

令和6年度原子力規制庁委託成果報告書

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7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、そ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と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6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、固形がんに対する放射線リスク計算機能の開発を実施した。また、令和4年度より継続的に行われてきた疫学研究に関する調査を実施した。

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	viii
1. はじめに	1
1.1. 目的	1
1.2. 本報告書の記載内容	1
2. 疫学研究に関する調査	2
2.1. 調査方法	2
2.2. 目的別入力関連で参考となる文献の調査結果	4
2.3. 固形がん関連で参考となる文献の調査結果	5
2.4. 造血器腫瘍関連で参考となる文献の調査結果	14
2.5. がん以外の疾病関連で参考となる文献の調査結果	16
2.6. 国際的な動向で参考となる文献の調査結果	18
2.7. まとめ	19
3. 固形がんに対する放射線リスク計算機能の開発	20
3.1. 計算方法	21
3.1.1. 線量観測値から臓器吸収線量への計算（目的別入力部分）	21
3.1.2. 放射線被ばくによる生涯寄与リスクの計算（汎用部分）	23
3.1.3. 喫煙による過剰リスク（汎用部分）	26
3.1.4. 余命損失とDALYの計算（目的別出力部分）	27
3.2. 計算コードの開発	29
3.2.1. 開発言語	29
3.2.2. 外部ライブラリ	29
3.2.3. 処理流れ	30
3.2.4. 必要なデータ	32
3.2.5. 計算結果	47
3.2.6. コマンドプロンプトからの計算実行	49
3.2.7. 予め用意したリスクモデルの詳細	49
3.3. 計算コードの検証	56
3.4. グラフィカルユーザーインターフェース（GUI）の開発	68
3.4.1. 開発言語	68

3.4.2.	外部ライブラリ	68
3.4.3.	インストールとアンインストール	68
3.4.4.	GUIで最初に読み込むデータ	69
3.4.5.	画面構成	71
3.4.6.	メイン画面の各タブの詳細	72
3.5.	まとめと今後の課題	105
4.	研究に必要な国内外の情報収集	107
5.	委員会の設置及び開催	114
5.1.	検討委員会委員名簿	114
5.2.	第一回検討委員会議事概要	115
5.3.	第二回検討委員会議事概要	126
6.	まとめ	138

表リスト

表 2.1	調査対象とした文献の一覧.....	3
表 2.2	本事業のコードとLARCalcで使用されている換算係数の比較.....	5
表 2.3	固形がん関連で参考となる文献の一覧.....	7
表 2.4	造血器腫瘍関連で参考となる文献の一覧.....	15
表 2.5	がん以外の疾病関連で参考となる文献の一覧.....	17
表 3.1	年齢グループと年齢範囲（ICRP Publ. 72（ICRP, 1995）に記載）....	22
表 3.2	計算部分の開発に使用した外部ライブラリの一覧.....	30
表 3.3	計算部分の開発に使用した外部ライブラリのライセンス概要.....	30
表 3.4	ベースラインデータのAccessデータベースの内容.....	33
表 3.5	コードで使用するICRPの核データと外部被ばく線量係数.....	35
表 3.6	計算コードの計算結果の出力内容.....	47
表 3.7	Blue Bookのリスク評価モデルにおける係数の値と重み係数.....	51
表 3.8	ICRP Publ. 103のリスク評価モデルにおける係数の値と重み係数.....	52
表 3.9	Ozasa et al. (2012)のリスク評価モデルにおける係数の値.....	53
表 3.10	LSS14相当の罹患モデルの文献一覧.....	55
表 3.11	LSS14相当の罹患モデルにおける係数の値 ⁽¹⁾	55
表 3.12	ベースラインデータをステップ関数で計算した時の男性のがん罹患の LARに対するEPA (2011)と本コードの比較.....	57
表 3.13	ベースラインデータをステップ関数で計算した時の女性のがん罹患の LARに対するEPA (2011)と本コードの比較.....	58
表 3.14	ベースラインデータをステップ関数で計算した時の男性のがん死亡の LARに対するEPA (2011)と本コードの比較.....	59
表 3.15	ベースラインデータをステップ関数で計算した時の女性のがん死亡の LARに対するEPA (2011)と本コードの比較.....	60
表 3.16	ベースラインデータを線形補間で計算した時の男性のがん罹患のLARに 対するEPA (2011)と本コードの比較.....	61
表 3.17	ベースラインデータを線形補間で計算した時の女性のがん罹患のLARに 対するEPA (2011)と本コードの比較.....	62
表 3.18	ベースラインデータを線形補間で計算した時の男性のがん死亡のLARに 対するEPA (2011)と本コードの比較.....	63
表 3.19	ベースラインデータを線形補間で計算した時の女性のがん死亡のLARに 対するEPA (2011)と本コードの比較.....	64
表 3.20	GUI部分の開発に使用した外部ライブラリ.....	68

表 3.21	GUIで最初に読込むデータの内容	69
表 3.22	メイン画面のタブの概要	71
表 5.1	検討委員会委員名簿	114

図リスト

図 2.1	原爆被爆者と最新の疫学研究の全固形がん死亡率のERRの比較	8
図 2.2	原爆被爆者と最新の疫学研究の食道がん死亡率のERRの比較	8
図 2.3	原爆被爆者と最新の疫学研究の胃がん死亡率と罹患率のERRの比較	9
図 2.4	原爆被爆者と最新の疫学研究の結腸がん死亡率のERRの比較	9
図 2.5	原爆被爆者と最新の疫学研究の肝臓がん死亡率と罹患率のERRの比較 ..	10
図 2.6	原爆被爆者と最新の疫学研究の肺がん死亡率と罹患率のERRの比較	10
図 2.7	原爆被爆者と最新の疫学研究の甲状腺がん罹患率のERRの比較	11
図 2.8	原爆被爆者と最新の疫学研究の脳腫瘍罹患率のERRの比較	11
図 2.9	原爆被爆者と最新の疫学研究の腎臓がん死亡率と罹患率のERRの比較 ..	12
図 2.10	原爆被爆者と最新の疫学研究の乳がん死亡率と罹患率のERRの比較 ...	12
図 2.11	原爆被爆者と最新の疫学研究の子宮がん死亡率のERRの比較	13
図 2.12	肝臓がんのERRと線量の関係（出典：Zhuntova et al., 2024）	13
図 2.13	原爆被爆者と最新の疫学研究の造血器腫瘍死亡率と罹患率のERRの比較	15
図 3.1	コードの計算の流れ	20
図 3.2	臓器吸収線量率から被ばく時年齢ごとの臓器吸収線量への計算の流れ ...	22
図 3.3	本コードの計算部分の処理流れ	31
図 3.4	過剰リスクモデルのXML形式データの階層構造(1/2)	39
図 3.5	各データで使用する部位名の対応関係に関するXML形式データの階層構造	41
図 3.6	DALY評価に関するXML形式データの階層構造	42
図 3.7	相対生存率に関するXML形式データの階層構造	43
図 3.8	入力のXML形式データの階層構造（1/2）	45
図 3.9	ベースラインデータをステップ関数と線形補間で計算とした時の甲状腺がん罹患のLARに対するEPA（2011）と本コードの比較	65
図 3.10	ベースラインデータをステップ関数と線形補間で計算した時の胃がん罹患のLARに対するEPA（2011）と本コードの比較	66
図 3.11	ベースラインデータをステップ関数と線形補間で計算した時の結腸がん罹患のLARに対するEPA（2011）と本コードの比較	67
図 3.12	画面遷移とメイン画面	71
図 3.13	生命表タブの画面	73
図 3.14	がん罹患率タブの画面	74
図 3.15	がん死亡率タブの画面	75

図 3.16	人口タブの画面	76
図 3.17	周期律表タブの画面	77
図 3.18	放出エネルギータブの画面	78
図 3.19	外部被ばくタブの個人線量当量 (ICRP116) タブの画面	79
図 3.20	外部被ばくタブの周辺線量当量率 (ICRP144) タブの画面	80
図 3.21	ベースラインの項目と核種の選択を行った後の設定・実行タブの画面	83
図 3.22	入力データのファイルを読み込んだ後の設定・実行タブの画面	84
図 3.23	設定・実行タブの項目の内容 (1/2)	85
図 3.24	計算実行したときに変更がある場合の設定・実行タブの画面	87
図 3.25	計算実行中の設定・実行タブの画面	88
図 3.26	設定・実行タブで入力データを読み込んだ後の放射線リスクモデルタブ の画面	89
図 3.27	放射線リスクモデルデータの読み込み後の放射線リスクモデルタブの画 面	90
図 3.28	放射線リスクモデルタブのリスクモデル全体に関する項目の内容	91
図 3.29	放射線リスクモデルタブのリスクモデル各部に関する項目の内容 (1/2)	92
図 3.30	変更があった時の放射線リスクモデルタブの画面	94
図 3.31	条件設定・計算実行タブの喫煙リスクモデルタブの画面	95
図 3.32	設定・実行タブで入力データを読み込んだ後の相対生存率タブの画面	96
図 3.33	相対生存率データの読み込み後の相対生存率タブの画面	97
図 3.34	相対生存率タブの項目の内容	98
図 3.35	変更があった時の相対生存率タブの画面	99
図 3.36	DALYデータタブの画面	100
図 3.37	計算実行後の結果閲覧タブの画面	101
図 3.38	リスクの結果を表示した結果閲覧タブの画面	102
図 3.39	余命損失の結果を表示した結果閲覧タブの画面	103
図 3.40	DALYの結果を表示した結果閲覧タブの画面	104
図 4.1	アイソトープ・放射線研究発表会で配布したチラシ	108

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及び令和5年度に実施したコード開発に必要となる概念設計とデータベース整備³に基づいて、固形がんに対する放射線リスク計算機能の開発を行う。今年度の具体的な実施内容は、（１）疫学研究に関する調査、（２）固形がんに対する放射線リスク計算機能の開発、（３）研究に必要な国内外の情報収集、（４）委員会の設置及び開催、（５）本委託業務に関する成果のまとめである。

² 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 令和4年度放射線対策等委託費（放射線健康リスク評価コードの開発）事業 令和5年3月. <https://www.nra.go.jp/data/000447891.pdf>

³ 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 令和5年度放射線対策等委託費（放射線健康リスク評価コードの開発）事業 令和6年3月. <https://www.nra.go.jp/data/000473715.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く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と疫学研究に関する調査及び放射線防護を目的としたリスク予測のあり方等に係る検討（令和4年度）、並びに、コード開発に必要な概念設計とデータベースの整備（令和5年度）が行われてきた。令和6年度においては、これらの成果に基づいて、放射線健康リスク評価コードのうち、固形がんに対する放射線リスク計算機能を開発することで、令和8年度のコード完成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、疫学研究に関する調査結果を記載する。第3章では、固形がんに対する放射線リスク計算機能の開発に関して記載する。第4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5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6章では、各章で記載した調査結果と検討結果をまとめる。

2. 疫学研究に関する調査

本章では、放射線リスク推定に関する国内外における主要な疫学研究について文献調査した結果を示す。原爆放射線の健康影響に関する寿命調査（LSS）に加え、放射線業務従事者や医療被ばくに関する調査等、放射線被ばくによる人体への健康影響に関する最新の情報を収集し、被ばく時年齢、到達年齢及び性別の修飾効果についてのモデル化の観点から知見を整理した。

2.1. 調査方法

最新の情報を収集するにあたり、PubMed⁴の検索を用いて調査した。論文抽出の流れは、大きく3つに分かれている。始めに、PubMedを用いてキーワードを設定して、本事業に関連する可能性のある論文を抽出した。その次に、タイトルとアブストラクトを確認し、関連のない論文を除外した。最後に、本文を確認し、本目的とは異なる主旨で書かれている論文を除外した。

PubMedでの検索条件は、以下のキーワードを設定し、放射線によるがんリスクを中心に調査した疫学研究を検索した。なお、検索条件は令和4年度に実施したものと同一であり、令和4年度の調査以降（2023年1月～2025年1月）に論文誌に掲載されたものを対象とした。

検索条件：

- (radiation) AND (cancer) AND (dose) AND (epidemiological) NOT (therapy) NOT (UV)
- (radiological) AND (cancer) AND (dose) AND (epidemiological) NOT (therapy) NOT (UV)

PubMed検索の結果、2025年1月時点で、新たに257件の論文が得られた。この257件の論文に対して、タイトル、アブストラクト及び本文を確認し、最終的に抽出された論文は20件であった。除外した論文の大半はがんのスクリーニング検査に関するものであった。抽出された論文に対して、目的別入力関連で参考になる文献、固形がん関連で参考になる文献、造血器腫瘍関連で参考になる文献、がん以外の疾病関連で参考になる文献、国際的な動向で参考になる文献の5種に分類した。また、PubMed検索で対象とならなかったものの、検討委員会や学会参加などでの専門家との意見交換時に紹介された論文と報告書も本調査の対象とした。調査対象とした文献の一覧を表 2.1に示す。

⁴ <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

表 2.1 調査対象とした文献の一覧

タイトル	筆頭著者	分類
LARCalc, a tool to estimate sex- and age-specific lifetime attributable risk in populations after nuclear power plant fallout	Sundström J	目的別入力関連
Assessment of Differentiated Thyroid Carcinomas in French Polynesia After Atmospheric Nuclear Tests Performed by France	de Vathaire F	固形がん関連
Association of low-dose ionizing radiation with site-specific solid cancers: Chinese medical X-ray workers cohort study, 1950–1995	Gu Y	固形がん関連
Thyroid cancer risk after radiation exposure in adults –systematic review and metaanalysis	Mirkatouli NB	固形がん関連
Computed tomography scan radiation and brain cancer incidence	Smoll NR	固形がん関連
Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study	Hauptmann M	固形がん関連
Cigarette Smoking, Smoking Cessation, and Bladder Cancer Risk: A Pooled Analysis of 10 Cohort Studies in Japan	Masaoka H	固形がん関連
Risk of central nervous system tumour incidence in a cohort of workers chronically exposed to ionizing radiation	Moseeva MB	固形がん関連
Mortality among medical radiation workers in the United States, 1965–2016	Boice JD Jr.	固形がん関連、 造血器腫瘍関連、 がん以外の疾病関連
Low Dose Radiation and Solid Tumors Mortality Risk	Tao XG	固形がん関連
Incidence risk of hepatobiliary malignant neoplasms in the cohort of workers chronically exposed to ionizing radiation	Zhuntova G	固形がん関連
Site-specific cancer mortality after low level exposure to ionizing radiation: Findings from an update of the International Nuclear Workers Study (INWORKS)	Richardson DB	固形がん関連
Risk of hematological malignancies from CT radiation exposure in children, adolescents and young adults	Bosch de Basea Gomez M	造血器腫瘍関連
Radiation exposure and leukaemia risk among cohorts of persons exposed to low and moderate doses of external ionising radiation in childhood	Little MP	造血器腫瘍関連
Low-Dose Radiation Risks of Lymphohematopoietic Cancer Mortality in U.S. Shipyard Workers	Tao XG	造血器腫瘍関連
Leukaemia, lymphoma, and multiple myeloma mortality after low-level exposure to ionizing radiation in nuclear workers (INWORKS): updated findings from an international cohort study	Leuraud K	造血器腫瘍関連
Effects of radiation on respiratory disease mortality: analysis of the national registry for radiation workers in United Kingdom	Zhang W	がん以外の疾病関連
Dose rate effect on mortality from ischemic heart disease in the cohort of Russian Mayak Production Association workers	Azizova TV	がん以外の疾病関連
Radon exposure and risk of neurodegenerative diseases among male miners in Ontario, Canada: A cohort study	Zeng X	がん以外の疾病関連
Risks of Circulatory Diseases among Korean Radiation Workers Exposed to Low-dose Radiation	Cha ES	がん以外の疾病関連
Mortality follow-up of Fernald Feed Materials Production Center workers exposed to uranium from 1951 to 1985	Milder CM	がん以外の疾病関連
Third mortality follow-up of the Mallinckrodt uranium processing workers, 1942–2019	Milder CM	がん以外の疾病関連
Impact of sex and age on prospective off-site health risk assessments of radiological accidents at nuclear sites	UKHSA	国際的な動向

* 各文献の書誌情報については、本報告書の 139 ページ以降の「参考文献」を参照。

2.2. 目的別入力関連で参考となる文献の調査結果

目的別入力関連で参考となる文献は、Sundström et al. (2023)の論文である。この論文は、スウェーデンで開発されているリスク評価コードLARCalcを紹介したものとなっている。LARCalcは放射性物質の地表面への全沈着量⁵（以下、“全沈着量”と表記）から生涯寄与リスクを計算するコードである。LARCalcの想定利用先として、意思決定者のトレーニングツールとしての利用、原子力事故前の防護戦略を立案する際の利用が挙げられている。ただし、事故時のリアルタイムでの意思決定への利用は想定されていない。

LARCalcの中で全沈着量から臓器吸収線量への換算部分は、本事業のコードの目的別入力部分と似た機能である。そのため、LARCalcの全沈着量から臓器吸収線量への換算部分と本コードの目的別入力部分の計算の流れを比較できると期待できる。なお、LARCalcの臓器吸収線量から生涯寄与リスクへの計算部分はEPA (2011)のBlue Bookモデルと同様のものが用いられている。

LARCalcでは、全沈着量から臓器吸収線量に換算する際、外部被ばくのみならず、内部被ばく（経口摂取と吸入摂取）が考慮されている。外部被ばくによる臓器吸収線量への換算の流れは、全沈着量から周辺線量当量率、空気カーマ率、臓器吸収線量率へと換算される。この時、除染による線量の減少の効果、雪による遮蔽効果、家屋内にいることによる遮蔽効果、家屋内外の滞在時間が考慮されている。

本事業のコードは、概念設計の段階で外部被ばくのみを対象としており、内部被ばくは対象としていない。また、その場で測定された周辺線量当量率を利用して臓器吸収線量率に換算、または個人線量当量を利用して臓器吸収線量に換算することを想定しているため、除染による線量の減少の効果は考慮していない。さらに、雪による遮蔽効果は考慮していない。一方、家屋内に滞在していることによる遮蔽効果と家屋内外の滞在時間を考慮し得る点はLARCalcと同様である。

本コードでの周辺線量当量率から臓器吸収線量率に換算する流れは、始めに周辺線量当量率からICRP Publ. 144 (ICRP, 2020)の換算係数を利用して地表面沈着量に換算し、地表面沈着量からICRP Publ. 144の換算係数を利用して臓器吸収線量率に換算する。ここでは、周辺線量当量率から臓器吸収線量率への換算に関して、両コード間で比較した。LARCalcでは、周辺線量当量率から空気カーマ率への換算係数と空気カーマ率から臓器吸収線量率への換算係数はZankl et al. (1997)の値が利用されている。各コードで利用されている換算係数を表 2.2に示す。表 2.2より、周辺線量当量率から臓器吸収線量率への換算は20%以内で一致しており、周辺線量当量率から臓器吸収線量率への換算に関して本事業のコードはLARCalcと同様の結果が得られたことから、その妥当性について確認することができた。したがって、令和5年度の概念設計時に設計した計算の流れを変えずに目的別入力部分を計算することとした。

⁵ 除染やウェザリング等の除去を考慮せずに、事故時に地表面上に沈着した全量を意味する。

表 2.2 本事業のコードとLARCalcで使用されている換算係数の比較

部位	本事業のコード			LARCalc		
	地表面沈着量→周辺線量当量率 (nSv h ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	地表面沈着量→臓器吸収線量率 (nGy h ⁻¹ Bq ⁻¹ m ²)	周辺線量当量率→臓器吸収線量率 (nGy h ⁻¹ nSv ⁻¹ h)	周辺線量当量率→空気カーマ率 (nGy h ⁻¹ nSv ⁻¹ h)	空気カーマ率→臓器吸収線量率 (nGy h ⁻¹ nGy ⁻¹ h)	周辺線量当量率→臓器吸収線量率 (nGy h ⁻¹ nSv ⁻¹ h)
赤色骨髓	2.34×10 ⁻³	1.26×10 ⁻³	0.54	0.83	0.71	0.59
結腸	2.34×10 ⁻³	1.30×10 ⁻³	0.56	0.83	0.69	0.57
肺	2.34×10 ⁻³	1.26×10 ⁻³	0.54	0.83	0.76	0.63
肝臓	2.34×10 ⁻³	1.23×10 ⁻³	0.53	0.83	0.71	0.59
甲状腺	2.34×10 ⁻³	1.39×10 ⁻³	0.59	0.83	0.76	0.63
腎臓	2.34×10 ⁻³	1.25×10 ⁻³	0.53	0.83	0.72	0.60

*換算係数は成人男性を対象としたものである。本事業のコードの換算係数は、地表面の粗度が考慮されている核種が深度0.5 g cm⁻²に様に分布し、0.6 MeVの単色のγ線の場合の値である。なお、深度を0 g cm⁻²にした場合（理想的な平面）、周辺線量当量率から臓器吸収線量率への換算係数は約3%増加し、深度を3 g cm⁻²にした場合には約3%減少し、深度の違いによる差は小さかった。

2.3. 固形がん関連で参考となる文献の調査結果

本事業で調査した固形がん関連で参考となる文献の一覧を表 2.3に示す。表 2.3には、対象者と対象者数も示した。これらの文献では、主に部位ごとの過剰相対リスク（ERR）が示されている。各文献のERRと原爆被爆者のコホートで得られたERRとを比較し、本事業で組み込むべきリスクモデルがLSSで使用されているモデルで十分であるのかの確認を行った。また、特筆すべき課題や注視すべき点がある場合には、それらの点を整理した。

全固形がん、食道がん、胃がん、結腸がん、肝臓がん、肺がん、甲状腺がん、脳腫瘍、腎臓がん、乳がん、子宮がんに対して、原爆被爆者と最新の疫学研究の論文で示されたERRの比較を図 2.1～図 2.11に示す。なお、これらの図には令和4年度に調査したものも含めた。

図 2.1～図 2.11より、原爆被爆者のERRの推定値は最新の疫学研究のERRの不確かさの幅に概ね含まれることが分かる。原爆被爆者のERRの推定値と有意に異なったのは、Mayak労働者を対象とした肝臓がん（図 2.5のNo. 8）のみであった。ただし、Mayak労働者の被ばく線量の範囲を0–4 Gyや0–2 Gyに限定した場合（図 2.5のNo. 9, 10）には、原爆被爆者のERRと同程度の値が得られている。これは、4 Gy以上を被ばくした人のERRは4 Gy未満を被ばくした人のERRよりも8倍以上高く、線量とERRの関係を線形とした場合に、高線量域のERRを再現するように傾き（ERR Gy⁻¹）が大きくなったためである（図 2.12）（Zhuntova et al., 2024）。なお、この高線量被ばくはα核種の内部被ばくに起因している。Zhuntova et al. (2024)は、線量とERRの関係について、線形二次関数の方が線形関数より

も結果の再現性が良いものの、より詳細な調査が必要と報告している。

異なる集団を比較する場合には、ベースライン罹患率及び死亡率が集団間で異なることに注意が必要である。異なる集団間の比較においては、ERRが等しいという前提で考察したが、がんによっては必ずしも同じではないことが知られていることに注意が必要である。また、放射線被ばくの観点からは、慢性被ばくとLSSの急性被ばくの違いから生じる線量率効果が存在することも知られている。疫学データによっては交絡因子の調査が不十分なために、結果の不確かさも含まれていることが様々な論文においてその結論の限界として記載されている。ERRを比較する場合にはこれらの点を考慮する必要があるものの、本報告書では疫学研究の比較に際して、疫学的に厳密な比較ではなく、ERRのみに着目した簡便な比較を行ったことに注意しておくべきである。

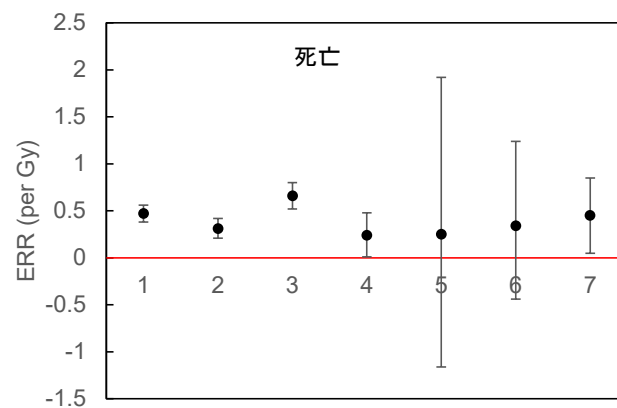
今回の調査より、他のコホートでの結果を用いても、LSSを利用したものと概ね相違は見られなかった。Daniels et al. (2024)はINWORKSに対して修飾因子に関する調査を実施したものの、情報はほとんど得られなかったと報告しており、LSS以外のコホートの場合、修飾因子に関する情報はLSSに比べて少ない。これらの調査結果より、令和5年度の概念設計の通り、本コードはLSSで利用されているモデルをリスク評価に利用していくこととした。

Masaoka et al. (2023)は、放射線による影響ではなく、喫煙による膀胱がん罹患率への影響を調査した。その結果、喫煙本数が多いほどHR (Hazard Ratio) ⁶が大きく、禁煙期間が長いほどHRが小さくなることを報告した。この調査結果を本事業のコードに直接組み込むことはできないものの、後述する生活習慣（喫煙）を考慮してリスク評価をする際の修飾因子として喫煙本数と禁煙期間を組み込む必要があることを示している。なお、本事業のコードでは喫煙本数と禁煙期間を修飾因子として組み込んでおり（詳細：3.1.3項）、喫煙による過剰リスクERRを計算する数式においては喫煙本数とERRは正の相関、禁煙期間とERRは負の相関であり、Masaoka et al. (2023)の結果と矛盾ない。

⁶ 曝露群の非曝露群に対するハザード関数の比。ハザード関数は、生存時間解析において、追跡時間 t 後の瞬間死亡率である。

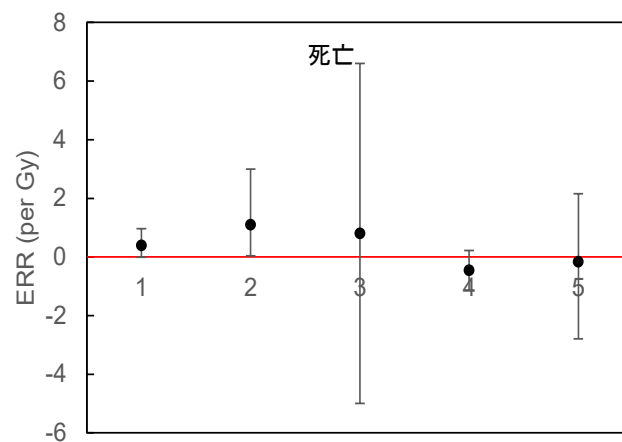
表 2.3 固形がん関連で参考となる文献の一覧

タイトル	筆頭著者	対象者 () 内の数字は対象者数	対象部位	死亡または罹患
Low Dose Radiation and Solid Tumors Mortality Risk	Tao XG	米国、放射線作業従事者 (437,937)	全固形、食道、結腸、肝臓、肺、腎臓	死亡
Mortality among medical radiation workers in the United States, 1965–2016	Boice JD Jr.	米国、医療従事者 (109,019)	食道、胃、乳房	死亡
Site-specific cancer mortality after low level exposure to ionizing radiation: Findings from an update of the International Nuclear Workers Study (INWORKS)	Richardson DB	INWORKSコホート（イギリス、フランス、アメリカの原子力施設労働者） (309,932)	食道、胃、結腸、肺、腎臓、乳房、子宮	死亡
Association of low-dose ionizing radiation with site-specific solid cancers: Chinese medical X-ray workers cohort study, 1950–1995	Gu Y	中国、X線作業従事者 (270,111)	胃、肝臓、肺、甲状腺、脳腫瘍、腎臓、乳房	罹患
Incidence risk of hepatobiliary malignant neoplasms in the cohort of workers chronically exposed to ionizing radiation	Zhuntova G	Mayak労働者 (16,688)	肝臓	罹患
Assessment of Differentiated Thyroid Carcinomas in French Polynesia After Atmospheric Nuclear Tests Performed by France	de Vathaire F	大気圏核実験後のポリネシア人 (950)	甲状腺	罹患
Thyroid cancer risk after radiation exposure in adults –systematic review and metaanalysis	Mirkatouli N B	レビュー論文	甲状腺	罹患
Computed tomography scan radiation and brain cancer incidence	Smoll NR	オーストラリア、0～19歳にCTスキャン (611,544)	脳腫瘍	罹患
Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study	Hauptmann M	EPI-CTコホート（欧州諸国の10～22歳未満にCTスキャン） (658,752)	脳腫瘍	罹患
Risk of central nervous system tumour incidence in a cohort of workers chronically exposed to ionizing radiation	Moseeva MB	Mayak労働者 (22,377)	脳腫瘍	罹患
Cigarette Smoking, Smoking Cessation, and Bladder Cancer Risk: A Pooled Analysis of 10 Cohort Studies in Japan	Masaoka H	日本（LSS含む） (340,497)	膀胱	罹患



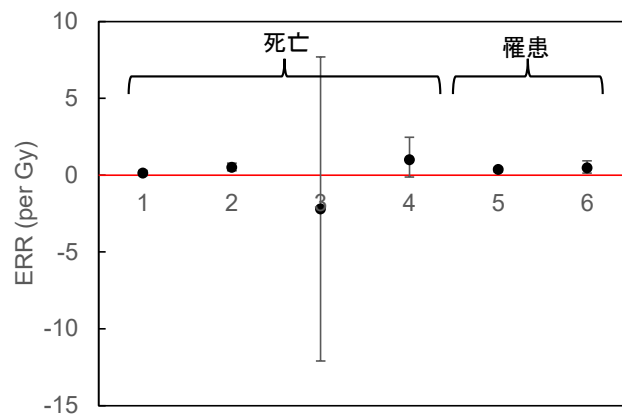
No	対象者情報	死亡率 or 罹患率	文献
1	原爆被爆者 男女 成人時被ばく	死亡率	Ozasa et al., 2012
2	原爆被爆者 男 成人時被ばく	死亡率	Ozasa et al., 2012
3	原爆被爆者 女 成人時被ばく	死亡率	Ozasa et al., 2012
4	UK 放射線作業従事者 男女	死亡率	Haylock et al., 2018
5	J-EPISODE 男	死亡率	Furuta et al., 2021
6	仏 放射線作業従事者 男女	死亡率	Fournier et al., 2018
7	米国 放射線作業従事者 男女	死亡率	Tao et al., 2024a

図 2.1 原爆被爆者と最新の疫学研究の全固形がん死亡率のERRの比較



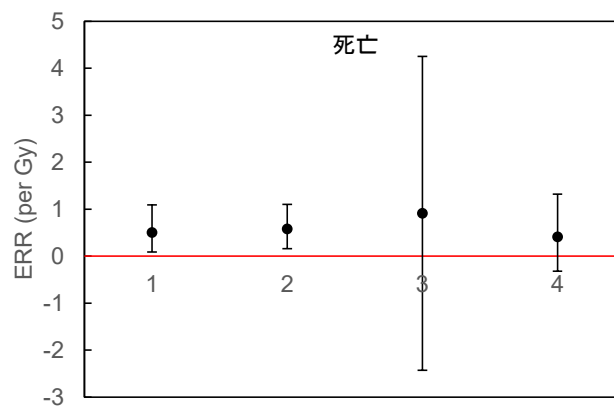
No	対象者情報	死亡率 or 罹患率	文献
1	原爆被爆者 男 成人時被ばく	死亡率	Ozasa et al., 2012
2	原爆被爆者 女 成人時被ばく	死亡率	Ozasa et al., 2012
3	医療従事者 男女	死亡率	Boice et al., 2023a
4	米国 放射線作業従事者 男女	死亡率	Tao et al., 2024a
5	INWORKS 男女	死亡率	Richardson et al., 2024

図 2.2 原爆被爆者と最新の疫学研究の食道がん死亡率のERRの比較



No	対象者情報	死亡率 or 罹患率	文献
1	原爆被爆者 男 成人時被ばく	死亡率	Ozasa et al., 2012
2	原爆被爆者 女 成人時被ばく	死亡率	Ozasa et al., 2012
3	医療従事者 男女	死亡率	Boice et al., 2023a
4	INWORKS 男女	死亡率	Richardson et al., 2024
5	原爆被爆者 男女 成人時被ばく	罹患率	Sakata et al., 2019
6	X線作業従事者 男女	罹患率	Gu et al., 2023

図 2.3 原爆被爆者と最新の疫学研究の胃がん死亡率と罹患率のERRの比較



No	対象者情報	死亡率 or 罹患率	文献
1	原爆被爆者 男 成人時被ばく	死亡率	Ozasa et al., 2012
2	原爆被爆者 女 成人時被ばく	死亡率	Ozasa et al., 2012
3	米国 放射線作業従事者 男女	死亡率	Tao et al., 2024a
4	INWORKS 男女	死亡率	Richardson et al., 2024

図 2.4 原爆被爆者と最新の疫学研究の結腸がん死亡率のERRの比較

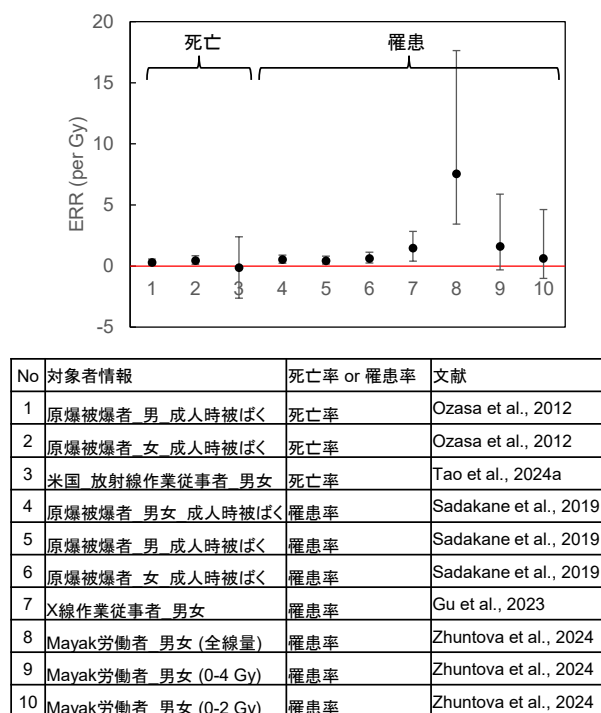


図 2.5 原爆被爆者と最新の疫学研究の肝臓がん死亡率と罹患率のERRの比較

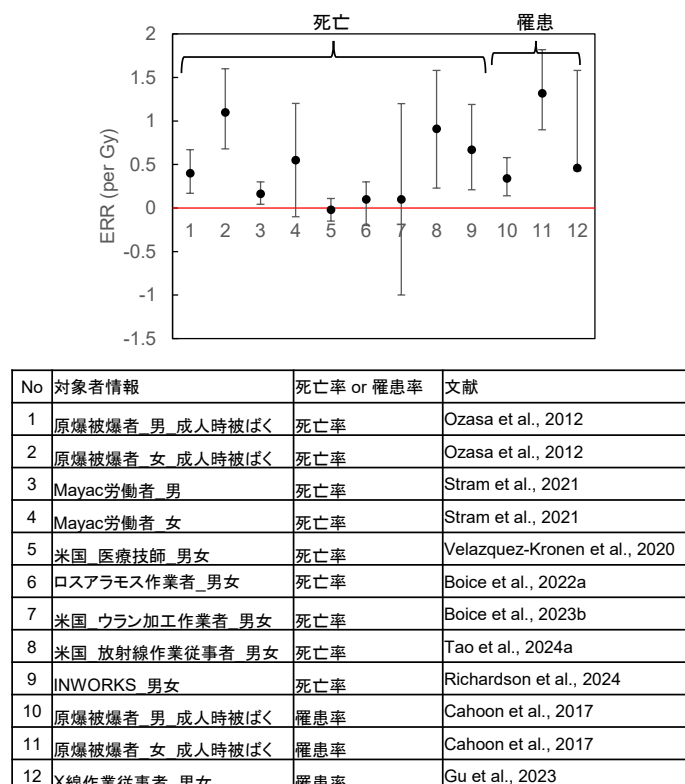
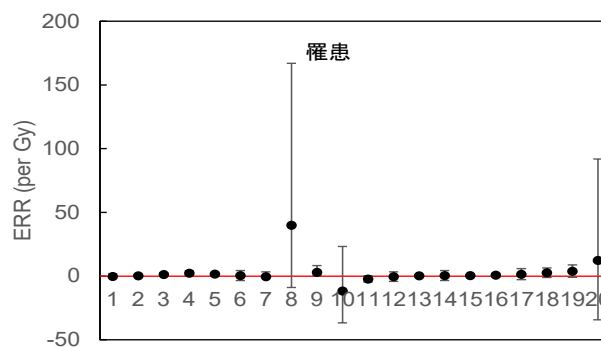
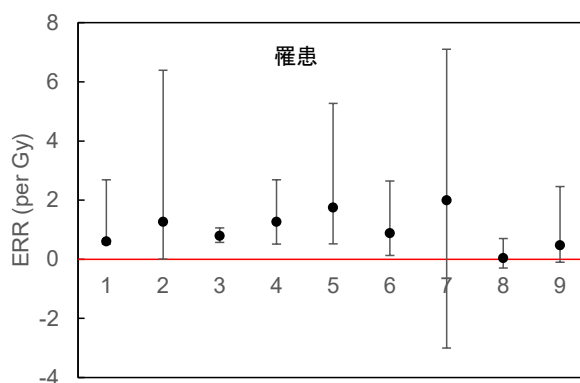


図 2.6 原爆被爆者と最新の疫学研究の肺がん死亡率と罹患率のERRの比較



No	対象者情報	死亡率 or 罹患率	文献
1	原爆被爆者 男 成人時被ばく	罹患率	Furukawa et al., 2013
2	原爆被爆者 女 成人時被ばく	罹患率	Furukawa et al., 2013
3	原爆被爆者 男女 被ばく時年齢10歳	罹患率	Furukawa et al., 2013
4	チェルノブイリ 男 除染作業	罹患率	Prysyazhnyuk et al., 2018
5	チェルノブイリ 男女 到達年齢27歳	罹患率	Prysyazhnyuk et al., 2018
6	医療従事者 男女	罹患率	Lee et al., 2019
7	医療従事者 男女	罹患率	Kitahara et al., 2018
8	大気圏核実験 男女	罹患率	Valthaire et al., 2023
9	X線作業従事者 男女	罹患率	Gu et al., 2023
10-20	レビュー	罹患率	Mirkatouli et al., 2023

図 2.7 原爆被爆者と最新の疫学研究の甲状腺がん罹患率のERRの比較



No	対象者情報	死亡率 or 罹患率	文献
1	原爆被爆者_男女_被ばく時年齢20歳未満	罹患率	Brenner et al., 2020
2	EPI-CT 男女 被ばく時年齢10-22歳	罹患率	Michael et al., 2023
3	CTスキャン 男女 被ばく時年齢0-19歳	罹患率	Smoll et al., 2023
4	EPI-CT 男女 被ばく時年齢10-22歳	罹患率	Hauptmann et al., 2022
5	EPI-CT 男 被ばく時年齢10-22歳	罹患率	Hauptmann et al., 2022
6	EPI-CT 女 被ばく時年齢10-22歳	罹患率	Hauptmann et al., 2022
7	医療従事者 男女	罹患率	Boice et al., 2023a
8	Mayak労働者 男女	罹患率	Moseeva et al., 2024
9	X線作業従事者 男女	罹患率	Gu et al., 2023

図 2.8 原爆被爆者と最新の疫学研究の脳腫瘍罹患率のERRの比較

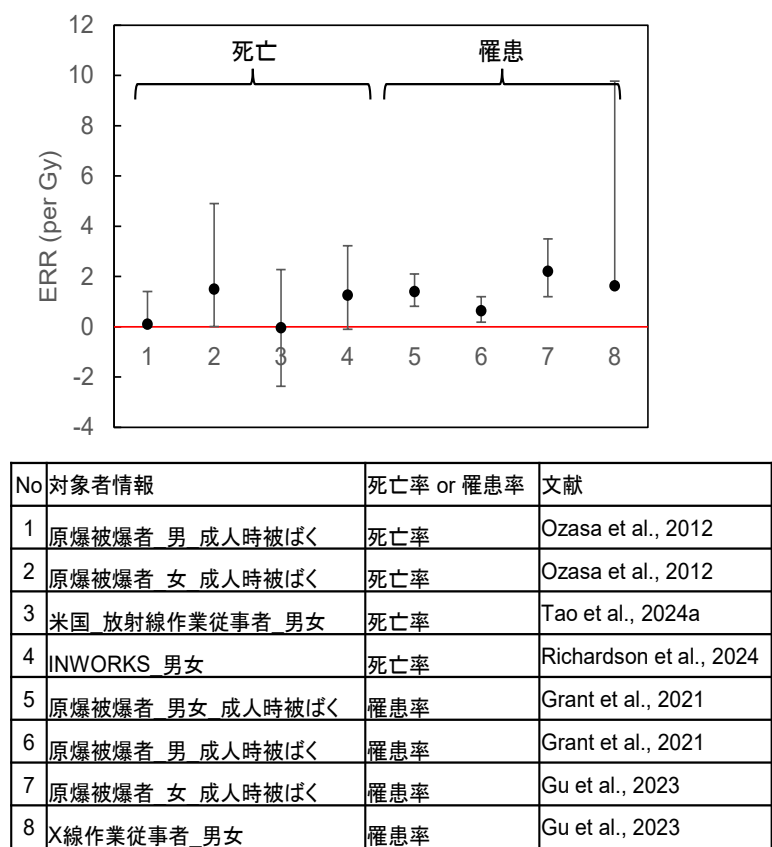


図 2.9 原爆被爆者と最新の疫学研究の腎臓がん死亡率と罹患率のERRの比較

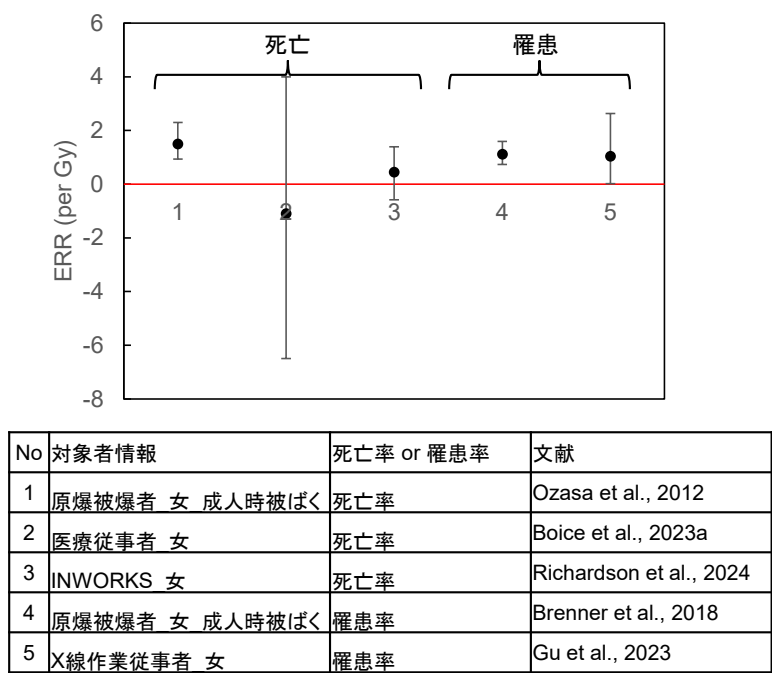
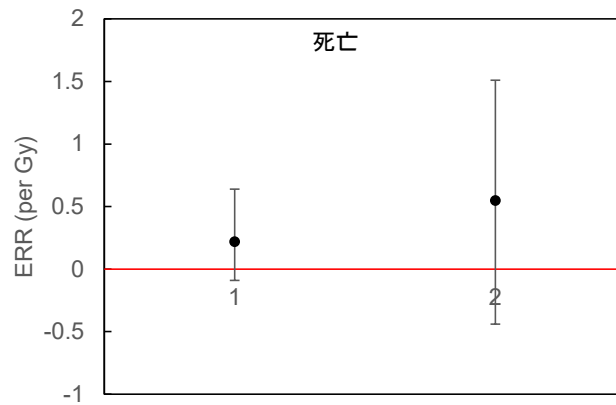


図 2.10 原爆被爆者と最新の疫学研究の乳がん死亡率と罹患率のERRの比較



No	対象者情報	死亡率 or 罹患率	文献
1	原爆被爆者 女 成人時被ばく	死亡率	Ozasa et al., 2012
2	INWORKS 女	死亡率	Richardson et al., 2024

図 2.11 原爆被爆者と最新の疫学研究の子宮がん死亡率のERRの比較

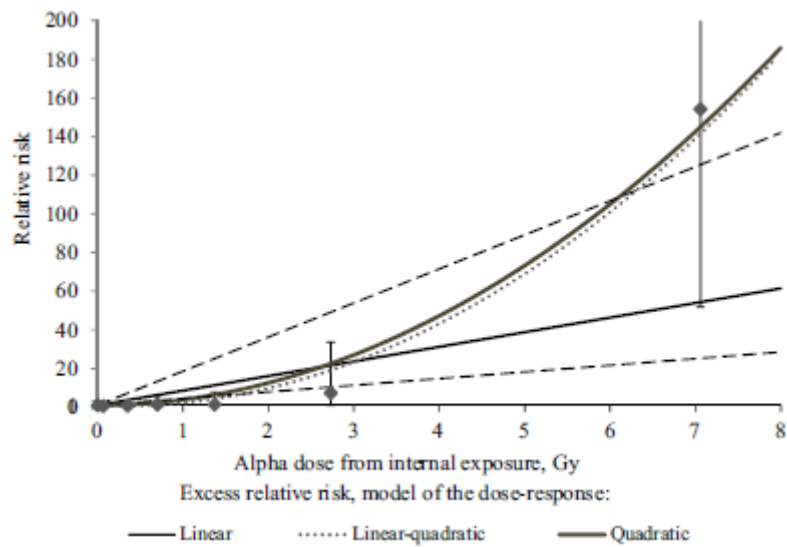


図 2.12 肝臓がんのERRと線量の関係（出典：Zhuntova et al., 2024）

2.4. 造血器腫瘍関連で参考となる文献の調査結果

本事業で調査した造血器腫瘍関連で参考となる文献の一覧を表 2.4に示す。表 2.4には、対象者と対象者数も示した。固形がん関連と同様に、これらの文献で示されたERRと原爆被爆者のコホートで得られたERRとを比較し、本事業で組み込むべきリスクモデルがLSSで使用されているモデルで十分であるのかの確認を行った。また、特筆すべき課題や注視すべき点がある場合には、それらの点を整理した。

