

被災地域住民及び隣接地域住民の甲状腺モニタリングの あり方について

2011年7月20日

日本放射線安全管理学会

西澤邦秀名古屋大学名誉教授を委員長とする放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会（放射性ヨウ素安全対策から放射性ヨウ素・セシウム安全対策へ6月に名称変更）の内部被ばく評価班（班長：伊藤茂樹教授）は、被災地域住民及び隣接地域住民の甲状腺モニタリングのあり方について報告書をまとめましたのでご報告いたします。

本研究班は、福島第一原発事故によって放出されたヨウ素131による甲状腺被ばく評価の重要性から、内部被ばく調査の進め方、評価体制の整備とモニタリングのための技術的検討を進めてきました。今回の報告では、以下にまとめましたように、避難場所でも利用できる簡易モニタリングシステムについて提案を行うとともに、住民の方々の不安を軽減するためにも希望される方々のモニタリングの実施について提言を行っております。

- (1) 住民の被ばく評価体制の中で、個別の行動履歴の記録、地域ごとの放射能分布のデータベースの整備を行い、それを元にした評価システムを構築する必要がある。
- (2) 短期間に、広範囲の住民のモニタリングのための可搬式モニタリングシステムの整備と測定技術者の確保が必要である。
- (3) 可搬式としては、シンチレーション検出器によるスペクトル測定とイメージングプレートを使用する方法が有効である。
- (4) 希望する住民に対して、モニタリングの実施を行うことを提案する。

検討の詳細は報告書をごらんください。

平成 23 年 7 月 11 日

日本放射線安全管理学会

会長 梶本和義 殿

日本放射線安全管理学会
放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会
委員長 西澤邦秀

被災地域住民及び隣接地域住民の甲状腺モニタリングの あり方について

表記の件について、放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会 内部被曝評価班 伊藤茂樹班長より別添のとおり報告書の提出がありましたので、ご報告致します。

本報告書については、本学会のホームページへ掲載し、学会員に対して周知するとともに関係機関等への適切な広報をお願い致します。

別添

平成 23 年 7 月 10 日

日本放射線安全管理学会
放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会
委員長 西澤邦秀 殿

放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会
内部被曝評価班
班長 伊藤茂樹

被災地域住民及び隣接地域住民の甲状腺モニタリングの あり方について

福島第一原発事故によって放出された放射性ヨウ素 131 による甲状腺被ばくに対する被災地域住民及び軽微であるが汚染された隣接地域住民の不安の軽減および健康フォローをはかるための放射性ヨウ素 131 による汚染甲状腺のモニタリングのあり方についての提案とともに内部被ばくの評価に関連する資料を収集・整理したので、別紙の通り報告いたします。

別紙

被災地域住民及び隣接地域住民の甲状腺モニタリングの あり方について

日本放射線安全管理学会
放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会 内部被曝評価班

内部被曝評価班

班員

班長 伊藤茂樹（熊本大学大学院生命科学研究部）
副班長 廣田昌広（東京大学大学院工学研究科）
佐瀬卓也（徳島大学アイソトープ総合センター）
西澤邦秀（名古屋大学名誉教授）

目次

提言

概要

1. はじめに
 2. 被災地域住民の甲状腺被曝線量評価の重要性
 - 2.1 被災地域住民の被曝管理体制
 - 2.2 地域住民の被曝線量評価体制の整備の必要性
 - 2.3 スクリーニングとトリアージ
 - 2.4 放射線不安と PTSD
 - 2.5 甲状腺被曝線量評価の位置づけ
 - 2.6 簡易モニタリングシステムの必要性
 3. 甲状腺被曝線量評価
 - 3.1. 預託実効線量 (Sv)
 - 3.2 内部被曝線量評価法
 - 3.3 体外計測と計算法の長所と短所
 4. 体外計測法
 - 4.1 甲状腺の体外計測システム
 - 4.2 核医学用甲状腺摂取率測定器
 - 4.3 可搬式簡易甲状腺モニタリングシステム
 - 4.4 可搬式 IP モニタリングシステム
 5. 甲状腺測定のための校正法
 - 5.1 人体を模擬した甲状腺ファントム
 - 5.2 計数値-放射能換算係数決定法
 - 5.2.1 核医学用甲状腺摂取率測定器および簡易甲状腺モニタの場合
 - 5.2.2 IP モニタリングシステムを用いる場合
 - 5.3 甲状腺放射能の算出
 - 5.4 甲状腺被曝計算例
 6. 実施に向けて
 7. まとめ
- 付録 放射性ヨウ素の定量法
1. 空気中放射性ヨウ素の性状
 2. 定量法 (相対測定法)
 3. γ 線スペクトル分析における計測
 4. 計数効率の決定
 5. 光電ピーク面積の求め方
 6. γ 計数効率
 7. 放射能決定
 8. 標準線源

提言

東京電力福島第1原子力発電所の事故による深刻な環境汚染は、被災地域住民の被曝による健康リスク、とりわけ確率的影響である、 ^{131}I による甲状腺がん発症に対する不安を招いている。原発立地自治体並びに隣接自治体の原子力防災対策の一環として、事故発生時に遅滞なく被災地域住民及び軽微であるが汚染された隣接地域住民（地域住民）の健康不安対策として、甲状腺モニタリングを実施し、甲状腺被曝線量評価を行うために、避難所等で使用可能な可搬式甲状腺モニタリングシステムの普及とモニタリングの即戦力となる人材育成を図る体制を整備する必要がある。

甲状腺被曝線量の評価は、地域住民に対する安全を担保するためばかりでなく、放射線への不安に対して安心を担保するための根拠として必要不可欠である。

現時点では、移動型甲状腺モニタリングシステムを用いても大量のヨウ素で汚染された住民以外から汚染を検出できないが、安心を求める地域住民が甲状腺モニタリングを希望する場合は、放射線安心対策として可搬式簡易甲状腺モニタリングシステムの活用を図ることが望ましい。

概要

東京電力福島第1原子力発電所の事故による深刻な環境汚染は、被災地域、及び隣接地域住民（地域住民）の被曝による健康リスク、とりわけ確率的影響である、がん発症に対する不安をつのらせていることから、地域住民の被曝管理体制を確立するとともに、被曝管理体制を確立するとともに放射線不安及び放射線被曝に起因する心的外傷後ストレス障害（Post Traumatic stress Disorder: PTSD）に対する対策としてメンタルケアおよび甲状腺モニタリングの必要性を強調した。

甲状腺モニタリングによる被曝線量評価の一般的方法と測定方法についてレビューした。体外計測法に属する各種甲状腺モニタリングシステム及び核医学で使用される甲状腺摂取率測定装置等を、短期間で多数の被験者をモニタリングする観点から実施可能性を比較・評価し、避難所等で使用可能な、可搬式モニタリングシステム（簡易甲状腺モニタリングシステムおよびIPモニタリングシステム）を提案した。

今後の原子力防災対策の一環として、被災地域住民及び被災地隣接地域住民の ^{131}I による甲状腺被曝の評価のために、可搬式モニタリングシステムの普及ならびにモニタリングの即戦力として診療放射線技師、第1種放射線取扱主任者等を活用する体制を整備する必要がある。

平成23年7月の時点では、 ^{131}I は減衰しているため、多量の ^{131}I を摂取して数Sv以上被曝した可能性のある住民を除いて可搬式モニタリングシステムでは汚染を検出できないが、安心のために希望する住民に対してモニタリングを実施することが望ましい。

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した地震、津波に随伴する東京電力福島第 1 原子力発電所の事故により放出された放射性物質による深刻な環境汚染は、被災地域住民及び隣接地域住民（地域住民）の被曝による健康リスク、とりわけ確率的影響である、がん発症に対する不安をつのらせている。このような放射線被曝への不安は、すでに深刻な社会問題を引き起こしている。中には、放射線被曝への不安により、心的外傷後ストレス障害（Post Traumatic stress Disorder: PTSD）とも言うべき状態に陥っている場合もある。地域住民の被曝管理のうち内部被曝評価と管理においては、放射性ヨウ素 131 (^{131}I) による甲状腺被曝の評価が必要不可欠である。

本災害において、一部の地域住民に対し、緊急被曝スクリーニング活動が福島県災害対策本部、災害派遣医療チーム（DMAT）、関係協力機関によって行われた。自らの被曝の危険も顧みずスクリーニングに携わった関係者には心より敬意を表すものであるが、このような犠牲的精神のもとに献身的な努力を傾注したにも関わらず、十分に初期の目的とする活動を完遂しえたとは言い難い。例えば、スクリーニング活動の中で特に重要な役割の一つである内部被曝の測定及び評価は、3 月末から 4 月にかけて県内の一部の小児にのみサーベイメータによる簡易的な甲状腺モニタリングが実施されただけである。

