

令和5年度原子力施設等防災対策等委託費
(甲状腺の被ばく線量推定方法等に関する調査事業)
成果報告書

令和6年3月

国立研究開発法人

量子科学技術研究開発機構

本報告書は、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構が実施した「令和5年度原子力施設等防災対策等委託費（甲状腺の被ばく線量推定方法等に関する調査）事業」の成果を取りまとめたものです。

目次

概要.....	2
1. 緒言.....	3
2. 委託内容.....	5
3. 甲状腺の被ばく線量の推定方法に関する調査.....	7
3.1. 国内外で利用可能な内部被ばく線量評価システムの検証.....	8
3.2. 甲状腺被ばく線量モニタリング結果から線量計算を行う際に考慮すべき事項.....	19
3.3. 新たな線量推計方法の必要性.....	30
4. 甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知.....	31
5. まとめ.....	32
参考文献.....	34
別添1 胎児及び乳児の甲状腺被ばく線量推計.....	39
別添2 ヨウ素-131 以外の短寿命核種による甲状腺被ばく線量への影響.....	41
別添3 甲状腺被ばく線量モニタリングに関する住民周知のためのパンフレット（案）.....	48
別添4 甲状腺被ばく線量モニタリングに関する住民周知のための動画素材（案）.....	52
別添5 検討委員会の設置規定及び議事録.....	66
別添6 原子力災害時の甲状腺内部被ばく線量評価マニュアル（案）.....	129

概要

原子力発電所における不測の事故に備え、近隣住民に対する放射線防護のための万全の体制構築が重要である。その一環として、周辺環境中に放出された放射性物質によって線量が上昇した地域を特定し、その地域の住民の被ばく線量を速やかに把握することが求められる。国は昨年、原子力災害対策重点区域内に居住する住民の避難退域時検査に引き続き、放射性ヨウ素の内部取込みによって生じる甲状腺被ばくをモニタリングするための実施マニュアルを制定した。本調査は、原子力規制庁からの委託事業として、同モニタリングの結果に基づき、甲状腺が受けた被ばく線量を推計するための必要な事項を整理し、関連する文献や本事業において設置した検討委員会での議論等に基づき、調査した結果を取りまとめたものである。

本事業の業務委託仕様書に基づき、本報告書は次のとおり構成した。「1. 緒言」では、我が国の原子力災害対策において、近年特に検討が進められてきた甲状腺被ばく線量モニタリングの概要を述べるとともに、本調査の対象を明示した。「2. 委託内容」では、本委託事業の仕様内容と各調査項目と目次の対応を示した。「3. 甲状腺の被ばく線量の推定方法に関する調査」では、仕様書に記載された各項目について調査検討を行った結果を記載した。「4. 甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知」では、平時または測定前における住民等の理解の一助となる動画素材やパンフレットを作成したことを述べるとともに、これらの資料を本報告書の別添に掲載した。「5. まとめ」では、本調査事業で得られた主要な結果を整理し、作成した甲状腺被ばく線量評価に関するマニュアル（案）を別添に示した。

1. 緒言

放射性物質の環境放出を伴う原子力発電所における不測の事故に備え、平時から近隣住民等に対する放射線防護対策を入念に準備しておく必要があることは言うまでもない。2011年3月11日に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、福島原発事故）では、当初定めていた原子力災害対策重点区域（原発から約10km圏内）を大きく超える範囲に避難指示が出されたため、多数の住民に対して、計画外の避難による大きな精神的、肉体的負担を強いる結果となった⁽¹⁾。また、要介護者等の無理な避難により、多くの人命が失われた。こうした教訓を踏まえ、福島原発事故後に制定された原子力災害対策指針⁽²⁾では、原子力災害対策重点区域を原発から約30km圏内まで拡張するとともに、当該区域内の住民に対しては、原発に近い地域（概ね5km圏内）を避難等の予防的防護措置を準備する区域（PAZ）として、その周辺の区域（5～30km圏）を緊急防護措置を準備する区域（UPZ）として設定し、緊急事態の進展に応じて、避難や屋内退避、安定ヨウ素剤の服用等による被ばく低減を図ることとしている。原発自体の安全性についても新規規制基準の導入によって向上しており、万一、放射性物質が環境中に放出される事態に至っても、その影響は福島原発事故のときと比べて軽微と試算されている⁽³⁾。

一方、原子力事故によって放射線量の有意な増加が見られた地域の住民等に対し、放射線防護措置の有効性の評価や放射線被ばくに伴う健康調査等の観点から、個人被ばく線量の把握を速やかに行うこと重要である。防災基本計画（第12編 原子力災害対策編）⁽⁴⁾においても、「国、指定公共機関及び地方公共団体は、原子力緊急事態宣言発出後、住民等に対して、緊急時における放射性ヨウ素の吸入による内部被ばくを把握するための甲状腺被ばく線量モニタリング、放射性セシウムの経口摂取による内部被ばくを把握するためのホールボディカウンタ等による測定、緊急時モニタリングの結果等から外部被ばく線量の推計等を行うための行動調査を行うものとする。」といった具体的な事項が記載されている。この内、甲状腺被ばく線量モニタリングについては、原子力規制庁が2021年に検討チームを立ち上げ、同モニタリングの対象者、測定方法、実施体制等に関する検討を行い、基本方針を示した報告書⁽⁵⁾を取りまとめた。この報告書の内容は翌年の原子力災害対策指針の改正において反映されるとともに、2023年5月には内閣府（原子力防災担当）と原子力規制庁の連名で甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル⁽⁶⁾が制定された。

甲状腺内部被ばく線量に最も寄与するヨウ素-131（¹³¹I）はその物理学的半減期が約8日であるため、原発事故の発生から数週間程度以内に住民の甲状腺被ばく線量モニタリングを完了する必要がある。比較的高い線量を受けた可能性のある個人を迅速に特定するために実施される甲状腺簡易測定では、その測定結果から詳細測定を実施する場合の判断基準としてスクリーニングレベルを設定しており、スクリーニングレベルを超える者については詳細測定を行うこととしている。これらの測定結果から甲状腺被ばく線量を適切に評価することが望まれる。本報告書は、原子力規制庁から委託された「令和5年度原子力施設等防災対策等委託費（甲状腺の被ばく線量推定方法等に関する調査）事業」の成果物として、受託元である量子科学技術研究開発機構が、①甲状腺の被ばく線量の推定方法、及び、②甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知等の事項に関して、外部有識者から構成される検討委員会における議論を踏まえ、調査検討した結果を取りまとめたものである。なお、本報告書を通して、甲状腺線量と

は ^{131}I の摂取による甲状腺等価線量のことを指す¹。体内に残留する他核種からの甲状腺線量や外部放射線による甲状腺線量は、本調査の対象外とした。

¹ チョルノービリ原発事故における小児の甲状腺被ばくに関連する研究では吸収線量が評価されており、原爆ヒバクシャ等の疫学研究においても吸収線量に基づく評価がなされている。福島原発事故に係る線量評価に関しては、UNSCEAR が甲状腺吸収線量を評価しているが、実効線量 (Sv) との混同を避けることを目的したものであり、ICRP 刊行物の線量係数を Sv から Gy に置き換えて評価に供している⁽⁷⁾。他方、WHO では甲状腺等価線量を評価している⁽⁸⁾。ICRP Publication 147⁽⁹⁾では、ICRP が意図しない防護量の使用が頻繁に行われている現状を鑑み、改めて防護量の定義や適用範囲を明確化した。等価線量に関しては、組織反応を防止するための線量として使用すべきでないこと、また、実効線量の計算過程の中間的な量であり、防護量として使用しないことが言及されている⁽¹⁰⁾。本調査では、ICRP 刊行物から提供されている線量係数 (Sv/Bq) を用いて甲状腺等価線量を推計する方法等を検討しているが、ICRP 等による議論の動向を注視し、今後の対応を図ってゆく予定である。

2. 委託内容

本委託事業の仕様は以下のとおりである。

2.1. 委託業務題目

令和 5 年度原子力施設等防災対策等委託費（甲状腺の被ばく線量推定方法等に関する調査）事業

2.2. 委託事業の目的

令和 4 年 4 月 6 日の原子力災害対策指針（平成 30 年原子力規制委員会告示第 8 号，以下「指針」という）の改正において甲状腺被ばく線量モニタリングに係る基本的な考え方が示され，令和 5 年 5 月 31 日には甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル（以下「マニュアル」という）が制定されたところである。

甲状腺被ばく線量モニタリングは原子力災害時において避難等の防護措置の対象となった住民等に対して甲状腺の被ばく線量（甲状腺等価線量）を推計するために実施するものであるが，甲状腺被ばく線量モニタリングの測定結果等を踏まえた個人の被ばく線量の推計方法及び推計結果等の住民等への説明の在り方などについては今後検討すべき課題とされたところである。

本事業では，これらの課題のうち甲状腺被ばく線量モニタリングの測定結果から甲状腺の被ばく線量を推計するための方法等について調査を行う。

2.3. 委託事業の内容

(1) 甲状腺の被ばく線量の推定方法に関する調査（本報告書 3 章）

甲状腺被ばく線量モニタリングの測定結果から放射性ヨウ素の甲状腺への集積の程度を定量的に把握し，放射性ヨウ素が体内に吸入され体外に排出されるまでの間の預託線量を推計する具体的な方法を検討すること。

なお，検討に当たっては以下の項目を考慮すること。

- ① 東京電力福島第一原子力発電所事故において内部被ばく線量評価に用いられた実績のあるシステム（内部被ばく線量評価支援システム MONDAL/MONDES）を用いた内部被ばく線量推計方法について調査し，その他国内外の様々な同様のシステムと併せて甲状腺被ばく線量モニタリングへの活用の有効性・妥当性を検証すること。（3.1. 国内外で利用可能な内部被ばく線量評価システムの検証）
- ② 甲状腺被ばく線量モニタリングの測定結果からより精緻な線量推計を行うに当たり検討が必要な論点を洗い出すこと。また，海外の最新動向も踏まえた上で，それぞれの論点について検討すること。なお，以下の項目については必ず検討すること。（3.2. 甲状腺被ばく線量モニタリング結果から線量計算を行う際に考慮すべき事項）
 - 放射性ヨウ素の化学的性状による線量推計への影響について

- 甲状腺被ばく線量モニタリング測定対象者の年齢層を考慮した線量係数（生理学的パラメータ）等の整理について
 - マニュアルにおいては、乳幼児など測定が困難な場合は保護者等（大人）による代替測定を行うこととしているが、代替測定した場合の乳幼児の被ばく線量への換算について
 - 指針においては、詳細測定の実施期間は、吸入摂取からおおむね4週間内を基本とし、この期間を超える場合には、代替としてホールボディカウンタを用いた測定を行うとしており、この場合の被ばく線量の推計について（核種組成から放射性ヨウ素の線量推定を行う）
 - 推計の際に必要な情報について（甲状腺被ばく線量モニタリング測定対象者の情報（氏名、年齢、連絡先、測定場所、実施日時、安定ヨウ素剤服用の有無、測定結果等））
 - 放射性ヨウ素を体内に吸収した時期の特定方法及びその特定に当たり必要な情報について
- ③ ①及び②検証・検討を行った上で、併せて、新たな内部被ばくの線量推計方法を構築する必要があるかどうかを検証すること。（3.3. 新たな線量推計方法の必要性、別添1及び別添2）

(2) 甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知に関する調査（報告書4章）

平時からの住民等に対する甲状腺被ばく線量モニタリングに係る知識（実施目的・実施方法等）の普及や、緊急時における甲状腺被ばく線量モニタリングの実施に際しての住民等への説明の在り方等に関する調査を行う。

具体的には、平時における住民等への甲状腺被ばく線量モニタリングに係る知識の普及について以下の観点を踏まえ普及啓発コンテンツを作成すること。（別添3及び別添4）

- 甲状腺被ばく線量モニタリングの実施目的、実施方法等、住民等へ普及啓発すべき内容について検討すること
- 普及啓発伝達ツール（パンフレット、動画等）について検討を行うこと
- 上記検討を行ったうえで原子力規制庁の担当と協議のうえ二つ以上の普及啓発伝達ツールのコンテンツを作成すること

(3) 検証・検討のための外部専門家会議の設置及び進捗状況の報告（別添5）

(1)、(2)の検証・検討内容については、国内外の知見を踏まえまとめることを念頭に外部専門家5名以上で構成する会議体を設置し2回以上の会議を開催し議論を行うこと。また、当該会議において議論する内容の事前の協議及びその他進捗状況の報告方法等については原子力規制庁職員と調整すること。

なお、本会議体で議論された内容については、成果報告書において議事録を公表することを前提とする。

3. 甲状腺の被ばく線量の推定方法に関する調査

本章での議論に入る前に、内部被ばく線量評価に係る基本的事項を整理する。放射性核種の摂取による内部被ばく線量評価の方法には、個人モニタリングに基づく方法と環境モニタリングに基づく方法がある⁽¹¹⁻¹⁴⁾。前者は、体外計測法やバイオアッセイ法によって、対象とする放射性核種の体内残留量あるいは排泄量を求め、この結果に基づいて摂取量を推定し、内部被ばく線量を評価する方法である。すなわち、個々人に対するモニタリングに基づき、内部被ばく線量を評価する。後者は、空気中や飲水中の放射性物質濃度に係る環境モニタリングの結果に基づき、これに吸入時間あるいは飲水量を乗じることにより、放射性核種の摂取量を算出する方法である。総じて、個人モニタリングに基づく方法の方が、環境モニタリングに基づく方法に比べ、より正確な個人の被ばく線量が得られる。

個人モニタリングに基づく内部被ばく線量評価の方法は ICRP 刊行物等に述べられている。ただし、これらは作業者の職業被ばくに適用されるものであり、公衆に適用する方法については ICRP から示されていない。例えば、作業者については、内部被ばく線量の評価に必要な放射性核種の残留率や排泄率が ICRP 刊行物に与えられているのに対し、公衆については対応するデータは提供されていない。一方、放射性核種の単位摂取量当たりの預託線量を与える実効線量係数（以下、単に線量係数）等については、作業者と公衆の両方に数値データが示されている。我が国の現行の法令等は、ICRP の 1990 年勧告⁽¹⁵⁾に準拠した線量係数等が使用されており、公衆の線量係数については複数の ICRP 刊行物に与えられている^(16, 17)。内部被ばくに係る線量係数は元々、作業者の個人モニタリング計画の立案や原子炉施設の立地の適否を判断するための周辺公衆の「めやす」線量の評価など、計画段階における種々の放射線防護対策を検討する材料、あるいは、計画された被ばく状況における職業被ばくが規制管理からの要求事項（線量限度など）に適合しているか否かを判断する材料として利用することが意図されている⁽¹⁸⁾。一方、過去に国内外で発生した原子力/放射線災害では、公衆に対して個人モニタリングを行い、その結果に基づき被ばく線量評価を行った事例もある。代表的な例では、チェルノブイリ原発事故において多数の住民を対象として行われた甲状腺被ばく線量モニタリング⁽¹⁹⁾や福島原発事故における住民のホールボディカウンタ計測⁽²⁰⁾等がある。公衆に対応した内部被ばく線量評価のためのモデルの開発は、チェルノブイリ原発事故を契機として進展した側面もある。公衆の内部被ばく線量評価のために、乳児、1 歳児、5 歳児、10 歳児、15 歳児、成人の 6 つの年齢群が定義され、その各々について線量係数を算定するための解剖学的及び生理学的パラメータを与えたモデルが開発された⁽²¹⁻²²⁾。各年齢群の線量係数については、適用すべき年齢範囲が定められている^(24, 25)。本章では以上を基本情報として、事業委託内容に示された各項目について調査結果を述べる。

3.1. 国内外で利用可能な内部被ばく線量評価システムの検証

個人モニタリング結果に基づく内部被ばく線量の算定方法は図1に示すとおりである⁽²⁶⁾。前述のとおり、この方法は、厳密には職業被ばくに対してのみ適用されるものであり、公衆被ばくに適用する場合には注意が必要な状況があると思われる。摂取から個人モニタリングまでの時間が長く、例えば年齢群を跨ぐような場合において、体内動態モデルから導出される残留率や排泄率の有効な適用期間に関してはICRPから見解は示されていない。体内動態モデルにおけるコンパートメント間の移行係数や胃腸管吸収係数等の各種パラメータに設定された数値は、特に若年群に対しては根拠となるデータが乏しく、不確実性が大きいと考えられている。福島原発事故では福島県住民を対象としたホールボディカウンタ計測が実施されたが、代謝の早い若年群では経過時間とともにセシウムの全身残留率が著しく減少するため、図1に示した線量評価を行うことが次第に困難になった。子供から僅かに検出された体内セシウム残留量から算出した摂取量が親の摂取量を大きく上回った事例も確認されており、過大評価の可能性が指摘された⁽²⁷⁾。



図1. 個人モニタリングに基づく内部被ばく線量の算定方法

※Breustedt et al.の文献⁽²⁶⁾にある図を改編して作成

本節では、福島原発事故に係る公衆の内部被ばく線量評価に実績があるMONDALについて、国内外で開発された他の線量評価システムとの比較検証を行った。検証項目は甲状腺被ばく線量モニタリングにおいて重要となるヨウ素-131 (¹³¹I)の吸入摂取の際の甲状腺残留率とし、各年齢群及び複数のヨウ素の物理化学的性状(蒸気状, ヨウ化メチル, 粒子状)について網羅的な検証を行った。表1に検証を行った内部被ばく線量評価システムの特徴をまとめるとともに、表2にMONDALと他システムとの比較検証結果を示した。

表 1. 検証に使用した内部被ばく線量評価システム

システム	特徴	備考
MONDAL ^(28, 29)	<p>作業者及び公衆に対応。個人モニタリング結果から実効線量と等価線量を計算。線量係数はICRP刊行物のものを使用。適用条件：42 核種，空気力学的放射能中央径（AMAD）：0.1, 0.3, 1.0, 5.0, 10 μm（作業者のみ），摂取シナリオ：急性，慢性，不均等慢性のいずれか設定可。</p>	<p>放射線医学総合研究所により開発。無償配布を現在も継続。問い合わせ窓口あり。現行版は MONDAL3 であり，Windows 11 環境において動作可。</p>
IDEC ⁽¹⁴⁾	<p>ICRP 標準コード（ORNL/TM-6980, 1980）をもとに ICRP90 年勧告に準拠した線量計算が行えるように開発。粒子状の放射性物質（91 元素 1001 核種），可溶性又は反応性ガス及び蒸気（8 元素 57 核種）に関する代謝データや放射線データ，及び，不活性ガス等（7 元素 38 核種）のサブマージョンに関する実効線量率係数が収録してあり，体外計測データ，バイオアッセイデータあるいは作業環境測定データ（空气中濃度等）に基づく作業者や年齢依存を考慮した一般公衆に対する内部被ばく計算が可能。</p>	<p>電源開発促進対策特別会計法に基づき，科学技術庁の日本原子力研究所に対する委託調査「原子力発電施設等内部被ばく評価技術調査」（平成 7 年度～平成 11 年度）により開発・整備。現在は非公開。</p>
DCAL ⁽³⁰⁾	<p>放射性核種の摂取または環境媒体中の放射性核種への曝露による組織線量とその後の健康リスクを計算。このソフトウェアは，2 つの連邦政府ガイダンスレポートの開発，ICRP の幾つかの刊行物，特に公衆の年齢別の線量係数の計算に使用された。</p>	<p>米国環境保護庁（EPA）のスポンサーシップにより，オークリッジ国立研究所（ORNL）が包括的な線量計算のために開発したソフトウェア。推奨動作環境は Windows XP 以前の OS。</p>

表 2 (1). ¹³¹I の年齢別甲状腺残留率（蒸気状）－MONDAL と IDEC の比較

I-131 甲状腺残留率（吸入摂取、蒸気状） Bq/Bq intake																		
Day	0y (MON)	0y (IDEC)	(I-M)/M	1y (MON)	1y (IDEC)	(I-M)/M	5y (MON)	5y (IDEC)	(I-M)/M	10y (MON)	10y (IDEC)	(I-M)/M	15y (MON)	15y (IDEC)	(I-M)/M	Adult (MON)	Adult (IDEC)	(I-M)/M
1	2.21E-01	2.20E-01	-0.5%	2.24E-01	2.20E-01	-1.8%	2.26E-01	2.30E-01	1.7%	2.29E-01	2.30E-01	0.4%	2.29E-01	2.30E-01	0.4%	2.29E-01	2.30E-01	0.4%
2	2.06E-01	2.10E-01	1.9%	2.10E-01	2.10E-01	0.0%	2.15E-01	2.20E-01	2.3%	2.21E-01	2.20E-01	-0.5%	2.22E-01	2.20E-01	-0.9%	2.23E-01	2.20E-01	-1.4%
3	1.80E-01	1.80E-01	0.0%	1.86E-01	1.90E-01	2.1%	1.93E-01	1.90E-01	-1.6%	2.02E-01	2.00E-01	-1.0%	2.02E-01	2.00E-01	-1.0%	2.03E-01	2.00E-01	-1.5%
4	1.57E-01	1.60E-01	1.9%	1.64E-01	1.70E-01	3.5%	1.73E-01	1.70E-01	-1.8%	1.83E-01	1.80E-01	-1.7%	1.84E-01	1.90E-01	3.2%	1.85E-01	1.90E-01	2.6%
5	1.37E-01	1.40E-01	2.1%	1.45E-01	1.50E-01	3.3%	1.54E-01	1.60E-01	3.8%	1.66E-01	1.70E-01	2.4%	1.67E-01	1.70E-01	1.8%	1.68E-01	1.70E-01	1.2%
6	1.20E-01	1.20E-01	0.0%	1.29E-01	1.30E-01	0.8%	1.38E-01	1.40E-01	1.4%	1.51E-01	1.50E-01	-0.7%	1.52E-01	1.50E-01	-1.3%	1.53E-01	1.60E-01	4.4%
7	1.05E-01	1.10E-01	4.5%	1.14E-01	1.10E-01	-3.6%	1.24E-01	1.20E-01	-3.3%	1.37E-01	1.40E-01	2.1%	1.38E-01	1.40E-01	1.4%	1.39E-01	1.40E-01	0.7%
8	9.24E-02	9.30E-02	0.6%	1.01E-01	1.00E-01	-1.0%	1.11E-01	1.10E-01	-0.9%	1.24E-01	1.30E-01	4.6%	1.26E-01	1.30E-01	3.1%	1.27E-01	1.30E-01	2.3%
9	8.09E-02	8.20E-02	1.3%	8.96E-02	9.10E-02	1.5%	9.95E-02	1.00E-01	0.5%	1.13E-01	1.20E-01	5.8%	1.14E-01	1.20E-01	5.0%	1.15E-01	1.20E-01	4.2%
10	7.09E-02	7.40E-02	4.2%	7.94E-02	8.20E-02	3.2%	8.92E-02	9.00E-02	0.9%	1.02E-01	1.00E-01	-2.0%	1.04E-01	1.00E-01	-4.0%	1.05E-01	1.10E-01	4.5%
12	5.45E-02	5.70E-02	4.4%	6.24E-02	6.50E-02	4.0%	7.18E-02	7.20E-02	0.3%	8.46E-02	8.50E-02	0.5%	8.59E-02	8.60E-02	0.1%	8.71E-02	8.90E-02	2.1%
14	4.19E-02	4.50E-02	6.9%	4.90E-02	5.00E-02	2.0%	5.77E-02	6.00E-02	3.8%	6.98E-02	7.20E-02	3.1%	7.11E-02	7.30E-02	2.6%	7.22E-02	7.20E-02	-0.3%
16	3.22E-02	3.50E-02	8.0%	3.86E-02	4.10E-02	5.9%	4.65E-02	5.00E-02	7.0%	5.77E-02	6.10E-02	5.4%	5.88E-02	6.20E-02	5.2%	5.99E-02	6.10E-02	1.8%
18	2.47E-02	2.60E-02	5.0%	3.03E-02	3.20E-02	5.3%	3.74E-02	3.80E-02	1.6%	4.76E-02	4.80E-02	0.8%	4.87E-02	4.90E-02	0.6%	4.97E-02	5.10E-02	2.5%
20	1.90E-02	2.10E-02	9.5%	2.38E-02	2.50E-02	4.8%	3.01E-02	3.20E-02	5.9%	3.94E-02	4.10E-02	3.9%	4.03E-02	4.20E-02	4.0%	4.12E-02	4.50E-02	8.4%
22	1.46E-02	1.50E-02	2.7%	1.87E-02	1.90E-02	1.6%	2.42E-02	2.60E-02	6.9%	3.25E-02	3.30E-02	1.5%	3.34E-02	3.40E-02	1.8%	3.42E-02	3.60E-02	5.0%
24	1.12E-02	1.10E-02	-1.8%	1.47E-02	1.50E-02	2.0%	1.95E-02	2.10E-02	7.1%	2.69E-02	2.70E-02	0.4%	2.77E-02	3.10E-02	10.6%	2.84E-02	2.90E-02	2.1%
26	8.61E-03	9.90E-03	13.0%	1.16E-02	1.20E-02	3.3%	1.57E-02	1.70E-02	7.6%	2.22E-02	2.40E-02	7.5%	2.29E-02	2.50E-02	8.4%	2.35E-02	2.60E-02	9.6%
28	6.61E-03	7.50E-03	11.9%	9.10E-03	1.00E-02	9.0%	1.26E-02	1.30E-02	3.1%	1.84E-02	1.90E-02	3.2%	1.90E-02	2.00E-02	5.0%	1.95E-02	2.10E-02	7.1%
30	5.08E-03	5.60E-03	9.3%	7.16E-03	7.60E-03	5.8%	1.02E-02	1.10E-02	7.3%	1.52E-02	1.70E-02	10.6%	1.57E-02	1.70E-02	7.6%	1.62E-02	1.60E-02	-1.2%
35	2.63E-03	3.00E-03	12.3%	3.92E-03	4.20E-03	6.7%	5.91E-03	6.70E-03	11.8%	9.43E-03	1.00E-02	5.7%	9.83E-03	1.10E-02	10.6%	1.02E-02	1.10E-02	7.3%
40	1.36E-03	1.50E-03	9.3%	2.15E-03	2.60E-03	17.3%	3.44E-03	3.50E-03	1.7%	5.86E-03	5.90E-03	0.7%	6.15E-03	6.90E-03	10.9%	6.41E-03	7.40E-03	13.4%
45	7.04E-04	8.50E-04	17.2%	1.18E-03	1.30E-03	9.2%	2.00E-03	2.20E-03	9.1%	3.64E-03	3.80E-03	4.2%	3.84E-03	4.40E-03	12.7%	4.03E-03	4.10E-03	1.7%
50	3.64E-04	4.60E-04	20.9%	6.45E-04	7.00E-04	7.9%	1.16E-03	1.30E-03	10.8%	2.27E-03	2.30E-03	1.3%	2.40E-03	2.80E-03	14.3%	2.53E-03	3.00E-03	15.7%
55	1.88E-04	2.30E-04	18.3%	3.54E-04	3.70E-04	4.3%	6.76E-04	7.10E-04	4.8%	1.41E-03	1.60E-03	11.9%	1.50E-03	1.60E-03	6.3%	1.59E-03	1.80E-03	11.7%
60	9.75E-05	1.20E-04	18.8%	1.94E-04	2.50E-04	22.4%	3.93E-04	4.10E-04	4.1%	8.76E-04	9.40E-04	6.8%	9.40E-04	9.70E-04	3.1%	1.00E-03	1.00E-03	0.0%
65	5.04E-05	6.50E-05	22.5%	1.06E-04	1.10E-04	3.6%	2.28E-04	2.80E-04	18.6%	5.44E-04	6.20E-04	12.3%	5.88E-04	6.50E-04	9.5%	6.31E-04	7.00E-04	9.9%
70	2.61E-05	3.60E-05	27.5%	5.82E-05	6.60E-05	11.8%	1.33E-04	1.60E-04	16.9%	3.38E-04	4.10E-04	17.6%	3.68E-04	4.30E-04	14.4%	3.97E-04	4.50E-04	11.8%
75	1.35E-05	2.00E-05	32.5%	3.19E-05	3.90E-05	18.2%	7.72E-05	9.10E-05	15.2%	2.10E-04	2.20E-04	4.5%	2.30E-04	2.40E-04	4.2%	2.50E-04	2.90E-04	13.8%
80	6.98E-06	1.00E-05	30.2%	1.75E-05	2.00E-05	12.5%	4.49E-05	5.30E-05	15.3%	1.31E-04	1.70E-04	22.9%	1.44E-04	1.80E-04	20.0%	1.57E-04	1.90E-04	17.4%
85	3.61E-06	4.70E-06	23.2%	9.57E-06	1.00E-05	4.3%	2.61E-05	3.10E-05	15.8%	8.13E-05	1.00E-04	18.7%	8.99E-05	1.10E-04	18.3%	9.91E-05	1.10E-04	9.9%
90	1.87E-06	3.20E-06	41.6%	5.25E-06	7.20E-06	27.1%	1.52E-05	1.80E-05	15.6%	5.06E-05	5.90E-05	14.2%	5.63E-05	6.40E-05	12.0%	6.24E-05	6.50E-05	4.0%
100	5.00E-07	1.00E-06	50.0%	1.58E-06	2.30E-06	31.3%	5.12E-06	6.10E-06	16.1%	1.95E-05	2.40E-05	18.8%	2.20E-05	2.70E-05	18.5%	2.47E-05	2.90E-05	14.8%

※1 表中において MONDAL は MON と表記。また MONDAL を基準とした IDEC の甲状腺残留率の差を百分率パーセンテージで表記。

※2 MONDAL と IDEC の甲状腺残留率の有効桁数はそれぞれ 3 桁及び 2 桁。

※3 比較した甲状腺残留率の経過日数は IDEC のデフォルト出力に併せた（20 日以降は離散的になる）。

表 2 (2). ¹³¹I の年齢別甲状腺残留率（ヨウ化メチル）－MONDAL と IDEC の比較

I-131 甲状腺残留率（吸入摂取，ヨウ化メチル）			Bq/Bq intake																
Day	Oy (MON)	Oy (IDEC)	(I-M)/M	1y (MON)	1y (IDEC)	(I-M)/M	5y (MON)	5y (IDEC)	(I-M)/M	10y (MON)	10y (IDEC)	(I-M)/M	15y (MON)	15y (IDEC)	(I-M)/M	Adult (MON)	Adult (IDEC)	(I-M)/M	
1	1.73E-01	1.70E-01	-1.8%	1.75E-01	1.70E-01	-2.9%	1.77E-01	1.80E-01	1.7%	1.79E-01	1.80E-01	0.6%	1.79E-01	1.80E-01	0.6%	1.80E-01	1.80E-01	0.0%	
2	1.60E-01	1.60E-01	0.0%	1.64E-01	1.60E-01	-2.5%	1.68E-01	1.70E-01	1.2%	1.73E-01	1.70E-01	-1.8%	1.73E-01	1.70E-01	-1.8%	1.74E-01	1.70E-01	-2.4%	
3	1.40E-01	1.40E-01	0.0%	1.45E-01	1.50E-01	3.3%	1.50E-01	1.50E-01	0.0%	1.57E-01	1.60E-01	1.9%	1.58E-01	1.60E-01	1.3%	1.58E-01	1.60E-01	1.3%	
4	1.22E-01	1.20E-01	-1.7%	1.28E-01	1.30E-01	1.5%	1.35E-01	1.40E-01	3.6%	1.43E-01	1.40E-01	-2.1%	1.43E-01	1.40E-01	-2.1%	1.44E-01	1.50E-01	4.0%	
5	1.07E-01	1.10E-01	2.7%	1.13E-01	1.20E-01	5.8%	1.20E-01	1.20E-01	0.0%	1.29E-01	1.30E-01	0.8%	1.30E-01	1.30E-01	0.0%	1.31E-01	1.30E-01	-0.8%	
6	9.37E-02	9.50E-02	1.4%	1.00E-01	1.00E-01	0.0%	1.08E-01	1.10E-01	1.8%	1.18E-01	1.20E-01	1.7%	1.18E-01	1.20E-01	1.7%	1.19E-01	1.20E-01	0.8%	
7	8.21E-02	8.30E-02	1.1%	8.89E-02	8.90E-02	0.1%	9.66E-02	9.90E-02	2.4%	1.07E-01	1.10E-01	2.7%	1.08E-01	1.10E-01	1.8%	1.09E-01	1.10E-01	0.9%	
8	7.20E-02	7.50E-02	4.0%	7.87E-02	7.90E-02	0.4%	8.65E-02	9.00E-02	3.9%	9.69E-02	9.70E-02	0.1%	9.79E-02	9.80E-02	0.1%	9.89E-02	1.00E-01	1.1%	
9	6.31E-02	6.40E-02	1.4%	6.98E-02	7.10E-02	1.7%	7.76E-02	8.00E-02	3.0%	8.80E-02	9.20E-02	4.3%	8.90E-02	9.30E-02	4.3%	9.00E-02	9.30E-02	3.2%	
10	5.53E-02	5.80E-02	4.7%	6.19E-02	6.40E-02	3.3%	6.95E-02	7.20E-02	3.5%	7.99E-02	8.20E-02	2.6%	8.10E-02	8.30E-02	2.4%	8.20E-02	8.30E-02	1.2%	
12	4.25E-02	4.50E-02	5.6%	4.86E-02	5.00E-02	2.8%	5.59E-02	5.70E-02	1.9%	6.59E-02	6.90E-02	4.5%	6.70E-02	6.90E-02	2.9%	6.79E-02	6.80E-02	0.1%	
14	3.26E-02	3.30E-02	1.2%	3.82E-02	4.00E-02	4.5%	4.50E-02	4.60E-02	2.2%	5.44E-02	5.60E-02	2.9%	5.54E-02	5.60E-02	1.1%	5.63E-02	5.80E-02	2.9%	
16	2.51E-02	2.50E-02	-0.4%	3.01E-02	3.20E-02	5.9%	3.62E-02	3.70E-02	2.2%	4.50E-02	4.60E-02	2.2%	4.59E-02	4.80E-02	4.4%	4.67E-02	5.00E-02	6.6%	
18	1.93E-02	2.10E-02	8.1%	2.36E-02	2.40E-02	1.7%	2.92E-02	3.10E-02	5.8%	3.71E-02	4.10E-02	9.5%	3.80E-02	4.00E-02	5.0%	3.87E-02	4.30E-02	10.0%	
20	1.48E-02	1.70E-02	12.9%	1.86E-02	2.00E-02	7.0%	2.35E-02	2.60E-02	9.6%	3.07E-02	3.20E-02	4.1%	3.15E-02	3.20E-02	1.6%	3.21E-02	3.40E-02	5.6%	
22	1.14E-02	1.30E-02	12.3%	1.46E-02	1.60E-02	8.8%	1.89E-02	2.00E-02	5.5%	2.54E-02	2.60E-02	2.3%	2.60E-02	2.80E-02	7.1%	2.67E-02	2.80E-02	4.6%	
24	8.74E-03	1.00E-02	12.6%	1.15E-02	1.20E-02	4.2%	1.52E-02	1.50E-02	-1.3%	2.10E-02	2.30E-02	8.7%	2.16E-02	2.20E-02	1.8%	2.21E-02	2.20E-02	-0.5%	
26	6.71E-03	7.70E-03	12.9%	9.03E-03	9.60E-03	5.9%	1.22E-02	1.40E-02	12.9%	1.73E-02	1.80E-02	3.9%	1.79E-02	1.80E-02	0.6%	1.84E-02	2.00E-02	8.0%	
28	5.16E-03	5.60E-03	7.9%	7.10E-03	7.40E-03	4.1%	9.85E-03	1.10E-02	10.5%	1.43E-02	1.50E-02	4.7%	1.48E-02	1.60E-02	7.5%	1.52E-02	1.60E-02	5.0%	
30	3.96E-03	4.10E-03	3.4%	5.58E-03	6.40E-03	12.8%	7.93E-03	8.30E-03	4.5%	1.18E-02	1.30E-02	9.2%	1.23E-02	1.30E-02	5.4%	1.27E-02	1.40E-02	9.3%	
35	2.05E-03	2.20E-03	6.8%	3.06E-03	3.40E-03	10.0%	4.61E-03	5.20E-03	11.3%	7.36E-03	7.40E-03	0.5%	7.67E-03	8.00E-03	4.1%	7.95E-03	8.30E-03	4.2%	
40	1.06E-03	1.20E-03	11.7%	1.68E-03	1.70E-03	1.2%	2.68E-03	2.80E-03	4.3%	4.57E-03	4.80E-03	4.8%	4.80E-03	5.40E-03	11.1%	5.00E-03	5.30E-03	5.7%	
45	5.49E-04	5.70E-04	3.7%	9.18E-04	9.80E-04	6.3%	1.56E-03	1.70E-03	8.2%	2.84E-03	3.00E-03	5.3%	3.00E-03	3.40E-03	11.8%	3.14E-03	3.30E-03	4.8%	
50	2.84E-04	3.70E-04	23.2%	5.03E-04	5.40E-04	6.9%	9.07E-04	9.70E-04	6.5%	1.77E-03	1.80E-03	1.7%	1.88E-03	2.10E-03	10.5%	1.98E-03	2.00E-03	1.0%	
55	1.47E-04	1.90E-04	22.6%	2.76E-04	3.40E-04	18.8%	5.27E-04	6.50E-04	18.9%	1.10E-03	1.20E-03	8.3%	1.17E-03	1.20E-03	2.5%	1.24E-03	1.40E-03	11.4%	
60	7.61E-05	8.60E-05	11.5%	1.51E-04	1.70E-04	11.2%	3.06E-04	3.40E-04	10.0%	6.83E-04	7.00E-04	2.4%	7.34E-04	8.00E-04	8.3%	7.83E-04	8.20E-04	4.5%	
65	3.94E-05	4.90E-05	19.6%	8.29E-05	1.00E-04	17.1%	1.78E-04	2.20E-04	19.1%	4.25E-04	4.60E-04	7.6%	4.59E-04	5.50E-04	16.5%	4.93E-04	5.20E-04	5.2%	
70	2.04E-05	2.80E-05	27.1%	4.54E-05	5.90E-05	23.1%	1.04E-04	1.10E-04	5.5%	2.64E-04	2.90E-04	9.0%	2.87E-04	3.40E-04	15.6%	3.10E-04	3.40E-04	8.8%	
75	1.05E-05	1.40E-05	25.0%	2.49E-05	3.30E-05	24.5%	6.02E-05	7.30E-05	17.5%	1.64E-04	1.80E-04	8.9%	1.80E-04	2.10E-04	14.3%	1.95E-04	2.20E-04	11.4%	
80	5.45E-06	6.80E-06	19.9%	1.36E-05	1.90E-05	28.4%	3.50E-05	3.90E-05	10.3%	1.02E-04	1.10E-04	7.3%	1.12E-04	1.30E-04	13.8%	1.23E-04	1.30E-04	5.4%	
85	2.82E-06	4.70E-06	40.0%	7.48E-06	8.60E-06	13.0%	2.04E-05	2.20E-05	7.3%	6.35E-05	8.40E-05	24.4%	7.02E-05	7.80E-05	10.0%	7.74E-05	1.00E-04	22.6%	
90	1.46E-06	2.20E-06	33.6%	4.10E-06	5.90E-06	30.5%	1.18E-05	1.20E-05	1.7%	3.95E-05	4.70E-05	16.0%	4.39E-05	5.80E-05	24.3%	4.87E-05	5.80E-05	16.0%	
100	3.91E-07	5.20E-07	24.8%	1.23E-06	1.90E-06	35.3%	4.00E-06	4.80E-06	16.7%	1.53E-05	1.90E-05	19.5%	1.72E-05	1.80E-05	4.4%	1.93E-05	2.50E-05	22.8%	

※1 表中において MONDAL は MON と表記。また MONDAL を基準とした IDEC の甲状腺残留率の差を百分率パーセンテージで表記。

※2 MONDAL と IDEC の甲状腺残留率の有効桁数はそれぞれ 3 桁及び 2 桁。

※3 比較した甲状腺残留率の経過日数は IDEC のデフォルト出力に併せた（20 日以降は離散的になる）。

表 2 (3). ¹³¹I の年齢別甲状腺残留率 (粒子状タイプ F) - MONDAL と IDEC の比較

I-131 甲状腺残留率 (吸入摂取, 粒子状タイプ F: 粒径1μm) Bq/Bq intake																		
Day	0y (MON)	0y (IDEC)	(I-M)/M	1y (MON)	1y (IDEC)	(I-M)/M	5y (MON)	5y (IDEC)	(I-M)/M	10y (MON)	10y (IDEC)	(I-M)/M	15y (MON)	15y (IDEC)	(I-M)/M	Adult (MON)	Adult (IDEC)	(I-M)/M
1	9.49E-02	9.50E-02	0.1%	9.78E-02	9.80E-02	0.2%	8.73E-02	8.70E-02	-0.3%	9.00E-02	9.00E-02	0.0%	8.24E-02	8.20E-02	-0.5%	8.57E-02	8.60E-02	0.3%
2	8.81E-02	8.80E-02	-0.1%	9.20E-02	9.20E-02	0.0%	8.32E-02	8.40E-02	1.0%	8.71E-02	8.70E-02	-0.1%	7.98E-02	8.00E-02	0.3%	8.32E-02	8.30E-02	-0.2%
3	7.71E-02	7.70E-02	-0.1%	8.14E-02	8.20E-02	0.7%	7.46E-02	7.50E-02	0.5%	7.94E-02	8.00E-02	0.8%	7.28E-02	7.30E-02	0.3%	7.60E-02	7.70E-02	1.3%
4	6.73E-02	6.80E-02	1.0%	7.20E-02	7.30E-02	1.4%	6.67E-02	6.70E-02	0.4%	7.20E-02	7.20E-02	0.0%	6.62E-02	6.70E-02	1.2%	6.91E-02	6.90E-02	-0.1%
5	5.89E-02	5.90E-02	0.2%	6.36E-02	6.40E-02	0.6%	5.96E-02	6.00E-02	0.7%	6.53E-02	6.50E-02	-0.5%	6.01E-02	6.00E-02	-0.2%	6.29E-02	6.30E-02	0.2%
6	5.16E-02	5.20E-02	0.8%	5.63E-02	5.70E-02	1.2%	5.34E-02	5.40E-02	1.1%	5.93E-02	6.00E-02	1.2%	5.46E-02	5.50E-02	0.7%	5.73E-02	5.70E-02	-0.5%
7	4.52E-02	4.60E-02	1.7%	4.99E-02	5.00E-02	0.2%	4.78E-02	4.80E-02	0.4%	5.38E-02	5.50E-02	2.2%	4.97E-02	5.00E-02	0.6%	5.21E-02	5.30E-02	1.7%
8	3.96E-02	4.10E-02	3.4%	4.42E-02	4.50E-02	1.8%	4.29E-02	4.30E-02	0.2%	4.89E-02	5.00E-02	2.2%	4.52E-02	4.60E-02	1.7%	4.74E-02	4.80E-02	1.3%
9	3.47E-02	3.60E-02	3.6%	3.92E-02	4.00E-02	2.0%	3.84E-02	3.90E-02	1.5%	4.44E-02	4.50E-02	1.3%	4.11E-02	4.20E-02	2.1%	4.32E-02	4.30E-02	-0.5%
10	3.04E-02	3.10E-02	1.9%	3.47E-02	3.60E-02	3.6%	3.45E-02	3.50E-02	1.4%	4.03E-02	4.10E-02	1.7%	3.73E-02	3.80E-02	1.8%	3.93E-02	4.00E-02	1.8%
12	2.34E-02	2.40E-02	2.5%	2.73E-02	2.80E-02	2.5%	2.77E-02	2.80E-02	1.1%	3.33E-02	3.30E-02	-0.9%	3.09E-02	3.10E-02	0.3%	3.26E-02	3.30E-02	1.2%
14	1.79E-02	1.90E-02	5.8%	2.15E-02	2.20E-02	2.3%	2.23E-02	2.30E-02	3.0%	2.75E-02	2.80E-02	1.8%	2.56E-02	2.60E-02	1.5%	2.70E-02	2.70E-02	0.0%
16	1.38E-02	1.40E-02	1.4%	1.69E-02	1.80E-02	6.1%	1.79E-02	1.80E-02	0.6%	2.27E-02	2.40E-02	5.4%	2.12E-02	2.20E-02	3.6%	2.24E-02	2.40E-02	6.7%
18	1.06E-02	1.20E-02	11.7%	1.33E-02	1.40E-02	5.0%	1.44E-02	1.50E-02	4.0%	1.87E-02	2.00E-02	6.5%	1.75E-02	1.90E-02	7.9%	1.86E-02	1.90E-02	2.1%
20	8.14E-03	8.40E-03	3.1%	1.04E-02	1.10E-02	5.5%	1.16E-02	1.30E-02	10.8%	1.55E-02	1.60E-02	3.1%	1.45E-02	1.50E-02	3.3%	1.54E-02	1.60E-02	3.8%
22	6.25E-03	6.80E-03	8.1%	8.20E-03	9.00E-03	8.9%	9.36E-03	9.90E-03	5.5%	1.28E-02	1.30E-02	1.5%	1.20E-02	1.30E-02	7.7%	1.28E-02	1.40E-02	8.6%
24	4.80E-03	5.00E-03	4.0%	6.44E-03	6.60E-03	2.4%	7.53E-03	7.80E-03	3.5%	1.06E-02	1.10E-02	3.6%	9.95E-03	1.10E-02	9.5%	1.06E-02	1.10E-02	3.6%
26	3.69E-03	4.20E-03	12.1%	5.07E-03	5.70E-03	11.1%	6.06E-03	6.10E-03	0.7%	8.74E-03	9.10E-03	4.0%	8.24E-03	8.60E-03	4.2%	8.80E-03	9.70E-03	9.3%
28	2.84E-03	3.10E-03	8.4%	3.98E-03	4.30E-03	7.4%	4.88E-03	5.40E-03	9.6%	7.22E-03	7.20E-03	-0.3%	6.83E-03	7.60E-03	10.1%	7.30E-03	7.50E-03	2.7%
30	2.18E-03	2.20E-03	0.9%	3.13E-03	3.20E-03	2.2%	3.93E-03	4.60E-03	14.6%	5.97E-03	6.30E-03	5.2%	5.66E-03	5.80E-03	2.4%	6.06E-03	6.60E-03	8.2%
35	1.13E-03	1.30E-03	13.1%	1.72E-03	1.90E-03	9.5%	2.28E-03	2.40E-03	5.0%	3.71E-03	4.10E-03	9.5%	3.54E-03	3.80E-03	6.8%	3.81E-03	4.30E-03	11.4%
40	5.83E-04	6.20E-04	6.0%	9.40E-04	1.10E-03	14.5%	1.33E-03	1.50E-03	11.3%	2.31E-03	2.60E-03	11.2%	2.21E-03	2.40E-03	7.9%	2.39E-03	2.70E-03	11.5%
45	3.02E-04	3.20E-04	5.6%	5.15E-04	6.10E-04	15.6%	7.72E-04	8.50E-04	9.2%	1.43E-03	1.60E-03	10.6%	1.38E-03	1.40E-03	1.4%	1.51E-03	1.70E-03	11.2%
50	1.56E-04	2.00E-04	22.0%	2.82E-04	3.30E-04	14.5%	4.49E-04	4.80E-04	6.5%	8.91E-04	9.50E-04	6.2%	8.64E-04	1.00E-03	13.6%	9.47E-04	9.90E-04	4.3%
55	8.08E-05	1.00E-04	19.2%	1.55E-04	1.70E-04	8.8%	2.61E-04	3.10E-04	15.8%	5.54E-04	6.50E-04	14.8%	5.41E-04	5.80E-04	6.7%	5.96E-04	6.90E-04	13.6%
60	4.18E-05	5.90E-05	29.2%	8.48E-05	1.00E-04	15.2%	1.52E-04	1.60E-04	5.0%	3.45E-04	3.50E-04	1.4%	3.38E-04	3.80E-04	11.1%	3.75E-04	3.80E-04	1.3%
65	2.16E-05	2.60E-05	16.9%	4.65E-05	4.80E-05	3.1%	8.82E-05	1.00E-04	11.8%	2.14E-04	2.40E-04	10.8%	2.11E-04	2.50E-04	15.6%	2.36E-04	2.50E-04	5.6%
70	1.12E-05	1.40E-05	20.0%	2.55E-05	2.70E-05	5.6%	5.13E-05	5.80E-05	11.6%	1.33E-04	1.50E-04	11.3%	1.32E-04	1.60E-04	17.5%	1.48E-04	1.60E-04	7.5%
75	5.79E-06	7.30E-06	20.7%	1.40E-05	1.50E-05	6.7%	2.98E-05	3.40E-05	12.4%	8.28E-05	9.10E-05	9.0%	8.27E-05	1.00E-04	17.3%	9.34E-05	1.00E-04	6.6%
80	2.99E-06	3.70E-06	19.2%	7.65E-06	1.10E-05	30.5%	1.73E-05	1.90E-05	8.9%	5.15E-05	5.50E-05	6.4%	5.17E-05	5.80E-05	10.9%	5.88E-05	7.60E-05	22.6%
85	1.55E-06	1.90E-06	18.4%	4.19E-06	5.70E-06	26.5%	1.01E-05	1.50E-05	32.7%	3.20E-05	3.40E-05	5.9%	3.23E-05	3.30E-05	2.1%	3.70E-05	4.50E-05	17.8%
90	8.01E-07	1.30E-06	38.4%	2.30E-06	2.80E-06	17.9%	5.86E-06	7.30E-06	19.7%	1.99E-05	2.40E-05	17.1%	2.02E-05	2.50E-05	19.2%	2.33E-05	2.60E-05	10.4%
100	2.15E-07	3.60E-07	40.3%	6.89E-07	8.60E-07	19.9%	1.98E-06	2.50E-06	20.8%	7.69E-06	9.50E-06	19.1%	7.91E-06	1.00E-05	20.9%	9.24E-06	1.00E-05	7.6%

※1 表中において MONDAL は MON と表記。また MONDAL を基準とした IDEC の甲状腺残留率の差を百分率パーセンテージで表記。

※2 MONDAL と IDEC の甲状腺残留率の有効桁数はそれぞれ 3 桁及び 2 桁。

※3 比較した甲状腺残留率の経過日数は IDEC のデフォルト出力に併せた (20 日以降は離散的になる)。

表 2 (4). ¹³¹I の年齢別甲状腺残留率 (蒸気状) - MONDAL と DCAL の比較

I-131 甲状腺残留率 (吸入摂取, 蒸気状) Bq/Bq intake																		
Day	0y (MON)	0y (DCAL)	(D-M)/M	1y (MON)	1y (DCAL)	(D-M)/M	5y (MON)	5y (DCAL)	(D-M)/M	10y (MON)	10y (DCAL)	(D-M)/M	15y (MON)	15y (DCAL)	(D-M)/M	Adult (MON)	Adult (DCAL)	(D-M)/M
1	2.21E-01	2.21E-01	0.2%	2.24E-01	2.24E-01	-0.1%	2.26E-01	2.26E-01	0.1%	2.29E-01	2.29E-01	0.0%	2.29E-01	2.29E-01	0.1%	2.29E-01	2.29E-01	0.2%
2	2.06E-01	2.06E-01	-0.2%	2.10E-01	2.10E-01	0.1%	2.15E-01	2.15E-01	0.2%	2.21E-01	2.22E-01	0.2%	2.22E-01	2.22E-01	0.0%	2.23E-01	2.23E-01	-0.2%
3	1.80E-01	1.80E-01	-0.1%	1.86E-01	1.86E-01	0.1%	1.93E-01	1.93E-01	0.0%	2.02E-01	2.02E-01	-0.1%	2.02E-01	2.03E-01	0.3%	2.03E-01	2.03E-01	0.2%
4	1.57E-01	1.57E-01	0.1%	1.64E-01	1.64E-01	0.3%	1.73E-01	1.73E-01	-0.2%	1.83E-01	1.83E-01	0.0%	1.84E-01	1.84E-01	0.0%	1.85E-01	1.85E-01	0.0%
5	1.37E-01	1.38E-01	0.4%	1.45E-01	1.45E-01	0.3%	1.54E-01	1.54E-01	0.3%	1.66E-01	1.66E-01	0.1%	1.67E-01	1.67E-01	0.1%	1.68E-01	1.68E-01	0.2%
6	1.20E-01	1.20E-01	0.3%	1.29E-01	1.29E-01	-0.2%	1.38E-01	1.38E-01	0.2%	1.51E-01	1.51E-01	-0.2%	1.52E-01	1.52E-01	0.0%	1.53E-01	1.53E-01	0.1%
7	1.05E-01	1.06E-01	0.5%	1.14E-01	1.14E-01	0.1%	1.24E-01	1.24E-01	-0.1%	1.37E-01	1.37E-01	-0.1%	1.38E-01	1.38E-01	0.1%	1.39E-01	1.39E-01	0.3%
8	9.24E-02	9.25E-02	0.1%	1.01E-01	1.01E-01	0.1%	1.11E-01	1.11E-01	0.0%	1.24E-01	1.24E-01	0.2%	1.26E-01	1.26E-01	-0.3%	1.27E-01	1.27E-01	-0.1%
9	8.09E-02	8.11E-02	0.2%	8.96E-02	8.96E-02	0.0%	9.95E-02	9.96E-02	0.1%	1.13E-01	1.13E-01	-0.1%	1.14E-01	1.14E-01	0.2%	1.15E-01	1.15E-01	0.4%
10	7.09E-02	7.11E-02	0.3%	7.94E-02	7.94E-02	0.0%	8.92E-02	8.93E-02	0.1%	1.02E-01	1.03E-01	0.5%	1.04E-01	1.04E-01	-0.1%	1.05E-01	1.05E-01	0.1%
12	5.45E-02	5.47E-02	0.3%	6.24E-02	6.24E-02	0.1%	7.18E-02	7.18E-02	0.0%	8.46E-02	8.46E-02	0.0%	8.59E-02	8.59E-02	0.0%	8.71E-02	8.71E-02	0.0%
14	4.19E-02	4.21E-02	0.4%	4.90E-02	4.91E-02	0.2%	5.77E-02	5.78E-02	0.1%	6.98E-02	6.98E-02	0.1%	7.11E-02	7.11E-02	0.0%	7.22E-02	7.22E-02	0.0%
16	3.22E-02	3.24E-02	0.5%	3.86E-02	3.86E-02	0.0%	4.65E-02	4.65E-02	0.0%	5.77E-02	5.77E-02	0.0%	5.88E-02	5.88E-02	0.1%	5.99E-02	5.99E-02	0.0%
18	2.47E-02	2.49E-02	0.8%	3.03E-02	3.04E-02	0.2%	3.74E-02	3.74E-02	0.1%	4.76E-02	4.76E-02	0.1%	4.87E-02	4.87E-02	0.0%	4.97E-02	4.97E-02	-0.1%
20	1.90E-02	1.92E-02	0.8%	2.38E-02	2.39E-02	0.3%	3.01E-02	3.02E-02	0.2%	3.94E-02	3.94E-02	-0.1%	4.03E-02	4.03E-02	0.1%	4.12E-02	4.12E-02	0.0%
23	1.28E-02	1.29E-02	1.1%	1.66E-02	1.67E-02	0.3%	2.17E-02	2.18E-02	0.4%	2.96E-02	2.96E-02	-0.1%	3.04E-02	3.04E-02	0.0%	3.11E-02	3.11E-02	0.1%
26	8.61E-03	8.74E-03	1.5%	1.16E-02	1.16E-02	0.1%	1.57E-02	1.57E-02	0.3%	2.22E-02	2.22E-02	0.1%	2.29E-02	2.29E-02	0.1%	2.35E-02	2.35E-02	0.2%
30	5.08E-03	5.19E-03	2.0%	7.16E-03	7.18E-03	0.3%	1.02E-02	1.02E-02	0.1%	1.52E-02	1.52E-02	-0.1%	1.57E-02	1.57E-02	0.3%	1.62E-02	1.62E-02	0.2%
35	2.63E-03	2.70E-03	2.7%	3.92E-03	3.94E-03	0.6%	5.91E-03	5.94E-03	0.5%	9.43E-03	9.44E-03	0.1%	9.83E-03	9.84E-03	0.1%	1.02E-02	1.02E-02	-0.1%
40	1.36E-03	1.41E-03	3.5%	2.15E-03	2.16E-03	0.6%	3.44E-03	3.46E-03	0.6%	5.86E-03	5.87E-03	0.1%	6.15E-03	6.15E-03	0.0%	6.41E-03	6.41E-03	-0.1%
45	7.04E-04	7.36E-04	4.4%	1.18E-03	1.19E-03	0.7%	2.00E-03	2.01E-03	0.7%	3.64E-03	3.65E-03	0.2%	3.84E-03	3.85E-03	0.2%	4.03E-03	4.03E-03	0.0%
50	3.64E-04	3.85E-04	5.4%	6.45E-04	6.52E-04	1.1%	1.16E-03	1.17E-03	1.1%	2.27E-03	2.27E-03	-0.1%	2.40E-03	2.41E-03	0.3%	2.53E-03	2.53E-03	0.1%
60	9.75E-05	1.06E-04	7.6%	1.94E-04	1.97E-04	1.4%	3.93E-04	3.98E-04	1.3%	8.76E-04	8.77E-04	0.1%	9.40E-04	9.41E-04	0.1%	1.00E-03	1.00E-03	0.3%
70	2.61E-05	2.91E-05	10.4%	5.82E-05	5.95E-05	2.2%	1.33E-04	1.35E-04	1.7%	3.38E-04	3.39E-04	0.4%	3.68E-04	3.68E-04	0.1%	3.97E-04	3.97E-04	0.1%
80	6.98E-06	8.07E-06	13.5%	1.75E-05	1.80E-05	2.8%	4.49E-05	4.60E-05	2.5%	1.31E-04	1.31E-04	0.2%	1.44E-04	1.44E-04	0.1%	1.57E-04	1.57E-04	0.3%
90	1.87E-06	2.24E-06	16.7%	5.25E-06	5.45E-06	3.7%	1.52E-05	1.57E-05	3.0%	5.06E-05	5.08E-05	0.3%	5.63E-05	5.64E-05	0.3%	6.24E-05	6.24E-05	0.0%
100	5.00E-07	6.27E-07	20.3%	1.58E-06	1.65E-06	4.3%	5.12E-06	5.34E-06	4.1%	1.95E-05	1.96E-05	0.7%	2.20E-05	2.21E-05	0.4%	2.47E-05	2.47E-05	0.2%

