

原子力緊急時における 公衆の被ばく線量評価に関する調査と検討

Investigation and Consideration on Evaluation of Radiation Doses
to Residents in the Case of a Nuclear Emergency

橋本 周 木名瀬 栄 宗像 雅広 村山 卓
高橋 聖 高田 千恵 岡本 明子 早川 剛
助川 正人 久米 伸英 平山 悠介 外川 織彦

Makoto HASHIMOTO, Sakae KINASE, Masahiro MUNAKATA, Takashi MURAYAMA
Masa TAKAHASHI, Chie TAKADA, Akiko OKAMOTO, Tsuyoshi HAYAKAWA
Masato SUKEGAWA, Nobuhide KUME, Yusuke HIRAYAMA and Orihiko TOGAWA

安全研究・防災支援部門
原子力緊急時支援・研修センター
防災支援研修ディビジョン

Nuclear Emergency Human Resource Development Division
Nuclear Emergency Assistance and Training Center
Sector of Nuclear Safety Research and Emergency Preparedness

March 2021

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

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

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

原子力緊急時における公衆の被ばく線量評価に関する調査と検討

日本原子力研究開発機構 安全研究・防災支援部門
原子力緊急時支援・研修センター
防災支援研修ディビジョン

橋本 周⁺¹、木名瀬 栄⁺²、宗像 雅広⁺³、村山 卓⁺⁴、高橋 聖⁺⁴、高田 千恵⁺⁵、
岡本 明子、早川 剛⁺³、助川 正人⁺⁶、久米 伸英^{*1}、平山 悠介^{*1}、外川 織彦⁺⁷

(2020 年 12 月 7 日受理)

原子力機構は、災害対策基本法及び武力攻撃事態対処法に基づく指定公共機関として、原子力災害や放射線緊急事態が発生した場合には、災害対応に当たる国や地方公共団体の要請に応じて人的・技術的支援を行う。防災基本計画及び原子力災害対策マニュアルでは、原子力機構は原子力緊急時において公衆の被ばく線量の推計・把握を支援することが要求されている。しかし、その支援について、基本方策、調査対象、調査方法、実施体制等について具体的かつ詳細には検討されていない。本報告では、公衆の緊急時被ばく線量の推計・把握に関する技術的支援について、原子力緊急時支援・研修センター内に設置された「緊急時の線量評価検討 WG」において調査・考察した結果を報告することにより、国や地方公共団体、及び原子力機構内における今後の具体的かつ詳細な検討及び活動に貢献することを目的とする。

原子力緊急時支援・研修センター：〒311-1206 茨城県ひたちなか市西十三奉行 11601-13

+1 高速炉・新型炉研究開発部門 大洗研究所 放射線管理部

+2 福島研究開発部門 福島研究開発拠点 廃炉環境国際共同研究センター 環境影響研究ディビジョン

+3 原子力緊急時支援・研修センター

+4 原子力科学研究部門 原子力科学研究所 放射線管理部

+5 核燃料・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部

+6 原子力緊急時支援・研修センター 計画調整室

+7 原子力緊急時支援・研修センター 防災研究開発ディビジョン

*1 株式会社ペスコ

Investigation and Consideration on Evaluation of Radiation Doses to Residents in the Case of a Nuclear Emergency

Makoto HASHIMOTO⁺¹, Sakae KINASE⁺², Masahiro MUNAKATA⁺³,
Takashi MURAYAMA⁺⁴, Masa TAKAHASHI⁺⁴, Chie TAKADA⁺⁵, Akiko OKAMOTO,
Tsuyoshi HAYAKAWA⁺³, Masato SUKEGAWA⁺⁶, Nobuhide KUME^{*1},
Yusuke HIRAYAMA^{*1} and Orihiko TOGAWA⁺⁷

Nuclear Emergency Human Resource Development Division
Nuclear Emergency Assistance and Training Center
Sector of Nuclear Safety Research and Emergency Preparedness
Japan Atomic Energy Agency
Hitachinaka-shi, Ibaraki-ken

(Received December 7, 2020)

In the case of a nuclear accident or a radiological emergency, the Japan Atomic Energy Agency (JAEA), as a designated public corporation assigned in the Disaster Countermeasures Basic Act and the Armed Attack Situation Response Law, undertakes technical supports to the national government and local governments. The JAEA is requested to support to evaluate radiation doses to residents in a nuclear emergency, which is specified in the Basic Disaster Management Plan and the Nuclear Emergency Response Manual. For the dose evaluation, however, its strategy, target, method, structure and so on have not been determined either specifically or in detail. This report describes the results of investigation and consideration discussed in the “Working Group for Radiation Dose Evaluation at a Nuclear Emergency” established within the Nuclear Emergency Assistance and Training Center to discuss technical supports for radiation dose evaluation to residents in the case of a nuclear emergency, and aims at contributing to specific and detailed discussion and activities in the future for the national government and local governments, also within the JAEA.

Keywords: Nuclear Emergency, Designated Public Corporation, Basic Disaster Management Plan, Nuclear Emergency Response Manual, Technical Support, Radiation Dose Evaluation to Residents

+1 Radiation Protection Department, Oarai Research and Development Institute

+2 Fukushima Environmental Evaluation Research Division, Collaborative Laboratories for Advanced Decommissioning Science, Fukushima Research Institute

+3 Nuclear Emergency Assistance and Training Center (NEAT)

+4 Department of Radiation Protection, Nuclear Science Research Institute

+5 Radiation Protection Department, Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories

+6 Planning and Co-ordination Office, NEAT

+7 Nuclear Emergency Preparedness Research and Development Division, NEAT

*1 PESCO Co., Ltd.

目次

1. はじめに	1
2. 現行の法令等における緊急時被ばく線量評価に関する記載	3
2.1 防災基本計画	3
2.2 原子力災害対策マニュアル	4
2.3 原子力機構防災業務計画	5
2.4 現行の法令等の記載に関する課題	5
3. 福島第一原発事故対応における原子力機構の緊急時被ばく線量評価の活動	8
3.1 福島県「県民健康管理調査」の概要と原子力機構の協力	8
3.2 「県民健康管理調査」WBCによる内部被ばく検査における活動	8
3.3 「県民健康管理調査」線量評価委員会における活動	12
3.4 その他の緊急時被ばく線量評価に関する活動	14
4. 技術的課題の抽出と考察	18
4.1 初期の被ばく線量評価に必要な情報の収集	18
4.2 被ばく線量の評価技術	20
4.3 その他の検討課題	21
5. おわりに	23
謝辞	24
参考文献	25
付録Ⅰ 緊急時の線量評価検討ワーキンググループに関する情報	28
付録Ⅱ 福島県「県民健康管理調査」WBCによる内部被ばく検査の プロトコル及び被ばく線量評価	30
付録Ⅲ 福島第一原発事故後に原子力機構が実施した被ばく線量評価の概要	41
付録Ⅳ Bouville らの論文の概要	49

Contents

1. Introduction	1
2. Descriptions on radiation dose evaluation at a nuclear emergency in the current laws and so on	3
2.1 Disaster Countermeasures Basic Act	3
2.2 Nuclear Emergency Response Manual	4
2.3 JAEA Disaster Management Operation Plan	5
2.4 Issues of the descriptions in the current laws and so on	5
3. Activities of the JAEA on radiation dose evaluation at a nuclear emergency at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident	8
3.1 Outlines of “Investigation on Health Management for Residents” of Fukushima prefecture and JAEA’s cooperation	8
3.2 Activities on inspection of internal exposure by WBC	8
3.3 Activities on the committee for radiation dose evaluation	12
3.4 Other activities on radiation dose evaluation in a nuclear emergency	14
4. Extraction of technical issues and their consideration	18
4.1 Collection of information necessary for early-phase evaluation of radiation doses	18
4.2 Techniques for radiation dose evaluation	20
4.3 Other issues to be discussed	21
5. Concluding remarks	23
Acknowledgement	24
References	25
Appendix I Information on “Working Group for Radiation Dose Evaluation at a Nuclear Emergency”	28
Appendix II Protocol of inspection of internal exposure by WBC and the related radiation dose evaluation within “Investigation on Health Management for Residents” of Fukushima prefecture	30
Appendix III Outlines of radiation dose evaluation conducted by the JAEA after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident	41
Appendix IV Outlines of the paper by Bouville et al.	49

1. はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構という）は「災害対策基本法」¹⁾及び「武力攻撃事態対処法」²⁾に基づく指定公共機関として、原子力災害や放射線緊急事態等が発生した場合には、災害対応に当たる国や地方公共団体の要請に応じて人的・技術的支援を行うこととなっている。

我が国の原子力災害対策に関する基本的な計画が定められている「防災基本計画（第12編：原子力災害対策編）」³⁾において、指定公共機関である原子力機構は、原子力災害応急対策として、(1) 緊急時モニタリングの支援、(2) 航空機モニタリングの支援、(3) 被ばく線量の推計・把握の支援、(4) 避難退域時検査及び簡易除染の支援、(5) 原子炉工学、放射線防護等の専門家の派遣、(6) 防災資機材の提供、(7) 住民からの問合せ対応（専用電話を備えた窓口の設置）、(8) 核燃料物質等の事業所外運搬中の事故に対する専門家の派遣、(9) 緊急事態応急対策等拠点施設への職員の派遣、という役割が求められている。

上記のうち(3)については、「国（原子力規制委員会、環境省）、指定公共機関（国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）及び地方公共団体は、原子力緊急事態宣言発出後、健康調査・健康相談を適切に行う観点から、発災後一週間以内を目途に緊急時における放射性ヨウ素の吸入による内部被ばくの把握を、一か月以内を目途に放射性セシウムの経口摂取による内部被ばくの把握を行うとともに、速やかに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。」と記載されている。すなわち、指定公共機関としての原子力機構に対して、原子力緊急時において公衆の被ばく線量の推計・把握に関する技術的支援が要求されている。

また、公衆の緊急時被ばく線量に関する技術的支援は、関係省庁のより詳細な役割分担や具体的な対応が記載されている「原子力災害対策マニュアル」⁴⁾、及び現行法令に基づいて原子力機構が指定公共機関として定めている「原子力機構防災業務計画」⁵⁾にも記載されている。しかし、健康調査・健康相談を適切に行うという目的を達成するために、基本方策（簡易検査と詳細検査の実施、検査の精度等）、調査対象（地域、対象人数、年齢構成等）、調査方法（使用する測定機器と台数、実施場所等）、実施体制（国や関連機関の連携と役割分担、測定・評価要員の人数規模等）について、具体的かつ詳細には検討されていない状況である。

このため、原子力緊急時支援・研修センター（以下、支援・研修センターという）では、公衆の緊急時被ばく線量の推計・把握に関する技術的支援について議論するため、「緊急時の線量評価検討ワーキンググループ（以下、線量評価検討WGという）」を平成28年（2016年）2月に支援・研修センター内に設置し、同年9月まで5回に渡って会合を開催した。線量評価検討WGは、被ばく線量評価や放射線計測を専門とする原子力機構内の専門家6名から構成され、以下の方針に従って議論を行った。なお、線量評価検討WGに関する情報（WGメンバー・事務局名簿、会合開催日及び報告書原稿の執筆分担）を付録Iに示す。

- ・上記に示された公衆の緊急時被ばく線量評価の課題に関する提案について、国の主導による基本方針が示されていない状況において、関連機関と十分に協議・調整することなしに原子力機構単独で短期間のうちにまとめるのは困難である。このため、線量評価検討WGでは、原子力機構が協力あるいは実施した福島第一原子力発電所事故時の緊急時被ばく線量評価の活動を調査・検討することにより、技術的課題を抽出してその考察を行う。

- ・福島第一原子力発電所事故対応における原子力機構の緊急時被ばく線量評価の活動については、特に福島県「県民健康管理調査」ホールボディカウンタによる内部被ばく検査、及び福島県「県民健康管理調査」線量評価委員会を調査・検討することにより、実施経緯、被ばく線量の評価結果、被ばく線量評価を実施する上で技術的課題を抽出してその考察を行う。
- ・福島県「県民健康管理調査」では、原子力機構が協力して実施した住民の内部被ばく及び外部被ばく線量評価を調査対象とした。原子力機構が実施したその他の被ばく線量評価については、内部被ばく線量評価を中心として文献調査を行い、被ばく線量評価を実施する上で技術的課題を抽出してその考察を行う。

本報告では、公衆の緊急時被ばく線量の推計・把握に関する技術的支援について、線量評価検討WGにおいて調査・考察した結果を報告することにより、国や地方公共団体、及び原子力機構内における今後の具体的かつ詳細な検討及び活動に貢献することを目的とする。

2. 現行の法令等における緊急時被ばく線量評価に関する記載

現行の原子力防災関連の法令等において、公衆の緊急時被ばく線量の推計・把握がどのように記載されているかを調査した。調査対象としたのは、我が国の原子力防災関連の基本的な法令である「防災基本計画（第12編：原子力災害対策編）」、関係省庁のより詳細な役割分担や具体的な対応が記載されている「原子力災害対策マニュアル」、及び現行法令に基づいて指定公共機関として原子力機構が緊急時支援業務を定めている「原子力機構防災業務計画」の3種類である。

2.1 防災基本計画

防災基本計画（第12編：原子力災害対策編）は、国土並びに国民の生命、身体及び財産を災害から保護するため、原子力防災に関して、基本理念及び必要な災害対策の基本を定めたものである³⁾。以下に、公衆の緊急時被ばく線量の推計・把握に関わる記載を抜粋する。

第1章 災害予防

(12) 公衆の被ばく線量の把握体制の整備

- 国〔原子力規制委員会、環境省〕及び指定公共機関〔国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構〕は、健康調査・健康相談を適切に行う観点から、公衆の被ばく線量の把握を迅速に行えるよう、モニタリングデータ及び移動（行動）から線量推計を行うためのツール（ソフトウェア）の整備・維持を行うとともに、線量評価要員の確保等、公衆の被ばく線量評価体制を整備するものとする。
- 国〔原子力規制委員会、内閣府、環境省〕及び指定公共機関〔国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構〕は、地方公共団体が健康調査・健康相談を適切に行う観点から行う被ばく線量の把握を支援するため、ホールボディカウンタ、甲状腺モニタ等の配備・維持管理、測定・評価要員の確保等を行うものとする。

第2章 災害応急対策

(2) 緊急時の公衆の被ばく線量の把握

- 国〔原子力規制委員会、環境省〕、指定公共機関〔国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構〕及び地方公共団体は、原子力緊急事態宣言発出後、健康調査・健康相談を適切に行う観点から、発災後一週間以内を目途に緊急時における放射性ヨウ素の吸入による内部被ばくの把握を、一か月以内を目途に放射性セシウムの経口摂取による内部被ばくの把握を行うとともに、速やかに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。

ここでは、国と指定公共機関は、災害予防措置として、

- ・被ばく線量推計を行うためのツール（ソフトウェア）の整備・維持、及び被ばく線量評価体制の整備を行うこと、
- ・被ばく線量推計用測定器の配備・維持管理、及び測定・評価要員の確保を行うこと、

が定められており、これらは、地方公共団体が健康調査・健康相談を適切に行う観点から実施する被ばく線量評価の把握を支援することが目的である。

また、国、指定公共機関及び地方公共団体は、災害応急対策として、

- ・発災後一週間以内を目途に放射性ヨウ素の吸入による内部被ばくを把握すること、
- ・一か月以内を目途に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こと、
- ・速やかに外部被ばく線量の推計を行うための行動調査を行うこと、

が定められており、これらも、原子力緊急事態宣言発出後、公衆の健康調査・健康相談を適切に行う観点から実施することが目的である。

2.2 原子力災害対策マニュアル

原子力災害対策マニュアルは、原子力防災関係の諸法令に定める事項に基づき、関係省庁が連携し一体となった防災活動が行われるよう、詳細な役割分担や具体的な対応要領を取りまとめたものである⁴⁾。以下に、公衆の緊急時被ばく線量の推計・把握に関わる記載を抜粋する。

第2 関係省庁における対応要領

第1編 事態ごとの組織・応急対策業務等

第4章 全面緊急事態

19 健康調査・管理〈医療班〉（環境省、規制庁、厚生労働省）

(1) 原子力被災者等の被ばく線量の推計

- ① 原災本部の指示の下、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構及び地方公共団体は、健康調査・健康相談を適切に行う観点から、緊急時における公衆の被ばく線量の推計を行う。
- ② 現地医療班は、公衆の被ばく線量の推計の必要性、対象（地域、年齢等）、方法（使用する機器等）、実施場所等について、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構及び地方公共団体と協議・調整を行うとともに、必要な支援を行う。
- ③ 関係指定公共機関（国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構）及び地方公共団体等は、緊急時における甲状腺簡易測定、ホールボディカウンタによる内部被ばく線量測定、及び外部被ばく線量の推計等のための行動調査を行う。

(2) 原子力被災者等の健康管理や健康相談の実施

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構及び国立研究開発法人日本原子力研究開発機構は、関係省庁、地方公共団体等が行う健康管理及び健康相談に対し、放射線の健康影響等に関する技術的な支援を行う。

ここでは、指定公共機関及び地方公共団体は、全面緊急事態において、

- ・ 原災本部の指示の下、現地医療班と協議・調整して、健康調査・健康相談を適切に行う観点から、公衆の被ばく線量の推計を行うこと、
- ・ 内部被ばく線量測定、及び外部被ばく線量の推計のための行動調査を行うこと、
- ・ 関係省庁や地方公共団体等が行う健康管理及び健康相談に対して、放射線の健康影響等に関する技術的な支援を行うこと、

が定められている。

2.3 原子力機構防災業務計画

原子力機構防災業務計画は、災害対策基本法に基づいて、原子力機構が行う緊急時支援に関する諸施策の基本計画を定めたものである⁵⁾。以下に、公衆の緊急時被ばく線量の推計・把握に関わる記載を抜粋する。

