



JAEA-Data/Code

2009-001

## 放射線による晩発性健康影響を推定する計算コード HEINPUTの改良とGUI作成

Improvement of HEINPUT Code for Estimating the Late Somatic and  
Genetic Effects Induced by Radiation Exposure

高原 省五 本間 俊充 西村 優基

Shogo TAKAHARA, Toshimitsu HOMMA and Yuki NISHIMURA

安全研究センター  
原子力エネルギー関連施設安全評価研究ユニット

Nuclear Facility Safety Research Unit  
Nuclear Safety Research Center

April 2009

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-  
Data/Code

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（<http://www.jaea.go.jp>）  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

放射線による晩発性健康影響を推定する計算コード HEINPUT の改良と GUI 作成

日本原子力研究開発機構安全研究センター  
原子力エネルギー関連施設安全評価研究ユニット  
高原 省五、本間 俊充、西村 優基\*

(2009 年 1 月 16 日受理)

HEINPUT は、原子力事故の確率論的な影響を評価する OSCAAR コードの前処理コードの一つで、晩発性身体影響と遺伝的影響に関する OSCAAR コードの入力データを作成するための計算コードである。現在、HEINPUT による健康影響の推定には米国原子力規制委員会（USNRC）が提案したモデル（USNRC, 1985）を利用しておらず、NUREG/CR-4214 Rev.2 (USNRC, 1993) において改訂されたモデルが実装されている。本報告書では USNRC による推定モデルに加え、米国環境保護庁（EPA）によって提案された晩発性身体影響の推定モデル（EPA, 1999）を HEINPUT で利用できるよう改良した。また、本システムを公開することによって今後のリスク評価の発展に資することを目的として、利便性向上のためにグラフィカルユーザーインターフェイス（GUI）を作成した。

---

原子力科学研究所（駐在）：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

\* (株) ヴィジブルインフォメーションセンター

Improvement of HEINPUT Code for Estimating the Late Somatic and Genetic Effects Induced by Radiation  
Exposure

Shogo TAKAHARA, Toshimitsu HOMMA and Yuki NISHIMURA \*

Nuclear Facility Safety Research Unit,  
Nuclear Safety Research Center, Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 16, 2009)

HEINPUT code is one of the preprocessor codes for probabilistic accident consequence assessment code OSCAAR, and calculates the input data which related to the late somatic health effects and the genetic effects. HEINPUT code currently uses a model which was submitted by U.S. Nuclear Regulatory Commission (USNRC) revised by NUREG/CR-4214 Rev. 2. In this report, we improve HEINPUT code and make not only NUREG model but also EPA model (EPA, 1999) estimate the late somatic and genetic effects. In addition, we have created a graphical user interface (GUI) for the purpose of publication of this code and development of risk assessments associated with radiation exposure.

Keywords: Health Effects Model, Probabilistic Accident Consequence Assessment, GUI

---

\* Visible Information Center Inc.

## 目次

1. はじめに .....	1
2. HEINPUT を用いた放射線による晩発性健康影響の評価 .....	3
2.1 放射線被ばくによるがんリスクの推定 .....	3
2.2 NUREG モデルによる晩発性身体影響の評価 .....	10
2.2.1 晩発性身体影響 TYPE1 推定式 .....	10
2.2.2 晩発性身体影響 TYPE2 推定式 .....	13
2.3 EPA モデルによる晩発性身体影響の評価 .....	15
2.3.1 生存率関数 .....	15
2.3.2 ハザード関数 .....	15
2.3.3 過剰死亡率 .....	17
2.3.4 がんの発現を表現する関数 .....	18
2.3.5 EPA モデルにおけるリスク計算 .....	20
3. HEINPUT コードマニュアル .....	22
3.1 コード構成 .....	23
3.2 入力データとライブラリデータ .....	26
3.2.1 NUREG モデルの入力データ .....	27
3.2.2 EPA モデルの入力データ .....	27
3.3 出力データ .....	28
4. 検証計算 .....	33
4.1 NUREG モデル .....	33
4.1.1 NUREG モデル TYPE1 による晩発性身体影響の推定 .....	33
4.1.2 NUREG モデル TYPE2 による晩発性身体影響の推定 .....	36
4.2 EPA モデル .....	46
5. HEINPUT-GUI の作成 .....	54
6. まとめ .....	61
謝辞 .....	61
参考文献 .....	62
付録 HEINPUT ライブラリデータ .....	63

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Assessments of the late somatic helth effects due to radiation exposures using HEINPUT .....	3
2.1 Estimations of the cancers due to radiation exposure .....	3
2.2 Assessments of the late somatic helth effects using the NUREG model .....	10
2.2.1 Estimation by TYPE 1 .....	10
2.2.2 Estimation by TYPE 2 .....	13
2.3 Assessments of the late somatic helth effects using the EPA model .....	15
2.3.1 The survival function .....	15
2.3.2 The hazard function .....	15
2.3.3 The excess force of mortality .....	17
2.3.4 Time since exposure response function .....	18
2.3.5 Risk calculations using the EPA model .....	20
3. User's manual of the HEINPUT code .....	22
3.1 Structure of the HEINPUT code .....	23
3.2 Input data and data library .....	26
3.2.1 Input data of NUREG model .....	27
3.2.2 Input data of EPA model .....	27
3.3 Output-data .....	28
4. Validation calculation .....	33
4.1 Validation calculation of the NUREG model .....	33
4.1.1 Validation calculation of TYPE 1 .....	33
4.1.2 Validation calculation of TYPE 2 .....	36
4.2 Validation calculation of the EPA model .....	46
5. HEINPUT-GUI .....	54
6. Summary .....	61
Acknowledgment .....	61
Reference .....	62
Appendix HEINPUT data library .....	63

## 表リスト

- 表2.1 NUREGによるがん分類と推定モデルの対応
- 表2.2 EPAによるがん分類と推定モデルの対応 (EPA, 1999, Table 7.1.; Table 7.2.)
- 表3.1 NUREG モデルを用いた晩発性身体影響の推定に関するモジュールとその概要
- 表3.2 EPA モデルを用いた晩発性身体影響の推定に関するモジュールとその概要
- 表3.3 NUREG モデル用ライブラリデータ
- 表3.4 EPA モデル用ライブラリデータ
- 表3.5 年齢階級と階級番号の対応
- 表3.6 リスクモデル係数データの入力形式
- 表3.7 生命表データの入力形式
- 表3.8 死亡数データの入力形式
- 表3.9 致死割合データの入力形式
- 表3.10 HEINPUT の出力ファイル一覧 (NUREG モデル及び EPA モデル共通)
- 表3.11(a) グラフ用出力ファイル (NUREG モデルの場合)
- 表3.11(b) グラフ用出力ファイル (EPA モデルの場合)
- 表4.1 NUREG モデル TYPE 1 によるがん死亡の生涯リスク (HEINPUT の計算値)
- 表4.2 NUREG モデル TYPE 1 によるがん死亡の生涯リスク (USNRC, 1993, Table 2.9)
- 表4.3 NUREG モデル TYPE 1 によるがん罹患の生涯リスク (HEINPUT の計算値)
- 表4.4 NUREG モデル TYPE 1 によるがん罹患の生涯リスク (USNRC, 1993, Table 2.8)
- 表4.5(a) NUREG モデル TYPE 2 による白血病の晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT の計算値)
- 表4.5(b) NUREG モデル TYPE 2 による白血病の晩発性致死生涯リスク中央値 (USNRC, 1993, Table B-1.1)
- 表4.5(c) NUREG モデル TYPE 2 による白血病の晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)
- 表4.6(a) NUREG モデル TYPE 2 による骨がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT の計算値)
- 表4.6(b) NUREG モデル TYPE 2 による骨がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (USNRC, 1993, Table B-1.2)
- 表4.6(c) NUREG モデル TYPE 2 による骨がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)
- 表4.7(a) NUREG モデル TYPE 2 による乳がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT の計算値)
- 表4.7(b) NUREG モデル TYPE 2 による乳がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (USNRC, 1993, Table B-1.3)
- 表4.7(c) NUREG モデル TYPE 2 による乳がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)
- 表4.8(a) NUREG モデル TYPE 2 による肺がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT の計算値)
- 表4.8(b) NUREG モデル TYPE 2 による肺がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (USNRC, 1993, Table B-1.4)
- 表4.8(c) NUREG モデル TYPE 2 による肺がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)
- 表4.9(a) NUREG モデル TYPE 2 による胃腸管がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT の計算値)
- 表4.9(b) NUREG モデル TYPE 2 による胃腸管がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (USNRC, 1993, Table B-1.5)
- 表4.9(c) NUREG モデル TYPE 2 による胃腸管がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)
- 表4.10(a) NUREG モデル TYPE 2 による甲状腺がんによる晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT の計算値)

- 表 4.10(b) NUREG モデル TYPE 2 による甲状腺がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (USNRC,1993, Table B-1.6)
- 表 4.10(c) NUREG モデル TYPE 2 による甲状腺がんの晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT 入力データ 1 年  
刻みで計算)
- 表 4.11(a) NUREG モデル TYPE 2 によるその他のがんの晩発性致死生涯リスク中央値(HEINPUT の計算値)
- 表 4.11(b) NUREG モデル TYPE 2 によるその他のがんの晩発性致死生涯リスク中央値 (USNRC,1993, Table B-1.7)
- 表 4.11(c) NUREG モデル TYPE 2 によるその他のがんの晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT 入力データ 1  
年刻みで計算)
- 表 4.12(a) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばく白血病の晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT の計算  
値)
- 表 4.12(b) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばく白血病の晩発性致死生涯リスク中央値 (USNRC,1993, Table  
B-1.8)
- 表 4.12(c) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばく白血病の晩発性致死生涯リスク中央値 (HEINPUT 入力デ  
ータ 1 年刻みで計算)
- 表 4.13(a) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばくに起因するその他のがんの晩発性致死生涯リスク中央値  
(HEINPUT の計算値)
- 表 4.13(b) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばくに起因するその他のがんの晩発性致死生涯リスク中央値  
(USNRC,1993, Table B-1.9)
- 表 4.13(c) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばくに起因するその他のがんの晩発性致死生涯リスク中央値  
(HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)
- 表 4.14 HEINPUT の EPA モデルによるがん死亡の生涯リスク係数の計算結果と EPA 報告書の比較
- 表 4.15 HEINPUT の EPA モデルによるがん罹患の生涯リスク係数の計算結果と EPA 報告書の比較
- 表 5.1 HEINPUT が有するリスクモデル関連パラメータと人口動態統計関連データ

## 図リスト

- 図 1.1 OSCAAR コードシステムの構成
- 図 2.1 絶対リスクモデルを仮定した場合の放射線に起因する過剰がん死亡率（罹患率）
- 図 2.2 相対リスクモデルを仮定した場合の放射線に起因する過剰がん死亡率（罹患率）
- 図 3.1 晩発性健康影響に関する HEINPUT コードのモジュール構成
- 図 4.1 HEINPUT の EPA モデルを用いた生存率の計算結果
- 図 4.2 HEINPUT の EPA モデルを用いた平均余命の計算結果
- 図 4.3 米国人（1989 年から 1991 年）のがんハザード関数の HEINPUT 計算結果
- 図 4.4 米国人（1989 年から 1991 年）の白血病による死亡率（年齢及び性差依存）（EPA,1999,Fig.C12.）
- 図 4.5 がん部位別の年齢平均した生涯リスクの被ばく時年齢に伴う変化（HEINPUT による計算結果）
- 図 5.1 HEINPUT-GUI 使用の流れ
- 図 5.2 データセット管理画面
- 図 5.3 計算モデル選択画面
- 図 5.4 人口動態統計データの選択
- 図 5.5 計算実行画面
- 図 5.6 計算結果標準出力閲覧画面
- 図 5.7 グラフ表示

This is a blank page.

## 1. はじめに

旧日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構 以下、旧原研と呼ぶ）では、原子力発電所の確率論的安全評価研究の一環として、環境影響及び健康影響の定量化に用いる確率論的事故影響評価コード OSCAAR を開発した (HOMMA et al., 1990;2005)。OSCAAR は、事故時に大気中に放出された放射性物質の環境中移行とそれに続く人への被ばく、被ばく集団の健康影響及び経済影響を推定するための一連の計算モジュールとデータファイルから構成される。これらの計算に必要な気象シーケンス、線量換算係数、人口と農産畜産物の生産分布、避難に要する時間及び被ばく集団の生涯リスク等のデータファイルを予め用意しておくために数種類の独立した前処理コードが OSCAAR を支援している。OSCAAR を構成する HE モジュール（以下、OSCAAR-HE）は、放射線被ばくによってもたらされる早期及び持続性、並びに晩発性身体影響及び遺伝的影響を推定するためのコードである（図 1.1）。HEINPUT は、OSCAAR-HE の前処理コードの一つであり、特に晩発性身体影響と遺伝的影響に関する OSCAAR-HE の入力データを作成するためのコードである (外川 et al., 1999)。

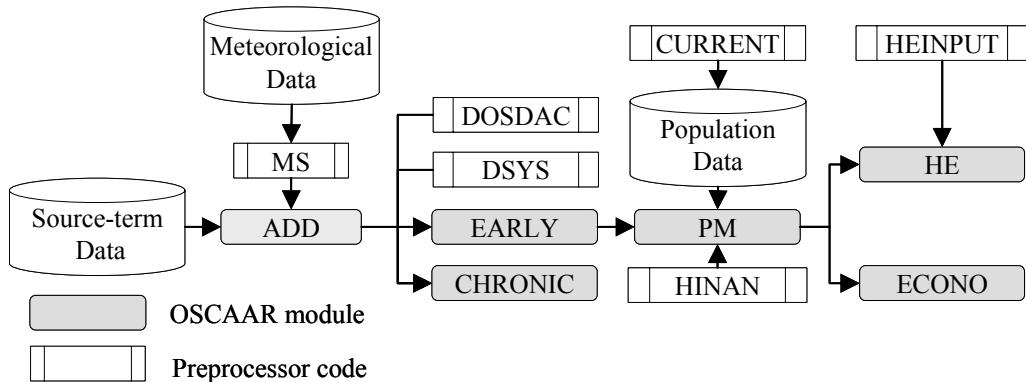


図 1.1 OSCAAR コードシステムの構成

HEINPUT は晩発性身体影響及び遺伝的影響を推定するために、米国原子力規制委員会 (USNRC) のモデル（以下、NUREG モデル）(USNRC, 1985) を用いており、同モデルの 2 度の改訂 (USNRC, 1989;1990;1993) による変更点を反映するために HEINPUT コードも改訂され (本間 et al., 2000)、現在、HEINPUT に実装されている推定モデルは NUREG/CR-4214 Rev. 2 Part I (USNRC, 1993)において採用されたモデルである。本報告書では USNRC による推定モデルに加え、米国環境保護庁 (EPA) の放射線被ばくによるがん影響推定モデル（以下、EPA モデル）(EPA, 1999) を HEINPUT で利用できるようにした。NUREG モデルが年齢に関して離散的な年齢階級を使用するモデルであるのに対して、EPA モデルは生存率関数及びハザード関数を用いて連続的な評価が可能である。ハザード関数を用いることにより放射線リスクだけでなく喫煙など他のリスクファクターを考慮した構造とすることができます。さらに EPA モデルは、死亡率や罹患率だけでなく健康影響に関する指標として損失余命<sup>注1)</sup>を考慮している点でも有用である。このほか、HEINPUT を広く公開することによって今後のリスク評価の発展に資することを目的とし、利便性向上のためにグラフィカルユーザーアインタフェイス (GUI) を作成した。

注1) ある年齢の人々が、その後生存する年数の期待値を平均余命という。損失余命とは、ある原因によって失われた平均余命のことである。平均余命については式(2.18)を参照。

以下、第 2 章では放射線被ばくに起因するがんの説明と、NUREG モデル及び EPA モデルによるがん死亡・罹患の推定モデルについて説明する。第 3 章は HEINPUT のコードマニュアルである。第 4 章には HEINPUT を用いた検証計算の結果を示し、また、第 5 章において HEINPUT-GUI について説明する。なお、HEINPUT は健康影響を計算するためのデータセットとして USNRC 報告書 (USNRC, 1993) 及び EPA 報告書 (EPA, 1999) に基づく入力データとともに、旧原研で整備した日本人のためのデータセットをライブラリとして有している。これらのライブラリデータを付録として添付した。

## 2. HEINPUT を用いた放射線による晩発性健康影響の評価

放射線被ばくによる人体への影響には、被ばく後すぐに症状が現れるもの（早期健康影響）と、被ばくから時間を経て症状が現れるもの（晩発性健康影響）が存在する。早期影響には臓器・組織（骨髄、肺および胃腸管）の機能障害や中枢神経系の障害が知られており、また晩発性健康影響としては悪性腫瘍（がん）等の身体的影響と遺伝的影響が知られている。HEINPUT は、このうち主にがんによるリスクを推定するためのコードであり、がん死亡率及び非致死性のがん罹患率を推定することができる。HEINPUT を用いた推定では、NUREG モデルと、新たに追加した EPA モデルが利用可能である。本章では HEINPUT を用いた放射線被ばくに起因する発がんリスクの推定について概要を説明するとともに、これらの推定モデルに関する NUREG モデルと EPA モデルによる表現を説明する。第 2.1 節では一般的な放射線による発がんの推定モデル（絶対リスクモデル、相対リスクモデル）について記述し、これらのモデルで変数となるがん死亡（罹患）の修飾要因が HEINPUT でどのように考慮されているか説明する。第 2.2 節では、HEINPUT が採用している NUREG モデル及び EPA モデルによるモデルの定式化について説明する。

### 2.1 放射線被ばくによるがんリスクの推定

#### (1) がんの分類

放射線被ばくによるがんの発生はいくつかの臓器・組織において観察される。NUREG モデルと EPA モデルのがん分類を、それぞれ表 2.1 と表 2.2 に示す。放射線被ばくによってがんが発生するリスク（死亡または罹患）は各臓器・組織によって異なるため、推定に用いられるモデルやパラメータは臓器・組織に応じて異なっている。また、臓器・組織の分類を一元的に行うことは困難であり、NUREG モデルと EPA モデルを比較してもがんの分類は一致していない。このため HEINPUT では、OSCAAR-HE への入力となる項目に関しては NUREG モデルの分類に従って出力し、EPA モデルを用いた場合にのみ出力される項目に関しては EPA モデルによる分類に従うこととした。NUREG モデルの分類に準ずる場合、EPA による食道、胃、結腸及び肝臓のリスクの和をもって NUREG モデルの胃腸がんリスクと対応させ、卵巣、膀胱及び腎臓のリスクはその他のがんリスクに加えることとした。

#### (2) 推定モデル

放射線被ばくによるがん死亡（罹患）の経時的パターンを表現するモデルとして、以下 2 つのモデルが提案されている。一つは絶対リスクモデルであり、放射線による過剰がん死亡数<sup>注2)</sup>が、被ばく時の年齢のみに依存し死亡時（罹患時）年齢に関係なく一定であると仮定したモデルである。図 2.1 に絶対リスクモデルを用いた推定の概念図を示す。放射線に起因するがんは、被ばく後すぐに発生せず一定の期間（潜伏期間）をおいて影響が現れ、影響の発現期間には一定の過剰がん死亡又は過剰がん罹患が発生するものと仮定する。潜伏期及び発現期間の長さはがんの種類によって異なる。また、NUREG モデルを用いる場合には、肺がんと乳がんについて最低発現年齢が仮定されており、

<sup>注2)</sup> ある集団には、放射線被ばくのない状況でも自然発生するがんによる死亡（式(2.1)及び式(2.2)の  $\lambda_0$  に相当）が存在する。過剰がん死亡数とは、これら自然発生のがんとは別に、放射線を被ばくすることで新たに誘発されたがんによって死亡した人数のことである。以下、本文中で用いられる“過剰”の意味もこれと同様であり、“自然発生とは別に放射線によって追加された”がん死亡（罹患）リスクを示している。

この年齢以下ではがんが発現しないものと仮定されている。NUREG モデルの計算に用いられる各がんの潜伏期、発現期間及び最低発現年齢を表 2.1 に示す。

ある被ばく集団の過剰がん死亡率（罹患率）を絶対リスクモデルによって推定する場合、放射線被ばくによる過剰がん死亡率（罹患率）と自然発生によるがん死亡率（罹患率）を合わせた全がんリスクは (2.1) 式のように表現することができる (Preston, 2003)。ここで EAR は、絶対リスクモデルによる過剰がん死亡率（罹患率）の推定値であり過剰絶対リスク (Excess Attributable Risk) である。(2.1) 式に含まれている各変数の HEINPUT への組み込みについては、本章(3)項の修飾要因において説明する。

$$\lambda_0 (c, S, a, b) + EAR (d, e, S, a) \quad \cdots \quad (2.1)$$

$\lambda_0$	: 自然発生がんによる死亡率（罹患率）
$S$	: 性別
$a$	: 到達年齢（リスク推定時の年齢）
$b$	: 出生年
$c$	: 推定の対象となる集団の特徴
$d$	: 被ばく線量
$e$	: 被ばく時年齢

放射線被ばくによる発がんを推定する他のモデルは、相対リスクモデルである。これは放射線被ばくに起因するがん死亡率（罹患率）が、自然発生するがん死亡率（罹患率）に対して一定の割合で発生すると仮定したモデルである。バックグラウンドリスクは一般に年齢とともに増加するため、同モデルを用いた場合、放射線に起因する過剰がん死亡率（罹患率）も年齢とともに増加する。相対リスクモデルを用いて推定したがん死亡率（罹患率）の経時的パターンを図 2.2 に示す。相対リスクモデルを用いて過剰がん死亡率（罹患率）を推定する場合、過剰がん死亡率を含む全がんリスクは (2.2) 式のように定式化することができる。ここで ERR は、相対リスクモデルによる過剰がん死亡率（罹患率）の推定値であり過剰相対リスク (Excess Relative Risk) である。

$$\lambda_0 (c, S, a, b) (1 + ERR (d, e, S, a)) \quad \cdots \quad (2.2)$$

$\lambda_0$	: 自然発生がんによる死亡率（罹患率）
$S$	: 性別
$a$	: 到達年齢（リスク推定時の年齢）
$b$	: 出生年
$c$	: 推定の対象となる集団の特徴
$d$	: 被ばく線量
$e$	: 被ばく時年齢

放射線被ばくによるがん死亡（罹患）の経時的な発生パターンはがんの種類に応じて異なっており、HEINPUT では USNRC 報告書 (USNRC, 1993) 及び旧原研の報告書 (本間 et al., 2000)、並びに EPA 報告書 (EPA, 1999) に基づくモデルを採用している。HEINPUT で各がんに対して採用している推定モデルを NUREG モデルと EPA モデルのそれぞれについて表 2.1 と表 2.2 に示した。

また、一般に放射線被ばくによるがん死亡（罹患）を正確に予測することはできないが、可能な範囲で不確実さを評価しておくべきである。このため NUREG モデルでは、がんリスクの中央値に

加え、上限値と下限値を評価できるようになっており、上限値及び下限値の推定には異なるモデルが用いられる。絶対リスクモデルと相対リスクモデルでは過剰がん死亡率（罹患率）の推定値が異なっており、一般に相対リスクモデルによる推定値の方が絶対リスクモデルによる値よりも大きく評価される。これは、基準となるがんの自然発生率が年齢とともに増加するためであり、自然発生率との差が一定となる絶対リスクモデルの場合、年齢とともに推定値と自然発生率の比は小さくなるためである（相対リスクは一定）。NUREG モデルによるがん分類について、上限値及び下限値の推定に用いられるモデルを表 2.1 に示す。なお、EPA モデルでは中央値のみ推定する。

### （3）修飾要因

(2.1) 式及び (2.2) 式に示したように、放射線による発がんのリスクは、被ばく線量、年齢（被ばく時年齢、到達年齢（リスク推定時の年齢））及び性別に依存し、またその推定値は対象となる集団の特長（集団の自然発生がん死亡率（罹患率）など）によって修飾される。以下、これらの修飾要因が HEINPUT にどのように反映されているか説明する。なお、HEINPUT で用いている各臓器・組織に関する修飾要因等の検討については、本間 et al., 2000 を参照していただきたい。

#### （a）被ばく時年齢及び到達年齢

被ばく時年齢と到達年齢（リスク推定時の年齢）はともに放射線被ばくによるがん死亡（罹患）の経時的パターンに影響しており（Shimizu et al., 1990）、そのリスクを推定する場合に重要な要因の一つである。しかし、EAR 及び ERR に対するこれら年齢の影響を区別することは一般に困難である。このため、NUREG モデルと EPA モデルの EAR 及び ERR は到達年齢に依存せず、被ばく時年齢にのみ依存すると仮定している。HEINPUT で用いる NUREG モデルや EPA モデルもこれらの知見に基づき、各部位のがん推定に用いるリスク係数（単位被ばく線量あたりの EAR 及び ERR）を被ばく時年齢に基づいて分類し、入力データとしている（表 2.1 及び表 2.2）。原爆被ばく者の寿命調査報告書（Preston et al., 2003）によれば、特に小児期被ばく者において ERR の推定値が到達年齢とともに減少する傾向が報告されており、到達年齢とともに ERR を変化させたモデルの導入や、生涯リスクを用いて過剰がんリスクを表現するなどの対応が必要となる可能性がある。この点は今後の検討課題である。

#### （b）性別

性によるがん死亡率（罹患率）の修飾は、白血病を除く固形がんの ERR で観察されている。男性よりも女性の方が高い傾向があり、特に食道がんと肺がんにおいて顕著であるとされる（Shimizu et al., 1990）。HEINPUT では、性差により発がんの傾向が異なる場合に対して、異なるリスク係数を用いることで対応している。NUREG モデルを用いた推定では、乳がん、甲状腺がん及び良性甲状腺結節に関して、また EPA モデルを用いた推定では、骨がん、皮膚がん、肝臓がん及び腎臓がんを除く全てのがんに関して性差を考慮している（表 2.1、表 2.2）。

#### （c）社会的な要因

##### （i）人口構成の変化

原子力事故時には、放射性プルームの吸入や汚染農作物の摂取により長半減期の放射性核種が体

内に取り込まれ内部被ばくを引き起こす場合がある。このような線源による内部被ばくは、事故によって放射性物質が環境中へ放出されると同時に発生するわけではなく、環境中の物質循環や食物連鎖等を経た後に被ばくが発生することが想定される。このため、事故から被ばくまでの期間に他の原因によって死亡した人数を考慮せずに、事故発生時の人口構成を用いて影響を評価すると過大評価となる可能性がある。現実的には、他の死因による人口の減少を考慮した人口構成を用いる必要がある。HEINPUT は NUREG/CR-4214 Rev.1 Part I (USNRC,1990) に基づき人口構成の変化を考慮したモデルを実装しており、事故発生時の人口構成に基づく評価 (TYPE 1) とともに、事故から時間を経た時点で他の全ての死因をまぬがれた人口構成に基づく評価 (TYPE 2) を行うことができる。

#### (4) 線量反応関係

現在 HEINPUT に組み込まれている線量反応関係は、直線の線形式を仮定しており、被ばく線量及び線量率に応じて線量・線量率効果係数 (DDREF) を用いて補正するモデルを採用している<sup>注3)</sup>。いずれのモデルも被ばく線量 0.2 Gy、線量率 0.1 Gy/h を基準として高線量と低線量及び高線量率と低線量率を分類している。DDREF を用いた NUREG モデル及び EPA モデルによる定式化をそれぞれ (2.9) 式と (2.32) 式及び (2.33) 式に示す。また、各がんに対して適用される DDREF の値を表 2.1 と表 2.2 に示す。

---

<sup>注3)</sup> 同モデルは NUREG / CR-4214 Rev. 2 (USNRC,1993) に基づき改訂されたモデルである。これ以前の HEINPUT では、NUREG/CR-4214 (USNRC,1985) に基づき線形二次式を用いたモデルを利用していた (外川 et al., 1999)。

表 2.1 NUREG によるがん分類と推定モデルの対応

NUREG による がん分類	潜 伏 期 間	発現 期間	最低 発現 年齢	推定モデル			性 別	リスク係数 <sup>(3)</sup> (致死がん) 被ばく時年齢別			リスク係数 <sup>(3)</sup> (がん罹患) 被ばく時年齢別			DDREF	
				中央値	下限値	上限値		0歳～ 19歳	20歳～ 39歳	40歳～	0歳～ 19歳	20歳～ 39歳	40歳～		
肺	10	生涯	40	R	A	R	—	0.6	0.3		0.6	0.3		2	
骨	2	25	0	A	A	A	—	5.00E-06			0			2	
皮膚	10	生涯	0	R	A	R	—	0			0.5			2	
胸部（乳房）	10	生涯	30	R	A	R	M	0			0			1	
							F	0.7	0.3	0.1	0.7	0.3	0.1		
甲状腺	5	生涯	0	A	A	A	M	2.50E-05	1.25E-05		2.50E-05	1.25E-05		1	
							F	2.50E-05			2.50E-04				
白血病	2	25	0	A	A	A	—	4.50E-04			0			2	
胃腸 <sup>(1)</sup>	10	生涯	0	R	A	R	—	1.2	0.4		1.2	0.4		2	
その他のがん <sup>(2)</sup>	10	生涯	0	R	A	R	—	1.1	0.25		1.1	0.25		2	
子宮内 被ばく	白血病	0	12		A	A	A	—	2.3E-02			0			1
	その他の がん	0	12		A	A	A	—	2.3E-02			0			1
良性甲状腺結節	10	生涯	0	R	A	A	M	0			9.30E-04	4.65E-04		1	
							F	0			9.30E-04				

R: 相対リスクモデル (Relative Risk model)、A: 絶対リスクモデル (Additive Risk model)

<sup>(1)</sup> EPA モデルによる分類の食道、胃、結腸及び肝臓を含む。<sup>(2)</sup> EPA モデルによる分類の卵巣、膀胱及び腎臓を含む。<sup>(3)</sup> リスク係数の単位は、絶対リスクモデル ( $\text{人}^{-1} \cdot \text{年}^{-1} \cdot \text{Gy}^{-1}$ )、相対リスクモデル ( $\text{Gy}^{-1}$ ) である。

表2.2 EPAによるがん分類と推定モデルの対応 (EPA,1999, Table 7.1.,Tabel 7.2.)

