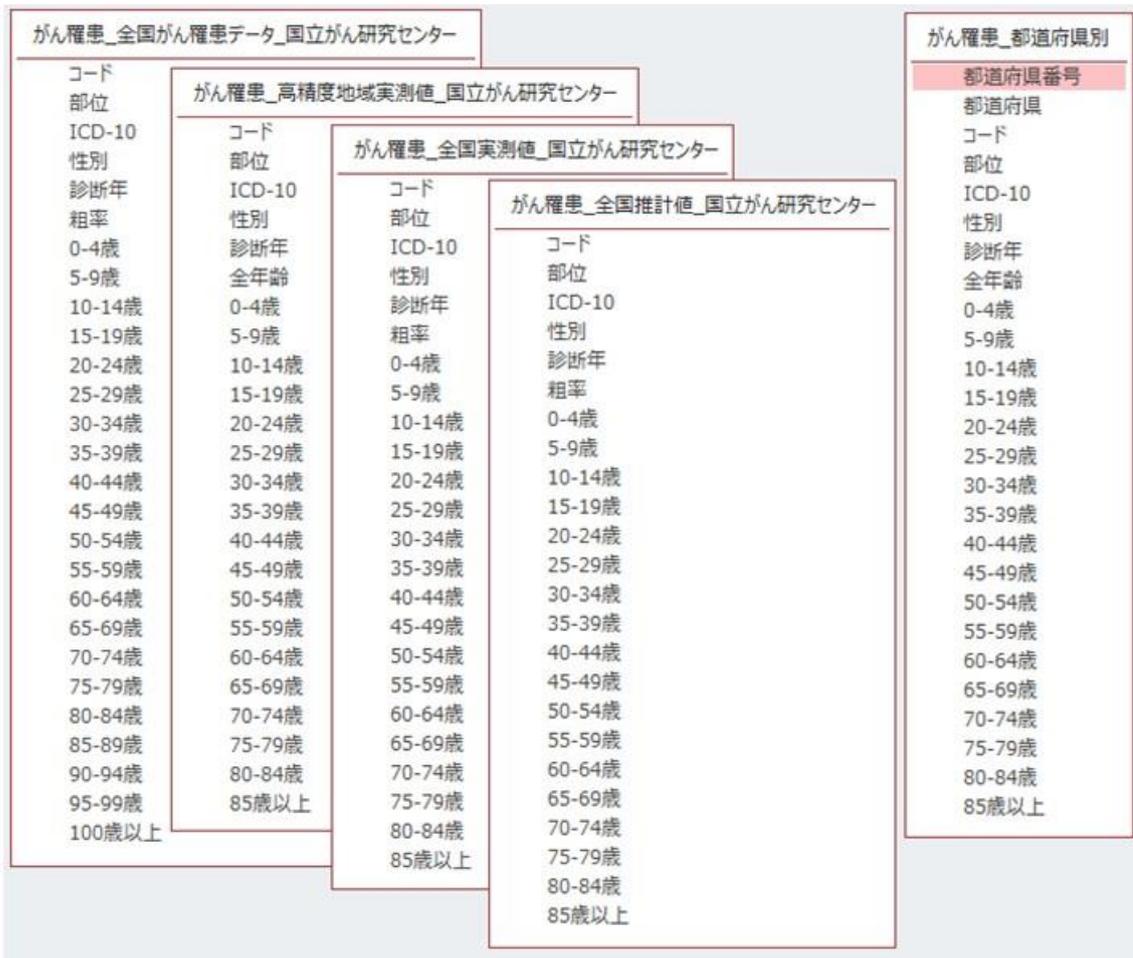


図 5.3 がん罹患テーブル

がん死亡_全国がん死亡データ_国立がん研究センター		がん死亡_新基準人口_国立がん研究センター	
コード		コード	
部位		部位	
ICD		ICD	
ICDコード		ICDコード	
性別		性別	
死亡年		死亡年	
粗率		粗率	
0-4歳		0-4歳	
5-9歳		5-9歳	
10-14歳		10-14歳	
15-19歳		15-19歳	
20-24歳		20-24歳	
25-29歳		25-29歳	
30-34歳		30-34歳	
35-39歳		35-39歳	
40-44歳		40-44歳	
45-49歳		45-49歳	
50-54歳		50-54歳	
55-59歳		55-59歳	
60-64歳		60-64歳	
65-69歳		65-69歳	
70-74歳		70-74歳	
75-79歳		75-79歳	
80-84歳		80-84歳	
85歳以上		85-89歳	
		90-94歳	
		95歳以上	

図 5.4 がん死亡テーブル

パラメータ_罹患	
model	▲
site	
Model_type	
gender	
Beta1_ERR	
Beta2_ERR	
Gamma_ERR	
Eta_ERR	
Beta1_EAR	
Beta2_EAR	
Gamma_EAR	
Eta_EAR	
Delta1_ERR	
Delta2_ERR	
Fai_ERR	
Theta_ERR	
Delta1_EAR	
Delta2_EAR	
Fai_EAR	
Theta_EAR	
Beta1_ERR_min	
Beta2_ERR_min	
Eta_ERR_min	
Gamma_ERR_min	
Delta_ERR_min	
Fai_ERR_min	
Theta_ERR_min	
Beta1_ERR_max	
Beta2_ERR_max	
Eta_ERR_max	
Gamma_ERR_max	
Delta_ERR_max	
Fai_ERR_max	
Theta_ERR_max	
Beta1_EAR_min	
Beta2_EAR_min	
Eta_EAR_min	
Gamma_EAR_min	
Delta_EAR_min	
Fai_EAR_min	
Theta_EAR_min	▼

図 5.5 モデル・パラメータテーブル

生活習慣_喫煙
都道府県番号
都道府県
性別
2001年
2004年
2007年
2011年
2013年
2016年
2019年

図 5.6 生活習慣テーブル

生存率_5年_1993_2011
部位
ICD-10
対象者数_男
相対生存率_男
対象者数_女
相対生存率_女
対象者数_男女計
相対生存率_男女計

図 5.7 5年生存率テーブル

表 5.1 各テーブルに収録した年度

	テーブル名	収録した年	引用元
生命表	死亡率_全国_完全版_厚労省	1996～2021年	厚生労働省
	死亡率_全国_完全版_阪神・淡路大震災の影響を除去_厚労省	1996～2021年	厚生労働省
	死亡率_全国_国立社会保障・人口問題研究所	1947～2021年	国立社会保障・人口問題研究所
	死亡率_都道府県別	2000年、2022年	厚生労働省
	5年生存率	1993年～2011年	国立がん研究センター
	10年生存率	2002年～2006年	国立がん研究センター
がん罹患率	がん罹患_高精度地域実測値_国立がん研究センター	1985～2015年	国立がん研究センター
	がん罹患_全国実測値_国立がん研究センター	2014～2015年	国立がん研究センター
	がん罹患_都道府県別	2016～2019年	国立がん研究センター
がん死亡率	がん死亡_全国がん死亡データ_国立がん研究センター	1958～2009年	国立がん研究センター
	がん死亡_新基準人口_国立がん研究センター	1996～2021年	国立がん研究センター
人口分布	人口分布	2021年	e-stat
生活習慣	生活習慣_喫煙	2001年～2019年	国立がん研究センター

厚生労働省：<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/list58-60.html>

国立社会保障・人口問題研究所：https://www.ipss.go.jp/site-ad/index_Japanese/cyousa.html

国立がん研究センター：https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/data/dl/index.html

e-stat（総務省統計局）：<https://www.stat.go.jp/index.html>

6. 研究に必要な国内外の情報収集

本事業の実施に当たっては、放射線防護分野（影響、線量、医療、防護）に関する多岐にわたる高い専門性が必要であることから、事業成果の向上・精緻化を図ることを目的として、適宜事業内容に関連する国内外の専門家と意見交換等を行った。研究に必要な国内外の情報収集として、放射線健康リスクに関係する会議等に参加し、放射線健康リスク評価等に関連する情報を入手した。

6.1. 関係する会議等への参加

(1) 日本原子力学会 秋の大会

2023年9月6日から8日に名古屋大学にて開催された日本原子力学会に参加し、本事業に関連が深い発表を聴講した。以下のその概要を記載する。

タイトル：災害・事故時における非定常化学物質漏洩の影響予測と対策に関する課題

発表者：(国研) 産業技術総合研究所安全科学研究部門 小野恭子

背景と目的:

近年、自然災害の増加に伴い、事業所からの非定常な化学物質排出に対する関心が高まっている。このような排出が一般環境へのリスクや環境汚染を引き起こす可能性があり、その影響を事前に評価し、効果的な対策を立てることが必要である。

米国のアプローチ:

米国では「リスク管理プログラム」が、危険有害物質を扱う事業所にリスク削減計画の策定を要求している。このプログラムは、化学物質の事故的漏洩防止と影響軽減を目的とし、危険有害物質に対する急性影響判断基準を提供している。また、緊急対応体制を構築するため、行政、住民、事業者とのコミュニケーションを促進する。このアプローチは、緊急時の効率的な意思決定をサポートする一助となっている。

日本の課題:

一方、日本では事故時に一般環境への影響評価に関する具体的な枠組みが不足しており、急性影響判断基準の適用に課題がある。さらに、事前の情報整備が必要であるという課題が浮き彫りになっている。

研究の成果:

本発表では、事故情報データベースの解析の一例を示した。1999年から2018年までの「毒

物又は劇物の流出・漏洩事故情報」を分析し、漏洩量の分布に関する重要な知見が得られた。また、特定の対象物質に対して大気中濃度の推定方法が示され、拡散プロセスに関する詳細な情報も提供された。

課題と今後の展望:

これらの研究により、災害や事故に起因する一般環境への化学物質の影響評価に関する課題が整理された。今後の展望として、一般環境への影響評価を体系的に行うための枠組みの開発が必要である。また、情報整備と連携を強化し、災害・事故時のリスク管理において更なる進展を目指すことが示された。

(2) NARE2023 (International Symposium on Natural and Artificial Radiation Exposures and Radiological Protection Studies)

2023年9月17日から22日に弘前大学にて開催されたNARE2023に参加し、令和4年度本事業内容の一部をポスターにて発表した。以下のその概要と発表の際の質問とコメントを記載する。

タイトル:

Comparison of codes for calculation of projected radiation-induced cancer risks

発表者 : Ikuo Kujiraoka, Yoshihiro Noguchi, Kazumasa Shimada, Jun Hirouchi, Shogo Takahara (JAEA)

概要:

放射線被ばくによって誘発されるがんの生涯寄与リスク (LAR) は、放射線防護対策や原子力緊急事態への準備・対応のための防護措置を決定するための重要な要素の一つである。日本では、原爆被爆者の疫学データに基づいて日本人のLARを推定するモデルが開発されているが、このモデルを実装する柔軟な予測コードの開発が必要である。本研究では、予測コードの開発に資するため、既存のコードを調査した。これらの調査に基づき、各コードに同一条件を入力した際のLAR計算結果を比較し、その相違の原因を探った。

質問とコメント:

各コードにおける各臓器のがんリスクについてバックグラウンドからの増加はどれほどかという質問があった。今回の比較では、コード間のLARの差に着目し、上記の質問の点には着目していなかったため、その質問に対する明確な返答は出来なかった。

また、検討委員会の吉永委員から、JRRに掲載されている甲状腺がんのリスクに関する体系的レビューとメタ分析の論文(Mirkatouli et al., 2023)が参考情報になるかもしれないという

コメントがあった。

(3) ICRP2023 (7th International Symposium on the System of Radiological Protection)

11月6－9日に東京にて開催されたICRP2023の発表から、本事業に関連があると思われる発表の概要を以下に示す。

タイトル：Aspects of Risk Projection Models Relevant for Detriment Calculation and Application to Radiation-Induced Leukemia

発表者：Markus EIDEMÜLLER Federal Office for Radiation Protection, Germany

背景と目的：

- Ulanowskiらの文献で議論されたProZESソフトウェアは、割り当てシェア (AS) を不確実性区間とともに計算し、宇宙飛行士のリスク評価や医療応用など多岐にわたるシナリオで適用可能である。
- ProZESは、ドイツの職業的被ばくに関連するがん発生の補償請求において意思決定をサポートしている。
- MMI (Multi Model Inference) を含む厳格な手法、各がん部位/グループごとの年齢依存のフィッティング、LSSからドイツ人口へのリスク移転、継続的な最小潜伏時間、低線量補正などが採用している。
- モンテカルロシミュレーションにより、不確実性範囲の堅牢な評価が確保されている。

血液がんモデルに特有の課題：

- HEM1、HEM2、HEM3などの白血病モデルは、LSSでのケース数の少なさ、複雑な年齢依存性、非線形の線量応答などの課題に直面している。
- HEM1は、特定のICD10コードを持つさまざまな白血病のタイプを対象としている。
- HEM2はホジキンリンパ腫、非ホジキンリンパ腫、関連疾患に焦点を当てている。
- HEM3は急性骨髄性白血病 (AML) および関連疾患に対応している。
- ・ 慢性骨髄性白血病 (CML)：
 - CMLは曝露からの時間 (t_{se}) に強く依存している。
 - 異なる t_{se} 領域に最適化された3つのリスクモデルの使用は、非現実的な外挿を防ぐ。
 - 割り当てシェア (AS) の計算には、各モデルに対する均等な重みのMMIが含まれ、全年齢層での堅牢なリスク推定が確保されている。
- ・ リンパ腫グループ HEM2：
 - 男性に対する統計的に有意な放射線リスクがありますが、女性にはゼロのリスクが観察されている。
 - 生物学的には説明がつかないため、男性と女性のための共通のリスクを持つ追加

のモデルが適用されている。

- MMIは共通リスクに50%の重みを、性別固有のリスクに50%の重みを割り当て、流行病学的エビデンスと生物学的妥当性のバランスを実現している。
- ・ AMLグループ HEM3：非線形線量応答（ツインモデル）：
 - AMLグループは非常に非線形の線量応答を示した。
 - 最適なモデルは二次の線量応答を組み込んでいるが、断続的および長期の被ばくではリスクが消失する可能性がある。
 - ツインモデルの解決策では、非線形線量応答を持つモデルにリニアな低線量依存性のモデルを追加した。
 - AIC（Akaike Information Criterion）重み付きのMMIを使用するが、低線量領域でリニアモデルのリスクが非線形モデルよりも高い場合は、リニアモデルを使用した。

タイトル: 原爆被爆者における固形がん発症の分析: 1958-2009

発表者: Alina BRENNER (RERF)

背景と目的

- 以前の報告書では、すべての固形がんおよび複数の部位にわたり、性別、到達年齢、および被ばく年齢に依存する有意な線形線量応答が確立された。
- 1958-1987および1958-1998の包括的な報告書が基本的な洞察を提供している。

1958-2009年の論文の研究手法

- 2009年までの延長フォローアップ、追加の人年および症例。
- 改良された加重された臓器特異的な放射線量（DS02R1）。
- 改善された被ばく者の位置および地形遮蔽データ。
- 中性子のRBEは10、線量エラーの補正（35%CV）。
- 更新された移動率の推定。
- 解剖で確認されたが臨床的に疑われていないがん症例の除外。
- アンケートおよびクリニックベースの質問紙データを使用して関連する生活習慣要因を調整。
- グループ化された生存データのポアソン回帰を使用した統計的分析。

統計的分析

- ささまざまな要因に対する過剰相対リスク（ERR）および過剰絶対リスク（EAR）の計算。
- 喫煙、アルコール、体重指数、生殖歴などの生活習慣要因を考慮。

結果の概要

- 原爆被爆は、被ばく時の年齢や性別に関係なく、ほぼすべての固形がんの発症率

が増加した。

- 放射線超過症例は被ばくから60年以上経過しても続いている。
- 新たな症例は特に幼少期および思春期に被ばくした者の間で増加し、より精密な放射線リスクの推定および複雑な影響修飾パターンが明らかになった。
- 男性の前立腺がん、女性の膵臓がん、および両性の脳/CNS腫瘍に対する有意な線量応答が観察された。
- 続く追跡が、線量応答の形状、放射線リスクのパターン、および終生リスクの推定を洗練させるために重要である。

将来の検討事項

- 若い被爆者がより影響力を持つようになる。2009年時点で73%が存命。
- 放射線超過がんのピークは2015-2020年に予想されており、継続的なフォローアップが重要である。

タイトル: A Short Review of Published Multi-Model-Inference Studies in Radiation Epidemiology and Some New Developments

発表者 : Luana HAFNER (Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (ENSI)), Linda WALSH (University of Zürich)

多重モデル推論を用いる背景と目的

- 通常、データにはほぼ同様に適した複数のモデルが存在する。
- 特定のがんリスク計算のために1つのモデルを選ぶことは、モデル選択の不確実性を伴う。

モデル選択の不確実性を評価

- 統計情報理論に基づく手法で、データにはほぼ同様に適合する異なるモデルを重ね合わせるためのMMIがある。

MMI方法論

- 各リスク u について AIC を計算する。
- 各リスク u について、正規化された AIC ベースの重み w を計算する。
- リスクの加重平均を形成し、不確実性を取得する。

MMIの利点

- 通常のLNTモデルだけでなく、複数の可能性のある線量反応モデルに基づいてリスクを推定できる。
- モデル選択からの偏りを考慮することで、モデルの不確実性を包括的に特徴づけることができる。
- MMI誘導の線量反応の形状は、各寄与する線量反応のエビデンスの強さを考慮し

ている。

MMIのこれまでの実績

- WalshとKaiserによる成人および小児白血病の超過相対リスクに関するMMI（2011年）。
- KaiserとWalshによる日本の原爆被爆者の小児および成人の白血病の放射線リスクの独立した分析（2013年）。
- Kaiserと他による原爆被爆者の乳がんリスクに関するMMI（2012年）。

MMIの課題

- 情報基準の選択：AICとBICの選択に明確な最良の選択肢がない。
- 層別されたベースラインのモデルへの罰則：ERRモデルはパラメトリックまたは層別ベースラインでモデル化され、MMIで層別ベースラインモデルには不利な点がある。

新しい進展: MMIと固形がんモデル

- 固定されたベースラインで全固形がんモデルを2回適合させ、異なるモデルベースでMMIを実行する。
- AICおよびBICに基づいた重みを使用してモデルベースの超過リスクモデルを取得する。

新しい進展: MMIの宇宙飛行士がんリスク評価への適用

- MMIアプローチ：AICおよびBICの重みを基に計算された加重平均を用いた一般的なリスク推定。
- 月ミッションおよび火星ミッションの発がんリスクの新しいアプローチ。
- AICウェイトに基づくモデルのリスク推定は、BICウェイトに基づくモデルのリスク推定よりも小さく、95%CIが狭いことが見つかる。

まとめ

- Multi Model Inferenceは、放射線関連がんリスク計算におけるモデル選択の不確実性を評価するための統計情報理論に基づく手法である。
- MMIは計算コストが高いが、将来のリスク計算で不確実性の源に対処するために適用することが推奨される。

タイトル: Reimagining Radiological Risk Communication

発表者: Samy EL-JABY (CNSC)

背景と目的: Disability Adjusted Life Year (DALY)

- 1 DALY = 健康な寿命の1年失われたもの。
- DALYは、特定の疾病の診断後に障害と共に生きた年数（YLD）と、同じ疾病に

よる早すぎる死亡からの生命喪失年数 (YLL) の合計である。

DALYの構成要素

- YLDは、特定の障害の発生件数、障害の重症度を表す障害重み (DW、0~1)、および障害が緩和または死亡するまでの平均期間の積で決定される。
- YLLは、ある障害による人口内の死亡数 (N) と、死亡時の残りの寿命 (LE) の積である。

カナダの人口におけるDALY、YLD、およびYLLの率 (2019年)

- がんによる放射線誘発DALY
- 1 mGy/yの慢性被曝により、男性では1人あたり0.07 DALY、女性では0.11 DALY。
- 男性ではベースラインの1.5%増加、女性では3.1%増加。

DALY vs Detriment?

- Detrimentは放射線防護において有用。
- DALYは補完的である (同じストーリー、異なる視点)。
- DALY/Detrimentは類似のデータセットと方法に依存している。
- DALYの利点：
 - ✓ 影響を受ける人口に適したリスク
 - ✓ 性別および年齢依存のリスク (ICRPが調査中)
 - ✓ がん以外の疾患の組み込み
 - ✓ YLLとYLDの明確な区別
 - ✓ 放射線防護以外のグループにすでに馴染みがある
 - ✓ 専門外の人々に対して伝えやすいコンセプト

技術的な課題

- 影響を受ける当事者のベースライン健康率を調整/評価するための適切なデータ収集方法 (人口特定)。
- YLD、YLL、およびDALYのベースライン条件および放射線がんリスク評価モデルと計算手法 (デトリメントと同様)。
- 応用/使用のための計算手順の開発。
- 保守が必要 (人々+サポートシステムが必要)。

タイトル: Cancer Risks among Workers

発表者: David RICHARDSON (University of California)

背景と目的: 鉱夫研究 (PUMA):

- 1960年以降に雇用された男性におけるラドン子孫による肺がん死亡の100WLM当たりの過剰相対リスク (ERR/100 WLM)の線形モデル。
- 累積被曝量の範囲が低い (例: 0-50 WLM) でも相当な過剰リスクが見られる。

国際原子力労働者研究 (INWORKS):

- 国、年齢、性別、出生コホート、経済的地位、雇用期間、中性子モニタリングの状況によって層別化された、様々な累積線量のもとでの固形がん死亡の相対率。
- 10年の潜伏期間を考慮した ERR per Gy の推定。

固形がんの死亡率の推定:

- 累積被曝量の制限が異なる場合の ERR per Gy の推定。制限のない場合から20 mGy未達の範囲まで示されている。

異なる雇用時期での比較:

- 1958年以降および1965年以降に雇用された労働者におけるがんの死亡率の ERR per Gyを推定した。
- 同様に、固形がん、肺以外の固形がん、COPDに対する推定が示されている。

結論

- 鉦夫研究は肺がんにおける過剰リスクの強力な証拠を提供しており、その線形な線量応答が観察されている。
- 労働者研究は、より幅広い固形がんとの関連性を示しており、また線形な線量応答が見られている。
- 労働者研究での超過の影響は小さいが、大規模なプール研究は統計的な精度を提供し、交絡、選択、および測定誤差の問題に焦点を当てることができる。

7. 委員会の設置及び開催

「放射線健康リスク評価コードの開発に関する検討委員会」を設置し、本事業の実施方針や実績等について審議を行った。ここでは、委員の名簿と4回の検討委員会の議事概要を示す。

7.1. 検討委員会委員名簿

表 7.1 検討委員会委員名簿

職務	氏名	所属
委員長	甲斐 倫明	学校法人文理学園 日本文理大学 保健医療学部 教授
委員	岸本 充生	国立大学法人 大阪大学 データビリティフロンティア機構 教授
委員	古川 恭治	学校法人 久留米大学 バイオ統計センター 教授・所 長
委員	坂田 律	公益財団法人 放射線影響研究所 疫学部 副部長
委員	吉永 信治	国立大学法人 広島大学 原爆放射線医学研究所 計量生物研究分野 教授
オブザーバー	佐藤 大樹	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター 研究主幹

7.2. 第一回検討委員会議事概要

日時：令和5年6月27日（火）14:30～16:30

場所：オンライン

出席者：甲斐委員長（日本文理大）、岸本委員（大阪大）、古川委員（久留米大）、坂田委員（放影研）、吉永委員（広島大）、佐藤オブザーバー（JAEA）
原子力規制庁（高橋統括技術研究調査官、森泉主任技術研究調査官、荻野技術計画専門職、伊豆本技術研究調査官、高久技術研究調査官、本間技術参与、喜多技術参与、中寫技術計画専門職）
JAEA（高原GL、嶋田研究副主幹、廣内研究員、鯨岡研究系職員、野口派遣職員）

議 事

1. 令和5年度検討委員会の運営等について（【資料1】）
2. 事業の概要と進捗（【資料2】）
3. その他

配布資料

- 資料1 令和5年度検討委員会の運営等について
- 資料2 事業の概要と進捗
- 参考3 IDCCの開発工程

開会

開会として、高橋統括技術研究調査官から以下のように挨拶があった。

今年度の本事業は、5年間計画の2年目である。コードの開発に関する全体工程の検討とコードの概念設計を実施するものであり、コード開発の骨格となる非常に重要な年度である。本委員会は4回を予定しており、委員の方にはそれぞれのご専門の立場から活発にご議論いただきたい。

1. 委員会の運営および委員会名簿の確認

事務局より資料1を用いて検討委員会の設置と実施項目について説明し、本委員会の委員長として、規制庁の承諾を得たうえで日本文理大学の甲斐先生を指名したことを報告した。各委員・オブザーバーより、所属・専門が紹介された。

2. 本年度の事業の概要及び実施作業の進捗

事務局より資料2を用いて本年度の事業の概要と進捗を説明した。今年度の実施作業は、大きく分けて以下の6つである：①コードの活用法に関する調査、②コードの開発工程に関する検討、③コードの概念設計に関する検討、④データベースの整備に関する検討、⑤研究に必要な国内外の情報収集、⑥検討会の開催。これらに関する質疑応答は以下の通り。

【事業の概要に関する議論】

(甲斐委員長) 仕様書に書かれている「放射線防護基準の策定」とは、どこまでを想定しているのか。一般論として記載されているか。

(規制庁) 仕様書作成段階では、一般論として記載している。

(古川委員) リスクモデルを今年度中に集めるのか、それとも今後にするのか。また、今年度中に、ERRモデルやEARモデルの選定をするのか。それとも、パラメータ値の取得まで含まれるのか。

(甲斐委員長) リスクモデルに関して、線量反応や時間との関係、修飾要因を含めたモデルを新たに作っていくのか、それともすでに国際機関等で利用されているモデルを活用するのか。

(事務局) リスクモデルに関しては、今まで調査した内容を踏まえて、今年度選定していく。さらに、開発するコードは、モデルを柔軟に変更可能なコードを計画している。また、モデルやパラメータ値に関しては、例えばLSS13または14を使用するかを今年度決める。