※1 表中において MONDAL は MON と表記。また MONDAL を基準とした DCAL の甲状腺残留率の差を百分率パーセンテージで表記。

※2 MONDAL と IDEC の甲状腺残留率の有効桁数は共に 3 桁。

※3 比較した甲状腺残留率の経過日数は DCAL のデフォルト出力に併せた (10 日以降は離散的になる)。

表 2 (5). ¹³¹I の年齢別甲状腺残留率（吸入摂取「ヨウ化メチル」）－MONDAL と DCAL の比較

I-131甲状腺残留率（吸入摂取，ヨウ化メチル） Bq/Bq intake																		
Day	0y (MON)	0y (DCAL)	(D-M)/M	1y (MON)	1y (DCAL)	(D-M)/M	5y (MON)	5y (DCAL)	(D-M)/M	10y (MON)	10y (DCAL)	(D-M)/M	15y (MON)	15y (DCAL)	(D-M)/M	Adult (MON)	Adult (DCAL)	(D-M)/M
1	1.73E-01	1.73E-01	0.1%	1.75E-01	1.75E-01	0.0%	1.77E-01	1.77E-01	-0.1%	1.79E-01	1.79E-01	0.1%	1.79E-01	1.79E-01	0.2%	1.80E-01	1.80E-01	-0.3%
2	1.60E-01	1.60E-01	0.1%	1.64E-01	1.64E-01	-0.1%	1.68E-01	1.68E-01	-0.1%	1.73E-01	1.73E-01	-0.2%	1.73E-01	1.73E-01	0.1%	1.74E-01	1.74E-01	-0.2%
3	1.40E-01	1.40E-01	0.0%	1.45E-01	1.45E-01	0.0%	1.50E-01	1.50E-01	0.3%	1.57E-01	1.57E-01	0.1%	1.58E-01	1.58E-01	-0.1%	1.58E-01	1.58E-01	0.3%
4	1.22E-01	1.22E-01	0.3%	1.28E-01	1.28E-01	0.1%	1.35E-01	1.35E-01	-0.4%	1.43E-01	1.43E-01	-0.2%	1.43E-01	1.43E-01	0.3%	1.44E-01	1.44E-01	0.2%
5	1.07E-01	1.07E-01	0.1%	1.13E-01	1.13E-01	0.3%	1.20E-01	1.20E-01	0.3%	1.29E-01	1.29E-01	0.4%	1.30E-01	1.30E-01	0.3%	1.31E-01	1.31E-01	0.2%
6	9.37E-02	9.38E-02	0.1%	1.00E-01	1.00E-01	0.3%	1.08E-01	1.08E-01	-0.2%	1.18E-01	1.18E-01	-0.4%	1.18E-01	1.18E-01	0.4%	1.19E-01	1.19E-01	0.3%
7	8.21E-02	8.22E-02	0.1%	8.89E-02	8.89E-02	0.0%	9.66E-02	9.66E-02	-0.1%	1.07E-01	1.07E-01	-0.3%	1.08E-01	1.08E-01	-0.3%	1.09E-01	1.09E-01	-0.3%
8	7.20E-02	7.20E-02	0.1%	7.87E-02	7.87E-02	0.1%	8.65E-02	8.65E-02	0.0%	9.69E-02	9.69E-02	0.0%	9.79E-02	9.79E-02	0.0%	9.89E-02	9.89E-02	0.0%
9	6.31E-02	6.32E-02	0.1%	6.98E-02	6.98E-02	0.0%	7.76E-02	7.76E-02	0.0%	8.80E-02	8.80E-02	0.0%	8.90E-02	8.90E-02	0.0%	9.00E-02	9.00E-02	0.0%
10	5.53E-02	5.54E-02	0.1%	6.19E-02	6.19E-02	0.0%	6.95E-02	6.96E-02	0.1%	7.99E-02	7.99E-02	0.0%	8.10E-02	8.09E-02	-0.1%	8.20E-02	8.19E-02	-0.1%
12	4.25E-02	4.26E-02	0.2%	4.86E-02	4.86E-02	0.1%	5.59E-02	5.60E-02	0.1%	6.59E-02	6.59E-02	0.1%	6.70E-02	6.70E-02	-0.1%	6.79E-02	6.79E-02	0.0%
14	3.26E-02	3.28E-02	0.5%	3.82E-02	3.82E-02	0.1%	4.50E-02	4.50E-02	0.1%	5.44E-02	5.44E-02	0.1%	5.54E-02	5.54E-02	0.0%	5.63E-02	5.63E-02	0.0%
16	2.51E-02	2.52E-02	0.4%	3.01E-02	3.01E-02	-0.1%	3.62E-02	3.62E-02	0.1%	4.50E-02	4.50E-02	-0.1%	4.59E-02	4.59E-02	-0.1%	4.67E-02	4.67E-02	0.0%
18	1.93E-02	1.94E-02	0.5%	2.36E-02	2.36E-02	0.2%	2.92E-02	2.92E-02	-0.1%	3.71E-02	3.71E-02	0.1%	3.80E-02	3.80E-02	-0.1%	3.87E-02	3.87E-02	0.0%
20	1.48E-02	1.49E-02	0.8%	1.86E-02	1.86E-02	0.0%	2.35E-02	2.35E-02	0.0%	3.07E-02	3.07E-02	-0.1%	3.15E-02	3.14E-02	-0.2%	3.21E-02	3.21E-02	0.0%
23	9.97E-03	1.01E-02	1.1%	1.29E-02	1.30E-02	0.5%	1.69E-02	1.70E-02	0.4%	2.31E-02	2.31E-02	-0.2%	2.37E-02	2.37E-02	0.0%	2.43E-02	2.43E-02	-0.1%
26	6.71E-03	6.81E-03	1.5%	9.03E-03	9.05E-03	0.2%	1.22E-02	1.23E-02	0.5%	1.73E-02	1.73E-02	0.1%	1.79E-02	1.79E-02	-0.2%	1.84E-02	1.84E-02	-0.3%
30	3.96E-03	4.04E-03	2.0%	5.59E-03	5.60E-03	0.3%	7.93E-03	7.95E-03	0.3%	1.18E-02	1.18E-02	0.3%	1.23E-02	1.23E-02	-0.3%	1.27E-02	1.26E-02	-0.4%
35	2.05E-03	2.10E-03	2.6%	3.06E-03	3.07E-03	0.4%	4.61E-03	4.63E-03	0.4%	7.36E-03	7.36E-03	0.0%	7.67E-03	7.67E-03	0.0%	7.95E-03	7.94E-03	-0.1%
40	1.06E-03	1.10E-03	3.5%	1.68E-03	1.69E-03	0.3%	2.68E-03	2.70E-03	0.6%	4.57E-03	4.57E-03	0.1%	4.80E-03	4.80E-03	-0.1%	5.00E-03	4.99E-03	-0.1%
45	5.49E-04	5.73E-04	4.2%	9.18E-04	9.25E-04	0.8%	1.56E-03	1.57E-03	0.6%	2.84E-03	2.84E-03	0.1%	3.00E-03	3.00E-03	0.0%	3.14E-03	3.14E-03	0.0%
50	2.84E-04	3.00E-04	5.3%	5.03E-04	5.08E-04	1.0%	9.07E-04	9.14E-04	0.8%	1.77E-03	1.77E-03	-0.1%	1.88E-03	1.88E-03	-0.2%	1.98E-03	1.97E-03	-0.3%
60	7.61E-05	8.22E-05	7.4%	1.51E-04	1.53E-04	1.5%	3.06E-04	3.10E-04	1.4%	6.83E-04	6.84E-04	0.1%	7.34E-04	7.34E-04	0.0%	7.83E-04	7.82E-04	-0.2%
70	2.04E-05	2.27E-05	10.1%	4.54E-05	4.63E-05	2.0%	1.04E-04	1.05E-04	1.4%	2.64E-04	2.64E-04	0.1%	2.87E-04	2.87E-04	0.1%	3.10E-04	3.10E-04	-0.1%
80	5.45E-06	6.28E-06	13.3%	1.36E-05	1.40E-05	3.0%	3.50E-05	3.59E-05	2.4%	1.02E-04	1.02E-04	0.3%	1.12E-04	1.12E-04	0.3%	1.23E-04	1.23E-04	-0.2%
90	1.46E-06	1.75E-06	16.5%	4.10E-06	4.25E-06	3.4%	1.18E-05	1.22E-05	3.3%	3.95E-05	3.96E-05	0.2%	4.39E-05	4.40E-05	0.2%	4.87E-05	4.86E-05	-0.1%
100	3.91E-07	4.89E-07	20.0%	1.23E-06	1.29E-06	4.4%	4.00E-06	4.16E-06	3.8%	1.53E-05	1.53E-05	0.0%	1.72E-05	1.72E-05	0.1%	1.93E-05	1.93E-05	-0.1%

※1 表中において MONDAL は MON と表記。また MONDAL を基準とした DCAL の甲状腺残留率の差を百分率パーセンテージで表記。

※2 MONDAL と IDEC の甲状腺残留率の有効桁数は共に 3 桁。

※3 比較した甲状腺残留率の経過日数は DCAL のデフォルト出力に併せた（10 日以降は離散的になる）。

表 2 (6). ¹³¹I の年齢別甲状腺残留率 (吸入摂取「粒子状ヨウ素 (タイプ F)」) - MONDAL と DCAL の比較

I-131甲状腺残留率 (吸入摂取, 粒子状タイプF: 粒径1μm) Bq/Bq intake																		
Day	0y (MON)	0y (DCAL)	(D-M)/M	1y (MON)	1y (DCAL)	(D-M)/M	5y (MON)	5y (DCAL)	(D-M)/M	10y (MON)	10y (DCAL)	(D-M)/M	15y (MON)	15y (DCAL)	(D-M)/M	Adult (MON)	Adult (DCAL)	(D-M)/M
1	9.49E-02	9.54E-02	0.5%	9.79E-02	9.85E-02	0.7%	8.73E-02	8.80E-02	0.8%	9.00E-02	8.95E-02	-0.5%	8.24E-02	8.26E-02	0.3%	8.57E-02	8.58E-02	0.1%
2	8.81E-02	8.86E-02	0.6%	9.20E-02	9.26E-02	0.7%	8.32E-02	8.38E-02	0.7%	8.71E-02	8.67E-02	-0.5%	7.98E-02	8.01E-02	0.3%	8.32E-02	8.33E-02	0.1%
3	7.71E-02	7.75E-02	0.6%	8.14E-02	8.20E-02	0.7%	7.46E-02	7.52E-02	0.7%	7.94E-02	7.89E-02	-0.6%	7.28E-02	7.30E-02	0.3%	7.60E-02	7.61E-02	0.1%
4	6.73E-02	6.78E-02	0.7%	7.20E-02	7.24E-02	0.6%	6.67E-02	6.72E-02	0.7%	7.20E-02	7.16E-02	-0.5%	6.62E-02	6.63E-02	0.2%	6.91E-02	6.92E-02	0.2%
5	5.89E-02	5.93E-02	0.7%	6.36E-02	6.41E-02	0.7%	5.96E-02	6.01E-02	0.9%	6.53E-02	6.50E-02	-0.5%	6.01E-02	6.03E-02	0.3%	6.29E-02	6.30E-02	0.1%
6	5.16E-02	5.19E-02	0.6%	5.63E-02	5.67E-02	0.8%	5.34E-02	5.38E-02	0.8%	5.93E-02	5.90E-02	-0.5%	5.46E-02	5.48E-02	0.4%	5.73E-02	5.73E-02	0.0%
7	4.52E-02	4.55E-02	0.7%	4.99E-02	5.02E-02	0.7%	4.78E-02	4.82E-02	0.9%	5.38E-02	5.35E-02	-0.5%	4.97E-02	4.98E-02	0.2%	5.21E-02	5.22E-02	0.1%
8	3.96E-02	3.99E-02	0.7%	4.42E-02	4.45E-02	0.7%	4.29E-02	4.32E-02	0.7%	4.89E-02	4.86E-02	-0.6%	4.52E-02	4.53E-02	0.2%	4.74E-02	4.75E-02	0.1%
9	3.47E-02	3.50E-02	0.8%	3.92E-02	3.95E-02	0.7%	3.84E-02	3.87E-02	0.9%	4.44E-02	4.42E-02	-0.6%	4.11E-02	4.12E-02	0.2%	4.32E-02	4.32E-02	0.0%
10	3.04E-02	3.07E-02	0.8%	3.47E-02	3.50E-02	0.8%	3.45E-02	3.47E-02	0.7%	4.03E-02	4.01E-02	-0.5%	3.73E-02	3.74E-02	0.4%	3.93E-02	3.93E-02	0.1%
12	2.34E-02	2.36E-02	0.8%	2.73E-02	2.75E-02	0.7%	2.77E-02	2.79E-02	0.9%	3.33E-02	3.31E-02	-0.6%	3.09E-02	3.10E-02	0.2%	3.26E-02	3.26E-02	0.0%
14	1.79E-02	1.81E-02	1.3%	2.15E-02	2.16E-02	0.6%	2.23E-02	2.25E-02	0.9%	2.75E-02	2.73E-02	-0.6%	2.56E-02	2.56E-02	0.1%	2.70E-02	2.70E-02	0.1%
16	1.38E-02	1.40E-02	1.1%	1.69E-02	1.70E-02	0.6%	1.79E-02	1.81E-02	1.1%	2.27E-02	2.26E-02	-0.6%	2.12E-02	2.12E-02	0.1%	2.24E-02	2.24E-02	0.0%
18	1.06E-02	1.07E-02	1.3%	1.33E-02	1.34E-02	0.5%	1.44E-02	1.46E-02	1.2%	1.87E-02	1.86E-02	-0.3%	1.75E-02	1.76E-02	0.4%	1.86E-02	1.86E-02	-0.1%
20	8.14E-03	8.26E-03	1.5%	1.04E-02	1.05E-02	1.1%	1.16E-02	1.17E-02	1.2%	1.56E-02	1.54E-02	-0.6%	1.45E-02	1.45E-02	0.3%	1.54E-02	1.54E-02	0.1%
23	5.48E-03	5.58E-03	1.8%	7.27E-03	7.33E-03	0.9%	8.39E-03	8.48E-03	1.0%	1.16E-02	1.16E-02	-0.3%	1.09E-02	1.10E-02	0.6%	1.16E-02	1.17E-02	0.4%
26	3.69E-03	3.77E-03	2.1%	5.07E-03	5.12E-03	0.9%	6.06E-03	6.13E-03	1.1%	8.74E-03	8.69E-03	-0.5%	8.24E-03	8.27E-03	0.3%	8.80E-03	8.81E-03	0.1%
30	2.18E-03	2.24E-03	2.5%	3.13E-03	3.16E-03	1.1%	3.93E-03	3.97E-03	1.1%	5.97E-03	5.94E-03	-0.5%	5.66E-03	5.67E-03	0.3%	6.06E-03	6.07E-03	0.2%
35	1.13E-03	1.17E-03	3.0%	1.72E-03	1.74E-03	1.0%	2.28E-03	2.31E-03	1.4%	3.71E-03	3.69E-03	-0.5%	3.54E-03	3.55E-03	0.2%	3.81E-03	3.81E-03	0.1%
40	5.83E-04	6.08E-04	4.1%	9.40E-04	9.53E-04	1.4%	1.33E-03	1.35E-03	1.2%	2.31E-03	2.30E-03	-0.6%	2.21E-03	2.22E-03	0.4%	2.39E-03	2.40E-03	0.3%
45	3.02E-04	3.17E-04	4.9%	5.15E-04	5.23E-04	1.6%	7.72E-04	7.84E-04	1.5%	1.43E-03	1.43E-03	-0.2%	1.38E-03	1.39E-03	0.5%	1.51E-03	1.51E-03	-0.2%
50	1.56E-04	1.66E-04	6.0%	2.82E-04	2.87E-04	1.9%	4.49E-04	4.57E-04	1.7%	8.91E-04	8.87E-04	-0.4%	8.64E-04	8.67E-04	0.4%	9.47E-04	9.48E-04	0.1%
60	4.18E-05	4.55E-05	8.2%	8.48E-05	8.67E-05	2.2%	1.62E-04	1.65E-04	1.9%	3.45E-04	3.43E-04	-0.6%	3.38E-04	3.39E-04	0.4%	3.75E-04	3.75E-04	0.1%
70	1.12E-05	1.26E-05	10.8%	2.55E-05	2.62E-05	2.7%	5.13E-05	5.27E-05	2.6%	1.33E-04	1.33E-04	-0.2%	1.32E-04	1.33E-04	0.6%	1.48E-04	1.49E-04	0.4%
80	2.99E-06	3.48E-06	14.0%	7.65E-06	7.93E-06	3.5%	1.73E-05	1.79E-05	3.4%	5.15E-05	5.13E-05	-0.3%	5.17E-05	5.20E-05	0.6%	5.88E-05	5.89E-05	0.2%
90	8.01E-07	9.68E-07	17.2%	2.30E-06	2.40E-06	4.2%	5.86E-06	6.10E-06	3.9%	1.99E-05	1.99E-05	-0.2%	2.02E-05	2.04E-05	0.7%	2.33E-05	2.33E-05	0.2%
100	2.15E-07	2.70E-07	20.5%	6.89E-07	7.27E-07	5.3%	1.98E-06	2.08E-06	4.7%	7.69E-06	7.68E-06	-0.1%	7.91E-06	7.97E-06	0.7%	9.24E-06	9.26E-06	0.2%

※1 表中において MONDAL は MON と表記。また MONDAL を基準とした DCAL の甲状腺残留率の差を百分率パーセンテージで表記。

※2 MONDAL と IDEC の甲状腺残留率の有効桁数は共に 3 桁。

※3 比較した甲状腺残留率の経過日数は DCAL のデフォルト出力に併せた (10 日以降は離散的になる)。

MONDAL では内部被ばく線量の計算に ICRP 刊行物に示された線量係数を用いるため、甲状腺残留率のみが線量計算における誤差要因となる。これに対し、IDEC と DCAL では線量係数の計算を内部で行うために、この2つのシステムについては、¹³¹Iの吸入摂取による実効線量係数と甲状腺等価線量係数を計算し、ICRP CD1⁽¹⁶⁾との比較検証を行った。表3に結果を示す。

表 3(1). ¹³¹I の年齢別線量係数－IDEC と ICRP CD1 の比較

性状	年齢Gr	IDEC(mSv/Bq)		ICRP(mSv/Bq)		Difference (%)	
		実効線量	甲状腺	実効線量	甲状腺	実効線量	甲状腺
蒸気	成人	2.0E-05	3.9E-04	2.0E-05	3.9E-04		
	15歳	3.1E-05	6.2E-04	3.1E-05	6.2E-04		
	10歳	4.8E-05	9.5E-04	4.8E-05	9.5E-04		
	5歳	9.4E-05	1.9E-03	9.4E-05	1.9E-03		
	1歳	1.6E-04	3.2E-03	1.6E-04	3.2E-03		
	乳児	1.8E-04	3.5E-03	1.7E-04	3.3E-03	5.9%	6.1%
ヨウ化メチル	成人	1.5E-05	3.1E-04	1.5E-05	3.1E-04		
	15歳	2.4E-05	4.8E-04	2.4E-05	4.8E-04		
	10歳	3.7E-05	7.4E-04	3.7E-05	7.4E-04		
	5歳	7.3E-05	1.5E-03	7.4E-05	1.5E-03	-1.4%	
	1歳	1.3E-04	2.5E-03	1.3E-04	2.5E-03		
	乳児	1.4E-04	2.7E-03	1.3E-04	2.6E-03	7.7%	3.8%
粒子	成人	7.4E-06	1.5E-04	7.4E-06	1.5E-04		
	15歳	1.1E-05	2.2E-04	1.1E-05	2.2E-04		
	10歳	1.9E-05	3.7E-04	1.9E-05	3.7E-04		
	5歳	3.6E-05	7.2E-04	3.7E-05	7.3E-04	-2.7%	-1.4%
	1歳	7.1E-05	1.4E-03	7.2E-05	1.4E-03	-1.4%	
	乳児	7.6E-05	1.5E-03	7.2E-05	1.4E-03	5.6%	7.1%

表 3(2). ¹³¹I の年齢別線量係数－DCAL と ICRP CD1 の比較

性状	年齢Gr	DCAL(mSv/Bq)		ICRP(mSv/Bq)		Difference (%)	
		実効線量	甲状腺	実効線量	甲状腺	実効線量	甲状腺
蒸気	成人	1.98E-05	3.93E-04	2.0E-05	3.9E-04		
	15歳	3.12E-05	6.19E-04	3.1E-05	6.2E-04		
	10歳	4.77E-05	9.47E-04	4.8E-05	9.5E-04		
	5歳	9.42E-05	1.87E-03	9.4E-05	1.9E-03		
	1歳	1.63E-04	3.24E-03	1.6E-04	3.2E-03		
	乳児	1.67E-04	3.33E-03	1.7E-04	3.3E-03		
ヨウ化メチル	成人	1.54E-05	3.07E-04	1.5E-05	3.1E-04		
	15歳	2.43E-05	4.83E-04	2.4E-05	4.8E-04		
	10歳	3.71E-05	7.39E-04	3.7E-05	7.4E-04		
	5歳	7.34E-05	1.46E-03	7.4E-05	1.5E-03		
	1歳	1.27E-04	2.53E-03	1.3E-04	2.5E-03		
	乳児	1.30E-04	2.60E-03	1.3E-04	2.6E-03		
粒子	成人	7.39E-06	1.47E-04	7.4E-06	1.5E-04		
	15歳	1.12E-05	2.23E-04	1.1E-05	2.2E-04		
	10歳	1.86E-05	3.70E-04	1.9E-05	3.7E-04		
	5歳	3.66E-05	7.29E-04	3.7E-05	7.3E-04		
	1歳	7.16E-05	1.43E-03	7.2E-05	1.4E-03		
	乳児	7.21E-05	1.43E-03	7.2E-05	1.4E-03		

表 2 に示した ^{131}I 甲状腺残留率のシステム間の比較検証の結果から、MONDAL と IDEC の差異は摂取から 30 日以内で概ね 10%程度以内であったが、30 日以降では両者の違いが顕著になる年齢群が見られた。一方、MONDAL と DCAL では両者はほぼ一致し、10%以上の差異が生じたのは乳児（0 歳児）の摂取 70 日以降のみであった。また表 3 に示した線量係数の検証結果から、IDEC により計算された実効線量係数と甲状腺等価線量係数は、若年齢群の有効数字 2 桁目において ICRP CD1 との若干の差異が認められたが、DCAL に関しては有効数字 2 桁で ICRP CD1 とほぼ完全に一致した。

以上の結果から、甲状腺被ばく線量モニタリングの実施期間に対応する摂取から概ね 30 日までの期間では、比較検証に用いた 3 システムのいずれを用いても線量計算は同等に行えると考えられる。MONDAL と IDEC については、モニタリングデータに基づく線量計算を行う機能があるため、摂取 7 日後または 30 日後に、甲状腺中に ^{131}I を 1,000 Bq 検出した場合の実効線量及び甲状腺線量を求め、両システムの結果を比較した（表 4）。同表に示すとおり、摂取 30 日後の計算では両システムの差異が 10%を超える場合も認められたが、概ね 10%以内に収まった。

DCAL が ICRP 刊行物に示された線量係数の計算に用いられたことを鑑みると、DCAL を用いて線量計算を行うのは最も妥当であると思われる。ただし、DCAL 及び IDEC とともに最近の OS 環境（Windows 11 など）に対応しきれておらず、正常に動作しない場合があることに留意する必要がある²。なお、IDEC については現在公開されていない。甲状腺残留率については、DCAL と IDEC では離散的な経過日数に対応した数値しか出力³されなかったのに対し、MONDAL では摂取 1 日以内では 0.1 日刻み、以降は 1 日毎の等間隔刻みで計算された残留率・排泄率のデータセットが格納されており、甲状腺被ばく線量モニタリングのように、計測が一定期間、毎日継続され、スプレッドシート等を用いて多数の被検者の測定結果から線量計算を行う場合などは、MONDAL の利便性は高い。

前述した年齢別 ^{131}I 甲状腺残留率のシステム間の差異については、移行係数及び比実効エネルギーの年齢補間の取扱いの違いによる可能性が指摘された。ICRP Publication 71 には、公衆の線量係数を導出する際、移行係数については年齢の線形補間（par. 19）、比実効エネルギーについては体重の逆数に基づく年齢補間を行うことが記載されている（par. 73）。ICRP は 6 つの年齢区分を定義し、それぞれに移行係数や臓器重量等の数値を与えているが、これらの数値は生後特定の経過日数について定めたものと推察される⁴。成人以外の年齢群の線量係数については、被ばく時年齢から 70 歳までの積分計算を行うことになるが、成人の年齢に到達する前までは、前述の方法によって移行係数と比実効エネルギーを年齢に応じて変更しながら計算が実行される。ただし、この年齢補間の方法については具体的な情報（例えば、同一の移行係数等を適用する積分間隔など）は示されていない。一方、MONDAL では体内動態モデルの計算において移行係数の年齢補間は行っておらず、乳児の甲状腺残留率において摂取 70 日目以降に DCAL との差異が若干大きくなった原因の一つはこ

² DCAL のユーザーマニュアルによれば、DCAL system v.8.4 (2006) の動作環境は Windows 98/NT/2000/XP である。本調査では、Windows 11 環境で動作できなかったため、Windows XP 環境（Windows 7 virtual PC）において DCAL を動作した。IDEC は過去にダウンロードしたインストーラーを用いて Windows 11 環境の PC にセットアップした。ほぼ機能は実行できたものの、グラフ描画機能が動作しなかった。

³ 標準条件において線量係数を計算する過程で出力されるデータファイル。DCAL では拡張子 ACT ファイル、IDEC では tabledat ファイル（番号 008 が甲状腺残留率）。

⁴ DCAL のユーザーマニュアルには次の記述がある。Infant (100 d), 1y (365 d), 5y (1,825 d), 10y (3,650 d), 15y (5,475 d), adult: age 20 y (7,300 d) or 25 y (9,125 d) for bone seekers

のためと推察される。すなわち、乳児に割り当てられた移行係数を1歳になるまで変更せずに用いるMONDALに対し、乳児と1歳に割り当てられた移行係数を年齢補間して計算するDCALでは、加齢とともに移行係数が減少（コンパートメント間の輸送量が小さくなる）する効果が考慮されるために、MONDALの方がDCALに比べて甲状腺残留率が小さくなったと考えられる。年齢補間による移行係数の勾配は、乳児と1歳児の間が最も大きく、甲状腺残留率の2システム間の差も同様な結果であった。線量係数の計算において移行係数の年齢補間を考慮する必要のない成人については、MONDALとDCALは共に有効数字3桁で差異は0.5%未満に収まっている。なお、検証対象とした¹³¹Iの物理半減期は約8日であり、70歳までの単位摂取量当たりの総線量を与える線量係数に対して、摂取から1カ月以降に加算される線量はほとんど寄与しない。公衆に適用する移行係数等の年齢補間は、実効半減期の長い核種の線量係数や残留率・排泄率の計算には小さくない影響を与える可能性があるが、本調査では指摘だけに留める。

表 4(1). MONDAL と IDEC のモニタリングデータに基づく線量計算機能の比較
(吸入摂取7日後に甲状腺中に¹³¹Iを1,000Bq検出したときの線量)

性状	年齢Gr	MONDAL (Sv)		IDEC (Sv)		Difference (%)	
		実効線量	甲状腺	実効線量	甲状腺	実効線量	甲状腺
蒸気	成人	1.4E-04	2.8E-03	1.4E-04	2.8E-03		
	15歳	2.2E-04	4.5E-03	2.2E-04	4.5E-03		
	10歳	3.5E-04	6.9E-03	3.5E-04	6.9E-03		
	5歳	7.6E-04	1.5E-02	7.6E-04	1.5E-02		
	1歳	1.4E-03	2.8E-02	1.4E-03	2.8E-02		
	乳児	1.6E-03	3.1E-02	1.7E-03	3.3E-02	6.2%	6.5%
ヨウ化メチル	成人	1.4E-04	2.8E-03	1.4E-04	2.8E-03		
	15歳	2.2E-04	4.4E-03	2.2E-04	4.4E-03		
	10歳	3.5E-04	6.9E-03	3.4E-04	6.8E-03	-2.9%	-1.4%
	5歳	7.7E-04	1.6E-02	7.4E-04	1.5E-02	-3.9%	-6.3%
	1歳	1.5E-03	2.8E-02	1.5E-03	2.8E-02		
	乳児	1.6E-03	3.2E-02	1.7E-03	3.2E-02	6.2%	
粒子	成人	1.4E-04	2.9E-03	1.4E-04	2.8E-03		-3.4%
	15歳	2.2E-04	4.4E-03	2.2E-04	4.4E-03		
	10歳	3.5E-04	6.9E-03	3.5E-04	6.7E-03		-2.9%
	5歳	7.7E-04	1.5E-02	7.5E-04	1.5E-02	-2.6%	
	1歳	1.4E-03	2.8E-02	1.4E-03	2.8E-02		
	乳児	1.6E-03	3.1E-02	1.6E-03	3.2E-02		3.2%

表 4(2). MONDAL と IDEC のモニタリングデータに基づく線量計算機能の比較
(吸入摂取 30 日後に甲状腺中に ^{131}I を 1,000Bq 検出したときの線量)

性状	年齢Gr	MONDAL (Sv)		IDEC (Sv)		Difference (%)	
		実効線量	甲状腺	実効線量	甲状腺	実効線量	甲状腺
蒸気	成人	1.2E-03	2.4E-02	1.2E-03	2.4E-02		
	15歳	2.0E-03	3.9E-02	1.8E-03	3.6E-02	-10.0%	-7.7%
	10歳	3.2E-03	6.2E-02	2.8E-03	5.5E-02	-12.5%	-11.3%
	5歳	9.2E-03	1.9E-01	8.2E-03	1.7E-01	-10.9%	-10.5%
	1歳	2.2E-02	4.5E-01	2.1E-02	4.2E-01	-4.5%	-6.7%
	乳児	3.3E-02	6.5E-01	3.2E-02	6.3E-01	-3.0%	-3.1%
ヨウ化メチル	成人	1.2E-03	2.4E-02	1.1E-03	2.3E-02	-8.3%	-4.2%
	15歳	2.0E-03	3.9E-02	1.9E-03	3.8E-02	-5.0%	-2.6%
	10歳	3.1E-03	6.3E-02	2.8E-03	5.7E-02	-9.7%	-9.5%
	5歳	9.3E-03	1.9E-01	8.8E-03	1.8E-01	-5.4%	-5.3%
	1歳	2.3E-02	4.5E-01	2.0E-02	3.9E-01	-13.0%	-13.3%
	乳児	3.3E-02	6.6E-01	3.4E-02	6.6E-01	3.0%	
粒子	成人	1.2E-03	2.5E-02	1.1E-03	2.3E-02	-8.3%	-8.0%
	15歳	1.9E-03	3.9E-02	1.9E-03	3.8E-02		-2.6%
	10歳	3.2E-03	6.2E-02	3.0E-03	5.9E-02	-6.3%	-4.8%
	5歳	9.4E-03	1.9E-01	7.8E-03	1.6E-01	-17.0%	-15.8%
	1歳	2.3E-02	4.5E-01	2.3E-02	4.4E-01		-2.2%
	乳児	3.3E-02	6.4E-01	3.4E-02	6.7E-01	3.0%	4.7%

3.2. 甲状腺被ばく線量モニタリング結果から線量計算を行う際に考慮すべき事項

業務委託内容に基づき、以下(1)から(5)に関する事項について検討を行った結果について順に記述する。

(1) 放射性ヨウ素の化学的性状による線量推計への影響

甲状腺中の ^{131}I を直接測定し、その結果に基づき線量推計を行う場合は、表 4 及び図 2 に例示するように、ヨウ素の化学的性状の違いは線量にほとんど影響しない。 ^{131}I の甲状腺等価線量係数（以下、本項では単に線量係数と表記）は化学的性状間で比較的大きな差があるものの、何故このような結果になるかを以下に解説する。

ICRP は、ヨウ素の化学的性状として、蒸気状（元素状）ヨウ素、ヨウ化メチル、粒子状ヨウ素の 3 種類を定義し、それぞれのヒト呼吸気道モデルにおける初期沈着割合及び吸収の取扱いを次のように決めている⁽²⁴⁾。

(ICRP Publication 71 の記載)

- 蒸気状ヨウ素…クラス SR-1（100%沈着）及びタイプ F のクリアランス（par. 195）
- ヨウ化メチル…クラス SR-1（70%沈着）及びタイプ V のクリアランス（par. 196）
- 粒子状ヨウ素…呼吸気道各領域に沈着（空気力学的放射能中央径が 1 μm の場合、呼吸気道全体で約 50%沈着）及びタイプ F のクリアランス（par. 197）

ここで、摂取 (intake) とは、吸入、経口、皮膚 (創傷部位) を介して、放射性核種が体内に取り込まれる行為や過程のことであり、呼気によって即座に体外に排出される分についても摂取した量と見なされる。¹³¹I の吸入摂取による線量係数の違いは、主として呼吸器官全体における各化学的性状の沈着割合の差異による。これは、いずれの化学的性状であっても、吸入後に呼吸器官に沈着したヨウ素は速やかに血中に吸収され⁵、以後の体内同位体は同じだからである。

ICRP の体内動態モデルでは、年齢に関係なく血中ヨウ素の 70%が尿中に排泄され、残り 30%は甲状腺に移行するとしている⁽²¹⁾。甲状腺中のヨウ素は、残りの部位を介して血中に再循環されるが、その過程で徐々に体外に排出されていく。この体内動態モデルに従って計算すると、摂取から 24 時間以降は全身に残留するヨウ素の大半は甲状腺に集積することになる。甲状腺に集積した ¹³¹I から放出される β線と γ線の内、甲状腺に与える線量の大半は β線によってもたらされる⁽³¹⁾。β線は甲状腺内ではほぼ吸収されることから、甲状腺の体積や重量が甲状腺線量に直接的に影響する。甲状腺の線量係数が若年になるほど高くなるのは正にこのためであり、各年齢群で定義した甲状腺重量の違いによるものである。甲状腺重量は成人で 20.0 g、1 歳児では 1.78 g であり⁽²⁴⁾、両者には 10 倍以上の開きがあるが、線量係数の違いも同様な傾向となっている。

最初の論点に戻るが、甲状腺中の ¹³¹I に基づく線量推計がヨウ素の化学的性状に依存しないのは、ヨウ素の体内動態や甲状腺または全身の線量が甲状腺中の ¹³¹I 残留量によって決定される (換言すれば、線源となった甲状腺から他組織への線量付与、線源となった他組織からの甲状腺への線量付与がともに無視できる程度に小さい) ことを考えれば自然な結果と言える。化学的性状 *i* のヨウ素の摂取による甲状腺線量 H_i は次式で計算される。

$$H_i = \frac{M}{R_i(t)} \cdot e_i$$

ここで、 M は測定値 (甲状腺中の ¹³¹I 残留量)、 $R_i(t)$ は化学的性状 *i* の摂取からの測定までの経過時間 t を変数とする甲状腺残留率、 e_i は化学的性状 *i* の線量係数である。

上式中の線量係数と甲状腺残留率の商 (e/R) を MONDAL により計算した結果、摂取からの経過日数が 100 日までで、化学的性状による差は数%以内であった (表 5)。また、摂取シナリオを経口としても、甲状腺残留量に基づく線量推定の結果は吸入摂取の場合とほとんど変わらない結果であった。これは、ヨウ素の化学的性状に係る不確実性による影響を強く受ける環境モニタリングに基づく線量推計と比較して、甲状腺中ヨウ素の実測に基づく線量推計の大きな利点とすることができる。

⁵ タイプ F は沈着成分の 100%が 10 分間の半減期で呼吸器官から血中に吸収。タイプ V は即座に血中に吸収。

- 放射線ヨウ素の化学的性状による線量推計への影響について

吸入摂取7日後に甲状腺中に1,000Bqの¹³¹Iを検出した場合の甲状腺等価線量

吸入摂取に伴う¹³¹Iの甲状腺等価線量係数(Sv/Bq intake)

性状	乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
蒸気状	3.3E-06	3.2E-06	1.9E-06	9.5E-07	6.2E-07	3.9E-07
ヨウ化メチル	2.6E-06	2.5E-06	1.5E-06	7.4E-07	4.8E-07	3.1E-07
粒子*	1.4E-06	1.4E-06	7.3E-07	3.7E-07	2.2E-07	1.5E-07

*空気力学的放射能中央径(AMAD):1 μm

吸入摂取7日後の¹³¹Iの甲状腺残留率(Bq/Bq intake)

性状	乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
蒸気状	1.05E-01	1.14E-01	1.24E-01	1.37E-01	1.38E-01	1.39E-01
ヨウ化メチル	8.21E-02	8.89E-02	9.66E-02	1.07E-01	1.08E-01	1.09E-01
粒子*	4.52E-02	4.99E-02	4.78E-02	5.38E-02	4.97E-02	5.21E-02

*空気力学的放射能中央径(AMAD):1 μm



甲状腺等価線量(mSv)

性状	乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
蒸気状	31.4	28.1	15.3	6.9	4.5	2.8
ヨウ化メチル	31.7	28.1	15.5	6.9	4.4	2.8
粒子*	31.0	28.1	15.3	6.9	4.4	2.9

図 2. 放射線ヨウ素の化学的性状の違いによる線量推計への影響 (MONDAL による計算)

表 5. 摂取 100 日までの e/R の化学的性状による差異 (MONDAL による計算)

ヨウ化メチル (e/R) の蒸気状ヨウ素 (e/R) に対する比						
	乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
最大値	1.02	1.01	1.02	1.00	1.00	1.02
最小値	1.00	1.00	1.01	0.99	0.99	1.01
粒子状ヨウ素 (e/R) の蒸気状ヨウ素 (e/R) に対する比						
	乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
最大値	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	1.03
最小値	0.99	1.00	0.99	0.99	0.98	1.02

(2) 測定対象者の年齢層を考慮した線量係数 (生理学的パラメータ) 等の整理

図 3 に ICRP Publication 56 等に示されたヨウ素の体内動態モデル及び年齢別移行係数を示す。血中から甲状腺への移行割合は、前述のとおり全ての年齢群で共通で 0.3 が設定されている。この数値は、平均的な日本人の数値と比べて幾分高いものの^(32, 33)、個人差も大きいことから、特段の理由が無い限り、日本人固有の移行係数を考慮する必要は無いように思われる。一方、体内動態モデル中の甲状腺及び残りの臓器におけるヨウ素の生物学的半減期は若年層ほど短く、図 4 に示すように経過時間とともに甲状腺残留率の年齢間の差異が大きくなる。

表 6 には ^{131}I の吸入摂取による線量推計のための参考データを示した。甲状腺線量係数の年齢間の違いは大きく、1 歳児と成人では 8.2 倍の開きがあるが、吸入摂取では各年齢群の呼吸量を考慮する必要があるため、同一環境における曝露状況を想定した場合は両者の線量の差異は 2 倍程度に収まると試算される。同表には、各年齢群において ^{131}I の吸入摂取により甲状腺線量が 100 mSv に到達する 1 週間の空气中平均濃度等も併せて示した。緊急時モニタリングからヨウ素の積分空气中濃度が得られれば、当該地域の吸入線量を見積もることが出来る。

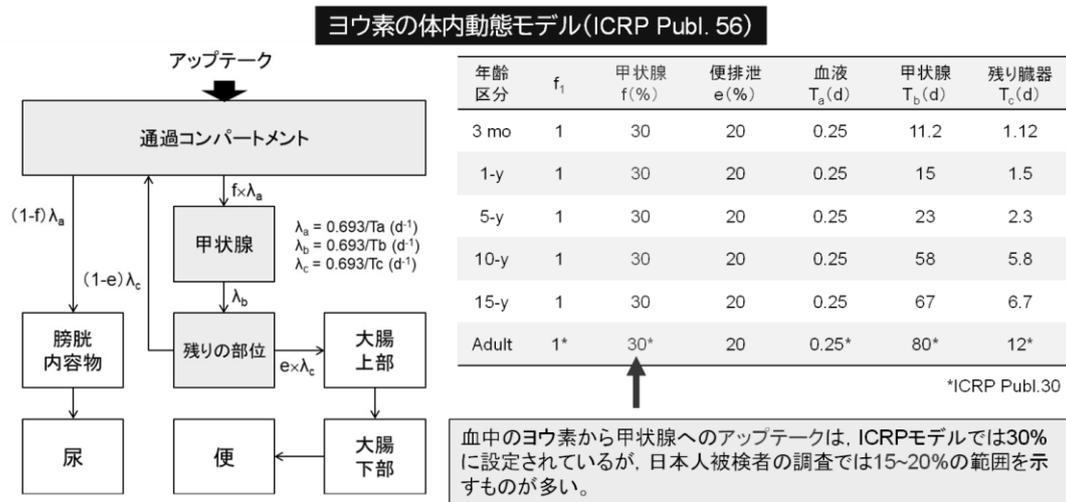


図 3. ヨウ素の体内動態モデル及び年齢別移行係数

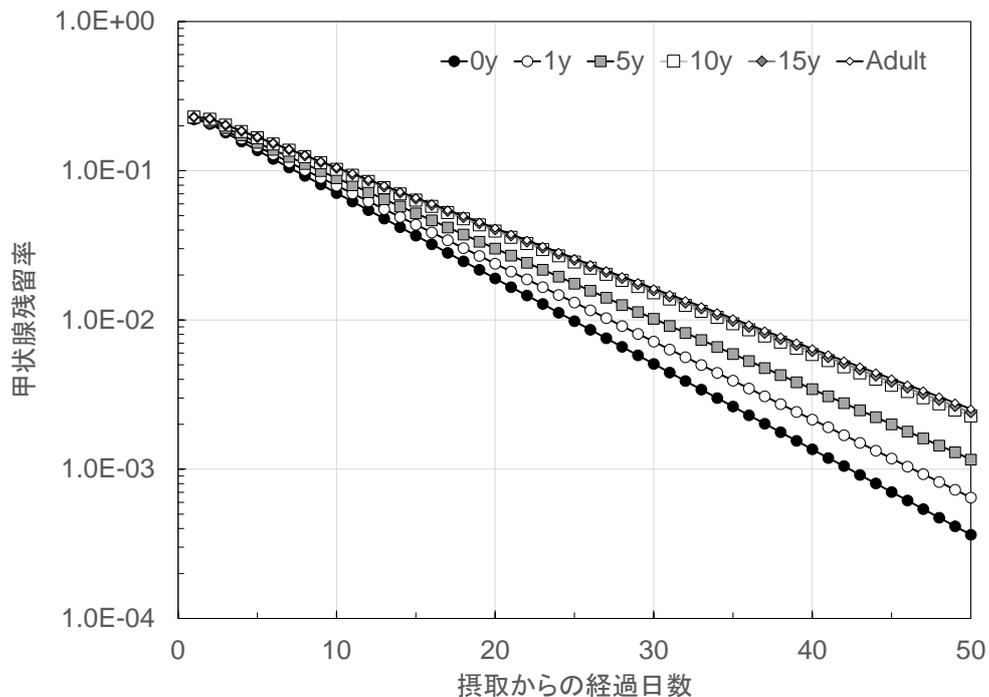


図 4. ^{131}I の年齢別甲状腺残留率 (蒸気状ヨウ素の吸入摂取, MONDAL による計算)

表 6. ¹³¹I の吸入摂取による線量推計のための参考データ

評価対象 (年齢)	乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児 (男性)	成人 (男性)
¹³¹ I甲状腺線量係数※ (mSv/Bq)	3.3E-03	3.2E-03	1.9E-03	9.5E-04	6.2E-04	3.9E-04
1日呼吸量 (m ³ /day)	2.86	5.16	8.72	15.3	20.1	22.2
1日呼吸量・甲状腺線量係数 の成人に対する比	1.1	1.9	1.9	1.7	1.4	1.0

※元素状ヨウ素の数値(ICRP Publ.71)

評価対象 (年齢)	乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児 (男性)	成人 (男性)
甲状腺線量100mSv相当 摂取量(Bq)	3.0E+04	3.1E+04	5.3E+04	1.1E+05	1.6E+05	2.6E+05
1週間呼吸量 (m ³ /week)	20.02	36.12	61.04	107.1	140.7	155.4
1週間平均濃度※※ (Bq/m ³ week)	1.5E+03	8.7E+02	8.6E+02	9.8E+02	1.1E+03	1.7E+03

※※1週間平均濃度:空気濾紙に1週間捕集された放射能を1週間のサンプリング流量で除して求める。
通常の空気濾紙は粒子状ヨウ素しか捕集されないため、蒸気状ヨウ素及びヨウ化メチルの割合を考慮する必要がある。

(3) 保護者等（大人）による代替測定した場合の乳幼児の被ばく線量への換算

甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル⁶⁾では、乳幼児については、測定が困難な場合には行動を共にした保護者等を測定することで乳幼児の線量を推定することが述べられている。この推定法の基礎となる考え方は検討チーム報告書⁶⁾に解説されているが、乳幼児と同じ環境で曝露した保護者の摂取量は、それぞれの年齢群に対応した呼吸量の比を用いて算出されることを仮定したものである。以下に、NaI(Tl)サーベイメータを用いる簡易測定において、保護者の代理測定によって乳幼児の甲状腺線量を算出する方法について順を追って説明する。

表 7 に各年齢群で 100 mSv の甲状腺線量に相当する NaI(Tl)サーベイメータの予測値（バックグラウンドを差し引いた正味値）を示した。この予測値は、各年齢群の 100 mSv 相当摂取量（表 6）に MONDAL に収録された ¹³¹I の甲状腺残留率を乗じて甲状腺残留量を求め、これに NaI(Tl)サーベイメータの換算係数^(34, 35)を乗じて導出した⁶⁾。また、ヨウ素の化学的性状は蒸気状を選定し、対応する線量係数及び甲状腺残留率を使用した。甲状腺中 ¹³¹I の直接測定に基づく線量推定の場合は、ヨウ素の化学的性状の違いに影響しないことは前述のとおりである。

同表中のデータを使えば、簡易測定から得られた NaI(Tl)サーベイメータの正味値 N から年齢群 i 甲状腺線量 H_i を次式に従って計算できる。

$$H_i(\text{mSv}) = 100 \cdot \frac{N}{SL_i(t)}$$

⁶⁾ NaI(Tl)サーベイメータの（甲状腺中 ¹³¹I 残留量から正味値への）換算係数は、頸部ファントム実験等の結果を参考にし、乳児から 5 歳児までは 20 kBq/μSv h⁻¹、10 歳児は 25 kBq/μSv h⁻¹、15 歳児は 30 kBq/μSv h⁻¹、成人は 35 kBq/μSv h⁻¹ とした。詳細は文献を参照のこと。

ここで、 $SL_i(t)$ は表7（または表9）中の数値であり、年齢群 i 、経過日数 t の NaI(Tl)サーベイメータの予測値（正味値）である。

一例として、吸入摂取から6日が経過した1歳児の正味値は $0.1 \mu\text{Sv h}^{-1}$ であった場合、対応する年齢と経過日数の表7中の数値は $0.2 \mu\text{Sv h}^{-1}$ であるので、甲状腺線量は $50 \text{ mSv} (=100 \text{ mSv} \times 0.1 / 0.2)$ となる。

表7. 甲状腺等価線量 100 mSv に相当する NaI(Tl)サーベイメータの予測値（正味値）

経過日数	0歳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
1	3.3E-01	3.5E-01	5.9E-01	9.6E-01	1.2E+00	1.7E+00
2	3.1E-01	3.3E-01	5.7E-01	9.3E-01	1.2E+00	1.6E+00
3	2.7E-01	2.9E-01	5.1E-01	8.5E-01	1.1E+00	1.5E+00
4	2.4E-01	2.6E-01	4.6E-01	7.7E-01	9.9E-01	1.4E+00
5	2.1E-01	2.3E-01	4.1E-01	7.0E-01	9.0E-01	1.2E+00
6	1.8E-01	2.0E-01	3.6E-01	6.4E-01	8.2E-01	1.1E+00
7	1.6E-01	1.8E-01	3.3E-01	5.8E-01	7.4E-01	1.0E+00
8	1.4E-01	1.6E-01	2.9E-01	5.2E-01	6.8E-01	9.3E-01
9	1.2E-01	1.4E-01	2.6E-01	4.8E-01	6.1E-01	8.4E-01
10	1.1E-01	1.2E-01	2.3E-01	4.3E-01	5.6E-01	7.7E-01
11	9.4E-02	1.1E-01	2.1E-01	3.9E-01	5.1E-01	7.0E-01
12	8.3E-02	9.8E-02	1.9E-01	3.6E-01	4.6E-01	6.4E-01
13	7.2E-02	8.6E-02	1.7E-01	3.2E-01	4.2E-01	5.8E-01
14	6.3E-02	7.7E-02	1.5E-01	2.9E-01	3.8E-01	5.3E-01
15	5.6E-02	6.8E-02	1.4E-01	2.7E-01	3.5E-01	4.8E-01
16	4.9E-02	6.0E-02	1.2E-01	2.4E-01	3.2E-01	4.4E-01
17	4.3E-02	5.3E-02	1.1E-01	2.2E-01	2.9E-01	4.0E-01
18	3.7E-02	4.7E-02	9.8E-02	2.0E-01	2.6E-01	3.6E-01
19	3.3E-02	4.2E-02	8.8E-02	1.8E-01	2.4E-01	3.3E-01
20	2.9E-02	3.7E-02	7.9E-02	1.7E-01	2.2E-01	3.0E-01

□ スクリーニングレベル(0.2 $\mu\text{Sv/h}$)以上

NaI(Tl)サーベイメータの換算係数は次のとおり: 20 $\mu\text{Sv h}^{-1}/\text{kBq}$ (0-5歳児), 25 $\mu\text{Sv h}^{-1}/\text{kBq}$ (10歳児), 30 $\mu\text{Sv h}^{-1}/\text{kBq}$ (15歳児), 35 $\mu\text{Sv h}^{-1}/\text{kBq}$ (成人)