このように曲がりなりにもスクリーニングが行われていたにも関わらず 6 月中旬まで全被災者に対する組織的な被曝評価、とりわけ内部被曝の評価及び管理は公的機関において計画されていなかった。この問題の背景には被曝に対する安全と安心の乖離現象がある。それとは別に、技術的観点からみると、甲状腺の内部被曝評価に必要とされる特殊な甲状腺モニタリングシステムと実施要員の不足という事実がある。すなわち、短期間に多数の地域住民の甲状腺モニタリングを実行することは現時点においても不可能である。

平成 23 年 7 月の時点においては、短半減期の ^{131}I は既に減衰しており、新たな ^{131}I の放出がない限り新たな内部被曝の可能性は少ない。さらに、現時点では、高感度の測定器（ホールボディカウンター、他）を用いても数 Sv 以上被曝した住民以外からはヨウ素を検出することはできない。政府見解によると、多量の ^{131}I を摂取した可能性のある住民に対しては、医療措置が施されているはずである。従って、被曝管理の観点から、現時点において高感度測定器を用いて甲状腺モニタリングを実施することは、科学的に全く意味はない。

現時点において地域住民の甲状腺をモニタリングする意味は、安心のために希望者に対して実施する点にある。安心のための測定希望者は多数に上るものと思われる。このことは、短期間に多数の地域住民の甲状腺モニタリングを実施する必要があることを意味している。但し、このモニタリングに際して実施者は、被曝線量が数 Sv 以下であったことを示すことにしなければならないことを被験者に対して説明する責任がある。更に、原発立地自治体及び隣接自治体においては、このような甲状腺をモニタリングの現状を考慮して、将来起こるかも

しれない原子力災害に備えて地域住民の甲状腺被曝管理対策を見直すべきである。

これら事柄は、短期間に多数の地域住民の甲状腺モニタリングを実施できる体制を整備する方策が必要であることを示している。

本報告書の目的は、これらの問題を解決すべく、地域住民の放射性ヨウ素による内部被曝評価及び管理を行うために、実測値に基づく甲状腺被曝線量評価方法の提示及び汎用性のある甲状腺モニタリングシステムと要員の確保について実施可能な方法を提案することである。

なお、甲状腺の内部被曝の評価に関わる多数の資料（甲状腺のヨウ素代謝、ヨウ素含有食品の摂取量、ヨウ素剤服用の考え方、甲状腺のヨウ素摂取率検査におけるヨウ素制限食）を収集したが、これらは付属資料として別途公表する。

2. 地域住民の甲状腺被曝線量評価の重要性

2.1 地域住民の被曝管理体制

東京電力福島第1原子力発電所の事故により、国内外に環境汚染による健康リスクや医療体制等に対する不安が広がっている。さらに、原発事故沈静化に向けた工程表が公表されたが、収束の長期化が懸念されている。このような状況において、原発作業員および地域住民に対する医療体制とりわけ被曝管理体制の確立が急務である。

原発作業員のモニタリングについては、東京電力の管理部門が実施し、厚労省が監督する体制が取られている。しかしながら、一部の作業員は緊急被曝限度値を超える線量を被曝した者がいることが公表されている。今後は、組織を有効に機能させ、被曝管理を徹底させることが重要である。

一方、地域住民については、被曝を管理する組織が存在しなかった。政府は地域住民の個人個人の被曝線量の実測、滞在時間等からの内外被曝線量の推定、被曝線量の記録等の包括的な被曝管理を行うとは表明していない。これに対して、地方自治体の中に、ようやく、ホールボディカウンター（WBC）による測定や汚染地域での滞在履歴の調査を始めようとしている段階にある。

被災地域のみならず、隣接地域の全住民の被曝管理体制の確立が喫緊の課題である。

2.2 地域住民の被曝線量評価体制の整備の必要性

全地域住民に対する被曝管理体制を確立するためには、被曝線量評価体制の整備が不可欠である。そのためには、2つのデータベースが必要である。

被曝源は、主に事故当初は放射性ヨウ素 ^{131}I であり、 ^{131}I 減衰後は放射性セシウム ^{134}Cs と ^{137}Cs （ ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ）である。 ^{131}I 放出量に関するデータは初期の内部、外部の両被曝評価に重要であり、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs 放出量に関するデータは ^{131}I 減衰後の外部被曝評価に必要である。

第1のデータベースは、個別の行動履歴に関するデータベースである。被災後の滞在地移動歴、滞在日数又は時間を確認することが必須である。そのためには、記憶が定かなうちにヒアリング、アンケート調査を実施することにより個別の行動履歴を把握し、記録する。これらの個別の行動履歴をデータベース化する。

第2のデータベースは、汚染地域の空間線量分布及び空気中の放射能濃度分布（以下、線量分布等）に関するデータベースである。被曝線量評価のために、汚染地域における放射性物質の種類と量並びに汚染期間を実測値及びSPEEDI等のデータを用いた推測値を用いて線量分布等を決定する必要がある。空間線量分布及び空気中の放射能濃度分布を住民の外部被曝線量及び内部被曝線量を計算するための基礎データとして、データベース化する。

これらの2つのデータベースを連結することにより、経時的被曝線量の追跡評価を可能にするシステムを構築できる。更に、このシステムは、過去のデー

データを蓄積するばかりでなく、新たなデータも蓄積することによって、個別の被曝線量と放射線障害発生との因果関係の分析を長期にわたって追跡することが可能となる。

今回の事故では汚染が直接被災した福島県ばかりでなく隣接自治体にまで広範に及んでいる。このような被曝管理体制は、今後の原発事故に備えて、原発立地県並びに隣接自治体において、あらかじめ整備しておくべきである。

2.3 スクリーニングとトリアージ

災害現場では、傷害者の治療の優先順位を決めるトリアージが行われる。被曝医療においても、医療対象とすべきか否かを判定するためのスクリーニングを実施する必要がある。報道によると、今回の福島原発事故時のスクリーニング検査では、(1) サーベイメータを用いて表面汚染の測定を行い、計数率又は線量率を指標として除染が必要であるか否かを判定している。(2) スクリーニング検査時に、甲状腺汚染のモニタリングが実施され、基準以上の汚染が検出された場合は、内部被曝対策として安定ヨウ素剤が配布されることになっている。

しかしながら、現地からの情報によると、実際のスクリーニングでは、甲状腺のモニタリングは必ずしも実施されていない場合もある。甲状腺スクリーニングレベル以上であっても見逃されている場合もあることを示唆している。一方、甲状腺スクリーニングレベル以下である場合は、汚染なしとされているが、これは誤りである。スクリーニングレベルはトリアージのために設定されているものであり、スクリーニングレベル以下の汚染を無視してはならない。スクリーニングレベル以下であっても全住民の被曝線量を評価するべきである。

2.4 放射線不安と放射線 PTSD

震災等により被災者が心的外傷後ストレス障害 (Post Traumatic stress Disorder: PTSD) を引き起こすことは良く知られており、今回の震災においても PTSD 対策のため、多数の専門家が現地入りしたことが報道されている。また、PTSD に関わる団体がホームページ等で心理的ケアに関する情報を発信している。

今回の原発事故により汚染された地域の住民は、多少にかかわらず被曝している。スクリーニングレベル以上の汚染が検出された住民は医療措置を施されているとしても、将来のがん発症に対する不安は払拭されてはいない。一方、スクリーニングレベル以下であって、汚染されていないと判断された住民の間からも不安の声が上がっている。この場合も、確率的影響である、がんに対する不安が根底にある。このような不安は、特に乳幼児に対して懸念を抱いている母親及び既に被曝の意味を理解している児童等の場合は、長い将来にわたって不安を抱えたまま生活をすることになる。このような状況は、精神的に不安定な状態を来し、PTSD (放射線 PTSD) を引き起こす場合もありうることは否定できない。

作業員の被曝線量あるいは汚染地域の線量率の評価に当たって、政府から繰り返し表明された「直ちに健康に影響が出るレベルではない。」との説明は、汚染地域住民の大きな心理的な負担の根源となっている。

放射線被曝、汚染の評価においては、被曝線量、線量率、汚染密度等の実測値と法的な規制値等の比較が必須である。このように放射線に関わる不安に対するケアでは、客観的な数値が必要になってくるものと思われる。被曝線量と言う客観的な情報を得ることによって多くの住民の不安を払拭できるものと思われる。但し、この数値を用いて、法的規制値以下であるから安全であると説得してはならない。最も問題になっているのは、これまでの放射能汚染及び放射線被曝に対する情報開示が不透明であったため、安全と安心が乖離している点にあるからである。

しかしながら、客観的な被曝線量を知り得たとしても、なお不安を解消できないため精神的に不安定な状態となる住民もあり得る。このような場合は、放射線 PTSD と判断せざるをえないと思われる。その場合でもあっても、個人ごとの被曝線量の評価はメンタルケア対策として必要不可欠である。

