

平成31年度原子力規制庁委託成果報告書

原子力施設等防災対策等委託費

(被ばく低減解析手法の整備)

に関する研究

日本原子力研究開発機構

令和2年3月

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

本報告書に関する問い合わせは、原子力規制庁までお願いします。

まえがき

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。このため、地域防災計画を策定すべき自治体が大幅に増加し、重大事故時における防災対策の在り方の重要性が増している。原子力規制庁は重大事故時の環境影響を評価するため、レベル3PRA解析に必要なコードの改良整備を進めているところである。レベル3PRAコードの防護措置モデルは、一般的に簡易的な評価手法が用いられていることから、防災への適用に向けて、より現実的な被ばく低減効果を評価できる防護措置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31年度「被ばく低減解析手法の整備」を受託した。本事業では、重大事故時の環境影響を評価するために、建屋別の換気率、遮蔽係数等の屋内退避に係る最新知見等を活用した被ばく低減解析手法の検討を行うとともに、確率論的環境影響評価コードOSCAARの改良を行う。また、改良したOSCAARコードを用いて、防護措置の効果について検討する。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	iii
表リスト	iv
図リスト	v
事業の概要	vii
1. はじめに	1
1.1. 目的	1
1.2. 範囲	1
2. OSCAARコードの概要	3
3. OSCAARコードの整備	4
3.1. 改良モデルの概要	4
3.2. OSCAARへの導入に関連する改良項目	9
3.3. 避難データの作成	14
3.4. モデル解説書及びユーザーマニュアルの作成	27
4. 防護措置の効果に関する検討	28
4.1. 解析条件	28
4.1.1. 対象サイト及び事故シナリオ	28
4.1.2. 防護対策シナリオ	29
4.1.3. 解析ケース	30
4.2. 解析結果	37
4.2.1. シナリオ1	37
4.2.2. シナリオ2	38
5. まとめ	46
参考文献	47

表リスト

表3.1 一時集合場所のあるメッシュ（出発メッシュ）距離番号と避難先施設のあるメッシュ（目的メッシュ）距離番号の組合せ別の距離の状況（経由地無し）	21
表3.2 一時集合場所のあるメッシュ（出発メッシュ）距離番号と避難先施設のあるメッシュ（目的メッシュ）距離番号の組合せ別の距離の状況（経由地あり）	22
表3.3 同心円メッシュの半径方向の分割（外側境界）	23
表3.4 出発メッシュに対する各メッシュの移動距離設定	26
表3.5 出発地メッシュの同心円半径番号12に対する避難データ例	26
表3.6 屋内退避及び避難に係る評価モデルに追加した入力パラメータ	27
表4.1 OSCAARで取り扱うことができる防護措置の種類	28
表4.2 放出点から評価点までの距離	32
表4.3 炉内インベントリ	32
表4.4 評価に用いるソースターム	33
表4.5 防護対策シナリオケース	34
表4.6 入力で設定した場所別の被ばく低減係数と人口割合	35
表4.7 OSCAAR解析に適用する被ばく低減係数	35
表4.8 解析ケース	35

図リスト

図2.1 OSCAARコードシステムの構成	3
図3.1 防護措置実施のフローの例	5
図3.2 PAZ内で想定される防護措置の実施方法に基づく改良モデル	6
図3.3 UPZ内で想定される防護措置モデル	8
図3.4 PAZ内での改良モデルに適用される被ばく低減係数の一覧	10
図3.5 UPZ内での改良モデルに適用される被ばく低減係数の一覧	11
図3.6 避難に係る改良モデルで使用される避難データの例	13
図3.7 従来モデルで使用される移動メッシュデータの例	14
図3.8 ルート検索結果例	17
図3.9 薩摩川内市の一時集合場所の分布	18
図3.10 同一メッシュの異なる出発地点に対する避難施設の位置の例	18
図3.11 避難データの移動のイメージ	20
図4.1 OSCAARを用いた解析手順	36
図4.2 ソースターム1ーシナリオ1による解析結果	40
図4.3 ソースターム2ーシナリオ1による解析結果	41
図4.4 ソースターム3ーシナリオ1による解析結果	42
図4.5 ソースターム1ーシナリオ2による解析結果	43
図4.6 ソースターム2ーシナリオ2による解析結果	44
図4.7 ソースターム3ーシナリオ2による解析結果	45

事業の概要

重大事故時の環境影響を評価するために、建屋別の換気率、遮蔽係数等の屋内退避に係る最新知見等を活用した被ばく低減解析手法を検討するとともに、確率論的環境影響評価コードOSCAARの改良を行った。また、OSCAARコードを用いて、防護措置の効果について検討した。

OSCAARコードの整備については、最新知見に基づき、OSCAARコードで用いられる防護措置モデルを整備するため、平成29、30年度に検討した防護措置モデル等の結果を基に、評価モデルをOSCAARコードに反映した。まず、屋内退避モデルの導入として、屋内退避の実施による現実的な被ばく低減効果の評価に資するため、屋内退避による被ばく低減効果に関する文献等での最新知見の調査結果から得られた屋内退避モデルに反映すべき項目を基に、OSCAARコードを改良した。また、改良したモデルと従来モデルによる計算結果を比較した。次に、避難モデルの導入として、避難の実施におけるより現実的な被ばく低減効果の評価に資するため、避難に関する地域防災計画や文献等での最新知見の調査結果から得られたモデルに反映すべき項目を基に、OSCAARコードを改良した。改良したモデルと従来モデルによる計算結果を比較した。加えて、モデル解説書及びユーザーマニュアルを作成した。

防護措置の効果に関する検討については、改良したOSCAARコードを用いて、代表立地地域の住宅事情を踏まえ、事故進展及び防護措置のシナリオの組み合わせを考慮した環境影響解析を行い、防護措置の効果に関して検討した。検討に際しては、事故進展の早さ及びソースタームの大きさ等の事故シナリオの違いによる、屋内退避及び避難の効果の差異、屋内退避を実施する建屋の構造による影響等を比較した。

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。このため、地域防災計画を策定すべき自治体が大幅に増加し、重大事故時における防災対策の在り方の重要性が増している。原子力規制庁は重大事故時の環境影響を評価するため、レベル3PRA解析に必要なコードの改良整備を進めているところである。レベル3PRAコードの防護措置モデルは、一般的に簡易的な評価手法が用いられていることから、防災への適用に向けて、より現実的な被ばく低減効果を評価できる防護措置モデルを整備する必要がある。

本事業では、重大事故時の環境影響を評価するために、建屋別の換気率、遮蔽係数等の屋内退避に係る最新知見等を活用した被ばく低減解析手法の検討を行うとともに、確率論的環境影響評価コードOSCAARの改良を行う。また、OSCAARコードを用いて、防護措置の効果について検討することを目的とする。

1.2. 範囲

OSCAARコードの整備については、最新知見に基づき、OSCAARコードで用いられる防護措置モデルを整備するため、平成29、30年度に検討した防護措置モデル等の結果を基に、評価モデルをOSCAARコードに反映する。まず、屋内退避モデルの導入として、屋内退避の実施による現実的な被ばく低減効果の評価に資するため、屋内退避による被ばく低減効果に関する文献等での最新知見の調査結果から得られた屋内退避モデルに反映すべき項目を基に、OSCAARコードを改良する。改良したモデルと従来モデルによる計算結果を比較する。次に、避難モデルの導入として、避難の実施におけるより現実的な被ばく低減効果の評価に資するため、避難に関する地域防災計画や文献等での最新知見の調査結果から得られたモデルに反映すべき項目を基に、OSCAARコードを改良する。改良したモデルと従来モデルによる計算結果を比較する。さらに、モデル解説書及びユーザーマニュアルを作成する。

防護措置の効果に関する検討については、改良したOSCAARコードを用いて、代表立地地域の住宅事情を踏まえ、事故進展及び防護措置のシナリオの組み合わせを考慮した環境影響解析を行い、防護措置の効果に関して検討する。検討に際しては、事故進展の早さ及びソースタームの大きさ等の事故シナリオの違いによ

る、屋内退避及び避難の効果の差異、屋内退避を実施する建屋の構造による影響等を比較する。

本報告書は、これらの実施内容を取りまとめたものである。まず、第2章ではOSCAARコードの概要について述べる。

第3章は「OSCAARコードの整備」と題し、防護措置モデル（改良モデル）をOSCAARに反映した結果について述べる。3.1項では、平成29、30年度に実施した改良モデルの検討内容を述べる。3.2項では、この検討結果をOSCAARコードに反映させるために必要な改良項目について述べる。具体的には、屋内退避に係る改良モデルで屋内退避による被ばく低減効果の評価に適用する被ばく低減係数、また、避難に係る改良モデルにて避難に伴う移動経路を考慮した被ばく線量を評価できるようにするためのOSCAARコードの改良内容について、検討する。3.3項では、3.2項で述べる避難に係る改良モデルに適用する避難データの整備方法を示す。3.4項には、これらの検討結果を踏まえ、屋内退避及び避難に係る改良モデルを含めたOSCAARのモデル解説書及びユーザーマニュアルの作成概要を示した。

第4章は「防護措置の効果に関する検討」と題し、ある事故シナリオに対する被ばく線量について、第3章に述べた改良モデルと、改良前のモデル（従前モデル）との計算結果を比較する。さらに、シビアアクシデント解析結果から得られた事故進展が異なる様々な事故シナリオに対し、防護措置の実施方法を幾つか検討し、両者を組み合わせた複数ケースに対する被ばく線量を評価することで、屋内退避及び避難の効果の差異、屋内退避を実施する建屋の構造による影響等を比較する。

2. OSCAARコードの概要

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）コードを開発した（本間, 2000a）。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, 2000b）、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かさ伝播解析・感度解析手法を導入したレベル3PRAに係わる不確かさ評価（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コードは事故時に放出された放射性物質の環境中移行（ADD）、それに伴う公衆への被ばく（EARLY及びCHRONIC）、防護対策による被ばく低減効果（PM）、被ばく集団の健康影響（HE）及び経済影響（ECONO）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コード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。

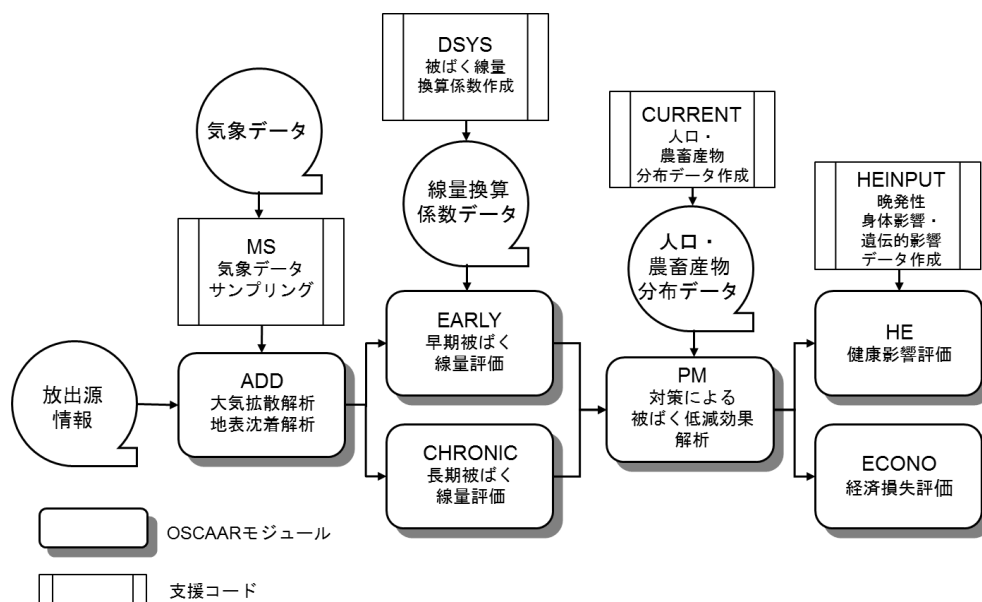


図2.1 OSCAARコードシステムの構成

3. OSCAARコードの整備

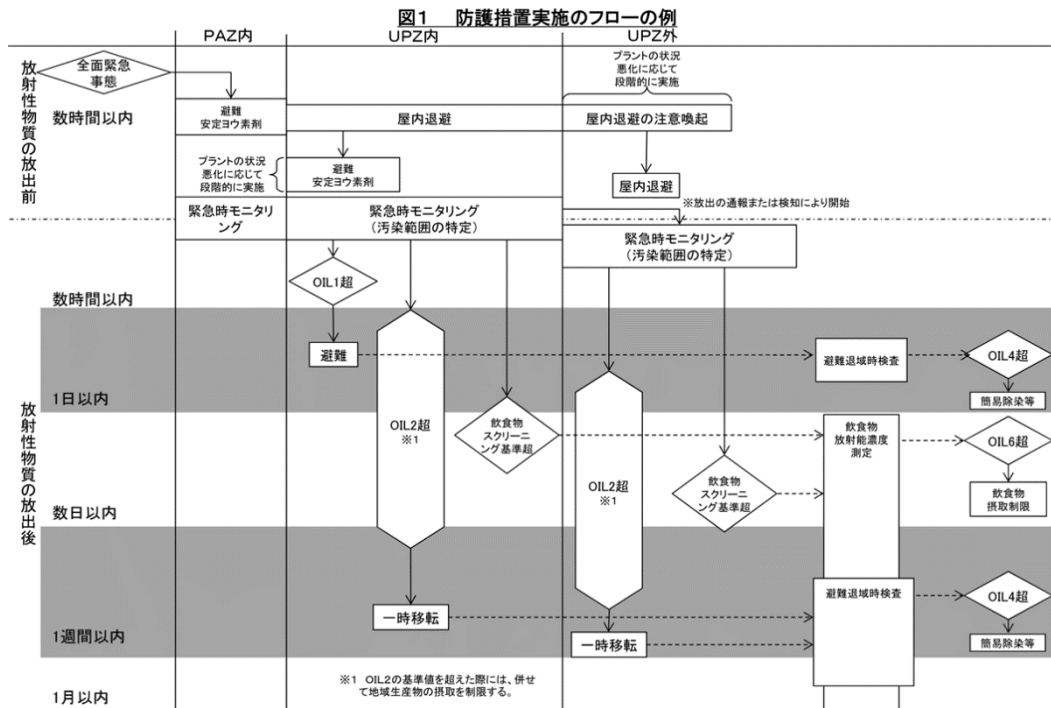
OSCAARコードのPMモジュールは、屋内退避、避難、安定ヨウ素剤の服用、食物摂取制限、移転といった様々な防護措置モデルで構成され、これらの防護措置による被ばく低減効果を評価できる。このうち、屋内退避あるいは避難に係る防護措置モデル（以下、「従来モデル」）は、旧原子力安全委員会による「原子力施設等の防災対策について」（原子力安全委員会, 2010）（以下、「防災指針」）に示される考え方にに基づき、設計されたものである。従来モデルは、「屋内退避」あるいは「コンクリート建屋への屋内退避後に避難」という2通りの防護措置の実施方法に対する被ばく低減効果を評価できる。

平成29、30年度事業では、防災指針に代わる原子力災害対策指針（原子力規制委員会, 2020）（以下、「原災指針」）に示された初期対応段階における防護措置実施の考えに基づき、屋内退避あるいは避難に係る新たな防護措置モデル（以下、「改良モデル」）の検討、基本設計を行った。今年度はこの改良モデルをOSCAARに導入し、従来モデルとの計算結果の比較を行った。

3.1. 改良モデルの概要

原災指針の初期対応段階における防護措置の考え方にに基づき、同指針には、防護措置実施のフローの例が示されている（図3.1）。これには、放射物質の放出前または放出後において、PAZ内、UPZ内、さらにUPZ外での防護措置の実施内容と実施時期の例が示されている。また、同指針は、避難及び屋内退避の実施方法に関して以下のように述べている。