次に保護者等による代替測定によって乳幼児の線量推定を行う場合を考える。検討チーム報告書によれば、乳児（0歳児）、1歳児群（1~2歳）、5歳児群（3~7歳）までの子供が代替測定の対象となる。甲状腺線量 100 mSv に相当する吸入摂取をした子供について、代替測定を行う保護者（成人）の ^{131}I 摂取量は表8に示すとおり計算される。この ^{131}I 摂取量を成人の甲状腺残留率に乗じれば、子供の甲状腺線量が 100 mSv になる保護者の正味値が得られる（表9）。代替測定を行う保護者の ^{131}I 摂取量は、成人の甲状腺線量 100 mSv に相当する摂取量（ $2.56\text{E}+06 \text{ Bq}$ ）に対して、乳児（0歳児）では 0.92 倍、1歳児群（1~2歳）では 0.52 倍、5歳児群（3~7歳）では 0.52 倍となった。子供の線量計算は前述した代替測定をしない場合の手順と同様に、表9中の数値と正味値の比例計算によって行うことができる。

表7及び表9に示した各年齢のNaI(Tl)サーベイメータの正味値を、摂取からの経過日数を変数として図5及び図6に示した。図6は検討チーム報告書にも示されているが、図5に示した代替測定をしない場合に比べて、摂取から1週間後以降は1歳児群未満に対して適用が困難であったスクリーニングレベル（正味値で0.2 μSv h⁻¹）の適用が克服できることを示唆している。代替測定によって、簡易測定は最初の摂取イベントから約3週間までを目安として行うこととされている。図5及び図6から示されるように、乳幼児（0～5歳児）についてはスクリーニングレベルの運用が約10日程度延長できることが再確認された。

表8. 代替測定を行う保護者（成人）の¹³¹I摂取量

年齢区分	乳児(0歳児)	1歳児	5歳児
(A)甲状腺線量100mSv相当摂取量(Bq)	3.03E+04	3.13E+04	5.26E+04
(B)成人の呼吸量/対象年齢群の呼吸量	7.76	4.30	2.25
保護者(成人)の摂取量(A×B)(Bq)	2.35E+05	1.34E+05	1.34E+05
成人摂取量(100mSv相当)との比	0.92	0.52	0.52

表9. 甲状腺等価線量 100 mSv に相当する NaI(Tl)サーベイメータの予測値（正味値）
保護者による代替測定を行う場合

表7(本人測定の場合)と同じ

経過日数	0歳児(代替)	1歳児(代替)	5歳児(代替)	10歳児	15歳児	成人
1	1.5E+00	8.8E-01	8.8E-01	9.6E-01	1.2E+00	1.7E+00
2	1.5E+00	8.6E-01	8.5E-01	9.3E-01	1.2E+00	1.6E+00
3	1.4E+00	7.8E-01	7.8E-01	8.5E-01	1.1E+00	1.5E+00
4	1.2E+00	7.1E-01	7.1E-01	7.7E-01	9.9E-01	1.4E+00
5	1.1E+00	6.5E-01	6.4E-01	7.0E-01	9.0E-01	1.2E+00
6	1.0E+00	5.9E-01	5.9E-01	6.4E-01	8.2E-01	1.1E+00
7	9.3E-01	5.3E-01	5.3E-01	5.8E-01	7.4E-01	1.0E+00
8	8.5E-01	4.9E-01	4.9E-01	5.2E-01	6.8E-01	9.3E-01
9	7.7E-01	4.4E-01	4.4E-01	4.8E-01	6.1E-01	8.4E-01
10	7.1E-01	4.0E-01	4.0E-01	4.3E-01	5.6E-01	7.7E-01
11	6.4E-01	3.7E-01	3.7E-01	3.9E-01	5.1E-01	7.0E-01
12	5.9E-01	3.3E-01	3.3E-01	3.6E-01	4.6E-01	6.4E-01
13	5.3E-01	3.0E-01	3.0E-01	3.2E-01	4.2E-01	5.8E-01
14	4.9E-01	2.8E-01	2.8E-01	2.9E-01	3.8E-01	5.3E-01
15	4.4E-01	2.5E-01	2.5E-01	2.7E-01	3.5E-01	4.8E-01
16	4.0E-01	2.3E-01	2.3E-01	2.4E-01	3.2E-01	4.4E-01
17	3.7E-01	2.1E-01	2.1E-01	2.2E-01	2.9E-01	4.0E-01
18	3.3E-01	1.9E-01	1.9E-01	2.0E-01	2.6E-01	3.6E-01
19	3.0E-01	1.7E-01	1.7E-01	1.8E-01	2.4E-01	3.3E-01
20	2.8E-01	1.6E-01	1.6E-01	1.7E-01	2.2E-01	3.0E-01

□ スクリーニングレベル(0.2μSvh)以上

NaI(Tl)サーベイメータの換算係数は次のとおり: 20 μSv h⁻¹/kBq (0-5歳児), 25 μSv h⁻¹/kBq (10歳児), 30 μSv h⁻¹/kBq (15歳児), 35 μSv h⁻¹/kBq (成人)

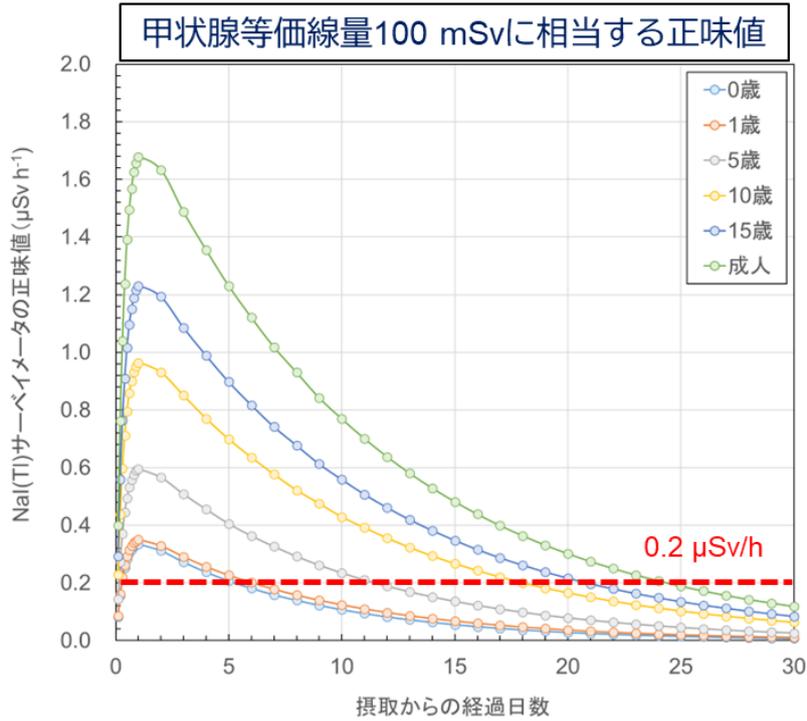


図 5. ^{131}I の吸入摂取による甲状腺線量 100 mSv に相当する NaI(Tl)サーベイメータの正味値

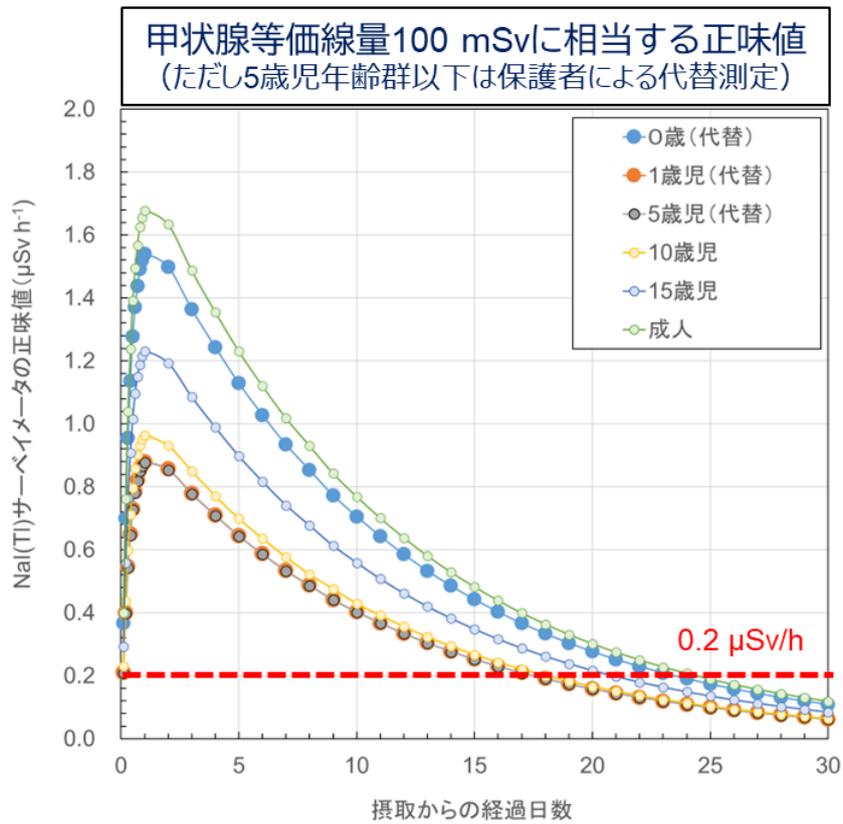


図 6. ^{131}I の吸入摂取による甲状腺線量 100 mSv に相当する NaI(Tl)サーベイメータの正味値 (0 歳, 1 歳及び 5 歳は代替測定)

(4) ホールボディカウンタ等を用いた代替測定による線量推計

福島原発事故における住民の初期内部被ばく線量推計では、甲状腺中ヨウ素の実測データが十分に得られなかったことから、事故発生の数ヶ月後から開始されたホールボディカウンタ（WBC）測定の結果が使われた経緯がある⁽³⁵⁻³⁸⁾。同計測は放射性セシウム（ ^{134}Cs 及び ^{137}Cs ）を測定対象としており、事故発生の日（2011年3月12日）を摂取日とする急性吸入摂取シナリオを適用して、被検者の実効線量が評価された⁽²⁰⁾。実効線量から ^{131}I による甲状腺線量を推定するには、 ^{131}I と ^{137}Cs （または ^{134}Cs ）の摂取量比を導出する必要があり、以下の方法が検討された。

1. 体外計測（WBC測定や甲状腺測定）において ^{131}I と ^{137}Cs （または ^{134}Cs ）の両方が検出された人の測定結果を用いて、 ^{131}I と ^{137}Cs （または ^{134}Cs ）のそれぞれの摂取量から比を導出する方法^(36, 39)。
2. 同一地域の住民を対象とした甲状腺計測とWBC計測からそれぞれ ^{131}I と ^{137}Cs （または ^{134}Cs ）の摂取量分布を求め、共通の確率頻度値（例えば90パーセンタイル値）における摂取量比を導出する方法^(37, 38, 40)。
3. 環境モニタリングまたは大気拡散シミュレーションから得られた ^{131}I と ^{137}Cs （または ^{134}Cs ）の当該地域の積分大気中濃度比を用いる方法⁽⁴¹⁾。

1と2の方法は個人モニタリング、3の方法は環境モニタリングに基づく⁷。前者に関しては様々な研究が報告されており、条件が異なるため単純に比較はできないものの、環境モニタリングから評価される ^{131}I と ^{137}Cs （または ^{134}Cs ）の大気中濃度比に比べて、個人モニタリングから導出された摂取量比は総じて低い結果であった⁽⁴²⁾。この要因としては、①日本人の平均的なヨウ素の甲状腺アップテークがヨウ素の体内動態モデルで用いられる数値（0.3）に比べて小さいため、空气中濃度から計算される摂取量に見合うヨウ素が甲状腺に集積されなかったこと、②WBC測定値からセシウムによる実効線量を算出する際に保守的な急性摂取シナリオが設定されたため、測定が遅くなるほど偶発的な摂取イベント等によりセシウム摂取量を過大評価したこと、等の可能性が考えられた。②については、WBC測定値を有する被検者のセシウム残留量と行動調査の解析から、一時帰宅（2巡目）の際の汚染物の持ち出しがWBC測定に影響した可能性も指摘されている⁽⁴³⁾。

以上から、WBC測定に基づく甲状腺線量の推計には不確かさを伴い、特に時間が経過したWBC測定値を用いる場合は信頼性が低くなることに留意する必要がある。検討委員会からも、本法はあくまでも甲状腺被ばく線量モニタリングの詳細測定の実施期間（吸入摂取から4週間程度）を超える場合の補完と扱われるべきであり、同モニタリングを確実に実施することに注力すべきとの意見があった。防災基本計画等では、放射性セシウムの経口摂取の状況を把握するために住民のWBC測定を行うとしているが⁽⁴⁾、この結果を甲状腺線量の推計に利用するのであれば、 ^{131}I と ^{137}Cs （または ^{134}Cs ）の摂取量比を個人差や

⁷ 大気拡散シミュレーションに設定するソースターム（放射性核種の放出率の経時変化）は環境モニタリングの結果を参考にして評価される。

地域差による違いも把握した上で適切に評価する必要がある。そのためには、甲状腺詳細測定の対象者に対して WBC 測定を行うことが考えられる (図 7) (44)。

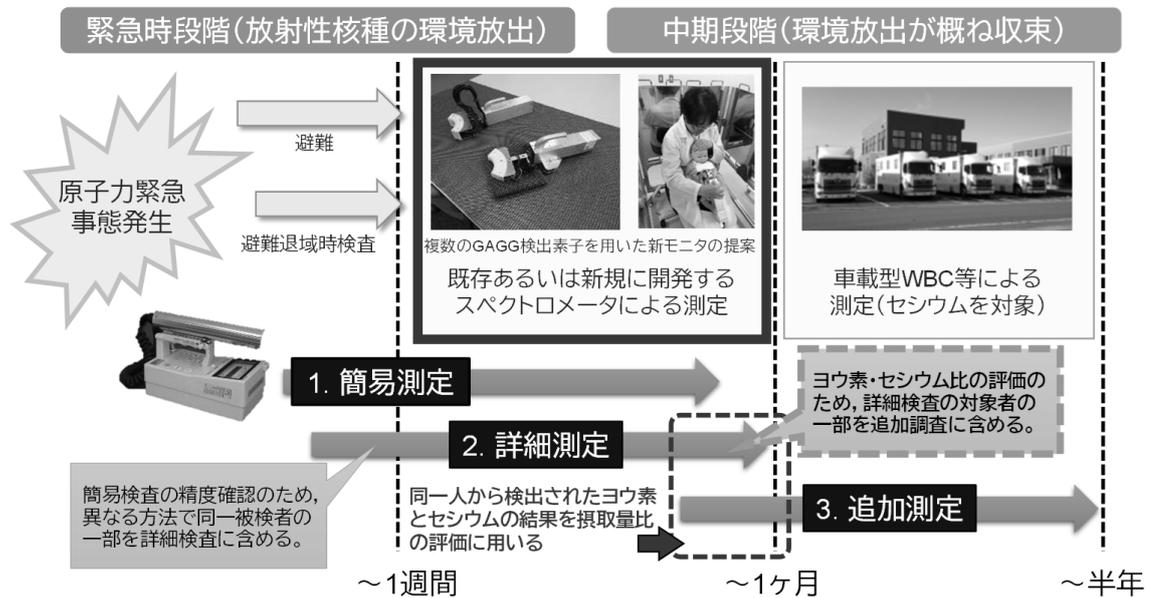


図 7. 公衆の内部被ばく線量推計のためのモニタリングの考え方の一例

※Kurihara et al.の文献(44)にある図を改編して作成

(5) 線量推計に必要な情報

内部被ばく線量推計の手順は図 1 に示すとおりであり、測定値 (甲状腺中 ^{131}I 残留量) に残留率・排泄率を適用して摂取量を推定し、これに線量係数を乗じることで線量が算定される。残留率・排泄率は摂取から測定までの経過時間を変数とする関数であり、年齢群ごとに異なる。放射性物質の拡散状況と行動情報 (避難経路, 避難開始時刻, 経口摂取の可能性の有無等) が得られれば、後述するように詳細な摂取シナリオを設定することができるが、甲状腺簡易測定の段階では単純かつ保守的な急性摂取 (単回摂取) シナリオを用いることが適切と考えられる。線量推計に必要な情報は、個人モニタリングの実施の際に、収集することが合理的であると思われる(45, 46)。表 10 に内部被ばく線量推計を含む甲状腺被ばく線量モニタリングに必要な情報となる情報を整理した。

表 10. 甲状腺被ばく線量モニタリングに係る情報項目

項目	備考
被検者の氏名	被検者名簿の作成, 測定時の本人確認等で必要 (※線量推計自体には不要)
被検者の連絡先	自治体から本人への線量推計結果等の通知の際に必要な (※線量推計自体には不要)
被検者の年齢/性別	年齢は線量係数及び甲状腺残留率が年齢に依存するために必要。性別は線量推計に必ずしも必須でないが, 男女間で線量分布に差が生じることもあるため(43), 詳細な調査を行う際の参考になる。
測定場所	自治体からモニタリング対象者への連絡事項 (※線量推計自体には不要)

測定結果	甲状腺計測値，個人バックグラウンド値，環境バックグラウンド値は，線量推計及び測定の妥当性を評価するために必要
測定日	甲状腺残留率が摂取から測定までの経過日数によって変化し，線量推計に必須となるため必要
安定ヨウ素剤の服用有無	詳細な線量推計を行う場合に必要。安定ヨウ素剤の服用時期，服用量はヨウ素の体内動態への修飾要因となる。
行動情報	詳細な線量推計を行う場合に必要
環境モニタリング	詳細な線量推計を行う場合に必要

摂取時期の特定は内部被ばく線量推計において重要なファクターである。住民の吸入摂取による内部被ばくは，当該地域に放射性プルームが到達することによって発生するため，空間線量率が有意に上昇する事象と符合すると考えられる。福島原発事故では，**図 7**に示すように福島県内の多くの地域において 3 月 15 日に空間線量率の顕著な上昇が認められており，日本原子力研究開発機構の茨城県東海村の拠点で行われた環境モニタリングからは，空間線量率の上昇とともに空气中濃度の一時的な上昇が測定されている^(47, 48)。一方，南相馬市など一部の地域では，3 月 12 日の午後に最初の空間線量率の上昇を認めており，同時期に発生した 1 号機建屋の水素爆発によって放出された放射性プルームによる曝露を裏付ける結果も得られている⁽⁴⁹⁻⁵¹⁾。なお，空間線量率の変化に着目する方法は，最初の吸入摂取イベントの特定には有効であるが，放射性プルーム通過後は放射性物質が地表に沈着することによりバックグラウンドが上昇するため，特に湿性沈着を生じた後は放射性プルームの到来を把握することが困難になる場合がある。空間線量率の時系列データが全く得られない場合は，原子炉建屋の破損やスタックからの異常放出等の状況から，保守的に摂取日を設定することが考えられる。福島原発事故における住民のホールボディカウンタ測定では，居住地域に関係なく，3 月 12 日の急性吸入摂取シナリオが適用された⁽²⁰⁾。

行動情報は推計した甲状腺被ばく線量の分析表や外部被ばく線量の推計の際にも必要となるが，その収集方法として，福島県民健康調査のように事故発生後に調査質問票を住民に送付する方法^(52, 53)を今後も採用するかは本事業のスコープから外れるが，今後の重要な検討課題になると思われる。原子力災害対策指針に基づいて策定される地域防災計画・避難計画では，地区単位で住民の避難先，避難経路，避難方法等に関する計画を詳細に定めていることから⁽⁵⁴⁾，これらの項目をデータベース化すること等により，事故直後の行動情報の収集を効率的に行える可能性がある⁽⁵⁵⁾。他にも携帯電話の GPS 機能を利用した行動情報の収集方法が考えられるが⁽⁵⁶⁾，個人情報保護や複合災害時における堅牢性（地震による基地局の機能不全等）の観点からも，フィージビリティを検討する必要がある。

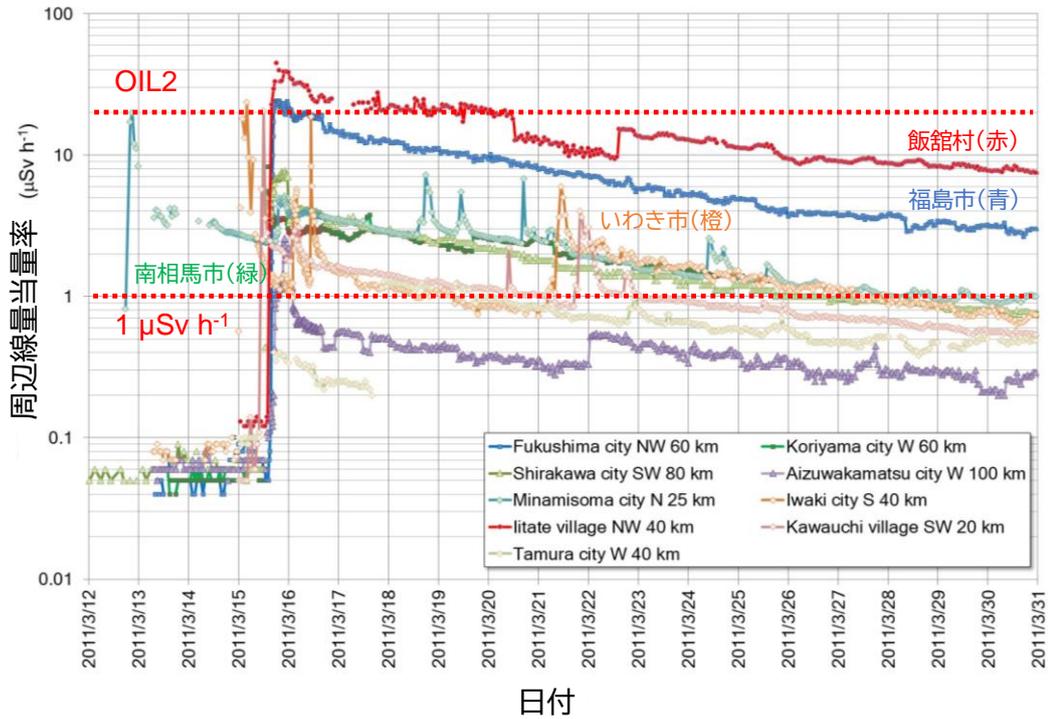


図 7. 福島原発事故後の福島県各地の周辺線量当量率の推移⁽⁵⁷⁾

3.3. 新たな線量推計方法の必要性

近年、ICRPは2007年勧告で更新された実効線量の定義を踏まえ、作業者の内部被ばく線量評価に関わる刊行物の改訂版を OIR シリーズとして出した⁽⁵⁸⁻⁶²⁾。公衆の内部被ばく線量評価に関わる刊行物についても、EIR シリーズとして今後改訂が予定されている⁽⁶³⁾。したがって EIR シリーズの刊行後に新旧モデルによる線量推計の影響等を調査する必要性が考えられるものの、現時点における新たな線量推計方法の必要性に関して、安定ヨウ素剤の服用による影響以外は、検討委員会からは特段の意見は聞かれなかった。この影響については、CATHYMAR プロジェクトレポート⁽⁴⁶⁾において詳細に検討されている。それによれば、¹³¹I の摂取から 3 日以降に甲状腺残留量の測定を行うことで、通常の推計方法が適用できるということであった。ただし、甲状腺ブロックによって甲状腺以外の組織への ¹³¹I の移行量が増加することになるため、その線量は相対的に小さいと予想されるが、高線量被ばく者については詳細に評価を進める必要があるかもしれない。その他、チェルノブイリ原発事故の線量推計において検討された①乳児や胎児に対する評価^(64, 65)、及び、②¹³¹I 以外の短寿命放射性核種の摂取による線量推計への影響⁽⁶⁶⁾に関して検討委員会に情報共有がなされた。詳細は本報告書の別添 1 及び別添 2 を参照されたい。

4. 甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知

福島原発事故から10年以上が経過し、その間、国や原発立地自治体等が継続してきた原子力防災の実効性向上に向けた取り組みにより、避難住民の放射線防護の一環として行う避難地域時検査⁽⁶⁷⁾については体制整備が確実に進められてきた。また、原発立地自治体では、万一の原子力事故に際しての住民が取るべき対応や必要な知識等に関して、平時における周知や理解促進を目的とした広報誌をホームページ等で公開している^(68, 69)。内閣府からも様々な原子力防災に係る資料が公開されている(図8)⁽⁷⁰⁾。このような情報提供は重要であり、端緒に着いたばかりの甲状腺被ばく線量モニタリングに関しても同様な取り組みが必要であると思われる。本事業では、業務委託内容に従って以下の資料を作成した。

- 甲状腺被ばく線量モニタリングに関する住民周知のためのパンフレット(案)…別添3
- 甲状腺被ばく線量モニタリングに関する住民周知のための動画素材(案)…別添4

なお、本事業の検討委員会からは、住民の個人モニタリングに際しての対応や測定結果の説明等に関する方法に関して、福島原発事故での住民のホールボディカウンタ測定等の経験が参考になるとの意見が出された。重要な指摘であり今後検討すべき課題ではあるものの、本事業の範囲を超えるため⁸、ここでは参考資料の紹介に留める⁽⁷¹⁾。



図8. 原子力防災に関する資料の一例(内閣府)

⁸ 甲状腺被ばく実施マニュアルでは測定データの管理に関する事項に関して定めており、簡易測定において、測定値(正味値)について、被検者本人からの請求により伝達する窓口等を設置する。また、これらの情報は、個人情報保護の関係法令や関係条例に従い適切に取り扱う旨の説明がある。本事業における住民周知は、平時あるいは測定前における住民等の甲状腺被ばく線量モニタリングに対する理解促進に主眼を置いた。

5. まとめ

原子力規制庁の令和 5 年度原子力施設等防災対策等委託費（甲状腺の被ばく線量推計方法等に関する調査事業）について、国内外の関連文献の調査及び国内有識者から構成される検討委員会での議論を踏まえ、委託内容の各項目について以下の結果が得られた。

- 国内外で利用可能な複数の内部被ばく線量評価システムを検証した。甲状腺被ばく線量モニタリングが対象とするヨウ素-131 (^{131}I) について、測定された甲状腺中 ^{131}I 残留量に基づく線量推計の結果は、同モニタリングが行われる事故発生から概ね 1 ヶ月の期間において、いずれのシステムを用いても同等であることを確認した。このことから、福島原発事故における実績があり、現在でも入手可能、かつ、保守が行き届いている MONDAL を線量推計に利用することは適切であると思われる。なお、甲状腺簡易測定での甲状腺線量は、簡易測定から得られた NaI(Tl)サーベイメータの正味値と甲状腺等価線量 100 mSv に相当する NaI(Tl)サーベイメータの予測値（正味値）（表 7 または表 9）を用いて計算できる。
- 甲状腺中の ^{131}I を直接測定し、その結果に基く線量推計では、ヨウ素の化学的性状の不確実性を特に考慮する必要はなく、環境モニタリングに基づく線量推計と比較しての長所である。摂取経路（吸入・経口）の違いも線量推計の結果に影響を及ぼさない。
- 行動を共にした保護者等による測定が困難な子供の代替測定（甲状腺簡易測定）に際し、保護者等の測定結果から子供の線量推計を行うために用いるデータ表を作成した。また、保護者等の代替測定により、スクリーニングレベル（正味値で $0.2 \mu\text{Sv/h}$ ）をよる運用を 10 日間程度延長できることを再確認した。
- ホールボディカウンタで測定した全身セシウム残留量を用いて ^{131}I の甲状腺線量を推計するには、 ^{131}I とセシウムの摂取量比を決定する必要がある。この摂取量比の導出には大きな不確かさを伴う可能性があるため、ホールボディカウンタによる代替測定は詳細測定の実施期間（吸入摂取から 4 週間程度）を超える場合の補完的手段と位置付けられるべきであり、甲状腺被ばく線量モニタリングを所定の期間内で確実に実施するように注力することが重要である。
- 線量推計に係る参照情報としては、被検者の年齢、甲状腺被ばく線量モニタリングの測定値及び測定日、並びに、摂取日が基本となる。当座の摂取シナリオは急性吸入摂取を設定するのが適当であり、摂取日は保守的な線量推計のため当該地域において最初に空間線量率の有意な上昇を認めた日とすることが適切である。行動調査、環境モニタリング、安定ヨウ素剤の服用等の付加情報は、詳細な摂取シナリオの検討や被ばく線量の適確な評価をするための材料となる。
- 避難退域時検査と同様に、平時から甲状腺被ばく線量モニタリングの住民等への周知や理解促進が重要である。本事業では、円滑な甲状腺被ばく線量モニタリングの実施の一助となる

パンフレット及び動画素材を作成した。

福島原発事故の発生から今年で13年目となり、多くの検討や試行を経て、甲状腺被ばく線量モニタリングに関する実施マニュアルが令和5年5月31日に制定された。同マニュアルは、福島原発事故における教訓も踏まえ、多数の住民を対象とした甲状腺被ばく線量モニタリングを限られた期間内に円滑に遂行するための基本となる方法を示したものである。本調査では、同モニタリングによって得られる測定結果に基づき、住民の被ばく線量を推計する上での課題を整理し、各項目について詳細に検討を行った。本調査の結果を基礎として、原子力災害時の甲状腺内部被ばく線量評価マニュアル（案）を別添6に示した。今後、国や原発立地自治体等が作成する関連資料の一材料となれば幸いである。

参考文献

1. UNSCEAR. UNSCEAR 2020/2021 REPORT VOLUME II: "SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION" Annex B: Levels and effects of radiation exposure due to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: implications of information published since the UNSCEAR 2013 Report; 2021
2. WHO. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami; 2012
3. ICRP. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP 50(1); 2021.
4. 甲斐倫明. 実効線量に関する最新の ICRP 勧告:ICRP Publication 147 の解説. Jpn J Health Phys. 56 (3): 133–144; 2021
5. 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会. 国会事故調報告書; 2012.
6. 原子力規制庁. 原子力災害対策指針. 令和 5 年 11 月 1 日 (平成 24 年 10 月 31 日制定).
7. 田中俊一. 原子力災害対策指針と新規制基準. <https://www.nra.go.jp/data/000196047.pdf> (2024 年 3 月 24 日閲覧).
8. 防災基本計画 令和 5 年 5 月 (昭和 38 年 6 月制定).
<https://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/kihon.html#syusei> (2024 年 3 月 24 日閲覧).
9. 原子力規制庁. 緊急時の甲状腺被ばく線量モニタリングに関する検討チーム会合報告書. 令和 3 年 3 月. <https://www.nra.go.jp/data/000378983.pdf> (2024 年 3 月 24 日閲覧).
10. 内閣府 (原子力担当), 原子力規制庁. 甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル 令和 5 年 31 日. <https://www.nra.go.jp/data/000434068.pdf> (2024 年 3 月 24 日閲覧).
11. ICRP. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers (preface and glossary missing). ICRP Publication 78. Ann. ICRP 27 (3-4); 1997.
12. IAEA. Assessment of occupational exposure to intakes of radionuclides. Safety Guide No.RS-G-1.2. 1999.
13. IAEA. Methods for assessing occupational radiation dose due to intakes of radionuclides. Safety Reports Series No.37. 2004.
14. 公益財団法人原子力安全技術センター. 被ばく線量の測定・評価マニュアル; 2000.
15. ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3); 1991.
16. ICRP. ICRP database of dose coefficients: workers and members of the public. ICRP CD1; 1998.
17. ICRP. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.); 2012.
18. ICRP. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP 50(1); 2021.
19. Likhtarev et al. Uncertainties in thyroid dose reconstruction after Chernobyl. Radiat Prot Dosim. 105(1-4): 601–608; 2003. (一例)
20. Kurihara et al. Experiences of population monitoring using whole-body counters in response to the Fukushima nuclear accident. Health Phys 115(2): 259–274; 2018. (一例)
21. ICRP. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 1. ICRP

- Publication 56. Ann. ICRP 20 (2); 1990.
22. ICRP. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 2 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 67. Ann. ICRP 23 (3-4); 1993.
 23. ICRP. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 3 Ingestion Dose Coefficients. ICRP Publication 69. Ann. ICRP 25 (1); 1995.
 24. ICRP. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 4 Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 71. Ann. ICRP 25 (3-4); 1995.
 25. ICRP. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients. ICRP Publication 72. Ann. ICRP 26 (1); 1995.
 26. Breustedt et al. Internal dose assessments - Concepts, models and uncertainties. *Radiat Meas.* 115: 49–54; 2018.
 27. Momose et al. Whole-body counting of Fukushima residents after the TEPCO Fukushima Daiichi nuclear power station accident. In: Proceedings of the First NIRS Symposium on the Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. Chiba, Japan. National Institute of Radiological Sciences, NIRS-M-252: 67–82; 2012.
 28. Ishigure et al. Development of software for internal dose calculation from bioassay measurements. *Radiat Prot Dosim.* 109 (3): 235–42; 2004.
 29. MONDAL3. <https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/mondal3j.php> (2024年3月24日閲覧)
 30. ORNL. User's guide to the DCAL System. ORNL/TM-2001/190. <https://www.ornl.gov/crpk/software> (2024年3月24日閲覧)
 31. Kunishima et al. Numerical simulation based on individual voxel phantoms for a sophisticated evaluation of internal dose mainly from ^{131}I in highly exposed workers involved in the TEPCO Fukushima Daiichi NPP accident. *Health Phys.* 116 (5): 647–656; 2019.
 32. 吉沢康雄, 草間朋子. 日本人の甲状腺に関する正常値について. *保健物理.* 11: 123–128; 1976.
 33. Kudo et al. Determination of the kinetic parameters for ^{123}I uptake by the thyroid, thyroid weights, and thyroid volumes in present-day healthy Japanese volunteers. *Health Phys.* 118 (4): 417–426; 2020.
 34. Kim et al. Reassessment of internal thyroid doses to 1,080 children examined in a screening survey after the 2011 Fukushima nuclear disaster. *Health Phys.* 118 (1): 36–52; 2020.
 35. Kim et al. Screening levels of TCS-172 NaI(Tl) survey meters used for direct thyroid measurements in nuclear disasters. *Radiat Prot Dosim.* 199 (15–16): 1989–1993; 2023.
 36. Hosoda et al. Estimation of internal exposure of the thyroid to ^{131}I on the basis ^{134}Cs accumulated in the body among evacuees of the Fukushima Daiichi nuclear power station accident. *Environ Inter.* 61:73–76; 2013.
 37. Kim et al. Internal thyroid doses to Fukushima residents—estimation and issues remaining. *J Radiat Res.* 57: i118–i126; 2016.
 38. Kim et al. Early intake of radiocesium by residents living near the TEPCO Fukushima Dai-ichi nuclear power plant after the accident. Part 1: internal doses based on whole-body measurements by NIRS. *Health Phys.* 111 (5): 451–464; 2016.

39. Morita et al. Spatiotemporal characteristics of internal radiation exposure in evacuees and first responders after the radiological accident in Fukushima. *Radiat Res.* 180: 299–306; 2013.
40. Kim et al. Intake ratio of ^{131}I to ^{137}Cs derived from thyroid and whole-body doses to Fukushima residents. *Radiat Prot Dosim.* 168 (3):408–418; 2016.
41. Kurihara et al. NIRS's project for the reconstruction of early internal dose to inhabitants in Fukushima after the nuclear disaster. *Radiation Monitoring and Dose Estimation of the Fukushima Nuclear Accident* (ed. Sentaro Takahashi). Springer Open. 2; 2014.
42. Kim et al. Intake Ratio of ^{131}I to ^{137}Cs Derived from Thyroid and Whole-body Doses to Residents of Iwaki City in Japan's Fukushima Prefecture. *Health Phys.* 120 (4): 387–399; 2021.
43. Kim et al. Relationship between the residual cesium body contents and individual behaviors among evacuees from municipalities near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Health Phys.* 126 (3): 141–150; 2024.
44. Kurihara. O and Kim. E. Effective population monitoring for determination of the thyroidal radioiodine content of the public following a nuclear accident in Japan. *Environ Adv.* 8: 100206; 2022.
45. Youngman. Practical guidance of thyroid monitoring for radioiodine using hand-held instruments. Health Protection Agency. HPA-CRCE-044; 2013.
46. Etherington et al. CAThyMARA report: Technical guidelines for radioiodine in thyroid monitoring. OPERRA Deliverable D5.31; 2017.
47. 古田ら. 福島第一原子力発電所事故に係る特別環境モニタリング結果. *JAEA-Review* 2011-055; 2011.
48. Oukura et al. Emergency Monitoring of Environmental Radiation and Atmospheric Radionuclides at Nuclear Science Research Institute, JAEA Following the Accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *JAEA-Data/Code* 2012-010; 2012.
49. Ohba et al. Body surface contamination levels of residents under different evacuation scenarios after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *Health Phys.* 113 (3): 175–182; 2017.
50. Igarashi et al. Difference in the cesium body contents of affected area residents depending on the evacuation timepoint following the 2011 Fukushima nuclear disaster. *Health Phys.* 119 (6): 733–745; 2020.
51. Kim et al. Estimation of the thyroid equivalent doses to residents in areas affected by the 2011 Fukushima nuclear disaster due to inhalation of ^{131}I based on their behavioral data and the latest atmospheric transport and dispersion model simulation. *Health Phys.* 122 (2): 313–325; 2022.
52. Yasumura et al. Study protocol for the Fukushima Health Management Survey. *J Epidemiol* 22: 375–383; 2012.
53. Ishikawa et al. The Fukushima Health Management Survey: estimation of external doses to residents in Fukushima Prefecture. *Sci Rep* 5: 12712:1–11; 2015.
54. 内閣府. 地域原子力防災児湯議会・作業部会・各地域の緊急時対応等.
https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/kyougikai/kyougikai.html (2024年3月24日閲覧).
55. 原子力規制庁放射線安全規制研究推進事業. (平成 29 年度採択課題) 原子力事故時における近隣住民の確実な初期内部被ばく線量の把握に向けた包括的個人内部被ばくモニタリングの確立.

- https://www.nra.go.jp/activity/houshasenbougo/kenseika_houkokusyo.html#section10 (2024年3月24日閲覧).
56. Hayano R. and Adachi R. Estimation of the total population moving into and out of the 20 km evacuation zone during the Fukushima NPP accident as calculated using “Auto-GPS” mobile phone data. Proc Jpn Acad Ser. B 89: 196–199; 2013.
 57. Kim et al. Early intake of radiocesium by residents living near the TEPCO Fukushima Dai-ichi nuclear power plant after the accident. Part 1: internal doses based on whole-body measurements by NIRS. Health Phys. 111: 451-464; 2016.
 58. ICRP. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1. ICRP Publication 130. Ann. ICRP 44(2); 2015.
 59. ICRP. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. Ann. ICRP 45(3/4), 1–352; 2016.
 60. ICRP. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4); 2017.
 61. ICRP. Occupational intakes of radionuclides: Part 4. ICRP Publication 141. Ann. ICRP 48(2/3); 2019.
 62. ICRP. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 5. ICRP Publication 151. Ann. ICRP 51 (1–2); 2022.
 63. ICRP. Task Group 95 Webinar. Presenting report on production of dose coefficients for the assessment of internal exposure of workers and members of the public (6 December 2023).
<https://www.icrp.org/page.asp?id=655> (2024年3月24日閲覧).
 64. Likhtarov et al. Estimation of the thyroid doses for Ukrainian children exposed in utero after the Chernobyl accident. Health Phys. 100 (6): 583–593; 2011.
 65. Berkovski. New iodine models family for simulation of short-term biokinetics processes, pregnancy and lactation. Food and Nutrition Bulletin. 23 (3): 87–94; 2002.
 66. Balonov et al. Contributions of short-lived radioiodines to thyroid doses received by evacuees from the Chernobyl area estimated using early in vivo activity measurements. Radiat Prot Dosim. 105 (1-4): 593–599; 2003.
 67. 内閣府（原子力防災担当），原子力規制庁. 原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル（平成4年9月28日）. <https://www.nra.go.jp/data/000119567.pdf> (2024年3月24日閲覧).
 68. 宮城県. 原子力災害時の行動について（住民向け普及啓発資料）.（一例）
<https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/gentai/tebiki.html> (2024年3月24日閲覧).
 69. 鳥取県. 鳥取県の原子力防災. <https://www.genshiryoku.pref.tottori.jp/s/> (2024年3月24日閲覧).（例）
 70. 内閣府. 原子力防災関係資料. https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/shiryoku/shiryoku.html (2024年3月24日閲覧).
 71. 米澤ら. 東京電力福島第一原子力発電所事故後のリスクコミュニケーションの実践－内部被ばく検査時のコミュニケーション－. JAEA-Review 2015-020; 2016.
 72. ICRP. Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother. ICRP Publication 88. Ann. ICRP 31 (1-3); 2001.
 73. ICRP. Doses to Infants from Ingestion of Radionuclides in Mothers' Milk. ICRP Publication 95. Ann. ICRP 34 (3-4); 2004.
 74. 厚生労働省. 母乳の放射性物質濃度等に関する調査について（平成23年4月30日）.

<https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001azxj.html> (2024年3月24日閲覧).

75. Shinkarev et al. Estimation of the contribution of short-lived radioiodines to the thyroid dose for the public in case of inhalation intake following the Fukushima accident. *Radiat Prot Dosim.* 164 (1-2): 51–56; 2014.
76. Ohba et al. Estimated thyroid inhalation doses based on body surface contamination levels of evacuees after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *Health Phys.* 117 (1): 175–182; 2017.
77. 西原ら. 福島第一原子力発電所の燃料組成評価. *JAEA-Data/Code* 2012-018; 2012.
78. Tani et al. Influence of short-lived radioiodines other than ^{131}I on screening direct thyroid measurements with TCS-172 NaI(Tl) survey meters. *Radiat Prot Dosim.* 200 (3): 315–321; 2024.

別添 1 胎児及び乳児の甲状腺被ばく線量推計

甲状腺被ばく線量モニタリングでは、19歳未満の者に加えて、妊婦・授乳婦を優先すべき対象者としている。ICRPは、妊婦・授乳婦が放射性物質の内部取込みをすることによって胎児や乳児が受ける内部被ばく線量を算定するためのモデルを開発し、妊婦・授乳婦による単位摂取量当たりの胎児及び乳児の線量係数を刊行物に与えている^(72, 73)。

妊婦が¹³¹Iを吸入摂取した場合に、胎児に適用する線量係数（実効線量係数と甲状腺等価線量係数）を表A1（蒸気状）及び表A2（粒子状）に示した。表中の数値はICRP Publication 88から引用した。胎児が受ける被ばくには、生まれる前に受ける線量と生まれた後に受ける線量の両方が考慮される。また、線量係数は妊娠時期に応じて与えられている。ヨウ素については、母体から胎児の甲状腺へのヨウ素の移行が考慮された体内動態モデルが開発されており、妊娠から8週目以降にこのモデルが適用される。表A1及び表A2には母親（成人）に適用する線量係数の比を併せて示した。同表から、胎児に適用する線量係数は妊娠後期になるにつれて増加し、受胎から25週目以降は母親（成人）の線量係数よりも数値が高くなる。

表 A1. ¹³¹I（蒸気状）を妊婦が吸入摂取する場合に適用する胎児の線量係数

摂取時期	e 実効線量(Sv/Bq)	h 甲状腺線量(Sv/Bq)	e 母親(成人)との比	h 母親(成人)との比
c†	6.9E-11	6.9E-11	3.5E-03	1.8E-04
c+5 weeks	7.2E-11	2.2E-10	3.6E-03	5.6E-04
c+10 weeks	1.9E-10	2.9E-09	9.5E-03	7.4E-03
c+15 weeks	1.1E-08	2.2E-07	5.5E-01	5.6E-01
c+25 weeks	3.1E-08	6.2E-07	1.6E+00	1.6E+00
c+35 weeks	5.5E-08	9.9E-07	2.8E+00	2.5E+00

†c: conception
母親(成人)の線量係数:e 2.0E-08(Sv/Bq), h 3.9E-07(Sv/Bq)

表 A2. ¹³¹I（粒子状）を妊婦が吸入摂取する場合に適用する胎児の線量係数

摂取時期	e 実効線量(Sv/Bq)	h 甲状腺線量(Sv/Bq)	e 母親(成人)との比	h 母親(成人)との比
c†	2.6E-11	2.6E-11	3.5E-03	1.7E-04
c+5 weeks	2.7E-11	8.2E-11	3.6E-03	5.5E-04
c+10 weeks	7.1E-11	1.1E-09	9.6E-03	7.3E-03
c+15 weeks	4.2E-09	8.3E-08	5.7E-01	5.5E-01
c+25 weeks	1.2E-08	2.3E-07	1.6E+00	1.5E+00
c+35 weeks	2.1E-08	3.7E-07	2.8E+00	2.5E+00

†c: conception
母親(成人)の線量係数:e 7.4E-09(Sv/Bq), h 1.5E-07(Sv/Bq)

ICRP Publication 95には乳児に適用する線量係数が授乳期ごとに与えられている。1日に摂取する母乳は、生後から1週間までは0から800mlまで線形に増加し、1週間から半年（生後26週）までは800mlで一定と仮定される。母親が¹³¹I（蒸気状）を吸入摂取した場合の乳児の線量係数は、生後1週目以降は一定であり（実効線量係数：5.1E-08 Sv/Bq，甲状腺等価線量係数：1.0E-6 Sv/Bq），

いずれも母親（成人）の線量係数の 2.56 倍である。ただし、乳児の線量係数は相当保守的な数値であり、乳児の内部被ばく線量評価にそのまま用いるのは適切ではないと考えられる。

なお参考情報として、福島第一原発事故では、厚生労働省による母乳の放射性物質濃度に調査が行われた⁽⁷⁴⁾。調査時期が事故発生から 1 ヶ月以上経過していたこともあり、検出された放射性物質濃度はごく微量であったが、¹³¹I が検出された検体も一部確認された。

別添2 ヨウ素-131以外の短寿命核種による甲状腺被ばく線量への影響

原子炉中には¹³¹I以外の短寿命核種が数多く存在しており、シャットダウンから間もない時間帯に原子炉内の放射性物質が放出される状況においては、これらの短寿命核種による甲状腺被ばく線量への影響を考慮する必要がある。特に重要な短寿命核種は¹³²Te-¹³²Iと¹³³Iであり、シャットダウンから24時間以内に吸入した場合、これらの核種による甲状腺（等価）線量は¹³¹Iから受ける甲状腺線量の30%から50%程度に達するとの試算もある^(49, 75, 76)。

典型的な軽水炉・炉心中のヨウ素同位体及び¹³²Teのインベントリは表B1に示すとおりであり⁽⁴⁶⁾、¹³¹Iに対する他核種のシャットダウン時の放射能比は、福島第一原発（1-3号機）と類似している⁽⁷⁷⁾。ヨウ素とテルルは化学的性質が異なるため、炉心放出割合は異なると考えられるが、メルトスルーに至る状況では放出割合は同程度になると見られる（表B2）。図B1には、シャットダウン後のヨウ素同位体（¹³²Iから¹³⁵I）の¹³¹Iに対する放射能比の時間変化を示した。ただし、同図の¹³²Iは親核種である¹³²Teとの放射平衡を仮定した。図B2には、¹³¹I、¹³²I、¹³³I及び¹³²Teの年齢別甲状腺等価線量係数（化学的性状は全て蒸気状の場合）を比較した。¹³¹Iの線量係数は物理学的半減期が2.3時間と短いことから他の核種に比べて小さく、¹³²Teと¹³³Iの線量係数は比較的数値が近く、いずれも¹³¹Iの線量係数の20%から30%であり、若年になるほど高くなる。

以下は、NaI(Tl)サーベイメータ（TCS-172, Hitachi）を用いた簡易測定において、¹³¹I以外のヨウ素同位体及び¹³²Teが測定及び線量推計に及ぼす影響を考察した結果であるが、同様な内容は論文にも報告されている⁽⁷⁸⁾。図B3に示したのは、各ヨウ素同位体（¹³¹Iから¹³⁵I）が甲状腺中に残留した場合のTCS-172の応答を換算係数（kBq per μ Sv/h）として年齢群で比較した結果である。換算係数は感度（計数効率）の逆数の関係であるため、数値が高いほど甲状腺中ヨウ素に対する感度が低く、逆に数値が低いほど感度が高いことになる。 γ 線の全放出率が最も高い¹³²Iが最も感度が高い。換算係数の導出は、数学ファントムを用いたシミュレーションを用い、TCS-172の応答は計算された γ 線波高スペクトルにスペクトル線量変換演算子を適用して行った⁽³⁵⁾。

次に、甲状腺線量への寄与が比較的大きいと考えられる¹³²Te-¹³²I及び¹³³Iの甲状腺アップテークを考える。¹³²Iはその状態で摂取しても線量寄与は小さいが、¹³²Teが体内で放射性壊変して生成される¹³²Iからの線量寄与が大きく、その分が¹³²Teの線量係数にも含まれている。図B4に¹³¹I、¹³²I (ingrowth)及び¹³³Iの甲状腺残留率を示す（化学的性状はいずれも蒸気状）。甲状腺以外に存在する¹³²Teの放射性壊変（3.2日）によって生じる¹³²Iについては、非有機系ヨウ素の形で瞬時に通過コンパートメント（血中）に移行し、ヨウ素の体内動態で振る舞うと仮定される⁽²⁴⁾。¹³²I (ingrowth)の甲状腺残留率は、¹³²Teの呼吸器官から血中への移行速度に大いに依存し、これはテルルの化学的性状によって決まる。最も¹³²I (ingrowth)の甲状腺残留率が高いのは、¹³²Teが蒸気状のときである（図B5）。

¹³¹Iと同時に吸入摂取される¹³²Teと¹³³Iの量は、炉心から環境中への放出割合が同じであれば、シャットダウンから摂取までの経過時間で決まる。シャットダウンから1日後（24時間後）の放射能比は¹³¹I：¹³²Te：¹³³I=1.00：1.29：1.04、シャットダウンから3日後（72時間後）の放射能比は¹³¹I：¹³²Te：¹³³I=1.00：0.97：0.25である。これらの核種組成で吸入摂取した場合のNaI(Tl)サーベイメータの指示値の一例を図B6及び図B7に示した。この例では、1歳児をモデルとし、吸入するヨウ素（¹³¹Iと¹³³I）の化学形を蒸気状、¹³²Teを粒子状（タイプF、1 μ m）、¹³¹Iの摂取量は¹³¹I単体で甲状

腺線量が 100 mSv に相当する場合である (3.1E+04 Bq)。NaI(Tl)サーベイメータの換算係数は、図 B3 の結果を参考にして、20 kBq per $\mu\text{Sv/h}$ (^{131}I)、5 kBq per $\mu\text{Sv/h}$ (^{132}I)、15 kBq per $\mu\text{Sv/h}$ (^{133}I) に設定した。また、甲状腺以外の部位からの γ 線は測定に寄与しないと仮定した。図 B8 は、同様の条件において、測定で得られた正味値を ^{131}I と見なして評価した場合の見かけの甲状腺線量 (apparent) と実際の核種組成を考慮した実際の甲状腺線量 (true) の比を、摂取からの測定までの経過日数を変数として示した結果である。同図から、摂取から 3 日以内に測定が行われた場合は線量を過大評価し、以降は過小評価することが示唆される。また、過大または過小評価の程度は、 ^{131}I に対する ^{132}Te や ^{133}I の存在比に依存し、シャットダウンから摂取までの経過時間が短いほど顕著になる。これは ^{132}Te - ^{132}I に着目して考えれば、甲状腺に移行した ^{132}I が検出される間は、 ^{131}I に比べて検出感度が ^{131}I に比べて 4 倍程度高い ^{132}I のために線量を過大評価することになり、時間が経過して ^{132}I が検出されなくなった以降は ^{132}Te の線量の分を過小評価するためである。 ^{133}I は物理学的半減期が 20.8 時間であるため、シャットダウンから 3 日目以降は ^{131}I に比べて存在量が減少し、線量にはほとんど寄与しなくなる。

以上の考察から、 ^{131}I 以外の短寿命核種による甲状腺線量を詳細に推計するためには、2 つの時間パラメータ、すなわち、①シャットダウンから摂取までの経過時間 (T1) 及び②摂取から測定までの経過時間 (T2) の特定と、 ^{132}Te の化学的性状 (蒸気状・粒子状) や吸収タイプなどの情報が必要である。後者に関しては、環境モニタリングや測定ジオメトリを変えた体外計測⁽⁶⁶⁾などが有効な手段と考えられる。他方、甲状腺被ばく線量モニタリングの実際の運用を考えると、摂取から測定までに数日以上時間が経過することが予想されることから、 ^{131}I 以外の短寿命核種による甲状腺測定自体への影響はほぼ無視できると予想されるが、甲状腺線量への寄与については CAThyMARA レポート⁽⁴⁶⁾のデータ (表 B3) 等を参考に、必要に応じて補正する必要があると思われる。

表 B1. 軽水炉・炉心中のヨウ素及びテルル同位体の典型的なインベントリ⁽⁴⁶⁾

放射性核種	半減期	崩壊定数 λ (d^{-1})	インベントリ (Bq MWt ⁻¹)	シャットダウン時 放射能比 [※]
I-131	8.0252 d	0.086	9.88E+14	1.00
I-132	2.295 h	7.25	1.44E+15	1.46
I-133	20.8 h	0.8	2.01E+15	2.03
I-134	52.5 m	19	2.21E+15	2.24
I-135	6.58 h	2.53	1.92E+15	1.94
Te-132	3.204 d	0.216	1.41E+15	1.43

表 B2. 格納容器ソースターム：イベントタイミング及び炉心放射能放出割合⁽⁴⁶⁾

核種グループ	被覆管破損 (ギャップリリースフェーズ) 0.5時間	炉心溶融 (炉心内フェーズ) 1.3/1.5時間	メルトスルー (炉心外フェーズ) 2.0/3.0時間
ハロゲン (I, Br)	0.05	0.35/0.25	0.25/0.30
テルリウム (Te, Sb, Se)	0	0.05	0.25

表 B3. ^{131}I 甲状腺線量に基づく他の放射性ヨウ素及び ^{132}Te を含めた合計線量への換算係数 $C_I(\tau)$ ⁽⁴⁶⁾

Time interval τ , h	$C_I(\tau)$	Time interval τ , h	$C_I(\tau)$
1	2.09	20	1.71
2	2.06	21	1.70
3	2.02	22	1.69
4	2.00	23	1.67
5	1.97	24	1.66
6	1.95	27	1.63
7	1.92	30	1.60
8	1.90	33	1.58
9	1.88	36	1.55
10	1.86	39	1.53
11	1.85	42	1.51
12	1.83	45	1.49
13	1.81	48	1.47
14	1.79	60	1.41
15	1.78	72	1.36
16	1.76	84	1.32
17	1.75	96	1.29
18	1.74	108	1.27
19	1.72	120	1.24

(※ τ はシャットダウンから摂取までの経過時間)