第3章 災害予防（災害に関する事前措置）

10. 公衆の被ばく線量の把握体制の整備

- (1) 国及び地方公共団体が行う公衆の被ばく線量の把握を支援するため、線量評価要員の確保等、公衆の被ばく線量評価のための支援体制を整備する。
- (2) 国及び地方公共団体が行う公衆の被ばく線量の把握を支援するため、ホールボディーカウンター、甲状腺モニター等の配備・維持管理、測定・評価要員の確保等を行う。

第4章 災害応急対策

4. 緊急時の公衆の被ばく線量の把握

原子力緊急事態宣言発出後、国及び地方公共団体と連携し、緊急時における内部被ばく線量及び外部被ばく線量の推計等に必要な技術的支援を行う。

ここでは、原子力機構は、災害予防措置及び災害応急対策として、

- ・ 公衆の被ばく線量評価のための支援体制を整備すること、
- ・ 被ばく線量推計用測定器の配備・維持管理、及び測定・評価要員の確保を行うこと、
- ・ 内部被ばく線量及び外部被ばく線量の推計に必要な技術的支援を行うこと、

が定められている。これらは、主に原子力機構の専任者及び指名専門家が行うことになる。

2.4 現行の法令等の記載に関する課題

上記に示した記載をまとめると、原子力災害等が発生した場合には、国と地方公共団体は、

- ・ 発災後一週間以内を目途に放射性ヨウ素の吸入による内部被ばくを把握すること、
- ・ 一か月以内を目途に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こと、
- ・ 速やかに外部被ばく線量の推計を行うための行動調査を行うこと、

が求められている。原子力機構は、原子力災害対策本部の指示の下、それらに関する技術的支

援を実施することとされている。また、事前準備として、支援に必要な体制の整備、被ばく線量推計用測定器の配備・維持管理、及び測定・評価要員の確保を行うことになっている。これらに対応するため、原子力機構では被ばく線量推計用測定器（甲状腺モニタ、ホールボディカウンタ等）を準備・維持管理するとともに、環境モニタリング、個人被ばく評価、環境影響評価、放射線管理という分野の指名専門家を中心とした測定・評価要員を確保している。

しかし、現行の関連法令等には、「公衆の被ばく」、「線量の推計、評価」等の公衆の緊急時被ばく線量の推計・把握に関する記載があるものの、避難退域時検査・簡易除染⁶⁾や安定ヨウ素剤の配布・服用⁷⁾に関する場合は異なり、現時点では具体的なマニュアルやガイドラインが整備されていない。このため、以下に示すような課題が生じている。

(1) 被ばく線量評価の調査対象と実施方法

公衆の緊急時被ばく線量を推計・把握することは、公衆の健康調査・健康相談を適切に行う観点から一定期間内に実施されることとされている。この目的を達成するために、基本方針（簡易検査と詳細検査の実施、検査の精度等）、調査対象（地域、対象人数、年齢構成等）、実施方法（使用する測定機器と台数、実施場所、測定・評価要員の人数規模等）について、具体的かつ詳細に検討されていない。

(2) 国や関係機関の連携と役割分担

公衆の被ばく線量を推計・把握する体制として、国（原子力規制委員会、環境省、内閣府、厚生労働省）、指定公共機関（国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下、量研機構という）、原子力機構）及び地方公共団体（道府県、市町村）という多く組織が係わることになる。これらの組織が如何に連携して如何なる役割分担をすべきかについて、十分な検討がなされていない。

上記(1)の調査対象や実施方法の一部について、「原子力災害対策指針」⁸⁾に甲状腺モニタリングに関する以下のような記載が見られる。

第3 緊急事態応急対策

(5) 防護措置

④ 原子力災害医療

立地道府県等は、国からの指示に基づき、避難退域時検査及び簡易除染等を実施する。立地道府県等は、内部被ばくの可能性がある場合には、鼻スメア及び甲状腺モニタリング、更には詳細な内部被ばく線量を推定するため、指定された拠点病院又は高度被ばく医療支援センターに搬送する。

⑤ 避難退域時検査等及び除染

(iii) 甲状腺モニタリング

甲状腺モニタリングは、避難退域時検査及び簡易除染の結果や緊急時モニタリングの結果等を踏まえ、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う。ただし、甲状腺モニタリングでは正確な甲状腺被ばく線量を推定することはできないことに留意する。

まず、簡易測定を行い、次に、詳細な測定が必要な場合には甲状腺モニターやホールボディカウンター等を用いた計測を行うこととなる。

そのためには、専門知識や機器管理等が必要であることに留意する。

当指針では、令和元年（2019年）7月3日付けの改正により、「甲状腺スクリーニング」という用語が「甲状腺モニタリング」に変更された。ただし、当指針の記載の通り、「甲状腺モニタリング」という用語自体はスクリーニング的な意味合いで用いられている。

ここでは、甲状腺モニタリングの実施方法として、

- ・避難退域時検査及び簡易除染の結果や緊急時モニタリングの結果等を踏まえること、
- ・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うこと、
- ・正確な甲状腺被ばく線量を推定することはできないことに留意すること、
- ・まず簡易測定を行い、次に詳細な測定が必要な場合にはより詳細な計測を行うこと、

が定められている。ここでは、甲状腺モニタリングの実施条件・場所と考慮すべき事項、甲状腺被ばく線量を推定する上での留意事項、簡易測定と詳細測定の実施と位置付けという重要事項が示唆されている。

3. 福島第一原発事故対応における原子力機構の緊急時被ばく線量評価の活動

3.1 福島県「県民健康管理調査」の概要と原子力機構の協力

福島県では、平成 23 年（2011 年）3 月 11 日に発生した東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故（以下、福島第一原発事故という）による放射性物質の大気拡散や県民の避難等を踏まえ、県民の被ばく線量の評価を行うとともに、県民の健康状態を把握し、疾病の予防、早期発見、早期治療につなげ、もって、将来に渡る県民の健康の維持、増進を図ることを目的として、平成 23 年（2011 年）6 月から「県民健康管理調査」事業⁹⁾を実施している。この調査は全県民を対象としており、3 月 11 日以降における県民の行動記録から被ばく線量の推計・把握を行う「基本調査」、及び県民の甲状腺検査や健康診査から健康状態の調査・把握を行う「詳細調査」の 2 つの調査から構成されている。

なお、当該事業の名称は当初「県民健康管理調査」であったが、平成 27 年（2015 年）4 月に「県民健康調査」に変更された。本報告書では、名称変更以前の時期における活動について述べることから、変更前の名称を用いることとする。

原子力機構は、当該事業における参考情報として実施された福島県民の被ばく線量評価に関与してきた。また、福島県立医科大学¹⁰⁾や放射線医学総合研究所（平成 28 年（2016 年）4 月から量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所；以下、放医研という）等も、それぞれ異なった役割で当該事業に関与してきた。原子力機構の場合には、多くは福島県からの依頼により、指定公共機関としての技術的支援として実施された。「県民健康管理調査」の中で原子力機構が協力したのは、ホールボディカウンタ（以下、WBC という）による検査から内部被ばく線量を推計する調査、及び県民の行動記録から外部被ばく線量を推計する調査という 2 つの支援活動であった。

公衆の緊急時被ばく線量の推計・把握に関する技術的支援について検討を行う上で、「県民健康管理調査」において原子力機構が支援した活動内容が重要な参考となることから、実施の経緯や結果の概要等について調査した。

3.2 「県民健康管理調査」WBC による内部被ばく検査における活動

福島県「県民健康管理調査」における参考情報として、原子力機構は WBC による内部被ばく検査を実施した。本節では、この検査に係る検討及び受託の経緯、実施方法及び結果についてまとめた。

(1) 「県民健康管理調査」検討委員会の経緯

県民の内部被ばく検査の実施に係る検討結果を記した公式な記録である「県民健康管理調査」検討委員会の配付資料及び議事録（福島県がホームページでも公開している）を基に、県民を対象とした WBC 測定を原子力機構が実施するまでの経緯を整理した。

① 第 1 回会合（平成 23 年（2011 年）5 月 27 日）

当日の配付資料『「ふくしま健康調査（仮称）」実施計画書案』には、「甲状腺モニター：ガイガーカウンターによる評価は、全対象者から 10 分の 1 抽出とする。甲状腺被ばく線量評価は、調査会場で実施する。全身直接評価（Whole Body Counter）：原則実施しない。」

との記載がある。また議事録には、この実施計画書案を説明した委員の発言として、「県民からの WBC を受けたという内部被ばくを心配する問い合わせが多いので、まず県民の不安を解消できるようにし、心配な方、検査が必要な方に対応していきたい。」とある。さらに上記発言に続く別の委員の発言として、「尿や血液採取なども行っていく。」とある。ただし、尿・血液採取の目的が、被ばく線量の評価と健康状態の確認のどちらであるのかは不明である。

このことから、事故後 3 か月を経過したこの時点では、委員会は少なくとも WBC による体外計測を「内部被ばくを心配する住民」及び「内部被ばく状況の把握が必要な住民」に実施すべきという考えがあったことが分かる。

② 第 2 回会合（平成 23 年（2011 年）6 月 18 日）

当日の配付資料「県民健康管理調査の概要」には、「基本調査」と「詳細調査」の項目が示されており、後者として「質問紙調査（生活習慣、こころの健康度等）、身体計測、血液検査、尿検査（血液、尿の一部は保存）」との記載がある。

議事録には、事務局からの発言として、「先行調査対象地域を飯舘村、川俣町山木屋、浪江町とし、住民約 28,000 人を対象にする、WBC はこの地域の住民を対象に 1 割程度を実施したい、との提案が出された。」と記録されている。また、被ばく線量評価、尿測定との関係、住民や一部の専門家までもが尿測定より WBC を望む現状、広範囲（多数）に対する WBC 検査実施の可否等について、激しい意見交換がなされた様子も記録されている。さらに「福島医大では多数の対象者に対しての WBC はできない。」との発言を受けた事務局からの発言として、「原子力機構は、現地本部長経由で確認したが、全面協力してくれると。ただ、評価は原子力機構では決められない。そこは放医研にお願いしたい。放医研が決めた内容に原子力機構は対応すると言っている。」とも記録されている。

なお、原子力機構による住民測定は、次回会合開催前の同年 7 月 11 日から開始されており、第 2 回会合以降に行われた県・現地対策本部及び原子力機構の間における検討・調整の記録は残っていない。

③ 第 3 回会合（平成 23 年（2011 年）7 月 24 日）

当日の委員会で承認された配付資料「県民健康管理（全県民対象）」¹¹⁾（健康管理のスキームを示したブロック図）では、WBC は既に「基本調査」及び「詳細調査」の枠組みから外れた位置に記載されている。

当日の議事録には、放医研所属の委員から、放医研が 7 月 10 日までに先行地域の住民 109 人を対象に実施した WBC と尿測定の結果（WBC ではヨウ素は不検出、セシウムは一部で検出。尿ではいずれも不検出。）の報告、及び受検者に渡す測定結果の様式（説明付）の説明がなされた記録がある。また、原子力機構による測定は 7 月 11 日に開始されていること、及び県で 5 台の WBC を購入予定であること等も報告されている。さらに事務局からの「WBC 検査は、現在原子力機構で 2,800 人を実施中だが、次は警戒区域、高線量の地域と、順次拡大していく考え。」との発言も記録されている。

この回を最後に、WBC については同委員会ではほとんど議論されなくなったようで、配付資料にも議事録にも記録されていない。最終的に「県民健康管理調査」として実施が決

定された項目は、「基本調査（外部被ばく線量の推計）、超音波による甲状腺検査、健康診査（一般＋ α ）、こころの健康度と生活習慣の調査、妊産婦に関する調査」であり、以降の委員会審議はこれらの項目に終始している。

(2) 測定を含む検査のプロトコル及び被ばく線量評価に係る検討の状況

福島県民を対象とした WBC は、「県民健康管理調査」の一部として実施されたが、被ばく線量把握のための「基本調査」及び健康状態把握のための「詳細調査」の枠組みからは外され、リスクコミュニケーションを目的とした内部被ばく検査と整理された。

検査開始に先立ち、被ばく線量評価の方法、記録、受検者への通知方法等を原子力機構及び放医研の専門家が協議を行い、福島県との三者連名で決定、公表された。

原子力機構による測定は平成 23 年（2011 年）7 月 11 日から開始された。開始当初は先行調査対象地域（飯舘村、川俣町山木屋、浪江町）住民の 1 割程度（約 2,800 人）を対象とすることとされ、核燃料サイクル工学研究所（以下、核サ研という）の立位型 WBC 2 台、及び原子力科学研究所の椅子型 WBC 1 台で測定を行った。その後、対象範囲は避難地域、福島県内全体と徐々に拡大された。これに伴い、平成 23 年（2011 年）9 月からは核サ研が所有する WBC 車を福島県内に派遣し、巡回型検査を開始、さらに福島環境安全センターでも独自に WBC 車 2 台を購入し、この巡回型検査に追加投入した。

WBC による内部被ばく検査の手順（受検者個人への通知用記録様式を含む）、及び摂取シナリオを想定した内部被ばく線量の算出方法を付録Ⅱに示す。付録Ⅱに記述された内容は、既に発表された論文等¹²⁻¹⁴⁾に記載されたものである。測定結果は総括として本文に記述するが、検査の手順や被ばく線量の算出方法は技術的課題の抽出やその考察を行うために重要となるため、既発表論文等の内容を再構築・再編集して付録Ⅱに記述した。

(3) 原子力機構による WBC の測定結果¹²⁻¹⁴⁾

「県民健康管理調査」の参考情報として実施された WBC 検査の個々の結果自体を原子力機構として発表することは原則認められていない。しかし、検査の妥当性や全体の結果を公表し、広く意見を得る目的から、特別に許可を得て学会やシンポジウムで発表が行われた。本項では、平成 24 年（2012 年）3 月末までに原子力機構で実施された測定の結果を示す。WBC による内部被ばく検査における対象者の状況、及び被ばく線量評価の結果を表 3-1 及び表 3-2 に示す。

表 3-1 WBC による内部被ばく検査における対象者の状況

年齢	男性	女性	合計
4 歳以上 8 歳未満	1,622	1,554	3,176
8 歳以上 13 歳未満	2,047	2,022	4,069
13 歳以上 18 歳未満	1,240	1,254	2,494
18 歳以上	1,257	3,552	4,809
合計	6,166	8,382	14,548

表 3-2 WBC による内部被ばく検査における被ばく線量評価の結果※1

年齢	1 mSv 未満	1 mSv 以上 2 mSv 未満	2 mSv 以上 3 mSv 未満	3 mSv 以上
4 歳以上 8 歳未満※2	3,160	6	8	2
8 歳以上 13 歳未満	4,064	5	0	0
13 歳以上 18 歳未満	2,494	0	0	0
18 歳以上	4,807	2	0	0
合計	14,525	13	8	2

※1：平成 24 年（2012 年）1 月 31 日までは急性の吸入摂取シナリオに基づく評価、平成 24 年（2012 年）2 月 1 日以降は日常的な経口摂取シナリオに基づく評価の結果

※2：平成 23 年（2011 年）10 月 1 日～平成 24 年（2012 年）1 月 31 日の間に測定した者については、同伴家族等の測定結果から総合的に評価した結果を使用

(4) WBC による内部被ばく線量評価に関する課題と考察

3.2 節(1)～(3)の記述や付録Ⅱ等に基づいて、WBC による内部被ばく線量評価に関する技術的課題を抽出してその考察を行った。以下に、その抽出と考察の結果を示す。

- ・原子力機構が WBC 検査を開始したのは、原発事故発生からちょうど 4 か月後の平成 23 年（2011 年）7 月 11 日であった。このため、長半減期核種である放射性セシウムのみについて課題抽出と考察を行うこととなった。

- ・WBC による内部被ばく線量評価については、発災後一定期間内（放射性セシウムの経口摂取による内部被ばくの場合は一か月以内を目途）に把握するという時間的な条件を除けば、WBC 検査の基本的な手順はほぼ確立されており、検査結果から内部被ばく線量の算出方法についても基本的な技術は概ね整備されていると判断できる。
- ・WBC の検査結果から内部被ばく線量を算出する上で最も不確実さが大きいのは、放射性物質を摂取した日を特定すること、すなわち摂取初日から測定日までどのような経時変化で摂取が行われたかを特定することが困難なケースが少なくなかったことである。摂取日や経時変化の特定が困難な場合には、「急性摂取シナリオ」と「日常的な摂取シナリオ」という 2 つの摂取シナリオを想定して被ばく線量を算出した。想定した摂取シナリオの精度や不確かさを検証・確認するとともに、必要ならば想定やシナリオを改善することが必要であろう。特に、「急性摂取シナリオ」は最も安全側の評価であることに留意し、どの程度安全側なのかを検討することが必要であろう。
- ・放射性物質の摂取から WBC 検査までの経過時間が長くなってしまった場合、特に年齢の小さい小児や乳児については代謝作用等による体外への排出が進んでしまったため、低い線量に相当する体内残留量を検出することが困難であった。このような場合には、行動が概ね同一であった家族の測定結果を参考として被ばく線量評価を行った。設定した仮定の精度や不確かさを検証・確認するとともに、必要ならばより現実的な仮定を設定することが必要であろう。

3.3 「県民健康管理調査」線量評価委員会における活動

福島県は、「県民健康管理調査」における「基本調査」の一環として、住民の行動記録から外部被ばく線量を推計するため、平成 23 年（2011 年）7 月に「県民健康管理調査」線量評価委員会を設置した。当委員会の審議事項は、外部被ばく線量評価のための線量マップ、外部被ばく線量評価のための住民行動調査、外部被ばく線量評価結果のデータベース、その他外部被ばく線量評価に関することとした。なお、当委員会は 6 名の専門家で構成され、そのうち原子力機構から 1 名が参加した。また事務局は福島県保健福祉部健康衛生総室が行った。

