

平成26年度原子力施設等防災対策等委託費
(レベル3PRAコードの解析モデルの整備)
(原子力規制庁受託報告書)

平成27年3月

日本原子力研究開発機構
安全研究センター

まえがき

東京電力（株）福島第一原子力発電所事故の教訓を反映し、平成24年に制定された原子力災害対策指針では、従来の「重点的に充実すべき地域の範囲（EPZ）」に代わり、新たに、「予防的防護措置を準備する区域（PAZ）」と「緊急時防護対策を準備する区域（UPZ）」の概念が導入された。これに伴い、対策を考慮すべき範囲の“めやす半径”が、EPZの約10kmからUPZの約30kmへと拡大した。現在、原子力規制庁のレベル3PRA解析で用いられている定常型ガウスプルームモデルは、放出時のサイトにおける気象条件が拡散中継続するという仮定に基づいており、大気拡散中の気象条件の変化を考慮することができない。このため、数十km以遠における大気拡散解析では、気象条件の変化が結果に与える影響が大きくなる可能性がある。したがって、放射性物質の空間的・時間的変化を計算できる解析モデルを整備する必要がある。

このような背景を基に、日本原子力研究開発機構安全研究センターは、原子力規制庁長官官房技術基盤グループより原子力規制庁の原子力施設等防災対策等委託費による委託業務として、平成26年度「レベル3PRAコードの解析モデルの整備」を受託した。本事業では、放射性物質の空間的・時間的変化を計算可能なレベル3PRAコードであるOSCAARを改良・整備し、また、最新の評価モデル及びサイト周辺情報に基づきOSCAARコード解析用データを整備した。本報告書は、その成果をとりまとめたものである。

目次

まえがき	i
目次	ii
表リスト	iii
図リスト	iv
事業の概要	v
1. はじめに	1
1.1 目的	1
1.2 範囲	1
2. レベル3PRAコードOSCAARの概要	3
3. OSCAARコード解析用データの整備	13
3.1 気象データの整備	13
3.2 施設データの整備	19
3.3 人口・農畜産物データの整備	22
3.3.1 現状分布作成コードCURRENT	22
3.3.2 人口データ	24
3.3.3 農畜産物データ	26
3.4 健康影響に係るデータの整備	33
3.5 屋内退避効果に係るデータの整備	40
4. 現行のOSCAARコードの分析・整理	73
5. まとめ	83
参考文献	84

表リスト

表3.1 気象庁GPVデータの比較.....	44
表3.2 狭域風速場の格子構造.....	44
表3.3 ¹³⁷ Csの地表面沈着量の差分（高解像度狭域風速場と従来解像度の狭域風速場）.....	45
表3.4 風向別出現頻度の異常年検定.....	46
表3.5 風速階級別出現頻度の異常年検定.....	47
表3.6 大気安定度別出現頻度の異常年検定.....	47
表3.7 降水量別出現頻度の異常年検定.....	48
表3.8 地域防災計画に示される避難施設の例.....	49
表3.9 作成した施設データの例.....	50
表3.10 事例におけるメッシュ対応.....	50
表3.11 同心円メッシュ間のウエイト.....	50
表3.12 地域メッシュ別人口データファイルの項目.....	51
表3.13 各品目の内訳.....	52
表3.14 農畜産物生産量データの整備で使用了統計データ.....	53
表3.15 統計表内記号の意味と処理方法.....	55
表3.16 統計値のラウンド方法.....	55
表3.17 作成した市区町村別農畜産物データの例.....	56
表3.18 平成23年度食料需給表の（確定値）で示されている項目（種類・品目別）.....	57
表3.19 食料需給表における分類.....	58
表3.20 EPAによるがん部位の分類.....	59
表3.21 BEIR VIIリスク推定モデルの推奨パラメータ値.....	60
表3.22 甲状腺がんリスクモデルパラメータ.....	61
表3.23 乳がんの5年相対生存率.....	61
表3.24 骨がんに対するLAR.....	62
表3.25 皮膚がんに対するLAR.....	62
表3.26 重みづけ係数w.....	62
表3.27 クラウドシャインに対する低減係数.....	63
表3.28 グラウンドシャインに対する低減係数.....	63
表3.29 各プラントにおける遮へい係数の推奨値.....	64
表3.30 主要な核種に対する建屋の遮へい係数.....	65
表4.1 OSCAARコードの標準出力.....	79
表4.2 Johnsonモデルの年齢層別パラメータ.....	80

図リスト

図2.1 OSCAARコードシステムの構成.....	10
図2.2 変動流跡線パフモデルの概念図.....	10
図2.3 広域風速場（上図）および狭域風速場（下図）の格子網.....	11
図3.1 従前のMETGPVコードによるOSCAAR用気象データの整備手順.....	66
図3.2 改良後のMETGPVコードによるOSCAAR用気象データの整備手順.....	67
図3.3 GPVデータとOSCAAR用気象データの狭域風速場との比較.....	68
図3.4 パフの移流図（1000km四方）.....	69
図3.5 パフの移流図（50km四方）.....	69
図3.6 現状分布作成システムCURRENTの構成.....	70
図3.7 市区町村の位置と同心円メッシュとの対応関係.....	70
図3.8 CURRENT用人口データファイルの整備手順.....	71
図3.9 市区町村位置ファイルの構造.....	71
図4.1 ヨウ素代謝モデル.....	81
図4.2 ヨウ素代謝モデルと呼吸気道・胃腸管モデルを組み合わせた代謝の流れ.....	81

事業の概要

本事業では、原子炉事故時の公衆の放射線影響を確率論的に評価する環境影響評価（レベル3PRA）解析を行うにあたり、放射性物質の空間的・時間的変化を計算可能なレベル3PRAコードとして日本原子力研究開発機構が開発したOSCAARを改良・整備すること、並びに、最新の評価モデル及びサイト周辺情報に基づくOSCAARコード解析用データの整備を行った。

OSCAARコードの改良・整備については、気象庁による最新のGPVデータを用いた詳細な移流解析が実施できるよう、大気拡散プログラムを改良し、その妥当性を確認した。また、現行のOSCAARコードを分析し、OSCAARコード解析用データを使用するための改良、出力データの改良、後処理プログラムの開発、安定ヨウ素剤服用効果の計算手法の開発といった必要な改良項目について検討し、プログラムの改良を行った。

OSCAARコード解析用データの整備については、最新の評価モデル及びサイト周辺情報に基づいたOSCAARコード解析用データ（気象、施設、人口、農畜産物に関するデータ）を整備するため、従前の各種データの整備方法を確認するとともに、最新の統計データ、気象データを用いたOSCAARコード解析用データの整備方法を検討し、原子力機構東海サイトを対象としたデータを整備した。健康影響に係るデータとして米国環境保護庁（EPA）による最新の健康影響モデルを調査し、OSCAARコード解析用データを整備した。また、屋内退避による被ばく低減効果（遮へい効果、フィルタ効果）に関して文献調査により情報を整理した。

1. はじめに

1.1 目的

東京電力（株）福島第一原子力発電所事故の教訓を反映し、平成24年に制定された原子力災害対策指針では、従来の「重点的に充実すべき地域の範囲（EPZ）」に代わり、新たに、「予防的防護措置を準備する区域（PAZ）」と「緊急時防護対策を準備する区域（UPZ）」の概念が導入された。これに伴い、対策を考慮すべき範囲の“めやす半径”が、EPZの約10kmからUPZの約30kmへと拡大した。現在、原子力規制庁が原子炉事故時の公衆の放射線影響を確率論的に評価する環境影響評価（レベル3PRA）解析で用いている定常型ガウスプルームモデルは、放出時のサイトにおける気象条件が拡散中継続するという仮定に基づいており、大気拡散中の気象条件の変化を考慮することができない。このため、数十km以遠における大気拡散解析では、気象条件の変化が結果に与える影響が大きくなる可能性がある。したがって、放射性物質の空間的・時間的変化を計算できる解析モデルを整備する必要がある。

本事業では、放射性物質の空間的・時間的変化を計算可能なレベル3PRAコードとして日本原子力研究開発機構が開発したOSCAARを改良し、また、最新の評価モデル及びサイト周辺情報に基づいたOSCAARコード解析用データを整備する。

1.2 範囲

OSCAARコードで使用する解析用データ（気象・人口・施設・農畜産物データ）を最新の評価モデル及びサイト周辺情報に基づき、対象サイトについて整備する。健康影響に係るデータについて米国環境保護庁（EPA）等による最新の健康影響モデルで使用されているデータを基に、OSCAARコード解析用データを整備する。また、屋内退避効果に係るデータの整備に関して文献調査により情報を整理する。

また、現行のOSCAARコードの分析・整理として、OSCAAR解析用データを整備するための改良、出力データの改良、後処理プログラムの開発、安定ヨウ素剤服用効果の計算手法の開発といった必要な改良項目について検討すると共に、OSCAARコードの一部である大気拡散プログラムの改良を行う。

2. レベル3PRAコードOSCAARの概要

本章では、レベル3PRAコードOSCAAR（本間, 2000a）の概要を示す。旧日本原子力研究所（以下、原研）は確率論的リスク評価（PRA）に関する研究の一環として、原子炉事故時の公衆の放射線影響を確率論的に評価する環境影響評価（レベル3PRA）手法の確立を目指し、1990年に確率論的環境影響評価コードOSCAAR（Off-Site Consequence Analysis code for Atmospheric Release in Reactor Accident）を開発した。そして、確率論的環境影響評価コードの国際比較計算への参加（OECD, 1994; CEC, 1994）、チェルノブイル事故等で得られた環境中の実測データを基にした、被ばく評価上重要なI-131やCs-137の食物連鎖を含む生態圏における移行モデルに関する検証（Homma et. al, 2000a; Homma and Matsunaga, 2000）、特定シナリオに対してモンテカルロ法に基づく入力パラメータの不確実さ伝播解析・感度解析手法を導入したレベル3PRAに係わる不確実さ評価（Homma, 1998）等を通じて、OSCAARコードの適用性能の確認や機能の検証作業を行ってきた。

OSCAARコードの構成を図2.1に示す。OSCAARは事故時に放出された放射性物質の環境中移行、それに伴う公衆への被ばく、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で構成される。また、計算に用いる気象条件、線量換算係数、人口分布及び農畜産物生産分布、被ばく集団の生涯リスク等、OSCAARに必要な入力データについては、計算モジュールとは独立した支援コードを用いて事前に用意する必要がある。

ここではOSCAARの計算モジュールのうち、大気拡散・沈着、気象サンプリング、被ばく線量算定、防護対策、健康影響についての詳細を以下に示す。

(1) 大気拡散・沈着

原子炉事故時において、放射性物質は原子炉建屋から直接あるいは排気筒を通じて大気中に放出される。そのため、放出された放射性物質の移流・拡散及び地表面への沈着を解析し、時間的・空間的な分布を求めることが、その後の被ばく線量評価や健康影響推定で重要となる。

評価に用いる大気拡散モデルとして、レベル3PRA手法では計算の簡便さ及び拡散パラメータに関する実験データの豊富さという点からガウスプルームモデルが用いられてきた。そして、様々なソースタームを対象に、膨大な数の気象条件に対する計算を繰り返し行うため、計算コストの観点からサイトの気象データのみを使用する直線プルームモデルが現在でも広く用いられている。しかし、放射性物質が長時間にわたり放出される場合や放出量の時間変化を伴う場合、サイトの気象データに依存する直線プルームモデルの適用には限界がある。そのため、OSCAARの大気拡散・沈着評価モジュールADDは、気象場の時間的・空間的変動

を考慮して放射性物質の輸送・拡散を解析するガウス型の変動流跡線パフモデルを採用している。変動流跡線パフモデルの概念図を図2.2に示す。このモデルは、連続した放射性物質の放出プルームを適当な時間間隔で分割してそれぞれ独立の放出パフとし、入力となる気象場の情報を基に放射性物質の移流・拡散を解析し、評価地点の大気中濃度あるいは地表沈着濃度を各パフからの寄与の合計として求める方法である。位置 (x_i, y_i, z_i) における放射性物質の全量が $Q_i(t)$ であるパフ i の水平方向及び鉛直方向の拡散がガウス分布であると仮定すると、評価地点 (x, y, z) における時刻 t の濃度 $\chi(x, y, z, t)$ は以下の式で求められる。

$$\begin{aligned} \chi(x, y, z, t) &= \sum_{i=1}^N \chi_i(x, y, z, t) \\ &= \sum_{i=1}^N \frac{Q_i(t)}{(2\pi)^{3/2} \sigma_{h,i}^2 \sigma_{z,i}} \exp\left[-\frac{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}{2\sigma_{h,i}^2}\right] \exp\left[-\frac{(z_i - z)^2}{2\sigma_{z,i}^2}\right] \end{aligned} \quad (2.1)$$

ここで $\sigma_h(t)$ 、 $\sigma_z(t)$ は、放出プルームの水平及び鉛直方向の拡散パラメータである。

ADDモジュールで用いられる気象データは気象庁の数値予報GPV (Grid Point Value) データを基に作成され、スケールの異なる格子網で構成される。広域風速場データには、日本全土を含み水平格子間隔約150km、3つの気圧面 (925、850、700hPa) での高度と上層風の現況解析値 (9時と12時) 及び予報値 (3時間毎) が含まれる。また、サイトを含む約400km四方の狭域気象場データには、格子間隔約20kmで、地上風と大気安定度の現況解析値 (9時と12時) 及び予報値 (1時間毎) が含まれる。図2.3に広域風速場と狭域風速場の例を示す。OSCAARの評価点を構成する距離別・方位別の同心円メッシュにおける平均降水量データは、降水量の予報値 (1時間毎) を基に与えられる。

また、放出点近傍の建屋が拡散に及ぼす影響、熱エネルギーを伴った放出物質の浮力による上昇の効果等も考慮している。降雨の洗浄効果による湿性沈着は、同心円メッシュで与えた降雨強度によって変化するウォッシュアウト係数を用いたモデルで評価する。そのため、ガウス型直線プルームモデルと異なり、サイトから離れた領域での降雨の影響も的確に評価できる。

(2) 気象サンプリング

放出された物質の時間的・空間的な分布は、放出時の気象条件に大きく左右される。レベル3PRAでは、対象サイトでの事故発生時に出現可能なあらゆる気象条件に対して影響を計算し、その気象条件の出現確率を考慮して事故影響の頻度分布を与えなければならない。しかし、出現する気象条件は無数にあるため、全て

の気象条件に対して評価を行うことは、計算コストの観点から現実的でない。そこで放出開始から評価対象領域での影響がなくなるまでの一連の気象条件の時間変化（気象シーケンス）を幾つか選択する気象サンプリング手法が必要になる。この時、出現可能な気象シーケンスの全範囲を代表し、事故影響のできるだけ正確な頻度分布を与えることができるように選択しなければならない。

最も単純な方法として、事故開始時刻をランダムに選択するランダムサンプリング法や一定の時間間隔毎に選択するサイクリックサンプリング法がある。しかし、これらの方法は、出現頻度は小さいものの大きな事故影響が生じる気象シーケンスが抜け落ちるかもしれないため、相当数の気象シーケンスを選択する必要がある。また、より洗練された層別サンプリングと呼ばれる、ある放出条件に対して、同程度の事故影響が計算される気象条件をあらかじめグループ化する方法もある。例えば、1年間で毎時8760通りの気象シーケンスを気象ビンと呼ばれるいくつかの気象パラメータの値で定義されたカテゴリに分類し、分類された気象ビンの中の気象シーケンスからランダムに数個選択する方法（気象ビンサンプリング法）で、米国のシビアアクシデントリスク研究（USNRC, 1990a）でも用いられた。この層別サンプリングの方法に基づき、OSCAARの変動流跡線パフモデルに適した気象サンプリング法が開発された（Homma et al., 2000b）。これらの気象サンプリング手法は、OSCAARの気象サンプリングコードMSで使用できる。

(3) 被ばく線量算定

環境へ放出された放射性物質から人への被ばく経路として、OSCAARコードでは以下の経路が考慮されている。

- ① 放射性雲中の放射性物質からの外部被ばく
- ② 通過中の放射性雲の直接の吸入による内部被ばく
- ③ 地表沈着物質からの外部被ばく
- ④ 地表沈着物質の再浮遊に伴う吸入による内部被ばく
- ⑤ 汚染された食物の摂取による内部被ばく

早期被ばく算定モジュールEARLYでは、上記の①、②、③の被ばく経路からの線量を1日、1-7日、7-14日、14-21日、21-30日、30-200日、200-365日の7期間の期間別に評価する。また、長期被ばく算定モジュールCHRONICでは10年毎に③、④、⑤の被ばく経路からの線量を評価する。

放射性雲及び地表沈着物質からの外部被ばくの算定には、イマージョンモデル（放射性雲の場合は半無限空間に放射性物質が一様に分布、地表沈着物質の場合は無限平面に一様に分布していると仮定する）（Kocher, 1980）が用いられ、放射性物質の空間濃度あるいは地表濃度と、線量換算係数算出システムDOSDACで

計算した線量換算係数を用いて評価する。放射性雲からの外部被ばくの評価において、放出点近傍ではイメージンモデルではなく、放出パフの拡散形状を等方に近似して放射性雲からの寄与を積算する有限雲モデルが用いられる (Imai et al., 1985)。また、地表沈着からの外部被ばく評価では、土壤中への放射性核種の浸透及び降雨等による地表面流亡による減衰の効果が考慮されている。この被ばく経路で最も重要なCs-137については、2つの指数関数の和で減衰するGale et al. (1964) のモデルが使用される。このモデルの妥当性及び主要なパラメータの検討は、チェルノブイリ事故による実環境データを用いて実施された (高橋, 本間, 1999; Homma et al., 2000)。

吸入及び経口摂取による内部被ばくの評価では、内部被ばく線量係数計算システムDSYSを用いて、体内代謝モデル等から得られる放射性核種の単位摂取当たりの線量をデータベースとして整備し、内部被ばく線量の計算に用いる。DSYSは、ICRP Publ.66の新呼吸気道モデル、ICRP Publ.30の体内動態モデルに排泄過程を考慮したICRP30型体内動態モデル、ICRP Publ.56, 67, 68, 69, 71, 72の体内動態モデル及び線量計算モデルを組み込んだシステムであり、各臓器・組織に対する内部被ばくを評価できる。

汚染食物の摂取による内部被ばくでは、食物連鎖による放射性核種の移行を解析するため、米国の原子炉安全性研究 (USNRC, 1975) のモデルを拡張し、事故の発生時期による農作物の栽培状況、畜産物の飼育状況等の季節による食物汚染の違いを考慮したモデルがCHRONICに組み込まれている。これらのモデルについては、国際原子力機関 (IAEA) 等が主催する生態圏移行モデルの妥当性検証計画に参加し、最も重要な経路の一つであるI-131の大気-牧草-牛乳の移行経路に関する評価シナリオ (Homma et. al, 2000a) で、Cs-137の長期的な食物汚染に関してはチェルノブイリ事故による汚染地域のデータを用いて、モデルの性能を確認した (Homma and Matsunaga, 2000)。

(4) 防護対策

原子炉事故時には住民に対して様々な防護対策が実施される。防護対策モジュールPMは、OSCAARで計算した予測線量に防護対策による被ばく低減効果を反映させ、その被ばく線量を推定するものである。PMモジュールで用いられる防護対策モデルは、対策が導入される時期によって早期対策と長期対策に大別できる。環境への放出前あるいは直後に導入される屋内退避や避難といった早期対策により、放射性雲及び地表沈着物質からの外部被ばく、吸入による内部被ばくが制限され、早期の健康影響が低減される。また、長期対策では移転、食物摂取制限が考慮され、主に地表沈着物質からの外部被ばく及び汚染食物の摂取による内部被

ばくが制限され、晩発性の健康影響が低減される。

早期対策のうち屋内退避の評価方法については、建物の遮へい効果による外部被ばくの低減を評価するための遮へい係数、またフィルタ効果による吸入経路の内部被ばくの低減を評価するためのフィルタ係数を設定する。さらに実施範囲について、入力で定めた放出点からの距離範囲と対策開始の線量レベルで設定する。そしてEARLYモジュールで計算された予測線量に基づき、線量レベルを超えた領域に対して屋内退避が実施され、その期間中、遮へい係数及びフィルタ係数の値に基づく被ばく線量の低減が図られる。避難の評価方法については、入力で設定した距離範囲で対策開始の線量レベルを超えた領域の住民が、避難実施前及び避難中はその位置で被ばくし、避難完了後は避難対象領域毎に入力で指定した避難先にて通常の被ばくをすることで、被ばく線量が評価される。

長期対策のうち、移転については、長期被ばく算定モジュールCHRONICで計算された事故後1年間に受ける地表沈着からの外部被ばくと再浮遊物質の吸入による内部被ばくの予測線量が、入力で設定した線量レベルを超える領域の住民に対して実施される。そして、翌年からの1年毎に同経路からの予測線量を入力で設定した対策解除レベルと比較し、解除レベルを下回るまで移転は継続する。この時、移転の実施期間中にはその領域の住民は長期の被ばくを受けないと仮定している。また、食物摂取制限の評価については、2つの方法がある。1年間の摂取による預託実効線量が入力で設定した線量レベルを超えた領域において摂取が禁止される場合と、核種別・作物別に濃度に関する線量レベルを設定する方法である。

(5) 健康影響

放射線被ばくによる人の健康影響には、被ばくした個人に現れる身体的影響と子孫に現れる遺伝的影響がある。身体的影響は、被ばくした後、短期間に現れる早期影響と、長時間を経てから発現する晩発性影響に区別される。OSCAARでは、防護対策モジュールPMを通じて再構成された各評価地点での予測線量を基に、健康影響を計算する。OSCAARで用いられる健康影響モデルは、米国原子力規制委員会（USNRC）の報告書（USNRC, 1985, 1989）を基に日本人への適用を考慮して作成されたものである（外川 他, 1991;本間 他, 2000b）。

① 早期影響

被ばく後短期間に現れる早期の確定的影響（deterministic effect）の評価には、「ハザード関数」を用いている。これによれば、個人に影響が発生する確率 r は、

$$r = 1 - \exp(-H) \quad (2.2)$$

で与えられる。累積ハザード H は、被ばく集団の50%が影響を受ける線量レベル D_{50} と線量-リスク関数の傾きを示す形状因子 S という2つのパラメータで決まるワイブル関数で与えられる。

$$H = \ln 2 \cdot \left(\frac{D}{D_{50}(\dot{D})} \right)^V \quad (2.3)$$

ここで、 D は確定的影響の対象となる臓器の吸収線量である。早期死亡は、造血臓器障害、肺障害及び胃腸管障害に起因するため、骨髄、肺及び胃腸管に対する累積ハザードの和を用いて(2.2)式で影響が発生する確率を求める。比較的長い時間にもたらされる遷延被ばくは、非常に短時間での被ばくに比べて影響は小さいので、NUREG/CR-4214「原子力発電所事故解析のための健康影響モデル」(NRC, 1985)では $D_{50}(\dot{D})$ を事故後の期間の関数として与えて、この線量率依存性を考慮している。OSCAARの健康影響モジュールHEでもこのモデルを採用している。したがって、(2.3)式は以下の式で置き換えられる。なお、 T はしきい線量を示しており、臓器の吸収線量 D がしきい線量 T 以上である場合のみ、この式により、ハザードを求める。

$$H = \ln 2 \cdot \left(\int \frac{D}{D_{50}(\dot{D})} dt \right)^V \quad \text{for } D > T \quad (2.4)$$