(古川委員) LSS以外に、他のモデルが存在するのか。

(事務局) 昨年の調査では、LSS以外に被ばく時年齢及び到達年齢をモデル化した研究はなかった。したがって、LSSの中でどの年次のものを選択するのが、今年度の検討内容となる。

(坂田委員) モデルを新たに解析して作るのではなく、文献レビューのような形で既存の文献に出されている推定値のどれを使うかを検討する、ということか。

(事務局) その通りである。

(坂田委員) スライド2で、喫煙や生活習慣による影響について言及されているが、死亡に関してはまだLSS14では生活習慣などを考慮していないが、問題ないのか。

(甲斐委員長) 罹患率については、Grantの論文で喫煙の評価が行われているが、まだ死亡率についての新しい解析は公表されていないため、公表されるまで情報を待つのか。

(事務局) 喫煙などの生活習慣が考慮されたERRは罹患率に対して行われているので、罹患率に対するリスク評価の際に喫煙等をどのように考慮するかを検討する。

(甲斐委員長) その点について新情報はるか。Ozasa論文の死亡率データのバージョンアップは進んでいるか。

(坂田委員) 進展はない。

(古川委員) がん罹患率や死亡率、5年・10年生存率を地域別、関東地方や九州地方などで詳細に分けて評価するのか。また日本人の生活習慣に関する情報として、喫煙者と非喫煙者の肺がん罹患率や死亡率の情報はあるのか。

(事務局) 地域別のがん罹患率等のデータについては、こういった目的にするかによって、利用するかを決定する。現在、都道府県別のデータを収集し、整理している段階である。

また、生活習慣に関して、喫煙者と非喫煙者を区別した日本人のがんベースラインリスクの情報はない。しかし、嶋田と甲斐委員長が2021年に発表した論文で喫煙者のベースラインリスクの推定方法を提案しており、それを利用して肺がんに関して、喫煙者と非喫煙者のリスク推定が可能と考えている。

(甲斐委員長) 地域別に関連して、福島原発事故後にWHOがリスク評価のレポートを発表し、地域によって甲状腺がんの罹患率が日本国内で異なることが知られている。地域別の利用に関して、今の段階で結論付けることはできないが、原子力防災を視野に入れるのであれば、地域間の差異も検討の材料になるのではないかと思う。

(古川委員) スライド3の緑色部分の「LSSデータからERRパラメータの推定方法を整備する」とあるが、これは推定方法を新たに整備する、ということか。

(事務局) Epicureを購入し、パラメータを推定する、という意味である。共分散行列を推定するという意味である。

(古川委員) そこには、罹患率データの利用も含まれているか。

(事務局) 死亡率のデータは公開されているため、死亡率データの利用を試みている。可能であれば、罹患率データの利用も考えている。

(古川委員) 罹患率データに関しては、早めに放影研と交渉して、必要な手続きを踏まないと使えない状況である。

(坂田委員) 今から手続きをして、今年度中にデータを入手することは難しい状況である。今年度中にデータの入手を終えるためには、なるべく早く手続きを進めた方がよい。

まず、RP (Research Project) を作成し、データシェアリング研究として立ち上げ、そのあとに広島長崎のがん登録での承認を得る必要がある。広島長崎のがん登録は年に4回しか審査が無く、それまでに放影研内でのRPの審査に通過する必要がある。また、データプロジェクトのためにデータを使用することについて、一部で難色を示す意見もあり、必要な資料を揃えるには時間がかかる可能性もある。

(甲斐委員長) 国の事業であるため、場合によっては、厚生労働省を通して放影研にお願いすることになるかもしれない。いずれにせよ、手続きに障壁が存在するので、時間がかかるということである。

(事務局) 不確かさ解析は令和7, 8年に行われ、今年度は予備的な解析を行うため、必ずしも今年度中に全てのデータを揃える必要はない。

【1. コードの活用法に関する調査】

(岸本委員) 目的に関して、緊急時といっても、防災計画策定時での使用、緊急時にリアルタイムでの使用、緊急時に中長期的な判断時に使用するなど、それぞれのフェーズでどこを考慮するのかの設定が必要である。

(甲斐委員長) 防災に関して、様々なフェーズがあり、事故前の防災計画作成やレベル3PRA等がある一方で、SPEEDIのように事故が起きた時の防護対策のために線量を予測するなどもあるが、そこまで検討しているのか、それとも今後の検討が必要なのか。

(事務局) 現時点では、主に前向き評価を行い、事前の計画策定に活用することを考えている。

(規制庁) コードの活用法に関して、事前評価を主目的としているが、今後のヒアリングを通じて、実際の事故時にどのように活用するかを確認し、それを反映していきたいと考えている。例えば1Fの事故時にどのようなコードがあれば役に立ったか、

どのようなアウトプットがあれば良かったかについてヒアリングし、それを参考にしていく。

同時に研究の一環としても利用できるコードとしたいと考えており、研究者として、どういう機能があれば良いかを検討委員会の皆様にもニーズ、意見をいただき、コードの入出力に反映させたいと思っている。現時点での最新知見を反映したコードを作成する必要があるが、将来的な研究にも対応できるようなコードを作成するために、概念設計の段階でどのような機能が必要であるか、どのようにしておくべきかを議論していただきたい。

(岸本委員) 放射線審議会の中で、LNTモデルの使用方法について、原理原則を謳う文章を作成した際に、LNTの低線量領域の不確実性が大きく安全側に寄っているため、リスクと比較する際には使用できるが、症例数の増加などの計算には適さないとの意見がある。今回はリスクを推定することになるが、国全体の症例数の推定に行われる可能性もある。そういったニーズがあった場合などのルールはここで議論すべきか、もうすでにポリシーが決まっているのか。

(甲斐委員長) 国際的にもまだ同意したものはない。チェルノービリ事故の際にも同様の評価が行われた。実際には、被害数を測定することができないので、計算に頼ることとなった。しかし、低線量になるとそのような評価は適切ではないという考え方が主流である。

症例数の計算に関する要求やニーズは常に出てくる可能性がある。計算をうまく使えば、有用な場合もあると考えている。ただし、リスク計算は様々な方法で使用される可能性がある。また、プロジェクションとして、数値を出すことに対して日本は懸念があったと感じる。国がこうしてコードを作成することは画期的なことであると思うが、こういう計算をどこまで、どのように表現するかが、最も重要なポイントになる。

(古川委員) 予測(プロジェクション)について、UNSCEARのcancer epidemiologyの改訂版のワーキンググループの中で、**projection**という言葉はできる限り使わないように、となった。**projection**というのは、将来どれくらい増えるかを予測するという意味であるが、検証できない仮定が多いため、**projection**ではなく**calculation**にするなど、そのような話が出ている。

(甲斐委員長) その話は低線量(100 mGy)の議論であるのか。数100 mGyオーダーのものであれば、話は変わってくると思う。線量だけでなく、様々な要因によってリスクが変わり、何が放射線の影響を支配しているのかは完全に分かっていないが、UNSCEARでは、どの程度のレベルで議論されているか。

(古川委員) リスク計算やプロジェクションについては、ERRモデルの不確かさ、パラメ

一タの不確かさ、線量応答の形の不確かさについて考慮されている。しかしながら、リスク転換やベースラインのリスクに関する不確かさは難しいとされている。例えば、ある年のがん罹患率のデータを取り出して計算するが、それは現在得られているがん罹患率が今後何十年もそのままであるという仮定でリスク計算することであり、それを**projection**というのはふさわしくない、との議論があった。

(甲斐委員長) 化学の分野では**projection**はどのような考え方か。

(岸本委員) 化学物質でも同じである。化学物質では、安全側で計算しているものを**Dose response**を使って**projection**すると、過大評価になるため、**Dose response**の何が不確かかというところは放射線分野と違う可能性がある。化学物質でも似たような議論があり、例えば何かと比較する際に過大に出てきたものと期待値で出てきたものを比較することはよくあったが、あまり指摘はされなく、問題であると思っていた。**Projection**ではなく、**Calculation**であるということがうまく伝われば有益であると思う。

【2】コードの開発工程に関する検討

(甲斐委員長) コードの開発工程に関する検討では、内部被ばくのコード (IDCC) が、同様に並行して開発が行われており、これを概念設計の参考にするということか。

(事務局) すでに完成したIDCCの報告書を参考に、各工程でどのように検討されているかをまとめていく予定である。

(岸本委員) IDCCはすでに開発されたということであるが、最終的にはどのような形で公開されているか。

(規制庁) IDCCはまだ公開していない。IDCCでは複数のバージョンを開発しており、Web版は、試用段階であり、専門家の方々に試用使用していただき意見をいただく予定である。公開までにはまだ数年かかる見込みである。フルスペックのバージョンは、コンピューター上にインストールして使用するタイプであり、完成次第公開される予定だが、現在はまだ準備中で公開はされていない。

(甲斐委員長) デスクトップ版は専門家の使用が可能か。

(規制庁) 専門家の方々には、内部の体内動態のモデルやパラメータなど、すべての要素が変更可能な形で提供されている。一方で、専門知識のない方々には誤った設定や計算結果が出てしまう可能性があるため、機能制限を設けている。

(岸本委員) これより先行している事例であれば、参考になることや、開発過程において有益な情報が得られるかもしれないので、もし既に完成しているのであれば、完成形を見ることでイメージがより具体化すると思う。

(甲斐委員長) この委員会の中で、IDCCを資料として紹介することは可能か。具体的な入力画面や出力結果などを紙面で示すことはできるか。

(規制庁) 報告書の内容を紹介することは可能である。

(甲斐委員長) 次回以降でも、IDCCの取り組みやコードのインターフェースを参考として紹介いただきたい。

【3】コードの概念設計に関する検討

(古川委員) 外部設計はシステムの設計において非常に重要で、この部分が決まってくると内部設計でどういうことが必要かも決まってくる。

(吉永委員) 入力項目として、被ばく時年齢を考慮するのか。また、様々な年齢の人々を含む集団に対しても同様の計算が可能か。

(事務局) 入力項目として、線量だけでなく、年齢や性別といった情報も考慮する。また、集団への計算については、目的により入力と出力を変えていくことになる。

(甲斐委員長) 原子力防災におけるSPEEDIでは、地域ごとに人口や地域特性が反映されているが、本コードでは立地県ごとに特性データなどを反映するというのか。また反映する場合には利用者がデータファイルを用意してそれを取り込むということになるのか。

(事務局) データベースを変更できるバージョンも整備する予定である。そのバージョンでは、利用者がデータファイルを用意して取り込むような設計を考えている。一方、一般のユーザには、データベースを変更できないものにすると考えている。

(岸本委員) このコードの中では、例えば、飲料水中の濃度が分かれば入力できるが、分からない場合にはどうするのか。飲料水や食品中の濃度を推計する機能はあるのか。また、例えば大気中濃度に関して、特定の人を対象とした場合、その人に対する空气中濃度の測定データがない場合、どのようになるのか。

(事務局) ユーザが測定値を入力する必要があり、測定値が無い場合には、大きな仮定を置いて計算した値を入力することになる。

(岸本委員) 大きな仮定を置く、というのは測定値が無い場合には、利用者が換算して入力するというのか。

(事務局) 利用者の判断で、仮定を置いた状況を入力することとなる。

(甲斐委員長) このコードでは、曝露評価までは視野に入っていないということで、拡散コードのようなものである地点における濃度が計算されたときに、その濃度を使う、という意味かと思う。

(岸本委員) 緊急時のリアルタイムな評価が必要な場合、別途、曝露評価をするモデルやツールが必要になるということか。

(甲斐委員長) 内部被ばくに関しても臓器線量の計算を行い、そこからリスク計算をする

という考え方か。

(事務局) 現時点では、可能性として列挙している段階であり、実際にこの事業の中でやるかどうかはまだ決まっていない。

(甲斐委員長) 特に内部被ばくの場合、検討が必要である。

(規制庁) ここで書かれている「観測値」という表現は、実際の発災時に測定値が得られた場合の使用方法の一つを考えた例である。また、内部被ばくについても、このようなことが考えられるという前提のもとで、列挙したところで、内部被ばくをこの5年間の事業で入れるのか、あるいは、とりあえずは外部被ばくのみとするのか、設計のうちで検討していく予定である。

曝露評価について、例えば事前評価に使用する場合には、計算値が利用されるので、その計算値を入れてより詳細なリスク評価を行うことで、活用する方法がある。したがって、観測値や予測値などの数値が与えられた場合には、このインターフェースを使用して臓器吸収線量などを出力し、次の手順に進む流れである。

(古川委員) 様々な被ばくの種類に対して、臓器吸収線量に換算し、そのあとはLSSモデルに基づいて計算を行うことでよいか。

(事務局) その通りである。

(古川委員) LSSのリスクモデルを内部被ばくに対して使うことに対して、批判や問題が出る可能性はあると思うが、現段階ではLSSモデルに基づいてコード開発を進める方針か。

(事務局) その通りで、内部被ばくに関しては今後検討していく。

(甲斐委員長) 内部被ばくの評価について、LSSからそのまま持つて行くことに制約があるが、その拡張の問題については、このプロジェクトの中でどこまでできるかが焦点だと思う。どちらにしても、独自の評価になっていくため、どこまでやるかという部分は、活用目的との関係から出てくるものと思う。

(古川委員) その点に関して、外部設計が重要であり、モデルやDDREFの選択にもユーザが選択できるようになる良い。外部設計でどの程度の自由度を持たせられるか、というのがポイントかと思う。その場合、モデル・パラメータの変更やデータベースの変更など、いくつかのオプションで選択できるようにすると良い。

(吉永委員) この評価では、線量のばらつきや不確かさをある程度考慮して、最終的にリスクの推定値の不確かさを評価するのか、それとも線量は点推定値で入力するのか。

(事務局) 現状では検討段階である。また、RadRATのように、線量の不確かさを考慮した計算ができるコードもある。

(佐藤オブザーバー) 概念設計の段階から、具体的にどのように実装していくのかについて考慮しながら、プログラミング言語の検討などもしていくのが良い。特にデスクトップアプリとWebアプリの分け方や、各サブシステムによる機能拡張などを考え、オブジェクト指向に適した言語にする、ブラウザ上で実行できる言語にするなどの検討も概念設計と並行して行うことができると良い。

(事務局) コード活用調査の中でも開発言語の選定について、情報整理を行い、目的に応じてどの開発環境を使うかを検討したいと思っている。

【4】データベースの整備に関する検討

(甲斐委員長) 罹患率や死亡率のベースラインデータについて、何年まで遡るのか。

(事務局) 現時点では最新のデータと完全生命表がある年をダウンロードしているが、過去どこまでさかのぼる必要があるのかについては検討していく予定である。

(甲斐委員長) 近年の肺がんの減少傾向や大腸がんの増加傾向など、少なくともそのような傾向のあるデータとして制約のあるというような不確かさを持っているということを抑えておくことも必要である。

(事務局) データベースの整備は入手可能なものを整備した上で選択できるような仕様が良いと考えているが、現時点では年数や範囲についてはまだ決めていない。

(吉永委員) がんの罹患率については国立がん研究センターが公開している全国がん登録のデータを使用するということではどうか。また、死亡率については人口動態統計を使用することになるのか。

(事務局) その通りである。

(吉永委員) ある単年度のデータを使用するよりも数年間のデータを使用する方（平均化する方）がデータの変動を抑えられるので、検討してはどうか。

【5】研究に必要な国内外の情報収集

(坂田委員) 締切は既に過ぎているが、Radiation Researchの会議が今年開催される。

<https://na.eventscloud.com/website/49433/>

(岸本委員) 学会への参加は情報収集のみを目的とするのか。ポスター発表や口頭発表などは行わないのか。

(事務局) NAREでは、昨年度の事業を紹介、発表し、それ以外は参加して情報収集だけを考えている。

(岸本委員) リスク学会で、ポスター発表をして、化学物質のリスク評価などの他分野の人たちの観点からニーズを聞いても良いのではないかと。申し込み、締切はまだ決まっていない。

【6】 検討会の開催

(甲斐委員長) 今後の予定について、二名の外部有識者はどうなっているか。第3回では同じ方になるのか、それとも別の方になるのか。

(事務局) 現段階では決まっていない。提案があればお願いします。アドバイスを得るために、有識者を会議に招くことを考えている。

(甲斐委員長) 有識者のニーズ調査では、個別に委員の先生方にも意見を伺うということか。

(事務局) その通りである。具体的なスケジュールは未定であるが、時間があれば検討委員会の中でご意見をいただくか、別途時間をいただいて個別にオンラインなどでご意見をいただくことを考えている。

(甲斐委員長) 放射線以外の専門家の方々も関心が高いと思う。有識者へのニーズ調査などもがあるので、岸本委員にどなたに聞けばよいかを相談してはどうか。

3. その他

(事務局) 本日の議事録については、事務局で作成した後に先生方に配布する。約2週間後に配布予定である。次回の委員会は8月25日の金曜日午後、東京駅周辺で開催予定である。詳細が決まり次第、連絡する。

以上

7.3. 第二回検討委員会議事概要

日時：令和5年8月25日（金）13:30～16:30

場所：ビジョンセンター東京八重洲904室

出席者：甲斐委員長（日本文理大）、岸本委員（大阪大）、古川委員（久留米大）、坂田委員（放影研）、吉永委員（広島大）、佐藤オブザーバー（JAEA）

原子力規制庁（高橋統括技術研究調査官、森泉主任技術研究調査官、荻野技術計画専門職、伊豆本技術研究調査官、高久技術研究調査官、本間技術参与、喜多技術参与）

JAEA（高原GL、真辺研究主幹、嶋田研究副主幹、廣内研究副主幹、鯨岡研究系職員）

議 事

1. 前回の議事録の確認【資料1】
2. 事業の概要と進捗
 - 2.1 コードの活用法に関する調査（【資料2】）
 - 2.2 コードの開発工程に関する検討（【資料3】）
 - 2.3 コードの概念設計に関する検討（要件定義とコード設計）（【資料4】）
 - 2.4 コードの概念設計に関する検討（リスクモデルの検討）（【資料5】）
3. その他

配布資料

- 資料1 第一回検討委員会の議事録
- 資料2 コードの活用法に関する調査
- 資料3 コードの開発工程に関する検討
- 資料4 コードの概念設計に関する検討（要件定義とコード設計）
- 資料5 コードの概念設計に関する検討（リスクモデルの検討）

開会

事務局より第二回検討委員会の参加者が紹介された。

1. 前回の議事録の確認

委員会より第1回検討委員会の資料1. 議事録について確認・承認された。

2. 事業の概要と進捗及びIDCCのデモ

事務局より配布資料を用いて本年度の事業の進捗を説明した。第二回検討委員会にて議論する内容は、資料2：コードの活用法に関する調査、資料3:コードの開発工程に関する検討、資料4: コードの概念設計に関する検討（要件定義とコード設計）、資料5: コードの概念設計に関する検討（リスクモデルの検討）である。これらに関する質疑応答は以下の通り。

【資料2 コードの活用法に関する調査】

(古川委員) 関谷先生のヒアリングの部分で、子供や妊婦のリスクを定量的に説明するにはリスクコードが使えるかもしれないとあるが、どういうことか。

(規制庁) 住民の方が、子供や妊婦のリスクが他の人よりもリスクが高いのではないかと印象を持っている。どの程度高いではなく、定性的に危ないという印象が持たれている。定量的な数値が示すことができれば、どの程度高いかを示すことができる、ということに関谷先生が指摘した。

(坂田委員) 妊婦が心配しているのは、子供が無事に生まれるかを心配しており、がんにかかるか、成人した後の病気にどのくらいかかるかのリスクよりも、例えば精神遅滞が起きるかのどうかなどの心配をしていると思う。リスクの大きさを推定するというよりも、原爆被爆者ではこういうことが見られました、などの情報提供することしかできないと思う。

(古川委員) リスクコミュニケーションにおける役割では、厳密なリスクの値よりも、リスクが高くない、と伝えることが目的になる。

(古川委員) 生涯リスクの計算をしたとして、意思決定のサポートにどれくらい役立つのか、意思決定のアルゴリズムにどう組み込むかを開発者が考えておく必要がある。

(規制庁) どのように使うかという面では、事故が起きた時のレスポンスには使えないだろうというのが、共通の理解であった。事前にこういう情報を入れる、ということを知ってもらい、事後（中期、復旧期）では今の現存被ばく状況がどのようなものに対応するのか見てもらい。意思決定のアルゴリズムに関しては、我々の中でまだ議論しておらず、少なくともリスク計算をできるようにしておく。

また関谷先生の指摘は、原子力に限らず、避難等の地域での対策を判断するのは地域の首長であり、国ではない。その時の判断に必要な情報が必要であり、線量のみならず、相場間が判断に重要ではないか、との指摘であった。

(甲斐委員長) 線量情報は、年齢や性別などリスクに影響する情報が入っていない。同じ線量でもどう影響が違ってくるかが、リスクを語るうえで重要である。線量は放射線になじみのある人には相場観が分かるが、他の方には説明が難しい。リスクを話すことによって、健康影響をより一般化する。

(吉永委員) 私は大学で講義をしており、リスクを説明しているが、その時に評価コードがあると役立つと思う。ただし、こういったプロセスでリスクが導かれたかを合わせて示すことが必要と感じる。

【内部被ばく線量評価コード (IDCC) デモ】

(甲斐委員長) IDCCは、ホールボディやバイオアッセイの結果 (体内の存在量) から線量を求めることができるか。

(事務局) そのようなモニタリングの結果からも線量を求めることが可能である。

(吉永委員) 自然放射線 (ラドン、トロンなど) の内部被ばくも計算可能か。また、医療で取り込む放射性物質にも対応可能か。

(事務局) ラドンに関しては今年度取り組んでいるが、このコードで計算可能な量は、粒径などの性状を決めたうえで、ラドンやその子孫核種を1Bq摂取した際の預託実効線量である。したがって、平衡ファクターや子孫核種の存在割合が分かれば、手作業になるが、ラドン濃度あたりの実効線量等の評価は可能と考える。

医薬品に関しては、体内動態モデルが医療用では異なるため、現状対応できない。

(坂田委員) IDCCは放射性物質の取り込んだ量が分かっているうえでの評価になるのか。

(事務局) 取り込んだ量が分かれば、このコードでは1Bq当たりの線量を計算しているので、掛け算で評価可能である。また、ホールボディやバイオアッセイの結果があれば、摂取量を計算して、評価することも可能である。

(坂田委員) 取り込んだ後の対策をした場合としてない場合の比較も可能か。

(事務局) 現状、キレート剤などを投与した場合の体内動態モデルをコードには組み込んでおらず、対策した場合の評価はできない。ただし、キレート剤を投与した場合の移行速度等のデータを入れれば、そういった計算は可能である。

(甲斐委員長) ヨウ素に関しては、JAEAで以前、安定ヨウ素を投与した場合の線量がどれ

くらい変わるか、といったものを作っていた。

(甲斐委員長) 空气中濃度から線量への計算はIDCCでできるのか。

(事務局) 出発点は、呼吸気道に沈着している状態であり、どこにどれくらい沈着するかの計算はIDCCではできない。ただし、計算された結果を入力して、計算することは可能である。

(甲斐委員長) 吸入摂取、経口摂取、傷口からの摂取に対応しているか。

(事務局) 吸入摂取、経口摂取に加え、注入摂取も対応している。傷口からの取り込み、創傷汚染に関しては、計算できることは確認している。

(規制庁) フルスペック版であれば、体内動態モデルの値を変えて計算することは可能である。機能制限版に関しては、そういうことはできない。ただし、フルスペック版は理解して利用できる人に限って配布することになっている。

(事務局) IDCCのWebアプリ版を開発中である。

(規制庁) IDCCはWeb版、ダウンロード版2種（フルスペック版と機能制限版）を用意している。

(甲斐委員長) 3種類のバージョンを用意しているのは、利用者を想定している、ということか。フルスペック版は放射線の専門家が利用し、簡易版は広く教養用、といったことか。リスクコードに関しても利用者を想定してバージョンを分けていくことが考えられる。

(事務局) IDCC開発当初は複数のバージョンを開発することを考えておらず、フルスペックバージョンのみを開発することを考えていた。公開することを考えた時にバージョンを分けた方が良いのではないかと考えた。フルスペックバージョンがあれば、機能制限版は作れるので、二度手間にはならない。

(甲斐委員長) パッケージ版の場合には、OS更新時に対応できない可能性がある。一方でWeb版はユーザ環境に依存しないのだが、Web版を作成するほうが良いか。

(事務局) パッケージ版が使えなくなることが一番の課題として挙がっており、そのために開発言語の検討を行った。IDCCはJAVAを用いているが、言語を決定した時には将来にわたって無償で開発環境を利用できる等、継続性が見込まれていた。しかし、最近開発環境の一部有償化に伴い、開発当初想定していないことが生じた。

(古川委員) Web版の方が、より長く使われるイメージがある。ウィンドウズアプリ版では数年たつと廃れる傾向があり、Web版の方が、メンテナンスがしやすいと感じる。

(吉永委員) リスク評価コードにつなげるためには、預託実効線量（50年）だけでなく、

1年ごとの主要な臓器の吸収線量が必要であるが、それを出力できるか。
(事務局) 臓器ごとにどのように積算されているかの結果を出力することも可能である。

【資料3 コードの開発工程に関する検討】

(甲斐委員長) 胎児の影響などががん以外のリスクは調査をするのか、もしくはコードの中で提供していくのかはどのような状況か。

(事務局) 現状では、コードに組み込むことは考えていない。プロジェクトの中で、がん以外のリスクをコードに組み込んでも良いのではないかと、との提案くらいまではプロジェクトの中でできればと思っている。

(甲斐委員長) コードは数字が出てくるような従来型のコードをイメージしてしまうが、グラフィックや説明文などの数字に乗らない情報を提供する発想があっても良い。

(古川委員) ERR、EARモデルは基本的にLSSの報告書のモデルを使用にする、ということが良いか。

(事務局) 基本的にはその予定である。さらに、ERR、EARモデルが変わった際に、コード全体を変更するのではなく、コードの一部(モジュール)を変更できるような設計を考えておく。

