

東日本大震災後の原子力事故による放射線被ばくの
レベルと影響に関するUNSCEAR 2013年報告書
刊行後の進展

国連科学委員会による今後の作業計画を指し示す2017年白書

情報にもとづく意思決定のための、放射線に関する科学的情報の評価



東日本大震災後の原子力事故による放射線被ばくのレベルと 影響に関する UNSCEAR 2013 年報告書刊行後の進展

国連科学委員会による今後の作業計画を指し示す 2017 年白書



国際連合
2017 年 ニューヨーク

本書は UNSCEAR のウェブサイト www.unscear.org で提供されています。
本書に関する問い合わせは UNSCEAR 事務局(unscear@unscear.org) へお願いします。

本書に示されている見解は著者や編者のものであり、国連の見解を代表するものではありません。

英語版と日本語版に相違があった場合には、英語版が優先されます。

© 2017. United Nations for the English edition.

© 2017. United Nations for the Japanese edition prepared by BLC Corporation, Osaka, Japan

All worldwide rights reserved.

This publication has not been formally edited.

目次

要約.....	v
I. 緒言.....	1
II. 新規情報の評価.....	2
III. 放射性核種の大気中への放出、拡散、沈着に関する更新情報.....	3
IV. 放射性核種の水域への放出、拡散、沈着に関する更新情報.....	8
V. 陸域および淡水域環境における放射性核種の移行に関する更新情報.....	11
VI. 公衆の線量評価に関する更新情報.....	16
VII. 作業員の線量評価に関する更新情報.....	22
VIII. 作業員と公衆における健康影響に関する更新情報.....	24
IX. ヒト以外の生物相における線量と影響に関する更新情報.....	30
X. 新規文献の評価に関する結論.....	33
XI. 主要な研究プロジェクトおよびプログラムの収集と評価.....	35
謝辞.....	38
参考文献.....	39

添付資料: 日本の研究者との会合における主な結果の概要

本白書で引用されている補足資料は下記のサイトから英語版のみダウンロードすることができます。

http://www.unscear.org/unscear/en/publications/Fukushima_WP2017.html

要約

本要約は、第 72 回国連総会に提出された原子放射線の影響に関する国連科学委員会による国連総会報告書に基づくものである。¹

[...]

本委員会は、第 64 回年次会合(2017 年 5 月 29 日～6 月 2 日)において、2013 年の第 68 回国連総会に提出された報告書²およびそれを支持する詳細な科学的附属書³に示されている、2011 年東日本大震災後の原子力事故による放射線被ばくと影響の評価を見返した。報告書では、全般的に線量は低く、それゆえ関連リスクも低いであろうと結論づけていた。原子力事故からの放射線被ばくに起因する可能性がある福島県の成人のがん発生率について、認識可能な増加は予測されなかった。しかしながら、報告書において本委員会は、福島県においては事故後の甲状腺への吸収線量がかなり低かったため、チェルノブイリでの事故後のような多数の放射線誘発甲状腺がん発生の可能性を考慮しなくともよいだろうが、放射線に最も被ばくした小児の間で甲状腺がんリスクの増加が理論的に推測し得る可能性があることを認識していた。出生時の障害や遺伝性疾患の発生について識別できるほどの増加は予測されず、また、がん発生率についての通常の統計変動に対してわずかな増加を確認することは困難であるため、被ばくによる作業者のがん発生率の増加は認識できないだろうという結論に至っていた。陸域および海域の生態系への影響は、一過的かつ局所的となるであろうと予測された。

評価の後、本委員会は、追加の関連情報が公表され次第、それらを遅滞なく把握できるようにフォローアップ活動を実施する仕組みを整えた。第 70 回および第 71 回国連総会にそれぞれ提出された本委員会の第 62 回および第 63 回年次会合報告書には、各年の当該時点までに実施されたフォローアップ活動によって得た知見が含まれていた。

本委員会は、2016 年末までに利用可能となっていたさらなる情報の特定を続け、2013 年報告書への影響を評価するために、関連する新規文献のレビューを体系的に実施した。これらの新規文献の大部分は、本委員会の 2013 年報告書の主な仮定および知見を改めて確認するものであった。2013 年報告書の主要な知見に実質的に影響を及ぼしたり、主な仮定に異議を唱えたりする文献はなかった。いくつかの文献については、さらなる解析や研究の追加によって、より確実な証拠を得ることが必要であると判断された。本委員会は、資料のレビューに基づき、現時点で 2013 年報告書の評価や結論に何ら変更を加える必要はないと判断した。しかしながら、本委員会が特定したいくつかの研究ニーズについては、まだ科学界において完全には取り扱われていなかった。

本委員会は、英語の非売品刊行物として知見をウェブサイト上で電子的に発行することを要請するとともに、利用できる資源に制限はあるであろうが、日本語でも公表することを促進した。

¹ 第 72 回国連総会公式記録、補足資料 No. 46 (A/72/46)。

² 第 68 回国連総会公式記録、補足資料 No. 46 および正誤表 (A/68/46 および Corr.1)。

³ 電離放射線の線源、影響およびリスク：原子放射線の影響に関する国連科学委員会 2013 年国連総会報告書、第 1 巻、科学的附属書 A (国連刊行物、販売番号 E.14.IX.1)。

I. 緒言

1. 本委員会は、福島第一原子力発電所(福島第一原発)での 2011 年 3 月 11 日の事故による公衆、作業員、ヒト以外の生物相の放射線被ばくを評価し、健康影響について考察し、その知見を 2013 年 8 月の国連総会への年次報告書⁴として提出した。続いて、国連は、本委員会が得た知見とその基盤となっている詳細な科学的附属書を 2014 年 4 月 2 日に発表した[U2]。この刊行物(以下、「2013 年報告書」という)は、国連総会、各国政府、科学界、日本のメディアと公衆に概ね肯定的に受け入れられた。