$D_{50}(\dot{D})$ は、時間 t における線量率 \dot{D} によって決定される関数であり、以下の式で求められる。

$$D_{50}(\dot{D}) = \theta_{\infty} + \theta_1 / \dot{D} \quad (2.5)$$

また、治療の効果を反映させるため、治療の程度により θ_{∞} 、 θ_1 及び V の値を変えている。その他、OSCAARでは甲状腺障害、皮膚損傷等の非致死性の早期疾患に対しても、ハザード関数法によって評価を行っている。

② 晩発性影響

晩発性の確率的(stochastic)身体影響としては、被ばく集団に現れる致死性及び非致死性のがんリスクが計算される。

被ばく後生涯の間に生じるがん死亡確率(生涯リスク)を予測するための方法としては、相対(相乗)リスクモデルと絶対(相加)リスクモデルが用いられている。絶対リスクモデルでは、被ばく後 l 年の潜伏期間後、 p 年の発現期間(プラトー)中に放射線誘発のがん死亡(罹患)の絶対的な増加があるとする。一定の

発現期間あるいは生涯にわたる発現期間中における死亡（罹患）率は一定であると仮定し、1万人・年当たり・1Gy当たりの死亡（罹患）数として与えられる。OSCAARでは、白血病、骨がん、甲状腺がん、皮膚がん、子宮内被ばくによる白血病及び他の全てのがん、良性甲状腺結節の7つの晩発性身体影響に対するリスクの予測に絶対リスクモデルを用い、線量に関しては線形二次の線量反応関係を用い、がんの種類により性あるいは被ばく時年齢等の要因も考慮している。これに対し、相対リスクモデルは、被ばく後1年の潜伏期間後に放射線誘発のがん死亡（罹患）が自然のがん死亡（罹患）の一定の割合で増加するという発現パターンを持ち、死亡（罹患）率は自然のがん死亡（罹患）率に対する1Gy当たりの増加百分率として与えられる。その増加率は絶対リスクモデルと同様、線量に関しては線量反応関係で示される線形二次に依存し、性あるいは被ばく時年齢等の要因も考慮している。OSCAARでは、胃腸管がん、肺がん、乳がん、その他のがんの4つの晩発性身体影響に対するリスクの予測に相対リスクモデルを用いている。

事故の結果として生じる晩発性健康影響のリスク計算は非常に複雑である。被ばく集団は年齢の異なる個人から構成されている。晩発性健康影響は被ばく後、長期間経ってから現れるかもしれないので、それ以前に自然死する場合には集団のリスクとして顕在化しない可能性がある。多くの被ばく経路は、長期間の被ばくをもたらす。放射性雲通過中の吸入あるいは沈着後の再浮遊物質の吸入によって体内に取り込まれた放射性核種からの内部被ばくは、体内に残留している期間にわたって被ばくし続ける。このような個人の長期にわたる被ばくの時間変化を考慮しなくてはならない。また、汚染した食物からの内部被ばく、地表沈着した放射性物質からの外部被ばく等は、事故後に生まれた人々にもそれらが環境中に残留している間、被ばくをもたらす晩発性影響のリスクをもたらす可能性がある。線量の時間変化、被ばく集団の年齢構造、影響発生時間遅れ等、このような複雑な計算仮定は、OSCAARの支援コードであるHEINPUT（外川 他, 1999）であらかじめ生涯リスクの時間発現分布として計算され、OSCAARの入力データとして与えている。

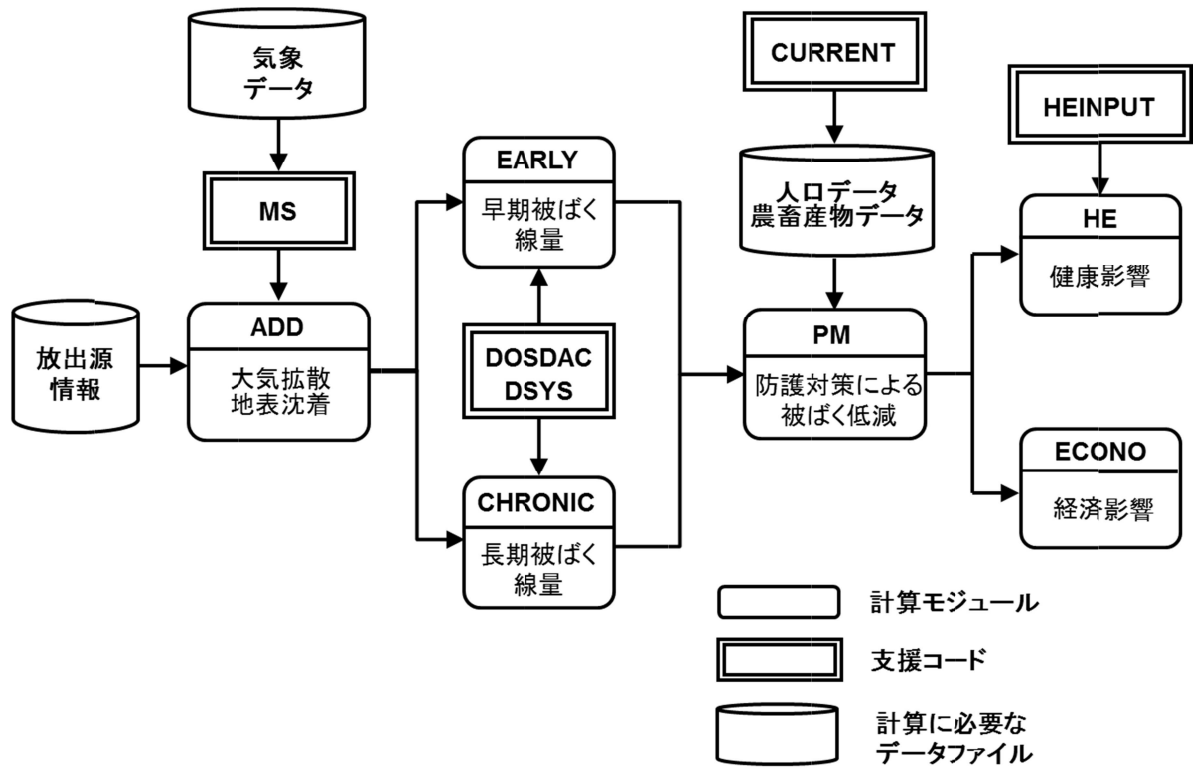


図2.1 OSCAARコードシステムの構成

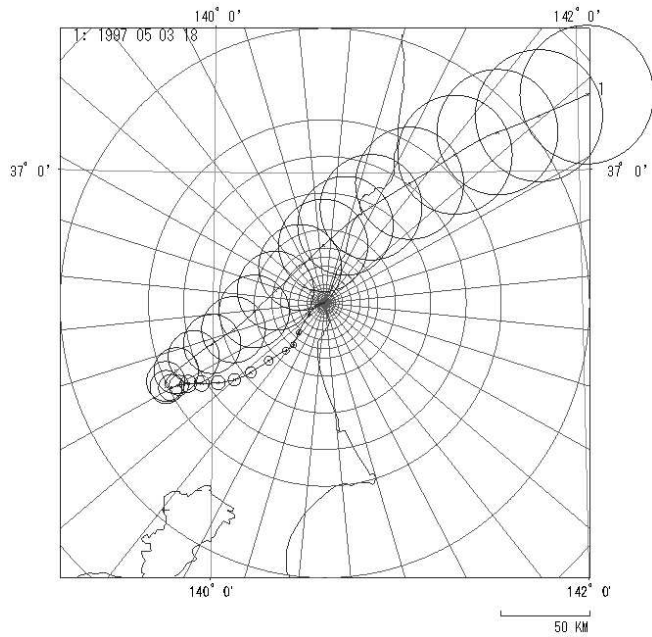


図2.2 変動流跡線パフモデルの概念図

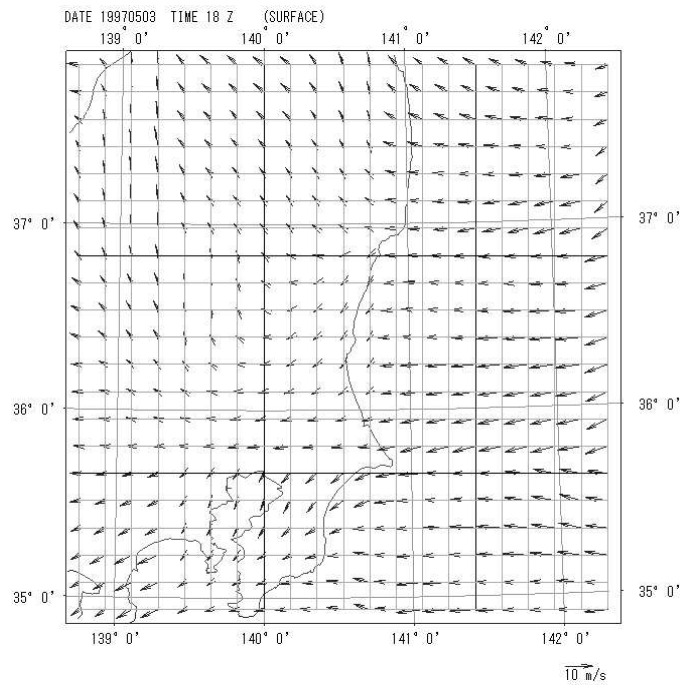
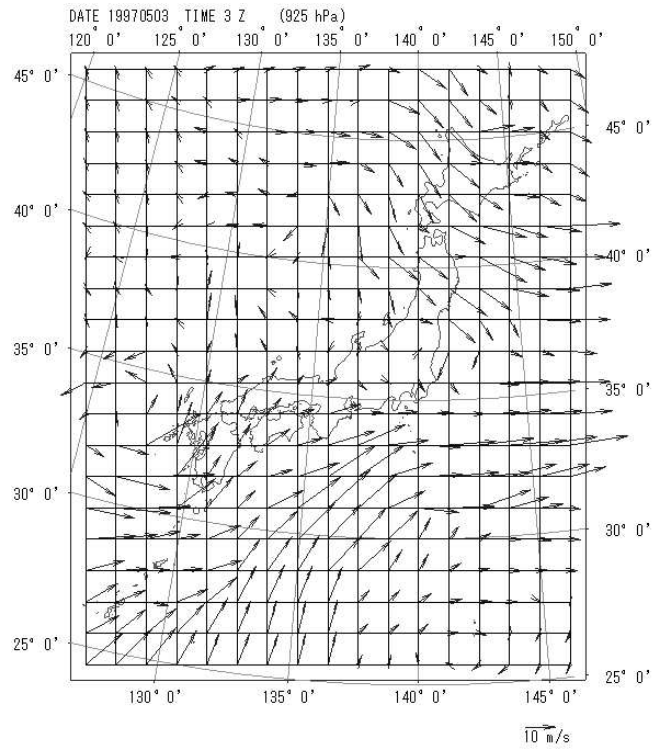


図2.3 広域風速場（上図）および狭域風速場（下図）の格子網

3. OSCAARコード解析用データの整備

前章で述べたOSCAARコードを用いて解析を行うにあたり、レベル2PRA評価等で得られた放出源情報に加え、気象、施設の位置や被ばく低減効果、人口、農畜産物、健康影響等、様々なOSCAARコード解析用データが必要となる。OSCAARで使用するこれらのデータは、これまで評価の目的に応じて順次更新されてきたものの、全て最新の情報が反映されたものとは限らない。そこで最新の評価モデル及びサイト周辺情報に基づくOSCAARコード解析用データを整備するにあたり、これまで原子力機構東海サイトを中心に整備されたデータを参考にして、その整備方法を確認するとともに、最新の統計データ、気象データを用いたOSCAARコード解析用データの整備方法を検討し、同サイトを対象としたデータを整備した。

3.1 気象データの整備

(1) OSCAAR用気象データの種類と作成方法の概要

OSCAARの大気拡散計算モジュールADDによる放射性物質の移流・大気拡散計算で必要となるOSCAAR用気象データとして、広域風速場データ、狭域風速場データ、降水データ及びサイトデータの4種類が使用される。これらのデータは、気象庁の数値予報モデルGPV（Grid Point Value）データを基に整備する。

GPVデータは1996年3月に気象庁が新COSMETSを導入した際に配信を開始した数値予報気象データであり、(財)日本気象協会が解読・書式変換して(財)気象業務支援センターが一般向けに提供しているものである。OSCAARには、GPVデータを読み込み、OSCAAR用気象データを作成するためのMETGPVコードが整備されている。図3.1にMETGPVコードを用いたOSCAAR用気象データの整備方法を示す。このコードは、(財)気象業務支援センターが提供する領域客観解析(RSM: Regional Scale Model) GPVと呼ばれるGPVデータをテキストデータに変換して前処理を行い、それを基にOSCAAR用気象データを作成するものである。

作成されたOSCAAR用気象データは、広域風速場データ、狭域風速場データ、降水データ、サイト気象データで構成される。各データの詳細は、以下の通りである。

・ 広域風速場データ

日本全土を覆う領域をカバーする風速場データであり、全ての評価サイト共通に作成する必要がある。パフの移流・拡散計算に使用される。

広域風速場データファイルには、3時間ごとに、各格子点の気圧面毎の風ベクトル(u成分、v成分)およびジオポテンシャル高度が収められている。広域風速場の座標系はAFM(Asia Fine Mesh)を基準としている。現在のOSCAARではAFMにおける(22, 12)を領域の左上隅とし、範囲は東西方向に17格子点、南北方向

に20格子点、格子間隔をAFMの152.4 (km) とするデータを使用している。

- ・ 狭域風速場データ

サイトを中心とした約380km四方の領域の風速場データであり、評価サイト毎に作成する必要がある。パフの移流・拡散計算に使用される。

狭域風速場データファイルには、1時間ごとに、各格子点の地上10mにおける風ベクトル (u成分、v成分) および大気安定度が収められている。狭域風速場の座標系も広域風速場データと同様にAFM (Asia Fine Mesh) を基準としている。現在のOSCAARでは、格子間隔はAFMの1/8の19.05 (km) としている。範囲は評価サイトが領域のほぼ中央に位置するように設定し、東西方向、南北方向とも21格子点 (381 (km) ×381 (km)) とするデータを使用している。

- ・ 降水データ

サイトを中心とした同心円メッシュのデータであり、評価サイト毎に作成する必要がある。地表面への湿性沈着計算に使用される。

降水データファイルには1時間間隔で、各メッシュにおける降水量が収められている。降水データファイルで設定する同心円メッシュの方位・距離分割は、OSCAARコードで使用する他の同心円メッシュデータ (人口データ、農畜産物データ、避難関連データ) の分割と一致させる必要がある。

- ・ サイト気象データ

サイトで観測された気象データを基本とするデータであり、評価サイト毎に作成する必要がある。パフの放出初期におけるパフの輸送、拡散、沈着計算に使用される。サイトの観測データを入手することが困難な場合、METGPVコードを用い、GPVデータから指定した座標におけるサイト気象データを作成する。

(2) 気象データ整備のためのコード改良

① METGPVコードの改良

前述したように、OSCAAR用気象データは、(財) 気象業務支援センターが提供するRSM GPVデータを基に作成したものである。しかし、同センターは、2007年11月にRSM GPVデータの提供を終了したため、それ以降の年のOSCAAR用気象データを作成することができない。最新のOSCAAR用気象データを作成するためには、使用するGPVデータを検討し、それを読み込めるようにMETGPVプログラムを改良する必要が生じた。

現在提供されているGPVデータのうち、OSCAAR用気象データを作成するため

の候補として、全球数値予報モデルGPV（GSM日本域）及びメソ数値予報モデルGPV（MSM）が挙げられる。両モデルと、これまでにOSCAAR用気象データとして用いたRSM GPVデータの概要の比較を表3.1に示す。GSM日本域データは、RSM GPVデータに代わり配信されているデータである。予報の初期値が1日2回から4回となり、データ形式も二進形式格子点資料気象通報式（GRIB2）に変更された。一方、2001年3月から配信しているMSMデータは初期値が1日8回と多く、また、格子間隔も約5km間隔と詳細である。そのため、特に局地性が高い降雨量データの精度が向上し、より現実的な大気拡散・沈着解析が可能になると考えられる。そこで、MSMデータを用いることができるよう、METGPVコードの改良を行った。図3.2に改良したMETGPVコードによるOSCAAR用気象データの整備方法を示す。データ整備の流れは従前と同様であるが、GRIB2形式のMSMGPVデータはアメリカ海洋大気庁（NOAA）が公開し継続的にメンテナンスされているwgrib2（<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib2/>）を使用してテキストファイルに変換する。また、改良前と改良後の狭域風速場の格子構造は表3.2に示すように格子間隔が詳細化するため、高解像度化した場合の値を正確に表現することができるよう、METGPVコードを改良した。

改良したMETGPVコードについて、元となったGPVデータとMETGPVコードで作成した風速場を比較することで、GPVデータがOSCAAR用気象データに反映されているか確認を行った。比較結果の一例を図3.3に示す。両者の風速場はほぼ一致しており、元となったGPVデータの風速場がOSCAAR用気象データに反映されていることが確認できた。

② ADDモジュールの改良

MSM GPVデータに対応したOSCAAR用気象データを用いて詳細な大気拡散計算ができるよう、OSCAARの大気拡散・沈着モジュールADDの改良を行った。具体的には、メッシュサイズが最大で81×81までの狭域風速場を取り扱えるよう、主に狭域風速場象データの読み込み部の改良を行い、試計算によりADDモジュールの動作確認と検証を行った。

まず、ADDモジュールの改良により、過去に実施した解析結果に影響がないことを確認するため、改良前後のOSCAARコードでRSMデータを用いた解析を行い、結果を比較した。改良前と改良後のOSCAARコードを用いて積算大気中濃度および総地表面沈着量の解析を行い、Cs-137の積算大気中濃度および総地表面沈着量を比較した。その結果、両者の計算結果に差異はなく、ADDモジュールの改良はRSMより作成した気象データによる動作に影響しないことが確認できた。

次に、MSMGPV データより 2011 年分の OSCAAR 用気象データを新規に作成した。狭域風速場については、高解像度版および従来の解像度版のものを作成して検証計算を行い、パフの移流図及び Cs-137 の距離別方位別の地表面沈着量の出力について結果の比較を行った。

- ・ パフの移流図

パフの移流図を作成し、比較を行った（図3.4、図3.5）。移流図に表示される同心円メッシュの半径は1、2、3、4、5、6、8、10、15、20、25、30、40、60、80、100、150、200、300、400、600、800、1000kmである。高解像度狭域風速場を使用した計算結果では移流速度が低下している。また、特にサイト中心点から200km圏内において、移流経路が西側にシフトしている。

- ・ Cs-137の距離別方位別の地表面沈着量

従来解像度の狭域風速場を用いた結果から高解像度狭域風速場を用いた結果の差分を表3.3に示す。これにより、サイトから50km以内では沈着量西側にシフトしていることが分かる。

また、サイト中心近傍ではパフの輸送・拡散・沈着計算にサイト気象データが用いられる。今回の検証計算ではいずれもパフが放出後に再びサイト中心に接近する経路をとらなかったため、放出点近傍では計算結果がほぼ一致している。

(3) 気象データの異常年検定

改良したOSCAARで大気拡散計算を行うのに必要な最新のOSCAAR用気象データを整備するため、原子力機構東海サイトの気象観測データを用いて異常年検定を行った。日本原子力学会標準「原子力発電所の確率論的安全評価に関する実施基準（レベル3PRA編）」（日本原子力学会，2009）によれば、異常年検定については、気象指針における「解説Xその他の気象条件の取り扱い」では、気象現象の年変動として、次のように記載がなされている。

<p>気象現象は、ほぼ1年周期でくり返されているが、年による変動も存在する。このため、想定事故時の線量計算に用いる相対濃度についてその年変動を比較的長期にわたって調査してみると、相対濃度の平均値に対する各年の相対濃度の偏差の比は、30%以内であった。</p> <p>このことから、1年間の気象資料に基づく解析結果は、気象現象の年変動に伴って変動するものの、その程度はさほど大きくないので、まず1年間の気象資料を用いて解析することとした。</p> <p>その場合は、その年がとくに異常な年であるか否かを最寄りの気象官署の気</p>
--

象資料を用いて調査することが望ましい。

また、2年以上の気象資料が存在する場合には、これを有効に利用することが望ましい。

原子力機構原子力科学研究所では、原子力安全委員会の「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」（原子力安全委員会，1982）（以下、「気象指針」）に基づき、研究所敷地内で気象観測（風向、風速、降水量、大気安定度を実施している。ここでは、これらの気象観測データを用いて異常年検定を実施した。なお、気象観測場の位置変更が2005年にあったため（原子力機構，2009）、2006年から2013年までのデータを用いることにした。そのため、データの年数は基準年1年間と比較年7年間の最近8年となる。

異常年検定の方法については、一般的に不良標本の棄却検定法としてF分布検定及びグラブスの検定などがあり、これらの手法により着目した気象観測期間が異常な年であるかどうか判断することができる（日本原子力学会，2009）。本研究ではF分布棄却検定法を用いることにした。この方法は、正規分布をなす母集団から取り出した標本のうち、不良標本と見られるものを X_0 、その他のものを X_1 、 X_2 、 \dots 、 X_n とした場合、 X_0 を除く他の標本の平均を X として、 X_0 と X との差が有意ならば X_0 を棄却する方法である。手順は以下の通りである。

- ① 仮説：不良標本 X_0 とその他の標本（その平均値） X との間に有意な差はないと仮定する。

$$H_0 : X_0 = X \quad (X = \sum_i^n X_i / n)$$

- ② 以下の式で示される F_0 を計算する。

$$F_0 = \frac{(n-1)(X_0 - X)^2}{(n+1)S}$$

ここで、

$$S = \frac{\sum_i^n (X_i - X)^2}{n}$$

- ③ 自由度 $v_1=1$ 、 $v_2=n-1$ を求める。
④ 有意水準（危険率） α を決め、F分布表により $F_{v_2}(\alpha)$ の値を求める。
⑤ F_0 と $F_{v_2}(\alpha)$ を比較して、

$F_0 \geq F_{v_2}(\alpha)$ ならば仮説棄却： $H_0 : X_0 = X$ は棄却（異常年であるとする）

$F_0 < F_{v_2}(\alpha)$ ならば仮説採択： $H_0 : X_0 = X$ は採択（異常年ではないとする）とする。

危険率 α を 5% として評価した場合、 $F_{v_2}(\alpha)$ の値は F 分布表より $F_7=5.591$ である。

2006年から2012年までの観測データを比較年、2013年の観測データを検定年とした場合の風向別、風速別、大気安定度別、降水量別出現頻度についての各検定結果を表3.4～3.7に示す。降水量別出現頻度で1か所、棄却の判定があった以外は採択されており、異常年ではなかったと考えられる。そのため、2013年の気象データを用いてOSCAAR用気象データが整備できることが確認できた。

3.2 施設データの整備

OSCAAR コードでは、防護対策モジュール PM で屋内退避または避難の実施による被ばく低減効果を評価するため、評価メッシュ毎に、公衆が自宅あるいは付近の建屋で屋内退避を行う施設、あるいは避難のために集合する施設（コンクリート屋内退避施設）及び集合後に移動先となる避難施設の位置情報が必要になる。施設データの整備方法を以下に述べる。なお、本データの整備にあたり、各都道府県の地域防災計画に示される施設情報を参考にした。

(1) 施設位置のXY座標の算出

ここでは、茨城県の地域防災計画（原子力災害対策計画編）参考資料（茨城県防災会議，2009）に示される施設情報を用いたデータの整備方法を整理した。表 3.8 に地域防災計画（参考資料）に示される施設情報の例を示す。

サイト基準点から各施設の場所までの距離を求めるため、まず、東海研究所のサイト基準点及び上記の地域防災計画に示される東海地区の避難施設及びコンクリート屋内退避施設全ての緯経度をインターネット上の地図検索により調査、整理した。次にこれら施設の緯経度をユニバーサル横メルカトル図法（Universal Transverse Mercator Projection：UTM）により UTM 座標系に変換した。