造血器腫瘍に関して、原爆被爆者と最新の疫学研究の論文で示されているERRの比較を図 2.13に示す。なお、この図には令和4年度に調査したものも含めた。

図 2.13より、原爆被爆者のERRの推定値は最新の疫学研究のERRの不確かさの幅に概ね含まれることが分かる。原爆被爆者のERRの推定値と有意に異なったのは、Gomez et al. (2023)のEPI-CT対象者（図 2.13のNo. 9）のみであった。Gomez et al. (2023)の論文中では原爆被爆者のERRとの違いが生じた原因について以下のように記載されている。

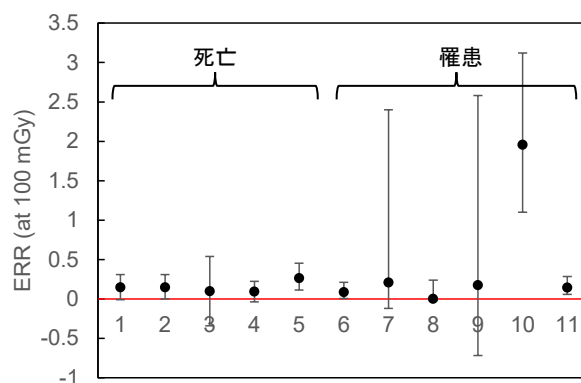
- 1) 調査の追跡期間が短く、さらなる追跡調査が必要である。
- 2) 原爆被爆者の線量域は数十から数千mGyである一方で、Gomez et al. (2023)の調査の主な線量域は数十mGyであり、解析対象となった線量域が異なった。

数十mGyの線量域で評価したERRは他にもあり、Little et al. (2018)の報告したERR (0.84–4.66 at 100 mGy) はGomez et al. (2023)と類似したERRであった。しかしながら現状では、原爆被爆者とEPI-CTのどちらがより適切であるかまでの情報は得られていない。

今回の調査より、他のコホートでの結果を用いても、LSSを利用したものと概ね相違は見られなかった。他のコホートの場合、修飾因子に関する情報はLSSに比べて少ないため、令和5年度の概念設計の通り、本コードはLSSで使用されているモデルをリスク評価に利用していくこととした。ただし、低線量域での疫学研究に関しては引き続き調査する必要がある。

表 2.4 造血器腫瘍関連で参考となる文献の一覧

タイトル	筆頭著者	対象者 () 内の数字は対象者数	死亡または罹患
Mortality among medical radiation workers in the United States, 1965–2016	Boice JD Jr.	米国、医療従事者 (109,019)	死亡
Risk of hematological malignancies from CT radiation exposure in children, adolescents and young adults	Bosch de Basea Gomez M	EPI-CT コホート (被ばく時年齢10～22) (948,174)	罹患
Radiation exposure and leukaemia risk among cohorts of persons exposed to low and moderate doses of external ionising radiation in childhood	Little MP	21歳未満の様々なコホート (LSSやCTスキャンなど) (310,905)	罹患
Low-Dose Radiation Risks of Lymphohematopoietic Cancer Mortality in U.S. Shipyard Workers	Tao XG	米国、放射線作業従事者 (437,937)	死亡
Leukaemia, lymphoma, and multiple myeloma mortality after low-level exposure to ionizing radiation in nuclear workers (INWORKS): updated findings from an international cohort study	Leuraud K	INWORKS コホート (イギリス、フランス、アメリカの原子力施設労働者) (309,932)	死亡



No	対象者情報	死亡率 or 罹患率	文献
1	原爆被爆者_男女_成人時被ばく	死亡率	Ozasa et al., 2012
2	原子力発電所作業員_男女	死亡率	Boice et al., 2022b
3	医療従事者_男女	死亡率	Boice et al., 2023a
4	放射線作業従事者_男女	死亡率	Tao et al., 2024
5	INWORKS_男女	死亡率	Leuraud et al., 2024
6	原爆被爆者_男女	罹患率	Hsu et al., 2013
7	CT_男女_被ばく時年齢小児	罹患率	Meulepas et al., 2019
8	医療従事者_男女	罹患率	Linet et al., 2022
9	職業被ばく_男女	罹患率	Gillies et al., 2019
10	EPI-CT_男女_被ばく時年齢10-22歳	罹患率	Gomez et al., 2023
11	LSSやCT_男女_被ばく時年齢21歳未満	罹患率	Little et al., 2023

図 2.13 原爆被爆者と最新の疫学研究的造血器腫瘍死亡率と罹患率のERRの比較

2.5. がん以外の疾病関連で参考となる文献の調査結果

本事業で調査したがん以外の疾病関連で参考となる文献の一覧を表 2.5に示す。表 2.5には、対象者と対象者数も示した。

Boice et al. (2023)は神経変性疾患、虚血性心疾患、脳血管障害のERRを調査し、それぞれのERRは0.05 (95%CI: -0.13: 0.23) at 100 mGy、-0.10 (95%CI: -0.27: 0.06) at 100 mGy、0.04 (95%CI: -0.16: 0.23) at 100 mGyであった。対象コホートにおける積算個人線量当量の平均値は63 mSv、中央値は37 mSvであり、500 mSvを超える人は636名（全体の0.6%）であった。Boice et al. (2023)の調査では、放射線被ばくによる上記疾病の有意な上昇は見られなかった。

Zhang et al. (2022)は呼吸器系疾患のERRを調査し、ERRは-0.09 (95%CI: -0.46: 0.35) at 100 mGyであった。対象コホートにおける積算個人線量当量の平均値は23.2 mSvであった。Zhang et al. (2022)の調査では、放射線被ばくによる呼吸器系疾患の有意な上昇は見られなかった。

Azizova et al. (2023)は虚血性心疾患のERRを調査し、肝臓の吸収線量率が高い場合（5～50 mGy y⁻¹以上）のERRは0.10 (95%CI: 0.00: 0.23) Gy⁻¹であり、肝臓の吸収線量率が低い場合（5 mGy y⁻¹未満）のERRは-0.10 (95%CI: -0.36: 0.20) Gy⁻¹であった。対象コホートにおける肝臓の積算吸収線量は0.43±0.63 Gyであった。Azizova et al. (2023)の調査では、高線量率（5～50 mGy y⁻¹以上）での被ばくでは虚血性心疾患の有意な上昇が見られ、低線量率（5 mGy y⁻¹未満）での被ばくでは有意な上昇は見られなかった。

Zeng et al. (2022)は神経変性疾患（アルツハイマー病とパーキンソン病）のRR (Relative Risk) ⁷を調査し、アルツハイマー病に対してラドン被ばく量が1～5 WLM⁸場合のRRは1.23 (95%CI: 1.05: 1.45)であり、5～10 WLMの場合のRRは1.09 (95%CI: 0.83: 1.45)、それ以上の被ばく量の場合のRRの95%CIの下限は1以下であった。パーキンソン病に対してラドン被ばく量が5～10 WLM場合のRRは1.43 (95%CI: 1.08: 1.89)であり、10～15 WLMの場合のRRは0.82 (95%CI: 0.57: 1.19)、それ以上の被ばく量の場合のRRの95%CIの下限は1以下であった。対象コホートにおけるラドン被ばく量は7.5±24.4 WLMであった。Zeng et al. (2022)の調査では、ラドン吸入による神経変性疾患の有意な上昇を支持する結果は得られなかった。

Cha et al. (2024)は脳血管性疾患と虚血性心疾患のERRを調査し、それぞれのERRは-0.074 (95%CI: -0.223: 0.084) at 100 mGy、-0.151 (95%CI: -0.273: -0.022) at 100 mGyであった。対象コホートにおける心臓の積算吸収線量の平均値は4.1 mGy（0～992.6 mGy）であった。Cha et al. (2024)の調査では、放射線被ばくによる脳血管性疾患と虚血性心疾患の有意な上昇は見られなかった。

⁷ 曝露群の非曝露群に対する発症リスクの比。

⁸ Working Level Month。Rn-222 濃度が 144 Bq m⁻³ の空気を 1 年間吸入する場合の積算内部被ばく線量が 1WLM に相当するとされている。1 WL=2.08×10⁻⁵ J m⁻³ と定義されている。

Milder et al. (2024a)は心血管疾患と虚血性心疾患のHR (Hazard Ratio) を調査した。心臓の積算吸収線量が100 mGy未満の場合、心血管疾患のHRは1.05 (95%CI: 0.83: 1.33) at 100 mGy、虚血性心疾患のHRは1.05 (95%CI: 0.80: 1.37) at 100 mGy であり、100 mGy 以上の場合、心血管疾患のHRは1.50 (95%CI: 1.12: 2.01) at 100 mGy、虚血性心疾患のHRは1.54 (95%CI: 1.10: 2.16) at 100 mGy であった。対象コホートにおける心臓の積算吸収線量は12.0±24.4 mGyであった。Milder et al. (2024a)の調査では、積算線量が高い場合 (100 mGy以上) に心血管疾患と虚血性心疾患の有意な上昇が見られ、低い場合 (100 mGy未満) には有意な上昇は見られなかった。

Milder et al. (2024b)は心血管疾患、虚血性心疾患、神経変性疾患 (認知症、アルツハイマー病、パーキンソン病) のERRを調査した。心血管疾患のERRは0.14 (95%CI: 0.02: 0.29) at 100 mGy、虚血性心疾患のERRは0.13 (95%CI: 0.00: 0.31) at 100 mGy、神経変性疾患のERRは-0.13 (95%CI: -0.47: 0.34) at 100 mGyであった。対象コホートにおける心臓の積算吸収線量は33.4±65.0 mGyであった。Milder et al. (2024b)の調査では、放射線被ばくによる心血管疾患と虚血性心疾患に対して有意な上昇が見られ、神経変性疾患に対しては有意な上昇は見られなかった。

表 2.5 がん以外の疾病関連で参考となる文献の一覧

タイトル	筆頭著者	対象者 () 内の数字は対象者数	疾病	死亡または罹患
Mortality among medical radiation workers in the United States, 1965–2016	Boice JD Jr.	米国、医療従事者 (109,019)	神経変性疾患、虚血性心疾患、脳血管障害	死亡
Effects of radiation on respiratory disease mortality: analysis of the national registry for radiation workers in United Kingdom	Zhang W	英国、放射線作業従事者 (174,571)	呼吸器系疾患	死亡
Dose rate effect on mortality from ischemic heart disease in the cohort of Russian Mayak Production Association workers	Azizova TV	Mayak 労働者 (22,377)	虚血性心疾患	死亡
Radon exposure and risk of neurodegenerative diseases among male miners in Ontario, Canada: A cohort study	Zeng X	カナダ、鉱山労働者 (36,826)	神経変性疾患	罹患
Risks of Circulatory Diseases among Korean Radiation Workers Exposed to Low-dose Radiation	Cha ES	韓国、放射線作業従事者 (196,379)	脳血管性疾患、虚血性心疾患	罹患
Mortality follow-up of Fernald Feed Materials Production Center workers exposed to uranium from 1951 to 1985	Milder CM	米国、Fernald Feed Materials Production center 労働者 (6,403)	心血管疾患、虚血性心疾患	死亡
Third mortality follow-up of the Mallinckrodt uranium processing workers, 1942–2019	Milder CM	米国、Mallinckrodt Chemical Work 労働者 (2,514)	心血管疾患、虚血性心疾患、神経変性疾患	死亡

2.6. 国際的な動向で参考となる文献の調査結果

本事業で調査した国際的な動向で参考となる文献は英国健康安全保障局（UK Health Security Agency, UKHSA）の報告書（UKHSA, 2023）である。

UKHSAの報告書では、レベル3PRA⁹コードとリスクモデル（ICRP Publ. 103（ICRP, 2007）とBEIR VII（NRC, 2006））を組み合わせ、4つの事故シナリオにおける年齢別、性別のリスクが計算されている。この報告書が作成された背景として、以下が記載されている。

- 英国の認可を受けた原子力施設が提出するセーフティケース（安全性を保障するための論拠）で示される事故による公衆の健康へのリスクは、ICRP Publ. 103（ICRP, 2007）で示される年齢と性で平均化されたリスクに基づいている。
- ICRP Publ. 147（ICRP, 2021）では、年齢別、性別のリスク係数が示されており、さらに女性や若い年齢層で放射線感受性が高いことを示す研究がいくつか報告されている。
- 本報告書では、平均化されたリスクが保守的であるかを検討するための基礎資料を提供する。

結果として、以下が記載されている。

- 1歳児のリスクは10歳児や成人のリスクに比べて高い傾向であった。
- 甲状腺がんのリスクは年齢と性で大きく異なり、1歳女児のリスクは35歳男性や全体の平均のリスクよりも最大で3桁高かった。
- 他の臓器でも年齢と性による差は見られたものの、甲状腺がんに比べて差は小さかった。例えば、肺、肝臓がんの1歳女児のリスクは、35歳男性のリスクよりも2～3倍程度高かった。骨がんの1歳女児のリスクは、35歳男性のリスクよりも2～10倍程度高かった。残りの組織のがんの1歳女児のリスクは、35歳男性のリスクよりも30倍程度高かった。
- ICRP Publ. 103（ICRP, 2007）のモデルとBEIR VII（NRC, 2006）モデルの違いによるリスクの差はほとんど見られなかった。肺がんでのみに差が見られ、BEIR VIIで求めたリスクはICRP Publ. 103で求めたリスクよりも高かった。
- 事故シナリオの違いによるリスクの差に関して、放出量が多い事故シナリオでは年齢と性の違いによる相対的なリスクの差は小さくなった。これは、どの年齢、性でも発症率が高くなり、リスクが1に近づく（発症率が100%に近づく）ように計算されることに起因している。

上記の結果を踏まえて、UKHSAの意見として、以下が記載されている。

⁹ 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。

- ・ 最も被ばくした個人を特定するためには、特定の年齢の線量を推定すべきである。
- ・ 年齢、性で平均したものは、若者や女性のリスクを過小評価しうる。

UKHSAの報告書の結果を受け、本事業のコードでは、令和5年度の概念設計の通りに、年齢別、性別でリスクを評価することとした。

他の国際機関の動向として、UNSCEARでは以下の内容に関する報告書を作成しており¹⁰、出版され次第、報告書を調査し、適宜コードに反映させることが望ましい。

- ・ 放射線とがんの疫学研究（2025年承認予定）
- ・ 放射線被ばくによる循環器系疾患（2025年承認予定）
- ・ 放射線被ばくによる神経系の疾患（2027年承認予定）

2.7. まとめ

放射線リスク推定に関する国内外における疫学研究に関して文献調査を行った。

本調査により、目的別入力関連の計算の流れはスウェーデンで開発されているリスク評価コードLARCalcと類似した流れであり、使用している換算係数にも大きな違いは見られないことを確認した。そのため、令和5年度の概念設計時に設計した計算の流れを変えずに目的別入力部分を計算することとした。

放射線被ばくによるERRに関して、原爆被爆者とそれ以外のコホートとを比較したところ、いずれの部位でも概ね相違は見られないことを確認した。低線量域での疫学研究に関してはさらなる調査が必要であるものの、令和5年度の概念設計の通り、LSSで利用されているモデルをリスク評価に利用していくこととした。ただし、今回の比較はそもそもベースラインの違いを持った集団との比較、急性被ばくと慢性被ばくとの比較であり、単純には比較できないもの同士であることに注意する必要がある。

また、UKHSAでは特定の事故シナリオにおける年齢別、性別のリスクを計算しており、その計算結果から(1) 最も被ばくした個人を特定するためには、特定の年齢の線量を推定すべきこと、(2) 年齢、性で平均したものは、若者や女性のリスクを過小評価しうることを示した。UKHSAの結果を受け、本事業のコードでは、令和5年度の概念設計の通り、年齢別、性別でリスクを評価することとした。

放射線被ばくによるがん以外の疾病について調査したところ、高線量、高線量率では虚血性心疾患と心血管疾患で有意な上昇が見られ、低線量、低線量率ではがん以外の疾病の有意な上昇は見られなかった。放射線被ばくによるがん以外の疾病に関する報告書が近年中にUNSCEARより出版される予定であり、引き続き調査が必要である。

¹⁰

https://nucleus.iaea.org/sites/committees/RASSC%20Documents/R.10.5%20UNSCEAR%20Information%20paper_20240603.pdf

3. 固形がんに対する放射線リスク計算機能の開発

本章では、固形がんに対する放射線リスク計算機能の開発として、始めにコード開発に必要な計算式を示し、その後にコード開発の詳細を示す。さらに、開発したコードの検証を実施した結果を示す。令和5年度の報告書でまとめた開発工程の取り組むべき事項と考慮すべき点・注意すべき点を考慮しながら、令和5年度に実施した概念設計に基づいて計算機能の開発を実施した。

本コードの計算の大まかな流れを図 3.1 に示す。図 3.1 に示されるように、本コードは目的別入力部分、汎用部分、目的別出力部分の3つから構成される。目的別入力部分では観測値（周辺線量当量率と個人線量当量）から臓器吸収線量を計算する部分である。汎用部分では、臓器吸収線量に加えて、被ばく時年齢、性別、評価がん部位、喫煙歴などを入力し、放射線による過剰リスク、喫煙による過剰リスク、過剰がん罹患率・死亡率、生涯寄与リスクを計算する部分である。目的別出力部分では、汎用部分の計算結果を用いながら、放射線防護分野以外で利用されているリスク指標として、余命損失と障害調整生存年（Disability-Adjusted Life Year, DALY）（Murray and Lopez, 1997）を計算する部分である。3.1節では、コードに組み込んだ各部分の計算方法の詳細や考慮した点を示す。3.2節では、コードの開発の詳細を示す。3.3節では、開発したコードの計算機能の検証を示す。3.4節では、グラフィカルユーザーインターフェース（GUI）の開発の詳細を示す。

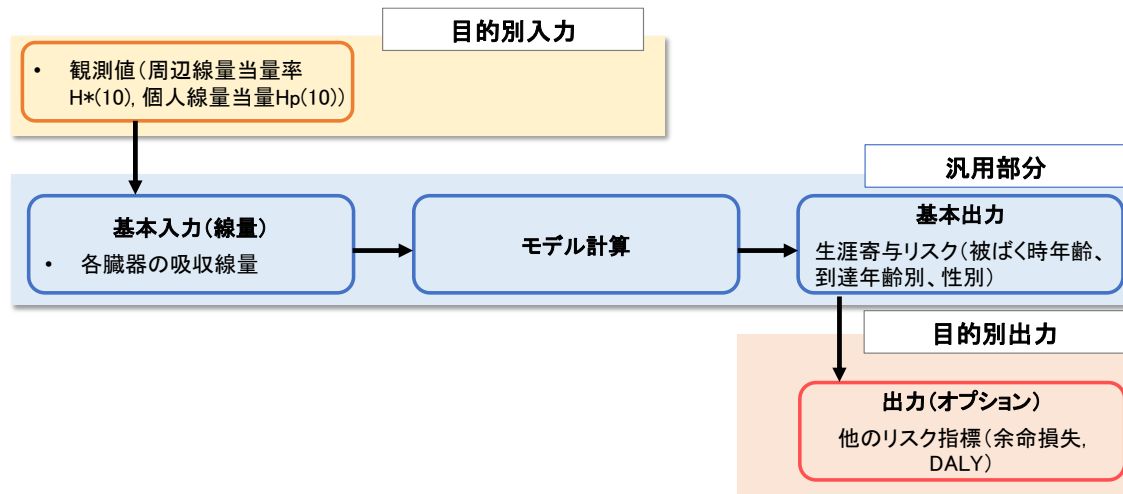


図 3.1 コードの計算の流れ

3.1. 計算方法

3.1.1. 線量観測値から臓器吸収線量への計算（目的別入力部分）

生涯寄与リスクなどを評価するときに用いられる線量は、臓器吸収線量 (Gy)である。本コードでは、汎用性を高めるために観測値からもリスクを計算できるように設計し、目的別入力部分では周辺線量当量率 $H^*(10)$ と個人線量当量 $H_p(10)$ から臓器吸収線量を計算する部分を担っている。

(1) 周辺線量当量率から臓器吸収線量への計算

ICRP Publ. 144 (ICRP, 2020)では、空气中または地表面に一様に分布した核種からの各対象者（男女の乳児、1歳、5歳、10歳、15歳、成人）の外部被ばく換算係数¹¹（濃度 (Bq m⁻³ or Bq m⁻²)あたりの実効線量率 (Sv h⁻¹)、周辺線量当量率 (Sv h⁻¹)及び臓器等価線量率 (Sv h⁻¹)）が与えられている。

換算係数と測定値の周辺線量当量率を用いて、次式によって臓器吸収線量率を計算できる。

$$\begin{aligned} \dot{D}(s, age, organ, field, energy) \\ &= \frac{H^*(10)}{DC_{amb}(field, energy) \times DC_{equ}(s, age, organ, field, energy)} \end{aligned} \quad (3.1)$$

$\dot{D}$	: 臓器吸収線量率 (Gy h ⁻¹)
$H^*(10)$	: 周辺線量当量率 (Sv h ⁻¹)
DC_{amb}	: 単位濃度あたりの周辺線量当量率換算係数 ((Sv h ⁻¹)/(Bq m ⁻³) or (Sv h ⁻¹)/(Bq m ⁻²))
DC_{equ}	: 単位濃度あたりの臓器等価線量率換算係数 ((Sv h ⁻¹)/(Bq m ⁻³) or (Sv h ⁻¹)/(Bq m ⁻²))
s	: 性別（男性、女性）
age	: 年齢
$organ$	: 臓器
$field$	: 放射線場（空气中、地表面）
$energy$	: 放射線エネルギー (Mev)

¹¹ ICRP Publ. 144 で与えられている換算係数は子孫核種の影響が入っていないことに注意が必要である。例えば、Cs-137 の場合、子孫核種である Ba-137m からの γ 線の寄与が入っていない。現状の本コードでは、ICRP Publ. 144 の換算係数をそのまま利用しているため、子孫核種の寄与を含めたい場合には、ユーザーが別途評価する必要がある。コードの利便性を考慮すると、子孫核種を含めた換算係数を整備したほうが望ましい。

外部被ばくでは光子と電子からの被ばくを評価し、吸収線量から等価線量への換算に使用する放射線加重係数が光子と電子で1としているため、式(3.1)の臓器等価線量換算係数の等価線量は吸収線量に等しいとしている。また、ICRP Publ. 144の換算係数は、乳児、1歳、5歳、10歳、15歳、成人で与えられており、年齢による割り当ては、ICRP Publ. 72 (ICRP, 1995)の年齢区分を参考に表 3.1とした。

式(3.1)で表されるように、ここで求めた値は臓器吸収線量率である。そこで、以下の仮定と手順に従って、臓器吸収線量率から被ばく時年齢ごとの臓器吸収線量を計算することとした。仮定として、1年間で被ばくする総線量はその年の初めに一括で被ばくすることとした。なお、線量率は放射壊変やウェザリングによる減衰を考慮した。さらに、屋内外に滞在した時の遮蔽効果の違いも考慮することとした。このように仮定し、被ばく時年齢ごとの臓器吸収線量 D (Gy)を計算した。計算の流れを図 3.2に示す。

表 3.1 年齢グループと年齢範囲 (ICRP Publ. 72 (ICRP, 1995)に記載)

年齢グループ	年齢範囲
3カ月 (乳児に対応と仮定)	0歳
1歳	1歳～2歳
5歳	2歳～7歳
10歳	7歳～12歳
15歳	12歳～17歳
成人	18歳以上

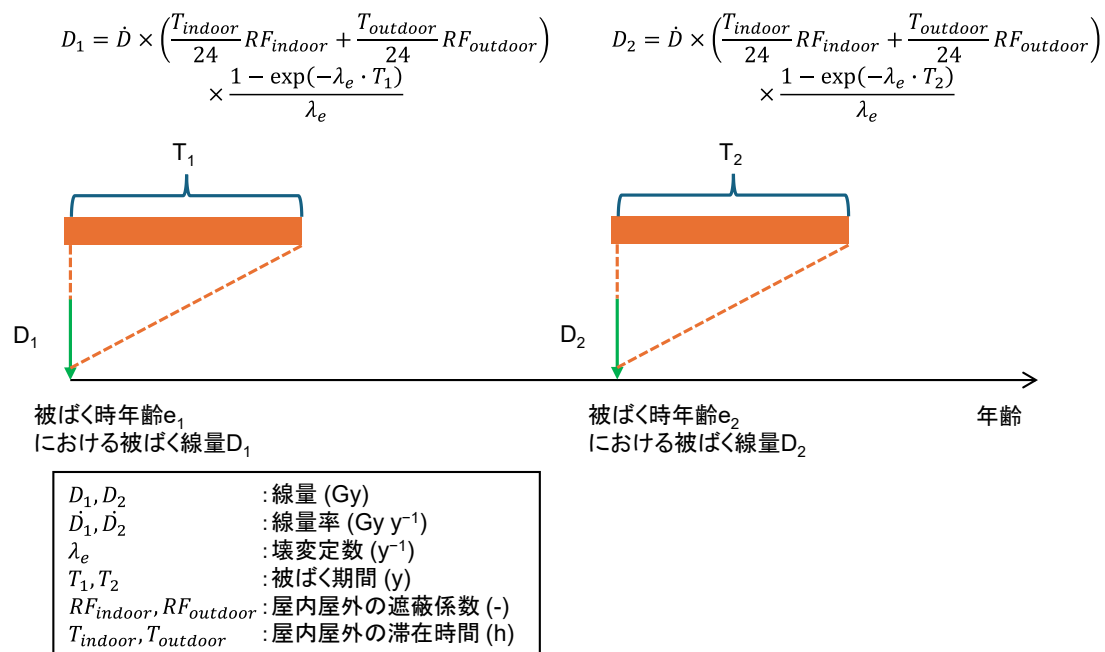


図 3.2 臓器吸収線量率から被ばく時年齢ごとの臓器吸収線量への計算の流れ

(2) 個人線量当量から臓器吸収線量への計算

ICRP Publ. 116 (ICRP, 2010)では、照射ジオメトリー（AP（前面照射）、PA（後面照射）、LLAT（左側面照射）、RLAT（右側面照射）、ROT（回転照射）、ISO（等方照射））と照射放射線（光子、電子、中性子、陽子、ミューオン、パイオン、ヘリウムイオン）に対する成人男女に関する外部被ばく換算係数（フルエンス（ cm^{-2} ）あたりの実効線量（Sv）及び臓器吸収線量（Gy））が放射線エネルギーごとに与えられている。

測定値の個人線量当量が光子の実効線量に等しいと考えた場合、ICRP Publ. 116に掲載されている換算係数を用いて、次のようにして臓器吸収線量を計算できる。

$$\begin{aligned} D(s, organ, geometry) &= \frac{H_p(10)}{\sum_{energy} DC_{eff}(s, photon, energy)} \\ &\times \sum_{energy} DC_{abs}(s, organ, geometry, energy) \end{aligned} \quad (3.2)$$

D : 臓器吸収線量 (Gy)

$H_p(10)$: 個人線量当量 (Sv)

DC_{eff} : 光子に対する単位フルエンスあたりの実効線量換算係数 (Sv cm^2)

DC_{abs} : 光子に対する単位フルエンスあたりの臓器吸収線量換算係数 (Gy cm^2)

s : 性別（男性、女性）

$organ$: 臓器

$geometry$: 照射ジオメトリー（AP, PA, LLAT, RLAT, ROT, ISO）

$energy$: 放射線エネルギー (MeV)

式(3.2)のエネルギーに関する和は、ICRP Publ. 107 (ICRP, 2008)の核データに与えられている対象核種の光子の放出エネルギーに関する和である。また、放射線エネルギーごとに与えられたICRP Publ. 116の外部被ばく換算係数はlog-log関数で補間計算をすることによって、対象エネルギーの値を算出することとした。

3.1.2. 放射線被ばくによる生涯寄与リスクの計算（汎用部分）

放射線被ばくによる生涯寄与リスク（Lifetime Attributable Risk : LAR）を計算するためには、大別して以下の3つの計算が必要である。

- 1) 過剰リスク
- 2) 過剰がん罹患率・死亡率
- 3) 生涯寄与リスク

(1) 過剰リスクの計算

過剰相対リスク（Excess Relative Risk: ERR）と過剰絶対リスク（Excess Absolute Risk: EAR）の計算式は対象とする部位や利用するリスクモデルによって異なる。ここでは、基本的な計算式を示し、リスクモデルごと、部位ごとの計算式の詳細については3.2.5項に示す。Blue Bookモデル（EPA, 2011）で示されている固形がんの過剰リスクERRとEARの基本的な評価式は以下の式で表される。

$$ERR \text{ or } EAR = \beta_s \cdot D \cdot \exp\left(\gamma \frac{\min(e, 30) - 30}{10}\right) \cdot \left(\frac{a}{60}\right)^\eta \quad (3.3)$$

D : 臓器吸収線量 (Gy)
 e : 被ばく時年齢
 a : 到達年齢
 β_s, γ, η : 統計解析で算出される係数

(2) 過剰がん罹患率・死亡率

過剰がん罹患率・死亡率 M は、上述のERRとEARを用いて計算される。ERRを利用した場合には、放射線被ばくに起因するがん罹患率・死亡率が、自然発生するがん罹患率・死亡率に対して一定の割合で発生すると仮定される。そのため、ある被ばく集団の過剰がん罹患率・死亡率は以下の式で表される。

$$M_{ERR} = \lambda_0 \cdot ERR \quad (3.4)$$

λ_0 : 自然発生によるがん罹患率・死亡率

EARを利用した場合には、放射線による過剰がん罹患率・死亡率が被ばく時の年齢のみに依存し、自然発生するがん罹患率・死亡率に依存しないと仮定される。そのため、ある被ばく集団の過剰がん罹患率・死亡率は以下の式で表される。

$$M_{EAR} = EAR \quad (3.5)$$

(3) 生涯寄与リスクの計算

ある被ばく時年齢において1回の被ばくをしたことによるがんの生涯寄与リスクは上述した過剰がん罹患率・死亡率を用いて以下の式で表される。この時、原爆被爆者とは異なる集団にリスク転換を行うために、ERR、EARのそれぞれを用いて求めたLARと重み係数 ω を利用して、重み付き幾何平均または重み付き算術平均のいずれかの処理が行われる。

$$LAR_{ERR \text{ or } EAR} = \frac{1}{DDREF} \int_{e+L}^{A_{\text{gemax}}} (M_{ERR} \text{ or } M_{EAR}) \cdot \frac{S(a)}{S(e)} da \quad (3.6)$$

$$\text{重み付き幾何平均} \quad LAR = (LAR_{ERR})^\omega \times (LAR_{EAR})^{1-\omega} \quad (3.7)$$

$$\text{重み付き算術平均} \quad LAR = \omega \cdot LAR_{ERR} + (1 - \omega) \cdot LAR_{EAR} \quad (3.8)$$

$DDREF$: 線量—線量率効果係数
 L : 最小潜伏期間 (y)
 $Agemax$: 最大到達年齢 (y)
 $S(a)$: 年齢 a の生存率
 LAR_{ERR} : ERR を用いて計算された生涯寄与リスク
 LAR_{EAR} : EAR を用いて計算された生涯寄与リスク
 ω : ERR の重み
 LAR : リスク転換後の生涯寄与リスク

式(3.6)で表されるように、低線量被ばくの場合には線量・線量率効果係数（Dose-Dose Rate Effectiveness Factor: DDREF）が考慮される。

固形がんの最小潜伏期間はEPA (2011)とICRP (2007)では5年と仮定されている。しかし、EPA (2011)のAppendix Aでは、潜伏期間中の過剰がんリスクはゼロで、それ以降に急に過剰がんリスクが生じる不連続は生物学的に妥当でないとして、潜伏期間の積分を次のように処理している。

$$\begin{cases} M_{ERR \text{ or } EAR}^* = 0 & (TSE < L - 1) \\ M_{ERR \text{ or } EAR}^* = \frac{(TSE - (L - 1))^2}{(TSE - (L - 1))^2 + (TSE - (L + 1))^2} M_{ERR \text{ or } EAR}^* & (L - 1 \leq TSE \leq L + 1) \\ M_{ERR \text{ or } EAR}^* = M_{ERR \text{ or } EAR} & (TSE \geq L + 1) \end{cases} \quad (3.9)$$

$$LAR_{ERR \text{ or } EAR} = \int_e^{Agemax} M_{ERR \text{ or } EAR}^* \cdot \frac{S(a)}{S(e)} da \quad (3.10)$$

$M_{ERR \text{ or } EAR}^*$: 補正した過剰がんリスク
 TSE : 到達年齢と被ばく時年齢の差 (= $a - e$)

本コードでは、過剰がんリスクの関数が不連続の場合（式(3.6)）と連続の場合（式(3.10)）のどちらでも計算できるようにしている。

通常であれば、がん死亡の生涯寄与リスクを計算する場合には、自然発生によるがん死亡率とがん死亡に関する過剰リスクモデルを利用し、がん罹患の生涯寄与リスクを計算する場合には、自然発生によるがん罹患率とがん罹患に関する過剰リスクモデルを利用する。本コードではがん罹患のデータからがん死亡の生涯寄与リスクも計算できるように設計した。がん罹患から死亡までの期間が短く、がん罹患の過剰リスクはがん死亡の過剰リスクとほぼ等しいと仮定した場合¹²、がん死亡の生涯寄与リスクは式(3.6)を修正して下記の式で表される。

¹² 一方、がん死亡データに基づいたがん罹患の生涯寄与リスクの計算は、不確かさの大きさや計算上の不適切さ（0で割る）が生じるため、本コードでは実施しないこととした。

$$LAR_{ERR \text{ or } EAR} = \frac{1}{DDREF} \int_{e+L}^{A_{gemax}} (M_{I,ERR} \text{ or } M_{I,EAR}) \cdot \frac{\lambda_M}{\lambda_I} \cdot \frac{S_a}{S_e} da \quad (3.11)$$

λ_M : 自然発生によるがん死亡率

λ_I : 自然発生によるがん罹患率

長期間にわたる被ばくや複数回被ばく時の生涯寄与リスクは、1回被ばくの評価式を拡張し、以下の式で表される。この式はSUMRAYコード (Sasaki et al., 2023) と同様の処理方法である。

$$LAR_{multiple} = \sum_i^n LAR_{single(i)} \quad (3.12)$$

$LAR_{multiple}$: 複数回被ばくした場合の生涯寄与リスク

$LAR_{single(i)}$: i 番目の被ばくによる生涯寄与リスク (式(3.7)または式(3.8))

n : 被ばく回数

3.1.3. 喫煙による過剰リスク (汎用部分)

本コードでは生活習慣として、喫煙によるがんリスクを考慮できるものとした。放射線被ばくと喫煙による過剰リスクを計算したものとして、Grant et al. (2017)、Cahoon et al. (2017)、Shimada and Kai (2021)が挙げられる。Grant et al. (2017)は全固形がん罹患に対して、Cahoon et al. (2017)とShimada and Kai (2021)は肺がん罹患に対してリスクモデルを開発している。

まず、喫煙による過剰がん罹患率を計算するうえで、非喫煙者の自然発生によるがん罹患率が必要となる。しかしながら、日本では喫煙者と非喫煙者を分けてがん罹患率を収集したものがほとんどないため、非喫煙者の自然発生によるがん罹患率を作成する必要がある。そこで本コードでは、Shimada and Kai (2021)の手法を利用した。Shimada and Kai (2021)は喫煙者と非喫煙者の混合集団の自然発生によるがん罹患率 (統計調査で得られる自然発生によるがん罹患率)、全体に対する喫煙者の割合、及び喫煙による過剰リスクを用いて、以下の式によって非喫煙者の自然発生によるがん罹患率を計算した。

$$\lambda_{nonsmoker} = \frac{\lambda_{mix}}{SR \times ERR_{smk} + 1} \quad (3.13)$$

$\lambda_{nonsmoker}$: 非喫煙者の自然発生によるがん罹患率

λ_{mix} : 喫煙者と非喫煙者の混合集団の自然発生によるがん罹患率

SR : 全体に対する喫煙者の割合

ERR_{smk} : 喫煙による過剰リスク ERR

喫煙による過剰リスクERRに関して、Grant et al. (2017)は以下の式を用いて、全固形

がんに対する喫煙による過剰リスクを計算している。

$$ERR_{smk} = \beta_s \left(\frac{cpd}{20} \right)^{1+\theta_1} \left(\frac{smkdur}{50} \right)^{1+\theta_2} (1 + tsq)^{\theta_3} \quad (3.14)$$

cpd : 一日あたりの喫煙本数
 $smkdur$: 喫煙期間 (y)
 tsq : 禁煙後の期間 (y)
 $\beta_s, \theta_1, \theta_2, \theta_3$: 統計解析で算出される係数

Cahoon et al. (2017)とShimada and Kai (2021)は以下の式を用いて、肺がんに対する喫煙による過剰リスクを計算している。

$$ERR_{smk} = \phi_{0,s} \cdot \left(\frac{smkdur}{50} \right)^{1+\lambda_1} \cdot cpd^{1+\lambda_2} \cdot (1 + tsq)^v \cdot \exp \left(\phi_{1,s} \cdot \left(\frac{byr - 1915}{10} \right) \right) \quad (3.15)$$

byr : 誕生年
 $\phi_{0,s}, \phi_{1,s}, \lambda_1, \lambda_2, v$: 統計解析で算出される係数

Grant et al. (2017)、Cahoon et al. (2017)、Shimada and Kai (2021)は、上記の式で計算された喫煙による過剰リスクと放射線被ばくによる過剰リスクを合算する方法として、乗法と加法を考えている。Shimada and Kai (2021)によると、100 mGyではどちらの手法を用いてもリスクの違いは小さいことを指摘しており、本コードでは単純な加法（式(3.16)）を利用して、両者の過剰リスクを合算することとした。

$$ERR_{Tot} = ERR_{rad} + ERR_{smk} \quad (3.16)$$

ERR_{Tot} : 放射線被ばくと喫煙の両方による過剰リスク
 ERR_{rad} : 放射線被ばくによる過剰リスク
 ERR_{smk} : 喫煙による過剰リスク

3.1.4. 余命損失とDALYの計算（目的別出力部分）

DALYは早世によって失われた年数（Years of Life Lost due to premature mortality: YLL, 余命損失とも呼ぶ）と障害を有することによって失われた年数（Years Lived with Disability: YLD）の2つの成分の和から構成されている。YLLはがん死亡の余命損失に基づいた算出値となっている。YLDはがん罹患のリスクに基づいて障害重みと障害平均年を加味した算出値となっている。したがって、DALYではがん死亡と罹患の両方を考慮した値となっている。

本コードでは、Shimada and Kai (2015)の手法を用いて、余命損失YLLとDALYを計算する。1回被ばく時における計算式は下記のとおりである。

$$DALY = YLL + YLD \quad (3.17)$$

$$YLL = \int_{a=e+L}^{Agemax} M_I(a) \cdot \frac{\lambda_{0,M}(a)}{\lambda_{0,I}(a)} \cdot \frac{S(a)}{S(e)} \cdot LE(a) da \quad (3.18)$$

$$YLD = DW \cdot YD \int_{a=e+L}^{Agemax} M_I(a) \cdot \frac{S(a)}{S(e)} da \quad (3.19)$$

$$LE(a) = \frac{\int_a^{Agemax} S(t) dt}{S(a)} \quad (3.20)$$

$$YD = -\frac{\ln 2}{0.2 \times \ln SF} \quad (3.21)$$

- $Agemax$: 最大到達年齢 (y)
 a : 到達年齢 (y)
 e : 被ばく時年齢 (y)
 L : 最小潜伏期間 (y)
 $M_I(a)$: 年齢 a での過剰がん罹患率
 $\lambda_{0,M}(a)$: 年齢 a での自然発生によるがん死亡率
 $\lambda_{0,I}(a)$: 年齢 a での自然発生によるがん罹患率
 $S(a)$: 年齢 a での生存率
 $LE(a)$: 年齢 a での平均余命 (y)
 DW : がん部位の障害の重み
 YD : がん部位の障害平均年 (y)
 SF : がん部位の 5 年生存率

長期間にわたる被ばくや複数回被ばく時のYLLとDALYは、生涯寄与リスクと同様に1回被ばくの評価式を拡張し、以下の式で表される。

$$YLL_{multiple} = \sum_i^n YLL_{single(i)} \quad (3.22)$$

$$DALY_{multiple} = \sum_i^n DALY_{single(i)} \quad (3.23)$$

- $YLL_{multiple}$: 複数回被ばくした場合の余命損失
 $YLL_{single(i)}$: i 番目の被ばくによる余命損失 (式(3.18))
 $DALY_{multiple}$: 複数回被ばくした場合の DALY
 $DALY_{single(i)}$: i 番目の被ばくによる DALY (式(3.17))
 n : 被ばく回数

3.2. 計算コードの開発

3.2.1. 開発言語

令和5年度の概念設計では、使用する言語として.NET系の言語が望ましいと結論付けられた。また、人口分布などのデータベースはMicrosoft Accessを利用して作成されていることから、Accessデータベースの利用が容易であり、数値計算関連のライブラリが整備されている.NET系の言語として、C#言語を利用することとした。

3.2.2. 外部ライブラリ

開発の評価コードで使用した外部ライブラリの一覧を表 3.2に、またこれら外部ライブラリのライセンス概要を表 3.3に示す。表 3.2と表 3.3に示したもの全てに対して、商用利用は可能である。

「System.Data.OleDb」はAccessデータベースの処理に必要なライブラリで、これ単独では使用できず、事前に「Microsoft.ACE.OLEDB.12.0」(Windowsにのみ対応)がインストールされている必要がある。

「MathNet.Numerics」と「xFunc.Maths」はともにリスク計算のときに用いる。前者の「MathNet.Numerics」は生命表、ベースラインがん罹患率・死亡率などの離散的なデータを線形補間により計算し、生涯予測を積分計算するとき使用する。後者の「xFunc.Maths」はテキストファイルに記述した過剰リスクモデルの数式をコードに読み込んだ後、それをコード内部の数式として処理できるようにする。「xFunc.Maths」で評価できる主な演算子と関数は、次のようになっている¹³。なお、変数名にはアンダーバー“_”が使用できないことに注意する必要がある。

- ・ 演算子：+ (加算), - (引き算), * (掛け算), / (割り算), ^ (べき乗)
- ・ 指数関数と逆関数：exp (x), ln (x)
- ・ 三角関数と逆関数：sin (x), arcsin (x), . . .
- ・ 統計関数：min (a, b . . .), max (a, b . . .), . . .