- ① 予防的防護措置を準備する区域（PAZ）においては、全面緊急事態に至った時点で、原則として避難を実施するが、避難よりも屋内退避が優先される場合に実施する必要がある。
- ② 緊急防護措置を準備する区域（UPZ）においては、段階的な避難やOILに基づく防護措置を実施するまでは屋内退避を原則実施しなければならない。
- ③ UPZ外においては、UPZ内と同様に、事態の進展等に応じて屋内退避を行う必要がある。このため、全面緊急事態に至った時点で、必要に応じて住民等に対して屋内退避を実施する可能性がある旨の注意喚起を行わなければならない。
- ④ 屋内退避の実施に当たっては、プルームが長時間又は断続的に到来することが想定される場合には、その期間が長期にわたる可能性があり、屋内退避場所への屋外大気の流れにより被ばく低減効果が失われ、また、日常生活の維持にも困難を伴うこと等から、避難への切替えを行うことになる。



原子力規制委員会, 2018

図3.1 防護措置実施のフローの例

このように、PAZ内、UPZ内で想定される防護措置の実施方法は様々である。そのため、PAZ、UPZそれぞれの区域別に改良モデルの基本設計を行った。

なお、原災指針には、発電用原子炉施設に係るPAZの具体的な範囲として「原子力施設からおおむね半径5km」、UPZの具体的な範囲として「原子力施設からおおむね半径30km」が目安として示されているが、改良モデルについては、これらの範囲に拘らず、ユーザーがPAZあるいはUPZの範囲を任意に設定できるようにした。

(1) PAZ内

PAZ内は、即時も含めてプラントの状況悪化に応じて避難を実施する。ただし、特に病院や介護施設においては、避難より屋内退避を優先することが必要な場合があり、この場合は、一般的に遮へい効果や建物の気密性が比較的高いコンクリート建屋への屋内退避が計画されている。また、茨城県では、避難行動要支援者についても、原則として放射線対策を施した病院や施設などに屋内退避させることを決定した。そのため、PAZ内では、予防的避難もしくは、一時集合場所を想定したコンクリート屋内退避といった防護措置の実施方法が

考えられる。

予防的避難については、放出の開始時期までに避難が完了するように入力パラメータを設定すれば、現行のOSCAARの避難モデルで評価できる。しかしながら、事故進展が早いシナリオ、あるいはPAZ内の住民避難に相当の時間を要する場合、放出の開始時期までに避難を完了させることは現実的に困難なものとなる。そこで、避難の移動中に受ける被ばく線量を評価できるようにする必要がある。この時、避難指示、避難完了、避難の実施期間に応じて、通常被ばくでの低減係数、自動車の遮へい効果による被ばく低減、避難位置でのコンクリート屋内退避の被ばく低減係数をそれぞれ適用することにした。

また、コンクリート屋内退避については、従前のOSCAARの屋内退避モデルと同様に、入力パラメータを設定する。この時、退避指示、退避完了、コンクリート屋内退避の実施期間に応じて、通常被ばくでの低減係数またはコンクリート屋内退避の被ばく低減係数を適用することにした。

加えて、安定ヨウ素剤の服用についてもこれらの防護措置と同時に実施できるように、実施の有無、服用時期を入力パラメータとして設定できるようにした。図3.2にPAZ内で想定される防護措置の実施方法に基づく改良モデルを示す。

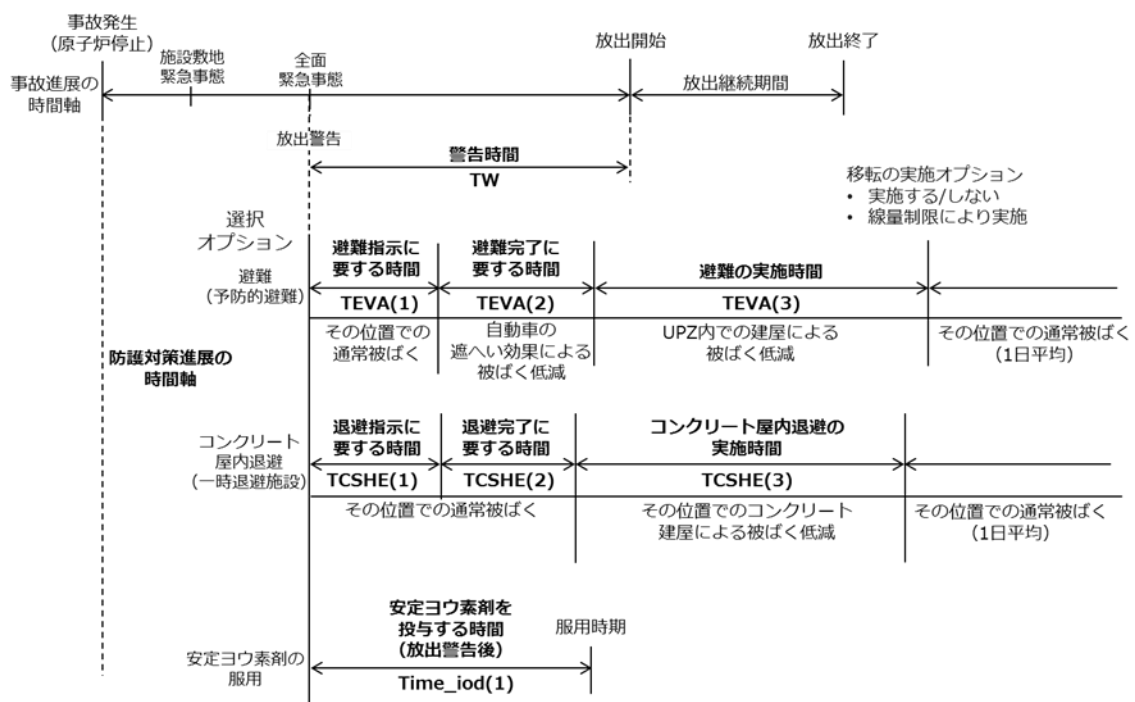


図3.2 PAZ内で想定される防護措置の実施方法に基づく改良モデル

(2) UPZ内

UPZ内では、屋内退避が主な防護措置シナリオであり、段階的な避難やOILに基づく防護措置シナリオも考えられる。そのため、UPZ内で想定される防護措置の実施フローとして、以下の4つが考えられる。

- ① 全面緊急事態発生後に一般家屋への屋内退避を実施
- ② 全面緊急事態発生後に一般家屋への屋内退避及び段階的避難を実施
- ③ 全面緊急事態発生後に一般家屋への屋内退避、放出後にOIL1に基づき避難を実施
- ④ 全面緊急事態発生後に一般家屋への屋内退避、放出後にOIL2に基づき一時移転を実施

①については、屋内退避に係る従来モデルが適用できると考えられる。②については、UPZ内で一般家屋への屋内退避を一斉に行った後、プラントの状況変化に応じて、対象地域別（あるいはサイトからの距離別）に避難を段階的に行うものと考えられる。そのため、OSCAAR「コンクリート建屋への屋内退避後に避難」の従来モデルを、「一般家屋への屋内退避後に避難」に拡張する必要がある。

③については、一般家屋に屋内退避をし、放射性物質が放出された後、空間線量率で示されるOIL1に基づき、避難を実施するものと考えられる。そのため、②の場合と同様、「一般家屋への屋内退避後に避難」の防護措置モデルに拡張する必要がある。また、OIL1を超えた場合に防護措置が実施されるよう、線量率に基づく防護措置の実施オプションをOSCAARに追加する必要がある。

④については、③とは異なり、OIL2に基づき、一時移転を実施するものである。加えて、OIL2による一時移転と同時に食物摂取制限（線量率で示される飲食物に係るスクリーニング基準で対象地域を特定し、核種濃度で示されるOIL6に基づき実施）も行われる。原災指針に一時移転の定義は示されていないが、避難を長期的に継続することと考えられる。一方、国際的には一時移転（temporary relocation）または移転（relocation）という長期的な防護措置とみなされている（原子力学会, 2018）。現行のOSCAARでは、移転を評価することはできるが、長期的な防護措置とみなしており、避難モデルの評価方法とは異なる。そのため、④の実施方法について、ここでは検討しないことにした。

図3.3に①～③の実施フローを包含するUPZ内で想定される防護措置モデルを示す。「一般家屋への屋内退避」、「一般家屋への屋内退避後に避難」、「避難」の実施方法を評価できる。避難の実施オプションとして、従前のOSCAARにおける、実施する/しない、実施する場合の実効線量に加え、OIL1あるいはOIL2に基づく空間線量率も選択できるようにした。

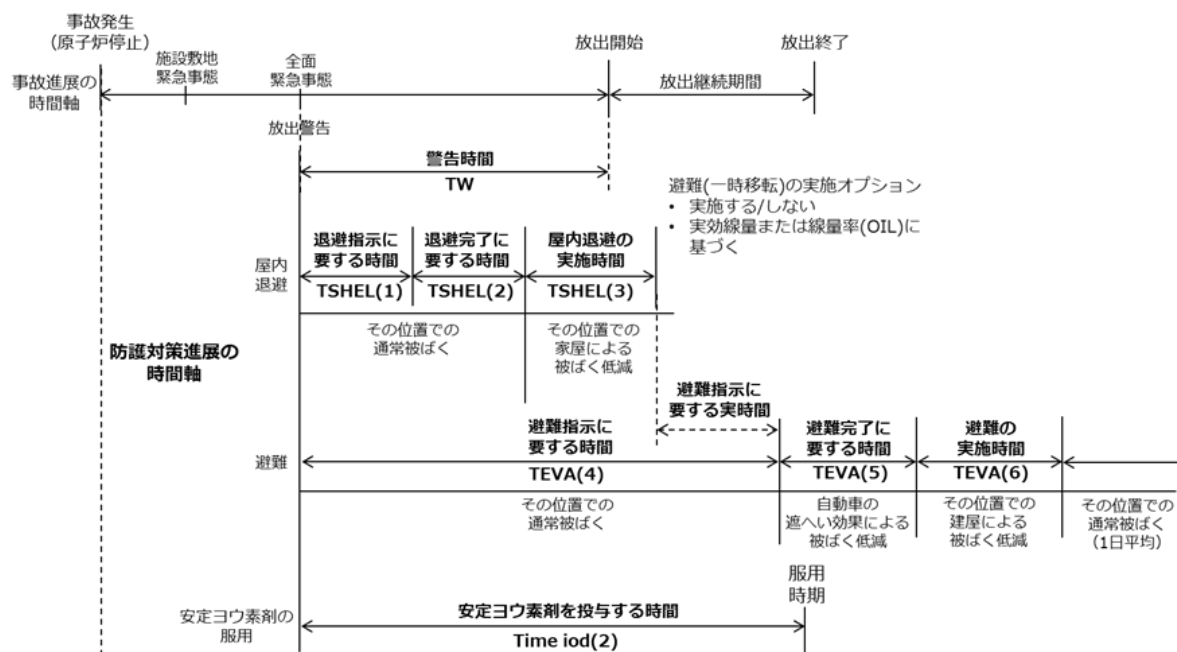


図3.3 UPZ内で想定される防護措置モデル

3.2. OSCAARへの導入に関連する改良項目

3.1 項で述べた改良モデルを OSCAAR に導入するにあたり、改良した項目を述べる。

(1) 改良モデルに適用する被ばく低減係数

・ PAZ

図 3.4 に、PAZ に相当する領域にて、実施時期に応じて適用する被ばく低減係数の一覧を示す。PAZ 内では、避難困難者を対象として陽圧化装置を備え、放射線被ばくの低減効果を強化した一時退避施設を含む堅牢な施設で屋内退避を実施するとしている。そのため、堅牢な施設に対する被ばく低減係数を新規に設定する必要がある。

具体的には、PM 入力パラメータのサブグループ SHELTERING に、堅牢な施設に対する被ばく低減係数のセット（放射性雲からの外部被ばくの遮蔽係数、地表面からの外部被ばくの遮蔽係数、吸入による内部被ばくの換気係数、再浮遊物質の吸入による内部被ばくの換気係数）を追加した。

・ UPZ

図 3.5 に、UPZ に相当する領域にて、実施時期に応じて適用する被ばく低減係数の一覧を示す。UPZ 内では、自宅あるいは最寄りの建物での屋内退避が想定されるため、建物の種類を考慮しない被ばく低減係数を適用することにした。

従来モデルの場合、ユーザーが設定する建屋の種類（一般家屋、コンクリート建屋、屋外）に対する被ばく低減係数に、建屋の種類ごとに滞在する「時間割合」あるいは建屋の種類ごとに滞在する「昼夜人口割合」、いずれかを乗じて求めた被ばく低減係数を適用した。ここでは後者を用いた算出方法を参考に、UPZ 内での屋内退避に係る被ばく低減係数を検討した。

防護対策の実施時に屋外滞在者は存在しないものと想定されることから、屋外滞在者の昼夜人口割合は、一般家屋滞在者とコンクリート建屋滞在者とに振り分けることができる。そこで、以下の式で UPZ 内での屋内退避に係る被ばく低減係数 SF_{shelt} を求め、屋内退避での評価に適用した。

$$SF_{\text{shelt}} = SHFAC \times (R_1 + R_3 \times R_4) + SFFACS \times (R_2 + R_3 \times (1 - R_4))$$

ここで、

SHFAC	:	木造建屋の被ばく低減係数
SFFACS	:	コンクリート建屋の被ばく低減係数
R ₁	:	木造建屋滞在者の割合（昼夜別）
R ₂	:	コンクリート建屋滞在者の割合（昼夜別）
R ₃	:	屋外滞在者の割合（昼夜別）
R ₄	:	屋外滞在者が木造建屋に滞在する割合

a) 従来モデル

被ばく経路	早期防護対策の進展状況						移転先	防護対策対象外
	防護対策実施前	防護対策実施中				防護対策終了後		
		退避場所への移動	退避場所	避難場所への移動	避難場所			
クラウドシャイン	昼夜人口	1	コンクリート	自動車	コンクリート	長期評価	0 (100%低減)	昼夜人口
グラウンドシャイン		長期評価						
吸入		1						
再浮遊による吸入		1						

b) 改良モデル（堅牢な施設での屋内退避を選択した場合）

被ばく経路	早期防護対策の進展状況				移転先	防護対策対象外
	防護対策実施前	防護対策実施中		防護対策終了後		
		退避場所への移動	退避場所			
クラウドシャイン	昼夜人口	屋外	堅牢な施設	長期評価	0 (100%低減)	昼夜人口
グラウンドシャイン						
吸入						
再浮遊による吸入						
位置	最初の位置	最初の位置	最初の位置	最初の位置	最初の位置	最初の位置

c) 改良モデル（避難を選択した場合）

被ばく経路	早期防護対策の進展状況				移転先	防護対策対象外
	防護対策実施前	防護対策実施中		防護対策終了後		
		避難場所への移動	避難場所			
クラウドシャイン	昼夜人口	自動車	コンクリート	長期評価	0 (100%低減)	昼夜人口
グラウンドシャイン						
吸入						
再浮遊による吸入						
位置	最初の位置	移動データ依存	移動データ依存	最初の位置	最初の位置	最初の位置

- ・ 昼夜人口：主たる放出時刻が昼か夜かにより、昼と夜のそれぞれについて、{屋外、木造、コンクリート}の3種類の存在場所における人口割合で重みづけした被ばく低減係数
- ・ 長期評価：上記と同様であるが、昼と夜の区別のない人口割合で重みづけした被ばく低減係数
- ・ コンクリート：コンクリート建屋の被ばく低減係数
- ・ 自動車：自動車の被ばく低減係数
- ・ 屋外：屋外の被ばく低減係数（グラウンドシャイン：0.7、他の被ばく経路：1.0）
- ・ 堅牢な施設：新規に追加した、堅牢な施設の低減係数