UTM 座標系とは、地形図に使用されている UTM 図法による投影面上の直角座標系のことである。変換する点の UTM 座標系（ x, y ）及び地理座標系（経度，緯度）の座標をそれぞれ（ E, N ）、（ λ, φ ）とすると、以下の関係式が得られる。

$$\begin{aligned} E &= 0.9996f + 500 \\ N &= 0.9996g \end{aligned} \quad (3.2.1)$$

ここで、 f, g はそれぞれ次式で示される。

$$f = A \cdot L \cdot \cos \varphi \cdot \left[1 + \frac{1}{6} L^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \left\{ \frac{(1-t^2 + \gamma^2)}{20} + \frac{1}{20} L^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot (5 - 18t^2 + t^4 + 14\gamma^2 - 58t^2\gamma^2) \right\} \right] \quad (3.2.2)$$

$$g = B + \frac{1}{2} A \cdot L^2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot \left[1 + \frac{1}{12} L^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \left\{ \frac{(5-t^2 + 9\gamma^2 + 4\gamma^4)}{30} + \frac{1}{30} L^2 \cdot \cos^2 \varphi \cdot (61 - 588t^2 + t^4 + 270\gamma^2 - 330t^2\gamma^2) \right\} \right] \quad (3.2.3)$$

ここで、

$$L = \lambda - \lambda_0, \quad t = \tan \varphi, \quad \gamma^2 = e'^2 \cdot \cos \varphi$$

$$A = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}}, \quad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}, \quad e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

$$\frac{B}{a} = 0.998329312962\varphi - 0.00501415801 \sin \varphi \cdot \cos \varphi \\ + 0.00001049328(\sin \varphi \cdot \cos^3 \varphi - \sin^3 \varphi \cdot \cos \varphi)$$

B : 赤道面から求める点までの子午線弧長 (km)

λ_0 : 中央子午線の経度 (rad)

a : 楕円体の長半径 = 6377.397155 (km)

b : 楕円体の短半径 = 6356.078963 (km)

A : 平行圏曲率半径 (km)

e : 第一離心率; $e^2=0.00667432$ (-)

e' : 第二離心率; $e'^2=0.006719219$ (-)

(2) 施設位置の所属評価メッシュの算定

(1) で得られた施設の XY 座標を基に、サイト基準点を原点 (0, 0) とした際の各施設の XY 座標を求めた。次に、変換後の座標を基に各施設がどの評価メッシュに属するか (方位及び距離) を求めた。

(3) 評価メッシュ別の施設の決定

以下の条件に従い、評価メッシュ毎の施設を決定した。ここでは、屋内退避・避難施設の整備範囲を地域防災計画に示されている 10km 圏内の評価メッシュとした。

- ・ 評価メッシュ内の住民は、評価メッシュの中心点に居住しているものとする。
- ・ 評価メッシュの中心点からの距離が最も近い施設に集合する。ただし、サイト基準点から遠ざかる方向にある施設を採用する。

表 3.9 に作成した東海地区の OSCAAR 用施設データを示す。今回対象とした茨城県の地域防災計画 (資料編) に記載されている情報には、原子力災害対策指針 (原子力規制委員会, 2013) にて、「原子力施設から概ね半径 5km」を目安とする予防的防護措置を準備する区域 (Precautionary Action Zone: PAZ) や、「原子力施

設から概ね 30km」を目安とする緊急時防護措置を準備する区域（Urgent protective Planning Zone: UPZ）に対応した施設情報は示されていなかった。そのため、各サイトでの施設データを整備するにあたり、地域防災計画等で最新の情報を調査する必要がある。

3.3 人口・農畜産物データの整備

3.3.1 現状分布作成コードCURRENT

(1) CURRENTコードの概要

OSCAARはサイトを中心とした同心円メッシュ上で評価領域毎に解析を行うため、人口及び農畜産物の各種統計データをOSCAARのデータ形式である同心円メッシュデータに変換する必要がある。CURRENTコードは、任意の点を中心とする同心円メッシュの人口・農畜産物データを作成することができる。ここでは、CURRENTコードの概要について述べる。

CURRENTコードの全体構成を図3.6に示す。CURRENTコードはコード本体とベーシックデータファイルから成っている。ベーシックデータファイルは、人口及び農畜産物の各種統計データを基に整備した、地域メッシュコード別人口データファイル、市区町村別農畜産物生産データファイル、市区町村位置ファイル、農畜産物消費データファイルで構成される。そして、CURRENT入力データファイル(コントロールデータ)及びベーシックデータファイルを入力としてCURRENTコードを実行させることで、OSCAAR用同心円メッシュ別データファイルである、人口分布データファイル、農畜産物生産量分布データファイル、農畜産物消費分布データファイルを作成することができる。

(2) CURRENTコードによる同心円メッシュデータの作成方法

CURRENTコードにて同心円メッシュ分布データを計算する際、まず、ベーシックデータファイルについて、地球の表面(緯度、経度から成る極座標系)から平面(X-Y直行座標系)への変換を行う。CURRENTコードは、極座標系から直行座標系への変換法として、回転楕円体座標系、ステレオ投影座標系、UTM座標系、円錐投影座標系を扱うことができるが、地理座標系からX-Y直交座標系への変換精度を比較した結果、OSCAARで解析を行うにあたり、UTM座標系変換と回転楕円体座標系変換が適していることが確認できた。CURRENTコードの場合、デフォルトの座標変換方法は回転楕円体座標系で設定されている。今後のデータ整備にあたり、同等の変換精度を有するUTM座標系とどちらの変換方法を用いるかは検討する必要があるが、ここでは回転楕円体座標系変換を用いて、統計データに使われている地域標準メッシュの緯経度情報をXY座標に変換した座標変換を行った。

回転楕円体座標系による変換方法については、計算地点 P_2 の経度 λ_2 、緯度 ψ_2 とすると、次式によりX-Y直交座標 x 、 y に変換できる。ここで、 a は地球の長半径、 e^2 は回転楕円体の第1離心率、 e'^2 は第2離心率である。

$$\begin{cases} x = S \sin \alpha_1 \\ y = S \cos \alpha_1 \end{cases} \quad (\alpha_1 : \text{同心円メッシュの中心} P_1 \text{の方位角}) \quad (3.3.1)$$

ここで、

$$S = 2R_1 t$$

$$R_1 = \frac{a/w_1}{1+h^2}$$

$$t = u \left[1 + u^2 \left\{ \frac{2}{3} + u \left(-3F + u \left(\frac{2}{5} (3 + 4H + 25F^2) + u \left(-10F + u \left(\frac{20}{7} + \frac{48}{7} H + \frac{70}{9} u^2 \right) \right) \right) \right) \right\} \right]$$

$$u = w_1 (1 + e'^2 \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \alpha_1) (\bar{y}_2 - \bar{y}_1) / 2 \sin \alpha_1$$

$$H = (e'^2 \sin^2 \varphi_1 - e'^2 \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \alpha_1) / (1 + e'^2 \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \alpha_1)$$

$$F = e'^2 \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 \cos \alpha_1 / (1 + e'^2 \cos^2 \varphi_1 \cos^2 \alpha_1)$$

$$\tan \alpha_1 = \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{-(\bar{x}_2 - \bar{x}_1) \sin \varphi_1 + (\bar{z}_2 - \bar{z}_1) \cos \varphi_1}$$

$$\bar{x}_2 = (\cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda) / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_2}$$

$$\bar{y}_2 = (\cos \varphi_2 \sin \Delta\lambda) / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_2}$$

$$\bar{z}_2 = (1 - e^2) \sin \varphi_2 / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_2}$$

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

$$\bar{x}_1 = \frac{\cos \varphi_1}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_1}}$$

$$\bar{z}_1 = \frac{(1 - e^2) \sin \varphi_1}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi_1}}$$

次に、同心円メッシュデータに変換するにあたり、ベーシックデータファイルが地域メッシュ別データ（ここでは人口データ）の場合は、各地域メッシュと同心円メッシュが共有する面積を求めてデータの振り分けをする。一方、ベーシックデータファイルが市区町村別データ（ここでは市区町村別の農畜産物生産量データ）の場合は、各市区町村の位置と同心円メッシュとの対応関係を設定する同定作業を行う。同定方法の考え方を以下に示す。

例えば、**図3.7**のように、斜線で示したある市区町村が同心円メッシュ上にある時、同心円メッシュの分割—同一区域が変化することで、同定結果がどのように変わるかを述べる。まず、**図3.7**で同心円メッシュ番号(1)～(8)が全て同一のメッシュであるならば、この市区町村は重心Gのある(6)に同定される。(5)、(6)のみが同一メッシュで、他の同心円メッシュが分割メッシュであっても同様である。一方、同心円メッシュ番号(5)と(6)のみが分割メッシュで、他は全て同一メッシュで

あると仮定する。市区町村の重心Gが(6)に属していることから、重心と定点を結ぶ方位線F0上においてこの市区町村を円の中心とした半径 r で結ぶ点 $\alpha 1$ 及び $\alpha 2$ の座標がどの同心円メッシュ上にあるか確認すると、 $\alpha 2$ は重心と同様(6)に属し、 $\alpha 1$ は(4)に属している。この場合、この市区町村について同心円メッシュ番号で分割して考える。市区町村を構成する標準地域メッシュが、どのように同心円メッシュに分布しているかを整理すると表3.10で示される。つまり、この市区町村が分布している同心円メッシュは、(3)、(4)、(5)、(6)、(8)の5個であり、標準地域メッシュの分布状況による同心円メッシュ間のウエイトは、表3.11で示される。このウエイトに応じてデータの配分を行う。

CURRENTコードは同定情報作成機能を有しており、上記の手順に従い、ベシックデータファイルに含まれる市区町村位置ファイル(3.3.3(3)参照)とコントロールデータで与えられる同心円メッシュ設定情報から同定情報ファイルが作成される。

3.3.2 人口データ

OSCAAR用人口データである人口分布データは、総務省の国勢調査に関する地域メッシュ統計データに含まれる地域メッシュ別人口データ、特に第2次メッシュ(10km四方)、第3次メッシュ(1km四方)、第4次メッシュ(500m四方)で整備されたデータからCURRENTコードを用いて作成される。地域メッシュに基づく統計データを利用することで、市区町村統合などによる市区町村の位置情報の更新整備を行わず、更新された地域メッシュ人口データのみを利用してデータを更新できる。また、サイト近傍においては第3次、第4次メッシュを使用することで詳細に計算することができる。

人口分布データの作成手順を整備するにあたり、人口データの作成に必要なCURRENTコードの内容を確認するため、ここでは日本測地系の最新データであるH17年度国勢調査データ(日本測地系)を用いた。日本測地系とは、明治初期に全国の地形図を整備するために開始された測量において、地球上の位置を表すために必要な地球楕円体としてドイツのベッセル楕円体を採用し緯経度を決定した体系である。これまで、CURRENTコードで用いる様々な統計データは、日本測地系を基に作成したものであり、CURRENTコードも日本測地系に対応するよう作成されている。

まず、図3.8に示すようにCURRENT用人口データ作成プログラムを用いて、国勢調査に関する地域メッシュ統計データから、CURRENT用人口データファイルである都道府県別の第2次メッシュデータファイル及び第3次～第4次メッシュデ

ータファイルが作成される。この時、国勢調査に関する地域メッシュ統計データの書式が発行年によって変更されていることがあるため、CURRENT用人口作成プログラムで読み込む書式に合わせて修正することが必要な場合もある。

次にこれらの2つのCURRENT用人口データファイルを、CURRENTコードのベーシックデータファイルである地域メッシュコード別人口データファイル（表3.12）としてCURRENTコードに読み込ませ、OSCAAR用同心円メッシュ別データファイルである人口分布データを作成する。

本作業で実施した人口分布データの作成手順の確認において、平成22年度の国勢調査データは世界測地系でまとめられており、また、以降のデータは世界測地系で整備されることが分かった。世界測地系とは、宇宙観測技術の発達により全世界的衛星測位システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）による高精度測量が可能となり、GRS80楕円体と呼ばれる新しい地球楕円体を採用して緯経度を決定した体系であり、我が国においても2002年から変更された。日本測地系と世界測地系、どちらも楕円体で模擬しているためモデルが大きく異なるというのではなく、各半径や曲率の値が異なる。これに伴い、日本測地系と世界測地系では緯経度にずれが生じる。例えば、日本測地系の経緯度で表されている地点を世界測地系の経緯度で表わすと、東京付近では経度が約-12秒、緯度が約+12秒変化する。これを距離に換算すると北西方向へ約450mずれることに相当する（国土地理院ホームページ¹）。

そのため、最新の国勢調査データを使用して人口分布データを作成するためには、今後、CURRENTコードの改良を含めて、世界測地系のデータへの対応を行う必要があることが明らかとなった。

¹ <http://www.gsi.go.jp/LAW/G2000-g2000-h3.htm>

3.3.3 農畜産物データ

OSCAARで使用される農畜産物データは、評価メッシュ別農畜産物生産量データと農畜産物消費データとして整備されており、防護対策モジュールPMにて食物摂取制限に対する評価や、経済影響評価ECONOでの除染等の防護対策に必要な費用の算定等に用いられる。ここでは3.3.1に記載したCURRENTコードを用いた農畜産物データの整備方法について述べる。

(1) 農畜産物生産量分布データの整備

OSCAARで使用する農畜産物生産量分布データを作成するため、まず、農林水産省の農林業センサスをベースとした各種農畜産物の統計データを基に、市区町村別の農畜産物生産量データを整備した。データを整備した品目は穀物、豆類、果物、根菜、葉菜、牛肉、豚肉、鶏肉、鶏卵、生乳（自家消費用、牛乳等向け、乳製品向け）である。各品目の内訳を表 3.13 に示す。ここでは東海地区を中心とする茨城県を対象とし、必要な統計データについては平成 22 年度（2010 年度）のものを用いた。ただし果物については、市区町村別の統計データが平成 19 年度に廃止されたことから、平成 17 年度（2005 年度）のデータを用いた

市区町村別の農畜産物生産量データを作成するにあたり使用した農畜産物の統計データの一覧を表 3.14 に示す。これらのデータは政府統計の総合窓口（<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do>）から入手した。なお、統計データには表 3.15 に示すように記号表記されたものが多数存在した。特に「秘密保護上統計数値を公表しない」とされる値については、他の統計で確認するなどして値を推測して処理を行った。最終的に作成した統計値は表 3.16 に示すように端数処理されている。

市区町村別の農畜産物生産量データ作成の手順を次に示す。また、作成した農畜産物生産量データの例を表 3.17 に示す。

① 穀物、豆類、果物、根菜、葉菜

（手順 1）市区町村別収穫量の統計内記号「X」をゼロとして県別の収穫量の小計を求める。

（手順 2）県別収穫量と手順 1 の小計との差を求める。ここで、県別収穫量と小計が一致していたら、「X」はすべてゼロとして手順 6 へ進む。また、負となった場合にも、「X」はすべてゼロとして手順 6 へ進む。

（手順 3）収穫量が「X」となっている市区町村の数を求める。

（手順 4）手順 3 に該当する市区町村について、市区町村別 農業経営体数より農業経営体数を求める。農業経営体数も「X」の場合には 1 とす

る。

(手順 5) 手順 2 で求めた収穫量の差を手順 4 の農家数で分配し、市区町村別の収穫量を求める。分配した値が小数点となった場合には四捨五入を行う。

(手順 6) 内訳の項目を市区町村別に足し合わせて、品目の市区町村データを作成。

② 果物（県別収穫量データがある県の場合）

(手順 1) 市区町村別収穫量(G)の統計内記号「X」をゼロとして、県ごとに収穫量の小計を求める。

(手順 2) 県別収穫量(H)と手順 1 の小計との差を求める。ここで、県別収穫量と小計が一致もしくは県別収穫量のほうが少なかった場合、「X」はすべてゼロとして手順 5 へ進む。

(手順 3) 収穫量が「X」となっている市区町村の数を求める。

(手順 4) 手順 3 に該当する市区町村について、市区町村別農家数 (I) より農家数を求める。農家数が「X」の場合は 1 とする。

(手順 5) 手順 2 で求めた収穫量の差を手順 4 の農家数で分配し、市区町村別の収穫量を求める。

(手順 6) 内訳の項目を市区町村別に足し合わせて、品目の市区町村データを作成する。

③ 果物（県別収穫量データがない県の場合）

(手順 1) 市区町村別収穫量(G)の統計内記号「X」をゼロとして、県ごとに収穫量の小計を求める。

(手順 2) すべて市区町村について市区町村別農家数(H)より農家数を求める。

(手順 3) 収穫量の値がある市区町村と収穫量が「X」である市区町村それぞれについて、農家数の合計を求める。農家数が「X」の場合は 1 とする。

(手順 4) 手順 1 で求めた小計と手順 2 で求めた小計を収穫量の値がある市区町村の総農家数より、農家数と収穫量の比を求める。

(手順 5) 手順 4 で求めた比と手順 3 の農家数より、収穫量が「X」である市区町村の収穫量を求める。

(手順 6) 内訳の項目を市区町村別に足し合わせて、品目の市区町村データを作成する。

④ 牛肉、豚肉、鶏肉、鶏卵

- (手順 1) 市区町村別肉牛飼養頭数の統計内記号「X」をゼロとして肉牛飼養頭数の小計を求める。
- (手順 2) 県別畜頭数と手順 1 の小計との差を求める。ここで、県別生産量と小計が一致していたら、「X」はゼロのままとして手順 5 へ進む。
- (手順 3) 生産量が「X」となっている市区町村の数を求める。
- (手順 4) 手順 3 に該当する市区町村について、市区町村別農業経営体数より農業経営体数を求める。農業経営体数も「X」の場合には 1 とする。
- (手順 5) 手順 2 で求めた畜頭数の差を手順 4 の農業経営体数で分配し、市区町村別の畜頭数を求める。
- (手順 6) 畜頭数に 1 頭（羽）当たりの生肉量（もしくは卵生産量）への換算係数（牛肉 0.43t/頭、豚肉 0.077t/頭、鶏肉 1.68×10^{-2} t/羽、鶏卵 24.98t/羽）を乗じて市区町村別の枝肉生産量を求める。

牛肉については農林水産省でまとめている都道府県別の枝肉生産量データを使用せず、都道府県内の家畜分布を精肉量に変換したデータを用いた。枝肉生産量データは、各都道府県にある「と畜場」で処理された肉の量の統計であり、例えば福井県には「と畜場」がないため、福井県の枝肉生産量がゼロとなる。しかし、牛は飼育され近隣県の「と畜場」へ出荷されている。畜産物のデータ整備の目的としては、どこで精肉されたかではなく、どこで飼育（生産）されたかが重要である。

そのため、牛肉の生産量データの整備にあたり、そこで、肉用牛は所属する都道府県内で処理されると仮定し、上記方法で処理したデータを用いることとした。生肉量への変換値は、データ（P）とデータ（Q）から、成牛 1 頭当たりの枝肉量がおおよそ 0.43t/頭とした。子牛の成牛に対する割合は平成 22 年畜産物流通統計において頭数で 0.8%、枝肉生産量で 0.17%と非常に低いものであるため、変換値作成において無視することとした。

豚肉、鶏肉、鶏卵についても同様の手順で都道府県別データおよび市区町村別データを作成する。

⑤ 用途別生乳量

- (手順 1) 市区町村別乳牛飼養頭数の統計内記号「X」をゼロとして肉牛飼養頭数の小計を求める。
- (手順 2) 県別畜頭数と手順 1 の小計との差を求める。ここで、県別生産量と小計が一致していたら、「X」はゼロのままとして手順 5 へ進む。

- (手順 3) 生産量が「X」となっている市区町村の数を求める。
- (手順 4) 手順 3 に該当する市区町村について、市区町村別農業経営体数より農業経営体数を求める。農業経営体数も「X」の場合には 1 とする。
- (手順 5) 手順 2 で求めた畜頭数の差を手順 4 の農業経営体数で分配し、市区町村別の乳牛の畜頭数を求める。
- (手順 6) 県別の用途別生乳の生産量はそれぞれ次のように求める。
農家自家用生乳：その他向けの生乳処理量から、内訳にある「欠減」を引いた量とする。「欠減」は輸送他作業における損失量であり、平成 19 年統計から加わった項目である。
牛乳等向け生乳量：牛乳等向け生乳量を全国と都道府県別牛乳等向け処理量で按分する。
乳製品向け生乳量：乳製品向け生乳量を全国と都道府県別乳製品向け処理量で按分する。
- (手順 7) 県別の各生乳生産量を県内の各市区町村の乳牛畜頭数の比に従って分配し、市区町村別の生乳生産量とした。

牛乳・乳製品データの単位はトン (t) で示されるが、OSCAAR 用データはリットル (L) で整備する必要がある。そこで、牛乳の比重である 1.03 を用いて、t から L への変換を行う。また、CURRENT コードにより、農家自家用生乳と牛乳等向け生乳を牛乳のデータ、乳製品向け生乳量を乳製品のデータとして作成する。

(2) 農畜産物消費分布データの整備

農畜産物の消費状況を把握する方法として、食料の需給と供給のバランスに着目し、需給要因としての農畜産物の消費状況を把握する方法が考えられる。この方法に用いることができる統計データとして、食料需給表²がある。現在入手できる最新の確定値情報である平成 23 年度確定値³の項目の一覧を表 3.18 に示す。この統計データは、食用の総供給＝総需要の関係を利用して、農畜産物の生産から最終消費に至る過程を表にまとめたものである。

農畜産物消費分布データは、同心円メッシュ別総人口に 1 人 1 年当たり品目別消費量を乗じて算出する。この手順から分かるように、農畜産物消費分布データは、農畜産物生産量分布データとは異なり、市区町村別のデータを同定情報に基づき同心円メッシュに変換するというプロセスを経ないで作成される。

1 人 1 年当たり品目別消費量として、1 人 1 年当たり品目別純食料に自給率（国

² <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/zyukyu/index.html>

³ <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Xlsdl.do?sinfid=000023624689>

内生産量／国内消費仕向量、ただし1を超えるものは1とする)を乗じた数値(以下「国内産品消費量」と呼ぶ)を用いた。1人1年当たり品目別純食料については、食料需給表中で農畜産物生産データの対象品目と対応する品目はその数値を用いた。対応しない品目は食料需給表の主要項目の品目別累年表の国内生産量の比率で按分して求めた。実際の農畜産物消費においては、国内産品と輸入品が各消費過程(飼料用、種子用、加工用、粗食量)で同一の割合で飼養されるとは限らない。しかしながら、品目毎に各消費過程別に国内産品と輸入品の割合を把握することは困難であり、国内産品消費量の設定に当たっては農畜産物供給面で指標である自給率をそのまま純食料に乗ずることとした。

1人1年当たり品目別消費量は次式で求めるものである。

$$C_i = \sum_i PF_i \times SS_i \quad (3.3.1)$$

ここで

C_i : 1人1年当たり品目別消費量 (kg/man・year)、i=品目の内訳

PF_i : 1人1年当たり品目別純食料(kg/man・year)、i=品目の内訳

$$PF_i = PD_i / NP$$

PD_i : 品目iの国内生産量(kg)

NP : 総人口(man)

SS_i : 自給率(-)、i=品目の内訳

$$SS_i = PD_i / CD_i$$

PD_i : 品目iの国内生産量

CD_i : 品目iの国内消費仕向量

(3.3.1) 式の計算は、CURRENT コードの入力データの設定に従いコード内で行われる。そこで、CURRENT コードのライブラリデータとして、計算対象とする年度の1人1年当たり品目別純食料(kg/man・year)と自給率(-)を格納した「農畜産物消費分布データファイル」を作成する。