「NLog」は計算過程のログをファイルなどに出力するために使用する。

¹³ 評価できる全ての演算子と関数については、<https://sys27.github.io/xFunc/articles/supported-functions-and-operations.html>を参照

表 3.2 計算部分の開発に使用した外部ライブラリの一覧

外部ライブラリ	ライセンス	作成者	用途
System.Data.OleDb ⁽¹⁾ (Ver. 8.0.0)	MIT	Microsoft	Access データベース処理
MathNet.Numerics (Ver. 6.0.0-beta1)	MIT	Christoph Ruegg, Marcus Cuda, Jurgen Van Gael	補間計算と数値積分
xFunc.Maths ⁽²⁾ (Ver. 4.4.1)	MIT	Dmytro Kyshchenko	テキスト形式の数式を 処理
NLog (Ver. 5.3.2)	BSD-3- Clause	Jarek Kowalski, Kim Christensen, Julian Verdurmen	実行時のログ出力

(1) コードからAccessデータベースに接続するには「Microsoft.ACE.OLEDB.12.0」が事前にインストールされている必要があり、Windowsにのみ対応している。インストールされているかを確認するには、PowerShellを起動し、次のように入力する。

```
PS> (New-Object data.oledb.oledbenumerator).getElements() | select SOURCES_NAME,  
SOURCES_DESCRIPTION
```

(2) C#専用のライブラリ（参照：<https://www.nuget.org/packages/xFunc.Maths>）

表 3.3 計算部分の開発に使用した外部ライブラリのライセンス概要

ライセンス	商用利用	ソースコード	再配布	必要な要件
MIT	可能	開示不必要	可能	著作権・ライセンスの全文を表記する
BSD-3- Clause	可能	開示不必要	可能	著作権・ライセンス・免責条項を表記し、製品の宣伝に当オープンソースの著作者名を使用しない

3.2.3. 処理流れ

本コードの計算部分の処理流れを図 3.3に示す。始めにデータの読み込みを行い、ベースラインのステップ計算または補間計算を選ぶ。次に核種、がん部位、性別、被ばく回数のループの中で線量及び生涯寄与リスク、余命損失またはDALYの計算を行う。

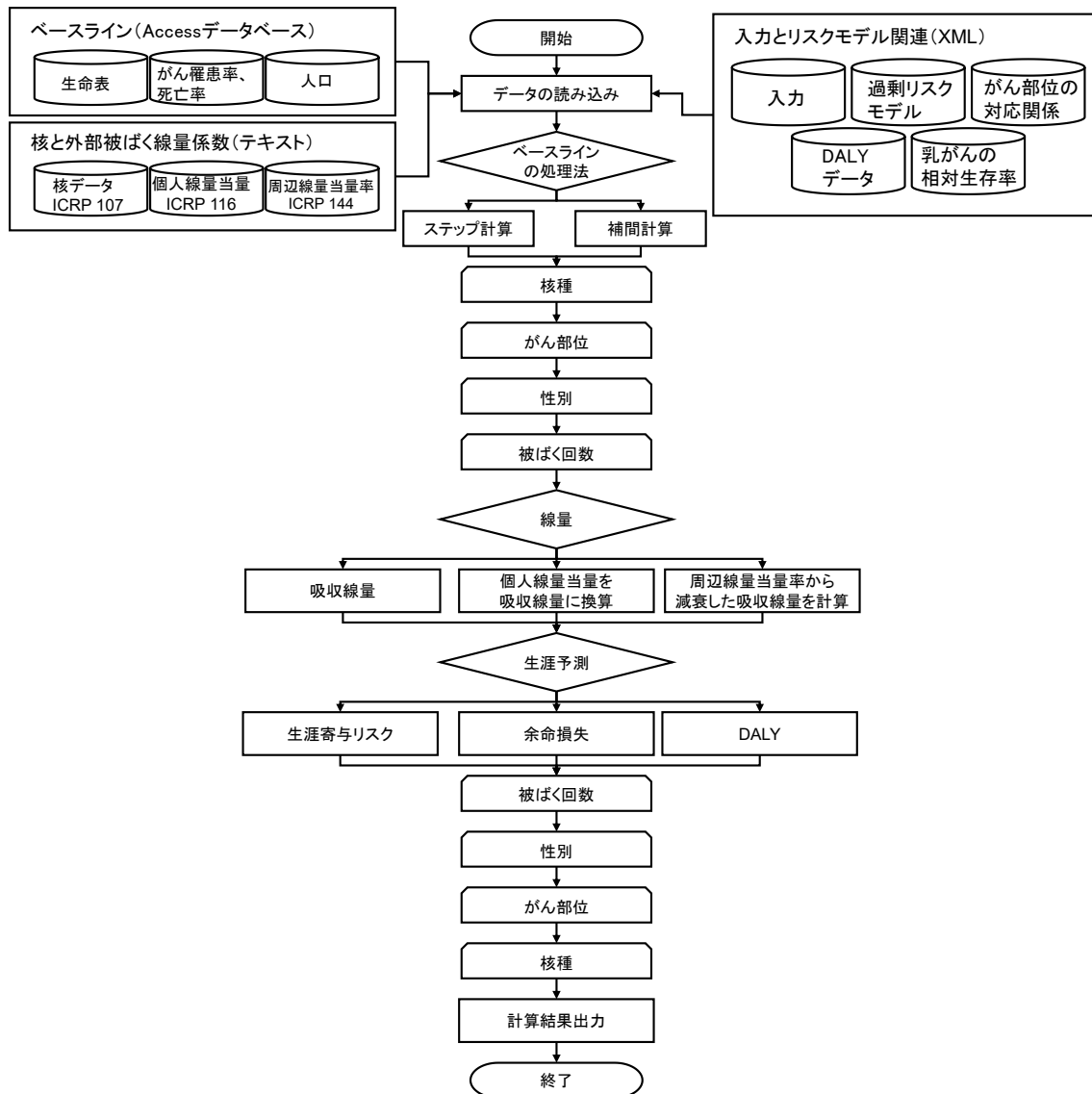


図 3.3 本コードの計算部分の処理流れ

3.2.4. 必要なデータ

計算コードに必要なデータは、図 3.3に示したように、ベースライン、核データと外部被ばく線量係数及び入力とリスクモデル関連である。それぞれのデータ内容について以下に示す。

(1) ベースライン

生命表、自然発生によるがん罹患率と死亡率及び人口に関する基礎は令和5年度にAccessデータベース形式で整備した。そのAccessデータベースの内容を表 3.4に示す。

生命表は4つのテーブルがあり、そのうち3つのテーブルはカラム構成が同じで、全国のがん以外の疾病による死亡も含んだ死亡率が収録されている。残りの1つのテーブルは全国を含む都道府県のがん以外の疾病による死亡も含んだ死亡率と平均余命などのその他の値も収録されている。

自然発生によるがん罹患率は5つのテーブルがあり、そのうち3つのテーブルが同じカラム構成で全国のがん罹患率を収録し、残りの2つのテーブルは全国と都道府県別のがん罹患率を収録している。またカラム構成の中の年齢グループは0-4歳、・・・の5歳刻みで全てのテーブルで同じである。ただし、末端の年齢グループが85歳以上（カラム数18個）と100歳以上（カラム数21個）の2種類が存在する。なお、年齢グループは中間年齢（0-4歳であれば2歳、5-9歳であれば7歳）を代表年齢とし、年齢グループの末端（85歳以上と100歳以上）は87歳と105歳を代表年齢に設定し、線形補間によって計算するときに用いる年齢とした。

自然発生によるがん死亡率は3つのテーブルがあるが、そのうちの1つは部位のカラムがない。このため部位別のがん死亡率が取得できないことから本テーブル（がん死亡_都道府県別）は使用しないこととした。残りの2つのテーブルは年齢グループの末端が85歳以上と95歳以上であり、この点だけが異なっている。また、がん罹患率のときと同様に、年齢グループは中間年齢（0-4歳であれば2歳、5-9歳であれば7歳）を代表年齢とし、年齢グループの末端（85歳以上と95歳以上）は87歳と97歳を代表年齢に設定し、線形補間による計算に用いる年齢とした。

人口は1つのテーブルのみで、年齢別、男女別の人口を取得するようにした。

表 3.4 ベースラインデータのAccessデータベースの内容

ベースライン	テーブル名	カラム名
生命表	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	同上
	死亡率_全国_国立社会保障・人口問題研究所	同上
	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
がん罹患率	がん罹患_全国実測値_国立がん研究センター	コード、部位、ICD-10、性別、診断年、粗率、0-4歳、5-9歳、10-14歳、15-19歳、20-24歳、25-29歳、30-34歳、35-39歳、40-44歳、45-49歳、50-54歳、55-59歳、60-64歳、65-69歳、70-74歳、75-79歳、80-84歳、85歳以上
	がん罹患_全国推計値_国立がん研究センター	同上
	がん罹患_高精度地域実測値_国立がん研究センター	コード、部位、ICD-10、性別、診断年、全年齢、粗率、0-4歳、5-9歳、10-14歳、15-19歳、20-24歳、25-29歳、30-34歳、35-39歳、40-44歳、45-49歳、50-54歳、55-59歳、60-64歳、65-69歳、70-74歳、75-79歳、80-84歳、85歳以上
	がん罹患_全国がん罹患データ_国立がん研究センター	コード、部位、ICD-10、性別、診断年、粗率、0-4歳、5-9歳、10-14歳、15-19歳、20-24歳、25-29歳、30-34歳、35-39歳、40-44歳、45-49歳、50-54歳、55-59歳、60-64歳、65-69歳、70-74歳、75-79歳、80-84歳、85-89歳、90-94歳、95-99歳、100歳以上
	がん罹患_都道府県別	都道府県番号、都道府県、コード、部位、ICD-10、性別、診断年、全年齢、0-4歳、5-9歳、10-14歳、15-19歳、20-24歳、25-29歳、30-34歳、35-39歳、40-44歳、45-49歳、50-54歳、55-59歳、60-64歳、65-69歳、70-74歳、75-79歳、80-84歳、85歳以上
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	コード、部位、ICD、ICDコード、性別、死亡年、粗率、0-4歳、5-9歳、10-14歳、15-19歳、20-24歳、25-29歳、30-34歳、35-39歳、40-44歳、45-49歳、50-54歳、55-59歳、60-64歳、65-69歳、70-74歳、75-79歳、80-84歳、85歳以上
	がん死亡_新基準人口_国立がん研究センター	コード、部位、ICD、ICDコード、性別、死亡年、粗率、0-4歳、5-9歳、10-14歳、15-19歳、20-24歳、25-29歳、30-34歳、35-39歳、40-44歳、45-49歳、50-54歳、55-59歳、60-64歳、65-69歳、70-74歳、75-79歳、80-84歳、85-89歳、90-94歳、95歳以上
	がん死亡_都道府県別 ⁽¹⁾	都道府県番号、都道府県、年、性別、全年齢（年齢不詳含む）、0-74歳合計、0-4歳、5-9歳、10-14歳、15-19歳、20-24歳、25-29歳、30-34歳、35-39歳、40-44歳、45-49歳、50-54歳、55-59歳、60-64歳、65-69歳、70-74歳、75-79歳、80歳以上
人口	人口分布	年齢、男女合計、男、女、人口性比

⁽¹⁾ 部位のカラムが無い場合、本テーブルは使用しない

(2) 核データと外部被ばく線量係数

評価コードの線量計算に必要となるICRPで公開されている核データと外部被ばく線量係数を表 3.5に示す。ICRP Publ.107 (ICRP, 2008)の核データから半減期と光子の放出エネルギーを取得し、減衰及び光子の外部被ばく線量換算係数を計算するときに用いる。ICRP Publ. 116 (ICRP, 2010)の光子の外部被ばく線量換算係数は、個人線量当量から臓器吸収線量を計算するときに用いる。ICRP Publ. 144 (ICRP, 2020)の空気サブマージョンと地表面からの外部被ばく線量係数は、周辺線量当量率から臓器等価線量率を計算するときに用いる。

表 3.5 コードで使用するICRPの核データと外部被ばく線量係数

ICRP	ファイル名	内容	用途
Publ.107	ICRP-07.NDX	核種に関する崩壊系列, 半減期など	崩壊減衰計算に使用
	ICRP-07.RAD	核種に関する放射線の放出率とエネルギー	光子の放出エネルギーの算出に使用
Publ.116	Photons_Effective dose.txt	光子による外部被ばく実効線量換算係数 (pSv cm ²)	個人線量当量から臓器吸収線量への変換に使用
	Photons_R-marrow_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく赤色骨髓線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_Colon_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく結腸線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_Lungs_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく肺線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_St-wall_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく胃線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_Breast_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく乳房線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_UB-wall_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく膀胱線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_Oesophagus_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく食道線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_Liver_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく肝臓線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_Thyroid_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく甲状腺線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_Endost-BS_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく骨表面線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_Brain_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく脳線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_S-glands_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく唾液腺線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_Skin_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく皮膚線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_Remainder_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく残り線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_Adrenals_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく副腎線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_ET_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく胸郭外線量換算係数 (pGy cm ²)	
	Photons_GB-wall_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく胆嚢線量換算係数 (pGy cm ²)	

表 3.5 コードで使用するICRPの核データと外部被ばく線量係数（続き）

ICRP	ファイル名	内容	用途
Publ.116	Photons_Ht-wall_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく心臓線量換算係数(pGy cm ²)	個人線量当量から臓器吸収線量への変換に使用
	Photons_Kidneys_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく腎臓線量換算係数(pGy cm ²)	
	Photons_Lymph_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばくリンパ腺線量換算係数(pGy cm ²)	
	Photons_Muscle_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく筋肉線量換算係数(pGy cm ²)	
	Photons_O-mucosa_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく口腔粘膜線量換算係数(pGy cm ²)	
	Photons_Pancreas_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく膵臓線量換算係数(pGy cm ²)	
	Photons_SI-wall_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく小腸線量換算係数(pGy cm ²)	
	Photons_Spleen_X.txt (X=Male,Female)	男,女の光子による外部被ばく脾臓線量換算係数(pGy cm ²)	
	Photons_Thymus_Male.txt	男,女の光子による外部被ばく胸腺線量換算係数(pGy cm ²)	
	Photons_Testes_Male.txt	男の光子による外部被ばく精巣線量換算係数(pGy cm ²)	
	Photons_Prostate_Male.txt	男の光子による外部被ばく前立腺線量換算係数(pGy cm ²)	
	Photons_Ovaries_Female.txt	女の光子による外部被ばく卵巣線量換算係数(pGy cm ²)	
	Photons_Uterus_Female.txt	女の光子による外部被ばく子宮線量換算係数(pGy cm ²)	
Publ.144	Air_Nuclide-specific_EffectiveDose.txt	空気サブマージョンからの外部被ばく実効線量係数[(nSv/h)/(Bq/m ³)]	周辺線量当量率から臓器等価線量率の変換に使用
	Air_Nuclide-specific_EquivalentDose_male.txt	男の空気サブマージョンからの外部被ばく臓器等価線量係数[(nSv/h)/(Bq/m ³)]	
	Air_Nuclide-specific_EquivalentDose_female.txt	女の空気サブマージョンからの外部被ばく臓器等価線量係数[(nSv/h)/(Bq/m ³)]	
	Soil_Nuclide-specific_EffectiveDose.txt	地表面からの外部被ばく実効線量係数[(nSv/h)/(Bq/m ²)]	
	Soil_Nuclide-specific_EquivalentDose_male.txt	男の地表面からの外部被ばく臓器等価線量係数[(nSv/h)/(Bq/m ²)]	
	Soil_Nuclide-specific_EquivalentDose_female.txt	女の地表面からの外部被ばく臓器等価線量係数[(nSv/h)/(Bq/m ²)]	

(3) リスクモデル関連

ERRとEARのモデル式や係数の値は、性別、がん部位ごとに異なるため、それぞれ評価する必要がある。本コードでは、以下4つのリスクモデルを予め組み込むこととした。なお、これらのモデルの詳細は3.2.5項に記載する。

1. Blue Bookモデル (EPA, 2011) (LSS13相当)
2. ICRPモデル (ICRP, 2007) (LSS13相当)
3. Ozasaモデル (Ozasa et al., 2012) (LSS14相当)
4. LSS14相当の罹患モデル

これらを階層的に整理するためにXML形式のデータとして整備することとした。そのXML形式データの階層構造を図 3.4に示す。ライブラリのxFuncで処理するための数式、例えばEPA (2011)のデフォルトの過剰リスクモデル式と対応するXML要素の記述は次の通りである。

$$\begin{aligned} & \text{EPA2011のデフォルトの過剰リスクモデル式} \\ & ERR \text{ or } EAR = \beta_s D \cdot \exp\left(\gamma \frac{\min(e, 30) - 30}{10}\right) \cdot \left(\frac{a}{60}\right)^\eta \\ & \quad \downarrow \\ & \text{XML要素「DefaultFormula」の記述} \\ & \text{beta*dose*exp(gamma*((min(ageE,30)-30)/10))*(ageA/60)^eta} \end{aligned}$$

また、EPA(2011)の甲状腺がんのような特別な式では次のようになる。

$$\begin{aligned} & \text{EPA2011の甲状腺がんの過剰リスクモデル式} \\ & ERR = \beta \cdot D \cdot A(e) \cdot T(t) \\ & \beta = 10.7, A(e) = \begin{cases} 1.0 (e < 5) \\ 0.6 (5 \leq e < 10) \\ 0.2 (10 \leq e < 15) \\ 0.2 \cdot \exp[-0.083(e - 15)] (15 \leq e) \end{cases}, T(t) = \begin{cases} 0 (t < 5) \\ 1.15 (5 \leq t < 15) \\ 1.9 (15 \leq t < 20) \\ 1.2 (20 \leq t < 25) \\ 1.6 (25 \leq t < 30) \\ 0.47 (30 \leq t) \end{cases} \\ & \quad \downarrow \\ & \text{XML要素「Formula」の記述} \\ & \text{beta*dose*if(ageE<5,1.0,if(ageE<10,0.6,if(ageE<15,0.2,0.2*exp(-0.083*(ageE-15)))))*if(timeE<5,0,if(timeE<15,1.15,if(timeE<20,1.9,if(timeE<25,1.2,if(timeE<30,1.6,0.47))))} \end{aligned}$$

その他の過剰リスクモデルのXML形式データとして、各データで使用する部位名の対応関係データ (図 3.5) 及びDALY評価データ (図 3.6) がある。前者は、過剰リスクモデル、がん罹患・死亡率及び線量係数で表示される部位名が若干異なること (例：胃がんを“胃”と“Stomach”などのように表示) から、その対応関係を記述し、がん罹患・死亡率及び線量係数のデータを取得するときに使用する。後者は、DALYの計算のときに使用する。

また、EPA(2011)では、乳がんの死亡リスクを評価するために相対生存率が必要である。そのXMLデータは図 3.7である。このモデルを考慮したい場合はXML要素「IsActivation」をtrueにし、考慮しない場合はfalseにする。

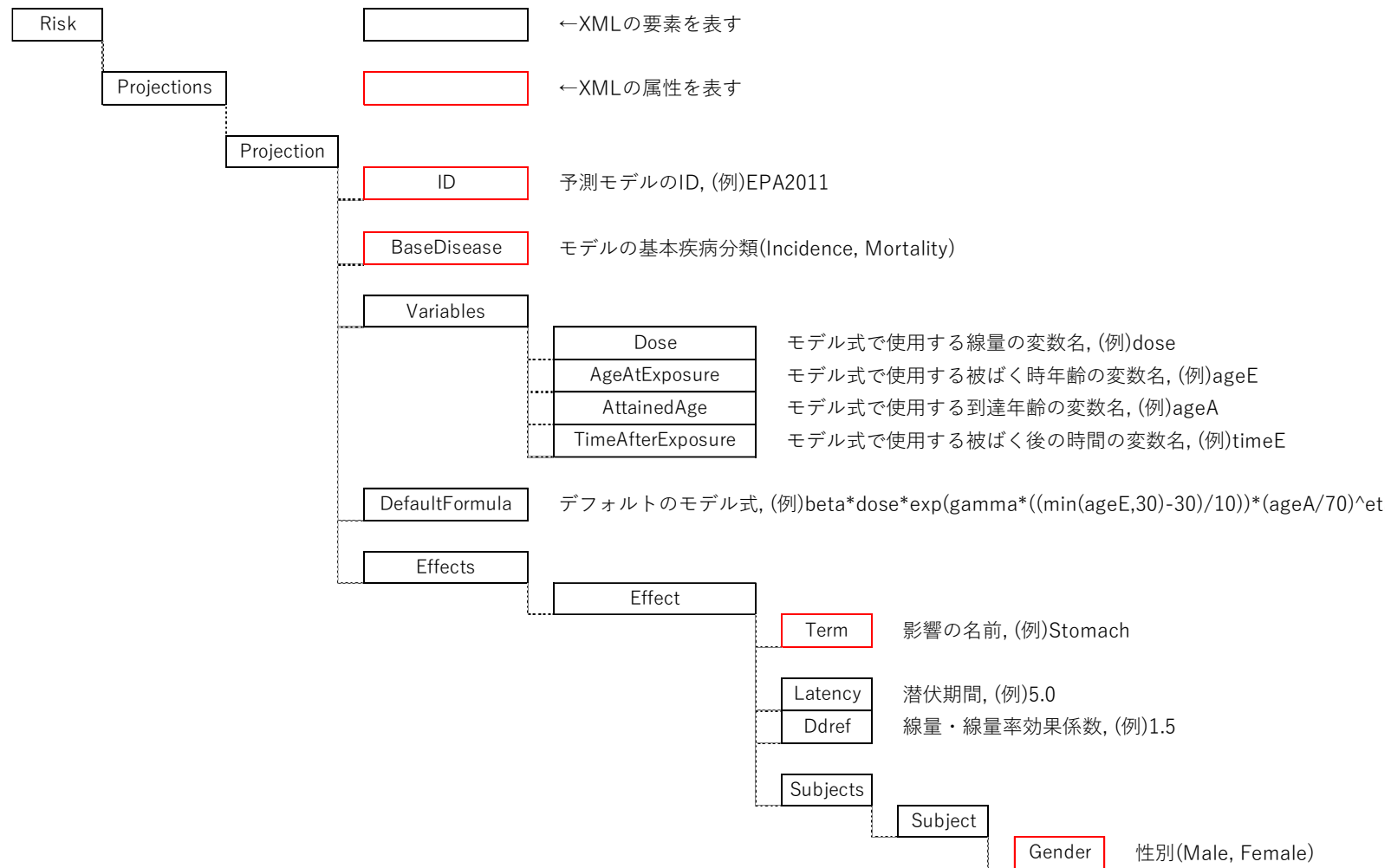


図 3.4 過剰リスクモデルのXML形式データの階層構造(1/2)

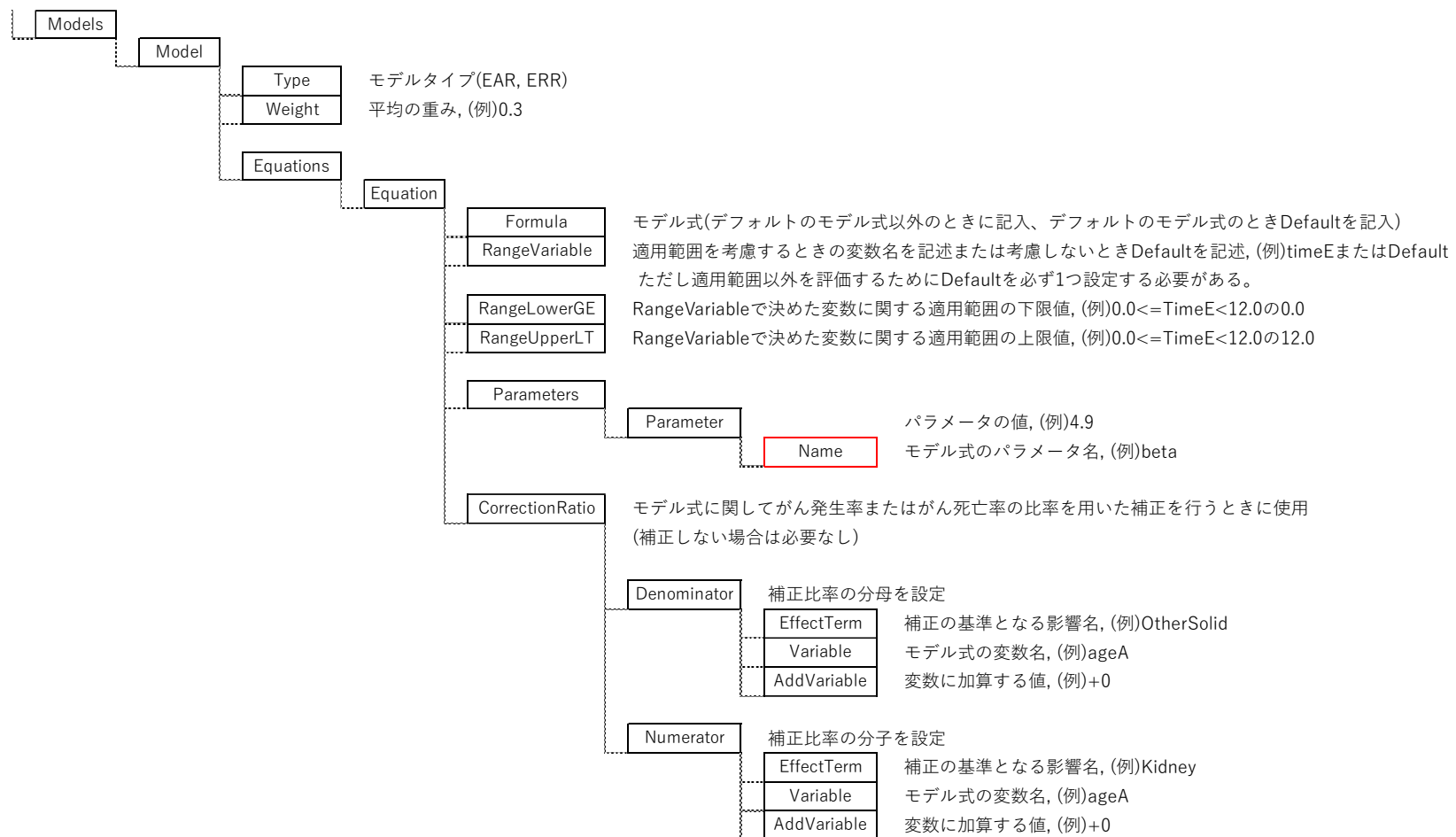


図 3.4 過剰リスクモデルに関するXML形式データの階層構造(2/2)

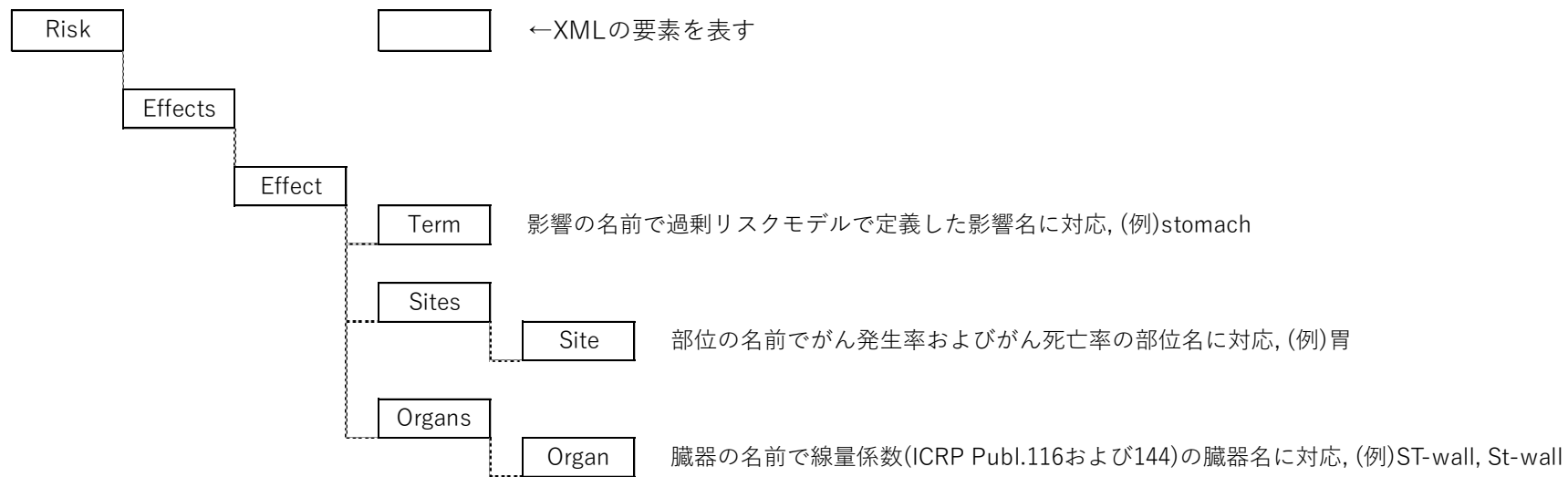


図 3.5 各データで使用する部位名の対応関係に関するXML形式データの階層構造

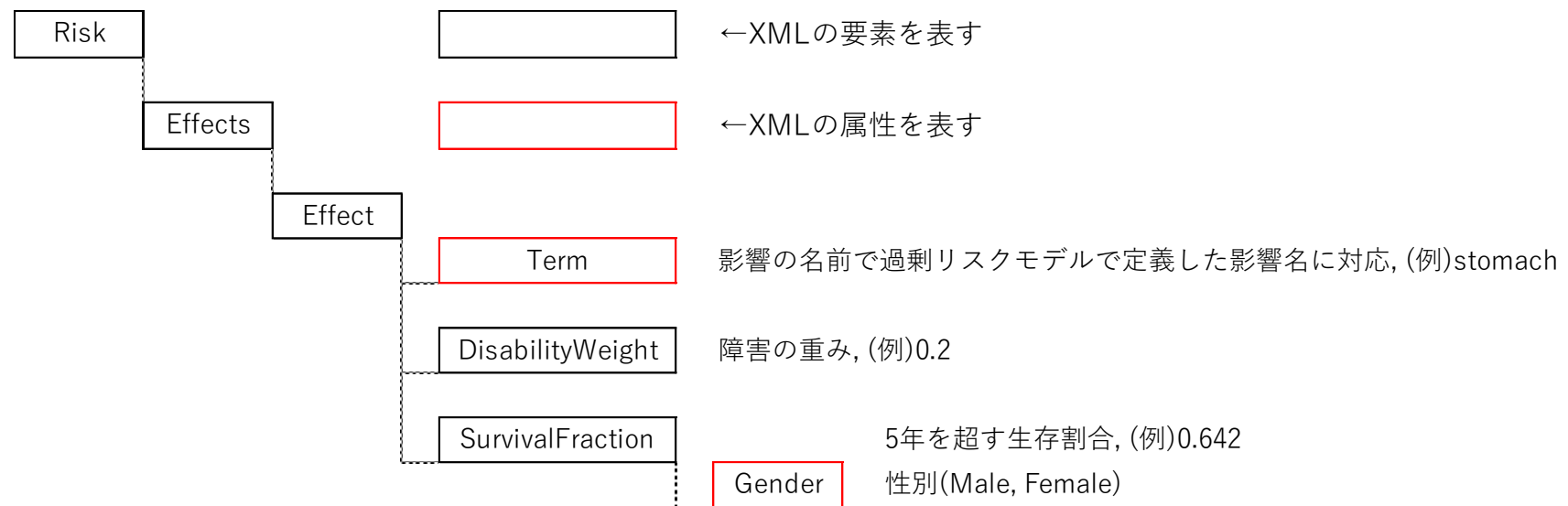


図 3.6 DALY評価に関するXML形式データの階層構造

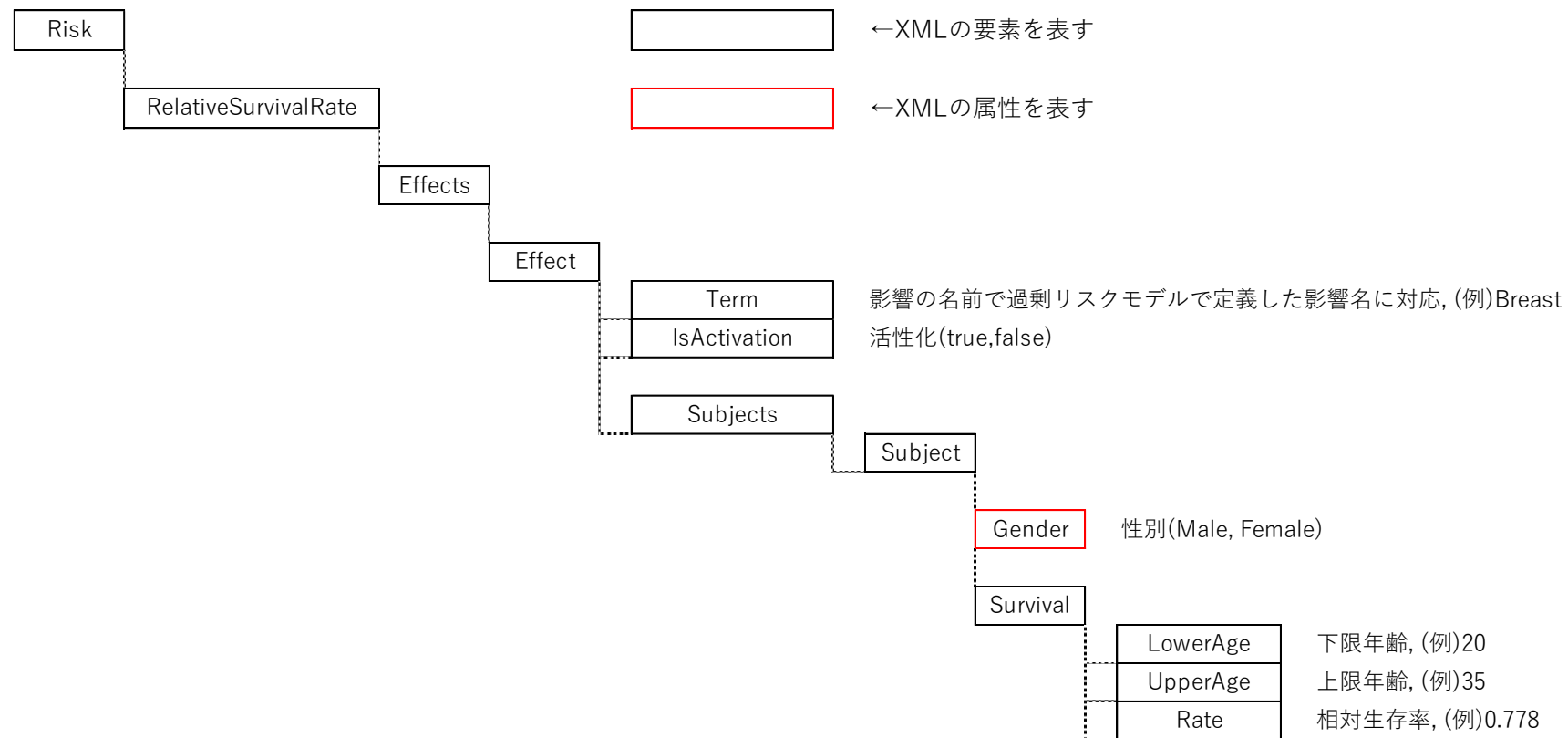


図 3.7 相対生存率に関するXML形式データの階層構造

(4) 入力データ

入力は、XML形式のデータとし、評価コードで使用する各種データ及び計算条件を設定する。その階層構造を図 3.8に示す。

使用するデータは、先述したようにベースラインデータ（要素：Baseline）、核データと外部被ばく線量係数（要素：Radiation）及び過剰リスクモデルデータ（要素：Model）を設定する。ベースラインは、取得するデータベースのテーブル名と年を設定する。最後に詳細な計算条件（要素：Estimate）を設定する。



図 3.8 入力のXML形式データの階層構造 (1/2)



図 3.8 入力のXML形式データの階層構造 (2/2)

3.2.5. 計算結果

計算結果はカンマ区切りのテキストファイル（ResultRisk.out）で出力し、その出力内容を表 3.6に示す。前半（行1～13）に計算条件を出力し、後半（行14～17）に計算値を出力する。

表 3.6 計算コードの計算結果の出力内容

行	列	内容
1	1	Projection(項目名)
	2	放射線リスクモデル ID
2	1	OutDir(項目名)
	2	出力ディレクトリ
3	1	UpperLifetime(項目名)
	2	生涯年齢の上限値
4	1	DiseaseClass(項目名)
	2	Incidence(罹患リスク)または Mortality(死亡リスク)
5	1	IsRisk(項目名)
	2	True(リスク計算する)または False(リスク計算しない)
6	1	IsLoss(項目名)
	2	True(余命損失計算する)または False(余命損失計算しない)
7	1	IsDaly(項目名)
	2	True(DALY 計算する)または False(DALY 計算しない)
8	1	Genders(項目名)
	2	個数
	3	Male(男性)または Female(女性)
9	1	Effects(項目名)
	2	個数
	3	影響名(Stomach など)
10	1	Exposures(項目名)
	2	個数
11	1	exposure000(被ばく計算番号)
	2	Cs-137(被ばく核種)
	3	MultipleExposure(多数回被ばく)
	4	AbsorbedDose または AbsorbedDoseRate または IndividualDose または AmbientDoseRate(被ばく線量または線量率)
12	1	Terms(項目名)
	2	個数
13		改行

表 3.6 計算コードの計算結果の出力内容（続き）

行	列	内容
14	1	被ばく条件
15	1	Term(項目名)
	2	AgeAtExp(項目名：被ばく時年齢 (y))
	3	ExpPeriod(項目名：被ばく期間 (d))
	4	Dose(項目名：線量[Gy]または線量率のとき積算線量 (Gy))
	5	RiskEAR(項目名：EAR の生涯寄与リスク)
	6	RiskERR(項目名：ERR の生涯寄与リスク)
	7	RiskAriMean(項目名：重み算術平均の生涯寄与リスク)
	8	RiskGeoMean(項目名：重み幾何平均の生涯寄与リスク)
	9	LossEAR(項目名：EAR の余命損失 (y))
	10	LossERR(項目名：ERR の余命損失 (y))
	11	LossAriMean(項目名：重み算術平均の余命損失 (y))
	12	LossGeoMean(項目名：重み幾何平均の余命損失 (y))
	13	YLL(項目名：Years of Life Lost (y))
	14	YLD(項目名：Years Lived with Disability (y))
	15	DALY(項目名：Disability-Adjusted Life Year (y))
16	1	影響名(Stomach など)
	2	性別(Male または Female)
17	1	term_000 など
	2	被ばく時年齢 (y)
	3	被ばく期間 (d)
	4	線量 (Gy)または線量率のとき積算線量 (Gy)
	5	EAR の生涯寄与リスク
	6	ERR の生涯寄与リスク
	7	重み算術平均の生涯寄与リスク
	8	重み幾何平均の生涯寄与リスク
	9	EAR の余命損失 (y)
	10	ERR の余命損失 (y)
	11	重み算術平均の余命損失 (y)
	12	重み幾何平均の余命損失 (y)
	13	Years of Life Lost (y)
	14	Years Lived with Disability (y)
	15	Disability-Adjusted Life Year (y)

3.2.6. コマンドプロンプトからの計算実行

計算コードは、実行ファイル（RiskCalc.exe）及び3.2.4項の計算に必要なデータ（ベースライン、核データと外部被ばく線量係数、リスクモデル関連、入力データ）を用いてコマンドプロンプトから実行できる。

入力データのファイル（RiskInput.xml）にベースラインのファイル、核データと外部被ばく線量係数のファイル、リスクモデル関連のファイルをそれぞれ記述し、次のようにコマンドプロンプトに入力して実行する。計算結果は入力データで記述した出力フォルダに計算結果ファイル（ResultRisk.out）が出力される。

```
> RiskCalc.exe RiskInput.xml
```

3.2.7. 予め用意したリスクモデルの詳細

リスクモデルとして以下の4つを予め用意した。ここでは、各モデルの詳細について記す。個別に表示していないがん部位については計算できず、残りとしてグループ化して計算することになる。今後新たに個別に評価すべき部位が生じた場合にはコードを更新していく必要があり、その対応を容易にできる設計となっている。

リスクモデル	参考文献	対応するLSS	xmlファイルの名称
Blue Bookモデル	EPA, 2011	LSS13	RiskModel_EPA2011.xml
ICRPモデル	ICRP, 2007	LSS13	RiskModel_ICRPinci.xml（罹患） RiskModel_ICRPMor.xml（死亡）
Ozasaモデル	Ozasa et al., 2012	LSS14	RiskModel_ozasa.xml
LSS14相当の罹患モデル	表 3.10参照	LSS14	RiskModel_LSS14.xml

(1) Blue Book モデル（EPA, 2011）

Blue Bookモデルでは、乳がん、腎臓がん、骨がん、皮膚がん及び甲状腺がん以外の固形がんに対しては、以下の式を用いてERRとEARを評価している。

$$ERR \text{ or } EAR = \beta_s \cdot D \cdot \exp\left(\gamma \frac{\min(e, 30) - 30}{10}\right) \cdot \left(\frac{a}{60}\right)^\eta \quad (3.24)$$

D : 臓器吸収線量 (Gy)
 e : 被ばく時年齢
 a : 到達年齢
 β_s, γ, η : 統計解析で算出される係数（表 3.7）

乳がんはEARのみを評価し、そのEARのモデル式は次式で与えられている。

$$EAR = \beta_F \cdot D \cdot \exp\left(\gamma \frac{\min(e, 25) - 25}{10}\right) \cdot \left(\frac{a}{50}\right)^\eta \quad (3.25)$$

D : 臓器吸収線量 (Gy)

- e : 被ばく時年齢
 a : 到達年齢
 β_s, γ, η : 統計解析で算出される係数 (表 3.7)

腎臓がんに対して、ERRモデルは残りのがんのERRモデルをそのまま利用し、EARは残りのがんのEARモデルから次式を用いて算出している。

$$EAR_{kidney}(s, e, a) = \frac{\lambda_{I, kidney}(s, a)}{\lambda_{I, remainder}(s, a)} EAR_{remainder}(s, e, a) \quad (3.26)$$

- EAR_{kidney} : 腎臓がんの過剰絶対リスク
 $EAR_{remainder}$: 残りのがんの過剰絶対リスク
 $\gamma_{I, kidney}$: 腎臓がんのベースライン罹患率
 $\gamma_{I, remainder}$: 残りのがんのベースライン罹患率
 s : 性別
 e : 被ばく時年齢
 a : 到達年齢

高 LET 放射線に対する骨がんの EAR のモデルは次式のように与えられ、低 LET 放射線に対する骨がんの EAR は次式で算出された値の 10 分の 1 とされている。

$$\begin{aligned} EAR &= \alpha \cdot D \cdot g(e) \cdot h(t) \\ g(e) &= \exp(-0.0532(e - 30)) \\ h(t) &= (2\pi\sigma)^{-\frac{1}{2}} \times \exp\left[-\frac{\{\ln(t) - \ln(t_0)\}^2}{2\sigma^2}\right] \times \frac{1}{t} \end{aligned} \quad (3.27)$$

- EAR : 高LET放射線に対する骨がんの過剰絶対リスク
 α : $\alpha = 1.782 \times 10^{-3} \text{ Gy}^{-1}$
 D : 臓器吸収線量 (Gy)
 σ : $\sigma = 0.612$
 t_0 : $t_0 = 12.72 \text{ (y)}$
 e : 被ばく時年齢
 t : 被ばくからの経過時間

皮膚がんはERRのみを評価し、そのERRモデルは次式で与えられている。

$$ERR(D, e) = 0.2D(0.88)^{e-7} \quad (3.28)$$

- ERR : 皮膚がんの過剰相対リスク
 D : 臓器吸収線量
 e : 被ばく時年齢

甲状腺がんはERRのみを評価し、そのERRモデルは次式で与えられている。

$$ERR(D, e, t) = \beta DA(e)T(t) \quad (3.29)$$

$$A(e) = \begin{cases} 1.0 & (e < 5) \\ 0.6 & (5 \leq e \leq 9) \\ 0.2 & (10 \leq e \leq 14) \\ 0.2 \exp[-0.083(e - 15)] & (15 \leq e) \end{cases}$$

$$T(t) = \begin{cases} 0 & (t < 5) \\ 1.15 & (5 \leq t \leq 14) \\ 1.9 & (15 \leq t \leq 19) \\ 1.2 & (20 \leq t \leq 24) \\ 1.6 & (25 \leq t \leq 29) \\ 0.47 & (30 \leq e) \end{cases}$$

ERR : 甲状腺がんの過剰相対リスク

D : 臓器吸収線量

e : 被ばく時年齢

t : 被ばくからの経過時間

β : $\beta = 10.7 \text{ Gy}^{-1}$

なお、Blue Bookモデルでは全固形がんに関するモデルが無い。そこで、本コードでは、全固形がんのリスクは残りも含めた各部位のリスクの合計値として評価することとした。

表 3.7 Blue Bookのリスク評価モデルにおける係数の値と重み係数

がん部位	重み係数 ω	ERR				EAR			
		$\beta_M^{(1)}$	$\beta_F^{(1)}$	$\gamma^{(2)}$	η	$\beta_M^{(3)}$	$\beta_F^{(3)}$	$\gamma^{(2)}$	η
乳房	0	No model				—	9.9	-0.51	3.5 (a<50) 1.1 (a≥50)
胃	0.7	0.21	0.48	-0.3	-1.4	4.9	4.9	-0.41	2.8
結腸	0.7	0.63	0.43	-0.3	-1.4	3.2	1.6	-0.41	2.8
肝臓	0.7	0.32	0.32	-0.3	-1.4	2.2	1.0	-0.41	4.1
肺	0.3	0.32	1.4	-0.3	-1.4	2.3	3.4	-0.41	5.2
前立腺	0.7	0.12	—	-0.3	-1.4	0.11	—	-0.41	2.8
子宮	0.7	—	0.055	-0.3	-1.4	—	1.2	-0.41	2.8
卵巣	0.7	—	0.38	-0.3	-1.4	—	0.7	-0.41	2.8
膀胱	0.7	0.5	1.65	-0.3	-1.4	1.2	0.75	-0.41	6.0
残り	0.7	0.27	0.45	-0.3	-2.8	6.2	4.8	-0.41	2.8

(1) ERRの単位は Sv^{-1} 。甲状腺の場合、単位は Gy^{-1} 。添え字Mは男性、Fは女性。

(2) 単位はper 10年

(3) EARの単位はper $10^4 \text{ person} \cdot \text{y}^{-1} \cdot \text{Sv}^{-1}$ 。乳房の場合、単位はper $10^4 \text{ person} \cdot \text{y}^{-1} \cdot \text{Gy}^{-1}$ 。添え字Mは男性、Fは女性。

(2) ICRP モデル (ICRP, 2007)

ICRP Publ. 103では、全固形がん及び個別に対象としている全ての固形がんに対して以下の式を用いてERRとEARを評価している。

$$ERR(D, s, e, a) \text{ or } EAR(D, s, e, a) = \beta_s D \exp \left[\gamma \frac{e - 30}{10} + \eta \log \left(\frac{a}{70} \right) \right] \quad (3.30)$$

D : 被ばく線量

e : 被ばく時年齢

a : 到達年齢

β_s, γ, η : 統計解析で算出される係数 (表 3.8)

表 3.8 ICRP Publ. 103のリスク評価モデルにおける係数の値と重み係数

がん部位	重み係数 ω	ERRモデル				EARモデル			
		$\beta_M^{(1)}$	$\beta_F^{(1)}$	$\gamma^{(2)}$	η	$\beta_M^{(3)}$	$\beta_F^{(3)}$	$\gamma^{(2)}$	η
罹患率									
全固形がん	0.5	0.35	0.58	-0.17	-1.65	43.2	59.8	-0.24	2.38
食道	0.5	0.40	0.65	-0.17	-1.65	0.48	0.66	0.64	2.38
胃	0.5	0.23	0.38	-0.17	-1.65	6.63	9.18	-0.24	2.38
結腸	0.5	0.68	0.33	-0.17	-1.65	5.76	2.40	-0.24	2.38
肝臓	0.5	0.25	0.40	-0.17	-1.65	4.18	1.30	-0.24	2.38
肺	0.3	0.29	1.36	0.17	-1.65	6.47	8.97	0.01	4.25
乳房	0.0	—	—	—	—	—	10.9	-0.39	3.5 (a<50) 1.0 (a≥50)
卵巣	0.5	—	0.32	-0.17	-1.65	—	1.47	-0.24	2.38
膀胱	0.5	0.67	1.10	-0.17	-1.65	2.00	2.77	-0.11	6.39
甲状腺	1.0	0.53	1.05	-0.56	0.00	—	—	—	—
残り	0.5	0.22	0.17	-0.34	-1.65	7.55	10.45	-0.24	2.38
死亡率									
全固形がん	0.5	0.35	0.58	-0.31	-0.74	28.91	29.99	-0.24	3.63
食道	0.5	0.76	1.27	-0.31	-0.74	0.98	0.98	-0.24	3.63
胃	0.5	0.26	0.43	-0.31	-0.74	5.79	5.79	-0.24	3.63
結腸	0.5	0.25	0.25	-0.31	-4.46	2.24	2.24	-0.24	3.63
肝臓	0.5	0.21	0.34	-0.31	-0.74	6.46	2.36	-0.24	5.56
肺	0.3	0.55	0.92	-0.04	-0.74	6.72	6.72	-0.24	6.56
乳房	0.0	—	—	—	—	—	15.73	-0.44	5.78 (a<50) -2.83(a≥50)
卵巣	0.5	—	0.67	-0.31	-0.74	—	1.40	-0.24	3.63
膀胱	0.5	0.74	1.24	0.12	-0.74	0.83	0.83	0.00	8.04
残り	0.5	0.13	0.22	-0.56	-0.74	3.68	3.68	-0.52	3.63