図3.4 PAZ内での改良モデルに適用される被ばく低減係数の一覧

a) 従来モデル

被ばく 経路	早期防護対策の進展状況				防護対策 対象外
	防護対策 実施前	防護対策実施中		防護対策 終了後	
		退避場所 への移動	退避場所		
クラウド シャイン	昼夜人口	昼夜人口	避難場所	長期評価	昼夜人口
グラウンド シャイン	長期評価	長期評価			
吸入					
再浮遊に よる吸入	昼夜人口	昼夜人口			

b) 改良モデル

被ばく 経路	早期防護対策の進展状況						移転先	防護対策 対象外
	防護対策 実施前	防護対策実施中				防護対策 終了後		
		退避場所 への移動	退避場所	避難場所へ の移動	避難場所			
クラウド シャイン	昼夜人口	屋外	UPZ 屋内	自動車	コンクリート	長期評価	0 (100%低減)	昼夜人口
グラウンド シャイン								
吸入								
再浮遊に よる吸入								
位置	最初の位置	最初の位置	最初の位置	移動データ 依存	移動データ 依存	最初の位置	最初の位置	最初の位置

- ・ 昼夜人口：主たる放出時刻が昼か夜かにより、昼と夜のそれぞれについて、{屋外、木造、コンクリート}の3種類の存在場所における人口割合で重みづけした被ばく低減係数
- ・ 長期評価：上記と同様であるが、昼と夜の区別のない人口割合で重みづけした被ばく低減係数
- ・ 避難場所（旧防護措置モデル）：木造とコンクリート建屋の存在割合で重みづけした被ばく低減係数
- ・ 屋外：屋外の被ばく低減係数（グラウンドシャイン：0.7、他の被ばく経路：1.0）
- ・ UPZ 屋内（新防護措置モデル）：新規に追加した UPZ 内の退避場所での被ばく低減係数
- ・ コンクリート：コンクリート建屋の被ばく低減係数
- ・ 自動車：自動車の被ばく低減係数

図3.5 UPZ内での改良モデルに適用される被ばく低減係数の一覧

(2) 避難モデルの改修

避難に係る従来モデルは、避難中の移動経路を考慮せず、移動元と移動先の位置情報を示す方位・距離メッシュデータを参照した上で、避難時の被ばく線量を計算する。従来モデルの線量評価は、避難の指示完了及び避難時の移動時間の放射能濃度は避難元メッシュのもので、避難で建物に入る時点から避難先メッシュのものを用いる方法である。つまり、設定したタイミングで場所を瞬間移動するモデルである。それに対し、改良モデルは、避難中の移動経路を考慮した被ばく線量を計算できるようにする。そのため、改良モデルの線量評価は、避難元から避難先までに通過するメッシュの位置情報（移動に伴い放射能濃度を取得するメッシュが変化する）とそのメッシュにおける所在時間を考慮する必要がある。メッシュの所在時間、そのメッシュを通過するのに要する時間とすると、メッシュ内の移動距離と移動速度から与えることができる。そこで、OSCAAR の改修にあたり、メッシュ毎の移動距離については OSCAAR 内部で使用するライブラリデータとして整備し、一方、移動速度については OSCAAR 入力データとして与えることとして、入力設定における利便性を良くした。

図 3.6 に改修後の OSCAAR で使用するライブラリデータである、移動メッシュデータ（以下、避難データ）の例を示す。本データは、ある距離番号における方位別の移動経路を、方位番号、距離番号、各メッシュでの移動距離で示したものである。出発地点により目的地点までに要するメッシュ数は異なるので、本データは最大メッシュ数をカバーするように作成される。この時、既に目的地メッシュに到達している地点は、方位番号と距離番号を 99 とし、移動距離は 0 で示す。このデータは、必要とする距離番号の数だけ用意される。避難データの作成方法については、3.3 項で述べる。

14 ←移動距離番号数(例) →最初にいたメッシュの方位番号

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	14	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	19
7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	12	12	14	14	14	14	19	19	19	19	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	
7	7	7	7	7	7	7	7	9	10	12	12	12	12	15	17	18	18	19	19	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	7	
7	7	7	7	7	7	7	7	10	10	11	11	11	15	15	17	17	18	18	21	23	23	23	23	23	23	25	25	26	26	7	7	
7	7	7	7	7	7	8	8	11	11	11	13	15	15	15	18	18	18	20	21	23	23	23	23	25	25	26	26	26	7	7		
7	7	7	7	7	8	8	9	11	11	11	13	13	15	16	17	19	19	20	21	22	23	23	25	25	26	26	26	26	26	26	26	
7	7	7	7	7	7	8	9	9	12	12	13	14	14	16	18	18	18	20	21	22	23	23	26	26	26	26	26	26	26	26	26	
7	7	7	7	7	7	8	9	9	14	14	14	14	16	17	19	19	20	21	22	23	24	25	25									
7	7	7	7	7	7	7	10	10	10	10	14	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24									
7	7	7	7	7	7	8	8	10	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24									
7	7	7	7	7	7	7	8	8	10	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24								
7	7	7	7	7	7	7	8	8	10	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	24								
7	7	7	7	7	7	7	8	8	12	12	12	15	15	16	17	18	18	18	20	21	22	23	24	24								
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
6	6	6	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	5	5	5	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	9	9	7	8	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	8	8	9	8	8	10	10	8	8	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	11	11	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	11	11	11	11	13	13	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	11	
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	14	14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	5.0E-1	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	8.0E-1	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0		
1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	5.0E-1	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0		
1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.5E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0		
1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	5.0E-1	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0		
(中略)																																
1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.5E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0		
1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	0.0E+0	0.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	1.0E+0	

方位番号

距離番号

各メッシュの移動距離

14

→最初にいたメッシュの方位番号

図3.6 避難に係る改良モデルで使用される避難データの例

このデータに示される移動距離と、新規に追加する避難の移動速度に関する入力から計算できる所要時間に基づいてメッシュ間を移動させることにした。

① 移動速度の入力追加

避難の移動速度に関する入力パラメータとして以下の3項目を追加した。実際の避難速度は「基本とする避難速度×速度の倍率」で示される。

- ・ 基本とする避難速度 (km/h)
- ・ 速度の倍率
- ・ 速度の倍率をセットする移動距離番号の数 (図 3.6 の場合、14)

② 避難モデルへの移動速度の反映方法

移動前後のメッシュ番号とそのメッシュ内を移動に要する時間を管理する変数を追加した。時間の始点は PM の時間ループ (IT) 内で比較するため、放

出開始時間とした。移動速度と距離データに基づき、あらかじめ累積移動時間を求め、ITと比較して、位置を確認する。なお、PAZ内での移動開始は通常放出前なので、入力で設定するPAZの範囲に対応したメッシュ位置をあらかじめ求めておく。

OSCAARの計算で使用する時間ループ変数ITは整数であるが、実際の移動時間は整数で表せず、実数となる事例が多く発生する。例えば、放出開始後に避難を開始し、メッシュ内を通過するのに、移動速度と距離データから2.6時間を要すると算出された場合である、この場合、ループIT=3(放出開始後3時間後)の評価に対し、最初の0.6時間は移動中のメッシュXに、残る0.4時間は次の移動先のメッシュYに所在することになる。そこで、その間の被ばく線量Dを、 $D = 0.6 \times D_X + 0.4 \times D_Y$ で評価できるようにOSCAARを改良した。

3.3. 避難データの作成

避難に係る従来モデルは、避難前の移動時間までは事故発生時のメッシュで被ばくを評価し、避難が完了する時間から避難先のメッシュで評価する。これに合わせて、OSCAARの避難に関するデータは、各メッシュの避難先メッシュ情報をまとめたものとなっている。

避難モデルの改修にあたり、避難時の移動状況も反映した被ばく評価をできるようにするため、これに対応した避難データを作成する必要がある。

まず、避難データの書式及び必要な情報を決定した。次に、それらの情報の取得と整理方法を検討し、データを作成した。

(1) データファイルに収める情報

避難に係る従来モデルで使用される移動前後での位置情報(図3.6に示した距離番号及び方位番号)に係るデータは、屋内退避及び移転に係るデータと同じファイルに収められている。図3.7に従来モデルで使用される移動メッシュデータの例を示す。

* AREA NUMBER FOR EACH COUNTERMEASURE Tokai																																
* DIRECTION NUMBER, DISTANCE NUMBER																																
32																25																
(中略)																																
EVACUATION																																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
(中略)																																
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
(後略)																																

図3.7 従来モデルで使用される移動メッシュデータの例

「DIRECTION NUMBER, DISTANCE NUMBER」の数字はそれぞれ、OSCAARで使用する同心円メッシュ上での方位分割数、距離分割数を指す。図3.7の場合、全32方位、距離分割数25に対応したデータであることを意味する。方位は東を1として反時計回りに番号を付けている。

「EVACUATION」以下が避難用のデータで、この図では例としてメッシュの距離番号（以降、「距離番号」と言う。）1～3までを具体的に示しているが、実際には距離分割数の設定数25に合わせて25行示されている。各データの行と左からのデータ数は、それぞれ移動前に所在する距離番号（行）と方位番号（左からデータを数えた数）を意味する。EVACUATIONに続くデータは避難先メッシュのある方位を、続く（中略）以降の13が並んでいるデータが避難先メッシュのある距離番号を示す。例えば、移動前に距離番号2、方位番号1（各データ始まりから2行目の左から1番目）にいる人は、距離番号13、方位番号1のメッシュへ移動することを意味する。この書式を可能な限り維持する方向で、避難移動時のメッシュの移動を示すデータを作成することとした。

避難に係る改良モデルで重要となるのは、移動に伴うメッシュの変遷とその場所に所在する時間である。モデルでは移動速度と移動距離から時間の経過を求めるので、移動前のメッシュごとに避難先までのメッシュの移動状況と各メッシュの距離を整理したデータファイルを作成することとした。従来モデルで使用する避難データは、ひとつのファイルに評価対象となる全メッシュの情報を格納していたが、避難時のメッシュの移動情報を含めるとひとつのファイルに格納する情報量が多くなるため、移動するメッシュのある距離番号別のファイルを作成することとした。距離番号1から13までのメッシュを対象に避難を行う場合、13個のファイルが計算に使用される。ファイルにまとめる主なデータは、移動するメッシュの距離番号と方位、そのメッシュにおける移動距離である。

(2) 避難データの作成に必要な情報の収集と整理

(1)で述べたように、避難に係る改良モデルに適用する避難データを作成するためには、避難する際に出発地から避難施設までの移動距離に関する情報が必要である。

そこで、全ての原子力発電所を対象に、立地道府県及びサイト周辺の地方自治体が示す地域防災計画（原子力災害対策編）、広域避難計画、住民に配布する防災パンフレット等の公開資料に基づき、地方自治体が想定する避難元施設（出発地）及び避難先施設（到着地）の整備状況を調査した。加えて、避難の途中に避難退域時検査が想定されることから、避難退域時検査場所の整備状況

も調査した。

その結果、九州電力川内原子力発電所サイト（以下、「川内サイト」）周辺の地方自治体が最も詳細な情報を示していることが判明した。そこで、同サイトを対象とした避難データの作成を試みることにした。

川内サイト周辺のUPZ圏内の地方自治体は、薩摩川内市、いちき串木野市、さつま町、阿久根市、出水市、鹿児島市、日置市、姶良市、長島町である。このうち、長島町を除く各市町村についてはインターネット上に公開している資料から、また、長島町については鹿児島県の地域防災計画から、避難データの作成に必要な情報をそれぞれ入手した。なお、情報の調査にあたり、地方自治体の指示に従い行動をとれる集団を対象とし、要配慮者のように、これと異なる流れで避難を行う集団に係る情報は対象としなかった。

川内サイト周辺の市町村の多くは、主に自家用車による避難を計画している。しかし、自家用車による移動ができない住民等は、一旦、徒歩で指定された一時集合場所に集合し、その後、バスで避難先施設に移動することとしている。一時集合場所は、小学校区や公民館区ごとに設定され、それぞれに対し、避難先施設も設定している。そのため、計画されている一時集合場所を出発地とし、各避難先施設へ向かうルート上の距離が、避難データに必要な移動距離を設定するための参考情報になると考えられる。

そこで、地理情報システム（GIS）ソフトを用いて、出発地から避難先施設へ向かうルートの距離を取得することにした。ここでは2種類のGISソフトを利用した。一つは商用ソフトウェアである（株）ESRIジャパン社のArcGIS、もう一つはオープンソースソフトウェアQGIS（<https://qgis.org/ja/site/>）である。主にArcGISを使用し、ArcGISでは取扱制限によりできない処理をQGISで補った。具体的には、複数の地点に対し、任意の2点間に対する直線距離を求めて結果を数値で得ることについてQGISで行った。求める両者から取得したデータの処理は可能な限りプログラムを作成し機械化を図った。

ルート検索はArcGISの追加機能（エクステンション）であるNetwork Analystを利用した。Network Analystは、ESRI社が整備した道路交通網のデータに基づいて経路検索を行う機能を有している。これを利用して自動車利用での混雑時の所要時間が少なくなるルートとして以下の条件で検索を行った。この時、ル国道や高速道路、主要道路から優先的に探索する設定とした。

- ・ 一方通行規制を有効
- ・ 右左折禁止規制を有効
- ・ 自動車通行不可・未供用の道路を使用しない
- ・ 通行禁止規制を有効

- ・ 開通予定道路を使用しない
- ・ 高速道路や有料道路を使用する（避難用道路として高速道路が想定されているため）
- ・ 幅員 5.5m 未満の道路を使用する（山間の細い道路を通行することも想定）

Network Analystによるルート検索結果の例を図3.8に示す。これは、出発地点を薩摩川内市の寄田地区コミュニティセンター、到着地点を鹿児島市の鹿児島県文化センター（宝山ホール）に設定した場合のルートである。

このルートに関し、薩摩川内市が示す避難計画には次の2つの避難経路が示されている。

- ① 県道 43 号線 → 国道 3 号線 → 南九州道 → 国道 3 号線 → 国道 10 号線
- ② 県道 43 号線 → 国道 3 号線 → 県道 39 号線 → 国道 328 号線 → 国道 3 号線 → 国道 10 号線

これに対し、Network Analystの検索結果は①と同様であった。道路の整備状況は変わり、避難計画や道路交通網の整備年も異なるため、多少の差異が生じる可能性はある。しかし、Network Analystを用いることで、出発地から避難先施設へ向かうルートの距離を概ね推定できることが確認できた。

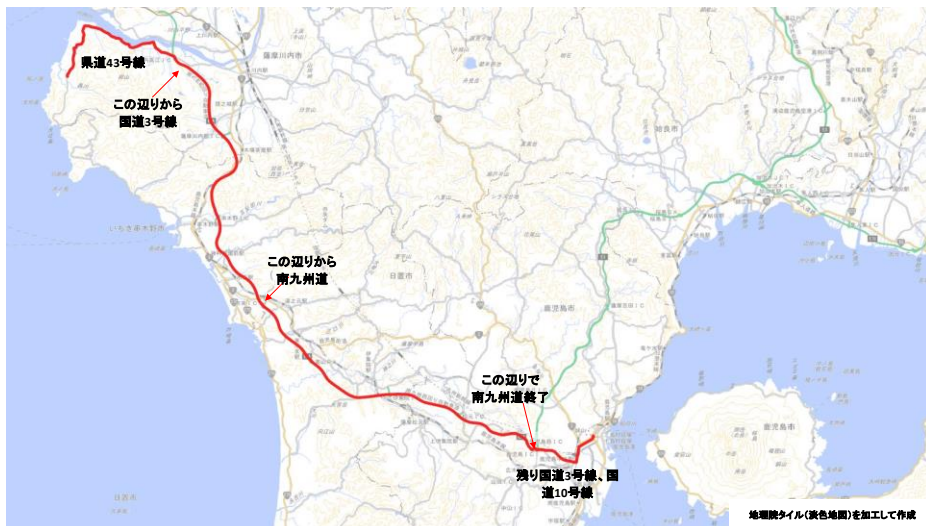


図3.8 ルート検索結果例

一方、昨年度事業では、現状で公開されている広域避難計画の情報をそのまま適用して出発するメッシュと到着先メッシュを1対1で対応する避難用データを作成することは出来ないことを述べた。薩摩川内市を例とした場合、図3.9