2. 本委員会の評価は、概して 2012 年 10 月末までに開示または公表された情報に基づいていた。その後、多くの追加関連情報が公表され利用可能となってきたが、こうした状況は近い将来にわたって継続すると思われる。このような進展は本委員会による評価の結果に影響を及ぼす可能性があるため(知見の追認、知見への異議、知見の向上や、特定された研究ニーズへの対応・寄与など)、本委員会では引き続き、遅滞なく最新情報を把握し続けており、またこれを継続する予定である。これにより、本委員会は、それまでの知見を改善または更新する必要性について、情報に基づいた決定を適時行うことができるようになる。本委員会は、新規資料の合理的な科学的評価の提供は、(a) 事故の影響を受けた人々のよりよい状況把握と、(b) 情報提供に基づく意思決定に役立つと考える。

3. これらを背景に、本委員会は第 61 回年次会合(2014 年 7 月 21 日～25 日)において「福島第一原発事故の放射線影響に関する本委員会の評価に関する知見と結論の一部を更新してまとめるためのフォローアップ活動について、[...]第 62 回年次会合(2015 年 6 月 1 日～5 日)で検討するための予備計画を提出すること」を事務局に要請した。また、「事故のフォローアップの中で新しい科学的進展を常に把握しておくための仕組みを速やかに構築すること。かかる仕組みは、事故について最新の評価を実施するために特別に設けた体制に拠るべきである。」と事務局に求めた。さらに本委員会は、「委員会が策定した作業計画の進捗について、毎年報告すること」も事務局に要請した。

4. この対応として、事務局はフォローアップ活動のプロジェクト計画を策定した。当該計画は、本委員会の承認を得て、現在実施されている。このプロジェクトは 2 つの段階で構成されている。第 1 段階は新たな情報の体系的かつ継続的なレビュー、第 2 段階は 2013 年報告書の適切な時期における更新である。第 1 段階の全体的な目標(少なくとも 2016 年かそれ以降まで)は、「2013 年報告書の正式な更新(すなわち第 2 段階)を適切なタイミングで開始することを念頭に、事故に関する新規文献および調査活動の進捗を定期的に本委員会に通知すること」である。第1段階のより具体的な目的には以下が含まれる。

(a) 公表された情報を収集・評価することにより、福島第一原発事故における全体的な放射線被ばく状況についてのレビューを組織的に継続すること

(b) 未解決の課題に関連する主要な研究プロジェクトや計画の進捗状況および計画立案状況について情報を収集・評価すること

⁴ 第 68 回国連総会公式記録、補足資料 No. 46 および正誤表 (A/68/46 および Corr. 1)。

- (c) 2012年10月以降に発表された情報と2013年報告書との相違を速やかに特定すること
- (d) 状況把握に役立ち、続く2013年報告書の更新に利用可能な分析を適宜実施すること
- (e) 2013年報告書に関する質問および批判について回答すること
- (f) 本委員会の年次会合において、上記の結果を毎年報告すること

5. 第 62 回会合において、本委員会は、(a) 2013 年報告書の知見に対する新たな科学的進展(2014 年末まで)の影響評価、および(b) 2013 年報告書に対するいくつかの批判のなかで提起された一般的なテーマに関する見解を取り扱う白書⁵を公表することに合意した。さらに、2013 年報告書を補足する追加技術情報を提供する 2 編の電子ファイルが用意された。この第 1 報となる白書は 2015 年 10 月に公表された[U4]。第 63 回会合では、本委員会は、2013 年報告書の知見に対する新たな科学的進展(第 1 報の白書以降、2015 年末まで)のさらなる影響評価を取り扱う第 2 報の白書を発表することに合意した。この第 2 報の白書は 2016 年 10 月に公表された[U5]。

6. 第 3 報となる本白書には、2013 年報告書の知見に関する新たな科学的進展(第 2 報の白書以降、2016 年末まで)⁶のさらなる影響評価が示されている。また、本委員会が国連総会に報告した知見を実証するフォローアップ活動の主な結果の要約が提供されている。以前と同様、本白書には公表された情報のレビューが含まれているが、(さらに上述の段落 4 にある目標(b)に関連して)日本で実施されている主要な関連研究プロジェクトおよびプログラムの概要も含まれている。本白書は、これらのプロジェクトとプログラムの目的と、2013 年報告書の更新に際してとりわけ価値のある情報が提供されると見込まれる時期についてまとめている。

II. 新規情報の評価

7. 第 1 報の白書で本委員会が解析した新規情報の範囲は、概して査読付き英文学術誌に発表された文献であって、2013 年報告書に含まれていなかった、または引用されていなかったもの(すなわち、2013 年報告書における分析対象の情報に対して設定されていた期限である 2012 年 10 月よりも後に発行された文献)であり、かつ 2014 年末までに入手可能になっていた、あるいは発表されていたものに限定された。第 2 報には、2015 年末までに入手可能になった情報、あるいは発表された情報で、それ以前に検討されていなかったものが含まれた。第 3 報となる本白書には、2016 年末までに入手可能になった、あるいは発表された情報で、これまでに検討されていなかったものが含まれている。第 2 報の白書および本白書では、対象とする情報の範囲が拡張されており、査読付き学術誌の文献だけでなく、査読付きプロシーディング、地域・国の研究機関や組織、政府部門・省庁、学会、ユーティリティ企業、その他同様の組織が発行した報告書⁷、政府間組織の発行した報告書、公式その他の情報

⁵ 白書は、本委員会による今後の作業計画を指し示すために作成された文書であり、委員会はより広範なコミュニティと共有することとしている。

⁶ 本白書で検討対象とした文献は、以前の白書でレビューされておらず、2016 年末までに入手可能になったものであり、オンラインで入手可能になったものも含まれる。このため、本白書には、発行日が 2016 年よりも前とされている文献や最終発行日が 2017 年となっている文献もいくつか含まれている。