(1) ERRの単位はGy⁻¹。添え字Mは男性、Fは女性。

(2) 単位はper 10年

(3) EARの単位はper 10⁴ person·y⁻¹·Gy⁻¹。添え字Mは男性、Fは女性。

(3) Ozasa モデル (Ozasa et al., 2012)

Ozasaモデルでは、全固形がん及び個別に対象としている全ての固形がんに対して以下の式を用いてERRとEARを評価している。なお、DDREFと重み係数 ω に関する具体的な値はOzasa et al. (2012)で議論されていないため、本コードではBlue Bookモデルと同様の値をデフォルト値として入力している（ユーザーが任意に修正可能）。

$$ERR(D, s, e, a) \text{ or } EAR(D, s, e, a) = \beta_s D \exp \left[\gamma \frac{e - 30}{10} + \eta \log \left(\frac{a}{70} \right) \right] \quad (3.31)$$

D : 被ばく線量
 e : 被ばく時年齢
 a : 到達年齢
 β_s, γ, η : 統計解析で算出される係数（表 3.9）

表 3.9 Ozasa et al. (2012)のリスク評価モデルにおける係数の値

がん部位	ERRモデル				EARモデル			
	$\beta_M^{(1)}$	$\beta_F^{(1)}$	$\gamma^{(2)}$	η	$\beta_M^{(3)}$	$\beta_F^{(3)}$	$\gamma^{(2)}$	η
全固形がん	0.27	0.57	-0.29	-0.86	25.1	27.7	-0.19	3.4
食道	0.22	0.97	0.35	-3.7	—	—	—	—
胃	0.14	0.52	-0.18	-0.74	2.9	5.3	0.18	2.0
結腸	0.28	0.40	-0.03	-5.8	1.6	1.6	-0.30	3.2
肝臓	0.29	0.47	-0.08	0.02	4.0	2.8	-0.25	6.0
肺	0.41	1.1	-0.07	-0.04	7.3	5.7	-0.16	6.2
乳房	—	0.90	-0.45	-0.17	—	2.3	-0.51	3.0
卵巣	—	0.20	-0.22	-4.1	—	—	—	—
膀胱	0.88	1.5	-0.02	0.49	1.7	0.69	-0.01	7.5
胆嚢・胆管	0.67	1.1	-0.27	-1.9	—	—	—	—

(1) ERRの単位は Gy^{-1} 。添え字Mは男性、Fは女性。

(2) 単位はper 10年

(3) EARの単位はper $10^4 \text{ person} \cdot \text{y}^{-1} \cdot \text{Gy}^{-1}$ 。添え字Mは男性、Fは女性。

(4) LSS14 相当の罹患モデル

LSS14相当の罹患モデルに関して、一つの報告書にまとめたものは現状ではない。そこで、該当する文献を調査し、文献内にモデル式と係数の値が掲載されているものを本モデルに組み込むこととした。調査した文献の一覧を表 3.10に示す。なお、Furukawa et al. (2013)とSugiyama et al. (2014)はLSS14相当の罹患モデルではないが、甲状腺がんと皮膚がんを対象とした最新の文献であるため、調査対象とした。いくつかの文献では、被ばく時年齢と到達年齢以外を修飾因子としたモデルも掲載されているものの、本コードでは被ばく時年齢と到達年齢のみを修飾因子としているモデルを利用した。例えば、Brenner et al. (2018)の論文中には、BMIや初潮年齢などを修飾因子としたモデルとそれらを修飾因子としていないモデルの二種類が報告されている。本コードでは、BMIや初潮年齢などの修飾因子としていないモデル（被ばく時年齢と到達年齢のみを修飾因子としているモデル）を利用した。しかし検討委員会で、特定のBMIや初潮年齢のシナリオでも計算できるよう

に、とコメントがあり、今後はコードを修正していく必要がある。また、Ozasaモデルと同様に、DDREFと重み係数 ω に関する具体的な値は各論文で議論されていないため、本コードではBlue Bookモデルと同様の値をデフォルト値として入力している（ユーザーが任意に修正可能）。

表 3.10に示した部位のうち、甲状腺以外は以下の式を用いてERRとEARを評価している¹⁴。

$$ERR(D, s, e, a) \text{ or } EAR(D, s, e, a) = \beta_s D \exp \left[\gamma \frac{e - 30}{10} + \eta \log \left(\frac{a}{70} \right) \right] \quad (3.32)$$

D : 臓器吸収線量
 e : 被ばく時年齢
 a : 到達年齢
 β_s, γ, η : 統計解析で算出される係数（表 3.11）

Furukawa et al. (2013)が提案した甲状腺がんのモデルは次式で与えられている。

$$ERR \text{ or } EAR = \beta D \exp \left[\gamma \frac{e - 10}{10} + \eta \log \left(\frac{a}{60} \right) \right] \cdot (1 + \alpha_s \cdot m_{sex}) \quad (3.33)$$

D : 臓器吸収線量
 e : 被ばく時年齢
 a : 到達年齢

ここで、ERRモデルの場合、 $\beta=1.28$ 、 $\gamma=-0.769$ 、 $\eta=-1.27$ 、 $\alpha_s=0.327$ 、EARモデルの場合、 $\beta=2.95 \times 10^{-4}$ 、 $\gamma=-1.19$ 、 $\eta=1.03$ 、 $\alpha_s=0.729$ である。どちらのモデルでも m_{sex} は男性の場合-1であり、女性の場合1である。

¹⁴ 部位によっては高線量域（4 Gy 以上）の補正で利用する指示関数が利用されているものの、本コードが対象としている線量域では考慮する必要が無いため、式から削除している。

表 3.10 LSS14相当の罹患モデルの文献一覧

部位	タイトル	文献
全固形	Solid cancer incidence among the Life Span Study of atomic bomb survivors: 1958–2009	Grant et al., 2017
口腔・咽頭、食道、胃	Radiation-related risk of cancers of the upper digestive tract among Japanese atomic bomb survivors	Sakata et al., 2019
結腸、直腸	Radiation risk of incident colorectal cancer by anatomical site among atomic bomb survivors: 1958–2009	Sugiyama et al., 2020
肝臓、胆管、膵臓	Radiation and risk of liver, biliary tract, and pancreatic cancers among atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki: 1958–2009	Sadakane et al., 2019
肺	Lung, laryngeal and other respiratory cancer incidence among Japanese atomic bomb survivors: An updated analysis from 1958 through 2009	Cahoon et al., 2017
皮膚	Skin cancer incidence among atomic bomb survivors from 1958 to 1996	Sugiyama et al., 2014
乳房	Incidence of breast cancer in the Life Span Study of atomic bomb survivors: 1958–2009	Brenner et al., 2018
子宮頸部、子宮体部	Radiation risks of uterine cancer in atomic bomb survivors: 1958–2009	Utada et al., 2019
卵巣	Radiation risk of ovarian cancer in atomic bomb survivors: 1958–2009	Utada et al., 2021
前立腺	Risk of prostate cancer incidence among atomic bomb survivors: 1958–2009	Mabuchi et al., 2021
腎・尿路	Radiation risks for the incidence of kidney, bladder and other urinary tract cancers: 1958–2009	Grant et al., 2021
脳	Radiation risk of central nervous system tumors in the Life Span Study of atomic bomb survivors, 1958–2009	Brenner et al., 2020
甲状腺	Long-term trend of thyroid cancer risk among Japanese atomic-bomb survivors: 60 years after exposure	Furukawa et al., 2013

表 3.11 LSS14相当の罹患モデルにおける係数の値⁽¹⁾

がん部位	ERRモデル				EARモデル			
	$\beta_M^{(2)}$	$\beta_F^{(2)}$	$\gamma^{(3)}$	H	$\beta_M^{(4)}$	$\beta_F^{(4)}$	$\gamma^{(3)}$	η
全固形がん	0.36	0.65	-0.19	-1.57	—	54.7	-0.33	2.07
食道	0.32	0.32	0	0	—	—	—	—
胃	0.36	0.36	0	0	8.9	9.4	0	1.75
口腔・咽頭	0.24	0.24	0	0	—	—	—	—
結腸	0.66	0.47	0.19	-3.53	7.88	4.13	-0.25	3.83
直腸	0.0077	0.026	-0.84	4.4	—	—	—	—
肝臓	0.44	0.63	-0.23	-1.1	6.90	3.74	-0.37	4.4
胆管	0.17	-0.14	0	0	—	—	—	—
膵臓	0.07	0.70	0	0	—	—	—	—
肺	0.34	1.32	0.16	-2.11	—	—	—	—
皮膚	1.3	1.3	0.11	0	0.059 (D > 0.5 Gy)	0.059 (D > 0.5 Gy)	—	—
乳房	—	1.06	-0.063	-1.61	—	9.59	-0.37	1.64
子宮頸部	—	0.67	0	0	—	—	—	—
子宮体部	—	0.08	0	0	—	—	—	—
卵巣	—	0.30	—	—	—	—	—	—
前立腺	0.65	—	0	0	3.5	—	0	0
腎・尿路	0.64	2.2	0.067	-0.43	—	—	—	—
脳・中枢神経系	2.46	0.77	-0.33	-1.31	—	—	—	—

⁽¹⁾ 喫煙等の生活習慣因子を調整したものが掲載されている場合でも調整していない値を記載。

⁽²⁾ ERRの単位はGy⁻¹。添え字Mは男性、Fは女性。

⁽³⁾ 単位はper 10年

⁽⁴⁾ EARの単位はper 10⁴ person・y⁻¹・Gy⁻¹。添え字Mは男性、Fは女性。

3.3. 計算コードの検証

Blue Bookモデル (EPA, 2011) では生涯寄与リスク (LAR) の計算結果の一覧表を提示しており、その計算で使ったベースラインデータの内容の記載もある。このことから、同様の条件を設定して、本コードで計算したLARとEPA (2011)に記載されているLARとを比較することで、本コードの計算機能の検証を行った。なお、EPA (2011)で使われた米国人の生命表及びがん罹患率と死亡率は、過去に原子力機構が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) の検証時に利用したデータ¹⁵を利用した (高原他, 2015)。

本コードでの計算は、ベースラインデータの処理としてステップ関数を用いた計算と線形補間による計算の両方を行い、比較することとした。また、潜伏期間における積分は、EPA (2011)の方法と同じ、連続化の方法で計算することとした。

EPA (2011)に記載のLARと本コード (Blue Bookモデル利用) で計算したLARの比較を表 3.12～表 3.15 (ステップ関数) 及び表 3.16～表 3.19 (補間計算) に示す。これらの表より、本コードはEPA (2011)のLARを概ね10%以内で再現できていることが分かる。

再現性が悪いものとして、被ばく時年齢が小さい場合の甲状腺がんである。甲状腺がんの過剰リスクモデルは複数の場合分けがあるモデルである (3.2.5項参照)。この甲状腺がんのLARのEPA (2011)と本コードの比較を図 3.9に示す。モデル式は被ばく時年齢5歳と10歳で不連続となり、本コードもその不連続が見られた。しかし、EPA (2011)の結果は被ばく時年齢5歳と10歳の不連続部分は間の値を採用しているようであり、報告書に示されたモデル式の通りに計算されていない可能性が高い¹⁶。

ベースラインデータをステップ関数と線形補間による計算で行った時の違いについて、例として胃がんと結腸がんの罹患LARの比較を図 3.10と図 3.11に示す。胃がんではベースラインデータの処理方法による違いは見られなかった。結腸がんではステップ関数として処理した場合に被ばく時年齢が小さいところで凸凹しており、線形補間による計算では凸凹が見られなかった。この凸凹の発生は不自然であり、ベースラインデータを線形補間によって計算する方が適切である可能性が高い (EPA (2011)のAppendix Aでもベースラインデータを平滑化することが述べられている)。

¹⁵ これらのデータは何年かに一度に更新されており、同じ年代のデータであっても数値が若干異なり、必ずしも EPA (2011)の報告書時に使用されたデータと HEINPUT の検証時に利用されたデータは同じものとは限らないことに注意が必要である。なお、更新前のデータと更新履歴に関する情報は入手できなかった。

¹⁶ 本報告書では、EPA (2011)の報告書の表に記載されている値をそのまま利用した。EPA (2011)の報告書には被ばく時年齢ごとの甲状腺がん LAR の図も掲載されており、その図では本コードと同様に、5 歳と10 歳で LAR は大きな値であった。EPA (2011)の報告書の表は、5 歳と10 歳の不連続部分で二つの式の平均値を計算する処理をした可能性はあるものの、その記載はなかった。

表 3.12 ベースラインデータをステップ関数で計算した時の男性のがん罹患のLARに対するEPA (2011)と本コードの比較

Incidence, Male		Age at exposure ^{(1),(2)}										
Cancer site	比較	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Stomach	EPA2011	168	139	114	94	77	51	48	43	35	24	12
	開発コード	166	137	112	92	75	50	47	42	34	24	12
	EPA/開発	1.01	1.01	1.02	1.02	1.03	1.02	1.02	1.02	1.03	1.00	1.00
Colon	EPA2011	342	292	248	210	179	129	126	117	97	65	29
	開発コード	334	288	246	209	176	128	123	116	96	65	31
	EPA/開発	1.02	1.01	1.01	1.00	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	0.94
Liver	EPA2011	103	86	71	59	49	34	33	29	24	17	9
	開発コード	102	84	69	57	47	33	32	29	24	17	9
	EPA/開発	1.01	1.02	1.03	1.04	1.04	1.03	1.03	1.00	1.00	1.00	1.00
Lung	EPA2011	320	268	222	185	154	108	107	104	90	65	35
	開発コード	317	264	219	183	152	107	106	103	90	65	36
	EPA/開発	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	0.97
Prostate	EPA2011	198	172	148	127	110	82	83	80	61	30	9
	開発コード	194	169	145	124	109	83	81	80	61	30	9
	EPA/開発	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	0.99	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00
Bladder	EPA2011	219	188	159	135	116	84	84	81	71	50	24
	開発コード	213	184	158	134	113	83	82	80	69	50	25
	EPA/開発	1.03	1.02	1.01	1.01	1.03	1.01	1.02	1.01	1.03	1.00	0.96
Thyroid	EPA2011	123	107	58	32	23	11	5	2	1	0	0
	開発コード	126	80	30	31	22	11	5	2	1	0	0
	EPA/開発	0.98	1.34	1.93	1.03	1.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Residual	EPA2011	1180	653	498	394	313	199	174	142	101	58	24
	開発コード	1327	678	503	386	297	189	163	136	98	59	25
	EPA/開発	0.89	0.96	0.99	1.02	1.05	1.05	1.07	1.04	1.03	0.98	0.96
Kidney	EPA2011	102	55	44	37	31	22	20	16	11	6	2
	開発コード	119	62	50	42	35	25	23	19	13	7	3
	EPA/開発	0.86	0.89	0.88	0.88	0.89	0.88	0.87	0.84	0.85	0.86	0.67

(1) Cases per 10000 person-Gy

(2) EPA/本コードの値で 1.1 より大きい時または 0.9 より小さい時に赤字とした。

表 3.13 ベースラインデータをステップ関数で計算した時の女性のがん罹患のLARに対するEPA (2011)と本コードの比較

Incidence, Female		Age at exposure ^{(1),(2)}										
Cancer site	比較	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Stomach	EPA2011	212	175	144	118	97	64	61	55	46	33	18
	開発コード	207	171	140	115	94	62	59	53	44	32	17
	EPA/開発	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04	1.05	1.03	1.06
Colon	EPA2011	225	193	164	139	118	84	82	76	65	46	23
	開発コード	218	188	161	136	114	83	79	74	62	45	22
	EPA/開発	1.03	1.03	1.02	1.02	1.04	1.01	1.04	1.03	1.05	1.02	1.05
Liver	EPA2011	57	47	39	32	26	18	18	16	14	10	6
	開発コード	56	46	38	31	25	17	17	16	14	10	6
	EPA/開発	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04	1.06	1.06	1.00	1.00	1.00	1.00
Lung	EPA2011	785	660	552	462	387	272	269	255	217	150	79
	開発コード	770	643	539	452	377	268	261	250	211	147	75
	EPA/開発	1.02	1.03	1.02	1.02	1.03	1.01	1.03	1.02	1.03	1.02	1.05
Breast	EPA2011	1260	982	761	588	454	265	146	72	32	12	4
	開発コード	1245	965	748	580	446	261	144	71	32	12	3
	EPA/開発	1.01	1.02	1.02	1.01	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	1.33
Uterus	EPA2011	66	55	46	38	31	21	19	16	12	8	4
	開発コード	65	54	44	37	30	20	18	16	12	8	4
	EPA/開発	1.02	1.02	1.05	1.03	1.03	1.05	1.06	1.00	1.00	1.00	1.00
Ovary	EPA2011	91	77	64	53	45	31	28	24	17	11	5
	開発コード	92	76	64	54	44	31	29	24	17	10	4
	EPA/開発	0.99	1.01	1.00	0.98	1.02	1.00	0.97	1.00	1.00	1.10	1.25
Bladder	EPA2011	221	189	161	137	116	84	83	78	67	48	24
	開発コード	214	184	158	134	113	82	80	77	65	47	24
	EPA/開発	1.03	1.03	1.02	1.02	1.03	1.02	1.04	1.01	1.03	1.02	1.00
Thyroid	EPA2011	386	352	196	106	73	30	12	4	1	0	0
	開発コード	392	262	103	104	73	31	12	4	1	0	0
	EPA/開発	0.98	1.34	1.90	1.02	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Residual	EPA2011	1410	707	534	422	336	213	184	151	112	69	31
	開発コード	1575	734	527	406	316	205	180	152	114	72	32
	EPA/開発	0.90	0.96	1.01	1.04	1.06	1.04	1.02	0.99	0.98	0.96	0.97
Kidney	EPA2011	133	53	41	34	28	20	17	14	10	5	2
	開発コード	179	58	46	39	32	22	20	16	11	6	2
	EPA/開発	0.74	0.91	0.89	0.87	0.88	0.91	0.85	0.88	0.91	0.83	1.00

(1) Cases per 10000 person-Gy

(2) EPA/本コードの値で 1.1 より大きい時または 0.9 より小さい時に赤字とした。

表 3.14 ベースラインデータをステップ関数で計算した時の男性のがん死亡のLARに対するEPA (2011)と本コードの比較

Mortality, Male		Age at exposure ^{(1),(2)}										
Cancer site	比較	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Stomach	EPA2011	85	71	58	48	39	26	25	22	19	14	8
	開発コード	85	70	58	48	39	26	25	23	19	15	9
	EPA/開発	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96	1.00	0.93	0.89
Colon	EPA2011	154	131	112	95	81	58	57	54	47	34	19
	開発コード	124	109	93	79	66	48	47	46	40	31	18
	EPA/開発	1.24	1.20	1.20	1.20	1.23	1.21	1.21	1.17	1.18	1.10	1.06
Liver	EPA2011	79	65	54	45	37	26	25	24	21	16	9
	開発コード	78	65	54	45	37	26	25	24	21	17	9
	EPA/開発	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	1.00
Lung	EPA2011	293	245	203	169	141	99	98	95	84	63	35
	開発コード	286	240	199	166	138	97	96	94	84	64	38
	EPA/開発	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.00	0.98	0.92
Prostate	EPA2011	27	24	20	17	15	11	11	12	12	11	7
	開発コード	26	24	21	18	15	11	12	12	12	11	8
	EPA/開発	1.04	1.00	0.95	0.94	1.00	1.00	0.92	1.00	1.00	1.00	0.88
Bladder	EPA2011	43	37	31	27	23	17	17	17	16	14	10
	開発コード	41	37	31	27	22	16	16	17	16	14	10
	EPA/開発	1.05	1.00	1.00	1.00	1.05	1.06	1.06	1.00	1.00	1.00	1.00
Thyroid	EPA2011	6.2	5.4	2.9	1.6	1.1	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
	開発コード	13.3	8.2	2.9	2.9	2.0	1.1	0.6	0.4	0.2	0.1	0.0
	EPA/開発	0.48	0.68	0.97	0.53	0.55	0.60	0.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Residual	EPA2011	388	248	195	160	134	93	88	77	59	38	18
	開発コード	420	249	196	160	131	92	85	76	59	40	20
	EPA/開発	0.92	1.00	0.99	1.00	1.02	1.01	1.04	1.01	1.00	0.95	0.90
Kidney	EPA2011	26	18	15	12	10	7	7	6	5	3	1
	開発コード	28	19	16	13	11	8	7	7	5	3	2
	EPA/開発	0.93	0.95	0.94	0.92	0.91	0.88	1.00	0.86	1.00	1.00	0.50

(1) Deaths per 10000 person-Gy

(2) EPA/本コードの値で 1.1 より大きい時または 0.9 より小さい時に赤字とした。

表 3.15 ベースラインデータをステップ関数で計算した時の女性のがん死亡のLARに対するEPA (2011)と本コードの比較

Mortality, Female		Age at exposure ^{(1),(2)}										
Cancer site	比較	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Stomach	EPA2011	113	93	77	63	52	34	33	30	26	20	13
	開発コード	112	93	77	63	51	34	33	30	26	21	13
	EPA/開発	1.01	1.00	1.00	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	1.00
Colon	EPA2011	96	82	70	59	50	36	35	33	30	23	15
	開発コード	81	71	60	51	43	31	30	29	26	21	13
	EPA/開発	1.19	1.15	1.17	1.16	1.16	1.16	1.17	1.14	1.15	1.10	1.15
Liver	EPA2011	48	40	33	27	22	15	15	14	13	10	6
	開発コード	51	42	35	29	24	16	16	15	14	11	7
	EPA/開発	0.94	0.95	0.94	0.93	0.92	0.94	0.94	0.93	0.93	0.91	0.86
Lung	EPA2011	642	539	450	376	315	221	219	210	183	135	77
	開発コード	619	519	435	365	303	215	211	204	177	130	73
	EPA/開発	1.04	1.04	1.03	1.03	1.04	1.03	1.04	1.03	1.03	1.04	1.05
Breast	EPA2011	431	336	260	200	153	85	42	17	6	2	0
	開発コード	428	331	257	198	151	83	41	17	6	2	0
	EPA/開発	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.02	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00
Uterus	EPA2011	17	14	12	10	8	5	5	5	4	3	2
	開発コード	16	14	11	9	8	5	5	5	4	3	2
	EPA/開発	1.06	1.00	1.09	1.11	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ovary	EPA2011	56	47	40	34	29	20	20	18	15	10	5
	開発コード	54	46	40	34	28	21	20	18	14	10	4
	EPA/開発	1.04	1.02	1.00	1.00	1.04	0.95	1.00	1.00	1.07	1.00	1.25
Bladder	EPA2011	58	50	42	36	30	22	22	22	21	18	13
	開発コード	54	48	41	35	29	21	21	21	20	17	12
	EPA/開発	1.07	1.04	1.02	1.03	1.03	1.05	1.05	1.05	1.05	1.06	1.08
Thyroid	EPA2011	19	18	10	5	4	2	1	0	0	0	0
	開発コード	19	12	4	4	3	1	1	0	0	0	0
	EPA/開発	1.00	1.50	2.50	1.25	1.33	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Residual	EPA2011	498	301	233	190	157	108	100	88	70	48	24
	開発コード	540	303	237	194	159	109	100	89	71	50	25
	EPA/開発	0.92	0.99	0.98	0.98	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	0.96	0.96
Kidney	EPA2011	29	16	13	10	9	6	6	5	4	3	1
	開発コード	38	16	13	11	9	6	6	5	4	3	1
	EPA/開発	0.76	1.00	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

(1) Deaths per 10000 person-Gy

(2) EPA/本コードの値で 1.1 より大きい時または 0.9 より小さい時に赤字とした。

表 3.16 ベースラインデータを線形補間で計算した時の男性のがん罹患のLARに対する
EPA (2011)と本コードの比較

Incidence, Male		Age at exposure ^{(1),(2)}										
Cancer site	比較	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Stomach	EPA2011, Table3-12a	168	139	114	94	77	51	48	43	35	24	12
	開発コード	169	140	115	94	77	51	49	44	35	24	12
	EPA/開発	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	1.00	1.00	1.00
Colon	EPA2011, Table3-12a	342	292	248	210	179	129	126	117	97	65	29
	開発コード	353	302	256	218	185	133	130	121	100	67	31
	EPA/開発	0.97	0.97	0.97	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.94
Liver	EPA2011, Table3-12a	103	86	71	59	49	34	33	29	24	17	9
	開発コード	104	86	71	59	49	34	33	30	24	17	9
	EPA/開発	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00
Lung	EPA2011, Table3-12a	320	268	222	185	154	108	107	104	90	65	35
	開発コード	329	276	229	190	159	111	111	107	93	67	37
	EPA/開発	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96	0.97	0.97	0.97	0.95
Prostate	EPA2011, Table3-12a	198	172	148	127	110	82	83	80	61	30	9
	開発コード	205	178	153	132	114	85	86	82	62	30	10
	EPA/開発	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	1.00	0.90
Bladder	EPA2011, Table3-12a	219	188	159	135	116	84	84	81	71	50	24
	開発コード	227	195	165	141	120	88	87	84	73	52	25
	EPA/開発	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	0.95	0.97	0.96	0.97	0.96	0.96
Thyroid	EPA2011, Table3-12a	123	107	58	32	23	11	5	2	1	0	0
	開発コード	126	83	31	32	23	12	5	2	1	0	0
	EPA/開発	0.98	1.29	1.87	1.00	1.00	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Residual	EPA2011, Table3-12a	1180	653	498	394	313	199	174	142	101	58	24
	開発コード	1287	706	521	398	309	194	170	140	101	60	26
	EPA/開発	0.92	0.92	0.96	0.99	1.01	1.03	1.02	1.01	1.00	0.97	0.92
Kidney	EPA2011, Table3-12a	102	55	44	37	31	22	20	16	11	6	2
	開発コード	106	64	52	44	37	26	24	19	14	7	3
	EPA/開発	0.96	0.86	0.85	0.84	0.84	0.85	0.83	0.84	0.79	0.86	0.67

(1) Cases per 10000 person-Gy

(2) EPA/本コードの値で 1.1 より大きい時または 0.9 より小さい時に赤字とした。

表 3.17 ベースラインデータを線形補間で計算した時の女性のがん罹患のLARに対する
EPA (2011)と本コードの比較

Incidence, Female		Age at exposure ^{(1),(2)}										
Cancer site	比較	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Stomach	EPA2011	212	175	144	118	97	64	61	55	46	33	18
	開発コード	212	175	144	118	97	64	61	55	46	33	18
	EPA/開発	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Colon	EPA2011	225	193	164	139	118	84	82	76	65	46	23
	開発コード	230	197	167	142	120	86	84	77	65	46	23
	EPA/開発	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00
Liver	EPA2011	57	47	39	32	26	18	18	16	14	10	6
	開発コード	57	47	39	32	26	18	18	16	14	10	6
	EPA/開発	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Lung	EPA2011	785	660	552	462	387	272	269	255	217	150	79
	開発コード	797	671	561	469	393	277	273	259	218	150	78
	EPA/開発	0.98	0.98	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	1.00	1.00	1.01
Breast	EPA2011	1260	982	761	588	454	265	146	72	32	12	4
	開発コード	1256	981	760	588	454	265	146	72	32	12	4
	EPA/開発	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Uterus	EPA2011	66	55	46	38	31	21	19	16	12	8	4
	開発コード	66	55	46	38	31	21	19	16	12	8	4
	EPA/開発	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ovary	EPA2011	91	77	64	53	45	31	28	24	17	11	5
	開発コード	94	79	66	55	46	32	30	24	17	10	4
	EPA/開発	0.97	0.97	0.97	0.96	0.98	0.97	0.93	1.00	1.00	1.10	1.25
Bladder	EPA2011	221	189	161	137	116	84	83	78	67	48	24
	開発コード	226	193	164	140	119	86	84	80	68	48	24
	EPA/開発	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.98	0.99	0.98	0.99	1.00	1.00
Thyroid	EPA2011	386	352	196	106	73	30	12	4	1	0	0
	開発コード	393	270	105	105	74	32	12	4	1	0	0
	EPA/開発	0.98	1.30	1.87	1.01	0.99	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Residual	EPA2011	1410	707	534	422	336	213	184	151	112	69	31
	開発コード	1497	760	545	418	329	211	188	157	118	73	32
	EPA/開発	0.94	0.93	0.98	1.01	1.02	1.01	0.98	0.96	0.95	0.95	0.97
Kidney	EPA2011, Table3-12b	133	53	41	34	28	20	17	14	10	5	2
	開発コード	153	59	48	40	34	23	20	16	11	6	2
	EPA/開発	0.87	0.90	0.85	0.85	0.82	0.87	0.85	0.88	0.91	0.83	1.00

(1) Cases per 10000 person-Gy

(2) EPA/本コードの値で 1.1 より大きい時または 0.9 より小さい時に赤字とした。

表 3.18 ベースラインデータを線形補間で計算した時の男性のがん死亡のLARに対する
EPA (2011)と本コードの比較

Mortality, Male		Age at exposure ^{(1),(2)}										
Cancer site	比較	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Stomach	EPA2011	85	71	58	48	39	26	25	22	19	14	8
	開発コード	88	73	60	49	40	27	26	23	20	15	9
	EPA/開発	0.97	0.98	0.97	0.98	0.97	0.96	0.97	0.94	0.96	0.93	0.92
Colon	EPA2011	154	131	112	95	81	58	57	54	47	34	19
	開発コード	133	114	97	82	70	51	50	48	42	32	18
	EPA/開発	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.14	1.14	1.13	1.12	1.07	1.05
Liver	EPA2011	79	65	54	45	37	26	25	24	21	16	9
	開発コード	82	68	56	47	39	27	26	25	22	17	10
	EPA/開発	0.96	0.95	0.96	0.96	0.96	0.97	0.95	0.98	0.96	0.94	0.94
Lung	EPA2011	293	245	203	169	141	99	98	95	84	63	35
	開発コード	300	251	208	173	145	101	101	98	87	66	39
	EPA/開発	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	0.97	0.97	0.96	0.95	0.89
Prostate	EPA2011	27	24	20	17	15	11	11	12	12	11	7
	開発コード	30	26	22	19	16	12	13	13	13	12	8
	EPA/開発	0.91	0.94	0.91	0.90	0.91	0.89	0.88	0.94	0.93	0.93	0.89
Bladder	EPA2011	43	37	31	27	23	17	17	17	16	14	10
	開発コード	45	39	33	28	24	17	18	18	17	15	10
	EPA/開発	0.95	0.95	0.94	0.97	0.97	0.98	0.97	0.97	0.95	0.96	1.00
Thyroid	EPA2011	6.2	5.4	2.9	1.6	1.1	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
	開発コード	14.4	8.8	3.0	3.0	2.1	1.2	0.7	0.4	0.2	0.1	0.0
	EPA/開発	0.43	0.61	0.97	0.53	0.52	0.50	0.43	0.25	1.00	1.00	1.00
Residual	EPA2011	388	248	195	160	134	93	88	77	59	38	18
	開発コード	419	260	205	167	138	95	90	79	62	41	20
	EPA/開発	0.93	0.95	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.97	0.95	0.93	0.90
Kidney	EPA2011	26	18	15	12	10	7	7	6	5	3	1
	開発コード	29	20	16	14	11	8	8	7	5	3	2
	EPA/開発	0.90	0.90	0.94	0.86	0.91	0.88	0.88	0.86	1.00	1.00	0.50

(1) Deaths per 10000 person-Gy

(2) EPA/本コードの値で 1.1 より大きい時または 0.9 より小さい時に赤字とした。

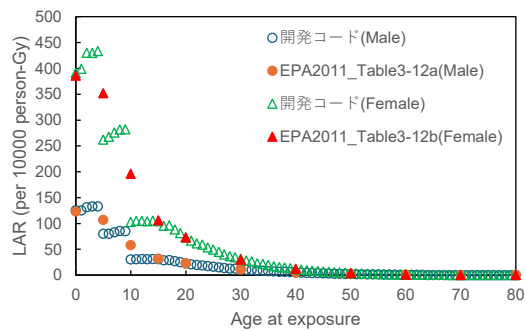
表 3.19 ベースラインデータを線形補間で計算した時の女性のがん死亡のLARに対する
EPA (2011)と本コードの比較

Mortality, Female		Age at exposure ^{(1),(2)}										
Cancer site	比較	0	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
Stomach	EPA2011	113	93	77	63	52	34	33	30	26	20	13
	開発コード	116	96	79	65	53	35	34	31	27	21	13
	EPA/開発	0.97	0.97	0.97	0.97	0.98	0.97	0.97	0.97	0.96	0.95	1.00
Colon	EPA2011	96	82	70	59	50	36	35	33	30	23	15
	開発コード	87	74	63	54	46	33	32	31	27	22	13
	EPA/開発	1.10	1.11	1.11	1.09	1.09	1.09	1.09	1.06	1.11	1.05	1.15
Liver	EPA2011	48	40	33	27	22	15	15	14	13	10	6
	開発コード	53	44	36	30	25	17	17	16	14	12	8
	EPA/開発	0.91	0.91	0.92	0.90	0.88	0.88	0.88	0.88	0.93	0.83	0.75
Lung	EPA2011	642	539	450	376	315	221	219	210	183	135	77
	開発コード	646	543	453	379	318	224	221	212	184	134	76
	EPA/開発	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.01	1.01
Breast	EPA2011	431	336	260	200	153	85	42	17	6	2	0
	開発コード	434	339	262	202	154	85	42	17	6	2	0
	EPA/開発	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Uterus	EPA2011	17	14	12	10	8	5	5	5	4	3	2
	開発コード	17	14	12	10	8	5	5	5	4	3	2
	EPA/開発	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ovary	EPA2011	56	47	40	34	29	20	20	18	15	10	5
	開発コード	57	49	41	35	30	22	21	19	15	10	5
	EPA/開発	0.98	0.96	0.98	0.97	0.97	0.91	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00
Bladder	EPA2011	58	50	42	36	30	22	22	22	21	18	13
	開発コード	59	51	43	36	31	22	22	22	21	18	12
	EPA/開発	0.98	0.98	0.98	1.00	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08
Thyroid	EPA2011	19	18	10	5	4	2	1	0	0	0	0
	開発コード	20	12	4	4	3	1	1	0	0	0	0
	EPA/開発	0.95	1.50	2.50	1.25	1.33	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Residual	EPA2011	498	301	233	190	157	108	100	88	70	48	24
	開発コード	534	315	247	202	167	114	105	93	75	51	26
	EPA/開発	0.93	0.96	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.93	0.94	0.92
Kidney	EPA2011	29	16	13	10	9	6	6	5	4	3	1
	開発コード	37	16	13	11	9	7	6	6	4	3	1
	EPA/開発	0.78	1.00	1.00	0.91	1.00	0.86	1.00	0.83	1.00	1.00	1.00

(1) Deaths per 10000 person-Gy

(2) EPA/本コードの値で 1.1 より大きい時または 0.9 より小さい時に赤字とした。

ベースラインをステップ関数で計算



ベースラインを線形補間で計算

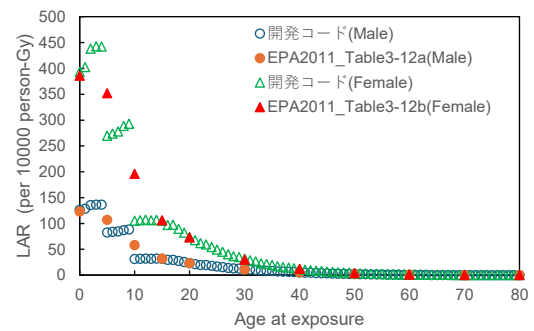
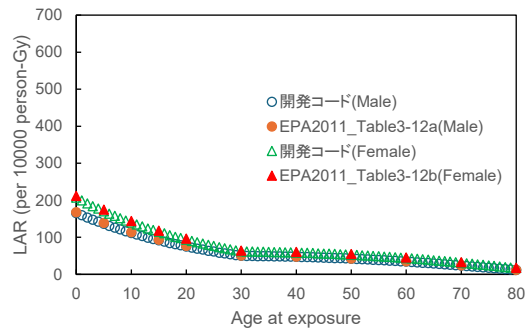
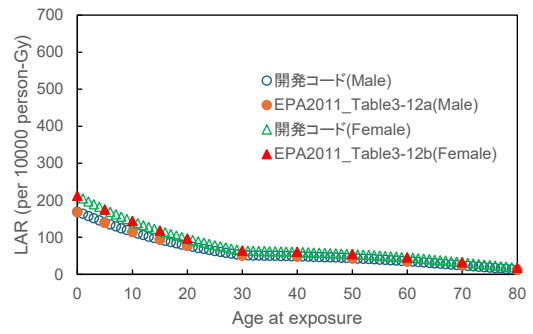


図 3.9 ベースラインデータをステップ関数と線形補間で計算とした時の甲状腺がん罹患のLARに対するEPA (2011)と本コードの比較

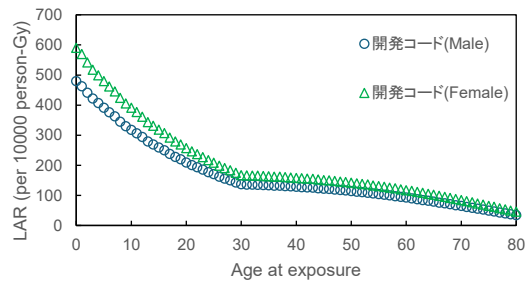
ベースラインデータをステップ関数で計算



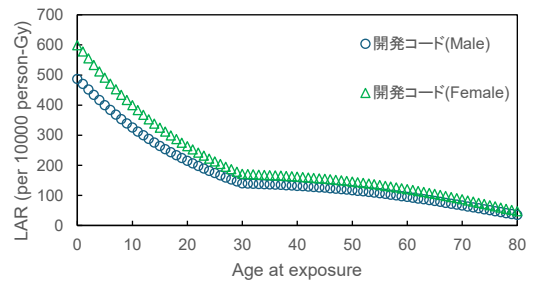
ベースラインデータを線形補間で計算



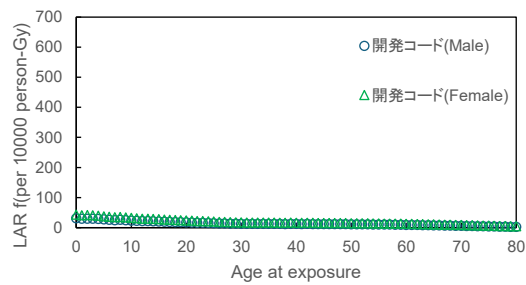
EARのみで評価



EARのみで評価



ERRのみで評価



ERRのみで評価

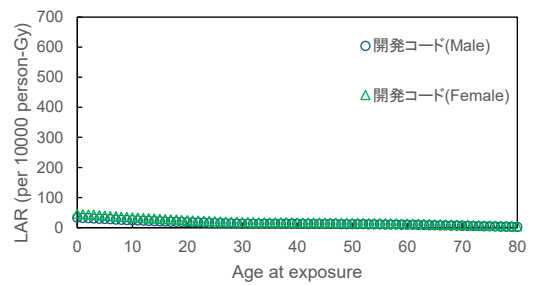
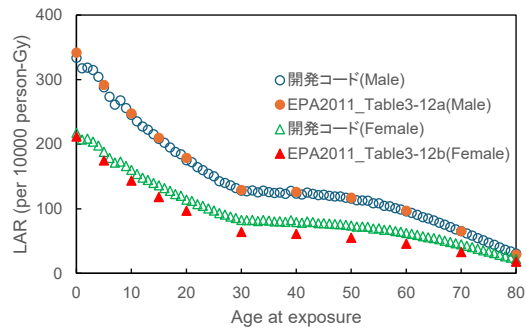
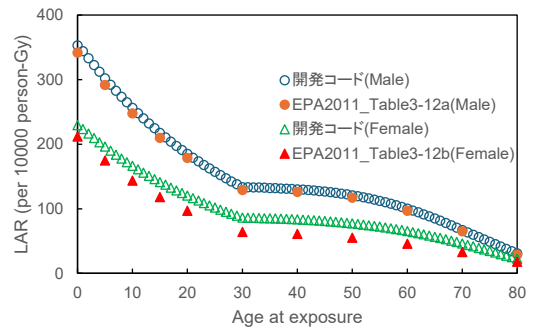


図 3.10 ベースラインデータをステップ関数と線形補間で計算した時の胃がん罹患のLAR に対するEPA (2011)と本コードの比較

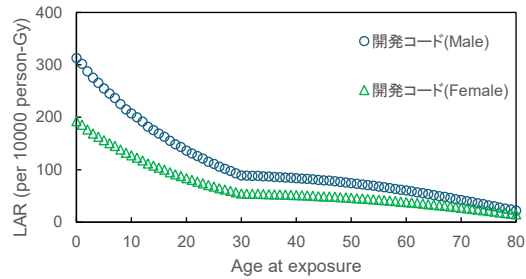
ベースラインデータをステップ関数で計算



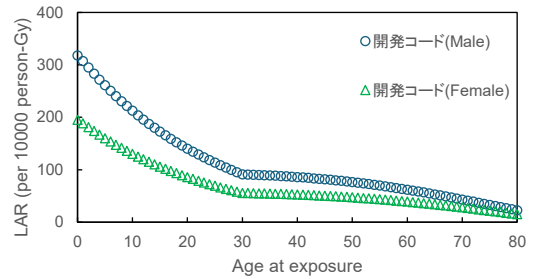
ベースラインデータを線形補間で計算



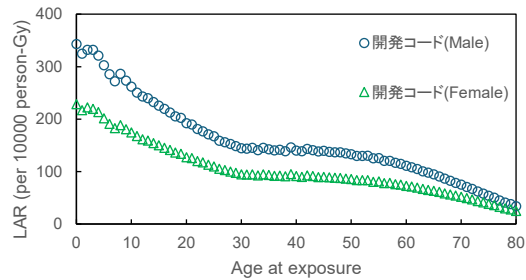
EARのみで評価



EARのみで評価



ERRのみで評価



ERRのみで評価

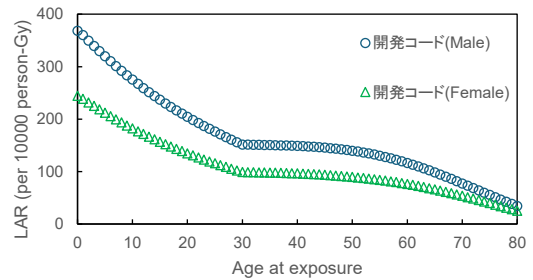


図 3.11 ベースラインデータをステップ関数と線形補間で計算した時の結腸がん罹患のLARに対するEPA (2011)と本コードの比較

3.4. グラフィカルユーザーインターフェース（GUI）の開発

3.4.1. 開発言語

GUIの開発は、計算コードの開発言語と同様に、C#言語で開発を行い、フレームワークにはWindows Presentation Foundation (WPF)を用いた。また、アプリケーションプラットフォームは.NET8を対象とした。

3.4.2. 外部ライブラリ

GUIの開発で使用した外部ライブラリを表 3.20に示す。

UIはWPF標準に加えて、「見やすく、直観的に操作できるWebページ・サービス」を作することを目的にGoogleが提唱したマテリアルデザインを採用した。また、UI設計パターンMVVM（Model-View-ViewModel）の実装をシンプルにできるCommunityToolkit.Mvvm及びWPFで利用可能なグラフライブラリScottPlot.WPFを用いた。

表 3.20 GUI部分の開発に使用した外部ライブラリ

外部ライブラリ	ライセンス ⁽¹⁾	作成者	用途
System.Data.OleDb (Ver. 9.0.0)	MIT	Microsoft	Accessデータベース処理
MaterialDesignThemes (Ver. 5.1.0)	MIT	James Willock	UIのマテリアルデザイン ⁽²⁾ 化
CommunityToolkit.Mvvm (Ver. 8.3.2)	MIT	Microsoft	UI設計パターンMVVMの実装の効率化に使用
Microsoft.Extensions.DependencyInjection (Ver. 8.0.1)	MIT	Microsoft	CommunityToolkit.Mvvmと共に使用
ScottPlot.WPF (Ver. 5.0.41)	MIT	Scott Harden	グラフの描画

⁽¹⁾ ライセンスの詳細は表 3.3参照

⁽²⁾ 2014年のGoogleが提唱した新しいデザインの一種

3.4.3. インストールとアンインストール

本コードのGUIは専用のセットアップ（setup.exe）を使用して行う。インストールを行うとデスクトップとスタートメニューにショートカット（RadiationHealthRisk）がつけられる。

インストール途中でデータベースソフトウェアAccessのファイル操作に必要な64ビット版Microsoft.ACE.OLEDB.12.0のインストールをバックグラウンドで行う（このときコマンドプロンプトが一時的に起動し、しばらくすると消える）。このMicrosoft.ACE.OLEDB.12.0のアンインストールはWindowsの設定のアプリと機能からMicrosoft Access database engine 2016をアンインストールすることで行う。

デフォルトのインストール場所はC:\RadiationHealthRiskである。計算実行後に直下のフォルダoutに計算結果の出力を行う可能性があるためエラーが生じる可能性があるため、「C:\Program Files」などの書き込み制御のあるフォルダへのインストールは推奨しない。アンインストールはセットアップ (setup.exe) を実行し、RadiationHealthRiskの削除によって行う。またはWindowsの設定のアプリと機能からアンインストールすることもできる。