な移動距離を、避難に係る改良モデルに適用する移動距離とすることにした。

これらの検討結果を踏まえ、GISで求めた移動距離を基に、避難データに必要な距離番号毎の移動距離を設定するための情報を以下の手順で求めることにした。

- (a) 地方自治体を示す避難情報に係る資料に基づき、全ての一時集合場所と避難先施設との組合せを整理した。ある一つの一時集合場所に対して複数の避難先施設が計画されている場合、その全ての組合せを対象とした。
- (b) 国土交通省が示す国土数値情報の避難施設データを主として各施設の経緯度情報を整理した。国土数値情報のデータに見当たらない施設は、Googleマップで当該施設を探し、経緯度情報を取得した。
- (c) (a)と(b)を組み合わせて、個々の一時集合場所と避難先施設のセットごとに経緯度情報をまとめたCSV形式ファイルを作成した。
- (d) (c)で作成したCSV形式ファイルをArcGISに読み込ませ、多くのGISソフトウェアで使用可能なシェープファイル(Shapefile)を作成し、ArcGISのエクステンション機能であるNetwork Analystを利用して出発地から避難先施設までのルートを検索した。この検索で総移動距離も取得できるので、これらの検索結果をExcelファイルへ変換し取得した。
- (e) QGISでサイトから一時集合場所あるいは避難先施設までの直線距離を求めてCSV形式で取得した。
- (f) (e)で得た距離情報から、一時集合場所と避難先施設のある同心円半径距離番号を求めて整理する。
- (g) 上述で得た各種情報に基づき、一時集合場所から避難先施設までの距離を、属する同心円半径番号ごとに整理する。

この手順で得た結果を表3.1に示す。上記の図3.9、図3.10にて述べたように、ある一つのメッシュ内に複数の施設が存在する場合、出発地メッシュ及び避難先メッシュが同一でも、出発地から避難先までのルートは様々であり、移動距離も異なる。そのため、その平均移動距離を求めたのが「(A)平均移動距離」である。また、「(B)参考直線距離」は、出発地のあるメッシュの中心から避難先施設のあるメッシュの中心までの平均直線距離である。(A)と(B)のイメージを図3.11に示す。度数は、出発地と避難先施設との関係から得られたルートの組合せの数である。

出発から到着までに通った距離(A)が半径方向の直線距離(B)の何倍になるかを求めた値((A)/(B))を各メッシュの直線距離に乗じる倍率として各メシ

ユの移動距離とした。詳細は、次項(3) OSCAAR用データへの加工で述べる。

避難においてはUPZ境界付近にて避難退域時検査を行うこととしており、避難退域時検査場所に立ち寄ることが想定される。表3.1は、避難退域時検査場所への立ち寄りを考慮しない結果である。そのため、避難退域時検査場所を経由地として追加してルートを検索し、距離を求めた場合の結果を表3.2に示す。川内サイトの避難退域時検査場所は候補地のみが示されており、避難ルートに対し指定されていない。そこで、避難退域時検査場所が避難先施設のある市町村にあるか、あるいは一時集合施設からの避難先施設の方向が避難先施設のある市町村に近い候補地を適用した。この避難退域時検査場所を、避難対象集団ごとに定めている自治体もあれば候補地情報のない自治体もあるので、他サイトについてデータを整備する際に必ずしも考慮できる項目ではない。

避難退域時検査場所以外に、例えば、宮城県の広域避難計画では、避難先施設へ向かう前に施設を振り分けるために必ず立ち寄るよう指定されている避難所受付ステーションを設けている。このように、一時集合施設と避難先施設の情報が細かく計画されている場合でも、経由地の計画状況は様々であるため、経由地を考慮する場合に得られる情報の変化を見るために、両方についてデータ作成を行った。経由地を含める処理においては、GISが使用する各種データに経由地情報を追加したものを用意した。

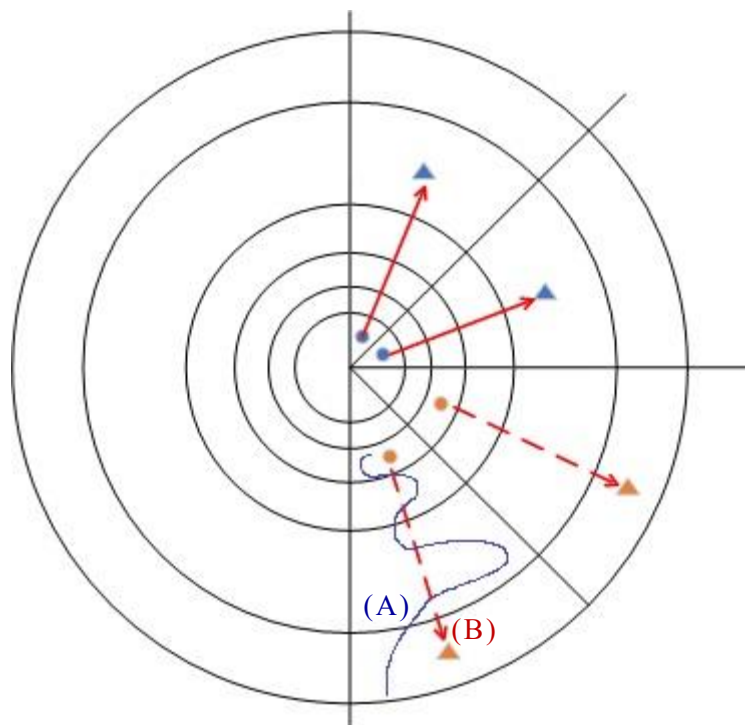


図3.11 避難データの移動のイメージ

表3.1 一時集合場所のあるメッシュ（出発メッシュ）距離番号と避難先施設のあるメッシュ（目的メッシュ）距離番号の組合せ別の距離の状況（経由地無し）

No.	出発メッシュ距離番号	目的メッシュ距離番号	度数	出発メッシュ中心位置(km)	目的メッシュ中心位置(km)	(A)平均移動距離(km)	(B)参考直線距離(km)	(A)/(B)	出発エリアの区分	
1	2	14	1	1.5	50	56.5	48.5	1.2	PAZ	
2	3	14	2	2.5	50	59.2	47.5	1.2	PAZ	
3	4	14	2	3.5	50	54.9	46.5	1.2	PAZ	
4	5	14	4	4.5	50	55.8	45.5	1.2	PAZ	
5	6	14	11	5.5	50	56.2	44.5	1.3	UPZ	
6	7	14	11	7	50	63.2	43	1.5	UPZ	
7	8	13	15	9	30	42.2	21	2.0	UPZ	
8	8	14	69	9	50	67.5	41	1.6		
9	8	15	7	9	70	95.3	61	1.6		
10	9	13	10	12.5	30	43.8	17.5	2.5	UPZ	
11	9	14	124	12.5	50	51.1	37.5	1.4		
12	9	15	39	12.5	70	90.6	57.5	1.6		
13	9	16	14	12.5	90	99.3	77.5	1.3		
14	10	13	15	17.5	30	31.5	12.5	2.5	UPZ	
15	10	14	52	17.5	50	59.6	32.5	1.8		
16	10	15	55	17.5	70	74.6	52.5	1.4		
17	10	16	9	17.5	90	97.1	72.5	1.3		
18	11	13	72	22.5	30	26.4	7.5	3.5	UPZ	
19	11	14	53	22.5	50	49.8	27.5	1.8		
20	11	15	17	22.5	70	60.3	47.5	1.3		
22	12	13	80	27.5	30	20.5	2.5	8.2	UPZ	
23	12	14	95	27.5	50	44.2	22.5	2.0		
24	12	15	19	27.5	70	60.2	42.5	1.4		
25	13	13	27	30	30	4.9	0	-	UPZ	
26	13	14	52	30	50	35.9	20	1.8	を含む	
27	13	15	24	30	70	66.1	40	1.7		
total			879							

表3.2 一時集合場所のあるメッシュ（出発メッシュ）距離番号と避難先施設のあるメッシュ（目的メッシュ）距離番号の組合せ別の距離の状況（経由地あり）

No.	出発メッシュ距離番号	目的メッシュ距離番号	度数	出発メッシュ中心位置(km)	目的メッシュ中心位置(km)	(A)平均移動距離(km)	(B)参考直線距離(km)	(A)/(B)	出発エリアの区分	
1	2	14	1	1.5	50	56.5	48.5	1.2	PAZ	
2	3	14	2	2.5	50	59.2	47.5	1.2	PAZ	
3	4	14	2	3.5	50	54.9	46.5	1.2	PAZ	
4	5	14	6	4.5	50	59.5	45.5	1.3	PAZ	
5	6	14	12	5.5	50	66.8	44.5	1.5	UPZ	
6	7	14	11	7	50	59.2	43	1.4	UPZ	
7	8	13	15	9	30	57.6	21	2.7	UPZ	
8	8	14	69	9	50	59.4	41	1.4		
9	8	15	7	9	70	74.1	61	1.2		
10	9	13	10	12.5	30	39.3	17.5	2.2	UPZ	
11	9	14	124	12.5	50	51.6	37.5	1.4		
12	9	15	39	12.5	70	89.4	57.5	1.6		
13	9	16	14	12.5	90	95.8	77.5	1.2		
14	10	13	15	17.5	30	33.9	12.5	2.7	UPZ	
15	10	14	52	17.5	50	61.5	32.5	1.9		
16	10	15	55	17.5	70	76.7	52.5	1.5		
17	10	16	9	17.5	90	90.8	72.5	1.3		
18	11	13	72	22.5	30	30.1	7.5	4.0	UPZ	
19	11	14	53	22.5	50	51.5	27.5	1.9		
20	11	15	17	22.5	70	59.2	47.5	1.2		
22	12	13	80	27.5	30	22.8	2.5	9.1	UPZ	
23	12	14	95	27.5	50	46.5	22.5	2.1		
24	12	15	19	27.5	70	68.6	42.5	1.6		
25	13	13	27	30	30	15.1	0	-	UPZ	
26	13	14	52	30	50	38.8	20	1.9	を含む	
27	13	15	24	30	70	68.5	40	1.7		
total			882							

(3) OSCAAR 用データへの加工

先に示したように、OSCAAR用データには、出発地のメッシュと避難先メッシュおよびその間に通過するメッシュの情報と、各メッシュにおける移動距離を収録する。同心円メッシュの分割は半径方向に25（表3.3）、方位に対し32の分割である。

データの整備にあたり、図3.11に示すように、避難先メッシュ方位は出発地メッシュの方位と同じとし、同一の方位のメッシュを移動するものとした。また、全方位に対し、出発地のあるメッシュの距離番号が同じであれば、避難先メッシュの距離番号も同じとした。図3.11で説明すると、実線の矢印が示す移動は一番内側の同心円にあるメッシュからの移動を、破線の矢印が示す移動は内側から3番目の同心円からの移動を示している。出発地（丸印）のある同心円半径が同じメッシュは、避難先（三角印）のある同心円半径も同じとするので、実線矢印の移動先メッシュ、破線矢印の移動先メッシュはそれぞれ同じ同心円半径（距離番号）となっている。

表3.3 同心円メッシュの半径方向の分割（外側境界）

No.	距離(km)	No.	距離(km)	No.	距離(km)	No.	距離(km)
1	1	8	10.75	15	80	22	800
2	2	9	15	16	107.5	23	1075
3	3	10	20	17	150	24	1500
4	4	11	25	18	212.5	25	2000
5	5	12	28.75	19	300		
6	6.25	13	40	20	425		
7	8	14	60	21	600		

前項(2)で述べたように、各メッシュにおける移動距離を設定するにあたり、出発地メッシュから避難先メッシュ間の半径方向の直線距離と、GISソフトで検索したルートの実際の移動距離の比((A)/(B))を適用する。ただし、検索したルートから得られる移動距離は始点から終点までの総距離であり、ルートが通過したメッシュ間での移動距離を得ることはできない。そこで、始点のある出発地メッシュと終点のある避難先メッシュ間の直線距離と実際の移動距離の比((A)/(B))を $\frac{1}{B}$ 倍率として、各メッシュの直線距離に均一に乗じてメッシュごとの移動距離を設定と仮定することとした。各メッシュの直線距離は、外

に隣接するメッシュとの中心位置間の距離とした。結果を表3.4に示す。

検索したルートを整理すると、出発地メッシュの距離番号が同じでも、避難先メッシュの距離番号が異なるものがあった（表3.1、表3.2の出発メッシュ距離番号8以降）。このように避難先メッシュの距離番号が複数ある出発地メッシュの距離番号については、表3.1、表3.2に示した度数の最頻値に対する(A)/(B)を適用することとした。また、サイト中心を含む円内（距離番号1のメッシュ）は原子力発電所敷地内であることが多く、加えて敷地外であってもサイト近傍の居住者は少ないため、広域避難計画等から得た集合場所にこの領域内の施設はなかった。しかし、OSCAARではこの領域も被ばく線量評価の対象領域としていることから、距離番号2の(A)/(B)と避難先メッシュの距離番号を適用した。

移動距離と参考直線距離の比は、表3.1及び表3.2の結果から、経由地の考慮の有無によらず、概ね同等となることが分かった。サイト中心に近い経由地の想定は自治体により異なるので、経由地に関する記載がないか、計画として固まっていない場合には、経由地を考慮しない情報からデータを作成しても差し支えないと言える。先に述べたように川内サイトの避難退域時検査場所は現在計画中であるため、ここでは、表3.1に示した経由地なしの結果を採用することにした。

以上を踏まえて川内サイトの避難データを作成した。避難を実施する出発地メッシュの同心円半径番号1～13について、同心円半径番号別のファイルを作成した。今回作成した川内サイトの避難データは13個のファイルで構成される。

例として、表3.5に距離番号12に対するデータを示す。①の32は方位分割、4はこの避難で所在するメッシュの同心円半径の数を示す。距離番号12にある出発メッシュは距離番号15にある避難先メッシュまで4つの同心円半径のメッシュに所在することを示す。

③は所在メッシュの方位を示し、③は所在メッシュの距離番号を示す。②と③の組合せでメッシュの位置が決まる。また、四角で囲んだ同じカラムの縦方向が進行方向を示し、②や③の進行におけるメッシュ位置の変化を示す。作成したデータは最初に居るメッシュの中心から見た方位と同じ方向に進むので、距離番号12・方位番号1のメッシュを出発すると、距離番号13・方位番号1のメッシュ、距離番号14・方位番号1のメッシュと進み、距離番号15・方位番号1のメッシュに到着することを示す。

④は各メッシュにおける移動距離（単位km）を1行目は方位番号1～16、2行目は方位番号17～32について示す。距離番号12・方位番号1のメッシュを出発すると、距離番号12で5.5km、同13で40km、同14で40km、同15で40km（リスト内蛍光黄色）の距離を進むことを示す。

以上のように、避難に係る改良モデルに適用する避難データを整備するため、まず、避難情報が詳細に示されていた川内サイトを対象に、各地方自治体が定めた避難経路に関する情報を収集した。次に、この情報を参考に、GISソフトを用いて移動距離を算出し、これをOSCAARで採用する同心円メッシュ上にて適用するためのデータ処理方法を検討した。最後に、これらの検討結果に基づき、川内サイトを対象に、同心円メッシュ上で避難時の移動の模擬が可能となる避難データを作成した。