(古川委員) 人口データやリスクモデルはユーザがある程度自分で選択できるのか。

(事務局) IDCCと同様に、専門性がある人には、人口データやモデル変更ができるような設計を考えている。ただし、専門性が低い人には、開発者が意図していない入力値を入力した場合のデータが出回る可能性があるため、モデル変更などを制限したものを考えておく必要がある。

(古川委員) 環境被ばくに適用する際に、観測値から線量に換算はどのように考えているか？

(事務局) 観測値から線量までの換算は検討段階であるが、様々な報告書を基に最適なものを選択していく予定である。

(甲斐委員長) 新しいリスクモデルを考えていくのは難しく、放影研や国際機関でオーソライズされたものをベースとする、または選択肢を設ける、ということか。

(事務局) ベースはご指摘の通りである。

(甲斐委員長) 放影研のレポートでは、全て詳細にリスクモデル(式)を書いているわけではないと思う。

(古川委員) 放影研の場合には、リスクモデルに含まれる情報(推定値と95%信頼区間)に関しては、大体記載されている。ただし、リスク予測する際に必要となる分散

共分散行列は記載されていない。そのため、EPICURE等を利用して、自分たちで取得する必要がある。必ずしも、放影研のがん部位別の研究は、EARとERRの両方が揃っているわけではない。

(甲斐委員長) 放影研のGrant論文以降は、個人情報の制限から誰もが利用できる形ではないので、放影研との共同研究として利用する道を探る必要がある。なるべく新しい情報を基に評価していく必要があるのではないかと。

(事務局) できる限り頑張りたいところである一方、本プロジェクトの範囲内でやる部分と、それ以外の部分を分けていく必要がある。実際に、放影研と共同研究する場合には、どの程度期間が必要か、こういった条件が必要か。共同研究になった場合には、生データをいただけるのか、それとも加工したデータ(分散共分散行列)をいただけるのか。

(坂田委員) 生データか、分散共分散行列のいずれも提供することは可能である。どちらの場合も、リサーチプロトコルを作成し、それを審査する流れとなる。また、がん登録資料利用の審査は年に4回しか行われていないので、時間がかかる。また、審査後にコメントが来て、それに対応する過程もある。

【資料4 コードの概念設計に関する検討(要件定義とコード設計)】

(岸本委員) 目的を予めリストアップしておくことが重要であり、概念設計の部分でまとめて、明確にしておくことが良い。化学物質のリスク評価では、かなり安全側の仮定が紛れ込んでおり、リスク推定値は期待値よりもかなり大きめの値となる。今回は期待値を出すことをメインにして、確率分布の形で出すことを目的としているが、スクリーニング的な目的で使う場合には、最大見積もってもこれくらい、という評価をしたいこともあるかもしれないので、前提をきちんと確認できるようにできればよい。この部分は、何のために使うかと切り離せないため、概念の整理で明示的にどういう目的で使うのかを意識しながらやることが重要である。

(甲斐委員長) 想定用途案で、“緊急時”は緊急時対応であり、“計画時”は緊急時計画ということか。また、“復旧時”が出てきたのは、ヒアリングを受けた結果ということか。

(事務局) その通りである。事故直後にはコードの利用が難しいが、ある程度時間がたった後には、有効ではないか、とのヒアリングを受けて分類したものである。

(甲斐委員長) (P4の表は) ヒアリングを受けて整理されているが、これで進めていくということか、それとも案ということか。

(事務局) 案とはなるが、これ(P4の表)がベースとなる。

(甲斐委員長) これをベースに、もう少し深く検討してもらえればと思う。それぞれメリットデメリットをまとめると良い。

(佐藤オブザーバー) Web版とデスクトップ版を考えているようであるが、Web版でフルスペック版を実現するには、データベースをアップロードする必要があり難しいと感じる。機能制限版をWeb版とし、フルスペック版をデスクトップ版にしても良いと思う。

(古川委員) 不確かさを考慮するパラメータとしてP11にまとめられているが、この部分についてはどのような実施するのかが非常に興味があり、重要である。

(吉永委員) 医療従事者のX線被ばくに関して、入力値の追加となり得る項目についてX線のエネルギーを入れてはどうか。韓国の医療従事者・作業員では、Svで評価されており、それを臓器吸収線量に換算する際にどういったX線のエネルギーであるかが必要となる。

(甲斐委員長) 医療被ばくまで本コードを拡張すると、いろいろな課題が出てくると感じる。どこまで守備範囲に入れるかによるが、どう思うか。

(事務局) 本コードの大きな目的は原子力災害時に使用することであり、医療被ばくまではオプションとなる。5か年計画で、がん以外のリスク、他のものに利用するといった拡張部分で医療被ばくに利用できるかを検討することになる。

(坂田委員) P11で、集団情報とあるが、どういった集団であるか。

(事務局) 基本的には日本人集団を想定しており、もう少し細かくするか(都道府県別など)は検討の余地がある。

【資料5 コードの概念設計に関する検討 (リスクモデルの検討)】

(古川委員) 過剰リスクモデルで、死亡率LSS13、14を使用するのは理解できるが、罹患率にPreston et al. (2007)を使用する理由は何か。罹患率に関しては新しいデータがある。

(事務局) リスクコードの結果の妥当性を確認するため、既存コードと比較することを念頭に置いており、デフォルトの罹患リスクモデルとして、Preston et al. (2007)を使用することを考えている。

(古川委員) 非常に詳細な内容が含まれており、技術的な考慮がされていることがわかる。コメントとして、線量反応関数について注意が必要である。Grant et al. (2017)の全

固形がんにおいて男性のリスクに線形二次の反応が見られた。線形と線形二次モデルによって結果が大きく異なることがある。

(事務局) 線型と線型二次モデルの両方が論文に記載されている場合には、両方を計算可能な設計としたいと思う。

・有意でないリスクの出力に関して

(甲斐委員長) 信頼区間ゼロを含むリスクの表示方法などについて、どのように考えるべきか。有意性が観察された臓器のリスクをどのように表現すれば良いか。放影研としては、アプローチやポリシーについてどのように考えているか。

(坂田委員) リスクが有意でないからと言って結果を示さないのは良くない。客観的かつ統計的な手法で記述することが大切である。データが少なく検出力が低い場合もある。その結果、ポジティブな値が得られる場合もあり、その場合の解釈は難しい。リスクが上昇していないのか、それとも有意なリスクとして検出されていないだけなのか、その点について考慮して解釈する必要がある。一般的には症例数が少ないケースでは、有意性が明確に現れないことが多い。だからといってそのリスクが存在しない、または影響がないということを意味するわけではない。そのようなケースについては注意深く実用化に向けて検討する必要がある。

(事務局) 出力としては可能な限りの情報を表示し、ユーザの判断に委ねたい。しかし、ヒアリングを行うと、不確かさが大きい場合、高い値で判断されることがあり、注意が必要と指摘があった。ご意見いただきたい。

(甲斐委員長) そのあたり、私の個人的なコメントであるが、統計的なアプローチを採用する際には、値のばらつきに依存してしまうことがある。そのため、リスク評価としてどの統計値を持ってくるのか、という点を考える必要がある、その方針を決めておく必要がある。将来、もし事故が起きた場合にその地域の集団でどのような影響が予想されるか、そういった準備をしておく必要がある。したがって、リスク予測に判断が入る。しかし、客観的なデータだけでリスクを正確に評価することは難しく、推定できない要素も存在する。したがって、リスクの予測においては注意が必要であり、ある程度の慎重さと判断が求められると思う。

(吉永委員) リスクを示さないことは恣意的と感じる。出力の表示方法はリスク評価の信頼性に関わる重要なポイントであり、推定値の信頼度についての情報も含めて示すことが重要である。確定的でない値も含めて幅広く示すことで、よりの確な情報伝達が可能である。

(古川委員) リスク評価の出力をどういう風に解釈すべきかを考える必要がある。リスクが有意でない結果の表示については、RadRATなどの出力を調べる必要がある。RadRATではマイナスの推定値も考慮されている。

(事務局) RadRAT等の既存コードの出力を調査する。

・リスク評価するがん部位に関して

(古川委員) UNSCEARやBEIR VIIなどで報告されている全固形がんの結果は、おそらく個別がんを評価した結果を足し合わせている。例えば、消化器系の場合など、幾つかの方法で結果を出している。個別の臓器ごとではなく、モデル化している可能性もある。過剰症例を個別に出して、それをすべて足し合わせて全固形がんの過剰症例率を出している可能性がある。

(甲斐委員長) 客観的なリスクモデルを使用しているわけではなく、リスク評価の予測には何らかのモデルが必要である。客観的なデータだけが正しいのではなく、ケースごとに違うので、何らかのモデルを用いる必要がある。

(坂田委員) 臓器ごとに細かく分けてリスクを評価する必要があるかの問題となる。例えば、口腔がんなどの部位は症例数が少なく、影響も小さいため、放射線影響も小さい可能性がある。影響の大きさによって、部位ごとにリスクを出すかどうかを考える必要がある。

(甲斐委員長) 全体の中で各臓器のリスクがどの程度寄与しているのか、それによって判断基準をどのように設定するかが重要である。これによって、リスクの大きさを評価する際のガイドラインが必要とされている。

(事務局) 現在は、論文をベースにモデル化されたデータをリスクコードで計算できるようにすることを検討している。その際には、部位ごとのリスクが少ない場合は、その他のがんに入れることを考えている。

(甲斐委員長) 臓器ごとの評価は非常に重要である。しかし、個別のがんはデータが不足していたり分析が難しかったりすることもあり、それらの問題にどう対処することも重要であり、研究的な要素が強い。

・リスク評価の対象とする集団の詳細度に関して

(甲斐委員長) 都道府県別のリスク評価の必要性については、WHOが福島原発事故時の甲状腺がんなどのリスクを計算する上で、市町村別のデータを使用する必要があった。ただし、この場合のベースラインデータは市町村のデータはなく、おそらく全国のデータを使用していた。これについて、このがんの地域性が放射線リスクにどのように影響するかが問われている。具体的には、我々が甲状腺がんの地域性を調べたところ、2,3倍くらいあることが分かった。国際的にはERRリスクを評価する際には、ベースラインリスクが影響する。甲状腺がんのような原発事故時のリスクは重要であり、都道府県別の甲状腺がんリスクを考慮することは重要であると考える。

- (吉永委員) 都道府県別まで考慮する必要はないと思う。都道府県別まで考慮すると、計算対象の人の過去の居住地などが影響する可能性があり、複雑になる恐れがある。また、都道府県別の統計的な不確かさも大きくなると考える。これは私の個人的な意見である。
- (甲斐委員長) 確かに、吉永委員の話は、どこまで詳細化する意味があるかという判断が重要といえる。対象を詳細化したリスク計算は簡単にできるが、そのリスク計算をしても精度が不十分である可能性があるため、対象集団を詳細化する意味が小さいかもしれないが、検討することには意味があると思う。
- (坂田委員) がん地域性について、肝臓がんや白血病が西日本で多いことは、肝炎ウイルスの感染率との関係がある可能性がある。これはベースラインの地域性として整理されているが、放射線リスクが感染症にどの程度影響を受けるかは分からないので難しいと思う。
- (甲斐委員長) 都道府県別まで考慮する必要はないかもしれないと思うが、その違いを計算して検討することは重要である。都道府県別のベースラインリスクがどの程度違うのかを検討する余地があるが、正解は無い。リスク予測として何が求められるのかの判断基準が必要である。

・ 集団リスクの評価に関して

- (古川委員) 資料4の11ページで、集団リスクを評価する記載があったが資料5に記載はない。日本全国が集団として被ばくした際のリスクを評価する際には、対象地域の年齢分布などを考慮してリスクを評価することになる。UNSCEARで実施されている方法であるが、その理解でよいか。日本人の年齢分布を使うことでよいか。
- (事務局) ご指摘のとおりである。
- (甲斐委員長) 原子力防災として住民のリスクを評価する場合、地方の場合は集団が高齢化していることを考慮するなどが考えられる。原子力防災のリスクを考える際には、避難や避難後の生活習慣の影響など、さまざまな要素を考慮する必要がある。これは福島の事例から得られた大きな教訓である。これは原子力防災の側面からも重要なテーマであり、対象地域の集団の年齢分布などを考慮しつつより効果的な緊急対応策を検討することが考えられる。
- (事務局) 確かに、生活習慣や地域性などが異なる場合、同じ線量でもリスク評価が異なる可能性がある。集団リスクについての議論が行われたが、被ばく地の人々の年齢分布に応じたリスクを計算することは、出力として集団全体のリスクとして10万人中何人のがん罹患数が増加するのか、個人のリスクとして何%増加するかを示すのかを検討する必要があり、アウトプットの方法の議論の一環としてご議論いただきたい。

・保守管理に関して

(佐藤オブザーバー) 保守として、データベース更新の自動化だけでなく、典型的な被ばくシナリオやテスト問題のセットを用意し、開発者がアップデートするたびに自動的にテスト問題を実行して検証する仕組みを導入すると役立つ。過去の経験から、バグが問題になるので、同じセットのテスト問題を用いてアップデートごとに自動的に検証し、バグを確認するのが良い。

・ベースラインリスクの外挿に関して

(古川委員) ベースラインリスクの外挿に関する課題については悩ましい。85歳以上のベースラインリスクを外挿する方法として、85歳時点のリスクが一定と仮定して近似する方法を使っている。どのような方法があるかは興味がある。事務局の提案について説明してほしい。

(事務局) 外挿方法の検討として、2016年以降の罹患データのうち、85歳までのデータを用いて外挿し、90歳以降の実測値と外挿値を比較することで、デフォルトとして適した外挿方法を選定する予定である。

(甲斐委員長) この問題はデータの正確性や適切性が重要なポイントとされている。がんリスクはリスクモデルに基づくと下がらないが、実測値は下がる。生涯リスクを計算する意味があるかを検討する必要があるが、他国が生涯リスクとして110歳まで計算しているのなら、比較のために110歳まで計算する必要がある。計算できるようにオプションとして累積計算を変更できるような方針で考えたほうが良い。

(古川委員) 個人ではがんリスクは理論的には増えていくが、集団ではリスクが下がることが健康バイアスなどで言われている。

・リスク転換に関して

(甲斐委員長) 日本人集団におけるリスクの転換についての議論が行われた。日本人集団へのリスク転換がリスク評価にどのように影響するのか、原爆被爆者と現代の日本人のベースラインの違いの影響はわからない。

(事務局) ベースラインを比較して、リスク転換の重みを議論できたらと考えている。

(古川委員) 重みを決めることは恣意的な決定になるので、ERRとEARを別々に計算して、その間にあることを示すのが良いのではないか。

(事務局) ERRとEARの出力を別々に出力できることを検討する。

・最小潜伏期間に関して

(吉永委員) 最小潜伏期間に関する議論について、最小潜伏期間の数値を固定するだけで

なく、他の値のように変更可能な設計を希望する。

(事務局) 承知した。

・白血病に関して

(坂田委員) 白血病はがんの種類で変わってくるので、組織型や分類に関する議論はどうなっているか。

(事務局) 白血病の詳細な検討はまだ実施していない。R7年度に白血病リスクモデルをコードに実装するので、そこに向けて検討する。

3. その他

(事務局) 本日の議事録については、事務局で作成した後に先生方に配布する。次回の委員会は10月25日水曜午前中、東京駅周辺で開催予定である。詳細が決まり次第、連絡する。

以上

7.4. 第三回検討委員会議事概要

日時：令和5年10月25日（水）9:30～12:00

場所：AP東京丸の内Eルーム及びオンラインでのハイブリッド開催

出席者：甲斐委員長（日本文理大）、岸本委員（大阪大）、古川委員（久留米大）、坂田委員（放影研）、吉永委員（広島大）、佐藤オブザーバー（JAEA）、外部有識者（三菱総研（高木主席研究員）、電中研（佐々木上席研究員））
原子力規制庁（高橋統括技術研究調査官、森泉主任技術研究調査官、荻野技術計画専門職、伊豆本技術研究調査官、中畷技術計画専門職、高久技術研究調査官、本間技術参与、喜多技術参与）
JAEA（高原GL、嶋田研究副主幹、廣内研究副主幹、鯨岡研究系職員、野口派遣職員）

議 事

1. 前回の議事録案の確認【資料1】
2. 外部有識者による国内コード開発例の紹介【資料2、3】
3. 事業の進捗
 - 3.1 コードの活用法に関する調査【資料4】
 - 3.2 コードの開発工程に関する検討【資料5、6】
 - 3.3 コードの概念設計に関する検討【資料5】
 - 3.4 データベースの整備に関する検討【資料5】
4. その他

配布資料

資料1 第二回検討委員会の議事録案

資料2 リスク算定についてー宇宙飛行士のリスク評価の考え方ー

資料3 SUMRAYの概要

資料4 事業の進捗[1] コードの活用法に関する調査

資料5 事業の進捗[2] コードの開発工程、概念設計及びデータベースの整備に関する検討

資料6 コードの開発工程に関する検討

開会

事務局より第三回検討委員会の参加者が紹介された。

1. 前回の議事録の確認

委員会より第二回検討委員会の資料1 議事録案について確認・承認された。

2. 外部有識者による国内コード開発例の紹介

外部有識者の三菱総研の高木氏より、JAXAで開発されたコードに関する紹介、電中研の佐々木氏より、日本保健物理学会の専門研究会で開発されたコード（SUMRAY）に関する紹介があった。これらに関する質疑応答は以下の通り。

【資料2 リスク算定について－宇宙飛行士のリスク評価の考え方－】

- (甲斐委員長) 現在の宇宙飛行士の方々に線量の情報やリスクの情報は、紹介されたコードを活用して提供されているのか。
- (高木氏) 搭乗に選抜された際に、今回の飛行計画での滞在期間を伝えられ、それに対する被ばく線量を評価し、その上で線量制限値を決めるためにリスク算定していた。
- (坂田委員) 宇宙に行かれた宇宙飛行士の実際の被ばく線量を知ることはできそうな気がするが、そういうことはされているか。
- (高木氏) もちろん線量計をずっと付けてもらっている。宇宙に上がってから、地上に帰ってくるまでの被ばく線量、宇宙飛行による被ばく線量は測定している。ただそれは個人情報なので公表できないが、JAXAの中では蓄積されている。
- (坂田委員) その蓄積されたものが推定されている被ばく線量と、どのくらいあっているかということも見るができる、ということでしょうか。
- (高木氏) JAXA内であれば、そういう比較をして、実際の計画値と実測値とどのぐらいの差があったとか、そういう知見を蓄積しているというふうに伺っている。
- (岸本委員) 被ばく線量の制限によって本当は参加予定していたが、この人は宇宙に行けません、のような運用をかなり厳密にされているのか。もう一つは、宇宙飛行士に関して疫学調査をするぐらいデータがあるのか。つまりJAXAだけではなく、アメリカとかヨーロッパとかで、全体を被ばく管理しているようなグローバルなネットワークがあるのか、の二点を教えていただきたい。
- (高木氏) 一点目の運用について、計算そのものは、例えば年600 mSvが3回で、生涯1.8 Sv、そうすると、確か7%近くがんの死亡リスクが増加するので不可というような形で、制限値を決めている。基本、制限値を守るのは、JAXAとしての原則である。ただし、どうしても任務によっては、この人が行かないといけない、例え

ば若田さんなどは、実は4回行っている。その辺は任務の重要性とか、そういうのを鑑みる。ただし、JAXAとしては原則、内規に則って制限値を守るという運用するのが基本的な考え方になっている。

それから、疫学的なデータが揃えられるかどうかということに関して、アメリカでは数百名程度はいるので、精度は別にしてできないことはないという状況ではある。ただし、まだ、国際的に全部そういうデータを集めて何かをする、という動きにはなっておらず、各機関でやりましょう、というところで止まっていると、ご理解いただければと思う。

【資料3 SUMRAYの概要】

(規制庁) SUMRAYについて、RとPythonと二つの言語で同じモデルを開発されたかと思うが、それぞれの言語の特徴から、開発におけるメリット、デメリットなどの比較があったか。

(佐々木氏) メリット、デメリットというところまでは、具体的に専門研究会の中では、検討は進んではいない。ただ、RとPythonが、統計解析分野で非常に汎用的であるので、委員会の中でも、どちらがいいとかというのが、なかなか判断が難しいところであった。あと、今回はVersion 0で、これをベースとして、これからの開発にいろんな分野で活用していただければという議論があったので、それでRとPython、両方をやりましょうということになった。

3. 事業の進捗

【資料4 事業の進捗[1] コードの活用法に関する調査】

事務局より、資料4を用いて、第2回の検討委員会以降（2023年8月25日以降）に実施したQSTとJAEAへのヒアリング調査とその成果を説明した。ヒアリング調査に関する質疑応答は以下の通り。

(甲斐委員長) このオーソライズという言葉に関して、「例えば環境省の資料」と書かれていたが、この意見はコードもオーソライズが必要だというJAEAの先生方の提案か。

(事務局) ヒアリングした際に先生方が直接使っていた言葉は、おそらくコードを利用した結果、公開されたものを引用したいという形でした。何かしらの方法できちんと公開されたものを引用した上で使いたいというような意見だったと思う。

(甲斐委員長) こういうコード開発をした時に、コードを何らかの形で公表し、論文等で査読を受けて承認をしていくという一定の科学的なプロセスが成り立っていると、そういったものをオーソライズという位置付けと考えられるのか、それともあく

までも日本の政府が関係する資料等として、このリスクコードを、今回、JAEAが、規制庁がもちろん関わっているので、そういう意味では規制庁のコードとして、使用することを進めるというようなことがオーソライズと考えてもよいか。オーソライズという言葉が、漠然としているので、誰かが責任を持つことだと思う。

(事務局) その通りだと思う。誰かが責任を取ることがまず一つあったのと、おそらく伊藤先生と大平先生がおっしゃっていたのは、計算を自分たちでやるのはまず無理だと。自分たちで計算ができないし、説明する際に、説明に適した形でまとめられた公表された資料が欲しいという意見であったと思う。それがどういった資料かということに関しては、今、甲斐委員長が指摘されたように、論文というのも一つ挙がっており、具体的には、環境省の資料あるいは、規制庁で、何かしら報告書が出されていると使いやすい、というようなレベルの話であった。

(吉永委員) 今回のヒアリング、あるいは前回からのヒアリングの結果は、様々な専門家にそれぞれの立場から意見を徴収し、QSTの富永先生は、福島事故の時、原子力災害の、特に医療の面で活躍されて、そういった立場からの意見のため、特に医療、急性影響なんかの対応が多分主眼になっており、今回の、長期的ながんリスク評価はさほど需要がないと述べられたのかもしれない。JAEAの伊藤先生、大平先生もJAEA、国の対応機関という立場から意見を述べられた。様々な専門家の、それぞれの立場からのニーズあるいは要求というものは多様で、それらをこれまで調査し、まとめられたことを理解できた。

(甲斐委員長) ヒアリングの概要と想定される用途に関して、現時点での案ではあるが、緊急時を想定した防災計画の計画時と実際に事故が起きた場合の緊急時にどのような活用の可能性があるのか、そして現在の福島のような復旧における情報と、そういう形で整理されている。今後これは、さらに詳細を詰めていく必要がある。

(岸本委員) 原発の復旧の場合の労働者とか、医療関係者とか、非常に高いリスクの高線量の被ばくをする可能性がある、むしろそういう労働者や、宇宙飛行士も広め労働者だとしたら、そういうインフォームドコンセントに使うのは一つ明記してもよいと思う。

(甲斐委員長) 作業者に対する、情報提供、インフォームドコンセントというのは、通常おそらく線量で行われ、その線量の意味するリスクの度合いはおそらく、それぞれの箇所で説明されていると思う。しかし、リスク指標となると不確かさがあって、なかなか統一した表現ができていない面もあると思う。今回出てきたような、甲状腺モニタリング、防護措置を行う、行わない、先ほどの従事する方々に対する説明などに使える可能性があるのではないかと。

【資料5 事業の進捗[2] コードの開発工程、概念設計及びデータベースの整備に関する検討、資料6 コードの開発工程に関する検討】

事務局より資料5を用いて、コードの開発工程、概念設計（リスクモデルの検討を含む）及びデータベースの整備に関する検討に関して説明した。コードの開発工程、データベースの整備に関する質疑は無かった。概念設計に関する質疑応答は以下の通り。

○観測値から臓器吸収線量への換算に関する議論（ICRPにない臓器の扱い）

（佐藤オブザーバー）ICRP Pub. 144だが、「残りの臓器（Remainder）」についても個別に計算はしている。核種をセシウムに限るのは、リスクコードのシナリオの対応力が減るのであまり良くないと思う。Pub.144にはガンマ線のエネルギーごとにPub.116と同じエネルギービンで計算されたデータも入っている。ただPub.144で評価していない臓器があるようであれば、Pub.144の環境被ばくの計算を再度実施して評価するのは計算コスト的に難しく思う。その場合は、ROTの計算は比較的簡単にできるので、そこは頑張ってROTの計算をやって、Pub.144で定義されている臓器の線量に対する未評価臓器の線量の比を一旦導出する。その線量比率を、Pub.144で定義された臓器の線量係数に適用して環境被ばくにおける未評価臓器の線量係数の方も導出するっていう手法がひとつである。

（甲斐委員長）Pub.144の使い方として、その特定の核種というよりも、ガンマエネルギーの関数として、データベースを持ち、それを活用する方が、セシウム以外の場合には、利用できるというコメントかと思う。もう一つは、整備されていない臓器について、ROTという被ばく照射形態については、計算をすることで簡単に係数を得ることができるということだが、そういう計算を行うコードがあるということか。

（佐藤オブザーバー）原子力機構のPHITSでもでき、その他の輸送コードでもできるので、一回計算して臓器線量の比率がわかれば、後はその比率を適用して環境被ばくの状態でも類推できると思う。