3.4.4. GUIで最初に読み込むデータ

GUIで最初に読み込むデータはベースラインデータ、核データ及び線量係数データの場所を記したテキストファイル (RiskFiles.dat) である。その内容を表 3.21に示す。

表 3.21 GUIで最初に読み込むデータの内容

行	内容
1	ベースラインデータの Access データベースファイル(DB_がんリスク・生命表・モデルパラメータ.mdb)の場所
2	ICRP Publication107 の核データファイル(ICRP-07.NDX)の場所
3	ICRP Publication107 の放射線データファイル(ICRP-07.RAD)の場所
4	ICRP Publication144 の空気中の実効線量係数ファイル(Air_Nuclide-specific_EffectiveDose.txt)の場所
5	ICRP Publication144 の空気中の男性の等価線量係数ファイル(Air_Nuclide-specific_EquivalentDose_male.txt)の場所
6	ICRP Publication144 の空気中の女性の等価線量係数ファイル(Air_Nuclide-specific_EquivalentDose_female.txt)の場所
7	ICRP Publication144 の地表面の実効線量係数ファイル(Soil_Nuclide-specific_EffectiveDose.txt)の場所
8	ICRP Publication144 の地表面の男性の等価線量係数ファイル(Soil_Nuclide-specific_EquivalentDose_male.txt)の場所
9	ICRP Publication144 の地表面の女性の等価線量係数ファイル(Soil_Nuclide-specific_EquivalentDose_female.txt)の場所
10	ICRP Publication116 の光子の実効線量換算係数ファイル(Photons_Effective dose.txt)の場所
11	ICRP Publication116 の光子の男性の R-marrow の線量換算係数ファイル(Photons_R-marrow_Male.txt)の場所
12	ICRP Publication116 の光子の男性の Colon の線量換算係数ファイル(Photons_Colon_Male.txt)の場所
13	ICRP Publication116 の光子の男性の Lungs の線量換算係数ファイル(Photons_Lungs_Male.txt)の場所
14	ICRP Publication116 の光子の男性の St-wall の線量換算係数ファイル(Photons_St-wall_Male.txt)の場所
15	ICRP Publication116 の光子の男性の Breast の線量換算係数ファイル(Photons_Breast_Male.txt)の場所
16	ICRP Publication116 の光子の男性の Testes の線量換算係数ファイル(Photons_Testes_Male.txt)の場所
17	ICRP Publication116 の光子の男性の UB-wall の線量換算係数ファイル(Photons_UB-wall_Male.txt)の場所
18	ICRP Publication116 の光子の男性の Oesophagus の線量換算係数ファイル(Photons_Oesophagus_Male.txt)の場所
19	ICRP Publication116 の光子の男性の Liver の線量換算係数ファイル(Photons_Liver_Male.txt)の場所
20	ICRP Publication116 の光子の男性の Thyroid の線量換算係数ファイル(Photons_Thyroid_Male.txt)の場所
21	ICRP Publication116 の光子の男性の Endost-BS の線量換算係数ファイル(Photons_Endost-BS_Male.txt)の場所
22	ICRP Publication116 の光子の男性の Brain の線量換算係数ファイル(Photons_Brain_Male.txt)の場所
23	ICRP Publication116 の光子の男性の S-glands の線量換算係数ファイル(Photons_S-glands_Male.txt)の場所
24	ICRP Publication116 の光子の男性の Skin の線量換算係数ファイル(Photons_Skin_Male.txt)の場所
25	ICRP Publication116 の光子の男性の Remainder の線量換算係数ファイル(Photons_Remainder_Male.txt)の場所

表 3.21 GUIで最初に読込むデータの内容 (続き)

行	内容
26	ICRP Publication116 の光子の男性の Adrenals の線量換算係数ファイル(Photons_Adrenals_Male.txt)の場所
27	ICRP Publication116 の光子の男性の ET の線量換算係数ファイル(Photons_ET_Male.txt)の場所
28	ICRP Publication116 の光子の男性の GB-wall の線量換算係数ファイル(Photons_GB-wall_Male.txt)の場所
29	ICRP Publication116 の光子の男性の Ht-wall の線量換算係数ファイル(Photons_Ht-wall_Male.txt)の場所
30	ICRP Publication116 の光子の男性の Kidneys の線量換算係数ファイル(Photons_Kidneys_Male.txt)の場所
31	ICRP Publication116 の光子の男性の Lymph の線量換算係数ファイル(Photons_Lymph_Male.txt)の場所
32	ICRP Publication116 の光子の男性の Muscle の線量換算係数ファイル(Photons_Muscle_Male.txt)の場所
33	ICRP Publication116 の光子の男性の O-mucosa の線量換算係数ファイル(Photons_O-mucosa_Male.txt)の場所
34	ICRP Publication116 の光子の男性の Pancreas の線量換算係数ファイル(Photons_Pancreas_Male.txt)の場所
35	ICRP Publication116 の光子の男性の Prostate の線量換算係数ファイル(Photons_Prostate_Male.txt)の場所
36	ICRP Publication116 の光子の男性の SI-wall の線量換算係数ファイル(Photons_SI-wall_Male.txt)の場所
37	ICRP Publication116 の光子の男性の Spleen の線量換算係数ファイル(Photons_Spleen_Male.txt)の場所
38	ICRP Publication116 の光子の男性の Thymus の線量換算係数ファイル(Photons_Thymus_Male.txt)の場所
39	ICRP Publication116 の光子の女性の R-marrow の線量換算係数ファイル(Photons_R-marrow_Female.txt)の場所
40	ICRP Publication116 の光子の女性の Colon の線量換算係数ファイル(Photons_Colon_Female.txt)の場所
41	ICRP Publication116 の光子の女性の Lungs の線量換算係数ファイル(Photons_Lungs_Female.txt)の場所
42	ICRP Publication116 の光子の女性の St-wall の線量換算係数ファイル(Photons_St-wall_Female.txt)の場所
43	ICRP Publication116 の光子の女性の Breast の線量換算係数ファイル(Photons_Breast_Female.txt)の場所
44	ICRP Publication116 の光子の女性の Ovaries の線量換算係数ファイル(Photons_Ovaries_Female.txt)の場所
45	ICRP Publication116 の光子の女性の UB-wall の線量換算係数ファイル(Photons_UB-wall_Female.txt)の場所
46	ICRP Publication116 の光子の女性の Oesophagus の線量換算係数ファイル(Photons_Oesophagus_Female.txt)の場所
47	ICRP Publication116 の光子の女性の Liver の線量換算係数ファイル(Photons_Liver_Female.txt)の場所
48	ICRP Publication116 の光子の女性の Thyroid の線量換算係数ファイル(Photons_Thyroid_Female.txt)の場所
49	ICRP Publication116 の光子の女性の Endost-BS の線量換算係数ファイル(Photons_Endost-BS_Female.txt)の場所
50	ICRP Publication116 の光子の女性の Brain の線量換算係数ファイル(Photons_Brain_Female.txt)の場所
51	ICRP Publication116 の光子の女性の S-glands の線量換算係数ファイル(Photons_S-glands_Female.txt)の場所
52	ICRP Publication116 の光子の女性の Skin の線量換算係数ファイル(Photons_Skin_Female.txt)の場所
53	ICRP Publication116 の光子の女性の Remainder の線量換算係数ファイル(Photons_Remainder_Female.txt)の場所
54	ICRP Publication116 の光子の女性の Adrenals の線量換算係数ファイル(Photons_Adrenals_Female.txt)の場所
55	ICRP Publication116 の光子の女性の ET の線量換算係数ファイル(Photons_ET_Female.txt)の場所
56	ICRP Publication116 の光子の女性の GB-wall の線量換算係数ファイル(Photons_GB-wall_Female.txt)の場所
57	ICRP Publication116 の光子の女性の Ht-wall の線量換算係数ファイル(Photons_Ht-wall_Female.txt)の場所
58	ICRP Publication116 の光子の女性の Kidneys の線量換算係数ファイル(Photons_Kidneys_Female.txt)の場所
59	ICRP Publication116 の光子の女性の Lymph の線量換算係数ファイル(Photons_Lymph_Female.txt)の場所
60	ICRP Publication116 の光子の女性の Muscle の線量換算係数ファイル(Photons_Muscle_Female.txt)の場所
61	ICRP Publication116 の光子の女性の O-mucosa の線量換算係数ファイル(Photons_O-mucosa_Female.txt)の場所
62	ICRP Publication116 の光子の女性の Pancreas の線量換算係数ファイル(Photons_Pancreas_Female.txt)の場所
63	ICRP Publication116 の光子の女性の SI-wall の線量換算係数ファイル(Photons_SI-wall_Female.txt)の場所
64	ICRP Publication116 の光子の女性の Spleen の線量換算係数ファイル(Photons_Spleen_Female.txt)の場所
65	ICRP Publication116 の光子の女性の Thymus の線量換算係数ファイル(Photons_Thymus_Female.txt)の場所
66	ICRP Publication116 の光子の女性の Uterus の線量換算係数ファイル(Photons_Uterus_Female.txt)の場所

3.4.5. 画面構成

本コードのGUIはメインの1画面で構成し、4つのタブを順番に切り替えて条件の選択と設定を行い、計算実行し、結果を閲覧する（図 3.12）。各タブの概要を表 3.22に示す。

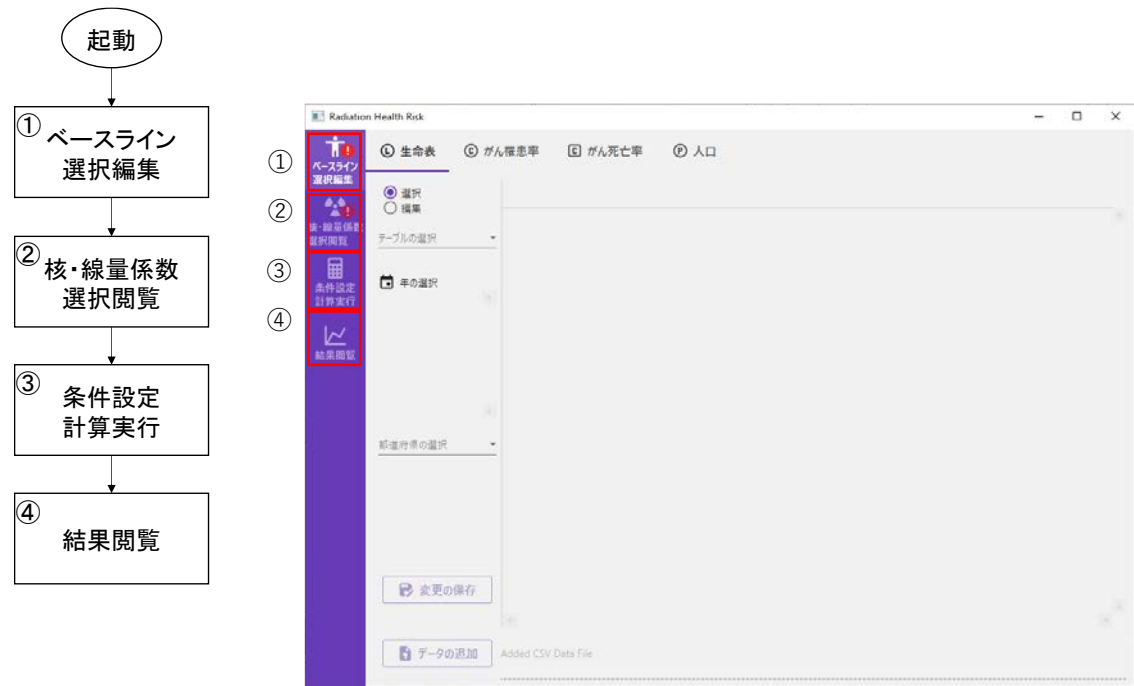


図 3.12 画面遷移とメイン画面

表 3.22 メイン画面のタブの概要

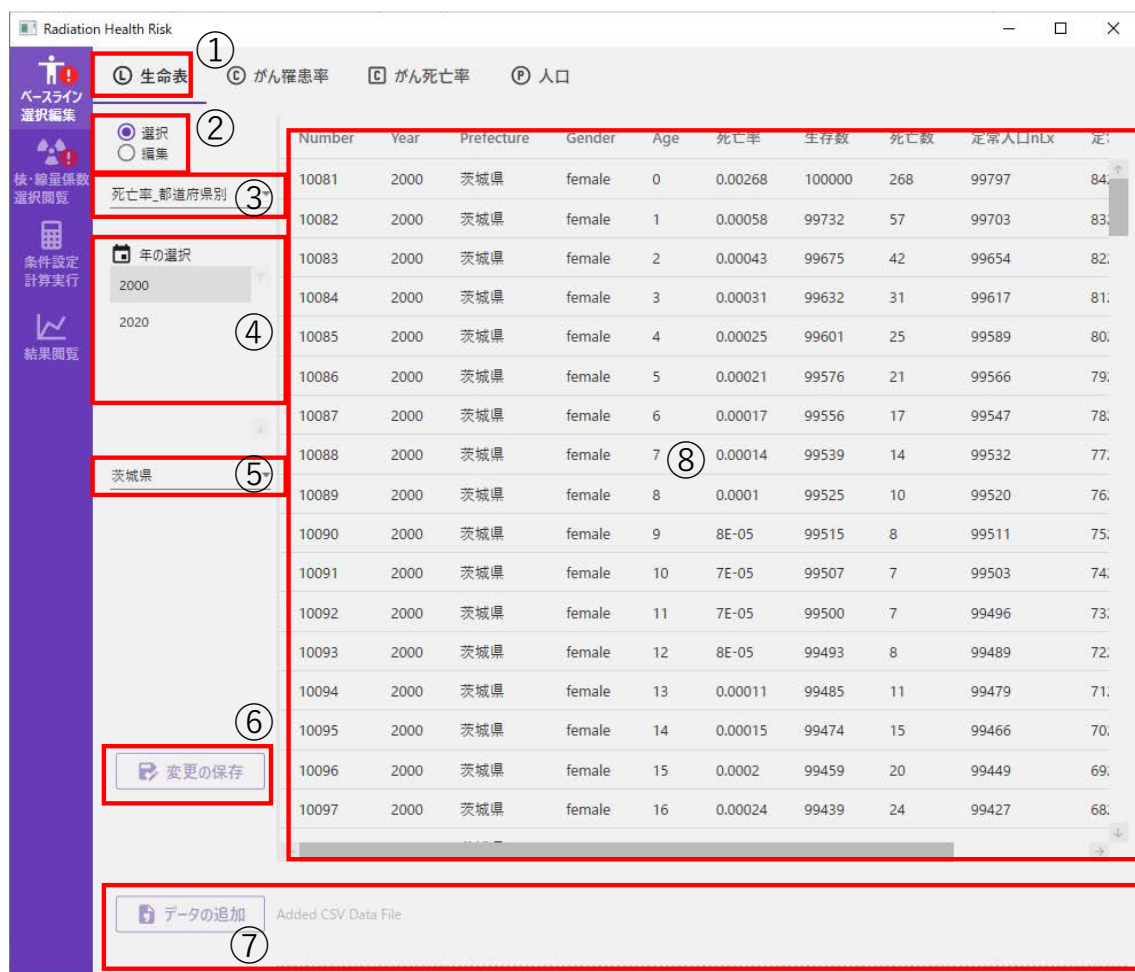
メイン画面のタブ	概要
ベースライン選択編集	ベースラインデータの生命表、がん罹患率、がん死亡率、人口のそれぞれの条件選択や編集を行う。
核・線量係数選択閲覧	核種を選択し、放出エネルギーの閲覧、外部被ばく線量係数の閲覧を行う。
条件設定・計算実行	計算条件設定と計算実行を行う。
結果閲覧	計算結果を図表で閲覧する。

3.4.6. メイン画面の各タブの詳細

(1) ベースライン選択編集タブ

ベースライン選択編集タブでは、リスク計算で使用する4つのベースラインデータ（生命表、がん罹患率、がん死亡率、人口）の選択またはデータ自体の編集を行う。4つのベースラインデータは、それぞれ生命表タブ（図 3.13）、がん罹患率タブ（図 3.14）、がん死亡率タブ（図 3.15）及び人口タブ（図 3.16）で選択編集を行う。なお、“年の選択”部で複数年を選択すると自動的に算術平均された値を利用することが可能である。4つの各タブで選択項目（テーブル、年、都道府県）が設定されたときにベースライン選択編集タブのビックリマークがチェックマークに変わる（図 3.16）。これにより計算に必要なベースラインの項目が設定されたこととなる。

編集を選択したときに編集できる表中の値は、生命表、がん罹患率及びがん死亡率では実数値、人口では整数値とする必要がある。また追加データは表中と同じカラム形式のカンマ区切りのテキストファイルとする。



No.	機能の説明
①	生命表タブ
②	選択または編集を選択する。
③	テーブルを選択する。
④	年を選択する。
⑤	都道府県を選択する（データがない場合は選択不可）。
⑥	②で編集を選択したときに操作可能になり、表中の実数値を編集したとき変更の保存を行う。
⑦	表中の同じカラム形式で用意したCSVファイルを読み込み、表中の最後に追加する（追加分を保存するときは変更の保存で行う）。
⑧	③のテーブル、④の年、⑤の都道府県の選択に依存してデータを表示する。

図 3.13 生命表タブの画面

① がん罹患率

② 選択 / 編集

③ がん罹患率_都道府県別

④ 年の選択

⑤ 茨城県

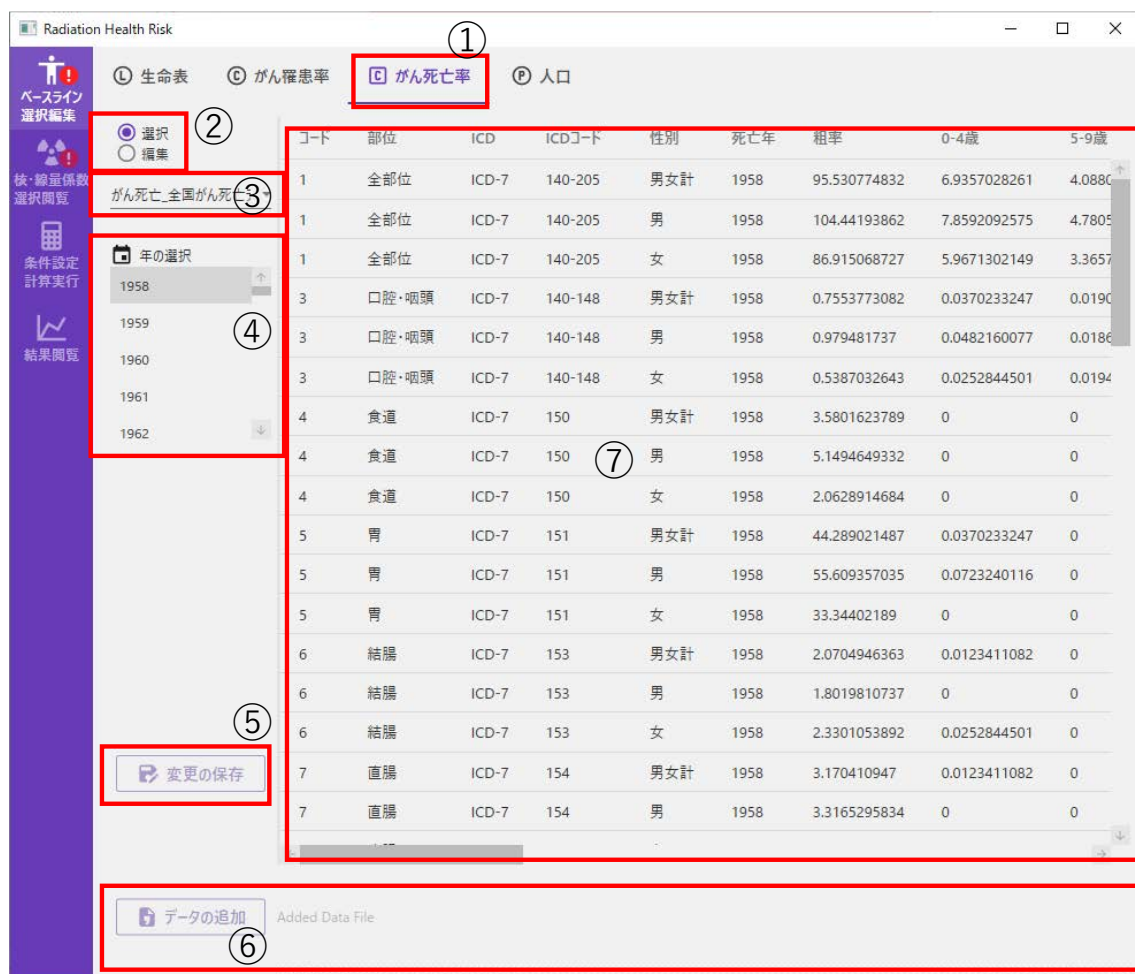
⑥ 変更の保存

⑦ データの追加

都道府県番号	都道府県	コード	部位	ICD-10	性別	診断年	全年齢	0-
8	茨城県	1	全部位	C00-C96	総数	2016	755.93803787	12
8	茨城県	1	全部位	C00-C96	男	2016	895.5801105	10
8	茨城県	1	全部位	C00-C96	女	2016	617.0212766	13
8	茨城県	3	口腔・咽頭	C00-C14	総数	2016	14.320137694	0.5
8	茨城県	3	口腔・咽頭	C00-C14	男	2016	20.23480663	0
8	茨城県	3	口腔・咽頭	C00-C14	女	2016	8.4420041181	1.1
8	茨城県	4	食道	C15	総数	2016	18.795180723	0
8	茨城県	4	食道	C15	男	2016	30.870165746	0
8	茨城県	4	食道	C15	女	2016	6.7947838023	0
8	茨城県	5	胃	C16	総数	2016	103.0636833	0
8	茨城県	5	胃	C16	男	2016	146.82320442	0
8	茨城県	5	胃	C16	女	2016	59.574468085	0
8	茨城県	6	結腸	C18	総数	2016	81.790017212	0
8	茨城県	6	結腸	C18	男	2016	94.267955801	0
8	茨城県	6	結腸	C18	女	2016	69.3891558	0
8	茨城県	7	直腸	C19-C20	総数	2016	42.409638554	0
8	茨城県	7	直腸	C19-C20	男	2016	55.455801105	0

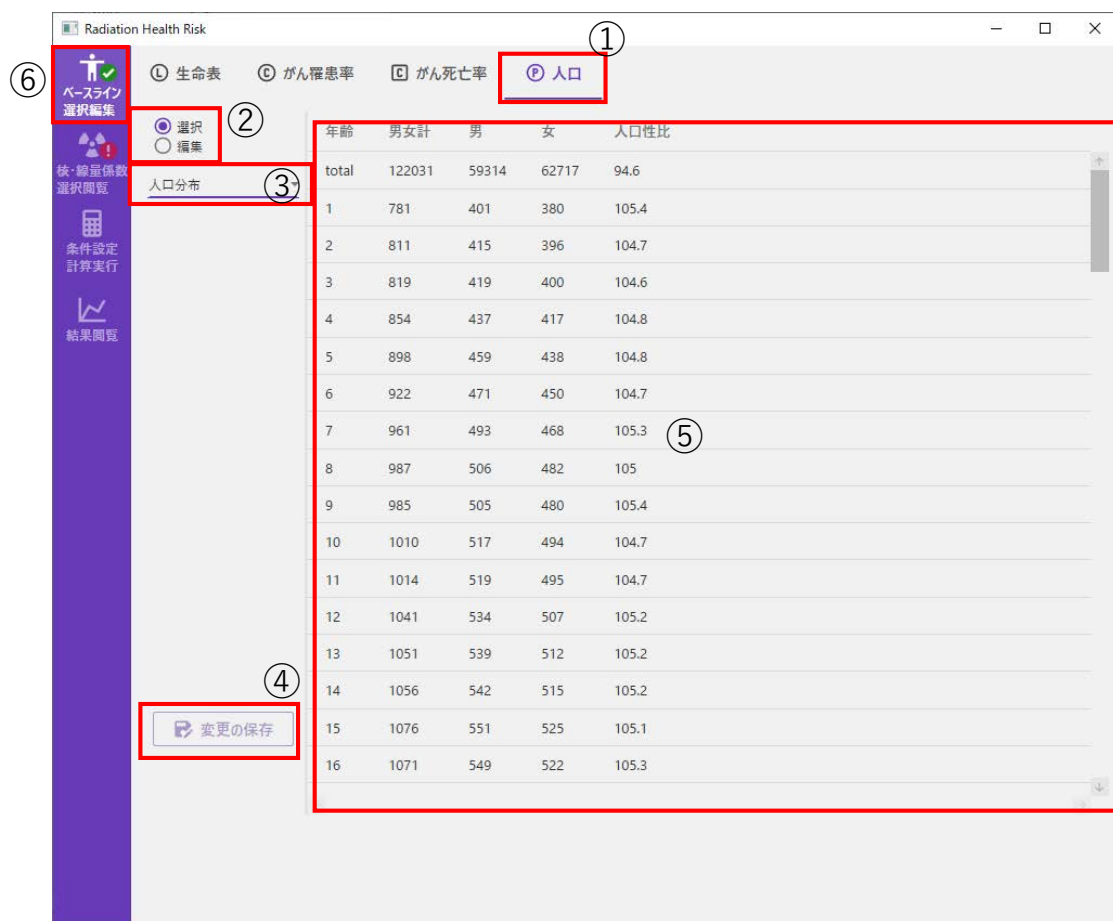
No.	機能の説明
①	がん罹患率タブ
②	選択または編集を選択する。
③	テーブルを選択する。
④	年を選択する。
⑤	都道府県を選択する（データがない場合は選択不可）。
⑥	②で編集を選択したときに操作可能になり、表中の実数値を編集したとき変更の保存を行う。
⑦	表中の同じカラム形式で用意したCSVファイルを読み込み、表中の最後に追加する（追加分を保存するときは変更の保存で行う）。
⑧	③のテーブル、④の年、⑤の都道府県の選択に依存してデータを表示する。

図 3.14 がん罹患率タブの画面



No.	機能の説明
①	がん死亡率タブ
②	選択または編集を選択する。
③	テーブルを選択する。
④	年を選択する。
⑤	②で編集を選択したときに操作可能になり、表中の実数値を編集したとき変更の保存を行う。
⑥	表中の同じカラム形式で用意したCSVファイルを読み込み、表中の最後に追加する（追加分を保存するときは変更の保存で行う）。
⑦	③のテーブル、④の年の選択に依存してデータを表示する。

図 3.15 がん死亡率タブの画面

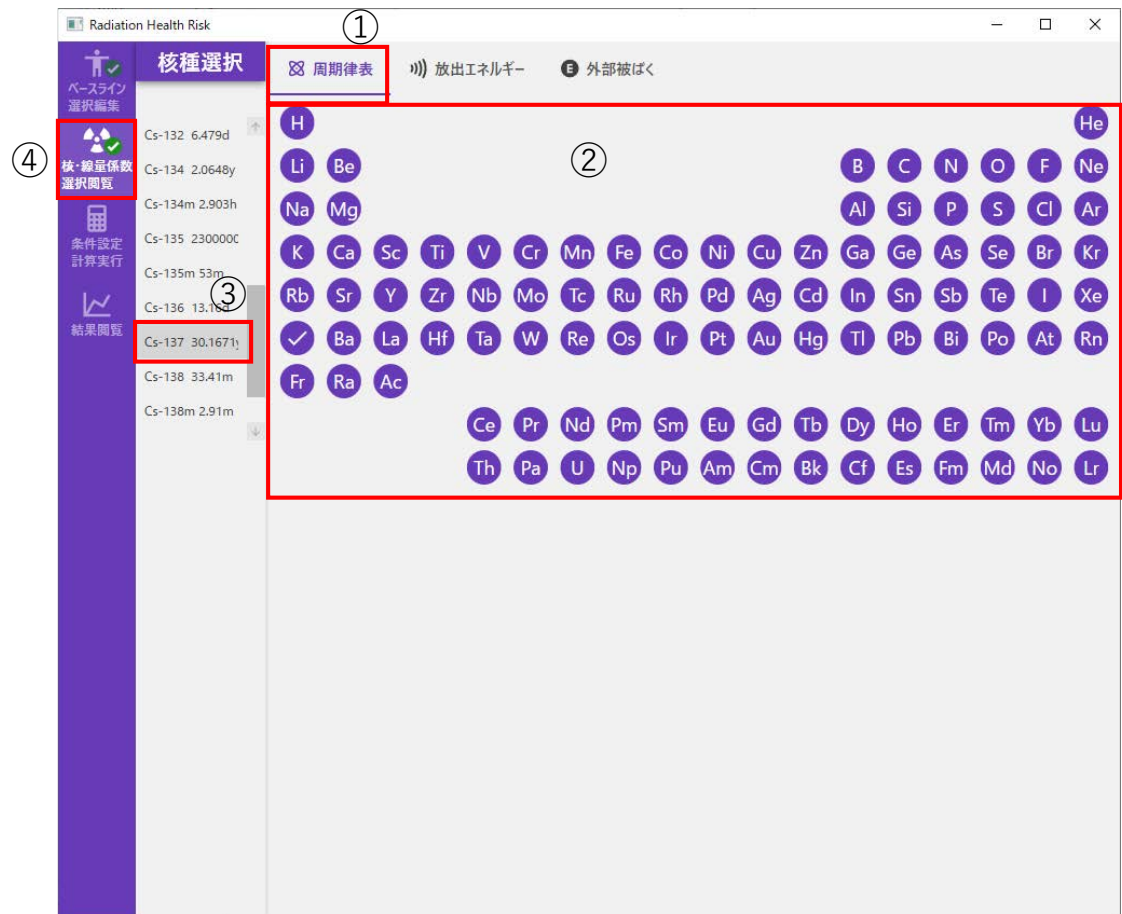


No.	機能の説明
①	人口タブ
②	選択または編集を選択する。
③	テーブルを選択する。
④	②で編集を選択したときに操作可能になり、表中の年齢以外の値を編集したとき変更の保存を行う。
⑤	③のテーブルの選択に依存してデータを表示する。
⑥	生命表から人口までで選択項目が設定されたときにビックリマークからチェックマークに変化する。ベースラインに関する計算項目の設定が行われたことを意味する。

図 3.16 人口タブの画面

(2) 核・線量係数選択閲覧タブ

核・線量係数選択閲覧タブでは、周期律表タブ（図 3.17）で核種を選択する。選択されるとビックリマークがチェックマークに変わり、これで計算に必要な核種が設定できたことになる。放出エネルギータブ（図 3.18）では、選択核種に対するICRP Publ.107の放出エネルギーを閲覧できる。外部被ばくタブでは、個人線量当量（図 3.19）と周辺線量当量率（図 3.20）に関する線量係数を閲覧できる。



No.	機能の説明
①	周期律表タブ
②	元素を選択する。
③	リストから核種を選択する。
④	核種を選択するとビックリマークからチェックマークに変化する。核種に関する計算項目の設定が行われたことを意味する。

図 3.17 周期律表タブの画面

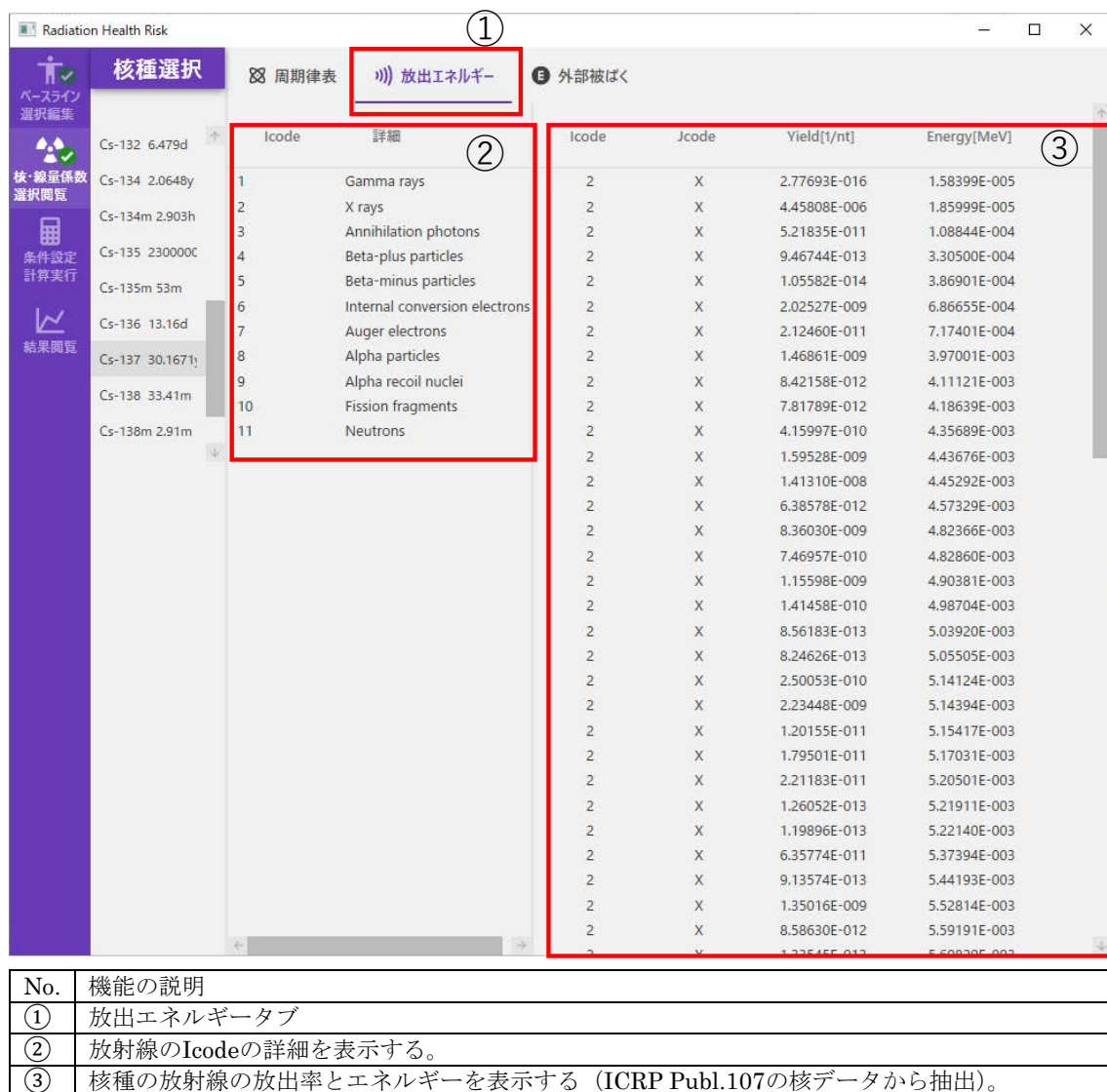
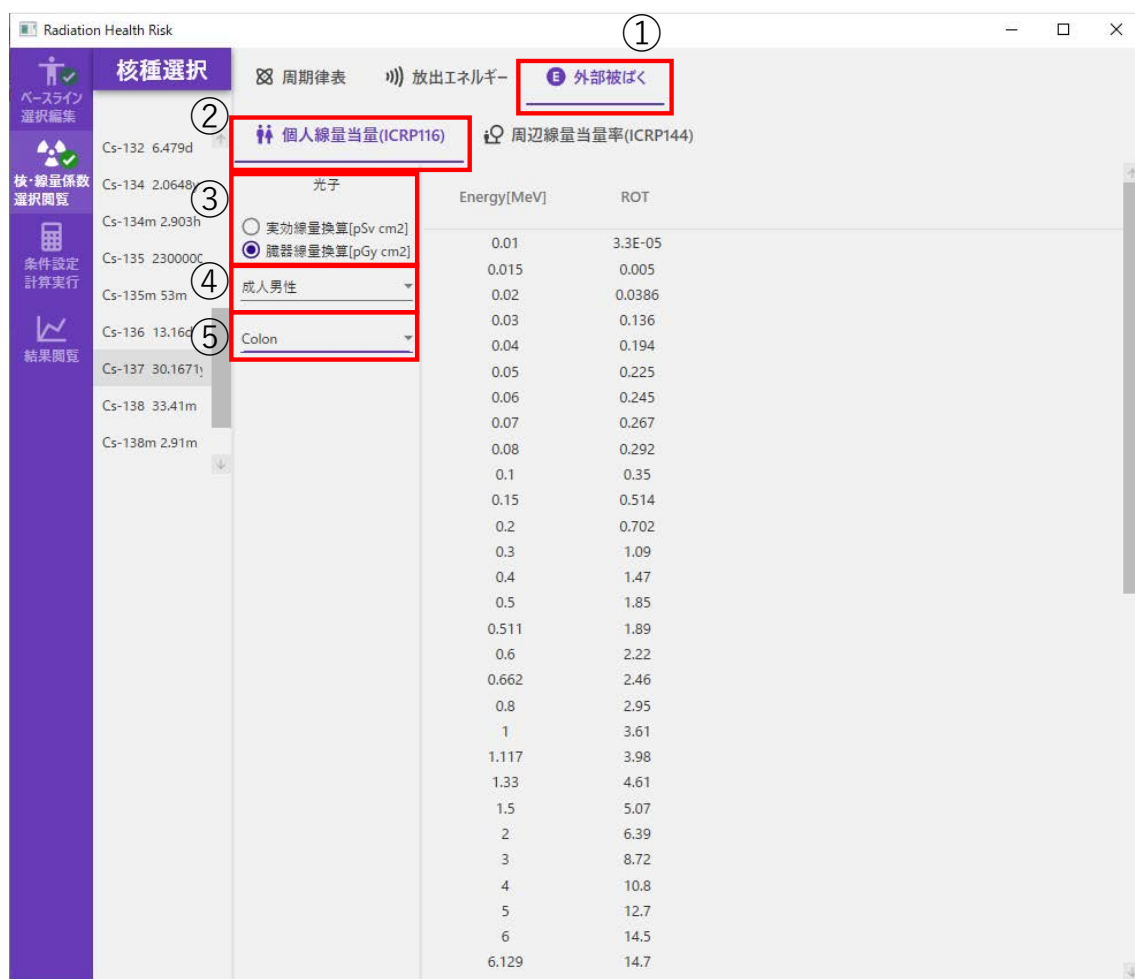


図 3.18 放出エネルギータブの画面



No.	機能の説明
①	外部被ばくタブ
②	個人線量当量(ICRP116)タブ
③	光子の実効線量換算係数または臓器線量換算係数を選択する。
④	性別（成人男性または成人女性）及び臓器を選択する（③の実効のとき選択不可、臓器のとき選択可）。
⑤	エネルギーごとの回転（ROT）に対する線量換算係数を表示する。

図 3.19 外部被ばくタブの個人線量当量（ICRP116）タブの画面

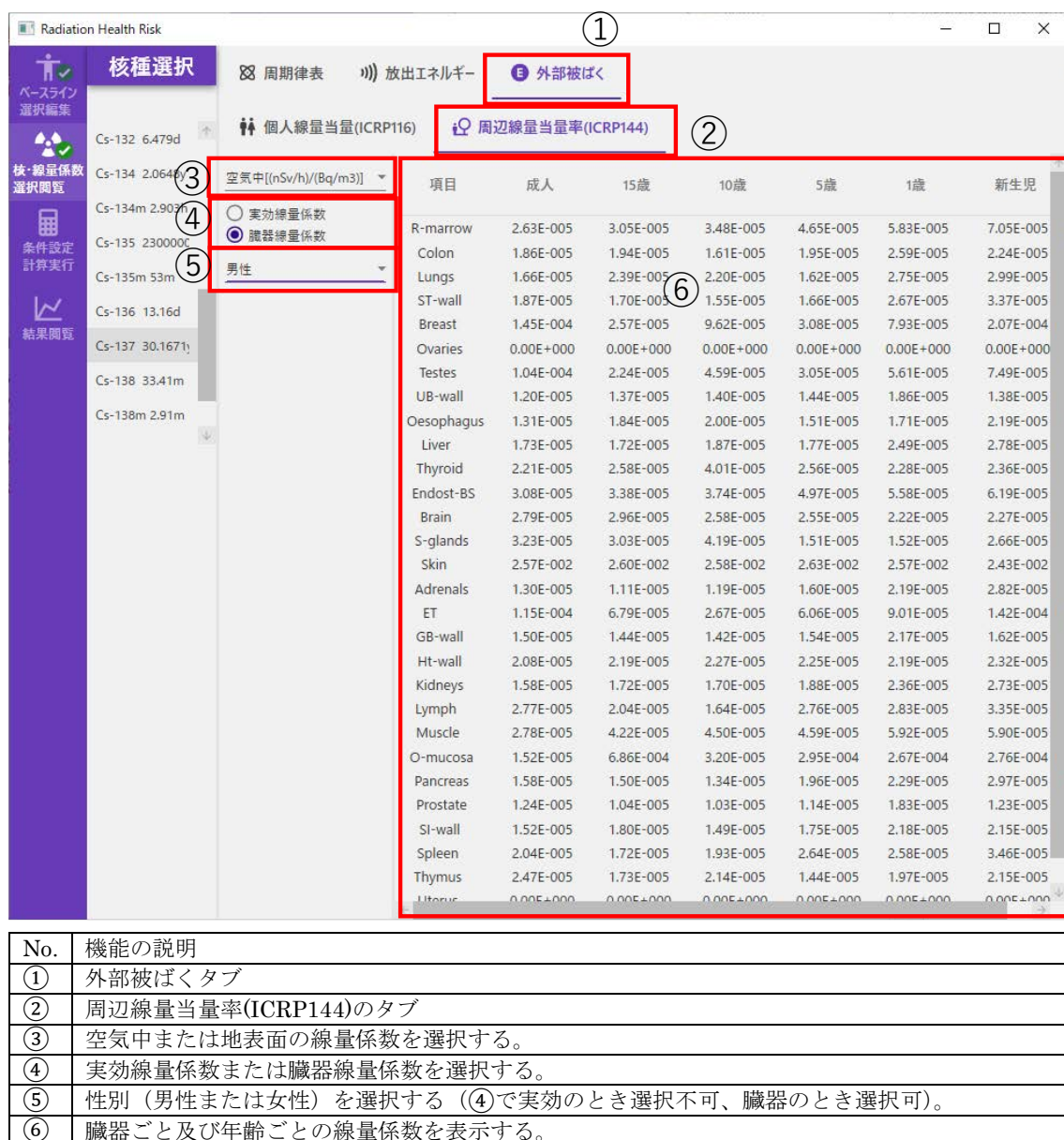


図 3.20 外部被ばくタブの周辺線量当量率（ICRP144）タブの画面

(3) 条件設定・計算実行タブ

条件設定・計算実行タブでは、計算条件の設定及び実行を行う。計算条件の設定にはさらに5つのタブ（設定・実行タブ、放射線リスクモデルタブ、喫煙リスクモデルタブ、相対生存率タブ、DALYデータタブ）がある。

ベースライン選択編集タブ及び核・線量係数選択閲覧タブに関する設定を行った後の条件設定・計算実行タブの中の設定・実行タブは図 3.21の表示となる。ベースラインの各項目及び核種の選択が左側に表示される。次に図 3.22に示す入力データの読み込みボタンから入力データのXMLファイル（RiskInput_XXXXX.xml. 例：RiskInput_LSS14.xml）を指定すると、画面に各値が表示される（図 3.23）。各値を変更し、計算実行ボタンをクリックすると、変更の保存に関する注意ダイアログ表示される（図 3.24）。変更を変更の保存ボタンをクリックして保存した後、再度計算実行ボタンをクリックすると計算が実行され、計算中ダイアログが終了まで表示される（図 3.25）。

なお、ベースライン選択編集タブ及び核・線量係数選択閲覧タブで選択を行わずに設定・実行タブの入力データの読み込みボタン（図 3.22）から入力データを読み込んで操作することも可能である。このときのベースラインと核種は入力データファイルに予め設定されている値が表示されることとなる（ただし核種の半減期の表示はされない）。

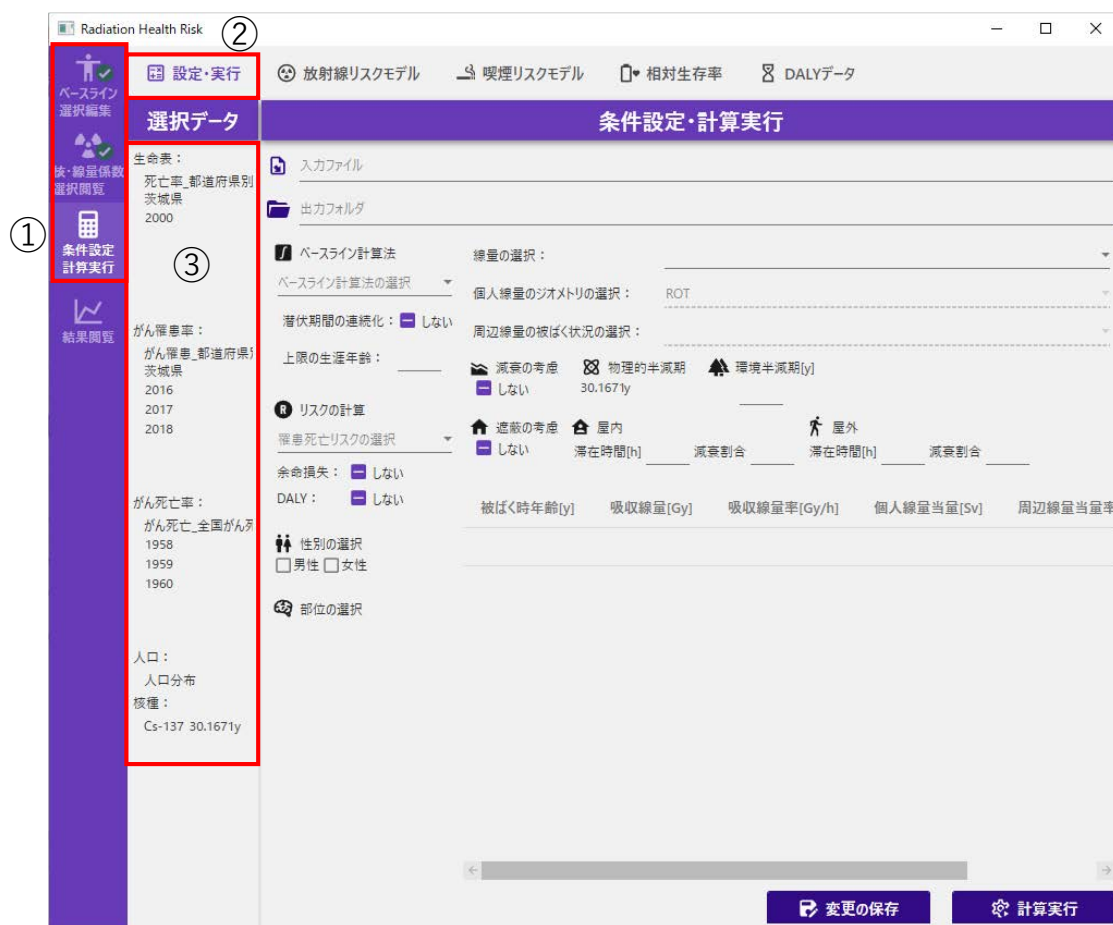
放射線リスクモデルタブ（図 3.26）では、放射線リスクモデルの式及び係数を閲覧及び変更を行う。設定・実行タブで入力データのXMLファイルを読み込んだ後、対応する放射線リスクモデルのデータのXMLファイル（RiskModel_XXXXX.xml. 例：RiskModel_LSS14.xml）が表示される（図 3.26）。読み込みボタンをクリックすれば、そのファイルのデータが読み込まれ画面に表示される（図 3.27）。それぞれの項目の内容を図 3.28及び図 3.29に示す。画面上で変更があった場合、赤字で「変更されました！」が表示される。変更の保存のボタンをクリックして変更を保存する（図 3.30）。なお、変更を保存せずに計算を実行した場合、変更前のデータで計算が行われることとなるので注意する。