EPAによる がん分類	推定モデル	性別	リスク係数 <sup>(1)</sup> (致死がん)					DDREF
			0歳～9歳	10歳～19歳	20歳～29歳	30歳～39歳	40歳～	
肺	R	M	0.4480	0.4480	0.0435	0.1315	0.1680	2
		F	1.359	1.359	0.1620	0.4396	0.6047	
骨	A	—	0.09387					2
皮膚	A	—	0.06597					2
胸部(乳房)	R	M	0.0					1
		F	0.7000		0.3000		0.1000	
甲状腺	A	M	0.1667		0.0833			2
		F	0.3333		0.1667			
白血病	R	M	982.3	311.3	416.6	264.4	143.6	2
		F	1176	284.9	370.0	178.8	157.1	
食道	R	M	0.2877					2
		F	1.805					
胃	R	M	1.223	1.972	2.044	0.3024	0.2745	2
		F	3.581	4.585	4.552	0.6309	0.5424	
結腸	R	M	2.290		0.2787	0.4395	0.08881	2
		F	3.265		0.6183	0.8921	0.1921	
肝臓	R	—	0.9877					2
卵巣	R	M	0.0					2
		F	0.7185					
膀胱	R	M	1.037					2
		F	1.049					
腎臓	R	—	0.2938					2
その他のがん	R	M	0.5349		0.6093	0.2114	0.04071	2
		F	1.122		0.8854	0.3592	0.1175	

R: 相対リスクモデル (Relative Risk model)、A: 絶対リスクモデル (Additive Risk model)

<sup>(1)</sup>リスク係数の単位は、絶対リスクモデル ( $10^4 \cdot \text{年}^{-1} \cdot \text{Gy}^{-1}$ ) ; 相対リスクモデル ( $\text{Gy}^{-1}$ ) である。

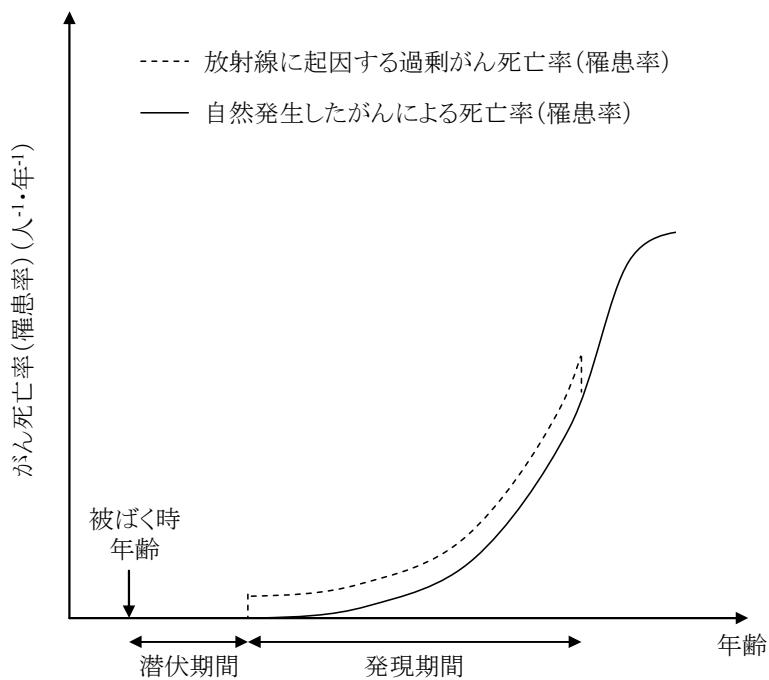


図 2.1 絶対リスクモデルを仮定した場合の放射線に起因する過剰がん死亡率（罹患率）

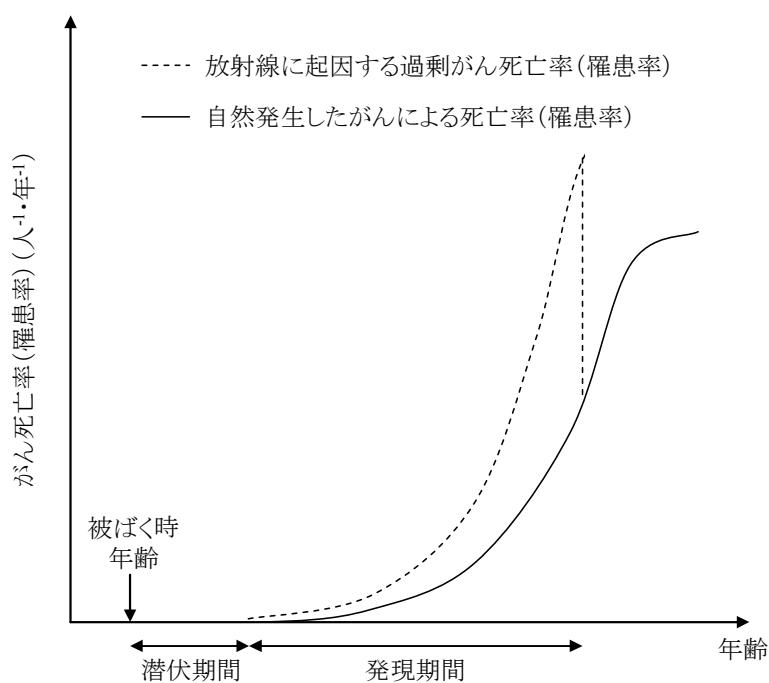


図 2.2 相対リスクモデルを仮定した場合の放射線に起因する過剰がん死亡率（罹患率）

## 2.2 NUREG モデルによる晩発性身体影響の評価

HEINPUT は、OSCAAR-HE の入力となる晩発性身体影響と遺伝的影響に関する以下の基礎パラメータの推定を行う。

- (1) がん死亡の中央値、上限値及び下限値を推定するためのパラメータ
- (2) がん罹患の中央値、上限値及び下限値を推定するためのパラメータ
- (3) 遺伝的影響の中央値、上限値及び下限値を推定するためのパラメータ

(1) 及び (2) に関して HEINPUT が実際に作成するパラメータは以下の 3 つである。

- $R(1)$  : 1 Gy の線量による生涯リスク
- $g(d)$  :  $d$  Gy と 1 Gy の線量による生涯リスクの比
- $h(\tau)$  : 被ばく後  $\tau$  年目に発生が予想されるリスクの生涯リスクに対する割合

以下では、NUREG モデルと EPA モデルを用いてこれらのパラメータを算出する方法について記述する。なお、上記(3)の遺伝的影響に関する推定については外川 et al., 1999 を参照していただきたい。

### 2.2.1 晩発性身体影響 TYPE1 推定式

NUREG モデルでは、TYPE 1 と TYPE 2 の推定モデルを採用している。前者の TYPE 1 は事故と同時に被ばくが発生することを仮定している。一方、後者の TYPE 2 は遅延をともなう被ばく形態（例、食物連鎖によって放射性物質が移行し、汚染された食物を摂取することによる被ばく）を考慮し、事故発生からある程度の時間を経た後に生ずる被ばくによるリスクを推定することができるモデルである。

OSCAAR-HE では原子力事故時の一般的な被ばく経路<sup>注4)</sup> に対して TYPE1 の推定式を使用しリスクを評価している。TYPE1 のリスク推定式の場合、 $d$  (Gy) の線量を受けた集団の中で、被ばく後  $\tau$  年目にがんで死んだりがんに罹患すると予想される人口の割合  $R(\tau, d)$  は、以下の式で計算される。

$$R(\tau, d) = \sum_x \sum_S f_x^S \cdot s_x^S(\tau) \cdot r_x^S(\tau, d) \quad \dots \quad (2.3)$$

ここで、

- $f_x^S$  : 被ばく時に年齢  $x$  歳、性別 S であったグループの全人口に対する割合  
 $s_x^S(\tau)$  : 被ばく時に年齢  $x$  歳、性別 S であったグループの中で、被ばく後  $\tau$  年間に他の死因をまぬがれた人々の割合  
 $r_x^S(\tau, d)$  : 被ばく時に年齢  $x$  歳、性別 S であったグループの中で、 $d$  (Gy) の線量によって被ばく後  $\tau$  年目にがんで死するリスク (人<sup>-1</sup>)

である。被ばく線量  $d$  (Gy) の集団において生涯を通じて致死がんが発生する割合は (2.3) 式の  $\tau$  に

<sup>注4)</sup> OSCAAR-HE では、放射性プルームと地表面沈着核種による外部被ばく、ならびに放射性プルーム及び再浮遊核種の吸入と汚染農作物の摂取による内部被ばくを考慮している。

関する和をとして次式で表される。

$$R(d) = \sum_{\tau} R(\tau, d) \quad \dots \quad (2.4)$$

なお、 $r_x^S(\tau, d)$  は、がんの種類に応じて絶対リスクモデルと相対リスクモデルのいずれかを用いて導出される。以下、両モデルによる  $r_x^S(\tau, d)$  の定式化について説明する。

### (1) 絶対リスクモデル

絶対リスクモデルは、放射線被ばくによるがんの発生率が自然発生率とは関係なく一定であるとするモデルであり、被ばく時の年齢と性別に応じて決まるリスク係数とがんの発現期間に基づいて個人のがん死亡リスクを算出する。NUREGモデルでは、絶対リスクモデルを用いて  $r_x^S(\tau, d)$  を (2.5) 式のように表現する。

$$r_x^S(\tau, d) = F_x^S \cdot P_x(\tau) \cdot r(d) \quad \dots \quad (2.5)$$

ここで、

- $F_x^S$  : 被ばく時に年齢  $x$  歳、性別 S であったグループに対するリスク係数 (人<sup>-1</sup>・年<sup>-1</sup>・Gy<sup>-1</sup>)
- $P_x(\tau)$  : 被ばく時に年齢が  $x$  歳であったグループに被ばく後  $\tau$  年目の評価期間の中で影響が出現している年数 (年)
- $r(d)$  : 線量反応関係 (Gy)

である。 $P_x(\tau)$  は以下のように計算される。

$$P_x(\tau) = \sum \delta(\tau) \quad \dots \quad (2.6)$$

ただし、

$$\delta(\tau) = \begin{cases} 1 & t_l \leq \tau < t_l + t_p \text{ かつ } x + \tau \geq t_{min} \\ 0 & \tau < t_l \text{ あるいは } \tau \geq t_l + t_p \text{ あるいは } x + \tau < t_{min} \end{cases} \quad \dots \quad (2.7)$$

であり、 $t_l$  : 潜伏期間 (年) 、 $t_p$  : 発現期間 (年) 、 $t_{min}$  : 影響が出現する最低発現年齢 (歳) である。

### (2) 相対リスクモデル

相対リスクモデルは、評価対象とする集団で自然に発生するがん数と放射線被ばくにより過剰発生するがん数が一定の比率にあると考えて推定を行うモデルである。NUREGモデルでは、同モデルにより  $r_x^S(\tau, d)$  を (2.8) 式のように表現している。

$$r_x^S(\tau, d) = A_x^S \cdot M_x^S \cdot P_x(\tau) \cdot r(d) \quad \dots \quad (2.8)$$

ここで、

- $A_x^S$  : 被ばく時に年齢  $x$  歳、性別 S であったグループに関して、自然発生のがん死亡のリスクに対する 1 Gy の線量によるがん死亡のリスクの割合 ( $\text{Gy}^{-1}$ )
- $M_x^S(\tau)$  : 被ばく時に年齢  $x$  歳、性別 S であったグループの中で被ばく後  $\tau$  年目に自然発生のがんで死亡するリスク ( $\text{人}^{-1} \cdot \text{年}^{-1}$ )
- $P_x(\tau)$  : 被ばく時に年齢が  $x$  歳であったグループに被ばく後  $\tau$  年目の評価期間の中で影響が出現している年数 (年)
- $r(d)$  : 線量反応関係 (Gy)

である。 $P_x(\tau)$  の詳細は絶対リスクモデルに述べたとおりである。

### (3) 線量反応関係

絶対リスクモデル及び相対リスクモデルのいずれにおいても  $r_x^S(\tau, d)$  を決定するためには、線量反応関係  $r(d)$  を決定しなければならない。NUREG モデルを用いた計算では、USNRC 報告書 (USNRC, 1993) に基づき DDREF を用いて線量反応関係を表現する。NUREG モデルでは放射線被ばくによるがん死亡 (罹患) リスクを線量・線量率及び LET<sup>注5)</sup> に応じて以下のように定式化している (USNRC, 1993)。

$$\begin{aligned} R_{\alpha, \beta, \gamma} &= R_{\beta, \gamma} + R_{\alpha} = K_{hi} D_{hi} + K_{lo} D_{lo} + K_{\alpha} D_{\alpha} \\ &= K_{hi} \left( D_{hi} + \frac{1}{DDREF} (D_{lo} + RBE \cdot D_{\alpha}) \right) \quad \dots \end{aligned} \quad (2.9)$$

- $R_{\alpha}$  : 高LET 放射線による集団リスク
- $R_{\beta, \gamma}$  : 低LET 放射線による集団リスク
- $K_{\alpha}$  : 高LET 放射線に対する係数 ( $\text{Gy}^{-1}$ )
- $D_{\alpha}$  : 高LET 放射線による被ばく線量 (Gy)
- $K_{hi}$  : 高線量・高線量率の低LET 放射線に対する係数 ( $\text{Gy}^{-1}$ )
- $D_{hi}$  : 高線量・高線量率の低LET 放射線による被ばく線量 (Gy)
- $K_{lo}$  : 低線量・低線量率の低LET 放射線に対する係数 ( $\text{Gy}^{-1}$ )
- $D_{lo}$  : 低線量・低線量率の低LET 放射線による被ばく線量 (Gy)
- $DDREF$  : 線量・線量率効果係数
- $RBE^{注6)}$  : 生物効果比

絶対リスクモデルと相対リスクモデルに対する  $K_{hi}$  は、それぞれ (2.5) 式と (2.8) 式の  $F_x^S \cdot P_x$  と

<sup>注5)</sup> 線エネルギー付与 (Linear Energy Transfer: LET) とは、物質を通過する放射線が進行方向に沿って短い距離を進むときに近傍の物質に与える平均的なエネルギーである。

<sup>注6)</sup> 生物効果比 (Relative Biological Effectiveness: RBE) とは、放射線の種類により生物学的影響の強さが異なることを表すための指標で、ある決まった生物学的效果を与える線量と、同等の効果を与える基準放射線の線量の比である。RBE は線量、線量率及び対象とする影響に応じて異なる。

$A_x^S \cdot M_x^S \cdot P_x$  に相当する係数である。また、線量反応関係は (2.9) 式の括弧内の項によって表現されることになる。なお (2.9) 式に関して、高線量・高線量率と低線量・低線量率は、以下のように区分される (USNRC,1993)。

線量  $\geq 0.2$  (Gy)

線量率  $\geq 0.1$  (Gy/h) : 高線量率の生涯リスクを使用する

線量率  $< 0.1$  (Gy/h) : 低線量率の生涯リスクを使用する

線量  $< 0.2$  (Gy)

低線量率の生涯リスクを使用する

## 2.2.2 晩発性身体影響 TYPE2 推定式

原子力事故時には、放射性プルームの吸入や汚染農作物の摂取によって体内に取り込まれた長半減期の放射性核種による内部被ばくが考えられる。こうした経路からの被ばくは、事故から時間を経た被ばくであり、時間の経過と共に生ずる他の死因による死亡者を考慮すると、評価対象となる人口構成（すなわち被ばく集団の構成）が事故時と比べて変化していると予想される。このため、被ばく集団のリスク推定に TYPE1 の式を適用すると、他の死因によって死亡した人々も評価対象としてしまうため過大な評価を行うことになる。そこで、これらの被ばく経路によるリスクを推定するために被ばく集団の減少を補正した TYPE2 のリスク推定式を使用する。事故時の被ばく集団のうち、事故から被ばくまでの時間  $t$  の間に、他のすべての死因からまぬがれて生存した人の割合は、(2.10) 式で表される。

$$F(t) = \sum_x \sum_S f_{x-t}^S \cdot S_{x-t}^S(t) \quad \dots \quad (2.10)$$

ここで、

$f_{x-t}^S$  : 事故時に年齢  $x-t$  歳、性別Sであったグループの全人口に対する割合、 $x < t$  の時  
 $f_{x-t}^S = 0$

$S_{x-t}^S(t)$  : 事故時に年齢  $x-t$  歳、性別Sであったグループの中で事故後  $t$  年間生存している人の割合

である。したがって、事故時に  $x-t$  歳であり事故の  $t$  年後に  $x$  歳として生存している人の割合は次式で表される。

$$f_x^S(t) = \frac{f_{x-t}^S \cdot S_{x-t}^S(t)}{F(t)} \quad \dots \quad (2.11)$$

この  $f_x^S(t)$  を (2.3) 式における  $f_x^S$  の代わりに用いることによって、TYPE2 の被ばく形態のリスクを推定することができる。(2.12) 式に TYPE 2 によるリスク推定式を示す。

$$R(t, \tau, d) = \sum_x \sum_S f_x^S(t) \cdot S_x^S(\tau) \cdot r_x^S(t, \tau, d) \quad \dots \quad (2.12)$$

ここで、

- $f_x^S(t)$  : 事故時に年齢  $x-t$  歳、性別 S であったグループのうち他の死因をまぬがれて t 年間生存した人口の事故後 t 年目の全人口に対する割合
- $S_x^S(\tau)$  : 事故時に年齢  $x-t$  歳、性別 S であったグループの中で事故後 t 年目 (x 歳) に被ばくした後、さらに  $\tau$  年間他の死因をまぬがれた人々の割合
- $r_x^S(t, \tau, d)$  : 被ばく時に年齢 x 歳、性別 S であったグループの中で、事故後 t 年目に  $d$  (Gy) 被ばくし、被ばく後  $\tau$  年目にがんで死亡するリスク (人<sup>-1</sup>)

である。また、 $r_x^S(t, \tau, d)$  は絶対リスクモデルと相対リスクモデルに対して、それぞれ (2.13) 式及び (2.14) 式のように計算される。

#### 絶対リスクモデル

$$r_x^S(t, \tau, d) = F_x^S(t) \cdot P_x(t, \tau) \cdot r(d) \quad \dots \quad (2.13)$$

- $F_x^S(t)$  : 事故後 t 年目の被ばく時に年齢 x で、性別 S であったグループに対するリスク係数 (人<sup>-1</sup>・年<sup>-1</sup>・Gy<sup>-1</sup>)
- $P_x(t, \tau)$  : 事故後 t 年目の被ばく時に年齢 x で、被ばく後  $\tau$  年間で影響が発症している年数 (年)

なお、 $P_x(t, \tau) = \sum \delta(\tau)$  である。 $\delta(\tau)$  及び  $r(d)$  については、それぞれ (2.7) 式と (2.9) 式参照。

#### 相対リスクモデル

$$r_x^S(t, \tau, d) = A_{x+t}^S \cdot M_x^S(\tau) \cdot P_x(t, \tau) \cdot r(d) \quad \dots \quad (2.14)$$

- $A_x^S$  : 被ばく時に年齢 x 歳、性別 S であったグループに対する 1 Gy の線量によるがん死亡リスクの割合 (Gy<sup>-1</sup>)
- $M_x^S(\tau)$  : 被ばく時に年齢 x 歳、性別 S であったグループの中で被ばく後  $\tau$  年目に自然発生のがんで死亡するリスク (人<sup>-1</sup>・年<sup>-1</sup>)

## 2.3 EPA モデルによる晩発性身体影響の評価

### 2.3.1 生存率関数

生存率関数  $S(x)$  は、1歳間隔で与えられている生命表の死亡率  $q(x)$  を入力とし (2.15) 式を用いて算出できる。 $q(x)$  は、 $x$  歳に達した人が  $x+1$  歳に達しない年齢範囲 [ $x, x+1$ ] において死亡する確率である。 $S(x)$  は、0歳から  $x$  歳までの間に生存している確率を表す。

$$S(x) = (1 - q(x-1)) \cdot S(x-1) \quad \dots \quad (2.15)$$

ここで、 $x = 1, 2, \dots, S(0) = 1$  である。(2.15) 式から求められる生存率は、離散的な値 ( $x=0, 1, \dots$ ) であり、生存率関数は単調減少関数なので、連続関数にするため 3 次スプラインで補間を行う (EPA, 1994)。なお、109 歳を上回る年齢の高齢者に対する死亡率  $q(x)$  の算出には、以下の式を用いた (EPA, 1994)。

#### 高齢者 ( $x > 109$ ) に対する死亡率の予測式 (男性)

$$q_m(x) = \min\{1.05 \times q_m(x-1), 1\} \quad \dots \quad (2.16)$$

#### 高齢者 ( $x > 109$ ) に対する死亡率の予測式 (女性)

$$q_f(x) = \min\{1.06 \times q_f(x-1), q_m(x)\} \quad \dots \quad (2.17)$$

ここで、 $q_m(x)$  と  $q_f(x)$  は、それぞれ  $x$  歳 ( $x > 109$ ) における男性と女性の死亡率である。

また、 $x$  歳に到達した人の平均余命  $e(x)$  は、生存率関数を用いて次のように計算する。

$$\overset{\circ}{e}(x) = \frac{1}{S(x)} \int_x^{\infty} S(u) du \quad \dots \quad (2.18)$$

### 2.3.2 ハザード関数

相対リスクモデルの場合には、評価対象となる集団の自然発生したがんによる死亡率（あるいは罹患率）に対して一定の割合で過剰死亡（あるいは罹患）が生ずると仮定する。EPA モデルでは、自然発生がんによる死亡（罹患）に関してハザード関数を用意する必要がある。 $x$  歳におけるハザード関数  $\mu(x)$  (年<sup>-1</sup>) は、生存率関数  $S(x)$  から次のように定義される。

$$\frac{dS(x)}{dx} = -\mu(x) S(x) \quad \dots \quad (2.19)$$

または

$$S(x) = \exp\left(-\int_0^x \mu(u) du\right) \quad \dots \quad (2.20)$$

ここで、 $\mu(x)$ は、それぞれの死亡原因のハザード関数  $\mu_j(x)$  の総和である。

$$\mu(x) = \sum_j \mu_j(x) \quad \dots \quad (2.21)$$

ハザード関数  $\mu_0(x)$  に、何らかの原因  $j$  によるハザード関数  $\mu_j(x)$  が加算されたときには、

$$S(x) = \exp \left[ - \int_0^x (\mu_0(u) + \mu_j(u)) du \right] = S_0(x) S_j(x) \quad \dots \quad (2.22)$$

となる。ここで、

$$S_0(x) = \exp \left( - \int_0^x \mu_0(u) du \right) \quad \dots \quad (2.23)$$

$$S_j(x) = \exp \left( - \int_0^x \mu_j(u) du \right) \quad \dots \quad (2.24)$$

である。

$\mu_j(x)$  が非常に小さいとき、すべての  $x$  に対して、 $S_j(x)$  は 1 に近づくと考えられる。すなわち  $S(x)$  は、ベースラインの  $S_0(x)$  と等しくなる。放射線によるリスクを考える場合には、放射線による過剰分が上記の条件を満足すると仮定する (EPA, 1994)。

#### 各原因のハザード関数の計算方法

がん死亡のハザード関数は、生存率関数および死亡数データ(使用した生命表の年に対応したデータ)から次のように計算される。

$x_{i-1}$  歳から  $x_i$  歳までのすべての原因による死亡確率  $m_i$  は、

$$m_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \mu(x) S(x) dx = - \int_{x_{i-1}}^{x_i} \frac{dS(x)}{dx} dx = S(x_{i-1}) - S(x_i) \quad \dots \quad (2.25)$$

となる。 $x_{i-1}$  歳から  $x_i$  歳までの原因  $j$  による死亡確率  $m_{ij}$  は、

$$m_{ij} = \int_{x_{i-1}}^{x_i} \mu_j(x) S(x) dx = \frac{n_{ij} m_i}{n_i} = \frac{n_{ij}}{n_i} [S(x_{i-1}) - S(x_i)] \quad \dots \quad (2.26)$$

となる。ここで、

$n_i : x_{i-1}$  歳から  $x_i$  歳までのすべての原因による死者数

$n_{ij} : x_{i-1}$  歳から  $x_i$  歳までの原因  $j$  による死者数

である。 $i=0$  のとき、 $x_i$ 、 $n_i$ 、 $n_{ij}$ 、 $m_i$ 、 $m_{ij}$  は、すべてゼロに等しい。ゆえに、 $x_i$  歳までに原因  $j$  で死亡する確率  $M_j(x_i)$  は、

$$M_j(x_i) = \int_0^{x_i} \mu_j(x) S(x) dx = m_{0j} + m_{1j} + \dots = \sum_{k=0}^i m_{kj} \quad \dots \quad (2.27)$$

となる。(2.27) 式からわかるように死亡確率は、単調増加関数である。 $x$  における  $M_j(x)$  の微分値は、(2.28) 式のように表現できる。

$$\frac{dM_j(x)}{dx} = \mu_j(x) S(x) \quad \dots \quad (2.28)$$

また、原因  $j$  のハザード関数  $\mu_j(x)$  は、(2.29) 式により計算できる。

$$\mu_j(x) = \frac{1}{S(x)} \frac{dM_j(x)}{dx} \quad \dots \quad (2.29)$$

(2.29) 式の死亡確率は、死亡数データの年齢区分に対して計算される。HEINPUT では、5 歳間隔で年齢区分を与えており、これを連続関数とするために区分的 3 次エルミート補間法を用いている。同方法は補間元のデータに平坦な部分があるときに、その部分の補間が平坦になるようする補間方法である。また、がんによっては、低年齢で少人数の死亡数となる場合があり（例えば食道がんなど）、滑らかな補間が行えない。そのため、各年齢区分で少なくとも 5 人の死亡数となるように年齢区分の結合を行う (EPA, 1999, Appendix A)。

死亡数データの最終年齢区分は、85 歳以上や 100 歳以上などと与えられており、最終年齢区分の上限値が明確に与えられていない。このため、この区間の死亡確率が明確に計算できないので補間の元データとして使用できない。また、ハザード関数は高齢においてある一定値に近づくと考えられるため、85 歳以降は値が一定になるものとして処理している。なお、EPA モデルで使用する死亡数データをライブラリとして新たに整備した。

### 2.3.3 過剰死亡率

絶対リスクモデル及び相対リスクモデルにおける過剰死亡率  $\varepsilon(u, x)$  (年<sup>-1</sup>・Gy<sup>-1</sup>) は、それぞれ以下のように表現される。

絶対リスクモデルによる過剰死亡率 (年<sup>-1</sup>・Gy<sup>-1</sup>)

$$\varepsilon(u, x) = \alpha(x) \cdot \zeta(\tau, x) \cdot \gamma(u) \dots \quad (2.30)$$

- $\alpha(x)$  : 被ばく時年齢  $x$  における絶対リスク係数 (年<sup>-1</sup>・Gy<sup>-1</sup>)  
 $\zeta(\tau, x)$  : 被ばく後の時間  $\tau = u - x$  に依存した応答関数 (後述)  
 $\gamma(u)$  : 発症年齢による補正のための関数 (EPA では常に 1 としている)

#### 相対リスクモデルにおける過剰死亡率 (年<sup>-1</sup>・Gy<sup>-1</sup>)

$$\eta(u, x) = \beta(x) \cdot \zeta(\tau, x) \cdot \gamma(u) \dots \quad (2.31)$$

- $\beta(x)$  : 被ばく時年齢  $x$  における相対リスク係数 (Gy<sup>-1</sup>)  
 $\zeta(\tau, x)$  : 被ばく後の時間  $\tau = u - x$  に依存した応答関数 (後述)  
 $\gamma(u)$  : 発症年齢による補正のための関数 (EPA では常に 1 としている)

なお、各モデルにおけるリスク係数は、各組織の被ばく時年齢  $x$  におけるリスク係数が、EPA (1994) の Table A.1 に記載されているのでこれを参照した。また、リスクモデルで使用した疫学調査の結果は、比較的短い期間内に高線量・高線量率での被ばくデータに基づいているため、そのまま低線量・低線量率による被ばくの影響推定に用いることができない。EPA モデルではこの点を考慮するために DDREF を用いた補正を行っており、高線量のリスクを DDREF で除することで低線量・線量率のリスクを算出する。(2.32) 式及び(2.33) 式に、低線量被ばくに対するリスクの推定式を示す。ここで、EPA 1999 は低線量及び低線量率をそれぞれ 0.2 Gy 未満と 0.1 mGy·min<sup>-1</sup> 未満と定義している。また、EPA モデルでは乳がんのみ DDREF を 1 と仮定し、その他のがんは DDREF を 2 と仮定している。

#### 低線量率に対する過剰死亡率 (絶対リスクモデル)

$$\varepsilon(u, x) = \alpha(x) \cdot \zeta(\tau, x) \cdot \gamma(u) \cdot \frac{1}{DDREF} \dots \quad (2.32)$$

#### 低線量率に対する過剰死亡率 (相対リスクモデル)

$$\eta(u, x) = \beta(x) \cdot \zeta(\tau, x) \cdot \gamma(u) \cdot \frac{1}{DDREF} \dots \quad (2.33)$$

#### 2.3.4 がんの発現を表現する関数

晩発性影響におけるがんの発症では、被ばく後の潜伏期間と健康影響の発現期間を考慮する必要があり、以下のように定義されている。

- ① 骨がん、甲状腺がんおよび白血病を除く全てのがん  
→ 潜伏期間：10 年間 発現期間：生涯

$$\zeta(\tau) = \begin{cases} 0 & \tau < 10 \\ 1 & 10 \leq \tau \end{cases} \dots \quad (2.34)$$