現在、放射線 PTSD の専門家は存在しない。放射線 PTSD における具体的なケアの方法は、今後、PTSD の専門家と放射線の専門家が協力して方法を確立して行かなければならない。

放射線不安及び放射線 PTSD 対策を講じる上で、被曝の多少に関係なく、被災地域の全住民のみならず、被災地隣接地域の希望する個人ごとの被曝線量の評価しなければならない。

2.5 甲状腺被曝線量評価の位置づけ

原子力災害での内部被曝で最も重要であるのが放射性ヨウ素による甲状腺被ばくである。チェルノブイリ原発事故では小児甲状腺がんが多発し、当時 15 歳未満の子どもをフォローアップし続けている。今回の原発事故においても放射性ヨウ素の放出量が他の核種に比較して圧倒的に多い事実から、被災地域における子どもの甲状腺がんのフォローアップは必要不可欠である。

40 歳以上の成人については、甲状腺に対する被曝による影響が少ない。これらのことから、地域住民の長期健康フォローの観点からも 40 歳未満の住民の甲状腺モニタリングを実施し、その結果を用いて内部被曝線量の評価を行うべきである。

将来の健康不安を有する地域住民の多くは、確率的影響の可能性のある者、被曝していないが健康不安を訴える者など、さまざまである。今後は、科学的根拠に基づいた放射線不安及び放射線 PTSD に向けたカウンセリングが最も重要となる。内部被曝線量の評価によって、将来の健康不安の解消および地域住民の長期健康フォローに結びつけることが重要である。

2.6 可搬式モニタリングシステムの必要性

放射性ヨウ素による甲状腺の内部被曝線量を実測により推定するための甲状腺のモニタリングは、通常、ホールボディカウンタ（WBC）あるいは甲状腺モニタといった特殊な高感度装置を用いて実施される。これらの装置の使用目的は、スクリーニングに使用される測定精度の低いサーベイメータとは異なる。今回のように、被災地域が広い場合、測定者の人数および装置の台数を考慮すると、これらの装置を用いて多数の地域住民を短期間にモニタリングすることは不可能である。

短期間で多数の地域住民の甲状腺をモニタリングするためには、多数の可搬式の簡易モニタリングシステム及びモニタリング技術を習得した測定技術者が必須である。このようなシステムの配置と技術者を養成する体制を整備することは、容易に実現可能である。

本報告書の次章以降においてこのような体制の整備と運用方法について述べる。

3. 甲状腺の被曝線量評価

3.1 預託実効線量 (Sv) ^{*1}

体内に摂取された放射性核種の壊変によって体内の組織や臓器が照射される内部被曝の場合、それら組織や臓器への線量の与えられ方は、時間の経過とともに変化する。この時間的变化は、放射性核種の種類、物理的・化学的形態、摂取の仕方、及び核種が取り込まれる組織や臓器に依存している。

内部被曝の場合は、放射性核種の代謝や排泄の速度をコントロールできないのが普通であり、摂取したときにその後の線量率分布及びその時間積分値である預託実効線量又は預託等価線量が決定される。

積分される時間は、職業被曝及び公衆の成人に対しては50年、子供や乳幼児に対しては摂取から70歳までの期間としている。

内部被曝の場合は、人が摂取した放射性物質の量と、人体の組織や臓器が受ける線量の大きさとの関係を算出しておくことにより、摂取した放射性物質の量を基準にして人の被ばく量を算出する方法が用いられる。

放射性核種 1 Bq を摂取したときの預託実効線量 (mSv) を実効線量係数 (単位 mSv/Bq) といい、預託実効線量の計算に用いる。等価線量の場合も、同様に預託等価線量及び等価線量係数といい、預託等価線量の計算に用いる。

原子力安全委員会によると、原則として甲状腺等の預託等価線量は平常時のモニタリングにおいては算定の必要性はない。しかしながら、原子力施設からの予期しない放射性物質の放出があった場合等は、放射性ヨウ素による甲状腺の線量が相当に上昇する可能性がある場合には、表1の線量係数を用いて算定するものとしている。

等価線量係数は、核種、放射性物質の大きさ、化学形、摂取経路 (経口又は吸入)、被検者の年齢や体格によって異なる。

*1 預託線量とは、放射性物質を摂取した後、その物質の体内における壊変によって放射される線量率を時間積分した値である。預託等価線量は、体内の臓器または組織が摂取後同様の期間に受ける等価線量をいう。預託実効線量は、放射性物質の体内摂取から受ける臓器または組織の等価線量のおおのにその臓器または組織の組織荷重係数を乗じて加え合わせたものである。

表1. 1Bqを経口または吸入摂取した場合の成人、幼児および乳児の甲状腺等価線量にかかる線量係数

核種	経口摂取 (mSv/Bq)			吸入摂取 (mSv/Bq)		
	成人	幼児	乳児	成人	幼児	乳児
I-131	3.2×10^{-4}	1.5×10^{-3}	2.8×10^{-3}	2.9×10^{-4}	1.4×10^{-3}	2.5×10^{-3}

本表の値は、ICRP Publication 66などのモデルを基に摂取されたヨウ素が体液中から甲状腺へ達する割合を0.2、化学形を元素状として計算した値である。

3.2 内部被曝線量評価法

一般的に内部被曝線量は、体外計測、バイオアッセイ、計算の3方法によって評価されるが、放射性ヨウ素による内部被曝線量評価は、体外計測又は計算によって評価されている。バイオアッセイには唾液の放射性ヨウ素濃度を基に測定する方法もあるが、一般的ではない。

体内被曝は、放射性ヨウ素で汚染した飲食物を摂取する経口摂取と汚染大気を呼吸することによって呼吸器から吸入摂取とによって生じる。摂取された放射性ヨウ素は甲状腺に選択的に蓄積するので、放射性ヨウ素による内部被曝線量は、甲状腺へ蓄積した放射性ヨウ素の量を基に評価される。

体外計測では甲状腺蓄積量を直接測定するが、計算では仮定を基に甲状腺蓄積量を推定する。体内に摂取された放射性物質は物理的半減期による減衰と排泄によって時間とともに減少する生物学的半減期を合わせた実効半減期で減少するが、その間も被曝は続く。

したがって、預託等価線量（等価線量）は、次式で計算される。

$$E(50) = I \times e(50) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 I は体内に取り込まれた放射性物質の摂取量 (Bq) であり、 $e(50)$ が等価線量係数と呼ばれ、単位放射能 (1 Bq) 摂取したときの 50 年間の等価線量を与える係数 (mSv/Bq) である。

摂取量 I は、ホールボディカウンタや甲状腺モニタによって測定された値ではなく、摂取した放射エネルギーである。測定値と摂取量との関係は、残留率を介して以下の関係にある。

$$I = \frac{M}{R} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 M は測定値、 R は残留率 (図 1) である。

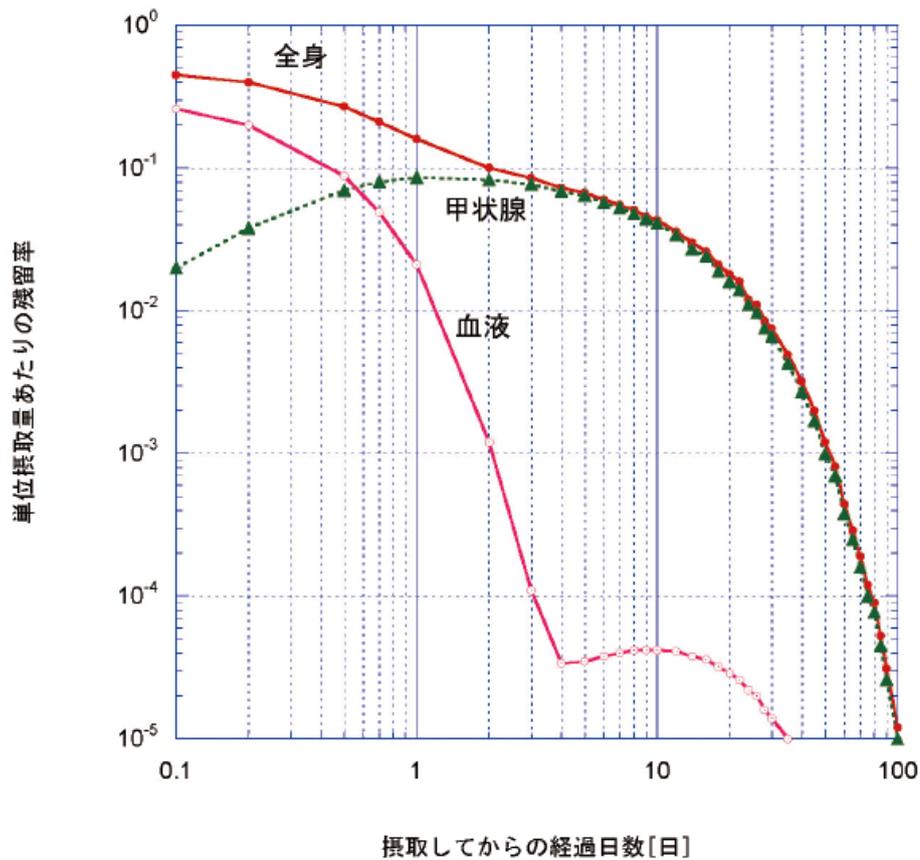


図 1. ^{131}I の体内残留率（吸入摂取、粒径 $1\ \mu\text{m}$ ）

3.3 体外計測と計算法の長所と短所

体外計測法及び計算法には、それぞれ長所と短所がある。体外計測法は信頼できる方法であるが、検査の対象となる人（被験者）を一人ずつ測定しなければならないため、被験者数が多い場合は膨大な測定作業量となる。しかしながら、個別の被曝線量を算定する意義は将来の放射線障害の予測が可能になる点からその意義は非常に大きい。ただし、体外計測法は、計測時点の評価であり、今回のように継続的に被曝をしている場合には積算する必要がある。また、被曝線量は、標準的人体モデルを想定して摂取量から被曝線量を算定するため、個体差による誤差は少なからず存在する。