喫煙リスクモデルタブ（図 3.31）では、喫煙リスクモデルの式及び係数を閲覧および変更を行う。設定・実行タブで喫煙モデルが考慮できる入力データのXMLファイル（現状では、RiskInput_Cahoon2017.xmlとRiskModel_grant2017.xml）を読み込んだ後、対応する喫煙リスクモデルのデータのXMLファイル（RiskModelSmoking_XXXXX.xml. 例：RiskModelSmoking_Cahoon2017.xml）が表示される（図 3.31）。読み込みボタンをクリックすれば、そのファイルのデータが読み込まれ画面に表示される。

相対生存率タブ（図 3.32）では、相対生存率のデータ閲覧及び考慮の可否に関する変更を行う。設定・実行タブで入力データのXMLファイルを読み込んだ後、対応する相対生存率

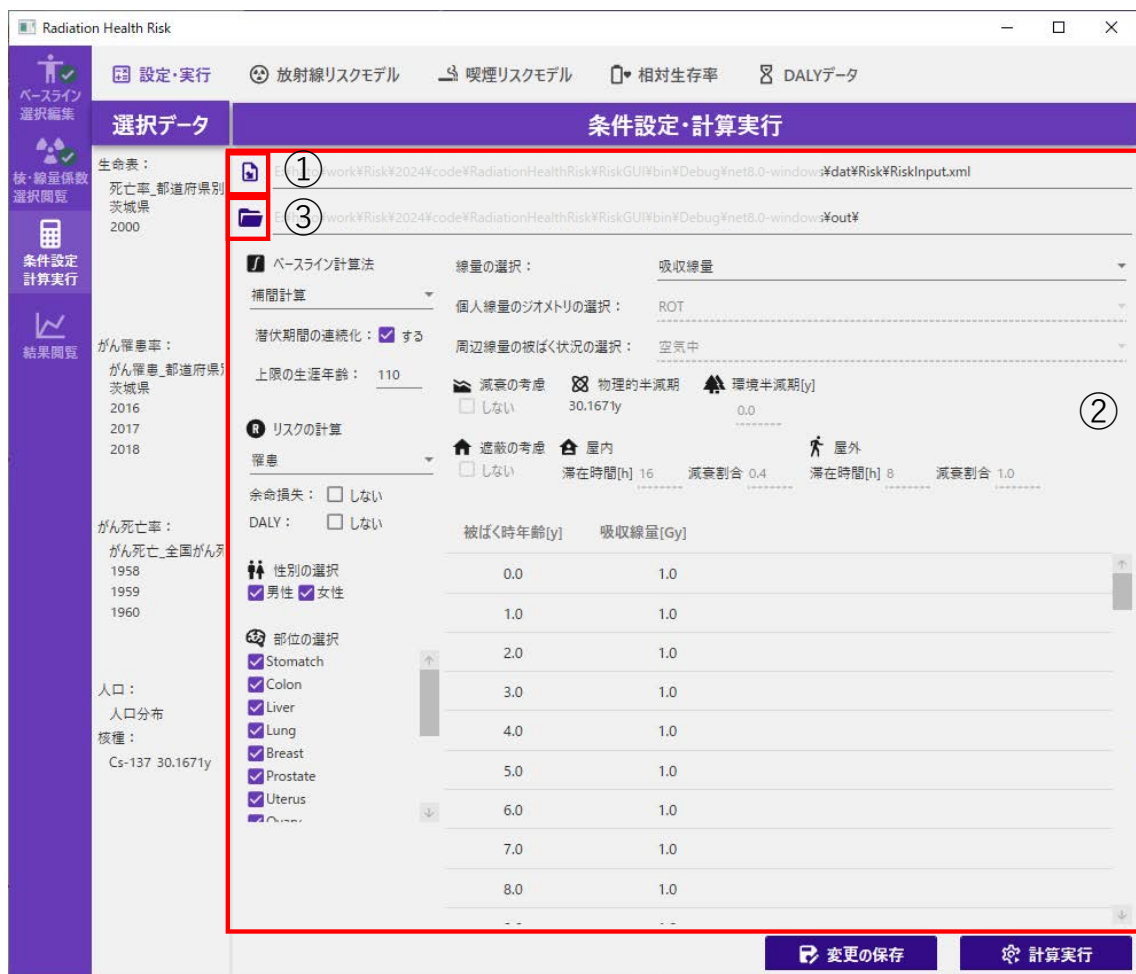
のデータのXMLファイルが表示される（図 3.32）。読み込みボタンをクリックすれば、データファイルに存在する影響一覧が表示される（図 3.33）。それぞれの項目の内容を図 3.34 に示す。相対生存率の値は閲覧のみで、変更できるのは考慮の可否のチェックだけである。チェックを変更すると、赤字で「変更されました！」が表示される。変更の保存のボタンをクリックして変更を保存する（図 3.35）。なお、変更を保存せずに計算を実行した場合、変更前のデータで計算が行われることとなるので注意する。

DALYデータタブ（図 3.36）では、DALYのデータ閲覧を行う。設定・実行タブで入力データのXMLファイルを読み込んだ後、対応するDALYのデータのXMLファイルが表示される。読み込みボタンをクリックすれば、DALYデータが表示される（図 3.36）。



No.	機能の説明
①	条件設定・計算実行タブ（ベースラインの項目選択と核種の選択を行った後の場合）
②	設定・実行タブ
③	ベースライン選択編集と核・線量係数選択閲覧で選択した項目を表示する。

図 3.21 ベースラインの項目と核種の選択を行った後の設定・実行タブの画面



No.	機能の説明
①	ボタンをクリックするとウィンドウが起動し、入力データのXMLファイル（例RiskInput.xml）を選択する。選択した入力データのファイルの場所を表示する。
②	入力データが読み込まれて、各入力値を表示する。
③	計算結果を保存するフォルダを表示する。異なるフォルダとする場合はボタンをクリックして、フォルダを選択する。

図 3.22 入力データのファイルを読み込んだ後の設定・実行タブの画面

Radiation Health Risk

設定・実行 放射線リスクモデル 喫煙リスクモデル 相対生存率 DALYデータ

選択データ 条件設定・計算実行

生命表：
死亡年_都道府県別
茨城県
2000

がん罹患率：
がん罹患_都道府県別
茨城県
2016
2017
2018

がん死亡率：
がん死亡_全国がん
1958
1959
1960

人口：
人口分布
核種：
Cs-137 30.1671y

① ベースライン計算法
補間計算

② 潜伏期間の連続化：☒ する

③ 上限の生涯年齢： 110

④ リスクの計算
罹患

⑤ 余命損失：☐ しない
DALY：☐ しない

⑥ 性別の選択
☒ 男性 ☒ 女性

⑦ 部位の選択
☒ Stomach
☒ Colon
☒ Liver
☒ Lung
☒ Breast
☒ Prostate
☒ Uterus

線量の選択： 吸収線量

個人線量のジオメトリの選択： ROT

周辺線量の被ばく状況の選択： 空気中

減衰の考慮 ☐ しない 物理的半減期 30.1671y 環境半減期[y] 0.0

遮蔽の考慮 ☐ しない 屋内 滞在時間[h] 16 減衰割合 0.4 屋外 滞在時間[h] 8 減衰割合 1.0

被ばく時年齢[y]	吸収線量[Gy]
0.0	1.0
1.0	1.0
2.0	1.0
3.0	1.0
4.0	1.0
5.0	1.0
6.0	1.0
7.0	1.0
8.0	1.0
--	--

変更の保存 計算実行

No.	機能の説明
①	ベースラインの年齢区分間を補間計算または階段関数から選択する。
②	潜伏期間を連続化（EPA2011のAppendixの方法）するときチェックし、ゼロとするとき外す。
③	生涯積分のときの上限の生涯年齢を入力する。
④	計算するリスクを罹患または死亡から選択する。
⑤	余命損失またはDALYを計算するときチェックし、しないとき外す。
⑥	男性または女性を計算するときチェックし、しないとき外す（両方チェックなしの計算は不可）。
⑦	計算する部位をチェックし、しないとき外す（全てチェックなしは計算不可）

図 3.23 設定・実行タブの項目の内容（1/2）

選択データ

生命表:
死亡率_都道府県別
茨城県
2000

がん罹患率:
がん罹患_都道府県別
茨城県
2016
2017
2018

がん死亡率:
がん死亡_全国がん
1958
1959
1960

人口:
人口分布
核種:
Cs-137 30.1671y

条件設定・計算実行

ベースライン計算法
補間計算
潜伏期間の連続化: ☒ する
上限の生涯年齢: 110

リスクの計算
罹患
余命損失: ☐ しない
DALY: ☐ しない

性別の選択
☒ 男性 ☒ 女性

部位の選択
☒ Stomach
☒ Colon
☒ Liver
☒ Lung
☒ Breast
☒ Prostate
☒ Uterus

線量の選択: 吸収線量

個人線量のジオメトリの選択: ROT

周辺線量の被ばく状況の選択: 空気中

減衰の考慮 ☐ しない 30.1671y 物理的半減期 環境半減期(y) 0.0

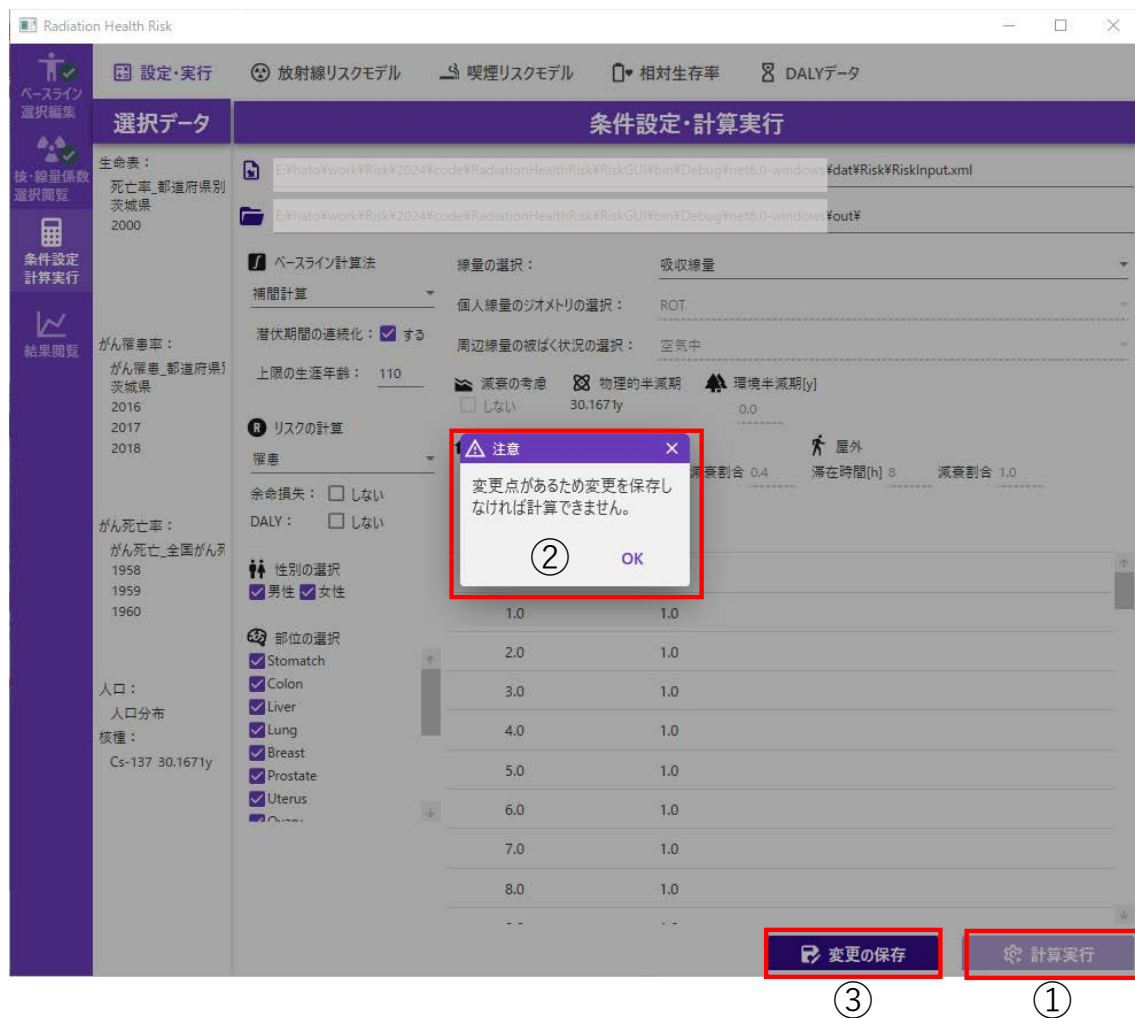
遮蔽の考慮 ☐ しない 滞在時間(h) 16 減衰割合 0.4 屋内 滞在時間(h) 8 減衰割合 1.0 屋外

被ばく時年齢[y]	吸収線量[Gy]
0.0	1.0
1.0	1.0
2.0	1.0
3.0	1.0
4.0	1.0
5.0	1.0
6.0	1.0
7.0	1.0
8.0	1.0

変更の保存 計算実行

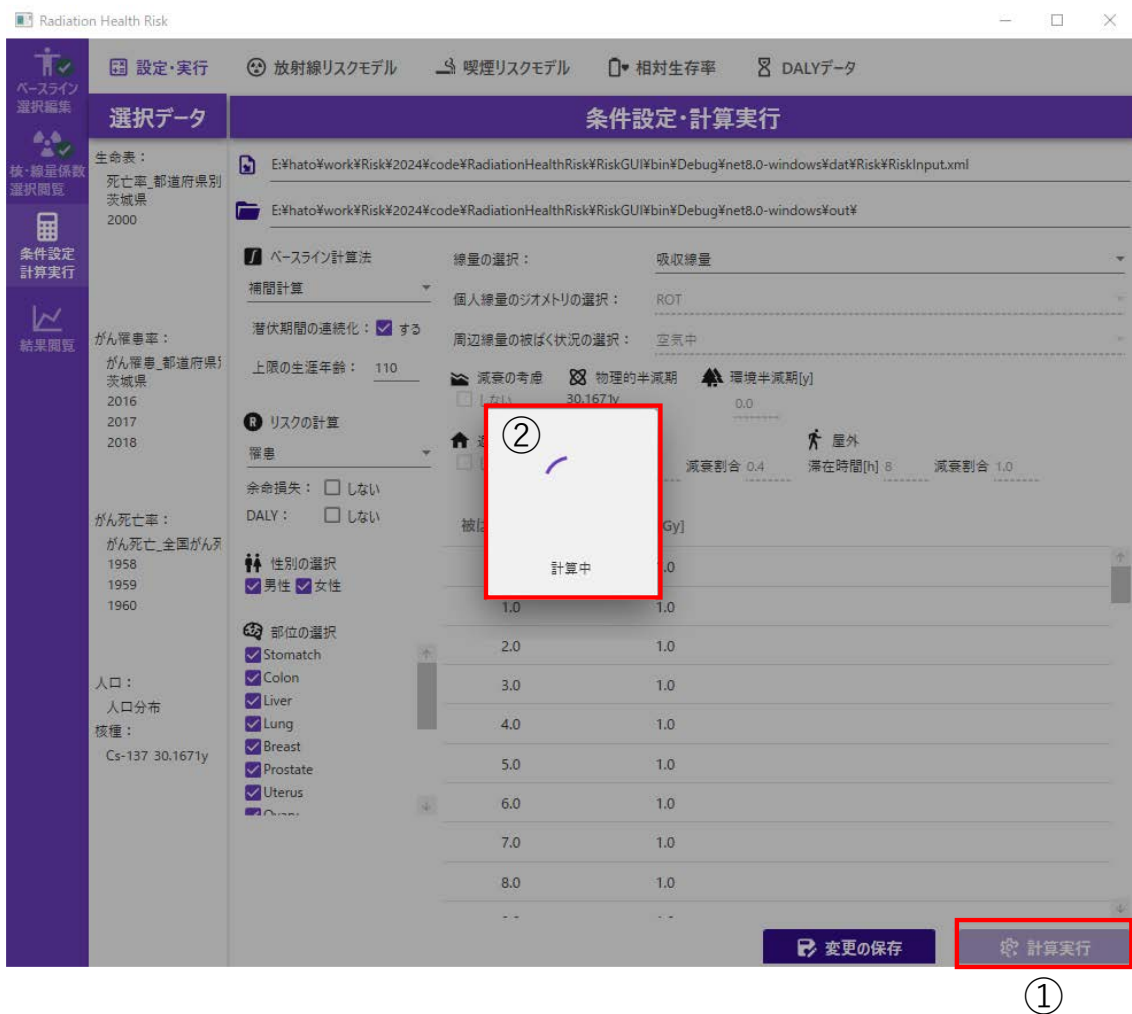
No.	機能の説明						
①	被ばく線量を吸収線量、吸収線量率、個人線量当量または周辺線量当量率から選択する。						
②	個人線量当量を選択したとき設定可能となるが、選択できるのはROT（回転）のみである。						
③	周辺線量当量率を選択したとき設定可能となり、空気中または地表面を選択する。						
④	吸収線量率または周辺線量当量率を選択したとき設定可能となる。減衰を考慮するときはチェックする。物理的半減期は核データの値を表示し、環境半減期(y)はゼロ以上の値を設定する。						
⑤	吸収線量率または周辺線量当量率を選択したとき設定可能となる。遮蔽を考慮するときはチェックし、屋内外の滞在時間(h)と減衰割合(1以下の値)を設定する。						
⑥	被ばく線量の選択により以下の設定項目の表示となり、各値を設定する。						
		被ばく時 年齢(y)	吸収線量 (Gy)	吸収線量 率(Gy h ⁻¹)	個人線量 当量(Sv)	周辺線量 当量率 (Sv h ⁻¹)	被ばく期 間(d)
	吸収線量	○	○	×	×	×	×
	吸収線量率	○	×	○	×	×	○
	個人線量当量	○	×	×	○	×	×
	周辺線量当量 率	○	×	×	×	○	○

図 3.23 設定・実行タブの項目の内容 (2/2)



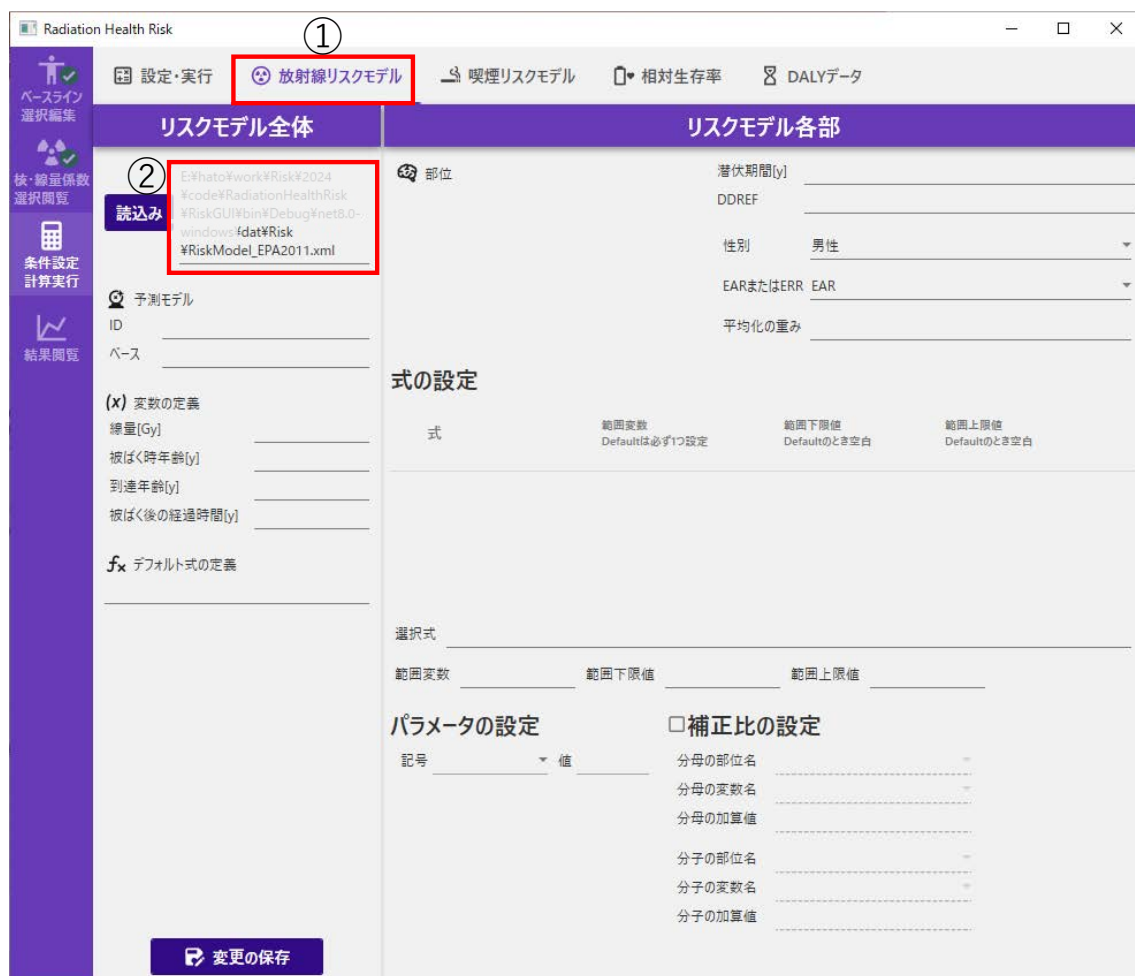
No.	機能の説明
①	計算を実行するには計算実行ボタンをクリックする。
②	変更が保存されていない場合は注意のダイアログが表示される（設定・実行タブ上で変更しなかった場合でも生命表、がん罹患率、がん死亡率、人口または核種の選択が読込んだ入力データと同じでないことから注意ダイアログが表示される）。
③	変更の保存ボタンをクリックして変更の保存を行う。

図 3.24 計算実行したときに変更がある場合の設定・実行タブの画面



No.	機能の説明
①	計算を実行するには計算実行ボタンをクリックする。
②	計算実行中は計算中のダイアログが表示される。メインの画面はグレー表示になり計算終了まで操作できない。

図 3.25 計算実行中の設定・実行タブの画面



No.	機能の説明
①	放射線リスクモデルタブ
②	入力データを読み込んだ後の初期は放射線リスクモデルデータのXMLファイル（例 RiskModel_EPA2011.xml）の場所を表示する。

図 3.26 設定・実行タブで入力データを読み込んだ後の放射線リスクモデルタブの画面

No.	機能の説明
①	読み込みボタンをクリックすると、放射線リスクモデルデータのXMLファイルを読み込む。
②	読み込んだ後、放射線リスクモデルデータを画面に表示する。

図 3.27 放射線リスクモデルデータの読み込み後の放射線リスクモデルタブの画面

Radiation Health Risk

設定・実行 放射線リスクモデル 喫煙リスクモデル 相対生存率 DALYデータ

リスクモデル全体 リスクモデル各部

読み込み

予測モデル

ID EPA2011

ベース Incidence

(x) 変数の定義

線量[Gy] dose

被ばく時年齢[y] ageE

到達年齢[y] ageA

被ばく後の経過時間[y] timeE

f_x デフォルト式の定義

beta*dose*exp(gamma*((min(ageE,30)-30)/10))*(ageA/60)^eta

部位

Stomach

Colon

Liver

Lung

Default

式の設定

式

範囲変数 Defaultは必ず1つ設定

範囲下限値 Defaultのとき空白

範囲上限値 Defaultのとき空白

Default

Default

選択式 Default

範囲変数 Default

範囲下限値

範囲上限値

パラメータの設定

記号 beta 値 4.9

補正比の設定

分母の部位名

分母の変数名

分母の加算値

分子の部位名

分子の変数名

分子の加算値

変更の保存

No.	機能の説明
①	部位をリストから選択する。
②	潜伏期間を表示または変更する。
③	DDREFを表示または変更する。
④	男性または女性を選択する。
⑤	EARまたはERRを選択する。
⑥	平均化の重みを表示または変更する。

図 3.29 放射線リスクモデルタブのリスクモデル各部に関する項目の内容 (1/2)

The screenshot shows the 'Radiation Health Risk' application window. The 'Risk Model Details' tab is active. On the left, there's a sidebar with icons for 'Baseline Selection/Editing', 'Coefficient Selection/Viewing', 'Condition Setting/Calculation Execution', and 'Result Viewing'. The main area is split into two columns. The left column contains 'Risk Model Overview' with fields for 'Read In', 'Prediction Model ID' (EPA2011), 'Base' (Incidence), and 'Variable Definition' (dose, ageE, ageA, timeE). The right column contains 'Risk Model Details' with fields for 'Organ' (Stomach, Colon, Liver, Lung), 'Latency Period' (5.0), 'DDREF' (1.5), 'Sex' (Male), 'EAR or ERR' (EAR), and 'Average Weight' (0.3). Below these are three sections: 'Formula Settings' (1), 'Parameter Settings' (3), and 'Correction Ratio Settings' (4). The 'Formula Settings' section has a dropdown for 'Formula' (Default) and fields for 'Range Variable' (Default), 'Range Lower Limit', and 'Range Upper Limit'. The 'Parameter Settings' section has a dropdown for 'Parameter' (beta) and a value field (4.9). The 'Correction Ratio Settings' section has a checkbox for 'Correction Ratio' and fields for 'Denominator' and 'Numerator' (position, variable, coefficient, and calculation value).

No.	機能の説明
①	設定された式、範囲変数、範囲下限値及び範囲上限値が表示される。行の選択は空白部分をクリックする。式ではDefault（デフォルト式を指す）とデフォルト式以外の式（または空白）の2つの選択がある。範囲変数ではDefaultと変数の定義に示す変数名の選択があり、変数名のときは下限値と上限値の範囲で式を適応し、Defaultでは範囲に含まれないときの式の適応を意味する。この決まりから範囲変数のDefaultは必ず1つ設定し、その範囲は空白にする必要がある（ヘッダー部分に注意を提示）。
②	①で選択した式と範囲変数、範囲下限値及び範囲上限値を表示し、式、範囲下限値及び範囲上限値の変更を行う。式の変更では定義した変数とパラメータを使用し、空白のとき新たに式を入力できる。下限値と上限値は実数とする。
③	係数を選択し、対応した値を表示し、変更する。
④	Blue Bookモデルの白血病を計算するときのみに使用する。今後の造血器腫瘍の計算時に必要かどうかは調査が必要。補正比の適用のときチェックし、不適用のときは外す。外されたとき各値は空白となる。分母分子の影響名と変数名はリストから選択し、加算値は変数に加算する実数値を入力する。なお補正比はがん罹患率またはがん死亡率の比を表し、ベース（IncidenceまたはMortality）に依存してどちらの率が適用されるかが決まる。

図 3.29 放射線リスクモデルタブのリスクモデル各部に関する項目の内容（2/2）

バック

ホーム

設定・実行

放射線リスクモデル

喫煙リスクモデル

相対生存率

DALYデータ

リスクモデル全体

リスクモデル各部

読み込み

予測モデル

変数の定義

デフォルト式の定義

ファイル名

ID

ベース

線量[Gy]

被ばく時年齢[y]

到達年齢[y]

被ばく後の経過時間[y]

式

パラメータの設定

補正比の設定

OtherSolid

Thyroid

Leukemia

Kidney

部位

潜伏期間[y]

DDREF

性別

EARまたはERR

平均化の重み

式

範囲変数

範囲下限値

範囲上限値

選択式

範囲変数

範囲下限値

範囲上限値

記号

値

分母の部位名

分母の変数名

分母の加算値

分子の部位名

分子の変数名

分子の加算値

変更されました！

変更の保存

No.	機能の説明
①	変更があったとき、赤字で「変更されました！」が表示される。
②	変更の保存ボタンをクリックすると変更が保存される。なお、変更を保存せずに計算を実行した場合、変更前のデータで計算がなされる。

図 3.30 変更があった時の放射線リスクモデルタブの画面

全般

① 設定・実行 放射線リスクモデル 喫煙リスクモデル 相対生存率 DALYデータ

② 読み込み

☒ 喫煙リスクの考慮

③ (x) 変数の定義

変数名	値
到達年齢[y]	ageA
1日のたばこの本数	ciga
誕生日[y]	birth
喫煙開始年齢[y]	ageStaSmk
喫煙終了年齢[y]	ageStoSmk

④ (y) 値の設定

項目	値
1日のたばこの本数	20
誕生日[y]	1915
喫煙開始年齢[y]	20
喫煙終了年齢[y]	50

⑤ f× デフォルト式の定義

詳細

⑥ 部位
SolidCancer

⑦ Male
EAR
Simple Additive

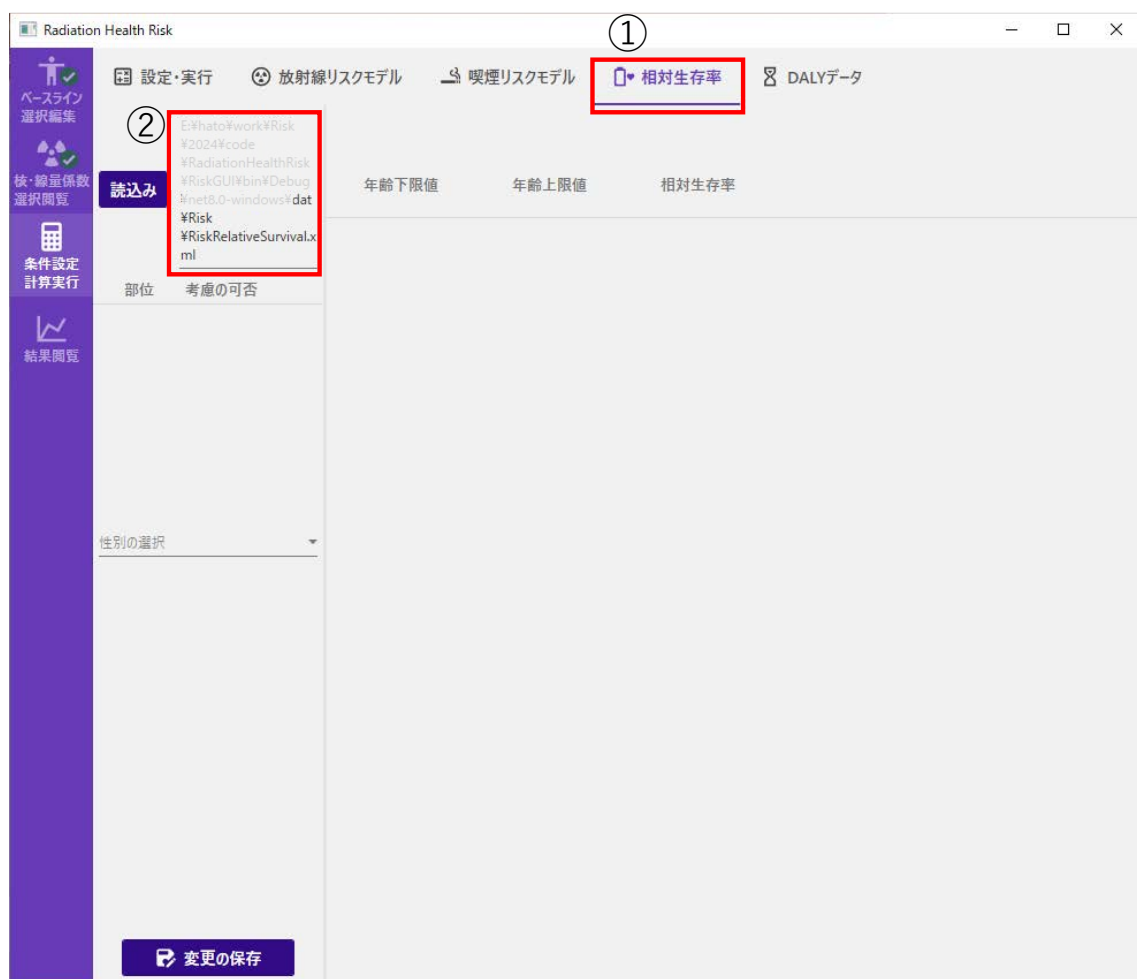
式の設定
喫煙作用 式 喫煙と放射線の相互作用式

パラメータの設定
記号 値

⑧ 変更の保存

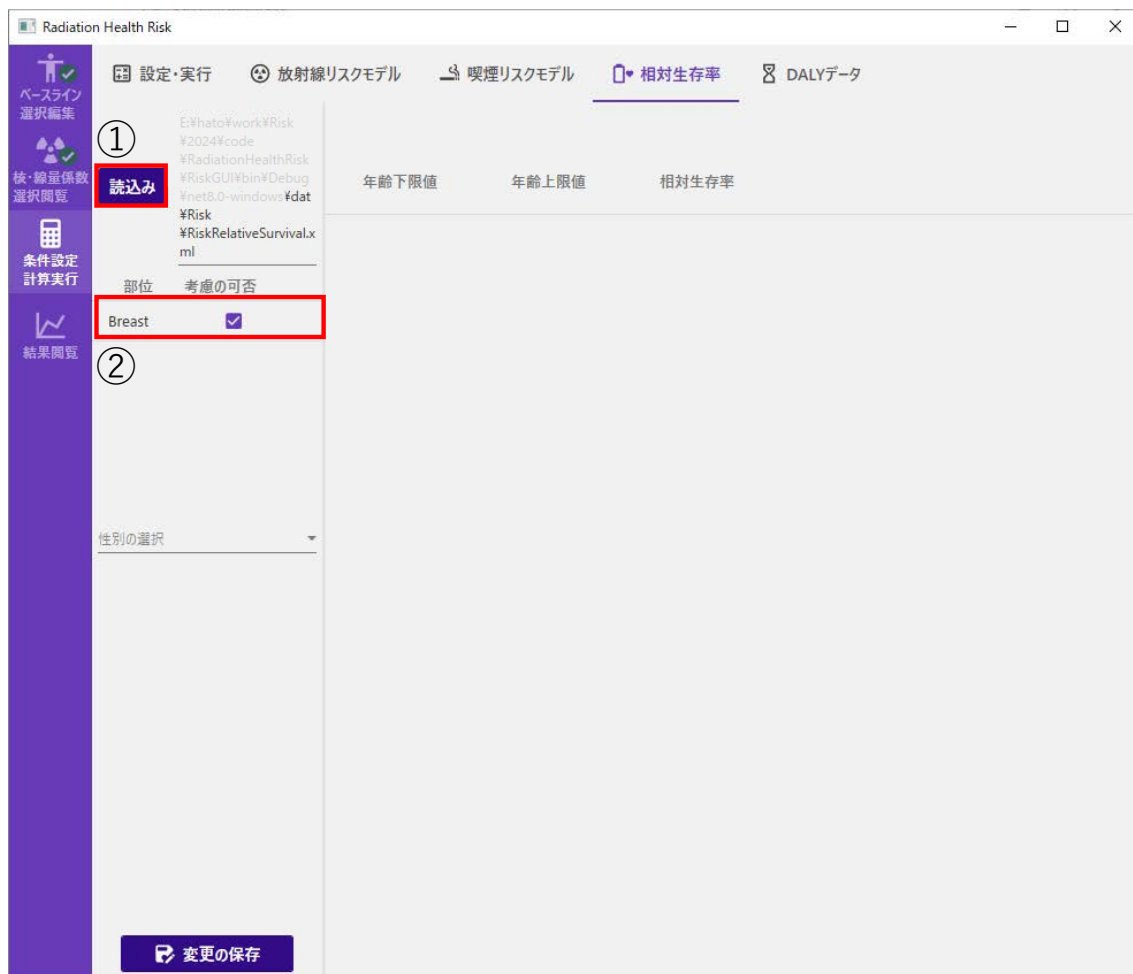
No.	機能の説明
①	喫煙リスクモデルタブ
②	入力データを読み込んだ後の初期は、喫煙リスクモデルのXMLファイル（例 RiskModelSmoking_Cahoon2017/xml）の場所を表示する。
③	喫煙リスクモデルの変数名を表示する（変数名の変更は元データを変更する必要あり）。
④	男女ごとに喫煙本数、誕生日、喫煙開始・終了年齢を入力する。
⑤	喫煙リスクモデルのデフォルト式を表示または変更する。ただし式中の変数及び係数は変数の定義及びパラメータの設定で定義された文字列を使用する。
⑥	部位をリストから選択する。
⑦	性別、EARまたはERR、放射線リスクのERRとの足し合わせ方法を選択する。
⑧	変更の保存ボタンをクリックすると変更が保存される。なお、変更を保存せずに計算を実行した場合、変更前のデータで計算がなされる。

図 3.31 条件設定・計算実行タブの喫煙リスクモデルタブの画面



No.	機能の説明
①	相対生存率タブ（Blue Bookモデルの乳がん死亡を計算するときのみ利用）
②	入力データを読み込んだ後の初期は相対生存率データのXMLファイル（例 RiskRelativeSurvival.xml）の場所を表示する。

図 3.32 設定・実行タブで入力データを読み込んだ後の相対生存率タブの画面



No.	機能の説明
①	読み込みボタンをクリックすると、相対生存率データのXMLファイルを読み込む。
②	読み込んだ後、データとして存在する影響（部位）を一覧に表示する。

図 3.33 相対生存率データの読み込み後の相対生存率タブの画面

Radiation Health Risk

設定・実行 放射線リスクモデル 喫煙リスクモデル 相対生存率 DALYデータ

ベースライン選択編集
核・線量係数選択閲覧
条件設定計算実行
結果閲覧

読み込み
E:\hato\work\Risk
¥2024¥code
¥RadiationHealthRisk
¥RiskGUI¥bin¥Debug
¥net8.0-windows¥dat
¥Risk
¥RiskRelativeSurvivalx
ml

部位 考慮の可否

Breast ☒

①

女性

②

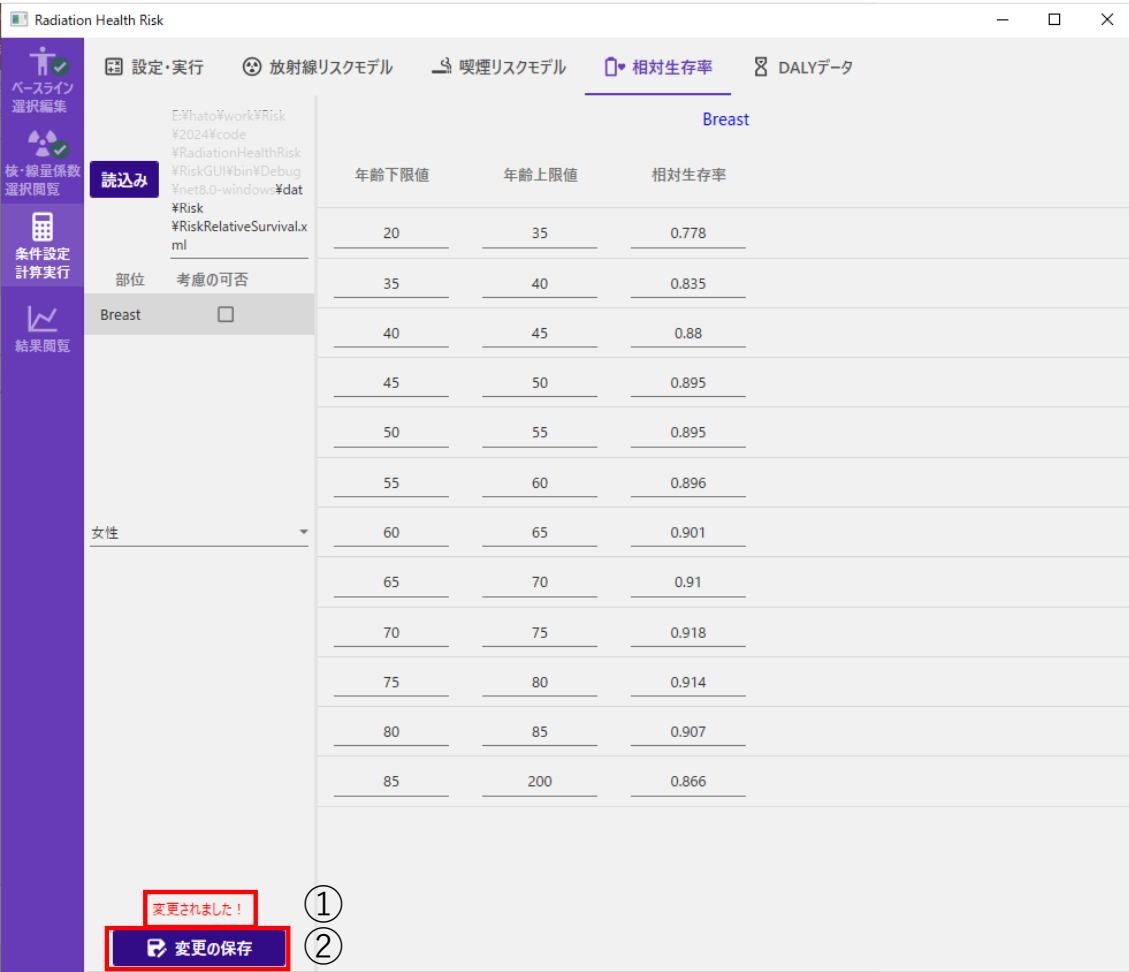
変更の保存

Breast		
年齢下限値	年齢上限値	相対生存率
20	35	0.778
35	40	0.835
40	45	0.88
45	50	0.895
50	55	0.895
55	60	0.896
60	65	0.901
65	70	0.91
70	75	0.918
75	80	0.914
80	85	0.907
85	200	0.866

③

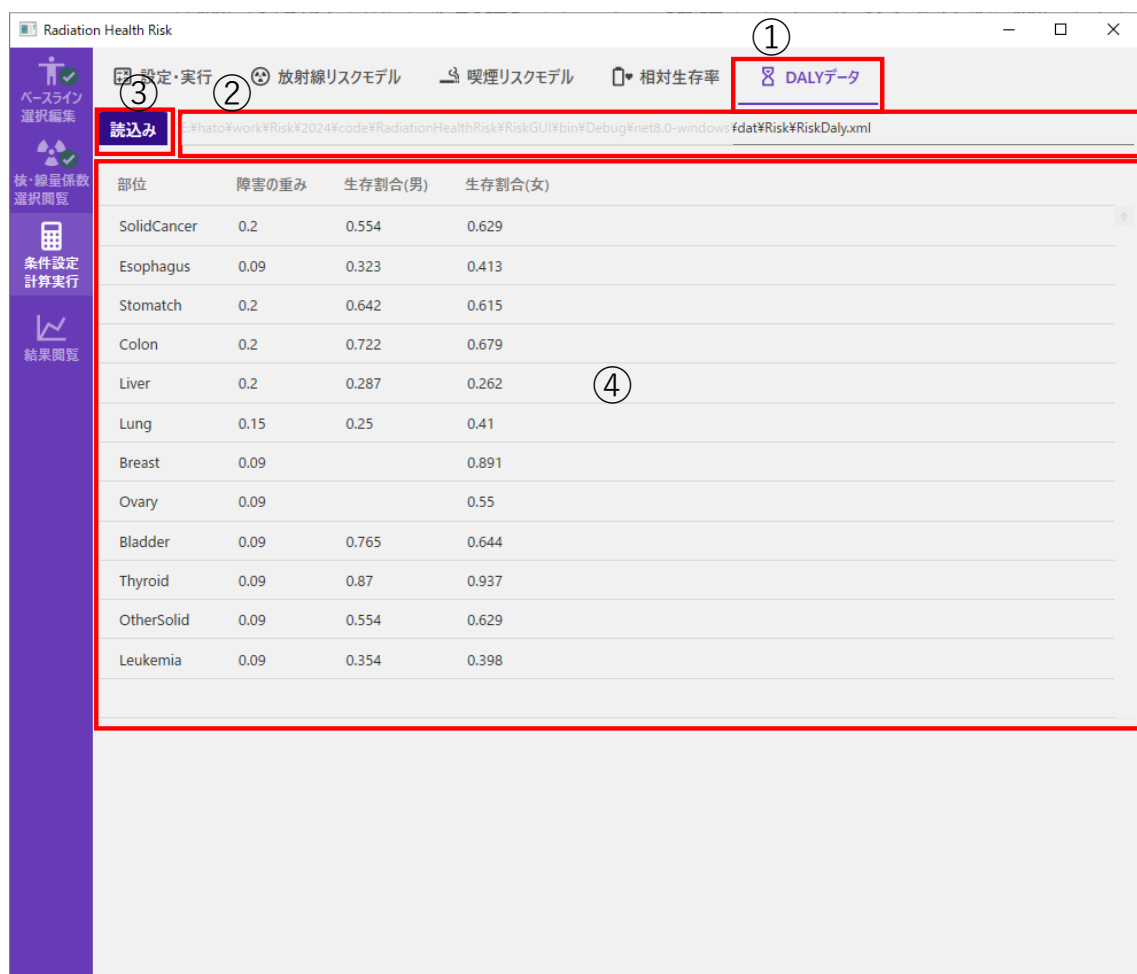
No.	機能の説明
①	部位の一覧から影響を選択する。考慮の可否は相対生存率を考慮した死亡リスクの計算をする場合にチェックし、考慮しない場合に外す。
②	性別を男性または女性から選択する。
③	影響と性別に関する相対生存率を表示する。データがない場合は表示されず、本値は閲覧のみである。