(1) 「県民健康管理調査」線量評価委員会における検討

福島県民の外部被ばく線量評価に係る検討結果を記した公式な記録である「県民健康管理調査」線量評価委員会の配付資料及び議事録を基に、当委員会における外部被ばく線量評価に関する検討結果を整理した。以下にその検討結果の概要を示す。

① 第 1 回会合（平成 23 年（2011 年）7 月 22 日）

第 1 回目の会合では、福島県「県民健康管理調査」における外部被ばく線量評価方法について検討した。具体的な被ばく線量評価には、放医研が開発した住民外部被ばく線量評価システム¹⁵⁾を適用し、調査対象住民の行動記録を基に作成した行動パターンを、1 時間または 1 日単位の空間線量率マップと照合させることにより算定することとした。県民の活動した場所に応じた行動パターンは、居住場所となった屋内や屋外、外出先の屋内や屋外、移動元から外出先までの移動中などの時空間を対象とした。空間線量率マップには、SPEEDI コードによる計算結果¹⁶⁾と文部科学省（以下、文科省という）のモニタリングデ

ータ¹⁷⁾を活用することとした。会合では、バックグラウンド線量率の取扱い、建物による空間線量率の低減効果、SPEEDI コードと実測結果の相違、防護量と実用量の取扱いについて議論があった。

② 第2回会合（平成23年（2011年）11月22日）

第2回目の会合では、より具体的な外部被ばく線量評価方法について検討した。ガンマ線に対する建物による低減係数、空気カーマや周辺線量当量から実効線量への換算係数、国際放射線防護委員会（ICRP: International Commission on Radiological Protection）の基本勧告（Publ.60 と Publ.103）^{18,19)}の実効線量の定義の相違（照射ジオメトリの相違を含む）、成人と小児の実効線量の相違について議論があった。

③ 第3回会合（平成23年（2011年）12月2日）

第3回目の会合では、避難行動パターンのモデルケース別の外部被ばく線量の試算結果について検討した。外部被ばく線量評価では、平常時のバックグラウンドを加算しない空間線量率を用いて実効線量を算定することとした。外部被ばく線量評価に用いる空間線量率マップは、平成23年（2011年）3月12日から14日まではMELCOR コード^{20,21)}によるソースターム計算結果を用いたSPEEDI コードの評価結果、平成23年3月15日以降は文科省公表のモニタリングデータに基づくことにした。空間線量率マップの空間メッシュサイズは約2km四方とした。外部被ばく線量評価（試算）では、1日単位の空間メッシュ内の平均空間線量率に基づいたモデルケース18例の試算結果を検討した。今後の福島県民個人ごとの外部被ばく線量を推計するに当たり、正確な行動記録の重要性を確認した。なお、個人線量計が正しい位置に着用された場合の個人線量当量と実効線量の関係についても議論があった。

(2) 県民の行動記録を用いた外部被ばく線量評価に関する課題と考察

以上、3回の会合により、福島県「県民健康管理調査」における外部被ばく線量評価方法の具体的なあり方について検討し、「県民健康管理調査」線量評価委員会を終了した。

3.3 節(1)の記述や当委員会の議事録等に基づいて、県民の行動記録を用いた外部被ばく線量評価に関する技術的課題を抽出してその考察を行った。以下に、その抽出と考察の結果を示す。

- ・ 県民の行動記録に基づいた外部被ばく線量評価については、放医研が開発した住民外部被ばく線量評価システムを適用することができ、評価手法やシステム等の基本的な技術は概ね整備されていると判断できる。このシステムは、県民の行動パターンと時系列の空間線量率分布を主たる入力情報として用い、屋内と屋外での滞在時間、建物の遮蔽効果等を考慮して、住民の外部被ばく線量を算出するものである。
- ・ 本システムを用いて外部被ばく線量を算出する上で最も不確かさが大きいのは、住民の行動パターンの記録と時系列の空間線量率分布であり、精度の高い線量評価のためにはより正確なデータが必要である。前者は問診票による調査で得られたものであったが、住民の記憶や申告に依存する主観的な調査は不確かさが大きいと考えられるとともに、移動経路に関する質問がなかったこと、かつ問診票の回収率がかなり低かったという課

題があった。また、後者はモニタリングデータと大気拡散シミュレーションを併用・融合したものであったが、特に事故初期にはモニタリングデータが少なかったため、大気拡散シミュレーションに頼らざるを得ずに信頼できる空間線量率マップの構築が行えないという課題があった。使用した住民行動パターンと空間線量率分布はともに、被ばく線量評価を実施した当時の状況を考慮すれば最善と思われるデータであったが、より信頼性の高いデータを得るために、評価手法やシステムの継続的な見直しと改善が必要であろう。

- ・その他、バックグラウンド空間線量率の取扱い、空気カーマや周辺線量当量から実効線量への換算、防護量と実用量の取扱い、成人と小児の実効線量の相違、個人線量当量と実効線量の関係、建物による空間線量率の低減係数など、外部被ばく線量評価を行う上で重要となる要因について議論されたが、これらの要因は通常から十分に議論して基本的な合意を得ておくことが重要であろう。

3.4 その他の緊急時被ばく線量評価に関する活動

公衆の緊急時被ばく線量の推計・把握に関する技術的支援を検討する上で参考とするため、原子力機構が福島第一原発事故後に実施した、福島県「県民健康管理調査」以外の被ばく線量評価について、公衆の内部被ばく線量評価を中心として文献調査を行った。作業員あるいは外部被ばくについても、検討を進める上で参考となり得る文献は調査の対象とした。文献調査の結果を付録Ⅲの表Ⅲ-1に示す。ここでは、本WGにおける検討を進めるに当たって事務局が調査した文献、WGメンバーが実施した研究開発をまとめた文献、あるいはWGメンバーが参考になると考えた文献を中心に収集し、内容の確認を行った。表Ⅲ-1では、緊急時被ばく線量の推計・評価に直接関わる文献(No.①～No.⑩)のほか、評価手法やその課題等を記述した文献(No.参考①～No.参考⑤)についても参考として記載した。

表Ⅲ-1の記載に基づいて、各種の緊急時被ばく線量評価の実施内容、評価条件、評価結果等の概要をまとめるとともに、技術的課題を抽出してその考察を行った。以下に、(1)放射性ヨウ素による内部被ばく線量、(2)放射性セシウムによる内部被ばく線量、(3)外部被ばく線量に分類して、概要のまとめ、技術的課題の抽出及びその考察についての結果を示す。

(1) 放射性ヨウ素による内部被ばく線量

- ・WBC検査及びNaIサーベイメータ測定(鉛コリメータ付き)を併用して、東京電力株式会社(以下、東電という)の作業員に対してI-131による内部被ばく線量を推定した(付録Ⅲの表Ⅲ-1におけるNo.②)。ここでは、平成23年(2011年)3月11日から従事していた作業員は3月12日に、その他の作業員は作業開始日に全量の放射能を吸入摂取したと仮定する「急性摂取シナリオ」を用いた。WBC検査による甲状腺中I-131の方がNaI測定より一桁程度大きく推定された。これは、体表面汚染の影響によって過大評価の可能性があると考えられた。WBC検査では体表面汚染の影響が大きいため、確実に除染する必要があることが示された。一方、NaIによる甲状腺測定では、甲状腺残留量の最大値は182 kBq、甲状腺等価線量の最大値は6,400 mSvと推定され、表面汚染がある程度存在する場合には、WBC測定と併せて、コリメータ付きNaIサーベイメータ測定が有効であること

が示された。

- ・簡易型及び精密型 WBC 検査を用いて、東電作業員に対して I-131 による内部被ばく線量を推定した（付録Ⅲの表Ⅲ-1 における No.③）。ここでは、簡易型 WBC は NaI 検出器と Shadow Shield 型遮へい（鉄材 10 cm）、精密型 WBC は Ge 検出器と鉄遮へい室（鉄材 20 cm）をそれぞれ用い、頸部 I-131 測定は精密型 WBC で実施された。I-131 は 560 人の受検者のうち 194 人で検出され、甲状腺残留量の最大値は 9,800 Bq、預託実効線量の最大値は最終的に 540 mSv と推定された。預託実効線量に占める I-131 の寄与が 8 割以上と大きく、内部被ばく線量評価における I-131 の定量が重要であることが示された。I-131 の摂取量を正確に算出するためには、早期の検査のみならず行動調査に基づいた正確な摂取時期の特定が必要であることが示された。
- ・WBC 検査を用いて、原子力機構の防災業務従事者（福島県に派遣された職員）に対して I-131 及び放射性セシウムによる内部被ばく線量を評価した（付録Ⅲの表Ⅲ-1 における No.④）。ここでは、福島県における活動期間初日に全量の放射性物質を吸入摂取したと仮定する「急性摂取シナリオ」を用いた。実効線量については、最大値 0.80 mSv、平均値 0.24 mSv、また甲状腺等価線量については、最大値 13 mSv、平均値 4.0 mSv と推定された。ヨウ素／セシウム比は人によって大きく異なることから、業務従事者の行動調査等による摂取時期の詳細な検討が必要であることが示された。
- ・甲状腺計測や全身計測（WBC）という個人計測値及び大気拡散シミュレーションを併用することにより、福島県民に対して事故初期における放射性ヨウ素による内部被ばく線量を推定した（付録Ⅲの表Ⅲ-1 における No.⑤、⑥）。被ばく線量評価は個人計測値に基づくことを基本とするが、個人計測値の実測データが得られない地域の県民に対する評価には大気拡散シミュレーションに基づく方法が用いられた。ここでは、平成 23 年（2011 年）3 月 15 日に全量の放射性物質を摂取したと仮定する「急性摂取シナリオ」、及び 3 月 12 日から測定日前日まで均一に摂取したと仮定する「慢性摂取シナリオ」の両方を想定した。また、甲状腺計測データは極めて限定的であったので、WBC 測定値から推定した実効線量の値を活用して、ヨウ素／セシウム比から放射性ヨウ素による内部被ばく線量を間接的に推定した。最も高く評価される 1 歳児に対して、甲状腺等価線量の 90 パーセンタイル値として 30 mSv と推定された。サイト近傍の県民については、比較的大量の放出があった 3 月 15 日までの避難により、内部被ばくが大幅に回避されたことが示された。被ばく線量評価結果には不確かさの要因が多く残されており、精度向上のためには引き続き調査・検討が必要である。特に、大気拡散シミュレーションは十分に精度が高いとは言えず、更なるモデルの改良と放射性物質の放出条件の精査を行うことが必要であろう。
- ・福島県、茨城県及び東京都における水道水中の I-131 濃度の経時変化データを用いて、これら三県の乳児（1 歳）に対して甲状腺等価線量及び実効線量を推定することにより、水道水摂取制限による回避線量を評価した（付録Ⅲの表Ⅲ-1 における No.⑦）。福島県飯舘村では、甲状腺等価線量 8.3 mSv、実効線量 0.41 mSv が回避されたと推定され、水道水摂取

制限は甲状腺等価線量の低減に有効であることが示された。

(2) 放射性セシウムによる内部被ばく線量

- ・WBC 検査を用いて、福島県住民に対して放射性セシウムによる内部被ばく線量を評価した（付録Ⅲの表Ⅲ-1 における No.①）。ここでは、平成 24 年（2012 年）1 月末までは「急性摂取シナリオ」、それ以降は「日常的な摂取シナリオ」を用いた。最大被ばく線量は 2.8 mSv と推定されたが、受検者数の 90 % 以上は検出限界以下であった。内部被ばく線量が 1 mSv 以上と推定された者のほとんどは小児であり、内部被ばく線量評価における小児の重要性が示された。しかし、被ばく線量評価値が高かった小児も、実際の被ばく線量はもっと低い可能性があると考えられた。それは、使用した「急性摂取シナリオ」の想定、家族の線量から小児の線量の推定という安全側の評価によるものである。
- ・簡易型及び精密型 WBC 検査を用いて、東電作業員に対して Cs-137 による内部被ばく線量を推定した（付録Ⅲの表Ⅲ-1 における No.③）。Cs-137 はすべての受検者で検出され、全身残留量の最大値は 420,000 Bq と推定された。精密型 WBC と簡易型 WBC の結果を比較すると、両者はほぼ同じ傾向を示したが、精密型 WBC による体内残留量の方が簡易型 WBC よりも 20 % 程度大きかった。これは、両システムの校正の違いによる系統的な差であると考えられた。
- ・福島県、茨城県及び東京都におけるスギ花粉中の Cs-137 濃度の観測データを用いて、これら三県に居住する成人に対して預託実効線量及び預託等価線量を推定した（付録Ⅲの表Ⅲ-1 における No.⑩）。観測データには平成 24 年（2012 年）2 月上旬から 5 月末までのデータ、計算には原子力機構で開発した DSYS-chronic コード（付録Ⅲの表Ⅲ-1 における No. 参考①及び No. 参考②を参照）を用いた。スギ花粉中の Cs-137 による預託実効線量は nSv オーダーと推定され、平成 24 年（2012 年）においては内部被ばくによる影響はごく小さいことが示された。

(3) 外部被ばく線量

- ・放射性物質の環境挙動に関する数学モデル（物理的崩壊以外に風雨による環境中減衰を考慮したモデルを考案）を利用して、事故で放出され地表に沈着した放射性物質による福島県内（浪江町、飯舘村、川俣町及び福島市）における外部被ばく線量を推定した（付録Ⅲの表Ⅲ-1 における No.⑨）。短半減期核種の測定値はほとんどないため、短半減期核種の寄与を評価するには数学モデルを考案して計算する必要があった。中・長半減期核種に対するモデル予測は測定値を概ね再現したため、考案したモデルの精度が検証・確認された。モデル計算では、最初の一か月は Te-132（半減期：3.25 日）と I-131（8.05 日）が支配的な放射性物質であり、その後は Cs-134,137（半減期はそれぞれ 2.05 年、30.1 年）が支配的であることが示された。
- ・福島県内（田村市、川内村及び飯舘村）において、サーベイメータによる空間線量率の測

定、個人線量計による個人線量の測定等を実施し、空間線量と個人線量の関係を解析するとともに、住民の帰還後に想定される個人線量レベルの推定を試みた（付録Ⅲの表Ⅲ-1における No.参考④及び No.参考⑤）。実測と実験の結果から、調査地域においては、空間線量率に換算係数（0.7）を乗ずることによって個人線量（18 歳以上の大人）を適切に推定できること、大人以外の年齢に対する換算係数については 0.85（生後から 3 歳まで）及び 0.8（3 歳から 18 歳）を提案できること、生活の場における空間線量率とそこでの生活時間を仮定することで、およそその年間被ばく線量を推定できること、などが示された。個人線量計のエネルギー特性の影響、空間線量率の不均一性の影響、事故以前のバックグラウンド空間線量率の取扱い等が残された課題である。

4. 技術的課題の抽出と考察

福島第一原発事故対応における原子力機構の職員が実施・協力した、住民に対する被ばく線量評価に関する経験を受けて、線量評価検討WGにおいて意見交換を行った。福島第一原発事故対応における住民の被ばく線量評価活動は、必ずしも事故の初期段階（Early-phase）における対応ではなかったが、その経験は多くの課題や反省点の指摘につながった。

福島第一原発事故対応において、事故の初期段階における住民の被ばく線量評価が困難であった最大の要因は、住民の初期被ばくに関する情報量が圧倒的に少なかったことにありと集約できるだろう。具体的には、内部被ばく線量評価に必要な甲状腺サーベイ、全身計測（WBC）及び体表面汚染検査等の結果、早期のバイオアッセイ、空气中放射性物質濃度等の測定記録、また外部被ばく線量評価に必要な住民の行動パターンに関する調査記録、時系列の空間線量率分布等が、いずれも十分に得られなかった。

また、もう一つの要因として、被ばく線量評価方法の技術的に不足している部分が存在することについても指摘された。これまで、放射線業務従事者を想定した被ばく線量評価手法が整備されてきたが、その評価対象は就業中の成人に対する被ばくに関する評価手法であり、一般住民が対象となることにより、より広範な人々の年齢・性別や日常生活全般を想定した被ばくの評価が求められた。

以上の2点について、以下に考察する。

4.1 初期の被ばく線量評価に必要な情報の収集

事故初期における住民の被ばく線量をより正確に評価するためには、対象住民の個人ベースのデータとして甲状腺線量測定、全身計測（WBC）、体表面汚染測定等の結果、行動パターンの調査記録、さらに環境放射線（能）データとして空間線量率や空气中放射性物質濃度の測定記録等の実データが重要であり、これらは事故初期の現場でタイムリーに取得・整理すべき情報である。

これらの情報収集方法については、住民の被ばく線量評価の第一ステップとして位置付けられる必要がある。今回の検討において、原子力事故の初期段階における住民の被ばく線量評価とそのための情報収集を防災基本計画とその関連マニュアル類を紐解いたところ、健康調査・健康相談の適切な実施の観点という基本方針が謳われているものの、その実施方法について十分にブレイクダウンが進んでいないことが指摘された。本報告書の論点である、事故初期における住民の被ばく線量評価についても、必要な活動や戦略が具体化されておらず、そのために必要な体制、要員及び資機材も明確になっていない。また、事故初期においては、住民の被ばく線量評価に必要な活動だけでなく、被ばく低減対策である避難や屋内退避等も行われるが、これらの対策全般を通じての優先順位やバランスについて検討されておらず、そのような検討の必要性も十分認識されていない。端的には、防災基本計画に記載された「公衆の被ばく線量の把握を迅速に行う」ための施策に、十分な実施の裏付けがないと言える。このため、避難退域時検査・簡易除染や安定ヨウ素剤の配布・服用の場合と同様に、具体的なマニュアルやガイドラインを整備することが重要であろう。

しかしながら、事故の初期段階における住民の被ばく線量評価のための施策については、世界的に見ても有効なマニュアルやガイドラインの類は見当たらない。そのような状況の中で、