計算法は、典型的な体型や飲食習慣を持つ架空の人（標準人）を対象として被曝線量を評価する。ICRP や放射線障害防止法や各種マニュアル、ガイドライン等（法令等）では、計算法で被曝線量を評価し規制の根拠としている。この方法では、個別の人の被曝線量を評価することは困難である。法令等は、不特定多数の人を対象とするので、このような方法を取らざるを得ないのが実情である。

4. 体外計測法

4.1 甲状腺の体外計測システム

体外計測法には、表 2 の様な方法がある。

表 2. 体外計測法の種類と検出器

測定系	検出器
1. ホールボディカウンタ	Ge, NaI(Tl), プラスチックシンチレータ
2. 甲状腺モニタ	NaI
3. サーベイメータ	GM, NaI(Tl)
4. 核医学用甲状腺摂取率測定器	NaI(Tl)
5. 簡易甲状腺モニタリングシステム	NaI(Tl), (GMも可)
6. IPモニタリングシステム	イメージングプレート(IP)

ホールボディカウンタと甲状腺モニタは、重装備な遮蔽を要するために設置されている数が限られている。サーベイメータでは NaI(Tl) を用いるのが一般的であるが、GM 管でも測定は可能である。サーベイメータは簡便であるが、測定精度が劣る。

医療施設で行われる核医学用の甲状腺摂取率測定器を用いるのが最も簡便で測定精度もよい。イメージングプレート (IP) を検出器として用いる画像解析法 (IP モニタ) は、検出された汚染を画像として記録を残せる特徴がある。

核医学用の甲状腺摂取率測定器の原型である NaI(Tl) 検出器に計数装置を接続する簡易甲状腺モニタリングシステムは、計測実施者自身がシステムを組み立てることが可能であり、最も簡単な方法である。このシステムは NaI(Tl) 検出器に波高分析器および被ばく線量まで計算するプログラムをインストールしたパソコン (PC) を接続することにより、測定終了と同時に被ばく線量を出力することができる。(図 2)

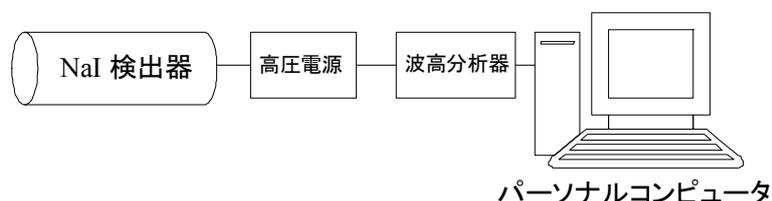


図 2. 甲状腺モニタリングシステムの機構

簡易甲状腺モニタは移動可能で、高感度かつ高機能である。計測方法も核医学用甲状腺摂取率測定器と同様である。

以下に、核医学用甲状腺摂取率測定器、簡易甲状腺モニタリングシステム、および IP モニタリングシステムの構成および測定の流れを示す。

4.2 核医学用甲状腺摂取率測定器

核医学用甲状腺摂取率測定器は、通常、検出器に2インチφ×2インチ厚 NaI(Tl) シンチレーション検出器が用いられている。近年では、CdTe シンチレータを用いた検出器も使用されている。このシステムは NaI(Tl) 検出器に波高分析器および PC を接続しており、医療上の安全性をクリア（薬事承認取得）するため、一体型となっている（図3）。検出器は鉛製の円筒管で覆われている。計測は、患者頸部に鉛板を設置した状態と鉛板が無い場合の2回の計測を行い、それぞれの計数値の差が甲状腺内の計数値として扱われる。すなわち、鉛板有りの計測値は、甲状腺を除く部位からの放射線量を表し、鉛板なしの計測値は、甲状腺およびその他の部位からの放射線量を表している。計測値の誤差は、検出器と頸部との距離および、患者の個人差も含まれるため、20% 程度であると言われている。検出器と頸部との距離を近くすることにより誤差も減少するが、検出部が甲状腺を包含できなくなるため、一定の距離が必要である。そのため計数効率が低くなる。



図3. 甲状腺摂取率測定装置および測定の様子

4.3 可搬式簡易甲状腺モニタリングシステム

可搬式簡易甲状腺モニタリングシステムの構成は核医学用甲状腺摂取率測定器と同様である。検出器のコリメータおよび支持体は摂取率測定装置のものを流用できる (図 4a)。支持体等の材料がない場合は点滴用の支柱を流用し、クランプで固定することも可能である (図 4b)。この場合、検出器の鉛製円筒管は装備せず、NaI(Tl) 検出部にのみ鉛製の円筒管 (コリメータ) をセットする必要がある。NaI(Tl) 検出器は、高圧電源、波高分析器および PC と接続する (図 4c)。これらは独立しているものの (図 4c)、性能は核医学用甲状腺摂取率測定器と同等である。この状態であれば、摂取率測定装置を用いた場合と同程度の誤差で測定が可能である。さらに、PC 内に波高分析器等を内蔵し、検出器と PC を直接接続できる機種 (パソコンマルチ) (図 4d) も流用できる。簡易甲状腺モニタの検出下限値は、10 分計測で 600 Bq であり、この時の甲状腺等価線量は成人の場合 0.17 mSv であり、1 歳児の場合 1.45 mSv である。成人に対しては十分な精度を確保できるが、1 歳児の場合は十分とは言いがたい (図 5、表 3)。図 5、表 3 を参照して年齢に対して適切な測定時間を選択することができる。

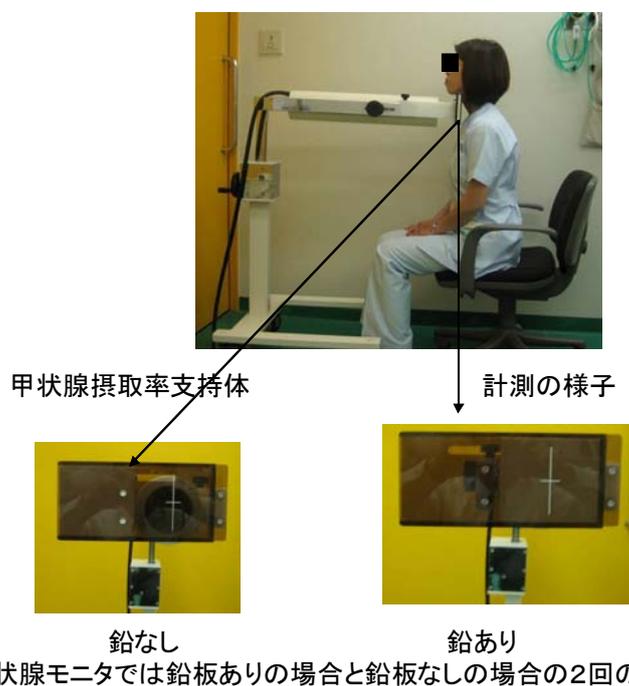


図 4a. 可搬式簡易甲状腺モニタリングシステム (支持体あり) の甲状腺計測の様子



計測のようす

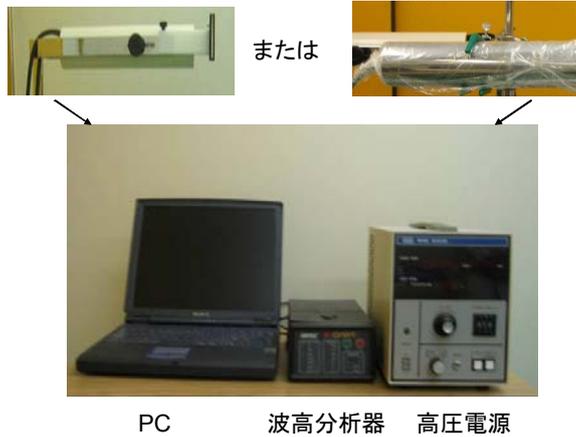


鉛なし

鉛あり

甲状腺モニタでは鉛板ありの場合と鉛板なしの場合の2回の測定を行う

図 4b. 可搬式簡易甲状腺モニタリングシステム（支持体なし）の甲状腺計測の様子



または

PC

波高分析器

高圧電源

図 4c. NaI(Tl) 検出器に接続する装置



図 4d. NaI(Tl) 検出器を PC に接続できる装置(パソコンマルチ)