図 3.34 相対生存率タブの項目の内容



No.	機能の説明
①	変更があったとき、赤字で「変更されました！」が表示される。
②	変更の保存ボタンをクリックすると変更が保存される。なお、変更を保存せずに計算を実行した場合、変更前のデータで計算がなされる。

図 3.35 変更があった時の相対生存率タブの画面

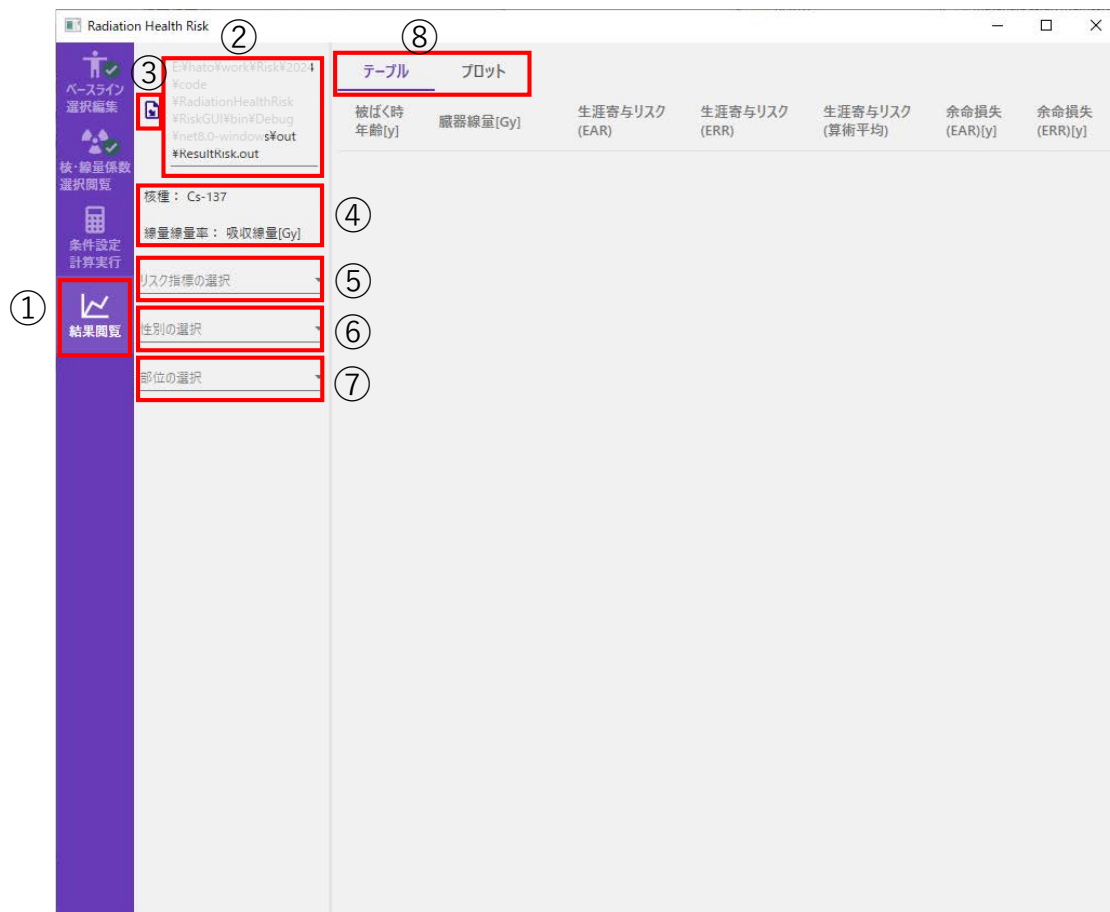


No.	機能の説明
①	DALYデータタブ
②	設定・実行タブで入力データを読込んだ後のDALYデータのXMLファイル（例RiskDaly.xml）の場所を表示する。
③	読み込みボタンをクリックすると、DALYデータのXMLファイルを読み込む。
④	DALYデータを表示する（閲覧のみ）。

図 3.36 DALYデータタブの画面

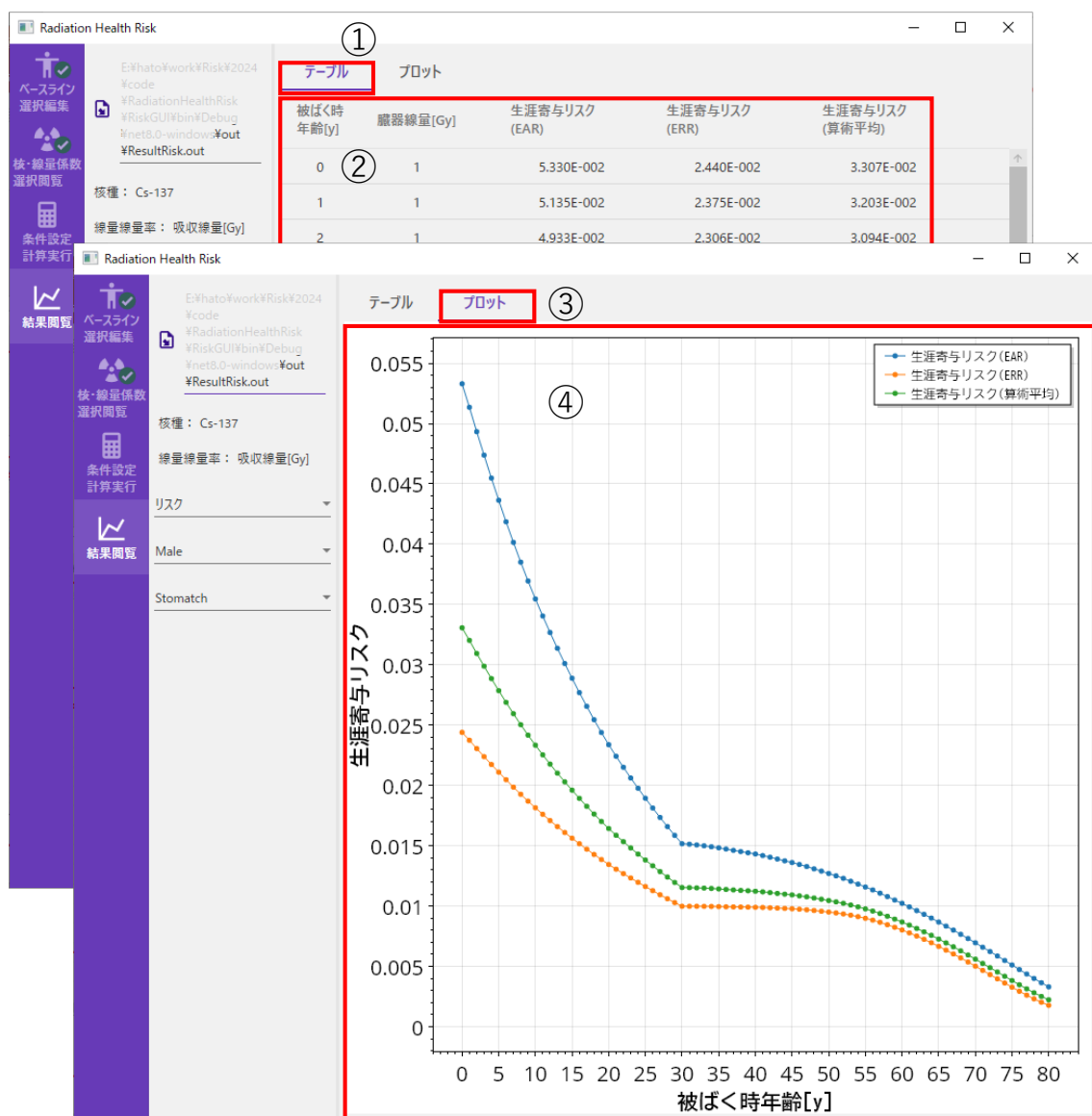
(4) 結果閲覧タブ

結果閲覧タブ（図 3.37）では、計算結果の閲覧を行う。計算実行後の結果閲覧タブは図 3.37のように表示される。結果は、結果に対応したリスク指標（リスク、余命損失、DALY）、性別（Male、Female）及び部位を選択することによって、テーブルまたはプロットのタブを切り替えて表示する。リスク、余命損失及びDALYの結果の例をそれぞれ図 3.38、図 3.39及び図 3.40に示す。



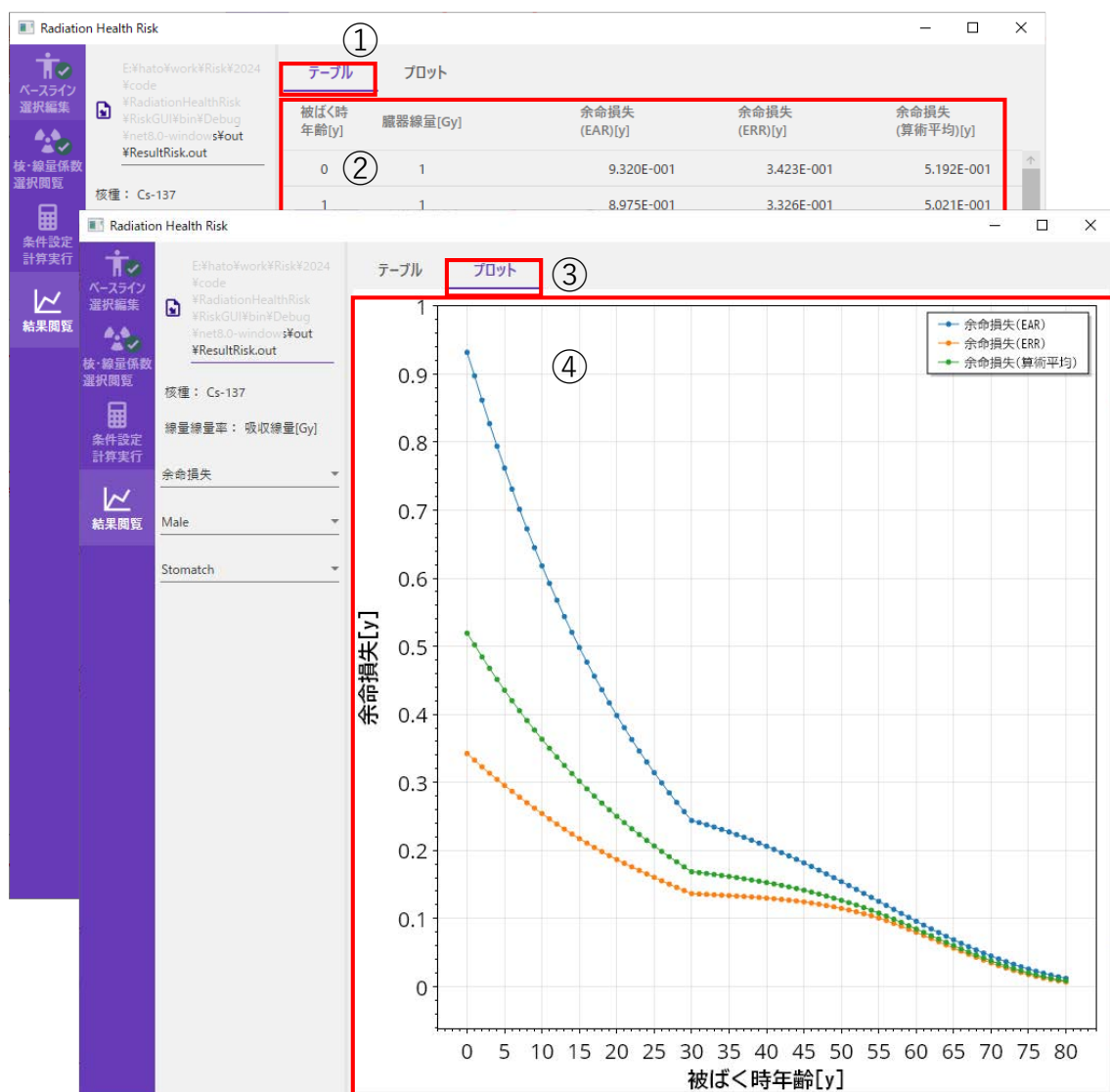
No.	機能の説明
①	結果閲覧タブ
②	計算実行後では結果ファイル（ResultRisk.out）の場所を表示する。
③	結果ファイルの読み込みボタンである。用途として計算実行後に過去に行った結果ファイルを見たいときや計算は実行せずに過去に行った結果ファイルを見たいときに使用する。
④	計算条件の核種名及び線量・線量率（吸収線量、吸収線量率、個人線量当量、周辺線量当量率）を表示する。
⑤	計算したリスク指標（リスク、余命損失、DALY）を選択する。
⑥	計算した性別（Male、Female）を選択する。
⑦	計算した部位を選択する。
⑧	結果はテーブルまたはプロットのタブで切り替えて表示する。なおテーブルの中の線量は吸収線量率と周辺線量当量率のときは被ばく期間中の積算線量を表す。

図 3.37 計算実行後の結果閲覧タブの画面



No.	機能の説明
①	テーブルタブ
②	リスク結果の表（EAR、ERR、算術平均の生涯寄与リスク）を表示する。
③	プロットタブ
④	リスク結果の図（EAR、ERR、算術平均の生涯寄与リスク）を表示する。

図 3.38 リスクの結果を表示した結果閲覧タブの画面



No.	機能の説明
①	テーブルタブ
②	余命損失結果の表（EAR、ERR、算術平均の余命損失）を表示する。
③	プロットタブ
④	余命損失結果の図（EAR、ERR、算術平均の余命損失）を表示する。

図 3.39 余命損失の結果を表示した結果閲覧タブの画面

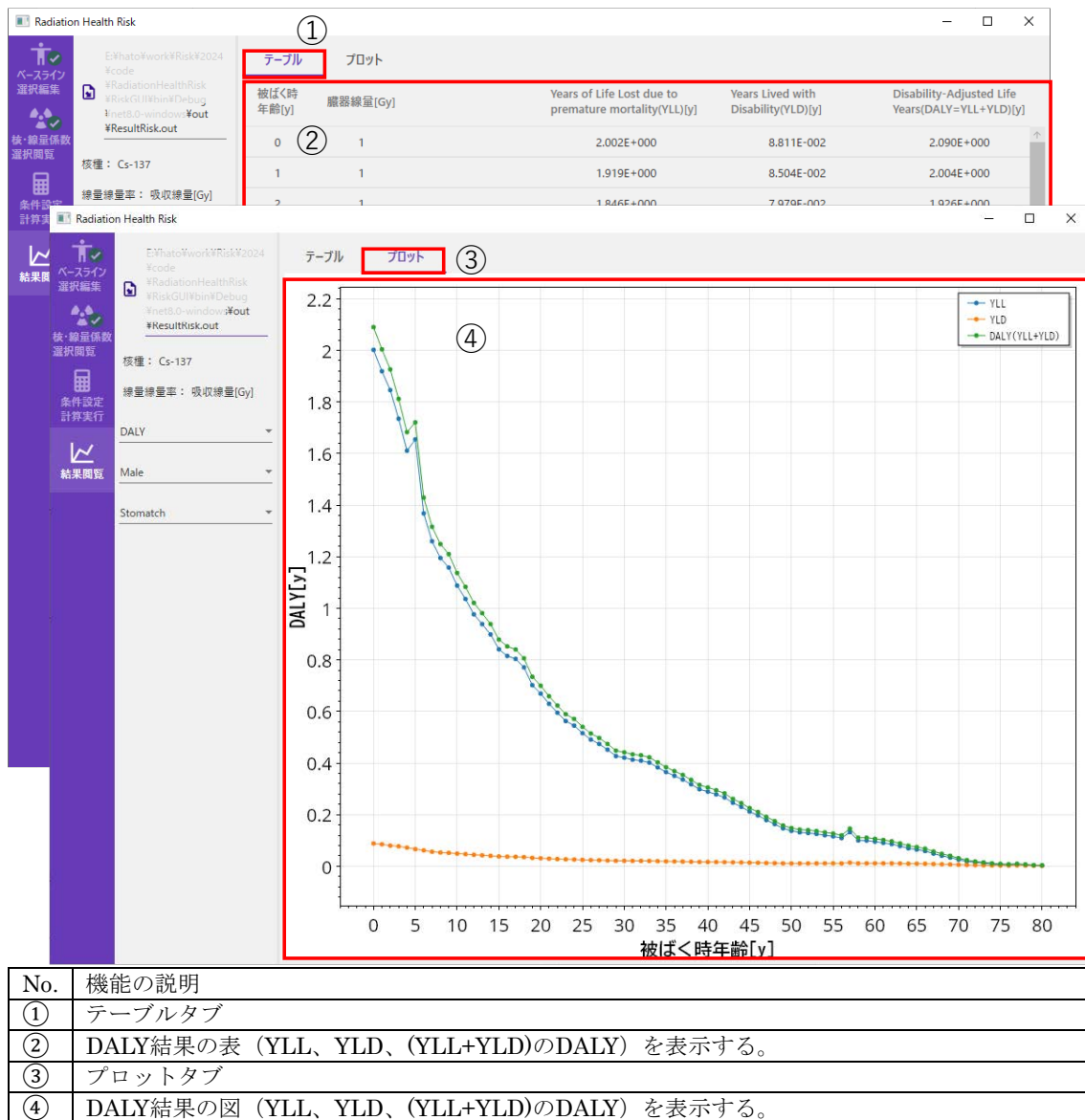


図 3.40 DALYの結果を表示した結果閲覧タブの画面

3.5. まとめと今後の課題

令和5年度の概念設計を基に、健康リスク評価コードとそのGUIの開発を行った。本コードは、現状では固形がんに対する放射線リスクのみ計算でき、来年度に造血器腫瘍に関する計算機能を実装することとなっている。本コードには、LSS13相当のモデルであるBlue BookモデルとICRPのモデル、さらにLSS14相当の死亡と罹患モデルが実装されており、ユーザーがモデルを選択してリスクを計算できるようになっている。その他の特徴として、本コードは目的別入力部分、汎用部分、目的別出力部分から構成され、目的別入力部分では周辺線量当量率と個人線量当量から各臓器の吸収線量を計算し、目的別出力部分では余命損失とDALYを計算している。また、本コードに予め備わっているデータベース以外にもユーザーが利用したいデータベースを組み込むことも可能である。

本コードの計算機能の検証として、Blue Bookモデルの報告書に掲載されている条件でLARの計算を行い、比較した。その結果、概ね10%以内で再現できることを確認し、本コードの計算機能が妥当であることを確認した。

検討委員会等でのコメントより、本コードの課題点、改良点として以下が挙げられる。下記以外にも、今後もユーザーのニーズに合わせて本コードの改良を柔軟に進めていくことが必要である。

- ・ GUI上で、人口分布に関して、様々な年のデータを利用できるように工夫する必要がある。
- ・ データ追加をした場合に、指定したデータセットの一番下に保存されるようになっており、ユーザーが名前を指定して追加できない状況であり、工夫が必要である。
- ・ ICRP Publ. 144の換算係数は子孫核種の寄与が含まれていない。ユーザーとしては子孫核種からの寄与を含んだ換算係数を利用することが多いため、子孫核種の寄与を含んだ換算係数を実装したほうが望ましい。
- ・ 核種が混合する場合を考慮して、核種のみならずγ線エネルギーを入力値として利用することが望ましい。
- ・ GUI上で、入力すべき項目と閲覧項目（入力しなくても良い項目）の区別が無い場合、ユーザーが入力すべき項目が分かるように工夫する必要がある。
- ・ GUI上で、専門用語について、用語の意味が分かるように工夫する必要がある。
- ・ ユーザーが選択したベースラインがん罹患率・死亡率に関して、現状のGUIでは視覚的に確認できないため、図示するなどの工夫が必要である。図示した際に、横軸と縦軸の範囲を固定しにくい場合、工夫する必要がある。
- ・ 現状では、線量の入力方法が分かりづらい設計となっているため、より簡便に入力できるように工夫（例えば、20歳から60歳までの毎年5 mSv y⁻¹の慢性被ばくの場合、年線量と開始年齢と終了年齢を入力）する必要がある。
- ・ 変更の保存の際に、使用したデータを上書きするようになっており、デフォルト値を

変更したまま誤って保存してしまう可能性がある。“名前を付けて保存する”画面が表示するようにする等の工夫が必要である。また、パラメータ値を変更した後にデフォルト値に戻す等のボタンがあることが望ましい。

- ・ 画面に表示される項目の階層が統一化していないため、工夫が必要である。特に相対生存率と補正比は、**Blue Book**モデル以外では使用しないため、表示すべきかどうかを検討する必要がある。
- ・ 最終的な結果のみならず、中間的な値（例えば、慢性被ばくの場合の年ごとのリスク）を出力フォルダ内に出力することが望ましい。
- ・ 出力値として、個人のみならず集団（男女の平均も含む）の結果も表示できるように工夫する必要がある。

4. 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係る会議等に参加し、放射線健康リスク評価等に関連する情報を入手した。

(1) 第 61 回アイソトープ・放射線研究発表会（2024/7/3-5, 日本科学未来館）

第61回アイソトープ・放射線研究発表会にて、安全研究プロジェクトに関するブース出展で本コードに関するチラシ（図 4.1）を配布した。以下に、参加者からのコメントとその回答及び本コードの対応・方針を記載する。

	質問・コメント	回答	対応・方針
コメント1	低線量でのリスクの不確かさの扱いを注意する必要がある。	不適切な利用を避ける、間違った解釈にならないように結果に注記を付けるなどの対応を取ろうと考えている。	結果に注記を付ける。 甲状腺のように年齢、性別によって有意にリスクが異なるものもあるため、それらの疫学情報を記載して、不確かさの限界を記載する。
コメント2	他の分野とのリスク比較に興味がある。	本コードでは生涯寄与リスク以外に、放射線防護の分野以外でも利用されている余命損失やDALYを出力可能な設計としている。	回答の通り。
コメント3	医療分野に本コードを利用できる可能性がある。 患者への説明、従事者の知識向上に役立つのではないか。	ヒアリング調査でも同様の意見をいただき、本コードもこれらの利用を想定している。	回答の通り。
コメント4	危機管理学会で、放射線作業従事者等へのリスク等の説明する発表があり、本コードは従事者等への説明に利用できる可能性がある。		

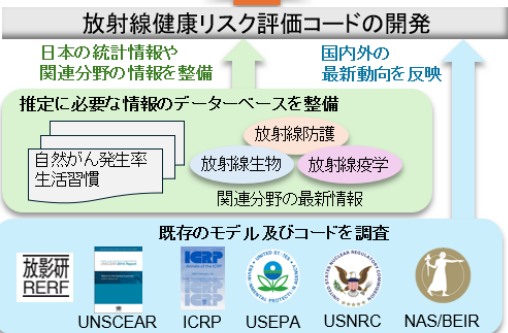
〇 背景

原子力規制庁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(令和4年度～令和8年度)」では、放射線安全や原子力災害における対応の判断等に資するため、様々な条件に対して放射線がんリスクを評価するコードを開発



〇 本コードの位置づけ

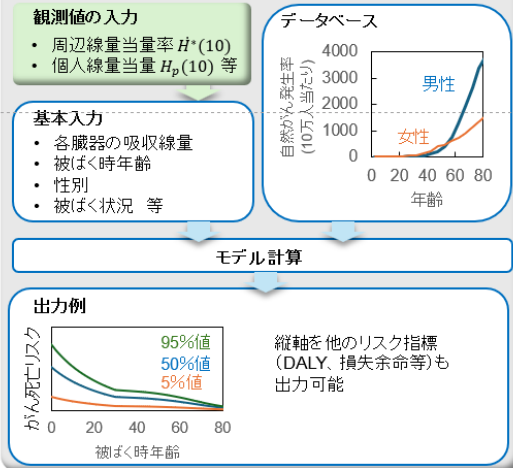
規制行政・原子力防災
放射線リスクに関する定量的根拠を提供するツールとして防護基準や防護措置の検討に活用



〇 本コードの特徴

- ▶ 被ばく時年齢別、性別に生涯がん死亡・罹患リスクを算出
- ▶ 生涯がん死亡・罹患リスク以外に、他分野で利用されるリスク指標(DALY、損失余命等)を出力可能 (DALY: 障害調整生存年数)
- ▶ 臓器吸収線量のみならず、観測値(周辺線量当量率、個人線量当量等)を入力とすることが可能

本コードの計算の流れ



〇原子力規制庁 令和4年度～令和6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)事業の成果を含みます。

図 4.1 アイソトープ・放射線研究発表会で配布したチラシ

(2) 日本放射線影響学会第 67 回大会（2024/9/25–28, 北九州国際会議場）

日本放射線影響学会第67回大会にて、本コードの開発に関する口頭発表を行った。以下に、参加者からの質問・コメントとその回答及び本コードの対応・方針を記載する。

	質問・コメント	回答	対応・方針
質問1	本コードは、事故が起きた場合の防護措置を計画する段階や復旧段階での利用を想定したものとなるのか？	主に事故が起きた場合の防護措置を計画する段階や復旧段階での利用を想定している。	回答の通り。
質問2	レベル3PRAとの連携を考えているのか？	レベル3PRAとの連携も考えており、出力の一つである単位線量あたりのリスクをレベル3PRAに適用することを考えている。	回答の通り。
質問3	後々、不確実さも結果として出力するのか？	その通りである。今年度は決定論的に評価したものしか結果として表さないが、後々不確実さも結果として出力することを考えている。	回答の通り。
質問4	SUMRAY（Sasaki et al., 2023）では全固形がんのみを対象としていたが、このコードは部位別に評価できるのか？	全固形がん以外にも部位別に評価可能な設計である。	回答の通り。
コメント1	個人線量当量の場合、照射体系によって線量指示値が異なる。福島事故の作業者の場合、APで評価すると実際と3割程度異なった。	本コードでは、ROTで評価する。そのような不確かさは文書として残しておく予定である。	照射体系の違いによる線量指示値への影響はリスク評価コードの本筋から離れており、優先度が低いいため、5ヵ年計画内では、照射体系を変えた場合の評価を行えるようにしない方針である。ただし、コードに関する文書中に、照射体系の違いによる不確かさが存在することを明記する。

(3) 第37回日本リスク学会年次大会（2024/11/15-17, 静岡県立大学草薙キャンパス）

第37回日本リスク学会年次大会にて、本コードの開発に関するポスター発表を行った。
以下に、参加者からの質問・コメントとその回答及び本コードの対応・方針を記載する。

	質問・コメント	回答	対応・方針
質問1	放射線の影響は水分量に依存しており、それは個人差が大きいと思う。その不確かさはどのように処理しているのか？	リスク評価するうえで、そのような個人差までは考えることはできないし、明確なエビデンスもない。あくまでも放射線生物学的な知見である。リスク計算では、原爆被爆者の疫学データ（LSS）を基にしており、個人間の違いの中に水分量の違いの影響はそこの中に含んでいると考えることもできる。	回答の通り。
質問2	DALYは一人あたりの値か？それとも集団の値か？	対象を個人とするのか、集団とするのかによって異なる。	回答の通り。
コメント1	人口分布データを自分たちで入れることができれば便利である。	元々コード内に備えているもの以外にも、ユーザーが作成したデータも入力できる設計としている。	回答の通り。
コメント2	他のリスクと比較するのは注意が必要である。特にリスクがあるもの（例えばダイオキシン吸入）との比較は避けた方がよい。比較するのであれば、同じもの（低線量と高線量）か、すでに受け入れられているもの（健康診断、温泉、太陽光など）との比較が良い。	リスク比較の社会心理学的な妥当性（例えば、自発的リスクと非自発的リスクの比較は避ける）については考慮することは必要と考えている。	DALY等を用いて他のリスクと比較する際には、ベースラインのがん死亡率などすでに社会で評価されている基準となるものを利用することを考える。
コメント3	観測値を利用する場合、それをモニタリングしている所ではリスクがあると思う人が出てくる可能	コミュニケーション手段として使用する場合の懸念であるが、緊急時計画や復	令和5年度のヒアリングでも指摘されたように、コミュニケーション手段として使用する

	性があるので、何かしらの説明や対応が必要と思う。	旧計画を予め設計する際のツールとすることが主目的である。	場合、住民に対するリスク評価及びその説明は難しく、この部分は引き続き検討が必要である。
コメント4	一般住民に対しては利用が難しく、研修や知識向上には役立つのではないか。		
コメント5	住民は被ばく線量が低く影響がほとんどないはずなので、住民に対して利用するとかえってリスクがあると思ってしまうのではないか。		
コメント6	リスク学で利用されている指標として幸福度もある。	—	概念設計時にDALYを優先してコード化することから、幸福度は想定しておらず、また、幸福度の利用に関して未確定な部分が多いため、本コードには取り入れない。

(4) 第5回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会（2024/12/16–18, 大阪大学コンベンションセンター）

第5回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会にて、本コードの開発に関する口頭発表を行った。以下に、参加者からの質問・コメントとその回答及び本コードの対応・方針を記載する。

	質問・コメント	回答	対応・方針
質問1	ベースラインがん罹患率等のデータに関して、ある年度のデータしか利用できないのか？	国勢調査等を基に、様々な年のデータを格納しており、それらを利用できるように設計している。	回答の通り。
質問2	評価の不確かさが大きい中で責任をもって評価できるのか？	コード開発の目的は、リスクの説明になるのではなく、リスクに応じた緊急時計画や復旧計画を検討するための情報とするものである。不確かさについては、本事業の中でも令和8年度に不確かさ解析を実施する予定である。その結果をもとに、どのようにリスクコミュニケーションを行うかを検討していきたい。	回答の通り。
質問3	ICRP Publication 152にがんリスクの推定モデルについての記載があるのでレビューしてはどうか。特に per Gy、per 100 mGy、at 100 mGy の扱いに注意が必要である。	拝承	ICRP モデルに関して、Publ. 103のみならず Publ. 152についても参照している。本コードの一次情報としては入力した線量でのリスクとなる。ただし、レベル3PRAコードに組み込む際には、per Gy 等を利用するので、注意する。
質問4	複数の核種が存在する場合には、本コードを利用できるのか？	現状では本コードのみで計算できない。一つ一つの核種に対して計算して、それを後で足し合わせる事となる。内部被	回答の通り。

		ばくの計算コードなどとの連携が将来的には課題である。	
質問5	年齢と性で平均化された値が良く使われるが、なぜ本コードでは年齢別、性別に評価することとしたのか？	緊急時被ばく状況において、小児や高齢者、妊婦等の特定の集団に対する防護措置を考える際、平均化されたものを利用した場合、過大・過小評価となり得るので、科学的合理性と社会的な信頼性を考慮して、その部分を精緻化したかったため。	ICRP Publ. 147では年齢別のリスク係数、また他の研究では女性と若者に対して高い放射線感受性があることが示されている。これらを受け、UKHSAのレポートでも平均化されたものと個別に評価したものでどの程度の差があるかを調査し、議論されている。国際的な動向も踏まえて本コードでも年齢別、性別に評価する。

5. 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2回の検討委員会の議事概要を示す。

5.1. 検討委員会委員名簿

表 5.1 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 (D3センター) 教授
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	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
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	吉永 信治	国立大学法人 広島大学 原爆放射線医科学研究所 計量生物研究分野 教授

5.2. 第一回検討委員会議事概要

日時 : 令和 6年8月29日 (木) 9:00～11:30

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)、吉永委員 (広島大)、佐藤委員 (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、佐々木技術研究調査官、本間技術参与、喜多技術参与)
JAEA (高原GL、真辺マネージャー、廣内研究副主幹、鯨岡研究系職員、野口派遣職員)
外注先関係者 (VIC (黒澤亮平、管野光大、波戸真治))

議 事

1. 令和6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6年度検討委員会の運営等について
資料2 事業の概要と進捗事業の進捗

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。

今年度は、令和4年度と5年度の調査や概念設計を踏まえて、本格的にコードを作成していく段階である。並行して調査も継続して、必要に応じてその成果をコードに反映していく。開発されるコードが最新知見とニーズを踏まえた実効性かつ実用性のあるコードを作成していくために、委員の方にはご協力いただきたい。

1. 委員会の運営及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3つである：①疫学研究・放射線健康リスク知見の調査、②固形がんリスク計算機能の完成、③研究に必要な国内外の情報収集。これらに関する質疑応答は以下の通り。

【疫学研究・放射線健康リスク知見の調査】

○疫学研究の調査対象について

（吉永委員）疫学研究に関する調査で、検索する際に放射線治療を除外した理由はあるか？

（事務局）対象としていないデータ（偏った集団）が多く入っていたため除外したと思う。

（吉永委員）（私も共著に入っている）システマティックレビューとメタアナリシスの論文では、放射線治療の集団が入っている。線量は高くないが、子宮頸がんの治療を受けた集団も入っている。

（甲斐委員長）過去に行われてきたレビューでは、医療被ばくにおける知見が入っているが、吉永委員のレビューで新しい情報として追加できそうなものはあるか？

（吉永委員）単位線量あたりの甲状腺がん過剰相対リスクで言えば、集団によってそれほど大きな違いはなかった。今回の論文は成人期の被ばくを対象としており、いずれもリスクの増加の程度は低く、原爆被爆者の古川委員らの研究結果と大きな食い違いはなかった。

（甲斐委員長）甲状腺がんについて、チョルノービリでの調査で明らかになったことは、特に若年齢で、潜伏期間が5年から10年の間で過剰相対リスクが上がる知見が出ている。こういった年齢依存性が特に関心になると思う。文献ごとのERRの違い

は年齢を考えることである程度説明がつくのか、それとも本質的にコホートの違いなのか。

(吉永委員) 我々のレビュー、メタアナリシスの背景として、東電福島第一原発事故の緊急作業従事者の調査で、甲状腺がんのリスクがどのようになっているかに関わっている。小児期では甲状腺がんのリスクが増加することは広く知られているが、成人期になってからの被ばくでは甲状腺がんのリスクの増加が見えてこない。他の職業被ばくの集団、患者や一般の集団などで成人期に被ばくが起きた場合にどうなるかを今回の研究で調べた。

(甲斐委員長) 被ばく時年齢の他に到達年齢もポイントである。今回示された文献ごとのERRのデータは、被ばく時年齢や到達年齢を抜きにして、代表値の一つとして表示しているので、データを比較する際には注意が必要である。

○既存コードと本コードで使用する周辺線量当量率から臓器吸収線量率への換算のずれについて

(佐藤委員) LARCalcと本事業のコードでの周辺線量当量率から臓器吸収線量率への換算に関して、600 keV付近では1997年当時から分岐比などや輸送モデルも大きく変わらないため、大きな差が生じるとは考えにくい。

(事務局) ご指摘の通り、この領域のエネルギーで大きなずれが生じることは疑問であるため、計算条件を調査する。

(佐藤委員) 2010年代にアメリカのEPAも同様の解析を実施しており、セシウムに関してはICRP144のデータとEPAのデータが一致していた。

○目的別入力部分で使用する換算係数について

(佐藤委員) 換算係数の深度に関して、 0.5 g cm^{-2} の方が良いと思う。 0 g cm^{-2} は理想的な水平面であり、あまり現実的ではない。ユーザーがいろいろな粗度を設定できるのであれば、その方法を検討しても良いと思うが、この部分をどのように扱うことを想定しているか。

(事務局) 特にユーザーが粗度を入力することは考えていない。

(佐藤委員) 粗度を適切に組み込むことが難しいのであれば、 0 g cm^{-2} は使わないほうが良いと思う。

(甲斐委員長) 福島での経験で、土壌の深度分布に関する調査が多く実施されているので、他の深度分布に関しても計算できるようにしても良いのではないかと。本日、 0 g cm^{-2} が良いか、 0.5 g cm^{-2} が良いかを判断するのは難しく、福島の知見を踏まえながら決定したほうが良いのではないかと。

(佐藤委員) 初期の分布であれば、 0.5 g cm^{-2} が良いと思う。ICRP 144でも任意の深さ、

任意の分布を導出する方法論を記載しているので、ICRP 144の典型的な深さでのデータを内挿しながら、ある深さでのデータを算出することも可能と思われる。
(事務局) 深度分布の情報について、ご指摘の通りいつの時期をターゲットにするのが重要である。そういった部分を踏まえて、コードに深度の情報を組み込むにあたり、ユーザーが深度に関する情報を入力できるかどうかを検討していく。

【研究に必要な国内外の情報収集】

○低線量域での不確かさについて

(岸本委員) 低線量での不確かさの部分に関して、工業化学物質や食品中の化学物質でも遺伝子を直接傷つけるがんに関しては、直線外挿をしており、同じような話がありうる。絶対値もそうだが、リスク比較をするときには、その比較対象の低線量または低用量時の仮定を確認するべきである。

(古川委員) 低線量リスクの不確かさの扱いを注意するのは当然であるが、どのように結果を示すか限界がある。そのため、何の不確かさが反映されていて、どのような不確かさに注意すべきだが反映されていない、などを文書化しておく必要がある。例えば、信頼区間によって不確かさとして表されるのはいわゆるサンプリングエラーや統計的なエラーであり、それらは反映されていることになっている。その他の不確かさ、例えばDDREFを使う場合の不確かさはどのように反映されているか、潜伏期間をどのように仮定して、その仮定の不確かさがどのように反映されているかなどを一つ一つ明確にしておく必要がある。

(甲斐委員長) 国際機関等でも不確かさの分析をした報告書が出ており、統計的なバラツキの不確かさと知識の欠如による不確かさという問題がある。こういったものを区別する必要がある、どういう風にその不確かさを表現するのかは非常に大きな関心事である。

【固形がんに対する放射線リスク計算機能の開発】

○本コードに予め組み込むリスクモデルについて

(古川委員) リスクモデルに関して、死亡リスクと罹患リスクが混ざっている。ERRモデル、EARモデルそれぞれが必ずしも情報が得られないと思うが、あるものを全て組み込むのか。

(事務局) あるものを組み込む予定である。

(古川委員) 罹患に関して、特に最新のLSSの論文等のモデル(部位別)はここでは考慮しないということか。

(事務局) Grant et al. (2017)の部分に、他の最新の論文を組み合わせるようにする。

(甲斐委員長) LSSの最新、特に臓器別に議論するとなると、他の論文との組み合わせは避けられないだろうと思う。あくまでリスクモデルの検証、計算コードの検証ということで、検証した結果として当然違いが出てくる。その時に単に計算結果が合っていたというだけでなく、何かフィードバックするものもあるかもしれない。

(古川委員) 放影研にデータ共有の申請をしているのはそのためであると思う。

(甲斐委員長) 最新のGrant et al. (2017)以降の論文以降、Grantの論文を含めた生データを使った解析がUNSCEARで行われているが、放影研にデータ共有を申請し了承されればデータが使えるため、全固形がん以外も使える。モデルは公表されているものを利用し、どうしても論文の中では十分な記述がない、情報がないものがあるものは、放影研のデータで埋めていく。

(古川委員) LSS はデータ共有を申請しているが、ほかのBEIR VIIやRadRATやBlue Bookなど、必要な情報パラメータ以外のスタンダードエラーや分散共分散行列などの情報は得られるのか。

(甲斐委員長) おそらく公開されたところのみのため、点推定値しかないと考えられる。報告書に書いてある信頼区間といったものしかないので、それを再現することはできない。RadRATも同じだが、RadRATはWebのコードで計算するため、結局それと同じことを再現することはできない。あくまでも点推定値の再現したものと比較するということになるかと思う。それ以外は放影研のデータについてはそれができるだろう。

(吉永委員) がん死亡のデータOzasa et al. (2012)の論文に提示されているモデルを使うかどうかという議論があったかと思うが、この計算では、例えば他のモデルを使った場合にがんの死亡リスクというのはICRP 以外では計算できるのか。例えばBEIR VIIやBlue Book やRadRATは、がんの過剰生涯リスクのような形で死亡についても計算できるのか。

(甲斐委員長) 死亡データを基にしたモデルか、罹患データを基にしたかがポイントとなる。最近では、Ozasa et al. (2012)の論文以降は罹患データが基となっており、特に国際機関もICRPも罹患データを中心に、乳がんとか致死性の低いがんを評価しなければいけない。死亡だと、致死性の低いがんが過小評価されてしまうため、罹患データに注目し、さらにその死亡のリスクを求める時には致死率のような別な情報を持ってきて推定することをICRPはやっている。

(吉永委員) 一般の方、あるいはユーザーの方の中には死亡リスクに関心を持つ方もいるので、Ozasa et al. (2012)の論文で出されているがん死亡のリスクモデルを直接使

って計算させるということも良いのではないかと思う。

○モデルパラメータのない全固形がんの扱いについて

(古川委員) BEIR VII、Blue Book、RadRATでは、“個別のがん”と“残りのがん”を足し合わせていると思う。LSSで同じようなことをしようとする、今の最新の得られるリスクモデルで計算したがんを足し合わせることも良いが、考慮しないがんも有り得る。放射線に関連しているかは分からないが、それは“残りのがん”という扱いで良いと思う。LSSの罹患率に対して、UNSCEARでも同じようなことをしており、“全固形がん”モデルがある場合には、“個別のがん”で計算して足し合わせたものが“全固形がん”で計算したものよりも高くなりうるということもあるかもしれない。“個別のがん”のモデルは、リスクモデルのパラメータや時間的なリスクの変化が、極端に推定される場合がある。そのため、考慮されていない到達年齢が高い部分で、LSSがカバーされていないところが外挿になってしまい、それが極端なリスク予測値に結び付くというのは、何度か経験しており、今問題になっている。

(甲斐委員長) 最終的に不確かさを考慮したうえで、全固形がんの相対リスクから全固形がんのリスク評価をするのか、あるいは個別のがんの足し合わせで全固形がんのリスクを評価するのかのどちらを推奨すべきか、という方向になると思う。

(事務局) ICRPでは全固形がんに関するパラメータがあるが、この場合には全固形がんのパラメータを使うことになるのか？

(甲斐委員長) 全固形がんのパラメータと、個別のがんの足し合わせの両方を使っても良いと思う。

(古川委員) 比較や妥当性を考える場合には、両方の結果を出した方が良いと思う。

BEIR VII報告書でも両方を出して比較する、ということを実施していたと思う。

(事務局) 両方計算できるようにする。

○全固形がんのベースラインデータの扱いについて

(古川委員) ベースラインの全固形がんは、全がんから造血器腫瘍（白血病やリンパ腫など）を除くように、SUMRAYパッケージでもしていた。

○個別にパラメータのないがんの扱いについて

(吉永委員) 個別にパラメータのない、ということは稀ながん、あるいは放射線誘発性がそれほど高くないがんのため、選択できないようにするので良いと思う。

(古川委員) populationデータはユーザーが用意するのではなく、システムの中にある程度用意しておくものと認識している。ベースラインデータは可能な限り用意しておき、ユーザーがモデルを特定すれば計算可能なように、計算したい場合に計算できる余地を残しても良いと思われる。ベースラインに関しては、ユーザー入力を想定されていないのか？

(事務局) 基本的にコードに組み込もうとしているのは、日本人のデータである。また、ユーザーが任意に入力、追加できることも考えている。コードに組み込まれているもの（ユーザーが追加したものを含む）をユーザーが選択できるように設計する予定である。

(古川委員) 例えば、結腸モデルはあるけれど直腸モデルが無い場合、結腸モデルを適用して直腸リスク計算もしたい場合に備えて、そのようにできるようにしておくもの良いと思う。そのためには、直腸のベースラインも用意する必要がある。

(甲斐委員長) 使い方の問題になると思う。医療被ばくなどの部分被ばくの場合には個別の組織のリスクを知りたくなると思う。そのような場合、情報が無いというようにしてしまうよりも、使用するときには不確かさはあるが、あくまでこのような情報に基づいて計算しているという情報を示すことはあると思う。

(吉永委員) 参考となる情報を提供するという意味では、そのようにするといいいと思う。ベースラインの罹患率として用意するがんの部位は、今示してある部位以外に、かなり多岐にわたるがんがあるのか。ICDを見ると分かるが、非常に細かい分類もあるので、残りの部位も含めてどこまでやるのかを検討したほうが良い。

(事務局) 国立がんセンターで分類されている部位のデータを基に集めている。

○喫煙モデルでの出生年に関する修飾因子について

(甲斐委員長) 出生年について、喫煙の過剰相対リスクのデータは、1915年以降に出生した人のデータに基づいているので、それ以外の場合はどうするかという問題になる。嶋田・甲斐(2021)の論文に示した方法は、あくまで簡便法であり、本来であれば非喫煙者のベースラインがあるのが一番良い。原爆被爆者以外の集団、例えば現代人はどうするのかという時に、非喫煙者のデータは非常に限られた情報しかない。結局、簡便法では喫煙の過剰相対リスクを使っているため、これがどのくらい正しいかということにもよるが、一つの推定するモデルでしかない。非喫煙者のベースラインを用いて原爆被爆者の相対リスクを使うことに関しても、他の集団にどこまで適用できるのかという議論もある。非喫煙者のデータベースを使わない場合、この簡便法で細かい到達年齢を変える、という細かな問題はあまり