## (2) 骨がん

→ 潜伏期間：2年間 発現期間：25年

$$\zeta(\tau) = \begin{cases} 0 & \tau < 2 \\ 1 & 2 \leq \tau < 27 \\ 0 & 27 \leq \tau \end{cases} \dots \quad (2.35)$$

## (3) 甲状腺がん

→ 潜伏期間：5年間 発現期間：生涯

$$\zeta(\tau) = \begin{cases} 0 & \tau < 5 \\ 1 & 5 \leq \tau \end{cases} \dots \quad (2.36)$$

## (4) 白血病

→ 潜伏期間：2年 発現期間：広島・長崎被ばく者データのフィッティング関数

$$\zeta(\tau, x) = \begin{cases} 0 & \tau < 2 \\ \phi(\tau, \xi(x), \sigma^2) & 2 \leq \tau \end{cases} \dots \quad (2.37)$$

ここで、

$$\phi(\tau, \xi(x), \sigma^2) = \frac{\exp(-0.5(\ln(\tau - 2) - \xi(x))^2 / \sigma^2)}{(\tau - 2)\sqrt{2\pi\sigma^2}} \dots \quad (2.38)$$

である。 $\xi(x)$  と  $\sigma^2$  の値は、慢性顆粒球白血病 (Chronic Granulocytic Leukemia: CGL) と急性白血病 (Acute Leukemia: AL) のそれぞれについて以下のように表現する。

$$\xi(x) = \begin{cases} 2.68 & (\text{CGL}) \\ 1.61 + 0.151x + 0.0005x^2 & (\text{AL}) \end{cases} \dots \quad (2.39)$$

$$\sigma^2 = \begin{cases} 1.51 & (\text{CGL}) \\ 0.65 & (\text{AL}) \end{cases} \dots \quad (2.40)$$

これらを反映し、全白血病の発現期間に関する重み付け関数を以下のように定義する。

$$\zeta(\tau, x) = 0.32 \cdot \phi \cdot (\tau, \xi_{cgl}(x), \sigma_{cgl}^2) + 0.68 \cdot \phi \cdot (\tau, \xi_{al}(x), \sigma_{al}^2) \quad \dots \quad (2.41)$$

なお、応答関数  $\zeta(\tau, x)$  は不連続関数となっている。不連続関数を積分するためには、その不連続点で積分範囲を分割しなければならない。EPA の報告書 (EPA, 1994; 1999) では不連続関数  $\zeta(t)$  に関して、不連続点上の  $\zeta(t)$  の平均値を用いて近似計算を行っている。たとえば、固形がんの応答関数は  $t=10$  年で 0 から 1 に変化しているので、この点上の応答関数は  $(0+1)/2=0.5$  として積分を実行する。

### 2.3.5 EPA モデルにおけるリスク計算

#### (1) 年齢別の生涯リスク係数

$x$  歳で受けた放射線による単位吸収線量あたりのがん死亡に関する年齢別の生涯リスク係数  $r(x)$  (単位 : Gy<sup>-1</sup>) は、次のようになる。

EPA モデルでは絶対リスクモデル及び相対リスクモデルを以下のように定式化している。

#### 絶対リスクモデル

$$r_i(x) = \frac{1}{S_0(x)} \int_x^\infty \varepsilon_i(u, x) S_0(u) du \quad \dots \quad (2.42)$$

- $r_i(x)$  :  $x$  歳時の被ばくによる生涯リスク (Gy<sup>-1</sup>)
- $\varepsilon_i(u, x)$  :  $x$  歳時に被ばくした人の到達年齢  $u$  歳における単位線量あたりの絶対リスク (Gy<sup>-1</sup>・年<sup>-1</sup>)
- $S_0(x)$  : 被ばくのない場合の0歳から  $x$  歳までの生存率

#### 相対リスクモデル

$$r_i(x) = \frac{1}{S_0(x)} \int_x^\infty \eta_i(u, x) \mu_i(u) S_0(u) du \quad \dots \quad (2.43)$$

- $r_i(x)$  :  $x$  歳時の被ばくによる生涯リスク (Gy<sup>-1</sup>)
- $\eta_i(u, x)$  :  $x$  歳時に被ばくした人の到達年齢  $u$  歳における単位線量当りの相対リスク (Gy<sup>-1</sup>)
- $\mu_i(u)$  : 特定のハザード  $i$  による到達年齢  $u$  歳による自然死亡率 (ハザード関数) (年<sup>-1</sup>)
- $S_0(x)$  : 被ばくのない場合の0歳から  $x$  歳までの生存率

ここで、放射線被ばくによる晩発性健康影響によるリスクを推定する場合、ハザード  $i$  は各臓器・組織におけるがんを想定している。

#### (2) 年齢別の損失余命係数

$x$  歳で受けた放射線による単位吸収線量あたりの年齢別の損失余命係数  $e(x)$  (年・Gy<sup>-1</sup>) は、次のようになる。ここで、 $\overset{\circ}{e}(u)$  は平均余命 (2.18) 式である。

### 相対リスクモデル

$$e_i(x) = \frac{1}{S_0(x)} \int_x^{\infty} \varepsilon_i(u, x) \overset{\circ}{e}(u) S_0(u) du \quad \dots \quad (2.44)$$

### 相対リスクモデル

$$e_i(x) = \frac{1}{S_0(x)} \int_x^{\infty} \eta_i(u, x) \mu_i(u) \overset{\circ}{e}(u) S_0(u) du \quad \dots \quad (2.45)$$

### (3) 年齢平均した係数

被ばく時年齢で平均化した生涯リスク係数  $\bar{r}$  (Gy<sup>-1</sup>) 及び損失余命係数  $\bar{e}$  (年・Gy<sup>-1</sup>) は、次のようになる。

### 生涯リスク係数

$$\bar{r} = \frac{\int_0^{\infty} r(x) S(x) dx}{\int_0^{\infty} S(x) dx} = \frac{\int_0^{\infty} r(x) S(x) dx}{\overset{\circ}{e}(0)} \quad \dots \quad (2.46)$$

### 損失余命係数

$$\bar{e} = \frac{\int_0^{\infty} e(x) S(x) dx}{\int_0^{\infty} S(x) dx} = \frac{\int_0^{\infty} e(x) S(x) dx}{\overset{\circ}{e}(0)} \quad \dots \quad (2.47)$$

ここで、 $\overset{\circ}{e}(0)$  は、ゼロ歳の平均余命である。

### 3. HEINPUT コードマニュアル

HEINPUT は、晩発性身体影響及び遺伝的影響推定のためのパラメータ、人口動態に関するデータ(年齢階級別人口分布、死亡率、がん死亡率・罹患率、出生率)を入力として、NUREG モデル(USNRC, 1993) と EPA モデル (EPA, 1994;1999) に基づいて、OSCAAR コードで用いる以下のデータを作成するためのコードである。

#### (1) 晩発性がん死亡及び罹患

- ・晩発性がん死死亡及び罹患の中央値、下限値及び上限値を推定するための臓器線量 1 (Gy) により発生が予想される生涯リスク  $R(1)$
- ・臓器線量  $d$  (Gy) と 1 (Gy) の生涯リスクの比  $g(d)$
- ・被ばく後  $\tau$  年目に発生が予想されるリスクの生涯リスクに対する割合  $h(\tau)$
- ・事故後  $t$  年目に受けた臓器線量 1(Gy) による生涯リスク  $R(t,1)$
- ・事故後  $t$  年目に受けた臓器線量により事故後  $\tau$  年目に発生が予想されるリスクの生涯リスクに対する割合  $h(t, \tau)$

#### (2) 遺伝的影響

- ・遺伝的影響の中央値、下限値及び上限値を推定するための臓器線量 1 (Gy) によって発生が予想される全世代にわたるリスク  $R(1)$
- ・臓器線量  $d$  (Gy) と 1 (Gy) の全世代にわたるリスクの比  $g(d)$
- ・被ばく後  $k$  世代目に発生が予想されるリスクの全世代にわたるリスクに対する比  $h(k)$
- ・事故後  $t$  年目の被ばくによって発生する遺伝的影響のリスクに対する補正係数  $C(t)$

また、上述のようなデータ作成のほかにも、NUREG モデル(USNRC,1993) や EPA モデル (EPA,1999) の他の指標を算出することも可能である。以下では、HEINPUT の晩発性身体健康影響に関する箇所について説明するものとし、遺伝的影響に関するコード構成及びライブラリデータについては外川 et al., 1999 を参照していただきたい。

### 3.1 コード構成

晩発性身体影響の推定に用いられるモジュールの構成を図 3.1 に示す。NUREG モデルによる計算と EPA モデルによる計算に用いられる各モジュールの概要を、表 3.1 と表 3.2 にそれぞれ示す。

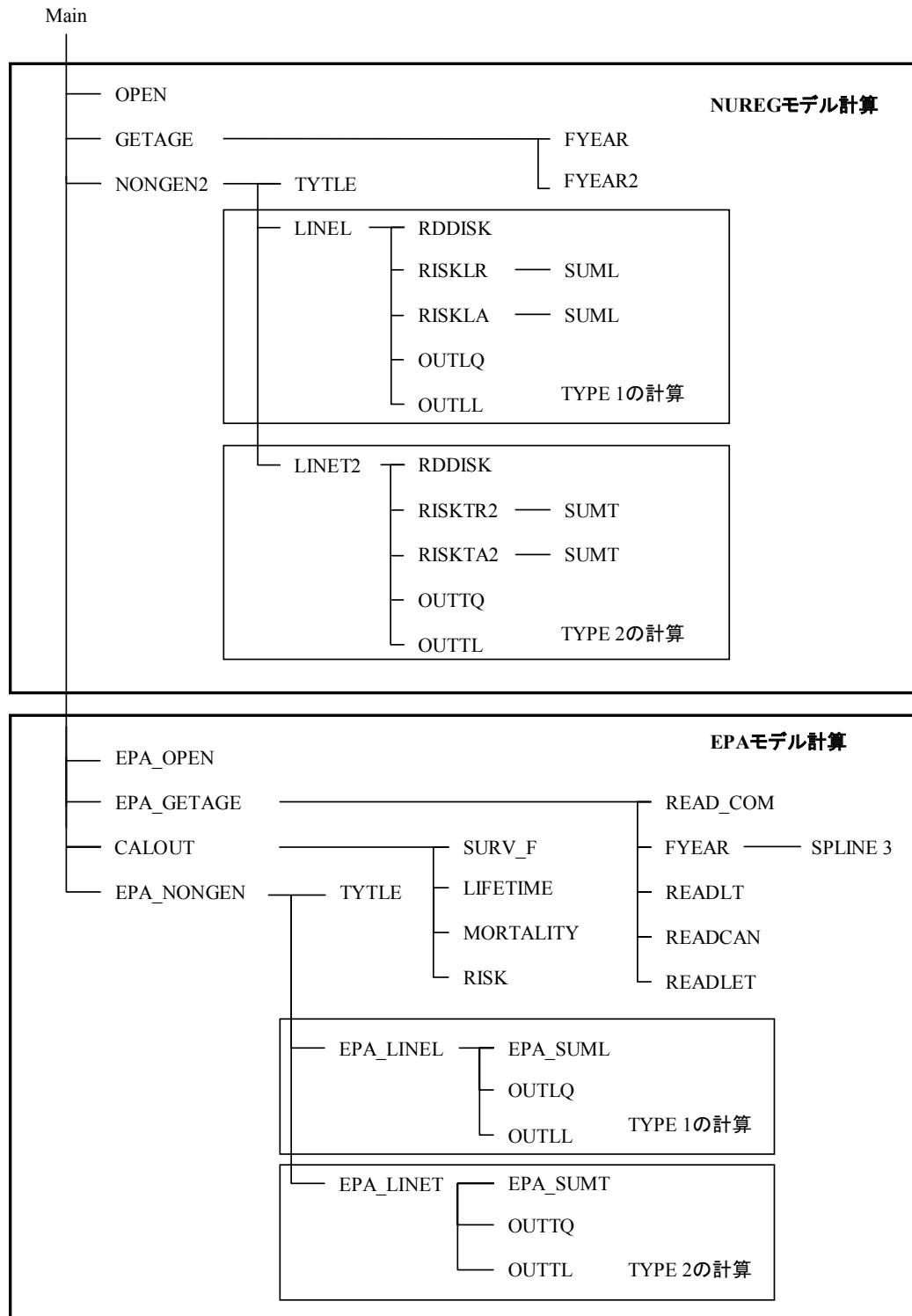


図 3.1 晩発性健康影響に関する HEINPUT コードのモジュール構成

表 3.1 NUREG モデルを用いた晩発性身体影響に関するモジュールとその概要

サブルーチン名	概要
OPEN	NUREG モデルによる計算に使用するファイルを開く。
GETAGE	年齢に関係するパラメータを読む。
FYEAR	使用するデータの年度を読む。
FYEAR2	MORTAL.DAT,MORBID.DAT を読み込む際に使用する年度を読む。
NONGEN2	遺伝に関係しない NUREG モデルの計算を行う。TYPE 1 及び TYPE 2 の死亡率、TYPE 1 及び TYPE 2 の罹患率の順に計算する。
TYTITLE	遺伝に関係しない出力のタイトルを印刷する。
LINEL	モデルパラメータを読み込み NUREG モデル TYPE 1 の計算を行う。
LINET	モデルパラメータを読み込み NUREG モデル TYPE 2 の計算を行う。
RDDISK	基礎パラメータを読み込む。
RISKLR	NUREG モデル TYPE 1 の計算を相対リスクモデルで行い、 $r_x^S(\tau, 1)$ を計算する。
RISKLA	NUREG モデル TYPE 1 の計算を絶対リスクモデルで行い、 $r_x^S(\tau, 1)$ を計算する。
SUML	NUREG モデル TYPE 1 の計算結果 $r_x^S(\tau, 1)$ から R(1)、h(1)、…、h(10) を求める。
OUTLQ	NUREG モデル TYPE 1 の計算結果をファイルに書き出す (DDREF ≠ 0)。
OUTLL	NUREG モデル TYPE 1 の計算結果をファイルに書き出す (DDREF = 0)。
RISKTR2	NUREG モデル TYPE 2 の計算を相対リスクモデルで行い、 $r_x^S(\tau, 1)$ を計算する。
RISKTA2	NUREG モデル TYPE 2 の計算を絶対リスクモデルで行い、 $r_x^S(\tau, 1)$ を計算する。
SUMT	NUREG モデル TYPE 2 の計算結果 $r_x^S(\tau, 1)$ から R(t, 1) と h(t, τ 1) を求める。
OUTTQ	NUREG モデル TYPE 2 の計算結果をファイルに書き出す (DDREF ≠ 0)。
OUTTL	NUREG モデル TYPE 2 の計算結果をファイルに書き出す (DDREF = 0)。

表 3.2 EPA モデルを用いた晩発性身体影響の推定に関するモジュールとその概要

サブルーチン名	概要
EPA_OPEN	EPA モデルによる計算に使用するファイルを開く。
EPA_GETAGE	EPA モデルのリスクモデルと年齢に関係するパラメータを読む。
EPA_NONGEN	遺伝に関係しない NUREG モデルの計算を行う。TYPE 1 及び TYPE 2 の死亡率、TYPE 1 及び TYPE 2 の罹患率の順に計算する。
TYTLE	遺伝に関係しない出力のタイトルを印刷する。
READCOM	EPA モデルのリスクモデル係数の読み込み
READLT	生命表の読み込み
READCAN	がん死亡数データの読み込み
READLET	がん致死割合データの読み込み
EPA_LINEL	モデルパラメータを読み込み EPA モデル TYPE 1 の計算を行う。
EPA_LINET	モデルパラメータを読み込み EPA モデル TYPE 2 の計算を行う。
EPA_SUML	TYPE 1 の計算結果 $r_x^S(\tau, l)$ から R(l)、h(1)、…、h(10) を求める。
OUTLQ	TYPE 1 の計算結果をファイルに書き出す (DDREF ≠ 0)。
OUTLL	TYPE 1 の計算結果をファイルに書き出す (DDREF=0)。
EPA_SUMT	TYPE 2 の計算結果 $r_x^S(\tau, l)$ から R(t, l) と h(t, τ l) を求める。
OUTTQ	TYPE 2 の計算結果をファイルに書き出す (DDREF ≠ 0)。
OUTTL	TYPE 2 の計算結果をファイルに書き出す (DDREF=0)。
CALOUT	計算結果の出力
SURV_F	生存率関数の計算
LIFETIME	平均余命の計算
MORTALITY	がん死亡率とハザード関数の計算
FUNCLRC*	がん死亡生涯リスク係数の被積分関数
R_FUNCLRC*	がん罹患生涯リスクの被積分関数
LRC*	がん死亡生涯リスク係数の計算
R_LRC*	がん罹患生涯リスク係数の計算
FUNCLLC*	損失余命係数の被積分関数
LLC*	損失余命係数の計算
AVE_LRC*	年齢平均したがん死亡生涯リスク係数の計算
AVE_R_LRC*	年齢平均したがん罹患生涯リスク係数の計算
AVE_LLC*	年齢平均した損失余命係数の計算
LRC_A*	各被ばく時年齢に対する到達年齢ごとのがん死亡生涯リスク係数を計算
R_LRC_A*	各被ばく時年齢に対する到達年齢ごとのがん罹患生涯リスク係数を計算
LLC_A*	各被ばく時年齢の到達年齢に対する損失余命係数を計算
COEFAGE*	被ばく時年齢に対応したがん死亡リスクモデル係数の選択
R_COEFAGE*	被ばく時年齢に対応したがん罹患リスクモデル係数の選択

\* これらのサブルーチンは図 3.1 における RISK 内に含まれる。

### 3.2 入力データとライブラリデータ

HEINPUTに必要な入力データは、リスクモデル関連データと人口動態統計関連データに大別できる。HEINPUTでは、NUREGモデルへの入力としてUSNRC報告書(USNRC, 1993)と日本人集団に対する健康影響モデル(本間 et al., 2000)に基づくデータを有しており、EPAモデルへの入力としてEPA報告書(EPA, 1999)に基づくデータをライブラリとして有している。これらのライブラリのファイル名とデータ内容を表3.3(NUREGモデル)と表3.4(EPAモデル)にそれぞれ示す。また、表3.3及び表3.4に示したライブラリデータを付録として添付した。

表3.3 NUREGモデル用ライブラリデータ

機番	ファイル名	データの内容	グループ分類
10	RISKCENT.DAT	晩発性身体影響中央値推定のためのパラメータ	リスクモデル関連パラメータ
11	RISKLOW.DAT	晩発性身体影響下限値推定のためのパラメータ	
12	RISKUP.DAT	晩発性身体影響上限値推定のためのパラメータ	
13	GENECENT.DAT	遺伝的影響中央値推定のためのパラメータ	
14	GENELOW.DAT	遺伝的影響下限値推定のためのパラメータ	
15	GENEUP.DAT	遺伝的影響上限値推定のためのパラメータ	
16	FP.DAT	年齢階級別人口割合	人口動態統計関連データ
17	SP.DAT	年齢階級別全死亡率	
18	MORBID.DAT	年齢階級別の自然発生がんの発症率	
19	MORTAL.DAT	年齢階級別の自然発生がんによる死亡率	
20	BP.DAT	年齢階級別女子の出産率	
21	BTG DAT	出生率、一世代の期間	
22	PARAM1.DAT	胎児と新生児の割合	

表3.4 EPAモデル用ライブラリデータ

機番	ファイル名	データの内容	グループ分類
10	RISKPAM.DAT	晩発性身体影響中央値推定のためのパラメータ	リスクモデル関連パラメータ
11	RISKPAF.DAT	晩発性身体影響中央値推定のためのパラメータ	
13	GENECENT.DAT	遺伝的影響中央値推定のためのパラメータ	
14	GENELOW.DAT	遺伝的影響下限値推定のためのパラメータ	
15	GENEUP.DAT	遺伝的影響上限値推定のためのパラメータ	
16	FP.DAT	年齢階級別人口割合	
31	SPEPAM.DAT	年齢階級別全死亡率(男性)	人口動態統計関連データ
32	SPEPAF.DAT	年齢階級別全死亡率(女性)	
33	MORTALEPAM.DAT	年齢階級別の自然発生がん死亡数(男性)	
34	MORTALEPAF.DAT	年齢階級別の自然発生がん死亡数(女性)	
35	LETHALEPA.DAT	致死割合データ	
20	BP.DAT	年齢階級別女子の出産率	
21	BTG DAT	出生率、一世代の期間	
22	PARAM1.DAT	胎児と新生児の割合	

注) 網掛け部はEPAモデル独自の入力データである。

表 3.3 及び表 3.4 に示した年齢階級別のデータは、0 歳～99 歳までを 5 歳刻みの 20 階級に分類して用いられており、HEINPUT では、これらの 20 階級にそれぞれ階級番号を与えて読み込んでいる。表 3.5 に年齢階級と階級番号の対応を示す。

なお、NUREG モデルと EPA モデルにおけるライプラリデータの構成には、以下のような違いがある。

- ・ EPA モデルのライプラリデータは、基本的に男女別のファイルとして整備されている。
- ・ EPA モデルを用いた場合には、下限値と上限値の推定を行わないため中央値に関するパラメータのみを整備する。
- ・ NUREG モデルでは、死亡率を整備するが、EPA モデルでは、死亡数を整備する。
- ・ NUREG モデルでは、晩発性影響のがん死亡及びがん罹患について、それぞれ年齢階級別の自然発生がん死亡率と罹患率を用いているが、EPA モデルでは、がん死亡で求めた生涯リスクをがん種類別の致死割合で除算することでがん罹患の生涯リスクを算出している。

表 3.4 の網掛け部分は、EPA モデル独自のライプラリデータであり NUREG モデルとは異なるデータを使用している。また網掛け以外のライプラリデータは、NUREG モデルと同じものを使用している。

### 3.2.1 NUREG モデルの入力データ

NUREG モデルでの計算に用いられる入力データの入力形式等については、外川 et al., 1999 を参考していただきたい。

### 3.2.2 EPA モデルの入力データ

#### (1) リスクモデル係数データ (RISKEPAM.DAT、RISKEPAF.DAT)

リスクモデル係数データは、男性 (RISKEPAM.DAT) と女性 (RISKEPAF.DAT) の 2 つのファイルに分かれしており、5 つの年齢区分の死亡リスクモデル係数と線量・線量率効果係数 DDREF を入力する。それぞれのファイルの入力形式を表 3.6 に示す。リスクモデル係数の終了点は、1 カラム目に「#」を入力することで判断される。1 カラム目に「\*」を入力すると、その行はコメント行になる。がんの種類は、行の並びで判別しているため、この並びを変更することはできない。また、男性と女性で同じがん種類に対する DDREF の値は一致していない。数値は 20 カラム目以降からフリーフォーマット形式で読み込む。リスクモデル係数のデータ例を付表 2.1 と付表 2.2 に示す。

#### (2) 生命表データ (SPEPAM.DAT、SPEPAF.DAT)

生命表データは、男性 (SPEPAM.DAT) と女性 (SPEPAF.DAT) の 2 つのファイルに分かれている。ファイルの入力形式を表 3.7 に示す。計算で使用するデータは年齢と死亡率であり、他のデータは、読み込んでいないのでダミー値となっている。なお、年齢刻みは任意に設定できる。生命表データの入力例を付表 2.3 に示す。この例では 100 歳までのデータを示しているが、生命表にそれ以降のデータがある場合には、そのデータを入力できる。また、高齢者の死亡率は EPA 1999 Appendix A の方法に従って計算コード内部で 120 歳まで拡張している。

#### (3) 死亡数データ (MORTALEPAM.DAT、MORTALEPAF.DAT)

死亡数データは、男性 (MORTALEPAM.DAT) と女性 (MORTALEPAF.DAT) の 2 つのファイル

に分かれている。ファイルの入力形式を表 3.8 に示す。年齢区分は、その区分の上限値を入力する。たとえば、年齢区分が 5 歳から 10 歳であると、10 を入力する。最終年齢区分（85+、100+ など）は上限値を 120 として入力する。死亡数データの入力例を付表 2.4 と付表 2.5 に示す。

また、死亡数データでは、様々な年代のデータセットを一つのファイルとして整備することが可能であり、各年代のデータセットの先頭には、“# yyyy”というヘッダ情報を用いて整理する。例えば、1995 年のデータであれば、1995 年のデータセットの先頭に“# 1995”と付ける必要がある。このヘッダ情報のうち、2 カラム目以降の文字列が “yyyy” としてフリーフォーマットで読み込まれることになる（yyyy は必ずしも数字である必要はない）。なお、年代が 1 つしかない場合でもヘッダ情報は必要である。

#### (4) 致死割合データ (LETHALEPA.DAT)

致死割合データの入力形式を表 3.9 に示す。入力例を付表 2.6 に示す。がんの並びは、変更不可である。また、致死割合データも死亡数データと同様の方法により、様々な年代のデータセットを一つのファイルとして整備することができる。

### 3.3 出力データ

HEINPUT コードは、出力ファイルとして OSCAAR-HE への入力用ファイルとともに、リスク算定値を標準形式とエクセル形式で作成することができる。OSCAAR-HE への入力ファイルと標準出力ファイルを表 3.10 に、NUREG モデル及び EPA モデルを用いた場合のグラフ用出力ファイルを表 3.11 にそれぞれ示す。表 3.11 に示された出力ファイルのうち、TYPE1 及び TYPE2 に関する出力は NUREG モデルと EPA モデルの両方で出力され、それ以外のファイルは EPA モデルでのみ出力される。また、これらの出力では、EPA モデルを用いた計算の場合には中央値のみが出力され、NUREG モデルの場合は中央値、下限値及び上限値の 3 種類が出力される点が異なっているが、出力形式はすべて共通している。

表 3.5 年齢階級と階級番号の対応

階級番号	年齢階級（歳）	階級番号	年齢階級（歳）
1	0 ~ 4	11	50 ~ 54
2	5 ~ 9	12	55 ~ 59
3	10 ~ 14	13	60 ~ 64
4	15 ~ 19	14	65 ~ 69
5	20 ~ 24	15	70 ~ 74
6	25 ~ 29	16	75 ~ 79
7	30 ~ 34	17	80 ~ 84
8	35 ~ 39	18	85 ~ 89
9	40 ~ 44	19	90 ~ 94
10	45 ~ 49	20	95 ~ 99

表 3.6 リスクモデル係数データの入力形式

行番号	項目	リスクモデル係数と DDREF
1	Esophagus	
2	Stomach	
3	Colon	
4	Liver	
5	Lung	
6	Bone	
7	Skin	
8	Breast	
9	Ovary	
10	Bladder	
11	Kidney	
12	Thyroid	
13	Leukemia	
14	Residual	
15	データ終了識別子	# (1 カラム目に入力)

表 3.7 生命表データの入力形式

列番号	項目	入力単位	入力形式
1	年齢	年	
2	死亡率	—	フリーフォーマット形式 (空白またはコンマ区切り) で入力する。
3	生存率	—	読み込まない (ダミー入力)。
4	死亡数	—	
5	定常人口	—	
6	定常総人口	—	
7	平均余命	年	

表 3.8 死亡数データの入力形式

列番号	項目	入力形式
1	年齢区分上限値	
2	すべての原因による死亡総数	
3	全悪性新生物（全がん）の死亡数	
4	食道がんの死亡数	
5	胃がんの死亡数	
6	結腸がんの死亡数	
7	肝臓がんの死亡数	
8	肺がんの死亡数	
9	骨がんの死亡数	
10	皮膚がんの死亡数	
11	乳がんの死亡数	
12	卵巣がんの死亡数	
13	膀胱がんの死亡数	
14	腎臓がんの死亡数	
15	甲状腺がんの死亡数	
16	白血病の死亡数	
17	残りのがんの死亡数	

表 3.9 致死割合データの入力形式

行番号	項目	入力形式
1	Esophagus	
2	Stomach	
3	Colon	
4	Liver	
5	Lung	
6	Bone	
7	Skin	
8	Breast	
9	Ovary	
10	Bladder	
11	Kidney	
12	Thyroid	
13	Leukemia	
14	Residual	

表 3.10 HEINPUT の出力ファイル一覧 (NUREG モデル及び EPA モデル共通)

機番	ファイル名	データの内容	グループ分類
25	HEINPUT 1. DAT	HE コード入力データ (晩発性影響致死 TYPE 1)	OSCAAR-HE への 引渡しデータ
26	HEINPUT 2. DAT	HE コード入力データ (晩発性影響致死 TYPE 2)	
27	HEINPUT 3. DAT	HE コード入力データ (晩発性影響疾患 TYPE 1)	
28	HEINPUT 4. DAT	HE コード入力データ (晩発性影響疾患 TYPE 2)	
29	HEINPUT 5. DAT	HE コード入力データ (遺伝的影響)	
30	HEINPUT 6. DAT	HE コード入力データ (遺伝的影響、補正係数)	
6	HEINPUT. OUT	標準出力	標準出力 グラフ用出力
80	HEINPUT. CSV	晩発性影響致死及び疾患 TYPE 1 の被ばく後経過年階級ごとのリスク	

表 3.11 グラフ用出力ファイル

## (a) NUREG モデルの場合

機番	ファイル名	データの内容
81	MORTAL_TYPE1_CENT.CSV	晩発性影響致死 TYPE 1 中央値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
82	MORTAL_TYPE1_LOW.CSV	晩発性影響致死 TYPE 1 下限値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
83	MORTAL_TYPE1_UP.CSV	晩発性影響致死 TYPE 1 上限値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
84	MORTAL_TYPE2_CENT.CSV	晩発性影響致死 TYPE 2 中央値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
85	MORTAL_TYPE2_LOW.CSV	晩発性影響致死 TYPE 2 下限値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
86	MORTAL_TYPE2_UP.CSV	晩発性影響致死 TYPE 2 上限値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
91	MORBID_TYPE1_CENT.CSV	晩発性影響疾患 TYPE 1 中央値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
92	MORBID_TYPE1_LOW.CSV	晩発性影響疾患 TYPE 1 下限値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
93	MORBID_TYPE1_UP.CSV	晩発性影響疾患 TYPE 1 上限値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
94	MORBID_TYPE2_CENT.CSV	晩発性影響疾患 TYPE 2 中央値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
95	MORBID_TYPE2_LOW.CSV	晩発性影響疾患 TYPE 2 下限値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
96	MORBID_TYPE2_UP.CSV	晩発性影響疾患 TYPE 2 上限値の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)