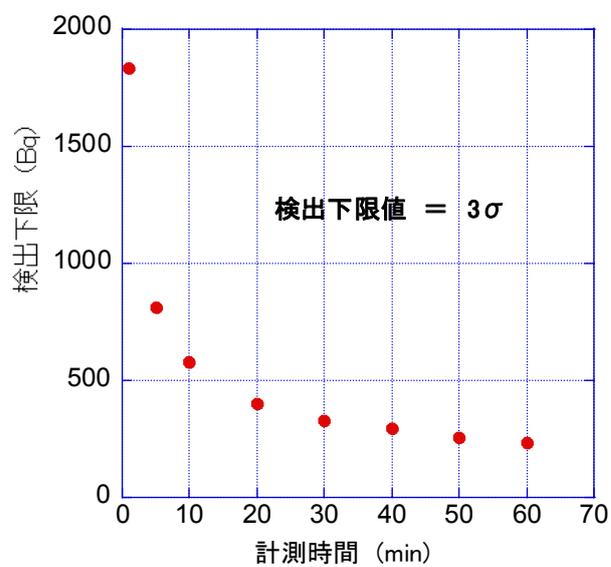


図 5. 可搬式簡易甲状腺モニタリングシステムの検出下限値

表 3. 可搬式簡易甲状腺モニタリングシステムの検出下限値と甲状腺等価線量

計測時間 (min)	検出下限 (3 σ) (Bq)	甲状腺等価線量* ² 成人 (mSv)	甲状腺等価線量* ² 1歳児 (mSv)
1	1836	0.53	4.59
5	812	0.24	2.03
10	578	0.17	1.45
20	400	0.12	1.00
30	329	0.10	0.82
40	292	0.08	0.73
50	256	0.07	0.64
60	234	0.07	0.58

*² 甲状腺線量は ¹³¹I の体内残留率を 1 としたときの値である。

測定器: γ 線用 NaI(Tl) シンチレーションデテクタ
Aloka MODEL ND-51 シリーズ
マルチチャンネルアナライザー

測定条件

距離: 検出器から 20 cm 離れた位置に甲状腺ファントムを配置

エネルギーウィンドウ: 364 keV \pm 10%

検出効率: 0.02 %

測定環境

空間線量率: 0.11 μ Sv/h

(測定器: ALOKA γ SURVEY METER MODEL TCS-171)

表4は平成23年3月12日時点の甲状腺等価線量と平成23年7月12日時点の甲状腺放射能の関係を示している。7月12日時点では、表2から簡易甲状腺モニタの検出下限は60分測定でも234 Bqであり、10 Sv以上被曝した住民の甲状腺汚染も検出することは困難である。しかしながら、汚染初期であれば10分測定で0.17 mSvに相当する600 Bqの汚染を検出できる。今後の原子力災害に備えて、本システムの配備は必要不可欠であると考ええる。

表4. 平成23年3月12日時点の甲状腺等価線量と
平成23年7月12日時点の甲状腺放射能の関係

SPEEDIIによる甲状腺等価線量 3月12日時点 (mSv)	甲状腺放射能 (Bq) 7月12日時点	
	成人	1歳児
10,000	22.4	0.5
5,000	11.2	0.2
1,000	2.2	0.05
100	0.2	0.005
50	0.1	0.002

4.4 可搬式 IP モニタリングシステム

図 6 は IP モニタリングシステムの構成および計測の流れを示している。検出部は X 線写真用フィルムの代替である IP であり、フィルムと同様に薄く軽量である。この IP を頸椎カラー内に装填し、頸部に巻きつけることにより、甲状腺および頸部からの放射能分布の状態を IP に焼き付ける。その後、IP を取り出し、専用の読み取り装置により IP に焼き付けられ放射能の分布状態を画像化する。得られた画像上の甲状腺に相当する部分に関心領域 (ROI) を設定し、ROI 内の計数値を得る。測定誤差は 20% 程度である。

可搬式 IP モニタリングシステムの最大の利点は、検出部と測定部を分離使用できる点及びデータを画像として保存できる点にある。つまり、IP は薄くて軽いので多数の IP を携帯、又は送付して被験者に一定時間装着後、測定器を設置してある場所まで持ち帰り測定することができる。更に、測定結果は画像として保存可能であるので、測定結果に疑義が生じた時にはデータを再分析して確認することができる。

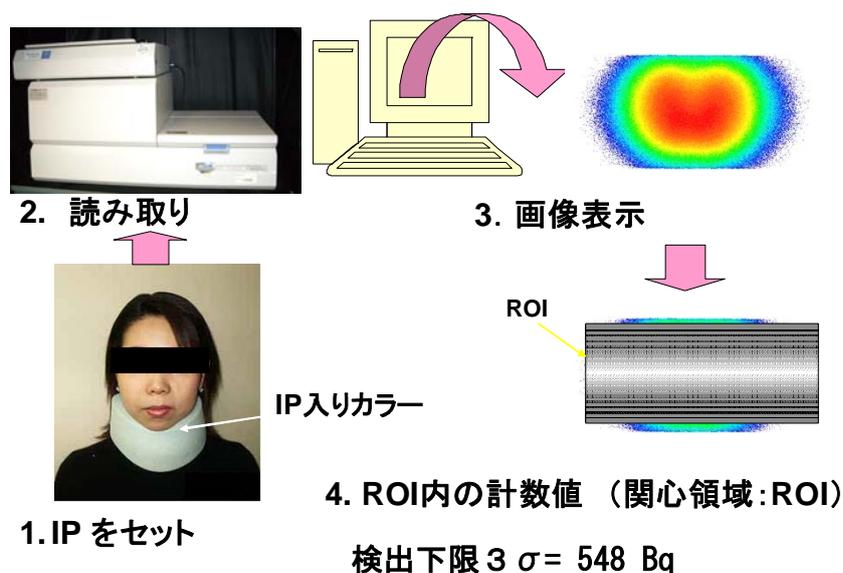


図 6. IP モニタリングシステムの構成および計測の流れ

5. 甲状腺測定のための校正法

5.1 人体を模擬した甲状腺ファントム

甲状腺放射能は、人体を模擬した頸部-甲状腺ファントムあるいは甲状腺摂取率検査用ファントム (ORIN phantom 等) を用いて得られた計数值-放射能換算係数を用いて決定する。

本項では、人体を模擬した甲状腺ファントム (自作) を用いる計数值-放射能換算係数決定法および甲状腺部計測法を紹介する。

標準的な甲状腺を模擬した甲状腺ファントム内に ^{131}I 水溶液 20 kBq 程度を充填し、頸部ファントムに固定し、頸部-甲状腺ファントムとする (図 7)。