⁷ 例外的に、非政府団体の発行した科学的報告書を含むよう範囲を広げた場合もあった。

源より取りまとめられたデータのうち主要なもの⁸(および／または分析結果)も含まれた。実際に、本白書においてこれらの追加カテゴリーの中からレビューの対象として特定された文献は、日本学術会議によって発行された報告書[S9]の1編のみであった。

8. 本委員会が新規情報を特定、選考、評価するためのアプローチは、陸域と淡水域環境における放射性核種の移行という追加の1主題領域を導入したことを除き、第1報の白書で説明されたものと同じである(第2報の白書と同様)。より詳細な評価の対象とすべき関連文献を選考するにあたり、特に以下の可能性があるかどうかを考慮に入れた。

- 2013年報告書の仮定に対し異議を唱える⁹または裏付ける
- 2013年報告書の主な知見に影響する
- 2013年報告書において、あるいは課題として広く認識されている主題領域において特定されている研究ニーズに対応する

上記の基準を満たす全ての文献が評価されたが、本白書の内容は、2013年報告書の仮定と主な知見を追認する新規情報ではなく、当該仮定および知見に異議を唱える可能性のある情報をより重視している。また本白書では、特定された研究ニーズに対応し、福島第一原発事故による放射線影響に関する今後の評価に有益であると思われる関連情報もいくつか取り上げている。ただし、同事故に関連する入手可能なすべての新規情報を含む包括的な概観を提供することは意図していない。

9. 以下の章では、各主題領域の新たな情報源の主な選考・評価結果について順次説明する。各章において、レビューの背景を提供する目的で、2013年報告書の知見および以前の白書の結論を簡潔に概説している。その後、評価結果の要約、および2013年報告書とフォローアップ活動の双方への影響に関する結論を記述している。そして、第10章には、評価の総括的な結論が示されており、特定された研究ニーズへの対応に重要な寄与をするとみなされた新規情報源をまとめた表も含まれている。最後に、第11章では、日本において進行中の主な関連研究プロジェクトおよびプログラムがまとめられており、電子ファイルで補足されている。

III. 放射性核種の大気中への放出、拡散、沈着に関する更新情報

A. 2013年報告書の要約

10. 本委員会は、¹³¹I および ¹³⁷Cs(環境と人の被ばくという観点で最も重要な2つの放射性核種)の大気中への総放出量の推定値についてレビューした。これらの推定値の範囲は、概ね、¹³¹I が 100 ペタベクレル(PBq)～500PBq、¹³⁷Cs が 6PBq～20PBq であった。公表された推定値のそれぞれの平均は、チェルノブイリでの原発事故で推定された大気中への放出

⁸ さまざまな日本の組織によって比較的頻繁に大量のデータが生成・発表されており、これらすべてを本プロジェクトでのレビューに含めることは実質的ではなかった。このため、将来の再評価にとって、またはその再評価の範囲を拡張するうえで有用になる可能性がある重要なデータのみを検討対象を限定している。

⁹ 2013年報告書の更新を考慮するに値する程の大きな影響を委員会に与える場合、その文献は2013年の報告書の仮定に異議を唱えている、またはその結論に著しい影響を与えるものとみなされるであろう。

の約 10%および 20%であった。放出された放射性物質の多くは太平洋上に拡散したが、気象条件により、一部が本州東部に拡散し、(a) 乾性沈着と(b) 雨、霧および雪に伴う湿性沈着により地表に沈着した。主な沈着は福島第一原発の北西で生じたが、同サイトの北側、南側、西側でも有意な沈着が発生した。

11. 本委員会は通常、外部被ばくおよび吸入による公衆の線量を推定する基準として、放射性核種の沈着密度の測定値を使用している。ただし、(例えば避難者などについて)被ばく当時の測定データを利用できず、データの取得時期も逸している場所について、本委員会は、環境でのレベルおよびその結果として生じる人々の被ばく線量の推定に、適切な大気輸送、拡散、沈着モデル計算(ATDM)解析とともにソースターム(放出率の経時変化を含む)の推定値を使用する必要があった。本委員会は、この目的のために、公表されているソースタームから適切なものを選択した[T7]。このソースタームでは、放射能に占める割合の大きい核種である ^{131}I および ^{137}Cs の放出量が、それぞれ 120PBq および 8.8PBq であった。これらは、公表されていた推定値の範囲では下限に近く、総放出量を過小評価している可能性があるが、本委員会は、このソースタームが日本の陸域での拡散の結果として生じた線量を推定するには最も適切なものであると考えている([U2]段落 B15~B16 参照)。

B. 新規文献のレビューで得られた知見

12. 第 1 報および第 2 報の白書では、当該分野において 2013 年報告書の主要な知見に実質的な影響を与えたり、主要な仮定に異議を唱えたりする文献は特定されなかったと結論した。いくつかの文献は、仮定の全体、または一部を裏付ける内容であった。1 編の文献[K4]では、2013 年報告書で使用されたソースターム推定値を精緻化したものを紹介しており、本委員会は今後の調査でこのソースタームを優先して使用するよう推奨した。ただし、この推定値を使用することで、2013 年報告書で推定された線量に有意な影響を及ぼすことはないと推測している。本委員会は、入手可能になりつつある新しいデータによって、ソースタームの推定値と、大気中に存在している、あるいは地面に沈着している放射性核種の濃度の推定値が有意に改善される可能性があることに注目している。それらの影響を十分に理解するには、新しいデータと 2013 年報告書で使用されたデータを詳細に比較することが必要であろう。

13. 第 3 報となる本白書で検討された文献のうち、28 編について詳細なレビューを実施した。その多くが 2013 年報告書の仮定および知見の全体または一部を裏付けるものとなっている。以下は、当該文献の知見の要約である。