今回、農畜産物生産量分布データを表 3.13 の「品目」で作成したことから、CURRENT コードで生成する農畜産物消費分布データファイルもこれに揃えることとする。

整備に必要な統計データは、農林水産省が公開する当該年度の「食料需給表」(<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/zyukyu/index.html>)にある「国内生産量」、「国内消費仕向量」、「『国内消費仕向量の内訳』の『純食料』」、「総人口」である。ただし、類別・品目別の分類は表 3.19 に示すように大まかである。例えば、食料

需給表における果実の分類は、(1)みかん、(2)りんご、(3)その他の果実の3分類であるため、「なつみかん」は、食料需給表では「その他の果実」で取り扱われている。このように扱われている内訳品目については、食料需給表における分類に対する当該内訳品目の比率（＝[果樹生産出荷統計⁴からのなつみかんの国内生産量]÷[食料需給表の「その他の果実」の国内生産量]）を求め、「その他の果実」について求めた1人1年当たりの純食料に乗じた値を、なつみかんの1人1年当たりの純食料とする。自給率については、「その他の果実」で扱われる内訳品目はすべて同じ値となる。

また、表3.13の品目「果物」の西洋なしは、食料需給表の「その他の果実」には含まれていないが、「その他の果実」の値を用いてデータを作成する。

また、穀類、根菜、葉菜の内訳品目別のデータは農林水産省の「作物統計」から取得する。水稲については、食料需給表の米の量を、作物統計から得られる水稲と陸稲で按分して水稲のみの量へ変換する。

(3) 市区町村位置ファイル

市区町村位置ファイルは、農畜産物のデータのように市区町村で整備されているデータと地域メッシュ情報を結び付けるためのファイルである。図3.9に示すファイル構造のように、市区町村コード、市区町村の重心の緯度・経度、半径、市区町村を構成する標準地域メッシュコード数と標準地域メッシュコードが登録されている。

農畜産物に関するデータの市区町村区分と、市区町村位置ファイルに登録される市区町村は一致しているのが望ましく、また、合併等で市区町村構成が変わることもあるので、適宜更新する必要がある。

今回の作業では、本ファイルに登録する情報を次のように取得し、図3.9に示す所定の書式で整備した。

- ・ 市区町村コードと含む標準地域メッシュコード：人口データの元データである国勢調査に基づく人口データファイルから取得し、整理する。この時、市区町村を構成する標準地域メッシュ数も数えて取得する。
- ・ 重心の緯度・経度：取得した市区町村コードが含む標準地域メッシュコードの平均メッシュコードを求め、平均メッシュコードに対する緯度経度を算出する。地域メッシュコードは、各メッシュの左下隅に対して設定されているものなので、重心の緯度・経度算出時にメッシュの中心位置となるように補正する。

⁴ <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/index.html>
「作物統計」「果樹生産出荷統計」情報は現在上記 URL でまとめて公開されている。

- ・ 半径：市区町村を円と仮定した場合の半径を市区町村の面積から算出する。市区町村面積は、国土交通省 国土地理院「全国都道府県市区町村別面積調」(<http://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO-title.htm>) から取得する。境界未定を含む市区町村の面積は参考値で面積が示されるので、その値を使用した。

3.4 健康影響に係るデータの整備

OSCAARの健康影響モジュールHEは、放射線被ばくによってもたらされる早期の身体的影響、晩発性の身体的影響及び遺伝的影響という3つの人への健康影響を推定するものである。そして、HEの支援コードであるHEINPUT（外川他，1999）は晩発性の身体的影響及び遺伝的影響について、1Gy当たりの生涯リスク、被ばく後における影響の発生率の時間変化などHEモジュールに必要なデータをあらかじめ計算する機能を持っている。

HEモジュール及び支援コードHEINPUTで用られている放射線被ばくによる人の健康影響の評価モデルは、米国原子力規制委員会（USNRC）のNUREG/CR-4214「原子力発電所事故解析のための健康影響モデル」（NRC，1985）を基礎としている。これはラスムッセン報告書（WASH-1400）で有名なUSNRCの「原子炉安全性研究」（NRC，1975）で用いられた健康影響モデルの見直しに関する報告書である。これに加え、広島・長崎の原爆改訂線量に基づくリスク算定結果等、我が国における最新の研究成果もできる限り取り入れている。

その後、NUREG/CR-4214についてはRev.1（NRC，1989，1990b）、Rev.2（NRC，1993a）と2回の改訂が行われた。Rev.1での改訂の目的は早期の健康影響モデルに関するもので、晩発性の身体的影響について広島・長崎での原爆被ばく者生存者の追跡調査結果の延長分が考慮された。また、Rev.2では、原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）による1986年及び1988年報告（UNSCEAR，1988）、米国科学アカデミー研究審議会の「電離放射線の影響に関する委員会（BEIR）」による1990年のBEIR-V報告（NAS/NRC，1990）とICRP勧告（ICRP，1991）という最近の成果のレビューと、高LETの α 線放出核種による被ばくからのリスクの取り入れ、という2つのRev.1の補遺（NRC，1991，1993b）に示された変更点の取り入れが行われた。これらの改訂を踏まえ、HEINPUTについても評価モデルの改良が行われた（本間，2000b）。

現在のHEINPUT（高原，2009）では、NUREG/CR-4214 Rev.2による推定モデル（以下、NUREGモデル）に加え、米国環境保護庁（EPA）によるがん推定モデル（以下、EPAモデル）（EPA，1999）が使用できる。NUREGモデルは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。特に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いることにより、放射線リスクだけでなく喫煙などの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る。さらにEPAモデルは、死亡率や罹患率だけではなく健康影響に関する指標として損失余命（ある原因で失われた平均余命）を考慮している点でも有用である。

その後、EPAは新しいリスク推定モデル（以下、EPA2011モデル）に関する報

告書を示した（EPA, 2011）（以下、EPA報告書）。EPA2011モデルは、2006年に公表されたBEIR VII報告書（NAS, 2006）で推奨されたモデルを参考にしたもので、これまでのEPAモデルを更新するものである。ここでは、その概要を述べる。なお、HEINPUTについても、EPA2011モデルによる評価が行うことができるように改良が行われた（高原, 2015）。

(1) がんリスク推定のための一般式

EPA 報告書では放射線に起因するがんリスク推定に関して、甲状腺、骨、腎臓および皮膚以外の部位にBEIR VIIの過剰絶対リスク（Excess Absolute Risk: EAR）モデルと過剰相対リスク（Excess Relative Risk: ERR）モデルが用いられている。EARモデルは、放射線による過剰がん死亡数（自然発生のがんとは別に、放射線被ばくにより新たに誘発されたがんにより誘発）が被ばく時の年齢にのみ依存し、死亡時（罹患時）年齢とは関係なく一定であると仮定したモデルである。また、ERRモデルは、放射線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。

被ばく寄与を含めたがん発生率 $\lambda(c, s, a, b, D)$ は、EAR および ERR モデルにおいて以下の式で示される。

$$\lambda(c, s, a, b, D) = \lambda_0(c, s, a, b) + EAR(s, e, a, D) \quad (3.4.1)$$

$$\lambda(c, s, a, b, D) = \lambda_0(c, s, a, b)[1 + ERR(s, e, a, D)] \quad (3.4.2)$$

ここで、

$\lambda_0(c, s, a, b)$: ベースライン率（被ばく寄与を含めないがん自然発生率）

$EAR(s, e, a, D)$: 過剰絶対リスク（EAR）

$ERR(s, e, a, D)$: 過剰相対リスク（ERR）

c : 都市

s : 性別

a : 到達年齢（がん罹患が現れる年齢）

b : 出生年

e : 被ばく時年齢

D : 中性子線量を RBE 値 10 で重み付けした吸収線量 ($= D_\gamma + 10 D_n$)

D_γ : γ 線の吸収線量、 D_n : 中性子の吸収線量

(2) がん部位に対するリスク推定モデル

放射線被ばくによるがんの発生は幾つかの臓器・組織で観察され、そのリスク（死亡または罹患）は各部位によって様々である。そのため、推定に用いられるモデルやパラメータも臓器・組織によって異なる。

EPAによる従来の部位の分類と新モデルの部位の分類とを比較した結果を表 3.20 に示す。従来の分類に比べ、(i) 食道及び腎臓をその他のがんを含む、(ii) 前立腺と子宮に対して個別のモデルが与えられたという2点の違いがある。食道がんについては、BEIR VII (NAS, 2006) ではその他の部位の1つとして扱っており、EPA報告書でも同様の扱いとしている。腎臓がんについては後述するが、EPA報告書によれば、その他の部位に対する推定モデルを利用しつつ、バックグラウンドリスクによる調整を加えてリスク推定を行っている。また、前立腺と子宮のリスク推定モデルについては、広島・長崎の被爆者の寿命調査(Life Span Study: LSS) に対する解析の結果から有意な線量応答が観察されていることを根拠としている。

ここでは、各部位のがん推定に必要なリスク推定モデルを示す。

① 固形がん：胃、結腸、肝臓、肺、前立腺、子宮、卵巣、膀胱、その他

EPA 報告書では、上記の固形がんの部位に対する EAR および ERR モデルは性別、被ばく時年齢及び到達年齢の関数であり、以下の式で示される。

$$EAR(D, s, e, a) \text{ or } ERR(D, s, e, a) = \beta_s D \exp(\gamma e^*) (a/60)^\eta \quad (3.4.3)$$

ここで、 e^* は被ばく時年齢の関数で、以下の式で表される。

$$e^* = \frac{\min(e, 30) - 30}{10} \quad (3.4.4)$$

β_s : 被ばく時年齢 30 歳、到達年齢 60 歳の性別線量補正係数

γ : 被ばく時年齢の関数 e^* に依存した補正係数

η : 到達年齢のべき補正係数

これらのパラメータ $\beta_s (= \beta_M, \beta_F)$ 、 γ および η の値を表 3.21 に示す。

② 固形がん：甲状腺

EPA 報告書では甲状腺がんに対するリスクモデルは ERR のみで、以下の式で示される。

$$ERR(D, e, t) = \beta DA(e)T(t) \quad (3.4.5)$$

ここで、

$A(e)$: 被ばく時年齢の倍数因子

$T(t)$: 被ばく後経過時間

(3.4.5)式は、米国放射線防護審議会 (NCRP) の報告書 (NCRP, 2008) に類似し

たモデルであり、被ばく時年齢と被ばく後の経過時間に依存する。ここで、甲状腺がんに対する NCRP と EPA 報告書のモデルは、いずれも Lubin and Ron(1998)により得られたモデルを基礎としている。表 3.22 に $A(e)$ 及び $T(t)$ の値を示す。

③ 固形がん：胸部（乳房）

BEIR VII モデルは胸部に対し EAR モデルのみを用いており、EPA 報告書も同様の扱いである。被ばく時年齢と到達年齢の両方に依存する以下の式で示される。

$$EAR(D, s, e, a) = \beta D \exp[\gamma(e-25)/10](a/50)^{\eta} \quad (3.4.6)$$

ここで、各パラメータの推定値を表 3.21 に示す。

④ 白血病

BEIR VII は白血病に対して、EAR と ERR 両方のリスクモデルが適用され、以下の式で示される。白血病のリスクモデルはその他のがん部位に対するモデルと異なり、ERR と EAR の両方で被ばく後の経過時間 t に依存し、かつ、リスクは線量の線形 2 次関数で示される。

・ $t \geq 5$

$$EAR(D, e, t) \text{ or } ERR(D, e, t) = \beta_s D(1 + \theta D) \exp[\gamma e^* + \delta \log(t/25) + \phi e^* \log(t/25)]$$

・ $2 < t \leq 5$

$$EAR(D, e, t) = EAR(D, e, 5)$$

$$ERR(D, e, t) = ERR(D, e, 5) \frac{\lambda_0(s, e+5)}{\lambda_0(s, e+2)}$$

・ $t \leq 2$

$$EAR(D, e, t) = ERR(D, e, t) = 0 \quad (3.4.7)$$

ここで、

θ : 線量の 2 次項と 1 次項の係数の比（正の値）

δ : 被ばく後経過時間のベキ補正係数

ϕ : 被ばく時年齢と被ばく後経過時間の交互作用による補正係数

⑤ 腎臓

BEIR VII では腎臓は「残りの部位」に含まれている。食道とは対照的に腎臓はウランの同位体を含むいくつかの放射性核種に対して重要なターゲットであるため、腎臓がんについては個別のモデルが必要と考えられるが、EPA 報告書では、リスク推定モデルを構築するには、その他の部位に属する他の臓器・組織と比べて明確な違いを見出すための根拠が不十分であるとしている。そのため腎臓がん

については個別のモデルを構築するのではなく、その他の部位に対する推定モデルを利用しつつ、バックグラウンドリスクによる調整を加えてリスク推定を行っている。腎臓がんに対する EAR モデルは (3.4.8) 式で示される。

$$\overline{EAR}_{kidney}(s, e, a) = \frac{\lambda_{I, kidney}(s, a)}{\lambda_{I, residual}(s, a)} \overline{EAR}_{residual}(s, e, a) \quad (3.4.8)$$

ここで、

$\lambda_{I, kidney}(s, a)$: 腎臓がん罹患率のベースライン

$\lambda_{I, residual}(s, a)$: その他のがん罹患率のベースライン

(3) 生涯がんリスク (LAR) の計算方法

① 乳がん、骨がん及び皮膚がんを除く部位

生涯がんリスクは、年齢 e で被ばくした後に、その後の生涯を通じて被ることになるリスクを全て積算して算出される。すなわち、年齢 e において線量 D を被ばくした場合、その後の生涯におけるリスク $LAR(D, e)$ は到達年齢 a の生涯にわたる積分値として以下の式で示される。

$$LAR(D, e) = \int_{e+L}^{110} M(D, e, a) \frac{S(a)}{S(e)} da \quad (3.4.9)$$

ここで、

$LAR(D, e)$ 生涯がんリスク

$M(D, e, a)$ 被ばく時年齢 e から到達年齢 a の過剰絶対リスク

$S(a)$ 0歳から年齢 a までの生存率

L 最小の潜伏期間 (白血病: 2年、その他の固形がん: 5年)

D 被ばく線量

e 被ばく時年齢

である。なお、その他の部位のがんリスクを計算する際には、腎臓の影響を差し引いて LAR を計算した。

② 乳がん

放射線起因の乳がん死亡リスクの LAR は、以下の方法で計算される。年齢 a_I と年齢 $a_I + da$ との間に放射線起因の乳がんを罹患する確率 $f_{D,e}(a_I)$ は、 e 歳で被ばくし、到達年齢 a_I で罹患した時の EAR を $M_I(D, e, a_I)$ とすると、以下の式で示される。

$$f_{D,e}(a_I) da = M_I(D, e, a_I) \left[\frac{S(a_I)}{S(e)} \right] da \quad (3.4.10)$$

ここで、 $S(t)$ は、年齢 t における生存率である。

年齢 a_I で乳がん罹患し、年齢 a_M で乳がんにより死亡する場合、がん罹患者は、他の死因の影響を受けずに年齢 a_I から年齢 a_M まで生存して、年齢 a_M で乳がんにより死亡しなければならない。この場合、年齢 a_I で乳がん罹患した人が年齢 a_M まで生存する割合を表す相対生存率 $R(t, a_I)$ は、乳がん罹患者の生存率を、乳がんを仮定しない場合の生存率で除した値となる。ここで、 $t = a_M - a_I$ として、 R が期間と診断時の年齢に依存するとした場合、期間 t におけるがん罹患者の生存率は $[S(a_M)/S(a_I)] \cdot R(t, a_I)$ となり、年齢 a_M と $a_M + da$ の間での放射線起因の乳がんによる死亡確率 $f_{D,e}(a_M)$ は、以下の式で示される。

$$f_{D,e}(a_M)da = \left(\int_{e+L}^{a_M} h(a_M) \cdot M_I(D, e, a_I) \cdot \frac{S(a_I)}{S(e)} \cdot \frac{S(a_M)}{S(a_I)} \cdot R(t, a_I) \cdot da_I \right) da \quad (3.4.11)$$

ここで、乳がんでの死亡率 $h(a_I)$ と相対的生存率の関数 $R(t, a_I)$ は、それぞれ以下の式で示される。 $R(5, a_I)$ は、乳がんの5年相対生存率の値としてEPA報告書に示されている（表3.23）。

$$h(a_I) = -(0.2)\log R(5, a_I) \quad (3.4.12)$$

$$R(t, a_I) = \exp[-t \cdot h(a_I)] \quad (3.4.13)$$

被ばく時年齢 e での乳がん死亡リスクのLARは、 $f_{D,e}(a_M)$ を用いて、以下の式で計算される。

$$LAR(D, e) = \int_{e+L}^{110} f_{D,e}(a_M) da_M \quad (3.4.14)$$

③ 骨がん、皮膚がん

骨がんに対しては、男性、女性、男女平均の生涯リスク(LAR)が一定になるものとして扱う。年齢 e におけるがん罹患リスク M_I は、LARの定義に対して M_I が到達年齢に依存しないものと仮定して、以下の式で示される。

$$M_I = \frac{LAR}{\int_{e+L}^{110} \frac{S(a)}{S(e)} da} \quad (3.4.15)$$

骨がんの男女別での罹患及び死亡に対するLARを表3.24に示す。

また、皮膚がんに対しては、男性、女性、男女平均のLARが一定になるものとして扱う。なお、罹患リスクは死亡リスクを致死率で除して算出する。LARから年齢 e におけるがん罹患リスク M_I を算出する際には骨がんと同様に、(3.4.15)式を

用いた。皮膚がんの男女別での死亡に対するLARを表3.25に示す。

(4) 生涯がんリスクの人口分布による重み付け

人口の年齢分布に変化が生じないと仮定したときの生涯がんリスク $LAR_{stationary}(D, e)$ は、以下の式で表される。

$$LAR_{stationary}(D, e) = \frac{\int_0^{110-L} S(e) \cdot LAR(D, e) \cdot de}{\int_0^{110-L} S(e) \cdot de} \quad (3.4.16)$$

なお、LARを算出する際には、以下の式を用いてERRとEARで重み付ける。

$$LAR(D, e) = w \cdot LAR^{(R)}(D, e) + (1 - w) \cdot LAR^{(A)}(D, e) \quad (3.4.17)$$

重み付けの係数wは、EPA報告書Table 3-10から求めた値を利用した。wの値については表3.26に示す。

また、LARの男女平均値を推定する場合には、以下の式を用いて男性と女性で平均した値として推定する。

$$LAR_{AVE}(D, e) = \frac{1.048 \cdot S_{MALE}(e) \cdot LAR_{MALE}(D, e) + S_{FEMALE}(e) \cdot LAR_{FEMALE}(D, e)}{1.048 \cdot S_{MALE}(e) + S_{FEMALE}(e)} \quad (3.4.18)$$

男女平均のLARの計算で使用する生存率 $S(e)$ は、

$$S_{AVE}(e) = \frac{1.048 \cdot S_{MALE}(e) + S_{FEMALE}(e)}{1.048 + 1} \quad (3.4.19)$$

とした。

3.5 屋内退避効果に係るデータの整備

OSCAARの防護対策モジュールPMは、屋内退避を実施する際に建物の種類（木造建屋、コンクリート建屋等）に応じた被ばく低減効果（フィルタ効果、遮へい効果）を評価できる。この評価にあたり、遮へい係数及びフィルタ係数を設定する必要がある。

事故時に放出された放射性物質による公衆の被ばく線量を低減させるために実施する屋内退避では、建屋の遮へい効果による放射性雲及び地表面沈着からの外部被ばく低減を評価するため、外部放射線による建屋の外部と内部との被ばく線量の比で示される遮へい係数が定義される。また、家屋内に滞在あるいは屋内退避の実施時において放射性物質の吸入に伴う内部被ばくを評価する際、屋外に存在する粒子状またはガス状の放射性物質が建屋内に入る割合を、屋外濃度に対する屋内濃度の比で与えるフィルタ係数が定義される。

ここでは OSCAAR で使用する遮へい係数及びフィルタ係数の設定に必要な基礎情報としてこれらの係数に関する公開文献を調査し、その概要をまとめた。

(1) 遮へい係数

- ・ USNRC, NUREG/CR-4551, SAND86-1309, Vol.2-Rev.1-Part 7, “Evaluation of severe accident risks: Quantification of major input parameters” (1990) .