表3.4 出発メッシュに対する各メッシュの移動距離設定

同心円半径番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
メッシュ中間位置(km)		0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	7.0	9.0	12.5	17.5	22.5	27.5	30.0	50.0	70.0
出発メッシュ距離番号	直線距離 倍率	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	2.0	3.5	5.0	5.0	5.0	2.5	20.0	20.0	20.0
1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.8	2.4	4.2	6.0	6.0	6.0	3.0	24.0	24.0	24.0
2	1.2	-	1.2	1.2	1.2	1.2	1.8	2.4	4.2	6.0	6.0	6.0	3.0	24.0	24.0	24.0
3	1.2	-	-	1.2	1.2	1.2	1.8	2.4	4.2	6.0	6.0	6.0	3.0	24.0	24.0	24.0
4	1.2	-	-	-	1.2	1.2	1.8	2.4	4.2	6.0	6.0	6.0	3.0	24.0	24.0	24.0
5	1.2	-	-	-	-	1.2	1.8	2.4	4.2	6.0	6.0	6.0	3.0	24.0	24.0	24.0
6	1.3	-	-	-	-	-	2.0	2.6	4.6	6.5	6.5	6.5	3.3	26.0	26.0	26.0
7	1.5	-	-	-	-	-	-	3.0	5.3	7.5	7.5	7.5	3.8	30.0	30.0	30.0
8	1.6	-	-	-	-	-	-	-	5.6	8.0	8.0	8.0	4.0	32.0	32.0	32.0
9	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	7.0	7.0	7.0	3.5	28.0	28.0	28.0
10	1.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.0	7.0	3.5	28.0	28.0	28.0
11	3.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.5	8.8	70.0	70.0	70.0
12	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.0	40.0	40.0	40.0
13	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36.0	36.0	36.0

※同心円半径番号16のメッシュ中間位置は90.0km

表3.5 出発地メッシュの同心円半径番号12に対する避難データ例

* INFORMATION FOR EVACUATION
* DIRECTION NUMBER, MOVE MESH NUMBER

32	4	← ①																														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	②
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	③	
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13		
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14		
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15		
5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00	5.0E+00		
4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	④	
4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01			
4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01		
4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01	4.0E+01		

3.4. モデル解説書及びユーザーマニュアルの作成

3.1項～3.3項の検討結果を踏まえ、屋内退避及び避難に係る改良モデルを含めたOSCAARのモデル解説書及びユーザーマニュアルを作成した。

モデル解説書については、H28年度に作成した同解説書を基に、3.1項に示したPAZ及びUPZで想定される防護措置の実施方法に基づく改良モデルの図表を新たに追加するとともにその内容を更新した。

また、ユーザーマニュアルについてもH28年度に作成した同マニュアルを基に、本事業で検討し、改良したこれらのモデルを用いて計算する場合に必要なPM（防護対策による被ばく低減効果解析）用入力パラメータを新たに追加した。表3.6にその抜粋を示す。

表3.6 屋内退避及び避難に係る評価モデルに追加した入力パラメータ

Card	Columns	Format	Name	Description	Default value
3	1-15	A15	SUBGPN(2)	サブグループ名（SHELTERING）	
3-4	1-100	実数	sf_shelt_paz(1) sf_shelt_paz(2) sf_shelt_paz(3) sf_shelt_paz(4)	<堅牢な退避施設の被ばく低減係数> 放射性雲からの外部被ばくの遮蔽係数 地表面からの外部被ばくの遮蔽係数 吸入による内部被ばくのフィルタ係数 再浮遊物質の吸入による内部被ばくの換気係数	0.1 0.1 0.1 0.1
5	1-15	A15	SUBGPN(4)	サブグループ名（EVACUATION）	
5-3	1-100	実数 整数 整数	std_speed nf nm	基本とする避難速度（km/h） 移動メッシュデータファイルの数 速度の倍率をセットする移動距離番号の数	30.0 13 14
5-4	1-100	実数	mag(1:nm)	速度の倍率	—

4. 防護措置の効果に関する検討

3章では、OSCAARの改良内容及び避難に係る改良モデルで必要となる避難データの整備方法を説明した。

ここでは、事故進展が異なる複数の事故シナリオに対し、従来モデルと改良モデルとの計算結果の比較のため、被ばく線量評価を行う。さらに、シビアアクシデント解析結果から得られた事故進展が異なる様々な事故シナリオに対し、防護措置の実施方法を幾つか検討し、両者を組み合わせた複数ケースに対する被ばく線量を評価することで、屋内退避及び避難の効果の差異、屋内退避を実施する建屋の構造による影響等を比較する。

OSCAARの防護措置に係る従来モデルと改良モデルで取り扱うことができる防護措置の種類を表4.1に示す。なお本解析では、移転に関する評価は対象としない。

表4.1 OSCAARで取り扱うことができる防護措置の種類

領域	改良前	改良後
PAZ	コンクリート施設への屋内退避 避難 移転 ※屋内退避→避難は可。ただし、線量規制でコンクリート屋内退避を実施してからの避難は、コンクリート屋内退避が実施されていることが条件	堅牢な施設への屋内退避 避難 移転 ※屋内退避→避難は不可。どちらかのみ。
UPZ	屋内退避（建物種類混合）	屋内退避（建物種類混合） 避難 ※屋内退避→避難が可

4.1. 解析条件

4.1.1. 対象サイト及び事故シナリオ

対象サイトは、3.3項で避難データを整備する際に選定した川内原子力発電所とした。同サイトを中心とする同心円メッシュ上の評価地点の距離を表4.2に示す。

川内原子力発電所を対象とした炉内インベントリデータ及び事故シナリオのソースタームについては、公開文献等を調査したが、入手できなかった。本

解析は、従来モデルと改良モデルとの計算結果の比較が主な目的である。そのため、これらの情報については、これまでに原子力機構の研究成果として得られた情報で代用し、評価を行うことにした。

(1) 炉内インベントリデータ

表 4.3 に示す JAERI 報告書の Table 3.2 のデータを使用した（本間, 2000a）。評価対象核種は OSCAAR で対象とする 54 核種である。

(2) 事故シナリオ及びソースターム

川内原子力発電所は PWR プラントであるが、ここでは BWR プラントを対象とした以下の 3 つの事故シナリオを対象とした。

- ・ 早期大規模放出：炉内水蒸気爆発（TQUV- α ）
- ・ 後期大規模放出：水蒸気及び非凝縮性ガスによる過圧破損（TQUV- δ ）
- ・ 管理放出：格納容器ベント作動（TQUV- ν -1）

これらの事故シナリオは、原子力機構が開発中の総合シビアアクシデント解析コード THALES2 により様々な事故シナリオに対して解析した結果から、ソースタームの放出パターン全体を包含できる代表的なシナリオとして環境影響評価のために選定されたものである（石川, 2005）。

表 4.4 にこれら 3 つの事故シナリオのソースタームを示す。

4.1.2. 防護対策シナリオ

これら 3 つの事故シナリオに対し、従来モデルと改良モデルを用いて評価を行うための防護対策シナリオとして、表 4.5 に示す 2 ケースを想定した。

従来モデルと改良モデルとで、避難の評価方法が異なるため、可能な限り同じ条件で評価を実施する必要がある。そこで、避難データについては、従来モデル避難データでは避難先メッシュが距離番号 13 のメッシュ（30km 地点）であったので、改良モデルで使用する避難データは 3 章で作成したデータをもとに避難先メッシュが距離番号 13 となるように変更したものとした。改良モデルで使用する避難データによれば、距離番号 1 からの移動距離は 59.4km であり、他の同心円半径からのメッシュも同様の移動距離となる。この時、移動速度は 10km/h と仮定した。これにより、PAZ から距離番号 13 のメッシュまでの移動に約 6 時間を要することになる。

また、表 4.6、表 4.7 に本解析で使用した被ばく低減係数等に関する情報を示す。

(1) ケース 1

PAZ 内

- ・ 従前モデル及び改良モデルともに、警告時間と同時に避難のための移動を開始することとする。
- ・ 警告時間から 6 時間後に避難を完了し、移動先で屋内退避を開始するものとする。放出開始後 3 時間は移動中である。従来モデルでは、最初に居るメッシュで移動中の低減係数を考慮した被ばく線量評価が行われ、避難開始は避難先メッシュでの被ばく線量が評価される。改良モデルでは、移動によりメッシュを変化させながら移動中の低減係数と滞在時間を考慮した被ばく線量評価を行い、避難先メッシュに到着次第避難を開始する。したがって、避難開始時間は、避難元のメッシュの同心円半径毎に異なるものの、概ね同等となる。

UPZ 内

- ・ 従前モデル及び改良モデルともに、放出開始と同時に屋内退避の実施を開始し、放出継続時間終了と共に屋内退避を解除することとする。

(2) ケース 2

PAZ 内

- ・ 屋内退避を実施する。
- ・ 従来モデルと改良モデルとで、屋内退避の建物の種類が異なる。従来モデルではコンクリート屋内退避、改良モデルでは堅牢な施設を対象とした。堅牢な施設に対する被ばく低減係数については、コンクリート建屋とは異なり、全ての被ばく経路に対する被ばく低減係数を 0.1 とした。

UPZ 内

- ・ 従来モデルは屋内退避のみ実施し、屋内退避終了後は日常生活に戻る
- ・ 改良モデルは改良前と同様の屋内退避後に避難を実施する。UPZ における屋内退避で対象とする建物は木造建屋とコンクリート建屋の両方の混在を想定した。

4.1.3. 解析ケース

3 つの事故シナリオのソースタームと防護対策シナリオとの組合せに対し、従来モデルと改良モデルを用いて比較することから、解析ケースは計 12 ケースである (表 4.8)。また、防護対策の実施による被ばく低減効果を比較するた

め、これらの解析ケースに加え、「対策なし」のケースも解析対象とした。「対策なし」の場合、常に屋外に滞在し続けるものと仮定した(被ばく低減係数は、被ばく経路によらず、全て1とした)。

これらの解析ケースに対し、OSCAAR 解析で被ばく線量を計算した。気象データについては、気象庁が配信した2013年の数値予報データ(GPV)を基に、川内サイトを対象に作成したOSCAAR用気象データを用いた。1年間の気象条件からランダムサンプリング手法を用いて100気象シーケンスを抽出し、OSCAAR 解析に用いた。

被ばく線量については、放出開始後7日間でのクラウドシャイン及びグラウンドシャインによる外部被ばく、空気中の放射性物質の吸入による内部被ばくを合計した甲状腺等価線量と実効線量を対象とした。まず、これらの被ばく線量について、放出点からの距離毎に方位最大値を抽出する。次に、100気象シーケンスに対する全ての結果を統計処理することで、放出点からの距離毎に線量の50%値(中央値)と95%値を求める。なお、統計処理にあたり、人口分布(メッシュ毎の人口の有無)を考慮せず、海域を含めた全方位を対象とした。最後に放出点からの距離と、甲状腺等価線量または実効線量との関係をグラフに示す。図4.1に解析手順を示す。

表 4.2 放出点から評価点までの距離

No.	距離 (km)	No.	距離 (km)	No.	距離 (km)	No.	距離 (km)	No.	距離 (km)
1	0.5	6	5.5	11	22.5	16	90	21	500
2	1.5	7	7	12	27.5	17	125	22	700
3	2.5	8	9	13	30	18	175	23	900
4	3.5	9	12.5	14	50	19	250	24	1250
5	4.5	10	17.5	15	70	20	350	25	1750

表 4.3 炉内インベントリ

核種	インベントリ (Bq)	核種 グループ*	核種	インベントリ (Bq)	核種 グループ*
Co-58	2.80E+13	7	Te-131m	2.54E+17	5
Co-60	2.16E+14	7	Te-132	2.47E+18	5
Kr-85	1.87E+16	1	I-131	1.74E+18	2,3
Kr-85m	4.56E+17	1	I-132	2.51E+18	2,3
Kr-87	8.73E+17	1	I-133	3.55E+18	2,3
Kr-88	1.23E+18	1	I-134	3.89E+18	2,3
Rb-86	2.68E+15	4	I-135	3.32E+18	2,3
Sr-89	1.69E+18	6	Xe-133	3.56E+18	1
Sr-90	1.47E+17	6	Xe-135	1.01E+18	1
Sr-91	2.08E+18	6	Cs-134	2.36E+17	4
Y-90	1.52E+17	8	Cs-136	8.13E+16	4
Y-91	2.18E+18	8	Cs-137	2.01E+17	4
Zr-95	2.97E+18	8	Ba-140	3.05E+18	6
Zr-97	2.91E+18	8	La-140	3.13E+18	8
Nb-95	3.02E+18	8	Ce-141	2.94E+18	8
Mo-99	3.22E+18	7	Ce-143	2.68E+18	8
Tc-99m	2.82E+18	7	Ce-144	2.27E+18	8
Ru-103	2.71E+18	7	Pr-143	2.67E+18	8
Ru-105	1.83E+18	7	Nd-147	1.15E+18	8
Ru-106	9.31E+17	7	Np-239	3.63E+19	8
Rh-105	1.72E+18	7	Pu-238	3.28E+15	8
Sb-127	1.85E+17	5	Pu-239	7.48E+14	8
Sb-129	5.60E+17	5	Pu-240	1.05E+15	8
Te-127	1.84E+17	5	Pu-241	2.40E+17	8
Te-127m	2.47E+16	5	Am-241	2.43E+14	8
Te-129	5.52E+17	5	Cm-242	6.58E+16	8
Te-129m	8.30E+16	5	Cm-244	2.42E+15	8

* 核種グループ

1:希ガス、2:有機ヨウ素、3:無機ヨウ素、4:Cs-Rb 類、5:Te-Sb 類、6:Sr-Ba 類、
7:Ru 類、8:La 類

表 4.4 評価に用いるソースターム

No.	事故シナリオ	放出開始時間(h) ^{*1}	放出継続時間(h)	放出高さ(m)	警告時間(h)	初期インベントリに対する環境への放出割合 ^{*2}							
						希ガス	有機 ヨウ素	無機 ヨウ素	Cs-Rb	Te-Sb	Sr-Ba	Ru	La
1	早期大規模放出	3	1	40	2	1.0E+00	4.0E-03	7.5E-02	1.1E-02	2.6E-02	1.1E-02	1.0E-02	1.0E-02
2	後期大規模放出	27	7	40	5	9.5E-01	1.6E-03	3.1E-02	2.8E-02	2.9E-04	1.6E-08	3.8E-11	6.4E-12
3	管理放出	12	22	100	2	8.7E-01	4.5E-05	8.6E-04	7.5E-04	3.2E-04	2.3E-08	4.1E-11	7.1E-12

*1 炉停止 (shutdown) を起点とした時間

*2 放出割合の経時変化はなく、一定とした (放出ステージ数は 1)。

表 4.5 防護対策シナリオケース

No.	防護措置モデルの種類	PAZ 内	UPZ 内
1	従前モデル	警告時間開始と同時に避難準備（移動）を開始し警告時間の 6 時間後に避難実施開始。避難期間は 7 日間。	放出開始と同時に屋内退避の実施を開始し、放出継続時間終了と共に屋内退避を解除する。
	改良モデル	警告時間開始と同時に移動開始。避難期間は 7 日間。	屋内退避指示に 1 時間、屋内退避準備完了に 1 時間を要するものとする。
2	従前モデル	放出開始と同時にコンクリート屋内退避の実施を開始し、放出継続時間終了と共に屋内退避を解除する。屋内退避指示に 1 時間、屋内退避準備完了に 1 時間を要するものとする。	放出開始と同時に 2 日間屋内退避を実施する。屋内退避指示に 1 時間、屋内退避準備完了に 1 時間を要するものとする。
	改良モデル	放出開始と同時にコンクリート屋内退避の実施を開始し、放出継続時間終了と共に屋内退避を解除する。屋内退避指示に 1 時間、屋内退避準備完了に 1 時間を要するものとする。 堅牢な施設に対する低減係数は全て 0.1 とした。	放出開始と同時に 2 日間屋内退避を実施し、屋内退避終了後引き続き避難のための移動を開始し、避難を 7 日間実施する。屋内退避指示に 1 時間、屋内退避準備完了に 1 時間を要するものとする。 屋外滞在者が木造建屋に滞在する割合は 0.5 とする。