○観測値から臓器吸収線量への換算に関する議論（全固形がんリスクを求める際に使用する臓器線量に関して）

（古川委員）各臓器線量がある程度正確にわかるのであれば、それぞれの臓器線量を入力して、部位別にリスクを計算して、最終的に全固形がんのリスクとして足し合わせて結果を出すというのがRadRATのやり方。RadRATの線量の指定の仕方は、基本的に臓器別に指定されている。臓器線量、臓器別の線量に基づいて部位別のがんを計算して、最終的に全固形がんのリスクを計算するので、基本的にそういう風にやることは可能だと思う。RadRATも、もっと簡単に全身被ばくの場合のり

スク計算、全固形がんのリスクを計算したい場合は、全ての臓器に、ある一つの値の線量を指定するというオプション(“Apply dose to all organs”)もあったと思う。

(坂田委員) 放影研では、全固形がんのリスクを出すときに、結腸線量を使っているが、本当に結腸でいいのかという議論がある。本当に結腸でいいのだろうかと思いつつ、でも使うとすれば体の中心と考えられる結腸が一番妥当という状況で、結腸が良いと思って使っているわけではない。

(甲斐委員長) それぞれ課題はあるが、古川先生の提案されたように、各臓器が定義できて、それぞれでリスクの計算をするのであれば、計算のリスクもそれを合計する方法がRadRATで行っている方法であり、そういう方法を取るのが一つの方法ではないかということ。坂田委員から指摘していただいたのは、結腸線量が、必ずしも全固形がんを表現するための代表的な線量ということには、まだ課題もあるが、臓器線量をある程度平均化したような代表線量を使うという、なんか別な代替線量を考えることも可能ではないかと思う。方法論として、一つに固定するよりも、そういう選択肢を持っていた方が良いのではないかなと思う。

(吉永委員) よりシンプルに、全固形がんに対するモデルをデフォルトとして使うという立場からは、結腸線量を使って予測するのが一番簡単で良いと思う。個々のがんリスクモデルを使う場合は、パラメータの不確かさの問題が、結果的には大きくなると危惧している。今回は様々な部位を対象にしたモデルを目指すということだが、少なくとも、全固形がんについては、結腸線量を使った予測の方が良いかと。

(甲斐委員長) 代表線量が結腸かどうかというのは、一つの課題ではあるが、いくつかの大きな複数臓器の平均線量を取ることも可能だろうと思う。その辺は今の段階で決めることはできないので、何らかの線量で代表させる方法、つまり全固形がんのリスク計算、それと、先ほど出てきたような個別の臓器ごとに線量とリスクで合計する、そういう二つの方法論があるということで、その選択肢を持っておくというのも、現時点では一つ判断と思う。

(古川委員) 今の結腸なり何なりの代替線量を使うというのは、例えばLSSのall solid cancer modelを使うということが前提、それを使いたいという時に代替線量を使う。基本的に論文とかから得られたリスクモデルを使う方針だと思うが、論文で公表されていないことに対してこのシステムで、何か決め事をしなければいけないことも出てくるのではないかと。

(坂田委員) リスク推定の場合は、それぞれの方で、被ばくされた状況が違うので、前から放射線を浴びたか後ろからか、爆心地に対して、前を向いていたか、後ろを向いていたかによって、臓器線量が異なってくる。それで各臓器線量を使うということに意味があると思うが、どのくらいのリスクがあるかを推定する上では、そ

ここまで細かな設定をしないといけないと思うので、そういうことを考えると、一つの結腸線量を代表として使うということには意味があると思う。

(甲斐委員長) 特に特定の臓器に偏った被ばくをすることは、このコードでは想定しないので、全固形がんのリスクに関しては結腸のような、代表的な線量を代替として推定することも方法ではないかという意見だと思う。運用の段階では二つの手法を比較して、どれがより運用上問題が少ないか、最終的な判断していく方法が良いと思う。

○がん部位に関する議論

(坂田委員) 胆のう以外に、腎臓も90%信頼区間が負になっていたかと思うが、そういったところは、ベースラインも低いので、推定範囲外としても良いとは思いますが、また、膀胱は負にはなっていないが、かなり信頼区間が広く、こういった信頼区間の幅が広いものはどのように扱うかということも検討する必要があるのかなと思う。

(佐々木氏) (がん部位の検討で) 累積の年齢幅を区切って、同じような形で見ても参考になるのかなと思う。ベースラインのがんを、例えば50歳までで区切って、DALYとかで多く出るような値をより着目することで、がんの順番が前後しないかどうかということも参考にしているのかなと思う。

(岸本委員) (がん部位の検討を) 損失余命年数とかDALYでやると様相ががらりと変わる気がしている、罹患率で区切るのは別にそこまで強い根拠はある感じがしない。死亡率と損失余命年数あたりでも見てはどうかと思う。

(古川委員) 脳・中枢神経系は、検討する「部位」に入っていないと思われるが、どうなのか。CTスキャンなどの影響とか、注目されていて、UNSCEARでは取り上げている。

(甲斐委員長) 脳・中枢神経系は一般的には非常にインシデンスが低いわけだが、特に子供のがんとしては、やはり白血病に次ぐがんであるため、年齢を区切っていくと、当然、評価対象なので、やはりこれは入れておくべきだと思う。皮膚がんについても非常に難しいので、皮膚がんの中でも悪性黒色種(メラノーマ)か、そういった原爆被爆者でも評価されているものについては、線量反応系が独特だが、線量についてどうかというと、なかなか難しいような気はする。疫学的な知見があるので、知見があるものは考慮の対象にしておくのは必要なかと思う。

(吉永委員) この二つの部位(脳、皮膚)はやはり評価に入れておいた方がよいと思う。皮膚がんは、メラノーマ以外の皮膚がんだと思うが、入れておいた方がよいと思う。

(岸本委員) 以前、化学物質の文脈でリスクのトレードオフ、要するにある物質からある物質に変えた時にリスクが下がるのか上がるのかの計算をするときに、統計的優

位差がないので、物質Aから物質Bに、例えば発がん性物質だとした時に、Aのリスクの係数は小さいが、非常にロバストだと。Bはリスクの係数は大きい、統計的有意差がないという場合に物質Aから物質Bに変えた時にリスクは上がるのか下がるのかを議論したことがあり、統計的有意差がないから無視しよう、となったらリスクはゼロになる、というか、なくなるように見える。期待値で言うと、リスクが上がるかもしれない。それで、これも多分使い方による気がしており、物質Aから物質Bに変えるような使い方を。被ばくにしても、そのような時には、リスクを比較するときは、期待値というので、統計的有意差はなしに、その期待値をフォーカスする使い方であってもいいと思うので、完全にこれは無しにしたらいという感じはしていない。ただ、使い方によって多少議論は変わると思う。

(甲斐委員長) 疫学データから、有意さがない統計的には不確かさがあって有意さがないがんリスクについて、明らかに平均値もマイナスながんは除外をしてもいいだろう。それ以外のがんリスクについては信頼区間が大きい、不確かさが大きいものについては、有意差がないと言っても除外はしない判断として、先ほどのベースラインを参考にするという提案だが、そういう考え方について、皆さん、理解ができるかどうか。

(坂田委員) 一つ一つの部位に分けると、かなりエラーが大きくなってしまっているので、足し合わせて全がんの予測値と合わせた場合に、差が大きくなればと思うが、推定する部位と残りの部位にひとまとめにして推定することも考えられるか。

(事務局) その他の固形がんの算出方法に関わると考えている。このように全固形がんのリスクを算出し、ユーザが選択した評価がんの合計を引いたものをその他のがんとする方法を考えている。ここで、評価対象がんとして統計的に優位ながん、胃がん、肺がんなどを選択して、それ以外は残りのがんでまとめて出力するのが現状の案になっている。

(甲斐委員長) 今の説明の全固形がんというのは、先ほど出てきた、例えば、結腸の線量で代表した形で、全固形がんのリスクと、それぞれの評価対象のがんを足し算したもの、それを比べるということか。

(事務局) そうである、この全固形がんでは、LSSで示されている全固形がんのリスクモデルの値になる。

(甲斐委員長) おそらく平均値でいけば負になる可能性は当然出てくると思う。この結果の扱い方というのは、今後さらに検討の余地はあると思う。

(古川委員) 「その他の固形がん」のリスクモデルも一応LSSでは解析されており、RadRATやBEIR VIIでもそのように検討して、固形がんのリスクに足し合わせる方法を取っていた。当然、全固形がんのモデルで計算したリスクと、部位別プラス、

「その他の固形がん」のリスクを足し合わせたものは同じになることはほとんどなくて、そのあたりもBEIR VIIで比較されていた。かなり違うほどでもないが、かなり近いわけでもない。

(甲斐委員長) 現時点として部位をある程度決めて、最終的に全固形がんの評価のあり方、残りの部位、ある程度リスクのマイナーな部位については、マイナーな部位でまとめた形での評価ということになるかと、その時マイナーといってもマイナーな部位を取り上げなければいけない。

(古川委員) メジャーな部位以外の部位をまとめて、それをアウトカム(「その他の部位」)にしてリスクモデルでリスク推定をするというのが、時々ある。

(甲斐委員長) おそらくこのプロジェクトで、独自にリスク用モデルを評価するということがあれば、いろんな方法は考えられるだろうと思うが、一応公表された公的な、国際機関や放影研などの機関が発表しているもの、そういったものに基づこうという方向が出ていたので、ある程度制限がかかると思う。

(事務局) このコードでは、LSSでモデルがある部位は一応コードの中では設定をして計算できることを想定している。その中で、どの部位をデフォルトとして選択するかは議論になる。その他の固形がんに関して新たに希少部位をまとめてとなると、新たな研究となるので、今回のリスクコードの初期のバージョンとしてはLSSにすでにあるモデルを入れておいて、それで全固形がんからユーザが評価した場合を引いたものを、その他の固形がんにするのがシンプルな方法と考えている。

○不確かさ評価に関する議論

(坂田委員) リスク予測を出すときの信頼区間などはどのように示されるか。信頼区間の幅が広いものについては、もし予測値として信頼区間も一緒に出すことであれば、計算しても、間違った情報を流すことにはならないと思う。

(事務局) 不確かさ評価に関しては、次年度以降の検討、今年度は決定論的評価のためのコードの概念設計をメインで検討している。

(甲斐委員長) 不確かさ評価をする上では、現時点では原爆被爆者の罹患率の詳細な情報が公表されていないことから、放影研との共同研究という形で、そういう情報を使わせていただく形で評価する必要があることが、前回からの議論になっている。それは来年度以降になるので、現時点ではすでに公表されているPreston論文やOzasa論文をベースに考えること。不確かさ評価はこういったデータ情報の分析が無くては正しい議論ができない。

(規制庁) 実際にコードを開発するのは次年度が固形がん、その後、白血病となってくるが、概念設計自体では両方カバーすべきという理解をしている。そういう意味では、その対象臓器の選別の中に骨髄という臓器も今年度の中に入れておくべき

である。不確かさ評価に関しても資料4の2ページ目のスライドを見ると、令和7年度に不確かさ評価を実施すると位置づけている。それに、必要な情報の収集、調査は今年度からも行うという位置づけである。

(事務局) 不確かさ評価のところに向けて、その時まで成果が出るか分からないが、放影研との共同研究という話が前回の検討会でも出ており、それについては、現時点で甲斐先生や坂田先生、古川先生と前向きに調整しているところである。体制が固まってきたところで、この検討委員会の中でも紹介していきたいと思う。

○子宮がんの分割に関する議論

(坂田委員) 頸部と体部を分けた方がいいと思うが、頸部がんは放射線のリスクが有意ではないので、加えるかどうかということか。子宮体がんについては、低年齢での被ばくについてはリスクが有意に出ているが、年をとってからの被ばくについては有意に出ていないので、被ばく時年齢との関連がかなり出てくる部分かなと思う。その辺も加えて推定、予測が必要かなと思う。

○データの外挿に関する議論

(古川委員) 私もデータを外挿する際には、だいたい85歳以上で一定とする。私も感度分析のようなことをして、120歳はよく分からないが、100歳ぐらいまでだったらそう影響はないということは大体確認している。

○出力の説明に関する議論

(規制庁) 不確かさが大きいものについて、もしこの部分で負になる場合に“0未満”という形で書くと、upperが数字の大きく出るに関わらず、lower boundの方がどの程度低いのか分からない。こちらも概念設計の中で不確かさが解析中の概念設計の中に含まれているので、持ち帰って検討する。

(岸本委員) このような計算をする時、保守的な仮定で計算する場合と、平均値、期待値で計算する場合が混合しがちで、そこをかなり厳密に区分けしてやる必要があると思う。この出力も、例えば安全側で計算してもこのぐらいにしかないよ、のような使い方をする場合の仮定と、何かと比較する時には、期待値ベースでやるべきだと思う。まず出力の意味を理解してもらうためには、どういう計算をしているかで、使い方の話になると思う。どちらもあり得るかもしれないので、最初からそれを選んで計算を始めるのか、どっちつかずで、パラメータによってはすごく安全になっており、別のパラメータは期待値のようなものが混ざるのが一番嫌だなと思っている。そのあたりをきちんと整理した上で、これは期待値を表している、期待値とupper and lower boundsを表しているとか、あるいは安全側の推計

をしたもので、こういう使い方をしてください、決して他のリスクと他の期待値のリスクと比較しないでください、のような話とか、今後かなり意識してやっていく必要があると思う。良かれと思ってとりあえず多めに評価しておこう、ということとはよくあるので、低めよりはいいだろうとか、つい思ってしまうので、そのあたりを意識する必要がある。

○開発言語に関する議論

(佐藤オブザーバー) 個人的には.NETが使われるのはすごくいいと思う。一つコメントは、.NET Frameworkと記載されているが、おそらくは.NET 6で統合されている。ロジックの部分をC#で組まれるのはいいと思う。GUIのインターフェースの実装のところで、.NETのインターフェースの実装は色々あり、例えば、古くはWindows Formがあるが、今、MAUIという実装が出ていて、MAUIで実装すると、マルチプラットフォームで走るし、このMAUIと連携したBlazorとの組み合わせで、デスクトップアプリを組むと、ほぼそのままWebに持っていけるようになる。そのところもよく調べてから、開発された方が二度手間にならずにいいと思う。

(甲斐委員長) 方向としては、ウェブベースではなくて、パソコン、ウィンドウズベースのスタンドアロンのアプリケーションという方向か。ウェブ版は今後の検討ということか。

(事務局) 現状のモデル計算法を考えると、デスクトップアプリが適していると考えている。そして、内部被ばくコードのように、よりユーザを広げる場合は、ウェブの開発も考えられるが、現状ではまずデスクトップとして作るのが良いのではないかという提案である。

○外部有識者からのコメント

(佐々木氏) 途中で線量の換算の話が出てきたが、周辺線量当量、あるいは個人線量当量から、吸収線量に換算する際の不確かさをどう考えるか。また、若い年齢からアダルトまでの年齢区分をどのように考えるかというところは、今日は議論の対象にはならなかったがポイントと考える。

(高木氏) 私が今見ているのが宇宙になると、かなり線種や線量の分布が違ってくる。体に対する影響の考え方も一緒に考えていけたらいいと思う。

3. その他

(事務局) 本日の議事録については、事務局で作成した後に先生方に配布する。次回の委員会は現時点で来年の2月中、東京駅周辺で開催予定である。詳細が決まり次第、連絡する。

以上

7.5. 第四回検討委員会議事概要

日時：令和 6年1月31日（木）13:30～16:00

場所：ビジョンセンター東京八重洲 904室及びオンラインでのハイブリッド開催

出席者：甲斐委員長（日本文理大）、岸本委員（大阪大）、古川委員（久留米大）、坂田委員（放影研）、吉永委員（広島大）、佐藤オブザーバー（JAEA）

外部有識者（VIC（黒澤直弘、黒澤亮平、菅野光大、波戸真治））

原子力規制庁（高橋統括技術研究調査官、森泉主任技術研究調査官、荻野技術計画専門職、伊豆本技術研究調査官、中畷技術計画専門職、高久技術研究調査官、本間技術参与、喜多技術参与）

JAEA（高原GL、真辺研究主幹、嶋田研究副主幹、廣内研究副主幹、鯨岡研究系職員、野口派遣職員）

議 事

1. 前回の議事録の確認【資料1】
2. 事業の進捗【資料2】
3. その他

配布資料

資料1 第三回検討委員会の議事録

資料2 事業の進捗（事業概要、コードの活用法に関する調査、コードの開発工程に関する検討、コードの概念設計及びデータベースの整備に関する検討）

開会

事務局より第四回検討委員会の参加者が紹介された。

1. 前回の議事録の確認

委員会より第三回検討委員会の資料1 議事録案について確認・承認された。

2. 事業の進捗

事務局より、資料2を用いて、今年度の事業の概要、今年度実施した内容、第3回検討会以降に実施した調査内容について説明した。質疑応答は以下の通り。

【資料2 事業の進捗 コードの概念設計に関する調査（要件定義）】

(岸本委員) 緊急時の利用が難しいのは、その通りだと思う。ただし、報告書や資料の書き方として、緊急時に限らず内部的に利用するものと、一般に公表する利用の方法が混ざった書き方になっている気がする。例えば、緊急時が一番わかりやすいが、住民に対しての場合には、この通りである。ただ、対象を意思決定者や誰がという風に分けると、他の使い道として想定用途に書くことがでてくるのではないかと思う。計画時や復旧時もそのような意味で、コミュニケーションとしての使い方と、意思決定者が使うものとして、もう一段階分けて整理しても良いと思う。

(事務局) 現状では対象者を分けて記載していないので、どういった立場の人に対してなのかを分けて修正していく。

(甲斐委員長) ここでまとめられたのは、専門の方々にヒアリングした結果としてまとめられたものなので、緊急時への利用は難しいという話で書かれている。コードは緊急時の計画時や事故の復旧時に使える可能性は高い。現段階では、実際の緊急時に使うのはなかなか難しい側面があるということだが、(緊急時の利用の) 道を塞ぐということではなく、今後も緊急時にも利用する可能性を持っておいて、今後の課題にしておく、という認識である。

(規制庁) レスポンスのフェーズでは、コミュニケーションを含めてコードの使用はなかなか難しいというヒアリング結果であった。ただ、事前に使う道はあると思う。言葉として「意思決定者」という言葉を主語にすると、対応時の対策の意思決定をする人のように限定的に捉えられやすい。事前計画の時に利用するには規制側など、もう少し幅広い主語になり得るため、表現を工夫した方が良い。

(甲斐委員長) 具体的なシチュエーションについては、まだ議論をしておらず、そこまで深めてはいないと思う。概要としてはこういう方向という形で示されている。さらに様々なシチュエーションについての議論は難しいため、これは活用でき

ないとか、このように活用できるかもしれない、というのはコードの形がもう少し見えてくると、使い方も見えてくると思う。

(岸本委員) コードが見えてから考えるという側面もあるとは思うが、具体的なニーズを示してからコードを作成する方向もあるかと思う。今想定しているよりも、もう少し具体的な使い方の話を並行して詰めても良いと思う。例えば、訓練などをするとき、災害時のこういう場面でこういうものがあると良い、などを想像する。

(規制庁) 例えば、アメリカの原子力規制委員会 (NRC) では、モデルを作って確率論的リスク評価 (PRA) のために使用している。規制庁で議論している安全目標などに使用することは可能である。このような元々の使い方も要件定義に書いても良いと思う。

(甲斐委員長) 緊急時、実際のレスポンス、避難の時にも、多様なリスクが問題になっている。放射線とのリスクでどう判断するのか、といったことも場合によっては求められる可能性が出てくる。どこまで想定するかは難しいが、緊急時には利用しない、と最初から道を閉じるよりは緊急時への利用の余地も残しておくのが良いと思う。

(岸本委員) 緊急時、意思決定にリスク評価を使って判断することは不確実性もあり、スピード感も間に合わないと思う。ただし、意思決定をした後にその意思決定が妥当であったかどうかを検証するために使うなど、これだけに基づいて意思決定をする、という以外の使い方もあり得ると思う。机上訓練とか防災訓練をやっているとしたら、そういうシナリオの中で使える余地はないかというのを調査する作業を行ってはどうかと思う。

(古川委員) 原子力防災時におけるリスク評価がメインな目的ということであるが、その計画時、復旧時の利用に重点を置くというのが想定用途のメインだということに対して異論はない。ただし、意思決定者等の情報に使うものとしては、例えば甲状腺がんのリスク評価というのは重要になってくると思う。防災時だけに絞った場合に、詳細な部位別がんなど、さらに死亡と罹患に分けて、労力をかけてリスクモデルを設計してリスク計算を行うということなので、これだけに限定されずにこのような用途にも使える、という説明があっても良いと思う。例えば、私が今UNSCEARのプロジェクトで関わっている **Cancer Epidemiology** は、放射線関連がんのレビューを行った上で、様々な放射線被ばくのシナリオにおけるがん生涯リスクも含めたリスク予測を行っている。そこでは主に三つか四つのシナリオを決めて行っている。そこでは医療、職業、環境、原子力災害時の環境被ばくなどのリスクシナリオごとに計算している。このツールがあれば、

どのシナリオでも適用できるということで、ここまで想定用途を限定するのはもったいないと思う。

(規制庁) 先生がおっしゃった通り、様々な用途が考えられる。まずは規制庁が作成するということで、明確に目的としているところが原子力防災の部分である。汎用部分は、各臓器の吸収線量を入力して基本的な生涯寄与リスクを出力する部分である。その上で、防災というところに特化した目的とするところで、入力を設定するコードとなっている。今年度は概念を設計して、これから開発を進める。そうすると、実際にコードが見えてきて、その使い方も見えてくるということもあるかと思う。そのため、まず基本汎用部分、そして目的別に入力を作成して、公開していき、そこでまたこういう部分があったらより使いやすくなるといったコメントをいただき、機能を高度化していくという形で進めていければ良い、と思っている。このコードがまずは令和8年度までにはこのような形で開発を進めるが、ぜひ、先生方にもまたご協力いただき、より良いコードを作っていこうと思う。少し補足すると、例えば学生の教育のようなどころで言えば、今回開発しようとしているコードは公開を前提として作成している、というのは良い特徴だと思う。一旦公開されて、詳細版と機能を制限した簡易版というのがあるが、例えば簡易版のようなものを使って、学生に実際に使ってもらい、いろいろな方々の理解が深まっていく。さらに詳細版を使って、より実際に手を動かして使っていくというようなことも考えられる。一義的には、原子力防災を中心とした意思決定者、あるいは行政等で使用されることを想定しているが、それだけに留めず、実際にコードが開発されれば、例えば学協会等の関連する方々にも広く周知し、様々なフィードバックを得ながら、広く使っていただけるような汎用のコードを開発していこうと考えている。このコードは、規制庁の放射線防護を研究している研究班で開発しているものであり、実際にコードができると、開発主体とも協力しながら学術論文を書き進めていく。UNSCEARで検討している方々とディスカッションをするなど、アカデミックな分野に日本も積極的にペーパーを書いて、世界的にも貢献していくのも一つ特徴になる。

【資料2 事業の進捗 コードの概念設計に関する調査（コード設計）】

(古川委員) LSSのリスクモデルの中にいくつかパラメータがあって、その確率分布はパラメータごとに決めるというよりも同時分布で三次元、四次元の確率分布を決めるイメージか？パラメータ間の相関が必要になるので、パラメータごとの確率分布よりもパラメータに対する全体の確率分布を決めるイメージかと思う。

(事務局) LSSのリスクモデルのパラメータでは、パラメータ間の相互作用を考慮する。

(甲斐委員長) そのためには、分散、共分散のデータが無いといけませんが、公開されていないので、それについては放影研のデータを共同研究という形で、分析したものが出たらそれを使う、ということか？

(事務局) ご指摘の通りであり、入れ物の箱としては、そういった相関を考えて行列で入れられるように作っておいて、そういった情報が出てきたら、それを計算することができるようにしておく、と考えている。

(佐藤オブザーバー) 22ページUIのイメージの部分で、空間の周辺線量や個人線量の線量率を入力値に入れて、見積もっていくのはいいと思う。屋外屋内の滞在時間での遮蔽を考えると、ユーザはその空間で測った線量がどのエネルギーの光子からなのかを知らないと使えない、ということか？

(事務局) 今回は長期的な被ばくを考えており、核種としてはセシウムが主になると考えている。あるいは、ユーザが任意の γ 線エネルギーを入力して、計算することを想定している。

(佐藤オブザーバー) 事前、事後の評価であれ、ユーザはどんな線源があって、それによって被ばくしたことを知った段階で、このアプリケーションを使うということだと認識した。

(甲斐委員長) ここでは、入力値は選択肢から選ぶ、ということになるのか？例えば、他の条件で臓器線量を計算したい、という場合には適用できるのか？

(事務局) ここでは、限られた仮定のみを計算することになっている。ただし、他のコードで計算した線量を入力できる設計も考えている。

(甲斐委員長) 事故を想定した計画を立てる場合には、短半減期の核種も重要であるが、そこは考えなくてよいか？

(規制庁) このコードは5年間で開発するため、まずはこのメインの部分、汎用部分をしっかり作っていく。そのうえで、目的別の部分を作っていく。様々な状況で計算するとなると、目的別入力部分に多くの労力を割かなければならなくなってしまうため、まずは周辺線量当量率あるいは個人線量当量を入力する形で作成する。まずこの五年間の中で、最低限、必要なところを入力として考えた。

(甲斐委員長) 線量の不確かさを考慮しないでよいかという質問についてはどうか。

(古川委員) RadRATと比べてしまうが、RadRATはある程度臓器線量の不確かさを考慮して入力できるようになっている。分布で指定することもできる。信頼区間的なもので入力することもできる。もちろん固定値で入力することもできる。被爆者データの線量の不確かさは別な線量の不確かさであり、それは原爆被爆者

の線量システムで不確かさを考慮した補正が行われて、その線量に基づいてリスクモデルが使われている。そのため、リスクモデルにおける疫学研究の線量の不確かさは補正されている、と考えている。