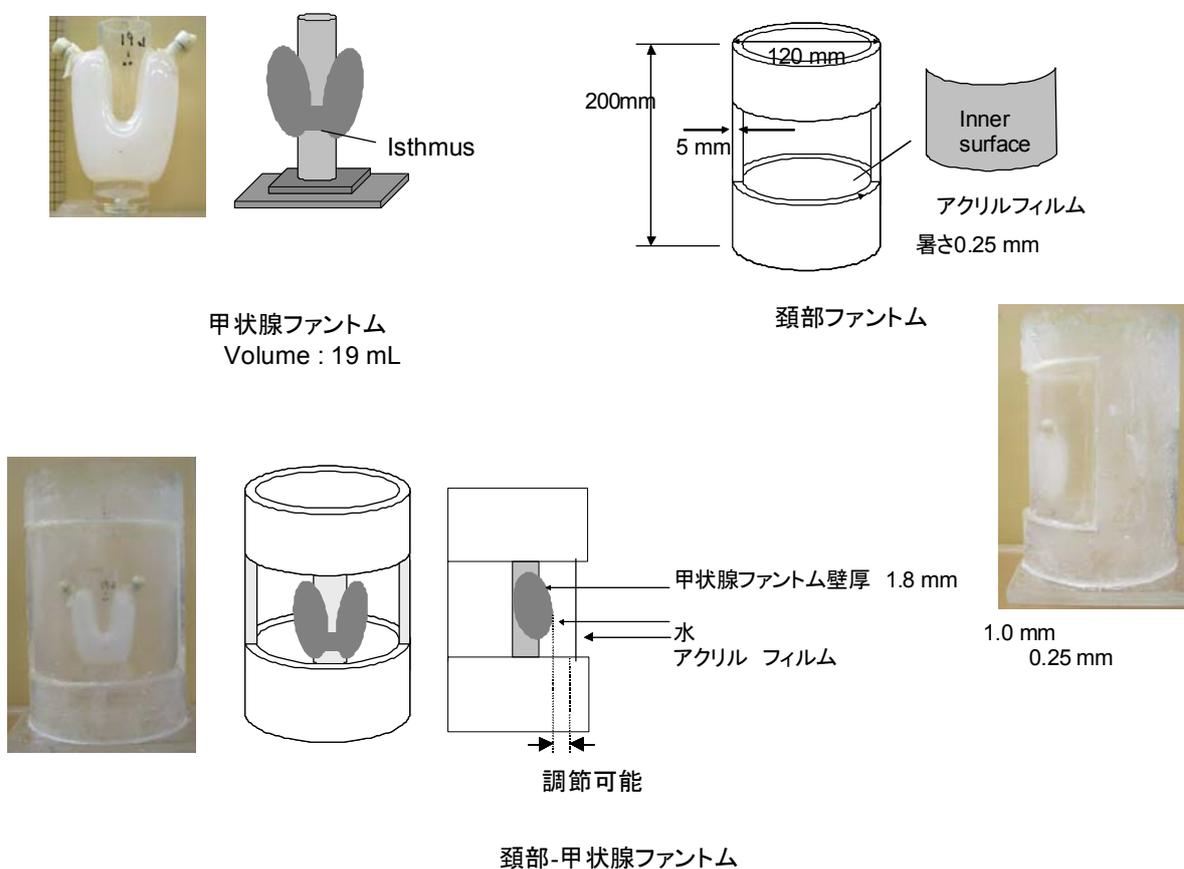


図 7. 頸部-甲状腺ファントムの概略

5.2 計数効率（計数值-放射能換算係数）決定法

5.2.1 核医学用甲状腺摂取率測定器および簡易甲状腺モニタの場合

核医学用甲状腺摂取率測定器および可搬式簡易甲状腺モニタリングシステムを用いる場合の計測方法は、核医学における甲状腺摂取率測定と同様である。

まず、NaI(Tl) シンチレーション検出器を頸部-甲状腺ファントムの甲状腺部に固定する。頸部ファントム表面から検出器までの距離は 30 cm（固定）とし、放射能が 1 kBq 程度になるまで経時的に計測（1 分計測）する。甲状腺放射能が 1 kBq 未満の場合には、距離を 10 cm 程度とし、計測時間を 5～10 分として数 10 Bq 程度になるまで経時的に計測（1 分計測）する。計数值と放射能の関係から計数率-放射能換算係数（CF）を得る。

対象者の甲状腺計測は医療現場で行われている方法と同様に実施する。計測の際、甲状腺部に鉛板を設置した場合と設置しない場合の 2 種類の計測を行う。甲状腺部に鉛板を設置した場合の計測値を対象者からのバックグラウンド計数值とし、設置しない場合の計数值から差し引く。装置の検出下限は、検出部を頸部に密着させた場合で、100 Bq であり、検出器と頸部間が 10 cm の場合はおよそ 1,000 Bq 程度と推定される。

5.2.2 可搬式 IP モニタリングシステムを用いる場合

可搬式 IP モニタリングシステムの ^{131}I 甲状腺放射能に対する検出下限は 548 Bq であることから、甲状腺内の放射能が 600 Bq を超える場合には IP を用いる甲状腺計測も有用である。ちなみに、甲状腺 600 Bq の放射能が存在する場合の甲状腺線量は、成人では 0.17 mSv 相当し、1 歳児で 1.5 mSv に相当する。

前項で用いた頸部-甲状腺ファントムに遮光袋に装填した IP を巻きつけ 10 分間固定する。その後、暗室に設置した読み取り装置にて IP を読み取り画像化する（図 6）。得られた画像上の甲状腺に相当する部分に関心領域（ROI）を設定し、ROI 内の計数值を得る。この操作を放射能が 1kBq 程度になるまで経時的に行い、計数值と放射能の関係から計数值-放射能換算係数を得る。

得られた画像上の甲状腺に相当する部分に関心領域（ROI）を設定し、ROI 内の計数值を得る。尚、IP の甲状腺以外の箇所にも ROI を設定し、甲状腺以外の放射能計数值を求める。

5.3 甲状腺放射能の算出

甲状腺放射能は次の式で求めることができる。

(1) 核医学用甲状腺摂取率測定器および可搬式簡易甲状腺モニタリングシステムを用いる場合

$$\text{甲状腺放射能 (Bq)} = (A(\text{cps}) - B(\text{cps})) \times \text{CF}(\text{NaI})$$

ここで、

A は鉛なしの頸部計数率(cps)

B は鉛ありの計数率(cps)

CF(NaI) は計数率-放射能換算係数 (Bq/cps)である。

(2) 可搬式 IP モニタリングシステムを用いる場合

$$\text{甲状腺放射能 (Bq)} = (D(\text{PSL/pixel}) - E(\text{PSL/pixel})) \times \text{CF(IP)}$$

ここで、

D は甲状腺部 ROI の全計数率をその ROI 面積 (pixel) で割った値

E は甲状腺部以外 ROI 内の計数率をその ROI 面積 (pixel) で割った値

CF(IP) は計数率-放射能換算係数 (Bq/cps)である。

参考までに、表4および表5に甲状腺摂取率検査時の甲状腺被ばく線量を示す。医療では、通常、ヨードカプセル 123、あるいは、よう化ナトリウム (¹³¹I) カプセルを前者では 3.7~11.1 MBq、後者では 3.7 MBq 経口投与して検査を行う。この場合、投与量に対する正常な甲状腺摂取率は投与後 24 時間において 10 数% から 30% 程度である。このときの甲状腺被曝線量が示されており、このレベルでは健康上問題はないとされている。

表 5. 甲状腺被曝線量 (MIRD 法により算出)

臓器	ヨードカプセル-123	ヨウ化ナトリウム
	3.7MBq投与あたり (mGy)	(¹³¹ I)カプセル 3.7MBq投与あたり (mGy)
甲状腺	13	1300
胃壁	0.21	1.4
肝臓	0.027	0.48
卵巣	0.031	0.14
精巣	0.012	0.09
赤色骨髄	0.03	0.26
全身	0.029	0.71

ただし、本吸収線量計算においては、甲状腺摂取率を 25%と仮定した。

¹²¹Te の含有率規格は 0.3%であるが、実際含有率はさらに低いため、

¹²³I を 100%として算出した。

表 6. 放射性ヨウ素の摂取率毎の被ばく線量

臓器	摂取率 %	¹²³ I	¹²⁴ I	¹²⁵ I	¹³¹ I
		mGy/MBq	mGy/MBq	mGy/MBq	mGy/MBq
甲状腺	5	0.65	49	38	70
	15	2	140	120	220
	25	3.5	240	210	350

MIRD PRIMER for absorbed dose, The Society of Nuclear Medicine, p50, 1991

5.4 甲状腺被曝線量計算

今回の事故のように原子炉施設から、放射性ヨウ素が異常に放出されたとき、事故1日後に周辺住民の甲状腺サーベイを実施したところ、一般公衆の成人の甲状腺部位に ^{131}I が $1.0 \times 10^5 \text{ Bq}$ 検出されたとする。放射性ヨウ素の摂取経路は、吸入摂取である可能性が高いと考えられる。粒子径は不明であるが、一般公衆のデフォルト値である $1.0 \mu\text{m}$ を選択すれば、表1の実効線量係数および甲状腺残留率を用いることができる。したがって、このときの甲状腺等価線量 H は、

$$H = \frac{M}{R} \times e(50) = \frac{1.0 \times 10^5}{0.086} \times 2.9 \times 10^{-4} = 337 \text{ (mSv)}$$

と計算される。

甲状腺の放射能が2日後に $2,000 \text{ Bq}$ 検出された場合の被ばく線量は、 6.7 mSv となる。

これらの甲状腺の線量は摂取率が正常範囲であると仮定し、その値を20%として計算されている。しかしながら、多くの日本人においては、日常の食生活でヨウ素を摂取している状態ならば、摂取率が20%以下になる可能性が高く、被ばく線量も計算値よりも低くなる可能性が高い。したがって、甲状腺モニタリングによって被曝線量が算定されたとしても、あくまで推定値である。

通常、 $100 \sim 200 \text{ mSv}$ より高い線量では内部被ばくでも外部被ばくでも被ばくの線量にしたがって甲状腺がんになるリスクは増加する。しかし、そのような放射線誘発甲状腺がんリスクの増加は主に小児に限られ、成人での被ばくによるリスク増加を示す明確な証拠はない（国連科学委員会 2006 年報告書）。