本文献は、NRCにより実施された「5基の米国原子力発電プラントに対するシビアアクシデントのリスク再評価」(NUREG-1150)にて、MACCSコードによる大気拡散、緊急時対応、食物移行、経済影響評価で使用される様々なパラメータについて説明したものである。

緊急時対応のセクションにおいて、MACCSコードで推奨するクラウドシャインに対する遮へい係数の一覧を示されている(表 3.27)。また、グラウンドシャインに対する遮へい係数については、幾つかの文献レビューで得られた結果が示されている(表 3.28)。グラウンドシャインについては、建屋内部に沈着した放射性物質からの寄与の重要性を指摘している。Ostmeyerらは、内部からの寄与を考慮し(50%の放射性物質が内部に侵入すると、遮へい係数は0.1増加する)補正した値であることから、BursonらやRoedとの比較のため、それぞれに0.1を加えた値(表 3.28のB+dとR+d)も示している。この表の結果から、グラウンドシャインに対する遮へい係数として、日常生活時では、木造家屋には0.5、石造家屋には0.3、学校または会社には0.3、地下室には0.1とした。また、屋内退避時では、木造家屋には0.4、石造家屋には0.2、学校または会社には0.2、地下室には0.05とした。

日常生活では、外出時、自宅での滞在、学校や会社での滞在、車での移動時の

時間割合とそれぞれの遮へい係数を乗じて合計した遮へい係数を用いる。この時間割合は、国勢調査を基に、人口グループ（労働者、学校に通う子供、自宅で過ごす人）毎に、外出時間や滞在時間を算出し、求めた値である。NUREG-1150での評価では、各プラント（ザイオン、グランドガルフ、ピーチボトム、サリー、セコイア）における遮へい係数を算出した。表 3.29 にその一覧を示す。

- ・ 山口、南、「原子炉事故時における日本の典型的な家屋の放射線遮へい効果」、保健物理 24 p.11-18（1989）。

原子力事故により放出された放射性希ガスからの γ 線に対する建屋の遮へい効果を 3 種類の代表的な家屋（木造家屋、プレハブ家屋、鉄筋コンクリート家屋）について評価したものである。

対象とするそれぞれの家屋については、使われている材料やその厚さを 1978 年の統計資料から決定した上で、窓、壁、屋根で構成される単純評価モデルを作成した。そして、空間に単色 γ 線源または混合希ガス核種（Kr 及び Xe の同位体：計 11 核種）がサブマージョン及び水平円筒状プルームとしてそれぞれ分散した際の家屋内外の照射線量率について、 γ 線輸送計算コード（ANISN-JR、DOT3.5）を用いて計算し、その比を取ることで建屋の遮へい係数を求めた。

遮へい係数は原子炉停止からプルーム放出までの時間とともに徐々に低下し、Xe-133 がプルームの最優勢組成核種となる 50 時間でほぼ一定となった。原子炉停止後 1 時間と 50 時間での遮へい係数は、木造家屋では 0.62 及び 0.50、プレハブ家屋では 0.82 及び 0.75、鉄筋コンクリート家屋では 0.29 及び 0.20 であった。なお、混合希ガス核種に加え、ヨウ素（1-131~135）の放出も想定したプルームで同様に遮へい係数を評価したが、結果に影響しなかった。

これらの評価結果に基づき、プルームに対する家屋の遮へい係数として、鉄筋コンクリート家屋に対し 0.4、その他の住宅用一般家屋に対し 0.9 という値を用いることができると結論付けている。

- ・ 日本原子力研究所、「平成 14 年度原子力損害賠償制度に関する技術的基礎調査研究（繰越分）」（2003）。

前述した山口、南の研究を参考に、最新の統計データに基づき日本家屋について種類、構造、材質を調査して代表的な建物分類を行い、この家屋に対して放射性雲及び地表面沈着からの γ 線による外部被ばく線量の遮へい係数を評価した結果が示されている。

総務省の最新統計データ「平成 10 年度住宅・土地統計調査」に基づき、日本家屋について種類、構造、材質を調査し、代表的な日本家屋のモデルとして、木

造一戸建住宅、防火木造一戸建住宅、鉄筋コンクリート共同住宅の3種類を設定した。これらの建屋をモデル化するにあたり、建屋の形状や、遮へい能力を決定する遮へい体（壁、床、屋根）を構成する材料の密度と厚さについては文献調査等により決定した。また、線源は放射性雲の場合には建屋を取り囲む全空間領域、地表沈着の場合には建屋を取り囲む地表面上に単一エネルギー線源が一様分布しているものとした。遮へい係数の評価には、2次元輸送解析コード DOT3.5 を用い、上記の建屋モデルに対し、遮へい体（建屋）がある場合とない場合とで線量計算を行い、建屋内の異なる位置での遮へい係数を求めた（窓際値及び建屋平均値）。

結果を表 3.30 に示す。遮へい係数を設定する場合、事故シナリオに応じて放出される放射性核種の γ 線エネルギーを考慮した遮へい係数の代表値を与える必要があると述べている。例えば、放射性雲からの γ 線外部被ばくの場合には希ガスが主要核種となるが、事故直後であれば、炉内蓄積量の大きい Kr-87 や Kr-88 に対する遮へい係数（一戸建で 0.65、共同住宅で 0.29）、事故発生から 1 日以上経過した後の放出では半減期の比較的長い Xe-133 に対する遮へい係数（一戸建で 0.4、共同住宅で 0.21）が適切と考えられる。一方、地表沈着からの γ 線外部被ばくの場合、事故発生から比較的短期間には半減期が短い I-131 や I-133 が主要核種となるが、1 ヶ月以上経過した後では半減期の長い Cs-134 や Cs-137 に対する遮へい係数（一戸建で 0.74、共同住宅で 0.41）を用いることが適切であるとしている。

(2) フィルタ係数

- ・ 村田他、家屋の放射能防護効果に関する研究 (I) , 「家屋の自然換気回数および構造種別分布の調査」, JAERI-M 89-045 (1989)

内部被ばくに関する家屋の放射能防護効果は、屋内退避した時としない時との内部被ばく線量の比で定義される。外気の侵入による屋内の放射能濃度の時間変化は建物の自然換気に支配されるため、換気回数が分かれば屋内の放射能濃度の変化を推定できる。本論文には、屋内退避による内部被ばく低減係数の評価に不可欠な自然換気回数と換気の要因について調査・解析した結果が示されている。

家屋の自然換気を引き起こす駆動力には、室内外の温度差に対応する空気の密度差によって生じる浮力、風速によって決まる外気のエネルギーが建物外周において、一部あるいは全てが静圧に変わることによって生じる風圧がある。一方、これらの駆動力が作用する家屋は多数の隙間や開口等の通気路で構成され、それを挟みでの静圧差等が生じる。ここでは、自然換気回数の実測値と、その要因である風速、室内外温度差、建物の気密性について文献調査を行った。その結果、日本の

家屋での自然換気回数の実測値については、12件、211データが得られた。データを整理すると、換気回数、風速、室内外温度差の範囲はそれぞれ $0.05 \sim 5.0 \text{h}^{-1}$ 、 $0 \sim 10.0 \text{m/s}$ 、 $0 \sim 39.6^\circ\text{C}$ であった。これらの調査結果から、自然換気回数と、家屋の気密指標、風速、室内外温度差との関係を経験的に説明する換気回数の推定式を統計学的手法で求めた。それによれば、日本家屋の自然換気回数 $Y (\text{h}^{-1})$ は、家屋の気密指標 X_1 、風速 $X_2 (\text{m/s})$ 、内外温度差 $X_3 (^\circ\text{C})$ から推定され、 $Y = -0.20 + 0.30X_1 + 0.083X_2 + 0.016X_3$ で示される。

平均的な内部被ばく低減係数（フィルタ係数）は、得られた平均換気回数を用いて次式で求めることができる。

被ばく低減係数 = $(T + 1/Y \times \exp(-YT) - 1/Y) \times 1/T$ （単室、均一ガス混合）

ここで、 Y は換気回数 (h^{-1})、 T は屋内退避している時に家屋がプルームに包まれてからの経過時間 (h) である。外気濃度が一定濃度で継続する場合、換気回数 0.79h^{-1} （日本家屋平均）の家屋に退避すると、1時間後の内部被ばく低減係数は、0.31 となる。

表 3.1 気象庁 GPV データの比較

データ名	数値予報領域モデル GPV (RSM)	全球数値予報モデル GPV (GSM 日本域)	メソ数値予報モデル GPV (MSM)
解析時刻 (UTC)	00, 12 (1日2回)	00, 06, 12, 18 (1日4回)	00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 (1日8回)
予報時間 (UTC)	52 時間予報	・ 84 時間予報 ^{*1} (00, 06, 12, 18) ・ 90-192 時間予報 ^{*2} (12)	15 時間予報 (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21) 33 時間予報 (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21) * *: 33 時間予報は 2007 年 5 月 16 日以降
	地上は 1 時間間隔 気圧面は 3 時間間隔	*1: 地上は 1 時間間隔、 気圧面は 3 時間間隔 *2: 地上は 3 時間間隔、 気圧面は 6 時間間隔	地上は 1 時間間隔、気圧 面は 3 時間間隔
データ 形式	国内二進形式格子点資 料気象通報式	二進形式格子点資料気 象通報式 (GRIB2)	
配信領域	北緯 20-50 度 東経 120-150 度	北緯 20-50 度 東経 120-150 度	北緯 22.4-47.6 度 東経 120-150 度
格子系		等緯度等軽度	
	地上: 0.2 度×0.25 度 気圧面: 0.4 度×0.5 度	0.2 度×0.25 度	地上*: 0.05 度×0.0625 度 気圧面: 0.1 度×0.125 度 *2006 年 3 月以前は地 上: 0.1 度×0.125 度
配信期間	～2007 年 11 月 20 日	2007 年 11 月 21 日～	2001 年 3 月～

表3.2 狭域風速場の格子構造

項目	従来 of 解像度 (RSM データ)	高解像度 (MSM データ)
格子数	21×21	81×81
格子間隔(km)	19.05	4.7625
格子間隔の AFM に対する比率	0.125 (1/8)	0.03125(1/32)

表3.3 ¹³⁷Csの地表面沈着量の差分（高解像度狭域風速場と従来解像度の狭域風速場）

距離(km)	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
0.5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1.5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.38E+06	-6.30E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2.5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.43E+06	-3.74E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
3.5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.18E+06	-2.52E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4.5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.09E+05	-1.83E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
5.5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.69E+05	-1.16E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
7.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.03E+05	-8.46E+05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
9.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.44E+05	-9.93E+05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
12.5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.32E+05	-1.76E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
17.5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	7.56E+05	-2.71E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
22.5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.23E+05	8.90E+04	-1.20E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
27.5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.71E+05	-5.54E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
30.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.75E+04	-3.48E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
50.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.07E+05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
70.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.43E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
90.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.53E+01	7.36E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
125.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.38E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
175.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-4.00E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
250.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-1.46E+03	4.96E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
350.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.20E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
500.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-2.67E+03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
700.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-5.92E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
900.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-9.30E+02	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1250.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
1750.0	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

網掛箇所は、高解像度狭域風速場を用いることで沈着量が増加／減少したことを示す

表3.4 風向別出現頻度の異常年検定

風向	比較年(%)							検定年(%)	F ₀	判定 F (5%) =5.59 (○ : 採択、 × : 棄却)
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
N	3.8	3.2	3.7	3.2	3.5	3.6	3.8	3.4	0.41	○
NNE	14.5	10.7	13.6	13.5	12.1	12.3	12.8	11.0	1.81	○
NE	12.2	11.7	13.1	12.2	12.0	10.2	10.8	11.7	0	○
ENE	7.3	7.4	8.6	8.5	7.7	6.5	6.6	8.7	1.81	○
E	5.3	4.8	4.8	5.8	4.2	3.8	3.8	4.8	0.03	○
ESE	3.5	2.6	3.0	3.1	3.1	2.7	2.5	2.4	1.93	○
SE	2.7	2.1	2.3	2.5	2.7	3.0	2.5	2.2	1.16	○
SSE	3.7	4.7	3.3	3.2	4.9	5.7	4.7	3.6	0.46	○
S	2.4	2.9	2.1	2.6	2.6	3.1	3.0	3.5	4.53	○
SSW	3.0	4.3	2.9	3.6	5.2	4.7	4.3	4.3	0.08	○
SW	4.2	4.3	3.6	4.6	6.4	6.4	5.7	5.5	0.15	○
WSW	5.9	7.0	5.4	6.1	6.6	5.6	5.9	6.2	0.06	○
W	6.6	7.9	7.4	6.6	5.0	4.4	4.6	4.6	0.98	○
WNW	12.3	13.9	13.3	12.4	9.8	10.2	9.7	10.2	0.62	○
NW	7.7	7.8	7.7	7.1	9.5	11.6	12.3	11.9	1.55	○
NNW	4.9	4.7	5.1	5.0	4.8	6.3	7.0	6.1	0.60	○

表3.5 風速階級別出現頻度の異常年検定

風速 (m/s)	比較年(%)							検定年(%)	F ₀	判定 F (5%) =5.59 (○ : 採択、 × : 棄却)
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0-0.4	6.6	5.8	6.1	5.7	4.5	5.1	5.1	4.9	0.64	○
0.5-0.9	21.6	23.6	22.6	23.7	19.0	20.4	17.6	17.2	2.60	○
1.0-1.9	33.6	33.8	34.4	34.0	38.8	39.6	36.5	39.0	1.35	○
2.0-2.9	20.2	20.0	19.9	20.6	19.9	18.8	20.3	20.7	1.39	○
3.0-3.9	10.7	10.6	10.0	9.6	10.4	9.5	11.8	11.0	0.47	○
4.0-5.9	6.3	5.7	5.9	5.5	6.2	5.8	8.0	6.5	0.15	○
6.0-7.9	0.7	0.4	1.0	0.9	1.1	0.6	0.7	0.6	0.72	○
8.0-	0.4	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.0	0.2	0.00	○

表3.6 大気安定度別出現頻度の異常年検定

大気 安定度	比較年(%)							検定年(%)	F ₀	判定 F (5%) =5.59 (○ : 採択、 × : 棄却)
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
A	1.4	1.8	1.7	1.6	1.9	2.1	1.8	1.9	0.47	○
B	19.4	21.2	21.0	20.9	20.2	21.4	19.6	21.1	0.41	○
C	6.3	6.2	6.1	6.0	6.1	6.2	7.2	6.6	0.58	○
D	48.3	43.2	45.3	45.3	46.6	42.5	41.0	42.5	0.59	○
E	2.0	1.7	1.6	1.9	1.8	1.6	2.5	1.8	0.05	○
F	0.9	0.9	0.8	0.8	0.6	0.8	1.5	1.5	4.65	○
G	21.7	25.1	23.5	23.6	22.9	25.4	26.4	24.6	0.07	○

表3.7 降水量別出現頻度の異常年検定

降水量	比較年(%)							検定年(%)	F ₀	判定 F (5%) =5.59 (○:採択、 ×:棄却)
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
0.0-0.4	92.4	94.0	93.4	93.5	92.0	93.7	92.6	94.1	1.74	○
0.5-0.9	2.9	2.1	2.4	2.2	2.8	2.3	3.0	2.1	1.44	○
1.0-1.4	1.3	1.1	1.1	1.2	1.3	0.8	1.4	1.1	0.11	○
1.5-1.9	0.7	0.6	0.9	0.8	1.1	0.7	0.7	0.7	0.37	○
2.0-2.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.58	○
2.5-2.9	0.4	0.3	0.4	0.3	0.7	0.4	0.3	0.2	1.53	○
3.0-3.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.90	○
3.5-3.9	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.59	○
4.0-4.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	1.22	○
4.5-4.9	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.04	○
5.0-5.4	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	3.50	○
5.5-5.9	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.82	○
6.0-6.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.68	○
6.5-6.9	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.59	○
7.0-7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.15	○
7.5-7.9	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.36	○
8.0-8.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	3.86	○
8.5-8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.48	×
9.0-9.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.00	○
9.5-9.9	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.80	○
10.0>	0.2	0.2	0.1	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.01	○

表3.8 地域防災計画に示される避難施設の例

東海地区

市町村	No	種別			避難施設名	所在地	電話番号
		避難施設	コンクリート 屋内 避難所	一時集 合場所			
東海村	A01	○	○	○	石神コミュニティセンター	東海村石神内宿1609	029-283-2868
	A02	○	○	○	村松コミュニティセンター	東海村村松3370-4	029-282-9944
	A03	○	○	○	白方コミュニティセンター	東海村白方2077	029-287-3534
	A04	○	○	○	真崎コミュニティセンター	東海村村松833	029-283-4477
	A05	○	○	○	中丸コミュニティセンター	東海村須和間345-1	029-287-2128
	A06	○	○	○	舟石川コミュニティセンター	東海村舟石川158-1	029-283-1951
	A07	○	○	○	白方小学校	東海村白方中央2丁目21-1	029-282-2680
	A08	○	○	○	照沼小学校	東海村照沼930	029-282-2024
	A09	○	○	○	中丸小学校	東海村村松2124	029-282-2767
	A10	○	○	○	石神小学校	東海村石神外宿1055	029-282-2005
	A11	○	○	○	舟石川小学校	東海村舟石川690-1	029-282-9238
	A12	○	○	○	村松小学校	東海村村松1443	029-282-4885
	A13	○	○	○	東海中学校	東海村舟石川825	029-282-1625
	A14	○	○	○	東海南中学校	東海村船場768	029-282-7821
	A15	○	○	○	東海村立図書館	東海村船場768	029-282-3435
	A16	○	○	○	東海村総合体育館	東海村船場768	029-283-0673
	A17	○	○	○	東海村合同庁舎	東海村豊白1丁目3-20	029-283-3344
	A18	○	○	○	東海村中央公民館	東海村船場768	029-282-3329
	A19	○	○	○	東海文化センター	東海村船場768-1	029-282-8511
	A20	○	○	○	東海村総合福祉センター「絆」	東海村村松2005	029-283-2299
	A21	○	○	○	日本原子力発電 総合研修センター(研修棟)(宿泊棟)	東海村東海3丁目4-1	029-287-0111
	A22	○	○	○	茨城県立東海高等学校	東海村村松771-1	029-282-7501
	A23	○	○	○	独立行政法人国立病院機構茨城東病院	東海村照沼825	029-282-1151
	A24	○	○	○	村松幼稚園	東海村村松北1丁目4-1	029-282-2867
	A25	○	○	○	石神幼稚園	東海村石神外宿945	029-282-3100
	A26	○	○	○	舟石川幼稚園	東海村舟石川453	029-282-2962
	A27	○	○	○	宿幼稚園	東海村村松3370-1	029-282-3701
	A28	○	○	○	須和間幼稚園	東海村須和間440	029-282-4631
	A29	○	○	○	百塚保育所	東海村豊岡1831-2	029-282-2949
	A30	○	○	○	村松保育所	東海村村松3370-19	029-282-3700
	A31	○	○	○	舟石川保育園	東海村舟石川576-27	029-282-4792
	A32			○	独立行政法人日本原子力研究開発機構 荒谷台公共棟	東海村村松1221-2	-
	A33			○	独立行政法人日本原子力研究開発機構 長瀬公共棟	東海村村松2116-73	-
	A34		○	○	(社)茨城原子力協議会・原子力科学館	東海村村松225-2	029-282-3111
	A35		○	○	独立行政法人日本原子力研究開発機構 東海展示館アトムワールド	東海村村松4-33	029-282-2256
	A36			○	独立行政法人日本原子力研究開発機構 太田集会所	東海村照沼1063	-
	A37			○	独立行政法人日本原子力研究開発機構 箕輪集会所	東海村村松3368-2	-
	A38		○	○	宿区自治集会所	東海村村松4-110	-
	A39		○	○	真崎区自治集会所	東海村村松885	-
	A40		○	○	白方区自治集会所	東海村白方253	-
	A41		○	○	豊岡集落センター	東海村豊岡560-1	-
	A42		○	○	照沼区自治集会所	東海村照沼79-2	-
	A43		○	○	川根区自治集会所	東海村村松3170-2	-
	A44		○	○	岡区自治集会所	東海村豊岡1539-2	-
	A45		○	○	百塚区自治集会所	東海村東海1丁目19-9	-
	A46		○	○	押込区自治集会所	東海村村松2272-1	-
	A47		○	○	須和間区自治集会所	東海村須和間464-1	-
	A48		○	○	船場集会所・東海村営農生活改善センター	東海村船場800-6	-
	A49		○	○	外宿一区自治集会所	東海村石神外宿1439-2	-
	A50		○	○	外宿二区自治集会所	東海村石神外宿935-4	-
	A51		○	○	内宿一区自治集会所	東海村石神内宿2355-5	-
	A52		○	○	内宿二区自治集会所	東海村石神内宿1078-1	-
	A53		○	○	竹瓦区自治集会所	東海村竹瓦300-2	-
	A54		○	○	轟下区自治集会所	東海村轟下372-1	-
	A55		○	○	舟石川一区自治集会所	東海村舟石川269-1	-
	A56		○	○	舟石川二区自治集会所	東海村舟石川駅西2丁目12-9	-
	A57		○	○	舟石川三区自治集会所	東海村舟石川825-91	-
	A58		○	○	舟石川中丸区自治集会所	東海村村松2117	-
	A59		○	○	緑ヶ丘区自治集会所	東海村村松2649-8	-
	A60		○	○	須台区自治集会所	東海村須和間679-255	-
	A61		○	○	豊白区自治集会所	東海村白方1690-18	-
	A62			○	回漣ヶ浦公園	東海村村松730-1	029-282-3835

(茨城県防災会議, 2009より)

表3.9 作成した施設データの例

* AREA NUMBER FOR EACH COUNTERMEASURE								
*								
* DIRECTION NUMBER, DISTANCE NUMBER								
32	20							
CONCRETE SHELTERING								
19	19	19	19	...	19	19	19	19
18	12	12	12	...	23	23	18	18
12	12	12	12	...	23	23	23	23
23	23	7	7	...	24	24	24	24
.....								
7	7	7	7	...	26	26	26	26
7	7	7	7	...	26	26	26	26

表3.10 事例におけるメッシュ対応

同心円メッシュ番号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
標準地域メッシュ番号	-	-	2	1,3,4	5,6,9,10	7,8,11,12,13,14	-	15
標準地域メッシュ数	0	0	1	3	4	6	0	1

表3.11 同心円メッシュ間のウエイト

同心円メッシュ番号	(3)	(4)	(5)	(6)	(8)
同心円メッシュ間のウエイト	1/15	3/15	4/15	6/15	1/15

表3.12 地域メッシュ別人口データファイルの項目

項番	項 目	項番	項 目	項番	項 目
1	男女総人口	35	男子総人口	69	女子総人口
2	男女 0～4歳人口	36	男子 0～4歳人口	70	女子 0～4歳人口
3	" 5～9歳 "	37	" 5～9歳 "	71	" 5～9歳 "
4	" 10～14歳 "	38	" 10～14歳 "	72	" 10～14歳 "
5	" 15～19歳 "	39	" 15～19歳 "	73	" 15～19歳 "
6	" 20～24歳 "	40	" 20～24歳 "	74	" 20～24歳 "
7	" 25～29歳 "	41	" 25～29歳 "	75	" 25～29歳 "
8	" 30～34歳 "	42	" 30～34歳 "	76	" 30～34歳 "
9	" 35～39歳 "	43	" 35～39歳 "	77	" 35～39歳 "
10	" 40～44歳 "	44	" 40～44歳 "	78	" 40～44歳 "
11	" 45～49歳 "	45	" 45～49歳 "	79	" 45～49歳 "
12	" 50～54歳 "	46	" 50～54歳 "	80	" 50～54歳 "
13	" 55～59歳 "	47	" 55～59歳 "	81	" 55～59歳 "
14	" 60～64歳 "	48	" 60～64歳 "	82	" 60～64歳 "
15	" 65～69歳 "	49	" 65～69歳 "	83	" 65～69歳 "
16	" 70～74歳 "	50	" 70～74歳 "	84	" 70～74歳 "
17	" 75～79歳 "	51	" 75～79歳 "	85	" 75～79歳 "
18	" 80～84歳 "	52	" 80～84歳 "	86	" 80～84歳 "
19	" 85歳以上 "	53	" 85歳以上 "	87	" 85歳以上 "
20	" 0～2歳 "	54	" 0～2歳 "	88	" 0～2歳 "
21	" 3～5歳 "	55	" 3～5歳 "	89	" 3～5歳 "
22	" 0～5歳 "	56	" 0～5歳 "	90	" 0～5歳 "
23	" 6～11歳 "	57	" 6～11歳 "	91	" 6～11歳 "
24	" 12～14歳 "	58	" 12～14歳 "	92	" 12～14歳 "
25	" 15～17歳 "	59	" 15～17歳 "	93	" 15～17歳 "
26	" 18歳 "	60	" 18歳 "	94	" 18歳 "
27	" 19歳 "	61	" 19歳 "	95	" 19歳 "
28	" 0～14歳 "	62	" 0～14歳 "	96	" 0～14歳 "
29	" 15歳以上 "	63	" 15歳以上 "	97	" 15歳以上 "
30	" 15～64歳 "	64	" 15～64歳 "	98	" 15～64歳 "
31	" 20歳以上 "	65	" 20歳以上 "	99	" 20歳以上 "
32	" 65歳以上 "	66	" 65歳以上 "	100	" 65歳以上 "
33	" 75歳以上 "	67	" 75歳以上 "	101	" 75歳以上 "
34	" 外国人 "	68	" 外国人 "	102	" 外国人 "

表3.13 各品目の内訳

品目	内容
穀類	水稻
豆類	大豆
果物	みかん、なつみかん、はっさく、いよかん、ネーブルオレンジ、りんご、日本なし、 <u>西洋なし</u> 、かき、びわ、もも、すもも、おうとう、うめ、ぶどう、くり、パイナップル、キウイフルーツ
根菜	だいこん、にんじん、 ばれいしょ 、さといも
葉菜	はくさい、キャベツ、ほうれんそう、レタス、ねぎ、たまねぎ
牛肉	肉牛、乳牛問わず、生肉処理される牛を対象
豚肉	生肉処理される豚を対象
鶏肉	ブロイラーを対象
鶏卵	飼養されている採卵鶏から推定される鶏卵生産量を対象
牛乳・乳製品	生産された生乳から、輸送他作業における損失量を除き、その他の向け生乳量（自家用向け生乳量）、牛乳等向け生乳量、乳製品向け生乳量を対象