## (b) EPA モデルの場合

機番	ファイル名	データの内容
81	SURVIVAL.CSV	生存率及び平均余命
82	HAZARD.CSV	ハザード関数
83	MORTAL.CSV	EPA モデルにおける被ばく時年齢別生涯リスク致死 (被ばく時年齢、被ばく後経過年)
84	MORBID.CSV	EPA モデルにおける被ばく時年齢別生涯リスク疾患 (被ばく時年齢、被ばく後経過年)
85	LOSS.CSV	被ばく時年齢別生涯寿命損失
86	AGEAVERAGE.CSV	EPA モデルにおける年齢平均した生涯リスク (致死、罹患) および生涯寿命損失
91	MORTAL_TYPE1.CSV	晩発性影響致死 TYPE 1 の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
92	MORTAL_TYPE2.CSV	晩発性影響致死 TYPE 2 の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
93	MORBID_TYPE1.CSV	晩発性影響疾患 TYPE 1 の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)
94	MORBID_TYPE2.CSV	晩発性影響疾患 TYPE 2 の生涯リスク (各がん、性別、被ばく時年齢、被ばく後経過年)

## 4. 検証計算

HEINPUT コードの NUREG モデルと EPA モデルを用いて生涯リスクの再現計算を行った。また、日本人用のリスクモデルパラメータ及び人口動態統計データを用いて、NUREG モデルと EPA モデルによる生涯リスクの比較を行った。

### 4.1 NUREG モデル

HEINPUT に組み込んだ NUREG モデルを用いて USNRC 報告書 (USNRC,1993) の再現計算を行った。計算には USNRC 報告書と同じ入力データを用いている。これらの入力データを付表 1.1 ～付表 1.13 に示す。

#### 4.1.1 NUREG モデル TYPE1 による晩発性身体影響の推定

NUREG モデル TYPE 1 によるがん死亡の生涯リスクを表 4.1 (HEINPUT による計算値) と表 4.2 (USNRC 報告書の値) に示す。また、がん罹患の生涯リスクを表 4.3 (HEINPUT による計算値) と表 4.4 (USNRC 報告書の値) にそれぞれ示す。

##### (1) がん死亡リスク

ほとんどの部位で USNRC 報告書の記載値と HEINPUT の計算値がほぼ一致している。ただし、骨がん並びに子宮内被ばく起因の白血病とその他のがんに対しては以下のよう注意が必要である。まず、骨がんによるがん死亡の計算には、リスク係数として  $5.0 \times 10^{-6}$  (人<sup>-1</sup>・年<sup>-1</sup>・Gy<sup>-1</sup>) を採用した。USNRC 報告書はリスク係数として  $6.0 \times 10^{-5}$  (Gy<sup>-1</sup>) を示しているが、この値は一年あたりの死者数を考慮していないため、絶対リスクモデルを用いた計算には不適切である。そのため、USNRC 報告書における骨がんリスク係数の根拠となった BEIRⅢによる  $\alpha$  線被ばくに対するリスク係数  $1.0 \times 10^{-4}$  (年<sup>-1</sup>・Gy<sup>-1</sup>) に基づき、これを RBE (=20) で除して低 LET のためのリスク係数として用いることとした。

また、USNRC 報告書における子宮内被ばくによる白血病とその他のがんに関する生涯リスクの中央値と下限値の計算では、胎児数を人口 100 人当たりに 1 人と換算しているが、HEINPUT (表 4.1) による値はこのような換算をせずに計算を行った結果である。さらに、USNRC 報告書の上限値は、小児がんに関するオックスフォードでの調査に基づいて生涯リスクを示した結果<sup>注7)</sup>であり、表 4.1 でもこの値を引用している。

##### (2) がん罹患リスク

HEINPUT の NUREG モデルを用いてがんの罹患リスクを計算した。この結果 (表 4.3)、皮膚がんを除くほとんどの部位で USNRC 報告書の記載値 (表 4.4) とほぼ一致した値となった。ただし、皮膚がんの生涯リスクの中央値及び上限値が USNRC 報告書より小さく見積もられている。これは、相対リスクモデルによる評価に必要な皮膚がんの自然発生率が利用できないためである。なお現在出力されている上限値及び中央値の生涯リスクは、罹患率として胃腸がん (GI Cancer) の値を用いて計算している。

<sup>注7)</sup> オックスフォードの研究では、妊娠期間中に X 線被ばくした胎児を対象として約  $3 \times 10^{-2}$  (cancer / (胎児・Gy)) を算出している。これに人口 100 人当たりに胎児が 1 人であると仮定して、0.3 cancer / (1000 人・Gy) となる。

表 4.1 NUREG モデル TYPE 1 によるがん死亡の生涯リスク (HEINPUT の計算値)

	生涯リスク (死亡数 / 1000 人)		
	上限値	中央値	下限値
Leukemia	9.8 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	9.8 ( $D_{hi} + 0.5 D_{lo}$ )	9.8 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )
<i>in utero</i>	0.3 D <sup>(1)</sup>	0.1 D <sup>(2)</sup>	0.1 D <sup>(2)</sup>
Bone Cancer	0.11 ( $D_{hi} + D_{lo} + 20 D_{\alpha}$ )	0.11 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]	0.11 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]
Breast Cancer	8.6 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	5.4 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	4.6 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )
Lung Cancer	33 ( $D_{hi} + D_{lo} + 20 D_{\alpha}$ )	16 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]	6.9 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]
GI Cancer	34 ( $D_{hi} + D_{lo} + 2 D_{\alpha}$ )	34 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 2 D_{\alpha})$ ]	14 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 2 D_{\alpha})$ ]
Liver Cancer	3.4 ( $D_{hi} + D_{lo} + 20 D_{\alpha}$ )	3.4 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]	1.4 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]
Thyroid Cancer	0.9 D	0.9 D	0.9D
Other Cancer	27 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	27 ( $D_{hi} + 0.5 D_{lo}$ )	13 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )
<i>in utero</i>	0.3 D <sup>(1)</sup>	0.1 D <sup>(2)</sup>	0.1 D <sup>(2)</sup>

注：表中の「D」は、各臓器・組織の吸収線量 (Gy) を示している。添え字「hi」は高線量・高線量率による被ばくを示し、「lo」は低線量・低線量率による被ばくを示す。高/低線量および高/低線量率のしきい値は、それぞれ 0.2 Gy と 0.1 Gy/h である。また、「 $\alpha$ 」はアルファ線による被ばくを示す。

(1) NUREG/CR-4214 Rev.2 Part I (USNRC,1993) より引用。

(2) 胎児数を人口 100 人当たりに 1 人と仮定して、生涯リスクを 100 で乗じた値。この値は一般的に適用される値であり、子供に対してはこの 100 倍の値を適用する。

表 4.2 NUREG モデル TYPE 1 によるがん死亡の生涯リスク (USNRC,1993, Table 2.9)

	生涯リスク (死亡数 / 1000 人)		
	上限値	中央値	下限値
Leukemia	9.7 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	9.7 ( $D_{hi} + 0.5 D_{lo}$ )	9.7 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )
<i>in utero</i> <sup>(1)</sup>	0.3 D	0.1 D	0.1 D
Bone Cancer	0.12 ( $D_{hi} + D_{lo} + 20 D_{\alpha}$ )	0.12 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]	0.12 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]
Breast Cancer <sup>(2)</sup>	8.4 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	5.4 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	4.3 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )
Lung Cancer	33 ( $D_{hi} + D_{lo} + 20 D_{\alpha}$ )	16 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]	6.7 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]
GI Cancer <sup>(3)</sup>	34 ( $D_{hi} + D_{lo} + 2 D_{\alpha}$ )	34 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 2 D_{\alpha})$ ]	14 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 2 D_{\alpha})$ ]
Liver Cancer	3.4 ( $D_{hi} + D_{lo} + 20 D_{\alpha}$ )	3.4 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]	14 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]
Thyroid Cancer	0.7 D	0.7 D	0.7D
Other Cancer <sup>(4)</sup>	28 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	28 ( $D_{hi} + 0.5 D_{lo}$ )	12 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )
<i>in utero</i> <sup>(1)</sup>	0.3 D	0.1D	0.1 D

注：表中の「D」は、各臓器・組織の吸収線量 (Gy) を示している。添え字「hi」は高線量・高線量率による被ばくを示し、「lo」は低線量・低線量率による被ばくを示す。高/低線量および高/低線量率のしきい値は、それぞれ 0.2 Gy と 0.1 Gy/h である。また、「 $\alpha$ 」はアルファ線による被ばくを示す。

(1) あらゆる年齢分布に適用される値を示している。子宮内で被ばくした子供に対するリスクはこの 100 倍である。

(2) 女性の生涯リスクはこの値の 2 倍程度である。

(3)  $\alpha$  線による被ばく影響は Liver によるものである。

(4) リンパ腫、骨髄腫、ならびに腎臓、膀胱及び子宮のがんを含む。皮膚と前立腺、またモデル化されていないあらゆるがんは除外する。

表 4.3 NUREG モデル TYPE 1 によるがん罹患の生涯リスク (HEINPUT の計算値)

	生涯リスク (死亡数 / 1000 人)		
	上限値	中央値	下限値
Breast Cancer	25 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	16 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	13 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )
Lung Cancer	37 ( $D_{hi} + D_{lo} + 20 D_{\alpha}$ )	18 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]	7.5 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]
GI Cancer	58 ( $D_{hi} + D_{lo} + 2 D_{\alpha}$ )	58 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 2 D_{\alpha})$ ]	25 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 2 D_{\alpha})$ ]
Liver Cancer	5.8 ( $D_{hi} + D_{lo} + 20 D_{\alpha}$ )	5.9 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]	2.5 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]
Thyroid Cancer	9.0 D	9.0 D	9.0 D
Benign Thyroid nodules	30 D	30 D	30 D
Skin Cancer	43 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	43 ( $D_{hi} + 0.5 D_{lo}$ )	24 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )
Other Cancer	54 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	54 ( $D_{hi} + 0.5 D_{lo}$ )	25 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )

注：表中の「D」は、各臓器・組織の吸収線量 (Gy) を示している。添え字「hi」は高線量・高線量率による被ばくを示し、「lo」は低線量・低線量率による被ばくを示す。高/低線量および高/低線量率のしきい値は、それぞれ 0.2 Gy と 0.1 Gy/h である。また、「 $\alpha$ 」はアルファ線による被ばくを示す。

表 4.4 NUREG モデル TYPE 1 によるがん罹患の生涯リスク (USNRC, 1993, Table 2.8)

	生涯リスク (死亡数 / 1000 人)		
	上限値	中央値	下限値
Breast Cancer <sup>(1)</sup>	25 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	16 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	12 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )
Lung Cancer	37 ( $D_{hi} + D_{lo} + 20 D_{\alpha}$ )	17 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]	7.2 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]
GI Cancer <sup>(2)</sup>	58 ( $D_{hi} + D_{lo} + 2 D_{\alpha}$ )	58 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 2 D_{\alpha})$ ]	23 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 2 D_{\alpha})$ ]
Liver Cancer	5.8 ( $D_{hi} + D_{lo} + 20 D_{\alpha}$ )	5.8 [ $D_{hi} + 0.5 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]	2.3 [ $D_{hi} + 0.25 (D_{lo} + 20 D_{\alpha})$ ]
Thyroid Cancer	7.2 D	7.2 D	7.2 D
Benign Thyroid nodules <sup>(3)</sup>	27 D	27 D	27 D
Skin Cancer	89 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	89 ( $D_{hi} + 0.5 D_{lo}$ )	22 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )
Other Cancer <sup>(4)</sup>	55 ( $D_{hi} + D_{lo}$ )	55 ( $D_{hi} + 0.5 D_{lo}$ )	23 ( $D_{hi} + 0.25 D_{lo}$ )

注：表中の「D」は、各臓器・組織の吸収線量 (Gy) を示している。添え字「hi」は高線量・高線量率による被ばくを示し、「lo」は低線量・低線量率による被ばくを示す。高/低線量および高/低線量率のしきい値は、それぞれ 0.2 Gy と 0.1 Gy/h である。また、「 $\alpha$ 」はアルファ線による被ばくを示す。

(1) 女性の生涯リスクはこの値の 2 倍程度である。

(2)  $\alpha$  線による被ばく影響は Liver によるものである。

(3) 甲状腺結節に関する中央値、上限値および下限値の評価では、 $^{131}\text{I}$  による被ばくを外部被ばくの 1/5 と仮定している。

(4) リンパ腫、骨髄腫、ならびに腎臓、膀胱及び子宮のがんを含む。皮膚と前立腺、またモデル化されていないあらゆるがんは除外する。

#### 4.1.2 NUREG モデル TYPE2 による晩発性身体影響の推定

NUREG モデル TYPE 2 による生涯リスクを、各組織・器官に応じて表 4.5 から表 4.13 に示す。表には、HEINPUT による計算値(表 4.5(a)～表 4.13(a))と USNRC 報告書の記載値(表 4.5(b)～表 4.13(b))を比較して示している。これらの結果を比較したところ、ほとんどの部位で、被ばくまでの時間階級 (Time to dose) が 0 歳～9 歳の場合に HEINPUT の計算結果と USNRC 報告書でおおよそ一致した生涯リスク (Life-time risk @1Gy) が得られたが、他の階級での生涯リスクや、事故からの時間 (Time since accident) によるリスクの経年変化は一致していない。

HEINPUT の計算値と USNRC 報告書の値に上述のような違いが生ずる原因のひとつは、HEINPUT と USNRC 報告書が用いている人口の年齢分布や生命表（全死亡率）のデータ区分の違いである。HEINPUT では 5 歳刻みのデータを使用しているが、USNRC 報告書では 1 歳刻みのデータを用いている。そこで、これら入力データの年齢区分が計算結果に与える影響を検討するために、1 歳刻みの人口動態データを用いて HEINPUT で試計算を行った。この結果得られた晩発性影響による死亡の中央値推定値を表 4.5(c)～表 4.13(c)に示す。これらの結果は、事故から被ばくまでの期間が短い段階では USNRC 報告書の示す結果と比較的一致した結果を示しており、データの刻み幅が問題点の一つであることを示唆している。

表 4.5(a) NUREG モデル TYPE 2 による白血病の晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (HEINPUT の計算値)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	4.95 E-03	24	41	31	3	—	—	—	—	—	—
10-19	4.77 E-03	+	25	41	31	3	—	—	—	—	—
20-29	4.55 E-03	+	+	26	42	30	3	—	—	—	—
30-39	4.22 E-03	+	+	+	27	43	28	2	—	—	—
40-49	3.75 E-03	+	+	+	+	30	44	25	2	—	—
50-59	3.14 E-03	+	+	+	+	+	34	44	20	1	—
60-69	2.45 E-03	+	+	+	+	+	+	41	45	14	1
70-79	1.74 E-03	+	+	+	+	+	+	+	52	42	7
80-89	1.07 E-03	+	+	+	+	+	+	+	+	69	31
90-99	5.52 E-04	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy/年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)” は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.5(b) NUREG モデル TYPE 2 による白血病の晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (USNRC,1993, Table B-1.1)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	4.9 E-03	15	40	37	8	—	—	—	—	—	—
10-19	4.6 E-03	+	15	40	37	8	—	—	—	—	—
20-29	4.3 E-03	+	+	15	41	37	7	—	—	—	—
30-39	3.8 E-03	+	+	+	16	42	35	7	—	—	—
40-49	3.0 E-03	+	+	+	+	17	43	34	6	—	—
50-59	2.1 E-03	+	+	+	+	+	19	45	32	4	—
60-69	1.2 E-03	+	+	+	+	+	+	23	51	24	2
70-79	3.7 E-04	+	+	+	+	+	+	+	36	55	9
80-89	4.2 E-05	+	+	+	+	+	+	+	+	63	37
90-99	<10 <sup>-6</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy/年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)” は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.5(c) NUREG モデル TYPE 2 による白血病の晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	4.76 E-03	16	42	35	7	—	—	—	—	—	—
10-19	4.56 E-03	+	17	42	34	7	—	—	—	—	—
20-29	4.29 E-03	+	+	18	43	33	6	—	—	—	—
30-39	3.90 E-03	+	+	+	19	45	31	5	—	—	—
40-49	3.34 E-03	+	+	+	+	21	47	28	4	—	—
50-59	2.66 E-03	+	+	+	+	+	25	50	23	2	—
60-69	1.94 E-03	+	+	+	+	+	+	31	53	15	1
70-79	1.25 E-03	+	+	+	+	+	+	+	41	53	6
80-89	6.66 E-04	+	+	+	+	+	+	+	+	58	42
90-99	1.70E-04	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy/年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)” は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.6(a) NUREG モデル TYPE 2 による骨がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup>(HEINPUT の計算値)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	5.99 E-05	24	41	31	3	—	—	—	—	—	—
10-19	5.75 E-05	+	25	41	30	3	—	—	—	—	—
20-29	5.47 E-05	+	+	26	42	29	3	—	—	—	—
30-39	5.06 E-05	+	+	+	28	43	27	2	—	—	—
40-49	4.47 E-05	+	+	+	+	30	44	24	2	—	—
50-59	3.71 E-05	+	+	+	+	+	35	44	20	1	—
60-69	2.87 E-05	+	+	+	+	+	+	42	44	14	—
70-79	2.02 E-05	+	+	+	+	+	+	+	53	41	6
80-89	1.26 E-05	+	+	+	+	+	+	+	+	70	30
90-99	6.66 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)” は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.6(b) NUREG モデル TYPE 2 による骨がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (USNRC,1993, Table B-1.2)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	6.0 E-05	15	40	37	8	—	—	—	—	—	—
10-19	5.4 E-05	+	15	40	37	8	—	—	—	—	—
20-29	5.2 E-05	+	+	15	41	37	7	—	—	—	—
30-39	4.5 E-05	+	+	+	16	42	35	7	—	—	—
40-49	3.7 E-05	+	+	+	+	17	43	34	6	—	—
50-59	2.6 E-05	+	+	+	+	+	19	45	32	4	—
60-69	1.4 E-05	+	+	+	+	+	+	23	51	24	2
70-79	4.5 E-06	+	+	+	+	+	+	+	36	55	9
80-89	<10 <sup>-6</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+	63	37
90-99	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)” は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.6(c) NUREG モデル TYPE 2 による骨がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	5.29E-05	16	42	35	7	—	—	—	—	—	—
10-19	5.06 E-05	+	17	42	34	7	—	—	—	—	—
20-29	4.77 E-05	+	+	18	43	33	6	—	—	—	—
30-39	4.33 E-05	+	+	+	19	45	31	5	—	—	—
40-49	3.71 E-05	+	+	+	+	21	47	28	4	—	—
50-59	2.96 E-05	+	+	+	+	+	25	50	23	2	—
60-69	2.16 E-05	+	+	+	+	+	+	31	53	15	1
70-79	1.39 E-05	+	+	+	+	+	+	+	41	53	6
80-89	7.39 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	58	42
90-99	1.88 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)” は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.7(a) NUREG モデル TYPE 2 による乳がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup>(HEINPUT の計算値)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	5.22 E-03	—	4	8	13	18	20	18	13	6	1
10-19	3.72 E-03	+	—	7	13	18	21	19	14	7	1
20-29	2.34 E-03	+	+	—	12	21	23	21	15	7	1
30-39	1.58 E-03	+	+	+	—	20	28	24	17	9	2
40-49	9.37 E-04	+	+	+	+	—	33	35	22	9	2
50-59	7.19 E-04	+	+	+	+	+	—	43	39	16	3
60-69	5.02 E-04	+	+	+	+	+	+	—	58	36	7
70-79	2.83 E-04	+	+	+	+	+	+	+	—	77	23
80-89	9.11 E-05	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.7(b) NUREG モデル TYPE 2 による乳がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (USNRC,1993, Table B-1.3)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	5.4 E-03	—	6	13	16	19	18	16	9	3	—
10-19	4.7 E-03	+	—	8	19	20	21	18	11	3	—
20-29	3.9 E-03	+	+	—	12	24	26	21	13	4	—
30-39	2.9 E-03	+	+	+	—	17	33	28	17	5	—
40-49	1.9 E-03	+	+	+	+	—	25	41	27	7	—
50-59	9.4 E-04	+	+	+	+	+	—	38	48	14	—
60-69	3.0 E-04	+	+	+	+	+	+	—	62	37	1
70-79	3.3 E-05	+	+	+	+	+	+	+	—	92	8
80-89	<10 <sup>-6</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.7(c) NUREG モデル TYPE 2 による乳がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	5.81 E-03	—	3	9	14	19	21	18	11	4	1
10-19	4.18 E-03	+	—	6	14	19	22	19	14	6	1
20-29	2.38 E-03	+	+	—	11	23	24	22	14	5	1
30-39	1.54 E-03	+	+	+	—	17	30	25	18	8	1
40-49	7.73 E-04	+	+	+	+	—	28	40	23	8	1
50-59	5.51 E-04	+	+	+	+	+	—	38	45	16	2
60-69	3.41 E-04	+	+	+	+	+	+	—	53	42	5
70-79	1.54 E-04	+	+	+	+	+	+	+	—	73	27
80-89	3.03 E-05	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.8(a) NUREG モデル TYPE 2 による肺がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup>(HEINPUT の計算値)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	7.71 E-03	—	7	11	14	18	20	17	10	3	—
10-19	6.40 E-03	+	—	11	17	20	21	17	10	3	—
20-29	5.34 E-03	+	+	—	17	26	26	19	10	3	—
30-39	4.76 E-03	+	+	+	—	25	33	25	13	3	1
40-49	3.84 E-03	+	+	+	+	—	37	38	20	5	1
50-59	2.69 E-03	+	+	+	+	+	—	51	38	10	1
60-69	1.52 E-03	+	+	+	+	+	+	—	67	29	4
70-79	6.03 E-04	+	+	+	+	+	+	+	—	80	20
80-89	1.62 E-04	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.8(b) NUREG モデル TYPE 2 による肺がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (USNRC,1993, Table B-1.4)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	7.8 E-03	—	5	10	15	18	22	18	10	2	—
10-19	7.0 E-03	+	—	6	16	21	23	21	11	2	—
20-29	6.0 E-03	+	+	—	10	24	27	23	13	3	—
30-39	4.6 E-03	+	+	+	—	16	34	30	17	3	—
40-49	3.0 E-03	+	+	+	+	—	26	44	25	5	—
50-59	1.5 E-03	+	+	+	+	+	—	43	48	9	—
60-69	3.9 E-04	+	+	+	+	+	+	—	70	29	1
70-79	3.1 E-05	+	+	+	+	+	+	+	—	93	7
80-89	<10 <sup>-6</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.8(c) NUREG モデル TYPE 2 による肺がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	8.29 E-03	—	5	11	14	19	22	18	8	2	—
10-19	6.68 E-03	+	—	8	17	21	22	18	11	3	—
20-29	4.88 E-03	+	+	—	15	30	27	18	8	2	—
30-39	4.15 E-03	+	+	+	—	22	38	26	12	3	—
40-49	3.12 E-03	+	+	+	+	—	32	43	20	5	1
50-59	1.97 E-03	+	+	+	+	+	—	45	44	10	1
60-69	9.60 E-04	+	+	+	+	+	+	—	62	35	4
70-79	3.14 E-04	+	+	+	+	+	+	+	—	76	24
80-89	5.46 E-05	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.9(a) NUREG モデル TYPE 2 による胃腸管がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup>(HEINPUT の計算値)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.62 E-02	—	5	8	10	14	18	20	17	7	1
10-19	1.24 E-02	+	—	8	13	16	19	19	16	8	2
20-29	9.64 E-03	+	+	—	14	22	24	21	14	5	1
30-39	9.07 E-03	+	+	+	—	20	29	26	17	7	1
40-49	8.04 E-03	+	+	+	+	—	29	36	24	10	2
50-59	6.54 E-03	+	+	+	+	+	—	41	40	16	3
60-69	4.67 E-03	+	+	+	+	+	+	—	58	36	6
70-79	2.53 E-03	+	+	+	+	+	+	+	—	78	22
80-89	7.53 E-04	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.9(b) NUREG モデル TYPE 2 による胃腸管がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup>(USNRC,1993, Table B-1.5)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.7 E-02	—	4	9	11	16	20	20	15	5	—
10-19	1.6 E-02	+	—	5	12	18	21	23	16	5	—
20-29	1.4 E-02	+	+	—	8	19	24	25	18	6	—
30-39	1.1 E-02	+	+	+	—	12	28	31	22	7	—
40-49	7.9 E-03	+	+	+	+	—	20	40	31	9	—
50-59	4.4 E-03	+	+	+	+	+	—	34	50	16	—
60-69	1.5 E-03	+	+	+	+	+	+	—	21	38	1
70-79	1.8 E-04	+	+	+	+	+	+	+	—	92	8
80-89	1.3 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.9(c) NUREG モデル TYPE 2 による胃腸管がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.67 E-02	—	4	9	11	15	19	21	16	6	1
10-19	1.24 E-02	+	—	7	14	17	19	19	16	7	1
20-29	8.93 E-03	+	+	—	12	25	25	21	12	4	1
30-39	8.15 E-03	+	+	+	—	18	33	27	16	6	1
40-49	6.87 E-03	+	+	+	+	—	26	41	24	8	1
50-59	5.15 E-03	+	+	+	+	+	—	37	46	16	2
60-69	3.23 E-03	+	+	+	+	+	+	—	53	42	5
70-79	1.39 E-03	+	+	+	+	+	+	+	—	75	25
80-89	2.54 E-04	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.10(a) NUREG モデル TYPE 2 による甲状腺がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup>(HEINPUT の計算値)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	8.72 E-04	6	22	20	17	14	11	7	4	1	—
10-19	6.94 E-04	+	7	25	22	18	13	9	5	2	—
20-29	5.48 E-04	+	+	8	30	24	18	12	6	2	—
30-39	4.44 E-04	+	+	+	10	35	26	17	9	3	1
40-49	3.44 E-04	+	+	+	+	12	41	27	14	5	1
50-59	2.55 E-04	+	+	+	+	+	15	49	26	9	2
60-69	1.78 E-04	+	+	+	+	+	+	20	56	20	3
70-79	1.12 E-04	+	+	+	+	+	+	+	27	62	11
80-89	5.52 E-05	+	+	+	+	+	+	+	+	40	60
90-99	1.05 E-05	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.10(b) NUREG モデル TYPE 2 による甲状腺がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup>  
(USNRC, 1993, Table B-1.6)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	7.0 E-04	2	13	15	15	15	14	13	8	4	1
10-19	5.9 E-04	+	3	15	18	17	17	14	11	4	1
20-29	4.9 E-04	+	+	3	19	21	20	18	12	6	1
30-39	3.7 E-04	+	+	+	4	24	25	22	16	8	1
40-49	2.6 E-04	+	+	+	+	5	31	30	22	10	2
50-59	1.6 E-04	+	+	+	+	+	7	41	34	16	2
60-69	7.3 E-05	+	+	+	+	+	+	23	51	24	2
70-79	2.0 E-05	+	+	+	+	+	+	+	20	68	12
80-89	1.6 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	43	57
90-99	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.10(c) NUREG モデル TYPE 2 による甲状腺がんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (HEINPUT  
入力データ 1 年刻みで計算)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	7.78 E-04	4	21	21	18	15	11	7	3	1	—
10-19	6.10 E-04	+	5	25	24	19	14	9	4	1	—
20-29	4.81 E-04	+	+	5	30	27	19	12	6	2	—
30-39	3.80 E-04	+	+	+	7	35	29	18	8	3	—
40-49	2.85 E-04	+	+	+	+	9	43	30	14	4	1
50-59	2.01 E-04	+	+	+	+	+	11	51	28	8	1
60-69	1.31 E-04	+	+	+	+	+	+	15	61	22	3
70-79	7.41 E-05	+	+	+	+	+	+	+	22	68	10
80-89	2.97 E-05	+	+	+	+	+	+	+	+	36	64
90-99	2.79 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

<sup>(1)</sup> 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

<sup>(2)</sup> “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.11(a) NUREG モデル TYPE 2 によるその他のがん<sup>(1)</sup>の晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(2)</sup>(HEINPUT の計算値)

Time to Dose (yr) <sup>(3)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.29 E-02	—	5	8	10	14	19	21	16	7	1
10-19	8.75 E-03	+	—	8	13	16	19	19	16	8	2
20-29	5.82 E-03	+	+	—	15	24	24	20	12	5	1
30-39	5.34 E-03	+	+	+	—	22	30	25	16	6	1
40-49	4.58 E-03	+	+	+	+	—	31	36	23	9	1
50-59	3.58 E-03	+	+	+	+	+	—	43	39	15	2
60-69	2.45 E-03	+	+	+	+	+	+	—	59	35	6
70-79	1.28 E-03	+	+	+	+	+	+	+	—	78	22
80-89	3.75 E-04	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

\*注は表 4.11(c)を参照。

表 4.11(b) NUREG モデル TYPE 2 によるその他のがん<sup>(1)</sup>の晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(2)</sup>  
(USNRC,1993, Table B-1.7)

Time to Dose (yr) <sup>(3)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.4 E-02	—	5	9	14	17	19	19	13	4	—
10-19	1.3 E-02	+	—	6	14	19	21	22	14	4	—
20-29	1.1 E-02	+	+	—	9	21	25	24	16	5	—
30-39	8.7 E-03	+	+	+	—	14	30	30	20	6	—
40-49	6.0 E-03	+	+	+	+	—	22	41	29	8	—
50-59	3.2 E-03	+	+	+	+	+	—	36	50	14	—
60-69	1.1 E-03	+	+	+	+	+	+	—	62	37	1
70-79	1.2 E-04	+	+	+	+	+	+	+	—	92	8
80-89	< 10 <sup>-6</sup>	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