14. Chino et al. [C2]は、大規模な放出のあった 2011 年 3 月 12 日~21 日の期間内における異なる時点で、どの原子炉が大気への主な放出源となったのかを特定した。また、本州の特定の地域における沈着の放出源となった原子炉も判別した。これらの調査結果は、沈着密度の測定値から得られた ^{134}Cs : ^{137}Cs の放射能比およびそれぞれの原子炉停止時の燃料内の放射能比に関する情報に基づいている。この調査では、福島第一原発におけるどの事象が大規模な放出に至ったのかを断定的に特定することはできなかったが、この課題について理解が進んだことの科学的な価値と、この領域でのさらなる今後の共同研究活動の必要性を強調している。Jäckel et al. [J1]も、福島第一原発の北西からのデータを使用した同様のアプローチを示しており、Snow et al. [S10]は福島第一原発の南西で観察された ^{135}Cs : ^{137}Cs の放射能比を追記している。福島第一原発に非常に近い場所(500m 以内)における放射性核種の沈着密度は、2 号炉の寄与が大きかったが、北および西方向のより遠い場所における沈

着密度は、1号炉と3号炉の寄与がより大きいことが示唆された。3基すべての原子炉が、南西方面のより遠い場所における沈着密度に寄与したことが明らかとなった。

15. さらに、上記の分析に基づき、Chino et al. [C2]は、2011年3月20日から3月21日の期間について、部分的に Katata et al. [K4]のソースタームを更新した。この期間における¹³⁷Cs 放出量は以前と比べてわずかに低く推定されたが、¹³⁷Cs の総放出量には大きな変化はなかった。今後の調査において、Katata et al.のソースタームに関するこのわずかな変更を考慮に入れていくべきである。

16. Yumimoto et al. [Y10]は、最初に Terada et al. [T7]が推定したソースタームを基に、逆モデル計算と航空機によって記録された大規模な沈着密度のモニタリングデータを使用して、新しいソースタームの推定を導き出した。さらに著者らは、このソースタームを使用して予測した大気中の¹³⁷Cs 濃度と、フィルターテープ上の浮遊粒子状物質を収集して測定した濃度とを比較した[O13, T12]。Yumimoto et al.は、特に2011年3月15日について、地表近くの空気中濃度を、以前の調査に比べてよりよく再構成することができた。

17. Hanna and Young [H1]は、風速場および大気輸送の観察とモデル計算に基づき、大気への放出が影響する場所や規模を特定するための現在の最先端技術について簡単にまとめている。また、多分野にわたる研究者たちが、科学に関する公共政策の方向性に影響力を与える組織へのアウトリーチを介して、方法論や専門用語を共有するよう活動すべきであると推奨している。ソースタームの推定に関しては、方法論の共有を目的とした査読付き学術誌の特別号や科学会議における当該課題についての特別セッションを企画することができるであろうと提案している。

18. Girard et al. [G2]は、モデルの入力値およびパラメータの不確かさが大気拡散モデルの予測へ与える影響を分析した。著者らは、福島第一原発事故による大気への放出の推定値を使用し、不確かなモデルの入力値がオイラー型 ATDM によって推定されるガンマ線線量率へ与える影響を調査した。また、どの入力パラメータがガンマ線線量率の推定に最も大きく影響するのかを把握するために、分散に基づく感度分析を実施した。結果として、入力値の不確かさおよび大気拡散モデル計算に伴う不確かさの伝播の影響を把握するためのさらなる研究の必要性が強調された。

19. 日本学術会議[S9]は、福島第一原発事故によって放出された放射性物質の輸送と沈着の分析に用いられた複数のモデルについて、評価および比較を実施した。この相互比較には、地域および世界規模の ATDM のほか、海洋拡散モデルが含まれていた。異なる地域規模のモデルで評価された通り、本州への¹³⁷Cs の沈着は総放出量の約 $27\pm 10\%$ であったということが知見のひとつとして得られた。世界規模のモデルの比較では、地球上への湿性沈着がモデルで想定された¹³⁷Cs の総放出量の $93\pm 5\%$ であることが示された。検討されたモデルは、観察された放射性物質の分布の主要な特徴を示すことができると判明した。これら知見はすべて、2013年報告書の仮定および知見と合致している。

20. Fujiwara [F1]は、Muramatsu et al. [M13]が先に示していたように、測定された¹²⁹I の沈着密度から¹³¹I の沈着密度を遡及的に再構成できることを確認した。Muramatsu et al.は、この手法を福島第一原発の80km以内の地域に適用し、土壌における2つの放射性ヨウ素の濃度が強く相関していることが判明したが、新たな調査では、¹³¹I および¹²⁹I の沈着密度が

比較的小さい福島第一原発からさらに離れた地域でも、(いくつかの修正を加えることで)この手法が利用できることが示された。

21. Hirose [H7]は、2011年から2016年に発表された多くの論文に基づき、福島第一原発事故による大気および海洋への放射性核種の放出と、その後の輸送、拡散、沈着について入手できる情報をレビューし、2013年報告書および2015年ならびに2016年白書におけるいくつかの仮定と主要な知見を追認した。例えば、著者は、 ^{137}Cs の大気への総放出量の約80%が北太平洋に沈着したと複数の文献から結論づけた。また、Tsuruta et al. [T12]の文献(大気汚染モニタリングステーションのフィルターテープの分析から得られた福島および関東地域における地表近くでの大気中の ^{137}Cs 濃度を示している)に記載された値も追認している。複数の文献を再調査した結果、Hiroseは ^{131}I 含有粒子の大きさは放射性セシウム含有粒子の大きさとは異なる可能性があるため、 ^{131}I 含有粒子の拡散・沈着挙動は ^{134}Cs および ^{137}Cs 含有粒子の挙動とは異なっていた可能性があるとし唆している。2013年報告書の仮定では、粒子状ヨウ素と粒子状セシウムは、大気輸送および沈着の過程で類似の挙動をすることであったが、Hiroseが示唆している粒子サイズの相違による影響は、放射性ヨウ素の化学形態に関する仮定による影響に比べると小さい可能性がある([U5]段落15~16を参照)。