(甲斐委員長) 計算する上で、線量はユニークな、幅のないものとして計算をしてもよいか、そういう扱い方をしてもいいか、それを前提で計算をするということ、に対して問題はないかという指摘である。ここでは、線量を固定化して計算するということで進めている。RadRATではそうではない使い方をされているのは、作業者の不確かさがある段階で、補償するかしないかとかいった判断に影響することが関係しているのだと思う。そこは本コードでは想定しないということと認識している。

【資料2 事業の進捗 コードの概念設計に関する調査（計算に使用するモデル・データ（白血病））】

(甲斐委員長) 悪性リンパ腫、骨髄腫のターゲット臓器の線量を考慮する場合、線量は赤色骨髄で良いのか、という質問に対して、原爆ではどうなっているか？

(坂田委員) **Active Bone Marrow** でやっているのだから赤色骨髄で良いと思う。死亡のデータだと、白血病の細かいサブタイプは出てこないと思う。罹患のデータだと、CSVで公開されているデータではサブタイプは無いと思うが、全国がん登録に申請してデータを使うことが出来れば、期間は短いサブタイプまで入ったものをもらえると思う。ただ、審査が厳しいかもしれない。

(事務局) 調査する。

(古川委員) 白血病CML以外の死亡モデルに関して、Ozasa Report 14の白血病報告書に記載されている白血病モデルは、線形二次の影響修飾なしのモデルの結果ということか？

(事務局) その通りである。結果がRichardsonの論文と少し異なっていたので、小笹先生のもものは修飾が無いと思う。

(古川委員) データフィットさせると、曝露後の経過時間や到達年齢が有意になっていたりする。特に生涯リスク予測などは到達年齢を入れないと、白血病に対し放射線影響がずっと後世まで続いてしまうことになり、やや現実的ではないリスク予測値が出る可能性がある。UNSCEAR 2019の selected health effects の報告書でも、その問題があった。同じデータに対し、ProZESのメンバーがフィッティ

ングした論文がある。ドイツのグループはマルチモデルインファレンスを利用しているが、マルチモデルインファレンスではなく、線形二次の影響修飾も入れたモデルで、特に到達年齢が入っているモデルが報告されている。UNSCEAR 2019ではそちらのモデルを使っている。現在の UNSCEAR の Cancer epidemiology でも、今のところ、私の計算の白血病のリスクモデルはそちらの方 (Kaiser and Walsh, 2013) を使っている。

(甲斐委員長) 今、UNSCEAR はどこから情報をもってきているのか？

(古川委員) UNSCEAR 2019でも、今回の Cancer epidemiologyでも、基本的に論文の情報を取ってくるという方針で、オリジナルの解析はなるべくしないようにしている。

(甲斐委員長) そうすると Richardsonの白血病の死亡は？

(古川委員) Richardsonはやや古いデータである。Richardson のポイントは、高年齢部分で影響が出ていることを被ばく後時間のスプライン関数としてモデリングしているという、複雑なものである。

(甲斐委員長) 白血病は固形がんと違って、40年以上経ってリスクは減少しているので、数年違うことの影響は小さいこととと思っていた。

(古川委員) 坂田先生が詳しいと思うが、あるサブタイプは何十年も経ってから影響が出るようなものもある。

(甲斐委員長) 修飾因子は重要だという、ご指摘だと思うので、そこをどのようにリスクモデルを使うかという点に関して、UNSCEARではそのモデルを使っているのか？

(古川委員) Richardsonではなく、小笹先生のデータでドイツのグループがフィッティングした影響修飾が付いたモデルを使用している。

(坂田委員) レポート14の血液がんはかなり簡単なモデルしか扱ってなく、ドイツのグループの方が詳しくやっているため、そちらを使った方がいいと思う。Richardsonの論文の図を見ると分かるが、年少のところでは、被ばく後すぐには非常に高いが、最後の方でポコッと微妙に上がるというところにフォーカスしているため、それは入れなくても良いのではないかと思う。ただし、入れなかった場合に、そこを入れていないという批判が来ないかな、というのはある。

(甲斐委員長) 到達年齢の影響としては違うが、積分した生涯死亡確率や生涯罹患確率という点では影響はないだろうと思う。そういう意味では何を目的にアウトプットしているのかというところは明確にしておけば、その批判はないような気がする。レポート14では、白血病にフォーカスしていたわけではなく、シン

プルなモデルであるため、同じデータを分析されたドイツのKaiserのグループがやっている論文、それを事務局は把握しているか？

(事務局) まだ入手していない。

(古川委員) UNSCEAR 2019に書いている。

(坂田委員) 非ホジキンリンパ腫に関してリスクが出ているのがLSSだけであるが、UNSCEAR ではどうしているか？

(古川委員) サブに分けて評価していない。

(坂田委員) 非ホジキンリンパ腫のリスクが分かっているのは、LSSだけと思う。多発性骨髄腫もLSSでは出ていないが、他のところでは出ており、どれを採用するのが良いのか、LSSだけでよいのか、というのが心配である。

(甲斐委員長) ベースラインは小さいと思う。それをモデル化するというよりも、その点を押さえておくことは必要と思う。調べた情報があれば、今回のコード化では検討課題として残しておくか？

(事務局) 悪性リンパ腫と多発性骨髄腫は、全体としてモデルを、LSS13と14と、罹患を入れていく予定である。

(甲斐委員長) これも数式が出ているのか？

(事務局) 出ている。

(吉永委員) どの部位を考慮するかというのが、最初の方の検討委員会で検討されており、基本的には放射線誘発性が高い、あるいはかなり多いがんに限定するというので、細かい白血病のサブタイプあるいはリンパ腫のサブタイプなどまでは、今回は入れない方がかえって良いのではないかという気がする。

(甲斐委員長) 悪性リンパ腫、慢性骨髄腫を含めてか？

(吉永委員) 多発性骨髄腫も今までの意見のとおり、原爆被爆者以外の被ばくした集団で強い証拠があるか、あるいはサジェスティブな証拠があるかというのは非常に疑問である。

(甲斐委員長) 確かに、もともとベースラインで少ないから、しっかりしたエビデンスがあまりないのだろうと思う。

(吉永委員) このあたりはもう少し慎重に決めたほうが良いと思う。

(甲斐委員長) LSS13や14で一応評価されている過剰相対リスク (ERR) があると思うため、それで単純にコードで計算する前に試算してみて、全体の血液がんの中で占める割合が非常に低いとなれば、不確かさも大きいため、コードの中には入れない、という方向もある。

(吉永委員) 白血病は一番当てはまりの良いモデルとして線形二次 (Linear Quadratic: LQ) ということで、この場合、線量・線量率効果係数 (DDREF) は考慮しないということか？

(甲斐委員長) 通常、国際的にはそのようになっている。ただし、DDREFは線量率効果と線量反応関係の線形性の両方を含んだ概念である。今、ICRPでも線形性と線量率効果を分けて評価をする流れになっている。原爆のデータが直線性という意味ではLQなわけであるが、線量率効果、つまり慢性 (chronic) にした時かどうかというのは課題である。そのため、LQだから自動的にDDREFを考えない、ということではない気がする。今までは高線量での傾きと低線量での傾きだけでDDREFを議論する時代であったため、そのような考えが出ている。あと、低線量になってくると、近似的に線量率効果が現れているというような考え方もあった。例えば、INWORKSのデータでも血液がんは観察されているため、INWORKSの値とどうなのかとか。今のところ、DDREFはペンディングのような形でも良いと思う。

(事務局) 線量率効果として数値を入れられるようなコード設計にしておこうと思う。

(事務局) 今までの議論を踏まえて、本リスクコードの提案をまとめると、白血病全体として、死亡モデルはLSS13、14、さらにUNSCEAR 2019のモデルを調べる。罹患に関してはHsuのモデルを使用し、ベースラインは白血病全体とする。サブに関しては、枠のみを準備し、モデル化はしない。悪性リンパ腫に関しては、死亡はLSS13、14を入れ、罹患はHsuのモデルを、非ホジキンリンパ腫に関してモデルを使い、ベースラインは悪性リンパ腫全体を使い、ホジキンは枠のみを準備する。多発性骨髄腫に関しては死亡、罹患それぞれ数式モデルがあるのでそれを入れておくが、それをコードとして扱えるようにするかどうかは、次年度以降に検討する。

【資料2 事業の進捗 コードの概念設計に関する調査 (計算に使用するモデル・データ (生活習慣))】

(古川委員) 甲状腺がんに関して受けた質問だが、Furukawa et al. (2013)の論文では、喫煙に関しての推定値等の記載はなかったと思う。ただし、喫煙を入れて影響を調べた解析も確か行った。ベースラインに入れてみたのと、放射線影響の修飾

因子としても調べていたが、影響修飾としての有意性はほとんどなかったと思う。喫煙は、LSSだけではなく、よく知られているのがネガティブに甲状腺がんに影響していくので、LSSの場合も若干ネガティブな影響があったと記憶している。ただ、最終的に報告はされていない。

(甲斐委員長) ネガティブというのは、たばこを吸っている方のリスクが低いということか。

(古川委員) グーグルサーチをしてみても、全体的にそのような感じである。

(甲斐委員長) それがどこまで確立した知見なのか、エビデンスがあるレベルなのか？

(古川委員) 生物学的には明確な説明はついていないと思う。

(坂田委員) BMIや喫煙、飲酒の情報も、LSSではとってはいるが、精度がどの程度かという問題もあり、使い方がかなり難しい。同じ尺度で修飾因子を入れられるかどうかということも、モデルを使おうとする人が同じ切り方、尺度で使えるかどうかという問題がある。私は修飾因子が有意なものだけを入れるということをしているが、他の人は有意ではないが、影響があると思われるものは入れるという立場で実施している人もいる。

(事務局) 解析者によって異なるというのは、坂田先生は、喫煙、飲酒が有意だったため論文化されているが、杉山先生の場合、有意かどうかは分からないけれども、全部モデル化して掲載した、ということか？

(坂田委員) 私は有意なものだけを残した。確か、定金先生は飲酒が逆に働いたこともあったが、影響があるから、ということで、そのまま残していたような感じであった。

(甲斐委員長) 乳がんに対して、BMIは影響していると理解していたが、どうか？

(坂田委員) BMIは影響していたと思う。

(甲斐委員長) それを定量的に持っていくのは難しいか。

(坂田委員) 定量的に持っていくのは難しいと思う。

(甲斐委員長) BMIの数値よりも、肥満の傾向の人と正常な人と、そういう二群でもか？

(坂田委員) 肥満傾向かどうか、カテゴリーで分けていたと思うが、回答した年齢がそれぞれ違うので、どれだけ一般化できるかという問題があると思う。

(甲斐委員長) このようなリスクモデルに使うためには、まだ十分な情報にはなっていない、ということなので、どこかに残しておくという手もあるかもしれない。リスク評価が全部、数値にならなくてもいい面もあると思う。エビデンスも少し報告はされているが、十分な情報ではないということも、もちろん付け足さ

ないといけない。

(坂田委員) 例えば、乳がんなどは、昔の人に比べて今の人はBMIが高くなっており、すでにベースラインに含まれているはずなので、それをBMIが低い人のベースラインで計算する必要があるか、そこまで細かいことができるかどうかということだと思う。

(事務局) BMIを考慮したモデルを適用する際、ベースラインとしてBMIの一番低い方の罹患率があるかと言われると、難しいと思う。

(規制庁) 今はまだ概念設計の段階であるため、報告書では概念設計の結論として、肺がんと固形がんを選んでいる。今回の指摘部分を報告書に記載しておき、必要があれば、反映できる形にしておくことが概念設計として必要であると考えている。

閉会

閉会として、高橋統括技術研究調査官より挨拶があった。

(事務局) 本日の議事録については、事務局で作成した後に先生方に配布する。事務局より各委員に事前に送付した委託事業成果報告書案については、お手隙の際に確認いただき、2月16日までにご連絡いただきたい。

以上

8. まとめ

コード活用法の調査では、有識者にコード活用に関するヒアリング調査を実施し、コード想定利用者の詳細なニーズを把握し、整理した。この調査を、概念設計の要件定義に反映した。

コード開発工程の検討では、コードの要件定義からコード利用までのそれぞれのプロセスに対して、取り組むべき事項、考慮すべき点・注意すべき点を整理した。開発工程を検討するにあたり、安全研究プロジェクトの5ヵ年計画の各年度のステップに従って検討した。本年度は、ここで検討した開発工程に従って、概念設計を実施した。

コードの概念設計の検討では、要件定義、計算に使用するモデル・データ、コード設計に関して、開発工程で示した取り組むべき事項に従って整理した。来年度は、今年度の概念設計をベースとしてコード開発を進めていくこととなる。ただし、今年度に提案したものをそのまま利用するのではなく、新たな知見が見つかった場合にはその知見を反映させるなど、適宜柔軟に対応しながらコード開発を進めていくことが重要である。

付録1. ヒアリング調査の議事録

令和5年度 放射線対策委託費（放射線健康リスク評価コードの開発）事業 ヒアリング結果			
開催日時 開催方法	2023年8月2日 ウェブ開催	対象者	坪倉正治先生 (福島県立医科大・教授)
出席者	福島県立医科大	坪倉教授	
	規制庁	高橋統括技術研究調査官、荻野技術計画専門職、森泉主任技術研究調査官、本間技術参与、喜多技術参与	
	JAEA	高原GL、嶋田研究副主幹、廣内研究副主幹、鯨岡研究職員、野口派遣職員	

①リスクコミュニケーションにおける放射線健康リスクに関する情報の役割について

- 福島事故後、放射線健康リスクに関して、どのような情報があれば、住民とのコミュニケーションに役立ちましたか（あるいは、今後の原子力災害時に、どのような情報があれば、役立ちますか）？
 - 一般論としては、住民に対応する場合というのは、科学的な事象というよりは、現実的な日常生活に即するような具体的な話のほうが役立つ。（子供の手はどれだけ洗えばいいのですか？猫が外を歩いて家に入ってきたけど、猫の手を洗ったらいいのですか？等）
 - リスクコミュニケーションというものを、対住民というように捉えるのであれば、そのようなタイプ（例えば、100mSv、0.5%という話）の情報よりは、もっと個別の具体的な事案が必要だったというのが私の経験から言えることだと思います。
 - 住民は、具体的なディシジョンに対するアドバイスを欲している。例えば、コロナの場合であれば、部屋の換気を一日何回すればいいのですか？と聞かれるわけです。つまり 30 分に一回やればいいんですか？3 時間に一回ですか？6 時間に一回ですか？みたいな。原子力災害とかであれば、陽圧化するような、防護化された施設があったとして、陽圧化するわけですけど、扉を開けて人が出入りしたり窓を開けたりして大丈夫なのかとか。そういった細かいところに対するなにか示唆があるようなデータがあると、地元の人との話し合いとしては取っ掛かりになるかなというふうに思います。
 - 住民であれば、欲しいものはリスクの絶対値の評価よりはリスクを下げる方法である。
 - （線量ではなくてリスクという情報を住民に与えることに意味はあるかという問いに対する回答として）セシウムが検出されたら、もう「セシウムが出てしまった」という話なのであって、出るか出ないかの議論に行ってしまったことは確かである。出た場合のやり方は、基本的にはフォローアップをして、三か月後なりにもう一回測り、値が下がることを目の前でみせてあげることは、一番効果があった印象があります。
 - （フォローアップについて、体内の放射線量や線量又はリスクで、フォローアップの程度や優先順位を決めるようなことはなかったかという問いに対する回答として）実際に実運用上は、子供であれば、検出した場合は二三月後必ずフォローアップをしました。大人は 20Bq/kg ぐらい以上、つまり 1000Bq/body 以上ぐらいでフォローアップをしていました。この数値に学術的な根拠はなく、「コミュニケーション上はそうしている方が無難」という理由。要は「あなた 5000 ベクレル出ているけど大丈夫ですよ」とはならなかったのです。

- 国産の放射線健康リスク評価コードが整備されていれば福島事故後の住民とのコミュニケーションに役立ちましたか？また、今後の原子力災害時における住民とのコミュニケーションに役立ちますか？
 - （国産のコードでは基本的な出力として、被ばく時の年齢とか経過年数、性別等に応じて臓器別のがんリスクを提供することができるという前提のもと）何歳だとか何歳だとかみたいな話に個別にしていっても、住民とのリスクコミュニケーションという観点では、うーんという感じはします。その一方で、このような細かい情報があれば、リスク比較（例：糖尿病と避難のリスクを比べる等）の研究として、その結果を使ってコミュニケーションに活用するという方向性をより強化するという意味では、非常に重要なデータにはなり得る。
 - ただし、リスク比較を行うとしても、困難点が2つある。(1) どの範囲のリスクを考えますか？みたいな枠組みの設定が非常に難しいということ、(2) 被ばくのほうだけ年齢別等の詳細なリスク情報があっても、比較対象となる一般の疾患の方のリスク評価が同程度の詳細さで行われなければ比較することができないこと、である。
 - (1) について、高原がこれまで行ってきたような研究、すなわち、「福島県内の公衆全体を対象にして、被ばくと災害関連死のリスクを比較するような研究」を行い、原子力災害対策指針に反映するという流れでは、範囲が広すぎて困難なのではないか。
 - (2) については、糖尿病のリスクと避難による被ばく回避のリスクを比べるという研究はコミュニケーションとしても重要なデータだと言える。
 - （補足2で、「どういった入力があれば、使えるのかということ」と、補足3で、「どういった情報があれば、例えば福島事故の時に役立ったかということ」を説明。その後、「環境モニタリングとか個人モニタリングの結果を入力とすることができた場合だとしても、あまり効果がなかったのか」との問い掛けへのご返答として）例えば、福島事故後の $0.23\mu\text{Sv/h}$ と 1mSv の関係のように、ある地域全体に対して分かりやすい数字で意思決定をするのは、コミュニケーションを非常にしやすくすることがメリットであって、地域の代表値をどう考えるかという話とは別（統計的な代表性に係る問題）。また、生活行動、被ばく低減係数、線量換算等のパラメータのばらつきに起因する評価上の不確かさの精緻化も課題の一つではないか（評価の不確かさに係る問題）。さらに、内部被ばくの例でいえば、被ばく状況の仮定をどうするか（摂取時期や、慢性か急性か等）によって線量の計算結果が変わるが、このような仮定をどう考えるかについて曖昧なままである（評価の仮定に係る問題）
- 福島事故後又は今後の原子力災害時における住民とのコミュニケーションにおいて、放射線健康リスク以外に、どのような情報があれば有益でしたか（又は有益と考えら

れますか) ?

- (例として、環境省の「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料」に紹介されていたリスク比較の例として、生活習慣病によるがんの増加を示したうえで、問い掛けへの回答として) (そのようなリスク比較は) 理系の専門家や特に男性は、計算や理屈を重視して物事を考える傾向のある人にとっては、非常に受け入れられると感じられる。ただし、受け取り方は個人によって異なるため、より適切な区分けを行うべき。

また、リスクの比較に関しては、喫煙などの種類の異なるリスクと比較するのではなく、過去の同じ放射線被ばくのリスクとの比較が多分良いと思います (例えば、あなた方が1960年代に子供だった頃よりも現在の状況の方が安全ですよ、というメッセージの方が効果的だった)。次に事故が起こった時には、福島原発事故の際の被ばく量との比較とその影響に関する情報が最も有効であることは間違いありません。

特に、どのような時期にリスク比較に関する説明を行うかも重要であり、発災直後又は(発災が)進行中の時期には、放射線の話聞きに来たのに放射線以外のリスクの話を持ち出されると、話をはぐらかされた感じの受け取り方をされて、火に油を注ぐ状況だったことは間違いありません。落ち着いてからは役に立ったと思います。

- 中期とか復旧段階などになってくると、糖尿病のリスクとか、要は初期の段階だと聞き入れてもらえなかったのが中長期などになってくると、一般住民に対しては、線量、線量と言わずにもう少し日常の生活を見直そう、のような方向に行ってもらうためにも、コミュニケーションとして、放射線健康リスクは必要な情報だろうというように大変思います。

②放射線健康リスクに関する情報は原子力災害対策の実効性向上に役立つか

- 原子力災害における対応において、放射線健康リスクに関して、どのような情報があれば、事前の計画、または、事後の対応において役立ちますか?
 - (例えば具体的に言うと、事故の時に PAZ、UPZ なり範囲があったとして、その範囲の中で、死亡なりがん罹患の増加のリスクはこれぐらいですよというものを出しておくことには意味がある、というお話ですか? という問い掛けへの回答として) そうですね。もうすこし精緻化が必要な感じはしますが、レベル 3PRA で南相馬の場所で、百テラで計算したら、何パーセントの確率で実効線量が、99%パーセントイルが何ミリシーベルトとかありましたよね。あのような感じの情報があれば、考えるきっかけみたいな、その情報で判断することはないかもしれないけれど、これぐらいの桁感なのだ、のような感じのイメージでしたり、とか。
 - (上記のようなレベル 3PRA の結果について、放射線健康リスクを定量的に示すことができればどうかという問い掛けへの回答として) そこは非常にわかりやす

いと思いますね。どのシークエンスでやるのかなど、いろいろ議論あると思いますが、自分の居場所が、もし事故が起きたとして、風向きなどがだいたいこうだということが知られたとして、シミュレーションで考えたらこんなもので福島の被ばくの時の避難の時のリスクはこれぐらいで、のようなところがあつて。それで一回ディスカッションするような。これがこの規制研究の時に一回ワークショップを開くようなことをやってみたわけなのですが、そういった感じのことをすることで、その地域の一般住民ではなく、大方針を最終決定するようなレベルの方々などに情報を伝える上においては、そのような話を一回考えてもらう機会というのは、防災対策としては有効なのではないかと思っています。

③その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- 福島事故等の原子力災害時の対応とは別の場面で、放射線健康リスク評価コードを活用できる場面はありますか？
 - (例として、医療現場での放射線健康リスクに関する情報の活用を示したあとの問い掛けへの回答として) 患者さんとのコミュニケーション上というより、医療者が、ですね、CT や検査などを乱発しすぎるというのは、昔からよく言われている議論だと思うのですよね。要は患者さんがやってくれていうから、あ、わかりましたと言いながら、CT のボタンを押しすぎるっていう、そういうことだと思うのですが、それを医療者に対する教育とかをしっかりとやっていかなきゃいけないよね、という話は昔からずっとあるわけで、日本はご存知のように、CT が人口当たり世界一の CT 大国で、古い CT がたくさんあるから、そこで被ばくさせまくるわけじゃないですか。そこの多分教育みたいなところのパッケージが進むのであれば、そこには非常に有効だとすごく思います。
- リスクコミュニケーションや原子力災害対応において、放射線健康リスク評価コードを活用するにあたり、困難や課題と感ずることがありますか？
 - 多分、その値の不確実性という議論と枠組みをどの幅で考えるかの 2 点じゃないでしょうか？
- 放射線リスク評価コードの開発に関連してご希望がありますか？
 - (放射線健康リスクに関する情報は)、とても有効な情報なのです。と国や、いわゆるレベルの上の決定をする人にとってみたら、絶対に知っておくべき情報です。

以上

本ヒアリング結果は坪倉教授の確認を得たものである。

令和5年度 放射線対策委託費（放射線健康リスク評価コードの開発）事業 ヒアリング結果			
開催日時 開催方法	2023年8月4日 ペスコ福島支社	対象者	片寄久巳先生 (福島県原子力安全対策課・主幹(当時))
出席者		片寄先生	
	規制庁	高橋統括技術研究調査官	
	JAEA	高原GL、廣内研究副主幹	

①放射線健康リスクは原子力災害対策の実効性向上に役立つか

- 東京電力福島第一原子力発電所事故後の災害対策本部における活動において、もし、放射線健康リスクに関する情報があれば役立つような状況（又は具体的な事例）はありましたか？
 - リスク評価を実施する時間が無く、初期対応に放射線健康リスク評価の結果は使えないと思う。事故直後（事故から1か月程度）は、リスク評価よりも原子力発電所付近のモニタリングによる状況把握、避難時のスクリーニングチームの立ち上げ、各都道府県からの応援チームの指揮、水道水の検査、農地の検査、学校の検査などが重要であった。
 - リスクを計算するための線量や濃度を得るのも事故直後には難しい。

- 原子力災害への対応に関して、現在の原子力災害対策指針では、緊急時応急対策に従事する者について、その所属する組織が責任を持って、防護指標及び装備の整備、教育、訓練を行うこととされています。このような従事者に対するインフォームドコンセントの実施において放射線健康リスクに関する定量的な情報が含まれれば、有益な情報となるでしょうか？
 - モニタリングに行く県職員などに対するリスク・インフォームド・コンセントに関して、普段から放射線業務に従事している人（例：原子力センターで勤務している人、モニタリング要員等）であれば、理解できる可能性はある。ただし、緊急時には測定の実験家のみでモニタリングチームを作るわけではないので、普段放射線と関係が無い人も応援として参画している。そういった人たちには、リスクを説明しても、かえって不安に思うだけかもしれない。
 - 緊急時の被ばく管理は線量で行われ、その説明にリスクは入らない。線量限度に近づいたら引き上げるか、ベルが鳴ったら必ず引き上げてくださいという説明だけであり、その説明にリスクは入らない。例えば、バスの運転手に説明する場合には、「線量はマックスで 100 $\mu\text{Sv/h}$ で、最大作業時間は 8 時間なので、最大 0.8 mSv となり、基準以下です」、との説明になる)。ただし、それを決める意思決定者に対しては、指示そのものは線量であっても、その線量がどういうリスクに相当するかという部分については勉強しておく必要があるかもしれない。例えば、5 mSv y^{-1} まで OK というのは、100 mSv あたり 0.5% がん死亡の確率が増加する、という背景があるから言っている。
 - なお、事故直後から福島県内の 7 か所で、県職員が手作業でサーベイメータを利用して 1 時間ごとに線量率を測定していたが、そこでは被ばくの管理はしていな