\*注は表 4.11(c)を参照。

表 4.11(c) NUREG モデル TYPE 2 によるその他のがん<sup>(1)</sup>の晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(2)</sup>  
(HEINPUT 入力データ 1年刻みで計算)

Time to Dose (yr) <sup>(3)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.27 E-02	—	4	8	11	15	20	21	15	5	1
10-19	8.42 E-03	+	—	7	14	17	20	19	15	7	1
20-29	5.34 E-03	+	+	—	13	26	26	20	11	4	—
30-39	4.75 E-03	+	+	+	—	19	34	27	15	5	1
40-49	3.86 E-03	+	+	+	+	—	28	41	23	7	1
50-59	2.78 E-03	+	+	+	+	+	—	39	45	15	2
60-69	1.67 E-03	+	+	+	+	+	+	—	55	41	5
70-79	6.95 E-04	+	+	+	+	+	+	+	—	75	25
80-89	1.27 E-04	+	+	+	+	+	+	+	+	—	100
90-99	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

(1) その他のがんには、リンパ腫、多発性骨髄腫、及び脳がん、腎臓がん、膀胱がん、子宮がんを含む。また、皮膚がんと前立腺がん、並びに既に分類されており対応するモデルが存在する臓器・組織は除外する。

(2) リスクの推定値は、一定の線量率 0.1 Gy / 年による被ばくを 10 年間に亘り受けた場合の値である。したがって、個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 を除する必要がある。

(3) “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.12(a) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばく白血病の晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup>  
(HEINPUT の計算値)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.03 E-06	62	38	—	—	—	—	—	—	—	—
10-19	1.15 E-06	+	62	38	—	—	—	—	—	—	—
20-29	1.30 E-06	+	+	62	38	—	—	—	—	—	—
30-39	1.52 E-06	+	+	+	62	38	—	—	—	—	—
40-49	1.84 E-06	+	+	+	+	62	38	—	—	—	—
50-59	2.33 E-06	+	+	+	+	+	63	37	—	—	—
60-69	3.06 E-06	+	+	+	+	+	+	65	35	—	—
70-79	4.00 E-06	+	+	+	+	+	+	+	70	30	—
80-89	4.47 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	79	21
90-99	3.91 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

(1) 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

(2) “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.12(b) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばく白血病の晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup>  
(USNRC,1993, Table B-1.8)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.2 E-04	46	53	1	—	—	—	—	—	—	—
10-19	1.2 E-04	+	46	53	1	—	—	—	—	—	—
20-29	1.0 E-04	+	+	46	53	1	—	—	—	—	—
30-39	2.4 E-05	+	+	+	46	53	1	—	—	—	—
40-49	< 10 <sup>-6</sup>	+	+	+	+	46	53	1	—	—	—
50-59	—	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—
60-69	—	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
70-79	—	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—
80-89	—	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—
90-99	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

(1) 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

(2) “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.12(c) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばく白血病の晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup>  
(HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.30 E-05	47	52	1	—	—	—	—	—	—	—
10-19	1.28 E-05	+	48	52	1	—	—	—	—	—	—
20-29	1.25 E-05	+	+	48	51	1	—	—	—	—	—
30-39	1.21 E-05	+	+	+	49	51	1	—	—	—	—
40-49	1.15 E-05	+	+	+	+	50	49	1	—	—	—
50-59	1.05 E-05	+	+	+	+	+	52	47	1	—	—
60-69	9.22 E-06	+	+	+	+	+	+	56	44	—	—
70-79	7.49 E-06	+	+	+	+	+	+	+	62	38	—
80-89	5.24 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	73	23
90-99	2.40 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

(1) 推定値は線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間受けた場合の値である。個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 2 を乗じ、また下限を推定する場合には 2 で除する必要がある。

(2) “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

表 4.13(a) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばくに起因するその他のがんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (HEINPUT の計算値)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.03 E-06	62	38	—	—	—	—	—	—	—	—
10-19	1.15 E-06	+	62	38	—	—	—	—	—	—	—
20-29	1.30 E-06	+	+	62	38	—	—	—	—	—	—
30-39	1.52 E-06	+	+	+	62	38	—	—	—	—	—
40-49	1.84 E-06	+	+	+	+	62	38	—	—	—	—
50-59	2.33 E-06	+	+	+	+	+	63	37	—	—	—
60-69	3.06 E-06	+	+	+	+	+	+	65	35	—	—
70-79	4.00 E-06	+	+	+	+	+	+	+	70	30	—
80-89	4.47 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	79	21
90-99	3.91 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

\*注は表 4.13(c)を参照

表 4.13(b) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばくに起因するその他のがんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (USNRC,1993, Table B-1.9)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.2 E-04	46	53	1	—	—	—	—	—	—	—
10-19	1.2 E-04	+	46	53	1	—	—	—	—	—	—
20-29	1.0 E-04	+	+	46	53	1	—	—	—	—	—
30-39	2.4 E-05	+	+	+	46	53	1	—	—	—	—
40-49	< 10 <sup>-6</sup>	+	+	+	+	46	53	1	—	—	—
50-59	—	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—
60-69	—	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
70-79	—	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—
80-89	—	+	+	+	+	+	+	+	+	—	—
90-99	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—

\*注は表 4.13(c)を参照

表 4.13(c) NUREG モデル TYPE 2 による子宮内被ばくに起因するその他のがんの晩発性致死生涯リスク中央値<sup>(1)</sup> (HEINPUT 入力データ 1 年刻みで計算)

Time to Dose (yr) <sup>(2)</sup>	Life-time Risk @1Gy	Time since accident (yr)									
		0 - 9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99
0 - 9	1.30 E-05	47	52	1	—	—	—	—	—	—	—
10-19	1.28 E-05	+	48	52	1	—	—	—	—	—	—
20-29	1.25 E-05	+	+	48	51	1	—	—	—	—	—
30-39	1.21 E-05	+	+	+	49	51	1	—	—	—	—
40-49	1.15 E-05	+	+	+	+	50	49	1	—	—	—
50-59	1.05 E-05	+	+	+	+	+	52	47	1	—	—
60-69	9.22 E-06	+	+	+	+	+	+	56	44	—	—
70-79	7.49 E-06	+	+	+	+	+	+	+	62	38	—
80-89	5.24 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	73	23
90-99	2.40 E-06	+	+	+	+	+	+	+	+	+	100

(1) リスクの推定値は、一定の線量率 0.1 Gy /年による被ばくを 10 年間に亘り受けた場合の値である。したがって、個人が受けた全線量は 10 年間で 1 Gy である。生涯リスクの上限を推定する場合には 10/4 を乗じ、また下限には中央値と同じ値を用いる。子宮内で被ばくした子供に対するリスクは、表に示した値の 100 倍である。

(2) “Time to dose (yr)”は、事故から被ばくが発生するまでの経過年。

## 4.2 EPA モデル

HEINPUT の EPA モデルを用いて EPA 報告書(EPA, 1999)に記載されているリスク指標(生存率、平均余命、ハザード関数及び生涯リスク)を計算して、比較した。HEINPUT による計算ではリスク係数と年齢階級別全死亡率を EPA と同じ値を用いた。また、年齢階級別自然がん死亡数として 1989 年から 1991 年の米国における平均値を用いている。これらの入力データを付録の付表 2.1～付表 2.6 にそれぞれ示す。

### (1) 生存率および平均余命

HEINPUT による生存率と平均余命の計算結果を、EPA 報告書の結果とともに図 4.1 と図 4.2 にそれぞれ示す。それぞれの計算結果は男性・女性ともに EPA 報告書による値とよく一致しており、HEINPUT は、これら指標の EPA による計算を再現することができるものと考えられる。

### (2) ハザード関数

生存率と死亡数データを用いて計算した米国人（1989 年～1991 年）のハザード関数を図 4.3 に示す。また、EPA 報告書 (EPA,1999) に示されている白血病のハザード関数を図 4.4 に示す。白血病では、使用した死亡数データが少し異なっているため値は異なっているものの、グラフの傾向は良く似ている。

### (3) 生涯リスク係数

がん死亡及び罹患の生涯リスク係数を HEINPUT で計算した結果と EPA 報告書 (EPA,1999) に示されている結果の比較をそれぞれ表 4.14 と表 4.15 に示す。バックグラウンドの自然がん死亡に関係ない絶対リスクモデルの骨、皮膚及び甲状腺については死亡及び罹患ともに EPA の結果と一致している。その他の相対リスクモデルに関して、ICD コード<sup>注8)</sup>が一致している食道、胃、結腸、肝臓、肺、乳房及び膀胱は、ほぼ一致している。これらの部位に関する若干の違いは EPA 報告書で使用している死亡数データの最終年齢区分が 95 歳以上を対象としているためであると推測される。すなわち、高齢のハザード関数を 95 歳から一定にしているためであると考えられる（検証計算では、最終年齢区分が 85 歳のため、85 歳以降を一定としている）。また、ICD コードが一致していない卵巣、腎臓、白血病及び残りの部位に関しても、大幅に異なっているわけではない。これは、ICD コードが不一致の死者数が少ないためであると考えられる。また、参考として年齢平均した生涯リスクを部位別に図 4.5 に示す。

以上より、本作業で HEINPUT に追加した EPA モデル評価コードは、EPA の方法に従って適切に動作していると考えられる。

---

<sup>注8)</sup> 死因や疾病の国際的な統計基準として、世界保健機関 (WHO) によって公表された分類。

表 4.14 HEINPUT の EPA モデルによるがん死亡の生涯リスク係数の計算結果と EPA 報告書の比較

がん	推定モデル	がん死亡の生涯リスク係数				比率 (HEINPUT / EPA)	
		EPA による値 <sup>(1)</sup>		HEINPUT の計算値			
		男性	女性	男性	女性	男性	女性
Esophagus	R	7.30E-04	1.59E-03	7.31E-04	1.55E-03	1.00	0.97
Stomach	R	3.25E-03	4.86E-03	3.19E-03	4.55E-03	0.98	0.94
Colon	R	8.38E-03	1.24E-02	8.17E-03	1.16E-02	0.98	0.94
Liver	R	1.84E-03	1.17E-03	1.87E-03	1.18E-03	1.02	1.01
Lung	R	7.71E-03	1.19E-02	7.85E-03	1.22E-02	1.02	1.03
Bone	A	9.40E-05	9.60E-05	9.40E-05	9.60E-05	1.00	1.00
Skin	A	9.51E-05	1.05E-04	9.51E-05	1.05E-04	1.00	1.00
Breast	R	—	9.90E-03	—	9.67E-03	—	0.98
Ovary	R	—	2.92E-03	—	3.04E-03	—	1.04
Bladder	R	3.28E-03	1.52E-03	3.11E-03	1.35E-03	0.95	0.89
Kidney	R	6.43E-04	3.92E-04	6.81E-04	4.23E-04	1.06	1.08
Thyroid	A	2.05E-04	4.38E-04	2.04E-04	4.36E-04	1.00	1.00
Leukemia	R	6.48E-03	4.71E-03	7.91E-03	5.53E-03	1.22	1.17
Residual	R	1.35E-02	1.63E-02	1.30E-02	1.55E-02	0.96	0.95

<sup>(1)</sup> EPA 報告書 (EPA, 1999, Table 7.3) より

表 4.15 HEINPUT の EPA モデルによるがん罹患の生涯リスク係数の計算結果と EPA 報告書の比較

がん	推定モデル	がん死亡の生涯リスク係数				比率 (HEINPUT / EPA)	
		EPA による値 <sup>(1)</sup>		HEINPUT の計算値			
		男性	女性	男性	女性	男性	女性
Esophagus	R	7.69E-04	1.68E-03	7.70E-04	1.63E-03	1.00	0.97
Stomach	R	3.61E-03	5.40E-03	3.54E-03	5.05E-03	0.98	0.94
Colon	R	1.52E-02	2.25E-02	1.49E-02	2.11E-02	0.98	0.94
Liver	R	1.94E-03	1.23E-03	1.97E-03	1.24E-03	1.01	1.01
Lung	R	8.12E-03	1.26E-02	8.26E-03	1.29E-02	1.02	1.02
Bone	A	1.34E-04	1.37E-04	1.34E-04	1.37E-04	1.00	1.00
Skin	A	9.51E-05	1.05E-04	9.51E-05	1.05E-04	1.00	1.00
Breast	R	—	1.98E-02	—	1.98E-02	—	0.98
Ovary	R	—	4.17E-03	—	4.34E-03	—	1.04
Bladder	R	6.55E-03	3.04E-03	6.22E-03	2.70E-03	0.95	0.89
Kidney	R	9.88E-04	6.03E-04	1.05E-03	6.51E-04	1.06	1.08
Thyroid	A	2.05E-04	4.38E-03	2.04E-04	4.36E-03	1.00	1.00
Leukemia	R	6.54E-03	4.75E-03	7.99E-03	5.58E-03	1.22	1.17
Residual	R	1.91E-02	2.29E-02	1.82E-02	2.18E-02	0.95	0.95

<sup>(1)</sup> EPA 報告書 (EPA, 1999, Table 7.6) より

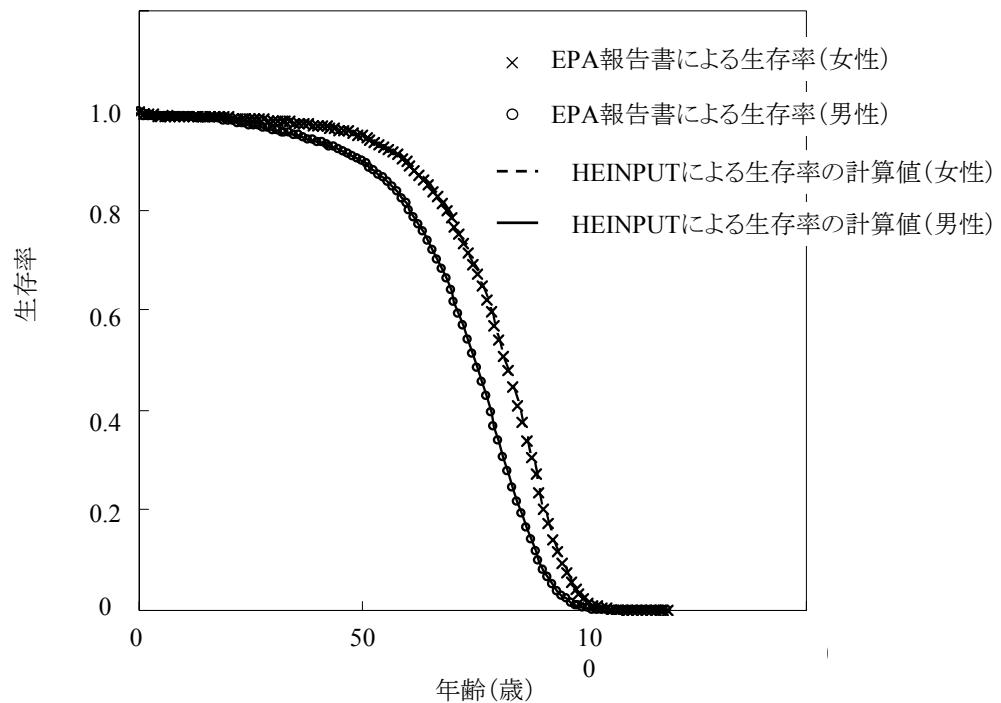


図 4.1 HEINPUT の EPA モデルを用いた生存率の計算結果

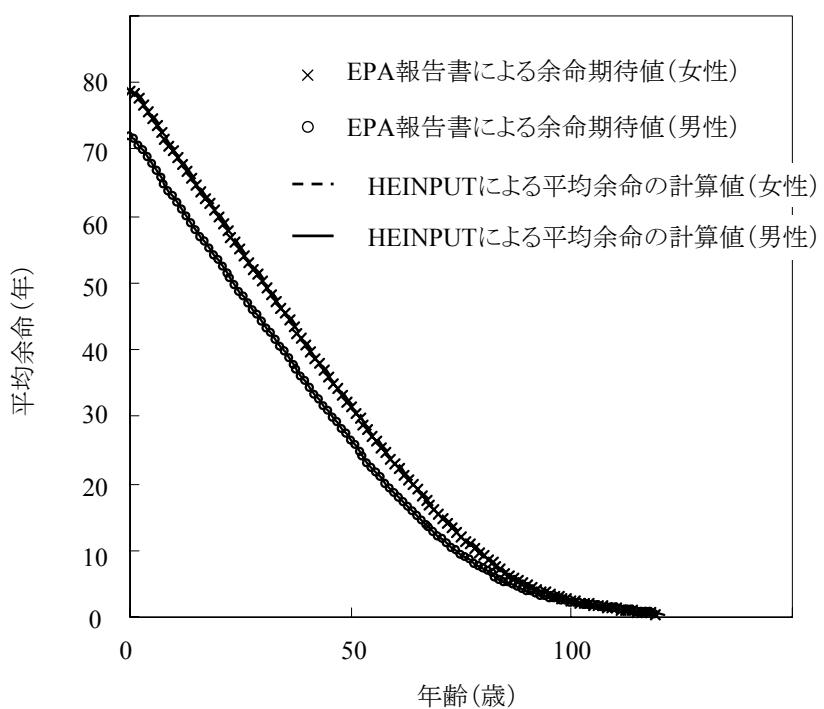


図 4.2 HEINPUT の EPA モデルを用いた平均余命の計算結果

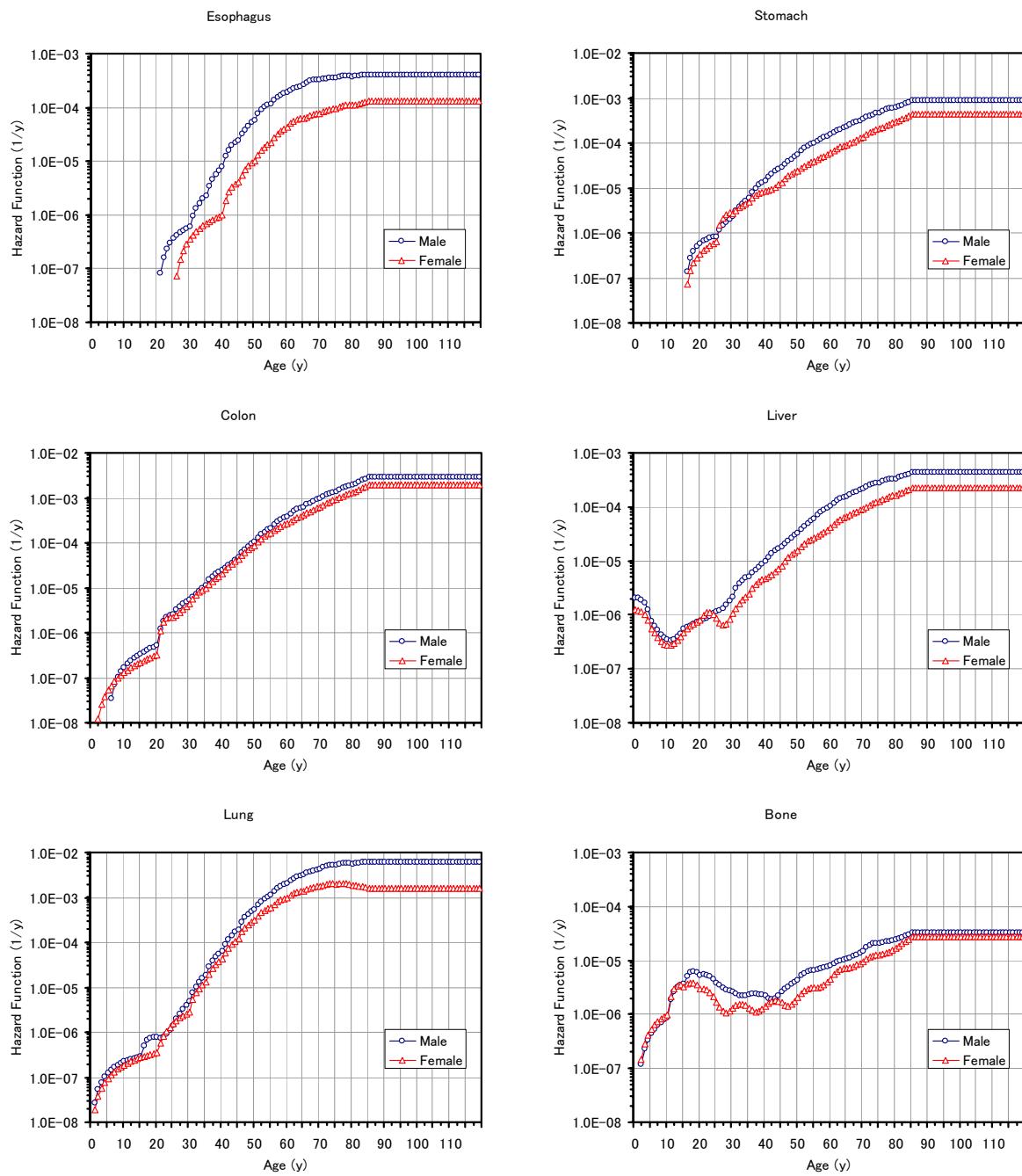


図 4.3 米国人（1989 年から 1991 年）のがんハザード関数の HEINPUT 計算結果（1 / 3）

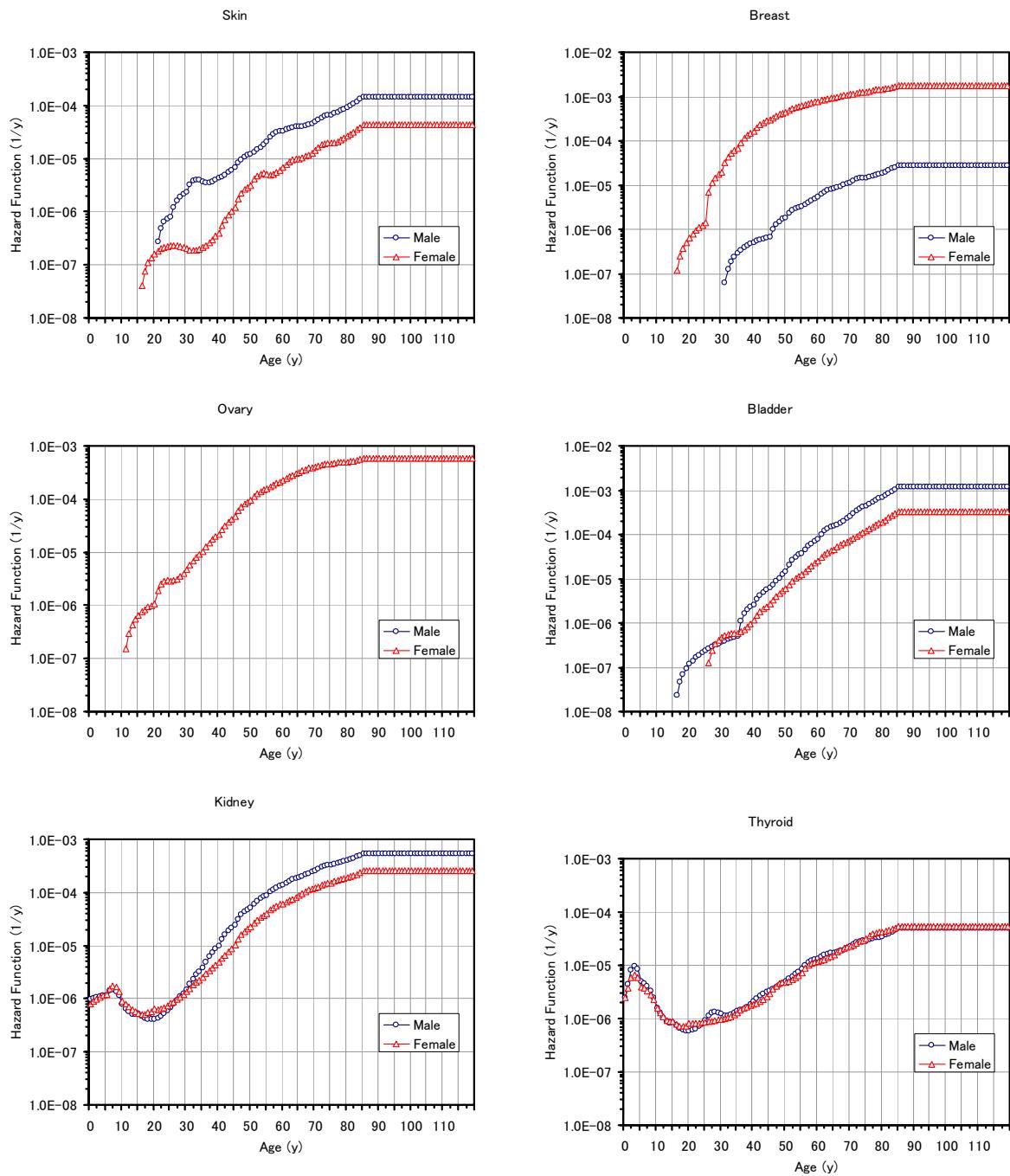


図 4.3 米国人（1989 年から 1991 年）のがんハザード関数の HEINPUT 計算結果（2 / 3）

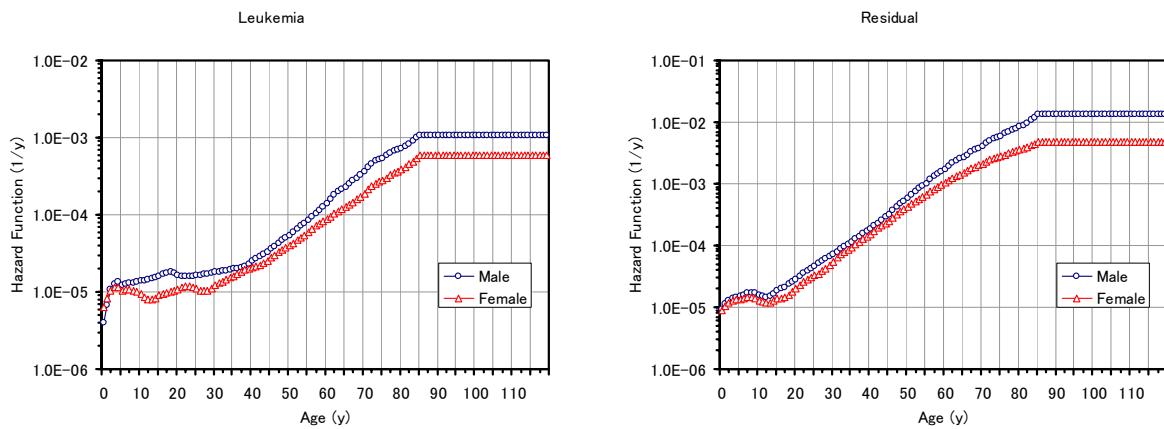


図 4.3 米国人（1989 年から 1991 年）のがんハザード関数の HEINPUT 計算結果（3 / 3）

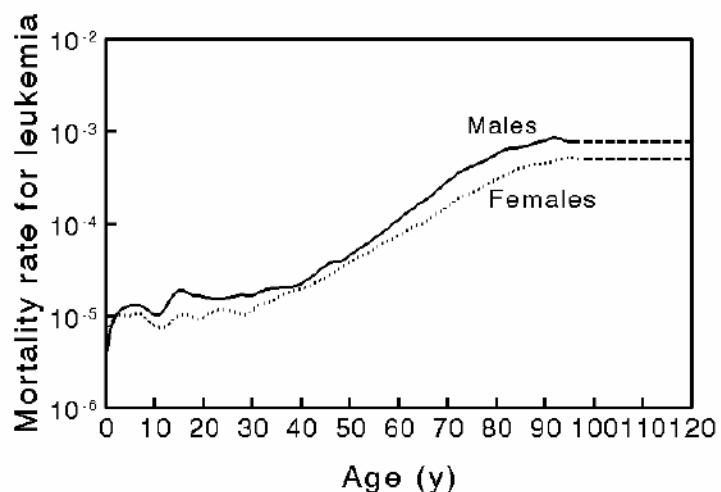


図 4.4 米国人(1989 年から 1991 年)の白血病による死亡率(年齢及び性差依存) (EPA,1999,Fig.C.12.)