6. 実施に向けて

甲状腺計測に際して重要なことは、測定対象者の衣服および頭髪、皮膚等に付着している放射性物質をできる限り除去する必要がある。本報告書の推奨する計測法は、頸部の計測であり、頸部表面からの放射能除染が可能であれば、測定値に与える影響は少ない。

簡易甲状腺モニタシステムを用いる計測は甲状腺摂取率測定装置を用いた場合と同程度である。原子力災害時における被災地住民に対する甲状腺モニタリングを実施するにあたり、測定対象者（被験者）に対する計測担当者の数、計測装置の数、および計測可能な部屋を確保することは多大な労力と資金が伴う。しかしながら、本報告書が推奨する計測システムは、簡単に移設が可能であり、操作方法も簡便であり、装置の台数確保は比較的 low コストで実現可能であると考えられる。

さらに計測方法を統一することにより、その精度を維持することもできる。これらの計測に当たる担当者の候補には、診療放射線技師が最適である。診療放射線技師は放射線計測、放射線管理学にも精通しており、何よりも医療現場において患者に接していることから、被験者に対するケアもできる。さらに、診療放射線技師には病院においては守秘義務があるため、個人データ保護に対する信頼性が高い。診療放射線技師の他、医学物理士、第一種放射線取扱主任者、第一種作業環境測定士（放射性物質）、放射線学系大学院生および放射線計測関連技術者等においても放射線計測学、放射線管理学に対して十分な知識と能力を有していることから、これらの有資格者も広く活用できると考える。但し、実際にモニタリングに従事する前に、甲状腺測定特有の技術を習得するために、数時間程度の訓練が必要である。

甲状腺モニタリングを実施する際、これら有資格者を有効に活用するためには、日本放射線安全管理学会、日本放射線技術学会、日本放射線技師会、日本アイソトープ協会放射線取扱主任者部会、およびその他関連学会と連携し、人材を確保することが必要である。

測定室の確保に対しては、避難場所の教室、会議室等を鉛入り遮蔽板等で区画することでその数の確保も可能である。こうした工夫により、多くの地域住民の甲状腺モニタリングを短期間に実施可能である。なお、モニタリングは一回の測定で完了することができないことを強調しておかなければならない。すなわち、汚染地域に滞在する限り連続して、あるいは繰り返し ^{131}I を摂取する可能性があるからである。

被曝にかかる健康調査は、必要不可欠である。被災住民の滞在地の移動、日数などは、記憶が定かな時期にヒアリング、アンケート調査の実施により得ておくことが重要である。さらに、汚染地域における放射性物質の種類と量の測定及び評価、汚染期間を推定した「汚染地域の線量分布」を策定する必要がある。このデータに基づき、住民の外部放射線に対する線量をデータベース化し、追跡できるようにするようにし、このデータベースに甲状腺モニタリングデータを追加することにより、長期にわたる地域住民の健康フォローが可能に

なる。特に、チェルノブイリでの教訓を生かし、乳幼児をはじめとする子供および若年者の被ばくに対する健康フォローは最重要課題である。

甲状腺モニタリングは、個人に対して行うことで、煩雑な作業ではあるものの、今回の災害の甚大さを考慮すれば、避けて通ることのできない事項である。さらに、甲状腺モニタリングのみが先行して実施できるものでもなく、住民の被ばくに対する心のケアならびに、将来の医療保障の確立が必要不可欠である。このため、政府関連機関ならびに地方自治体には、被災者に対する緊急被ばく医療体制、放射線障害発生時の医療体制および保障体制ならびに長期健康フォローのためのメンタルケアを中心とした体制を早急に整備することが望まれる。

7. まとめ

1. 放射線不安及び放射線 PTSD に対する対策を実施する上で、被曝の多少に関係なく、被災地域の全住民のみならず隣接地域の希望する個人の甲状腺被曝線量を評価する必要がある。
2. 内部被曝評価のために、地域住民の個人ごとに滞在地の移動、滞在日数などをできるだけ早期にヒアリング、アンケート調査を行い、記録をデータベース化する。
3. 汚染地域における放射性物質の種類と量の測定及び評価、汚染期間を推定した「汚染地域の線量分布」を経時的に策定し、データベース化する。
4. 甲状腺被曝線量の評価方法をレビューした。
5. 各種甲状腺モニタリング方法及び核医学で使用される甲状腺摂取率測定装置等を、短期間で多数の被験者をモニタリングする観点から比較・評価した。
6. 避難所等で使用可能な、安価で可搬型の簡易甲状腺モニタリングシステムを提案した。
7. 携帯可能なイメージングプレート (IP) を用いる可搬型モニタリングシステムを提案した。
8. 診療放射線技師、第 1 種放射線取扱主任者等を、簡易甲状腺モニタリングシステムを用いるモニタリングの実施において即戦力として活用することを提案した。
9. 安心のために希望する住民に対して簡易甲状腺モニタリングシステムを用いてモニタリングを実施することを提案した。
10. 平成 23 年 7 月の時点では、 ^{131}I は減衰しているので、高感度測定器を用いて甲状腺モニタリングを行っても多量の ^{131}I を摂取し、数 Sv 以上被曝した可能性のある住民以外からは ^{131}I を検出できない。

付録 放射性ヨウ素の定量法

1. 空气中放射性ヨウ素の性状

原子力発電所の事故により、近隣地域が放射能汚染に曝されている。原子力災害時において、地域住民の最大の関心事は放射線被曝に対する自身および家族への影響である。原子力災害時において放射性ヨウ素による被曝が最も重要である。

空气中に浮遊する放射性ヨウ素は、種々の原因によって物理化学形態の異なった形で存在し、4種類のヨウ素種で代表されることが多い。それらは、元素状ヨウ素 (I_2)、次亜ヨウ素酸 (HOI)、ヨウ化メチル (CH_3I) および粉塵にヨウ素が吸着した粒子状ヨウ素である。例えば、1979年の米国スリーマイルアイランド2号原子炉 TMI-2 事故時に、補助建屋の排気フィルタ上流側で分析された排気中のヨウ素種の構成は次のようである (表 1)。

表 1. ヨウ素形状と濃度

ヨウ素種類	濃度 (mBq/cm ³)	非粒子状の割合 (%)
I_2	2.5	35
HOI	1.8	25
CH_3I	2.9	40
粒子状ヨウ素	2.7	-

R.P. Bellamy, Investigations into the air cleaning aspects of the Three Mile Island accident, 16th Air cleaning Conference, CONF-801038, Vol.2, 1427 (1981)

2. 定量法 (相対測定法)

放射性ヨウ素の定量には、 β 線計測を行う方法と、放射性ヨウ素を含む試料の γ 線スペクトル分析を行う方法とがある⁹⁾。 β 線計測法は放射性ヨウ素を試料から完全に分離する必要があり、 γ 線スペクトル分析法は放射性ヨウ素を分離する必要がなく、試料をそのまま計測できる。本項では、簡便かつ実用的な γ 線スペクトル分析法による放射性ヨウ素の定量法について述べる。

3. γ 線スペクトル分析における計測

γ 線スペクトル分析には、NaI(Tl) シンチレーション検出器およびゲルマニウム検出器を用いるのが一般的であり、「放射性ヨウ素分析法、文部科学省 放射能測定法シリーズ No.4」、「NaI(Tl) シンチレーションスペクトロメータ機器分析法（文部科学省 放射能測定法シリーズ No.6）」および「Ge (Li) 半導体検出器を用いた機器分析法（文部科学省 放射能測定法シリーズ No.7）」に使用法などが詳細に述べられているので、それに従う⁹⁻¹¹⁾。

NaI(Tl) シンチレーション (NaI) 検出器は、計数効率が高いがエネルギー分解能が劣る。一方、半導体 (HPGe) 検出器はその反対の性質を持っている。したがって、混合核種の分離および検出下限の両面で HPGe 検出器の方が優れている。しかしながら、測定試料に含まれる核種が事実上 1 核種に限られる場合、或いは大容積の試料をマリネリビーカで測定する場合には、測定時間が短縮されることから、NaI 検出器の方が有利である。

尚、¹²³I の同定および定量は、159 keV の γ 線（放出割合 83.3%）を利用し、¹³¹I の同定および定量は、364.5 keV の γ 線（放出割合 82.4%）を利用して行う。

4. 計数効率の決定

試料-検出器位置が一定であるとき、計数効率は計測試料の形状および組成（比重 原子番号）に依存する。したがって、規格サイズの容器を準備し、それに一定容積になるように試料を満たして計測する必要がある。

計数効率は、同一規格容器であっても試料の占める容積が異なる場合にはそれぞれの容積ごとに決定する必要がある。

5. 光電ピーク面積の求め方

測定の対象が単一核種であり、検出器-試料の幾何学的配置および試料容器・形状・容積が γ 計数効率決定時と試料測定時とで同一であるとき、光電ピーク面積は、スペクトルのベースからの面積として差し支えない。