有用と思われるものは A. Bouville らの論文「Guidelines for Exposure Assessment in Health Risk Studies Following a Nuclear Reactor Accident」²²⁾である。この論文では、4つの原子力施設の事故（Windscale: 1957, TMI: 1979, Chernobyl: 1986, Fukushima: 2011）の経験を踏まえて、原子力施設事故後の被ばく線量評価のガイドラインを提案しており、それぞれの適用について、住民が被ったリスクを事故の初期段階及び後期段階で予見的に推定する目的と、遡及的に詳細な被ばく線量評価を行って疫学調査へ適用する目的で整理されている。付録Ⅳに当該論文の内容を箇条書きで示す。本ガイドラインは、必ずしも広く関係者の検討を踏まえたものではないが、大いに示唆に富む内容であり、国や地方公共団体ばかりでなく、原子力機構においても今後の具体的かつ詳細な検討及び活動に参考となると考えられる。表 4-1 に当該論文の要点となる表を引用する。本報告書における論点である「公衆の被ばく線量の把握を迅速に行う」という目的のためには、表 4-1 において「事故の初期段階でリスク推定への適用」という記載事項を参考とすべきであろう。

表 4-1 Bouville らの論文で提案された原子力施設事故後の
被ばく線量評価ガイドラインとその運用

GL※	施 策	リスク推定への適用		疫学調査への 適用
		初期段階	後期段階	
1	被ばく者の登録名簿作成	不要	不要	必須
2	個人ベース線量の測定結果収集	有効	有効	極めて有効
3	被ばく者の個人情報収集	不要	不要	極めて有効
4	放射線場のデータ収集	必須	必須	必須
5	現実的でバイアスのない線量計算	有効	必須	必須
6	被ばく線量推定の検証	不要	有効	極めて有効
7	被ばく線量推定の不確かさ評価	不要	極めて有効	極めて有効

※ガイドライン（Guideline）

防災基本計画に記載された「公衆の被ばく線量の把握を迅速に行う」ための施策を具体化させるためには、我が国においてこのようなマニュアルやガイドラインを整備することが不可欠である。その中には、Bouville らの論文のように、具体的な施策について、目的や時系列に応じた重要度と優先度の評価が行われていることが重要である。その際には、以下の課題について、一定の解決を図る必要があるだろう。

(1) 優先事項の整理

原子力事故において公衆に被害が及ぶ可能性がある場合には、避難等の放射線影響を避ける防護対策の実施が最優先となる。その際には状況や事態の混乱も予想され、またリソースも限られるであろう。そのような状況において、住民の被ばく線量評価をその後に効果的なものとするため、避難活動等を妨げずに取得可能な情報、被ばく線量評価に不可欠な情報、被ばく線量評価のために有益な情報について想定し、それぞれの取得方策を明らかにしておくべきである。

(2) 重要度と優先度に関する共通認識

公衆の被ばく線量評価のための情報の重要度と優先度の評価について、関係者間で合意して共通認識を持つておくべきである。

さらに、福島第一原発事故対応の反省を加えるとすれば、被ばく線量評価に必要な情報の質の制御についても検討する必要があるだろう。事故当初の実測データは、個人の被ばくに関する情報であれ環境放射線（能）データであれ、たとえ精度や信頼性、頻度、密度が低くても重要なデータになり得る。事故当初の混乱の中では測定精度や信頼性をむやみに求めるべきではないだろう。一方で、時間の経過に伴い対応体制の強化・充実が図られれば、測定や調査における適切な精度や信頼性を求めるべきであろう。

4.2 被ばく線量の評価技術

NaI サーベイメータによる検査あるいは WBC 検査を使用した内部被ばく線量評価（甲状腺等価線量や実効線量の推定）については、発災後一定期間内という時間的な条件を除けば、基本的な検査手順はほぼ確立されており、検査結果から内部被ばく線量の算出方法についても基本的な技術は概ね整備されていると判断できる。また、住民の行動記録に基づいた外部被ばく線量評価については、住民外部被ばく線量評価システム等が開発されており、これも一定期間内という時間的な条件を除けば、評価手法やシステム等の基本的な技術は概ね整備されていると判断される。

しかし、原子力事故の初期段階における住民の被ばく線量評価をより高精度で実施するために、さらなる技術開発を要するだろう。技術開発が必要と思われる項目を以下に挙げるが、限られた要員、資機材及び予算を考慮すると、それらの重要度と優先度を検討しておくことが必要である。

(1) 住民の被ばく線量評価に必要な事故初期における測定

原子力災害時における環境放射線（能）データ（空間線量率、空气中放射性ヨウ素濃度、飲料水中・農畜産物中放射性物質濃度等）や住民の被ばくに関する情報（甲状腺計測、全身計測、体表面汚染等）について、適切な情報量とその質（種類、量、密度、頻度、精度、信頼性等）に関して現時点では十分な議論や検討が行われていない。この課題を解決するためには、例えば、“NCRP Report No.163, Radiation Dose Reconstruction: Principles and Practices”²³⁾等を参考に、線量再構築を念頭に必要な情報の量と質を考察しておくことは可能かもしれない。

精度の高い環境放射線（能）及び住民の被ばくに関する情報を取得するためには、測定の目的に即したより精度の高い測定器を使用すること、また必要ならば新規の測定器を開発することが有用であり、測定技術の継続的な向上が必要となるだろう。しかし、事故初期におけるこれらの情報には比較的大きな不確かさがあり、かつ情報量も圧倒的に少ない場合が多いので、環境シミュレーション等を活用した補完的な評価方法を検討・整備しておくことも重要なことであろう。

また、甲状腺計測や全身計測の結果から内部被ばく線量を評価する場合、「急性摂取シナリオ」は最も安全側の評価であることに留意し、どの程度安全側なのかを検討することが必要であろう。

(2) 特定の個人対象の遡及的な被ばく線量評価手法

住民の被ばく線量を推定するための、移動履歴、飲食履歴等の行動記録の内容について、被ばく線量評価の要求精度を考慮して評価するべきであろう。また、住民個人の特性（年齢、性別、体格、食生活、生活様態等）に応じた線量係数（外部被ばく及び内部被ばく）や生理学的パラメータ（呼吸率、飲食物消費量等）等を決めておくなど、個々人を対象とした被ばく線量評価手法の整備も不十分な部分がある。この他、バックグラウンド空間線量率の取扱い、空間線量率から実効線量への換算、建物による遮蔽効果や換気効果等の要因については、通常から十分に議論して基本的な合意を得ておくことが重要であろう。

特に、住民の行動記録は、内部被ばく及び外部被ばく線量評価の双方において重要であるが最も不確かさの大きい情報であると考えられる。福島第一原発事故対応では、住民の行動記録は問診票による調査で得られたものであったが、住民の記憶や申告からより正確な情報を引き出すための方法を検討・改善する必要がある。この時の経験に基づき、行動記録の項目についてパラメーターサーベイを行うなどの評価が必要と考えられる。事故当時の状況を考慮すれば最善と思われるデータであったが、より信頼性の高い被ばく線量評価を行うために、データ取得手法及び解析手法の継続的な改善が必要であろう。

4.3 その他の検討課題

防災基本計画等に記載された公衆の被ばく線量を推計・把握する実施体制については、国の行政機関として原子力規制委員会、環境省、内閣府及び厚生労働省、また指定公共機関として量研機構及び原子力機構、さらに地方公共団体として道府県及び市町村という多く組織が係わることになる。これらの組織が如何に連携して如何なる役割分担をすべきかについて、国が主導することにより十分な議論と検討を行い、具体的なマニュアルやガイドラインの整備に反映させるべきである。また、量研機構と原子力機構による技術的支援については、限られた要員、資機材及び予算を考慮して、事前準備と災害応急対策の双方において、両機関がこれまで培った技術と能力を互いに補完するような有機的な連携・協力を検討することが必要であろう。

原子力災害時には、国の指揮と統括の下で、国、地方公共団体、原子力事業者、関係指定公共機関等が連携して、緊急時モニタリングセンター（以下、EMC という）²⁴⁾を立ち上げ、緊急時モニタリングに関する実施計画の作成と改訂、測定・分析の実施、データの解析・評価・集約等を実施し、関係機関に情報提供を行う。従って、環境放射線（能）データ（空間

線量率、大気中放射性物質濃度、環境試料中放射性物質濃度等)の取得・整理については EMC の役割は重要であり、住民の被ばく線量評価を精度良く行うためには、被ばく線量評価の担当者と技術支援者は EMC と密に連携を取ることが重要であろう。

5. おわりに

防災基本計画の中で、国や原子力機構等は原子力緊急時に被ばく線量の推計・把握のための体制や施策の構築を求められている。このため、原子力機構内の被ばく線量評価や放射線計測の専門家からなる線量評価検討WGを平成28年（2016年）2月に支援・研修センターに設置し、同年9月まで会合を5回開催した。当WGでは以下の二つの課題を抽出し考察した。

一つ目の課題は、被ばく線量評価に必要な情報の収集・整理であり、福島第一原発事故対応において、事故の初期段階における住民の被ばく線量評価が困難であった最大の要因は、環境放射線（能）及び住民の初期被ばくに関する情報量が圧倒的に少なかったことにある。これは、本件に限らず、同様な問題解決の際には現状把握のための情報収集が重要であることを示している。環境放射線（能）データについては、それらを迅速に取得することと精度を高めるということは相反している。防災基本計画では、発災後一週間以内を目途に放射性ヨウ素の吸入による内部被ばくの把握、及び一か月以内を目途に放射性セシウムの経口摂取による内部被ばくの把握が求められている。これらのことから、放射性ヨウ素に対しては迅速性、放射性セシウムに対してはある程度の精度がそれぞれ要求されていることを踏まえ、この相反に対応することが必要と思われる。関連機関がこの相反する作業を効率的に実施するために、具体的な施策について目的や時系列に応じた重要度と優先度を検討し、具体的なマニュアルやガイドラインに反映・整備しておくことが重要であろう。

もう一つの課題は、被ばく線量の評価技術であり、より精度の高い測定器の使用・開発及び測定技術の継続的な向上が必要になるだろう。一つ目の課題でも述べているが、原子力災害時における環境放射線（能）データ（空間線量率、空気中放射性物質濃度等）の収集・整理は重要であり、これについてはEMCが重要な役割を果たすだろう。また、住民の移動履歴や飲食履歴等の行動記録については、住民個人の特性（年齢、体格、生活様態等）に応じた線量係数や生理学的パラメータ（呼吸率、飲食物消費量等）等を決めておくなど、個々人を対象とした被ばく線量評価手法の整備も重要である。正確な情報を得ることはより高精度の被ばく線量評価に繋がるが、事故初期の困難な状況において正確な情報を得ることができないことを想定して、環境シミュレーション等を活用した補完的な評価方法を検討・整備しておくことも必要なことと思われる。被ばく線量の技術開発については、要員、資機材及び予算が限られていることを考慮して、それらの重要度と優先度を検討しておくことが必要である。

謝辞

公衆の緊急時被ばく線量の推計・把握に関する技術的支援について議論するため、支援・研修センター内に線量評価検討WGを平成28年（2016年）2月に設置し、同年9月まで5回に渡って会合を開催しました。支援・研修センターでは、平成28年4月1日付の人事異動等の際に、WG事務局を務めたメンバーの何人かが他部署へ異動したり退職したりすることにより支援・研修センターを離れました。線量評価検討WGの設置後に、本間俊充氏（現在、原子力規制庁 放射線防護企画課 放射線防護技術調整官）、中山真一氏（現在、原子力機構 福島研究開発部門 副部門長）、渡辺文隆氏（現在、原子力機構 戦略・国際企画室 パリ事務所長）、秋山聖光氏（退職）、小沼靖典氏（派遣元へ帰社）、大井義弘氏（退職）が事務局を去りました。これら諸氏には、WG事務局として業務を務めるとともに、会合において有益な議論をしていただいたことに感謝致します。

参考文献

- 1) 「災害対策基本法」(2018 改正), available from
https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=336AC0000000223 (accessed on 2020-11-10).
- 2) 「武力攻撃事態等及び存立危機事態における我が国の平和と独立並びに国及び国民の安全の確保に関する法律 (武力攻撃事態対処法)」(2015 改正), available from
https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=415AC0000000079 (accessed on 2020-11-10).
- 3) 中央防災会議:「防災基本計画」(2020 一部修正), available from
http://www.bousai.go.jp/taisaku/keikaku/pdf/kihon_basicplan.pdf (accessed on 2020-11-10).
- 4) 原子力防災会議幹事会:「原子力災害対策マニュアル」(2020 一部改訂), available from
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/genshiryoku_bousai/pdf/taisaku_manual.pdf (accessed on 2020-11-10).
- 5) 日本原子力研究開発機構:「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構防災業務計画」(2015 修正), available from
<https://www.jaea.go.jp/02/pdf/plan.pdf> (accessed on 2020-11-10).
- 6) 原子力規制庁 放射線防護企画課:「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」(2017 修正), available from
<https://www.nsr.go.jp/data/000119567.pdf> (accessed on 2020-11-10).
- 7) 原子力規制庁:「安定ヨウ素剤の配布・服用に当たって」(2019 全部改正), available from
<https://www.nsr.go.jp/data/000024657.pdf> (accessed on 2020-11-10).
- 8) 原子力規制委員会:「原子力災害対策指針」(2019 一部改正), available from
<https://www.nsr.go.jp/data/000024441.pdf> (accessed on 2020-11-10).
- 9) 福島県:「県民健康調査について」, available from
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-kenkocoyosa-gaiyo.html> (accessed on 2020-11-10).
- 10) 福島県立医科大学 放射線医学県民健康管理センター:「福島県「県民健康調査」報告 (平成 23 年度～平成 25 年度)」(2015 修正版).

- 11) 福島県：「県民健康調査（全県民対象）」，第3回「県民健康調査」検討委員会（平成23年7月24日開催），available from <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/165102.pdf> (accessed on 2020-11-10).
- 12) C. Takada, O. Kurihara, N. Tsujimura, K. Kanai, T. Nakagawa, H. Miyauchi, T. Murayama, Y. Maruo, T. Momose and S. Furuta: “Evaluation of Internal Exposure of the Workers and the Residents Caused by the Fukushima Nuclear Accident”, Proceedings of the 13th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA13), p.12-22 (2012).
- 13) 金井克太, 栗原治, 高田千恵, 中川貴博, 森下祐樹, 外間智規, 滝本美咲, 圓尾好宏, 百瀬琢磨：「福島第一原子力発電所事故にかかわる敷地内作業者の体内放射能測定」，日本保健物理学会第45回研究発表会要旨集（2012）.
- 14) T. Momose, C. Takada, T. Nakagawa, K. Kanai, O. Kurihara, N. Tsujimura, Y. Ohi, T. Murayama, T. Suzuki, Y. Uezu and S. Furuta: “Whole-body Counting of Fukushima Residents after the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident”, NIRS-M-252, p.67-82 (2012).
- 15) K. Akahane, S. Yonai, S. Fukuda, N. Miyahara, H. Yasuda, K. Iwaoka, M. Matsumoto, A. Fukumura and M. Akashi: “NIRS external dose estimation system for Fukushima residents after the Fukushima Dai-ichi NPP accident”, Scientific Reports, <https://doi.org/10.1038/srep01670> (accessed on 2020-11-10).
- 16) 原子力規制委員会：「緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム（SPEEDI）」，available from <https://www.nsr.go.jp/activity/monitoring/monitoring6-4.html> (accessed on 2020-11-10).
- 17) 原子力規制委員会：「放射線モニタリング情報：モニタリング結果」，available from <https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/512/list-1.html> (accessed on 2020-11-10).
- 18) ICRP (International Commission on Radiological Protection): “1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”, ICRP Publication 60, Annals of the ICRP, Vol.21, No.1-3 (1991).
- 19) ICRP (International Commission on Radiological Protection): “The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection”, ICRP Publication 103, Annals of the ICRP, Vol.37, No.2-4 (2007).

- 20) L. L. Humphries, B. A. Beeny, F. Gelbard, D. L. Louie and J. Phillips: “MELCOR Computer Code Manuals, Vol. 1: Primer and User’s Guide, Version 2.2.9541 2017”, SAND2017-0455 O (2017).
- 21) L. L. Humphries, B. A. Beeny, F. Gelbard, D. L. Louie and J. Phillips: “MELCOR Computer Code Manuals, Vol. 2: Reference Manual, Version 2.2.9541 2017”. SAND2017-0876 O (2017).
- 22) A. Bouville, M. S. Linet, M. Hatch, K. Mabuchi and S.L. Simon: ”Guidelines for Exposure Assessment in Health Risk Studies Following a Nuclear Reactor Accident”, Environmental Health Perspective, Vol.122, No.1, p.1-5 (2014).
- 23) NCRP (National Council of Radiation Protection and Measurements): “Radiation Dose Reconstruction: Principles and Practices”, Report No.163 (2009).
- 24) 原子力規制庁 長官官房 放射線防護グループ 監視情報課：「緊急時モニタリングセンター設置要領」（2019 第 3 版）， available from <https://www.nsr.go.jp/data/000274862.pdf> (accessed on 2020-11-10).