表 4.6 入力で設定した場所別の被ばく低減係数と人口割合

項目	被ばく経路/時期	木造家屋	コンクリート 建屋	屋外	堅牢な 施設
被ばく 低減係数	クラウドシャイン	0.8	0.4	-	0.1
	グラウンドシャイン	0.4	0.3	-	0.1
	吸入	0.5	0.2	-	0.1
人口割合	昼	0.7	0.2	0.1	-
	夜	0.8	0.1	0.1	-

表 4.7 OSCAAR 解析に適用する被ばく低減係数

被ばく経路	時期	従来モデル	改良モデル
クラウドシャイン	昼	0.711	0.700
	夜	0.765	0.740
グラウンドシャイン	昼	0.378	0.375
	夜	0.389	0.385
吸入	昼	0.433	0.425
	夜	0.467	0.455

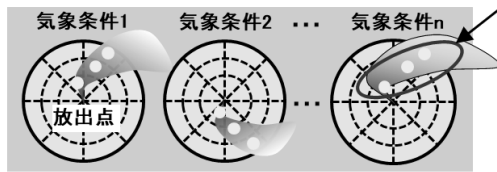
改良モデルにおいて、屋外滞在者は木造家屋に 0.5、コンクリート建屋に 0.5 の割合で分かれて滞在するものとした。

表 4.8 解析ケース

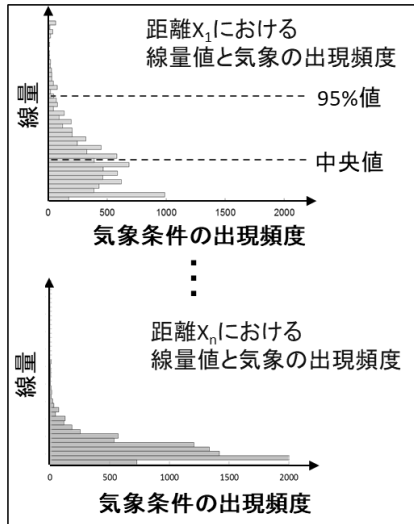
No.	ソース ターム No.	防護対策 シナリオ No.	使用 コード	比較対象 No.	入力ファイル名
1	1	1	改良前	7	OER1A
2		2		8	OER2A
3	2	1		9	OLR1A
4		2		10	OLR2A
5	3	1		11	OCR1A
6		2		12	OCR2A
7	1	1	改良後	—	NER1A
8		2		—	NER2A
9	2	1		—	NLR1A
10		2		—	NLR2A
11	3	1		—	NCR1A
12		2		—	NCR2A

放出源情報を基に、様々な気象条件における被ばく線量を全方位・距離に対し計算

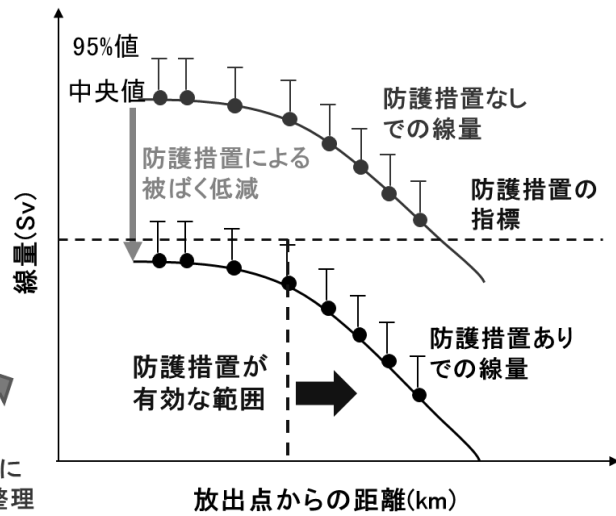
距離毎に全方位のうち最大となる線量値を抽出



気象条件毎に整理



距離毎に結果を整理



被ばく線量と防護措置の指標を比較することで、防護措置の実施方法と実施範囲の検討に活用

図4.1 OSCAARを用いた解析手順

4.2. 解析結果

4.2.1. シナリオ1

シナリオ1に対する解析結果である甲状腺等価線量と実効線量について、ソースターム1(ER)については図4.2に、ソースターム2(LR)については図4.3に、ソースターム3(CR)については図4.4に示す。

PAZ(～5km)で実施する防護対策シナリオは、避難である。避難モデルの改良前後で避難のための移動を開始する場所と開始時間は同じであるものの、移動時間中の場所に違いがある。「従来モデル」の場合、移動時間中の評価における場所は、移動開始時に居たメッシュの線量情報に移動中の被ばく低減係数を考慮した評価を実施するが、「改良モデル」の場合、移動に伴い線量情報を取得するメッシュも変化して、移動中の被ばく低減係数と滞在時間を考慮した評価を実施する。本解析で設定した移動中の被ばく低減係数は、クラウドシャインに対して1.0、グランドシャインと吸入に対して0.5とした。

ソースターム1(ER)の場合、甲状腺等価線量、実効線量とも、「対策なし」が最も被ばく線量が高く、「従来モデル」については避難時のコンクリート建屋による被ばく低減効果が確認できた。さらに、「改良モデル」については、その1/10以下となることが確認できた。同心円半径番号1のメッシュを例にすると、警告時間開始から移動を開始し、その後、移動に5時間を要し、避難先メッシュで避難を開始するのは6時間後からとなる。つまり、この解析ケースの場合、従来モデルではソースタームの放出開始時点で避難先に到着しておらず、放出継続期間(3時間)で屋外に滞在し続ける状況で被ばくすることになる。一方、改良モデルではソースタームの放出開始時点で既に同心円半径番号9のメッシュ(12.5km地点)に到達しており、ソースターム放出後の3時間においても移動を継続している。これにより、放出点から遠方で被ばくすることになるため、被ばく線量は低く抑えられたと考えられる。このように、改良モデルでは避難による移動を考慮できるようになったことから、従来モデルでの保守的な被ばく線量評価に対し、より現実に即した被ばく線量評価が可能になったと考えられる。

ソースターム2(LR)の場合、「従来モデル」と「改良モデル」、どちらの被ばく線量も「対策なし」の場合に比べて1/100程度で一致した。本事故シナリオ(後期大規模放出)のソースタームの場合、放出開始時間はシャットダウンから27時間である。防護対策の実施判断に比較的余裕があると考え、ここでは警告時間を5時間と仮定したので、この間にどちらのモデルも避難のための移動を完了するからである。

ソースターム3(CR)の場合、甲状腺等価線量、実効線量とも、従来モデルによる結果は、対策なしの場合に比べ、1/2程度であった。また改良モデルによる結

果は、従来モデルに比べ、1/2 程度になることが確認できた。本事故シナリオ（管理放出）のソースタームの場合、放出開始時間はシャットダウンから 12 時間であることから警告時間を 2 時間と仮定した。警告開始から避難を開始するまでは他のケースと同様に 6 時間要する。そのため、放出開始から避難開始までの 4 時間に受ける被ばく線量の差が従来モデルと改良モデルとの違いになる。従来モデルだと出発地のメッシュで、改良モデルだと移動中のメッシュで、それぞれ被ばくするため、その違いが被ばく線量の差になったと考えられる。このようなことから、ソースターム 1 の場合と同様、改良モデルではより現実的に即した被ばく線量評価が可能になったと言える。

UPZ（5～30km）で実施する防護対策シナリオは、屋内退避である。従来モデルと改良モデルで違いが生じるのは、適用される被ばく低減係数の求め方であるが、今回の解析で適用する被ばく低減係数は同等である。そのため、ソースターム 1～3 に対して得られた被ばく線量の結果は、従来モデルと改良モデルとで一致した。また、防護対策を実施しない UPZ 以遠の領域の被ばく線量についても従来モデルと改良モデルは同様に一致した。従来モデルと改良モデルにおいては、UPZ 以遠についても通常の生活による被ばく低減効果が考慮されているため、それらは一切考慮していない「対策なし」よりは低い被ばく線量となった。

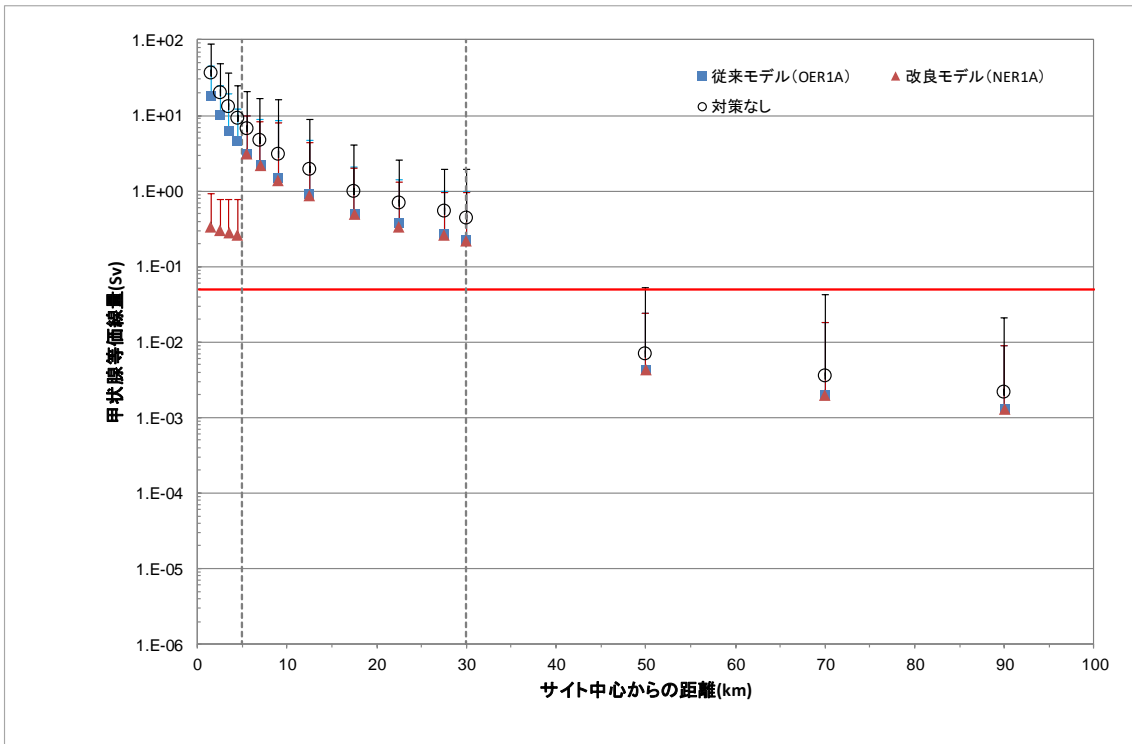
4.2.2. シナリオ 2

シナリオ 2 に対する解析結果である甲状腺等価線量と実効線量について、ソースターム 1(ER)については図 4.5 に、ソースターム 2(LR)については図 4.6 に、ソースターム 3(CR)については図 4.7 に示す。本シナリオで実施する防護対策シナリオは、PAZ、UPZ、いずれも屋内退避である。

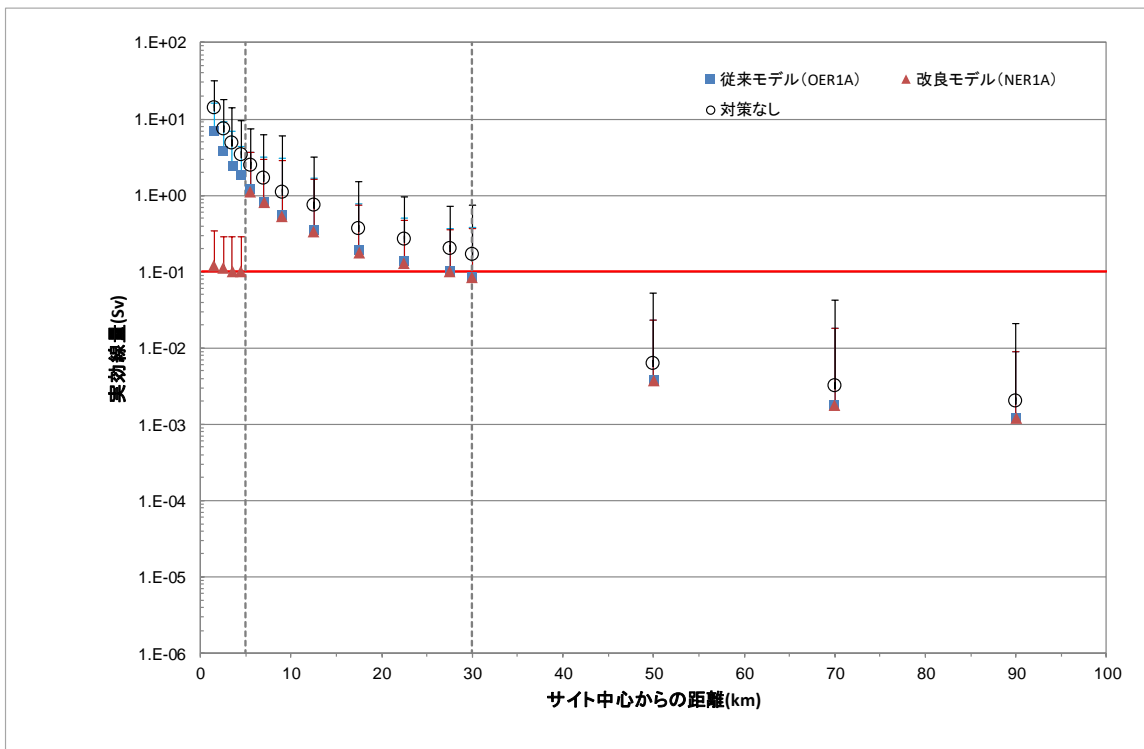
PAZ 内では、放出継続期間中に屋内退避を実施し、その後、通常生活に戻る。屋内退避時の建物の種類として、従来モデルではコンクリート建屋、改良モデルでは堅牢な施設（一時屋内退避施設等）を想定した。また、堅牢な施設に対する被ばく低減係数を全て 0.1 と仮定した。得られた被ばく線量については、「対策なし」の場合と比較すると、従来モデル、改良モデルとも、設定した被ばく低減係数に応じて線量が低くなることが確認できた。

UPZ 内では、従来モデルは放出開始と同時に開始する 2 日間の屋内退避を行った後は通常的生活へ戻る。一方、改良モデルは従来モデルの場合と同様に、屋内退避に続いて避難先への移動を開始し、到着次第避難を実施するものである。屋内退避における違いはシナリオ 1 の UPZ の屋内退避と同様に適用する被ばく低減係数のみであり、今回はほぼ同様の値が適用された。改良モデルでは、屋内退避後に強制的に避難を実施するので、屋内退避後に移動（移動中にメッシュが変

わる) と避難先でのコンクリート建屋内の屋内退避が続く。改良後の線量は改良前と比べてやや小さくなったが、グラフで顕著に分かるほどの差は出なかった。また、シナリオ 1 と同様に、30km 以遠ではいずれも防護対策なしの条件であるため、従来モデルと改良モデル、いずれの結果も一致した。