表 3.14 農畜産物生産量データの整備で使した統計データ

品目	種類	データ名と出典	番号
穀類	市区町村別 収穫量	農林水産関係市区町村別データ（2010年）2 水稲	(A)
	県別収穫量	平成 22 年産作物統計（普通作物・飼料作物・工芸農作物） 統計表（平成 22 年産）1 水陸稲の時期別作柄及び収穫量（全国農業地域別・都道府県別）-水稲	(B)
	市区町村別 農業経営体 数	2010 年農林業センサス 2-6 販売目的の作物別作付(栽培) 経営体数と作付（栽培）面積	(C)
豆類	市区町村別 収穫量	農林水産関係市区町村別データ（2010年）大豆	(D)
	県別収穫量	平成 22 年産作物統計（普通作物・飼料作物・工芸農作物） 統計表（平成 22 年産）3 豆類（乾燥子実）及びそばの収穫量（全国農業地域別・都道府県別）-大豆	(E)
	市区町村別 農業経営体 数	2010 年農林業センサス 2-6 販売目的の作物別作付(栽培) 経営体数と作付（栽培）面積	(F)
果物	市区町村別 収穫量	農林水産関係市区町村別データ(2005年) 果樹	(G)
	県別収穫量	平成 17 年産果樹生産出荷統計 都道府県別の結果樹面積・10a 当たり収量・出荷量	(H)
	市区町村別 農家数	2005 年農林業センサス都道府県別報告書「販売目的の果樹の種類別栽培農家数と栽培面積」	(I)
根菜	市区町村別 収穫量	農林水産関係市区町村別データ（2010年）8-1 野菜（根菜類）	(J)
	県別収穫量	平成 22 年産野菜生産出荷統計 3 都道府県別の作付面積、収穫量、出荷量	(K)
	市区町村別 農業経営体 数	ばれいしょ以外の根菜：2010 年農林業センサス 2-9 販売目的の野菜類の作物別作付（栽培）経営体数 ばれいしょ：2010 年農林業センサス 2-6 販売目的の作物別作付（栽培）経営体数と作付（栽培）面積	(L)

品目	種類	データ名と出典	番号
葉菜	市区町村別 収穫量	農林水産関係市区町村別データ（2010年）8-2 葉茎菜類	(M)
	県別収穫量	平成22年産野菜生産出荷統計 3都道府県別の作付面積、収穫量、出荷量	(N)
	市区町村別 農業経営体 数	2010年農林業センサス 2-9 販売目的の野菜類の作物別作付（栽培）経営体数	(O)
牛肉 豚肉 鶏肉 鶏卵	と畜頭数も しくは処理 量（生体）羽 数	（牛、豚）と畜頭数及びと畜場数累年統計（全国） （鶏肉）食鳥流通統計の食鳥処理場調査（ブロイラー） （鶏卵）畜産統計の採卵鶏から「飼養戸数・羽数」の採卵鶏（小計） 平成17年と22年は畜産統計の「飼養戸数・羽数」調査が休止したため、農林業センサス「第4巻農業経営体調査報告書（農業経営部門別編 第3集）養鶏部門「販売目的の採卵鶏飼養羽数規模別統計」の飼養羽数（全国）	(P)
	枝肉生産量 もしくは処理 量（生体） 重量	（牛、豚）枝肉生産量累年統計（全国） （鶏肉）食鳥流通統計の食鳥処理場調査（ブロイラー） （鶏卵）鶏卵流通統計調査の「生産量」	(Q)
	県別畜頭数	（乳用牛、肉用牛、豚、ブロイラー） 平成22年畜産統計－都道府県別飼養戸数・頭数（採卵鶏） 農林業センサス「販売目的の採卵鶏飼養羽数規模別統計」飼養羽数（H17年、H22年） 畜産統計の採卵鶏「飼養戸数・羽数」の採卵鶏（H17年、H22年以外）	(R)
	市区町村別 農業経営体 数および飼 養頭（羽）数	2010年農林業センサス 第1巻 都道府県別統計書 2-12 販売目的の家畜等を飼養している経営体数と飼養頭羽数 ※ブロイラーに対する「種類」は、出荷した経営体数と出荷羽数。	(S)

品目	種類	データ名と出典	番号
牛乳・乳製品	県別生産量	平成 22 年牛乳乳製品統計－統計表 2 生乳生産量（都道府県別・月別）	(T)
	県別用途別処理量	平成 22 年牛乳乳製品統計－統計表 6 生乳処理量（用途別都道府県別・月別）－その他向け処理量、牛乳等向け処理量、乳製品向け処理量	(U)
	県別畜頭数	平成 22 年畜産統計－乳用牛（平成 22 年 2 月 1 日調査）－都道府県別飼養戸数・頭数	(V)
	市区町村別の農業经营主体数および乳牛飼養頭数	2010 年農林業センサス 第 1 巻 都道府県別統計書 2-12 販売目的の家畜等を飼養している经营主体数と飼養頭羽数	(W)

表 3.15 統計表内記号の意味と処理方法

記号	意味	処理方法
—	事実の無いもの	ゼロとする
…	事実不詳または調査を欠くもの	ゼロとする
X	秘密保護上統計数値を公表しないもの	暫定値を与える。
空白	農林水産省のデータベースに蓄積されていないもの。	ゼロとする

表 3.16 統計値のラウンド方法

原数		7 桁以上	6 桁	5 桁	4 桁	3 桁以下
		100 万以上	10 万	万	1 000	100 以下
ラウンドする桁		3 桁	2 桁		1 桁	ラウンドしない
例	計算値（ラウンド前）	1 234 567	123 456	12 345	1 234	123
	統計値（ラウンド後）	1 235 000	123 500	12 300	1 230	123

表3.17 作成した市区町村別農畜産物データの例

茨城県							
都道府県	市町村	市町村名	穀類	豆類	果物	根菜	葉菜
コード	コード		(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)
8	201	水戸市	16600000	356000	1107000	3389000	8036000
8	202	日立市	1610000	18000	200000	362000	1415000
8	203	土浦市	3710000	97000	919000	2499000	3539000
8	204	古河市	966000	8000	0	696000	1708000
8	205	石岡市	4220000	134000	1669000	2323000	1788000
8	206	下館市	15200000	630000	2906000	448000	3723000
8	207	結城市	6060000	236000	900000	2399000	40575000
8	208	龍ヶ崎市	9940000	113000	639000	2270000	753000
8	210	下妻市	8500000	297000	5663000	319000	3197000
8	211	水海道市	12800000	113000	297000	477000	2514000
8	212	常陸太田市	7570000	364000	872000	227000	580000
8	214	高萩市	1950000	150000	3000	200000	634000
8	215	北茨城市	4500000	83000	37000	320000	721000
8	216	笠間市	5250000	59000	318000	224000	356000
8	217	取手市	2560000	9000	13000	215000	318000
8	218	岩井市	8430000	57000	174000	455000	48720000
8	219	牛久市	2420000	228000	2544000	5965000	3753000
8	220	つくば市	17700000	604000	1887000	2508000	23341000
8	221	ひたちなか市	5550000	96000	409000	638000	1258000
8	222	鹿嶋市	5230000	15000	1755000	2200000	2367000
8	223	潮来市	8120000	11000	83000	236000	68000
8	224	守谷市	1520000	10000	9000	108000	2461000

表3.18 平成23年度食料需給表の（確定値）で示されている項目（種類・品目別）

大項目	小項目 1	小項目 2	
国内生産量			
外国貿易	輸入量		
	輸出量		
在庫の増減量			
国内消費仕向量			
国内消費仕向量の内訳	飼料用		
	種子用		
	加工用		
	減耗量		
	粗食量	総数	
		1人1年当たり	
		1人1日当たり	
	歩留り		
純食料			
1人当たりの供給	1年当たり数量		
	1日当たり	数量	
		熱量	
		たんぱく質	
		脂質	
純食料 100g 中の栄養成分量	熱量		
	たんぱく質		
	脂質		

※<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/Xlsdl.do?sinfid=000023624689>

表3.19 食料需給表における分類

類別・品目別	内訳
穀類	米、小麦、大麦、裸麦、とうもろこし、こうりゃん、その他の雑穀
いも類	かんしょ、ばれいしょ
豆類	大豆、その他の豆類
野菜	果菜類 ^{*1} 、葉茎菜類 ^{*2} 、根菜類 ^{*3} （「再掲」欄の分類にもとづく）
果実	みかん、りんご、その他の果実 ^{*4}
肉類	牛肉、豚肉、鶏肉、その他の肉、鯨
牛乳及び乳製品	農家自家用、飲用向け、乳製品向け

*1：果菜類：かぼちゃ、ピーマン、トマト（ミニトマトを含む）、さやえんどう（グリーンピースを含む）、さやいんげん、オクラ、きゅうり、しろうり、すいか、なす、いちご、そらまめ（乾燥したものを除く）、スイートコーン、えだまめ、メロン、とうがん、にがうり

*2：葉茎菜類：ほうれんそう、パセリ、しゅんぎく、ニラ、わけぎ、しそ、みつば、チンゲンサイ、ブロッコリー、その他のつけな、アスパラガス、カイワレダイコン、キャベツ、はくさい、ねぎ、たまねぎ、たけのこ、セルリー、カリフラワー、レタス、ふき、もやし、にんにく、ラッキョウ、メキャベツ、パクチョイ、タアサイ、ナバナ、クレソン、セリ、ツルムラサキ、あさつき、ハナニラ、タラノ芽、モロヘイヤ、花みょうが、みょうがたけ、うど、食用ぎく、じゅんさい、エシャレット、ワラビ、ゼンマイ

*3：根菜類：にんじん、だいこん、かぶ、ごぼう、さといも、れんこん、やまのいも、しょうが、わさび、食用ゆり、くわい、ヤマゴボウ

*4：なつみかん、ネーブルオレンジ、その他かんきつ、ぶどう、なし、もも、すもも、おうとう、びわ、かき、くり、うめ、バナナ、パインアップル、スイートアーモンド、キウイフルーツ、その他国産果実^{*5}、熱帯果実^{*6}、ナッツ類^{*7}

*5：あけび、あんず、いちじく、オリーブ、かりん、ぎんなん、ざくろ、なつめ、マルメロ、やまもも、サンショウ、サルナシ、ベリー類、ヤマブドウ、その他

*6：アボガド、パッションフルーツ、パパイヤ、グアバ、フェイジョア、マンゴー、レイシ、アセロラ、ドリアン、その他

*7：なつめ、ココヤシ、ブラジルナッツ、カシューナッツ、ヘーゼルナッツ、マカダミアナッツ、ピスタチオナッツ、ペカン、その他

表3.20 EPAによるがん部位の分類

部位名	部位別の取り扱い ⁽¹⁾	
	EPA 402-R-11-001 (EPA, 2011)	従来モデル ⁽²⁾
胃	○	○
結腸	○	○
肝臓	○	○
肺	○	○
乳房	○	○
前立腺	○	その他のがんを含む
子宮	○	その他のがんを含む
卵巣	○	○
膀胱	○	○
その他	○	○
甲状腺	○	○
白血病	○	○
食道	その他のがんを含む	○
腎臓	△	○
脳と中枢神経	その他のがんを含む	その他のがんを含む

⁽¹⁾ 「○」は、その部位に対して個別のリスク推定モデルが利用されていることを示す。腎臓に対する「△」は、個別のモデルは存在しないものの、EARの扱いにおいてその他の部位に基づいて別途推計されていることを示す。

⁽²⁾ 従来モデルとは、EPA 402-R-93-076 (EPA, 1994) 及び EPA 402-R-99-001 (EPA, 1999) に記載されたモデルのことである。

(高原, 2015 より)

表3.21 BEIR VIIリスク推定モデルの推奨パラメータ値

がん部位	ERR モデル				EAR モデル			
	β_M	β_F	γ	η	β_M	β_F	γ	η
胃	0.21	0.48	-0.3	-1.4	4.9	4.9	-0.41	2.8
結腸	0.63	0.43	-0.3	-1.4	3.2	1.6	-0.41	2.8
肝臓	0.32	0.32	-0.3	-1.4	2.2	1	-0.41	4.1
肺	0.32	1.4	-0.3	-1.4	2.3	3.4	-0.41	5.2
胸部（乳房）	Not used					9.9	-0.51	3.5 ⁽¹⁾ 1.1 ⁽²⁾
前立腺	0.12		-0.3	-1.4	0.11		-0.41	2.8
子宮		0.055	-0.3	-1.4		1.2	-0.41	2.8
卵巣		0.38	-0.3	-1.4		0.7	-0.41	2.8
膀胱	0.5	1.65	-0.3	-1.4	1.2	0.75	-0.41	6
その他	0.27	0.45	-0.3	-2.8	6.2	4.8	-0.41	2.8
甲状腺	0.53	1.05	-0.3	0	使用されない			
白血病	1.1	1.2	-0.83	None	1.62	0.93	0.29	None
	$\delta=-0.48, \theta=0.87Sv^{-1}, \varphi=0.42$				$\delta=-0, \theta=0.88Sv^{-1}, \varphi=0.56$			

(1)到達年齢が50歳未満

(2)到達年齢が50歳以上

(EPA, 2011 Table3-3を基に編集)

表3.22 甲状腺がんリスクモデルパラメータ

ERR/Gy(β)	モデル		
	Lubin & Ron (1998)	EPA	NCRP(2008)
	10.7	10.7	11.7
被ばく時年齢 : A(e)			
<5	1.0	1.0	1.0
5-9	0.6	0.6	0.7
10-14	0.2	0.2	0.2
15-19	与えられていない	$0.2\exp[-0.083(e-15)]$	0.2
20+	与えられていない	$0.2\exp[-0.083(e-15)]$	$0.09(e \leq 30), 0.03(e > 30)$
被ばく後経過時間 : T(t)			
<5	0	0	0
5-14	$1.3(t \leq 10), 1.0(t > 10)$	1.15	1
15-19	1.9	1.9	1.6
20-24	1.2	1.2	1
25-29	1.6	1.6	1.4
30-40	$0.5(t \leq 35), 0.2(t > 35)$	0.47	0.394
40+	0.7	0.47	0.394

(EPA, 2011 より)

表 3.23 乳がんの 5 年相対生存率

年齢	患者数	相対生存率(%)
20-34*	6,802	77.8
35-39	12,827	83.5
40-44	24,914	88.0
45-49	33,784	89.5
50-54	34,868	89.5
55-59	32,701	89.6
60-64	32,680	90.1
65-69	34,435	91.0
70-74	32,686	91.8
75-79	27,134	91.4
80-84	17,475	90.7
85+	12,457	86.6

*20 歳未満に対しては 77.8%を仮定する。

(EPA, 2011 より)

表3.24 骨がんに対するLAR

	男性	女性
罹患	$2.4 \times 10^{-4} \text{ Gy}^{-1}$	$2.3 \times 10^{-4} \text{ Gy}^{-1}$
死亡	$8.6 \times 10^{-5} \text{ Gy}^{-1}$	$8.2 \times 10^{-5} \text{ Gy}^{-1}$

表3.25 皮膚がんに対するLAR

	男性	女性
死亡	$5.4 \times 10^{-6} \text{ Gy}^{-1}$	$2.9 \times 10^{-6} \text{ Gy}^{-1}$

表3.26 重みづけ係数 w

部位	重み w
胃、結腸、肝臓、前立腺、子宮、膀胱、その他、 白血病	0.7
甲状腺 (ERRのみ)、皮膚 (ERRのみ)	1.0
乳房 (EARのみ)、骨 (EARのみ)	0.0
肺	0.3
卵巣、腎臓 (女性)	0.8
腎臓 (男性)	0.6

表3.27 クラウドシャインに対する低減係数

活動	構造	階数	低減係数
日常生活	木造家屋	2階	0.8
		1階	0.9
	石造家屋	2階	0.7
		1階	0.8
屋内退避	学校または会社	2階	0.4
		1階	0.4
	木造家屋	2階	0.5
		1階	0.6
	石造家屋	2階	0.4
		1階	0.5
	学校または会社	2階	0.4

表3.28 グラウンドシャインに対する低減係数

参考文献*	家屋						学校			地下室		
	木造			石造			L	C	U	L	C	U
	L	C	U	L	C	U						
O	0.4	0.5	0.6	0.3	0.35	0.4	0.15	0.4	0.5	0.02	0.08	0.08
B	0.2	0.4	0.5	0.04	0.2	0.4	0.01	0.05	0.08	0.02	0.04	0.07
B+d	0.3	0.4	0.6	0.14	0.3	0.5	0.11	0.15	0.18	0.12	0.14	0.17
R		0.44			0.19			0.1				
R+d		0.54			0.29			0.2				

L : 下限値、C : 中央値、U : 上限値

*O : R. M. Ostmeyer and J. G. Helton, Exposure Pathways Models for Accidental Radionuclide Release, NUREG/CR-4184, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM.

B : Z. G. Burson and A. E. Profio, Structure Shielding from Cloud and Fallout Gamma Ray Sources for Assessing the Consequence of Reactor Accidents, EG&G, EGG-1183-1670, 1975.

R : J. Roed, "Parameters Used in Consequence Calculations for an Urban Area," Recent Advances in Reactor Accident Consequence Assessment, CSNI Rpt. 145, OECD, Paris February 1988.

表3.29 各プラントにおける遮へい係数の推奨値

遮へい係数の種類			ザイ オン	グラウンド ガルフ	ピーチ ボトム	サリー	セコイア	平均	NRC*	推奨値
クラウド シャイン	通常	H	0.94	0.93	0.93	0.94	0.93	0.93		0.95
		B	0.77	0.76	0.77	0.78	0.77	0.77	0.75	0.75
		L	0.59	0.59	0.59	0.60	0.59	0.59		0.60
	屋内	H	0.62	0.80	0.60	0.72	0.74			0.80
	退避	B	0.52	0.70	0.50	0.62	0.64			
		L	0.42	0.60	0.40	0.52	0.54			0.40
グラウンド シャイン	通常	H	0.75	0.75	0.75	0.76	0.75	0.75		0.75
		B	0.42	0.41	0.41	0.44	0.41	0.42	0.33	0.40
		L	0.19	0.18	0.18	0.20	0.18	0.19		0.20
	屋内	H	0.19	0.42	0.17	0.31	0.35			0.35
	退避	B	0.11	0.25	0.10	0.20	0.21			
		L	0.03	0.09	0.02	0.07	0.07			0.02
吸入	通常	H	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00
		B	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.75	0.50
		L	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14		0.15
	屋内	H	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40		0.40
	退避	B	0.20	0.20	0.30	0.20	0.20	0.20		0.20
		L	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10		0.10

H：上限値、B：中央値、L：下限値

* NUREG-1150 での解析で初回に使用した値

表3.30 主要な核種に対する建屋の遮へい係数

主な核種	半減期	主な γ 線エネルギー (MeV)	遮へい係数*		
			木造一戸建	共同住宅	
放射性雲	Kr-87	76m	0.8, 2.56	0.65	0.29
	Kr-88	2.8h	0.2, 2.39	(0.82)	(0.23)
	Xe-133	5d	0.08	0.4	0.21
			(0.68)	(0.1)	
地表沈着	I-131	8d	0.36	0.73	0.4
	I-133	21h	0.88, 1.3	(0.8)	(0.19)
	Cs-134	2y	0.6, 0.8	0.74	0.41
	Cs-137	30y	0.66	(0.8)	(0.2)

* 建屋の窓側（括弧内は建屋の平均値）

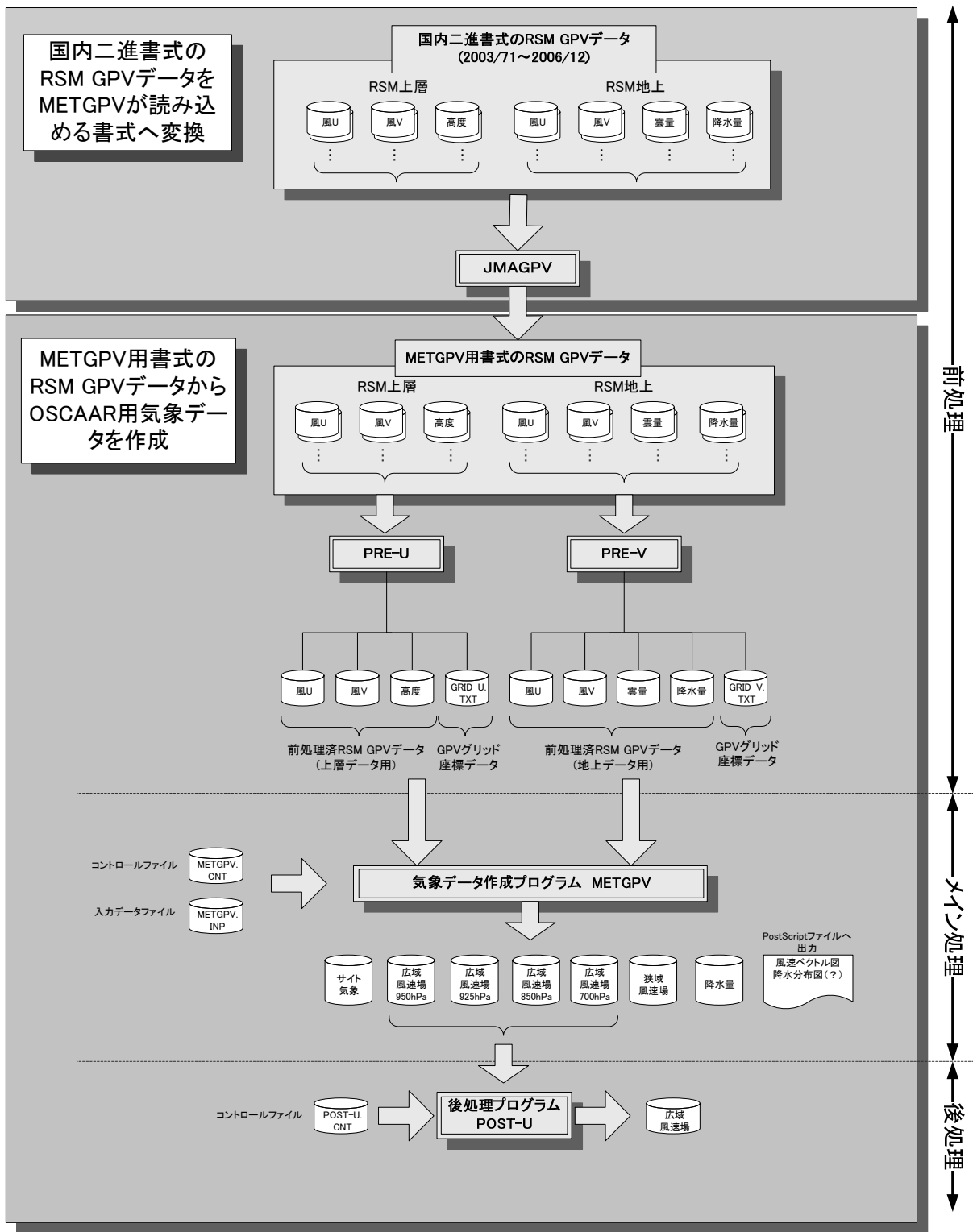
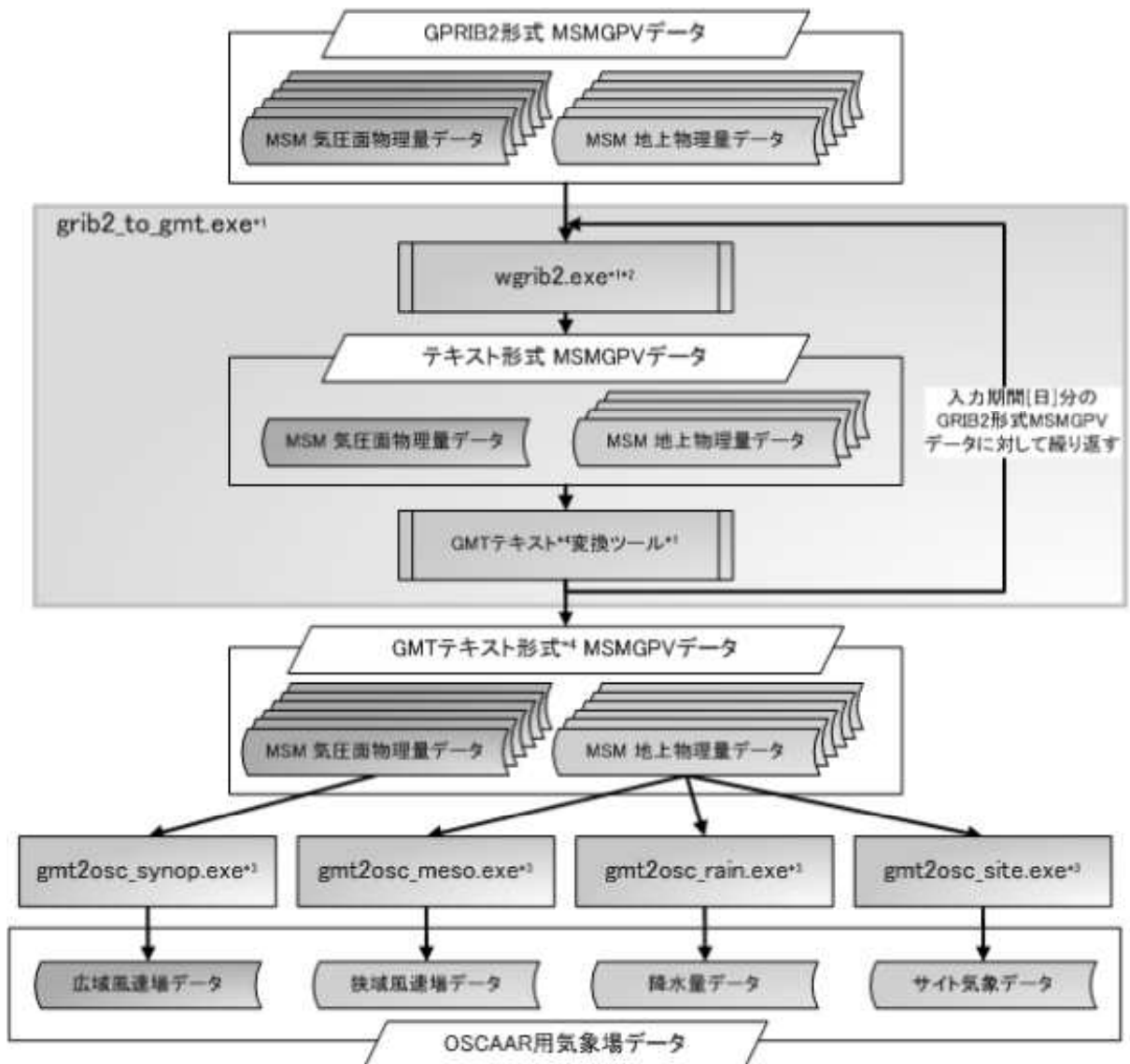