付録Ⅰ 緊急時の線量評価検討ワーキンググループに関する情報

I-1 線量評価検討 WG のメンバー及び事務局の名簿

線量評価検討 WG のメンバー及び事務局の名簿は以下の通りである（敬称略）。当該 WG は、6 名のメンバー及び 9 名の事務局で構成された。なお、事務局の延べ人数は 12 名であるが、人事異動や任期満了による交代のため、事務局は常時 9 名であった。

（WG メンバー）※

橋本 周	大洗研究開発センター	安全管理部	環境監視線量計測課	課長
（WG 主査）				
木名瀬 栄	福島環境安全センター	環境動態研究グループ	研究主幹	
宗像 雅広	安全研究センター	リスク評価ディビジョン	放射線安全・防災研究グループ	
		グループリーダー		
村山 卓	原子力科学研究所	放射線管理部	放射線計測技術課	課長代理
高橋 聖	原子力科学研究所	放射線管理部	線量管理課	主査
高田 千恵	核燃料サイクル工学研究所	放射線管理部	線量計測課	技術主幹

※WG メンバーの所属と職制は、平成 27 年度（2015 年度）及び平成 28 年度（2016 年度）当時の組織に基づいている。

（事務局）*

本間 俊充	原子力緊急時支援・研修センター	センター長
中山 真一	原子力緊急時支援・研修センター	センター長
外川 織彦	原子力緊急時支援・研修センター	副センター長
渡辺 文隆	原子力緊急時支援・研修センター	副センター長
助川 正人	原子力緊急時支援・研修センター	参事
早川 剛	原子力緊急時支援・研修センター	企画管理課 課長
秋山 聖光	原子力緊急時支援・研修センター	企画管理課 課長
岡本 明子	原子力緊急時支援・研修センター	企画管理課 課長代理
久米 伸英	原子力緊急時支援・研修センター	企画管理課
小沼 靖典	原子力緊急時支援・研修センター	企画管理課
平山 悠介	原子力緊急時支援・研修センター	企画管理課
大井 義弘	原子力緊急時支援・研修センター	原子力防災研修課

*事務局の所属と職制は、平成 27 年度（2015 年度）及び平成 28 年度（2016 年度）当時の組織に基づいている。

I-2 線量評価検討 WG の会合開催日

線量評価検討 WG の会合開催日は以下の通りである。会合は、平成 27 年度（2015 年度）及び平成 28 年度（2016 年度）に計 5 回開催された。

- 第 1 回：平成 28 年 2 月 29 日（木）
- 第 2 回：同 3 月 23 日（水）
- 第 3 回：同 5 月 23 日（月）
- 第 4 回：同 7 月 4 日（月）
- 第 5 回：同 9 月 15 日（木）

I-3 報告書の原稿執筆者

本報告書の各章及び各節の原稿執筆者は以下の通りである（敬称略）。また、報告書全体の編集作業は事務局が担当した。

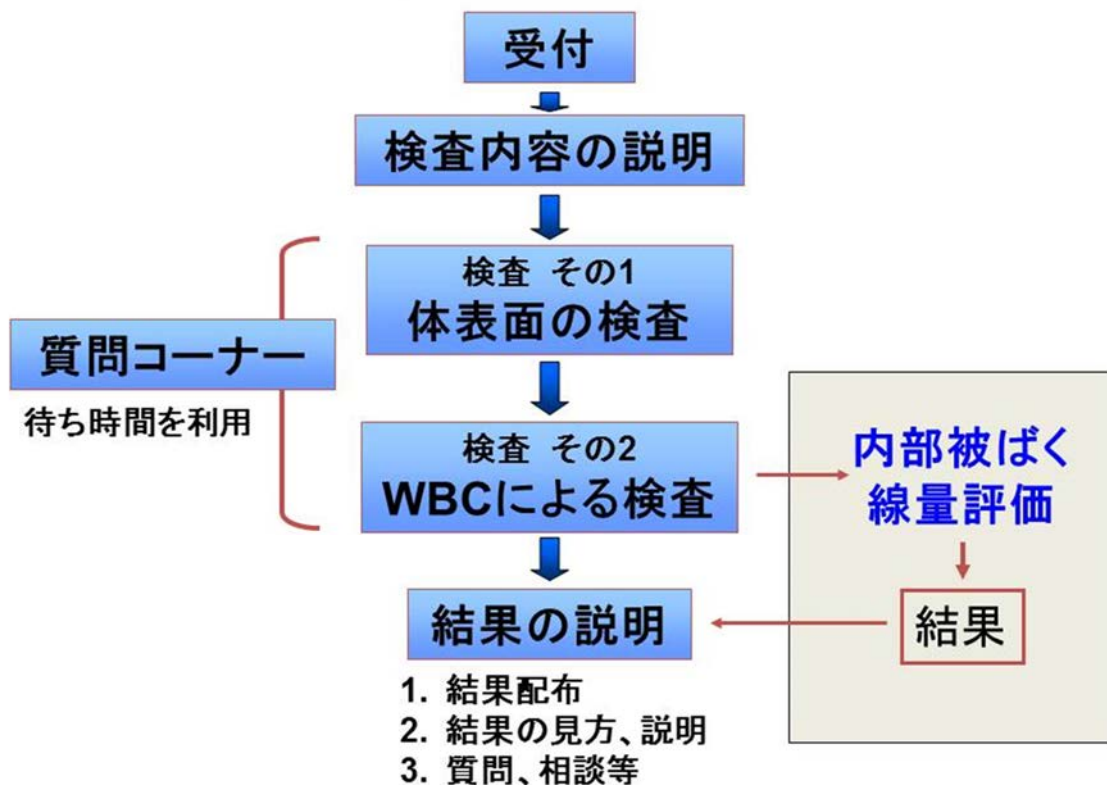
- 第 1 章 事務局
- 第 2 章 事務局
- 第 3 章 高田千恵（3.1 節、3.2 節）、村山卓（3.2 節）、木名瀬栄（3.3 節）、
事務局（3.1 節、3.4 節）
- 第 4 章 橋本周（4.1 節、4.2 節）、事務局（4.2 節、4.3 節）
- 第 5 章 事務局
- 謝辞 事務局
- 参考文献 事務局
- 付録 I 事務局
- 付録 II 高田千恵
- 付録 III 事務局
- 付録 IV 橋本周

- 全体編集 事務局

付録Ⅱ 福島県「県民健康管理調査」WBCによる内部被ばく検査の プロトコル及び被ばく線量評価

Ⅱ-1 WBCによる内部被ばく検査の手順

福島県「県民健康管理調査」におけるWBCによる内部被ばく検査の基本手順は、図Ⅱ-1に示した通りである。WBCによる内部被ばく検査は、① 受付、② 検査内容の説明、③ 検査その1：体表面の検査、④ 検査その2：WBCによる検査、⑤ 結果の説明、という手順で実施された。



図Ⅱ-1 WBCによる内部被ばく検査の手順

各々の手順についてももう少し詳しく説明する。① 受付では、WBC受検者の受付を行い、必要な情報（氏名、生年月日、性別）を聞き取る。② 検査内容の説明では、全体の検査手順、各検査の内容と所要時間を説明する。③ 検査その1：体表面の検査では、GMサーベイメータを用いて体の表面に放射性物質が付着しているかどうか、付着している場合には放射性物質の付着の有無を検査し、検出感度を超える計数があった場合は更衣や拭き取り等によって超えないことが確認できる状態にする。④ 検査その2：WBCによる検査では、WBCを使用して体内における放射性物質の残留量を計測する。その計測結果を用いて内部被ばく線量を算出するが、その方法についてはⅡ-2節で説明する。⑤ 結果の説明では、各検査の結果を受検者個人に通知

し、結果の見方やその意味、計測・計算条件等を説明するとともに、受検者からの質問や相談等を受ける。受検者個人へ通知した通知用記録様式を図Ⅱ-2に示す。

また、WBC 検査会場において質問コーナーを設けることにより、検査の待ち時間を利用して受検者や住民から質問や相談等を受けた。なお、結果の個別説明や質問コーナーの設置は、検査対象者等を考慮して福島県側との協議により適宜判断され、例えば学校へ移動式 WBC 車を派遣して実施した検査等では WBC 検査までを行い、結果は郵送する措置が取られた。このような場合の質問対応のため、受検者及びその保護者を対象とした無料電話相談が設置され、この対応も原子力機構が行った。WBC による内部被ばく検査結果は毎日検査終了後、会場ごとに福島県へ報告された。

検査結果の見方

1) 体表面検査

体の表面に放射性物質が付着しているか、どのくらいかを調べる検査

測定値の単位：シーピーエム（cpm）で1分間当たりのカウント数を表す

2) 全身検査

体内に放射性物質が残留しているか、どのくらいかを調べる検査

測定値の単位：ベクレル（Bq）で放射性物質の量を表す

線量の単位：シーベルト（Sv）で放射線による人体への影響の度合いを表す

ミリシーベルト（mSv）はシーベルト（Sv）の1000分の1

参考：今回の検査における検出限界 Cs-134：320 Bq、Cs-137：570 Bq

参考：1mSvに相当する放射線量（検査日：7月11日時点）

成人（18歳以上） Cs-134：約19,000 Bq、Cs-137：約31,000 Bq

13歳以上18歳未満 Cs-134：約16,000 Bq、Cs-137：約26,000 Bq

8歳以上13歳未満 Cs-134：約8,000 Bq、Cs-137：約13,000 Bq

4歳以上8歳未満 Cs-134：約2,000 Bq、Cs-137：約3,300 Bq

（採取日の3月12日時点の年齢）

放射線とがん

低線量放射線の人体への影響については必ずしも全てが解明されている訳ではありませんが、安全側で評価するために、低い線量でも影響があると考える場合があります。この考え方に基づいた場合、がんのリスクは広島、長崎の被爆者を含めた今までの結果から、100ミリシーベルトの被ばくでは0.5%のリスクが増加するとされています。しかし、実際には100ミリシーベルトを超えなければ、がんの増加は認められていません。なお、外部被ばくでも、内部被ばくでも、線量が同じならばリスクは同じと考えます。

検査結果

平成23年 月 日

検査実施機関：（独）日本原子力研究開発機構
原子力科学研究所（東海村）

氏名： 様（姓・名） 年 月 日生、男 女

検査日： 平成23年 月 日

検査結果： 体表面汚染の有無：有（ cpm）・無

1) 体表面検査

2) 全身検査

測定器	測定時（秒）	核種	測定値（Bq）	預託実効線量（mSv） ^{注1,2}
座位型 WBC	180	Cs-134 Cs-137	有効数字2桁 例）1300	例）1 未満

（Cs-134、Cs-137 放射性セシウム）

線量

自然放射線

大地から受ける線量が高い地域（年間）

100 mSv

がんの発症リスクが認められない

10 mSv

1 mSv

0.1 mSv

0.01 mSv

日常生活から受ける線量

平均から0.4mSv

大気から0.5mSv

宇宙線から0.3mSv

1人当たりの自然放射線

世界年平均：2.4mSv

日本年平均：1.5mSv

東京・ニューヨーク1 住居

mSv（ミリシーベルト）放射線が人に与える影響を評価するための単位

1 住居

出典：UNSCEAR2000年報告書、ICRP2007年勧告、などより

ご注意

1 線量は有効数字などを考慮した概数です

2 線量は対象物質によって異なります。目安がひとつとしてご利用ください。

今回の検査の結果、あなたの体内にある放射性物質から、概ね一生の間に受けると思われる線量は^{注1,2}は、
例）約1 mSv 未満
と推定しました。

注1）成人では50年間、子供では70歳までに体内から受けると思われる内部被ばく線量を表す

注2）線量推定においては、線量が最大となる摂取条件（3月12日に全量を吸入摂取）で推定

裏面に検査結果の見方と解説を示します。裏面もご覧下さい。

図Ⅱ-2 WBC の受検者個人への通知用記録様式

- 32 -

II-2 摂取シナリオを想定した内部被ばく線量の評価方法

内部被ばく線量評価については、ICRP の勧告に準じて放医研が開発した内部被ばく線量計算ソフトウェア（MONDAL3）^{II-1, II-2}の内部に格納された、年齢区分ごとの実効線量係数や体内残留率のデータベースを用いている。MONDAL3 は、対象者の年齢や摂取経路を選び、「摂取何日後の測定で、何ベクレルの体内量が検出されたか」を入力すれば、預託実効線量がすぐに求められるが、ここでは当該ソフトウェア自体は直接使用していない。

しかし、今回の事故では、摂取した日を1日に特定すること、すなわち測定日は摂取から何日後であるかを指定することが困難なケースが少なくない。WBC の測定でごく少量の放射性物質が検出された場合、何か月も前に摂取したのであれば、その時に摂取した量はかなりの量であった可能性があるが、つい最近の摂取であれば摂取量はごく少量であったと言える。

このため、福島県「県民健康管理調査」の参考情報として平成24年（2012年）1月までに行った住民の被ばく線量評価においては、最も線量が高くなる摂取状況を仮定して評価（最も安全側の評価）を行い、その値が健康上の支障を生じるようなものであるか否かを確認することとした。このシナリオでは、事故発生直後に全量の放射性物質を吸入摂取すると仮定するものであり、ここでは「急性摂取シナリオ」という。

一方、平成24年（2012年）2月以降は、事故発生直後から毎日一定量の農畜産物や海産物等に含まれる放射性物質を経口摂取することによって、慢性的な内部被ばくを受けると仮定する場合もあった。ここでは、このシナリオを「日常的な摂取シナリオ」という。

以下に、2種類の摂取シナリオについて、主たる被ばく経路や計算条件を説明するとともに、内部被ばく線量の評価方法を示す。

(1) 急性摂取シナリオ

原子炉事故で放射性物質が環境中に放出された場合、住民が受ける被ばくの主要経路は、事故の初期段階とその後とで大きく異なる。初期段階では、放射性プルーム（気体状またはエアロゾル状の放射性物質が大気とともに煙のように流れていく状態のこと。「放射性雲」ともいう。）からの外部被ばくとプルームの吸入による内部被ばくが主な経路となる。プルームが通過した場所の表面に放射性物質が沈着するため、以後は地表面等からの外部被ばくと、農畜産物、海産物等の経口摂取による内部被ばくが主な経路となる。

福島県「県民健康管理調査」の参考情報として実施した WBC 測定では、事故の初期段階での内部被ばくについて、状況の把握や県民とのリスクコミュニケーションを目的としたため、環境への放出の初日である平成23年（2011年）3月12日に吸入摂取したと仮定して線量を評価した。プルームの放出は3月12日のみではないが、被ばく線量評価上は最も遡ったこの日1日で全量を摂取したとする仮定における評価値が最も高くなる。なお念のため、同じ体内放射能から摂取量を推定し被ばく線量評価を行う場合、経口摂取よりも吸入摂取の方が、線量が高くなることも確認している。また、本報告書での用語等の説明は省略するが、その他に被ばく線量評価に必要なパラメータとして、放射性物質の粒子径（空気力学的放射能中央径：AMAD）は、公衆の被ばく線量評価におけるデフォルト値である1.0 μm、また血中への移行タイプはF（急速）を用いることとした。すなわち、過小評価の可能性を極力排除するように検討した結果がこの仮定となっている。

表II-1に、このシナリオにおける預託実効線量係数及び1 mSvに相当する摂取量を、また

図Ⅱ-3に、1 mSv に相当する量を摂取した場合の全身残留量の変化を示す。このグラフの値を用いると、WBC の測定結果として通知された全身残留量から、預託実効線量を求めることができる。

【計算例】WBC での測定結果と 1 mSv 相当体内残留量からの被ばく線量評価

成人の住民が、平成 24 年（2012 年）1 月 6 日（3 月 12 日からの経過日数 300 日）に WBC を受検し、Cs-134 と Cs-137 がそれぞれ、500 Bq と 1,000 Bq 検出されたとする。経過日数 300 日での 1 mSv 相当の体内残留量は、それぞれ 5,300 Bq と 9,800 Bq なので、この住民の預託実効線量は Cs-134 によるものが $500 / 5,300 = 0.0943$ mSv、Cs-137 によるものが $1,000 / 9,800 = 0.102$ mSv、合計で約 0.2 mSv と評価される。

表Ⅱ-1 急性吸入摂取における預託実効線量係数等

年齢区分※1		預託実効線量係数 ^{Ⅱ-3)} (mSv / Bq)		1 mSv に相当する 摂取量 (Bq) ※2	
		Cs-134	Cs-137	Cs-134	Cs-137
3 か月	1 歳未満	1.1×10^{-5}	8.8×10^{-6}	91,000	120,000
1 歳	1 歳以上 3 歳未満	7.3×10^{-6}	5.4×10^{-6}	140,000	190,000
5 歳	3 歳以上 8 歳未満	5.2×10^{-6}	3.6×10^{-6}	190,000	280,000
10 歳	8 歳以上 13 歳未満	5.3×10^{-6}	3.7×10^{-6}	190,000	270,000
15 歳	13 歳以上 18 歳未満	6.3×10^{-6}	4.4×10^{-6}	160,000	230,000
成人	18 歳以上	6.6×10^{-6}	4.6×10^{-6}	150,000	220,000