22. Hirose [H6]は、関東地方および東北地方南部の観測地点における ^{137}Cs の沈着について毎月の調査を実施した。この結果から、著者は、福島第一原発からの大気への放射性物質の放出は2013年春にも継続していたが、 ^{137}Cs の放出率は初期の放出期間に比べて約4桁小さくなっていたと結論づけた。Steinhauser et al. [S11]は、福島第一原発の敷地での廃炉作業および解体作業のため、(事故から数年経過していても)放射性物質の二次的な放出の可能性があることを指摘している。この可能性を、Hiroseの示したモニタリング結果に関する別の解釈とする検討はなされていない。Steinhauser et al.はさらに、Igarashi et al. [I2]およびOchiai et al. [O1]も指摘しているように、再浮遊が空気中の ^{137}Cs の濃度レベルを継続させるとともに、それが再沈着することを記述している。

23. Ochiai et al. [O1]は事故後数年間における沈着したセシウムの再浮遊について調査し、 ^{137}Cs を含有する粗い粒子と細かい粒子では、再浮遊過程の起源および挙動が異なることを示した。また、ヨーロッパにおけるチェルノブイリでの事故後に観察された再浮遊係数の年間平均よりもわずかに低い新たな再浮遊係数を紹介している。この調査では、再浮遊は長期的な公衆の被ばくに有意に寄与しないという2013年報告書の仮定が実証されている。

24. Mikami et al. [M5]は、福島県全域といくつかの隣県における多数の場所で $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 、 ^{134}Cs および ^{137}Cs の沈着密度と比率を測定し、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ の沈着密度が ^{134}Cs および ^{137}Cs の沈着密度に比べて数桁低いことを確認した。また、2012年3月から12月の期間において、 ^{134}Cs および ^{137}Cs の沈着密度にほとんど変化がないことを明らかにし、選択された測定場所(開けた平坦地)の地勢が原因である可能性もあるが、土壤に沈着した放射性セシウムが、特に水平方向でほとんど移動しないことが示唆された。また、 $^{134}\text{Cs}:$ ^{137}Cs の放射能比の空間的変動について、核種の放射能比が異なる複数の放出が起こったことに起因すると報告している。Chino et al. [C2]は、特定の地域での沈着をそれぞれの原子炉からの放出に関連付けるために、このような $^{134}\text{Cs}:$ ^{137}Cs の放射能比に関するデータを使用している。

25. Sato et al. [S6]は、土壤中の放射性セシウムの濃度が、狭い範囲内においても大きく異なることを明示した。7メートル四方の範囲から採取した5つの土壤試料の測定による最高濃度および最低濃度の比率の平均値(27ヶ所を超える地点について)は約5倍であった。空

間変動に関するこのような情報は、土壌試料の測定濃度と公衆の線量推定との関係についての理解に有用である。

26. Satou et al. [S7]は、福島第一原発の北西 20 km の地点から採取した表土から、4 個の放射性固体粒子を分離したと報告している。著者らによると、これらの粒子は以前の調査 [A1, A2, Y1]で観察されたものよりも大きく、放射能も高かった(化学成分は類似していたが)。以前の調査では、非水溶性の「ガラス状の球状体」で構成された、直径数マイクロメートルのセシウム含有粒子が見つかり、セシウム、酸素、鉄、亜鉛といった元素が含まれていた(さらに Satou et al.および Yamaguchi et al.の両者は、セシウム含有粒子内にケイ酸塩を発見している)。一方、Kaneyasu et al. [K2]は、放射性セシウムはサブミクロンの大きさの硫酸エアロゾルに付着しており、水溶性であると報告している。Abe et al. [A1]はこのような粒子は核燃料を起源としている可能性がある結論づけており、Salbu and Lind [S4]は難溶性の長寿命ガンマ線放出核分裂生成物がなく、超ウラン元素もないことから、粒子が使用済み核燃料を起源とする可能性はないだろうと主張している。このような相違を説明するひとつとして、福島第一原発事故により放出された放射性セシウムの物理的形態および化学的形態が非常に多様であったことが挙げられるであろう。このような説明は、 ^{134}Cs および ^{137}Cs の空気力学的放射能中央径の分布として、 $0.5\mu\text{m}$ 未満、 $0.94\mu\text{m}$ 、 $7.8\mu\text{m}$ の 3 種類のピークを見つけている Miyamoto et al. [M7]によって支持される。放出されたセシウム含有粒子とエアロゾルの物理的および化学的特性は、沈着過程、吸入線量の推定および環境中の放射性セシウムの今後の挙動に影響を与えるため、これらの特性を十分に理解するためのさらなる研究が必要である。

27. Sakaguchi et al. [S1]は、福島県において放射線量の高い地域(福島第一原発から 3km ~ 35km の距離)から得られた道路わきの黒いダスト試料について、 ^{236}U 、プルトニウム同位体、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs を測定した。すべての試料において、 ^{134}Cs および ^{137}Cs の濃度が非常に高いことが判明し、低レベルの $^{239+240}\text{Pu}$ および ^{236}U が検出された。著者らによると、観測された ^{236}U : $^{239+240}\text{Pu}$ の放射能比は、炉心燃料から微量のウランおよびプルトニウムが放出されたことを示唆している。また、合計で $3.9\times 10^6\text{Bq}$ のウラニウムと $2.3\times 10^9\text{Bq}$ の $^{239+240}\text{Pu}$ が福島第一原発から放出されたと推定されている。これは、揮発性元素であるセシウムおよびヨウ素の放出量と比較してプルトニウムとウランの放出量が何桁も低かったとする 2013 年報告書の知見に一致している。

28. Terasaka et al. [T8]は、タリウムを含むヨウ化ナトリウム(NaI(Tl))シンチレーション検出器で測定された波高分布から、茨城県内の 6 ヶ所について、福島第一原発事故の早期における大気中の各放射性核種の濃度を推定した。この作業は、福島県内の複数のモニタリングポストにおける測定値から大気中の ^{131}I 濃度の時間分布を評価した、Hirayama et al. [H4]による以前の調査に類似している。Terasaka et al.の調査が 2013 年報告書の知見を実証するものであるかを判断するためには、さらなる分析が必要である。