図3.1 従前のMETGPVコードによるOSCAAR用気象データの整備手順



*1 本作業で作成・追加する処理

*2 <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib2>

*3 過去に整備したシステムを元に、本作業で修正を行う処理

*4 (x, y, data)形式のテキストファイル

図3.2 改良後のMETGPVコードによるOSCAAR用気象データの整備手順

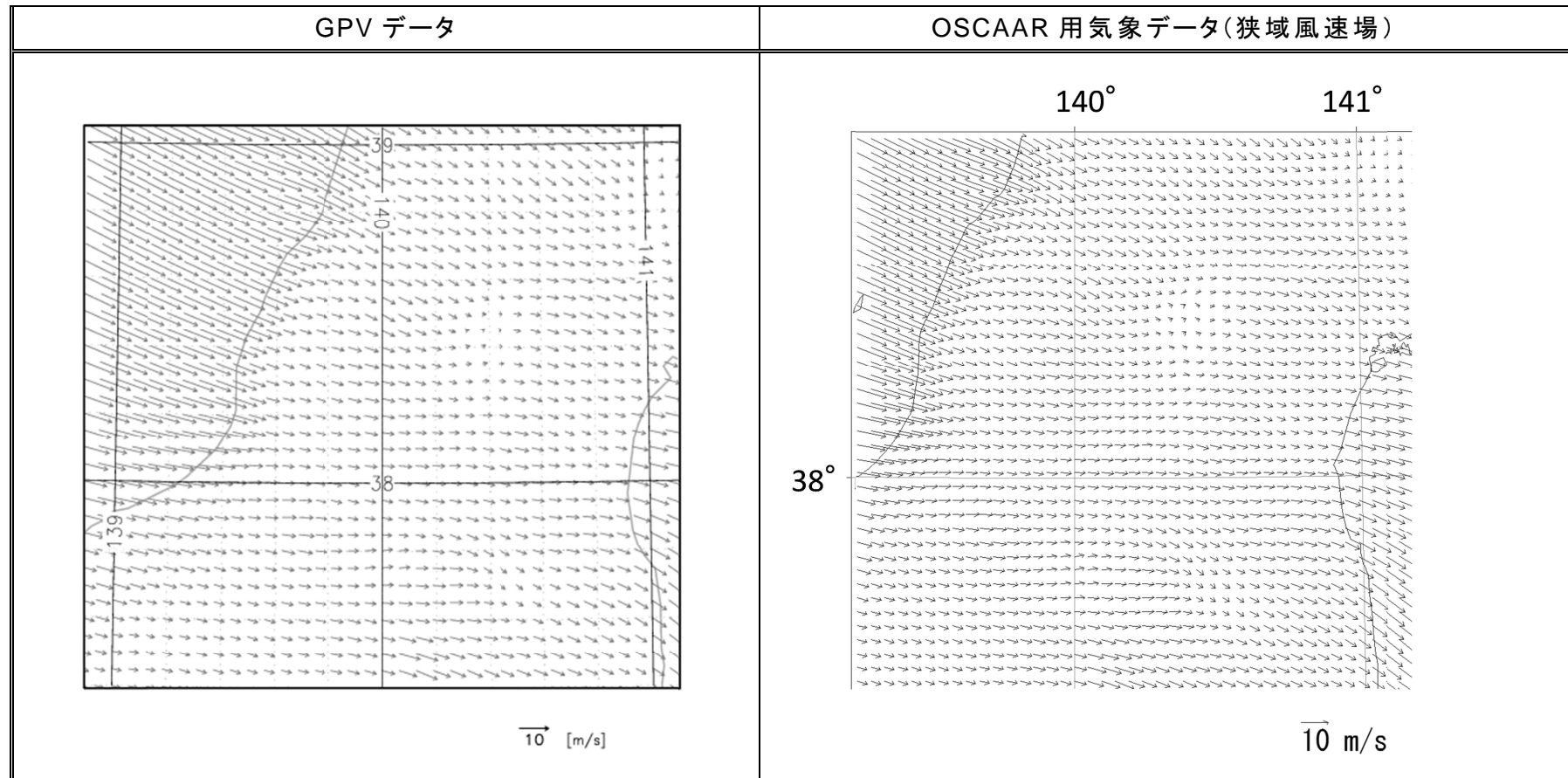


図3.3 GPVデータとOSCAAR用気象データの狭域風速場との比較

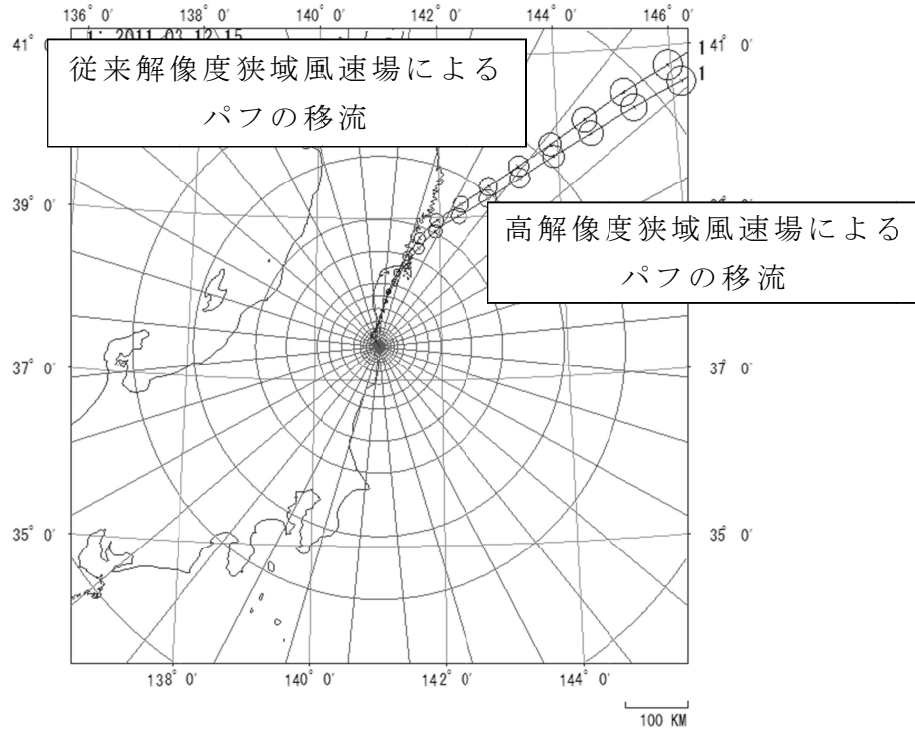


図3.4 パフの移流図 (100km四方)

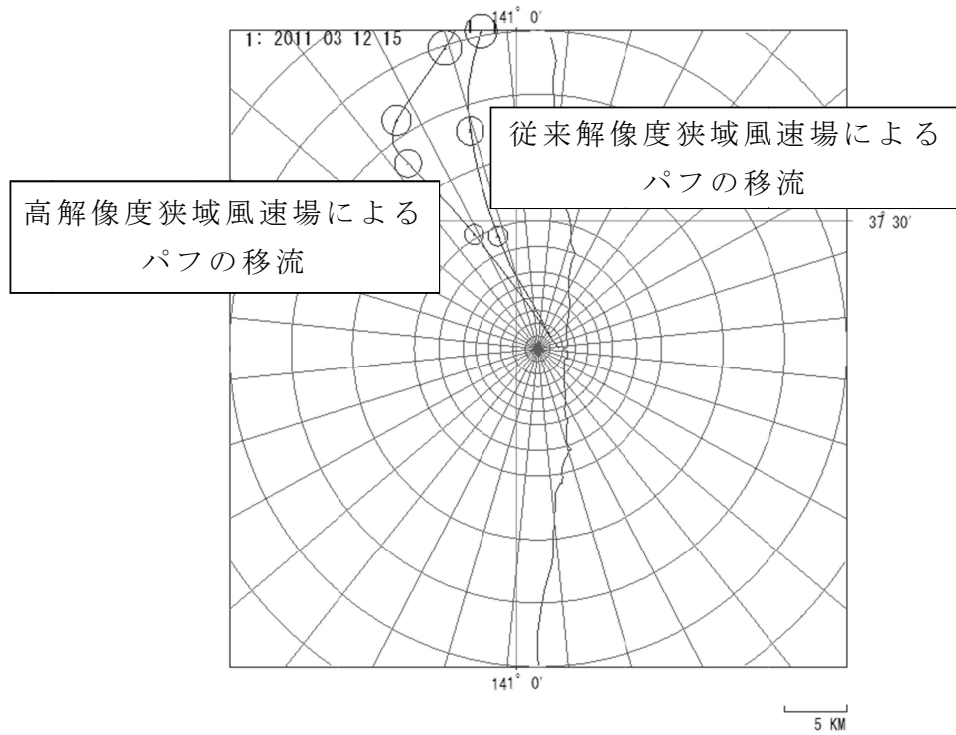


図3.5 パフの移流図 (50km四方)

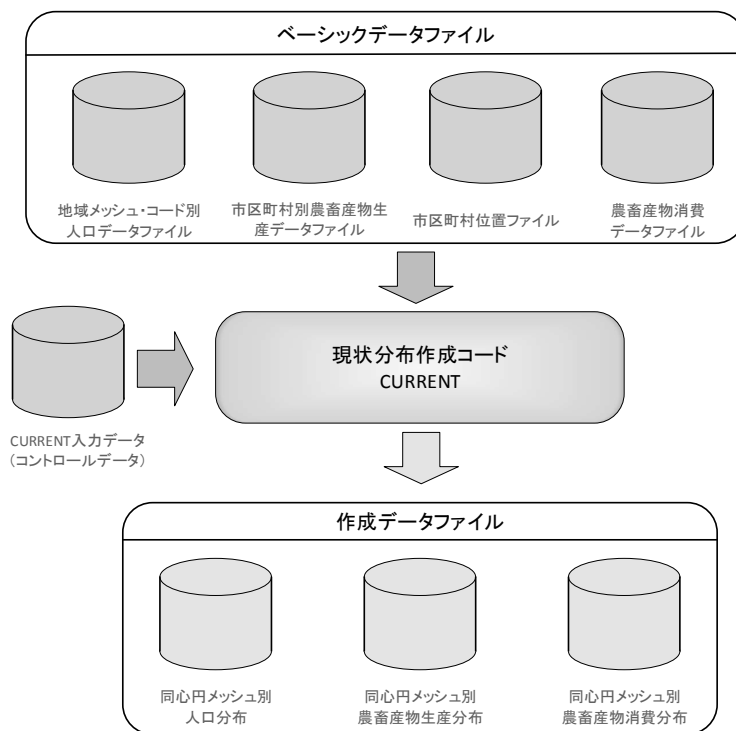


図3.6 現状分布作成システムCURRENTの構成

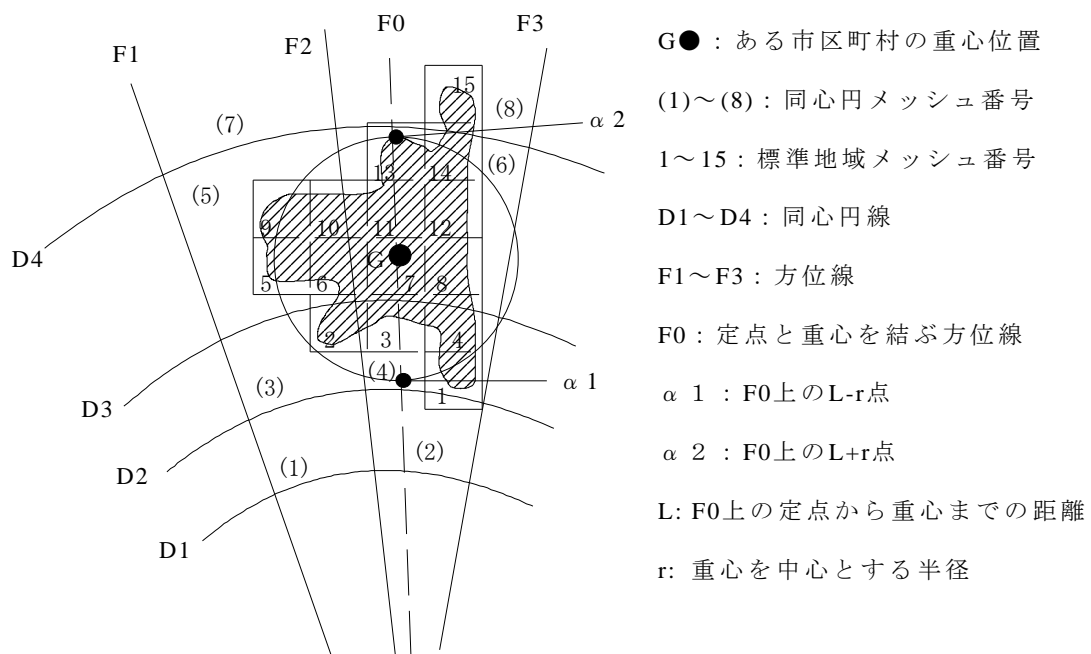


図3.7 市区町村の位置と同心円メッシュとの対応関係

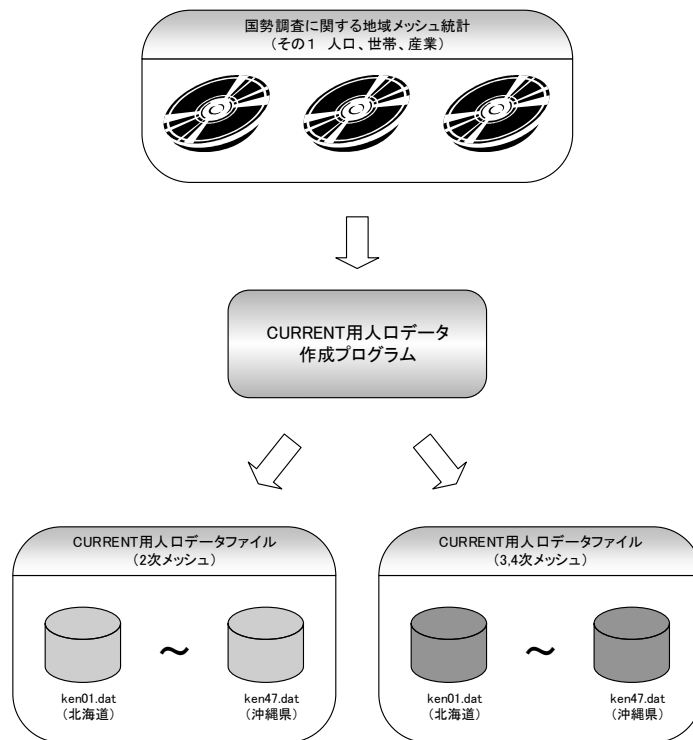


図3.8 CURRENT用人口データファイルの整備手順

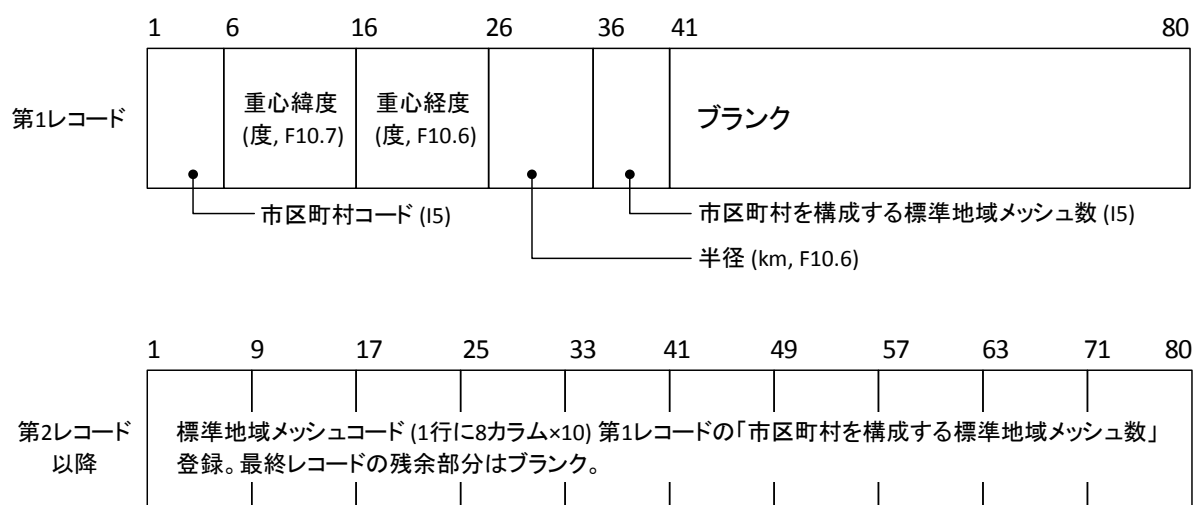


図3.9 市区町村位置ファイルの構造

4. 現行のOSCAARコードの分析・整理

ここでは、前章で示したOSCAARコード解析用データの整備で得られた知見等を基に、現行のOSCAARコードを分析し、今後必要な改良項目及び改良対象となるモジュール等を整理する。

(1) OSCAARコード解析用データを整備するための改良

各種統計データからOSCAAR用の人口分布データ及び農畜産物生産分布データを作成するCURRENTコードの概要、そして、CURRENTコードによるデータの整備方法については前章の3.3.3で述べた通りである。最新の各種統計データでは、従来の日本測地系ではなく、世界測地系に合わせたデータ整理がなされている。

日本測地系と世界測地系はどちらも楕円体で模擬しているが、楕円体の半径や曲率の値が異なるため、双方の測地系で緯経度にずれが生じる。例えば、日本測地系の経緯度で表されている地点を世界測地系の経緯度で表わすと、東京付近では経度が約-12秒、緯度が約+12秒変化する。これを距離に換算すると北西方向へ約450mずれることに相当する。

そのため、OSCAAR用人口データ及び農畜産物データを整備するにあたり、OSCAARコードの支援コードであるCURRENTコードについて、世界測地系に対応したOSCAAR用データ作成ができるように改良する必要があることが明らかとなった。具体的にはX-Y直交座標系へ変換する工程で回転楕円体のモデルが関与する部分を調査し、世界測地系の回転楕円体モデルに合わせた修正を適宜行うこととなる。

(2) OSCCAR出力データの改良

表4.1にOSCAARコードの標準出力の内容を示す。OSCAARの各モジュールで大気拡散・沈着解析、それに伴う早期・長期被ばく、さらに防護措置による被ばく低減効果を考慮した被ばく線量、そして健康影響推定に関する様々な出力データが得られる。レベル3PRA手法による環境影響の評価目的に応じてどのような出力が必要になるのか検討しなければならない。具体的な適用の例としては、以下の項目が挙げられる。

- ・ 緊急時計画の策定に必要な防護措置(屋内退避、避難、安定ヨウ素剤服用、食物摂取制限、移転)の実施による被ばく低減効果を評価するのに必要な線量(被ばく経路、評価期間)
- ・ 原子力発電所の性能目標の検討において、安全目標の定量的目標案として示された早期急性死亡割合やガン死亡割合の評価に用いられた事例がある。米国でも安全目標の検討において同様の事例がある。

そのため、これらの目的に必要な情報として、IAEA や ICRP、米国 NRC 等の報告書やその他の文献を調査し、例えば、緊急時計画の策定に必要な防護措置（屋内退避、避難、安定ヨウ素剤服用、食物摂取制限、移転）の実施による被ばく低減効果、健康影響（早期死亡やガンのリスク）などを評価するにあたり、どのような種類の線量（実効・臓器）や被ばく期間、被ばく経路、リスクのデータが必要になるのか情報を整理した上で、出力データの内容を決定する必要がある。

(3) OSCAAR 後処理プログラムの開発

OSCAAR で出力されるデータは多岐にわたるため、評価目的に応じた出力データを抽出し、データ整理を行う後処理プログラムが必要となる。現在、OSCAAR には、CCDF プログラムと呼ばれる確率論的評価の時に使用される後処理プログラムがあり、以下に示す2種類のファイルが出力される。

① 標準出力ファイル

OSCAAR コードの計算結果より、以下に示す補累積分布関数（Complementary Cumulative Distribution Function: CCDF）の計算結果を出力したファイルである。

- a. 大気拡散結果
- b. 個人線量結果
- c. 住民及び農業に対する防護対策の影響
- d. 個人リスク
- e. 健康影響
- f. 集団線量
- g. 経済影響

CCDF の他に、期待値、CCDF（5, 50, 90, 95, 99, 99.9%）、最小値、最大値及び最大となる気象シーケンス番号、影響が 0 となる確率、期待値以上になる確率も出力する。また、ヒストグラム用データも出力する。

② 統計表出力ファイル

CCDF の計算結果の中から以下に示す項目を統計表として出力する。

- ① 期待値及び CCDF の 5, 50, 90, 95, 99, 99.9%
- ② 最小値、最大値及び最大となる気象シーケンス番号
- ③ 影響が 0 となる確率、期待値以上になる確率