※1：摂取時の年齢

※2：吸入摂取初日における放射性物質の摂取量

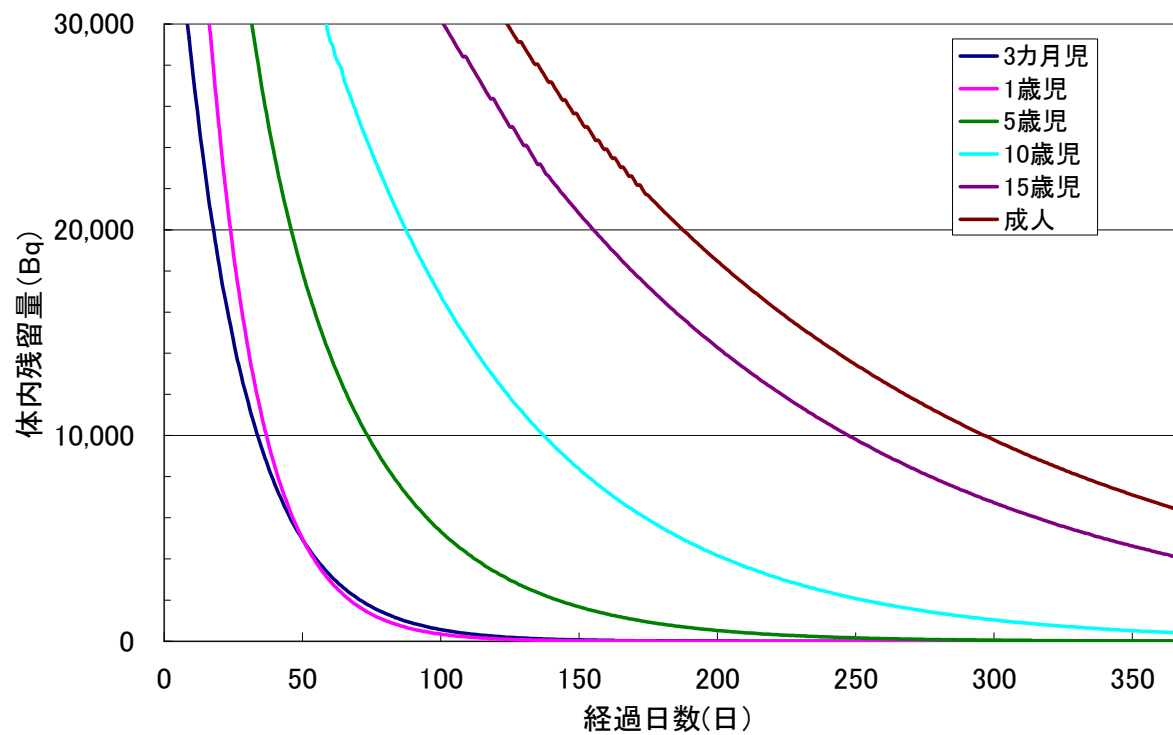
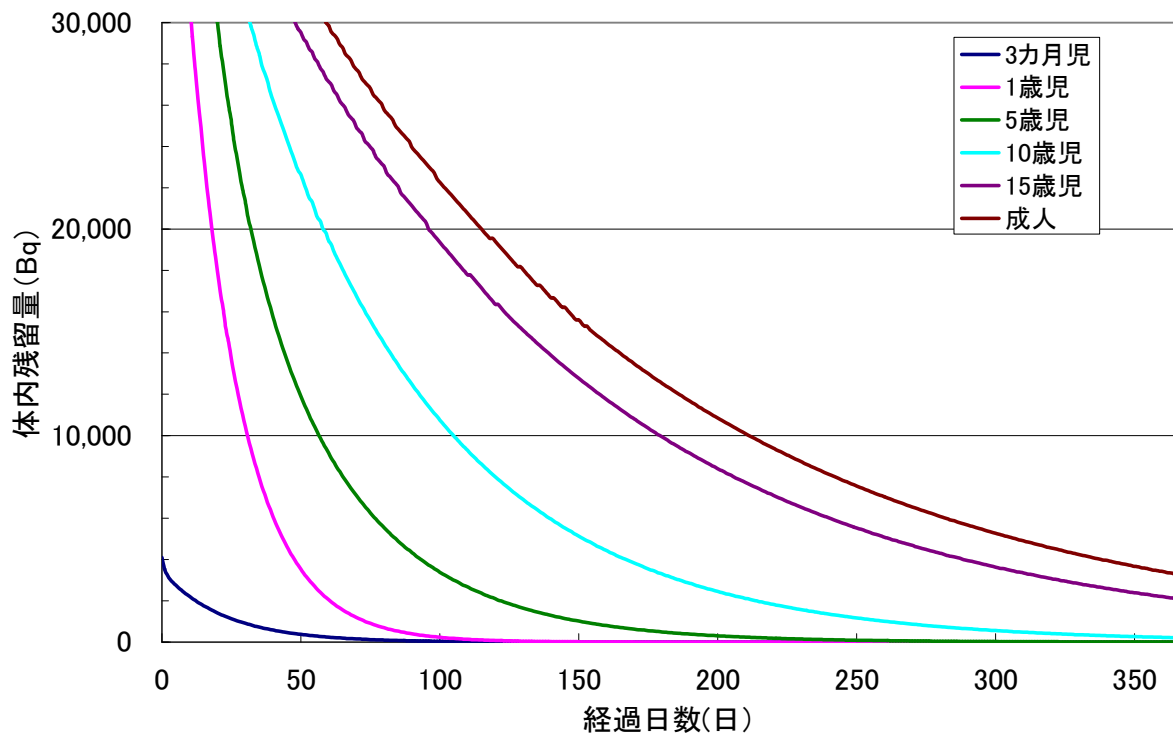


図 II-3 1 mSv に相当するセシウムを急性吸入摂取した場合の体内残留量の変化
 (数か月以降の値を見やすくするため縦軸の最大値を調整した)
 (上段： ^{134}Cs 、下段： ^{137}Cs)

この「急性摂取シナリオ」に基づく被ばく線量評価では、摂取から WBC 測定までの経過時間が長くなってしまった場合、特に年齢の低い住民については代謝作用等による体外への排出が進んでしまっているため、低い線量に相当する体内残留量を検出することが困難である。このため、預託実効線量が 1 mSv の評価が不可能となった年齢の住民については、3 月 12 日時点の行動が概ね同一である家族の測定結果を参考として被ばく線量評価を行うことにしている。表 II-1 にあるように、子どもの預託実効線量係数は大人よりも大きい、すなわち同じ量の放射性物質を吸入した場合、子どもの預託実効線量は大人よりも高くなる。しかし、同じ放射性物質濃度の空気を同じ時間吸入した場合は、高い年齢群ほど呼吸量が多いため、吸入摂取した放射性物質量が多くなり、評価される預託実効線量も年齢群が高いほど高い値になる。すなわち、同じ場所で同じ時間吸入摂取をしたと考えられる家族の場合、年齢の高い方から預託実効線量も高くなる。すなわち、行動が概ね同一である家族の測定結果を参考として子どもの被ばく線量进行评估するという方法は、安全側の評価になると言える。

(2) 日常的な摂取シナリオ

事故発生当初から食品の摂取制限等によって日常的な経口摂取による内部被ばくへの対策は十分に行われているが、さらなる安全、安心の確保のため、事故発生から概ね 1 年が経過する平成 24 年（2012 年）2 月 1 日からの福島県による内部被ばく検査においては、下記の「日常的な摂取シナリオ」による被ばく線量評価を行った。

【計算例】 日常的な経口摂取による内部被ばく線量評価（日常的な摂取シナリオ）

- ① 被ばく線量計算は、放医研が開発した MONDAL3 コードを用いて現行の法令に準拠した被ばく線量評価方法で行う。
- ② 被ばく線量評価モデルを適用する年齢は測定日の年齢とする。なお、測定対象年齢は従前のおり原則として 4 歳以上とする（本文の 3.2 節）。
- ③ 連続的かつ均等な経口摂取による線量の評価結果を記載する。記録レベルは急性摂取と同様に 1 mSv ごととする。
- ④ 被ばく線量評価の考え方は以下の通りである。ただし、説明の方法を考慮して、実際の計算の手順はこの考え方と等価な⑤の方法で行う。

「日常的な摂取シナリオ」における毎日の摂取量を 1 Bq/日と仮定した場合、摂取開始日から測定日までの経過日数（日）と体内放射エネルギーの関係は、図 II-4 の通りである。この関係を用いて WBC の測定結果から 1 日あたりの摂取量を推定する。これに 365 日をかけて 1 年間の摂取量を求め、表 II-2 の線量係数を用いて預託実効線量を計算する。摂取開始日を平成 23 年（2011 年）3 月 12 日、測定日の前日まで摂取があったと仮定する。

- ⑤ 毎日の住民測定においては、以下の手順により線量を評価する。

1 年間の日常的な摂取による預託実効線量が 1 mSv に相当する摂取量の $1 / 365$ （表 II-3）を、平成 23 年（2011 年）3 月 12 日から測定日の前日まで毎日経口摂取した場合の測定日における体内放射エネルギー（A）をあらかじめ求めておく（図 II-5）。WBC で実測した体内放射エネルギー（B）を測定日の（A）で除する（ B/A ）ことにより、預託実効線量（mSv）を求める。測定日における A の値を住民に通知する検査記録

の裏側に記載し、WBC の測定値から住民が自ら計算できるようにしておく。

【参考：表Ⅱ-3、図Ⅱ-4 及び図Ⅱ-5 の値の導出過程】

- (1) MONDAL3 コードを用いて、毎日 1 Bq を摂取した場合の体内放射エネルギー (Bq / (Bq / 日)) を摂取開始日から測定日までの経過日数 (日) 及び年齢ごとに求める。(図Ⅱ-4)
- (2) 1 mSv に相当する摂取量は、表Ⅱ-2 に示す預託実効線量係数 (mSv / Bq) の逆数 (Bq / mSv) であることから、この逆数を 365 (日) で除して、1 年間の摂取が 1 mSv に相当する 1 日当たりの経口摂取量 (Bq / 日) を得る。(表Ⅱ-3)
- (3) 各経過日数における 1 Bq / 日摂取の場合の体内放射エネルギー (Bq / (Bq / 日)) に表Ⅱ-3 の値 (Bq / 日) を乗じる。(図Ⅱ-5)

表Ⅱ-2 経口摂取に関する預託実効線量係数^{Ⅱ-3)} (単位：mSv / Bq)

核種	1 歳未満	1 歳以上 3 歳未満	3 歳以上 8 歳未満	8 歳以上 13 歳未満	13 歳以上 18 歳未満	18 歳以上
¹³⁴ Cs	2.6×10 ⁻⁵	1.6×10 ⁻⁵	1.3×10 ⁻⁵	1.4×10 ⁻⁵	1.9×10 ⁻⁵	1.9×10 ⁻⁵
¹³⁷ Cs	2.1×10 ⁻⁵	1.2×10 ⁻⁵	9.6×10 ⁻⁶	1.0×10 ⁻⁵	1.3×10 ⁻⁵	1.3×10 ⁻⁵

表Ⅱ-3 年間の摂取量が 1 mSv に相当する 1 日当たりの経口摂取量 (単位：Bq / 日)

核種	1 歳未満	1 歳以上 3 歳未満	3 歳以上 8 歳未満	8 歳以上 13 歳未満	13 歳以上 18 歳未満	18 歳以上
¹³⁴ Cs	105	171	211	196	144	144
¹³⁷ Cs	130	228	285	274	211	211

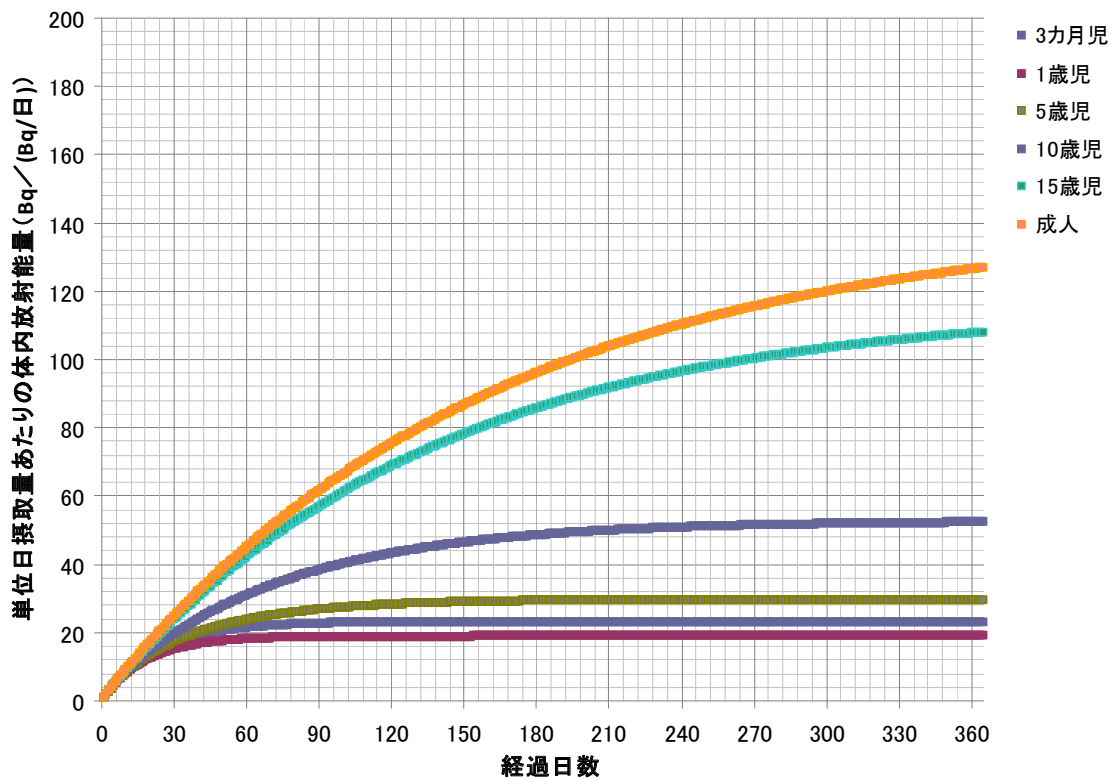
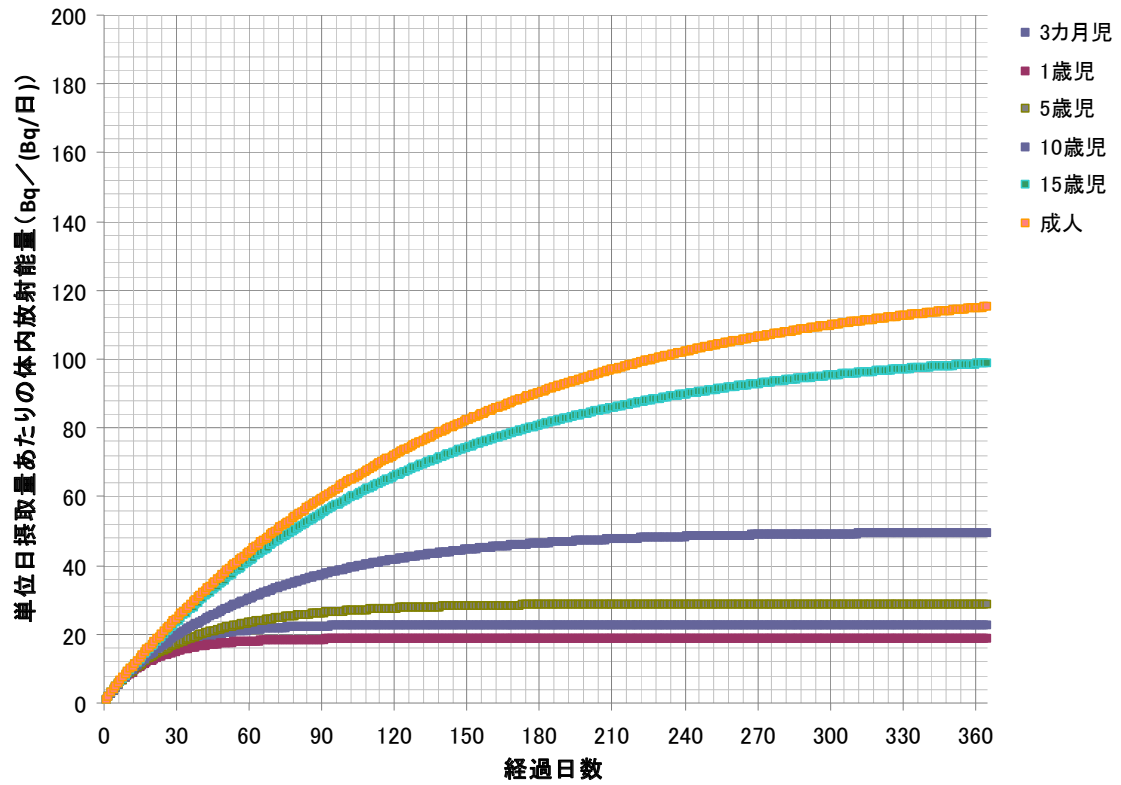


図 II-4 単位摂取量 (1 Bq / 日) の日常的な経口摂取における体内放射能量
(上段: ^{134}Cs 、下段: ^{137}Cs)

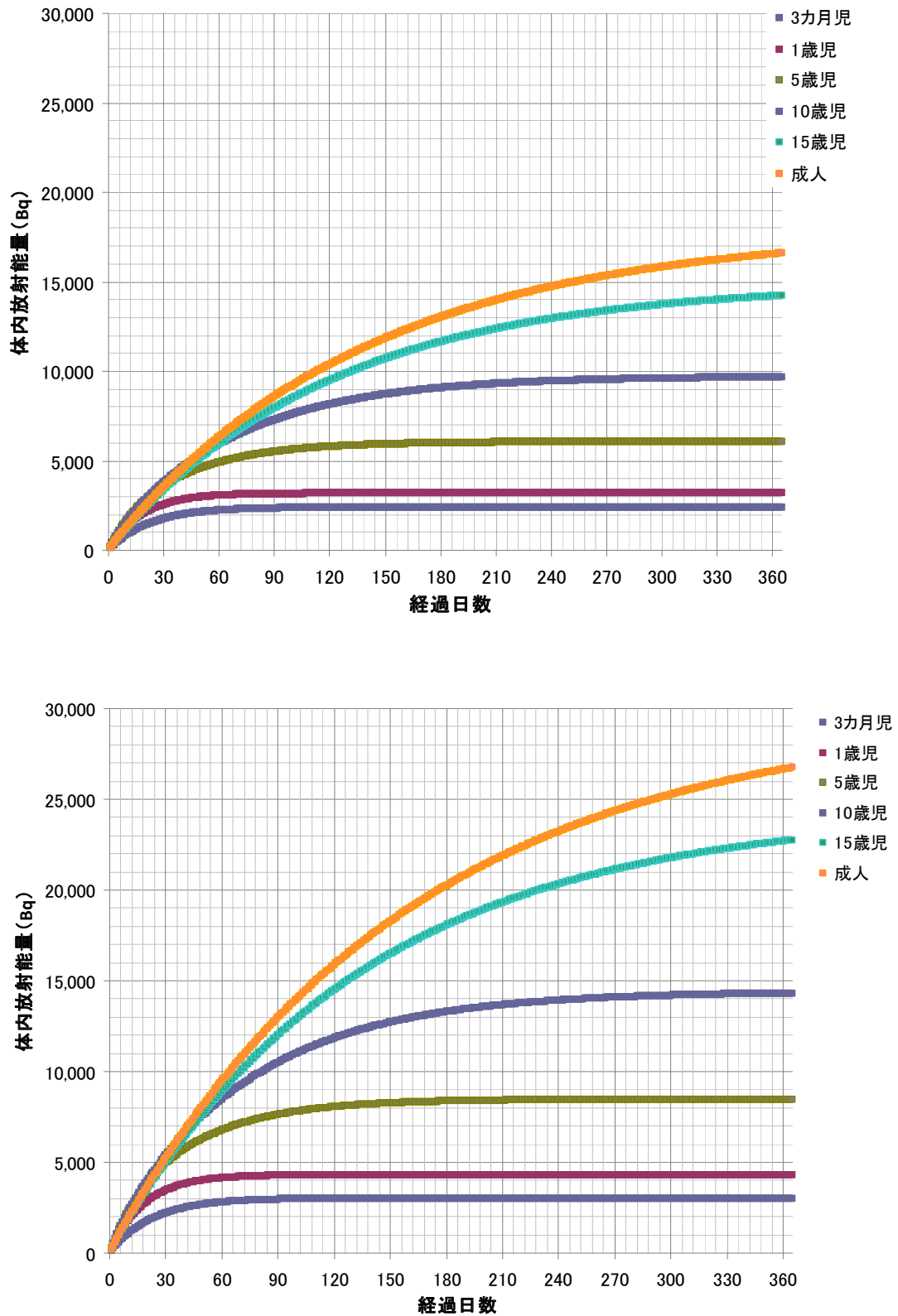


図 II-5 平成 24 年(2012 年)3 月 12 日から測定日の前日まで毎日均等に経口摂取したと仮定し、この量を 1 年間摂取した場合の預託実効線量が 1 mSv となる場合に、体内に存在する放射能量 (上段： ^{134}Cs 、下段： ^{137}Cs)

参考文献（付録Ⅱ）

- Ⅱ-1) 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所 計測・線量評価部：「MONDAL3 (Monitoring to Dose Calculation Ver.3: Support system for internal dosimetry)」, available from <https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/mondal3j.php> (accessed on 2020-11-10).
- Ⅱ-2) 石樽信人, 仲野高志, 榎本宏子, 松本雅紀：「グラフ：体内残留率・排泄率のモデル予想値」, 量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所, available from <https://www.nirs.qst.go.jp/db/anzendb/RPD/gpmdj.php> (accessed on 2020-11-10).
- Ⅱ-3) ICRP (International Commission on Radiological Protection): “Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients”, ICRP Publication 72, Annals of the ICRP, Vol.26, No.1 (1995).