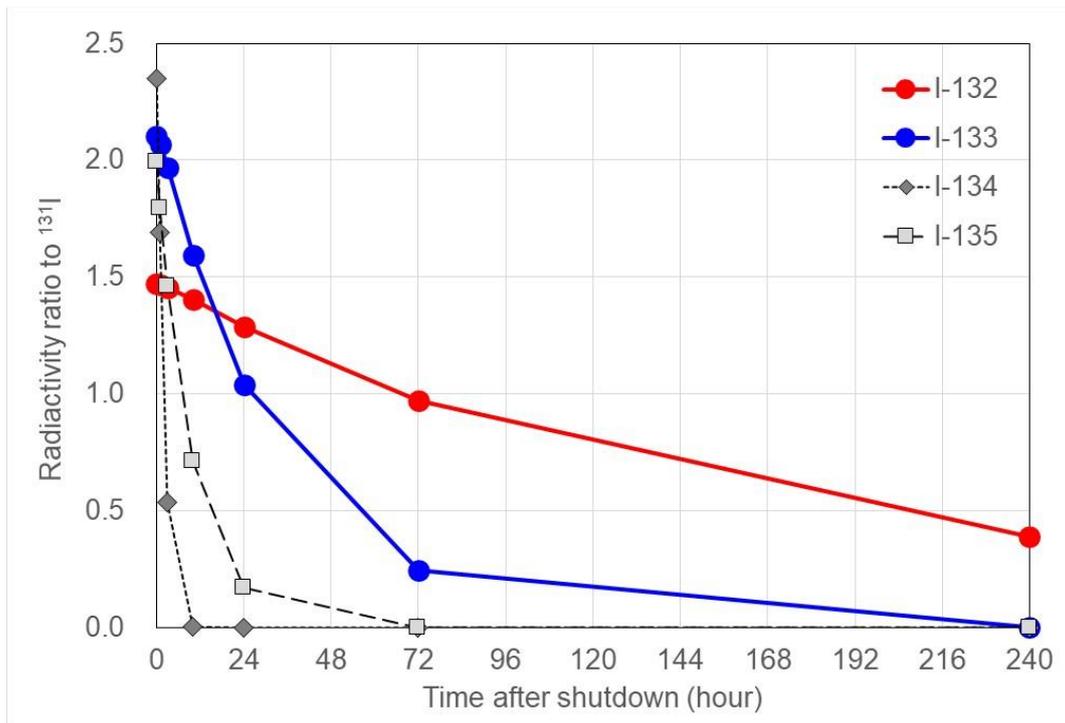


図 B1. ¹³¹I に対する核種の放射能比の時間変化
 (※¹³²I は ¹³²Te との放射平衡を仮定)

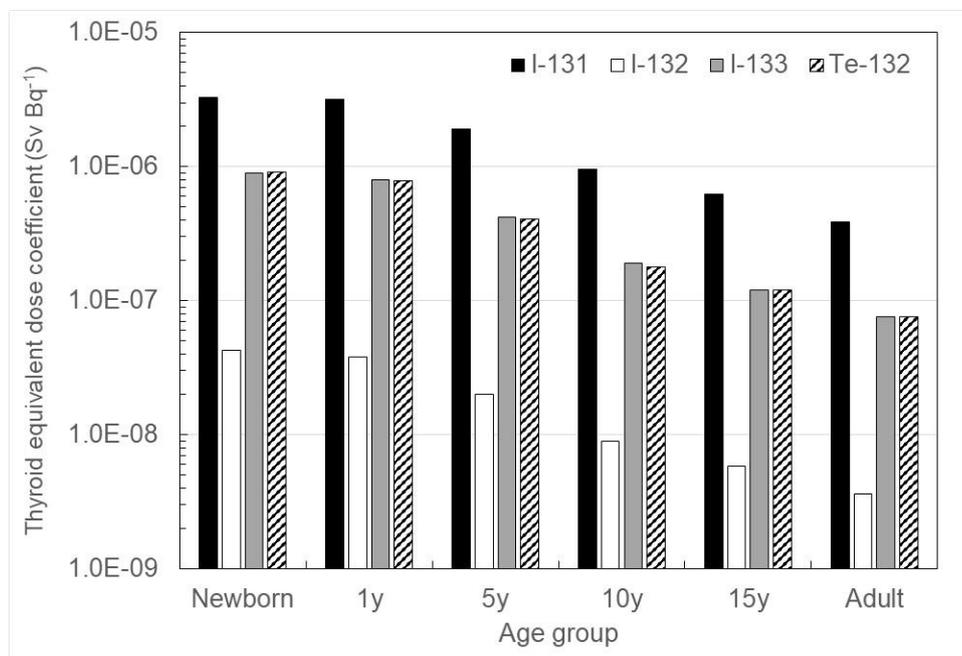


図 B2. ヨウ素同位体及び ¹³²Te の甲状腺等価線量係数
 (※蒸気状ヨウ素及び蒸気状テルル)

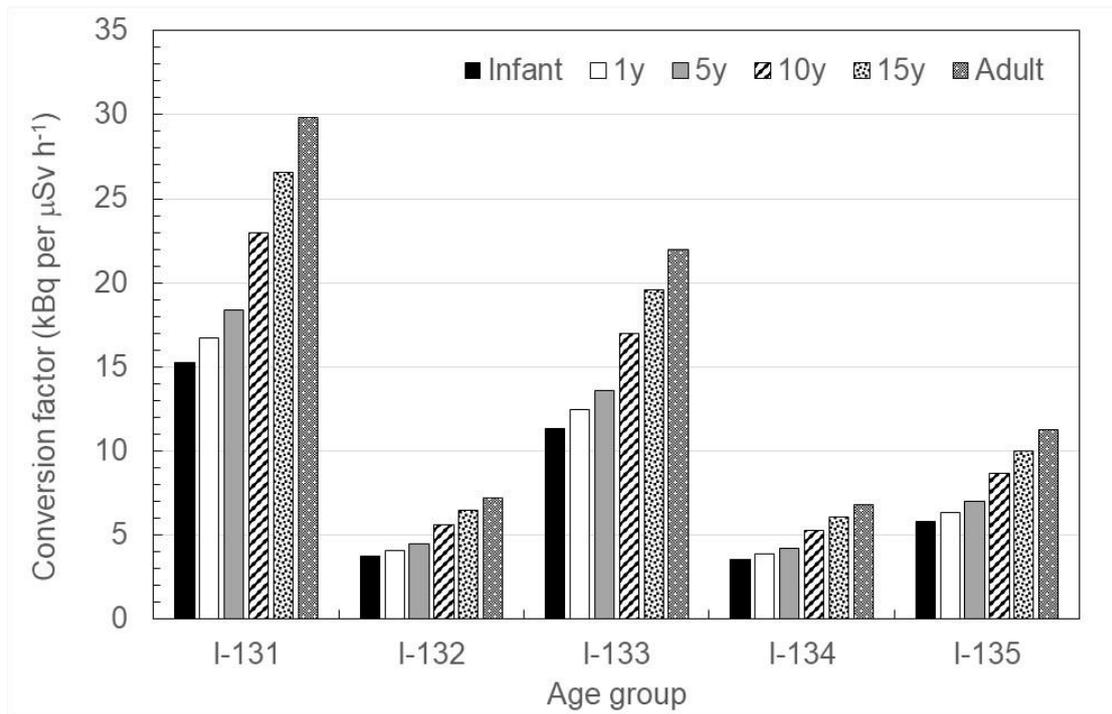


図 B3. NaI(Tl)サーベイメータ (TCS-172) の甲状腺中ヨウ素残留量に対する換算係数

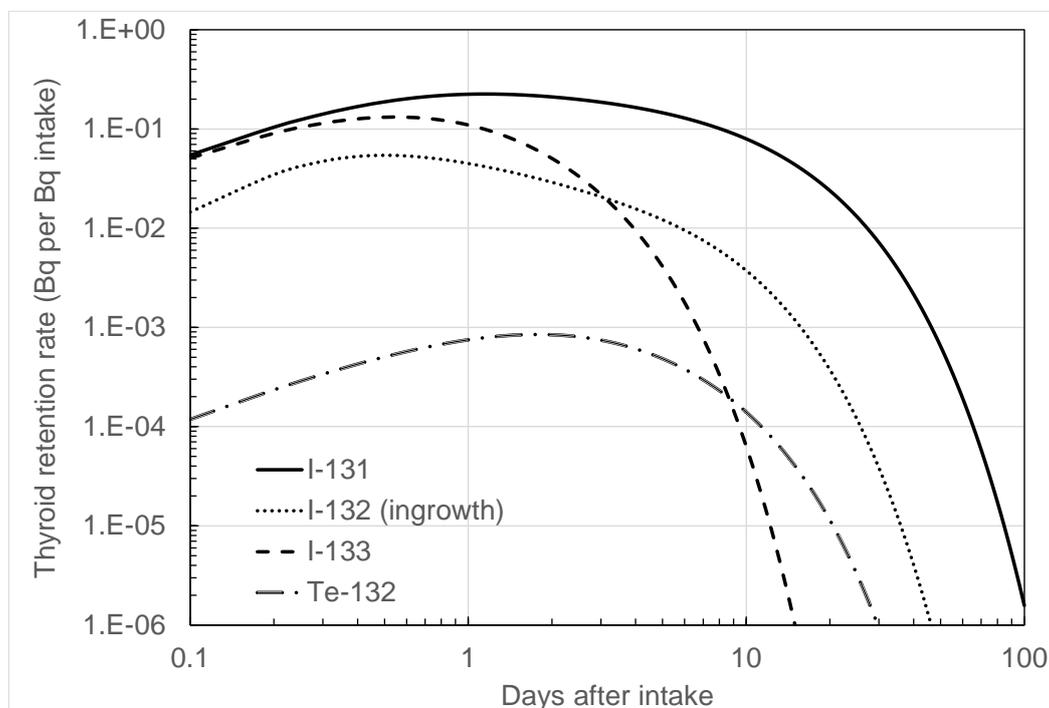


図 B4. ^{131}I , ^{132}I (ingrowth) 及び ^{133}I の甲状腺残留率の比較
 (※化学形は蒸気状, ^{132}I は ^{132}Te からの ingrowth として計算)

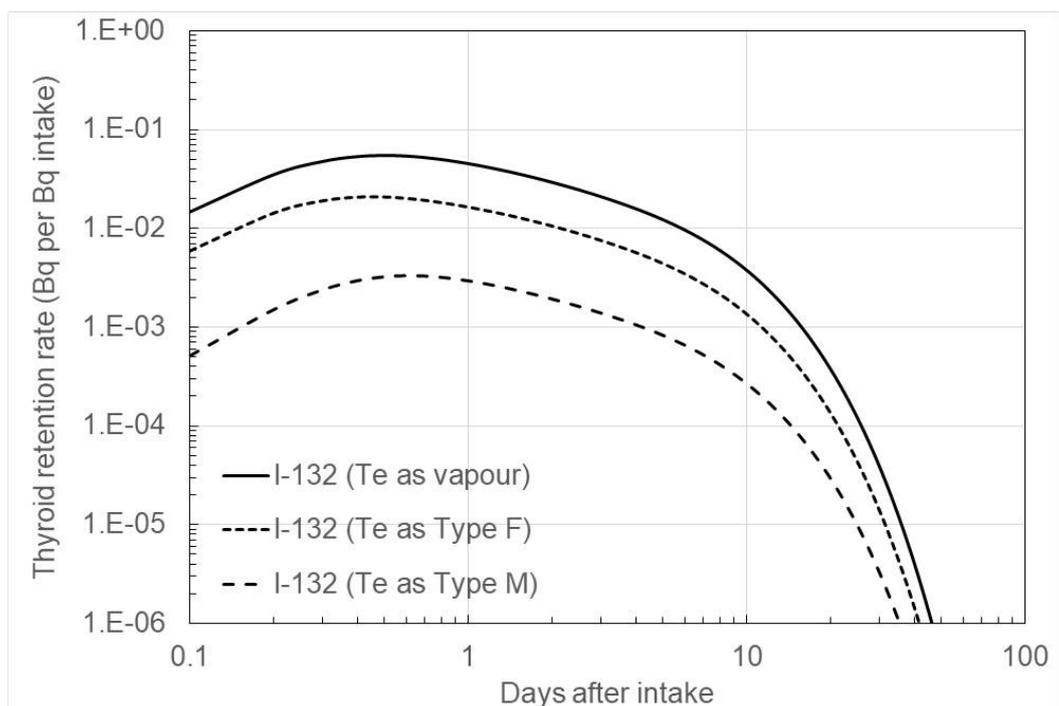


図 B5. ^{132}Te の化学的性状の違いによる ^{132}I 甲状腺残留率の違い
 (※粒子状 Te の AMAD は $1\ \mu\text{m}$)

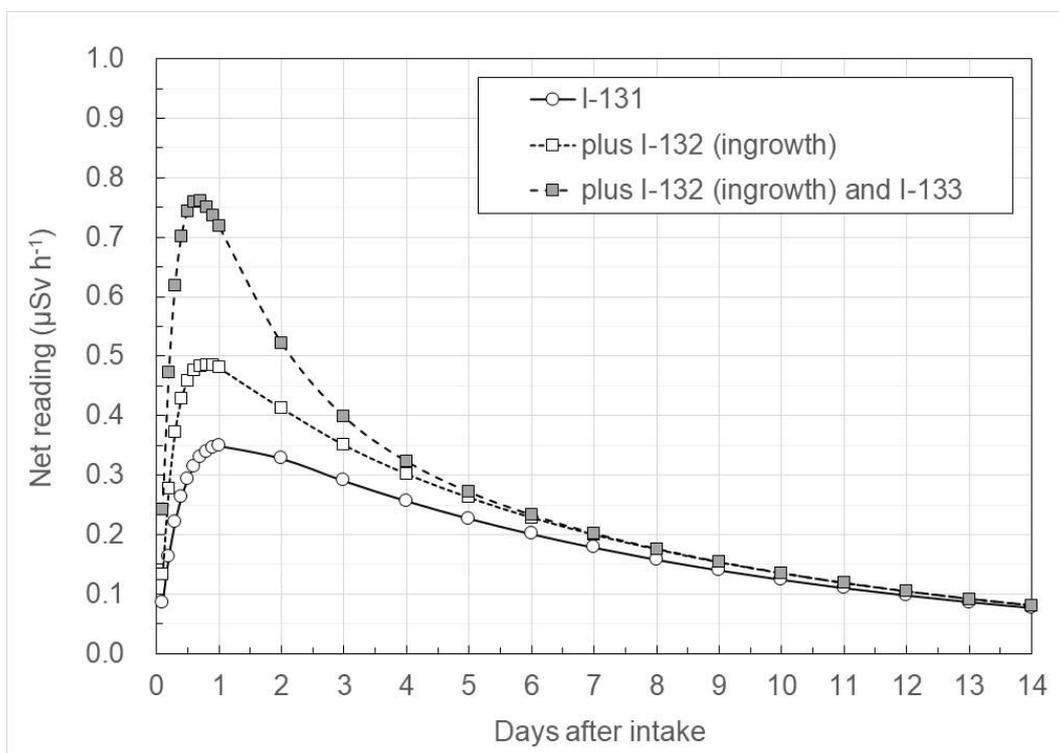


図 B6. NaI(Tl)サーベイメータの指示値の一例
 (※シャットダウン1日後に摂取, その他の条件は本文参照のこと)

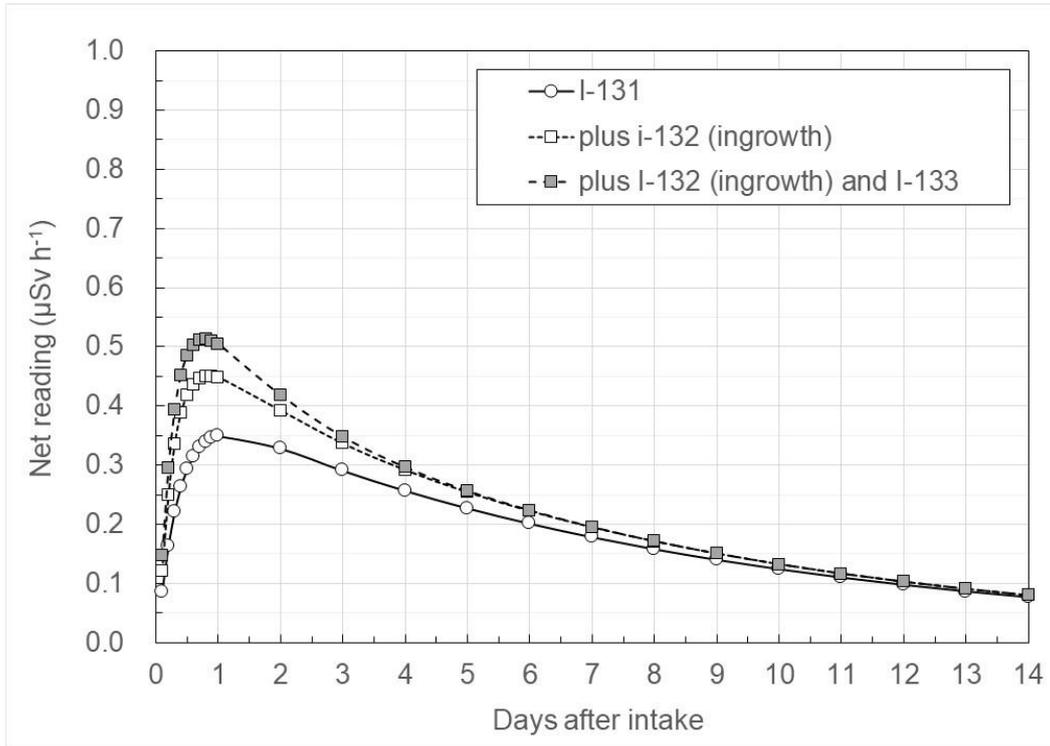


図 B7. NaI(Tl)サーベイメータの指示値の一例
 (※シャットダウン1日後に摂取, その他の条件は本文参照のこと)

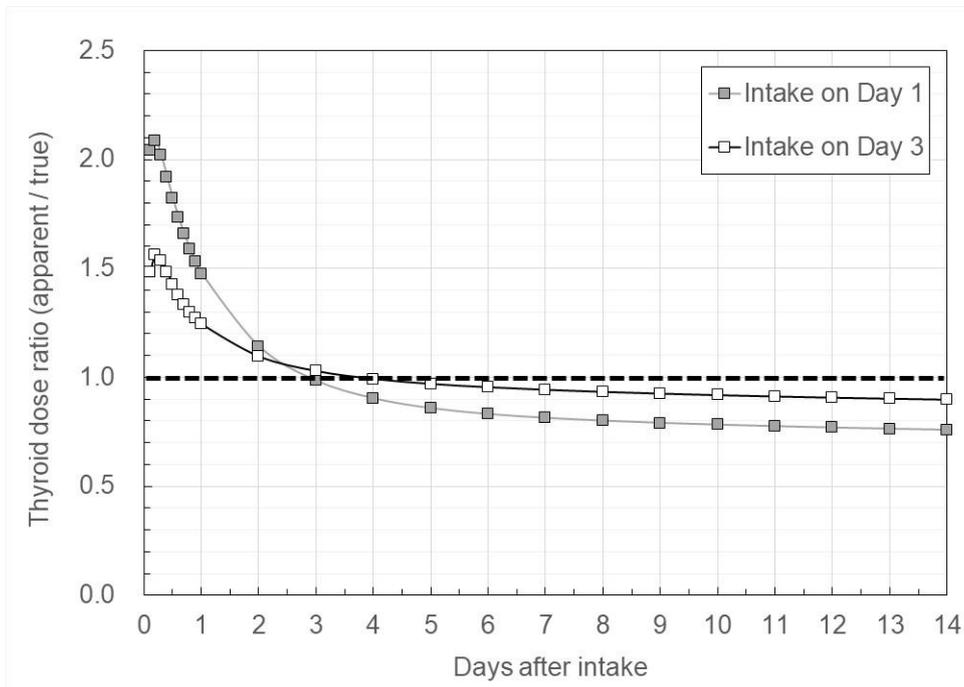


図 B8. 見かけの甲状腺線量 (apparent) と実際の核種組成を考慮した実際の甲状腺線量 (true) の比

原子力災害時の

甲状腺被ばく線量

モニタリング

について

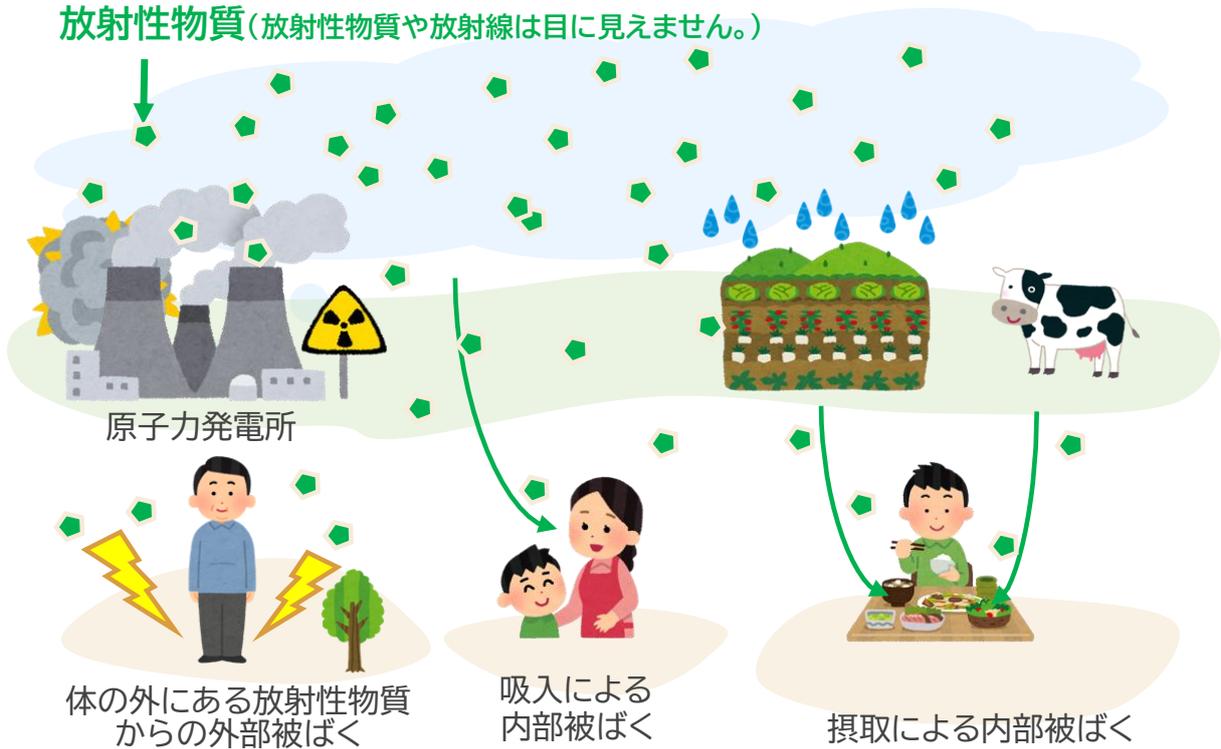


1

原子力災害時の基礎知識

- ◆ 万一原子力発電所で、事故が発生した場合、放射性ヨウ素や放射性セシウム等の放射性物質が周辺環境へ放出される可能性があります。
- ◆ これらの放射性物質により、空気、土壌、海、河川等が汚染されると、地域の食品や飲料水にも影響を及ぼし、体の外側や体の内側から放射線の影響を受けることがあります。

放射性物質(放射性物質や放射線は目に見えません。)



内部被ばくの防護

- 内部被ばくは、屋内退避、食品制限、安定ヨウ素剤の服用等の防護措置により低減することができます
- 安定ヨウ素剤は、適切な服用時期に服用することで、甲状腺被ばくを予防または低減する効果があります。



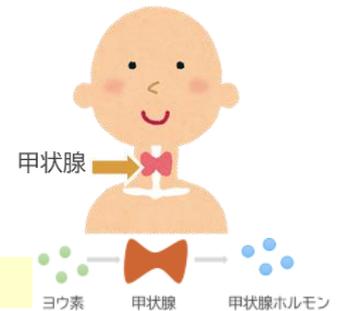
2

放射性ヨウ素による甲状腺被ばく

原子力災害時に放出される恐れがある「放射性ヨウ素」は、体内に取り込まれると甲状腺という組織に集まり、将来の健康リスクとなる可能性があります。

甲状腺とは

- 甲状腺は、喉ぼとけの下にある組織です。
- 甲状腺ではヨウ素^{*}を原料として、甲状腺ホルモンという身体に必要な物質が作られています。



^{*}ヨウ素には、放射線を出さない安定ヨウ素と放射線を出す放射性ヨウ素があります。

甲状腺被ばくとは

- ヨウ素-131^{**}はじめとする放射性ヨウ素は、体内に取り込まれた後、大部分は尿として排泄されますが、10～30%は24時間以内に甲状腺に集まります。
- 甲状腺に集まった放射性ヨウ素からの放射線被ばくを甲状腺被ばくといいます。
- 甲状腺被ばくによる将来の健康へのリスクとして、甲状腺がん等があります。



- 成長過程にある子供は、大人と比べて放射線に対する感受性が高く、子供の発がんリスクは、大人より高いと考えられています。



^{**}ヨウ素-131の放射能が半分になるまでの時間(半減期)は約 8日です。

😊 チョルノービリ原発事故では、放射性ヨウ素による被ばくが原因で甲状腺がんの発症の増加が確認されました。一方、福島原発事故では、福島県が実施した甲状腺検査の先行調査で甲状腺がんが見つかりましたが被ばく線量が低いこと、被ばくしてからがん発見までの期間が短い等の理由から積極的な検査による発見率の上昇(スクリーニング効果)であり、原発事故由来の放射線による影響とは考えにくいとされています。

¹環境省・放射線による健康影響等に関する統一した基礎資料(上巻・下巻)

3

甲状腺被ばく線量測定について

- ◆ 放射性ヨウ素による甲状腺被ばくの場合、将来への健康リスクを理解するためには、被ばくの程度を正確に把握することが重要です。
- ◆ 甲状腺被ばく線量測定には、簡易測定と詳細測定があります。

① 甲状腺簡易測定とは

- 甲状腺が受けている「被ばくの程度」を調べるための測定で、甲状腺の被ばくの程度が比較的高いと見込まれる方を速やかに特定することを目的としています。
- 簡易測定では、甲状腺に集まる放射性ヨウ素の量を正確に評価するために、測定器を用いて、①放射性ヨウ素が集まらない太ももを測定してから、②首の前面(甲状腺)を順に測定を行います。
- 甲状腺での被ばくの程度は、②首の前面(甲状腺)の測定結果から①太ももの測定結果を引くことで評価します。
- 測定期間は、放射性ヨウ素を取り込んでからおおむね週間以内とされています。
- 放射性物質の放出後、空間中放射線量が比較的高い地域*からの避難や一時移転を指示された住民等の内、19歳未満、妊婦・授乳婦の方が対象になります。さらに、必要に応じて乳幼児と行動を共にした保護者等も対象になります。

* OIL1(毎時500 μ Sv)又はOIL2(毎時20 μ Sv)に該当する空間線量率の地域



② 甲状腺詳細測定とは

- 簡易測定の結果がスクリーニングレベルを超えた方を対象に正確な線量評価を行うための測定です。
- 測定は、原子力災害拠点病院や高度被ばく医療支援センター等に設置されている甲状腺モニタ等を用いて行います。
- 測定期間は、放射性ヨウ素を取り込んでからおおむね4週間以内とされており、もし、この期間が過ぎた場合はホールボディカウンターによる測定を行うことがあります。



据置型甲状腺モニタ

より詳しい内容については甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアルをご参照ください。
原子力規制庁：<https://www.nra.go.jp/data/000434068.pdf>

別添 4 甲状腺被ばく線量モニタリングに関する住民周知のための動画素材（案）



このビデオは、地方公共団体の関係者、または住民の方々を対象に、原子力災害が起きた際に行う「甲状腺被ばく線量モニタリング」の目的と内容について、理解を促進することを目的としています。

原子力災害での放射性物質の放出

放射性物質(放射性物質や放射線は目に見えません。)



環境を汚染する可能性があります。

原子力発電所などで万一の事故が発生した場合、放射性ヨウ素や放射性セシウムのような「放射性物質」が周辺に放出され、空気や土壤などの環境を汚染する可能性があります。
汚染された環境では、空気中や地域の食品、飲料水などに放射性物質が含まれる可能性があります。

原子力災害での放射性物質の放出

放射性物質(放射性物質や放射線は目に見えません。)



空気中や飲食物などに含まれている放射性物質は、呼吸や飲食物と一緒に摂取することで、体内に取り込まれます。体内に取り込まれた放射性物質からの放射線を、身体が受けることを「内部被ばく」と言います。内部被ばくにより、身体の組織や細胞が放射線に曝される量が増えると、健康への影響が生じる可能性があります。

内部被ばくの防護



屋内退避



食品制限



安定ヨウ素剤(医薬品)

内部被ばくは屋内退避、食品制限、

内部被ばくは、屋内退避、飲食物の摂取制限、安定ヨウ素剤の服用等の防護措置により、低減することができます。
安定ヨウ素剤は、適切なタイミングに服用することで、甲状腺被ばくを予防、または低減する効果があります。

放射性ヨウ素と甲状腺



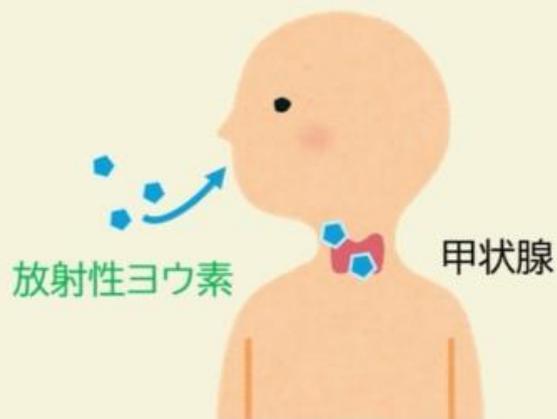
甲状腺ホルモン

重要な役割を果たします。

甲状腺は、首の前側ののどぼとけの下にある組織で、ヨウ素を原料として、「甲状腺ホルモン」と呼ばれる物質を合成しています。甲状腺ホルモンは、体内の代謝を調整したり、身体の成長と発達に重要な役割を果たします。

ヨウ素には、放射線を出さない「安定ヨウ素」と、放射線を出す「放射性ヨウ素」があります。

放射性ヨウ素と甲状腺



ヨウ素-131は体内に取り込まれると、

甲状腺被ばく線量測定では、放射性ヨウ素の「ヨウ素131」を測定の対象としています。

ヨウ素131は体内に取り込まれると、大部分は尿に排泄されますが、24時間以内に、10から30%が甲状腺に集まります。

ヨウ素131の放射能の量が半分になるまでの時間は、約8日です。

甲状腺被ばくとは、甲状腺に集まった放射性ヨウ素による被ばくを言います。

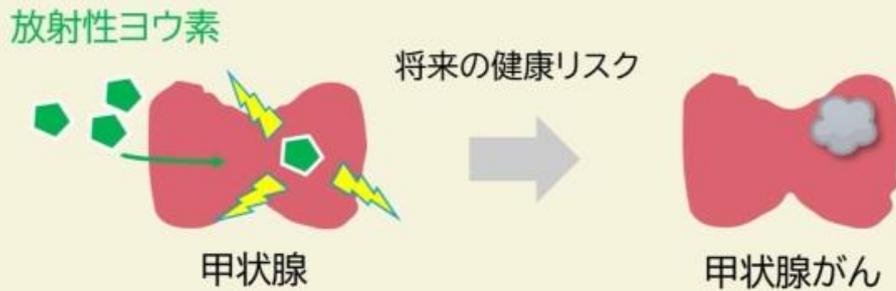
甲状腺の被ばくとは



大人と比べて放射線に対する感受性が高く、

成長過程にある子供は、大人と比べて放射線に対する感受性が高く、甲状腺被ばくによる子供の発がんリスクは、大人より高いと考えられています。

甲状腺の被ばくとは



チヨルノービリ原発事故では、

チヨルノービリ原発事故では、放射性ヨウ素による被ばく線量と、甲状腺がん増加の関係が確認されています。一方、福島原発事故では、福島県が実施した検査で甲状腺がんが見つっていますが、全体として被ばく線量が低く、甲状腺がんと放射線被ばくの関連は見られていません。

甲状腺被ばく線量モニタリング



放射性ヨウ素による甲状腺の内部被ばくが

「甲状腺被ばく線量モニタリング」は、原子力災害の際、放射性ヨウ素による甲状腺の内部被ばくが懸念される場合に行われます。甲状腺の被ばくの程度を調べることは、将来の健康リスクの可能性を見通すことに役立ちます。甲状腺被ばく線量モニタリングには、「簡易測定」と「詳細測定」があります。

甲状腺被ばく線量モニタリングの対象者



甲状腺被ばく線量モニタリングは

甲状腺被ばく線量モニタリングは、放射性物質の放出後に、放射線量が一定以上高い地域から、避難や一時移転を指示された住民の方々などのうち、19歳未満、妊婦・授乳婦の方が対象になります。さらに、必要に応じて乳幼児と行動を共にした保護者等も対象になります。

甲状腺簡易測定とは



甲状腺の被ばくの程度が

簡易測定は、甲状腺が受けている「被ばくの程度」を調べるための測定です。
甲状腺の被ばくの程度が高いと見込まれる方を、速やかに特定することを目的に行われます。

甲状腺簡易測定とは



①太ももの測定



②甲状腺の測定

次に、甲状腺がある首の

簡易測定では、甲状腺に集まる放射性ヨウ素の量を正しく評価するために、まず放射性ヨウ素が集まらない「太もも」を測定します。次に、甲状腺がある首の前面を測定します。

甲状腺の被ばくの程度は、首の前面の測定値から、太ももの測定値を引くことで評価します。

簡易測定は、放射性ヨウ素を取り込んでから、おおむね3週間以内に実施されます。

甲状腺詳細測定とは

対象者

簡易測定でスクリーニングレベルを超えた方



測定場所

原子力災害拠点病院
高度被ばく医療支援センター
などに設置された甲状腺モニター



スクリーニングレベルである

詳細測定は、簡易測定よりも正確な線量評価を行うための測定です。簡易測定の結果、スクリーニングレベルである毎時0.2マイクロシーベルトを超えた方を対象に実施されます。

詳細測定は、原子力災害拠点病院や高度被ばく医療支援センターなどに設置されている「甲状腺モニター」を用いて行います。

甲状腺モニターを用いる詳細測定は、おおむね4週間以内に実施されます。期間を過ぎた場合は、ホールボディーカウンタによる測定を行うことがあります。

以上で、甲状腺被ばく線量モニタリングの
目的及び内容に関する説明は終了です。

より詳しい内容は
「甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル」
をご参照ください。

以上で、甲状腺被ばく線量モニタリングの目的及び内容に関する説明
は終了です。

より詳しい内容については「甲状腺被ばく線量モニタリング実施マ
ニュアル」をご参照ください。

別添 5 検討委員会の設置規定及び議事録

「令和 5 年度原子力施設等防災対策等委託費（甲状腺の被ばく線量推定方法等に関する調査）事業」
「甲状腺の被ばく線量推定方法及び甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知に
関する調査」に係る検討委員会の設置について

令和 6 年 1 月 18 日
令 05 放（規則）第 10 号

（目的）

第 1 条 この規則は、原子力規制委員会の委託事業「令和 5 年度原子力施設等防災対策等委託費（甲状腺の被ばく線量推定方法等に関する調査）事業」の「甲状腺の被ばく線量推定方法及び甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知に関する調査」に係る検討委員会（以下「委員会」という。）を設置し、その組織及び運営に必要な事項を定めることを目的とする。

（所掌業務）

第 2 条 委員会は、前条の目的を達成するため、次に掲げる事項を審議する。

- （1） 甲状腺被ばく線量の推定方法に関すること
- （2） 甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知に関すること

（構成）

第 3 条 委員会は、放射線医学研究所（以下「放医研」という。）の所長が指名する機構の役職員及び委嘱する機構外有識者をもって構成する。

2 委員会には委員長及び委員長代理を置き、放医研所長が指名する。

3 委員長は、委員会を代表し、会務を掌理する。ただし、委員長に事故があるときは、委員長代理がこれにあたる。

（任期）

第 4 条 委員長、委員長代理及び委員の任期は指名又は委嘱開始日を含む年度の年度末とする。

（開催）

第 5 条 委員会は、委員長が必要と認めるときに委員等を招集し、開催する。

2 委員会は、電子メールその他の方法により開催することができる。

3 委員会は、委員長のほか、委員総数の過半数の出席がなければ開催することができない。

4 委員会の議事は出席委員の過半数の賛成をもって決する。ただし、可否同数の場合は委員長の決するところによる。

5 委員会には、必要に応じて原子力規制庁の関係者を含むオブザーバーが参加するものとする。

（守秘義務）

第6条 委員長、委員長代理、委員及び委員会に携わる者は、職務上知り得た情報を正当な理由なく他に漏らしてはならない。その職を退いた後も同様とする。

(庶務)

第7条 本委員会の事務は、放医研計測・線量評価部が行う。

(その他)

第8条 この規則に定めるもののほか、委員会の運営等に関し必要な事項は、委員長が委員会に諮って定めるものとする。

附 則 (令和6年1月18日 令05放(規則) 第10号)

(施行期日)

第1条 この規則は令和6年1月18日から施行する。

令和5年度原子力施設等防災対策等委託費(甲状腺の被ばく線量推定方法等に関する調査)事業
「甲状腺の被ばく線量推定方法及び甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知に関する調査」

検討委員会 委員名簿

No.	委員氏名	委員現所属	委嘱期間	
1	真辺 健太郎	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 安全研究センター リスク評価・防災研究グループ	開始	承諾日
			終了	2024/3/29
2	谷村 嘉彦	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 発機機構 原子力科学研究部門 原子力科学研究所 放射線管理部	開始	承諾日
			終了	2024/3/29
3	高橋 聖	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 放射線管理部 線量管理課	開始	承諾日
			終了	2024/3/29
4	石川 徹夫	公立大学法人 福島県立医科大学 医学部 放射線物理化学講座	開始	承諾日
			終了	2024/3/29
5	細田正洋	弘前大学大学院保健学研究科 放射線技術科学領域	開始	承諾日
			終了	2024/3/29
6	横山 須美	長崎大学 原爆後障害医療研究所	開始	承諾日
			終了	2024/3/29
7	安田 仲宏	国立大学法人福井大学 附属国際原子力工学研究所 原子力防災・危機管理部門	開始	承諾日
			終了	2024/3/29
8	保田浩志	広島大学 原爆放射線医科学研究所 線量測定評価研究分野	開始	承諾日
			終了	2024/3/29

令和5年度原子力施設等防災対策等委託費（甲状腺の被ばく線量推定方法等に関する調査）事業「甲状腺の被ばく線量推定方法の検討及び甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知に関する調査」に関する検討委員会

第1回検討委員会 議事次第

1. 開催日時 令和6年2月19日（月）15:00～17:00

2. 開催方法 Webexによるリモート会議

3. 議 事

3.1 個人モニタリング結果に基づく甲状腺被ばく線量の推計方法について

① 利用可能な内部被ばく線量システムの有効性・妥当性

② 精緻な線量評価を行うための検討事項の洗い出し

- ・ 放射性ヨウ素の化学的性状による線量推計への影響
- ・ 測定対象者の年齢層を考慮した線量係数（生理学的パラメータ）等の整理
- ・ 保護者等による代替測定を行った場合の乳幼児の被ばく線量への換算
- ・ ホールボディカウンタによる代替測定を行った場合の甲状腺線量推計
- ・ 推計の際に必要な情報について
- ・ 摂取時期の推定について

③ 新たな内部被ばく線量推計方法の構築の必要性について

3.2 甲状腺被ばく線量モニタリングに関わる住民等への周知について

- ・ モニタリングの実施目的、実施方法等の住民等への普及啓発すべき内容
- ・ 普及啓発伝達ツール（パンフレット、動画等）

【配布資料】

資料1…検討委員会用資料_共有用.pdf

参考資料1…検討委員会の設置法則_令05放(法則)第10号

参考資料2…【線量推計】（別紙1）仕様書.pdf

参考資料3…原子力災害時の甲状腺の被ばく線量測定について.pptx

参考資料4…甲状腺内部被ばく説明ビデオ用スライド.pptx

参考資料5…小児甲状腺スクリーニング検査NIRS（配付用）.pdf

参考資料6…甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル.pdf

4. 出席者（順不同・敬称略）

委員長：栗原 治（量研）

委 員：真辺 健太郎（原子力機構）、谷村 嘉彦（原子力機構）、高橋 聖（原子力機構）、
石川 徹夫（福島医大）、細田 正洋（弘前大）、横山 須美（長崎大）、
安田 仲宏（福医大）、保田 浩志（広島大）

事務局：金 ウンジュ（量研）、高島 良生（量研）、谷 幸太郎（量研）、三嶋 武（量研）、深堀 麻衣

(量研)、三瓶 優真 (量研)

オブザーバー：徳本 史郎 (規制庁)、吉田 淳一 (規制庁)、山本 哲也 (規制庁)、
齋藤 朗 (規制庁)、野辺地 智也 (規制庁)、山田 淳太郎 (規制庁)、
本田 隆馬 (規制庁)

5. 議事概要

(1) 個人モニタリング結果に基づく甲状腺被ばく線量の推計方法について

- 資料1に基づいて、栗原氏(量研)より本事業の目的及び内容について説明があった。本事業では、「甲状腺の被ばく線量の推定方法に関する調査」及び「甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知に関する調査」を実施することとしている。前者について、具体的には、内部被ばく線量評価が可能なソフトウェアの有効性、放射性ヨウ素の化学的性状による線量推計への影響、年齢別の線量評価、乳幼児と行動を共にした保護者等に対する代替測定に基づく線量評価、ホールボディカウンタによる代替測定に基づく線量評価等に関する情報の整理を進めている。後者については、甲状腺被ばく線量モニタリングに関する知識を住民等に向けて普及啓発するためのコンテンツの作成を進めている。
- 東京電力福島第一原子力発電所事故において広く使用された実績があり、現在も量研から無償で提供されている内部被ばく線量評価用ソフトウェア(MONDAL)について、その出力結果を国内で開発された他の内部被ばく線量評価コード(IDEAL)と比較した。急性吸入摂取を仮定したI-131の甲状腺残留量について、特に内部被ばく線量評価に重要な情報となる摂取から30日以内の結果について、MONDALとIDEALとの相違は概ね10%以内であった。一方、摂取から30日以降では10%以上の相違が生じる場合があることが確認された。特に乳幼児に対する両者の相違の原因として、委員から、①比実効エネルギー(SEE)を体重の逆数で内挿するにあたりIDEALでは3か月児の体重を使用していない可能性がある、②体内動態モデルの解析にあたりMONDALでは年齢別の移行係数を内挿していない可能性がある点が指摘された。また、1990年勧告に対応する他国の内部被ばく線量評価コードとして、DCALが挙げられた。
- ICRPが提案するヨウ素の体内動態モデルに対する移行係数について、血液中に吸収された放射性ヨウ素の甲状腺へのアップテークは30%と設定されているが、日本人被験者に対しては15%~20%であったとする調査結果があることが紹介された。委員から、①近年の食生活の変化に伴い日本人であっても必ずしも日常的に安定ヨウ素を多く摂取しているとは限らない点、②甲状腺へのアップテークは摂取量の評価に影響するものの最終的に計算される甲状腺線量には大きく影響しない点が指摘された。また、特に放射性核種の摂取後の比較的早期においては、年齢、代謝、体格、生活スタイル等に起因する個人パラメータに基づく線量を評価することは難しく、まずは標準人を対象とした線量評価に基づいてより詳細な線量評価が必要となる個人を特定することになることが認識された。なお、ICRP Publication 147において等価線量は実効線量を計算するための中間量と位置付けられていることも踏まえて、標準人を対象とした線量評価として実効線量か甲状腺等価線量のどちらを使用していくかを考慮できると良い。
- 放射性ヨウ素の化学的性状による線量推計への影響について、例えば呼吸気道から血液中への吸収割合が小さい化学的性状の場合、甲状腺残留量から評価される摂取量は比較的大きくなるが、

一方で血液中への吸収割合が小さい分だけ甲状腺等価線量係数は小さくなる。したがって、放射性ヨウ素の化学的性状によって甲状腺残留量から評価される摂取量は化学的性状に依存するが、最終的に計算される甲状腺等価線量は化学的性状に依存しないことになる。ただし、空气中濃度から評価した摂取量に対して線量係数を乗じる場合には、甲状腺等価線量が化学的性状に依存することに注意する必要がある。

- 保護者等による代替測定に基づく乳幼児の被ばく線量は、代替者（成人）と子供の摂取量の比率が、成人と子供の呼吸量の比率と同じであると仮定して評価することになる。I-131 の吸入摂取に対して、「年齢別の呼吸率」に「年齢別の甲状腺等価線量係数」を乗じた値は、成人の場合と比較して最大で 1.9 倍（1 歳児及び 5 歳児の場合）となることが確認された。つまり、成人と行動を共にした子供の甲状腺線量が、成人について評価された甲状腺線量の 1.9 倍であるとみなすことができるということになる。
- ホールボディカウンタによる代替測定では、放射性核種を摂取した時点における I-131 と Cs-137 の摂取量比を仮定することによって、Cs-137 の測定結果から I-131 による線量を評価できる可能性がある。委員から、ホールボディカウンタによる代替測定に基づく線量評価には大きな不確かさが伴うため、補足的な手法であるということを明確にすべきである。また、同一の被ばく者に対して、甲状腺被ばく線量モニタリング及びホールボディカウンタによる測定の両方の結果を多く得ることが重要であることが認識された。福島第一原子力発電所事故後には NaI スペクトロメータによる測定値に基づく I-131/Cs-137 比の推定もなされたが、様々な放射性核種が混在していた早期のスペクトルに対するピーク解析にも不確かさが伴った経験が共有された。
- 線量評価に必要な主な情報は、年齢、測定日時、測定結果、摂取日時、ヨウ素剤の有無等である。福島第一原子力発電所事故後においては、当初、外部被ばく線量評価のために収集した詳細な行動調査の結果が内部被ばく線量評価にも役立てることができた。委員から、必ずしも甲状腺被ばく線量モニタリングの実施時点で正確な摂取日時等に関する情報が得られるとは限らず、後から明らかになる情報によって、より不確かさの小さい正確な線量を評価できることになるとの指摘があった。

(2) 甲状腺被ばく線量モニタリングに関わる住民等への周知について

- 参考資料 4 に基づき、甲状腺被ばく線量モニタリングに係る知識の普及啓発を促すコンテンツの例として、甲状腺簡易測定に関する説明ビデオの作成状況が示された。今後、現在の甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアルと照らし合わせて、整合性を確認しながら修正する予定である。委員から、対象者や使用するタイミング（平時／緊急時）を明確にして、それらに対応したコンテンツを提供することが提案された。また、福島第一原子力発電所事故等の経験も踏まえ、事故後に特に関心が高まると考えられる項目に焦点を当てたコンテンツが有用であろうとの指摘があった。さらに、福島第一原子力発電所事故後においては、線量の意味（実効線量／等価線量）が明確でないままメディア等から数値が伝わるケースがあり、将来的にはメディア向けにも説明できる資料も提供できると良いとのコメントがあった。 以上

6. 議事録

栗原（QST）：定刻になりましたので、委員会の方を開催したいと思います。本委員会は、令和 5 年度原

子力施設等防災受託費、甲状腺の被ばく線量推定方法に関する事業であります。委託元の原子力規制庁の要請を受け、量研機構の方で受託し、本事業の方が集まっております。先生方には、年度末の非常にお忙しい中、ご参加いただきまして、本当にありがとうございます。期間の方が残り 1 か月と少しということで、報告書をまとめなくてはなりません。今回を含めもう一回、もしかしたら、更に追加で一回行くかもしれません、スムーズに議事の方を進めていきたいと思っておりますのでよろしく願いいたします。そうしましたら、今回先生方にご参集いただいておりますので、簡単に先生方の方から、自己紹介をお願いできればと思います。参考資料の添付資料 1 に、委員のリストがございますので、この順番で自己紹介の方を簡単にお願いできればなと思っております。そうしましたら、まず、1 番最初が JAEA の真辺先生ですけれどもご紹介いただけるでしょうか。

真辺 (JAEA)：原子力機構の真辺でございます。私は規制庁からの受託事業のようなもので、内部線量評価コード開発等やっておりますので、線量評価に関して何か力になればと思います。どうぞよろしくお願い致します。

栗原 (QST)：続きまして、同じく JAEA の谷村先生お願いいたします。

谷村 (JAEA)：原子力機構の谷村です。私も原子力規制庁の受託事業で、甲状腺の詳細測定器の開発の方をさせていただきました。その節は、栗原先生、金先生ともに色々とお世話になって、今製品化に目指して開発を進めております。そういう観点からコメントできることがあったら、ご協力させていただければと思います。よろしくお願い致します。

栗原 (QST)：続きまして、同じくまた JAEA の高橋先生お願いいたします。

高橋 (JAEA)：JAEA の高橋です。私は、普段原科研の作業員・従事者の内部被ばくの管理も測定管理をやっておりますので、職業被ばくと今回は甲状腺の公衆の被ばくということで違いはありますが、現場の管理を踏まえて情報が提供できればと思います。よろしくお願い致します。

栗原 (QST)：石川先生、自己紹介の方簡単をお願いいたします。

石川 (福島医大)：福島医大の石川です。よろしくお願い致します

栗原 (QST)：次に弘前大学の細田先生おられますでしょうか。

細田 (弘前)：お世話になっております。弘前大学の細田でございます。どうぞよろしくお願い致します。

栗原 (QST)：福井大学の安田先生おねがいします。

安田 (福井)：福井大学の安田です。よろしくお願い致します。

栗原 (QST)：横山先生は、1 時間遅れて入られるということで、広島大学の保田先生お願いします。

保田 (広島)：はい、広島大学原爆放射線医科学研究所の保田浩志です。栗原さんとは昔からよく知り合っておりまして、どちらかというとな栗原さんのグループが内部被ばくで、私は外部被ばくの方を担当していたという経緯がございます、外部被ばくが多いです。この委員会部会で勉強しながら、力になれることがあれば、協力したいと思っております。どうぞよろしくお願い致します。

栗原 (QST)：検討委員会に先立ちまして、この事業の委託元である原子力規制庁吉田様の方から、本事業の委託内容を御説明いただければと思います。よろしくお願い致します。

吉田 (規制庁)：はい、宜しく願いいたします。原子力規制庁防護企画課吉田と申します。皆さま、本調査事業にご協力いただき誠にありがとうございます。原子力規制庁では、令和 5 年の 5

月に甲状腺被ばく線量モニタリングの実施マニュアルというものが制定されました。その中で甲状腺被ばく線量モニタリングの結果等に踏まえた個人の被ばく線量の推計方法、また、この推計結果を住民等へどう説明するかという今後の検討課題が示されたところがございます。その中で、今回の調査事業をやっていただくことにはなってはいますが、簡単に仕様書の中身について、私の方から説明させていただきたいと思います。

この仕様書に関しまして、大きく(1)、(2)、(3)というところでお示しさせていただきました。3の(1)のところでは、モニタリングの測定結果から放射線ヨウ素の甲状腺への集積の程度を定量的に測っていただく。預託線量を推定推計する具体的な方法を検討していただくこととなっております。そこで、この①にありますように、線量評価コードという量研さんの方で MONDAL というものを持っておりますが、実際に今使われている MONDAL に関して、その他国内外の同様のシステムとあわせ、有効性や妥当性を検討していただくことが、1つ目の目的となります。

2つ目の②になります。甲状腺被ばく線量の測定結果から、より詳細に検討していただくということで、この下に・が幾つか書いてありますが、この内容の項目について検討していただくこととなっております。1つ目が、放射性ヨウ素の化学的性質による線量結果への影響を検討していただきます。

2・目です。甲状腺被ばく線量のもう一回の測定対象者年齢層でさまざまな係数があるとお伺いしています。具体的には、線量での年齢群の整理について御検討いただきたいと思っています。

3・目です。実際に乳幼児を測定するときには、どうしても保護者での代替測定かと思えます。この代替測定をした場合に、乳幼児の被ばく線量の換算についても検討いただくことを考えております。

4・目です。実際に甲状腺被ばく線量モニタリングは、4週間以内を詳細測定の基本としていますが、この期間を超えた場合にはホールボディカウンタでの代替測定を行うこととなっております。この場合に被ばく線量の推計について、核種組成から放射性ヨウ素の線量推定を行うための方法について御検討いただきたいと思っています。

5・目です。実際の甲状腺被ばく線量モニタリングを行うに当たって、必要な情報の整理について検討いただきたいと思っております。

最後6・目になります。少し核となるかと思いますが、放射線ヨウ素を体内に吸入した時期の特定方法。そして、その特定に当たり必要な情報について整理していただきたいと思えます。やはり吸入した時期というのがかなり重要になってくると考えておりますので、こちらについても検討をお願いいたします。

また、③です。以上のことを踏まえて、現状のこの内部被ばく線量コードで十分たり得るか。また、新しい線量推計方法を構築する必要性の有無についても検討いただきたいと思っております。

今度(2)になります。少し趣向が変わりますが、住民等への周知に関する調査事業となります。①の甲状腺被ばく線量モニタリングの実施目的実施方法等で、住民等への啓発すべき内容について検討を行ってください。2つ目は、普及啓発のツールについて検討を行

ってください。③は、上記の内容を踏まえ、コンテンツを作成してください。具体的には、例えばホームページ等で動画を掲載していただくなど、コンテンツを作成することを目的としております。

最後(3)になりますが、今回の第1回の委員会がその一つになりますが、2回以上この委員会を設置していただくこととなっております。また、最後に重要なこととなります。この本会議で議論された内容については、成果報告書で報告されることとなっておりますが、この議事録は全て公開されることとなっておりますので、皆様御協力のほどよろしくお願いいたします。以上となります。

栗原(QST)：ありがとうございました。ということで、具体的な受託の内容が示されましたが、今回、時間も残り1カ月と少しのため、急ピッチに作業を進める必要がありますが、なるべく効率的に作業の方を進めていきたいなと思っております。そうしましたら、ファイルを幾つか送らせていただいておりますけども、議事次第に従って早速進めたいと思います。議事次第は、既にお配りしているかと思いますが、先ほど吉田様の方からお話しになられた検討項目に沿って、議論の方を進めていきたいと考えております。