これらの結果は、OSCAAR の出力データの一部を用いて導出されるものである。OSCAAR の出力ファイルには気象シーケンス毎に Table 番号毎のデータが全て出力されることから、そのデータ量は膨大である。そのため、(2) で検討した出力デ

ータの内容を含め、必要なデータを抽出した出力ファイルを作成できるよう、CCDFプログラム等を改良する必要があると考えられる。

(4) 安定ヨウ素剤の服用効果の計算手法の開発

OSCAAR の防護対策モジュール PM では、安定ヨウ素剤の服用による甲状腺線量の被ばく低減効果を評価できる。その評価モデルには、欧州共同体 (EC) が開発したレベル 3PRA コード COSYMA (EC, 1995) で用いられているモデルを採用している。評価式は以下の通りである。

$$F = 1 - \exp\left(-\frac{0.693(t + 0.25)}{4}\right) \quad (4.1)$$

ここで、 F は安定ヨウ素剤の服用による甲状腺線量に対する被ばく低減係数、 t は放射性ヨウ素を吸入してから安定ヨウ素剤を服用するまでの時間である (放射性ヨウ素を吸入する 0.25 時間よりも前に安定ヨウ素剤を服用した場合には $F=0$)。

これにより、安定ヨウ素剤を服用した際の甲状腺線量は、安定ヨウ素剤を服用しない場合の甲状腺線量に、(4.1) 式で求めた被ばく低減係数 F を乗じることで評価できる。しかし、このモデルは、放射性ヨウ素を吸入する前に安定ヨウ素剤をあらかじめ服用するといった予防的服用への評価に十分対応できず、また、代謝に依存する安定ヨウ素剤の効果を適切に評価するには不十分なものであった。そこで、安定ヨウ素剤及び放射性ヨウ素の体内挙動を評価できるヨウ素代謝モデル (以下、Jonson モデル) (Johnson, 1981) を OSCAAR に組み込むことで、安定ヨウ素剤の服用時期に応じた各年齢層における甲状腺被ばく線量の低減効果をより現実的に評価できるよう改良した。

Johnson モデルは、図 4.1 に示すように、内臓または肺、血液、甲状腺、軟部組織、膀胱といった 5 つのコンパートメントで構成される。ヨウ素が体内に取り込まれるのは内臓または肺 (Gut or lung) コンパートメントである。そして、血液から甲状腺に対する安定ヨウ素および放射性ヨウ素の移行は、移行係数 (λ_i) および甲状腺への取込み率 (s_2, r_2) で表される。移行係数は安定ヨウ素と放射性ヨウ素で共通に使用されるが、甲状腺への取込み率はそれぞれ異なる。放射性ヨウ素の取込み率 r_2 は、血液 (Inorganic iodine) コンパートメント中の安定ヨウ素量によって制御される。その後、安定ヨウ素および放射性ヨウ素は甲状腺から軟部組織に移行し、血液に戻るか膀胱に移行する。Johnson モデルにおけるヨウ素の移行挙動は、各コンパートメントでの放射性ヨウ素及び安定ヨウ素の時間変化量を示す連立 1 次微分方程式によって、以下のように表すことができる。

内臓または肺

$$\frac{dY_1^r}{dt} = I_r(t) - (\lambda_1 + \lambda_r)Y_1^r \quad (4.2)$$

$$\frac{dY_1^s}{dt} = I_s(t) - \lambda_1 Y_1^s \quad (4.3)$$

血液

$$\frac{dY_2^r}{dt} = \lambda_1 Y_1^r + \lambda_4 Y_4^r - (\lambda_5 + \lambda_r)Y_2^r - r_2 \quad (4.4)$$

$$\frac{dY_2^s}{dt} = \lambda_1 Y_1^s + \lambda_4 Y_4^s - \lambda_5 Y_2^s - s_2 \quad (4.5)$$

甲状腺

$$\frac{dY_3^r}{dt} = r_2 - (\lambda_3 + \lambda_r)Y_3^r \quad (4.6)$$

$$\frac{dY_3^s}{dt} = s_2 - \lambda_3 Y_3^s \quad (4.7)$$

軟部組織

$$\frac{dY_4^r}{dt} = \lambda_3 Y_3^r - (\lambda_4 + \lambda_6 + \lambda_r)Y_4^r \quad (4.8)$$

$$\frac{dY_4^s}{dt} = \lambda_3 Y_3^s - (\lambda_4 + \lambda_6)Y_4^s \quad (4.9)$$

膀胱

$$\frac{dY_5^r}{dt} = \lambda_5 Y_2^r + \lambda_6 Y_4^r - \lambda_r Y_5^r \quad (4.10)$$

$$\frac{dY_5^s}{dt} = \lambda_5 Y_2^s + \lambda_6 Y_4^s \quad (4.11)$$

ここで、各パラメータは以下の通りである。対象者の年齢層に依存するものを表 4.2 に示す。

- Y_1^r : 放射性ヨウ素の放射エネルギー[Bq]
- Y_1^s : 安定ヨウ素の重量[mg]
- $I_r(t)$: 放射性ヨウ素の摂取率[Bq/day]

- $I_s(t)$: 安定ヨウ素の毎日の摂取率[mg/day]
 λ_r : 放射性ヨウ素の崩壊定数[1/day]
 安定ヨウ素の甲状腺への取込み率[mg/day]

$$s_2 = 0.065 \frac{M_s}{70}$$
 s_2 : M_s : 対象者の体重[kg], 70 : 成人男性の体重[kg], 0.065 :
 成人男性 (体重 70kg) に対する甲状腺への安定ヨウ素の
 取込み率[mg/day]
 放射性ヨウ素の甲状腺への取込み率[Bq/day]
 r_2 :
$$r_2 = s_2 \frac{Y_2^r}{Y_2^s}$$

 移行係数[1/day]
 $\lambda_1 = 192, \lambda_4 = 0.053, \lambda_5 = 1.92, \lambda_6 = 0.005$
 λ_i :
$$\lambda_3 = \frac{s_2}{M_t}$$

 M_t : 甲状腺中の安定ヨウ素量[mg]

これらの連立一次微分方程式を解くことにより、摂取してから甲状腺に取り込まれるまでのヨウ素の体内挙動に基づく甲状腺負荷量(甲状腺中の放射性ヨウ素量)を求め、その結果から安定ヨウ素剤の服用による甲状腺の被ばく低減効果を評価することができる。

しかし、Johnson モデルを組み込んだ改良後の OSCAAR で解析を行った際、1 気象シーケンスごとにその都度、上記の連立一次微分方程式を解いて評価するため、従前に比べてかなりの計算時間が必要であることが確認できた。例えば、ある 1 つの事故シナリオで解析した場合、改良後には約 8 倍の計算時間を要した。レベル 3PRA では、様々な事故シナリオに対する環境影響評価、特に緊急防護措置を組み合わせた防護戦略を検討するにあたり、様々な実施条件での解析が必要になるため、安定ヨウ素剤の服用による被ばく低減効果を短時間で評価できる新たな計算手法を開発する必要がある。例えば、Johnson モデルを用いて安定ヨウ素剤服用の有無による甲状腺線量をそれぞれ計算し、得られた比を安定ヨウ素剤の服用による被ばく低減係数と定義した上で、甲状腺線量に乗じることで安定ヨウ素剤の服用による甲状腺線量を評価する方法が考えられる。この場合、上記の被ばく低減係数を、放出開始からの時間、年齢層、安定ヨウ素剤の服用量等、様々な評価条件に応じて整備する必要がある。

また、Johnson モデルは、肺または内臓のコンパートメントで開始されており、

放射性ヨウ素が体内に全て取り込まれたものと仮定している。しかし実際には、吸入により放射性ヨウ素が体内に全て取り込まれるわけではなく、その途中である呼吸気道の各部位に沈着する核種移行も考慮しなければならない。より現実的な甲状腺線量の評価を行うためには、呼吸気道モデルを導入する必要があると考えられる。例えば、国際放射線防護委員会（ICRP）Publication 66（ICRP, 1994）に示される新呼吸気道モデルを Johnson モデルに組み込むことが挙げられる。これに加え、安定ヨウ素剤の服用に関しても安定ヨウ素の錠剤等を経口摂取することから、体内での代謝を考慮するため、ICRP Publication 30 Part1（ICRP, 1979）に示される胃腸管モデルも取り入れる必要があると考えられる。図 4.2 にこれらのモデルを組み合わせた代謝の流れを示す。

これらのモデルを組み合わせて作成した新たな代謝モデルを基に、評価条件に応じた安定ヨウ素剤の服用による被ばく低減係数のデータベースを整備し、また、OSCAAR の解析でこれらの被ばく低減係数を用いて甲状腺線量を計算できるよう、プログラムの改良を行った。

表4.1 OSCAARコードの標準出力

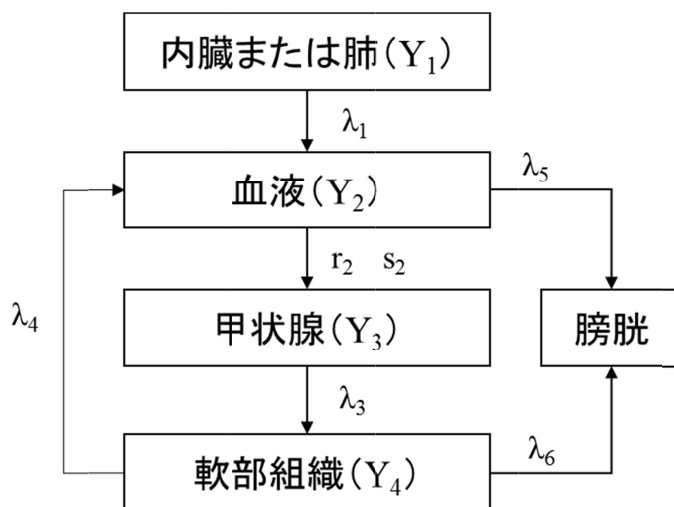
モジュール名	内容
<p>ADD</p> <p>EARLY</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各評価地点における核種の大気中濃度 ・ 各評価地点における核種の地表沈着量 各評価地点における早期被ばく線量 ・ 外部被ばく線量(クラウドシャイン) ・ 外部被ばく線量(グラウンドシャイン) ・ 内部被ばく線量(吸入)
<p>CHRONIC</p> <p>PM</p>	<ul style="list-style-type: none"> 各評価地点における長期被ばく線量 ・ 外部被ばく線量(クラウドシャイン) ・ 外部被ばく線量(グラウンドシャイン) ・ 内部被ばく線量(再浮遊した核種の吸入) ・ 内部被ばく線量(直接沈着により汚染された食物の摂取) ・ 内部被ばく線量(根からの吸収により汚染された食物の摂取) ・ 早期被ばく線量(クラウドシャイン、グラウンドシャイン、吸入) ・ 長期被ばく線量(クラウドシャイン、グラウンドシャイン、吸入) ・ 集団線量(経路別及び経路合計) ・ 住民及び農業に対する防護対策の影響 ・ dose band の人数(早期、長期)
<p>HE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 早期影響(早期死亡、早期疾患) ・ 晩発性影響(晩発性癌死、晩発性疾患) ・ 遺伝的影響 ・ 寿命損失 ・ 個人リスク(早期死亡、早期疾患、晩発性癌死、晩発性疾患)

表 4.2 Johnson モデルの年齢層別パラメータ

年齢[year]	0	1	2	5	10	15	男性	女性
対象者の体重 M_s [kg]	3.51	7.20	10.9	22.0	40.5	58.9	58.0	70.0
日常のヨウ素摂取率 [mg/day]	0.01	0.0206	0.0311	0.0628	0.116	0.168	0.166	0.2
ヨウ素の 甲状腺取込み率 [mg/day]*	3.33E-03	6.69E-03	1.01E-02	2.04E-02	3.76E-02	5.47E-02	5.39E-02	6.50E-02
血液中の ヨウ素重量 [mg]	0.0051	0.010	0.016	0.032	0.059	0.085	0.084	0.1
甲状腺の ヨウ素重量 [mg]	0.30	0.30	0.30	0.99	3.7	8.3	10.0	12.0
軟部組織の ヨウ素重量 [mg]	0.056	0.12	0.17	0.35	0.65	0.94	0.93	1.1

* $s_2 = 0.065 \frac{M_s}{70}$ (M_s : 対象者の体重) により計算。

(Johnson, 1981 より)



(Johnson, 1981 より)

図4.1 ヨウ素代謝モデル

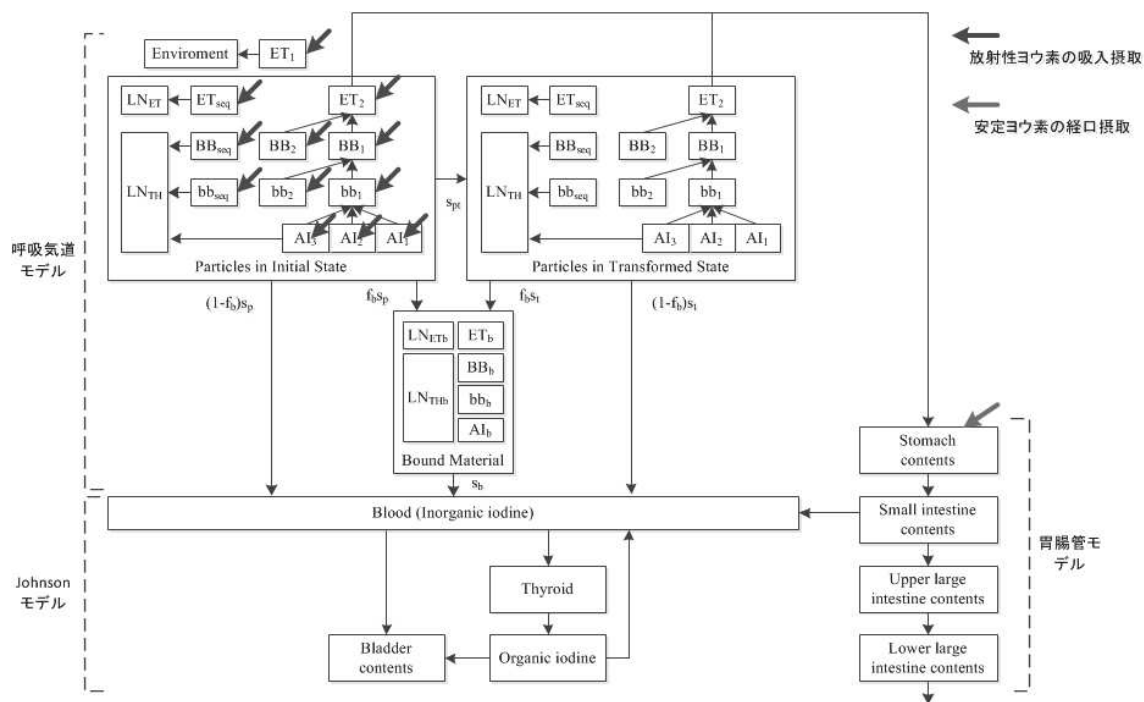


図4.2 ヨウ素代謝モデルと呼吸気道・胃腸管モデルを組み合わせた代謝の流れ

5. まとめ

放射性物質の空間的・時間的変化を計算可能なレベル3PRAコードであるOSCAARを改良・整備すること、並びに、最新の評価モデル及びサイト周辺情報に基づいたOSCAARコード解析用データを整備した。

OSCAARの改良・整備については、気象庁による最新のGPVデータを用いた放射性物質の大気中における移流・拡散計算が行えるよう、OSCAAR用気象データの整備と大気拡散・沈着モジュールADDの改良を行った。また、防護対策モジュールPMで安定ヨウ素剤の服用による被ばく低減効果を評価するために組み込んだヨウ素代謝モデルに関し、甲状腺線量被ばく低減効果の評価手法の改良に必要な事項を検討し、プログラムの改良を行った。さらに、出力データの改良及び後処理プログラムの開発では必要な出力データに関する検討を行った。

OSCAARコード解析用データの整備については、OSCAARコードでの解析に必要な各種データ（気象、施設、人口、農畜産物）について最新の評価モデル及びサイト周辺情報に基づくOSCAARコード解析用データを整備するため、まず、原子力機構東海サイトを対象に整備された従前のデータを参考に、その整備方法を確認した。次に、最新の統計データ、気象データを用いたOSCAARコード解析用データの整備方法を検討し、同サイトを対象としたデータを整備するとともに、今後のデータ整備のために改良が必要な項目を示した。健康影響に係るデータとして米国環境保護庁（EPA）による最新の健康影響モデルを調査し、OSCAARコード解析用データを整備した。また、屋内退避の遮へい効果（遮へい係数、フィルタ係数）について、国内外の文献調査により情報を整理した。

今後は、本事業で検討したOSCAARコード及びOSCAARコード解析用データの整備方法の改良を行うとともに、サイト毎のデータ整備を進める必要がある。また、OSCAARコードの使用に必要なマニュアル等の整備が必要になると考えられる。

参考文献

茨城県防災会議 (2009) 茨城県地域防災計画 (原子力災害対策計画編) [参考資料]
平成21年4月最終修正

原子力安全委員会 (1982). 発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針

原子力機構 (2009). 原子力科学研究所における気象観測場の変更に係る影響評価,
日本原子力研究開発機構報告書 JAEA-Testing 2009-009.

原子力規制委員会 (2013). 原子力災害対策指針, 平成 24 年 10 月 31 日 (平成 25 年
9 月 5 日全部改正)

国土地理院ホームページ 「3 日本測地系と世界測地系」 (<http://www.gsi.go.jp/LAW/G2000-g2000-h3.htm>)

高橋知之, 本間俊充 (1999) チェルノブイル原子力発電所近傍の表層土壌中 ^{137}Cs
濃度に関するモニタリングデータを用いた外部被ばく線量評価モ
デルの妥当性の検証, 保健物理 34(4), 365-374.

高原省五, 本間俊充, 西村優基 (2009). 放射線による晩発性健康影響を推定する
計算コード HEINPUT の改良と GUI 作成, JAEA-Data/Code 2009-001.

高原省五, 日高昭秀, 荻野隆 (2015). 放射線に起因する晩発性健康影響を推定す
る計算コード HEINPUT-GUI Ver. 2.0 の開発, JAEA-Data/Code
2015-001.

外川織彦, 本間俊充, 松鶴秀夫, 小林定喜(編) (1991) 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, 日本原子力研究所報告書
JAERI-M 91-005.

外川織彦, 本間俊充, 益村明美 (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, 日本原子力研究所報
告書 JAERI-Data/Code 99-002.

日本原子力学会 (2009). 日本原子力学会標準「原子力発電所の確率論的安全評価に関する実施基準 (レベル3PSA編)」

本間俊充, 石川淳, 富田賢一, 村松健 (2000a). 軽水炉モデルプラントの広範な事故シナリオに対する環境影響評価, 日本原子力研究所報告書 JAERI-Research 2000-060.

本間俊充, 高橋知之, 米原英典(編) (2000b). 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 (II), 日本原子力研究所報告書 JAERI-Review 2000-029.

CEC (1994). Probabilistic accident consequence assessment codes, Second international comparison, Technical report, A joint report by the European Commission and the OECD Nuclear Energy Agency.

EC (1995). Jones J A, Mansfield P A, Haywood S M, Hasemann I, Steinhauer C, Ehrhardt J and Faude D. 1995 PC COSYMA (Version 2): An Accident Consequence Assessment Package for use on a PC. EUR 16239. Luxembourg, EC.

EPA (1994). Estimating Radiogenic Cancer Risks”, U.S. Environmental Protection Agency, EPA 402-R-93-076.

EPA (1999). Cancer Risk Coefficients for Environmental Exposure to Radionuclide, U.S. Environmental Protection Agency, EPA 402-R-99-001.

EPA (2011). EPA Radiogenic Cancer Risk Models and Projections for the U.S. Population, U.S. Environmental Protection Agency, EPA 402-R-11-201.

Homma, T. (1998). Accident Consequence Assessments and their uncertainty, *Comparative Evaluation of Environmental Toxicants -Health Effects of Environmental Toxicants Derived from Advanced Technologies-*, Edited by J. Inaba and Y. Nakamura, Kodansha Scientific LTD., Tokyo.

Homma, T. and T. Matsunaga (2000). OSCAAR Calculations for the Input Dose Reconstruction Scenario of BIOMASS Theme 2, JAERI-Research

2000-059.

Homma, T., Y. Inoue and K. Tomita (2000a). OSCAAR Calculations for the Hanford Dose Reconstruction Scenario of BIOMASS Theme 2, JAERI-Research 2000-049.

Homma, T., X. Liu and K. Tomita (2000b). Uncertainty and Sensitivity of Meteorological Sampling Scheme on Accident Consequence Assessments, in *Proceedings of the 5th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management*, November 27-December 1, 2000, Osaka.

ICRP (1979). Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30 (Part 1), Ann. ICRP 2 (3-4).

ICRP (1991). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1-3).

ICRP (1994). Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24 (1-3).

Johnson (1981). Johnson J. R. Radioiodine Dosimetry. *Journal of Radioanalytical Chemistry*. 65, 223-238.

Kocher, D.C. (1980). Dose-rate conversion factors for external exposure to photons and electron radiation from radionuclides occurring in routine releases from nuclear fuel cycle facilities. *Health Physics*, 38, 543-621.

Lubin J, E Ron (1998) "Excess relative risk and excess absolute risk estimates for pooled analysis of thyroid cancer following exposure to external radiation," memorandum to Jack Schull, Chair, NRC Committee on Exposure of the American People to I-131 from Nevada Atomic-Bomb Tests: Implications for Public Health, National Cancer Institute, Rockville, Maryland, 1998.

- NAS/NRC (1990). National Academy of Sciences/National Research Council, The Effects on Populations of Exposures to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR V, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, National Academy Press, Washington D.C.
- NAS (2006). Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. BEIR VII Phase 2, National Academy Press, Washington D.C.
- NCRP (2008). "Risk to Thyroid from Ionizing Radiation," NCRP Report No. 159, Bethesda, 2008.
- NRC (1975). Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in the U.S. Commercial Nuclear Power Plants, Appendix VI, Calculation of Reactor Accident Consequences, WASH-1400, NUREG-75/014, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.
- NRC (1985). Health Effects Model for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis, NUREG/CR-4214, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.
- NRC (1989). Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis, Low LET Radiation, Part I: Introduction, Integration, and Summary, NUREG/CR-4214 Rev.1, Part I, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.
- NRC (1990a). Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants, Final Summary, NUREG-1150 Vol.1, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.
- NRC (1990b). Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis, Low LET Radiation, Part II: Scientific Bases for Health Effects Models, NUREG/CR-4214 Rev.1, Part II, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.
- NRC (1991). Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence

Analysis. Modifications of Models Resulting From Recent Reports on Health Effects of Ionizing Radiation Low LET Radiation Part II: Scientific Bases for Health Effects Models, NUREG/CR-4214 Rev.1, Part II, Addendum 1 U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

NRC (1993a). Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis, Part I: Introduction, Integration, and Summary, NUREG/CR-4214 Rev.2, Part I, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

NRC (1993b). Health Effects Models for Nuclear Power Plant Accident Consequence Analysis. Modification of Models Resulting from Addition of Effects of Exposure to Alpha-Emitting Radionuclides, Part II: Scientific Bases for Health Effects Models, NUREG/CR-4214 Rev.1, Part II, Addendum 2, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C.

OECD (1994). Probabilistic Accident Consequence Assessment Codes, Second International Comparison, Overview Report, A joint report by the OECD Nuclear Energy Agency and the Commission of the European Communities. Nuclear Energy Agency OECD, Paris, France.

UNSCEAR (1988). Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation Report to the General Assembly, with Annexes, United nations, New York.