C. 新規文献がもたらし得る影響

29. 本委員会は、粒子の大きさ、ヨウ素およびセシウムの同位体以外の放射性核種の放出など、大気中の放出を理解する上での継続的な進展に着目した。新規データおよび分析により、大気中の放射性核種および地表に沈着した放射性核種のレベルの推定値が継続的

に改善されている。本委員会は、新規文献が2013年報告書の結果に有意な影響を与えたりは考えていないが、より詳細な分析によって確認する必要があるであろう。¹⁰

30. 本委員会は、以下に示す分野での研究が、2013年報告書で特定されたニーズへの対応に寄与する可能性が最も高いとして特定した。

- (a) ATDMにおける湿性沈着のモデル計算についての研究を継続すること
- (b) 入力値の不確かさとATDM計算に伴う不確かさの伝播の影響を調査すること
- (c) ソースタームを推定するためのインバース法とリバース法による逆推定法モデル計算の改善を継続すること
- (d) 利用可能なあらゆる測定データを利用して現在のソースタームの推定値を改善すること
- (e) 福島第一原発のそれぞれの原子炉事象に対して、どのように放出率の時間変化が関係しているかの理解を改善するために、利用可能なあらゆる測定データとATDMを継続的に使用すること
- (f) ^{129}I の測定値に基づく ^{131}I の沈着の再構築を残りの土壌試料についても実施すること
- (g) モニタリングステーションのフィルターテープの放射性核種濃度の測定を残りのフィルターサンプルについても実施すること
- (h) ^{131}I 、 ^{134}Cs および ^{137}Cs の大気中濃度に関するデータを分析し、以前のモニタリングおよびモデル計算の結果と比較すること
- (i) 福島第一原発事故後に沈着したセシウムを含む粒子とエアロゾルの物理的および化学的特性の調査を継続すること

IV. 放射性核種の水域への放出、拡散、沈着に関する更新情報

A. 2013年報告書の要約

31. 本委員会は、福島第一原発から海洋への直接漏洩および放出が、主に事故から1ヶ月の間に発生したものの、この継続的な放出が本委員会による公衆の線量評価に有意に影響した可能性は低いとの結論に達している。また、主に三次元モデルを使用して導出された推定値に基づき、海洋への直接的な放出は、 ^{131}I が約 10PBq～20PBq、 ^{137}Cs が 3PBq～6PBq であると判断した。さらに、本委員会は、大気からの沈着による海洋への流入量は、 ^{131}I が約 60PBq～100PBq、 ^{137}Cs が 5PBq～8PBq であり、福島第一原発から半径 80km 圏内に沈着した割合は小さいと判断した。本委員会は、福島第一原発近傍の海水中の ^{137}Cs の濃度は、2011年4月7日に記録した最高値 68,000Bq/L から急速に減少し、4月末には概して

¹⁰ 上記で引用している複数の文献で報告された新規データ(土壌中の ^{137}Cs のよりよい測定値、粒子の大きさの分布、再浮遊など)は、今後の公衆の線量再評価に有用である。

200Bq/L を下回り、その後の減少率はより小さいと結論している。濃度は海岸から離れるにつれて著しく低下し、15km および 30km の沖合では、福島第一原発近傍の濃度に対して、それぞれ約 100 分の 1 から 1,000 分の 1 であった。堆積物中の ^{137}Cs の濃度は、福島第一原発港湾内の非常に高い濃度を除くと、10Bq/kg-乾燥重量から 1,000Bq/kg-乾燥重量の範囲であった。

32. 2013 年報告書がまとめられた当時、放射能汚染水が敷地から流出しており、地下水が放射性核種を水域環境に輸送していた。また、本委員会は、有意な量の核分裂生成物および放射化生成物が原子炉およびタービン建屋の地下にある滞留水に存在することを認識していた。科学的調査における主な優先事項は、水域環境への漏洩と放出の特性に関する評価の改善、およびこれら放出の長期的な輸送と混合の予測および定量化であると確認している。

B. 新規文献のレビューで得られた知見

33. 本委員会は、第 1 報および第 2 報の白書において、2013 年報告書の当該分野における知見は有効であり、それ以降に発表された新規情報の影響をほとんど受けていないと結論した。また、海洋環境における放射性核種の放出とその後の拡散に対する理解を深める上で貢献すると思われる数編の文献について記述した。

34. 第 3 報となる本白書で検討した文献のうち、7 編について詳細なレビューを実施した。2013 年報告書の知見に反するものはなく、複数が海洋への直接漏洩が全般的に減少傾向にあるという仮定を追認している。いくつかの文献は、特定された研究ニーズに対応しており、以下の段落でその寄与について要約する。

35. 2 編の文献は、太平洋への放射性セシウムの放出の新たな推定値を導出している。Inomata et al. [I4]は、海水中の ^{134}Cs の濃度について最適内挿法を用い、北太平洋における ^{134}Cs のインベントリが 2011 年 3 月末時点で $15.3 \pm 2.6\text{PBq}$ であったと推定した。このインベントリの約半分は福島第一原発近傍の海域に存在するものと考えられた。Tsubono et al. [T10]は、放射性核種の拡散シミュレーションのアンサンブル解析を行い、海洋における無秩序な挙動に関連する不確かさを評価した。 ^{134}Cs の濃度の計算値と実測値との回帰に基づき、北太平洋への ^{134}Cs のフラックスは $16.1 \pm 1.4\text{PBq}$ と推定された。放出時の ^{137}Cs と ^{134}Cs の放射能比は約 1 であったため[U2]、 ^{137}Cs のフラックスは同等であると推測した。これらの推定は、2013 年報告書に記載されている ^{137}Cs の放出量(海へ直接流出したものと大気からの沈着)の推定範囲の上限にほぼ一致している。