付録Ⅲ 福島第一原発事故後に原子力機構が実施した被ばく線量評価の概要

原子力機構が福島第一原発事故後に実施した、福島県「県民健康管理調査」以外の被ばく線量評価について、公衆の内部被ばく線量評価を中心として文献調査を行った。作業員あるいは外部被ばくについても、検討を進める上で参考となり得る文献は調査の対象とした。文献調査の結果を表Ⅲ-1 に示す。ここでは、緊急時被ばく線量の推計・評価に直接関わる文献（No.①～No.⑩）のほか、評価手法やその課題等を記述した文献（No.参考①～No.参考⑤）についても参考として記載した。また、表Ⅲ-1 に使用されている略語や専門用語について、それらの説明を表の下部に記載した。

表Ⅲ-1 福島第一原発事故後に原子力機構が実施した被ばく線量評価に関する活動 (1)

No.	実施内容	実施項目	評価条件		評価結果等	課題等	備考	
			測定対象	対象核種				
①	福島住民の測定	①WBCによる体内残留放射能の測定 ②摂取量の評価 (MONDAL3コードを使用) ③70歳まで (成人は50年間) の預託実効線量を評価 (実効線量係数 (mSv/Bq) : ICRP Publ. 72使用)	●4歳以上8歳未満 ●8歳以上13歳未満 ●13歳以上18歳未満 ●成人 (18歳以上)	Cs-134 Cs-137	●急性摂取 ⇒平成24年 (2012年) 1月末までの測定 ⇒事故直後に全量を吸入摂取 (平成23年 (2011年) 10月から平成24年 (2012年) 1月末) ⇒8歳未満の者については、行動が概ね同一だった家族の線量を参考として推定 ●慢性摂取 ⇒平成24年 (2012年) 2月以降の測定 ⇒毎日一定量の経口摂取	●受検者数の93.2%は検出限界以下 ●最大被ばく線量は2.8mSv ●内部被ばく線量が1mSv以上と評価された者のほとんどは小児	●線量評価値が高かった小児も、実際の被ばく線量は低い可能性がある。	原子力機構 第1041回金曜セミナー (平成25年 (2013年) 3月15日) 原科研 放射線管理部 鈴木武彦 (参考文献Ⅲ-1)
②		WBC車を用いた 東電作業者の内部被ばくスクリーニング	①WBC検査 (立位型WBC : Canberra社製 Fastscan) 体内動態モデル等はICRP Publ. 67等を参照 ②NaIサーベイメータ (日立アロカメディカル製TCS-171+鉛コリメータ (2cm厚) 付) による甲状腺中のI-131検査 ※外部被ばくで100mSvを超えた作業者に対して、緊急作業時の線量限度 (250mSv) を超過していないか確認することが目的 ※内部被ばく実効線量20mSvをスクリーニングレベルとして、超える恐れのある作業者は精密型WBCによる測定を実施	●外部被ばく線量が100mSv以上の作業者 ●女性作業者 上記を優先的に実施	I-131 (甲状腺測定)	●気体状ヨウ素の吸入摂取 ●3月11日から従事していた作業者→3月12日に全量摂取を仮定 ●その他作業者→作業開始日に全量摂取を仮定 ※日付はすべて平成23年 (2011年)	①WBC測定 ●WBCによる甲状腺中のI-131の計測値の方がNaIより桁程度大きい。 ●体表面汚染の影響により、過大評価の可能性があり、過大評価の可能性がある。 ②NaI甲状腺測定 ●約90%の人は検出限界値以下。最大値は182kBqで、6,400mSv (甲状腺等価線量)	●WBCの測定では、体表面汚染の影響が大きいため、しっかりと除染する必要がある。 ●体表面汚染がある程度存在する時は、WBCによる測定に併せて、コリメータ付NaIサーベイメータによる甲状腺モニタリングが有効である。
③	核サ研における 東電作業者の精密測定	①簡易型WBCによる測定 ●NaI (TI) 検出器 (12.7×7.6×40.6cm) 2式 ●Shadow Shield型遮へい (鉄材10cm) ●検出下限値は約200Bq (Cs-137、2分間測定) ②精密型WBCによる測定 (頭部I-131測定を含む) ●Ge検出器 (Canberra社製GC5021) 2式 ●鉄遮へい室 (壁厚20cm) 内に設置 ●全身 : 検出下限値は約60Bq (Cs-137、10分間測定) ●頭部 : 検出下限値は3~80Bq程度 (I-131、10分間測定) ③預託実効線量の評価 スペクトル解析ソフト Genie2K (Canberra社製) ⇒体内残留量 (放射能) を算出	●フェーズⅠ (4月20日~6月17日) ⇒外部及び内部被ばくくの暫定評価線量の合計が100mSvを超えた作業者 ●フェーズⅡ (6月18日~7月19日) 及びフェーズⅢ (7月26日~8月5日) ⇒内部被ばくくの暫定評価線量が20mSvを超えた作業者 ※日付はすべて平成23年 (2011年)	Cs-137 I-131	①精密型WBCと簡易型WBCの結果 ●精密型WBCによる体内残留量の量よりも20%程度大きい (校正の違いによる系統的な差)。 ●傾向はほぼ一緒 ②Cs-137の全身残留量 ●Cs-137はすべての受検者で検出。最大は420,000Bq ③I-131の甲状腺残留量 ●I-131は全受検者560人中194人で検出。最大は9,800Bq (その後放能研でも精密測定を実施し、最終的に東京電力より内部被ばく線量 (預託実効線量) 540mSvと報告)	●預託実効線量に占めるI-131の寄与が8割以上と大きい。 ●内部被ばく線量の評価はI-131の定量が重要である。 ●I-131の摂取量をより正確に算出するためには、早期の測定、行動調査に基づき摂取時期の推定が必要である。	原子力機構 第1041回金曜セミナー (平成25年 (2013年) 3月15日) 核サ研 放射線管理部 中川貴博、金井克太、高田千恵 (参考文献Ⅲ-3)	

表Ⅲ-1 福島第一原発事故後に原子力機構が実施した被ばく線量評価に関する活動 (2)

No.	実施内容	実施項目	評価条件			評価結果等	課題等	備考
			測定対象	対象核種	摂取シナリオ			
④	JAEA防災業務従事者の測定結果を利用した線量再構築の検討	①WBC検査（立位型WBC：Canberra社製Fastscan） ●NaI(Tl)検出器（7.6 × 12.7 × 40.6 cm）2式 ●直線型の遮へい（鉄材10cm） ●検出下限値は約300Bq（Cs-137、2分間測定） ②セシウム摂取量とヨウ素／セシウム比からの評価	●福島県内での活動期間が3月12日～4月11日の一ヶ月間に含まれる者（第1陣～第15陣） ●核サ研でWBCを4月末までに受検した者 ●Cs-134、Cs-137、I-131の3核種が有意に検出された者 ※日付は全て平成23年（2011年）	Cs-134 Cs-137 I-131	福島での活動期間初日に全量を吸入摂取したと仮定して線量評価	●実効線量（mSv） ⇒最大値：0.80、平均値0.24 ●甲状腺等価線量（mSv） ⇒最大値：13、平均値4.0	ヨウ素／セシウム比は人により大きく異なることから、行動調査等の詳細な検討が必要	原子力機構第1041回金曜セミナー（平成25年（2013年）3月15日） 核サ研 放射線管理部 高田千恵、中川貴博、山崎巧、石川久、百瀬琢磨（参考文獻Ⅲ-4）
⑤	被ばく線量評価のための大気拡散シミュレーション（福島第一原子力発電所事故初期段階における大気中放射性物質濃度分布の再構築）	●ヨウ素等の短半減期核種のシミュレーション ●Cs-137等の長半減期核種のシミュレーション ※1（ヨウ素等の短半減期核種による事故初期段階における内部被ばく線量については、現段階では実測に基づく評価が困難） ※2（大気拡散シミュレーションにより得られる時系列の大気中放射性物質濃度マップと行動パターンを組み合わせた推計が現実的）	●被ばく線量評価の対象範囲は、放出源を中心とした半径250kmの陸上 ●大気中濃度を計算する領域 ⇒東西690km×南北960km ●水平方向の空間分解能 ⇒3km ●気象モデル ⇒MM5 ●大気拡散モデル ⇒GEARN	(計算対象核種) I-131 I-133 Te-132 Cs-137	●対象期間は平成23年（2011年）3月11日00時から4月30日24時まで ●上記期間に大気中に放出された放射性物質の挙動を連続的に計算	●線量推計の概算値を得るためには利用可能である。 ●放出源情報及びモデル計算の不確実性が含まれる。 ●I-131大気中濃度の測定値と計算値では時間変化は同様な傾向であったが、定量的には過小評価となっているケースがある。 ●航空機モニタリングとCs-137の比較 ⇒宮城県でWSPEDIが過大評価 ⇒群馬県と栃木県でWSPEDIが過小評価 ●放射性ヨウ素はガス状と粒子状の割合が変わることにより、地上付近の大気中濃度が変わるため、内部被ばく線量評価への影響が大きい。 ●水相の洗浄係数の変更によるCs-137沈着量分布の再現性向上は、内部被ばく線量評価に對してはほとんど影響しない。	●十分に精度が高いとは言えない。 ●さらなるモデル改良と放出条件の精度を行い、高精度の解析が必要である。	日本原子力学会誌Vol.55、No.12、p.28-33（2013） 改訂と放出条件の精度を行い、高精度の解析が必要である（参考文獻Ⅲ-5）
⑥	事故初期のヨウ素等短半期による内部被ばく線量評価（環境省からの平成24年度原子力災害影響調査等事業）	放射性ヨウ素に代表される短半減期核種による事故初期における内部被ばく線量（特に甲状腺等価線量）の推計が課題 ①個人計測値に基づく方法 ⇒甲状腺計測と全身計測（WBC） ②大気拡散シミュレーションに基づく方法 実測データに基づく①の方法を基礎とし、②の方法を補完的に適用 ⇒福島県全域の住民に対する包括的な初期内部被ばく線量の推計を実施	①個人計測値 ●甲状腺計測 ⇒川俣町、いわき市、飯館町の小児1,080人 ●全身計測（WBC） ⇒福島県内成人約3,000名 ②大気拡散シミュレーション ⇒①個人計測の実測データが得られない地域住民	放射性ヨウ素	●急性摂取 ⇒平成23年（2011年）3月15日に全量一回摂取 ●慢性摂取 ⇒平成23年（2011年）3月12日から測定日前日まで均一連続摂取 ●甲状腺計測データ（極めて限定的） ⇒WBC測定値からの実効線量結果も活用（放射性セシウムと放射性ヨウ素の摂取比率から、放射性ヨウ素による内部被ばく線量を間接的に推定） ●評価対象地点での濃度に滞在時間と呼吸率を乗じること、吸入による摂取量を算出	●放射性物質の地表沈着が比較的高い地域の住民でも、甲状腺等価線量の90パーセント以上値として、最も初期内部被ばく線量が、高く評価される1歳児年齢層に對して約30mSv ●サイト近隣の市町村の住民については、比較的多量の放射性物質の放出があったとされる平成23年（2011年）3月15日までの避難により、内部被ばくが大幅に回避された。	●線量推計結果に不確かさ要因が多く残されている。 ●精度向上のため、調査を引き続き行う必要がある。	平成24年度原子力災害影響調査等事業成果報告書（平成25年（2013年）2月） 放医研（放医研からの再委託事業として、基礎工セシウム大気拡散シミュレーションを実施）（参考文獻Ⅲ-6）

表Ⅲ-1 福島第一原発事故後に原子力機構が実施した被ばく線量評価に関する活動 (3)

No.	実施内容	実施項目	評価条件			評価結果等	課題等	備考
			測定対象	対象核種	摂取シナリオ			
⑦	福島第一原子力発電所事故後の水道水摂取制限による乳児の回避線量評価	●福島県、茨城県、東京都のI-131の濃度変化 ●乳児（1歳）の甲状腺等価線量と実効線量 ●水道水摂取制限による乳児の回避線量	●福島県、茨城県、東京都の水道水中のI-131濃度 ●乳児（1歳）の甲状腺等価線量と実効線量	I-131		●水道水中濃度のみかけの半減期：約2.8日±1.2日 ●水道水の摂取制限は甲状腺等価線量の低減に有効 ●福島県飯館村では、甲状腺等価線量8.3mSv、実効線量0.41mSvを回避		日本原子力学会論文誌 Vol.10, No.3, p.149-151 (2011) 安全研究センター 木名瀬栄、木村仁 宣、高原省五、本間俊亮 (参考文献Ⅲ-7)
⑧	福島第一原子力発電所後の30km圏外における予備的線量評価 (A Preliminary Dose Assessment for the Population in an Area outside the 30km Zone after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident)	公衆の外部及び内部被ばく線量（クラウドシャイン、グラウンドシヤイン、空気中核種の吸入、及び再浮遊核種の吸入による線量）を評価	●蓄積線量 (cumulative dose) ●土壌中の放射性核種濃度 ●大気モニタリングのダスト試料の数値 ⇒データがない場合は数学モデルを使用して推定			計画的避難区域における平成23年（2011年）3月15日から4月22日間の公衆の被ばく線量は最大28mSv		Progress in Nuclear Science and Technology Vol.3, p.19-24 (2012) 安全研究センター 木村仁宣、木名瀬栄、高原省五、本間俊亮 (参考文献Ⅲ-8)
⑨	福島第一原子力発電所事故に起因する汚染地域における外部被ばく線量評価 (Assessment of Doses from External Exposure in Contaminated Areas Resulting from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident)	事故で放出され地面に沈着した放射性核種による浪江町、飯館村、川俣町、福島市における外部被ばく線量（cumulative effective doses）を数学モデルで解析 ※数学モデル ⇒核種組成を考慮し、物理的崩壊以外に風雨による放射性物質低減を考慮して考案した。	●事故で放出され地面に沈着した放射性核種による浪江町、飯館村、川俣町、福島市における外部被ばく線量			●被ばく線量の測定値を再現 ●最初の1カ月はTe-132（半減期：3.25日）とI-131（半減期：8.05日）、その後はCs-134、137（半減期：2.05年、30.1年）が支配的	短半減期核種からの寄与を数学モデルを作成し計算せざるを得なかった。	Progress in Nuclear Science and Technology Vol.3, p.25-29 (2012) 安全研究センター 高原省五、木村仁宣、木名瀬栄、石川淳、須山賢也、細山田龍二、本間俊亮 (参考文献Ⅲ-9)
⑩	福島第一原子力発電所事故後におけるスギ花粉中のCs-137の連続慢性摂取に対する内部被ばく線量 (Internal Dosimetry for Continuous Chronic Intake of Caesium-137 in Cedar Pollen after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident)	DSYS-chronicコードを用いてスギ花粉中のCs-137の連続慢性摂取に対する預託実効線量及び預託等価線量を評価	●福島県、茨城県、東京都に居住する成人	Cs-137	平成24年（2012年）2月上旬から5月末までのスギ花粉の観測データを使用	●スギ花粉中のCs-137の摂取による実効線量はnSvオーダーと推定 ●平成24年（2012年）においては内部被ばくによる影響は小さい。		国際シンポジウム「東京電力福島第一原子力発電所事故後における環境モニタリング及び線量評価」 proceedings (2012) 安全研究センター 木名瀬栄、木村仁宣、波戸真治 (参考文献Ⅲ-10)

表Ⅲ-1 福島第一原発事故後に原子力機構が実施した被ばく線量評価に関する活動 (4)