かった。

- また、2011年に市町村が契約した除染業者には、被ばくの説明を何もやっていない（と思う）。ただし、放射線除染講習会にあたりテキストを作成した。そのテキストには、仮置き場の話がメインであり、被ばく関連はあったとしても線量のみであった。

- 原子力災害への対応に関して、事故から時間が経過して、避難の解除などが行われる段階になった場合、放射線健康リスクに関してどのような情報があれば役立ちますか？
 - リスク評価は中期対応や復旧段階等の時間的に余裕がある時には意向決定をサポートする人（県で言えば、部長課長、対策本部メンバー等）に対して有効性があると思う。
 - 意向決定をサポートする人は、リスクの考えをよく知っておく必要があり、重要と思う。
 - 原子力安全委員会の事務局も、自分の考え方に正当性・妥当性があると思えば、上に対してきっちり言う必要がある。

②リスクコミュニケーションにおける放射線健康リスクに関する情報の役割について

- 福島事故後、放射線健康リスクに関して、どのような情報があれば、住民とのコミュニケーションに役立ちましたか（あるいは、今後の原子力災害時に、どのような情報があれば、役立ちますか）？
 - 地方に住んでいる住民で、リスクの考え方を分かる人は少なく、行政側の判断に頼っている人が多いと感じる。
 - 行政としては、住民に説明するときには、安全か安全ではないかしかなく、中間は無い。つまり、住民に説明する際には、「知事が危険と思えば、避難させるため、それまでは避難しないでください。避難しない、ということはリスクが無い。」としか説明できない。「リスクがあるかもしれないけど、避難しないでください。」という言い方はできない。
 - 行政側は、上記のような説明をするうえで、背景としてそういうリスクを勉強する必要がある。その場合、あくまでも個人のリスクではなく、集団のリスクとしてどのようなリスクがあるのか、というのは判断をするうえで有用になるのかもしれない。
 - 集団の評価でさえ難しいのに、個人を評価するのはなお難しい。特に内部被ばくについてはデータが少なすぎて難しい。個人の評価をする際には、各家庭内の空間線量率等のデータがきっちりと取る必要があり、それは難しい。
- 国産の放射線健康リスク評価コードが整備されていれば福島事故後の住民とのコミュニケーションに役立ちましたか？また、今後の原子力災害時における住民とのコミュニ

ニケーションに役立ちますか？

- 個人個人のデータがあれば、甲状腺がんになっている人たちの精神的不安緩和に役立つ可能性はあるが、人数は圧倒的に少ない。つまり、ある程度線量が高い人でないと不確かさや仮定が多く、リスク情報の意味がない。

③その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- 福島事故等の原子力災害時の対応とは別の場面で、放射線健康リスク評価コードを活用できる場面はありますか？
 - 例えば、内閣府原子力防災担当が幹部クラスでやっているような研修の中で、リスクについて説明する際に利用できるのではないかと。国で言うと参事官など、いわゆる行政の判断をどうやるべきということと、行政を判断するうえでいろいろな知見や評価をどういう風に利用するかを分かっている方です。
- リスクコミュニケーションや原子力災害対応において、放射線健康リスク評価コードを活用するにあたり、困難や課題と覚えることがありますか？
 - 100 mSv y⁻¹前後の線量を受けたような人に対して、リスク評価をするのは理解できるが、住民の大多数が5 mSv y⁻¹、10 mSv y⁻¹の被ばくの範囲内であり、「集団としてはリスクがあるかもしれないが、個人個人としては喫煙や飲酒などの要因よりもはるかに低い」と説明しているため、そのような低線量ではリスクという概念が入る余地はないのではないかと。
 - 個人個人のデータは、誰もが持っているわけではないため、個人個人の評価は難しいのではないかと。

以上

本ヒアリング結果は片寄先生の確認を得たものである。

令和5年度 放射線対策委託費（放射線健康リスク評価コードの開発）事業 ヒアリング結果			
開催日時 開催方法	2023年8月18日 ウェブ開催	対象者	飯本武志先生 (東京大学・教授)
出席者	東京大学	飯本教授	
	規制庁	高橋統括技術研究調査官、荻野技術計画専門職、森泉主任技術研究調査官、高久技術研究調査官	
	JAEA	高原GL、嶋田研究副主幹、廣内研究副主幹、鯨岡研究職員、野口派遣職員	

①原子力災害への準備と対応に関して、放射線健康リスクに関する教育の在り方

- 放射線健康リスクに関する教育を学生に対して行う場合、放射線健康リスク評価コードを利用することで、効果的に教育できそうな内容や対象者はありますか？また、その際に、放射線健康リスク評価コードを使ってどのような情報が得られれば、教員の立場と学生の立場のそれぞれで有用ですか？
 - 住民を直接的に教育する機会はあまりない。結果的には、住民のステークホルダーやオピニオンリーダーのような重要な人物を通じて、重要な情報を伝えていくことになるだろう。
 - 意思決定者や防災業務関係者がステークホルダーとしての大きな役割を果たすと思う。現在、内閣府や規制庁などが関与する研修プロジェクトが進行中で、私も今年から参画している。特に防災業務関係者の教育や育成に関する枠組みがこの分野の中心的な役割を果たしているのだと思う。
 - 内閣府や規制庁が実施している防災要員研修において放射線リスクの講義やリスクコードを使用した研修ができるといいが。これらの研修を俯瞰して、その教育パッケージの中うまくリスク教育をはめ込んでいけるか、の検討が有効かもしれない。
 - 東大教養学部の1, 2年生を対象に環境安全関係の14コマの講義「環境安全衛生入門」の内2コマが放射線関連を扱っている。大学院にて14コマ全てで放射線を扱っている「放射線リスクマネジメント学」「先進放射線防護特論」がある。
 - 学部生向けの講義では、放射線リスク評価や他のリスクとの比較に活用できる。
 - 大学院教育では、数値が出力されるプロセスが非常に重要である。どんなパラメータが線量を決めているか、そのパラメータはどのように選定され、その代表値が決められているかを扱うことになる。学生がコードをたたいて数値が出ておしまいではなく、そのコードがどのような背景で作られて、コードの中の数値と出力がどのような意味と関係を持っているかが講義の中心になる。
 - 大学院になると比較的長く講義時間がとれるので計算プロセスの話もできる。
 - 大学院での教育用としては、簡易版ではなくてある程度パラメータなどが操作できる形式が良い。

②原子力災害への準備と対応に関して、放射線健康リスクに関する学生への教育の在り方

- 原子力災害における対応において、放射線健康リスクに関して、どのような情報があ

れば、事前の計画、または、事後の対応において役立ちますか？

- たとえば福島と柏では、線量は大きく異なるにもかかわらず、住民の行動や自治体メンバーたちの対応は大きくは変わらなかったと思う。
- がんリスクが低いという情報が適時かつ適切に提供できるなら、意味のあることだと思う。放射線によるがんの発症率やリスクについては、最終的にはどの程度の具体的な影響になるのかが中心的な話題となる。
- たとえば国立がん研究センターが示す図表などを通じて、リスクの相場観や考え方を伝えることになる。放射線ががんリスクとどのように関連するのか、その伝え方が重要となる。

- 上記のような評価コードの利用を想定した場合、入力値にはどの程度の「幅」があれば、有用であると考えられますか？

- 低い線量になればエラーバーは大きくなる。エラーバーを示せば、その上限の高い部分に注目する人は必ずいるので、出力の見せ方に注意が必要である。エラーバーを図に入れない選択もある。
- リスクコードの入力値として空間線量率や食品中濃度を用いるのは賛成である。
- 既存の線量評価コードを利用して計算できる生活線量や航空機被ばくの出力を用いて、さまざまなリスクが計算できれば理解が深まるだろう。

1. <https://clads.jaea.go.jp/jp/software/seed.html>

2. http://jiscard.jp/jiscard_r02/index.html

③その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- 原子力災害への準備と対応以外で、放射線健康リスクについて教育を行うことで、効果的又は効率的に目的を達成できるような場面はありますか？
 - 放射線取扱主任者教育、放射線業務従事者教育に使える提案があると良い。
 - たとえば東京大学の放射線業務従事者教育に組み込むことができる具体的な提案があると良い。「放射能と被ばく線量・リスクの関係」のような 15 分くらいのパッケージができると使える可能性がある。
 - 大学の医療系の講義で、放射線の教育が強化されている。薬学系、看護系、医療技術系などでも。
- リスクコミュニケーションや原子力災害対応において、放射線健康リスク評価コードを活用するにあたり、困難や課題と感ずることがありますか？
 - 積極的に使うことを支援するための工夫が大切と思う。
 - 緊急時には難しい。リスクコミュニケーションは平時や事故が落ち着いた時期を想定している。
- 放射線リスク評価コードの開発に関連してご希望がありますか

- このリスクコードの開発経緯と現状を学会等で周知しておくことが大切。
- どんなコードでも必要に駆られないと使われない。あなたのところだったらこう使えると言う踏み込んだ形での提案が効果的である。
- 低線量被ばくによるリスクが独り歩きしないために、リスクコードを理解して使ってもらうための解説書、教育・周知が必要である。

以上

本ヒアリング結果は飯本教授の確認を得たものである。

令和5年度 放射線対策委託費（放射線健康リスク評価コードの開発）事業 ヒアリング結果			
開催日時 開催方法	2023年8月23日 対面開催	対象者	関谷直也先生 (東京大学・准教授(当時))
出席者	東京大学	関谷准教授	
	規制庁	高橋統括技術研究調査官、荻野技術計画専門職	
	JAEA	高原GL、嶋田研究副主幹、廣内研究副主幹	

①原子力災害対策の実効性向上に役立つか

- 福島事故後の住民行動において、もし、放射線健康リスクに関する情報があれば住民自身の判断に結び付くような状況（又は具体的な事例）はありましたか？
 - 一般市民はリスクを用いた適切な判断が難しく、特に放射線リスクに関しては等価線量の理解が難しい。

- 今後の原子力災害対策の検討に関して、原子力災害時の放射線健康リスクについて、どのような情報があれば、地域防災計画や広域避難計画の策定において役立ちますか？
 - 首長の意思決定をサポートするために使える。これくらいの低いリスクなので、国が定めた基準をさらに拡大する必要はないという説得材料になる。
 - 地方自治体は国の指針に従うだけでなく、独自の判断で対応を決める。地域防災計画を策定する前に、客観的な数値を準備し、説明に活用することも大切である。地域協議会での議論や、離島や準 PAZ の例から分かるように、地域ごとに適切な対応を変更することがある。
 - 自然災害の場合、リスクの定量評価は非常に難しい。個別の家や個人レベルでのリスク評価は困難で、地震や洪水、崩壊の予測が難しく、影響も多様であるためピンポイントの評価は難しい。
 - 自然災害では一律の数値ではなく、具体的なリスクを説明し、行動判断を促すことが重要である。避難所での特定属性のリスク研究は少ないが、避難所での安全性と健康への配慮は保健師ら専門家の情報提供やサポートで促進されるべき。

- 原子力災害への準備に関して、住民へ事前に提供する情報として、放射線健康リスクは含まれば、有益な情報となるでしょうか？
 - 子供に関する避難議論が焦点となる。過剰な対応への懸念もある中で、子供だけに過度な避難を求めることは慎重であるべき。子供や妊婦などの個人要因を考慮したリスク提示が重要である。その際のリスク係数の妥当性は議論になる。
 - リスクを伝える難しさがある。他のリスクと比較して低い、という結果を示されると住民は納得しない。
 - 避難したことによるリスクは定量化が難しいため、放射線リスクとの比較は難しい。

- 原子力災害への対応に関して、現在の原子力災害対策指針では、緊急時応急対策に従事する者について、その所属する組織が責任を持って、防護指標及び装備の整備、教育、訓練を行うこととされています。このような従事者に対するインフォームドコンセントの実施において放射線健康リスクに関する定量的な情報が含まれれば、有益な情報となるでしょうか？
 - 防災業務従事者は使命感を持ち、命令に従って危険に対処する。警察や自衛隊などの使命感と危険手当も重要である。
 - （普段は防災業務に携わらない）他の職種でも、放射線健康リスクに関する情報提供や教育が必要である。学校や医療、介護関係者には特に重要で、正確な情報提供で不安や混乱を避け、適切な行動を促す。情報提供を担当する組織や個人には具体的な手順やマニュアルが必要である。
 - 福島原発事故では、現地に入る必要があるかどうかが議論され、その過程で過剰な安全対策が採られた例があった。例えば、新潟県からの派遣や避難範囲の広がりなども考慮され、過度なリスク回避が見られた。報道関係者や労働組合の場合、過剰な安全対策がとられることがあり、線量がわからないと基本的には安全対策を優先する傾向があった。

- 原子力災害への対応に関して、事故から時間が経過して、避難の解除などが行われる段階になった場合、放射線健康リスクに関してどのような情報があれば役立ちますか？
 - 事故後の状況では、健康リスクよりも線量情報が重要視され、線量に対する懸念が主要であった。福島原発事故やチェルノブイリ事故のように、空間線量や食品中の放射性物質濃度が議論の中心にあり、健康リスクに関する議論は一時的であった。特に食品の問題は代替品が存在するため、線量情報が重要であった。ただし、線量情報の提供が解決策とはならないとし、特定の線量での健康リスクを説明することは難しい。時間の経過や状況に応じて、線量情報の重要性が変わる可能性があり、実際の状況に合わせた適切な説明が必要となると思う。

②リスクコミュニケーションにおける役割について

- 福島事故後、放射線健康リスクに関して、どのような情報があれば、住民とのコミュニケーションに役立ちましたか？国産の放射線健康リスク評価コードが整備されていれば福島事故後の住民とのコミュニケーションに役立ちましたか？また、今後の原子力災害時における住民とのコミュニケーションに役立ちますか？
 - 福島原発事故後、住民の関心は線量情報に集中し、空間線量や放射性物質含有量が読み取れる情報へのニーズが高まった。特に、線量情報を具体的な数値や比較を交えて説明することが重要であり、その計算プロセスを理解することが求められる。
 - 科学的に正しい情報を発信することは、短期的には難しいが、長期的に発信し続ければ有益だと思う。自主避難は（それを実行する）個人としては正しいが、集

団としては渋滞が起こり、近い人の避難が遅れるので、社会全体としては屋内退避をしてもらうことが有益だと分かってもらうために、リスク情報を出すことは有益だと考える。

- 上記のようなコミュニケーションにおいて、放射線健康リスク以外に、どのような情報があれば有益でしたか？
 - リスクコミュニケーションの中で、健康リスクの議論よりも、放射線の性質や効果、線量のロジックを理解することが重要であり、住民に対して、具体的な数値と計算プロセスを説明し、安心感を持たせることが大切である。
 - 自治体が国の基準よりも過剰な基準を設定するのを抑制するのにリスク情報を提供する。

③その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- リスクコミュニケーションや原子力災害対応において、放射線健康リスク評価コードを活用するにあたり、困難や課題と感ずることがありますか？
 - 行政関係者や実際の計算を必要とする人々にとって、コードの使い方や利点、欠点について理解してもらう必要がある。特に非専門家にとっても理解しやすい説明が必要である。
 - シミュレーションやコードの使用に関する誤解や難しさがある。検証の過程で、反対派の住民がシミュレーション結果を出すことを簡単に要求するが、この分野の専門知識がない人々にとっては、その結果が一つのケースである、ということを理解することは難しい。
- 放射線リスク評価コードの開発に関連してご希望がありますか
 - このコードの開発は、単にリテラシー向上のためだけでなく、性別や年齢による影響や臓器別の違いをもっと詳細に説明できることに意味がある。
 - このような情報は住民だけでなく、行政の人々にも共有されるべきであり、性別や年齢に関して、過度に心配する必要はないことを伝えることが重要である。
 - このコードは、特に広くは使われないかもしれないが、公開されることに意義がある。例えば福島の農作物の放射性物質含有量や空間線量などの情報が公開されていることは重要で、見にくくても公開されていることで隠し事がないことがわかる。
 - 公開方法については、Web かパソコンアプリかの違いは問題ではない。
 - 一般人が原子力事故時の被ばくに興味を持つことは少ないが、関係者や行政、学校や医療関係者にとって、性別や年齢による影響を理解することは価値がある。

以上

本ヒアリング結果は関谷准教授の確認を得たものである。

令和5年度 放射線対策委託費（放射線健康リスク評価コードの開発）事業 ヒアリング結果			
開催日時 開催方法	2023年10月12日 対面開催	対象者	富永 隆子先生 (QST 被ばく医療部 次長)
出席者	QST	富永先生	
	規制庁	伊豆本技術研究調査官	
	JAEA	嶋田研究副主幹、廣内研究副主幹	

①原子力災害時の医療及びその研修に役立つか

- 原子力災害拠点病院などの医療機関の全職員向けの研修資料として公開されている「原子力災害拠点病院等 研修資料」について、このような職員の方々に、放射線健康リスク評価コードに関する需要はありますか？
 - 原子力災害医療の研修を受講する人にとっては、コードよりも、結果が重要になる。
 - そのため、コードそのものは研修の中に組み込んでもあまり意味がない。
 - 医療関係者にとっては、ただ、「こういうコードを使って評価をするとこのようになります」というだけになる。

- 年齢別のがんリスクの違いを説明することに対する需要はありますか？また、臓器別の感受性の観点で、甲状腺簡易測定研修等において、甲状腺のがんリスクについて、年齢別に定量的な説明を求められたご経験や需要はありましたか？
 - 研修の中で、年齢別のがんリスクの違いを説明する項目はある。
 - ただし、基礎研修では、一つの講義を20分としているので、その中で必要なものだけを入れているので、年齢別をそれほど詳しく説明していない。
 - 現在作成中の e-learning でも、20分以上聞いていると最初の方は分からなく、集中力が無くなるので、情報量をかなり削ぎ落としている。

- 被災者又は災害支援者のメンタルヘルス対策という観点から、放射線健康リスクに関する定量的な情報が必要となる場合はありますか？
 - メンタルヘルスを対応するときに、情報としては知っている方が良い。
 - リスクと、安全と安心の相違をきちんと説明できないと、リスクの定量的な数値だけを知っていても説明できない。つまり情報としては有用であるが、それ以外の情報もきちんと知っていないと使えない。
 - 定量的な数値よりも、この数値が何を表しているかということを説明する方が重要である。

- 専門研修・高度専門研修の「原子力災害事例」に関する資料では、福島事故について被ばく線量の程度まで説明しています。このような説明を行った際に、放射線健康リスク評価コードに対する需要は過去にありましたか。
 - 結果が欲しいだけなので、コード自体は需要がない。

- 放医研がこのように評価をしましたとか、ここの論文でこのように評価されていますというだけであって、評価の仕方まで詳しく説明するというのではなく、求められたこともない。
 - リスクというのは被ばく線量、実効線量、等価線量ぐらいで足りてしまう。
- 原子力災害医療派遣チーム研修において、「原子力災害時のリスクコミュニケーション」に関する講義があります。この講義は、原子力災害時の医療従事者が住民と接することを想定したものでしょうか？また、リスクコミュニケーションのフェーズとして、平常時・非常時・回復時という 3 つのフェーズが示されています。それぞれのフェーズにおいて、放射線健康リスクに関する定量的な情報に対する需要は過去にありましたか？
 - 講義の中での質問として、定量的な話というよりももう少し大きな概念的な話の方が理解しやすい、といった話を聞いている。

②リスクコードのその他の使い道について

- 事故後から長期にわたる医療的なフォローアップについては別に研修等が行われているのでしょうか？また、長期にわたる医療的なフォローアップにおいて、放射線健康リスクに関する定量的な情報が役立つ場面はありますか？
 - 原子力災害医療の研修に関しては、長期的なフォローの研修というのではない。
 - フォローアップするといっても、一般の原子力災害医療の研修の対象者は原子力災害拠点病院の先生達、医療従事者になってくるが、健康リスクのフォローアップを彼らが対応することはおそらくない。
 - フォローアップは国の事業になったり、行政が健康診断を継続したりということになっているので、研修そのもののニーズがない。
 - 高線量被ばくや局所被ばくした患者さんをフォローアップするのは放医研と受診した病院だけになっており、そこでも研修のニーズがない。
- 本健康リスク評価コードは、がんリスクのみを対象としたものですが、今後、組織反応のリスク評価コードを作成した場合、被ばく医療の観点から何かの役に立ちそうでしょうか？
 - 臨床の症状と推定される線量とで、このコードで評価したものが一致しているかどうかで、ある程度推定される線量があっているかを検討するような使い方は出来る。
 - 染色体分析などは時間がかかるので、その間の治療、診療計画が必要である状況では、ある程度患者さんの症状とコードで得られたリスク、組織反応の状態を合わせることで役に立つ可能性はある。
 - ただし入力できるデータを入手できるかが課題となる。
 - 例えば、リンパ球の末梢リンパ球数とか、その辺のデータが出てくるが、個体差

が出てくる。

③その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- 福島事故等の原子力災害時の対応とは別の場面で、放射線健康リスク評価コードを活用できる場面はありますか？
 - 避難退避での検査や、甲状腺のモニタリングを原子力災害拠点病院ですることになり、甲状腺がんに関してはリスク評価をして説明が必要となり、そこでは使えない。
 - 甲状腺のモニタリングは 19 歳以下だと思うが、なぜ 19 歳以下なのかという根拠の説明でもリスクを示さなければいけない。
 - 乳児は母親を測定して代用となっているが、それで本当に乳児のリスクを評価できているのかを説明する場合に使える。

- リスクコミュニケーションや原子力災害対応において、放射線健康リスク評価コードを活用するにあたり、困難や課題と感ずることがありますか？
 - コードがどのような指標で、何をどのように評価してこの結果が出力されるか、というのがないとおそらく説明ができない。
 - コードそのものの活用というよりも、コードが何かというのを説明する側が知らないといけない。
 - 被ばくしていない人と比較して評価するとリスクは高くなるので、避難とか防護措置をしなかったリスクと、防護措置をとったらこれだけリスクが下がりましたという説明の仕方が受け入れてもらいやすい。

- 放射線健康リスク評価コードの開発に関連してご希望がありますか？
 - アクセスし易いことが必要だが、タブレットやスマホで使用できてわかりやすいインターフェースでないと使いにくい。
 - 入力項目が多すぎると大変だが、多いほうが、精度が上がる。入手できるデータでどこまで評価できるのかを考える必要がある。

以上

本ヒアリング結果は富永先生の確認を得たものである。

令和5年度 放射線対策委託費（放射線健康リスク評価コードの開発）事業 ヒアリング結果			
開催日時 開催方法	2023年10月17日 対面＋Web開催	対象者	伊藤集通先生、大平智章先生 (JAEA-NEAT専門研修)
出席者	JAEA-NEAT	伊藤グループリーダー、大平技術副主幹	
	規制庁	高橋統括技術研究調査官、荻野技術計画専門職、 高久技術研究調査官、喜多技術参与	
	JAEA	高原グループリーダー、嶋田研究副主幹、廣内研究副主幹	

①原子力災害対策業務に従事する国・自治体等職員への研修に役立つか

- 中核人材（国、道府県幹部等）の方々に、放射線健康リスク評価コードに関する需要（研修においてコードを利用した演習等）はありますか？また、講義において放射線健康リスクに関連する質問はありましたか？
 - 仮に研修でこのようなコードがあると言った時に、別に自分たちじゃなくていいから結果のアウトプットだけくれば良い、という回答が多くなると思う。
 - つまり研修でこのようなコードを道府県が積極的に欲しいと思うよりかは、国からコードが提供されたら利用を考えるというイメージを持つ参加者が大多数と思う。
 - 実際の原子力災害にそのような論文を引用として出すということは基本的にはしていないので、このコードが役に立つのかどうかは今のところ未知数と思う。
 - 今、国のスキームとして、被ばくによる健康リスクの話をしているのは、いわゆるフェーズ 2 と呼ばれる、一時移転の人たち全員の避難が終わり、避難した人たちをどのように帰還させるか、どのようにケアするかという段階に対応する人たちに対して研修をすることになると思う。

- 実務人材研修（バスによる住民避難等）において、市町村職員向けに放射線被ばくによる健康リスクについて説明しておられます。実務人材（道府県、市町村職員）の方々に放射線健康リスク評価コードに関する需要（研修においてコードを利用した演習等）はありますか？講義において放射線健康リスクに関連する質問はありましたか？
 - 現場で住民の矢面に立つフロントエンドの人たちに、住民から何らかの形で問い合わせが集中することは想定される。ただし、その人たちが責任を持って何か回答できるのかと言われたら、「〇〇村の〇〇さんが言ったから」のような話にはできないので、個別にこのコードを持っていて、何か結果を持っていたからといって、何かに反映できるとは言えないと思う。
 - リスクとベネフィットの比較の話を求めてくる道府県市町村の職員はあまりいない。彼らは、オペレーション的にどのように住民を確実に迅速に逃がすかという手段を考える人たちのため、そこに放射線被ばくという概念はないと思う。
 - 自治体は住民を早く逃がすことに注力していると思うので、そこにリスクを加味して考えるオペレーションはないと思う。

- バスの運転手は被ばく線量が 1mSv を超えたら撤退という形になっているが、それは事前に協定の中で決められた。
- そのため、事故が起きたから 1 mSv が 20 mSv とかの話ではなく、事前に決められた協定に基づくものなので、その範囲内だったら動きますという、協定のなかでの業務になると思う。
- 協定を結ぶときに、1 mSv とはどのようなリスクなのかという説明は、当然自治体側の説明責任として出てくると思う。
- 基本的に道府県の人たちの被ばく管理、健康管理は首長がやることになっているので、おそらく県の三六協定とかにあると思う。国家公務員は規則に縛られるが、自治体側はたしか三六協定、労働組合とその雇い主である首長との間の協定という形で結ばれているはず。