36. Fukuda et al. [F2]は、2013 年から 2015 年にかけて、毎年 5 月および 10 月福島第一原発近傍から 30km 圏内の海水中の溶存態 ^{137}Cs の濃度を分析した。著者らは、それらの濃度が、事故前の濃度より 1 桁から 2 桁高かったことを示した。海岸から 5km 圏内での濃度が最も高かったが ($20\text{Bq/m}^3 \sim 220\text{Bq/m}^3$)、時期によって大きなばらつきがあった。海岸から離れるほど濃度は低下する傾向にあり、30km の測点では $2\text{Bq/m}^3 \sim 4\text{Bq/m}^3$ であった。濃度と時間による変動が比較的高い要因として、豪雨による河川から海への流入量の増加と、福島第一原発の港湾施設から外海への汚染水の放出量の増加の 2 つの可能性を挙げた。

37. 2013 年 9 月に Castrillejo et al. [C1]は、福島県沖で採取した海水試料中の ^{90}Sr 濃度について報告した。濃度は福島第一原発近傍の表層海水中で最も高く、 $0.8\text{Bq/m}^3 \sim$

8.9Bq/m³であった。これは、福島第一原発から⁹⁰Srの放出が続いていたことを示唆している。Castrillejo et al.による推定は、福島第一原発からの継続的な漏洩による流入量が、おそらく河川からの流入量の2桁から3桁を上回っていたことを示している。2011年6月に行われた測定と比較し、2013年9月に測定された濃度は、⁹⁰Srで1桁、放射性セシウムで2桁～3桁低くなった。Castrillejo et al.は、この⁹⁰Srの相対的に高い濃度は、地下水の流入またはセシウムが除去された水の貯蔵タンクからの漏洩のいずれかの結果であると考えている。

38. 2012年の夏期に、北極海から南極海までの太平洋横断航路に沿って、太平洋における放射性セシウムの長距離輸送が観測された[K11]。¹³⁴Csは北緯25度から北緯63度(ベーリング海の北端)の間でのみ観察され、福島第一原発事故の結果として放出された¹³⁴Csが、2012年の夏期までに北極海には到達していなかったことが示唆された。Kumamoto et al. [K11]が観察した南北の分布は、海洋上の大気への放出の沈着に関するATDMの結果と一致していた。約2年後の2014年に北緯45度から北緯50度の間で行われた測定において、Inoue et al. [I6]は、親潮海域で¹³⁴Csの濃度が低下していなかったことが判明し、放射性セシウムが継続的にこの海域に輸送されていたことを示唆した。同時期に、Kumamoto et al. [K12]は、黒潮前線(北緯35度～北緯40度)の北部で2012年に観察された¹³⁴Csの濃度上昇が消失したことを確認し、おそらく北米の海岸に向かう表層流に沿って東方に輸送されたことが原因であろうとした。北米大陸の西海岸沖にあたる環太平洋東端では、放出された放射性セシウムの南方向への輸送は観察されなかった。西部の亜熱帯地域では、放出された放射性セシウムが、2014年に水深200メートル付近で極大濃度を伴って北緯15度(2012年は北緯18度であった)に達したことから、亜熱帯モード水と呼ばれる水塊中で南方に輸送されたことが示唆された。この水塊の形成モードから、Kumamoto et al. [K11]は、この水塊中の¹³⁴Csの起源はおそらく黒潮(北緯30度～北緯35度)の南側への大気からの沈着にあると推測している。

39. Nagao et al. [N1]は、2011年5月から2012年11月に新田川(福島第一原発から北方に約25km)の¹³⁷Csの濃度を測定し、0.025Bq/Lから4.18Bq/Lであった。降雨に伴って河川流量が増加している間はより高い濃度が記録されることもあったが、概して濃度は時間とともに減少していく傾向にあった。Naulier et al. [N4]は、6ヶ所の沿岸集水域で¹³⁷Csの濃度を分析し、沈着堆積物中および浮遊堆積物中の放射性セシウムの主な輸送媒体は、河川の放出量が低い場合から中程度の場合には微粒子有機物であるが、極端な洪水の場合には鉱物層であることを示した。

C. 新規文献がもたらし得る影響

40. 本委員会は、2013年報告書の当該分野における知見は引き続き有効であり、それ以降に発表された新規情報の影響をほとんど受けていないとの結論に達した。本委員会は、海洋環境における放射性核種の放出とその後の拡散に関する理解を深める上で貢献すると思われるいくつかの文献について記述した。

V. 陸域および淡水域環境における放射性核種の移行に関する更新情報

A. 2013 年報告書の要約

41. 2013 年報告書において、本委員会は、陸域および淡水域環境を介した移行をモデル化し、福島第一原発事故から 2 年目以降の食品摂取による公衆の線量を推定した。この線量を推定するにあたり、本委員会は FARMLAND モデル[B1]を使用した。このモデルは、沈着した放射性核種の土壌中への移動とその後の食品への吸収を予測するために使用された。東アジアの農業条件(特に米、野菜、果物について)を考慮に入れるため、当該モデルの一部は修正されたが、北欧のデータに基づく多くの放射性物質および農業に関するパラメータはそのまま使用された。

42. 2013 年報告書では、成人の一人あたり摂取重量が最も多い食品カテゴリーとして、米、その他の野菜(緑色葉菜と同一と仮定)、小麦および小麦製品(穀物と同一と仮定)、果物、牛乳を、2 年目以降の経口摂取による線量評価に含めた。現実的な線量を推定することが目的であり、住民を代表するグループの平均線量の推定に焦点が置かれたため、野生動物、キノコおよび淡水魚などの野生食品の消費は考慮されなかった。

43. この仮定に基づき、また食品規制が継続されていたことから、本委員会は 1 年目よりも後の期間における経口摂取による線量は、沈着した放射性核種からの外部被ばく線量に比べて約 10 分の 1 から 100 分の 1 になると推定した。人を測定することによって、より直接的に人々の内部被ばくを評価したその後のいくつかの研究により、外部被ばくの経路が支配的であることが確認された。また、FARMLAND モデルを使用して推定された経口摂取による線量は、過小評価であるよりも過大評価である可能性の方が高いことが示唆された(以下の第 6 章を参照)。