令和5年度原子力施設等防災対策委託費の甲状腺被ばく線量推計に係る調査事業ということで、進みたいと思います。事業内容と目的とがこちらに記載されており、重要な部分は、赤字で記しております。委託内容については、①甲状腺被ばく線量の推計に関する調査ということで、モニタリング結果から線量評価をする具体的手順を示すということで書かれております。さらに具体的な検討事項としまして、国内で利用可能な内部線量評価ツールの有効性、妥当性を検証する。また②で、モニタリング結果から線量推計を行うにあたり、検討が必要な論点を洗い出すということ。具体的に仕様書に記載されていたことは、この・で示されたヨウ素の化学形の問題、年齢層を考慮した線量係数、生理的なパラメータ等の整理についてということ。それから代替測定をした場合、乳児ではなく大人を代替測定しますが、その時、対象となる乳幼児の被ばく線量の換算についてということになります。ヨウ素が減衰してしまった場合には、セシウム等から推計するということが実施マニュアル等にも書かれており、こちらを使用した線量推計の方法についても検討いたします。最後に、線量推計に必要な情報と摂取時期の推定、またそれに必要な情報についての整理を行うことと書かれております。

(2)は、甲状腺被ばく線量モニタリングに関わる住民等への周知に関する調査ということで、これから自治体の方々が本格的に甲状腺のモニタリングの計画を作り、それを住民の方々に周知することとなります。周知する際に用いるコンテンツの作成について行うことと理解しております。

次に(3)が、今行われている検討委員会となります。

最初の推計に関する調査ということであり、まずそもそも線量評価を行うにあたりどのような方法があるかについてですが、基本的にはICRPに記載されている方法に従って評価するということとなります。ICRPのpublication146は、事故時の線量推計のあり方、モニタリングのやり方・あり方に関するpublicationであり、原子力規制庁の方から委託されている内容が、赤字で示してあるところに網羅的に書かれております。線量

推計に関しては、先生方には釈迦に説法となりますが、ICRP のモデル・やり方によって線量推計をするということでもあります。上の図を見ていただくと、モニタリングデータまさに甲状腺簡易測定や詳細測定の基礎となる Bq を求めてあげる。そこで、測定した結果は測定時点での体内残留量であり、実際の線量評価に必要なのは摂取量ですので、摂取量を評価するために残留率・排泄率関数を使って、摂取量を推定してあげることが必要になってきます。摂取量がわかればICRPが示している線量係数を乗じることによって、実効線量が出てくることとなります。甲状腺に関しては、甲状腺の等価線量係数を乗じることになると思います。

この図は、線量評価のフローですが、作業員に関しては、残留率・排泄率関数線量係数等が Publication で与えられているということで、これらの改訂版として OIR シリーズが出されると認識しており、真辺先生はこのようなものを基に新しい線量コードをつくられていると理解しております。一方で、公衆に関しては線量係数自体は与えられていますが、残留率・排泄率に関しては、ICRP から示されていないということでもあります。示されていない理由として、ICRP は、線量係数の取り扱い等をかなり厳格にしておき、個人のリスク評価のためにICRPの線量係数というのは本来使われるべきではなく、prospectiveな評価のもとに線量係数を提示していて、まさに防護のツールとして線量係数を出しているところがあり、公衆に関しては残留率等を示していないと思われまふ。このあたり近くEIRという公衆線量のICRP刊行物が出されると聞いておりますけれども、果たして残留率・排出率を、例えば年齢群ごとに公衆の年齢区分に示すかどうかというものに関しては、まだ情報が入っていないという状況であります。

一方で、MONDAL という量研機構、昔の放射線医学総合研究所が開発した公衆にまで対応できる線量評価ツールがありますが、こちらの論文によると石樽先生も当時、ICRPのCommittee 2の線量係数を計算するタスク委員会のグループの一員だったと言っており、MONDALが将来事故等で公衆が被災した時の線量評価のためにデータが必要であるかどうかということを目的としてつくられたかどうか、少し聞いてみないと分かりませんが、やはり参考データとして残留率・排泄率に関してのモデルが示されている一方で、そうした残留率・排泄率のデータというのも参考データとして示すべきだろうと、論文には読み取れるところがあります。したがって、公衆に適用できたツールは、海外の線量評価ツールを見ても余りないと思っております、この辺が福島事故においてMONDALがかなり使われてきた経緯であると思っております。

仕様書に書かれておりました IDEC コードがございます。こちらです。以前、ホームページ上に公開されていたものを古いパソコンから引っ張り出してきて、起動しました。このような詳細な情報が書かれており、当時このようなコードが開発されていて、赤字に示されているように、IDEC コードの中から出てきた情報、ここに記されている情報でありますけれども、電源特会、特別会計法に基づきまして、科技庁の日本原子力研究所に対する受託事業として開発されました。青字が IDEC コードの仕様に関するもので、こちらは我が国独自で開発された計算ツール、コードということになります。適用核種が非常に多く、1091 元素と 1001 核種と書かれているので、告示別添に書かれている元素に関しては、

かなりカバーできているということでもあります。ということで、この IDEC コードと MONDAL コードの違いという仕様書に書かれているところを作業いたしました。

表に示しますのが IDEC コードのヨウ素 131 の吸入摂取の線量係数ということで、上段から蒸気状ヨウ素それからヨウ化メチル。それから粒子ということで、IDEC コードは独自に線量係数を計算をするという機能を持っています。IDEC コードと ICRP の線量係数は、有効数字としては二桁なので、例えばその 1.1 と 1.0 というのを比較すると、差としては 10%に広がってしまいます。一方で、9.9 と 9.8 だと数パー%未満になるという性質の数字ですけれども、こちらで IDEC コードと ICRP を比較した結果というのを示しております。概ね 10%以内に収まることを確認しております。

お手元の資料を見ていただければと思いますが、MONDAL と IDEC の残留率の違いを示しております。年齢区分ごとに、まず蒸気状ヨウ素について比較をしています。MONDAL の方は、体内動態モデルのコンパートメントモデルをルンゲクッタ法によって解析をしていると承知していますけれども、その結果とそれから IDEC コードの結果というものを示しています。IDEC コードの方は、有効数字 2 桁で書いていますが、実際には 3 桁で書いていますけど、2 桁になっていて、MONDAL の方は有効数字が 3 桁になっています。そのため、ここで示している差分というのは、あくまで目安的な評価になると思うのですが、このような、やはり若干違うところを見ているということと経過日数によって、差分が大きくなってしまいます。こちらの IDEC コードは、有効数字 2 桁で示しているので、例えば MONDAL の 0 歳児の 100 日後というところをみると、5 の-7 乗というところと 1 の-6 乗というところで、半分違ってくることがありますけれども、取り扱っている中の内部の有効数字の違いも少し影響してくるのかなというふうに思っております。総じて 20 日ぐらいまでは、赤線でひいたところまでは、1 週間 1 カ月くらいあれば、それほど大きな違いはなかったのかなという印象を持っております。こちらはヨウ化メチルと同じような感じですが、それからこちらが、粒子状ということでヨウ素 131 に関して 3 つの形状です。蒸気、ヨウ化メチル、粒子ということで比較をしているということでもあります。この IDEC の残留率は、1 日ごとに 100 日分出てくるという訳ではなく、グラフを書く際に、後ろでフォルダーの中にグラフを書かせるための中間ファイルができ、そこから今データを引っ張ってきているという状況ですので、欲しいところの日数の残留が出てくるという訳ではないです。こちら辺、もし先生方の中で詳しい方がいたら、詳しい情報があればいただきたいなと思っております。

こちらは、それぞれ GUI の違いを示していて、MONDAL の方が左、それから右が IDEC というところで、IDEC に関して、今は公開されておられません画面では違いがあります。MONDAL の方はお使いの先生方もおられると思いますが、青いところのモニタリングデータを入力していただくと、線量結果が出てくるという形で、一つの画面で全てアップロードするのに対して、IDEC コードは複数のパネルが開いていくような感じで、掘り下げていって、必要な情報とか必要なパラメータは適宜 GUI 上で変えられるという仕様のもになっています。

こちらにも検証結果ということで、例えば、摂取 7 日後に甲状腺中にヨウ素 131 を 1000

Bq 検出した時、MONDAL は、線量係数に関しては ICRP の線量係数を使って計算していて、残留率に関しては MONDAL 独自の残留率データベースを持っているので、そのデータベースに照らして 7 日目の摂取量を計算し、それに線量係数を得るという方法でそれぞれ線量が出てくるということです。IDEC の方は線量係数も残留率も IDEC の中で計算している結果を使っているということでもあります。こちらを見ると MONDAL と IDEC に関しては、全て 10%以内の違いでほぼ一致しているという結果になっています。多少違うのは、有効数字の 2 桁目が少し違うところで差が出てきており、大きな差は出てこないということを確認いたしました。一方で、今度は 30 日後という経過日数が経ってしまった場合の影響に関しては、残留率の違いが計算の数字の違いとして出るので、多少差が大きくなる場所が出てくるのが確認されました。これに関して、どちらが正しいかの判断はなかなか難しく、第三者のコードと照らし合わせる必要がありますので、そのようなコード海外の計算ツールを引っ張り出してくるしかないですが、今後詰めようと思っており、真辺先生はじめ、知見いただければなと思っております。

最初の検討事項といたしまして、ここにまとめておりますが、いろいろ検証し比較をした結果、概ね 10%未満、以内であることを確認しております。30 日以内に関しては 30%、10%未満であるということでもあります。IDEC はお話したように、現在入手できないことがあり、一方で、今後 EIR シリーズ等の対応が必要になると思っておりますが、その後、法令等に取り入れられるまでだいぶ時間がかかると思います。こういったところも忘れずに今後世、アトム世代にしっかりとリマインドしていくことが必要であると思っております。MONDAL は、やはりフリーで提供しているというところがあり、福島関連の論文によく使われているというところ、一方で、IDEC は適応核種が何と言ってもかなり広いことで利便性やメリットが非常にあると思っております。ということで、今後の予定も少し書かせておりますけども、最初の議題に関しては以上でございます。

一回共有を切りたいと思います。最初の検討項目である内部被ばくに用いられるシステムの検証でしたが、今会議が始まったところではありますけども、横山先生が御入席されたということで、横山先生簡単に自己紹介の方をお願いできればと思います。

横山（長崎）：長崎大学原爆後障害医療研究所の横山と申します。皆様にはご存知の方もいらっしゃるかと思いますけども、これまで内部被ばくの線量評価、空气中濃度から内部被ばくの評価というようなこと。トリチウムの線量評価等、医療施設における被ばく評価等を行ってまいりました。よろしくお願いいたします。

栗原（QST）：最初の検討項目である線量評価コードの有効性・妥当性に関しては、真辺先生かなりお詳しいと思っておりますけれども、真辺先生の方からもし良ければ、IDEC コードのもう少し掘り下げたようなことや海外で使えるような計算コード、例えば、DCAL とか多分あると思っておりますが、そのようなものが検証に使えるか、また比較対象となるか、また、もし可能であれば、EIR が今後、公衆に対して残留率を示していくようなそういう情報等ありましたら、お聞かせいただければありがたいのですが、いかがでしょうか。

真辺（JAEA）：色々ポイントがあるのですが、まずその IDEC コードとの比較のところ、これは私自身もかつてそのコード開発をするにあたっていろいろ見たところがあるのですが、

例えば、乳児の線量係数がどうも ICRP の数値と少しずれがでやすいというかずれている部分が多いというのは把握しておりまして、報告書を細かく見ていた時に本来であれば、その SAF データ、今 S 係数ですけども、SEE を計算する時に、計算して時間経過と共に体重の逆数で内挿していくってようなことがあるのですが、そこで本来、ICRP は新生児のデータと 1 歳児の間に 3 ヶ月児の体重データも参照して内挿するようになっているところを INDES/IDEC は抜かしているようで、そこで少し違いが出やすいってようなことを見たことがあります。例えば 8 ページ目の資料の乳児の部分で実効線量係数が少しずれている特に粒子状タイプ F で 2 桁目の 4 も違っているのは、そこら辺が影響しているんじゃないかなという印象を受けております。

後、もう一つ、残留率の件ですが、これは INDES/IDEC の方が採用しているのも確か同じようにルンゲクッタだったような気がするのですが、これは、成人以外の小児に関してはまず移行係数ってというのが年齢依存のものがデータあるかと思うのですが、それも時間経過と共に内挿しなさいってように確か Publication56 とかに書いてあります。それを INDES/IDEC ではたしかやっていたと思うのですが、MONDAL の方の計算って年齢群の中で移行係数を途中で連続的に切り替えていくのじゃなくて、すばっと 6 つの年齢群で範囲を区切って、切り替わるタイミングで移行係数のセットが変わるような計算をしていたのかなと見た記憶があります。ただ、ここが違っていても、この成人のデータは合うはずなので、何でこんなにずれているのかなってというのはすみませんわからないなところなんです。

あと最後に他のコードの諸外国のということで、栗原先生おっしゃったように DCAL っていうのは使えると思います。というのも 90 年勧告の動態モデルを使ったコードじゃないといけないというのがありまして、DCAL はそれを使っているという状況です。IMBA の方は同じ 90 年勧告のコードなのですが、その体内放射能の解き方がたしか違っていたはずなので、もし外国のコードをとるのであれば、DCAL を使うのが一番適しているんじゃないかなと思います。

栗原 (QST) : ありがとうございます。後、EIR が将来いつ ICRP が出すかに関しては、これはもう誰もわからないですけども、何か情報とかお持ちでしょうか。

真辺 (JAEA) : それに関しては特に情報掴んでおりませんし、ドラフトの段階ではないのでどうなのでしょう。出ないのかもしれないです。把握してないです。

栗原 (QST) : なかなかこの線量係数を出すことは、実は結構難しいというか、比実効エネルギーとか残留率とか微分方程式を解くのですが、移行係数のところを色々実は補完しながらやられているとかあります。ヨウ素に関しては、半減期が短いので、あんまりこの辺はひよっとしたら影響しないのかなってところもあるのですが、この辺に関しては先程真辺先生から情報いただきました DCAL を少し自信ないですが、勉強して動かしてみたいと思いますし、何か難しそうであれば、真辺先生に聞きたいなっています。

そうしましたら、次の検討事項に進みたいと思います。たくさんあるこの仕様のなかの検討項目ということで、まず、最初の線量推計にあたっていろいろなパラメータが出てくるところで、こちらのいろんなパラメータに対して線量推計が及ぼす影響を一つづ

つ整理して、その影響について評価しなさいということかなと解釈しています。

放射線ヨウ素の化学形の違いということに関して、これが線量評価に与える影響に関しては、甲状腺の簡易研修か体外計測研修かでも少し紹介はしていたかなと思うのですが、ヨウ素の性状は、3 つ代表的なものがあるということで、元素状ヨウ素とヨウ化メチルと粒子状ヨウ素というのがあります。基本的には何が違うかという、黄色いところで示したように沈着のところ、タイプ F のクリアランスというのがあるようなのですが、基本的にはすぐ溶けてしまう小さくしたものがすぐ血中の方に溶けてしまうということがあって、実質的なその体内動態はあまり変わらないですけども、最初の呼吸気道の沈着率が間違ってくるというのが線量係数に深く影響を及ぼしてくるということになります。こちらを図に示しているのは、年齢群ごとに各ヨウ素の性状によってどれだけ線量係数が変わってくるのかを上表に示して、基本的にはこういう形になっているということです。乳児と成人を見ていると大体 1 桁くらい線量係数は違うということで、特に小児は甲状腺の線量が高くなりやすいというのはこういうところからきていますけども、重要なことはまた、その種類によって線量係数がだいぶ変わってくるということで、100%をほぼほぼ呼吸気道にくっついちゃうものに関しては 1 Bq あたりむだなく、吸収されちゃうので、線量係数が高くなってしまいます。元素状ヨウ素に対して呼吸して半分くらいが呼気に出てしまう、粒子状のヨウ素に関しては取り込んだ瞬間にこれは摂取になるので出てしまうとその抜けた分が線量係数に、寄与しないということになるので、それでその違いが出てくるということなのです。もし、環境モニタリングから甲状腺のヨウ素の線量推計をする場合には、こういった化学形の性状の違いについては考慮する必要が偶に出てくるのですが、甲状腺の実際の測定、実測定、体外計測をした場合には、これとあんまり変わらない。つまり、甲状腺中のヨウ素の Bq を求めて、まさに甲状腺で起きている β 壊変に伴う線量をこの実測から捉えていることになるので、実はここはあんまり変わらないということになります。実際、見ていただいても変わらないですし、表には示していませんけれども、経口摂取でも変わらないということになります。経口摂取のデータは手元にありませんが、実際試してみたところ、変わらなかったということと、それからこれ 1 週間後を一応例として挙げていますが、他の日でもほぼ変わらないと確認しております。

体内動態モデルに関しては、先ほど真辺先生からもありましたけれども、年齢群毎にモデルのパラメータが決まっています、甲状腺のアップテーク 30%と排泄率は変わらないのですが、甲状腺での半減期っていうのが微妙に少し違ってくるということです。やはりその小児になればなるほど年齢が若くなればなるほど、甲状腺でのヨウ素の半減期が短いということで、元々半減期 8 日なので、あまり significant には見た目は見えないのですが、やっぱ時間が経ってくると差が出てくるということになっています。

一つやはりこのヨウ素のモデルでよく議題になるのは、ヨウ素のアップテークが ICRP モデルでは 30%、通過コンパートメントが 30%蓄積されるということで、日本人の被検者に関しては 10%ということで、かつては、こういった 15%、20%のパラメータを使った線量係数を使うべきではないかということが議論されていたのですが、やはり国際的

な勧告に基づいて、線量係数の適用範囲ということも考えると、ICRP の値を使うのが大筋じゃないかというような意見が多いかなと思います。こちら、補足で書いていますけれども、ヨウ素 131 の吸入摂取に関する決定集団というところで、実際、被ばくシナリオとしてはチェルノブイリ事故のように、経口摂取でなくて、勿論、水道水の濃度が上がった場合には考えなくてはいけませんが、今のスクリーニングレベルと初期の線量等を考える場合には、吸入摂取というのを主に考えていますけれども、ここで線量係数の違いのみならず、それぞれの年齢群に応じた呼吸量の違いというのを考慮すると、これらの積を考えると、決定集団というのが1歳児、あるいは5歳児ということになります。ということで、それぞれの決定集団の表と、それから下の表に示しますのは、その 100 mSv に相当する摂取量ですとか、1 週間の平均濃度というのを示しているということでありまして、モニタリング等も活用できればこういったところの結果も参考になるのかなと思います。まず、ここまでが化学形に関する議論です。

時間も限られていますので、検討項目 2 を進めたいと思います。次に大人を代替した場合の被ばく線量の換算についてこちらのスライドで示しております。左の図は、100 mSv に相当する正味値ということで示しております、こういった形で勿論、年齢が上がれば上がるほど 100 mSv で相当する摂取量が増えていて事実、値も大きくなっていくということになります。これで見えていくと 0.2 μ Sv/h 赤線で聞いたところが実施マニュアル等で示しているスクリーニングレベルになるわけですが、0.2 μ Sv/h も赤い線を下回ってしまうと、0.2 μ Sv/h 以下でも 100 mSv になってしまうということになってしまうので、甲状腺の被ばくモニタリング検討チームでは、乳幼児、子供に関しては少し 0.2 μ Sv/h を適用するのが難しいのであるからして、右に示すような保護者を測定することによって、乳幼児若い年齢のこのスクリーニングレベルが厳しいよく難しいというところをカバーしようということが検討されたわけです。実際に、右の図に関しては 0 歳、1 歳、5 歳に関しては代理測定、一緒にいる大人です。大人を代替にして測るということで、スクリーニングレベルを決めて、保護者の摂取量としては下にある関係を使ってこの量を子供が 100 mSv 相当するものを吸ったのであれば、大人はこのぐらいの式に示しますような摂取量を取り込んでいるはずだということに基づいて代理測定をすると、右のような図になっておおむねその 3 週間、簡易甲状腺測定は 0.2 μ Sv/h のスクリーニングレベルで対応できるということが決まったという経緯になっています。

こちらがいわゆる早見表ではないのですが、甲状腺等価線量を 100 mSv に相当する NaI サーベイメータの正味値というものを示しています。経過日数に対して 0 歳、1 歳、5 歳、成人までというところで、どのぐらいの正味値になるかと NaI サーベイメータの正味値がどうなるかということで、一番下の方少し小さいですが、使用した換算係数を示しております、こんな形で評価できるということです。先程の前のスライドの左の図の結果、データになっていてこれでどういう風に計算するかというと、摂取から 6 日が経過したの赤い枠のところを見ますと、これが 0.2 なので、例えば、1 μ Sv/h の結果を得られたのであれば、0.2 で 100 mSv、だから計算としては 100 mSv を測定値 0.1 を 0.2 で割って 50 mSv という風に換算できる。いずれにしても、スクリーニングレベル以下であれば、オ

レンジ色のセルで色に示したセル以下であれば 100 mSv 以下であるということにはなりません。

次に、先程の今度補正した場合の時はどうなのかというと、このオレンジ色を示したセルが増える形になります。ということで、この結果がまさに子供で保護者を測定した時に、子供の線量が 100 mSv になるという結果の指示値になるということでもあります。ということで、これも 2 枚前のスライドのグラフのデータになっているということになります。

もう少し分かりやすくするために見方を変えてみた時に、こちら下の図にありますのが 100 mSv に相当する正味値で 0 歳児と 5 歳児だけを示しましたが、薄いプロットに示したものが本人を測った場合の 100 mSv に相当する指示値ということで、こちらはもう 1 週間たつと 0 歳児に関しては厳しかった。0.2 以下でも 100 mSv 以下となってしまうことになります。これに対して大人を測るとこのような指示値になるかというのを示したのが、この少し濃い色で示したプロットで、こういう形が一緒にいた大人を測るとこういう指示値になるという示しです。この差が 0 歳児とこの 5 歳児では差が違ってくるということになっていて、からくりというか結果、こういう上の表が、それぞれ 100 mSv に相当する摂取量としては、こちらもう少し前の前のスライドで示した数値のデータではあるのですが、100 mSv に相当する摂取量としては 0 歳児及び 5 歳児を比較した場合には、0 歳児が低いのですけれども、これに対する呼吸量の比が 0 歳児では 7 倍位、だんだんこの割合は実は小さくなっていく結果なので、この結果から大人と子供の NaI サーベイメータ指示値の差がだんだん小さくなっていくということになります。こちらの右のグラフは、正味値の比ということで、当人と代理者の小児の比という NaI サーベイメータの比として示していて、0 歳児の方はその半減期が早いので、どんどん差が広がっていくという形になるかなと思います。

次は、ホールボディカウンタによる測定を行った場合の甲状腺線量の推計についての情報ということで書かれています。こちらは、私達がやってきた方法ではあるのですが、福島事故の時に甲状腺の実測データがなかったとあって、一方でセシウムに関しては原子力機構を初めとして初年度にかなり件数を測定したということがあったので、ホールボディカウンタの結果からヨウ素の線量を推計できないかということを試みた研究がございました。こちらは、先ほどと同じような感じで、大人と子供が同じ環境にいるので、呼吸量は違うがヨウ素とセシウムの取り込みの割合としては同じだと仮定をして、当時、一番初めに福島県から提供いただいたデータが、成人の被検者のホールボディカウンタの実効線量だけだったので、実効線量から赤いところに示した摂取量比を求めたいという目的があったので、小児甲状腺スクリーニング検査が行われた 3 自治体の線量がわかっていましたので、ホールボディカウンタで測られた線量と実効線量等をうまくつなぎつける、整合する摂取量を線量の関係から求めたという経験がございます。

こちらが、そのほかにやられたデータをまとめています。細田先生のデータもありますが、やはりばらつきが大きいということが一つと、それから環境中の放出されたヨウ素とセシウムの割合としては、セシウムが 1 に対してヨウ素が 10 とか 8 とかそんなような数値だったと思うのですけれども、やはりそれに比べるとヨウ素セシウム比の人から測定され

た場合から、推定した場合のセシウムの方が小さいということになりました。結果は色々理由としてあるのですけれども、まず一つは最初にお示ししたようにヨウ素のアップテークが日本人の場合は非常に ICRP のモデルに比べて低いので、取り込んだと思っていても、甲状腺にヨウ素はいかないというのが一つということと、それから最近、わかってきたのは、ホールボディの結果も一時帰宅等で、若干セシウムが付いたものを持ち帰るなどしてというのが 2011 年 9 月ぐらいから一時帰宅の第 2 陣というかそれまではビニール袋一つに持って帰れるものを制限していたが、それがマイカーで一時立ち入りできるようになったということが理由なのかもしれませんけれども、そういった時期からホールボディカウンタの方で少し時係数みたいなものが発生したということが報告されておりまして、それでセシウムが今度大きくなってしまっている。そしてセシウム比としては低くなると、ということで、恐らくこの 2 つの理由がこのヨウ素セシウム比の結果につながっているんじゃないかと考えられます。いずれにしましても、やはり時間がたった後のセシウムというのは、そのような影響が出てくるので、なるべく早い段階で必要なデータを取得すべきではないかと考えているところであります。

こちらが、私達が以前、原子力規制庁の安全規制研究で提案した研究ですが、甲状腺モニタの開発がメインでしたが、モニタ手法に関しても提案しており、まさに詳細測定と追加測定のところ、細田先生の研究のように同じ人からヨウ素セシウム比の実測データを取得するというのが非常に重要ではないかと考えている次第であります。

それから、推計に必要な情報といたしましては、ここに書いてある情報があります。先生方からすると、もう当たり前だよということになると思いますが、ひとつ大事なことは、やはり行動の情報、下の黄色で示したところ、行動情報をどうすればいいかというところがあります。これはいろいろ議論があって、今であれば、GPS などを利用してスマホ等を使って、実際、そういうのをやっている自治体もそれは行動情報では何かその必要な情報をアクセスできるっていうモニタリングのどこでやるのかとか、そういったことだったんですけども、それだけではなくて、行動に関しても GPS データを使えば取得できるっていうのがあるんですけども、実際、福島事故の時も、東大の早野先生が研究されていましたが、一方で、個人情報とかいろいろ細かいところがあること、あと、やはり福島の際は避難計画が EPZ まで 10 キロ圏内、まさに計画外の避難をしなくていけなかったもので、避難所も決まっていなくて、人の行動っていうのがさまざまであったということが線量推計の難しさにも繋がっていたのかなっていう一面はあったかなと思います。原災指針が定められて各地域で、避難計画がしっかり作り込まれてきているということなので、どこの地区の人がどういう風に避難していくのかというのがある程度ひな形決められていると考えますとこの辺は、そういった個人の多様性や代表的な行動パターンである程度カバーできるんじゃないかというようなことも考えられるのかなと思っています。いずれにしましても、事故初期の段階でどのような行動情報が収集すればいいのかということと、あるいは今、福島県でやられている県民健康調査のやり方も参考にしながら、どういう情報を聞き取ればいいのかっていうフォーマットをこの委託事業の中で提案というか示せばいいのかなと認識しているというところであります。

こちら安全規制研究でお示した内容ですけれども、こちらのフォーマットでは、なるべく避難所に着いて測定をするという段階で、そのヒストリーはそれほど長い状態、長くても1週間程度というところを想定していたと思いますが、そこでこういう情報をとればいいじゃないかとしたところでもあります。こちらが、HPAで示されている線量記録のフォーマットで、測定器、測定データに関しては機器のタイプとか、あとはバックグラウンドもデータとか書いたりとか、あとはヨウ素剤の服用の有無も書いたりというところでもあります。アクションレベルの有無、超過の有無というところでもあります。

最後の摂取時期に関しては、これはもう線量率の上昇をまず見るというのが一番手堅い方法ではないかなと思っていて、実際、プルームの通過時には空間線量が上昇して実際通っているというような結果がえられていると、まさに、ここそこにいる住民の方々が過ごしていれば、そこが摂取日になるのかなと思いますし、もしも、こういった環境モニタリングデータが全く得られないのであれば、事故が発生した日、あるいは大量に有意な放出があった日を摂取日とするといったような後者に関しては、福島県の方々のホールボディカウンタの線量推計では3/12を摂取日としているのですけれども、こういったところで決めるということになります。実際は、詳細な行動情報が得られていたりとか、あるいはその放射性物質の拡散状況がわかっていたりとかすると、まさにこちらはその研究した一例ですけれども、プルームの動きとこのプロットが人の動きを示したものでありますけれども、こういったことで詳細な評価ができるのですけれども、ここまでやるのは、やはりだいぶ時間経った後かなと思いますので、初期の段階どうするかといったところを議論いただければと思います。

摂取日で大事なことはこちらの論文にもありますように、ヨウ素131以外の核種こちらの床次先生とか細田先生とか結構研究されていますけれども、こういったところもしっかり考えなくちゃいけないかなと思いますし、床次先生、細田先生のご研究では、in-siteの測定から核種の割合とかというのを推定もされていて、非常に詳細な核種のプロファイルがしっかりと把握できているというふうに思っております。

2つ目の項目である線量評価に必要な影響するパラメータの影響についてまとめるということで、少し不十分なところがありますけれども、現時点でまとめる内容としてはこういう内容となっているところでもあります。はい。それでは1回共有切りたいと思います。

まとめますと、まずヨウ素の化学的な性状による違い、年齢を考慮した整理ということと、代理測定とホールボディカウンタによる摂取量からの甲状腺推計、それから線量推計に必要な情報と差し引きの推定という6つの項目についてでございます。まず化学形に関してなんですけれども、こちらの線量には影響しないということで、まさに実際に測定をするからいわゆるその直接個人を測るメリットというものがまさにここに出てくるのかなと思うのですけど、もちろんすべての人、全員できるということではないですが、実際の線量というのをしっかり押さえておけば、同じような地域の方々はそれを参考にするとかっていうのは多いにできるかなと思います。これに関しては先生方から何か御意見コメント等ありますでしょうか。ここは先生方も十分ご理解させていただいたかなと思いますし、まさにその甲状腺のヨウ素Bqを測ることによるメリットというところかなと思います。

それから、次の年齢層を考慮した線量係数ということで、ICRP では年齢群ごとに線量係数を与えているのですが、例えば個別の年齢に応じて線量係数を与えるということが必要ではないかというような意見もあります。これに関して先生方から何かを考かありますでしょうか。また、生理学的パラメータということで、まずはこの ICRP の係数を使えばいいのではないかと思うのですが、線量係数が、例えば、呼吸量によっても変わってきてしまう。保田先生手を挙げられているので、お願いします。

保田（広島）：はい広島大の保田です。年齢別に線量係数を与えるということに関しては、1990、77 年勧告まではそれで良かったと思うのですが、実効線量の概念が出てきてから、年齢別の等価線量とか、年齢別の実効線量というのはできないということになっていると思います。ですんで、今回等価線量を評価するということになると、それはそれで Sv で評価していいと思うのですが、それは標準人に対しての線量であって、年齢別に出すのだったら、それは吸収線量で出さないと今の ICRP 勧告とは齟齬ができてしまうと思いますがいかがでしょう。

栗原（QST）：歴史的な経緯が外部被ばくに関しては年齢ごとに線量係数を与えていなくて、一方で、内部被ばくに関しては ICRP の方で年齢ごとに線量係数を出している。これがやはりチェルノブイリ事故のことを契機にして、やはり甲状腺ということ考えた時に、やはりその大きさが違うと吸収線量が変わってしまうということで、ICRP のモデル上はその標準人である数学ファントムでのボリュームを決めて線量係数を決めているのですが、果たしてその大人と子供の線量係数の違いがそのリスクに反映されているかっていうと、そこまでの精度はないですし、実際、いろんな疫学研究とか見た場合に環境省の統一的基礎資料とかに記載されているのですが、確か成人男性で 4 倍とか 5 歳児の 4 倍とかくらい高いということで、だいたいそういう意味では線量係数は子供が放射線に関して影響が高いってことを反映した結果で、線量係数が高いと言えますが、そこまで制したものでもないということで、確かにこれに関しては ICRP がこう与えているところで線量係数以上に細かくする必要はあまり特段ないのかなって思いますし、今 ICRP で

保田（広島）：栗原さん、少しポイントが違うのですが、僕から言いたいのは、年齢別に出すのはいいと思うのですが、あらゆるリスクを出すのはもちろん必要だし、それはやっていいと思います。重要だと思うのですが、等価線量ですよ。Sv って言った時には、これはもう標準人で計算すると 90 年勧告勧告をしっかりとっているんで、それは個人、年齢で変わっちゃおかしいということなのですよ。だからもしその年齢別にやるなら、等価線量ではなくて、吸収線量を評価するというプロジェクトにしないと場合によっては、等価線量も次の主勧告でなくなる可能性も高いので、そうするとこのプロジェクトで出したデータが使えないということにもなりかねないと思うのですよね。そこはもう少ししっかり詰めていただけるといいかなとか。今回回答が欲しいわけではなく、すこし検討していただければというふうに思います。

栗原（QST）：今の保田先生から御指摘いただいた点は、線量係数の適応範囲ってところで最近の ICRP の 147 でしたっけ、甲斐先生が保健物理学会誌に説明されていて、実は最近行われた高度被ばく医療研修でも実効線量の定義というところでお話ししたのですが、確かに

いろいろ議論があって、やっぱり等価線量というのが、あまり的確な使われ方をしていないと評価をするならば、Gyと単位を直すべきだと、実はUNSCEARもそういう意味でGyを使っていると。Gyなのだけれども、使っている線量係数はICRPのいわゆるmSv/Bqだったりとかするので、単位を置き換えているだけってということにはなるのですが、そういう意味では、ヨウ素131の場合、実効線量と甲状腺の等価線量が何で20倍も違うのっていうそういういろんな誤解というか混乱というか、そういうのもあったという点もありますし、新しいICRPにEIRではそんなに細かく年齢係数をつけなくても1歳、10歳、成人の3くらいでいいじゃないかというような話もあったりとかするので、この辺、Publication147、ICRPの議論を進めまして、どういう風に線量を提示すべきかを念頭に置いて議論したいかなって思っております。その点に関してその他の先生方がいかがでしょうか。私もこの辺はあまり強くはないのですが、こういった流れでよろしいでしょうか。福島医大の石川先生、福島県民健康調査の方ではそういう意味ではSvを返していると思うのですが、年齢ごとには確か体格での補正をしているというふうに理解しているのですが、この点いかがでしょうか。

石川（福島医大）：おっしゃる通りでして、年齢によって体格を補正して線量を計算しています。その点からすると、本来の実効線量からの使い方とすると、少し違った使い方をしているといえ、しているのですが、やはり補正できるものは補正して数値を返した方がいいのかなって思う。そういう考え方で今現在の方法になったのではないかなというふうに思います。以上でございます。

栗原（QST）：年齢補正の仕方に関しては、外部被ばくに関しても、最近でこそICRPの方で環境中の線量係数とか出していますけれども、子供ほど地面に近いことも少し影響して、大人と比べると線量が高くなってしまふことがあるので、この点をしっかり過小評価にならないような配慮をされており、しっかり補正されているのかと理解をしています。この辺、また時間がありましたら議論したいなと思います。それから次のホールボディカウンタの代替測定に関しまして、細田先生が実際に貴重なデータを出されているので、御意見いただければと思うのですがいかがでしょうか。

細田（弘前）：やはり私が思ったのは、事故からちょうど事故直後過ぎると、実測する場合NaIだと、やはり多くの核種がひっかかってきて、なかなかヨウ素とセシウムの比を出すのは難しいなと。我々、たまたま4月の中旬で1ヶ月ぐらい経った後だったものですから、ちょうど残っているのがヨウ素がぎりぎり残っていて、セシウムが見えたので、比を出せましたが、このホールボディの結果を使うとなった時、どのタイミングでNaIを使う基本的なNaIでスペクトルを取ると波高分布とすると、どのタイミングでやっぱりそのデータを取るかについては非常に重要になってくるのかなというのと、先程やっぱり栗原先生おっしゃられていましたように、非常に不確かさが大きくなる手法だと思いますので、その不確かさをどこまで加味して、どこぐらいまでの不確かさを許容範囲とするかということを考える必要があります、あくまでも補足的な線量推計になろうかなとは実感として感じたところです。特にダイレクトの測定をした時に、やはりNaIですとエネルギー分解能が悪いものですから、やっぱり134と137のピークをきっちりと分別するための十分なカウントが得られな

い住民の方がいて、その場合、なかなかセシウム 137 や 134 は特に 137 定量するのは厳しかったのですが、したがって、795 keV の 134 を使ったのですが、なかなか十分なカウントを直接ダイレクトに得るには難しかったように思います。ということで、どうしても実際測定した人に比べて結果使えたデータが 5 データ、4 データしかなかった。より少ないデータになってしまって、かつ不確かさが結構大きな手法になろうかなというので、その不確かさについてどこまで検討するかということと、どのタイミングでのデータを使っていくのかというのは、先ほど栗原先生もセシウムに取られているキノコとか取られているということで、我々の場合はだいたい初期の JAEA のデータを使わせていただきましたけれども、そこも厳しいところになってくるのかなと思いますので、タイミングの問題もいろいろ議論されるといいのかなと思いました。

栗原 (QST) : 確かにセシウム半減期は長いといっても、セシウム体内半減期っていうのも個人差があって、実は男性と女性で平均的に少し換算率が半減期が違うということもあるので、やはり子供はとにかくすぐなくなってしまうということがあって、これもタイムリーに測定することにはこしたことがないのかなと思います。そういったところで不確かさということで、今お話があったのですけれども、この委員会中でどこまで議論するかはあるのですけれども、可能な限りこの辺もう少し検討していきたいなと思っております。

細田 (弘前) : 補足的な線量評価手法であるというところをやっぱりダイレクトに測定するのは、どうしても限られた人数になってしまいますので、したがってホールボディというのは結構なデータを取ることができると思いますので、我々も浪江のある程度の状況を把握したいなということで、浪江のホールボディのデータを使わせていただいたことがあって、あくまでも補足的な手法かなということで、一つ提案として栗原先生にもご指導いただきながら論文書いた次第であります。その辺を強調された方がいいのかもしれないなと思っております。

栗原 (QST) : なるべくプライマリーな評価手法としては、ヨウ素の直接測定であって、それがどうしても時間的に対象者全員をカバーできない場合、重点地域の方々に関してはその後もセシウムも測定していくと、それでもやはり難しい場合には環境モニタリングを行うということになろうかなと思います。実際、福島県でもホールボディカウンタの測定が初年度に行われたのが浜通りの地域の避難地域の方々が中心にやられているので、そういったことで、リソースを考えてモニタリングをしていくことが必要なのだろうというふうに理解いたしました。

そしたら次、摂取推計について必要な情報についてということで、推計に必要な情報ということでこちらも、一番大事なのは摂取時期、もちろんそれを測定する場合には、個人の年齢ですとか、性別とかがつきますので、これは個人情報として受け入れる、自治体の方で管理するということがありますけれども、それから推計に必要な情報として摂取日、これは複数回考えられる場合もあります。やはりマルチプルな摂取の場合には、そういう意味では一番初めの日に摂取を取り込んだとすれば、過小評価にならないといったことで、考えられるわけですが、普通に考えると空間線量率等のモニタリングの結果でプルームが上昇したタイミングで上がるスパイク上の線量率の上昇をもって、その

地点地域にプルームが到来して最初の暴露のタイミングで行ったというような考え方にもなるのかなと思うのですが、その他先生方の方から何か他にありとお聞かせいただければありがたいですけれども、いかがでしょう。福井大学の安田先生いかがでしょう。いろいろ福島県もいろいろ経験もされていると思うのですが。

安田（福井）：私はかつて放医研でスクリーニングとかの総括といいますか。福島県で携わっていたわけなのですが、おっしゃるように摂取日のお話、先輩でもある床次さんが指摘されていた通り重要です。それで先ほど 7 ホームというのか、線量の増減の空間線量率の図を出していただいていたけれども、ここの中でどの程度、それを突っ込んでやれるのかわかりませんが、あの後、当時、リアルタイムで見えてなかった線量の情報が公開されていますので、もう少し細かく検証可能かなと考えています。というのは、時系列に、例えばその時はインターネット上でリアルタイムに見えなかった情報が後ですくい出された。そういうのが今公開されているものを使うと、その時に実際にそこに人がいたかどうかというものとあわせて、今栗原さんがおっしゃっておられたような増減をその一つのトリガーとして考えるっていうのに、信憑性ができてくるのかなっていうふうなことは考えました。

あと、もう一つすいませんコメントですが、これってどのくらいの時間スケールの話なのでしたっけ。この今やろうとしているこの事業というのは、この 3 月までに全部閉めるって感じなのですか。

栗原（QST）：はい、大変厳しいのですが、一応 3 月の末までにこの事業自体は終了するので、そこまでに委員会としての見解をまとめるとかだと思うのです。

栗原（QST）：その他、原子力機構の谷村先生とかはいかがでしょう。摂取時期に関して、たぶん線量率の上昇とかもあるのですが、本来であれば核種組成とかもあるといいのかなと思って結構今 in-site 測定とかで、実際、そのスペクトル、環境モニタリングの結果から空気中濃度を推定するとかっていう研究もちらほら拝見しているのですが、その辺の知見とかいかがでしょう。

谷村（JAEA）：おっしゃる通り、結構モニタリングポストに NaI 使っているんで、いろんな核種のデータって栗原先生よく御存じだと思いますけど、研究されているので、そういったものはサポート的に使えるのかなと思います。あと、今伺っていた中で少し思ったことを述べさせていただくと、まず、ホールボディカウンタ使った測定って、先程、細田先生のですかね、データを見ると、要は時間、飛んでいく方向とか時間によって福島の場合は核種組成変わっていたりしていたので、やはり後でっていうことを考えると、ホールボディカウンタの測定も出きれば、甲状腺ヨウ素で詳細測定する方は一緒にできるとか、取っておくと後で使えたりするのかというのを思ったりいたしました。あと行動情報なのですが、これらの甲状腺測定でも必要ですし、外部被ばくの線量推定でも使っていますし、自治体としてもどの方がどういう風に避難したとかという情報っていうのは必要なのかなという気もするので、そういったのをうまくまとめて個別に甲状腺だけで聞くのではなくて収集できるようなことができるといいのかなというふうに思いました。済みません。雑駁な意見で申し訳ないです。

栗原 (QST) : 大変貴重な御意見ありがとうございます。横山先生お願いします。

横山 (長崎) : 済みません。少し今の行動調査の話とは違うのですけれども。スライド 18 にあるヨウ素の甲状腺への移行に関してなんですけれども、日本人の場合、一つは質問なのでも、日本人の場合、ICRP と値が違うのじゃないかっていう話が、日本の被検者の場合には 15~20%というふうにしているのですけど、これって日本人は安定ヨウ素をたくさん取っているからってというようなことで、こういう値になっていたのでしたっけ。

栗原 (QST) : はい。このヨウ素 30%は日常的な生活からのヨウ素の取り方が、やや欠乏している方々に対しても、線量係数を保守的に設定しようという ICRP の意図があったかどうかは定かでないですけれども、30%という切りのいい数字を設定しているということになります。

横山 (長崎) : それで、最近の調査で数少ないようなのですけれども、私も細かい数字を覚えている訳ではないのですが、最近日本人でもヨウ素をたくさん通っている食生活の違いだと思うのですけれども、たくさん取っているっていう訳ではなくて、西洋人と同じような食生活になってきてしまって、欠乏というまではいかないかもしれないですけども、それほどたくさん取っている訳ではないというようなデータも出てきているようですので、そういうのも今おっしゃっているように日本人のデータを使う日本人のデータというわけではなく、海外と合わせてというようなこともおっしゃっておられましたけれども、そういうのも踏まえて調査していただいてもいいかなというふうに思いました。

栗原 (QST) : ヨウ素に関しては、色々過去にもいろいろ研究がなされて、日本人は 30%までいかないよっていうことが多くあるのですけれども、一方でやっぱり線量評価するにあたって。すいません。では先に真辺先生をお願いします。次保田先生をお願いします。

真辺 (JAEA) : すいません、この 18 ページの件でなんですけど、例えば日本人の甲状腺移行割合が低いっていうことを考慮したとすると、残留放射能の曲線が変わるプラス線量係数も変わってくるので、結局相殺されて何かこう最終的な評価値にあんまり影響しないかなという気がするのですけども、それはつまり 17 ページであったような化学形の違いが最終的に効かないのと同じであまり影響がないのじゃないかって言うか。具体的にどれくらい影響あるのかを調べると良いような気がいたしました。以上です。

栗原 (QST) : 次保田先生お願いします。

保田 (広島) : 今のことに関連してなんですけど、今回年齢を考慮してってということなんですけど、年齢も一つの個人的な特徴でありますよね。先程の安定ヨウ素の摂取量とか体格とか代謝のパラメータとかも個人的な情報なんですけども個人によって違う、特に子供は体格からして食べる量とかも全然違うし、海藻食べる家庭と出さない家庭とでも大きく分かれてしまうので、安定ヨウ素の分布もすごく個人的に違うと思うのです。そこをどこまで考慮するのか、個人的にやるのであれば徹底して、そういうところもやらないと年齢だけというのはすごく中途半端な気がするのですよね。だから、先程の話に戻って栗原さんを困らせるわけじゃないのですけども、個人的な特徴を入れるということになると、そう簡単ではないと。だからもういっそのこと実効線量でやればいいんじゃないかと等価線量でやればいいんじゃないかっていうのが、これまでのスタンスだったのじゃないのかな。むしろ年齢よりも体格とかその人の食物とか、そういうものの方が大きなインパクトを与えるだろうな

ってというのが少し気になるところです。はい返事が難しいと思うので返事はいいですけど。

栗原 (QST) : 細田先生お願いします。

細田 (弘前) : すいません時間が迫っているところで申し訳ないのですが、実はこのスライドの時に私も同じようなことを真辺先生と同じこと思ったのは、2011年の調査した後ロシアのミハイロバロノフ先生とお話ししている中で、第1回目の放医研の甲状腺のセミナーの時だったですかね。同じような質問をされました。摂取量の話が質問された時にバロノフ先生とお話、その時のお話したのですが、共著者だったものですから、やっぱり真辺先生言われたように、基本的には摂取量が変わっても、それに伴って線量係数が変わって相殺されるから、線量には変わらないよねっていうのは、やっぱりバロノフ先生とそんな話をしたことをこの18ページの先生のご説明されている時に思い出しました。やっぱり真辺先生言われるように、その辺については少し簡単に触れられるところじゃないかなと思いました。

ただ、あと魚介類の摂取とかヨウ素を海藻類からヨウ素取るという話ですが、やっぱり2005から2007年ぐらいの間に日本人の食生活が明らかに、肉食に大きく傾いてきて、今肉食と魚介類はもう大逆転しているので摂取量が、それは総務省かなんかのデータベースがあると思いますので、やっぱりそういう意味でもそのデータ横山先生の質問に対する少しフォローアップにもなるのかなと思いました。御存じだと思いますが、すいません。そういったところでちょっとした補足です。

栗原 (QST) : はい、貴重なご意見をいただきました。その線量係数というものが標準人で決められているので、さらに踏み込んで日本人の特性だとか体格だとか思うとすると、あと一つ違うステージの甲状腺の線量評価になるかなと思います。私達以前、東京電力の作業の方々の甲状腺の線量推計をした時、実際に高線量被ばくの方々だったので、MRIを撮らせていただいて、甲状腺のVolumeをシミュレーション化したことがあって、やっぱりこれもかなり個人差が大きかったかなと思っていて、個人差を考慮するような線量評価をしようとした場合は、やはり高線量であるだろうといったようなことで、やはり特殊な扱いが必要だと。例えば、それが100 mSvなのかIAEAで定めている急性被ばくの2 Gyさなのかとかいろいろありますけれども、こういったところでしっかりとなるべく議論を分散せずしっかり終着点を決めていただいたところで、やっぱり大事なことは直接測定であるからアップテークがどうであろうと甲状腺のBqにかかっているのであって直接測定の優位性というのがあるのかなと思います。

そうしましたら、残りの議題です。Video等も示したいので、共有します。技術的な課題はもうたくさんあって今日いただいた議論をしっかりと課題としていきたいなと思います。そうしましたら、住民に関する周知ということで、こちらの方は非常に重要な課題かなと認識しておりまして、既にご存じの先生方もたくさんおられると思われそうですが、自治体の方でもかなり力を入れて、いわゆる原子力防災手引きとか避難退域時検査に関してはだいたいあの事故からしっかり作り込まれたこともあって、かなりわかりやすい資料が出来ていると。また、これに準じた形で甲状腺の測定に関してもしっかり刷り込みをしていく必要があるだろうっていう風に内閣府の方からも出ています。私達の方で、これは令和3年度の甲状腺測定マニュアル案作成事業の方で作成していただいた資料で、これをお手元の添

付資料の参考資料 3 にございますけれども、こういったリーフレットを作っています。少し今日お時間はないのですけれども、お目通しいただいて、コメント等あれば、後でメールなりご連絡いただいて、少しこういう情報入れた方がいいじゃないかというのがあれば、ぜひお願いできればなと思っています。こういった流れで甲状腺の線量測定に関して、この前には、被ばくの早見図みたいなものをお示しているという状況です。こちらの方も参考資料にお示ししておりますけれども、こちらの方が Video になっておりまして、こちらの方を 5 分くらいです。

～Video 鑑賞中～

栗原 (QST) : はい、少し長くなりましたけれども、このようなものを作っておりまして、こちらは、実施マニュアルが策定される前の事業で作成したもので、今の実施マニュアルに沿って若干違いが違ってくるが出ています。なので、これを反映した形で、雰囲気的にはこういう感じで作りたくなって思っています。これは、Video の方は測定をする時にやっぱり少し控室で待っていただく状況があるかなと思っていて、そこでこれからどういうことをするのかということの分かりやすく説明したもので、こういうのがあればいいなということで当時作ったものであります。こういったことと先程の前にお示したリーフレットを使って、ひな形的な形で委託事業の中で実施できればなと思っておりますので、先生方の方から忌憚のないご意見やコメントなりいただけるとありがたいと思います。今、示した感想でもいいのですが、何かいただけるでしょうか安田先生お願いします。

安田 (福井) : すいません。福井大学の安田です。この 12 年 13 年、事業でずっとこの関係の啓発活動をしてきたのですが、まず重要になるかなと思うのは今、栗原さんのお話の中ではこれからまさに受けようとする、待っている方が見るビデオであるのか、あるいは自治体の方が何にもない、平常時に見てもらうビデオであるのか何かそういうシチュエーションははっきりさせた方がいいかなというのの一つ見ながら思い至ったことです。というのも、先程栗原さんの御説明になったように、何かこう汚染検査前提の甲状腺検査みたいな感じの流れに、このビデオは見えていたわけなのですが、今のに照らすともう少し違った感じに見えてきますよね。なのでどういうシチュエーションなのかとか、あるいは何だろうな。どういう方が受けるのであろうかという、平常時にだから見せるビデオを作るっていう方向が、自治体の方々は助かるのではないかと少し思っているのですが、あの事故の時にとっておくというような立ち位置で見るとはっきりさせた方が使い勝手がいいのかなという風に少し思いました。以上です。

栗原 (QST) : 少し混乱させてしまって申し訳ございません。安田先生言われたように、どういう手順を使うのかという非常に重要だと思います。リーフレットの黄色い表紙のやつは事前に住民の方に読んでいただき解していただくと思っていただけたのですけれども、Video の方はまさにこれから測定を受けようという住民の方々に、測定会場におられますという時に、再度復習というかおさらいのようなものであります。それで安田先生言われるように、Video を作成した後に、実施マニュアルが出来まして、例えば甲状腺の測定に関しては 3 回読み取りするとか細かいところは必要ないかもしれませんが、大腿部から測定して甲状腺を測定するという風の流れが変わっていたりとか、それから結果の説明に関しては

これも後日っていうことだったりとかまだ、はっきりとはしてないことがあると思うのですが、現状に照らして修正すべきところは修正したいなという風に思います。安田先生言われるように平時のものを作ることとこういうことをするという啓蒙する形でのものを黄色いリーフレットの内容も入れながら、多分作っていくことが必要なという風に思ったところです。少し時間もないので、どこまで理想的なものができるかは難しいところはあるのですが、なるべく努力していききたいなと思っています。他に先生方からこういったコメントありましたらお願いできればと思うのですが、いかがでしょうか。JAEA の高橋先生、いかがでしょう。

高橋 (JAEA) : 今のビデオについてです。はいビデオはいいと思いました、特にないのですが、福島
の事故の時に住民の方の内部被ばくの検査をたくさんやってきた中で、恐らくその住民
の方からいろいろよく聞かれることとかあったと思って、リスクコミュニケーションとかも
結構研究していたと思うので、よく聞かれる住民の方がこう興味を持つようなところを
あらかじめ QA で作っておいて書いておけばいいのかなというの少し思いました。すみ
ません。もう一個、さっきの議論に戻っちゃうのですが、はい私の理解が及んでない
のかもしれないのですが、少し教えてもらいたいの、この甲状腺被ばくの推計、推定
っていう方法がどういったシチュエーションで行われる方法なのかってところが教え
てもらいたくて、例えばさっきの Video でもありました甲状腺モニタリングをやって、そ
のすぐ結果を住民の方に説明する際に線量をお伝えするために行う方法なのか、もしくは
その栗原さん、やられている線量再構築のような時に用いられる方法として検討している
のか。そういった前提によって結構先程いろいろ個人のパラメータをどうするかという議
論はありましたけど、それを想定する場面だいたい線量の推定の方法が変わるのかなと思
うのですが、その想定ってどういうことなのですかね。

栗原 (QST) : 確かなかなかこう細部に入りすぎてしまっていることもあって、少し議論が発散してし
まったので大変申し訳なく思います。委託の趣旨としては事故直後に早急に線量推計をす
るということで、細かい個人の大事な情報を考慮したような詳細な評価ではなくて、まず
は確度のあるとはいっても、確度のある情報という線量というのをしっかりお示して、こ
れをどう伝えるかはまだ今後議論だと思うのですけれども、まずは過小評価とならないよ
うな、かつ現実的に妥当な評価をその時得られる情報を基に可能な限り最確値というか最
確と言うのだけれどもやはりその特別な状況を考慮したような評価は後で行うにしても、
過小評価とならないような現時点での当時の事故直後、測定を受ける段階での確度の高い
線量評価をしっかりと、ということかなと私の方では理解をしています。

高橋 (JAEA) : わりとその迅速な迅速性を求めた評価を

栗原 (QST) : そうですね。

高橋 (JAEA) : そうすると先ほどから皆さんのご意見であるとおりに、あんまり個人の深いパラメータま
で踏み込んだ評価ってというのは少し難しいのかなって感じの印象を持ちました。以上
です。