②その他

- 現在開発中の研修事業（甲状腺モニタリング、防災業務関係者等）において、放射線健康リスク評価コードの需要がありそうな研修事業はありますか？
 - 甲状腺モニタリングの研修内容を検討中である。まずは甲状腺の被ばくとか、そういうものをどうやって検知するかという基礎的な座学があつて、その先に、精密なところは別でやるとして、実際に自治体が住民に対して甲状腺の簡易測定をやるとしたら、どういう風にやるのかという、今度はマニュアルを噛み砕いたような研修内容が出来上がる予定である。
 - 仮に甲状腺モニタリングの結果から定量的な甲状腺がんリスクを住民から尋ねられても、自治体はその場では答えられない。もし答えたらその責任になると思うので。自治体側はそこを自分たちの業務だとは認識してないと思う。ただし、基本的には自治体の人には測らない、となっている。測るのは医師会から派遣される人である。医者の方々はそのようなリスク情報について、ニーズはあるかもしれないが、自治体側がそれを積極的に自分たちの業務としてニーズを求めないと思う。
- NEAT 以外が受託している内閣府の研修事業（原子力基礎研修等）において、放射線健康リスク評価コードの需要がありそうな研修事業はありますか？
 - 現状の基礎研修の中には、そういったリスクについての講義は入っていない。
 - 今後、研修内容をどう変えていくかを検討するうえで、検討の余地はあるかなとは思っている。ただし、少なくともこの基礎研修は、原子力災害対策要員の人たちがまず要員として緊急時に活動するにあたって、放射線は知っておかなければいけない。防護服の着方はどうするか、測定器の使い方はどうか、本当に基礎的なことをしっかり学んでください、という研修内容である。そこにリスクという話をどう織り込んでいくのかは、考える必要は出てくると思う。
 - 規制庁事業の中で、このような研修はどうですか、どのようなパッケージを作り、

それを紹介する場があれば、取り入れられる可能性は出てくると思う。

- 例えば、被ばく線量予測システム (DRINC-DPRO-GUI)の場合、そういうシステムがあるのを研修で初めて見て、それでは使い方を知りたいから、もう少し特化した研修をやって、のような意見も出てきた。

③その他の一般的な内容に関するヒアリング事項

- リスクコミュニケーションや原子力災害対応において、放射線健康リスク評価コードを活用するにあたり、困難や課題と覚えることがありますか？
 - 誰がその数字に責任を取るのかというところを除けば、リスコミには使えると思う。
 - プライベートなコミュニケーションで、誰かから放射線のリスクはどうか、と言われたとき、または授業か講義かで個人的に捕まえられて、リスクはどうか、と言われた時に、このようなツールがあるから使ってみて、自分で計算してみてもどうか、というようなコメントはできるかもしれない。しかし、講義の中で真正面から答える、というのは、今のところどうかとは思う。結局、誰が責任取るかが問題になると思う。
 - 自治体、それも市町村の職員は、現場の住民のまさに正面に立つ人たちなので、我々が推し量ることもできないぐらいのストレスを抱えて、緊急時に仕事をされると思うので、うかつなことは絶対言えないと思う。
 - 健康リスク評価コードで出力した定量的な数字が、環境省の統一的な資料に載っていれば、電話相談等で、リファレンスの必要性がある場合には、対応するときの根拠の一つとして使える可能性はある。
 - 教育の教材としても、リスクの結果がきちんと論文や政府報告書などでオーソライズされたものがあれば、活用されることは多分出てくると思う。

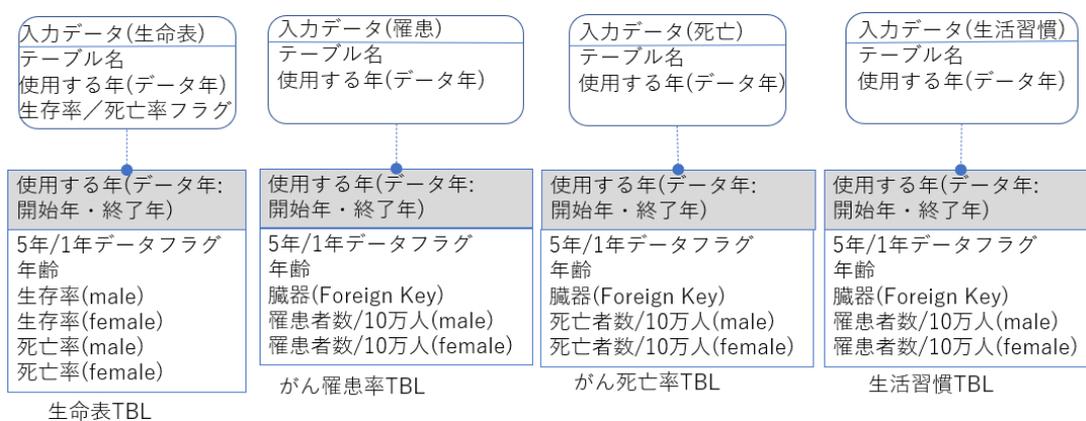
以上

本ヒアリング結果は伊藤グループリーダー、大平技術副主幹の確認を得たものである。

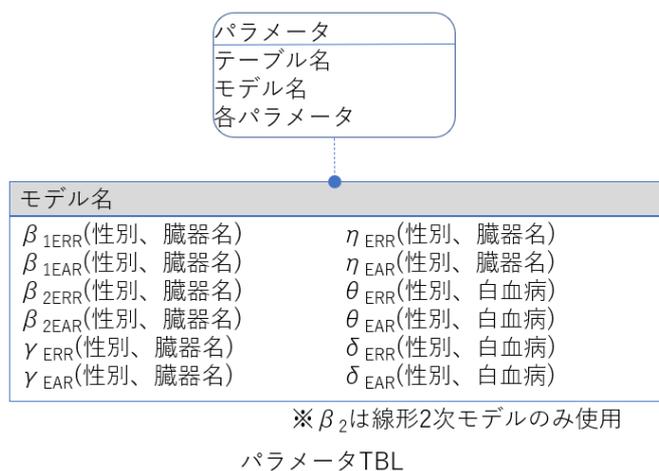
付録2. システム内部の動作の設計の詳細

(1) ER 図

リスク計算に必要なデータはデータベースのテーブルとして設計する。テーブル名と、それぞれのデータを抽出するためのキー、フィールド名をわかりやすくするためにER図を作成する。ER図では、最上部にテーブル名を示し、2行目以降にフィールド名を示してある。図A2.1と図A2.2にER図を示す。各テーブルは、1年データまたは5年データが格納されている。使用する年（データ年）は、開始年と終了年を指定可能な設計（例：2015から2020年の平均を使う場合は、開始年2015と終了年2020を入力）とする。



図A2.1 集団情報に関するテーブルのER図



図A2.2 モデル・パラメータに関するテーブルのER図

(2) モジュールの概要設計

プログラムは、機能ごとにモジュールを大きく3階層（図A2.3）に分け、必要であればさらに、モジュールをサブルーチンや関数に分割する。0階層をメインとし、モジュール構造は以下のように設計する。

1) 第1階層モジュール

第1階層は、入力処理、計算処理、出力処理に分割する。

0.0 メイン：

プログラムを起動し、変数の初期化を実施する。

2) 第2階層モジュール

1.0 入力処理：

初期画面を描画するとともに、選択オブジェクトには選択肢とデフォルト値を、テキスト入力オブジェクトにはデフォルト値をそれぞれ表示する。

1.1 初期画面表示：

初期画面を描画するとともに、選択オブジェクトには選択肢とデフォルト値を、テキスト入力オブジェクトにはデフォルト値をそれぞれ表示する。

1.2 入力チェック処理：

ユーザの入力待ち状態とし、入力データのエラーチェックを実施する。エラーがあればメッセージを表示し、正しい値を入力するように促す。

1.3 データベースアクセス：

使用するデータベースのテーブル（以下、TBL）は、生命表TBL、罹患TBL、死亡TBL、生活習慣TBL、パラメータTBLとし、各テーブルでユーザが指定した年の値を取り出し、該当する値を変数（配列または構造体またはクラス）に格納する。

・パラメータTBLアクセス

EARとERRの計算に用いるパラメータ（ β 、 γ 、 η など）とEARとERRの重み ω が、部位ごとに格納されている。このTBLアクセスモジュールは、1.1 初期画面表示モジュールより呼び出され、抽出したパラメータを画面に表示する。

・生命表TBLアクセス

1.2の入力チェック処理で指定された年（開始・終了）をキーとして男女の年齢ごとの生存率（平均）を抽出し、変数（配列または構造体またはクラス）に格納する。

・ 死亡データTBLアクセス

1.2の入力チェック処理で指定された年（開始・終了）をキーとして男女の年齢ごと、部位ごとの死亡率（平均）を抽出し、変数（配列または構造体またはクラス）に格納する。

2.0 計算処理：

計算処理部は、計算回数（入力値）、部位数、被ばく時年齢、到達年齢の4重ループ構造とする。また、EARとERRに使用するパラメータに分布がある場合は確率分布に従った値をランダムに入力して計算する。

2.1 EARとERR計算：

1.3のデータベースアクセスのパラメータTBLアクセスで読み込んだパラメータを使用して、指定された年齢、到達年齢のEARとERRを計算する。ユーザは、複数のモデルから一つを選択して計算を行うため、EARとERRの計算ルーチンは、選択できるモデルの数分のモジュールを作成する。また、ユーザがモデルを登録できる機能とするため、いくつかのダミーモデルを作成する。

2.2 M_{EAR} と M_{ERR} 計算：

2.1のEARとERR計算で計算されたEARとEAR及び1.3のデータベースアクセスの死亡率・罹患率と生存率を用い、指定された年齢の、指定された経過年齢までの累積値（過剰がん死亡・罹患率）の計算を実施する。

2.3 生涯がん罹患・死亡リスク計算：

2.2の M_{EAR} と M_{ERR} 計算で計算された M_{EAR} と M_{ERR} 及び1.3のデータベースアクセスのEARとERRの重み ω 、罹患率・死亡率を用い、最大到達年齢までの各年齢、各被ばく時年齢の生涯がん罹患・死亡リスクを計算する。

3.0 出力処理：

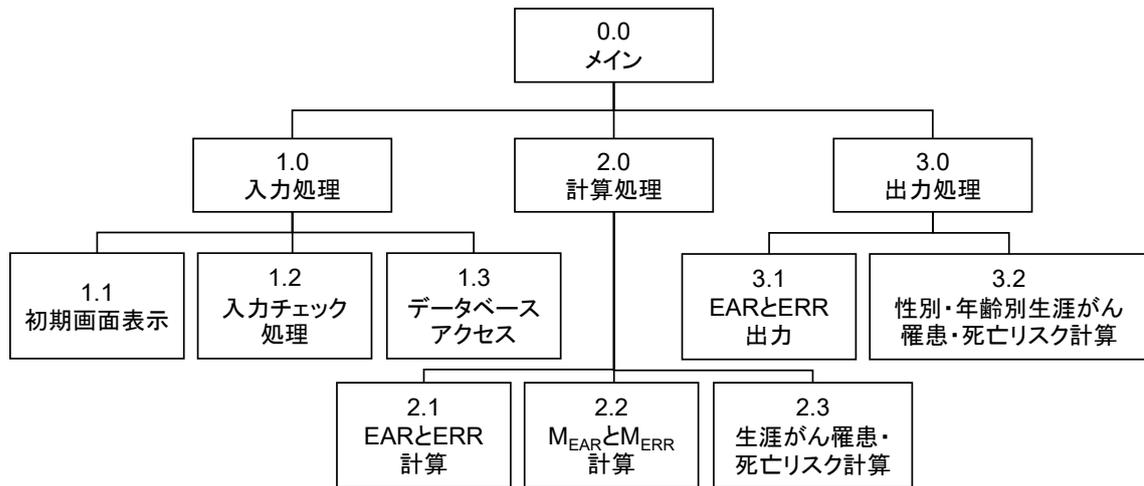
出力モジュールは、計算結果をテキストやファイルに出力し、グラフ表示する。

3.1 EARとERR出力：

2.1のEARとERR計算で計算されたEARとERRをテキスト出力する。グラフ表示するサブルーチンも作成する。

3.2 性別・年齢別生涯がん罹患・死亡リスク出力：

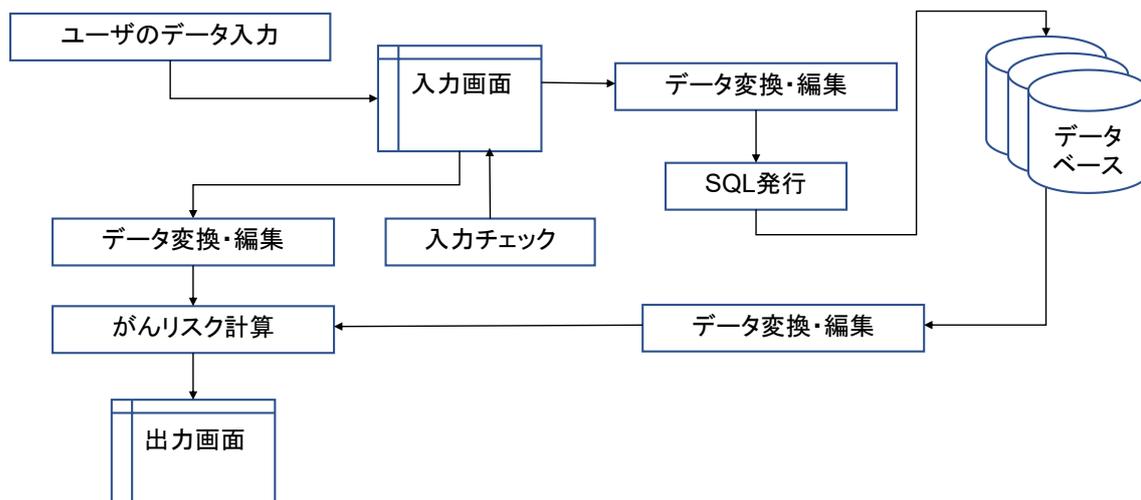
2.3の生涯がん罹患・死亡リスク計算で計算された、全部位に対する性別・年齢別生涯がん罹患・死亡リスクをテキスト出力する。グラフ表示するサブルーチンも作成する。



図A2.3 階層モジュールの外観図

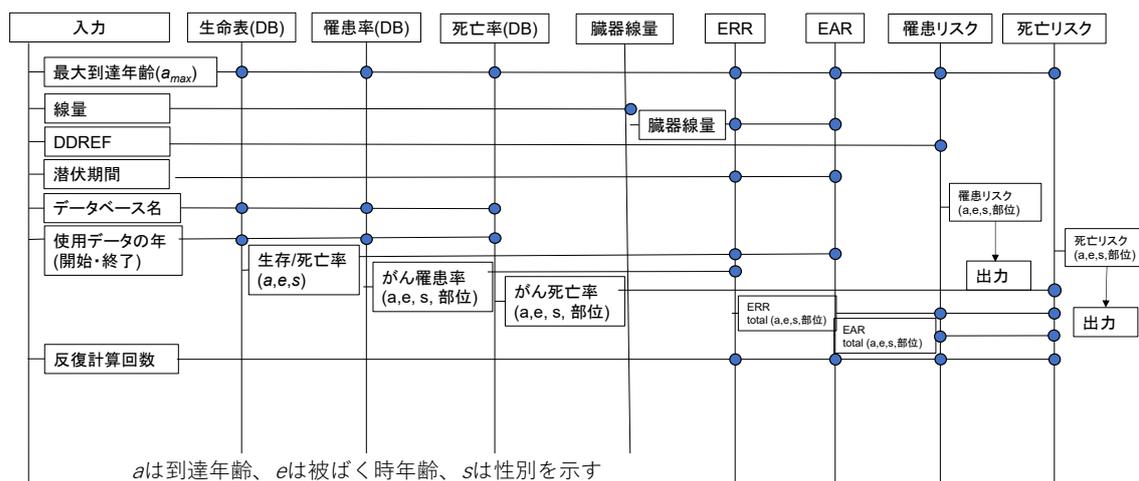
(3) データフロー図

本健康リスク評価コードにおいて、各計算過程でどのようなデータが必要で、それがどのように処理され、どのように保存されるのかを、入力から出力までのデータの流れとして、図A2.4にデータフロー図を示す。また、データの流れの詳細を図A2.5～図A2.9に示す。

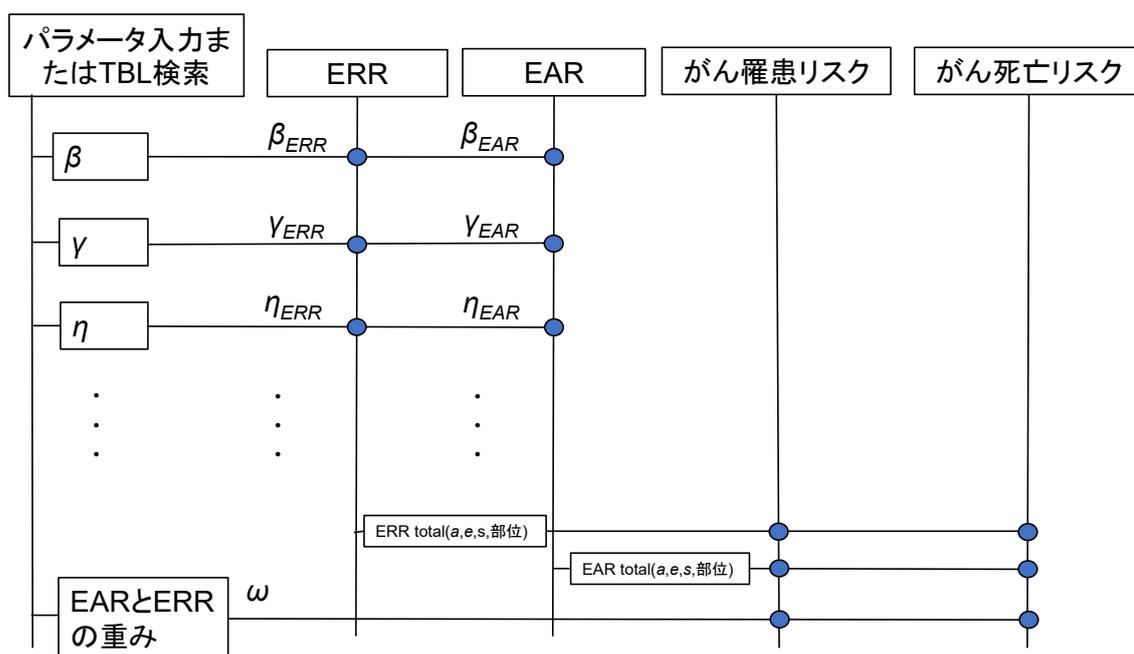


※SQL発行とは、データベース内の所定のテーブルより、条件に一致したレコードを抽出するためのコマンド（SQL）を発行することである。

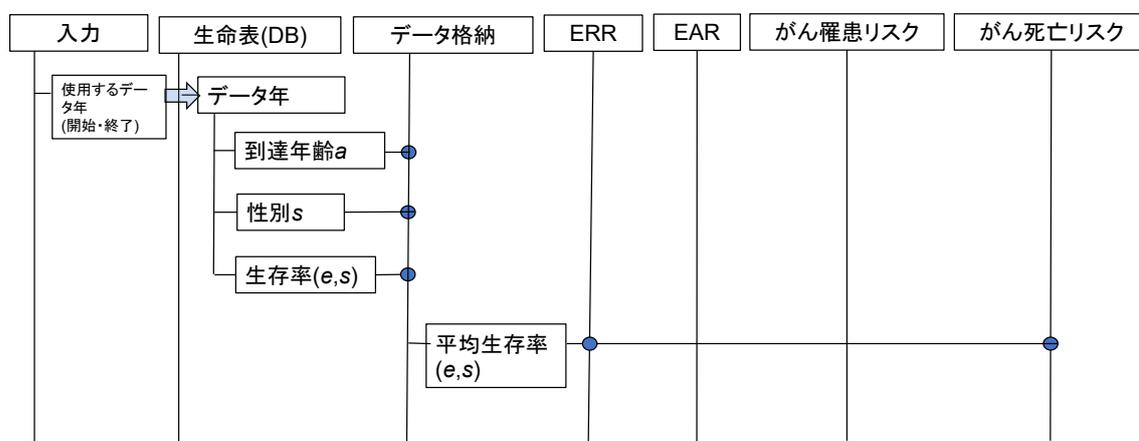
図A2.4 データフロー図



図A2.5 性別・年齢別生涯がん罹患・死亡リスク計算

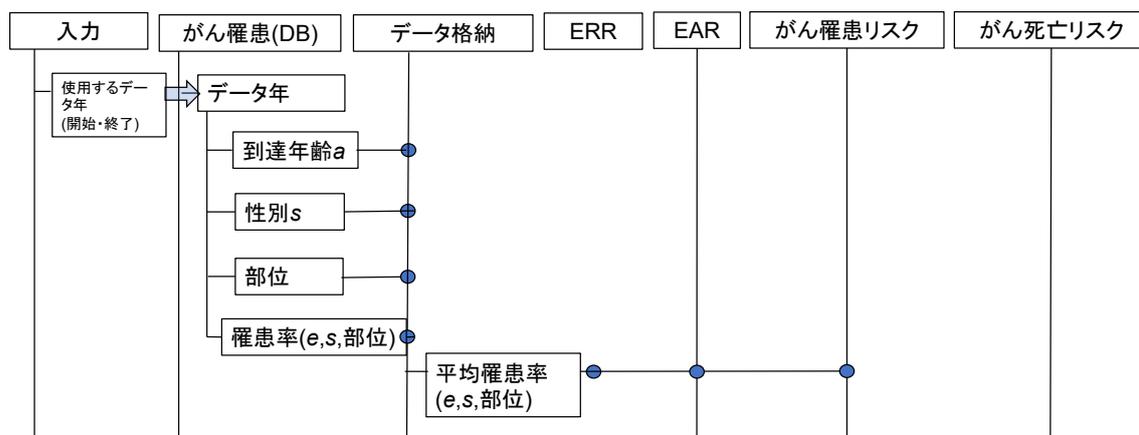


図A2.6 生涯がん罹患・死亡リスク計算（パラメータTBL）



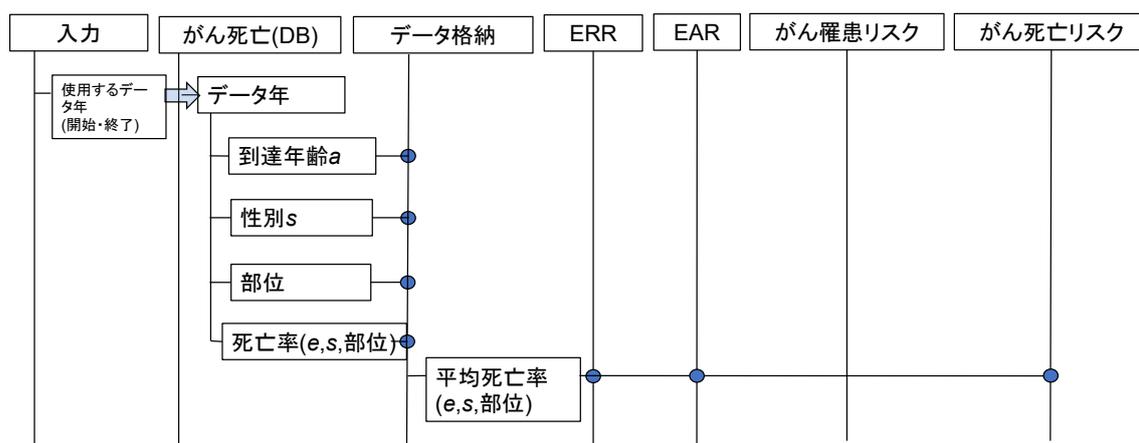
図A2.7 生涯がん罹患・死亡リスク計算（生命表TBL）

生命表TBLから使用するデータ年（開始・終了）の生存率を抜き出し、開始年から終了年までの平均を算出する。



図A2.8 生涯がん罹患・死亡リスク計算（がん罹患TBL）

がん罹患TBLより使用するデータ年（開始・終了）の罹患率を抜き出し、開始年から終了年までの平均を算出する



図A2.9 がん罹患・死亡リスク計算（がん死亡TBL）

がん死亡TBLより使用するデータ年（開始・終了）の死亡率を抜き出し、開始年から終了年までの平均を算出する

(4) 物理データ設計書

物理データ設計書では、入出力やコード内部で扱う物理データについて、その配列の大きさ、単位、出力フォーマットについて検討する必要がある。ここでは、本事業の検討結果を踏まえた一例を示す。なお、単位や変数の範囲は表 4.31にまとめている。

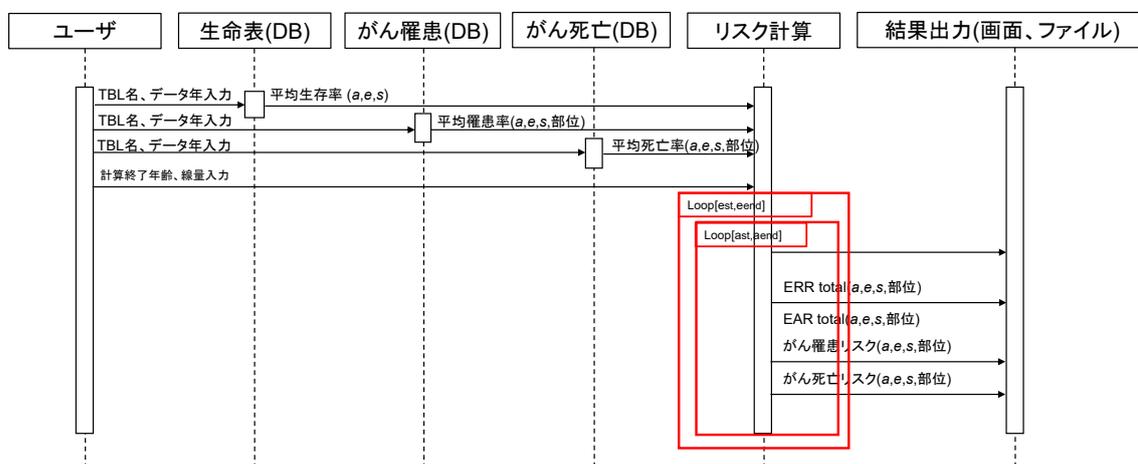
過剰リスク、過剰がん死亡・罹患リスク、生涯寄与リスクは到達年齢、被ばく時年齢、性別、部位ごとに異なる。到達年齢と被ばく時年齢の範囲は0～110歳まで、性別は男性または女性、部位は $31+\alpha$ (α は予備)であり、配列の大きさとしてそれぞれ111、2、 $31+\alpha$ が必要となる。