No.	実施内容	実施項目	評価条件			評価結果等	課題等	備考
			測定対象	対象核種	摂取シナリオ			
参考①	放射性核種を長期摂取した公衆構成員の残留関数と排出関数の評価 (Evaluation of Retention and Excretion Function to Members of the Public for Chronic Intakes of Radionuclides)	DSYS-chronicコードを用いた長期摂取の計算	●1歳乳児	Cs-137 I-131	●Cs-137の場合 ①一時に365Bqを摂取 ②毎日1Bqずつ365日摂取 ●I-131の場合 水道水から長期摂取	●Cs-137の場合 体内に残留するCs-137の時間積分値は、①6,900Bq・day、②7,200Bq・dayとほぼ同じである。しかし、365日後の残留放射能は大きく異なる。 ●I-131の場合 ほとんど甲状腺に留まり、便や尿による排出はごく小さい(尿>便)。		Progress in Nuclear Science and Technology Vol. 4, p. 36-38 (2014) 安全研究センター 波戸真治、木村仁宣、木名瀬栄 (参考文献Ⅲ-11)
参考②	放射性核種摂取による慢性被ばくに対する内部線量評価コードの開発 (Development of Internal Dosimetry Evaluation Code for Chronic Exposure after Intake of Radionuclides)	事故後の長期摂取による内部被ばくを計算するコードDSYS-chronicを開発		Cs-137 I-131		●連続摂取の場合も間欠的摂取の場合も対応 ●Cs-137、I-131を連続摂取した場合の体内での平衡値あるいは線量係数を計算し、その結果が、ICRP Publ. 78、MONDAL3コード及びINDICESコードの計算値と一致したことをもって検証		Progress in Nuclear Science and Technology Vol. 4, p. 60-63 (2014) 安全研究センター 木村仁宣、木名瀬栄、波戸真治 (参考文献Ⅲ-12)
参考③	内部被ばくの評価法	福島第一原子力発電所事故後に対峙しなければならない内部被ばくの評価法に関する課題について					●内部被ばくモニタリング手法の運用 ●直接法 ⇒体外計測装置の校正法 ●間接法 ⇒核種ごとの測定法を広く利用できるようにインフラ整備	Isotope News, 2014年8月号, No. 724 (2014) 木名瀬栄 (参考文献Ⅲ-13)

表Ⅲ-1 福島第一原発事故後に原子力機構が実施した被ばく線量評価に関する活動 (5)

No.	実施内容	実施項目	評価条件			評価結果等	課題等	備考
			測定対象	対象核種	摂取シナリオ			
参 考 ④	東京電力㈱福島第一発電所 事故に係る個人線量の特性 に関する調査	①サーベイメータによる空間線量率の測定 ②個人線量計による個人線量の測定 ③その他の測定と試験 ※避難指示解除準備区域及び居住制限区域内の代表的な生活場所において個人線量計を用いた実測と評価を行い、空間線量と個人線量の関係に とともに、帰還後に相定される代表的パターンにおける個人線量レベルの推定を試みることを主目的とした。	調査地域 一田村市、川内村及び飯館村内の 合計28地域（居住区域、避難指示 解除準備区域、居住制限区域） ①サーベイメータによる空間線量率の測定 ●屋内及び屋外の複数地点の空間線量率（歩行サーベイ含む） ●調査対象地点周辺の道路等の空間線量率（自動車による走行サーベイ含む） ②個人線量計による個人線量の測定 ●屋内及び屋外に設置した人体模倣物質（ファントム）に取り付け た個人線量計による個人線量 調査員が着用する個人線量計による個人線量（作業や移動時ごとの 積算線量を解析） ③その他の測定と試験 ●屋内外の代表的なポイントにおけるガンマ線の波高分布 ●ガンマ線標準照射場（実験室）を用いた個人線量計の特性試験			調査区域（山間部）においては、空間線量率に一定の定数（0.7）を乗ずることによって個人線量（大人）を適切に推定できること、生活の場における空間線量率と、そこでの生活パターン（時間）を仮定すること で、おおよその年間被ばく線量を推定することが可能であること等が分かった。	●体格差が個人線量測定に与える影響（本調査は成人のみを対象。児童は含まれていない） ●個人線量計のエネルギー応答特性の影響 ●空間線量率分布の影響 NIRS-M-270 (2014) 放医研、原子力機構（参考文献Ⅲ-14） ●地理的影響。山間部以外にも一定の定数（0.7）を用いても推定できるか否か確認が必要 ●事故以前の空間線量率（バックグラウンド）の評価 ●ガンマ線波高分布データの活用 ●生活時間の推定	
参 考 ⑤	東京電力㈱福島第一発電所 事故に係る個人線量の特性 に関する調査の追加調査 －児童に対する個人線量の 推計手法等に関する検討－	①年齢の異なる児童の体格を模擬した人体形状ファントムに設置した個人線量計の応答を照射実験 ②様々な放射線場において評価された年齢ごとの実効線量と個人線量計測定値の比較				個人線量評価に用いる換算係数を、0.85（生後から3歳まで）、0.8（3歳から18歳になるまで）、0.7（18歳以上）とすることを提案	NIRS-M-276 (2015) 放医研、原子力機構（参考文献Ⅲ-15）	

表Ⅲ-1 における略語と専門用語の説明

WBC :	全身カウンタ (Whole Body Counter)
ICRP :	国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection)
クラウドシャイン :	放射性プルームからの外部被ばく (Cloudshine)
グラウンドシャイン :	地表沈着核種からの外部被ばく (Groundshine)
原子力機構 :	日本原子力研究開発機構
原科研 :	原子力科学研究所 (原子力機構)
核サ研 :	核燃料サイクル工学研究所 (原子力機構)
基礎工センター :	原子力基礎工学研究センター (原子力機構)
放医研 :	放射線医学総合研究所 (平成 28 年 (2016 年) 4 月から量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所)

参考文献 (付録Ⅲ)

- Ⅲ-1) 鈴木武彦 : 私信 (2013).
- Ⅲ-2) 村山卓 : 私信 (2013).
- Ⅲ-3) 中川貴博, 金井克太, 高田千恵 : 私信 (2013).
- Ⅲ-4) 高田千恵, 中川貴博, 山崎巧, 石川久, 百瀬琢磨 : 私信 (2013).
- Ⅲ-5) 永井晴康 : 「被ばく線量評価のための大気拡散シミュレーションー福島第一原子力発電所事故初期段階における大気中放射性物質濃度分布の再構築」, 日本原子力学会誌 ATMOΣ, Vol.55, No.12, p.712-717 (2013).
- Ⅲ-6) 放射線医学総合研究所 : 「平成 24 年度原子力災害影響調査等事業「事故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばく線量評価調査」成果報告書 (平成 25 年 2 月)」 (2013), available from http://clearinghouse.main.jp/web/env_0016.pdf (accessed on 2020-11-10).
- Ⅲ-7) 木名瀬栄, 木村仁宣, 高原省吾, 本間俊充 : 「福島第一原子力発電所事故後の水道水摂取制限による乳児の回避線量評価」, 日本原子力学会和文論文誌, Vol.10, No.3, p.149-151 (2011).

- III-8) M. Kimura, S. Kinase, S. Takahara and T. Homma: “A Preliminary Dose Assessment for the Population in an Area outside the 30km Zone after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident”, Progress in Nuclear Science and Technology, Vol.3, p.19-24 (2012).
- III-9) S. Takahara, M. Kimura, S. Kinase, J. Ishikawa, K. Suyama, R. Hosoyamada and T. Homma: “Assessment of Doses from External Exposure in Contaminated Areas Resulting from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident”, Progress in Nuclear Science and Technology, Vol.3, p.25-29 (2012).
- III-10) S. Kinase, M. Kimura and S. Hato: “Internal Dosimetry for Continuous Chronic Intake of Caesium-137 in Cedar Pollen after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident”, Proceedings of the International Symposium on Environmental Monitoring and Dose Estimation of Residents after Accident of TEPCO’s Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Kyoto, Japan, December 14, 2012.
- III-11) S. Hato, S. Kinase and M. Kimura: “Evaluation of Retention and Excretion Function to Member of the Public for Chronic Intakes of Radionuclides”, Progress in Nuclear Science and Technology, Vol.4, p.36-38 (2014).
- III-12) M. Kimura, S. Kinase and S. Hato: “Development of Internal Dosimetry Evaluation Code for Chronic Exposure after Intake of Radionuclides”, Progress in Nuclear Science and Technology, Vol.4, p.60-63 (2014).
- III-13) 木名瀬栄:「内部被ばくの評価法」, Isotope News, 2014 年 8 月号, No.724, p.82-85 (2014).
- III-14) 放射線医学総合研究所, 日本原子力研究開発機構:「東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に係る個人線量の特性に関する調査」, NIRS-M-270 (2014).
- III-15) 放射線医学総合研究所, 日本原子力研究開発機構:「東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に係る個人線量の特性に関する調査」の追加調査－児童に対する個人線量の推計手法等に関する検討－報告書, NIRS-M-276 (2015).

付録Ⅳ Bouville らの論文の概要

題名 : Guidelines for Exposure Assessment in Health Risk Studies Following a Nuclear Reactor Accident

著者 : A. Bouville, M.S. Linet, M. Hatch, K. Mabuchi and S.L. Simon

書誌 : Environmental Health Perspective, Vol.122, No.1, Jan. 2014

- ・ 4 つの原子力事故 (Windscale: 1957, TMI: 1979, Chernobyl: 1986, Fukushima: 2011) の経験から、原子力事故後の被ばく線量評価に関するガイドラインを提示
- ・ 事故後の被ばく線量評価について、大きく 2 つの段階に整理
 - + 初期段階 (Early-phase) : 事故直後に行う、今後の健康影響予測のためのリスク推定
 - + 後期段階 (Late-phase) : 事故から何年か後に行う、実際の健康影響の疫学調査
- ・ 7 つのガイドライン
 1. 被ばくを受けた地域にいる人々の可能な限り完全な名簿の作成 (Create as complete a roster as possible of persons in the exposed area)
 2. できるだけ多くの個人ベースの被ばく線量計測結果の入手 (Obtain as many individual-based radiation measurements as possible)
 3. それぞれの調査対象者について、個人被ばく線量の推定に適用できるような、被ばく時の居場所と食事に関する情報の収集 (Collect, for each study participant, information on whereabouts at the time of exposure and relevant dietary data that can be used for the estimation of the radiation dose)
 4. できる限り多くの放射線場の空間的・時間的分布と変動に関する情報の収集 (Collect as much information as possible on the spatial and temporal patterns and variations of the radiation field)
 5. 現実的な被ばく線量の計算とバイアス源の最小化 (Calculate realistic radiation doses, minimizing sources of bias)
 6. 被ばく線量推定の検証 (Validate the dose estimates)
 7. 被ばく線量の不確かさ評価 (Evaluate dosimetric uncertainties)

1. 被ばくを受けた地域にいる人々の可能な限り完全な名簿の作成 (**Create as complete a roster as possible of persons in the exposed area**)

- ・後期段階では、最も基本的なデータ
- ・初期段階では、困難ではあるが、高い優先度を与えるべきデータ
- ・以下のようなあらゆる関係者が名簿には含まれるべき
 - + 最大の被ばく線量を受けた人々、放射線による悪影響が現れる恐れのある人々
 - + 妊婦と胎児、子どもと若者、老人、要介護者
- ・潜在的な情報源
 - + 住民登録、病院や公的機関の緊急時対応記録、事故対応作業員やボランティアの名簿、学校の名簿、雇用者名簿、選挙人名簿等
 - + 公的キャンペーン等による名簿登録促進

2. できるだけ多くの個人ベースの被ばく線量計測結果の入手 (**Obtain as many individual-based radiation measurements as possible**)

- ・疫学調査のための線量再構築 ⇒ 理想的には対象集団の全員について十分に校正された計測器で測定
- ・初期のリスク推定のための線量再構築 ⇒ 個人被ばく線量測定は必須ではないが、本質的に信頼性が高い
- ・外部被ばく量評価 ⇒ 生体試料の活用：歯のエナメル質や爪の EPR、染色体異常等。生体試料は保管
- ・内部被ばく線量評価 ⇒ 体外計測法、間接バイオアッセイ。生体試料は保管
- ・計測・評価の目的は、高い信頼性と小さい不確かさで、個人の被ばく線量を評価すること
- ・一般に、個人被ばく線量と環境放射線（能）のデータがなければ不確かさが大きく、環境放射線（能）データがあればベターで、個人被ばく線量データがあると精度が高い
- ・全員のデータが必ずしも必要ではなく、代表的な者でも推定は可能
- ・個人被ばく線量が分かれば線量再構築をしやすい。緊急医療措置との競合、高性能の計測器や熟練測定者の不足等の阻害要因がある
- ・最も現実的に考えても、被ばく線量推定は線量実測よりも複雑

3. それぞれの調査対象者について、個人被ばく線量の推定に適用できるような、被ばく時の居場所と食事に関する情報の収集 (Collect, for each study participant, information on whereabouts at the time of exposure and relevant dietary data that can be used for the estimation of the radiation dose)

- ・被ばく線量評価の信頼性を高めるために極めて重要
- ・リスク推定の目的 ⇒ 対象集団を設定して、代表者（年齢、性別、民族・・・）にインタビュー
- ・疫学調査の目的 ⇒ 理想的には調査対象全員にインタビュー
- ・インタビューについて
 - + 外部被ばく線量評価：所在地、滞在時間、建築物の種類 等
 - + 内部被ばく線量評価：水・食物の摂取状況、生産地、調理方法 等
 - + 予め被ばく者で試験をするなど慎重に準備した質問票を用いて、熟練した監督者の下で実施すべき
 - + 直接インタビューが困難な場合は、間接的な情報収集手法もある
 - + 記憶の想起と回答の信頼性を最大化するためには、可能な限り早いインタビューの実施が不可欠

4. できる限り多くの放射線場の空間的・時間的分布と変動に関する情報の収集 (Collect as much information as possible on the spatial and temporal patterns and variations of the radiation field)

- ・リスク推定 ⇒ 放射線場の情報は、代表的な生活様式や食物摂取率を仮定して被ばく線量推定に使用
- ・疫学調査 ⇒ 放射線場の情報は、生活習慣や食物摂取率に関する個々人のデータと合成する必要がある
- ・外部被ばく線量評価：空間線量率の測定値による評価が理想的
- ・内部被ばく線量評価：空气中放射性物質濃度、食物中放射性物質濃度の実測値による評価が理想的
- ・放射線場の測定は、事故直後になるべく素早く開始されるべき
- ・ウェザリング等の線量低減効果要因の影響を把握するためには、数か月から数年の調査継続が必要

5. 現実的な被ばく線量の計算とバイアス源の最小化 (Calculate realistic radiation doses, minimizing sources of bias)

- ・直接測定を補完するモデルに対して、過小・過大評価の可能性の排除または最小化
- ・リスク推定 ⇒ 評価対象の人口集団に対して、バイアスのない正確な被ばく線量を評価
- ・疫学調査 ⇒ 評価対象の個々人に対して、バイアスのない正確な被ばく線量を評価
最初に関連被ばく情報を用い、次に必要に応じて数学的モデルで補完
- ・データの優先度
 - + 調査対象者自身の被ばく線量の測定結果
 - + その他の人々の被ばく線量の測定結果
 - + 環境放射線（能）の測定結果
 - + 数学的モデル
- ・仮定を常に必要とすることに注意し、後の評価のために仮定を明確に文書化するべき

6. 被ばく線量推定の検証 (Validate the dose estimates)

- ・被ばく線量の推定値が可能な限り正確に与えられ、系統的なバイアスを受けていないことの確認
- ・疫学調査では、バイアスのない被ばく線量評価の利用が不可欠
 - +できるだけ多くの検証試験を実施し、検証試験の結果、被ばく線量評価の過程に反映しておくことが重要
- ・検証の手法
 - +初期の被ばく線量の推定値を生物学的線量指標の実測値（バイオアッセイ）と比較
（以下は、パラメータの選択が困難なため、他に手法がない時以外は推奨できない）
 - +ソースタームからモデル計算
 - +過去の事例から推測
- ・測定と被ばく線量評価の双方に不確かさが付随するため、検証作業は一般的には評価手法やパラメータに関する本質的な不備の指標を示すに過ぎない

7. 被ばく線量の不確かさ評価 (Evaluate dosimetric uncertainties)

- ・被ばく線量推定の信頼性、正確性、包括的妥当性の疑問に対応するために、不確かさ評価が必要
- ・リスク推定（後期段階）と疫学調査の両方で重要
- ・不確かさの要因の例
 - + 環境放射線（能）の測定
 - + 実測結果の補完モデルの選択とパラメータ値
 - + 生活習慣に関するインタビュー
 - + 人体の代謝やサイズ（内部被ばく線量評価の場合）
- ・集団におけるバイアスの取扱いは特徴的
 - + 集団における共通のバイアスはある
 - + 集団共通バイアス、個人統合バイアスを加味するモデルもある
- ・不確かさの要因評価においては、常に未知の要因が潜むことを懸念すべき

表IV-1 2種類の健康リスク評価に対するガイドラインの適用

GL※	施 策	リスク推定への適用		疫学調査への適用
		初期段階	後期段階	
1	被ばく者の登録名簿作成	不要	不要	必須
2	個人ベース線量の測定結果収集	有効	有効	極めて有効
3	被ばく者の個人情報収集	不要	不要	極めて有効
4	放射線場のデータ収集	必須	必須	必須
5	現実的でバイアスのない線量計算	有効	必須	必須
6	被ばく線量推定の検証	不要	有効	極めて有効
7	被ばく線量推定の不確かさ評価	不要	極めて有効	極めて有効

※ガイドライン (Guideline)

This is a blank page.

国際単位系（SI）

表 1. SI 基本単位

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

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

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

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

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

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

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

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

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

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

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

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

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

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

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

表 5. SI 接頭語

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

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

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

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

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe Δ (10 ³ /4 π) A m ⁻¹

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

表 10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
ミクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