栗原 (QST) : 線量評価が高い方詳細測定に移行するような方に関しては、また、個別の追加測定をす
るとか、よりそのホールボディを活用するとか、そういった議論もされるのかなと認識し

ております。はい。そのほかに、2 つ目の一般の方々に対する事前の周知ということで、先生方の方から御意見等ありましたら、お願いいたします。

細田（弘前）：細田です。これ一つだけ栗原先生少しご確認させていただきたいのですが、これは住民等への周知に関するということですが、ここってマスメディアみたいなものも入ってくるのでしょうか。

栗原（QST）：この住民等に関しては、今の段階では多分入っていないかなと思うのですが

細田先生（弘前）：今栗原先生が言いかけている途中で手を挙げて大変申し訳なかったのですが、結局我々が2011年4月にやった後、線量評価を行い、もちろんプレス発表っていうか住民に説明したとプレス発表するのですが、例えば等価線量でこうだったっていう話をすると、メディアの方達が線量の値だけを表に出すことによって、それが結局実効線量としてこうなのか、等価線量としてこうなのかっていうことがわからないまま SNS を見ると、結局どっちなのだとか、実効線量だったらなかなか大きいよねって印象を持たれている方が多かったよう事故の後に感じました。ということで、こういった甲状腺被ばく線量モニタリングっていうのがどういう目的でやっているのだったっていう PR とか周知を平常時にメディアの方に対しても、しゅとくしておくことはほぼ同じようなものでいいのじゃないかと思うのです。もうしゅとくっていうのは、ある一定の意義はあるのかなというふうに私、少し感じました。以上です。

栗原（QST）：ありがとうございます。貴重な御意見ありがとうございます。そうしましたら、時間も定刻を過ぎておりますので、一回ここで第 1 回目の検討委員会の方を終わりたいと思います。議事録の方はなるべく早くまとめて先生方にご確認いただくような形で対応をちゃんとしたいと思います。また、もう 1 回検討委員会、もう 2 回かもしれないけれども、非常に重要なことを議論しているかなと今日思いましたし、先生方もたぶん協力していただけるかなと勝手に甘えさせていただきまして、また日程の方を調整したいと思いますので、その時はぜひよろしくおねがいします。長時間になりましたけども以上で第 1 回検討委員会の方を終わりたいと思いますけど、最後に委託元である規制庁様から御意見をお話しただければと思います。

吉田（規制庁）：原子力規制庁吉田でございます。本日は長時間にわたり活発な御議論いただき、誠にありがとうございます。本日の内容は量研さんまた規制庁の方で精査させていただいて、また次回の委員会の討議内容をお知らせしたいと思いますので、ご協力させていただきたいと思います。どうぞよろしくお願いたします。

栗原（QST）：はいありがとうございます。2 時間と長時間に渡り、お時間いただきまして、ありがとうございます。また引き続きよろしくお願いたします。今日はこれで閉会といたします。ありがとうございました。

全員：ありがとうございます。

令和5年度原子力施設等防災対策等委託費（甲状腺の被ばく線量推定方法等に関する調査）事業「甲状腺の被ばく線量推定方法の検討及び甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知に関する調査」に関する検討委員会

第2回検討委員会 議事次第

1. 開催日時 令和6年3月13日（水）15:00～17:00
2. 開催方法 Webexによるリモート会議
3. 議 事
 - 3.1 個人モニタリング結果に基づく甲状腺被ばく線量の推計方法について
 - ④ 利用可能な内部被ばく線量システムの有効性・妥当性
 - ⑤ 精緻な線量評価を行うための検討事項の洗い出し
 - ⑥ 新たな内部被ばく線量推計方法の構築の必要性について
 - 3.2 甲状腺被ばく線量モニタリングに関わる住民等への周知について
 - ・ モニタリングの実施目的、実施方法等の住民等への普及啓発すべき内容
 - ・ 普及啓発伝達ツール（パンフレット、動画等）

【配布資料】

資料1…令和5年度第1回検討委員会_議事概要
資料1（補足）…前回検討委員会の振り返り
資料2…MONDALとDCALの比較検証等
資料1…資料1_令和5年度第1回検討委員会_議事概要（案）
資料1…資料1_令和5年度第1回検討委員会_議事概要（案）
資料3…胎児等の線量評価_追記
資料4…ヨウ素131以外の影響
資料5…動画_20240313
資料6…原子力災害時の甲状腺の被ばく線量測定について_パンフレット

参考資料1…第1回検討委員会_議事録(案)
参考資料2…OPERRAD5.31_APPROVED
参考資料3…OPERRAD5.32_APPROVED
参考資料4…RPD(X)_TCS_ShortLived
参考資料5…New_Iodine_Models_Family_for_Simulation_of_Short-T

4. 出席者（順不同・敬称略）
 - 委員長：栗原 治（量研）
 - 委員：真辺 健太郎（原子力機構）、谷村 嘉彦（原子力機構）、高橋 聖（原子力機構）、石川 徹夫（福島医大）、細田 正洋（弘前大）、横山 須美（長崎大）、

安田 仲宏（福井大）

欠 席：保田 浩志（広島大）

事務局：金 ウンジュ（量研）、高島 良生（量研）、谷 幸太郎（量研）、深堀 麻衣（量研）、三瓶 優真（量研）

オブザーバー：徳本 史郎（規制庁）、吉田 淳一（規制庁）、山本 哲也（規制庁）、
本田 隆馬（規制庁）

5. 議事概要

（1）前回（令和5年度第1回検討委員会）の議事概要及び議事録について

- 資料1に基づいて、栗原氏（量研）より前回（令和5年度第1回検討委員会）の議事概要等について紹介があった。議事概要又は議事録についてコメント等があれば、後日、事務局宛に連絡するよう委員に依頼があった。
- 資料1_補足に基づいて、栗原氏（量研）より前回の検討委員会における主な指摘・提案事項と関連情報について説明があった。前回の主な指摘・提案事項は、①MONDALとDCALの出力結果を比較すること、②放射性ヨウ素の甲状腺によるアップテークや化学的性状は甲状腺モニタリングに基づく線量評価に大きく影響しないこと、③ホールボディカウンタによる代替測定に基づく線量評価には大きな不確かさが伴うこと、④事故後に関心が高まると考えられる内容に対応したコンテンツを提供することであった。関連情報として、体重の逆数による線形補間によって年齢別の比実効エネルギー（SEE）が算出されていること、年齢による線形補間によって体内動態モデルの移行係数が設定されていることがICRP Publ. 71に記載されている旨、紹介があった。

（2）個人モニタリング結果に基づく甲状腺被ばく線量の推計方法について

- 資料2に基づいて、栗原氏（量研）よりDCALの概要及びMONDALとの比較結果について説明があった。DCAL（System ver. 8.4）の動作環境はWindows 98/NT/2000/XPであり、今回の検証においてはWindows XP環境（Windows 7 virtual PC上）で動作することが確認された。I-131吸入摂取時の実効線量及び甲状腺等価線量について、DCALの出力結果（有効数字3桁）はICRPの提供する数値（有効数字2桁）と概ね一致することが確認された。一方、I-131吸入摂取後の甲状腺残留率についてMONDALと比較した結果、特に0歳児に対する摂取後70日以降の差異が10%を超えることが確認された。しかし、摂取後30日以内の結果については概ね一致しており、甲状腺モニタリングの結果から線量評価するためのデータ整備においてMONDALを利用することには特段の問題がないことが示された。なお、DCALはWindows 11で動作する場合もある旨、委員から情報共有があった。
- 資料3に基づいて、栗原氏（量研）より妊婦・授乳婦による放射性ヨウ素の摂取に伴う胎児及び乳児の線量に関して説明があった。胎児の被ばくについて、特に妊娠中期の後期及び末期では母体よりも胎児が受ける線量の方が大きくなることが指摘された。また、保護者等による乳児の代替測定では、もし、事故後も乳児が母乳を継続的に飲み続けていた場合、母乳を介して受ける線

量が考慮されない点に留意する必要があることが示された。したがって、妊婦や授乳婦を対象とする甲状腺計測にあたっては、妊娠時期や授乳状況の確認が重要となると考えられる。

- 資料4に基づいて、栗原氏（量研）より I-131 以外の放射性ヨウ素同位体及び Te-132 による甲状腺線量への影響について説明があった。原子炉のシャットダウンから数日以内に放射性物質による可能性がある場合には、I-131 以外の短寿命核種による線量寄与を考慮する必要がある、そのためには正確な摂取日の同定と放射性核種の放出源情報・物理学的性状の把握が重要となることが指摘された。甲状腺モニタリングが事故から1週間以降に実施される場合には、I-131 以外の短寿命核種は概ね消失しているものと考えられるが、シャットダウンから摂取までの経過時間に依存する補正ファクタを検討することにより、I-131 による線量から短寿命核種の寄与を含めた線量を評価できる可能性がある。また、ヨウ素同位体及び Te-132 の大気中濃度、粒子／ガス比等に関する緊急時環境モニタリングの情報が得られれば、より正確な線量を評価できるものと考えられる。事故初期のホールボディカウンタ等による測定は、体内の放射性核種の実際の体内動態を把握するために有効であると考えられるが、被検者の体表面汚染や検出器の性能（エネルギー分解能等）に留意する必要がある。委員から、緊急時環境モニタリングはシャットダウンから摂取までの経過時間の同定や、ある時点における放出核種の組成の推定にとっても役立つ情報となる可能性が指摘された。
- 摂取シナリオの設定に関連して、安定ヨウ素剤の服用に対する線量評価に関して委員から質問があった。栗原氏（量研）より、安定ヨウ素剤によって I-131 の甲状腺への取り込みが抑制された場合、その分は甲状腺モニタリングによっても測定されないため、甲状腺残留量に基づいて評価される線量への影響は小さいと考えられる旨、回答があった。ただし、甲状腺モニタリングによって比較的線量が高い可能性があることが特定された被検者に対しては、別途、詳細評価の観点で安定ヨウ素剤の影響を考慮することになる場合もあり得るとのことであった。

(3) 甲状腺被ばく線量モニタリングに関わる住民等への周知について

- 資料5に基づいて、金氏（量研）より住民及び地方自治体の関係者等に向けた甲状腺被ばく線量モニタリングに関する説明動画について紹介があった。委員より、福島第一原子力発電所事故後の住民の関心事は放射線影響の有無であったため、甲状腺がんや甲状腺機能障害の発症リスクに関する紹介の仕方について、不必要に不安を与えないよう留意する必要がある旨、コメントがあった。また、なるべく専門用語等を避けて一般の方にわかりやすい表現を検討する（必要に応じてルビを振る）こと、福島第一原子力発電所事故後の健康影響の有無を紹介すること、作成された動画を専門外の方にも確認してもらうことなどが提案された。
- 資料6に基づいて、栗原氏（量研）より住民等に向けた甲状腺被ばく線量モニタリングに関するパンフレットについて紹介があった。委員より、「日常生活と放射線」のページにおいて、一般公衆の線量限度が「自然放射線」に区分されているため、「人工放射線」に区分するよう指摘があった。本パンフレットについて追加コメント等があれば、後日、事務局宛に連絡するよう委員に依頼があった。

(4) その他

- 委員より、甲状腺モニタリングの結果について、事故による影響の全体像を把握するための評価に活用する方法について検討することも重要であるとの指摘があった。栗原氏（量研）より、結果全体に対する評価についても重要である点に同意するものの、本事業においては個々の甲状腺モニタリングの結果から線量を評価する手法について検討することとしている旨、回答があった。
- 令和5年度第3回検討委員会を3月下旬に開催する予定である。

以上

6. 議事録

栗原（QST）：量研機構の栗原です。年度末のお忙しいところ、お集まりいただきましてありがとうございます。第2回なりますが原子力規制庁から委託させていただいております令和5年度原子力施設等防災対策委託費甲状腺被ばく線量推定方法に関わる調査事業ということで、先生方にはお忙しい中お集まりいただきまして、ありがとうございます。早速ですが、時間も限られておりますので、議事の方を進めたいと思います。

議事次第の方を共有します。こちらの方は、ご覧いただいているでしょうか。今日の議事次第ですが、15時から17時までということで主な議事は3.にあります、まず個人モニタリングに基づく甲状腺被ばく線量の推計方法について、委託の仕様書に書かれております①から③というところで、前回の検討委員会の結果も踏まえまして、今日また新たにいくつかご審議いただきたい、ご検討いただきたいことがありますので、後ほどご紹介いたします。それから3.2としまして甲状腺被ばく線量モニタリングに関わる住民等への周知ということで、こちらも前回の検討委員会の結果を踏まえご意見いただきまして、まだドラフト版でありますですが住民の方々に、自治体の方々に知っていただきたい内容等について、パンフレット等を作っておりますので、こちらの方をご覧いただければと思います。

配布資料でございますけれど、少し手違いがありまして順番がずれている可能性があります。こちらに示す通り資料1から資料6ということで、資料1に関しては、前回の議事概要をお付けしておりますですが、それを補足したものが資料1の1となっております。あとは資料1から資料6ということで書かせていただいております。参考資料に関しましては、ファイル名になっておりますですが、いくつか関連する文献等をお示しているという状況であります。前回の議事録については、参考資料を示しておりますが、こちらの方すでにご確認いただいておりますが、何か後でご指摘ありましたらご連絡いただければと思います。それでは資料1の1の補足から順番に進めたいと思います。

こちらは、議事概要ということになっておりますけれども、細かい内容も記載しておりますので、こちらの方は後にまとめた資料がありますので、こちらの方でご紹介いたします。何かご指摘があれば後でご連絡いただければと思います。

こちら、資料1の補足として作ったものでございます。こちらは先ほど示した議事概要の要点をまとめたものでございます。まず個人モニタリングに基づく甲状腺被ばく線量の推計方法ということで、前回の検討委員会において本事業の概要についてご説明して、そこで要件とされている仕様書に書かれているものとして、私たちが取り組まなくてはいけな

い課題としまして、ソフトウェア検証、それからヨウ素の物理化学的性状による影響、乳幼児と行動を共にした保護者等による代替測定に基づく評価、それから、ホールボディカウンタに基づく代替測定に基づく評価等がありました。次の・としまして最初のソフトウェア検証に関しましては MONDAL コードと IDEC コードの比較検証の結果をご紹介いたしました。甲状腺残留率の差異が摂取から 30 日以内であれば、概ね 10%の範囲で収まっていたのですが、30 日以降では差異が拡大する影響があったということで、その原因として赤字に示したこちらの方を真辺先生の方から、情報いただいたところで、書いております。DCAL というアメリカのオークリッジ研究所で作られたもので検証してみてもどうかということがありましたので、今回その結果についてご紹介いたします。それから次の・でございますですが ICRP が提案するヨウ素の体内動態モデルで用いられる血中から甲状腺へのアップテークの割合は人によって異なりますが、直接測定を行うことで、個人の甲状腺残留量を評価できるということなので、このアップテークの不確かさというのは、摂取量の推定に影響するものの、甲状腺線量には大きく影響しないのではないという情報をいただきました。ご指摘いただいたというところであります。それから、次の4つ目の・でございますですが、化学的な性状による線量推計の影響については、こちらも甲状腺計測に基づいて行う場合にはほとんど影響がないということで、直接甲状腺を測定する体外計測法の利点を改めて再確認することになったと思います。それから、ホールボディカウンタの代替測定に関しては、不確か性が大きいということなので、補完的に扱うべきではないかということ、細田先生からご意見いただきました。

甲状腺被ばく線量モニタリングに関する周知に関しては、前回は実施マニュアル策定前に作ったものでしたので、実施マニュアルとの整合性を確認しながら作業を進めることをご報告しまして、その内容についても今回ご紹介できればと思っております。

こちらは、参考資料でございまして ICRP71 に示した内容です。次のページの赤線で示したところは、真辺先生からご意見・ご指摘いただきました通り SAF という内部被ばく線量計算に使うパラメータですが、こちらは体重の逆数で線形補完するというので、実効線量係数を出す時に ICRP は非常に難しいことをしていて、多数のコンパートメント間の微分方程式を解いております。そこで移行係数や SEE と言われるファクターに関しては離散的な年齢で、例えば乳児であれば生後 100 日や 1 歳児であれば 365 日など時間によってパラメータを決めていて、その間の年齢に関しては、微分方程式で使う移行係数のパラメータを適宜変えながら補完をし、70 年間の預託線量を計算するというかなり踏み込んだ計算をしていると思います。

こちらは、先ほどの移行係数に関する補完方法について書かれているので、真辺先生からご指摘いただきいたところで再確認をしました。中央に書かれている年齢区分は、ICRP の内部被ばく線量係数に関わる線量係数で、3ヶ月児、1歳、5歳、10歳、15歳、Adult という6種類の線量係数を示していますが、こちらに関しては、from to や more than に書かれている年齢を適用するということです。例えば、3歳の線量係数や7歳の線量係数を厳密に考えるのであれば、右の枠に示す DCAL のマニュアルに書かれている Infant100日、1歳365日、5歳は1825日といった離散的な年齢でのパラメータのため、先ほどのような

線形補完といった計算をしています。確かに 3 歳の線量係数や 7 歳の線量係数は出せなくはないものの、ICRP が 6 つの年齢区分を与えそれぞれに線量係数を与えているので、ここに関しては ICRP に記載の通りの適用をする、つまり年齢区分で線量係数を変えていくことでよいと考えています。こちらは、ICRP の CD-ROM で示されているヨウ素 131 についてですが、摂取から 1 日、7 日、30 日、1 年、5 年ということで、積算し 70 歳までの預託線量を計算するわけですが、ヨウ素 131 に関しては 1 ヶ月の計算で、その後 70 歳までの計算をしても変わらないということを示しています。これは物理的半減期を考えれば当然です。このように ICRP に書かれている難しい計算がありますが、一部 MONDAL の計算で年齢が線形補完されていないと指摘があり、開発者の石樽先生に確認をしたいと思っておりますが、ヨウ素であれば短期間で計算が収束するので、大きな影響はないと考えています。

今日、ご議論いただきたいことは線量推計に関してですが、前回概ね細かいところまで議論でき、既存の方法で十分であるのご意見もいただきましたが、再度検討いたします。最初に線量評価システムの選定というところで DCAL と MONDAL の比較をした結果についてお示します。それから、前回議論できなかった保護者等による代替測定による乳幼児の被ばく線量推計というところで、例えば妊産婦が内部取り込みをしてしまった場合に胎児の線量について、実は ICRP で線量係数を与えており、その結果を踏まえた検討結果を示したいと思っております。また、ヨウ素 131 以外の短寿命核種であるヨウ素 132 やヨウ素 133 などの線量寄与の評価を検討したので紹介します。それから、摂取シナリオが非常に重要であることやその適用する線量係数をどのように設定するかなど、再度確認をさせていただきたいと思っております。最後に住民等に対する周知・理解のための素材に含めるべき内容として、案を作成しておりますのでご紹介できればと思っております。

資料 2 に進める前に先生方からご意見がございましたら挙手にてお知らせいただければと思っておりますが、いかがでしょうか。

高橋 (JAEA) : JAEA の高橋です。1 点確認したいのですが、今回使用するソフトの選定とは、甲状腺モニタリング会場でモニタリング実施者が実際に使用するソフトウェアの選定でしょうか。

栗原 (QST) : 甲状腺測定を基づいて線量評価をしますが、現場での簡易測定であれば、既に作成している早見表を用います。詳細測定を拠点病院で行う場合にはその場で線量評価をする状況にあるため、線量評価のマニュアルに線量評価を行う際に使用するソフトウェアの紹介・推奨といった形でマニュアルに記載しようと考えております。

高橋 (JAEA) : わかりました。現場では、早見表で使いやすくてできることを理解しました。

栗原 (QST) : はい。こちらの理解でよろしいでしょうか。

吉田 (規制庁) : 補足させていただきますと、現場では実際スクリーニングレベルを超えた超えないかという判断のみなので、後々どのぐらい線量を被ばくしたかと問われた時に、使うようなソフトになるというイメージを持っていただければと思っております。

栗原 (QST) : その他、いかがでしょうか。そうしましたら、資料 2 に基づき簡単に DCAL コードと MONDAL コードの比較をご紹介します。

DCAL コードの概要を示しておりますが、これは米国環境保護庁 (EPA) のスポンサーシップによってオークリッジ研究所、有名なエッガーマンさんなどが所属しているラボだ

と思いますが、そこで作られたコードです。前回真辺先生から情報をいただきましたが、国際放射線防護委員会 ICRP の刊行物にも使われているということで、非常に正統なコードであり、画面に示すような少しソフトウェアとしては古いですが、このように動かすことができ、ソフト自体はホームページからダウンロードできます。しかし、DCAL が 2006 年に作られて以降、この時のマニュアルとして Windows 98、NT、2000、XP といった動作が保証されています。しかし、今回の検証では Windows7 が入っている PC のバーチャル PC で、XP 環境にして動かしました。後で真辺先生に情報いただければと思います。

DCAL コードは IDEC コードと同様に線量係数を直接計算することができます。ご覧通り、DCAL コードの方は線量係数を有効数字 3 桁まで出しますが、ICRP は 2 桁なので 2 桁にまとめて比較をするとほぼ一致します。もともと ICRP に使用されているので、こういう結果が得られています。

前回 IDEC コードと MONDAL を比較したそれぞれのヨウ素 131 の蒸気状の化学形に対すると甲状腺残留率、一番線量計算に効いてくるデータですが、それぞれ乳児、1 歳、5 歳と先ほどの ICRP の年齢区分ごとに 100 日まで出しています。本当は、1 日ごとに計算をしたいのですが、DCAL コードも IDEC コードも残留率を吐き出すファイルが離散的になっているので、出てきた日にちに対してのみの報告となります。この表を見るとほぼ一致していますが、一番左の乳児に関しては 70 日目以降で、若干ずれが大きくなっています。こちら DCAL と MONDAL は、残留率に関して有効数字 3 桁で出し、IDEC コードは 2 桁で出しているので、測定数値の有効数字による違いはないものの、乳児に関してだけ若干差が大きくなる傾向となりました。

こちらヨウ化メチルですが、こちらも同様です。こちら、粒子状ということで、真辺先生からもご指摘いただいた通りかもしれませんが、やはり移行係数の年齢補完が一定なので、MONDAL では移行係数を一定として扱っていると思われれます。DCAL コードの方が MONDAL に比べ甲状腺残留率が大きくなっており、年齢が上がるにつれ移行係数が遅くなることでより残留するという結果となります。MONDAL に関しては乳児の移行係数がそのまま 100 日まで計算されていく形となるので、より早い代謝となり、甲状腺残留率が 20% 少ないという結果となります。以上のことを線量評価に使うと、MONDAL の方は DCAL と比べ過大評価の結果を与えることとなります。しかし、逆の過小評価の場合では問題ですが 70 日以降でのことなので、実用上 MONDAL と DCAL はほぼ同等であると考えます。

まとめですが、現行法令に基づく線量評価コードとして、MONDAL、IDEC、DCAL と 3 つのシステムの比較・検証をしました。これらは、ICRP Publication 60 ベースの線量係数勧告であります。

IDEC と DCAL は体内動態と線量係数の計算を直接行うに対して、MONDAL は体内動態モデルの計算結果と ICRP 刊行物の線量係数を用いて、モニタリングデータと摂取シナリオから線量計算を行うといった違いがあります。線量係数について、DCAL は ICRP の刊行物の数値をほぼ再現したのに対して、前回のご報告となりますが、IDEC に関しては若年齢群において差異が見られました。次の・ですが、甲状腺残留率に関して MONDAL

と DCAL はほぼ一致しました。一方、IDEC は有効数字が 2 桁ということもあり、30 日目を降 DCAL と比べると差異が大きくなりました。しかしながら IDEC と DCAL は、現在サポートやアップデートをしておらず、最近の OS にも対応していない状況であることと残留率の出力に関しては非等間隔であるため、必要に応じて補完する必要があるという課題もあると思います。総じて、MONDAL は Ver.3 までアップデートしており、現在も一応サポート及び無償配布もしているおり、海外からも問い合わせがきているような状況です。また、DCAL コードとの比較・検証により摂取から 1 カ月であれば DCAL とほぼ同等の計算結果が得られるので、線量推定に使用することは適当であると結論にさせていただきました。私達の検証結果においては、こういうことであります。一方、まだこの委託費で購入させていただいた IDEA システムが 1 つ残っており、こちらも報告書に結果を記載し、先生方にも報告をしたいと考えています。とりあえず資料に関しては以上です。

以上が最初の御議論いただきたい線量評価に使用するシステムの選定ですが、先生方から何かコメントやご質問等ありましたらお願いできればと思います。今更 MONDAL の妥当性について議論し妥当であると結論付けることもおかしな話ではありますが、改めて MONDAL の特性を理解したと思っております。真辺先生お願いします。

真辺 (JAEA) : ご説明ありがとうございました。結論に対して、特に異論はございません。MONDAL で解析するということが問題ないかと思えます。ちょっとコメントと言いますか。その DCAL が使えるか使えないかの話で、今 Windows11pro で業務していますが、DCAL ソフトは一応動いております。ただ、最近の PC で使えなかったこともあり、動くか動かないかの細かい仕様や状況が把握できておらず、動作に影響を与える要素も特定していませんが、一応使えるということはお伝えしたいと思えます。あと、アウトプットに関して DCAL は、出力するタイミングを自分で設定することができまして、細かい解析をよりしたいということであれば、一応できるようになっています。ただ、比較対象のコードが同じようにできるとは限りませんので、今回の解析で十分だと思います。以上です。

栗原 (QST) : こちらで DCAL を Windows11 環境に置いて、DOS プロンプトから立ち上げると画面は出てきますが、その先が動きませんでした。MONDAL も当初 Windows11 や新しい環境で起動した際には、管理者として実行をしないと動かないこともありまして、今回 DOS プロンプトを US 使用などで行いましたが、動きませんでしたので、起動方法などの詳細が分かれば情報いただけると幸いです。DCAL のマニュアルを読むと真辺先生のおっしゃる通りコンパートメントなどオリジナルのパラメータを設定できるので、将来的に必要な場合には DCAL の勉強会などを考えたいと思えます。その他、いかがでしょうか。よろしいでしょうか。

はい、次に資料 3 に基づきまして、胎児の線量推計をご紹介したいと思えます。甲状腺モニタリングでは、19 歳未満の者と妊婦・授乳婦を優先すべき対象としています。年齢群ごとに線量係数を変えるなど配慮もありますが、今回は行動をとりにした保護者から甲状腺モニタリングが難しい 5 歳以下の子供たちの評価についてお話させていただきましたが、妊婦・授乳婦に関してまた、これから生まれてくる子供の線量や母乳を介した線量について、検討から抜け落ちていたと思えました。早速ですが、胎児の線量に関しては、ICRP

Publication 88 に書かれており、そのデータを引っ張ってきました。どちらも吸入摂取ですが、上が elemental iodine vapor、下がエアロゾル Type F 1 μ mAMAD というデータで、そのまま Publication から持ってきたものです。摂取時期に関しては C、C+5、C+10 と書いており、C とは Conception で受胎のタイミングを指し 35 週までデータがあり、38 週で出産するという ICRP のモデルはそのような設定になっています。線量係数が実効線量または等価線量で出していますが、これの Bq の意味するところは母親である妊婦が 1 Bq 取り込んだ際に生まれてくる子供が受ける線量についてです。上の Conception から C+5、C+10 となっておりますが、下に行くほど妊娠後期になっていきます。妊娠の期間によって線量係数が変わりがちで、妊娠 35 週目ではかなり線量係数が大きい数字になってきています。最初の方は、ICRP のモデル上ですが、妊娠した場合、胎児のモデルは胎盤という一つのコンパートメントで形成されていますが、ある週を超えると胎児の体内動態モデルも出来上がり、そこにヨウ素が集まります。そのことを踏まえると、妊娠後期になるほど線量係数が上がっていくということになります。大事なことは、お母さんが摂取した時に生まれてくる子供の線量はどうなっていくのかということを示しています。右側の母親との比で示しており、特に赤字のところを見ていただくと妊娠から 25 週目、35 週目というところは、お母さんよりも生まれてくる子供の方が、線量が高くなるということを示しており、注意が必要なのではないかと思えます。

次の図も、モデルに関して ICRP で示されている通りですが、この左の赤い点線の枠が、お母さんのモデルの中の甲状腺で、右の赤点線が胎児の甲状腺ということで、最初からそのようなモデルがあるわけじゃなくて、妊娠から 8 週目以降にこの胎児を組み込んだモデルが適用されるということのようです。あくまでも ICRP というのは、prospective な線量係数を整備していますので、こういったモデルを使うことによって、放射線防護のための線量係数を提供していると思います。このスライドの右上にある枠の四角に何週目とあるのですが、週ごとに年齢区分と同様に線量係数の適用範囲が与えられています。

こちらは ICRP 95 ですが、これは放射性核種を母親が取り込んでしまった場合、その一部の放射性核種が母乳中に出てくるということなので、それを乳児が摂取した時にどれだけ線量が上がっていくのかということです。これには仮定があり、70 歳までの預託線量を計算されていますが、この母乳摂取シナリオとしては、一日に 800ml を半年飲み続けるというもので、最初の 1 週間は 0 から 800ml まで線形に増加するということを示しています。下のグラフは ICRP のデータであり実効線量のものです。横軸が先ほどの Conception からの経過日数で、妊娠前から線量係数を与えています。B が Birth で Birth から 5 週目、10 週目、20 週目ということで線量係数はこのようになります。黒い枠は母親が取り込んだ線量係数で、黒いハッチがかかった部分は胎児が受ける線量係数、斜線部分が生まれてからの線量係数つまり乳児が母乳によって受ける線量となります。このような形で生まれてから線量係数がステップ的に上がっていますが、そこを見ても大体 2.5 倍ぐらいだということになります。ただし、この線量係数が意味するところは、半年間飲み続けるシナリオの元の仮定なので、実際このような線量を受けるということではないです。例えば、母乳に放射性物質が検出された場合に、授乳をやめてしまうのであれば、線量係数はこれほど高

くならないと思います。

こちらへの対応ですが、甲状腺モニタリングにおいて妊婦・授乳婦は優先すべき対象者として考えられますが、この初期中期末という妊娠期の分け方は厚労省の資料にあった分け方ですが、特に中期後半、末期の妊婦、末期の妊婦に関しては胎児の甲状腺線量は母親の線量よりも高くなる可能性があり、線量係数では 2.5 倍となります。また、乳児が母乳を介して受ける線量についても注意が必要です。前回の検討委員会でもご紹介した乳幼児の代替測定は、同一環境における吸入摂取のみを考えており、先ほどの母乳から返した線量係数は半年間飲み続ける想定なので、実際線量係数はそこまで大きくならないはずで、ほんのわずかですが、一方、代替測定において少し考える必要のあるファクターだと思います。いずれにしろ妊婦・授乳婦に関しては、その状況を確認する必要があるかもしれません。

以上が妊婦・授乳婦に関する考察です。先生方の方からこの件に関して、何かご意見ご質問等ありましたらお願いいたします。私もそれほど詳しくはないので、間違いなどございましたらご指摘いただければと思います。この辺は真辺先生の専門性が高いので、いかがでしょう。

真辺 (JAEA) : 乳幼児とか母乳に関してのモデルは一通り見ましたが、実際に計算したことがないので、私から特にコメントできることはないのですが。

栗原 (QST) : 線量係数上はこのようなモデルがありますが、実際、モニタリング対象者の中に妊婦・授乳婦が含まれてきて、簡易測定で仮にスクリーニングレベルを超えるような事案になった場合には、詳細な評価をする必要がありますが、繊細な情報の確認となりますので、こういうのが注意する必要があることを報告書に記載しようと思います。こ谷村先生お願いします。

谷村 (JAEA) : 興味深い説明ありがとうございます。少し教えて欲しいのですが、1 ページ目の実効線量と甲状腺線量で妊娠後期の母親との比を示していただけていますが、実効線量が 35 週で 2.8 に対して甲状腺だと 2.5 倍になっていますが、差は非常に小さいですが、この差が出てくる理由は何でしょうか。分かれば教えていただけるとありがたいです。

栗原 (QST) : 通常のモデルであれば、ヨウ素の場合、特に実効線量と甲状腺の線量は 20 倍ぐらい違います。これは組織加重係数で、だいたい決まっています、むしろほとんど甲状腺に線量が集まってしまって、実効線量では甲状腺のヨウ素の線量を各臓器へ分配するような形になり、結局その実効線量をする時には、甲状腺の組織加重係数の 0.05 がかかって甲状腺等価線量の 1/20 が実効線量になる構図があります。こちらも本来であれば、おそらく同じような比になるとはと思いますが、先ほどの 2 ページ目で示したモデルの分配がずれてしまうのではないかと、すみません、私も計算したわけじゃないのでわかりません。

谷村 (JAEA) : ほとんど小さいので気にすることはないと思いましたが、興味があり質問させていただきました。

栗原 (QST) : 石川先生、実際福島のご対応とかいろいろされていますが、甲状腺検査でいろいろ苦労されているかと思いますが、事故時における情報を聞くことや感触などがあれば。

石川 (福島医大) : 先ほどお示しいただいた資料を拝見して、納得しながら聞いておりました。確かにそ

の詳細な情報である授乳や妊娠の状況が分かれば、線量評価に役立てられることもよくわかりました。ただ、栗原先生がおっしゃったようになかなか sensitive な情報、プライバシーに関する情報なので、個人から取得することは結構難しいですし、気を使うことだと思います。したがって、これについては可能な範囲で聞き取るという方法しかないと思って、聞いておりました。以上です。

栗原 (QST) : おそらく、この後にお示しします住民の方々への周知にて、甲状腺のヨウ素による被ばく線量やモニタリングの意義をご理解いただくことで、線量評価のための情報収集・取得はスムーズに行くと思います。その他なければ、次の議題に行きたいと思いますが、よろしいでしょうか。

次は資料の 4 に基づきましてご説明をいたします。

UNSCEAR 等でも指摘はされている点ですが、ヨウ素 131 以外の放射性同位体及びテルル 132 による甲状腺測定・評価への影響を検討したものです。

こちらが軽水炉中の放射性ヨウ素のインベントリを示しています。これは下にある CATHYMARa のデータということで、軽水炉中のヨウ素・テルルのインベントリを示しています。ヨウ素 131 からヨウ素 135、テルル 132 があります。それぞれの半減期は示している通りで、ヨウ素 131 がこの中で一番長いです。こちらが原子炉でシャットダウンした時の放射能について示しており、一番右に示したデータはヨウ素 131 を 1 とすると軒並みあります。しかし、半減期が短いので、すぐに減っていきます。こちらは、早い段階では、このような核種も取り込む可能性があります。ヨウ素に関してはヨウ素 131、ヨウ素 132、ヨウ素 133 であろうが原子炉からの出方は同じだと考えられますが、テルルに関してはヨウ素と少し違い、それぞれの原子炉の破損フェーズによって、出方が少し変わると言われています。上のデータですが、福島原発の 1 号機から 3 号機までこのようなレシオとなっています。

こちらは各々の放射性核種が減っていく様子をグラフにしており、左の図は横軸が Time after shutdown、時間で表して縦軸がヨウ素 131 に対する relative activity になります。ヨウ素 132 に関しては、ヨウ素 132 自体は半減 2 時間で減りなくなりますが、テルルが親核種であるため、テルルの半減期で減ると仮定しています。これを見ると事故から 72 時間後である 3 日が経つと、ようやくテルルから出てくるヨウ素 132 がヨウ素 131 とだいたい同じとなり、青で示しているヨウ素 133 も若干残っている状況になります。もっと早い、例えば、即日に被ばくを受けてしまうような場合だと、様々な核種を考えなくてはいけない状況になると思います。ただ、主に考えなくてはいけないのが、ヨウ素 131 とヨウ素 133 だと思います。右の図が線量係数を示していて、黒いバーで示しているのがヨウ素 131 の線量係数となります。ヨウ素 132 自体は半減期が短いので線量係数は小さいですが、テルルの線量係数の中にヨウ素 132 の分も入っている線量係数となり、ヨウ素 132 を単体で取り込むよりは、テルルを取り込んで体の中でヨウ素 132 に崩壊し甲状腺に集まることのことが、テルルの線量係数を上げていることに繋がると思います。ヨウ素 131 には及びませんが、何割かの寄与があります。ヨウ素 133 に関しても同様となります。

この線量は、ヨウ素 131 以外の短半減期核種の影響を考える上で、摂取時期の正確な特

定が必要であると考えられます。特に簡易測定、非スペクトル測定の結果から線量測定を行うにはシャットダウンから摂取までの経過時間 T1 と摂取から測定までの経過時間 T2 の 2 つのファクターが時間パラメータとなり、この 2 つのパラメータをしっかりと抑える必要があります。

ヨウ素から出てくる γ 線について、体外計測において γ 線を測定することなので、特性を知っておく必要があります。ヨウ素 132 に関しては、おびただしい量の γ 線が出てきます。ヨウ素 133 は、どちらかというヨウ素 132 に近いと思われます。一番右に示しているバリウムは、ヨウ素 131 のモックアップとして校正線源に使われますが、簡易測定で使われるサーベイメータの校正についてはヨウ素 131 を使用した方が良いと感じ、私たちも実際 TCS 172 を用いてファントムに線源であるヨウ素 131、バリウム 133 を入れて過去に実験しましたが、若干違いがあると感じました。

こちらが以前の研究で、TCS の換算係数をヨウ素 131 に関して実験的に求めたものと計算で求めたものです。計算の validation が取れたので、実際に線源として利用できない他のヨウ素の同位体に関しても計算で年齢群ごとに求めました。

TCS で測る際にヨウ素 131 だと思って測定をしますが、事故初期に取り込んで比較的早い段階で測定が行われる場合には、少し測定にも影響を及ぼしますし、また、体内にテルルが取り込まれ崩壊しヨウ素 132 になった際にどのように蓄積されるかを示しています。左のグラフのヨウ素は元素状ヨウ素で、ヨウ素 132 はテルル 132 からの ingrowth として計算をしています。

左のグラフがヨウ素及びテルルは一番取り込みやすい元素状と仮定し、それぞれヨウ素 131 が甲状腺に行った際に蓄積されるかを残留率として示しています。それからヨウ素 132 に関してはテルルの ingrowth fact として出てきて、点線で示しているところで、ヨウ素 133 についても示しています。

右のグラフがテルルの化学形によるヨウ素 132 の甲状腺への蓄積を示しており、蒸気状だとかなり甲状腺に蓄積されることが計算で示されています。ICRP71 には、体内動態モデル的にテルルから出てくるヨウ素 132 をどのように扱っているかを示しております。しかし、テルルの場合にはテルルがヨウ素 132 になった段階で、血中コンパートメントに移行し、そこからヨウ素の振る舞いをする記載されています。通常であれば、娘核種は親核種と同伴する扱いをしますが、このような特殊な扱いをする計算がなされています。

実際測定への影響について示しており、1 歳児が甲状腺等価線量で 100 mSv に相当する摂取をして、同時に環境中存在するテルル 132 とヨウ素 133 を取り込むということを考えています。こちらシャットダウンは 1 日目に取り込んだ場合、オレンジ色で示している図の上に記載されている通り、ヨウ素 131、テルル 132、ヨウ素 133 レシオが 1.00:1.29:1.04 であった時、換算係数は下の 2 行目のデータ使い、甲状腺以外の部位からの線量率寄与は考慮しないと考えると、かなり、ヨウ素 131 に対して上乘せ分が出てきます。左側の図はテルルが vapor form である場合で、右の図はテルルが aerosol である場合です。

先ほどは 1 日目でしたがこちらは 3 日後で、オレンジ色の字で書かれた 1 行目がヨウ素 133 の方が減ってくることを示しています。しかし、1 日目に比べ依然としてテルルから出

てくるヨウ素 132 の割合はヨウ素 131 に比べて大きくなるシミュレーション結果となっています。

簡易測定においては TCS172 の正味の線量率の増加分を、すべてヨウ素 131 と見なして計算しますが、このグラフは実際にヨウ素 132 やヨウ素 133 が入っていた場合を示しており、横軸が摂取からの経過日数で縦軸が本当の線量に対する見かけの線量で、プラスに行くほど過大評価をしています。最初の摂取から数日間以内に測定をした際には、ヨウ素 132 やヨウ素 133 が甲状腺に集まり、ヨウ素 131 に比べていっぱい γ 線を放出するので、一見線量としていっているように見えますが、線量係数はヨウ素 132、ヨウ素 133 は低いので、ヨウ素 131 としてみなして評価をすると過大評価になるということをこのグラフは示しています。それは3日目までですが、3日目が過ぎてくると、今度は取り込まれたはずのテルル 132 とヨウ素 133 が消えてしまうので、その分過小評価になりますので、後に補正する必要があることを示しています。この件に関しては、参考資料にしている論文にでも紹介しておりますが、ただ、ヨウ素 132、テルル 132 やヨウ素 133 がまだ体内に残留していて、早い段階に測定する状況は、避難退域時検査を受けた後に、OIL に基づいて避難指示が出され、避難所に行き甲状腺の簡易測定を受けるタイムラグを考えますとおそらくヨウ素 131 以外のものは見えないと考えられます。参考資料で示している CAThyMARA のレポートに、ヨウ素 131 の甲状腺線量に基づく他の放射性ヨウ素の同位体テルル 132 を含めた合計線量の換算ということで、 $C1\tau$ があります。このファクターをヨウ素 131 のみ検出して求めた線量にかけます。 τ は時間、hour で示しているので、1 日では 1.66 のファクターを受け、3 日であれば 1.36 のファクターを受けます。この結果は私たちが評価した結果より少し高めではありますが、テルルの化学種が Type F や蒸気、M であるかにより非常に変わります。実際、テルルは住民に対して測定できない場合も考えられますが、より詳細な評価を行う上では重要だと考えています。

まとめですが原子炉シャットダウンから数日以内に放射性プルームに暴露した可能性がある場合にはヨウ素 131 以外の短寿命核種による甲状腺の線量寄与を考慮する必要があり、UNSCEAR でも指摘されています。この評価には、最初の摂取日の同定、放出源情報、放出放射性核種の物理学的性状の把握が必要です。事故発生から概ね 1 週間後以降、OIL に基づく一時移転等で開始される甲状腺簡易測定において、短寿命核種はほぼ消失していると考えられ、ヨウ素 131 を考慮した線量推定値にシャットダウンから摂取までの経過時間を変数とする補正ファクター $C1(\tau)$ を乗じることで、短寿命核種からの線量寄与を暫定的に含めることができます。より正確な線量推定のためには緊急時環境モニタリングによるヨウ素同位体及びテルル 132 の大気中濃度、粒子/ガス比等の情報が得られることが望ましいです。事故初期のボールボディカウンタ等による測定は、種々の放射性核種の実際の体内動態を把握する上で有効であると思われます。こちらに関して後のスライドでチェルノブイリ事故の短寿命核種を言及した論文を紹介しております。ただし、被検者の体表面汚染や検出器の性能等に十分考慮する必要があります。以降はいくつか短寿命核種に関する論文を示しています。

こちらは、シンカレフさんが福島原発時の短寿命核種の影響について、11 日に摂取があ

った場合には、ヨウ素 131 の線量の 30-40%の寄与があると書かれています。

こちらは、福島医大の大葉先生が福島医大の測定器を用いて、避難者の着衣を Ge 測定し、この後、鈴木元先生の住民の線量再構築に利用されるデータにもなるわけですが、赤線で示されているような線量寄与として、40%弱あると書かれています。これは3月12日に取り込んだ場合の評価値となります。

こちらが先ほど大葉先生の先行研究を受けて住民の線量再構築をされていますが、フローの赤枠で示しているようにヨウ素 131 以外のファクターが12日から14日に摂取した場合には、保守的に1.59をかけて、15日から17日には1.09をかけます。大量放出のあった15日に関しては、ほとんど住民は避難しており、その時には原子炉中のヨウ素 132 やテルル 132 や 133 も decay out しているので、取り込んだとしても線量寄与は少ないです。

こちらはチェルノブイリ事故のデータですが、テルルの化学形が非常に重要ですが、Type M のように血中に直ぐに溶け込まないで吸収速度が遅いのであれば、甲状腺にそこまで行きません。化学形を知るには甲状腺測定だけでは厳しく、胸部測定のようなものやホールボディカウンタの測定などが必要になると考えられます。そのため、まとめではホールボディカウンタによる測定は有効であると書かせていただきました。

実際、初期にどのようなスペクトルが得られるかについて、私が原子力機構にいた時に3月15日自分で自分を測定しましたが、もちろん体表面の汚染もあったと思いますが、非常にテルルとヨウ素 131 ははっきり見えるのでスペクトル解析はできます。しかし、NaI の場合、ヨウ素 132 はセシウム 134 とほとんどエネルギーが近いところに出てくるので、少しライブラリもチューニングし評価をしたのですが、今回の事業とは別に専門家の先生と詳細について次年度以降検討していきたいと思います。以上でございます。この短寿命核種の影響等について先生方からコメントやご質問等が出たら、はい細田さんお願いします。

細田（弘前）：私自身勉強になりました。短寿命核種の寄与について我々も大変興味がありましたので、様々な先生方が検討されていると思いながら拝見させていただきました。少し教えていただきたいのは、例えば TCS172 などのサーベイメータを使って簡易測定する場合にテルルの寄与の話がされたと思いますが、結局大事な情報としては、T1 と T2 の情報をいかに正確かつ早く集めるかになると思います。実際発災時は T1 と T2 の情報を瞬時に情報が集まりにくいと思いますが、T1 と T2 の情報はテルル由来の甲状腺被ばく線量にどの程度不確かさが効いてくるかについてのシミュレーションや机上での数値計算などされていますか。

栗原（QST）：重要な指摘だと思います。一番大事なことは、最初に取り込む摂取のタイミングで、後に摂取時期のシナリオの設定にて検討したいと思いますが、最初の T1 に関しては3ページ目のスライドのグラフに示すように時間とともにレシオが変わる状況なので、不確かさは非常に大きいと思います。シャットダウンしてから摂取までの時期は、事故発災からすぐ福島のように環境へ24時間以内に放出されてしまう場合は、数時間で結構変わってしまうので、精度良くやらないといけないと思います。

一方、福島での原発事故以降、原子力発電所の新規制基準が取り入れられ、だいぶ耐性が強くなり、フィルターベント等によってかなり放出を抑えられています。ただ放出までには、福島原発のようなタイミングではなく、ある程度原子炉の中で耐えた状態で、放出

されるものであると現実的なことを考えるとそうこともあるかと思っております。そういった、最初のシャットダウンから環境中に放出され摂取されるまでの T1 というファクターは、1日という刻みではなく、数時間でテルルなどが変わるので求められてくると思います。摂取から測定までの時間に関しては、おそらく甲状腺線量モニタリングのスキームで言うと、測定するときには短寿命核種の直接的な測定はできず、ヨウ素 131 の測定をし、その測定結果から推定を精度よくすることが非常に重要です。先生のご指摘は非常に重要だと感じており、この事業では少し収まりきらないと思いますが、可能な範囲で検討していきたいと思っています。

細田（弘前）：非常に私も重要だと思います。実際の実測について、例えばミドルレンジのヨウ化ストロンチウムのセリウムブロマイドのように感度が NaI ほどではないが感度が高く、エネルギー分解能の NaI が良いシンチレーターも出てきており、最近少し進んではいませんがその辺でうまく分離して測定できないかと検討しており、新しい最近のミドルレンジのエネルギー分解能を持つシンチレーターでも検討していく必要もあると、個人的には思っています。

栗原（QST）：細田先生のご指摘は重要で測定をしっかり行わないと次の線量評価につなげられないと思います。良いデータを取れば次の線量評価部会にも生かされ活発な議論ができれば良いと思います。ありがとうございました。谷村さんお願いします。

谷村（JAEA）：今 T1 間のシャットダウン後で、いろいろとデータ整備をされていると思いますが、先ほど細田先生の話にもありましたけど、シンチレーター系でいいものがあったり、モニタリングポストとか緊急の測定に行った際に、ある時点での核種、ヨウ素 131 とそれ以外の核種の比率が分かると、シャットダウンからではなくそこを起点にして簡易測定までの時間で補正をしたほうが精度良くなると思います。情報が得られた時に備えてシャットダウンからの日数だけではなく、核種の測定があったら、そこからの日数に対するテーブル表をあらかじめ用意しておくのが非常に早く、より良い精度で線量評価できると思いますコメントさせていただきました。

栗原（QST）：先生のご指摘、非常に的を射ていると思います。確かに実際、緊急時環境モニタリングで事故と同時に並行して行く体制になるかと思いますが、福島の時では難しかった空気中の連続サンプリングやヨウ素であればある程度最初の初期インベントリーの割合で出てきて、環境中への影響はそれほど変わらないはずですが、飛んでいる時間などが変わるので測定する場所によって、ヨウ素とテルルの割合が変わってくる可能性もあります。そのため、非常に重要ですし、少しだけ冒頭でお話しさせていただきましたが、ヨウ素とテルルの炉心から出てくる割合は化学形が違うので、全部出ると仮定すると今回のような評価になるわけなので、ここを環境モニタリングの情報を見ながら環境中へのどの程度かテルルが出たのかを実際、空気サンプリングなどで濃度比などをしっかり抑えることが重要であると思います。一方で、理想的なことと言うとテルルの幕開けなので、ヨウ素に関してはチャコールフィルターと普通のフィルターで CHC 50 と CHC の薄いもの、粒子状のものとガス状のものをよく測れるのですが、同じようなことをテルルでも、実際核サ研や原科研で行われていたので、そのような情報をいかに面的に抑えるかが重要だと思います。少しこ

の検討会のスコープを超えてしまうかもしれませんが、このような情報があると良いと報告書の方で書かせていただくことが良いと思います。その他いかがでしょう。はい。ご意見なさそうですね。線量評価に関して用意した資料はこの通りです。あと、摂取シナリオの推定・設定について、前は、最初の初期の評価で、スクリーニングに活用するということを主目的に終えた場合には、保守的に行うと、当該地域において、空間線量率の上昇が認められた日、あるいは大量放出があった日（明らかにそういう事象があった日）を摂取日として行うことが妥当であるとお話をさせていただきましたが、ヨウ素 131 以外の核種に関しては細田先生らのご指摘になったことも重要です。当座の線量推計は吸入摂取シナリオで行う。より詳細な評価が必要な時には今日議論させていただいたようなことを踏まえて、より一歩踏み込んだ線量推計をするということでもよろしいと思っておりますが、先生から追加のコメントがあれば、お願いできればと思います。

高橋 (JAEA) : 少し質問に近いかもしれませんが、安定ヨウ素剤服用時の線量評価はシナリオには含めませんか。お送りいただいた CATHYMARa のレポートにも、安定ヨウ素剤の服用で、モニタリング時の換算係数が結構異なる記載もありましたので、その辺どのように検討しましょうか。

栗原 (QST) : はい、重要なご指摘ありがとうございます。測定をする際に被検者の方からお聞きする情報を前回議論させていただきましたが、その中に安定ヨウ素剤について入っていたと認識しています。そのため、安定ヨウ素剤に関しては詳細な評価を行うというスクリーニングを目的とした当座の線量評価、スクリーニングレベルの設定と比べた当座の評価の後で、詳細測定等や必要に応じて個別の評価をする必要がある状況では、今日議論させていただいた安定ヨウ素剤の多くについて考えていくということになるかなと思います。

私も CATHYMARa のレポートを見直しますが、甲状腺の蓄積を直接測定するので、安定ヨウ素剤は服用しても服用しなくてもとりあえず測定で甲状腺の残留量のアクティビティは評価できるので、評価をしておけばあんまり影響がないようにも少し感じました。一方で、測定前にどのように蓄積されたかについては、安定ヨウ素剤の影響はあるはずなので安定ヨウ素剤の服用により代謝が変わる、つまり、甲状腺アップテイクが阻害されることにより半減期が変わる可能性もあるので、ここは個別の評価になりますし、おそらく安定ヨウ素剤の服用によって甲状腺ブロックがされているとすると、今度は尿中への排出割合が増えていくと思います。その場合、尿と甲状腺両方抑えないと正確な線量評価を目的とするのであれば難しいと感じますので、後で CATHYMARa のレポートを再度見直します。現状では、甲状腺の直接測定で評価をしても大きな問題はないと認識しております。

高橋 (JAEA) : 直接測定を行っていて甲状腺ブロックによる線量への影響がないのであれば良いですが、結構な大きな過小評価になる場合は、必要かなと思いますので、影響あるかないかの調査だけは必要であるというところをお願いいたします。

栗原 (QST) : 検討いたします。はい。そのほか先生方からいかがでしょう。はい、そうしましたら、線量評価に関しての議事は、ここで終了したいと思います。また、会の終わりに総括する際に、ご意見があればと思います。次に資料の 5 及び 6 ですが、一般向けの甲状腺測定に関するものです。素材をお示ししております。説明の方お願いしてもよろしいでしょうか。

金 (QST) : はい。計測線量の金と申します。一応、今日資料に送ったもので、動画化したものがあり、喋る内容に関しては古いものですが、動画を作成してあるので先に見ていただいて、それに関してコメントを今日すぐにはなくとも構わないので、送っていただければ良いと思います。約6分になると思いますが、聞いて頂ければと思います。

～Video鑑賞中～

金 (QST) : はい、以上になりますが、先生方に今日の午前中に送らせていただいた内容とマッチしないものがあるかとは思いますが、コメントなどがあればいただきたいなと思います。いかがでしょう。我々も作ってみて説明がスムーズに行くように工夫しないといけないと思いますが、気づいたところがあれば今でも構いませんしメールで指摘していただいても構いません。

高橋 (JAEA) : 金さんにお送りしましたが JAEA で福島 WBC にて、住民の方への説明を行い、その時の記録をレポートにしてまとめていたものを見返していました。当時、住民の方が一番気にされていたのは自身の健康影響でした。健康影響がないかお子さんの健康に影響ないかということは、一番気にされていて、放射線の影響の説明は、非常に難しく、住民の方に納得していただくことに苦労していたことが記載された記録でした。今のビデオにそのような話を記載することが適切であるかはわかりませんが、例えば甲状腺のスクリーニングレベル 100 mSv が健康影響はないと言い切れないので難しいですが、影響に関する住民の方への説明も必要ないと思いました。すみません以上です。

金 (QST) : 確かに甲状腺測定モニタリングに関して、影響について記載することを規制庁の方と相談してはいますが、100 mSv についてその影響を分かってもらえるよう工夫をちゃんとしないと不安を与えることになりかねないので、他の方達と検討させていただきたいと思います。