議論しなくてもいいと思う。ここはあまり議論してしまうと、モデルの妥当性そのものの問題にぶつかってくる。

(古川委員) この嶋田・甲斐(2021)の方法というのは、LSS のCahoonモデルで非喫煙者と喫煙者のベースラインを計算して、それがミックスされたものが肺がんの罹患率として **population** データで得られるもの、という仮定をおき、その各時代の喫煙率（非喫煙者と喫煙者の割合）のようなもので重みをつけて計算されたものが、その時代の**population**や 肺がん罹患率データという仮定をおいているということか？

(甲斐委員長) それともう一つ、原爆被爆者だけではなく、喫煙のコホート研究があり、その喫煙のコホート研究から得られた非喫煙者のベースラインに対する喫煙者の過剰相対リスクの情報があり、それも利用している。そのため、その値の妥当性はどうしても出てくるわけで、日本人が比較的小さいとか、一方で、原爆被爆者は原爆被爆者の放射線と喫煙の両方が混ざった形、タバコだけのベースラインで言えばタバコだけの人もいるわけであるが、両方の情報を踏まえた上での推定である。最終的には喫煙の過剰相対リスク **ERR**をベースに、非喫煙者のベースラインを推定している。ただ、喫煙率が時代とともに変わっているんで、それを考慮している。そこが結構複雑である。

(古川委員) 非喫煙者のベースラインや、喫煙者のリスクというのも時代とともに変わる。**LSS** の中でも修正年効果というのがモデルの中に入っているということは、その時代の修正コホートによって違う。

(甲斐委員長) それは最終的にベースラインのモデルに対するモデルという形で考えている。コホートごとに、そのモデルは違うと考えているわけではない。

(古川委員) ここに書かれていることを見る限りでは、特に出生年の違いというものも**LSS**のモデルの中にあっただとしても、1915 とか 1925、1935 に変えたとしても、それほど影響がない。

(甲斐委員長) このあたりは国際機関等でもやっていないので、議論の多いところではある。原爆被爆者集団についての解析は、**Cahoon**のモデル等でやられてきたわけであるが、それをどのように解釈して、他の集団に適応していくのかというのは、シンプルにはそこで使っている相対リスクモデル、ベースラインによるもので、その時にベースコホート等のファクターが関係しているということになれば、肺がんが変わってくる。私のコメントは、非喫煙者については、ベースラインの入力という手段を持っておいたほうがいいのか。それには、**Cahoon**のモデルの使い方の問題と、非喫煙者のベースラインをどう推定するかという二つの

問題がある。

(古川委員) 非喫煙者のベースラインということで、思い出したが、UNSCEARのワーキンググループでそのことについて出てきており、SAMETのものがある。

(甲斐委員長) 日本人のも実はある。佐賀県の女性のデータ等、地方の県単位でまとまったデータがあるため、それはこの嶋田・甲斐の論文の中に記載されて比較検討しており、検証する時に推定したものと実際のデータとを比較している。そのような実データを入れておくのもあると思う。モデル計算ではなく、実データを参考のために入れておく。アメリカのSAMETデータと日本のデータの喫煙者の肺がんは意外に変わらない。生の非喫煙者のデータも一応入力をしておくと、また新たにできた場合には入力できるようにしておくというのが今回の新しい提案である。

(事務局) バースコホートとの点については、今回はこのままにしておいて、今後、非喫煙者のベースラインが手に入ることも考えて、それが手に入った場合には、それも計算できるように考える。

○未成年時、禁煙後の喫煙によるERRについて

(古川委員) 被ばくシナリオとともにいろいろな喫煙シナリオにも対応できるようなモデルにはなっているはずである。喫煙を停止して、その停止後の期間によってリスクが経時的に減少していくというのもモデル化されている。喫煙頻度が時間とともに変わるなどには対応できないが、一旦開始して同じ喫煙頻度で何歳まで吸って止めたという、その程度のシナリオであれば、指定するとリスクが決まる。

(事務局) 禁煙後も引き続きそこが組み込まれているので、喫煙によるERRが入った式で問題ないとのことで承知した。未成年者は喫煙の考慮もないので、喫煙によるERRは0となるのか。

(古川委員) 喫煙を開始するまではゼロとなる。

○喫煙を考慮する際の対象とする部位について

(甲斐委員長) 喫煙に関して、他の部位（全固形がんと肺がん以外）でも計算できるようにすることに関して興味深いが、情報としては肺と全固形しかない。今のところ、他の部位に対して相対リスクでは喫煙者と非喫煙者で違いがないという報告になっている。そのため、それを使うことによって、喫煙のリスクを評価することはベースラインがあれば、できることはできる。ただしあくまでモデルという形になってしまう。それを使うかどうかが問題である。使った場合、全固形がんを個別に出した場合と、臓器ごとに出して足した場合の全固形がんのリスクの計算結

果とを比較することの意味はある。ICRPに関しては、両方（全固形がんのパラメータを使う場合と個別のがんの足し合わせの場合）を考えることになったため、同じように喫煙の場合もそれが計算上はできると思う。ただし、そこまでやるかどうかは検討する必要がある。あまり新しいことに手を出すのは望ましくないのかもしれないが、せつかくこういうことまで検討している以上、肺がん以外（例えば胃がんとか結腸がん）に対して、そういったものが喫煙者と非喫煙者の違いを計算するかを検討する必要がある。

（古川委員）LSSに関しては、ベースラインの喫煙の調整がされていると考えられ、最近の罹患率の論文に関しては、胃がんに対しても同様に考えられる。喫煙の調整に関する嶋田・甲斐(2021)論文と同様のアプローチで計算できるかと思われる。いずれにしても、LSSの最近の研究では、喫煙に対してベースラインで調整リスクの中に入っていないかもしれないが、ベースラインに調整はしてある。

（甲斐委員長）とりあえずは肺がんと全固形がんという形で考えて、それ以外の個別のがんについては少し課題にしておく。

（古川委員）この部分は、これまでにないことをやろうとしているということなので、システムに入れてやるとしても、何らかの形で論文にするとか、そういうのが良いと思う。

（吉永委員）喫煙関連のがんの相対リスクというものがなかなか難しく、LSS から計算するのか、あるいは他の日本人の大規模コホートを使うのかという、いろいろな課題があるので、現状は保留で良いと思う。

○喫煙考慮時の結果の表示について

（甲斐委員長）（喫煙を考慮した結果に関して）どういう方法かが分かった方が良いと思う。通常の混合集団のベースラインで計算した場合と、非喫煙者をベースラインにして計算した場合の非喫煙者のリスクと、喫煙者のリスクという、三通りがある。

○コード内で使用する人口分布について

（古川委員）このコードでは、一様分布の人口分布も可能だし、実際の人口分布も可能ということか。

（事務局）その通りである。コードに予め組み込んでいるのは実際の人口分布で、一様分布などはユーザーが入力することになる。

（古川委員）UNSCEARなどの国際委員会の報告書等で、国や地域などの集団の生涯リス

クを人口分布で平均化して一つの値で表す、そういうものも計算されるので、そのような機能があったらいいと思うが、人口分布で結構変わってくる。ベースラインとも関係するが、若い人口が多い集団は、高齢者が多い集団よりも集団リスクが相対的に高くなるとか、そういうこともあるので確認した。

以上

5.3. 第二回検討委員会議事概要

日時 : 令和 7年1月30日 (木) 13:30～16:00

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)、坂田委員 (放影研)、古川委員 (久留米大)、吉永委員 (広島大)、佐藤委員 (JAEA)

外部有識者 村上教授 (大阪大学)

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、佐々木技術研究調査官、本間技術参与、喜多技術参与)

JAEA (高原GL、真辺マネージャー、廣内研究副主幹、鯨岡研究系職員、野口派遣職員)

外注先関係者 (VIC (黒澤亮平、管野光大、波戸真治))

議 事

1. 前回の議事録の確認【資料1】

2. 事業の概要と進捗【資料2, 3】

3. その他

配布資料

資料1 令和6年度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第1回議事録 (案)

資料2 令和6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) 事業の概要と進捗

資料3 放射線被ばくに伴う健康リスク評価コードのGUIの開発

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

委員会より第一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. 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、VIC より資料 3 を用いて本年度の事業の概要、進捗の説明及びコードの実演が行われた。質疑応答は以下の通り。

【疫学研究・放射線健康リスク知見の調査】

○本コードに LSS を基にしたモデルを組み込むことについて

(古川委員) 資料 2 で ERR を比較している図があったが、基本的に年齢調整などをせずに、論文で代表的な結果として出ている ERR をプロットしているのか。例えば、LSS の場合だと被ばく時年齢 30 歳、到達年齢 70 歳の ERR の値か。

(事務局) その通りである。

(古川委員) 年齢を調整していないものを比べることになっている。INWORKS や CT スキャンと被ばく時年齢 30 歳の ERR を比較する場合、大体の傾向を把握する意味では良い。EPI-CT で高い ERR の結果が示されていたが、ひょっとすると原爆被爆者を若年被爆者に限ると違った形になる気がする。

(甲斐委員長) 同じ年齢で比較しないと意味がないが、信頼区間が大きいので、その範囲では整合しているという見方の議論に現状ではなっている。しかし、LSS と INWORKS などの他の集団と ERR を比べることは、今大きな議論になっている。例えば Acute と Chronic の違いがあるかもしれない。そもそもベースラインの違いを持った集団を比較しているので、元々の集団に生活習慣や遺伝的背景に違いがある。そのため、相対リスクが同じという前提で考えていいのか、絶対リスクが同じなのか、またはその中間なのかというのは、まだ確定したエビデンスが無く、大きな課題になっている。乳がんのように ERR では一致しないというエビデンスがあるものもあるが、今回調べたのは、全体の傾向としては近いという見方だと思う。ただ、厳密に数値を比較するということは単純にはできないということは考えておく必要がある。

(古川委員) そういう難しさがあるということを前提に、基本的に LSS を元にしたモデルを利用していく方針について異議はない。他の研究のリスク予測を適用してどのくらい違うか、ということを UNSCEAR でやっている。LSS と EPI-CT のモデルで計算された生涯リスクの比較などができれば良いと思う。そうするためには

リスクモデルを指定してそれを使うこともユーザーでできるようにすると、研究者にとっては非常に有用と思う。

○がん以外のリスクに関する調査について

(甲斐委員長) 最近注目されている循環器疾患については、2025 年 6 月の UNSCEAR の会議で報告される予定なので、研究論文等のレビューも抑えていく必要がある。

【研究に必要な国内外の情報収集】

○個人線量当量からの換算で利用する照射体系について

(甲斐委員長) 人が四六時中動いているということで、ROT を想定して計算を進める。照射方向が変わる場合には、特に前面にある乳房などの評価は影響を受けることは知られている。

○リスク比較について

(村上教授) リスク比較の一般論として答える。前提として、ここでの話は、例えば DALY や損失余命とかの指標を用いてリスクを提示し、それが他のものと比較する時に使えるか、その時の注意点は何か、という意味の質問で良いか。

(事務局) その通りである。

(村上教授) 損失余命とその拡張版にあたる DALY は、政策立案者、政策立案を支援する研究者向けの使い方と一般市民の方々を中心とした対話の枠組みに使う時とは意味合いが全然違う。リスク学会でのコメントは市民との対話、市民向けの情報発信に対するものと思う。DALY や損失余命は、もともと Global burden of disease (GBD, 世界の疾病負荷)の枠組みで政策立案者向けに作られた指標である。DALY のもともとの GBD での使い方としては、様々なリスクがある中で、何が大きいと判断して、それを経時的に見ていくことでどのように改善されていったか、ということを見極めていくために使う指標であり、そもそも比較するために使われる指標である。そのため、政策立案の中で比較しないという前提が存在しない。例えば水道水、WHO の Drinking water のガイドラインであれば、病原性微生物の管理が該当するが、一人当たりの DALY という形にして、Tolerable なレベルを決めている。具体的に言うと、一人当たり一年当たり 10^{-6} DALY を、一つのガイドラインの値として使っている。それは WHO の値なので、他の国々がそれに従う必要はないが、“参考”という形で使う。このように、もともとは様々なもの、疾病、リスク要因も含めて、大きさを見て、どこが大きいかを判断して、そして

それを経時的に見ることで、どのように進展があったか、ということの評価するための指標が DALY である。これが転じて、個別、例えば病原性微生物をどのグレードで管理するか、という使い方になっていった。

それらの指標を使う上での前提の話として、DALY だけでいいのか、損失余命だけでもいいのか、ということは使う指標の目的や政策立案の目的に依存し、何を見たいか、社会の判断に依存する部分もある。

いくつかの注意点は、ここで示されるのは、リスクの大きさであって、減らせるリスクレベルを示すわけではない。一般的には大きい方が減らしやすい、というのがあるが、避けられるリスクを示しているわけではない。次に、例えば、費用対効果の枠組みで使っていくことに対して、減らせる量と費用で出していくことになるが、それが出たところで効率が良いものを使うのが対策として良いかどうかということは別問題である。具体的に言うと、より稀な疾病を無視して良いとは限らない、という公正性の概念から判断する時もある。しかし、比べることによってどのくらいなのかを判断する材料にはなる。つまり、判断する材料という位置づけであり、それで決めるというものでもない。

コミュニケーションとして使うという観点で言うと、リスク学会でのコメントは、リスクコミュニケーションの分野では Covello のガイドラインに関連したものと思われる。どのような比べ方であれば受け入れられやすいか（リスクを受け入れるという意味ではない）、その情報の示し方や比較の仕方自体が受け入れられるかについて、1980 年代に議論になったガイドラインがある。例えば基準値やこれまで受けてきた被ばくと今の被ばくとを比べることは受け入れられやすいが、全然関係ないものと比較されるとその比較自体が受け入れられにくい、といったガイドラインである。これには反論があり、Covello のガイドラインは本人の経験に基づいて書いており、その後に検証する研究もあって、その通りにならない、というのが多数出ている。私自身、放射性物質を扱った比較の受け入れ方について発表したことがある。2024 年に、リスク学研究で Covello のガイドラインとその検証についてまとめている総説が出ている（参考 URL：https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjra/34/2/34_R-24-003/_article/-char/ja）。

Covello のガイドラインは非常に有名なので、比べるときにこのような使い方が良い、ということをよく無批判に Covello のガイドラインが用いられる。私はそれには反対で、このようなリスクの比較は使ってはいけないとか使ってよい、と無批判に Covello のガイドラインを用いるのは適切ではないと考えている。言い方を変えると、すでに受け入れられているリスクとの比較であれば使ってよい、

といった単純なものではない。文脈や目的による。

Covello は上記のようなことも踏まえて、どのように比べるかということ自体、あるいはどのようにコミュニケーションするか、ということ自体を考える機会を与えている、というのが 2024 年のリスク学研究での総説での著者の指摘で、それはそれとして興味深い。つまり何が良い、悪いとか単純なものではないので、一つ一つ丁寧に考えてみよう、ということになる。受け入れられたものを使えば良いとか、あるいは住民の方には悪影響を及ぼす、良い影響がある、というものではなく、個人や目的に応じて一個一個考えていこう、ということになる。

(甲斐委員長) 一般的なアプローチというのはあまり考える必要はない。むしろ個別の問題にそれぞれ即したアプローチをすることが良いという理解でよいか。一律にこのような場合にこの指標が良い、という定型的なものではないということか。

(村上教授) その通りである。目的や対象によるということである。

(甲斐委員長) こういう指標を使ったらどんな感じなのかということを経験していかなければならない。DALY はもともと比較するためのものだということを、説明いただいた。どういった形で放射線なら放射線の使い方をやっていくのかということ、ある程度試行錯誤が必要になるだろう、という意見と受け止めた。

【固形がんに対する放射線リスク計算機能の開発】

○本コードに組み込むリスクモデルについて

(古川委員) 資料 2 の 23 ページ LSS14 相当の罹患でバツ (×) がしてあるのは、現時点では情報が得られていないが、今後もうすでにパブリッシュされた論文から情報を取ってくるという意味か。

(事務局) 今後も情報が更新され、情報が得られたら、マル (○) になっていくものになる。

(古川委員) 現時点で大体はすでにあると思う。例えば結腸、直腸の ERR やリスクモデルは杉山 2020 で出ていると思う。

(事務局) 調査したところ、モデル式はあったが、全てのパラメータ値が見つからなかった。

(坂田委員) 論文の書き方がそれぞれ異なる。論文中にパラメータを全部示しているか、Supplement で出しているか、細かいパラメータまでは出していないか、モデル式として出していないか、という違いがあると思う。

(古川委員) パラメータ推定値は全部得られる。分散強分散行列に関しては、放影研にデータ共有申請して出しているが、パラメータ推定値はほとんど論文から得られる。

(甲斐委員長) 消化管に関して、上部と下部のそれぞれの論文の中で、リスクモデルのパラメータが得られるということか。

(坂田委員) 得られることは得られると思うが、修飾因子を入れて計算しているもの、生活習慣因子をモデルに加えて計算しているパラメータしか出していないとか、そういうものを加えていないものしか出していないとか、その辺がバラバラな状態と思う。基準を一定にして情報を得られるかは分からない。Brenner が今から出すサマリーの論文では、同じ基準、同じモデルの形でまとめる予定である。現状、結腸であれば、BMI などを入れている式しか出していなかった可能性がある。

(甲斐委員長) 事務局が杉山さんの論文を見た時に、解析式は掲載されているが、そのパラメータに関する推定値は載っていなかったということか。

(事務局) 詳細は覚えていないが、ERR の部分しか載っていない、修飾因子の部分が載っていない、ということであった。

(甲斐委員長) 再度確認すること。今後全体のサマリーの論文（主著者：Brenner）が出るということで、そこには全てのパラメータが掲載されるということか。

(坂田委員) その論文を今作成中で、その中で分散共分散行列を全て出すかを検討している。

(甲斐委員長) 全体のモデル式についての論文が出てくるという話は大変貴重な情報のため、それを把握しておいた上で、現時点で発表されている論文ではこうだったという形で改めて確認しておくこと。

(古川委員) 論文から得られない情報があったとしても、それを得られるように放影研にデータ申請をしていたのではないか。

(坂田委員) データ共有の研究の RP のリサーチプロトコルをやってもらっており、現在英訳をいただいている。申請では、All solid だけをリクエストということになっていたが、全部あったほうが良いと思う。

(古川委員) 先ほどの話に出た Brenner の論文は、追跡期間は 2009 年以降に拡張されているということか。

(坂田委員) 2009 年までである。Cancer incidence の元のデータセットは同じである。全体をサマリーするための解析をするため、全体的に全部の部位をもう 1 度同じモデルでやり直している。イメージとしては、Preston 2007 の解析と同じようにする。Brenner が全部分散共分散行列をつけて投稿しようと考えている。

(古川委員) 全世界のこういうことを解析している人にとっては、欲しいものが手に入るということのため、朗報と思う。

(甲斐委員長) 状況としては、最新の LSS 14 の Incidence データを、分散共分散行列のデ

ータパラメータも使うために、現在データを共同研究として RERF のデータを共同権利として使わせていただく。一方、RERF では全体を解析した新たな論文を出しているところで、そこでは詳細なパラメータ推定値が載る予定である。共同研究を並行して進めていくといき、同時に論文を待つということで良いか。

(吉永委員) LSS14 相当罹患で乳がんについては、いろいろな生殖歴の情報がないから、今のところ外しているということであるが、肺がんは喫煙の情報を考慮してリスクを評価するのか。

(事務局) Cahoon や甲斐先生の論文を基に喫煙の情報を考慮してリスクを評価する。

(吉永委員) それは集団の代表的な喫煙割合を考慮するということか。それとも個人の喫煙習慣なのか。

(事務局) 代表的なもの、個人の両方が考慮されることになる。

(吉永委員) 乳がんは、Brenner の論文の Supplementary に生殖歴を含めない形のモデルもある。また、日本人の代表的な生殖歴の情報なども、いろいろな調査から入手はできると思う。特に女性の乳がんは放射線感受性が高いということで、含めた方がいいのではないかと思う。

(古川委員) 乳がんに関して、BMI や初潮年齢で調整していないモデルのリスク推定値を使って、UNSCEAR ではリスク予測をしている。

(甲斐委員長) UNSCEAR ではなぜ初潮年齢等を入れていないのか。モデルと初潮年齢等の情報がないために入れなかったのか。私の理解では、最新の Brenner の論文で、初潮年齢が乳がんのリスクの感受性に大きく影響していることがわかった。それまでは、若年齢になればなるほどリスクの感受性が高いモデルだった。そういう重要な年齢情報を UNSCEAR では入れていないのか。

(古川委員) 乳がんリスクについても、特定のシナリオを考えてリスク予測するのは可能とは思いますが、UNSCEAR ではそういうことは考えていない。ほとんどの臓器（肺と乳房など限られた臓器以外）では特別な影響修飾は入れていないと思うが、それと同じように入れていない。

UNSCEAR や ICRP は集団に対してリスクを出しているが、そういう場合に初潮年齢の分布を考慮することまではできていない。初潮年齢、何歳に被ばくしたという特定のシナリオを作って計算して、その違いを見ることは可能だと思う。だからオプションとして、初潮年齢を入れていくというのは良いかもしれない。

(事務局) 承知した。初潮年齢を入れていないモデルもあるということで、その部分も調査して入れていく。

○マイナーな部位の扱い方について

(古川委員) “残り”の部位は Preston 2007 の罹患でも解析されていたが、結構高い。マイナーながんは ERR を適用してみると、過剰症例が出てくる。これまで放射線影響が分かっているがんに対しても過剰症例が出てくることになるため、それはどうかと思う。

(甲斐委員長) Brenner の新しい解析の中では、“残り”のがんについて、どのような考えで解析されているか。

(坂田委員) “残り”のがんについては、まとめてサマリーの中に入れることにはなっている。2009 年までの Cancer incidence のシリーズで解析をしなかった甲状腺がん、皮膚がんについて入れるということと、それ以外にそこにも入らない“残り”のがんを全部入れるかどうかまでは確認していない。

(甲斐委員長) “残り”のがんの中に今まで知られていなかった、無視できないリスクを示すような臓器がある場合であれば、重要な問題となる。多くの場合、今までの疫学では“残り”のがんを個々に取り上げるだけの検出力はないということで、まとめて“残り”ということにしている。

原爆なら原爆の中で評価している時に“残り”の臓器として扱っているものを、個別の臓器として分けて評価する必要があるかどうか。このコードの目的にもよるかもしれないが。

(古川委員) 目的にもよると思う。具体的にここに該当してくる部位がどういうものなのか。

(甲斐委員長) “残り”の臓器として評価しておきたくなるようなものは、何があるか。

(坂田委員) 研究や集団によってそれぞれ違う可能性があるのも、そこは注意した方がいいと思う。例えば、唾液腺がんなどは数が少ないので小さな集団や集団が変わると解析できなくなる。LSS では唾液腺も解析ができていて、非常に高いリスクが推定されている。それが“残り”の臓器の中に入ってしまうと全体を上げてしまう可能性もある。“残り”の臓器に何が含まれるかということ把握することも難しく、注意が必要である。放影研では、“残り”というと、小腸とかそういうものが入ってくると思う。

(甲斐委員長) リスクが認められた臓器は、取り上げられてくる。“残り”ということは、現時点では原子力やいろいろな点からリスクが認められないということでまとめている。個別に分ける場合には、例えば内部被ばくの場合にその臓器に集まって、その臓器のリスクがほしいというような、目的があれば別である。そういった

ものが今考えつくことは無いように思うので、そういう必要が出てくれば、その時点でどういうふうな評価がいいのかっていうふうな考え方を取るのはいかがでしょうか。
(事務局) 現状では“残り”は“残り”として扱って、現時点で個別に対象としているがん以外に、また新たなものが出てきた際には、新たに追加してコードをアップデートしていく。

○放射線健康リスク評価コード及びその GUI について

・ ICRP Publication 144 に掲載されているデータについて

(佐藤委員) ICRP Publication 144 に掲載されているデータは、崩壊後の核種、娘核種などの寄与は入っていない。そのあたりは考慮されているか。

(事務局) 親核種のみとなっており、考慮していない。

(佐藤委員) 利用者の方で、Cs-137 に着目して選択される場合、もちろん放射平衡に入っている Ba-137m からの γ 線を気にして選択されるように思うが、そういう考えか。

(事務局) ご指摘のとおりである。現状は娘核種の寄与が入らないようになっているので、改良が必要である。

(甲斐委員長) ICRP Publication では Cs-137 と Ba-137m は別になっているのか。

(佐藤委員) 別になっている。どう処理するかは、Publication の本文の中で式と共に示してあるが、実際は Bateman 方程式という、仮定に基づくものであり、それを使えば娘核種の寄与まで考慮した演算はできる。しかし Publication としてはそこまでは行わずに単体の核種によるもので、娘核種まで評価する場合は、“本文にある式に従って計算してください”、というスタンスでデータが提供されている。

(甲斐委員長) そうであれば、Cs-137 を選んだだけでは γ 線が出てこないということか。

(佐藤委員) 被ばく線量が非常に小さく計算されるので、誤解が生じる。代表的なものに限っても、そういった処理をユーザーではなく、アプリケーション側でしてあげた方が良いと思う。

(甲斐委員長) ICRP Publication 144 にあるのが親と娘核種を別々にデータ提供している、ということなので、そこを考慮した上で、実用的な形の計算にする、つまり、Cs-137 であれば Ba-137m も含めた形で評価するようにお願いしたい。

(事務局) 今年度やるとなると、時間的にも厳しいかもしれないが、来年度も引き続き、造血器のコード開発も継続するので、来年度以降に改良したほうが良い点についても、ご意見いただいて、それを来年度以降に反映させていこうと思う。

- 個人線量と周辺線量の用語について

(佐藤委員) 個人線量と周辺線量という言葉が使われているが、新実用量でも同じ名前の用語が使われるので混乱の元となる。何かしら置き換えた方が良い。

(甲斐委員長) ご指摘の通り、現在使用されている ICRU の実用量と現在の ICRP の等価線量とは明らかにギャップがあり、新実用量で初めて整合していく。ご指摘いただいたように、用語の混乱があるので、どのような表現が良いかということは整理する必要がある。

(佐藤委員) ここで示されているのは個人線量という呼び名になっているが、実際のところは実効線量と臓器吸収線量のことか。個人線量というのは、ICRP が新しく提案しようとしている実用量で別の定義の量として用語がもう使われているので、その混乱もあり、周辺線量のところは単純に周辺線量等量と書けば良いと思う。周辺線量等量と周辺線量は定義が違うためである。

- 相対生存率について

(甲斐委員長) 相対生存率というものがあるが、これは特定の乳がんのリスクモデルの時だけに使うのか、それとも一般的なものとして使うのか。

(VIC) EPA2011 の乳がんの死亡リスクに利用する。

(甲斐委員長) 今回は、死亡データと罹患データを別々に計算しているので、これは必要ないと思う。今回のこのコード開発の中でも死亡ベースと罹患ベースの両方のモデルを使うようにしているか。

(VIC) 元の過剰リスクモデルが罹患ベースなのか、死亡ベースなのか、そのデータを置き換えればいいだけなので、どちらでも対応は可能。

(事務局) EPA などは罹患ベースであり、Ozasa 2012 は死亡ベースで計算している。罹患ベースの EPA に関しても、DALY を計算する場合は、損失余命や死亡に換算する必要があるので、その際に致死率のようなベースラインの罹患率と死亡率の比を掛けて補正する方法を取っている。

(甲斐委員長) 確かにそのような計算方法は、違ってくることは当然あるが、上のタブに相対生存率というのが目立ってしまうと、どのような目的でどのように使うのかというのが個別に説明されれば、今のような形で、モデルの中にあってもいいような気もするが、そのあたりの全体の方が分からなくなってしまうので望ましくない。死亡率と罹患率は個別のデータベースを使ってそれぞれリスクを推定するという方針であれば、基本的には罹患をベースにして死亡率を推定するのが混在しているので、何を基にどのような計算をするのかが分かるような表示をし

たほうが良い。

- 選択したベースライン罹患率等の図示について

(佐藤委員) 条件設定、計算実行のタブの部分で、グラフィカルな情報があったほうがユーザーは分かりやすいと思う。例えばベースラインの編集のタブでは、数値データが並んでいても良いと思うが、条件設定の確認のところでは、グラフ表示されていた方がユーザーにとっては分かりやすいと思う。特に補間方法がステップだったり連続だったりするので。さらに、ベースラインの罹患率などで高齢者のところは外挿しているのか一定値としているのかは数値ではよく分からない部分もある。今の自分の計算の設定がどうなっているのかを目で確認できるというのはユーザーにとって良いと思う。

(事務局) ベースラインの罹患率がどのようなデータを使っているのかというのは、なかなか分かりにくい部分もあると思うので、検討しながら反映できるものを、コードを整備していく中で、GUI 全体を整理しながら、ユーザーが分かりやすくなるように設計していく。

- 死亡率と罹患率の仮定

(坂田委員) 罹患率や死亡率は、年を選択するようになっているが、死亡率や罹患率が今後も続くという仮定で、その後のリスクを推定するということか。そのあたりが分かりにくいと思う。

(事務局) 現状では、そのようになっている。佐藤委員のご指摘のように、図示すると、どの年齢と罹患率で計算されるかというのが、分かりやすくなると思うので、そういった部分を工夫する。

- ユーザーが用意したデータの利用について

(古川委員) 補償などの場合のリスクなどを考える場合、過去の出生コホート別のデータが得られるのであれば、それを用いてリスク予測をするということが可能か。つまり自分で用意したものが Excel ファイルなどにあったとして、それを読み込んでベースラインとして使うことは可能か。

(事務局) 自分で用意したデータを入力して計算することは可能である。ただし、例えば、過去の 1995 年、1996 年、1997 年など、一つ一つ変えて計算するのは今のところはない。

- 被ばく状況の入力方法について

(吉永委員) 条件設定など、計算実行の画面で、線量や被ばく時年齢を入力する画面で、仮に、職業的な被ばくのリスクを予測したい場合に、何歳から何歳まで一年間どれぐらいと、そのような入力にも対応できたら、ユーザーとしては使い勝手が良いと思う。あるいは、急性被ばく、分割被ばくなどの入力に対応できると良い。

(事務局) 現状では、各年齢で線量を入れるような形になっている。職業被ばくで何歳から何歳まで何 Gy とか、分割被ばくで何歳と何歳で何 Gy、といった入力ができるように工夫していきたい。

- 損失余命の用語について

(岸本委員) 寿命喪失というのは、0 歳時、出生時の余命なので、余命損失か損失余命という言葉の方が良いと思う。

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。

以上

6. まとめ

疫学研究に関する調査では、最新の知見を整理した。また、研究に必要な国内外の情報収集として、国内学会に参加して本コードの開発に関する発表を行い、本コードに対するコメント等を収集した。さらに、有識者で構成される委員会を設置し、専門的かつ客観的な立場からの意見を踏まえながら検討を進めた。その結果、令和5年度の概念設計で設計した本コードの計算の流れや利用するリスクモデルに問題ないことを確認した。ただし、リスクの扱い方や表示方法に関しては引き続き検討が必要である。今後も、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。

固形がんに対する放射線リスク計算機能の開発では、令和5年度の概念設計に従い、計算機能を開発した。検討委員会でも本コードに関していくつか課題点や改良点が指摘され、今後もユーザーのニーズに応じて改良を進めていくことが重要である。

参考文献

- Azizova T.V., Grigoryeva E.S., Hamada N. 2023. Dose rate effect on mortality from ischemic heart disease in the cohort of Russian Mayak Production Association workers. *Sci. Rep.* 13, 1926.
- Boice J.D. Jr., Cohen S.S., Mumma M.T., Golden A.P., Howard S.C., Girardi D.J., Ellis E.D., Bellamy M.B., Dauer L.T., Samuels C., Eckerman K.F., Leggett R.W. 2022a. Mortality among workers at the Los Alamos National Laboratory, 1943-2017. *Int. J. Radiat. Biol.* 98, 722–749.
- Boice J.D. Jr., Cohen S.S., Mumma M.T., Hagemeyer D.A., Chen H., Golden A.P., Yoder R.C., Dauer L.T. 2022b. Mortality from leukemia, cancer and heart disease among U.S. nuclear power plant workers, 1957-2011. *Int. J. Radiat. Biol.* 98, 657–678.
- Boice J.D. Jr., Cohen S.S., Mumma M.T., Howard S.C., Yoder R.C., Dauer L.T. 2023a. Mortality among medical radiation workers in the United States, 1965-2016. *Int. J. Radiat. Biol.* 99, 183–207.
- Boice J.D. Jr., Cohen S.S., Mumma M.T., Golden A.P., Howard S.C., Girardi D.J., Ellis E.D., Bellamy M.B., Dauer L.T., Eckerman K.F., Leggett R.W. 2023b. Mortality among Tennessee Eastman Corporation (TEC) uranium processing workers, 1943-2019. *Int. J. Radiat. Biol.* 99, 208–228.
- Bosch de Basea Gomez M., Thierry-Chef I., Harbron R., Hauptmann M., Byrnes G., Bernier M.O., Le Cornet L., Dabin J., Ferro G., Istad T.S., Jahnen A., Lee C., Maccia C., Malchair F., Olerud H., Simon S.L., Figuerola J., Peiro A., Engels H., Johansen C., Blettner M., Kaijser M., Kjaerheim K., Berrington de Gonzalez A., Journy N., Meulepas J.M., Moissonnier M., Nordenskjold A., Pokora R., Ronckers C., Schüz J., Kesminiene A., Cardis E. 2023. Risk of hematological malignancies from CT radiation exposure in children, adolescents and young adults. *Nat. Med.* 29, 3111–3119.
- 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.
- Cha E.S., Lee D., Sung H., Jang W.I., Kwon T.E., Jeong H.Y., Seo S. 2024. Risks of circulatory diseases among Korean radiation workers exposed to low-dose radiation. *Radiat. Res.* 202, 649–661.
- Daniels R.D., Bertke S.J., Kelly-Reif K., Richardson D.B., Haylock R., Laurier D., Leuraud K., Moissonnier M., Thierry-Chef I., Kesminiene A., Schubauer-Berigan M.K. 2024. Updated findings on temporal variation in radiation-effects on cancer mortality in an international cohort of nuclear workers (INWORKS). *Eur. J. Epidemiol.* 39, 1277–1286.
- de Vathaire F., Zidane M., Xhaard C., Souchard V., Chevillard S., Ory C., Rachédi F., Nunez S., Leufroy A., Noël L., Guérin T., Shan L., Bost-Bezeaud F., Petitdier P., Soubiran G., Allodji R., Ren Y., Doyon F., Taquet M., Gardon J., Bouville A., Drozdovitch V.. 2023. Assessment of differentiated thyroid carcinomas in French Polynesia after atmospheric nuclear tests performed by France. *JAMA Network Open.* 6, e2311908.
- EPA. 2011. EPA radiogenic cancer risk models and projections for the U.S. population, EPA 402-R-11-001.
- Fournier L., Cléro E., Samson E., Caër-Lorho S., Laurier D., Leuraud K. 2018. Impact of considering non-occupational radiation exposure on the association between occupational dose and solid cancer among French nuclear workers. *Occup. Environ. Med.* 75, 199–204.
- 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. *Int. J. Cancer.* 132, 1222–1226.
- Furuta H., Sato K., Nishide A., Kudo S., Saigusa S. 2021. Organ dose reconstruction applicable for a Japanese nuclear worker cohort: J-EPISODE. *Health Phys.* 121, 471–483.
- Gillies M., Haylock R., Hunter N., Zhang W. 2019. Risk of leukemia associated with protracted low-dose radiation exposure: Updated results from the national registry for radiation workers study. *Radiat. Res.* 192, 527–537.
- Grant E.J., Brenner A., Sugiyama H., Sakata R., Sadakane A., Utada M., Cahoon E.K., Milder 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.
- 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.
- Gu Y., Wang J., Wang Y., Xu C., Liu Y., Du L., Wang Q., Ji K., He N., Zhang M., Song H., Niu K., Liu Q. 2023. Association of low-dose ionising radiation with site-specific solid cancers: Chinese medical X-ray workers cohort study, 1950-1995. *Occup. Environ. Med.* 80, 687–693.
- Hauptmann M., Byrnes G., Cardis E., Bernier M.O., Blettner M., Dabin J., Engels H., Istad T.S., Johansen C., Kaijser M., Kjaerheim K., Journy N., Meulepas J.M., Moissonnier M., Ronckers C., Thierry-Chef I., Le Cornet L., Jahnen A., Pokora R., Bosch de Basea M., Figuerola J., Maccia C., Nordenskjold A., Harbron R.W., Lee C., Simon S.L., Berrington de Gonzalez A., Schüz J., Kesminiene A. 2023. Brain cancer after radiation exposure from CT examinations of children and young adults: results from the EPI-CT cohort study. *Lancet Oncol.* 24, 45–53.
- Haylock R.G.E., Gillies M., Hunter N., Zhang W., Phillipson M. 2018. Cancer mortality and incidence following external occupational radiation exposure: an update of the 3rd analysis of the UK national registry for radiation workers. *Br. J. Cancer.* 119, 631–637.
- 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.
- 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.
- ICRP. 2021. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP 50 (1).
- Kitahara C.M., Preston D.L., Neta G., Little M.P., Doody M.M., Simon S.L., Sigurdson A.J., Alexander B.H., Linet M.S. 2018. Occupational radiation exposure and thyroid cancer incidence in a cohort of U.S. radiologic technologists, 1983-2013. *Int. J. Cancer*. 143, 2145–2149.
- Lee W.J., Preston D.L., Cha E.S., Ko S., Lim H. 2019. Thyroid cancer risks among medical radiation workers in South Korea, 1996-2015. *Environ. Health*. 18, 19.
- Leuraud K., Laurier D., Gillies M., Haylock R., Kelly-Reif K., Bertke S., Daniels R.D., Thierry-Chef I., Moissonnier M., Kesminiene A., Schubauer-Berigan M., Richardson D.B. 2024. Leukaemia, lymphoma, and multiple myeloma mortality after low-level exposure to ionizing radiation in nuclear workers (INWORKS): updated findings from an international cohort study. *Lancet Haematol*. 11, e761–e769.
- Linet M.S., Little M.P., Kitahara C.M., Cahoon E.K., Doody M.M., Simon S.L., Alexander B.H., Preston D.L. 2020. Occupational radiation and haematopoietic malignancy mortality in the retrospective cohort study of US radiologic technologists, 1983-2012. *Occup. Environ. Med*. 77, 822–831.
- Little M.P., Wakeford R., Borrego D., French B., Zablotska L.B., Adams M.J., Allodji R., de Vathaire F., Lee C., Brenner A.V., Miller J.S., Campbell D., Pearce M.S., Doody M.M., Holmberg E., Lundell M., Sadetzki S., Linet M.S., Berrington de González A. 2018. Leukaemia and myeloid malignancy among people exposed to low doses (<100 mSv) of ionising radiation during childhood: a pooled analysis of nine historical cohort studies. *Lancet Haematol*. 5, e346–e358.
- Little M.P., Wakeford R., Zablotska L.B., Borrego D., Griffin K.T., Allodji R.S., de Vathaire F., Lee C., Brenner A.V., Miller J.S., Campbell D., Pearce M.S., Sadetzki S., Doody M.M., Holmberg E., Lundell M., French B., Adams M.J., Berrington de González A., Linet M.S. 2023. Radiation exposure and leukaemia risk among cohorts of persons exposed to low and moderate doses of external ionising radiation in childhood. *Br. J. Cancer*. 129, 1152–1165.
- 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, 66–76.
- Masaoka H., Matsuo K., Oze I., Kimura T., Tamakoshi A., Sugawara Y., Tsuji I., Sawada

- N., Tsugane S., Ito H., Wada K., Nagata C., Kitamura T., Zha L., Sakata R., Ozasa K., Lin Y., Mizoue T., Tanaka K., Abe S.K., Inoue M. 2023. Cigarette smoking, smoking cessation, and bladder cancer risk: A pooled analysis of 10 cohort studies in Japan. *J. Epidemiol.* 33, 582–588.
- Meulepas J.M., Ronckers C.M., Smets A.M.J.B., Nievelstein R.A.J., Gradowska P., Lee C., Jahnen A., van Straten M., de Wit M.Y., Zonnenberg B., Klein W.M., Merks J.H., Visser O., van Leeuwen F.E., Hauptmann M. 2019. Radiation exposure from pediatric CT scans and subsequent cancer risk in the Netherlands. *J. Natl. Cancer Inst.* 111, 256–263.
- Milder C.M., Bellamy M.B., Howard S.C., Ellis E.D., Golden A.P., Cohen S.S., Mumma M.T., French B., Zablotska L.B., Boice J.D. 2024a. Mortality follow-up of Fernald Feed Materials Production Center workers exposed to uranium from 1951 to 1985. *Occup. Environ. Med.* 81, 439–447.
- Milder C.M., Howard S.C., Ellis E.D., Golden A.P., Cohen S.S., Mumma M.T., Leggett R.W., French B., Zablotska L.B., Boice J.D Jr. 2024b. Third mortality follow-up the Mallinckrodt uranium processing workers, 1942–2019. *Int. J. Radiat. Biol.* 100, 161–175.
- Mirkatouli N.B., Hirota S., Yoshinaga S. 2023. Thyroid cancer risk after radiation exposure in adults-systematic review and meta-analysis. *J. Radiat. Res.* 64, 893–903.
- Moseeva M.B., Azizova T.V., Bannikova M.V. 2024. Risk of central nervous system tumour incidence in a cohort of workers chronically exposed to ionising radiation. *Radiat. Environ. Biophys.* 63, 17–26.
- 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.
- NRC. 2006. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. BEIR VII phase 2.
- 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. *Radiat. Res.* 177, 229–243.
- Prysyazhnyuk A.Y., Trotsyuk N.K., Gudzenko N.A., Chumak V.V., Bakhanova O.V., Fuzik M.M., Belyaev Y.M., Fedorenko Z.P., Gorokh Y.L., Romanenko A.Y., Bazyka D.A., Khukhryanska O.M. 2018. Radiation risks of thyroid cancer in Chornobyl clean-up workers using the alternative estimates of doses of external exposure.

- Probl. Radiac. Med. Radiobiol. 23, 200–215 [English, Ukrainian].
- Richardson D.B., Laurier D., Leuraud K., Gillies M., Haylock R., Kelly-Reif K., Bertke S., Daniels R.D., Thierry-Chef I., Moissonnier M., Kesminiene A., Schubauer-Berigan M.K. 2024. Site-specific cancer mortality after low level exposure to ionizing radiation: Findings from an update of the International Nuclear Workers Study (INWORKS). *Am. J. Epidemiol.* kwae256.
- 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. 2019. 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.
- 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.
- Sasaki M., Furukawa K., Satoh D., Shimada K., Takahara S., Kudo S., Takagi S., Kai M. 2023. SUMRAY: R and Python codes for calculating cancer risk due to radiation exposure of a population. *J. Radiat. Prot. Res.* 48, 90–99.
- Shimada K., Kai M. 2015. Calculating disability-adjusted life years (DALY) as a measure of excess cancer risk following radiation exposure. *J. Radiol. Prot.* 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.
- Smoll N.R., Brady Z., Scurrah K.J., Lee C., Berrington de González A., Mathews J.D. 2023. Computed tomography scan radiation and brain cancer incidence. *Neuro Oncol.* 25, 1368–1376.
- Stram D.O., Sokolnikov M., Napier B.A., Vostrotin V.V., Efimov A., Preston D.L. 2021. Lung cancer in the Mayak workers cohort: Risk estimation and uncertainty analysis. *Radiat. Res.* 195, 334–346.
- Sugiyama H., Misumi M., Kishikawa M., Iseki M., Yonehara S., Hayashi T., Soda M., Tokuoka S., Shimizu Y., Sakata R., Grant E.J., Kasagi F., Mabuchi K., Suyama A., Ozasa K. 2014. Skin cancer incidence among atomic bomb survivors from 1958 to 1996. *Radiat. Res.* 181, 531–539.
- 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.

- Sundström J., Isaksson M., Rääf C.L. 2023. LARCalc, a tool to estimate sex- and age-specific lifetime attributable risk in populations after nuclear power plant fallout. *Sci Rep.* 13, 21244.
- Tao X.G., Curriero F.C., Mahesh M. 2024a. Low dose radiation and solid tumors mortality risk. *J. Occup. Environ. Med.* 66, e230–e237.
- Tao X.G., Curriero F.C., Mahesh M. 2024b. Low-dose radiation risks of lymphohematopoietic cancer mortality in U.S. shipyard workers. *Radiat Res.* 201, 586–603.
- UKHSA. 2023. Impact of sex and age on prospective off-site health risk assessments of radiological accidents at nuclear sites. RCEHD-RAD-2023-04.
- 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.
- 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.
- Velazquez-Kronen R., Gilbert E.S., Linet M.S., Moysich K.B., Freudenheim J.L., Wactawski-Wende J., Simon S.L., Cahoon E.K., Alexander B.H., Doody M.M., Kitahara C.M. 2020. Lung cancer mortality associated with protracted low-dose occupational radiation exposures and smoking behaviors in U.S. radiologic technologists, 1983-2012. *Int. J. Cancer.* 147, 3130–3138.
- Zankl M., Drexler G., Petoussi-Henss N., Saito K. 1997. The calculation of dose from external photon exposures using reference human phantoms and Monte Carlo methods. Part VII: Organ doses due to parallel and environmental exposure geometries. GSF-Bericht 8/97 Institut für Strahlenschutz, München, Germany.
- Zeng X., Berriault C., Arrandale V.H., DeBono N.L., Harris M.A., Demers P.A. 2023. Radon exposure and risk of neurodegenerative diseases among male miners in Ontario, Canada: A cohort study. *Am. J. Ind. Med.* 66, 132–141.
- Zhang W., Haylock R.G.E., Gillies M., Hunter N., Zhang E. 2023. Effects of radiation on respiratory disease mortality: analysis of the national registry for radiation workers in United Kingdom. *Int. J. Radiat. Biol.* 99, 1531–1541.
- Zhuntova G., Bannikova M., Azizova T. 2024. Incidence risk of hepatobiliary malignant neoplasms in the cohort of workers chronically exposed to ionizing radiation. *Sci. Rep.* 14, 17561.

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.