一方で、光電ピークのベースとなる連続分布部分（図1、灰色部分）をとり除いた残少の部分をピーク面積と定義し、光電ピークのベースとなる連続分布部分とそれ以外の部分とを連続分布差し引き法（コベル法）等¹²⁾を用いて分離する方法がある。

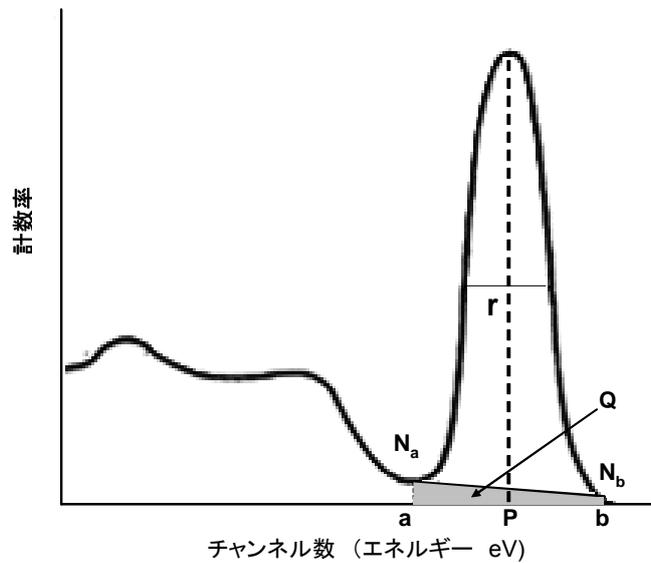


図 1. 光電ピーク面積の求め方

この方法による光電ピーク面積の決定の手順は次の通りである。

1. ピークチャンネルを読みとる。
2. ピークの半値幅を求める。
光電ピークの高さが半分に等しい点の全幅を求める。半値幅はエネルギー、チャンネル数のいずれかで表わされる。
3. 図 1 に示すようにピークチャンネル P を中心として左右に $L = 3 \times \frac{r}{2}$ チャンネルずつとり (a および b 点)、この a, b のチャンネル間の計数值 N_i の総和 P (カウント) 次式を用いて求める。

$$P = \sum_{i=p-L}^{p+L} N_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

4. a 点における計数值 N_a および、b における計数值 N_b から Q を求める。

$$Q = (N_a + N_b) \left(L + \frac{1}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

5. ピーク面積 N_p (カウント) は

$$N_p = \frac{P - Q}{0.980} \quad \dots\dots\dots (3)$$

で得られる。

他のピークやコンプトンエッジなどの妨害によって、ピークチャンネルを中心として $L = 3 \times \frac{r}{2}$ をとることが困難な場合は、L として適宜のチャンネル数を取り、上

記と同一の手順でP-Q を求め、この値をL/(r/2)によって決まる補正值（表2）で割り、ピーク面積 N_p を求める。

表 2. 補正值

L/(r/2)	補正值
0.5	0.048
0.6	0.082
0.7	0.125
0.8	0.162
0.9	0.218
1.0	0.285
1.2	0.420
1.4	0.555
1.6	0.685
1.8	0.775
2.0	0.850
2.2	0.910
2.4	0.935
2.6	0.960
2.8	0.970
3.0	0.980

6. γ 計数効率

着目したチャンネル領域に含まれる特定の γ 線の光電ピーク計の計数値 N_p および測定時間を t としたとき、 γ 計数効率 ϵ_p は、光電ピーク計の計数率 N_p/t とその γ 線の放出率 E_p に線源の壊変率 n_0 (dps) を乗じた値との比で表される。

$$\epsilon_p = \frac{N_p}{n_0 \times E_p \times t} \dots\dots\dots (4)$$

7. 放射能決定

校正用線源を用いて γ 計数効率 ε_p をあらかじめ決定しておけば、未知の放射能試料の定量は (1) 式を変形して求めることができる。

^{123}I (159 keV, 83.3%) の放射能を求める式は

$$n_0 = \frac{N_p}{\varepsilon_p \times 0.833 \times t} \quad \dots\dots (5)$$

^{125}I (27.5 keV, 114%) の放射能を求める式は

$$n_0 = \frac{N_p}{\varepsilon_p \times 1.14 \times t} \quad \dots\dots (6)$$

であり、 ^{131}I (364 keV, 81.7%) の放射能を求める式は

$$n_0 = \frac{N_p}{\varepsilon_p \times 0.817 \times t} \quad \dots\dots (7)$$

で求めることができる。

8. 標準線源

^{123}I , ^{125}I , ^{129}I および ^{131}I 標準線源 (いずれも $\pm 1.0\%$ の精度) は日本アイソトープ協会を通して入手可能であり¹³⁾、これらを使用して γ 計数効率を求めることができる。また、放出される γ 線の若干のエネルギー差により、測定精度は劣るが、 ^{123}I では ^{139}Ce (166 keV, 79.9%)、 ^{125}I では ^{129}I (29.8 keV, 57.0%)、 ^{131}I では ^{133}Ba (356 keV, 62.1%) の校正用線源 (表 3) が代用できる。

表 3. 標準線源

標準線源	崩壊形式	半減期	γ 線エネルギー (keV)	放出確率 (%)	対応核種
^{139}Ce	EC	137.7d	166	80	^{123}I
			33.4(La)		
^{129}I	β^-	$1.57 \times 10^7\text{y}$	37.6	7.5	^{125}I
			29.8 (Xe)		
^{133}Ba	EC	10.5y	81	34	^{131}I
			276	7.2	
			303	18	
			356	62	
			384	8.9	
		31(Cs)			

^{125}I および ^{131}I については、模擬線源 (^{241}Am and ^{129}I for ^{125}I , Mockiodine (^{133}Ba and ^{137}Cs) for ^{131}I) も日本アイソトープ協会を通して入手可能であるが、線源形状が一定であるため、未知の試料定量については、試料の容積に合わせて計数効率を補正する必要がある。

文献

- 1) Firestone RB, Shirley VS, ed. *Table of Isotopes 8 th edition*. John Wiley & Sons. 1996.
- 2) Hisada K, Furudate M, Sasaki Y, Konishi J, ed. *A New Textbook of Clinical of Nuclear Medicine 2nd Edition*. Kanehara & Co. Ltd. 1991; 12-58.
- 3) Taylor A, Schuster DM, Alazraki N. *A clinician's guide to nuclear medicine*. Soc Nucl Med. 2000:181-198.
- 4) Aebbersold DM, Isaak B, Thalmann G, et al. Applicability and dosimetric impact of ultrasound-based preplanning in high-dose-rate brachytherapy of prostate cancer. *Strahlenther Onkol* 2004;180:351-7.
- 5) Galalae R, Kovács G, Schultze J, et al. Long-term outcome after elective irradiation of the pelvic lymphatics and local dose escalation using high-dose-rate brachytherapy for locally advanced prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2002;52:81-90.
- 6) Martin T, Baltas D, Kurek R, et al. 3-D conformal HDR brachytherapy as monotherapy for localized prostate cancer. A pilot study. *Strahlenther Onkol* 2004;180:225-32.
- 7) Nishizawa K, Saze T, Etho M, Murabayashi K, Iwai S. In-vivo thyroid ¹²⁵I monitoring method using imaging plate. *Health Phys.* 2001; 80: 235-241.
- 8) Isotopic ratio of ¹²⁹I/¹²⁷I in seaweed measured by neutron activation analysis with g-g coincidence Y. Toh, Y. Hatsukawa, M. Oshima, N. Shinohara, T. Hayakawa, K. Kushita, and T. Ueno**Health Phys.* 83 (2002) 110-113.
- 9) 放射性ヨウ素分析法, 文部科学省 放射能測定法シリーズ No.4, 日本分析センター, 1996.
- 10) NaI (TI) シンチレーションスペクトロメータ機器分析法, 文部科学省 放射能測定法シリーズ No. 6, 日本分析センター, 1974
- 11) ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー, 文部科学省 放射能測定法シリーズ No. 7, 日本分析センター, 1992.
- 12) Covell, D. F.: *Anal. Chem.* , 31, 1785, 1959.
- 13) 日本アイソトープ協会ホームページ,
<http://www.jrias.or.jp/index.cfm/6,0,133,157,html#table2>, 2008, Sep. accessed.
- 14) NCRP report No.58 : A HANDBOOK OF RADIOACTIVITY MEASUREMENTS PROCEDURES (National Council on Radiation Protection and Measurements, 1978)
- 15) J. S. Eldridge, P. Crowther : Absolute Determination of ¹²⁵I on Clinical Applications, *Nucleonics*: 22(6) (1964) 56-59
- 16) 医療用 ¹²⁵I 密封小線源の線量及び放射能標準に関する調査研究 柚木 彰 産総研計量標準報告 Vol.4, No.3, 2006