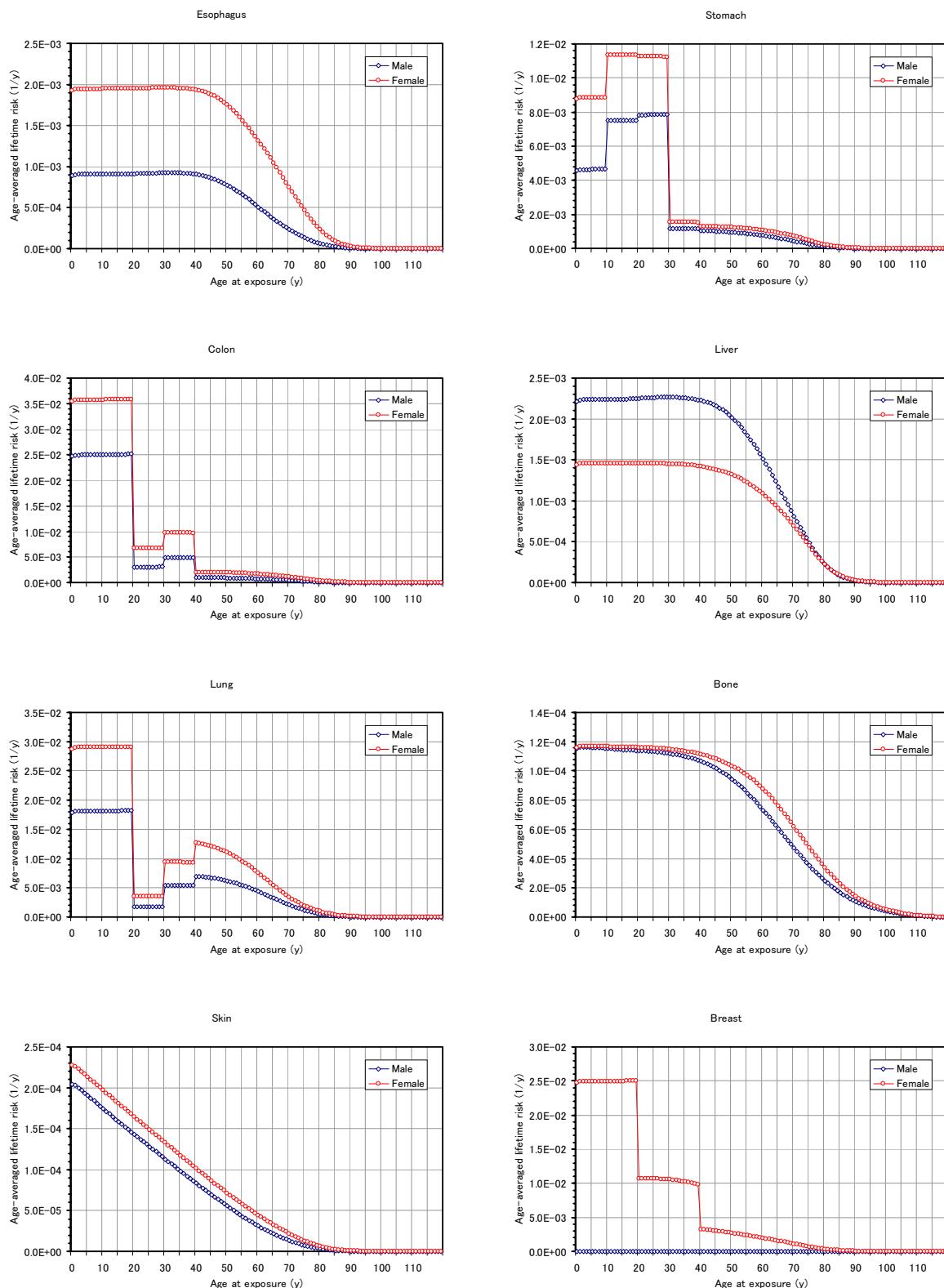


図 4.5 がん部位別の年齢平均した生涯リスクの被ばく時年齢に伴う変化  
(HEINPUT による計算結果) (1 / 2)

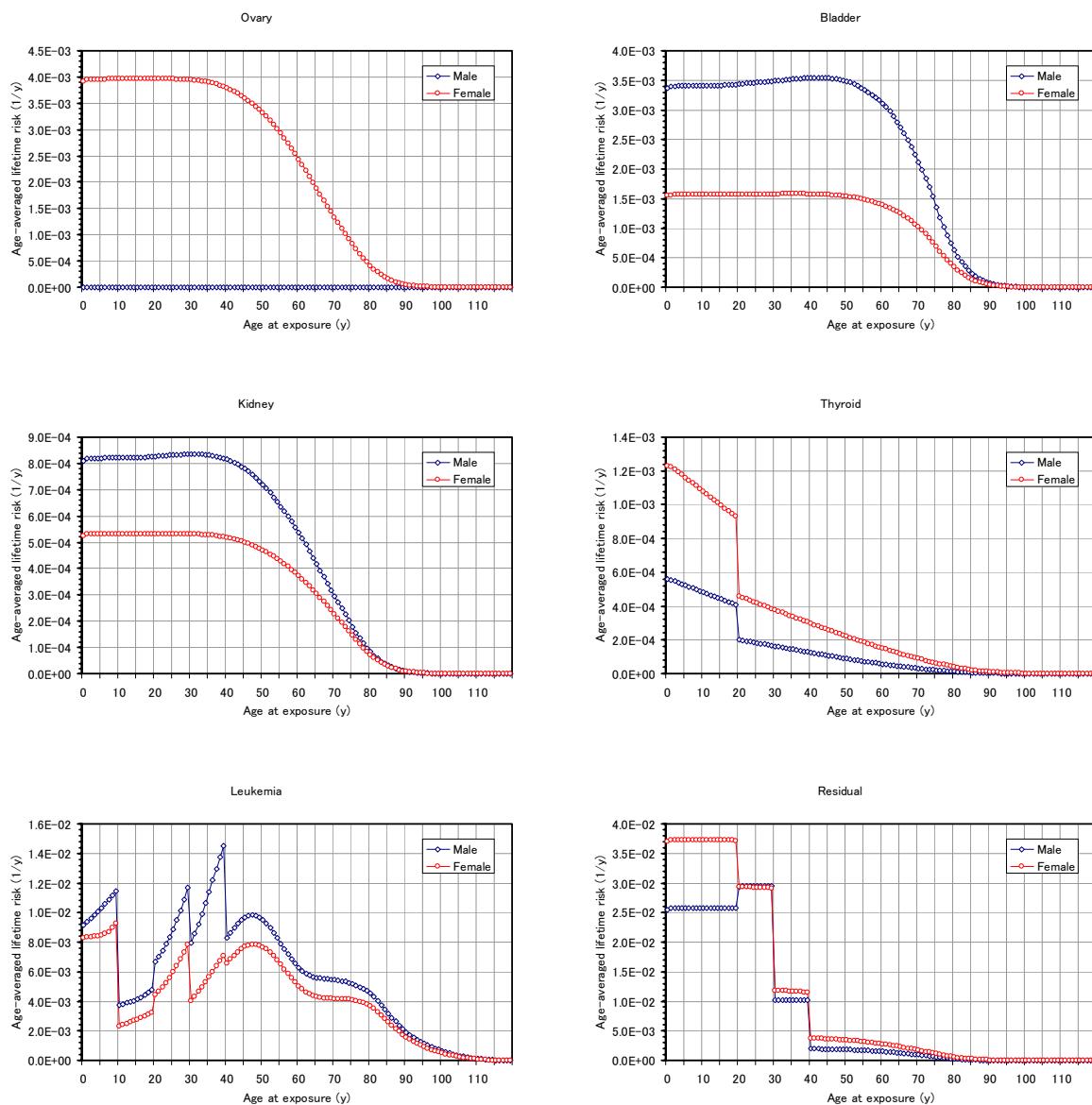


図 4.5 がん部位別の年齢平均した生涯リスクの被ばく時年齢に伴う変化

(HEINPUT による計算結果) (2 / 2)

## 5. HEINPUT-GUI の作成

HEINPUT-GUI の画面は、大きく以下の 3 つの画面によって構成される。

- ・ データセット管理画面
- ・ 計算ウィザード画面
- ・ 計算結果閲覧画面

以下に各画面の機能について説明する。また、HEINPUT-GUI 使用の流れを図 5.1 に示す。

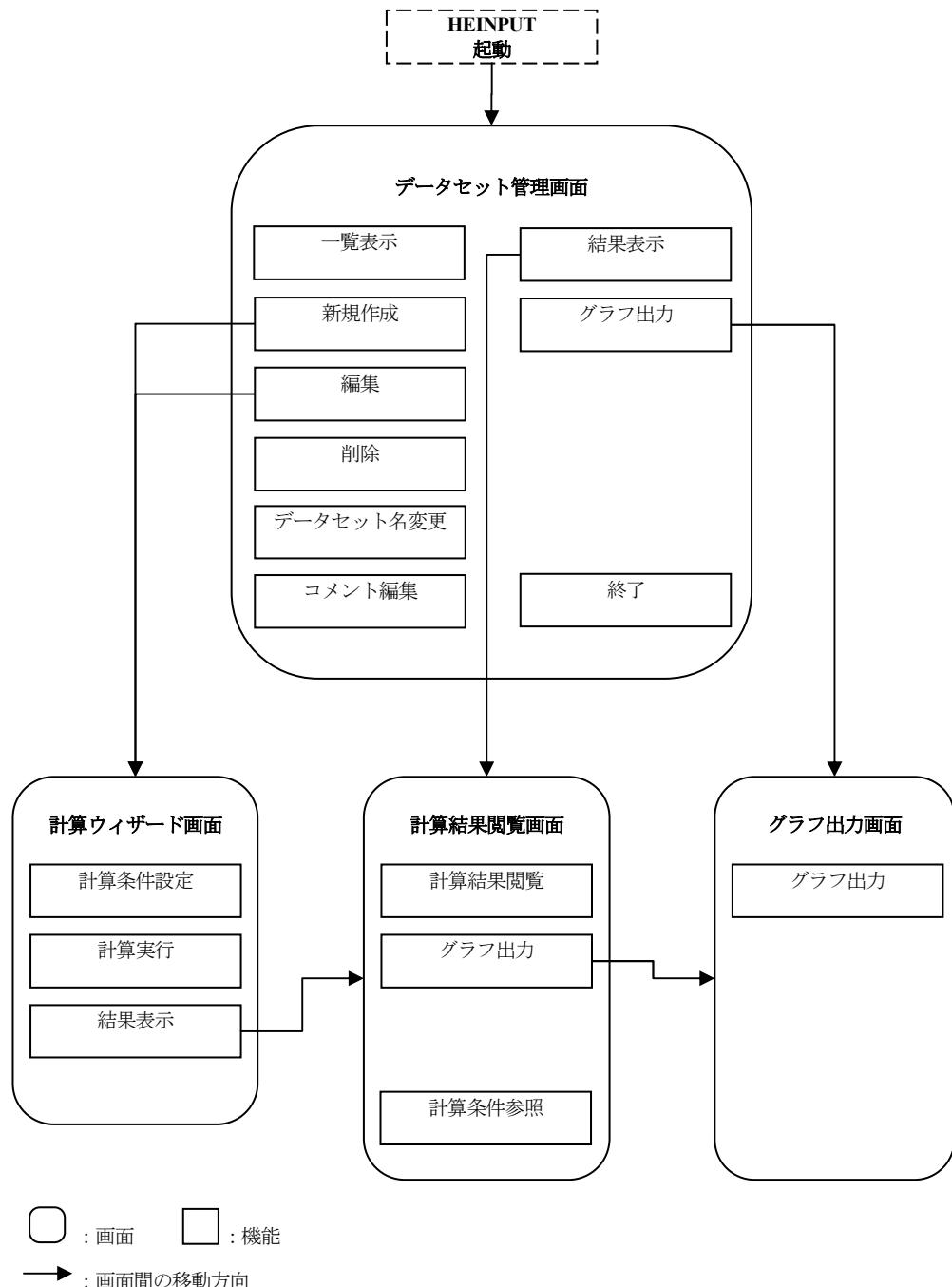


図 5.1 HEINPUT-GUI 使用の流れ

## 5.1 起動とデータセットの管理

### (1) データセット管理画面

HEINPUT-GUI を起動するとデータセット管理画面（図 5.2）が表示される。同画面では「新規作成」、「編集」、「削除」、「計算結果」あるいは「グラフ表示」から作業を選択できる。また、過去の計算結果がデータセットとして管理されており、それらを呼び出して再計算することも可能である。データセットとは、HEINPUT のライブラリデータを含めた入出力データであり、HEINPUT が必要とするすべてのデータを一つのデータセットとして管理している。以下では、画面下のボタンごとに GUI 機能の紹介を行う。



図 5.2 データセット管理画面

## 5.2 計算の実施（新規作成と編集）

### (1) 計算モデルの選択

データセット管理画面において「新規作成」または「編集」ボタンを選択した場合、計算ウィザードが起動し、計算条件の設定画面が表示される。計算条件の設定は、モデル選択画面、リスクモデルパラメータ選択画面、人口動態統計データ選択画面、計算実行画面の4画面から構成され、それぞれの画面が以上の順番で表示される。モデル選択画面を図5.3に示す。計算モデルは、NUREGモデルとEPAモデルの選択が可能である。

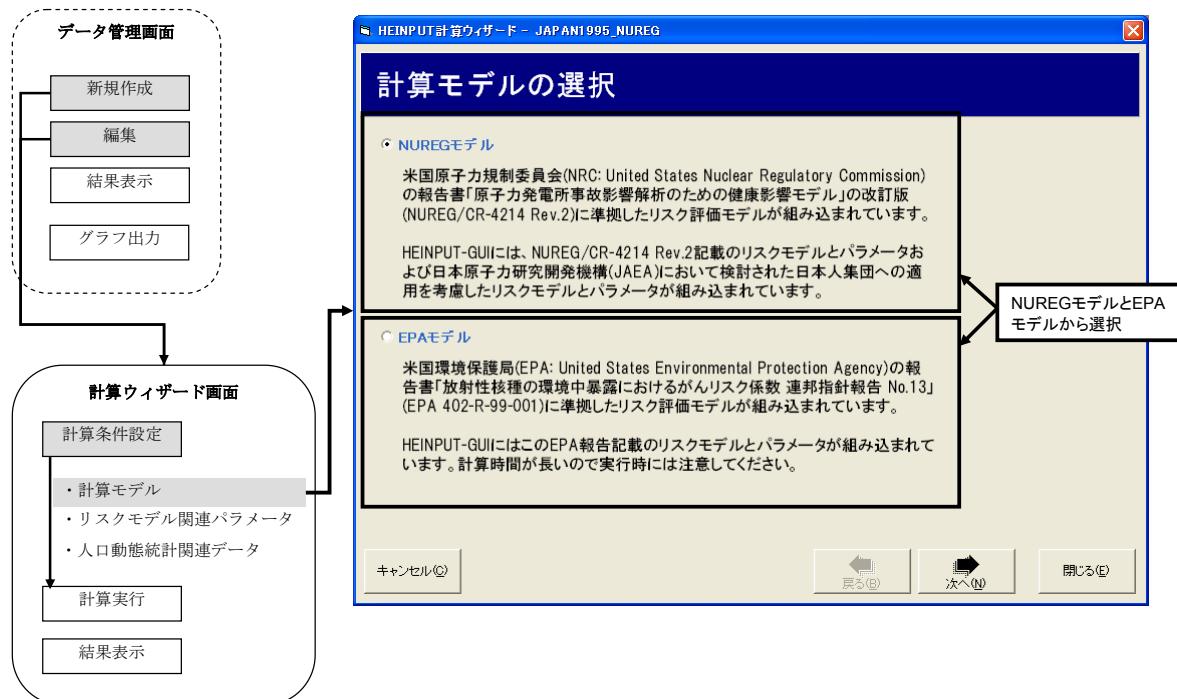


図5.3 計算モデル選択画面

### (2) リスクモデル関連パラメータと人口動態統計データの選択

計算モデルの選択後、そのモデルを用いたリスク推定に必要な関連パラメータの選択を行う。HEINPUTでは、NUREGモデルによる推定のためにUSNRC報告書(USNRC,1993)と日本人集団のために整理されたデータの2種類を、またEPAモデルによる推定のためにEPA報告書(EPA,1999)のデータをライブラリとして用意している。リスクモデル関連パラメータの選択画面を図5.4に示す。ライブラリデータは入力ファイルごとにタブが設定されており、それぞれのタブ内で表示する。NUREGモデルについては2種類のリスクモデル関連パラメータからプルダウンメニューで使用データを選択する。HEINPUTの有するリスクモデル関連パラメータを表5.1に示す。

計算に必要な人口動態統計データの選択画面を図5.4に示す。NUREGモデルを用いた計算ではUSNRC報告書(USNRC,1993)の米国人口動態統計に基づくデータと、日本の人口動態統計に基づくデータ(1983年～1994年)を選択できる。また、EPAモデルを選択した場合には、EPA報告書(EPA,1999)のデータと日本の人口動態統計に基づくデータ(1995年)を使用することができる。HEINPUTの有する人口動態統計関連データを表5.1に示す。

表 5.1 HEINPUT が有するリスクモデル関連パラメータと人口動態統計関連データ

データ種類	計算モデル	HEINPUT の有するデータライブラリ
リスクモデル関連パラメータ	NUREG モデル	◆ NUREG/CR-4214 Rev.2 のデータ ◆ 日本人用に整理されたデータ
	EPA モデル	◆ EPA-402-R-99-001 のデータ
人口動態統計関連データ	NUREG モデル	◆ NUREG/CR-4214 Rev.2 のデータ ◆ 日本の人口動態統計に基づくデータ（1983 年～1994 年）
	EPA モデル	◆ EPA-402-R-99-001 のデータ ◆ 日本の人口動態統計に基づくデータ（1995 年）

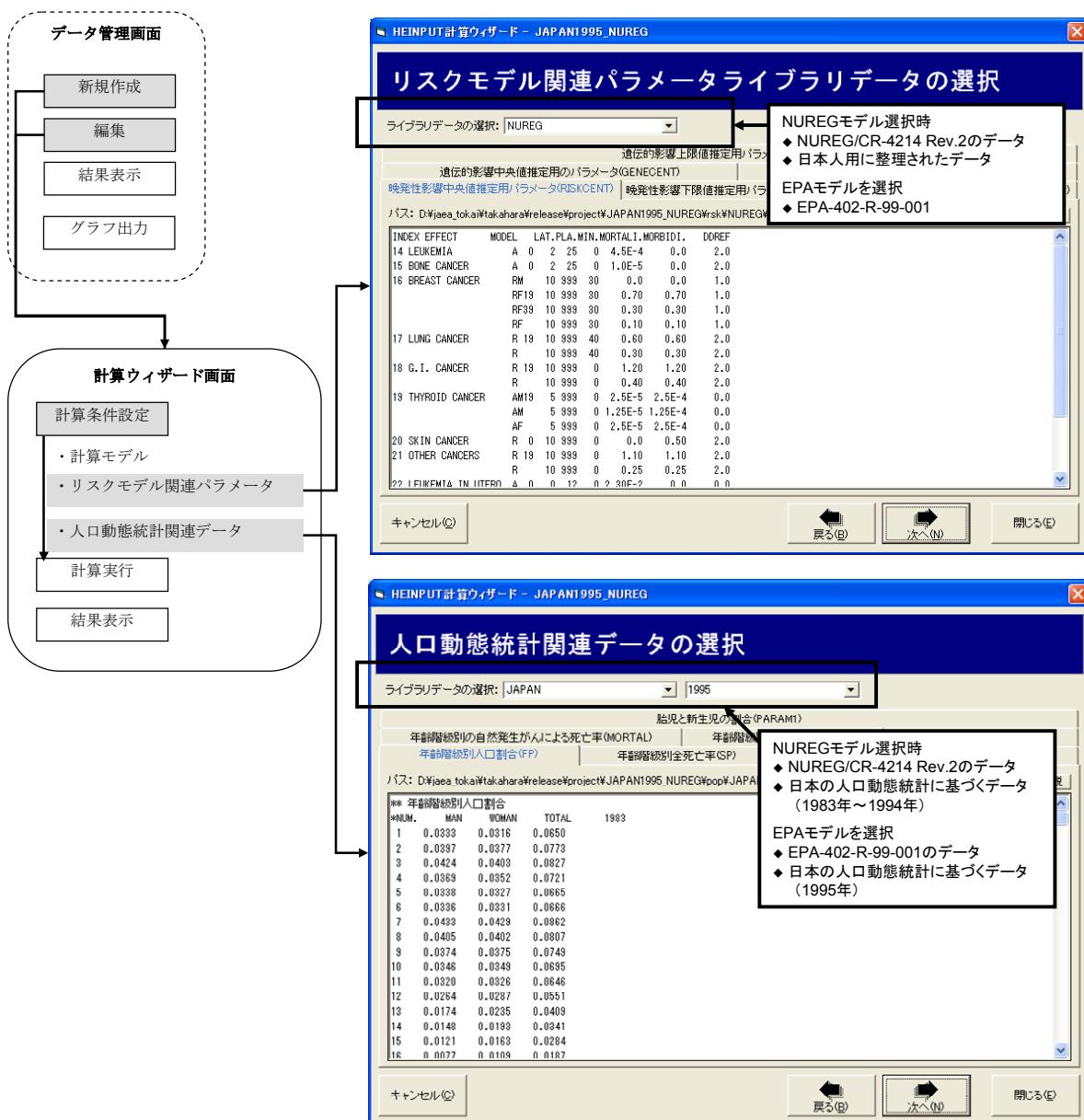


図 5.4 人口動態統計データの選択

### (3) 計算の実行

以上の設定が終了すると、計算の実行画面（図 5.5）に移動する。データセット名に計算を実施するデータセットの名称を与える。過去の計算データセット名と同じ名称を設定するとデータセットは上書きされる。「計算開始」ボタンをクリックすると計算が実行される。また、計算終了時や計算がすでに実行されているデータセットについては「計算結果」ボタンをクリックすることで計算結果を表示することができる。

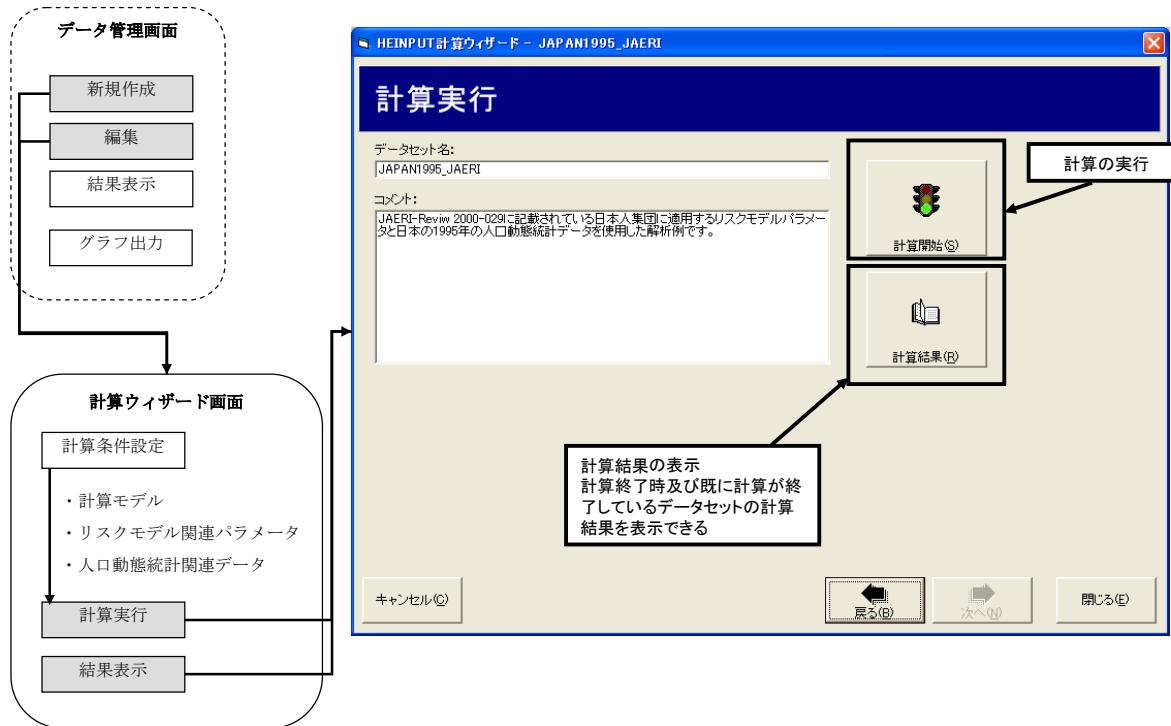


図 5.5 計算実行画面

### 5.3 計算結果の閲覧とグラフ表示

データセット管理画面または計算ウィザード上の計算結果をクリックすると、図 5.6 の閲覧画面が表示される。HEINPUT 出力ファイルのうち標準出力であるがん死亡と罹患、ならびに遺伝的影響のリスクの中央値、下限値及び上限値をそれぞれ表示する。グラフは、評価対象組織ごとに表示される。

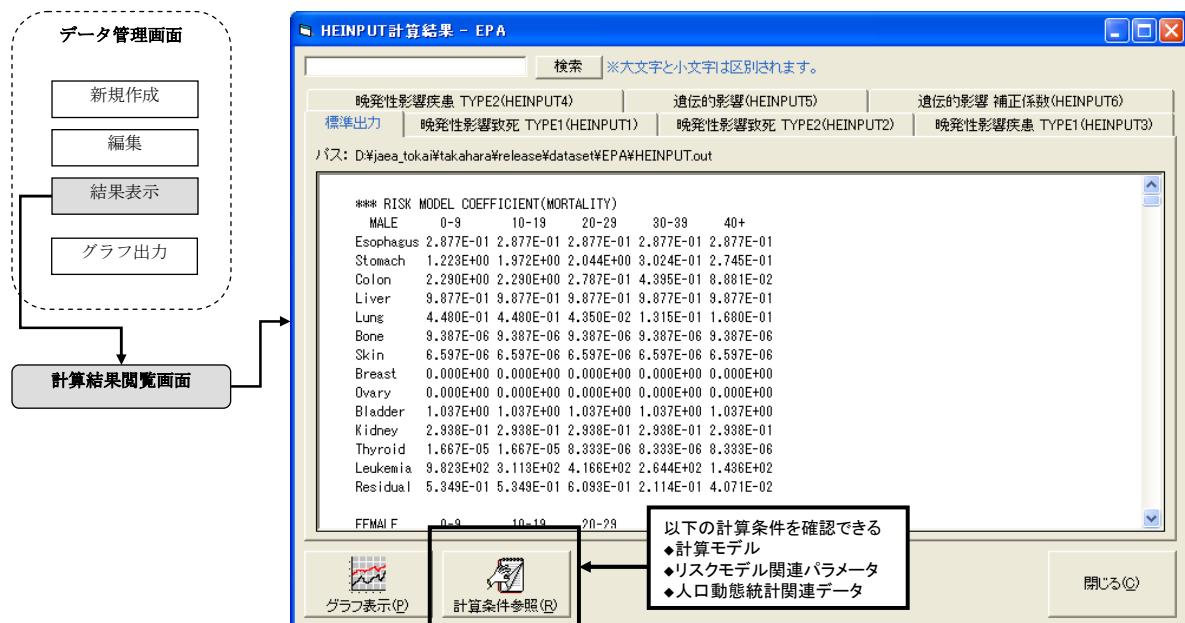


図 5.6 計算結果標準出力閲覧画面

また、データセット管理画面（図 5.2）にあるグラフ表示アイコンを選択することで、被ばく時年齢、臓器・組織及び被ばく線量ごとにハザード関数、生涯リスク及び損失余命を数値とグラフで表示することができる。グラフは、HEINPUT が作成する表出力データを用いて EXCEL VBA により作成している。グラフ表示アイコンを選択すると、以下の項目が表示されるので、この中から出力したい項目を選択する（図 5.7）。

- 晚発性影響致死・疾患 TYPE1 の被ばく後経過年階級（10 年刻み）ごとのリスク
- 生存率及び余命期待値
- ハザード関数
- 被ばく時年齢別生涯死亡リスク
- 被ばく時年齢別生涯罹患リスク
- 被ばく時年齢別生涯寿命損失（損失余命係数）
- 晚発性影響致死 TYPE1 の生涯リスク
- 晚発性影響致死 TYPE2 の生涯リスク
- 晚発性影響疾患 TYPE1 の生涯リスク
- 晚発性影響疾患 TYPE2 の生涯リスク

図 5.7 に示すように、出力項目を選択すると EXCEL が起動し、デフォルト設定のグラフが表示される。なお、グラフを出力した後、グラフの描画条件を設定する専用フォームが自動で立ち上がり、この画面を利用して描画条件を自由に選択したグラフ出力が可能である（図 5.7）。

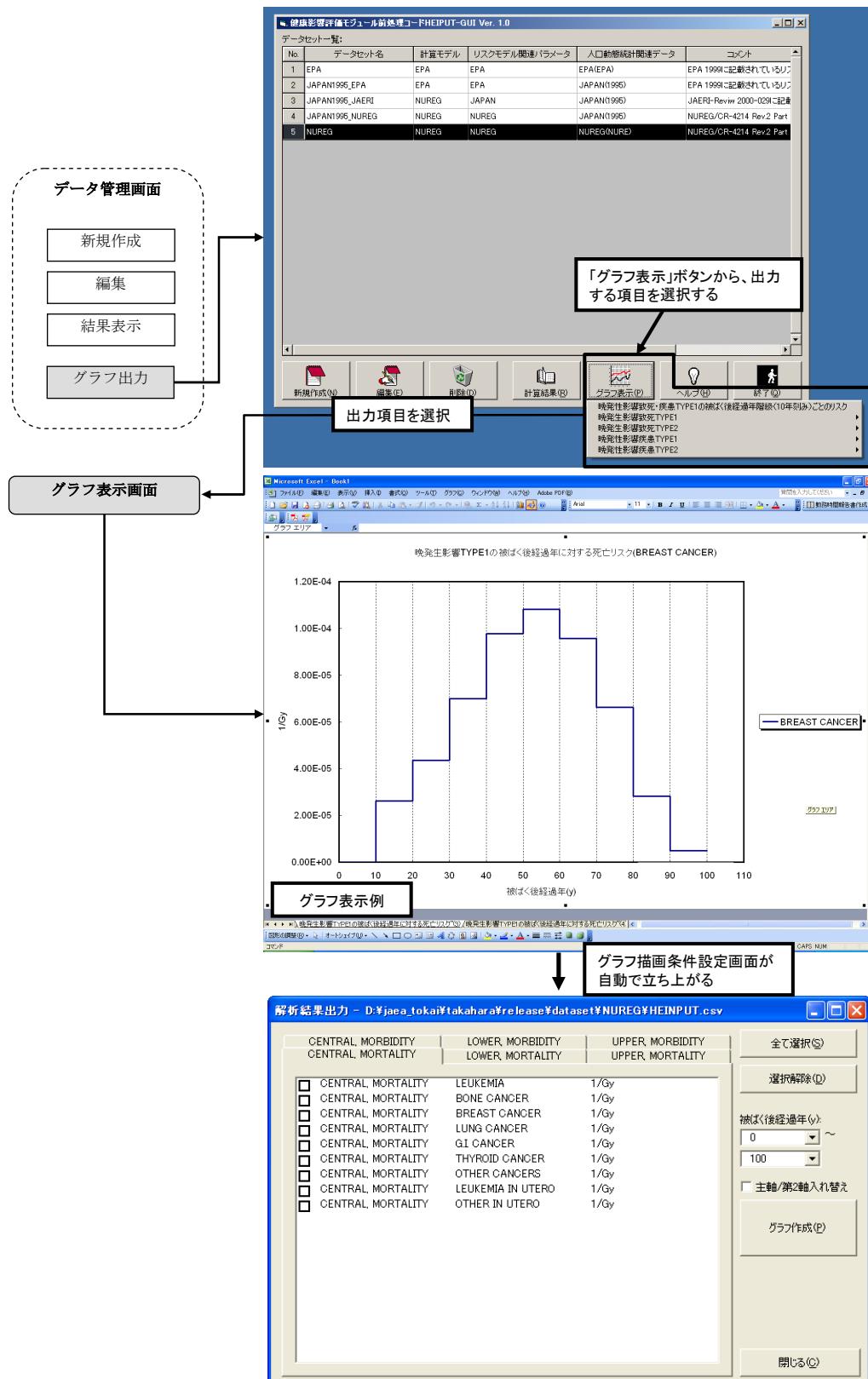


図 5.7 グラフ表示

## 6. まとめ

本報告書では、放射線による晩発性健康影響評価のための計算コード HEINPUT の改良と、HEINPUT-GUI の作成を行った。改良では、放射線被ばくによる晩発性身体影響（がん死亡及びがん罹患）の評価モデルとして、米国環境保護庁（EPA）によるモデルを利用できるようにし、同モデルのためのライブラリデータを整理した。計算の結果は、確率論的事故時影響評価のためのOSCAAR-HE の入力形式に合わせて出力されるとともに、標準的な晩発性健康影響評価に用いることが可能である。HEINPUT による計算結果と EPA 402-R-99-001 に報告されている結果を比較したところ両者はよく一致しており、EPA による同報告書の計算を再現しているものと考えられる。また計算の設定、実行及び結果閲覧を容易に行うことのできる GUI を作成した。