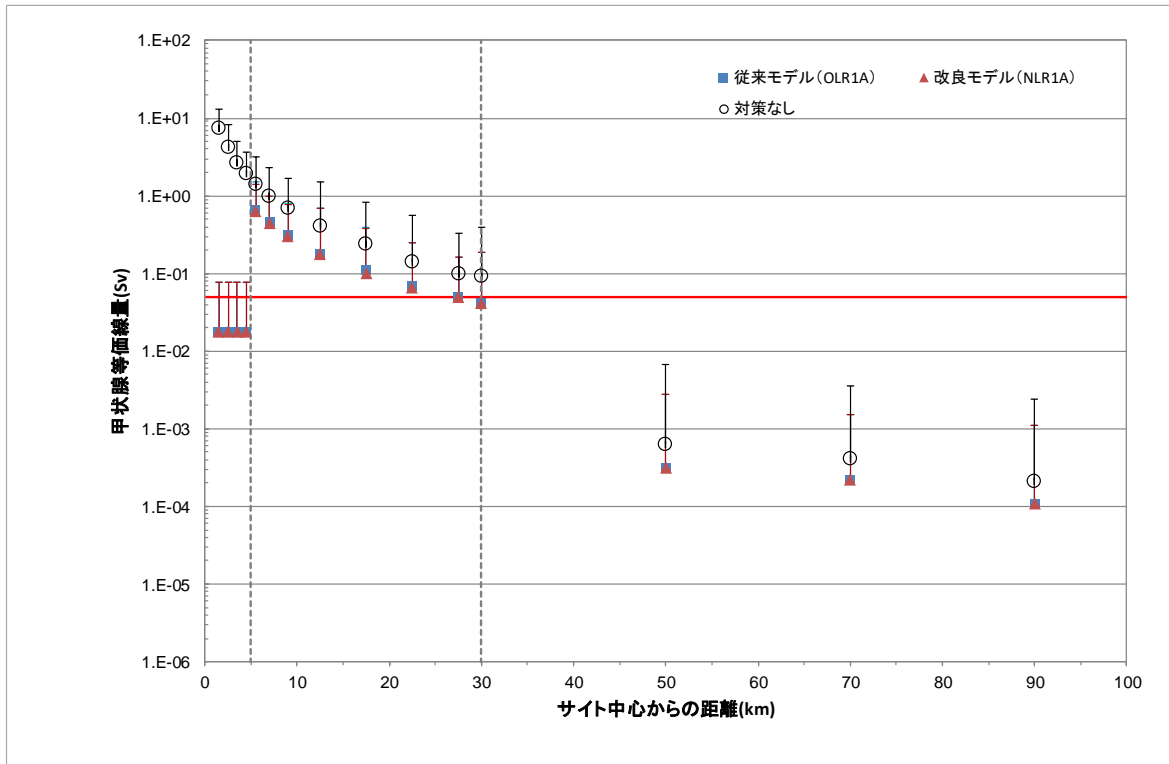


(a) 甲状腺等価線量

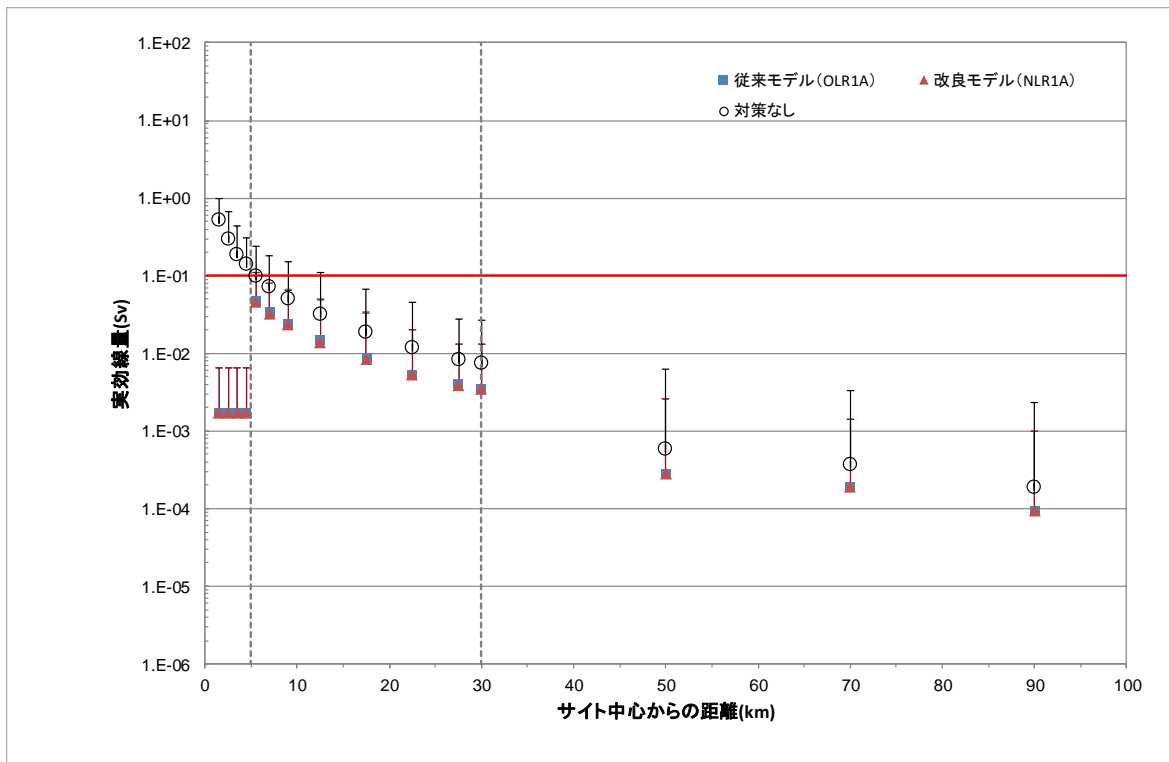


(b) 実効線量

図 4.2 ソースターム 1-シナリオ 1 による解析結果

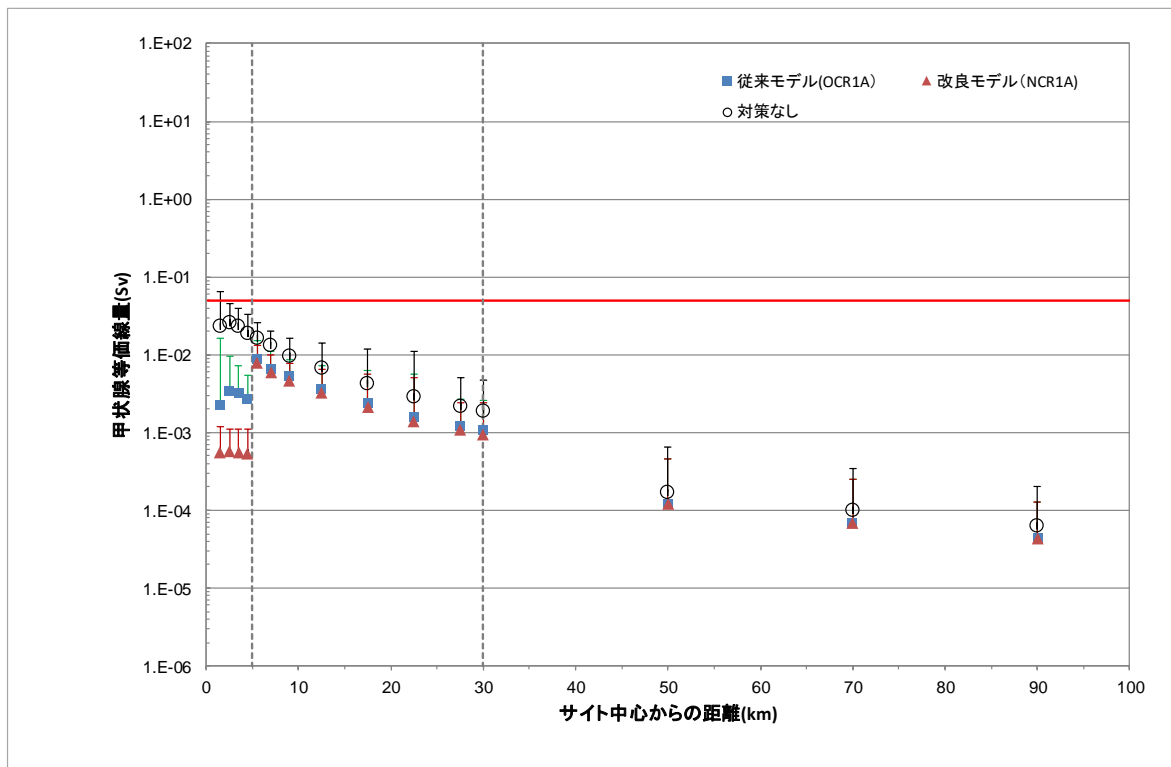


(a) 甲状腺等価線量

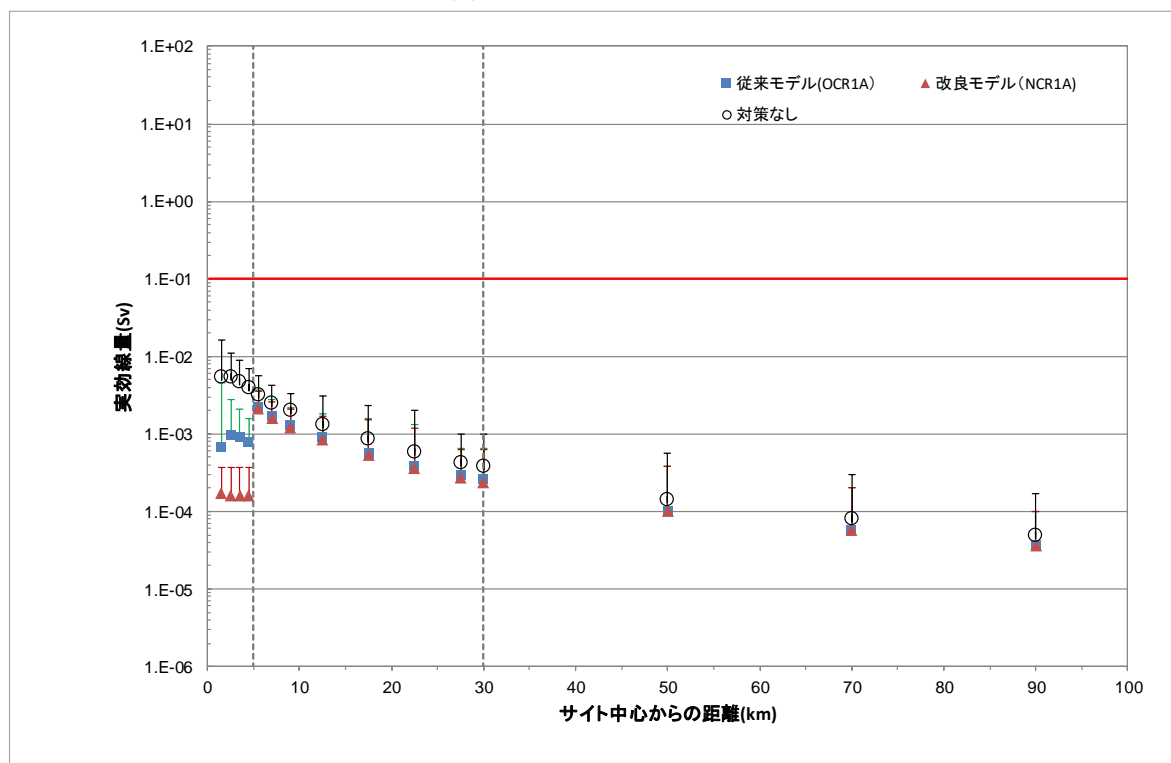


(b) 実効線量

図 4.3 ソースターム 2-シナリオ 1 による解析結果

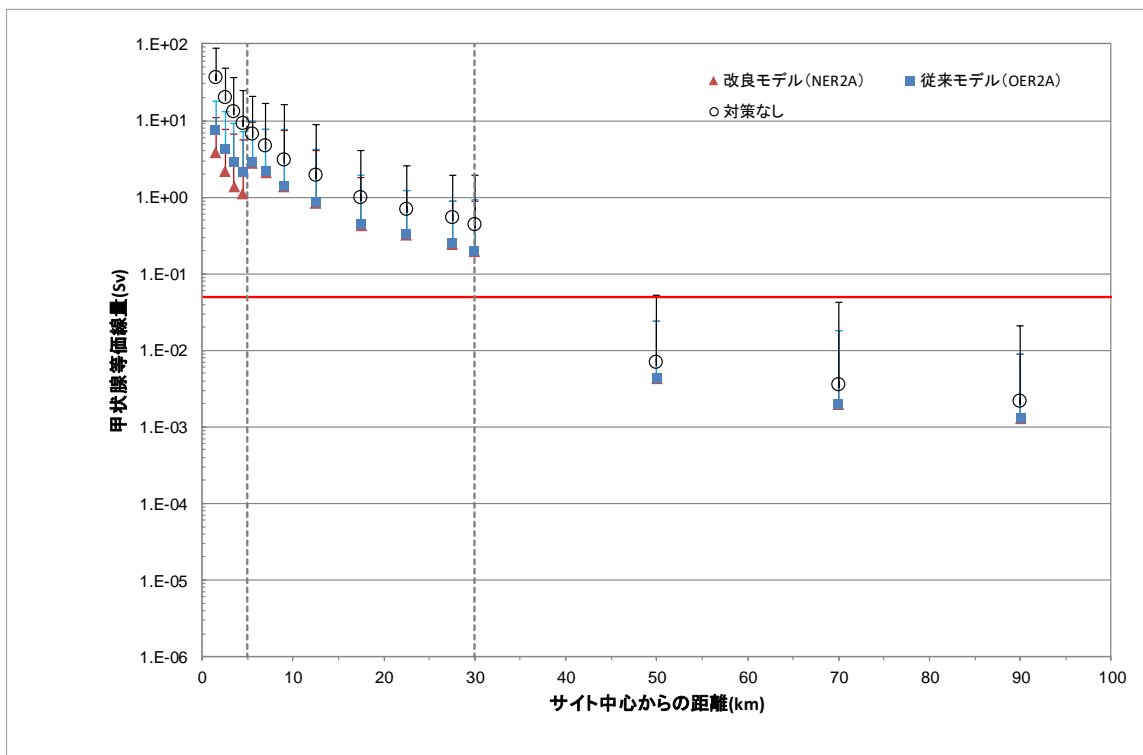


(a) 甲状腺等価線量

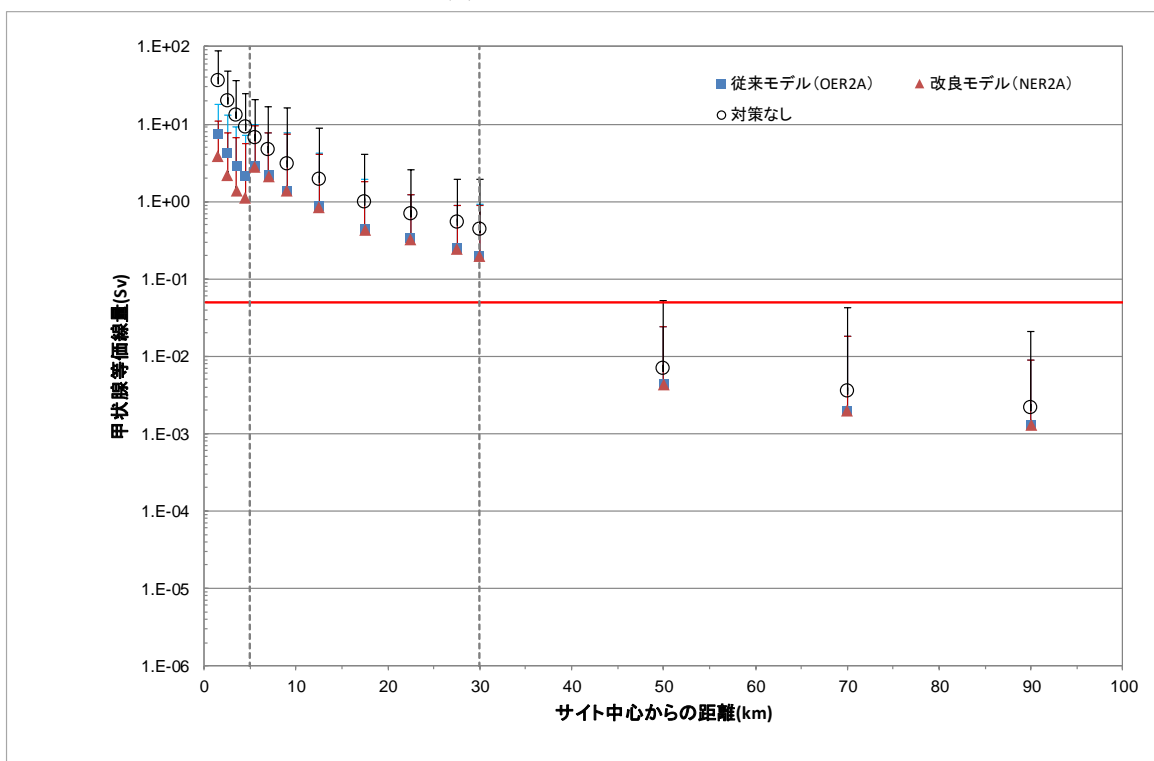


(b) 実効線量

図 4.4 ソースターム 3-シナリオ 1 による解析結果

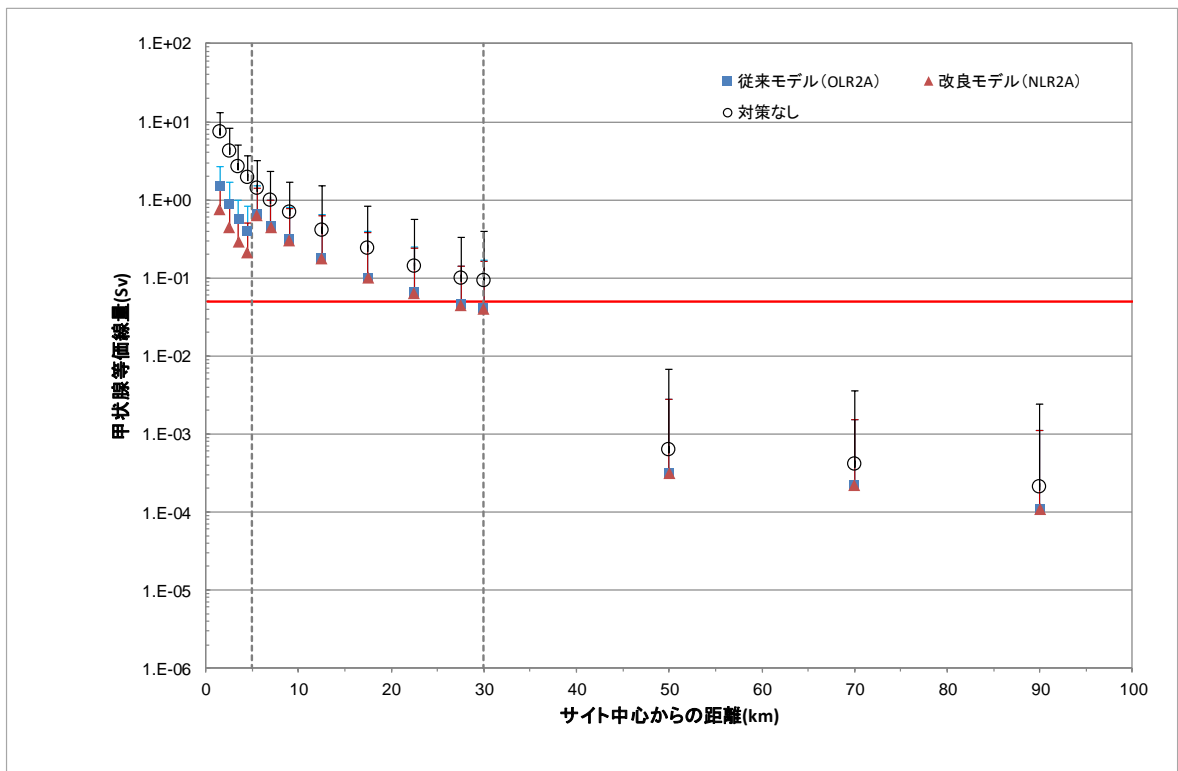


(a) 甲状腺等価線量

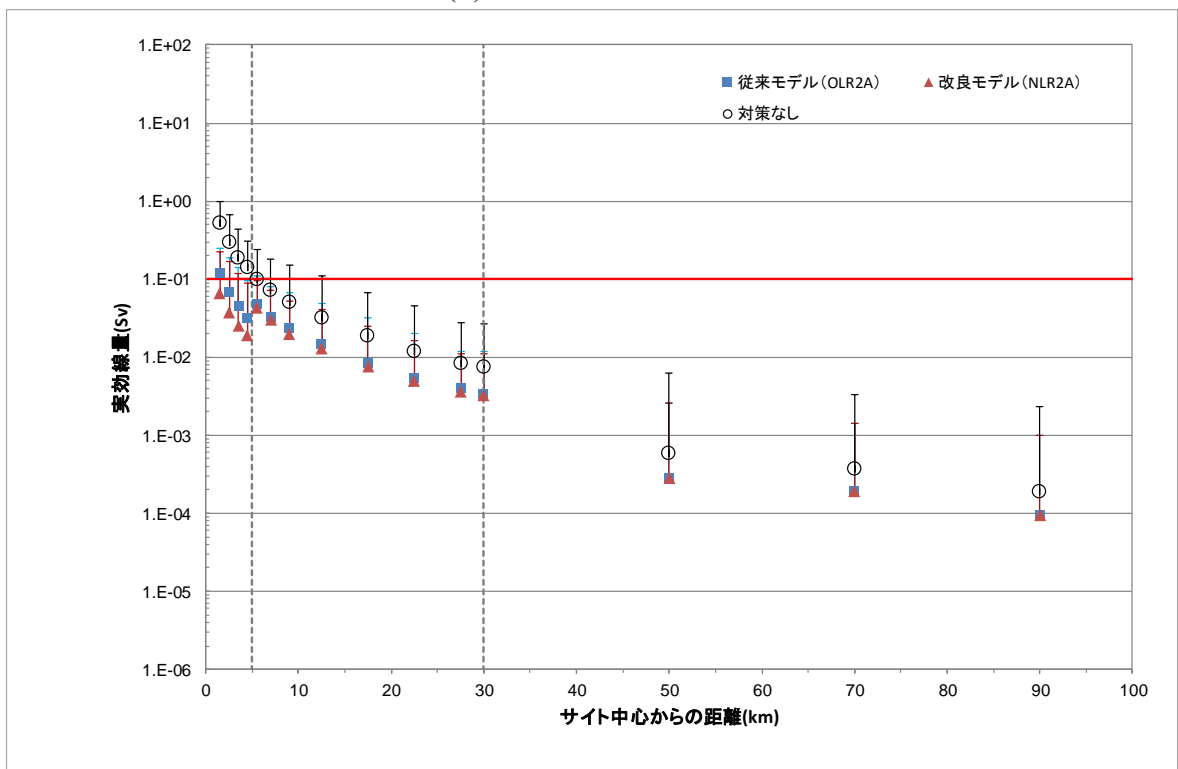


(b) 実効線量

図 4.5 ソースターム 1-シナリオ 2 による解析結果

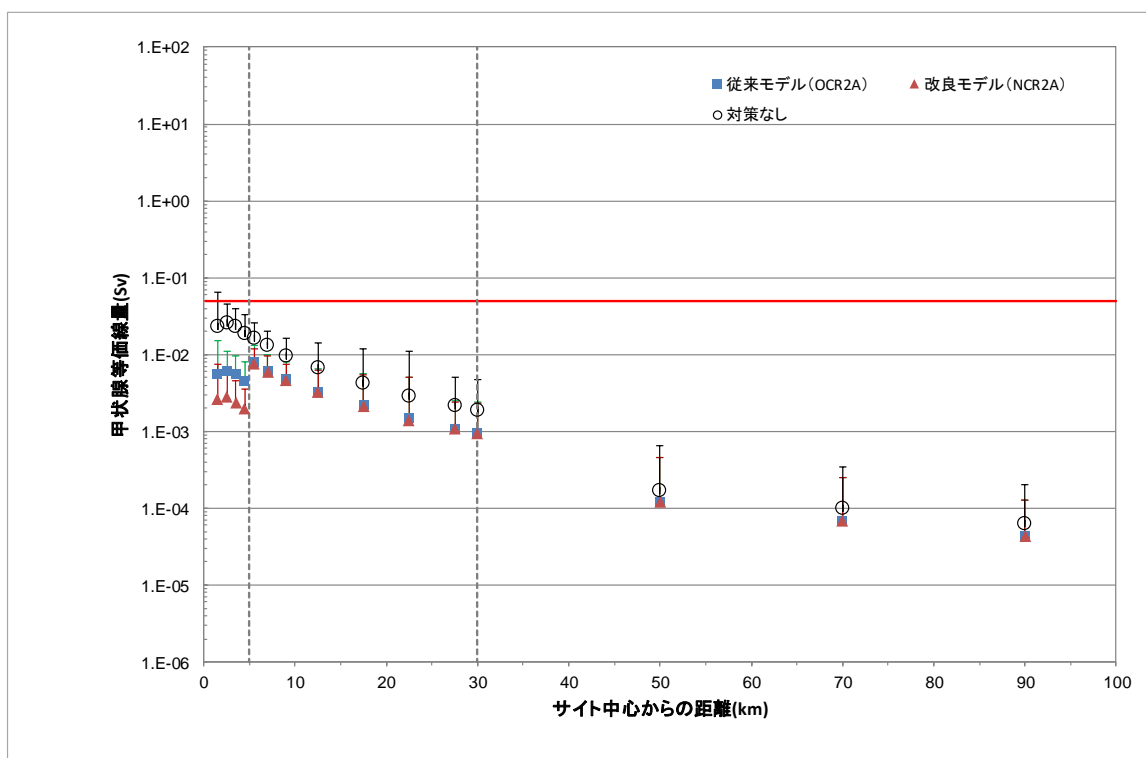


(a) 甲状腺等価線量

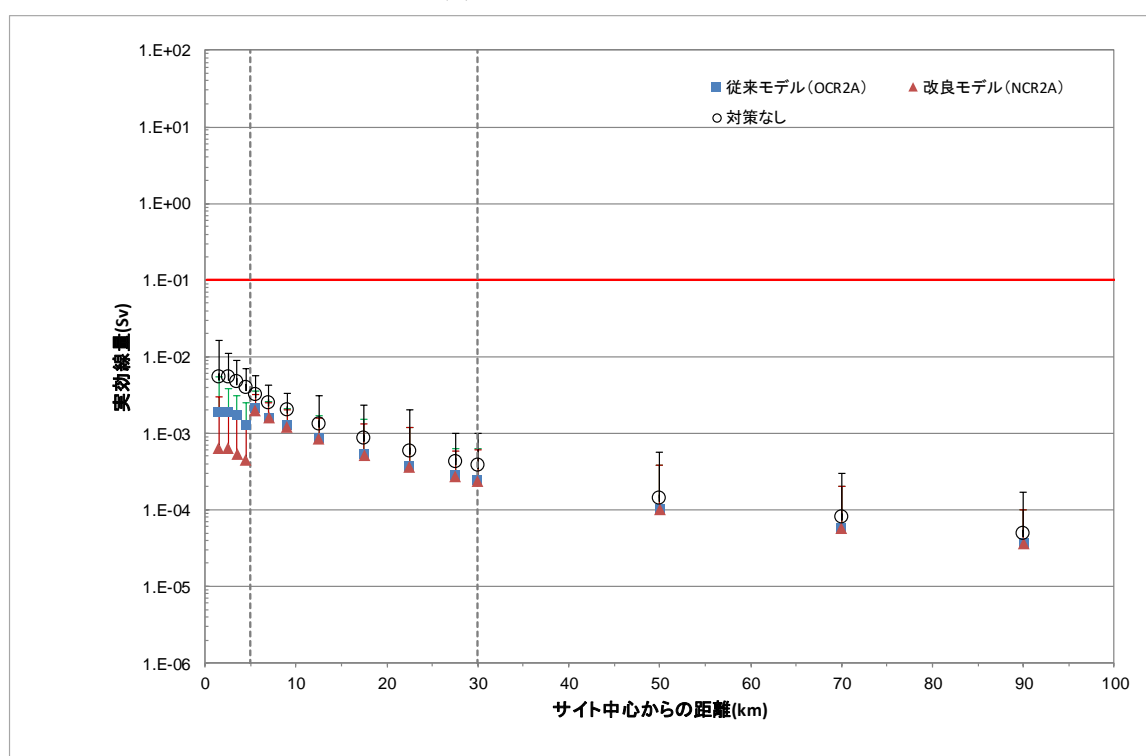


(b) 実効線量

図 4.6 ソースターム 2-シナリオ 2 による解析結果



(a) 甲状腺等価線量



(b) 実効線量

図 4.7 ソースターム 3-シナリオ 2 による解析結果

5. まとめ

OSCAAR コードの整備として、最新知見に基づき、OSCAAR コードで用いられる防護措置モデルを整備するため、平成 29、30 年度に検討した防護措置モデル等の結果を基に、屋内退避及び避難に係る改良モデルを OSCAAR コードに反映した。

OSCAAR コードの整備については、まず、原災指針の考え方に基づく防護措置実施のフローの例を参考に、PAZ、UPZ それぞれの区域別で想定される屋内退避及び避難の実施方法を反映した改良モデルを OSCAAR に導入した。また、これらの改良モデルを OSCAAR に導入するにあたり、必要な 3 つの改良項目、(1) 改良モデルに適用する被ばく低減係数、(2) 避難モデルの改修、(3) 避難モデルに用いる避難経路を模擬した避難データの整備について、それぞれ検討し、改良した OSCAAR コードにて適用できるようにした。これらの検討結果を基に、モデル解説書及びユーザーマニュアルを作成した。

また、防護措置の効果に関する検討については、OSCAAR コードの屋内退避及び避難に係る従前モデルと改良モデルとで、屋内退避及び避難の効果の差異、屋内退避を実施する建屋の構造による影響等を比較するため、OSCAAR 解析を実施した。ここでは、避難データを整備した川内サイトを対象に、事故進展の早さ及びソースタームの大きさ等が異なる 3 つの事故シナリオと、PAZ 及び UPZ で想定される防護措置シナリオ（屋内退避または避難の実施方法）とを組み合わせた複数の計算ケースに対し、被ばく線量及び防護措置の実施による被ばく低減効果を評価した。