栗原 (QST) : この資料の目的は、平時において普及を図るところにも主眼を置いていまして、まず事故が起きた時に何をするかについて、実際の方々にも分かっていたく、あるいは測定を受けるために待っている状況で、videoを紹介する形になるので、高橋先生のご指摘の通りリスクに関しては、他にも JAEA でまとめられた資料や環境省の資料もあるので、適宜運用する形で行います。また、質問対応に関しては、電話相談が今検討されているようですので、サポートする素材というのは、一応整理しておく必要があると思いました。以上です。細田先生、おねがいします。

細田 (弘前) : 一つは、ちょうど高橋先生がおっしゃられたことに関連していて、私もビデオを見ていた時に、放射線の被ばくとはっていうところで、将来の健康リスクとして甲状腺癌や機能の障害が起こるリスクが高まることについてここだけ出てきたものですから、そうすると見ている住民の方、自治体の方は住民の方と若干違うと思いますが、住民の方は「リスク高まるっていうけど、どうなの？」ということが気になるのかなと思い、その明確な解はないかもしれないにしても何かポジティブなアンサーが、これに対するアンス。このリスクが高まるとされています。そう終わってしまうと住民の方は不安を感じてしまうかもしれないと感じて、その点については高橋先生が触れられていたので、ほぼ同じようなコメントになってしまいます。

もう一点、細かいところですが、非常に私は聞いていてわかりやすく、大学の実習で使わせてもらおうと、学生はより理解が深まるのかなと思いました。自治体というよりも住民の目線でみると、まだ専門用語が出てくるところ、物理学的半減期ではなく 8 日で半分の放射能になるとかバックグラウンド測定という言葉よりも住民の方が入ってきやすい表現に変えてもいいと感じました。

栗原 (QST) : 非常に重要なご指摘で私もうちの事務の方にも物理学的半減期について尋ねた気がしますが、確かにソフトな感じでわかりやすく平易な言葉で説明する。これは、福島の実験を受けていろいろ言われてきたことなので、規制庁の方、担当者の方と協議してしっかり進め改善していきたいと思います。

細田 (弘前) : 例えば水域とかも川や海と。いくつかあると思いますので、ぜひご検討いただければと思いますので、よろしくをお願いします。

栗原 (QST) : 安田先生、お願いします。

安田 (福井) : 普段、地方をドサ回りして住民の方々に話をしている立場から見させていただきましたが、平常時にこれを展開するということがあったので、13 年経って改めてこのようなビデオを見ることになると、一般の方々どのような印象を抱くか想像していましたが、それにしても甲状腺がエンハンスされすぎていると感じました。伝えたいことはもちろんそこですが、福島の事故の時の健康影響について簡単に出てきても良いと。その上で甲状腺はしっかりと測らないといけないので、国としてその体制を作っており、万が一の時にはこのような体制を敷いているという話がストーリーとしてないといきなり体への影響の中で、甲状腺だけが取り出されて、なぜ今更甲状腺のことだけ言っているのかという話になりかねない気がします。もちろんその甲状腺の検査を受けようとする人のためだけにやるのとはまた広報の仕方が違うと思いますので、そこら辺配慮された方がいいと思いながら聞いていました。以上です。

栗原 (QST) : 確かに安田先生のおっしゃられる通りだと感じることもあります。事故から 13 年たち先生のご指摘についてもまた検討したいと思います。横山先生お願いします。

横山 (長崎) : 横山です。皆さん、言われていることと同じようなことになります。実際にこれを見ていただくことは、時間的に難しいかもしれませんが、少なくとも自治体の方にご意見をお聞きするとか、さっき事務の方にお聞きしたっていう話でしたが、難しいかもしれませんがお聞きして、その印象をどういう風にした方がいいよっていうのを聞いた方がいいのかなというふうに思ったのですが、いかがでしょう？

栗原 (QST) : はい、少しその準備は考えていなかったのになかなか厳しいと思いますが、経理の方や事務の方にお聞きしその結果をフィードバックさせる形で対応したいと思います。また、内閣府の方でも同じような検討をされていると聞いておりますので、これでファイナルではなくブラッシュアップを継続的に続けていきたいと思いますし、先ほど高橋先生や安田先生からのご意見も色々ありましたが、視聴者に合わせて内容も変えていかななくてはいけないと思います。リスクをどのように伝えるかについては、これはあくまでも念のためにやると安心のためにといったような、強いメッセージ性が重要であると思いました。かなり福島事故を受けて原災指針が見直されて、新しく策定されて、改定をずっとされ続けて、屋内

退避を基本とするというところで後は、原子炉自体の安全対策もかなり拡充されているというところで、おそらく福島のようなことはなかなか想定しにくいという状況ではありますが、福島の教訓というか福島の時はどうだったかについてもお伝えしつつ、やはりその後々にしっかり自身のリスクというものを把握するというか、そういうことで念のために測定をさせていただくというのは、住民に寄り添ったような素材は大事だと思いました。はい。

横山（長崎）：すみません、あと今これ、音が入っていますよね。これって我々のためにこう音を出してくれたのか、実際にこう自動音声かなんか使われていますよね。

栗原（QST）：はい

横山（長崎）：少し機械的な感じがして、もしかして、それを使うかについて少し気になる場所なのですけど。

栗原（QST）：はいちょっと私も少し出てくる字幕のタイミングはずれていると思いましたが、ここはアルアルでチューニングしているらしいので、そこは改善できるということですが、声のトーンはどうですか？

高島（QST）：今は、納期のこともあり、修正をこれから続けていく必要があります、自動音声で対応せざるを得ないです。声に関しては、AI 音声読み上げ音声みたいなやつですけども、アクセントの調整とかっていうのはある程度できますが、今年度の成果としては、作らざるを得ないかなと思っています。一方で先ほどから議論であるような、その完成度を高めるというか、そういう過程においてはファイナル版についてはアナウンサーに読んでもらうとか、絵などもプロのデザインが入るのが、綺麗になるのは間違いないということは認識していますが、如何せん今回は時間がないということでこのようにやっている次第です。以上です。

栗原（QST）：谷村先生、お願いします。

谷村（JAEA）：非常にわかりやすく言葉も選んでおられるなど感銘を受けました。二点ありますが、テロップ流れていましたけど、テロップで例えばルビーを送るとかってできるのでしょうか。住民の方や小さいお子さんなど様々な方が読むことを想定すると、ルビーがあってもいいのかなというのを思いました。

高島（QST）：はい、すいません可能です。これも先ほどお見せした動画のテロップはソフトに勝手に自動で字幕をつけさせてそのままをつけておりますので調整すれば、字もピンクではないですし、ルビーも可能です。如何様にもできますのでそれぐらいでしたら、あと半月ぐらいで調整修正は可能だと思いますのでやります。

谷村（JAEA）：あともう一つですけど、先ほど安心が重要と言っており、平時はこの内容でいいと思いますが、本当に緊急時に受ける方に流すには、最初にこれは安心のための検査ですっていうのを言ってあげないと影響の話だけでずっとくると不安になってしまわないかなっていうのを思いました。平時はこれで構わないと思います。

栗原（QST）：私もいろいろ先生方からお聞きして、安田先生からのご発言もありましたけど、やはり念のために安心のためにやるのだというところをこの測定を受けられる方も不安になっていると思われるので、寄り添う形でなんか言葉や内容とか少し modify していきたいと思

っています。まだ、あらあんな段階ですが、一応、このような感じで作り込みをしていて、3月末に報告書を出さなくてははいけません、可能な限り最善を尽くしたいと考えております。続きまして、もう一つの素材としてパンフレットということで、こちらが数ページですが、少しハンドアウトするような感じでお配りする事務方々にお配りするとか知った方々にお配りするというような感じで考えております。こちらに関しても、今日また時間がなくなりましたが、また後でご意見等いただければというふうに思っております。以上が用意した議題であります、先生方の方から全体通して何かコメントを追加であればしたらお願いいたします。

高橋 (JAEA) : JAEA 高橋です。質問みたいになってしまって申し訳ないですが、今回はこの事業のスコープ外だと思いますが、甲状腺モニタリングした結果や線量評価した結果を、迅速に集約して大量なデータになると思いますが、集約して、例えば集団線量とか線量分布とか地域ごとの線量のばらつきみたいな全体像を把握するような方法についての検討は、今後どうなるかみたいな情報あったら、お願いしたいと思えます。

栗原 (QST) : 現時点ではそこまでまだ踏み込んではいません。今回は、あくまでもその線量評価のスキーム的なところ。あとは平時からの広報というか、甲状腺モニタリングの広報の資する資料の作成です。またそれは、今後国の方でも議論されていくと思えます。

高橋 (JAEA) : 重要な点であると思うので検討をどこかでやればよいと思えます。

栗原 (QST) : はい。福島の時もそうでしたので、いずれは同様になるとは思えます。はい、そうしましたら他に先生方の方からいかがでしょうか？ 石川先生お願いします。

石川 (福島医大) : 最後の資料7パンフレットの最後のページに、日常生活と放射線っていう早見図があったと思えますが、その中で左側が人工放射線で右側の放射線となっており、一般公衆の線量限度が右側の自然放射線の欄に書いてあります。元の早見図だと人工放射線の欄に書いてあって、おそらくこのパンフレットだと、スペースの関係で自然放射線の方に書いたと思いましたが、元の早見図ですと、人口放射線の方の欄に一般公衆の線量限度 1 mSv いうのが入っていましたので、一応気がついたので発言させていただきました以上です。

栗原 (QST) : 対応いたします。その他先生方につきましては会の終わった後にでもご意見等をいただければと思えます。はい、そうしましたら一応予定していた 2 回の検討委員会は終了しましたが、不手際でまだ報告書が出来上がっておりません。先生方にもご確認いただく必要がありますので、先生方のご予定次第にはなりますが、もう一回検討会を開かせていただいて、その時には報告書の叩き台をお見せするような形にしたいと考えております。先生方にいろいろご議論いただいたので、報告書の中身的なところはだいぶ出来上がっており、あとはその肉付けをするという作業が残っておりまして、これを急ぎ進めていきたいというふうに考えております。その中でまた先生方からコメントいただいて、さらにブラッシュアップできたらなと思っております、大変恐縮ですがまた事務局の方から日程調整表を送らせていただきたいと思いますので、ご無理されない範囲でぜひご支援賜ればと考えておりますので、ぜひ宜しくお願いいたします。

はい、そうしましたら時間になりましたので終わりたいと思えますけれども、最後に規制庁の方から何かお言葉をいただければ幸いです。

吉田（規制庁）：すみません、原子力規制庁放射線防護企画課吉田でございます。本日はお忙しい中、お時間を作っていただき、誠にありがとうございました。非常に短い期間で先生方にご検討いただくというところで、弊社としても大変心苦しいところもありましたが、本日の会議では、もう線量評価において大方の目処がついたと私の方も感じております。あともう一回、検討委員会をやっていただけるということで引き続きよろしくお願ひしたいと思ひます。どうぞよろしくお願ひいたします。

栗原（QST）：よろしくお願ひいたします。そうしましたら先生方長時間ありがとうございました。お願ひをいろいろしてしまうかもしれませんが、何卒宜しくお願ひ致します。それでは、第2回検討委員会の方を終了させていただきたいと思ひます。ありがとうございました。

全委員：ありがとうございました。

令和5年度原子力施設等防災対策等委託費（甲状腺の被ばく線量推定方法等に関する調査）事業「甲状腺の被ばく線量推定方法の検討及び甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知に関する調査」に関する検討委員会

第3回検討委員会 議事次第

1. 開催日時 令和6年3月25日（月）15:00～17:00
2. 開催方法 Webexによるリモート会議
3. 議 題
 - 1) 前回議事概要
 - 2) 報告書（案）について
 - 3) 甲状腺被ばく線量モニタリングに関わる住民等への周知用普及啓発伝達ツール（パンフレット、動画）

【配布資料】

資料1…令和5年度第2回検討委員会_議事概要

資料2…報告書（案）

【参考資料1】 令和5年度第2回検討委員会_議事録(案)

【参考資料2】 原子力災害時の甲状腺の被ばく線量測定について_パンフレット

【参考資料3】 甲状腺測定マニュアル_20199708_20211203 研修(1)

【参考資料4】 甲状腺簡易マニュアル_202003_第2版

【参考資料5】 甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル_202203_提出版

4. 出席者（順不同・敬称略）

委員長：栗原 治（量研）

委員：真辺 健太郎（原子力機構）、高橋 聖（原子力機構）、石川 徹夫（福島医大）、保田 浩志（広島大）、横山 須美（長崎大）、安田 仲宏（福井大）

欠 席：谷村 嘉彦（原子力機構）、細田 正洋（弘前大）

事務局：金 ウンジュ（量研）、高島 良生（量研）、谷 幸太郎（量研）、深堀 麻衣（量研）、三瓶 優真（量研）

オブザーバー：徳本 史郎（規制庁）、吉田 淳一（規制庁）、山本 哲也（規制庁）、本田 隆馬（規制庁）

5. 主な議事

（1）前回議事概要及び議事録について

- 前回（令和5年度第2回検討委員会）の議事概要（案）及び議事録（案）が、資料1及び参考資料1として共有された。委員より、議事録内に記載されている発言者名と発言内容に誤りが見られたとの指摘があったため、事務局内で改めて確認することとした。その他にもコメント等があ

れば、後日、事務局宛に連絡するよう委員に依頼があった。

(2) 報告書（案）について

- 資料2に基づいて、栗原氏（量研）より本事業の報告書（案）の内容について説明があった。本報告書では、外部有識者から構成される検討委員会における議論を踏まえた結果として、「甲状腺の被ばく線量の推定方法」及び「甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知等の事項」について取りまとめる予定である。前者には、甲状腺被ばく線量モニタリング結果から線量を計算する際に考慮すべき事項として、①放射性ヨウ素の化学的性状による線量推計への影響、②測定対象者の年齢層を考慮した線量係数等の整理、③保護者等による代替測定した場合の乳幼児の被ばく線量への換算、④ホールボディカウンタ等を用いた代替測定による線量推計及び⑤線量評価に必要な情報に関する内容を含めている。また、後者には、甲状腺被ばく線量モニタリングに関する住民周知のためのパンフレット及び動画素材が含まれている。なお、国内で利用可能な内部被ばく線量評価システムである MONDAL では、体内動態モデルの計算にあたり移行係数の年齢補間が実施されていないことを確認した。このことが MONDAL と IDEC の出力結果に差異が生じる原因のひとつであると考えられるが、前回の検討会で示したとおり、差異が 10% を超えるのは放射性ヨウ素の摂取後 70 日以降であるため、甲状腺モニタリングに基づく線量評価への影響はほとんどないといえる。報告書（案）に対する委員及び原子力規制庁からの指摘事項について、以下のとおり対応することとする。
 - P. 22 の表 6 における線量係数の単位について、「Sv/Bq」では「mSv/Bq」であると思われるため、確認して修正する。
 - P. 23 の「表 6」は「表 7」であると思われるため、確認して修正する。
 - 一般に、「Sv」は標準人（成人）に対する実効線量として使用するものと考えられるため、①内部被ばくに対して ICRP から与えられている年齢別の線量係数を使用すること、②特に甲状腺の被ばくに寄与する放射性ヨウ素に対して甲状腺等価線量係数を使用することについて、その理由を本報告書に追記することを検討する。
 - 表 9 の「行動情報」について、その内容を具体的に記載することを検討する。
 - 本事業で検討する被ばく経路として「吸入摂取」を仮定した理由を記載することを検討する。
 - 4 章の書きぶりについて、今後も甲状腺被ばく線量モニタリングに関する啓発が必要である旨を記載することを検討する。
 - 3 章の出だしの書きぶりについて、文章の展開をよりわかりやすくすることを検討する。
 - 動画素材において、福島での事故後に検出された甲状腺がんが放射線被ばくによるものではないと考えられる理由として、被ばく線量が低かったことの他にも、例えば乳幼児の甲状腺がんが顕著に検出されていないこと等が挙げられるが、より詳細な説明の追加についてはスライドの分量を考慮して検討する。
 - もし大腿部が衣類で覆われていない場合、バックグラウンドの測定において体表面に残存する汚染の影響が懸念される。しかし、頸部と概ね同等の太さである大腿部での測定をバックグラウンドとする理由のひとつとして、全身に分布する他の放射性核種（放射性セシウム等）による影響を差し引くことが挙げられる。また、現状の甲状腺被ばく線量モニタリング実施

マニュアルにおいても、大腿部での測定をバックグラウンドとすることが記載されているため、原子力規制庁とも相談しながら対応を検討したい。

- ▶ 別添 1 及び別添 2 の書きぶりをやわらかくすることを検討する。
- ▶ 別添 6 において、甲状腺被ばく線量モニタリングの結果から MONDAL での解析に必要な甲状腺残留量 (Bq) を評価するための早見表等を提供することを検討する。

6. 議事録

栗原 (QST)：それでは、第 3 回検討委員会を始めたいと思います。年度末にお集まりいただきましてありがとうございます。今日の議題として、完全にできてはいませんが、報告書の説明をさせていただきます。それから、パンフレットと動画の方も現段階のものをお見せして、フィードバックいただければなと思います。配布資料といたしまして、議事概要、資料 2 報告書 (案)、参考資料を 5 つほどお付けしています。それでは早速進行していきたいと思えます。

午前中にお送りした報告書から、少し作業を致しました。

最初のページが目次となっており、概要、諸言、委託内容、3 章が甲状腺の被ばく線量推定法に関わる調査、4 章が甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知に関する調査、5 章がまとめ及び参考文献、別添の方が 1 から 6 までですが、まだ 6 が出来ていません。

最初に緒言です。甲状腺モニタリングに関わるこれまでの国の取組み、原子力災害対策指針等、最初は福島事故についての反省点を記載しています。

2 つ目のパラグラフでは、こちらも防災基本計画等の説明で甲状腺モニタリングの必要性などを記載しています。最後では、原子力規制庁が 2021 年に検討チームを立ち上げ、モニタリングの対象者、測定方法、実施体制等に関する検討を行い、基本方針を示した報告書を取りまとめており、この報告書の内容は、翌年の原子力災害対策指針の改正に反映されるとともに、2023 年 5 月には内閣府、原子力規制庁の連盟で甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアルが設置されたことを書いています。

3 つ目のパラグラフですが、委託内容について説明しており、最後の行に事業を遂行するにあたり外部有識者である先生方からなる検討委員会による議論を踏まえ、調査・検討した結果を取りまとめるものと書いています。

委託内容に関しては仕様書の通りで、報告書での仕様書の記載場所を示しています。2.3 委託事業の内容ですが、本報告書の 3 章に甲状腺被ばく線量の推定方法に関する調査をまとめています。具体的には①から③ですが、①では国内外で利用可能な内部被ばく線量評価システムの検証について書いています。3.2 では甲状腺被ばく線量モニタリングの結果から線量推計、計算を行う場合に考慮すべき事項について書いています。文言がまだ統一されていないところもありますが、残りの期間で整合性を確保したいと思います。3.2 の・は仕様書に書かれている検討事項で、報告書に記載しています。③は、①と②の議論を踏まえて、新たな内部被ばく線量の推計方法の構築の必要性についての検証で、報告書の 3.3 に記載しています。また、前回の検討委員会で示した乳児・胎児の線量評価とヨウ素 131 以外の短寿命

核種の影響については、仕様書に含まれていない内容のため、別添 1、別添 2 の形でまとめております。

(2) は甲状腺被ばく線量モニタリングに係る住民等への周知に関する調査について仕様書に普及啓蒙コンテンツ、具体的にはパンフレットや動画を作成することが書かれていたため、報告書には紙媒体として示しています。

(3) が別添 5 として示していますが、仕様書に議事録の公表が記載されているので、全 3 回検討委員会の議事概要と議事録ともに報告書に取りまとめようと考えています。

以上のように、最初の諸言と 2 章の委託内容についてご紹介しました。報告書の 3 章がこの事業で行う調査の中心となります。甲状腺の被ばく線量推計に関する調査について、少し説明しています。最初に内部被ばく線量評価方法の種類について、個人モニタリングと環境モニタリングに基づく方法について記載しています。個人モニタリングは、体外計測法やバイオアッセイ法などがあり、個人を直接モニタリングすることによる線量評価する方法です。個人モニタリングは、環境モニタリングに比べ正確な評価が得られると記載しています。

次のパラグラフは ICRP に提示されている線量係数や線量評価の適用範囲を示しています。内部線量評価には、残留率・排泄率と線量係数の 2 種類のデータが必要で、線量係数については公衆と作業者の両方が与えられています。しかし、公衆に関しては残留率・排泄率、いわゆる個人モニタリングから摂取量を評価する上で必要なデータに関しては、示されていません。そもそも ICRP の線量係数は、prospective な事前の放射線防護策定等、例えば原子力施設等の周辺に住む公衆の線量評価を事前に行う時に、環境から受ける被ばく線量など予測的な線量を評価した上で対策を練る等、検討材料として利用されることを意図したものです。本来、個人モニタリングを公衆に対して行って線量評価をすることは行うことは、本来であれば ICRP の意図するところではないことを明記し、一方、チェルノブイリ事故や福島事故において、実際に個人モニタリングに基づく線量評価が行われた経験があります。また、現行の公衆に関する線量係数等は、1986 年にチェルノブイリ事故が起きたことを受け、公衆の内部被ばくに関連する publication が 1990 年代前半から刊行されるといった公衆に対する線量評価モデルの開発が進展した側面もあることを書かせてあります。

3.1 は、国内外で利用可能な内部線量評価システムの検証です。線量評価の方法に関しては、図 1 に検討委員会で使用したスライドも示していますが、個人モニタリングに基づいて体内動態モデルから導出される残留率・排泄率を適用して摂取量を推定し、摂取量に線量係数を乗じて線量を得ることです。モニタリングデータから線量評価するまでステップがありますが、表 1 に示す内部被ばく線量評価システム MONDAL と IDEC と DCAL という 3 種類のシステムを用いて検討しています。もう一つ委託費で購入させていただいていた IDEA システムについては、うまく動きませんでした。原因としてファイル不足である可能性が考えられ、開発元に問い合わせをしている段階で、残りの期間では少し厳しいですが至急対応し、残留率・排泄率等係数が収録されているかどうかを調べていきたいと思っています。この後に 3 つの選定した計算システムの比較をし、表 2 の (1) から (3) に MONDAL と IDEC の甲状腺残留率の比較を示しています。こちらは第 1 回の検討委員会で示した内容です。MONDAL と IDEC を比較していますが、IDEC に関しては、有効数字が

2桁のデータのため、同等の比較はできませんが、機械的に計算して差を求めるとこのような比が出てきます。表2の(4)から(6)は、それぞれヨウ素の化学形に応じた年齢別のDCALとMONDALの比較です。IDECに比べるとMONDALとDCALの整合性はかなり良くなっており、1歳児の摂取から70日日以降が10%を超えてしまうところもありますが、他の年齢に関してはほぼ10%以内、特に成人に関しては数%、1%未満の一致もあります。DCALとMONDALは、それぞれ有効数字を3桁で出しているため、非常に整合していることが分かりました。

IDECとDCALに関しては、内部で線量係数を計算します。MONDALに関しては、ICRPの線量係数をそのまま使っているため、甲状腺残留率のみが線量計算の誤差になりますが、DCALとIDECに関しては、線量係数も内部で行っているため、ICRP CD1との比較を行っています。表3(1)がIDECとICRP CD1との比較、表3(2)がDCALとICRP CD1との比較です。DCALがICRPの線量係数の導出に使われたこともあり、ほぼ一致する結果になりました。

検証結果を踏まえて導き出した考察として、30日までの計算であればどのコードを使用しても概ね10%以内の範囲に収まります。この3つの中で何が正しいかはありませんが、MONDALとDCALに関しては、甲状腺残留率がよく一致しており、先ほども述べた通り10%以上の違いが出たのは3か月群の摂取70日以降でした。MONDALとIDECに関しては、モニタリングデータである甲状腺残留量を入れて線量計算を行う機能もあるので、摂取7日後や30日後にヨウ素131を1000 Bq検出した場合の甲状腺の線量を計算して両システムの比較をしましたが、ほぼ一致しました。

甲状腺残留率に関してはDCALとIDECのデフォルトの手順に従って計算をしていくと、最後グラフを出してくれます。グラフを出した際バックデータとして残留率・排泄率がファイルに出力されますが、離散的な経過日数にしか対応していないので、おそらく一日ごとに設定すればできると思うものの、便利が良くないと感じました。MONDALに関しては、1日以内であれば0.1日刻みで、以降は1日ごとの等間隔刻みで残留率・排泄率が計算されますので、たくさんの人の線量をスプレッドシートなどで計算する場合には、非常に利便性が高いと感じました。以上のように、少し実用性について触れました。

最後の段落では、甲状腺の残留率のシステムの違いの差について、真辺先生より移行係数や比実効エネルギーの年齢補間の違いの可能性が指摘されました。この取り扱いに関してICRP71を見ると、それぞれパラグラフ19とパラグラフ73に詳細に書かれています。ICRPは年齢補間について、具体的に同じ移行係数を適用する積分のステップ範囲、預託線量を計算するまでのステップ範囲などの情報は与えていないので、計算システムの違いが、取り扱いの違いによって出てくると思いました。

下から3行目の一方MONDALではについて、石樽先生に確認したところMONDALでは同じ年齢区分の時には同一移行係数を全て変更せずに行っているそうです。そのため、乳児の摂取70日以降に、DCALとの差が大きくなった一つの要因であると考えています。すなわち乳児に与えられた移行係数を1歳になるまで変更せずに用いており、1歳に比べ乳児は代謝が早く甲状腺に残らないことを考慮した結果、DCALの方が甲状腺残留率が大きな

値となります。実際、MONDAL を用いて線量評価する場合には、摂取 70 日目以降に限り DCAL に比べ摂取量が高くなり、線量が大きくなります。ただ、70 日目以降に差が 10% 出るのみで、大きな問題にはならないと思います。その証拠に有効数字は MONDAL、DCAL とともに 3 桁ですが、0.5% 以内に収まっていることを確認していますので、両システムは equivalent な計算をしていると思います。

以上、ヨウ素 131 の検証に関しては、どの計算システムを使っても問題ないという結論になりました。ただし、半減期が長いアクチニド核種や他の長期的な半減期な核種がある場合には調査が必要であると思いますが、この事業では指摘だけに留めさせていただきます。

先ほどのモニタリングデータから線量を計算する機能が MONDAL と IDEC にあるので、それを比較した結果を表 4 に示しています。

3.2 は、線量計算を行う際に考慮すべき事を、仕様書に書かれている項目について示しています。(1) は放射性ヨウ素の化学的性状による線量推計への影響です。より厳密には物理化学的な性状ですが、ここは仕様書に合わせています。ヨウ素化学的な性状として、蒸気(元素状ヨウ素)、ヨウ化メチル、粒子(粒子状ヨウ素)の3種類を ICRP が定義しており、体内動態は一度血中に入ると同じですが、呼吸気道での沈着な deposition の割合や後の clearance が若干違うので、publication71 の記載を説明しています。

急性摂取を仮定するここに示す式で、線量が計算されます。つまり、モニタリングデータを摂取からの測定までの経過日数を t とした変数を持つ残留関数で除し、それに線量係数を乗じます。残留率と e で示した線量係数は、年齢や化学的な性状によって変わります。

一方、式の通りモニタリングデータ以外の係数である線量係数を残留率で割ったものが化学形によって変わらないのであれば、線量結果は変わりません。理由も記載していますが説明は割愛させていただきます。ヨウ素の化学形による線量への影響を図 2 に示します。それぞれ、ヨウ素吸入摂取 7 日後に甲状腺中に 1000 Bq のヨウ素を検出した場合の等価線量です。必要なデータとしては、甲状腺の等価線量係数や残留率です。蒸気状と粒子状を比べると線量係数は大きく違いますが、蒸気状に関しては 100% 呼吸器に沈着してしまうのに対し、粒子状は半分が呼吸で抜けていってしまう分、残留率は低くなります。それと相殺する形で線量計算も変わっており、先ほどの e/R を見ると線量としては、ほとんど誤差の範囲で収まっています。そして、摂取 7 日後だけだと述べましたが、先ほどの式の e/R を 100 日まで計算してみました。表 5 にヨウ化メチルと蒸気状の比、粒子状と蒸気状の比をそれぞれ示していますが、最大値、最小値を見ていただくとほとんど数%の差に収まっており、誤差の範囲だと思えます。結論として、化学的性状は特に考慮する必要がない点については、甲状腺の直接測定に基づく線量評価の最大の利点であると思います。環境中からのモニタリングデータに基づく線量評価の場合、ヨウ素の化学系、ヨウ素蒸気状、ヨウ化メチル、粒子状の含有率を特定する必要があり、空气中濃度から評価できず、そこに大きな誤差が生まれてしまうので、直接の甲状腺線量測定に基づく線量推計評価は、非常に強力であると改めて確認されました。

(2) は、ICRP56 に記載されている生物学的パラメータで、線量係数の違いや体内動態で用いられるそれぞれのパラメータについて説明しています。

図 3.3 は、モデルとしては古いですが、現行の線量係数導出に用いられている体内動態モデルです。甲状腺への血中からのアップテークは、年齢によらず 30%と一律決まっています。代謝は他のパラメータが変わっていて、若年ほど代謝が早いという効果も入っています。

(3) は、保護者による代替測定した場合の乳幼児の線量への換算について書かれています。これは、検討チームの報告書に詳しく解説されていますが、再確認のため記載しました。

表 6 に甲状腺等価線量 100 mSv に相当する NaI サーベイメータの指示値を示しており、100 mSv に相当する摂取量は線量係数から計算されるので、それに各年齢の甲状腺残留率を乗じれば、100 mSv に相当する残留量が出てきます。また、NaI サーベイメータの甲状腺中ヨウ素に対する換算係数を評価しており、適用すると表 6 のようになります。灰色にハッチしている部分は、0.2 μ Sv/h 以上でスクリーニングレベルより上で、ハッチがかかっている部分はスクリーニングレベル以下となります。この数字であれば、100 mSv であることを意味しています。

代替測定の場合は、表 7 に示すように、代替測定の対象となる乳児、1 歳、5 歳の 100 mSv に相当する摂取量があり、乳児の場合 30,300 Bq、1 歳だとそこまで変わらず 31,300 Bq、5 歳だと甲状腺の線量係数は下がるので、52,600 Bq となります。それに、代替測定を行う保護者である成人の呼吸量と対象年齢群の呼吸量の差を示すと、乳児の場合 7.76 倍、つまり 30,000 Bq の 7.76 倍を、保護者が吸っていることを指します。1 歳児は、4.3 倍、5 歳児で 2.25 倍となります。年齢が増すほど呼吸量も増えるので、自然な結果だと思います。次に、A と B を乗じると、代替測定を行う保護者の摂取量が求められ、この摂取量に甲状腺残留率を乗じると代替測定を行う保護者に対する子どものスクリーニングレベルが導出されます。一番下の段は、成人に対する 100 mSv に相当する比ですが、乳児に関しては 0.92 であるため成人測定時とあまり変わりません。1 歳と 5 歳に関しては、元の成人のスクリーニングレベルをおよそ半分の値が代替測定を行う保護者に適用するスクリーニングレベルとなります。計算した結果を表 8 に示します。10 歳から成人までの年齢群に関しては、前の表と同じです。0 歳、1 歳、5 歳は、代替測定を行う保護者に適応するスクリーニングレベルであり、ハッチの部分が長い間、適用できることを確認できたと思います。これは、検討チームの報告書に書いてある内容をトレースしたもので、どのように運用するか考える必要があります。先ほどの表 6 または 8 において、この表に示した値が各経過日数に対する 100 mSv に相当する指示値であり、これと比例計算を行えば良いです。

具体的な計算方法に関しては、報告書の方に少し例を示していますが、基本的にはこの表が 100 mSv に相当する指示値であり、得られた指示値を表にある指示値で除し、100 との積で線量が計算されます。

図 3 と 4 は、表 6 と表 8 をグラフに示したのですが、図 3 を見ていただくと、このプロットが 100 mSv に相当し、0.2 μ Sv/h はここをもって 100 mSv ではないことを注意する必要があります。ただ、0.2 μ Sv/h を代替測定に適用すると、0 歳児、1 歳児に関しては、ほぼ 1 週間で 0.2 μ Sv/h を下回ってしまい適用が難しいです。一方、運用上 0.2 μ Sv/h よりも下にスクリーニングレベルを設定することは、難しいです。また、スクリーニングレベルに関して、現場で統一した値を用いるのが妥当であるという検討委員会の意見などを踏まえて、代

替測定という方法が提案されました。これを見ていただくと代替測定を行うと、0.2 $\mu\text{Sv/h}$ を上回る期間が長くなります。一番下の二つのグラフ、1歳と5歳は、先ほどの表7に示した成人に対する差が0.52倍と偶然一致していたため、重なっています。1歳に関しては、青く塗りつぶしたプロットですが、成人とほぼ変わらない結果となっています。

(4)は、ホールボディカウンタ等を用いた代替測定による線量推計についてです。こちらに関しても細田先生をはじめ、貴重な意見をいただきました。細田先生も取り組まれた方法で、ホールボディカウンタは事故からある程度時間が経った後に出る特にセシウムを対象として行われる測定です。福島事故の際、ホールボディの結果を用いて、測定から得られたセシウム残留量から、セシウム摂取量を推定し、ヨウ素セシウム比の割合を仮定することで、ヨウ素の摂取量を推計し線量評価をする方法がありました。この方法は3つレベルがあり、レベル1は、同一の体外計測ホールボディや甲状腺測定において、ヨウ素とセシウムが両方検出された方の測定結果を用いてヨウ素131、セシウム137、セシウム134それぞれの摂取量から比を導出します。これは、細田先生が行われた方法です。レベル2は、同じ地域の住民を対象として甲状腺測定とホールボディ測定の別々の測定から、それぞれの摂取量の分布を求め、共通の確率頻度値を用いて摂取量を求める方法です。人から導出する方法ですが、レベル1と比べると不確かさが、少しenhanceされる評価となります。レベル3は、環境モニタリングまたは大気拡散シミュレーションのソースターム等から決める方法があります。このように、摂取量比が非常に重要で、求め方もいくつかあります。

私たちの福島の研究の経験を踏まえて、少し記載していますが、人から導出したヨウ素セシウム比は、大気中の濃度や拡散シミュレーションで設定されているソースターム等のセシウムとヨウ素の比から比べると、環境モニタリングではセシウムに対して十倍ぐらいヨウ素が出ていたことになっていますが、この比はいつでも一定な訳ではなく、地域やタイミングによっても変わってきます。そのため、人の方が平均的に均されてより正しい精緻の値を与えると予想しますが、人から求めたヨウ素セシウム比と環境から求めたヨウ素セシウム比は乖離が大きかったことを示しています。この理由として、日本人の平均的なヨウ素の甲状腺アップテークがヨウ素の体内動態モデルで用いられる0.3に比べて小さいということが挙げられます。つまり、空気中濃度が計算された摂取量の分、ヨウ素が甲状腺にアップテークされないことが一つの要因として考えられます。もう一つの要因としては、ホールボディカウンタは時間が経過したホールボディカウンタのため、急性摂取シナリオで評価するしかありませんが、この間に偶発的な摂取や汚染の持ち込み等があると、体外計測が過大評価してしまいます。実際このようなことが一時帰宅等の際に行われた状況があり、このような違いが生じている可能性を示しています。以上より、細田先生のご意見を書かせていただきましたが、本項はあくまでも甲状腺被ばくモニタリングの補完として扱われるべきであり、甲状腺モニタリングを確実に実施すべきとの意見があり、重要だと思い、報告書に書かせていただきました。ただ、下の図にあるヨウ素セシウム比の追加測定による評価が必要であれば、ヨウ素セシウム比を求めなくてはいけないので、ある程度詳細測定で比較的高いヨウ素の摂取量が検出された方に関しては、ホールボディ測定を同時に並行して行うことが必要ではないかと書かせていただきました。

線量推定に必要な情報は表に示した通りです。表9にあるようなデータが必要で、氏名や連絡先に関しては、線量推計には不要だと思います。年齢、性別、測定結果、測定日が必要になります。安定ヨウ素剤の服用の有無に関しては、前回高橋先生からもご意見ありましたが、CATHyMARA レポートを見ると、若干、ヨウ素の体内動態への修飾要因となる可能性があるため、詳細評価のために必要だと思います。行動情報、環境モニタリングについては、詳細の線量推計を行う場合に必要になってきます。下の方にいくつか書かせていただいておりますが、一番実用的な方法といたしましては、環境モニタリングで空間線量率は比較的、簡易に取得できると思いますので、当該地域で最初に優位な上昇が認められた時が摂取のタイミングと考えて良いと思います。また、初期の線量推計においては、詳細な行動調査よりある程度保守的に評価することが妥当であり、保守的に摂取量を設定した急性摂取シナリオが、運用上一番良いと思います。空間線量率を知る方法に関して注意しなければいけないこととして、何回かプルームが通過しますが、1回湿性沈着してしまうとバックグラウンドが相当上がってしまい、プルームの通過が掴みにくくなるので、書かせていただきました。

行動調査に関して、福島県民健康調査のように質問表を送る方法については、本事業とは別に検討が必要だと思い、書かせていただきました。一方、原子力災害対策指針に基づいて策定される地域防災計画・避難計画では、地区単位での住民の避難先、避難経路、避難方法等に関する計画を詳細に定めていることから、これらの項目をデータベース化することにより、事故直後の行動情報の収集を効率的に行うことが可能になると書かせていただきました。実際、私たちが平成29年から31年度に原子力規制庁の放射線安全規制研究でさせていただいた取り組みでは、まさにそうであったと思います。他にも、東大の早野先生がGPSを使った行動情報の収集を考え、適用されていましたが、論文で指摘されたことは、個人情報保護の問題や、複合災害時における堅牢性ということで基地局が機能不全になったこともあり、そのような観点から、フェージビリティを検討する必要があると思われると書かせていただいております。

3.3 新たな線量推計方法の必要性では、職業被ばくに関してOIRシリーズが出揃っており、これからEIRシリーズが出されます。EIRシリーズの刊行後には、このような線量推計の方法や線量評価に用いるデータ集はアップデートしなくては行けません。現時点では、検討委員会から特段意見が聞かれなかったと書かせていただいております。それから、安定ヨウ素剤の影響に関しては、前回高橋先生の方からコメントいただき調べたところ、摂取から3日以降であれば、通常の線量評価が適応できると書かれておりました。また、甲状腺のブロックによって甲状腺以外への組織へのヨウ素131の移行量が増加することになりますが、線量としては甲状腺が小さいので線量は高くなる一方、他の臓器は大きいので線量としてはそこまでいかないので、高線量被ばく者に関しては詳細に評価を進める必要があると書かせていただきました。前回、ご紹介させていただいた乳幼児・胎児の評価やヨウ素131以外の短寿命核種の摂取による影響に関しては、検討委員会の方で情報共有がなされましたが、別添1と別添2にまとめています。

4章が甲状腺の被ばく線量モニタリングに関する準備、周知ということで、なぜ周知に関

わるマテリアルが必要なのかについて少し書かせていただいております、特に福島から十年以上が経過して、国や原発立地自治体が継続して努力してきた原子力防災の実効性向上に向けた取り組みにより避難退域時検査という非常に重要な防護の対策に関しては、当該住民の理解はだいぶ浸透してきたように思われると書かせていただいております。引用情報を示していますけれども自治体によっては、広報誌などをホームページで公開していて、外国人向けにも作られているため、非常に精力的に行われている印象を受けました。内閣府からも非常に原子力防災に関わる資料が公開されていて、下にある図は国内退避の効果について示したのですが、甲状腺被ばくモニタリングに関しても、同様の取り組みが必要であると思われると書かせていただきました。別添3と別添4に、この後紹介するパンフレット動画の詳細を示しています。前回、高橋委員から福島の実験等についてコメントがあり、ホールボディカウンタの測定を伴う住民への測定結果の説明や対応について、非常に重要な知見をいただきました。事故時に測定した後の結果の説明に関しては、少し本事業のスコップからは離れるので、リマインドはしつつもここでは紹介いただいた資料の文献を引用する形で記載いたしました。

最後のページには、先生方に資料を提出した後に記載させていただいておりますが、線量評価のマニュアルのようなものがあると良いと規制庁様からのご要望があったので、作成していきたいと思っております。すでに既存の甲状腺被ばく線量の測定に関するマニュアルを作っており、線量のテーブル等も作っているため、少し代替測定などのデータも含めながら作成していきたいと考えています。

後は別添や参考文献なので、見ていただければと思います。私の方から説明は以上です。何か先生方からコメント等ありましたらお願いいたします。

石川（福島医大）：石川です。報告書の23と24ページで表の6が2つ出てきますが、後の方の表は表の7になると思いますので、ご確認いただければと思います。また、最初に出てくる方の表の6で一番上の甲状腺線量係数の単位がSv/Bqになっていますが、数値を見ると、単位はmSv/Bqじゃないかと思われましたのでご確認頂ければと思います。

栗原（QST）：すいません、ありがとうございます。その他、お気づきの点や、もう少し議論が必要だと思われる点がありましたらお願いいたします。

保田（広島）：広島大学の保田です。以前にも何度か申し上げていることですが、年齢が変わるのに応じてmSvの値が変わるというのが、1977年の勧告であればいいのですが、90年の勧告からはmSvは標準人で計算するという事になったと思います。年齢では変わらないという理解ですが、今の段階でそれを直すのは大変だと思うので、どこかに77年勧告の考え方に基づいているというのをに入れていただくという方向で検討していただければと思います。実際、今、甲状腺の線量はGyで表していると思います。標準的、世界的には、もう等価線量は使わないというのがICRPのconsensusなので図表も含めて、できればGyに直した方がいいとは思っています。しかし直すのは大変だと思うので、どこかに77年の勧告によってmSvの値が変わるという考え方を今のところは用いる。将来的に等価線量は使わないということになったらGyに直すというようなことをどこかに記述していただければいいです。その記述がないと、毎回言わざるを得ないので、記述していただければ助かります。

栗原 (QST) : 内部被ばくに関しては、外部被ばくと違って線量係数を年齢区分ごとに与えているので、福島の時にも年齢ごとに線量係数を変えて適用していたと認識しています。一方、先生が言われたことも大事なことから調べて注記する形で対応できればと思います。しかし、理解ができてないところもあるので、その辺は後で教えて頂ければと思います。WHO では最初の preliminary dose assessment report や UNSCEAR で、恐らく線量係数は年齢ごとに使っていて、単純に Sv を Gy に置き換えて評価していたと思います。ここも、どのように UNSCEAR 等で扱われていたのかを調べて報告書の方に脚注で入れるような形で対応したいと思います。

保田 (広島) : 10 年前とは大分変わっていると思います。よろしくお願いします。

栗原 (QST) : 他、他先生方ありましたらお願いいたします。

高橋 (JAEA) : 表 9 の甲状腺被ばく線量モニタリングの運用に必要な情報ということで、いくつか挙げられ、行動情報と書いてあります。下の方に避難経路とは書いてありますが、詳細な線量推計を行う場合にどういった行動情報が必要なのか、もう少し具体的に書いていただければいいと思いました。

栗原 (QST) : わかりました。行動情報が何かというのは、県民健康調査等でやられているような内容で、滞在場所の時系列やどういう建物に避難したかについても、追記したいと思います。

高橋 (JAEA) : あと、被ばく線量評価にはモニタリング等に合わせて被ばくの摂取経路も結構重要なパラメータになると思います。吸入摂取か経口摂取かというところで、今回の調査では、ほぼ吸入のみにフォーカスしていると思いますが、経口摂取を外すということであれば、その理由など被ばく経路に関する言及があってもいいと思いました。これは必要であれば、記載していただければと思います。

栗原 (QST) : その辺も抜けていたので、追記したいと思います。飲食物の摂取制限が取られるということ的前提に、吸入摂取を主体とした摂取経路で考えているわけですが、代替測定、甲状腺の直接測定に基づく評価では、吸入であっても経口であってもあまり線量は変わらないということもお示しできています。後は急性摂取するか慢性摂取するかですが、急性摂取としたと摂取日を前倒しにした急性摂取にするということで、初期段階の線量評価においては、保守的に行われます。福島の際のホールボディカウンタでの住民の方々の線量評価においても、そういうことがなされたので、そういう意味では、適切なのかなと思っています。一方でセシウムの場合には、時間が経過するともう何ヶ月、半年以降も経ってしまうと急性摂取日が難しかったというのも報告書の方には経験として重要なので、書かせていただきました。その他、先生方から特に何かありますでしょうか？

安田 (福井) : 福井大学の安田です。自分の担当かなと思って、今までずっと聞いていました。4 番の甲状腺線量モニタリングに関わる住民等への周知というところで、この 1 枚で何か異論があるわけではないのですが、避難退域時検査というのは、浸透してきたように思われるという書き方と、甲状腺被ばくのモニタリングについては、まだおそらくこれからなので、啓発が必要であるということがしっかり明記されるといいと思います。というのは、おそらく公開されるとすると、すでにこれは広報しているのでいいやというふうに取りかねない気がしていて、要は自分の身の回りでは、能登地震を受けてこの話が再燃してきている

部分もあるので、少し気をつけた書き方をしておかれるのがいいかなというふうに思っています。以上です。

栗原 (QST) : わかりました。少しその言葉尻を取られてしまうような聞きっぷりではなくて、正しい状況というか、冒頭の部分に、昨年度に甲状腺被ばく線量モニタリングの実施マニュアル案が成立されたところで、まさにこれからというところでありますけども、その辺は誤解がないようにこれから啓蒙していく必要があるというような書き方をしていきたいと思えます。また、避難退域時検査に関しては、大分浸透してきたように思われると書かせていただいて、同じような取り組みが甲状腺モニタリングにも必要ではないかというような書き方だったのですが、誤解のないクリアな表記をしたいと思っています。なくてもいいのかもしれませんが、報告書なので、現状はどうかというところで、この調査事業において、こういったパンフレットで動画素材を作っているといったような流れにしたかったので、こういう感じにしてみました。そのほか先生方からありますでしょうか？

横山 (長崎) : 3章の最初のところですが、個人モニタリングに基づく方法と環境モニタリングがあり、次の段落のところは個人モニタリングに基づく方法に限られて、それが続いていく感じなので、もう少し丁寧に、なぜ個人モニタリングのことについてここで書くことになっているのか、ということを示していただいた方がいいのかなと思います。一方、この個人モニタリングに基づく段落のところ、線量換算係数の話が出ていて、それがどういう関係にあるのかというところが分かりにくいなと思いました。その後ろに、図1に個人モニタリングに基づく内部被ばくの線量評価方法が書かれているので、これを見て、ここが線量換算係数のことを言っているのだな、体内動態のモデルのことや、排出のことを言っているというのがわかります。非常に時間が迫られているということなので難しいのかもしれませんが、可能であれば、もう一度見直していただければと思います。以上です。

栗原 (QST) : この調査自体、甲状腺被ばく線量推計に関わる調査事業で、甲状腺被ばくモニタリングの結果に基づく線量評価ですので、その辺をこの調査のフォーカスしているのは個人モニタリングだということを少し明確に示すということと、少し構成を組み直して、スムーズな流れにできたらと思っています。

横山 (長崎) : お願いします。

栗原 (QST) : 完全に横山先生の意の通りにできるか、自信はないですが、可能な範囲で対応していきたいと思っています。その他先生方から何かありますでしょうか。

真辺 (JAEA) : 線量評価の部分のところを中心に見させていただいて、よく解析できているなど感じ、特に追加のコメントはない状況です。以上です。

栗原 (QST) : 真辺先生には深いところまでコメントいただき、私も若い時にいろいろ勉強しましたが、だいぶ忘れております。年齢補完とか、ヨウ素だから良かったようなものの、セシウムは乳幼児には適用することは多分ないのですが、確かに年齢補完を入れると、年齢が上がっている段階で、どんどん代謝が遅くなるので、減衰が少し緩やかなのかなと思っています。この辺も別の機会でいろいろ調べていきたいなと思いました。その他なければ時間が過ぎてしまったので、動画とか、パンフレットの方を作成者の方からご紹介したいと思います。

金 (QST) : 前回第2回検討委員会の時に皆さんに意見を聞いてコメント頂いたものと、規制庁様と話

し合いをして、パンフレットにおいては4枚に抑える感じで作成し直しております。内容としてはそれほど変わるものはないのですが、言い方を変えたのと、変わったものは、ここにチョルノービリの甲状腺がんの影響とか、それが福島原発との違いを追記させていただいております。これに関しては、こういう言い方がいいのかどうか、確認させていただいてコメントと、他の書き方があれば言っていただければ大変助かります。あとは前回、その線量の早見表を置きましたが、それは削除して、4枚のセットで作成し直しました。これは今日の午前中に送っていただいた、その報告書の添付資料3に追加しています。あまり見ていただく時間がなかったので、メールでもコメント等頂ければ助かります。次に、ここに書いている内容を動画で撮影したので、それを流していただきたいと思います。

～Video鑑賞中～

栗原 (QST) : 私も今日初めて聞きましたが、だいぶソフトの方も入れ替え、違うので行って、少し声のトーンとかはスムーズになったのかなと思います。この中で、福島県民健康調査の見解を述べているところがありますが、この辺り石川先生いかがでしょう？なんか自然な感じでなんか大丈夫です。大丈夫かっていうかなんか、少し言い過ぎているとか、足りないとか何かありましたら、コメントいただければ幸いです。

石川 (福島医大) : 特に気になるところはなかったと思います。あと、線量は全体的に低かったことが主な要因と述べられていたような気がしましたが、その他にも確か甲状腺癌の見つかった年齢の分布や、若年者から見つかっていなく年齢が高い人から主に見つかっているということ、そういうことも確か、放射線との関連がないという根拠の一つになっていたような気もいたします。私もそこら辺は自信がないので環境省の統一的基礎資料等をご覧いただければ、はっきり書いてあると思います。以上です。

栗原 (QST) : 高村先生の論文で、年齢がチョルノービリだと子供に高頻度で出ていて、逆に福島の場合は年齢が10歳以上の所でピークを向かえているような、逆転しているような。

石川 (福島医大) : そうです。おっしゃる通りです。

栗原 (QST) : ありがとうございます。そういうのって。

金 (QST) : 実は入れようと思っていたのですが、長くなると思い4つの例があったので、とりあえず分かりやすい2つだけ、ここでは述べさせていただきました。

石川 (福島医大) : 私もそれで大丈夫だと思います。ありがとうございます。

栗原 (QST) : このスライドの中で少し直して欲しいなど、話している言葉の割にスライドが進まないもので、少しモヤモヤしてしまうようなところがあったかと思いますが、大事なことなのでしっかりと説明した次第です。あと、他に何か気になる点はありますか。保田先生お願いします。

保田 (広島) : 昨年度の会議でコメントしたようにも思うのですが、バックグラウンドを太腿で測るところで、子供の場合でもズボンを脱いで測ることには、抵抗があるのではないかと、特に女の子は抵抗があるのではないかと感じますが、スカートとか短パンならもちろんやりやすいとは思いますが、逆に太腿の表面も汚染されていると思います。だから太腿に変わる、例えばお腹とか、衣類で覆われていて、もう少し簡単に測れるような場所を提示してあげると、親切なのではないかと思いますが、どうでしょうね。

栗原 (QST) : 今、実施マニュアルの方ではもう太腿というふうに書かれてしまっているのですが、ここは変えるのが難しいですが、太腿もしくは頸部以外の場所ということで、例えば肩口もあると思いますが、この絵もそういう意味では半ズボン。

保田 (広島) : 半ズボンですけど汚染されていると思います。この半ズボンの人はヨウ素がついていると思います。福島の時も一応考えて、結局上半身の衣類で覆われているところをバックグラウンドにするとということにしたので、ご検討お願いできればと思います。

栗原 (QST) : 周りから放射線が来るような環境において、首と同じくらいの太さの大腿部を測ることによって、環境のバックグラウンド的なものとか、例えば、もしも仮にセシウムで内部被ばくしてしまったような場合は、全身にセシウムは分布するので、そういったところで首の太さと同じような放射線を出すような部位で大腿部というのが、歴史的に TMT レポート、マニュアルとか、いろいろな IAEA のマニュアルに、そういったことが書かれています。チェルノービルの事故でも、室内のバックランドよりも、個人のバックランドを取るべきだということがあったので、個人のバックグラウンドとしてはそのまま踏襲して、検討チームの方でも、そういったモニタリングの方法が議論されて、それが実施マニュアルにもそのまま引き継がれたという形になっています。体表面の汚染に関しては、今は避難退域時検査で、本当に高い人はそこで抑えられているという理解になっていて、その後、測定までに時間もあるので、バックグラウンドも、福島でのことを想定すると別の対応が必要になってくるかもしれないのですが、現時点での規制庁内閣府が作成された実施マニュアルでは、太腿を測ることになっています。少し補足が必要なのかもしれないのですが、ご相談させていただければと思います。その他、先生方何かあるでしょうか。すみません。本当に年度末にお集まりいただきましてありがとうございます。しかもまだ完成できていない状況ですが、あと 1 週間でこの報告書を完成させなければいけないのですが、先生方からいただいたコメントに関しては、可能な限り対応していきたいと思っていますので、よろしく願いいたします。

特にコメントはないでしょうか。この素材に関しては、事前の周知や測定のモニタリングをまさにやるっていう時に会場で流すといったことを考えています。それで、見ていただく時間もあまりないと思うのですが、何かお気づきの点がありましたら、メールでお願いできれば思っております。そうしましたら、以上で今回の検討委員会に関しては、議事の方は終了いたします。残り 1 週間ですが、残された期間でしっかり完成系に近づけるように取り組んで参りたいと思います。

吉田 (規制庁) : 原子力規制庁吉田でございます。先生方におかれましては、この 3 回非常に短い期間でありましたが、検討委員会にご参加いただき誠にありがとうございました。この結果をもってマニュアル等に組み込んでいければと考えていますが、今後はまた、栗原先生と相談しながらといった形になるかと思っております。

私の方から少し気になった点は何点かありまして、まず 1 点目がこの別添 1 と別添 2 の扱い方で、今回の検討委員会では胎児の影響や短半減期核種に対する影響が出てきたと思いますが、非常にこちらは大事なことではあるとは思いますが、書きぶりのほうをこの場でオーソライズされたというのも難しいかと思っておりますので、もう少し柔らかく表現いただければ