一方、晩発健康影響に関するモデルの変更（例：到達時間に依存したリスク係数の考慮、 $\alpha$  線による被ばくの考慮）や、より正確な入力データを用いた計算（例：1 歳刻みのデータを使用した計算）の実施などが今後の検討課題である。

## 謝辞

HEINPUT コードの改良及び HEINPUT-GUI の作成にあたり、松原武史氏、斎藤税氏、及び西巻祐一郎氏（以上、（株）ヴィジブル インフォメーション センター）の諸氏に感謝いたします。

## 参考文献

- EPA, 1994, "Estimating Radiogenic Cancer Risks," United Environmental Protection Agency, EPA 402-R-93-076, June 1994.
- EPA, 1999, "Cancer Risk Coefficients for Environmental Exposure to Radionuclide," United Environmental Protection Agency, EPA 402-R-99-001, September 1999.
- HOMMA T., O. TOGAWA and T. IIJIMA, 1990, "Development of accident consequence assessment code at JAERI," Proceedings of the Seminar on Methods and Codes for Assessing the Off-Site Consequences of Nuclear Accidents, Athens, May EUR 13013/2 1049-1063.
- HOMMA T., K. Tomita and S. Hato, 2005, "Uncertainty and sensitivity studies with the probabilistic accident consequence assessment code OSCAAR," NUCLEAR ENGINEERING AND TECHNOLOGY, VOL. 37, No. 3.
- USNRC, 1985, "Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis," NUREG/CR-4214.
- USNRC, 1990, "Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis, Low LET Radiation Part I : Introduction, Integration and Summary," NUREG/CR-4214, SAND 85-7185, Rev.1, Part I .
- USNRC, 1989, "Health Effects Models fo Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis, Low LET Radiation, Part II : Scientific Bases for Health Effects Models," NUREG/CR-4214, SAND85-7185, Rev.1, Part II .
- USNRC, 1993, "Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis, Part I : Introduction, Integration and Summary," NUREG/CR-4214 Rev.2, Part I , ITRI-141.
- Preston D. L., Y. Shimizu, D. A. Pierce, A. Toyama and K. Mabuchi, 2003, "Studies of Mortality of Atomic Bomb Survivors. Report 13: Solid Cancer and Noncancer Disease Mortality: 1950-1997," Radiation Effects Research Foundation, RERF Report No. 24-02.
- Shimizu Y., H. Kato and J.S. William, 1990, "Life Span Study Report 11 Part 2. Cancer Mortality in the years 1950-85 based on the recently revised dose (DS86)," Radiation Effects Research Foundation, RERF TR 5-88.
- 外川織彦、本間俊充、益村朋美, 1999, "放射線による晩発性身体的影響と遺伝的影響を推定するための計算コード HEINPUT," 日本原子力研究所, JAERI-Data/Code 99-002.
- 本間俊充、高橋知之、米原英典編, 2000, "原子炉事故時放射線影響解析で用いるための健康影響モデル (2) ," 日本原子力研究所、JAERI-Review 2000-029.

## 付録 HEINPUT ライブラリデータ

### 1. NUREG モデルを用いた計算のためのライブラリデータ

#### 1.1 NUREG/CR-4214 Rev.2, Part I (USNRC,1993) に基づくデータ

表番号	ファイル名	データの内容
付表 1.1	RISKCENT.DAT	晩発性影響中央値推定のためのパラメータ
付表 1.2	RISKLOW.DAT	晩発性影響下限値推定のためのパラメータ
付表 1.3	RISKUP.DAT	晩発性影響上限値推定のためのパラメータ
付表 1.4	GENECENT.DAT	遺伝的影響中央値推定のためのパラメータ
付表 1.5	GENELOW.DAT	遺伝的影響下限値推定のためのパラメータ
付表 1.6	GENEUP.DAT	遺伝的影響上限値推定のためのパラメータ
付表 1.7	FP.DAT	年齢階級別人口割合
付表 1.8	SP.DAT	年齢階級別全死亡率
付表 1.9	MORBID.DAT	年齢階級別の自然発生がんの発症率
付表 1.10	MORTAL.DAT	年齢階級別の自然発生がんによる死亡率
付表 1.11	BP.DAT	年齢階級別女子の出産率
付表 1.12	BTG.DAT	出生率、一世代の期間
付表 1.13	PARAM1.DAT	胎児と新生児の割合

付表 1.1 晚発性影響中央値推定に使用するリスクモデルパラメータ (RISKCENT.DAT)

INDEX	EFFECT	MODEL	LAT.	PLA.	MIN.	MORTALI.	MORBIDI.	DDREF
14	LEUKEMIA	A 0	2	25	0	4.5E-4	0.0	2.0
15	BONE CANCER	A 0	2	25	0	5.0E-6	0.0	2.0
16	BREAST CANCER	RM	10	999	30	0.0	0.0	1.0
		RF19	10	999	30	0.70	0.70	1.0
		RF39	10	999	30	0.30	0.30	1.0
		RF	10	999	30	0.10	0.10	1.0
17	LUNG CANCER	R19	10	999	40	0.60	0.60	2.0
		R 0	10	999	40	0.30	0.30	2.0
18	GI. CANCER	R19	10	999	0	1.20	1.20	2.0
		R	10	999	0	0.40	0.40	2.0
19	THYROID CANCER	AM19	5	999	0	2.5E-5	2.5E-4	0.0
		AM	5	999	0	1.25E-5	1.25E-4	0.0
		AF	5	999	0	2.5E-5	2.5E-4	0.0
20	SKIN CANCER	R 0	10	999	0	0.0	0.50	2.0
21	OTHER CANCERS	R 19	10	999	0	1.10	1.10	2.0
		R	10	999	0	0.25	0.25	2.0
22	LEUKEMIA IN UTERO	A 0	0	12	0	2.30E-2	0.0	0.0
23	OTHER IN UTERO	A 0	0	12	0	2.30E-2	0.0	0.0
24	THYROID NODULES	AM19	10	999	0	0.0	9.3E-4	0.0
		AM	10	999	0	0.0	4.65E-4	0.0
		AF	10	999	0	0.0	9.3E-4	0.0

付表 1.2 晚発性影響下限値推定に使用するリスクモデルパラメータ (RISKLOW.DAT)

INDEX	EFFECT	MODEL	LAT.	PLA.	MIN.	MORTALI.	MORBIDI.	DDREF
14	LEUKEMIA	A 0	2	25	0	4.5E-4	0.0	4.0
15	BONE CANCER	A 0	2	25	0	5.0E-6	0.0	4.0
16	BREAST CANCER	AM 0	10	999	30	0.0	0.0	1.0
		AF 0	10	999	30	2.60E-4	7.4E-4	4.0
17	LUNG CANCER	A 0	10	999	40	2.50E-4	2.7E-4	4.0
18	GI. CANCER	A 0	10	999	0	4.00E-4	6.8E-4	4.0
19	THYROID CANCER	AM19	5	999	0	2.5E-5	2.5E-4	0.0
		AM	5	999	0	1.25E-5	1.25E-4	0.0
		AF	5	999	0	2.5E-5	2.5E-4	0.0
20	SKIN CANCER	A 0	10	999	0	0.0	6.70E-4	4.0
21	OTHER CANCERS	A 0	10 0	999	0	3.50E-4	6.8E-4	4.0
22	LEUKEMIA IN UTERO	A 0	0	12	0	2.30E-2	0.0	0.0
23	OTHER IN UTERO	A 0	0	12	0	2.30E-2	0.0	0.0
24	THYROID NODULES	AM19	10	999	0	0.0	9.3E-4	0.0
		AM	10	999	0	0.0	4.65E-4	0.0
		AF	10	999	0	0.0	9.3E-4	0.0

付表 1.3 晩発性影響上限値推定に使用するリスクモデルパラメータ (RISKUP.DAT)

INDEX	EFFECT	MODEL	LAT.	PLA.	MIN.	MORTALI.	MORBIDI.	DDREF
14	LEUKEMIA	A 0	2	25	0	4.5E-4	0.0	1.0
15	BONE CANCER	A 0	2	25	0	5.0E-6	0.0	1.0
16	BREAST CANCER	RM	10	999	30	0.0	0.0	1.0
		RF19	10	999	30	2.60E-4	7.4E-4	1.0
		RF	10	999	30	0.40	0.40	1.0
17	LUNG CANCER	R 19	10	999	40	1.50	1.50	1.0
		R	10	999	40	0.50	0.50	1.0
18	GI. CANCER	R 19	10	999	0	1.20	1.20	1.0
		R	10	999	0	0.40	0.40	1.0
19	THYROID CANCER	AM19	5	999	0	2.5E-5	2.5E-4	0.0
		AM	5	999	0	1.25E-5	1.25E-4	0.0
		AF	5	999	0	2.5E-5	2.5E-4	0.0
20	SKIN CANCER	R 0	10	999	0	0.0	0.5	1.0
21	OTHER CANCERS	R 19	10	999	0	1.10	1.10	1.0
		R	10	999	0	0.25	0.25	1.0
22	LEUKEMIA IN UTERO	A 0	0	12	0	3.00E-2	0.0	0.0
23	OTHER IN UTERO	A 0	0	12	0	3.00E-2	0.0	0.0
24	THYROID NODULES	AM19	10	999	0	0.0	9.3E-4	0.0
		AM	10	999	0	0.0	4.65E-4	0.0
		AF	10	999	0	0.0	9.3E-4	0.0

付表 1.4 遺伝的影響中央値推定に使用するリスクモデルパラメータ (GENECENT.DAT)

INDEX	EFFECT	M	ALPHA	BETA	T	LOWR(1)	HIGHR(1)
25	SINGLE DOMINANT		3.0E-3	3.0E-3	0.8		
26	SINGLE X-LINKED		1.8E-3	1.8E-3	0.8		
27	CHROMOSOME NUMERI.		1.0E-3				
28	CHROMOSOME STRUCT.		1.2E-3	1.2E-3			
29	CONGENITAL ANOMALY					1.5E-3	3.0E-3
30	CARDIOVASCULAR					3.8E-2	7.6E-2
31	CANCER					1.9E-2	3.8E-2
32	SELECTED OTHER					1.9E-2	3.8E-2
33	PREGNANCY NUMERI.		9.0E-3				
34.	PREGNANCY STRUCT		1.1E-2	1.1E-2			

付表 1.5 遺伝的晚発性影響下限値推定に使用するリスクモデルパラメータ (RISKLOW.DAT)

INDEX	EFFECT	M	ALPHA	BETA	T	LOWR(1)	HIGHR(1)
25	SINGLE DOMINANT	M	4.8E-4	4.8E-4	0.8		
26	SINGLE X-LINKED	M	2.9E-4	2.9E-4	0.8		
27	CHROMOSOME NUMERI.	M	0.0E+0				
28	CHROMOSOME STRUCT.	M	1.3E-4	1.3E-4			
29	CONGENITAL ANOMALY	M				0.5E-3	1.0E-3
30	CARDIOVASCULAR	M				3.8E-2	7.6E-2
31	CANCER	M				1.9E-2	3.8E-2
32	SELECTED OTHER	M				1.9E-2	3.8E-2
33	PREGNANCY NUMERI.	M	0.0E+0				
34.	PREGNANCY STRUCT	M	1.2E-3	1.2E-3			

付表 1.6 遺伝的晚発性影響上限値推定に使用するリスクモデルパラメータ (RISKUP.DAT)

INDEX	EFFECT	M	ALPHA	BETA	T	LOWR(1)	HIGHR(1)
25	SINGLE DOMINANT	M	8.8E-3	8.8E-3	0.8		
26	SINGLE X-LINKED	M	7.2E-3	7.2E-3	0.8		
27	CHROMOSOME NUMERI.	M	3.0E-3				
28	CHROMOSOME STRUCT.	M	8.4E-3	8.4E-3			
29	CONGENITAL ANOMALY	M				4.8E-3	9.6E-3
30	CARDIOVASCULAR	M				3.8E-1	7.6E-1
31	CANCER	M				1.9E-1	3.8E-1
32	SELECTED OTHER	M				1.9E-1	3.8E-1
33	PREGNANCY NUMERI.	M	2.8E-2				
34.	PREGNANCY STRUCT	M	7.8E-2	7.8E-2			

付表 1.7 年齢階級別人口割合 (FP.DAT)

*NUM.	MAN	WOMAN	TOTAL	NURE
1	0.0369	0.0353	0.0722	
2	0.0377	0.0360	0.0737	
3	0.0411	0.0394	0.0805	
4	0.0475	0.0460	0.0934	
5	0.0471	0.0470	0.0941	
6	0.0428	0.0433	0.0862	
7	0.0383	0.0392	0.0775	
8	0.0303	0.0314	0.0616	
9	0.0252	0.0263	0.0515	
10	0.0238	0.0252	0.0489	
11	0.0248	0.0269	0.0517	
12	0.0242	0.0271	0.0513	
13	0.0206	0.0239	0.0445	
14	0.0172	0.0215	0.0388	
15	0.0126	0.0174	0.0300	
16	0.0082	0.0130	0.0212	
17	0.0045	0.0085	0.0130	
18	0.0021	0.0046	0.0067	
19	0.0007	0.0018	0.0025	
20	0.0002	0.0005	0.0007	

\* 1歳刻みで与えられているデータを、5歳刻みの階級に対する値に変換している。

付表 1.8 年齢階級別全死亡率 (SP.DAT)

*NUM.	MAN	WOMAN	TOTAL	NURE
1	3.37E-03	2.69E-03	3.04E-03	
2	3.52E-04	2.47E-04	3.01E-04	
3	3.83E-04	2.27E-04	3.07E-04	
4	1.34E-03	5.04E-04	9.28E-04	
5	1.97E-03	6.14E-04	1.29E-03	
6	1.94E-03	6.79E-04	1.31E-03	
7	1.95E-03	8.44E-04	1.39E-03	
8	2.46E-03	1.26E-03	1.85E-03	
9	3.66E-03	2.00E-03	2.81E-03	
10	5.83E-03	3.18E-03	4.47E-03	
11	9.30E-03	4.94E-03	7.03E-03	
12	1.43E-02	7.39E-03	1.07E-02	
13	2.21E-02	1.13E-02	1.63E-02	
14	3.30E-02	1.68E-02	2.40E-02	
15	4.92E-02	2.61E-02	3.59E-02	
16	7.14E-02	4.11E-02	5.29E-02	
17	1.06E-01	6.92E-02	8.20E-02	
18	1.52E-01	1.12E-01	1.25E-01	
19	2.10E-01	1.70E-01	1.81E-01	
20	2.50E-01	2.09E-01	2.20E-01	

\*1 歳刻みで与えられているデータを、5 歳刻みの階級に対する値に変換している。

付表 1.9 自然発生のがんによる死亡率 (MORTAL.DAT)

*NUM.	BREAST	LUNG	GASTRO	OTHER	TOTAL	NUREG	1
1	0.00E+00	0.00E+00	2.00E-06	2.90E-05			
2	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-06	2.10E-05			
3	0.00E+00	0.00E+00	1.00E-06	1.70E-05			
4	0.00E+00	0.00E+00	2.00E-06	2.70E-05			
5	2.00E-065	1.00E-06	4.00E-06	3.90E-0			
6	1.20E-05	3.00E-06	1.00E-05	5.90E-05			
7	5.60E-05	1.30E-05	2.40E-05	8.20E-05			
8	1.17E-04	4.80E-05	5.20E-05	1.23E-04			
9	2.29E-04	1.51E-04	1.18E-04	2.36E-04			
10	4.14E-04	3.62E-04	2.50E-04	4.16E-04			
11	6.01E-04	7.06E-04	4.81E-04	6.95E-04			
12	7.59E-04	1.10E-03	7.91E-04	1.04E-03			
13	9.14E-04	1.66E-03	1.33E-03	1.57E-03			
14	8.99E-04	2.01E-03	1.84E-03	1.97E-03			
15	1.11E-03	2.38E-03	2.67E-03	2.60E-03			
16	1.28E-03	2.45E-03	3.76E-03	3.41E-03			
17	1.40E-03	2.18E-03	4.67E-03	3.94E-03			
18	1.57E-03	1.47E-03	5.13E-03	4.09E-03			
19	1.57E-03	1.47E-03	5.13E-03	4.09E-03			
20	1.57E-03	1.47E-03	5.13E-03	4.09E-03			

付表 1.10 自然発生のがんの罹患率 (MORBID.DAT)

*NUM.	BREAST	LUNG	GASTRO	OTHER	TOTAL	NUREG	1
1	0.00E+00	0.00E+00	7.00E-06	9.50E-05			
2	0.00E+00	0.00E+00	2.00E-06	5.60E-05			
3	0.00E+00	1.00E-06	3.00E-06	6.10E-05			
4	2.00E-06	2.00E-06	5.00E-06	1.07E-04			
5	1.10E-05	2.00E-06	1.30E-05	1.83E-04			
6	8.30E-05	7.00E-06	2.40E-05	2.59E-04			
7	2.67E-04	2.30E-05	5.50E-05	3.41E-04			
8	5.72E-04	7.10E-05	1.19E-04	4.53E-04			
9	1.06E-03	2.04E-04	2.49E-04	7.06E-04			
10	1.74E-03	4.77E-04	5.02E-04	1.14E-03			
11	1.96E-03	7.98E-04	8.94E-04	1.87E-03			
12	2.29E-03	1.30E-03	1.56E-03	2.78E-03			
13	2.51E-03	1.86E-03	2.41E-03	3.52E-03			
14	2.83E-03	2.36E-03	3.51E-03	4.20E-03			
15	3.02E-03	2.59E-03	4.75E-03	4.90E-03			
16	3.38E-03	2.56E-03	6.18E-03	5.64E-03			
17	3.50E-03	2.11E-03	7.09E-03	5.86E-03			
18	3.76E-03	1.66E-03	7.96E-03	6.11E-03			
19	3.76E-03	1.66E-03	7.96E-03	6.11E-03			
20	3.76E-03	1.66E-03	7.96E-03	6.11E-03			

付表 1.11 年齢階級別女子の出産率 (BP.DAT)

\*\*女子の出産率データ

*NUM.	BP	NURE
1	0.	
2	0.	
3	1.09E-3	
4	5.30E-2	
5	1.15E-1	
6	1.13E-1	
7	6.19E-2	
8	1.98E-2	
9	3.87E-3	
10	2.11E-4	
11	0.	
12	0.	
13	0.	
14	0.	
15	0.	
16	0.	
17	0.	
18	0.	
19	0.	
20	0.	

付表 1.12 出生率、一世代の期間 (BTG DAT)

\*\*粗出生率と一世代の期間のデータ

*	B	TG
NURE	1.6E-2	31.25

付表 1.13 胎児と新生児の割合 (PARAM1.DAT)

*NEN	FM	FS	FI	FFM	FFW	FFF
NURE	7.0000E-01	2.0000E-01	1.0000E-01	4.0000E-01	3.5000E-01	1.0000E-02

## 1.2 JAERI-Review 2000-029に基づくデータ

表番号	ファイル名	データの内容
付表 1.14	RISKCENT.DAT	晩発性影響中央値推定のためのパラメータ
付表 1.15	RISKLOW.DAT	晩発性影響下限値推定のためのパラメータ
付表 1.16	RISKUP.DAT	晩発性影響上限値推定のためのパラメータ
付表 1.17	GENECENT.DAT	遺伝的影響中央値推定のためのパラメータ
付表 1.18	GENELOW.DAT	遺伝的影響下限値推定のためのパラメータ
付表 1.19	GENEUP.DAT	遺伝的影響上限値推定のためのパラメータ
付表 1.20	FP.DAT	年齢階級別人口割合
付表 1.21	SP.DAT	年齢階級別全死亡率
付表 1.22	MORBID.DAT	年齢階級別の自然発生がんの発症率
付表 1.23	MORTAL.DAT	年齢階級別の自然発生がんによる死亡率
付表 1.24	BP.DAT	年齢階級別女子の出産率
付表 1.25	BTG.DAT	出生率、一世代の期間
付表 1.26	PARAM1.DAT	胎児と新生児の割合

付表 1.14 JAERI-Review 2000-029 による晩発性影響中央値推定のためのパラメータ (RISKCENT.DAT)

INDEX	EFFECT	MODEL	LAT.	PLA.	MIN.	MORTALI.	MORBIDI.	DDREF
14	LEUKEMIA	A 0	2	25	0	2.94E-04	9.50E-05	2
15	BONE CANCER	A 0	2	25	0	5.50E-06	0	2
16	BREAST CANCER	RM	10	999	30	0	0	1
		RF 9	10	999	30	3.2	3.2	1
		RF19	10	999	30	2.6	2.6	1
		RF39	10	999	30	1.2	1.2	1
		RF	10	999	30	0.6	0.6	1
17	LUNG CANCER	RM	10	999	40	0.5	0.5	2
		RF	10	999	40	1.9	1.9	2
18	GI. CANCER	R 29	10	999	0	0.7	0.7	2
		R	10	999	0	0.3	0.3	2
19	THYROID CANCER	A 15	5	999	0	1.50E-05	1.50E-04	1
		A	5	999	0	1.00E-06	1.00E-05	1
20	SKIN CANCER	R 9	10	999	0	0	6.5	2
		R 19	10	999	0	0	2.2	2
		R 39	10	999	0	0	1.1	2
		R	10	999	0	0	0.3	2
21	OTHER CANCERS	A 0	10	999	0	0	0	0
22	LEUKEMIA IN UTERO	A 0	0	12	0	0	6.57E-04	1
23	OTHER IN UTERO	A 0	0	12	0	0	6.57E-04	1
24	THYROID NODULES	AM19	10	999	0	0	9.30E-04	1
		AM	10	999	0	0	4.65E-04	1
		AF	10	999	0	0	9.30E-04	1

付表 1.15 JAERI-Review 2000-029 による晩発性影響下限値推定のためのパラメータ (RISKLOW.DAT)

INDEX	EFFECT	MODEL	LAT.	PLA.	MIN.	MORTALI.	MORBIDI.	DDREF
14	LEUKEMIA	A 0	2	25	0.00E+00	2.94E-04	9.50E-05	4
15	BONE CANCER	A 0	2	25	0.00E+00	5.50E-06	0	4
16	BREAST CANCER	RM	10	999	30	0	0	4
		RF 9	10	999	30	3.2	3.2	4
		RF19	10	999	30	2.6	2.6	4
		RF39	10	999	30	1.2	1.2	4
		RF	10	999	30	0.6	0.6	4
17	LUNG CANCER	RM	10	999	40	0.5	0.5	4
		RF	10	999	40	1.9	1.9	4
18	GI. CANCER	R 29	10	999	0	0.7	0.7	4
		R	10	999	0	0.3	0.3	4
19	THYROID CANCER	A 15	5	999	0.00E+00	9.00E-06	9.00E-05	1
		A	5	999	0.00E+00	1.00E-06	1.00E-05	1
20	SKIN CANCER	R 9	10	999	0	0	6.5	4
		R 19	10	999	0	0	2.2	4
		R 39	10	999	0	0	1.1	4
		R	10	999	0	0	0.3	4
21	OTHER CANCERS	A 0	10	999	0	0	0	0
22	LEUKEMIA IN UTERO	A 0	0	12	0	0.00E+00	5.20E-04	1
23	OTHER IN UTERO	A 0	0	12	0	0.00E+00	5.20E-04	1
24	THYROID NODULES	AM19	10	999	0	0.00E+00	9.30E-04	1
		AM	10	999	0	0.00E+00	4.65E-04	1
		AF	10	999	0	0.00E+00	9.30E-04	1

付表 1.16 JAERI-Review 2000-029 による晩発性影響上限値推定のためのパラメータ (RISKUP.DAT)

INDEX	EFFECT	MODEL	LAT.	PLA.	MIN.	MORTALI.	MORBIDI.	DDREF
14	LEUKEMIA	A 0	2	25	0	2.94E-04	9.50E-05	1
15	BONE CANCER	A 0	2	25	0	5.50E-06	0.00E+00	1
16	BREAST CANCER	RM	10	999	30	0.00E+00	0.00E+00	1
		RF 9	10	999	30	3.2	3.2	1
		RF19	10	999	30	2.6	2.6	1
		RF39	10	999	30	1.2	1.2	1
		RF	10	999	30	0.6	0.6	1
17	LUNG CANCER	RM	10	999	40	0.5	0.5	1
		RF	10	999	40	1.9	1.9	1
18	GI. CANCER	R 29	10	999	0	0.7	0.7	1
		R	10	999	0	0.3	0.3	1
19	THYROID CANCER	A 15	5	999	0	4.40E-05	4.40E-04	1
		A	5	999	0	4.00E-06	4.00E-05	1
20	SKIN CANCER	R 9	10	999	0	0.00E+00	6.50E+00	1
		R 19	10	999	0	0	2.2	1
		R 39	10	999	0	0	1.1	1
		R	10	999	0	0	0.3	1
21	OTHER CANCERS	A 0	10	999	0	0	0	0
22	LEUKEMIA IN UTERO	A 0	0	12	0	0	2.17E-02	1
23	OTHER IN UTERO	A 0	0	12	0	0	2.17E-02	1
24	THYROID NODULES	AM19	10	999	0	0	9.30E-04	1
		AM	10	999	0	0	4.65E-04	1
		AF	10	999	0	0	9.30E-04	1

付表 1.17 JAERI-Review 2000-029 による遺伝的影響中央値推定のためのパラメータ (GENECENT.DAT)

INDEX	EFFECT	M	ALPHA	BETA	T	LOWR(1)	HIGHR(1)
25	SINGLE DOMINANT		3.00E-03	3.00E-03	0.8		
26	SINGLE X-LINKED		1.80E-03	1.80E-03	0.8		
27	CHROMOSOME NUMERI.		1.00E-03				
28	CHROMOSOME STRUCT		1.30E-03	1.30E-03	0.4		
29	MULTIFACTORIAL					7.20E-03	1.44E-02

付表 1.18 JAERI-Review 2000-029 による遺伝的影響下限値推定のためのパラメータ (GENELOW.DAT)

INDEX	EFFECT	M	ALPHA	BETA	T	LOWR(1)	HIGHR(1)
25	SINGLE DOMINANT	M	5.00E-04	5.00E-04	1		
26	SINGLE X-LINKED	M	2.88E-04	2.88E-04	1		
27	CHROMOSOME NUMERI.	M	0				
28	CHROMOSOME STRUCT.	M	8.00E-05	8.00E-05	0		
29	MULTIFACTORIAL	M				4.60E-03	9.20E-03

付表 1.19 JAERI-Review 2000-029 による遺伝的影響上限値推定のためのパラメータ (GENEUP.DAT)

INDEX	EFFECT	M	ALPHA	BETA	T	LOWR(1)	HIGHR(1)
25	SINGLE DOMINANT		9.00E-03	9.00E-03	1		
26	SINGLE X-LINKED		7.20E-03	7.20E-03	1		
27	CHROMOSOME NUMERI.		3.00E-03				
28	CHROMOSOME STRUCT.		3.25E-03	3.25E-03	0		
29	MULTIFACTORIAL					9.12E-02	1.82E-01

付表 1.20 日本人集団のための年齢階級別人口割合 (FP.DAT)

例 : 1995 年の年齢階級別人口割合 (第 18 回完全生命表より)

*NUM.	MAN	WOMAN	TOTAL
1	0.0245	0.0233	0.0479
2	0.0268	0.0255	0.0522
3	0.0306	0.0292	0.0597
4	0.035	0.0333	0.0683
5	0.0401	0.0385	0.0786
6	0.0352	0.0341	0.0693
7	0.0325	0.0316	0.0641
8	0.0313	0.0307	0.062
9	0.0361	0.0357	0.0717
10	0.0426	0.0423	0.0848
11	0.0354	0.036	0.0713
12	0.0313	0.0324	0.0637
13	0.029	0.0309	0.0599
14	0.024	0.0272	0.0513
15	0.0155	0.0221	0.0376
16	0.0101	0.0163	0.0264
17	0.0066	0.0118	0.0185
18	0.0029	0.0062	0.0091
19	0.0008	0.0021	0.003
20	0.0001	0.0004	0.0006

付表 1.21 日本人集団のための年齢階級別全死亡率 (SP.DAT)