出力フォーマットとして、小数点以下2桁を出力する(例:5.62E-2、8.90E-6)。

(5) シーケンス図

本健康リスク評価コードの処理において、ユーザが入力を開始してから結果が出力されるまでのシーケンス図(システムの概要・仕様・処理の流れを時間経過に沿って記載した図のことで、システム開発の設計書として使用)を図A2.10に示す。

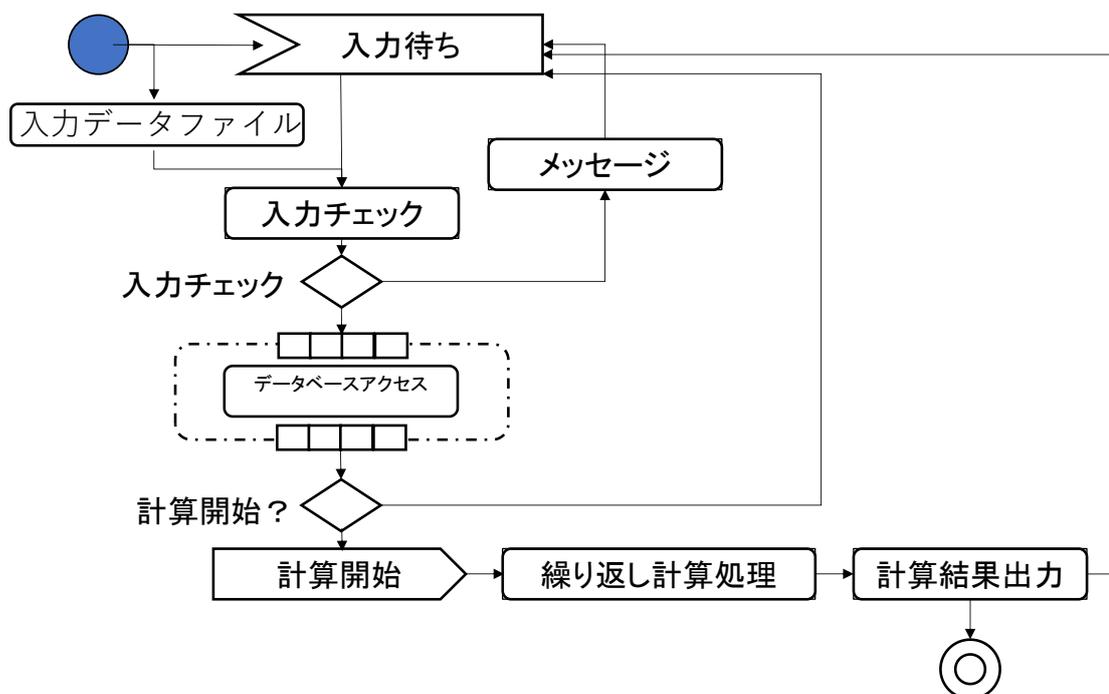
ユーザが入力するデータ年は、開始年と終了年とし、生存率、罹患率、死亡率はそれぞれ、開始年から終了年までの平均値を算出して使用する。



図A2.10 性別・年齢別生涯がん罹患・死亡リスク計算

(6) アクティビティ図

アクティビティ図（UML（統一モデリング言語）の一種で「システム実行の流れと条件分岐」を図解したもので、ある作業の開始から終了までの機能を、実行される順序どおりに記述）を図A2. 11～図A2. 14に示す。



図A2. 11 性別・年齢別がん罹患・死亡リスク計算（全体）

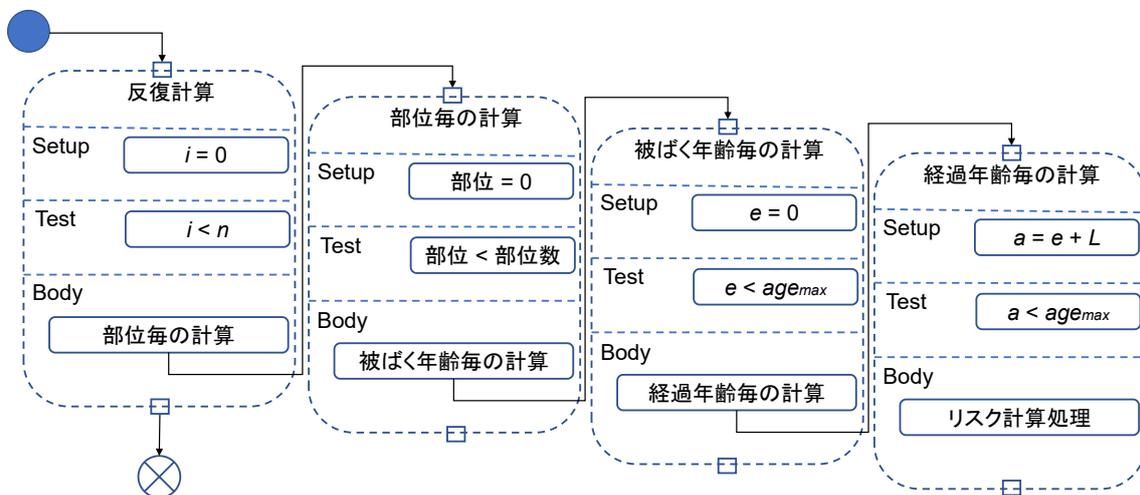
<入力データ>

- ・ 線量 D (Gy)
- ・ 到達年齢 a (y)
- ・ データベース名、テーブル名
- ・ データを使用する年 (y)
- ・ 最小潜伏期間 L (y)
- ・ 最大到達年齢 Age_{max} (y)
- ・ 線量・線量率効果係数 DDREF (-)
- ・ 反復計算回数 n (回)、(乱数のseed)

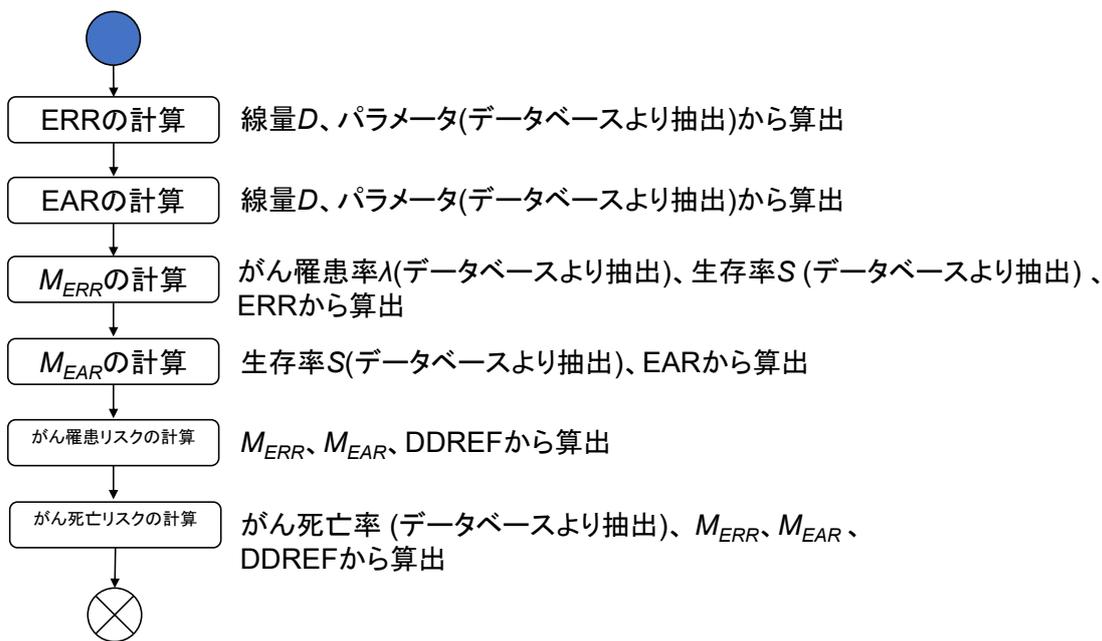
<データベース要素>

- ・ パラメータDB (ERR/EAR) : β (-)、 γ (-)、 η (-)など、EARとERRの重み ω (-)
- ・ 生命表：データ年（開始・終了）(y)、性別、年齢 (y)、生存率 (-)

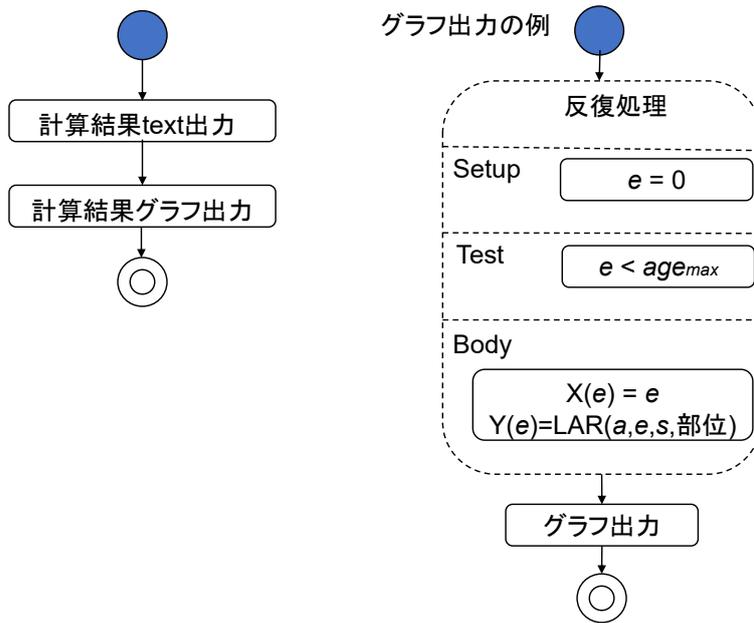
- ・ がん罹患率DB：データ年（開始・終了）(y)、部位、性別、年齢(y)、生存率(-)
- ・ がん死亡率DB：データ年（開始・終了）(y)、部位、性別、年齢(y)、生存率(-)



図A2.12 性別・年齢別がん罹患・死亡リスク計算（繰り返し計算処理部）



図A2.13 リスク計算処理部



図A2.14 出力処理部

(7) ログファイルのフォーマット

本健康リスク評価コードでは、配布後のエラー対応として、モジュール単位でログを出力する仕様とする。ログファイルは実効形式ファイルと同一フォルダに作成し、ファイル名をlog_yyyymmdd_HHMMSS.logとし、log_以下のフォーマットは、ログ出力時刻(yyyy：年、mm：月、dd：日、HH：時間、SS：秒)とする。表A2.1にログレベルを示し、表A2.2にログファイルのフォーマットを示す。

表A2.1 ログレベル

ログレベル	概要	説明
FATAL	致命的なエラー	アプリケーション全体が提供できない
ERROR	エラー	ユーザのリクエストが処理できない
WARN	警告	アプリケーションは提供できるが対応が望まれる
INFO	情報	記録しておくべき情報
TRACE	トレース情報	動作に関する詳細な情報

表A2.2 ログファイルのフォーマット

項目	内容	備考
記録時刻	ログを記録した時間	年月日時分秒ミリ秒
ID	イベントのID	一連のイベントを関連づけるために必要
レベル	ログのレベル	INFOやWARNなど、表A2.1を参照
モジュール名	処理したモジュール(関数)名	-
処理内容	どのような処理を行なったか	参照や更新、削除など
処理対象	なにを処理したか	ERR/EARの計算処理、DBアクセス等
処理結果	処理した結果どうなったか	成功・失敗、処理件数など
メッセージ	その他出力すべき事項	-

参考文献

- ASRT. 2023. X-RAY RISK [Online]. Available: <https://www.xrayrisk.com/> [Accessed].
- BERRINGTON DE GONZALEZ, A., IULIAN APOSTOAEI, A., VEIGA, L. H., RAJARAMAN, P., THOMAS, B. A., OWEN HOFFMAN, F., GILBERT, E., LAND, C. 2012. RadRAT: a radiation risk assessment tool for lifetime cancer risk projection. *J Radiol Prot*, 32, 205-22.
- BRENNER, A. V., PRESTON, D. L., SAKATA, R., SUGIYAMA, H., BERRINGTON DE GONZALEZ, A., FRENCH, B., UTADA, M., CAHOON, E. K., SADAKANE, A., OZASA, K., GRANT, E. J., MABUCHI, K. 2018. Incidence of Breast Cancer in the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors: 1958-2009. *Radiat Res*, 190, 433-444.
- BRENNER, A. V., SUGIYAMA, H., PRESTON, D. L., SAKATA, R., FRENCH, B., SADAKANE, A., CAHOON, E. K., UTADA, M., MABUCHI, K., OZASA, K. 2020. Radiation risk of central nervous system tumors in the Life Span Study of atomic bomb survivors, 1958-2009. *Eur J Epidemiol*, 35, 591-600.
- CAHOON, E. K., PRESTON, D. L., PIERCE, D. A., GRANT, E., BRENNER, A. V., MABUCHI, K., UTADA, M., OZASA, K. 2017. Lung, Laryngeal and Other Respiratory Cancer Incidence among Japanese Atomic Bomb Survivors: An Updated Analysis from 1958 through 2009. *Radiat Res*, 187, 538-548.
- CDC 2011. ICD-9-CM Official Guidelines for Coding and Reporting.
- EPA 2011. EPA Radiogenic Cancer Risk Models and Projections for the U.S. Population. Washington,DC: U.S.
- FURUKAWA, K., PRESTON, D., FUNAMOTO, S., YONEHARA, S., ITO, M., TOKUOKA, S., SUGIYAMA, H., SODA, M., OZASA, K., MABUCHI, K. 2013. Long-term trend of thyroid cancer risk among Japanese atomic-bomb survivors: 60 years after exposure. *International journal of cancer*, 132, 1222-1226.
- GRANT, E. J., BRENNER, A., SUGIYAMA, H., SAKATA, R., SADAKANE, A., UTADA, M., CAHOON, E. K., MILDNER, C. M., SODA, M., CULLINGS, H. M., PRESTON, D. L., MABUCHI, K., OZASA, K. 2017. Solid Cancer Incidence among the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors: 1958–2009. *Radiat Res*, 187, 513-537, 25.
- GRANT, E. J., YAMAMURA, M., BRENNER, A. V., PRESTON, D. L., UTADA, M., SUGIYAMA, H., SAKATA, R., MABUCHI, K., OZASA, K. 2021. Radiation Risks for the Incidence of Kidney, Bladder and Other Urinary Tract Cancers: 1958-2009. *Radiat Res*, 195, 140-148.
- HSU, W.L., PRESTON, D. L., SODA, M., SUGIYAMA, H., FUNAMOTO, S., KODAMA, K., KIMURA, A., KAMADA, N., DOHY, H., TOMONAGA, M., IWANAGA, M., MIYAZAKI, Y., CULLINGS, H. M., SUYAMA, A., OZASA, K., SHORE, R. E., MABUCHI, K. 2013. The incidence of leukemia, lymphoma and multiple myeloma among atomic bomb survivors:

- 1950-2001. *Radiat Res.*, 179, 361-382.
- HSU, W. L., PRESTON, D. L., SODA, M., SUGIYAMA, H., FUNAMOTO, S., KODAMA, K., KIMURA, A., KAMADA, N., DOHY, H., TOMONAGA, M., IWANAGA, M., MIYAZAKI, Y., CULLINGS, H. M., SUYAMA, A., OZASA, K., SHORE, R. E., MABUCHI, K. 2013. The incidence of leukemia, lymphoma and multiple myeloma among atomic bomb survivors: 1950-2001. *Radiat Res*, 179, 361-82.
- IAEA 2010. Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency. IAEA-TECDOC-1162
- ICRP 1995. Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients ICRP Publication 72. *Ann. ICRP* 26
- ICRP 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, *Ann. ICRP* 37
- ICRP 2008 Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. *Ann. ICRP* 38
- ICRP 2010 Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116,. *Ann. ICRP* 40.
- ICRP 2020. Dose coefficients for external exposures to environmental sources. ICRP Publication 144. *Ann. ICRP* 49.
- JACOB, P., KAISER, C., ULANOVSKY, A. 2017. ProZES - a tool for assessment of assigned share of radiation in probability of cancer development. Germany.
- JAXA 2013. 国際放射線防護委員会 2007 年勧告 (ICRP Publication103) の「国際宇宙ステーション搭乗宇宙飛行士 放射線被ばく管理規程」への取入れに係る検討結果報告書.
- KAISER, J. C., WALSH, L. 2013. Independent analysis of the radiation risk for leukaemia in children and adults with mortality data (1950-2003) of Japanese A-bomb survivors. *Radiat Environ Biophys*, 52, 17-27.
- KOCHER, D. C., APOSTOAEI, A. I., HENSHAW, R. W., HOFFMAN, F. O., SCHUBAUER-BERIGAN, M. K., STANDESCU, D. O., THOMAS, B. A., TRABALKA, J. R., GILBERT, E. S., LAND, C. E. 2008. Interactive RadioEpidemiological Program (IREP): a web-based tool for estimating probability of causation/assigned share of radiogenic cancers. *Health Phys*, 95, 119-47.
- LEE, S.-H., KIM, K., KIM, H., KIM, S., HAN, S., KIM, E.-H. 2020. Development of the Korean-specific radiation-induced cancer risk model for level 3 probabilistic safety assessment (PSA). *Journal of Nuclear Science and Technology*, 57, 755-765.
- MABUCHI, K., PRESTON, D. L., BRENNER, A. V., SUGIYAMA, H., UTADA, M., SAKATA, R., SADAKANE, A., GRANT, E. J., FRENCH, B., CAHOON, E. K., OZASA, K. 2021. Risk of Prostate Cancer Incidence among Atomic Bomb Survivors: 1958-2009. *Radiat Res*, 195, 66-

- MIRKATOULI, N. B., HIROTA, S., YOSHINAGA, S. 2023. Thyroid cancer risk after radiation exposure in adults—systematic review and meta-analysis. *Journal of Radiation Research*, 64, 893-903.
- MURRAY, C. J. L., LOPEZ, A. D. 1997. Alternative projections of mortality and disability by cause 1990–2020: Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, 349, 1498-1504.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL 2006. BEIR VII Phase 2, Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- OZASA, K., SHIMIZU, Y., SUYAMA, A., KASAGI, F., SODA, M., GRANT, E. J., SAKATA, R., SUGIYAMA, H., KODAMA, K. 2012. Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: An Overview of Cancer and Noncancer Diseases. *Radiation Research*, 177, 229-243.
- PRESTON D. L., LUBIN J. H., PIERCE D. A., MCCONNEY M. E. 1993. Epicure users guide. In: CORPORATION, H. I. (ed.). Seattle.
- PRESTON, D. L., RON, E., TOKUOKA, S., FUNAMOTO, S., NISHI, N., SODA, M., MABUCHI, K., KODAMA, K. 2007 Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat Res*, 168, 1-64.
- PRESTON, D. L., SHIMIZU, Y., PIERCE, D. A., SUYAMA, A., MABUCHI, K. 2003. Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. *Radiat Res*, 160, 381-407.
- RICHARDSON, D., SUGIYAMA, H., NISHI, N., SAKATA, R., SHIMIZU, Y., GRANT, E. J., SODA, M., HSU, W. L., SUYAMA, A., KODAMA, K., KASAGI, F. 2009. Ionizing radiation and leukemia mortality among Japanese Atomic Bomb Survivors, 1950-2000. *Radiat Res*, 172, 368-82.
- RISK SCIENCES INTERNATIONAL (RSI). 2024. Epicure software application [Online]. Available: <https://risksciences.com/epicure/> [Accessed].
- SADAKANE, A., FRENCH, B., BRENNER, A. V., PRESTON, D. L., SUGIYAMA, H., GRANT, E. J., SAKATA, R., UTADA, M., CAHOON, E. K., MABUCHI, K., OZASA, K. 2019a. Radiation and Risk of Liver, Biliary Tract, and Pancreatic Cancers among Atomic Bomb Survivors in Hiroshima and Nagasaki: 1958-2009. *Radiat Res*, 192, 299-310.
- SADAKANE, A., FRENCH, B., BRENNER, A. V., PRESTON, D. L., SUGIYAMA, H., GRANT, E. J., SAKATA, R., UTADA, M., CAHOON, E. K., MABUCHI, K., OZASA, K. 2019b. Radiation and Risk of Liver, Biliary Tract, and Pancreatic Cancers among Atomic Bomb Survivors in Hiroshima and Nagasaki: 1958–2009. *Radiation Research*, 192, 299-310.
- SAKATA, R., PRESTON, D. L., BRENNER, A. V., SUGIYAMA, H., GRANT, E. J., RAJARAMAN,

- P., SADAKANE, A., UTADA, M., FRENCH, B., CAHOON, E. K., MABUCHI, K., OZASA, K. 2019. Radiation-Related Risk of Cancers of the Upper Digestive Tract among Japanese Atomic Bomb Survivors. *Radiat Res*, 192, 331-344.
- SALOMON, J. A., HAAGSMA, J. A., DAVIS, A., DE NOORDHOUT, C. M., POLINDER, S., HAVELAAR, A. H., CASSINI, A., DEVLEESSCHAUWER, B., KRETZSCHMAR, M., SPEYBROECK, N., MURRAY, C. J. L., VOS, T. 2015. Disability weights for the Global Burden of Disease 2013 study. *The Lancet Global Health*, 3, e712-e723.
- SHIMADA, K., KAI, M. 2015. Calculating disability-adjusted life years (DALY) as a measure of excess cancer risk following radiation exposure. *Journal of Radiological Protection*, 35, 763-775.
- SHIMADA, K., KAI, M. 2021. Lifetime Risk Assessment of Lung Cancer Incidence for Nonsmokers in Japan Considering the Joint Effect of Radiation and Smoking Based on the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors. *J. Radiat. Prot. Res*, 46, 83-97.
- SUGIYAMA, H., MISUMI, M., BRENNER, A., GRANT, E. J., SAKATA, R., SADAKANE, A., UTADA, M., PRESTON, D. L., MABUCHI, K., OZASA, K. 2020. Radiation risk of incident colorectal cancer by anatomical site among atomic bomb survivors: 1958-2009. *Int J Cancer*, 146, 635-645.
- TAKAHARA, S., WATANABE, M., HIROUCHI, J., IJIMA, M., MUNAKATA, M. 2018. Dose-reduction Effects of Vehicles against Gamma Radiation in the Case of a Nuclear Accident. *Health physics*, 114, 64-72.
- U.S. NRC, S. N. L. 2022. MACCS (MELCOR Accident Consequence Code System) User Guide – Version 4.0, Revision 1). SAND2022-7112.
- ULANOWSKI, A., SHEMIAKINA, E., GÜTHLIN, D., BECKER, J., PRESTON, D., APOSTOAEI, A. I., HOFFMAN, F. O., JACOB, P., KAISER, J. C., EIDEMÖLLER, M. 2020. ProZES: the methodology and software tool for assessment of assigned share of radiation in probability of cancer occurrence. *Radiat Environ Biophys*, 59, 601-629.
- UNSCEAR 2010. Summary of low-dose radiation effects on health.
- UTADA, M., BRENNER, A. V., PRESTON, D. L., COLOGNE, J. B., SAKATA, R., SUGIYAMA, H., KATO, N., GRANT, E. J., CAHOON, E. K., MABUCHI, K., OZASA, K. 2021. Radiation Risk of Ovarian Cancer in Atomic Bomb Survivors: 1958-2009. *Radiat Res*, 195, 60-65.
- UTADA, M., BRENNER, A. V., PRESTON, D. L., COLOGNE, J. B., SAKATA, R., SUGIYAMA, H., SADAKANE, A., GRANT, E. J., CAHOON, E. K., OZASA, K., MABUCHI, K. 2018. Radiation Risks of Uterine Cancer in Atomic Bomb Survivors: 1958-2009. *JNCI Cancer Spectr*, 2, pky081.
- WHO 2004. Global burden of disease 2004 update: Disability weights for diseases and conditions.

Geneva:WHO.

- 池田 俊也、田端 航也 1998. わが国における生涯調整生存年 (DALY) 一簡便法による推計の試み一. 医療と社会, 8.
- 蒲生 昌志、岡 敏弘、中西 準子 1996. 発がん性物質への曝露がもたらす発がんリスクの損失余命による表現一生命表を用いた換算一. 環境科学会誌, 9.
- 原子力規制委員会 2022. 令和5年度安全研究計画.
- 厚生労働省 2013. 疾病, 傷害及び死因の統計分類提要 ICD-10 (2013年版) 準拠 第2巻総論. In: 厚生労働統計協会 (ed.) 東京.
- 高原 省五、本間 俊充、西村 優基 2009. 放射線による晩発性健康影響評価コードHEINPUTの改良とGUIの作成. JAEA-Data/Code 2009-001.
- 高原 省五、日高 昭秀、荻野 隆 2015. 放射線に起因する晩発性健康影響を推定する計算コードHEINPUT-GUI ver. 2.0の開発. JAEA-Data/Code 2015-001.
- 外川 織彦、本間 俊充、益村 朋美 1999. 放射線による晩発性身体影響と遺伝影響を推定するための計算コードHEINPUT. JAERI-Data/Code 99-002.
- 日本原子力研究開発機構 2010. 平成21年度原子力利用安全対策等委託事業「ICRP (国際放射線防護委員会) 技術的基準等の整備 (計算コードの開発)」.
- 日本原子力研究開発機構 2023. 令和4年度放射線 対策委託費 (放射線健康リスク評価コードの開発) 事業.