と思います。こちらは栗原先生と今後ご相談させていただければと思います。あと MONDAL の使い方に関して、自治体の方がこちらを見てというわけではないと思いますが、実際に MONDAL を使う自治体があった時には、そのようなところもどのような形で使うかなど相談いただければと思います。おそらく Bq を入れる形にはなるかと思いますが、現状では換算係数等使わないと Bq は出てこないと思うので、そちらも含めた別添 6 をご検討いただきマニュアルに、もし加えることができれば、構いませんのでご検討いただければと思います。私の方からは以上になります。重ね重ね先生方には非常にお忙しい中時間を作ってください、誠にありがとうございました。今後ともこの原子力防災体制の方に、ご協力いただけますと助かりますので今後ともよろしく願いいたします。以上です。

栗原 (QST) : そうしましたら、3 回も検討委員会の方にご参加いただきまして、また貴重なご意見いただきまして、ありがとうございます。この活動、調査を行いまして、多くは高度被ばく医療センターの線量評価部会の先生方も加わっていただいて、こういった取り組みを原子力行政の下支えとして、先生方と協力して貢献できると幸いだと考えております。お忙しいところ集まりいただきまして、ありがとうございます。これにて、高橋先生お願いします。

高橋 (JAEA) : すみません。送っていただいた参考資料の前の議事録の中で、発言内容と発言者名が食い違っている場所が私の名前であったと思うので、もう一回確認していただければと思います。よろしくをお願いします。

栗原 (QST) : 確認が十分ではなくて申し訳ございませんでした。先生方のお名前が出てしまうので、注意して複数の人間で確認したいと思います。その他ありましたらお願いいたします。では、また修正したものを先生方にご迷惑かもしれませんが、送らせていただきたいと思いますので、その際はどうぞよろしく願いいたします。そうしましたら、長い時間ありがとうございました。今年度ももう少しで終わりますけれども、また来年度も引き続きよろしく願いいたします。それでは失礼します。ありがとうございました。

全委員 : ありがとうございました。

原子力災害時の 甲状腺内部被ばく線量 評価マニュアル（案）



令和6年3月

目次

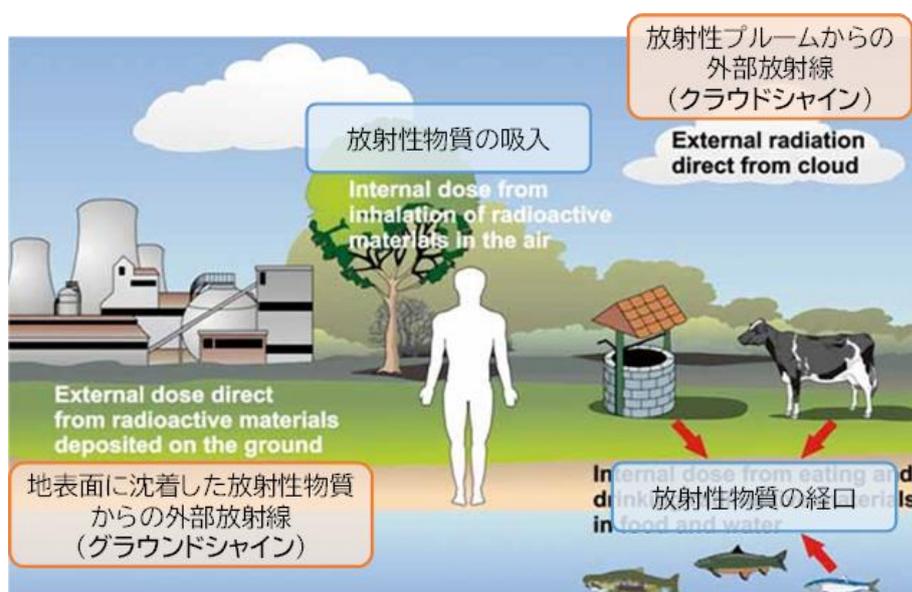
1. はじめに
 2. ヨウ素の体内動態
 3. 甲状腺被ばく線量測定
 4. 甲状腺被ばく線量の計算方法
 5. 線量評価に必要なデータ
 6. 甲状腺簡易測定に基づく評価
- 【付録1】 MONDALの使用方法
- 【付録2】 甲状腺簡易測定に用いる線量早見表

1. はじめに

原子力発電所において不測の事故が発生し、大量の放射性物質が周辺環境に放出された場合、近隣住民が放射線被ばくを受ける可能性があります。原子力災害対策重点区域（原子力発電所から概ね30km圏内）の住民は、屋内退避や安定ヨウ素剤の服用などの対応により、被ばく線量の低減化が図られるとしています⁽¹⁾。

原子力発電所の近隣には多くの住民が居住しているため、被ばく線量の把握を円滑かつ効率的に行えるように平時から準備を行うことが重要です。

本マニュアルの対象とする甲状腺内部被ばくは、主にヨウ素-131 (¹³¹I) の内部取込みによって生じますが、¹³¹I の物理学的半減期が約8日と短いため、減衰しきってしまう前に対象者の線量測定を行う必要があります。本マニュアルでは、甲状腺被ばく線量測定（後述）に基づく線量評価の方法を解説します。



様々な放射線被ばく経路

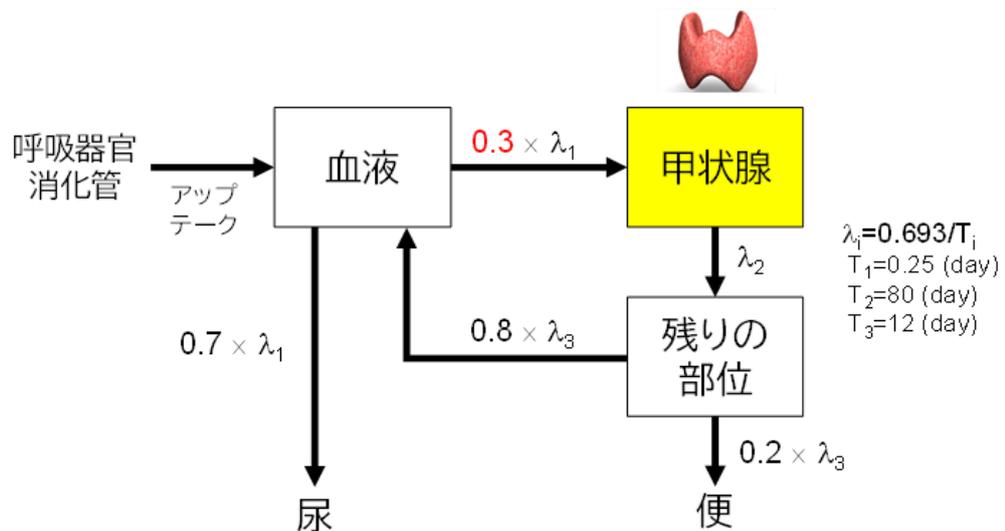
IAEA report on Environmental consequences of Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experiences 2006. を一部改編して掲載

1. 原子力規制委員会 . 緊急時の被ばく線量及び防護措置の効果の試算について (平成 26 年 5 月 28 日). <https://www.nra.go.jp/data/000390844.pdf> (令和6年3月26日閲覧)
2. 環境省. 甲状腺モニタリングの長期戦略に関する国際がん研究機関 (IARC) 国際専門家グループの報告書について. https://www.env.go.jp/chemi/rhm/post_132.html (令和6年3月26日閲覧)

2. ヨウ素の体内動態

体内に摂取された放射性核種は、その元素の種類に応じて特有な体内動態を呈します。特定の臓器（器官）に集まる性質を有する元素が幾つかありますが、ヨウ素はその一例であり、甲状腺に集積します。放射性ヨウ素も通常の安定ヨウ素と同様に甲状腺に集まることから、甲状腺の被ばく線量が高くなります。

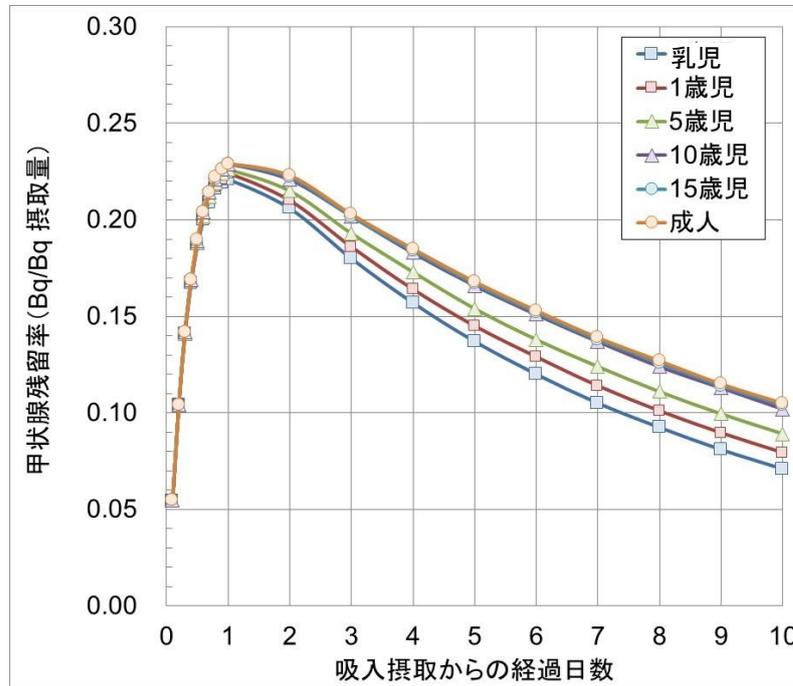
国際放射線防護委員会（ICRP）では、放射性ヨウ素を始めとした様々な放射性核種を摂取した際の被ばく線量の評価に必要な手法やデータを刊行物に示しています。ヨウ素については、下図の体内動態モデル⁽³⁾に基づき、甲状腺への集積を予測します。モデルでは、呼吸器官や消化管から血中に吸収されたヨウ素の30%が甲状腺に取り込まれるとしています。甲状腺中のヨウ素は排泄や放射性壊変によって次第に減少していきます。甲状腺中のヨウ素は、摂取から約1日後に最大となります（次ページ）。



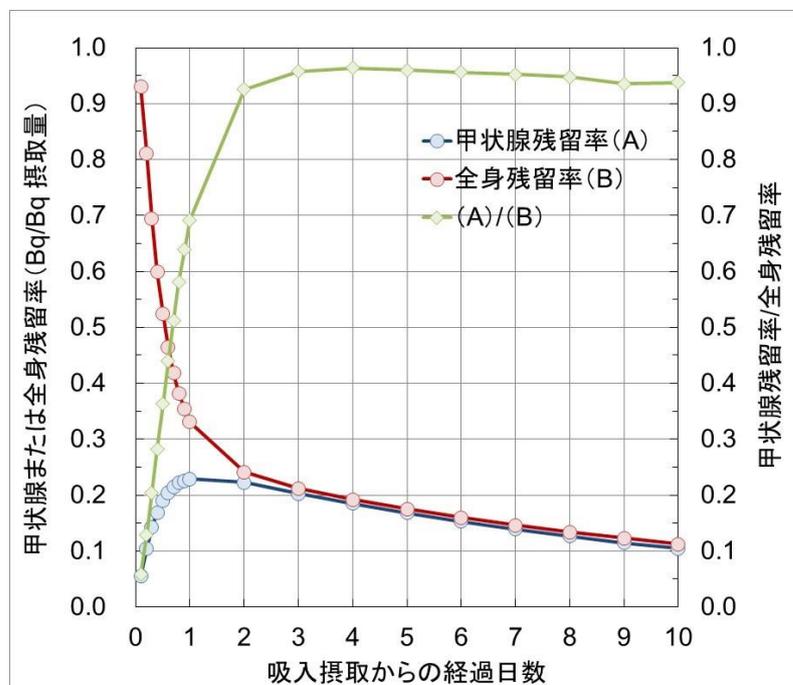
ヨウ素の体内動態モデル

3. ICRP, 1990. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 1. ICRP Publication 56. Ann. ICRP 20 (2).

2. ヨウ素の体内動態(続き)



各年齢の¹³¹Iの甲状腺残留率
(化学形は元素状ヨウ素)



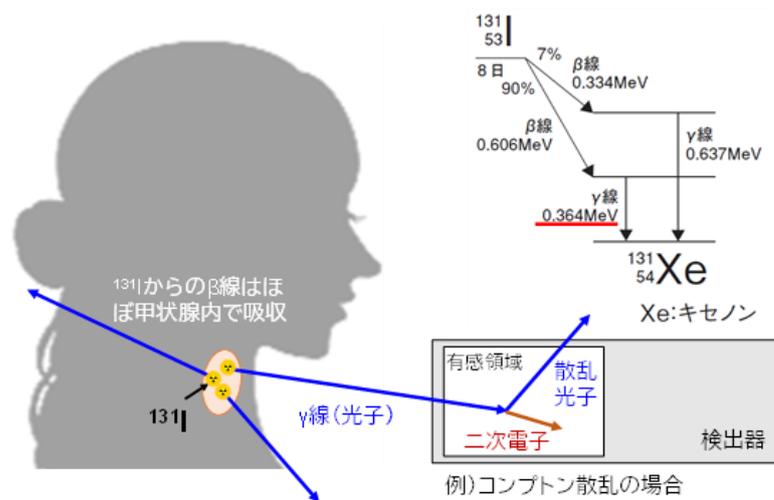
¹³¹Iの甲状腺残留率と全身残留率の比較(成人)
(化学形は元素状ヨウ素)

上の図において、吸入摂取からの経過日数(横軸)は、摂取から $24 \times N$ 時間(N は経過日数)に対応し、その時点での残留率をプロットしています。

3. 甲状腺被ばく線量測定

甲状腺中ヨウ素の測定原理を解説します。 ^{131}I は放射性壊変に伴ってβ線とγ線を放出します。β線は甲状腺内で止まってしまうため基本的に計測はできませんが、透過力が高いγ線は頸部の近くに検出器を配置すれば計測することができます（体外計測）。ただし、全てのγ線を測定できる訳ではなく、検出器の有感領域に入射し、そこで相互作用を起こしたγ線のみが測定されます。 ^{131}I から放出されるγ線の内、最も放出率が高いのは365 keVのエネルギーのγ線です(81.7%)。

甲状腺被ばく線量モニタリングでは、対象となる住民の甲状腺中のヨウ素残留量を測定し、その結果に基づいて甲状腺被ばく線量の評価を行います。モニタリングは、スクリーニング（高被ばく者の早期の検知）を目的とした簡易測定とより正確な線量評価を目的とした詳細測定の二段構えの体制で実施されます⁽⁴⁾。簡易測定ではNaI(Tl)サーベイメータ、詳細測定では甲状腺モニタが使われます。NaI(Tl)サーベイメータは一般的に環境中の空間線量率を測定する機器ですが、甲状腺中の ^{131}I からのγ線を検知することができます。甲状腺モニタでは詳細な核種分析が可能です。同モニタは原子力災害拠点病院等に設置されています。



甲状腺中ヨウ素の測定原理

4. 内閣府（原子力防災担当）、原子力規制庁。甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル（令和5年5月31日）。
<https://www.nra.go.jp/data/000434068.pdf>（令和6年3月26日閲覧）

3. 甲状腺被ばく線量測定(続き)

甲状腺被ばく線量モニタリングの方法など

簡易測定

- 線量の高い被検者を速やかに同定するための測定(スクリーニング)
- より多くの被検者の測定を行うことに主眼



スクリーニングレベル(0.2μSv/h)を超過した者
 ※年齢に依らず。ただし、8歳未満は基本的に保護者等による代理測定。

詳細測定

- 線量の高い被検者に対する正確な測定(スペクトロメトリ)
- 個人の正確な被ばく線量評価及びフォローアップのための測定
- 簡易測定が困難となった以降の追加測定



※ 詳細測定に用いる機器は、現状では原子力災害拠点病院等に設置されている(据置き)甲状腺モニタを想定している

甲状腺簡易測定の手順

ステップ1. 大腿部測定(個人バックグラウンド)

被検者の大腿部上部にプローブを配置し、指示値を読み取り、その結果を**指示値(B)**とする。

ステップ2. 頸部測定(甲状腺中ヨウ素)

被検者の頸部前面にプローブを配置し、一定の時間間隔で指示値を3回を読み取り、その中央値を**指示値(A)**とする。※指示値は3回分とも記録

ステップ3. 正味値の計算

指示値(A)から**指示値(B)**を差し引いて、これに**校正定数**を乗じて正味値を計算する。

正味値をスクリーニングレベル(0.2μSv/h)と比較



指示値(A)

差し引く



指示値(B)

$$\text{正味値} = \{ \text{指示値(A)} - \text{指示値(B)} \} \times \alpha$$

校正定数

校正定数は指示値と実際の値とのずれを補正するための数値であり、メーカーによる年次点検等で与えられる。

0.15, 0.14, 0.16 (μSv/h)

0.15, 0.15, 0.17 (μSv/h)

0.05 (μSv/h)

$(0.15 - 0.05) \times 0.95 = 0.095 \approx 0.1 \mu\text{Sv/h}$

甲状腺簡易測定研修(原子力規制庁原子力災害医療研修)の標準テキストから抜粋

4. 甲状腺被ばく線量の計算方法

放射性ヨウ素に限らず、放射性核種の摂取による内部被ばく線量を評価するには、先ず**摂取量**を求め、それに**線量係数**を乗じることによって行います。体外計測から得られるのは測定時点での体内残留量なので、摂取から測定までの経過日数に応じた体内残留率を用いて摂取量を算出します。**体内残留率**は、放射性核種の摂取経路(吸入/経口)、性状(化学形や粒径など)、体内での溶けやすさなどによっても異なります。

¹³¹I の甲状腺中残留量に基づく甲状腺線量※は、次式で計算することができます。

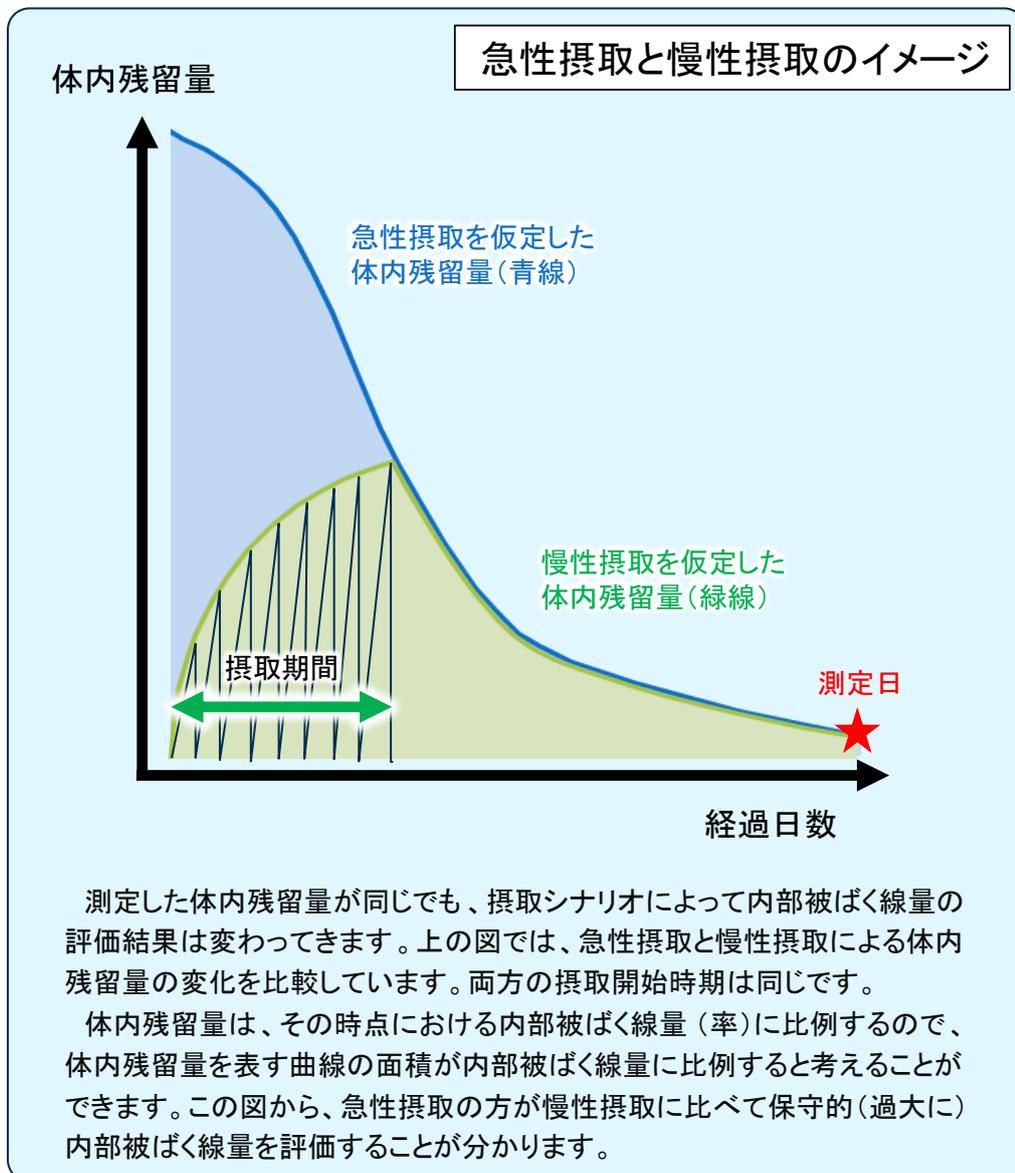
※甲状腺等価線量

- 摂取量(Bq)= 甲状腺残留量(Bq)÷甲状腺残留率
- 甲状腺線量(mSv)= 摂取量(Bq)×線量係数(mSv/Bq)

この式は、摂取が1回の場合(急性摂取)に用います。これに対し、摂取が複数回ある場合を慢性摂取と言います。事故発生から測定までの**行動情報**や**環境モニタリング**の結果などが得られれば、摂取時期を詳細に推定し、内部被ばく線量評価の確度を上げることが出来ます。ただし、事故直後は迅速な対応が優先されることから、最初に摂取した可能性のある日を摂取日とする急性摂取を仮定し、保守的な線量評価を行うのが適切と考えられます。福島原発事故における住民のホールボディカウンタ測定の際は、発災翌日(2011年3月12日)の急性摂取シナリオに基づき、放射性セシウムによる内部被ばく線量が評価されました⁽⁵⁾。

5. 一般社団法人 日本保健物理学会 .体外計測に関する標準計測法の策定に関する専門研究会報告書 (2016年3月). <http://www.jhps.or.jp/upimg/files/report/report.9.1.pdf> (令和6年3月26日閲覧)

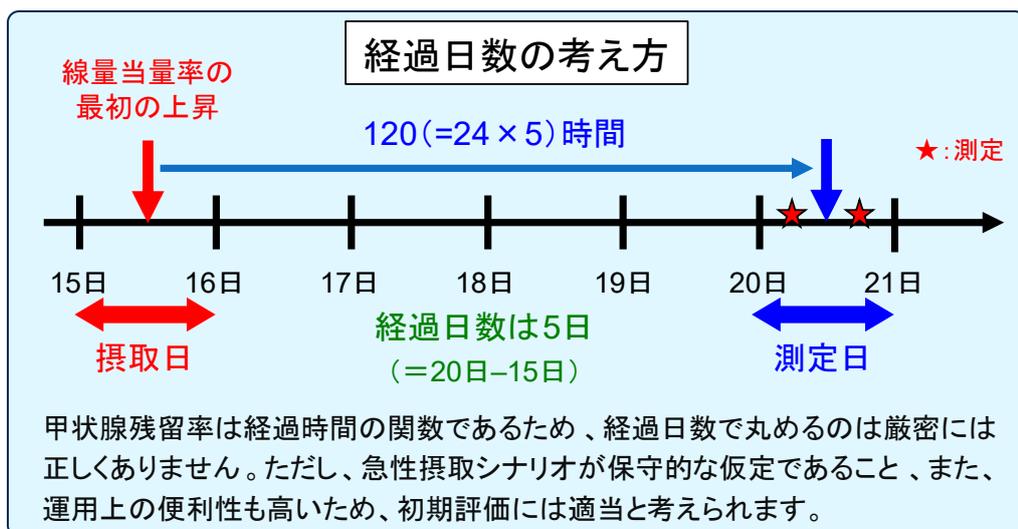
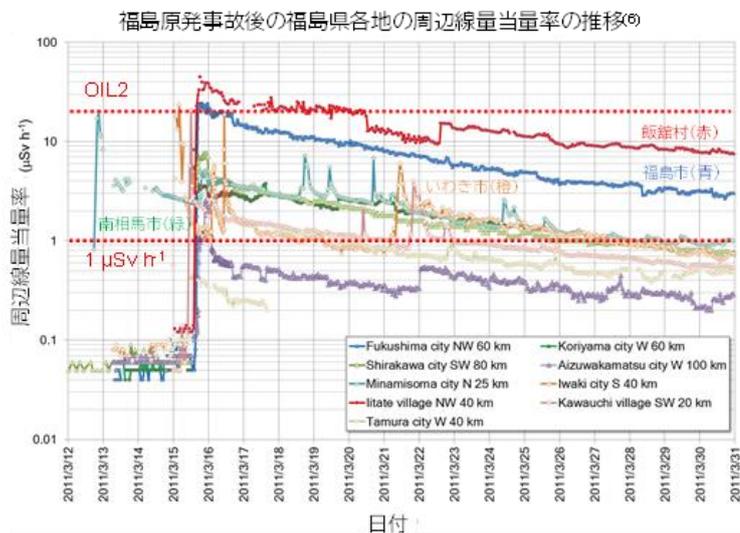
4. 甲状腺被ばく線量の計算方法(続き)



4. 甲状腺被ばく線量の計算方法(続き その2)

急性摂取シナリオの設定例を、福島原発事故発生後に測定された周辺線量当量率のデータを用いて解説します。

下の図に示すように、福島県内の多くの地域では3月15日に最初の周辺線量当量率の顕著な上昇が観測されています。したがって、この日を急性摂取シナリオの摂取日とすることができます。摂取日から線量測定までの経過日数は、例えば3月20日が測定日だとすると5日になります。甲状腺被ばく線量の計算では、対応する経過日数の甲状腺残留率を使用します。



6. Kim et al., 2016. Early intake of radiocesium by residents living near the TEPCO Fukushima Dai-ichi nuclear power plant after the accident. Part 1: internal doses based on whole-body measurements by NIRS. Health Phys. 115 (5): 451-464.

5. 線量評価に必要なデータ

甲状腺線量の評価に必要なデータは、4で述べたように測定値（甲状腺中の¹³¹I 残留量）、線量係数、甲状腺残留率です。下表に数値データを示します。線量係数はICRP刊行物⁽⁷⁾、甲状腺残留率はMONDAL3⁽⁸⁾の数値データを参照しています。

¹³¹I 吸入摂取に適用する甲状腺等価線量係数※
(1 Bq摂取量当たりの mSv)

乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
3.3E-03	3.2E-02	1.9E-03	9.5E-04	6.2E-04	3.9E-04

¹³¹I 吸入摂取に適用する実効線量係数※
(1 Bq摂取量当たりの mSv)

乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
1.7E-04	1.6E-04	9.4E-05	4.8E-05	3.1E-05	2.0E-05

※ここで示した線量係数及び甲状腺残留率の数値データは、¹³¹I の化学形が元素状ヨウ素(蒸気)の場合のものであり、ヨウ化メチルや粒子状ヨウ素の場合は数値が異なります。ただし、甲状腺被ばく線量測定に基づく評価を行う場合、被ばく線量の結果はほとんど変わりません。この理由は次のとおりです。

ヨウ素の化学的性状によって異なるのは吸入の際の呼吸器官における沈着率だけであり、いずれの化学的性状の場合も呼吸器官から速やか体内に吸収され、以降の体内動態は同じです。摂取量(Intake)は体内に入った量と定義されますが、元素状ヨウ素は全量が呼吸器官に沈着するのに対し、粒子状ヨウ素の場合は、粒径にも依りますが、約半分(1 μmのとき)が呼気によって体外に即座に排出されます。ヨウ化メチルの沈着率は、元素状ヨウ素と粒子状ヨウ素の中間程度になります。これらの沈着率の違いが、そのまま各化学的性状のヨウ素の甲状腺残留率と線量係数に反映されます。したがって、4で解説した内部被ばく線量の計算式

$$\text{甲状腺線量} = \text{甲状腺残留量} \times \left[\frac{\text{線量係数}}{\text{甲状腺残留率}} \right]$$

の[]中の値がヨウ素の化学的性状でほぼ同じになります。

見方を変えれば、測定した甲状腺中¹³¹I 残留量が甲状腺線量と等価であるということであり、理にかなった結果と言えます。

- ICRP, 1995. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 4 Inhalation Dose Coefficients. ICRP Publication 71. Ann. ICRP 25 (3-4).
- 量研機構. MONDAL3. https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzen/db/RPD/mondal_3j.php (令和6年3月26日閲覧)

5. 線量評価に必要なデータ(続き)

¹³¹I 吸入摂取に適用する甲状腺残留率※
(1 Bq摂取量当たりのBq)

経過日数	乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
1	2.21E-01	2.24E-01	2.26E-01	2.29E-01	2.29E-01	2.29E-01
2	2.06E-01	2.10E-01	2.15E-01	2.21E-01	2.22E-01	2.23E-01
3	1.80E-01	1.86E-01	1.93E-01	2.02E-01	2.02E-01	2.03E-01
4	1.57E-01	1.64E-01	1.73E-01	1.83E-01	1.84E-01	1.85E-01
5	1.37E-01	1.45E-01	1.54E-01	1.66E-01	1.67E-01	1.68E-01
6	1.20E-01	1.29E-01	1.38E-01	1.51E-01	1.52E-01	1.53E-01
7	1.05E-01	1.14E-01	1.24E-01	1.37E-01	1.38E-01	1.39E-01
8	9.24E-02	1.01E-01	1.11E-01	1.24E-01	1.26E-01	1.27E-01
9	8.09E-02	8.96E-02	9.95E-02	1.13E-01	1.14E-01	1.15E-01
10	7.09E-02	7.94E-02	8.92E-02	1.02E-01	1.04E-01	1.05E-01
11	6.22E-02	7.04E-02	8.00E-02	9.31E-02	9.44E-02	9.57E-02
12	5.45E-02	6.24E-02	7.18E-02	8.46E-02	8.59E-02	8.71E-02
13	4.78E-02	5.53E-02	6.44E-02	7.68E-02	7.81E-02	7.93E-02
14	4.19E-02	4.90E-02	5.77E-02	6.98E-02	7.11E-02	7.22E-02
15	3.67E-02	4.35E-02	5.18E-02	6.35E-02	6.47E-02	6.58E-02
16	3.22E-02	3.86E-02	4.65E-02	5.77E-02	5.88E-02	5.99E-02
17	2.82E-02	3.42E-02	4.17E-02	5.24E-02	5.35E-02	5.45E-02
18	2.47E-02	3.03E-02	3.74E-02	4.76E-02	4.87E-02	4.97E-02
19	2.17E-02	2.69E-02	3.35E-02	4.33E-02	4.43E-02	4.52E-02
20	1.90E-02	2.38E-02	3.01E-02	3.94E-02	4.03E-02	4.12E-02
21	1.66E-02	2.11E-02	2.70E-02	3.58E-02	3.67E-02	3.75E-02
22	1.46E-02	1.87E-02	2.42E-02	3.25E-02	3.34E-02	3.42E-02
23	1.28E-02	1.66E-02	2.17E-02	2.96E-02	3.04E-02	3.11E-02
24	1.12E-02	1.47E-02	1.95E-02	2.69E-02	2.77E-02	2.84E-02
25	9.82E-03	1.31E-02	1.75E-02	2.44E-02	2.52E-02	2.58E-02
26	8.61E-03	1.16E-02	1.57E-02	2.22E-02	2.29E-02	2.35E-02
27	7.55E-03	1.03E-02	1.41E-02	2.02E-02	2.09E-02	2.14E-02
28	6.61E-03	9.10E-03	1.26E-02	1.84E-02	1.90E-02	1.95E-02
29	5.80E-03	8.07E-03	1.13E-02	1.67E-02	1.73E-02	1.78E-02
30	5.08E-03	7.16E-03	1.02E-02	1.52E-02	1.57E-02	1.62E-02

※ 線量係数及び甲状腺残留率の表中の各年齢は次の年齢範囲に対応します。
乳児(生後から1歳未満)、1歳児(1歳以上-3歳未満)、5歳児(3歳以上-8歳未満)、
10歳児(8歳以上-13歳未満)、15歳児(13歳以上-18歳未満、成人(18歳以上)。

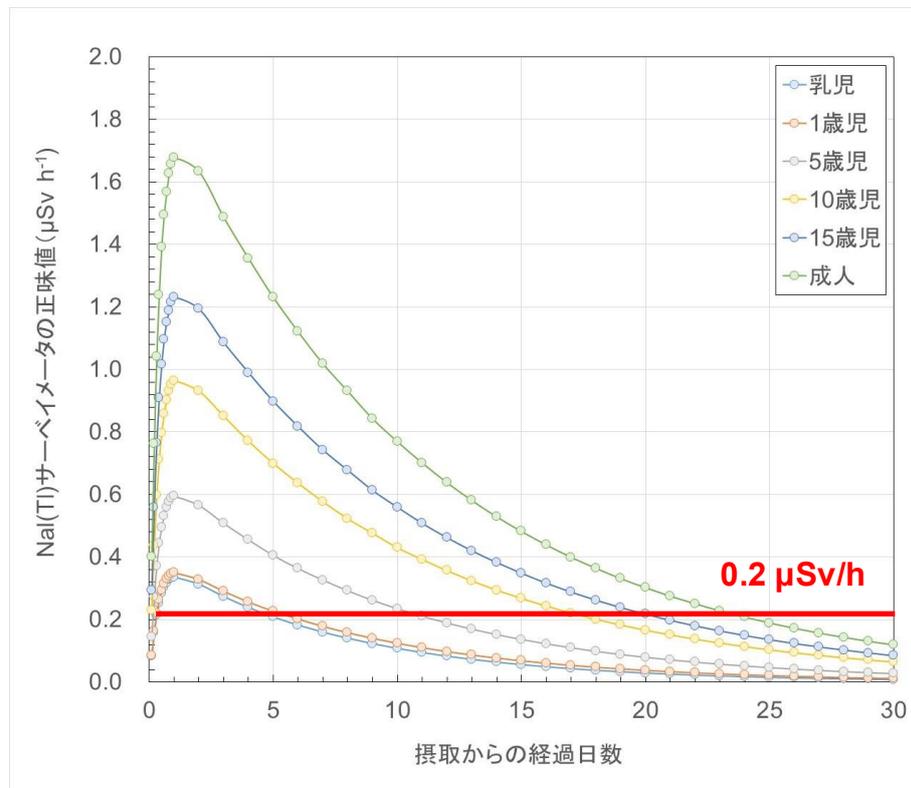
6. 甲状腺簡易測定に基づく評価

甲状腺簡易測定はNaI(Tl)サーベイメータを用いて実施されるため、測定値は毎時マイクロシーベルト ($\mu\text{Sv/h}$) の単位で得られます。内部被ばく線量を計算するには、測定値 ($\mu\text{Sv/h}$) から放射能 (Bq) に換算する必要がありますが、実験とシミュレーションによって下表のとおり決定しました⁽⁹⁾。

NaI(Tl)サーベイメータの甲状腺中¹³¹I残留量に対する換算係数
(kBq per $\mu\text{Sv/h}$)

乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
20	20	20	25	30	35

各年齢で甲状腺線量 100 mSvに相当する甲状腺残留量に換算係数を適用して求めた NaI(Tl)サーベイメータの予測値は下図のとおりです。図中に示した0.2 $\mu\text{Sv/h}$ はスクリーニングレベルになります。



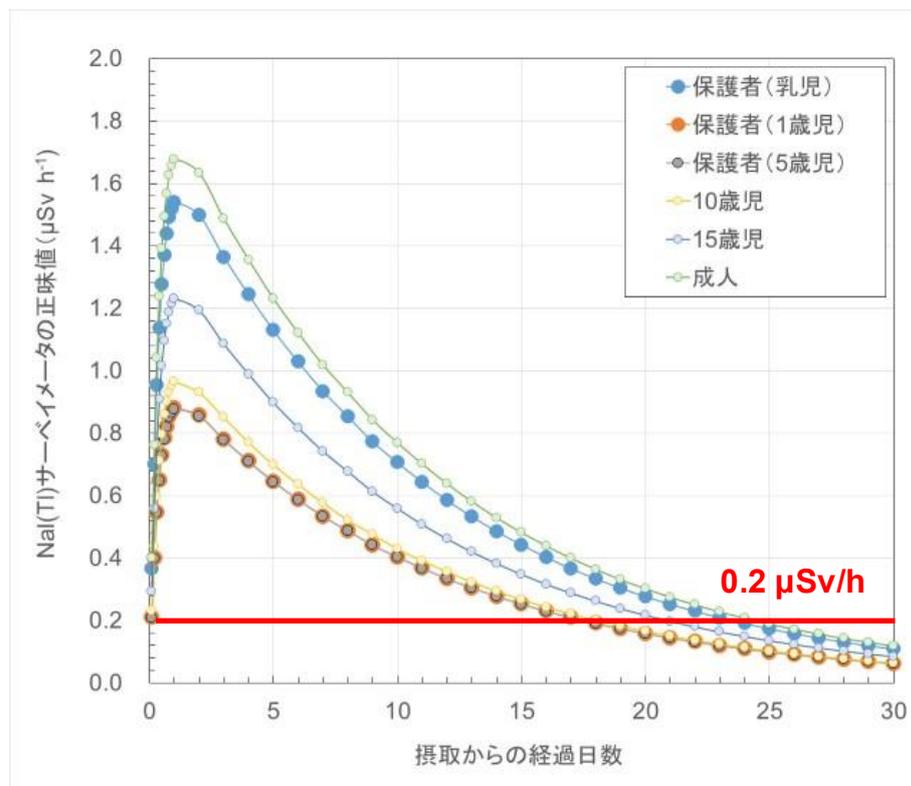
- Kim et al., 2023. Screening levels of TCS-172 NaI(Tl) survey meters used for direct thyroid measurements in nuclear disasters. Radiat Prot Dosim. 199 (15–16): 1989–1993.
- 原子力規制庁. 緊急時の甲状腺被ばく線量モニタリングに関する検討チーム会合報告書. 令和3年3月. <https://www.nra.go.jp/data/000378983.pdf> (2024年3月26日閲覧)

6. 甲状腺簡易測定に基づく評価(続き)

前ページの図から分かるように、若年齢者に対してはスクリーニングレベルの摂取1週間以降の適用が困難となることから、保護者らによる代替測定による方法が検討されました⁽¹⁰⁾。この方法は、子どもとその保護者(成人)がそれぞれの呼吸量で放射性物質を摂取することを仮定しており、保護者の摂取量を次式によって計算します。

$$\bullet \text{ 摂取量(保護者)} = \text{摂取量(子ども)} \times \frac{\text{成人の呼吸量}}{\text{子どもの呼吸量}}$$

甲状腺線量 100 mSvに相当する摂取があった子どもの保護者らの甲状腺測定におけるNaI(Tl)サーベイメータの指示値の予測値は下図のようになります。この図から、スクリーニングレベルが約3週間にわたり運用可能になることが分かります。



各図中のプロットの縦軸の値が甲状腺線量 100 mSvに対応するため、簡易測定に基づく線量評価は、測定値との比例計算で行うことができます。

【付録2】に各図の数値データを甲状腺簡易測定早見表として掲載しました。

【付録1】MONDALの使用手法

【例題1】1歳児の甲状腺簡易測定において0.1 $\mu\text{Sv/h}$ (正味値)検出された。測定は摂取から6日後に行われた。甲状腺線量を求めよ。
参考:1歳児のNaI(Tl)サーベイメータの換算係数: 20 $\text{kBq}/\mu\text{Sv/h}$

- ① MONDAL画面上から、核種(^{131}I)→種別(公衆による吸入摂取)→年齢(1歳)→吸収タイプ(蒸気)→摂取パターン(急性摂取)の順に入力

MONDAL Ver.3.01[日本語]
 ファイル セットアップ ツール ヘルプ
 核種 / 計算対象と摂取ルート
 核種: I-131 | 8.04 日 | β (平均 0.19MeV)89%, γ (0.36MeV)81%
 作業による吸入摂取 公衆による吸入摂取
 作業による経口摂取 公衆による経口摂取
 AMAD・年齢 / タイプ・f1
 年齢: 1歳(1歳以上3歳未満) | 摂取パターン: 急性摂取
 慢性摂取
 不均等慢性摂取
 吸収のタイプ: 蒸気
 日元素分子
 測定データ
 計測量: [] | グラフ
 摂取期間: 日間
 摂取終了後: [] 日後に測定/採取
 放射能: [] Bq or Bq/d
 作業時間の入力 | 計算開始
 計算結果
 測定した日の全身残留量: [] Bq/d/Bq
 摂取量: [] Bq
 実効線量: [] Sv
 終了 | ファイル印刷 | 結果印刷 | ファイルに保存 | 組織等価線量

- ② 計測量(甲状腺残留量)→摂取終了後日数(6日後に測定)→放射能(2000 Bq = 0.1 $\mu\text{Sv/h}$ × 20 $\text{kBq}/\mu\text{Sv/h}$)の順に入力し、計算開始ボタンを押す。

MONDAL Ver.3.01[日本語]
 ファイル セットアップ ツール ヘルプ
 核種 / 計算対象と摂取ルート
 核種: I-131 | 8.04 日 | β (平均 0.19MeV)89%, γ (0.36MeV)81%
 作業による吸入摂取 公衆による吸入摂取
 作業による経口摂取 公衆による経口摂取
 AMAD・年齢 / タイプ・f1
 年齢: 1歳(1歳以上3歳未満) | 摂取パターン: 急性摂取
 慢性摂取
 不均等慢性摂取
 吸収のタイプ: 蒸気
 日元素分子
 測定データ
 計測量: 甲状腺残留量 | グラフ
 摂取期間: 日間
 摂取終了後: 6 日後に測定/採取
 放射能: 2000 Bq
 作業時間の入力 | 計算開始
 計算結果
 測定した日の残留割合: [] Bq/Bq
 摂取量: [] Bq
 実効線量: [] Sv
 終了 | ファイル印刷 | 結果印刷 | ファイルに保存 | 組織等価線量

【付録1】MONDALの使用方法(続き)

- ③ 摂取量と実効線量の確認。甲状腺等価線量を見たい場合は、組織等価線量ボタンを押す。

MONDAL Ver.3.01[日本語]
 ファイル セットアップ ツール ヘルプ
 核種 / 計算対象と摂取ルート

核種: I-131 | 8.04 日 | β(平均 0.19MeV)89%, γ(0.36MeV)81%

作業者による吸入摂取 公衆による吸入摂取
 作業者による経口摂取 公衆による経口摂取

AMAD・年齢 / タイプ・f1
 年齢: 1歳(1歳以上3歳未満) | 摂取パターン: 急性摂取
 慢性摂取
 不均等慢性摂取
 吸収のタイプ: 蒸気 | ヨウ素分子

測定データ
 計測量: 甲状腺線量 | グラフ
 摂取期間: 日間
 摂取終了後: 6 日後に測定/採取
 放射能: 2000 Bq

作業時間の入力 | 計算開始

計算結果
 測定した日の残留割合: 1.29E-01 Bq/Bq
 摂取量: 1.6E+04 Bq
 実効線量: 2.5E-03 Sv

終了 | 74-△印刷 | 結果印刷 | ファイルに保存 | **組織等価線量**

組織等価線量

I-131, 公衆による吸入摂取
 年齢: 1歳(1歳以上3歳未満), 吸収のタイプ: 蒸気
 摂取量: 1.6E+04 Bq

単位[Sv]	1日間	7日間	30日間	1年間	5年間	10年間	20年間	30年間	69年間
副腎	2.2E-06	3.4E-06	4.7E-06						
膀胱壁	1.7E-05	2.0E-05	2.2E-05						
骨表面	2.3E-06	4.3E-06	6.2E-06	6.4E-06	6.4E-06	6.4E-06	6.4E-06	6.4E-06	6.4E-06
脳	2.0E-06	3.7E-06	5.3E-06	5.4E-06	5.4E-06	5.4E-06	5.4E-06	5.4E-06	5.4E-06
乳房	2.0E-06	4.0E-06	5.9E-06	6.0E-06	6.0E-06	6.0E-06	6.0E-06	6.0E-06	6.0E-06
食道	4.2E-06	1.5E-05	2.5E-05						
胃壁	7.4E-06	8.5E-06	9.8E-06						
小腸壁	2.3E-06	3.3E-06	4.3E-06						
大腸上部壁	2.8E-06	6.4E-06	1.1E-05						
大腸下部壁	2.9E-06	1.1E-05	2.2E-05	2.3E-05	2.3E-05	2.3E-05	2.3E-05	2.3E-05	2.3E-05
結腸	2.8E-06	8.2E-06	1.6E-05	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05	1.7E-05
腎臓	2.0E-06	2.9E-06	4.0E-06						
肝臓	2.2E-06	3.4E-06	4.5E-06	4.7E-06	4.7E-06	4.7E-06	4.7E-06	4.7E-06	4.7E-06
筋肉	2.5E-06	6.0E-06	9.3E-06	9.5E-06	9.5E-06	9.5E-06	9.5E-06	9.5E-06	9.5E-06
卵巣	2.2E-06	3.3E-06	4.3E-06						
脾臓	2.3E-06	3.6E-06	4.7E-06	4.8E-06	4.8E-06	4.8E-06	4.8E-06	4.8E-06	4.8E-06
赤色骨髄	2.0E-06	3.7E-06	5.1E-06	5.3E-06	5.3E-06	5.3E-06	5.3E-06	5.3E-06	5.3E-06
胸郭外気道	9.6E-05	1.3E-04							
肺	2.8E-05	3.1E-05	3.3E-05						
皮膚	1.9E-06	3.4E-06	4.8E-06						
脾臓	2.2E-06	3.3E-06	4.3E-06	4.5E-06	4.5E-06	4.5E-06	4.5E-06	4.5E-06	4.5E-06
精巣	2.0E-06	2.8E-06	3.4E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06	3.6E-06
胸腺	4.2E-06	1.5E-05	2.5E-05						
甲状腺	3.9E-03	2.8E-02	5.0E-02						
子宮	2.5E-06	3.4E-06	4.3E-06						
残りの臓器・組織	2.5E-06	5.6E-06	8.4E-06	8.7E-06	8.7E-06	8.7E-06	8.7E-06	8.7E-06	8.7E-06
実効線量	2.0E-04	1.4E-03	2.5E-03						

公衆は70歳になるまでの期間に受ける総線量を評価する。

【結果】甲状腺等価線量は50 mSv (5.0E-02 Sv)

【注】5. 線量評価に必要なデータのページで解説したように、ヨウ素の化学的性状の設定を変更しても線量結果は変わりません。

【付録2】甲状腺簡易測定に用いる線量早見表(1)

甲状腺等価線量100 mSvに相当するNaI(Tl)サーベイメータの予測値(μSv/h)
 ※代替測定を行わない場合

経過日数	乳児	1歳児	5歳児	10歳児	15歳児	成人
1	3.3E-01	3.5E-01	5.9E-01	9.6E-01	1.2E+00	1.7E+00
2	3.1E-01	3.3E-01	5.7E-01	9.3E-01	1.2E+00	1.6E+00
3	2.7E-01	2.9E-01	5.1E-01	8.5E-01	1.1E+00	1.5E+00
4	2.4E-01	2.6E-01	4.6E-01	7.7E-01	9.9E-01	1.4E+00
5	2.1E-01	2.3E-01	4.1E-01	7.0E-01	9.0E-01	1.2E+00
6	1.8E-01	2.0E-01	3.6E-01	6.4E-01	8.2E-01	1.1E+00
7	1.6E-01	1.8E-01	3.3E-01	5.8E-01	7.4E-01	1.0E+00
8	1.4E-01	1.6E-01	2.9E-01	5.2E-01	6.8E-01	9.3E-01
9	1.2E-01	1.4E-01	2.6E-01	4.8E-01	6.1E-01	8.4E-01
10	1.1E-01	1.2E-01	2.3E-01	4.3E-01	5.6E-01	7.7E-01
11	9.4E-02	1.1E-01	2.1E-01	3.9E-01	5.1E-01	7.0E-01
12	8.3E-02	9.8E-02	1.9E-01	3.6E-01	4.6E-01	6.4E-01
13	7.2E-02	8.6E-02	1.7E-01	3.2E-01	4.2E-01	5.8E-01
14	6.3E-02	7.7E-02	1.5E-01	2.9E-01	3.8E-01	5.3E-01
15	5.6E-02	6.8E-02	1.4E-01	2.7E-01	3.5E-01	4.8E-01
16	4.9E-02	6.0E-02	1.2E-01	2.4E-01	3.2E-01	4.4E-01
17	4.3E-02	5.3E-02	1.1E-01	2.2E-01	2.9E-01	4.0E-01
18	3.7E-02	4.7E-02	9.8E-02	2.0E-01	2.6E-01	3.6E-01
19	3.3E-02	4.2E-02	8.8E-02	1.8E-01	2.4E-01	3.3E-01
20	2.9E-02	3.7E-02	7.9E-02	1.7E-01	2.2E-01	3.0E-01
21	2.5E-02	3.3E-02	7.1E-02	1.5E-01	2.0E-01	2.7E-01
22	2.2E-02	2.9E-02	6.4E-02	1.4E-01	1.8E-01	2.5E-01
23	1.9E-02	2.6E-02	5.7E-02	1.2E-01	1.6E-01	2.3E-01
24	1.7E-02	2.3E-02	5.1E-02	1.1E-01	1.5E-01	2.1E-01
25	1.5E-02	2.0E-02	4.6E-02	1.0E-01	1.4E-01	1.9E-01
26	1.3E-02	1.8E-02	4.1E-02	9.3E-02	1.2E-01	1.7E-01
27	1.1E-02	1.6E-02	3.7E-02	8.5E-02	1.1E-01	1.6E-01
28	1.0E-02	1.4E-02	3.3E-02	7.7E-02	1.0E-01	1.4E-01
29	8.8E-03	1.3E-02	3.0E-02	7.0E-02	9.3E-02	1.3E-01
30	7.7E-03	1.1E-02	2.7E-02	6.4E-02	8.4E-02	1.2E-01

【付録2】甲状腺簡易測定に用いる線量早見表(2)

甲状腺等価線量100 mSvに相当するNaI(Tl)サーベイメータの予測値(μSv/h)
 ※代替測定を行う場合(乳児から5歳群まで適用)

経過日数	保護者等 (乳児)	保護者等 (1歳児)	保護者等 (5歳児)
1	1.5E+00	8.8E-01	8.8E-01
2	1.5E+00	8.6E-01	8.5E-01
3	1.4E+00	7.8E-01	7.8E-01
4	1.2E+00	7.1E-01	7.1E-01
5	1.1E+00	6.5E-01	6.4E-01
6	1.0E+00	5.9E-01	5.9E-01
7	9.3E-01	5.3E-01	5.3E-01
8	8.5E-01	4.9E-01	4.9E-01
9	7.7E-01	4.4E-01	4.4E-01
10	7.1E-01	4.0E-01	4.0E-01
11	6.4E-01	3.7E-01	3.7E-01
12	5.9E-01	3.3E-01	3.3E-01
13	5.3E-01	3.0E-01	3.0E-01
14	4.9E-01	2.8E-01	2.8E-01
15	4.4E-01	2.5E-01	2.5E-01
16	4.0E-01	2.3E-01	2.3E-01
17	3.7E-01	2.1E-01	2.1E-01
18	3.3E-01	1.9E-01	1.9E-01
19	3.0E-01	1.7E-01	1.7E-01
20	2.8E-01	1.6E-01	1.6E-01
21	2.5E-01	1.4E-01	1.4E-01
22	2.3E-01	1.3E-01	1.3E-01
23	2.1E-01	1.2E-01	1.2E-01
24	1.9E-01	1.1E-01	1.1E-01
25	1.7E-01	9.9E-02	9.9E-02
26	1.6E-01	9.0E-02	9.0E-02
27	1.4E-01	8.2E-02	8.2E-02
28	1.3E-01	7.5E-02	7.5E-02
29	1.2E-01	6.8E-02	6.8E-02
30	1.1E-01	6.2E-02	6.2E-02

【例題2】1歳児の甲状腺簡易測定において0.1 μSv/h(正味値)検出された。測定は摂取から6日後に行われた。線量早見表(1)を用いて甲状腺線量を求めよ。

① 1歳児の経過日数6日目の数値を読みます。→ **0.2** (= 2.0E-01) μSv/h

経過日数	乳児	1歳児	5歳児	...
1	3.3E-01	3.5E-01	5.9E-01	...
2	3.1E-01	3.3E-01	5.7E-01	...
3	2.7E-01	2.9E-01	5.1E-01	...
4	2.4E-01	2.6E-01	4.6E-01	...
5	2.1E-01	2.3E-01	4.1E-01	...
6	1.8E-01	2.0E-01	3.6E-01	...
7	1.6E-01	1.8E-01	3.3E-01	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

② 次式によって線量を計算します。

$$\text{甲状腺線量} = 100 \times \frac{0.1}{0.2} = 50 \text{ mSv}$$

測定値(正味値)
↑
0.1
0.2
↑
早見表から読み取った値

【例題3】1歳児の子どもの親の甲状腺簡易測定において0.3 μSv/h(正味値)検出された。測定は摂取から6日後に行われた。線量早見表(2)を用いて子どもの甲状腺線量を求めよ。

① 保護者等(1歳児)の経過日数6日目の数値を読みます。→ **0.59** μSv/h

経過日数	保護者等(乳児)	保護者等(1歳児)	保護者等(5歳児)
1	1.5E+00	8.8E-01	8.8E-01
⋮	⋮	⋮	⋮
5	1.1E+00	6.5E-01	6.4E-01
6	1.0E+00	5.9E-01	5.9E-01
7	9.3E-01	5.3E-01	5.3E-01
⋮	⋮	⋮	⋮

② 例題2と同様に計算します。

$$\text{甲状腺線量} = 100 \times \frac{0.3}{0.59} = 50.8 \div 51 \text{ mSv}$$

本マニュアルは、原子力規制庁令和5年度原子力施設等防災対策等委託費（甲状腺の被ばく線量推定法等に関する調査事業）の成果物として、受託元である量子科学技術研究開発機構が作成したものです。