避難に関し、従来モデルの場合、放出が開始されても避難開始までは移動せずに出発地のメッシュ情報を参照するため、計算される被ばく線量は保守的評価となる。一方、改良モデルの場合、移動中のメッシュ情報を参照した被ばく線量が計算されるため、より現実に即した被ばく線量評価が可能になったことがこれらの計算ケースから見出すことができた。

屋内退避に関し、改良モデルの場合、PAZ 内では建物の種類としてコンクリート建屋の他、堅牢な施設（一時屋内退避施設等）を想定した評価が可能となった。また、UPZ 内では自宅あるいは最寄りの建物での屋内退避が想定されることから、木造建屋とコンクリート建屋と滞在割合を考慮した建物の種類を考慮しない被ばく低減係数を屋内退避の評価に適用できるようにした。得られた被ばく線量については、設定した被ばく低減係数に応じて線量が低くなることが確認でき、屋内退避時に PAZ 及び UPZ で想定される建物の種類に応じた被ばく低減効果の評価が可能となった。

参考文献

- 石川 淳, 村松 健, 坂本 亨 (2005). THALES-2 コードによる BWR Mark-II を対象としたレベル 3PSA のための系統的なソースターム解析, JAERI-Research 2005-021 (2005).
- 原子力安全委員会 (2010). 原子力施設等の防災対策について
- 原子力学会 (2018). 原子力発電所の確率論的リスク評価に関する実施基準 (レベル 3PRA 編) : 2018 (AESJ-SC-P010:2018) .
- 原子力規制委員会 (2020). 原子力災害対策指針 (令和 2 年 2 月 5 日一部改正) .
- 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.
- 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.
- 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., Y. Inoue and K. Tomita (2000a). OSCAAR Calculations for the Hanford Dose Reconstruction Scenario of BIOMASS Theme 2, JAERI-Research 2000-049.
- Homma, T. and T. Matsunaga (2000b). OSCAAR Calculations for the Iput Dose Reconstruction Scenario of BIOMASS Theme 2, JAERI-Research 2000-059.
- 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.