例 : 1995 年の年齢階級別人口割合 (第 18 回完全生命表より)

*NUM.	MAN	WOMAN	TOTAL
1	1.29E-03	1.07E-03	1.18E-03
2	2.20E-04	1.51E-04	1.85E-04
3	1.89E-04	1.29E-04	1.59E-04
4	5.37E-04	2.24E-04	3.80E-04
5	7.37E-04	3.03E-04	5.19E-04
6	7.32E-04	3.33E-04	5.32E-04
7	8.29E-04	4.66E-04	6.46E-04
8	1.14E-03	6.35E-04	8.85E-04
9	1.79E-03	1.01E-03	1.39E-03
10	3.06E-03	1.66E-03	2.36E-03
11	4.94E-03	2.46E-03	3.68E-03
12	7.80E-03	3.52E-03	5.61E-03
13	1.31E-02	5.52E-03	9.18E-03
14	2.01E-02	8.69E-03	1.41E-02
15	3.20E-02	1.52E-02	2.29E-02
16	5.39E-02	2.84E-02	3.93E-02
17	9.16E-02	5.37E-02	6.85E-02
18	1.50E-01	1.00E-01	1.17E-01
19	2.25E-01	1.67E-01	1.83E-01
20	2.25E-01	1.67E-01	1.83E-01

付表 1.22 日本人集団他のための年齢階級別の自然発生がんの罹患率 (MORBID.DAT)

例：1995 年の年齢階級別の自然発生がん罹患率 (第 18 回完全生命表より)

## 男性

*NUM.	BREAST	LUNG	GASTRO	OTHER
1	0.00E+00	0.00E+00	2.00E-06	1.28E-04
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.90E-05
3	0.00E+00	1.00E-06	0.00E+00	5.40E-05
4	0.00E+00	1.00E-06	2.00E-06	6.20E-05
5	0.00E+00	4.00E-06	1.60E-05	1.01E-04
6	0.00E+00	4.00E-06	4.10E-05	1.25E-04
7	0.00E+00	1.40E-05	1.02E-04	1.70E-04
8	0.00E+00	4.90E-05	2.69E-04	2.73E-04
9	0.00E+00	1.05E-04	5.87E-04	4.52E-04
10	0.00E+00	1.75E-04	1.21E-03	8.47E-04
11	0.00E+00	3.42E-04	2.17E-03	1.48E-03
12	0.00E+00	5.96E-04	3.69E-03	2.53E-03
13	0.00E+00	1.36E-03	5.95E-03	4.82E-03
14	0.00E+00	2.64E-03	8.71E-03	7.69E-03
15	0.00E+00	4.01E-03	1.11E-02	1.05E-02
16	0.00E+00	5.22E-03	1.29E-02	1.30E-02
17	0.00E+00	6.12E-03	1.55E-02	1.59E-02
18	0.00E+00	6.33E-03	1.66E-02	1.81E-02
19	0.00E+00	6.33E-03	1.66E-02	1.81E-02
20	0.00E+00	6.33E-03	1.66E-02	1.81E-02

## 女性

*NUM	BREAST	LUNG	GASTRO	OTHER
1	0.00E+00	2.00E-06	0.00E+00	1.09E-04
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.90E-05
3	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.60E-05
4	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.80E-05
5	9.00E-06	2.00E-06	1.30E-05	8.50E-05
6	4.10E-05	4.00E-06	4.70E-05	1.85E-04
7	1.32E-04	1.10E-05	1.16E-04	4.68E-04
8	4.02E-04	2.40E-05	2.27E-04	5.74E-04
9	7.62E-04	6.70E-05	4.40E-04	6.76E-04
10	1.17E-03	1.15E-04	7.28E-04	9.45E-04
11	9.31E-04	1.57E-04	1.10E-03	1.07E-03
12	8.34E-04	2.58E-04	1.63E-03	1.43E-03
13	8.39E-04	4.05E-04	2.30E-03	1.94E-03
14	8.74E-04	6.04E-04	3.25E-03	2.66E-03
15	8.47E-04	9.43E-04	4.75E-03	3.51E-03
16	7.46E-04	1.23E-03	5.91E-03	4.27E-03
17	6.66E-04	1.51E-03	7.63E-03	5.31E-03
18	6.13E-04	1.88E-03	9.39E-03	6.31E-03
19	6.13E-04	1.88E-03	9.39E-03	6.31E-03
20	6.13E-04	1.88E-03	9.39E-03	6.31E-03

## 合計

*NUM	BREAST	LUNG	GASTRO	OTHER
1	0.00E+00	2.00E-06	2.00E-06	2.37E-04
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.80E-05
3	0.00E+00	1.00E-06	1.00E-06	1.10E-04
4	0.00E+00	1.00E-06	7.00E-06	1.20E-04
5	9.00E-06	6.00E-06	2.90E-05	1.86E-04
6	4.10E-05	8.00E-06	8.80E-05	3.10E-04
7	1.32E-04	2.50E-05	2.18E-04	6.38E-04
8	4.02E-04	7.30E-05	4.96E-04	8.47E-04
9	7.62E-04	1.72E-04	1.03E-03	1.13E-03
10	1.17E-03	2.90E-04	1.93E-03	1.79E-03
11	9.31E-04	4.99E-04	3.27E-03	2.54E-03
12	8.34E-04	8.54E-04	5.32E-03	3.96E-03
13	8.39E-04	1.77E-03	8.26E-03	6.76E-03
14	8.74E-04	3.24E-03	1.20E-02	1.04E-02
15	8.47E-04	4.95E-03	1.58E-02	1.40E-02
16	7.46E-04	6.45E-03	1.88E-02	1.73E-02
17	6.66E-04	7.63E-03	2.32E-02	2.12E-02
18	6.13E-04	8.21E-03	2.60E-02	2.44E-02
19	6.13E-04	8.21E-03	2.60E-02	2.44E-02
20	6.13E-04	8.21E-03	2.60E-02	2.44E-02

付表 1.23 日本人集団のための年齢階級別の自然発生がんによる死亡率 (MORTAL.DAT)

例：1995 年の年齢階級別の自然発生がん死亡率（第 18 回完全生命表より）

## 男性

*NUM	BREAST	LUNG	GASTRO	OTHER
1	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.84E-05
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.23E-05
3	0.00E+00	0.00E+00	2.63E-07	1.76E-05
4	0.00E+00	6.89E-07	1.84E-06	2.39E-05
5	0.00E+00	6.02E-07	6.63E-06	2.67E-05
6	0.00E+00	2.98E-06	1.81E-05	4.00E-05
7	0.00E+00	1.16E-05	4.02E-05	4.59E-05
8	0.00E+00	2.60E-05	9.51E-05	8.18E-05
9	0.00E+00	6.45E-05	2.08E-04	1.61E-04
10	0.00E+00	1.43E-04	4.36E-04	3.14E-04
11	0.00E+00	2.59E-04	8.93E-04	6.16E-04
12	0.00E+00	4.71E-04	1.59E-03	1.11E-03
13	0.00E+00	1.05E-03	2.61E-03	2.22E-03
14	0.00E+00	2.02E-03	4.07E-03	2.92E-03
15	0.00E+00	3.16E-03	5.61E-03	3.67E-03
16	0.00E+00	4.55E-03	7.91E-03	4.84E-03
17	0.00E+00	5.76E-03	1.07E-02	6.65E-03
18	0.00E+00	5.99E-03	1.38E-02	8.71E-03
19	0.00E+00	5.99E-03	1.38E-02	8.71E-03
20	0.00E+00	5.99E-03	1.38E-02	8.71E-03

## 女性

*NUM	BREAST	LUNG	GASTRO	OTHER
1	0.00E+00	3.44E-07	0.00E+00	1.58E-05
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-05
3	2.76E-07	0.00E+00	5.52E-07	1.46E-05
4	0.00E+00	0.00E+00	9.66E-07	1.84E-05
5	1.25E-06	1.25E-06	2.72E-06	1.23E-05
6	5.89E-06	9.42E-07	1.98E-05	2.71E-05
7	2.36E-05	9.15E-06	4.60E-05	5.16E-05
8	7.28E-05	1.73E-05	9.74E-05	7.77E-05
9	1.24E-04	3.81E-05	1.78E-04	1.35E-04
10	1.86E-04	7.23E-05	3.03E-04	2.37E-04
11	2.66E-04	1.23E-04	4.54E-04	3.67E-04
12	2.53E-04	1.82E-04	6.83E-04	5.26E-04
13	2.40E-04	2.65E-04	1.05E-03	8.52E-04
14	2.50E-04	4.18E-04	1.58E-03	1.23E-03
15	2.20E-04	6.44E-04	2.42E-03	1.69E-03
16	2.47E-04	1.09E-03	3.59E-03	2.21E-03
17	2.64E-04	1.43E-03	5.61E-03	2.95E-03
18	3.28E-04	1.73E-03	7.89E-03	3.82E-03
19	3.28E-04	1.73E-03	7.89E-03	3.82E-03
20	3.28E-04	1.73E-03	7.89E-03	3.82E-03

## 合計

*NUM	BREAST	LUNG	GASTRO	OTHER
1	0.00E+00	1.68E-07	0.00E+00	1.71E-05
2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.82E-05
3	1.35E-07	0.00E+00	4.04E-07	1.62E-05
4	0.00E+00	3.53E-07	1.41E-06	2.12E-05
5	6.14E-07	9.22E-07	4.71E-06	1.97E-05
6	2.90E-06	1.97E-06	1.89E-05	3.37E-05
7	1.17E-05	1.04E-05	4.30E-05	4.87E-05
8	3.61E-05	2.17E-05	9.63E-05	7.98E-05
9	6.19E-05	5.14E-05	1.93E-04	1.48E-04
10	9.27E-05	1.08E-04	3.69E-04	2.76E-04
11	1.34E-04	1.91E-04	6.72E-04	4.90E-04
12	1.29E-04	3.24E-04	1.13E-03	8.14E-04
13	1.24E-04	6.42E-04	1.80E-03	1.52E-03
14	1.33E-04	1.17E-03	2.75E-03	2.02E-03
15	1.29E-04	1.68E-03	3.73E-03	2.51E-03
16	1.52E-04	2.41E-03	5.25E-03	3.22E-03
17	1.69E-04	2.98E-03	7.45E-03	4.27E-03
18	2.28E-04	3.02E-03	9.69E-03	5.30E-03
19	2.28E-04	3.02E-03	9.69E-03	5.30E-03
20	2.28E-04	3.02E-03	9.69E-03	5.30E-03

**2. EPA 402-R-99-001 (EPA,1999) に基づくデータ**

表番号	ファイル名	データの内容
付表 2.1	RISKEPAM. DAT	晩発性影響中央値推定のためのパラメータ（男性）
付表 2.2	RISKEPAF. DAT	晩発性影響中央値推定のためのパラメータ（女性）
付表 1.7	FP. DAT	年齢階級別人口割合
付表 2.3	SPEPAM. DAT SPEPAF. DAT	年齢階級別全死亡率（男性） 年齢階級別全死亡率（女性）
付表 2.4	MORTALEPAM. DAT	年齢階級別の自然発生がん死亡数（男性）
付表 2.5	MORTALEPAF. DAT	年齢階級別の自然発生がん死亡数（女性）
付表 2.6	LETHALEPA.DAT	致死割合データ

付表 2.1 晩発性影響中央値推定のためのパラメータ（男性）(RISKEPAM.DAT)

*Cancer	Type	0-9	10-19	20-29	30-39	40+	DDREF
Esophagus	R	0.2877	0.2877	0.2877	0.2877	0.2877	2
Stomach	R	1.223	1.972	2.044	0.3024	0.2745	2
Colon	R	2.290	2.290	0.2787	0.4395	0.08881	2
Liver	R	0.9877	0.9877	0.9877	0.9877	0.9877	2
Lung	R	0.4480	0.4480	0.0435	0.1315	0.1680	2
Bone	A	0.09387	0.09387	0.09387	0.09387	0.09387	2
Skin	A	0.06597	0.06597	0.06597	0.06597	0.06597	2
Breast	R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
Ovary	R	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
Bladder	R	1.037	1.037	1.037	1.037	1.037	2
Kidney	R	0.2938	0.2938	0.2938	0.2938	0.2938	2
Thyroid	A	0.1667	0.1667	0.08333	0.08333	0.08333	2
Leukemia	R	982.3	311.3	416.6	264.4	143.6	2
Residual	R	0.5349	0.5349	0.6093	0.2114	0.04071	2
#							

付表 2.2 晩発性影響中央値推定のためのパラメータ（女性）(RISKEPAF.DAT)

*Cancer	Type	0-9	10-19	20-29	30-39	40+	DDREF
Esophagus	R	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	2
Stomach	R	3.581	4.585	4.552	0.6309	0.5424	2
Colon	R	3.265	3.265	0.6182	0.8921	0.1921	2
Liver	R	0.9877	0.9877	0.9877	0.9877	0.9877	2
Lung	R	1.359	1.359	0.1620	0.4396	0.6047	2
Bone	A	0.09387	0.09387	0.09387	0.09387	0.09387	2
Skin	A	0.06597	0.06597	0.06597	0.06597	0.06597	2
Breast	R	0.7000	0.7000	0.3000	0.3000	0.1000	1
Ovary	R	0.7185	0.7185	0.7185	0.7185	0.7185	2
Bladder	R	1.049	1.049	1.049	1.049	1.049	2
Kidney	R	0.2938	0.2938	0.2938	0.2938	0.2938	2
Thyroid	A	0.333	0.333	0.1667	0.1667	0.1667	2
Leukemia	R	1176	284.9	370.0	178.8	157.1	2
Residual	R	1.122	1.122	0.8854	0.3592	0.1175	2
#							

(\*) 1 カラム目に「\*」を入力すると、その行はコメント行になる。

(#) 1 カラム目に「#」を入力すると、死亡データの終了と判断される。

付表 2.3 年齢階級別全死亡率 (SPEPAM.DAT; SPEPAF.DAT)

SPEPAM.DAT (男性)			SPEPAF.DAT (女性)		
* 生命表 : 米国 , 1989-1991	46	0.00457	* 生命表 : 米国, 1989-1991	46	0.00242
*	47	0.00496	*	47	0.00268
*	48	0.00537	* (1)死亡率	48	0.00295
* (1)死亡率	49	0.00580	*	49	0.00324
*	50	0.00630	*女性	50	0.00356
*男性	51	0.00689	*	51	0.00394
*	52	0.00755	* 年齢 死亡率	52	0.00434
*年齢 死亡率	53	0.00828	# EPA	53	0.00476
# EPA	54	0.00909	0	54	0.00520
0 0.01039	55	0.00995	1 0.00068	55	0.00566
1 0.00078	56	0.01089	2 0.00042	56	0.00618
2 0.00054	57	0.01197	3 0.00032	57	0.00677
3 0.00042	58	0.01320	4 0.00025	58	0.00745
4 0.00035	59	0.01455	5 0.00024	59	0.00819
5 0.00031	60	0.01591	6 0.00021	60	0.00895
6 0.00028	61	0.01730	7 0.00019	61	0.00972
7 0.00026	62	0.01877	8 0.00017	62	0.01055
8 0.00023	63	0.02039	9 0.00016	63	0.01146
9 0.00020	64	0.02214	10 0.00015	64	0.01244
10 0.00017	65	0.02397	11 0.00015	65	0.01348
11 0.00017	66	0.02586	12 0.00018	66	0.01456
12 0.00025	67	0.02793	13 0.00022	67	0.01574
13 0.00042	68	0.03030	14 0.00028	68	0.01709
14 0.00064	69	0.03301	15 0.00035	69	0.01865
15 0.00089	70	0.03607	16 0.00041	70	0.02042
16 0.00112	71	0.03945	17 0.00046	71	0.02239
17 0.00130	72	0.04310	18 0.00049	72	0.02457
18 0.00142	73	0.04690	19 0.00050	73	0.02688
19 0.00148	74	0.05079	20 0.00052	74	0.02930
20 0.00155	75	0.05492	21 0.00054	75	0.03181
21 0.00161	76	0.05943	22 0.00056	76	0.03456
22 0.00167	77	0.06430	23 0.00057	77	0.03772
23 0.00170	78	0.06969	24 0.00058	78	0.04151
24 0.00173	79	0.07576	25 0.00059	79	0.04599
25 0.00174	80	0.08283	26 0.00060	80	0.05106
26 0.00176	81	0.09078	27 0.00062	81	0.05659
27 0.00180	82	0.09911	28 0.00066	82	0.06265
28 0.00187	83	0.10718	29 0.00070	83	0.06919
29 0.00196	84	0.11497	30 0.00075	84	0.07631
30 0.00205	85	0.12378	31 0.00080	85	0.08446
31 0.00215	86	0.13424	32 0.00085	86	0.09376
32 0.00224	87	0.14560	33 0.00090	87	0.10379
33 0.00234	88	0.15770	34 0.00095	88	0.11442
34 0.00245	89	0.17058	35 0.00101	89	0.12590
35 0.00257	90	0.18460	36 0.00107	90	0.13918
36 0.00270	91	0.19998	37 0.00115	91	0.15417
37 0.00282	92	0.21596	38 0.00123	92	0.16951
38 0.00293	93	0.23158	39 0.00132	93	0.18440
39 0.00304	94	0.24618	40 0.00142	94	0.19922
40 0.00315	95	0.26004	41 0.00153	95	0.21475
41 0.00328	96	0.27536	42 0.00166	96	0.23143
42 0.00344	97	0.28943	43 0.00180	97	0.24775
43 0.00365	98	0.30390	44 0.00198	98	0.26375
44 0.00390	99	0.31910	45 0.00218	99	0.27957
45 0.00421	100	0.33505		100	0.29635

付表 2.4 年齢階級別の自然発生がんによる死亡数 (男性) (MORTALEPAM.DAT)

男性の自然発生によるがん死亡数データ

\* 米国

# EPA	Male	総死亡数	全悪腫瘍	食道	胃	結腸	肝臓	肺	骨	皮膚	乳房	卵巣
1	21742	47	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0
5	4041	282	0	0	0	14	1	1	0	0	0	0
10	2388	329	0	0	1	3	0	7	0	0	0	0
15	2886	310	0	0	1	5	2	24	0	0	0	0
20	11431	443	0	1	5	6	6	52	0	0	0	0
25	16098	635	1	9	18	9	9	49	5	0	0	0
30	19573	1006	6	17	44	16	32	33	18	0	0	0
35	24400	1634	16	45	87	43	126	25	39	1	0	0
40	27626	2657	50	104	185	71	419	23	36	3	0	0
45	30155	4544	149	189	297	124	1121	18	46	7	0	0
50	33393	7557	279	275	513	168	2567	23	66	9	0	0
55	41776	12302	512	439	893	254	4726	32	86	15	0	0
60	60950	20296	802	640	1533	417	8372	36	144	21	0	0
65	94280	32653	1126	969	2584	670	13578	47	186	35	0	0
70	128195	42988	1382	1285	3617	844	17163	56	192	44	0	0
75	148582	45666	1173	1389	4059	875	16705	65	201	46	0	0
80	157744	41567	891	1330	4037	752	13429	53	185	39	0	0
85	137932	30031	528	967	3149	506	8011	37	151	30	0	0
120	152818	23031	349	814	2681	340	4340	35	194	30	0	0
膀胱	腎臓	甲状腺	白血病	残り								
0	2	7	11	21								
0	9	61	90	105								
0	12	33	121	153								
0	5	9	127	137								
1	1	4	159	208								
1	8	9	155	363								
1	11	13	181	631								
7	28	13	204	1000								
17	66	16	210	1458								
39	150	24	258	2123								
66	264	27	298	3000								
151	393	36	374	4391								
291	580	57	551	6852								
614	834	78	919	11014								
883	996	87	1291	15150								
1195	1028	90	1569	17271								
1344	872	75	1524	17037								
1166	612	55	1162	13657								
1151	412	33	937	11714								

付表 2.5 年齢階級別の自然発生がんによる死亡数（女性）(MORTALEPAF.DAT)

女性の自然発生によるがん死亡数データ

\* 米国

* Female	総死亡数	全悪腫癌	食道	胃	結腸	肝臓	肺	骨	皮膚	乳房	卵巣
# EPA											
1	16516	44	0	0	0	2	1	0	0	0	0
5	3104	233	0	0	1	8	0	2	0	0	0
10	1690	262	0	0	0	3	1	7	0	0	0
15	1646	217	0	0	0	3	1	24	0	0	3
20	4101	309	0	1	4	6	4	33	1	1	8
25	4928	440	0	5	15	9	4	23	2	11	22
30	6758	854	1	23	33	8	27	13	2	130	37
35	9350	1860	3	42	81	19	91	16	2	513	819
40	11546	3382	12	70	148	38	285	12	3	1199	161
45	14874	5708	25	90	282	54	715	15	7	2133	302
50	18721	8181	51	132	455	85	1565	11	16	2624	515
55	25294	11588	97	185	752	125	2774	16	27	3165	750
60	37681	16868	185	269	1216	181	4510	19	30	3876	1048
65	60700	25257	319	439	1969	312	7106	36	50	4953	1539
70	88771	33121	393	618	2868	438	9023	45	64	5745	2028
75	113722	35476	399	800	3564	504	8963	53	82	5479	1996
80	143643	34967	393	927	4150	547	7506	52	81	5145	1816
85	163393	28444	300	896	4030	484	4502	54	85	4004	1352
120	313136	30163	331	1189	5223	500	3040	53	188	4291	1155
膀胱	腎臓	甲状腺	白血病	残り							
0	1	6	14	19							
0	9	42	79	92							
0	13	26	90	121							
0	4	9	70	103							
0	7	7	92	146							
0	6	4	102	236							
3	11	13	114	439							
6	21	12	154	810							
8	36	16	185	1210							
17	64	20	206	1778							
30	117	29	232	2318							
54	185	33	281	3145							
101	292	56	404	4681							
210	417	76	603	7230							
335	592	111	844	10016							
436	630	122	1094	11355							
580	639	144	1226	11760							
638	542	118	1189	10251							
945	530	124	1468	11125							

付表 2.6 致死割合データの入力例

\*がんの統計'99(9 主要部位別・病期別生存率%)の 5 年生存率('92～'97)を用いて、致死割合を求めた。

\*計算方法

\*(1) 100-(5 年生存率%)により男と女の致死割合を求める。

\*(2) 男女の誕生比 1.052 : 1(1997)を用いて、平均化を行う。

\*

\*がんの統計'99 と EPA1994 の ICD コードを、以下に示す。

	がんの統計'99	EPA 1994
*部位	ICD-10(ICD-9)	ICD-9
*食道	C15(150)	150
*胃	C16(151)	151
*結腸	C18(153)	153
*肝臓	C22(155)	155.0～155.2
*肺	C33,C34(162)	162
*骨	全悪性新生物で代用	170
*皮膚	C43(172)	173
*乳房	female : C50(174)	female : 174
*卵巣	全悪性新生物で代用	183.0
*膀胱	C67(188)	188
*腎臓	全悪性新生物で代用	189.0～189.1
*甲状腺	C73(193)	193
*白血病	C92(205)	(204～208)-204.1
*残り	全悪性新生物で代用	(140～208)-181-(上記)
*		

\*(注 1) 骨、乳房(男)、卵巣、腎臓、残りは、全悪性新生物(C00～C97(140～208))で代用した。

\*(注 2) 乳房、卵巣の致死割合は、性差平均を行わなかった。

\*

\*がん 致死割合

# 1995

'Esophagus'	0.532
'Stomach'	0.300
'Colon'	0.274
'Liver'	0.539
'Lung'	0.609
'Bone'	0.377
'Skin'	0.270
'Breast'	0.251
'Ovary'	0.326
'Bladder'	0.222
'Kidney'	0.377
'Thyroid'	0.149
'Leukemia'	0.478
'Residual'	0.377

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	$m^2$
体積	立方メートル	$m^3$
速度	メートル毎秒	$m/s$
加速度	メートル毎秒毎秒	$m/s^2$
波数	毎メートル	$m^{-1}$
密度	質量密度	$kg/m^3$
面積密度	キログラム毎平方メートル	$kg/m^2$
比體積	立方メートル毎キログラム	$m^3/kg$
電流密度	アンペア毎平方メートル	$A/m^2$
磁界強さ	アンペア毎メートル	$A/m$
質量濃度 <sup>(a)</sup>	モル毎立方メートル	$mol/m^3$
質量濃度 <sup>(b)</sup>	キログラム毎立方メートル	$kg/m^3$
輝度	カンデラ毎平方メートル	$cd/m^2$
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の) 1	1

(a) 量濃度(amount concentration)は臨床化学の分野では物質濃度(substance concentration)ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	$1^{(b)}$
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	$1^{(b)}$
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz	$m^2/m^2$
力	ニュートン	N	$s^{-1}$
圧力, 応力	パスカル	Pa	$N/m^2$
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	$m^2 kg s^{-2}$
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	$m^2 kg s^{-3}$
電荷, 電気量	クーロン	C	$s A$
電位差(電圧), 起電力	ボルト	V	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラード	F	$m^2 kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	$\Omega$	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	$m^2 kg^{-1} s^3 A^2$
磁束密度	テスラ	T	$Wb/m^2$
インダクタンス	スヘンリー	H	$Wb/A$
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C	K
光束密度	ルーメン	lm	cd sr <sup>(c)</sup>
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq	$lm/m^2$
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	$m^2 s^{-2}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	$J/kg$
酸素活性	カタール	kat	$m^2 s^{-2}$

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもやはコピートレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。

(g) 単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘度	バスカル秒	Pa s	$m^{-1} kg s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2 kg s^2$
表面張力	ニュートン每メートル	N/m	$kg s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m^{-1} s^{-1} = s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	$m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	$kg s^{-3}$
熱容量, エントロピー	ジユール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^2 K^{-1}$
比熱容量, 比エントロピー	ジユール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^3 s^{-2} K^{-1}$
比エネルギー	ジユール毎キログラム	J/kg	$m^2 s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m kg s^{-3} K^{-1}$
体積エネルギー	ジユール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	$m^{-1} kg s^2$
電界の強さ	ボルト每メートル	V/m	$kg s^{-3} A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	$m^3 sA$
表面電荷密度	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	$m^2 sA$
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	$m^2 sA$
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m kg s^{-2} A^{-2}$
モルエネルギー	ジユール毎モル	J/mol	$m^2 kg s^2 mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジユール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1} sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^3 s^{-3}$
放射強度	ワット每ステラジアン	W/sr	$m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放射輝度	ワット每平方メートル每ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	$m^2 m^{-2} kg s^{-3} = kg s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール每立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	$m^3 s^{-1} mol$

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
$10^{24}$	ヨタ	Y	$10^{-1}$	デシ	d
$10^{21}$	ゼタ	Z	$10^{-2}$	センチ	c
$10^{18}$	エクサ	E	$10^{-3}$	ミリ	m
$10^{15}$	ペタ	P	$10^{-6}$	マイクロ	μ
$10^{12}$	テラ	T	$10^{-9}$	ナノ	n
$10^9$	ギガ	G	$10^{-12}$	ピコ	p
$10^6$	メガ	M	$10^{-15}$	フェムト	f
$10^3$	キロ	k	$10^{-18}$	アト	a
$10^2$	ヘクト	h	$10^{-21}$	ゼット	z
$10^1$	デカ	da	$10^{-24}$	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	$1^\circ=(\pi/180) \text{ rad}$
分	'	$1'=(1/60)^\circ=(\pi/10800) \text{ rad}$
秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000) \text{ rad}$
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4 m^2$
リットル	L	$1L=1dm^3=10^3 cm^3=10^{-3} m^3$
トン	t	$1t=10^3 kg$

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602 176 53(14) \times 10^{-19} J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660 538 86(28) \times 10^{-27} kg$
統一原子質量単位	u	$1u=1 Da$
天文単位	ua	$1ua=1.495 978 706 91(6) \times 10^{11} m$

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	$1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10^5 Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	$1 mmHg=133.322 Pa$
オングストローム	Å	$1 \text{ \AA}=0.1 nm=100 pm=10^{-10} m$
海里	M	$1 M=1852 m$
バーン	b	$1 b=100 fm^2=(10^{-12} cm)^2=10^{-28} m^2$
ノット	kn	$1 kn=(1852/3600)m/s$
ナット	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「▲」は対応関係を示すものである。

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	$1 erg=10^{-7} J$
ダイニン	dyn	$1 dyn=10^{-5} N$
ボアズ	P	$1 P=1 dyn s cm^{-2}=0.1 Pa s$
ストーカス	St	$1 St=1 cm^2 s^{-1}=10^4 m^2 s^{-1}$
スチルブ	sb	$1 sb=1 cd cm^{-2}=10^4 cd m^{-2}$
フォト	ph	$1 ph=1 cd sr cm^{-2} 10^4 lx$
ガル	Gal	$1 Gal=1 cm s^{-2}=10^2 ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1 Mx=1 G cm^{-2}=10^8 Wh$
ガウス	G	$1 G=1 Mx cm^{-2}=10^4 T$
エルステッド	Oe	$1 Oe \triangleq (10^3/4\pi) A m^{-1}$

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「▲」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリ	Ci	$1 Ci=3.7 \times 10^{10} Bq$
レントゲン	R	$1 R=2.58 \times 10^4 C/kg$
ラド	rad	$1 rad=1 cGy=10^{-2} Gy$
レム	rem	$1 rem=1 cSv=10^{-2} Sv$
ガンマ	γ	$1 \gamma=1 nT=10^{-9} T$
フェルミ	fm	$1 \text{ フェルミ}=1 fm=10^{-15} m$
メートル系カラット		$1 \text{ メートル系カラット}=200 mg=2 \times 10^{-4} kg$
トル	Torr	$1 Torr=(101 325/760) Pa$
標準大気圧	atm	$1 atm=101 325 Pa$
カロリ	cal	$1 cal=4.1858 J ([15^\circ C] \text{ カロリー}), 4.1868 J ([IT] \text{ カロリー})$
ミクロ	μ	$1 \mu=1 \mu m=10^{-6} m$