44. 本委員会は、将来における調査の優先事項は、公衆の線量分布が持つ特徴をより明確に把握し、線量推定に伴う不確かさをより適切に定量化する必要性であると確認している。その意味では、推定線量に対する食品摂取の寄与が小さいとはいえ、食品への放射性核種の移行に関するより適切な情報、特にモデルに用いられるパラメータについて地域および国を代表する値があれば、今後の福島第一原発事故の影響を評価する際や食品規制および改善策の効果を評価する際に有用であろう。加えて、このような情報は環境修復計画の潜在的な効果について理解を深めるためにも役立つであろう。

B. 新規文献のレビューで得られた知見

45. 本委員会は、第 1 報の白書において、陸域および淡水域環境を介した移行に関する新規文献を明確に検討しなかった。第 2 報の白書では、本委員会のレビューは 2015 年に発表された論文に限定され、放射性セシウム(1 年目以降の摂取において最も寄与が大きい)の食品への移行経路を重視することとした。このレビューの結果、本委員会は 2013 年報告書の当該分野での仮定と知見は概して有効であると結論した。第 3 報となる本白書においては、2016 年に公表されたこれらの情報とともに、事故後に公表され、これまで検討していなかった他の関連文献の一部をレビューした。

46. 第3報の本白書で検討された文献のうち、32編について詳細なレビューを実施した。以下は当該文献の知見の要約である。

1. 放射性セシウムの土壌における移動

47. 2013年報告書では、作物の生産に利用されるよく混合された土壌において放射性セシウムはゆっくりとより深い層へ移動すると想定された。例えば、よく混合された土壌の表面から30cmよりも深くへ移動する割合は、10年後で約7%に留まると想定した。農耕地土壌を対象とした30cmより深い土壌について、福島第一原発事故に起因する放射性セシウムの存在を示すデータは未だ示されていない。

48. 分配係数(K_d)は、土壌中の放射性核種の生物学的利用能の指標となる。 K_d が高ければ、土壌への収着性が強く生物学的利用能は下がる。Konoplev et al. [K9]は、福島第一原発事故以降に公表された5つの文献で示されている浮遊土壌粒子と水の間での放射性セシウムの K_d の測定値が $1.1 \times 10^5 \text{L/kg} \sim 11 \times 10^5 \text{L/kg}$ であったと報告している。これらの値は、チェルノブイリでの事故の影響を受けた地域において、事故後の最初の数年間に検出された値よりも1桁～2桁高い(すなわち、生物学的利用能が相当低いといえる)。この相違は、(a)福島第一原発からの放出の影響を受けた地域の一般的な土壌と堆積物について粘土の比率が比較的高いこと、および(b)福島第一原発事故の影響を受けた地域で報告されているように、ガラス状粒子に付着している放射性セシウムが存在していることが原因とされている。

49. Mishra et al. [M6]は、福島以外の地域で人の立ち入らない草地の砂質土(粘土成分の多い土壌に比べて放射性セシウムの吸着能が低いと考えられる)について、低い K_d 値(深さ10cmの土壌試料で $80 \text{L/kg} \sim 320 \text{L/kg}$ 前後)を測定した。放射性セシウムの垂直方向への移行は速度が遅く、上層5cm以内に放射性セシウムの90%以上が留まっていたことが判明した。

50. Konoplev et al. [K9, K10]は、福島第一原発の10km圏内にある大熊町の土壌と新田川の一部に着目し、いずれの地域においても深さ20cmを超える土壌の一部で少量の ^{134}Cs と ^{137}Cs が検出されたと報告している。福島第一原発近くの人立ち入らない森林および草地の土壌中における放射性セシウムの垂直方向への移行は、同様の期間が経過した後のチェルノブイリ原子力発電所の30km圏内の土壌中における移行よりも速かった。このような相違の理由として、より高い降水量、より高い生物学的擾乱およびより高い土壌温度が可能性として挙げられる。人の立ち入らない土壌の場合、草地に比べて森林の土壌中の放射性セシウムの垂直方向への移行が速いことが報告された[K10]。

51. Uematsu et al. [U1]は、土壌粘土が類似し、交換性カリウム成分を含む温暖なヨーロッパの土壌に比べて、おそらく鉱物特性の違いのために、日本の土壌の放射性セシウムに対する吸着の親和性が低いように思われることを発見した。著者らは、既存の機構モデルで一般的に使用される土壌特性は、土壌から草への放射性セシウムの移行を予測することには適さないと考えている。日本の土壌に適したものにするため、さらなる土壌の特性をモデルに組み込む必要がある。

52. Mukai et al. [M11, M12]は、福島県の土壌にみられるような部分的に風化した黒雲母(バーミキュライト)が他の雲母質の鉱物や有機物よりも放射性セシウムを効果的に固定すると特定した。

53. Kitamura et al. [K7]は、福島県の5ヶ所の集水域の三次元モデルを作成し、水流量、浮遊堆積物濃度、累積堆積物の侵食と沈降を推定した。著者らは、流域における年間堆積物移行の多くは暴風雨の期間に発生しており、台風が再分配の主要な要因であることを発見した。Evrard et al. [E4]は、2012年から2015年にかけて、沿岸平野に移行する堆積物の放射性セシウム濃度に対する上流の土壌からの放射性セシウムの寄与が約90%低下したことを示している。台風の発生と新田川のような支流での除染活動の結果、局所的な放射性セシウムの濃度は一時的に上昇した。しかし、2015年11月に沿岸平野の堆積物に対する上流の土壌からの放射性セシウムの寄与が大幅に低下していたことは、侵食されやすい放射性セシウムの供給源が、除染によって排除されたか、下層土によって希釈されたか、侵食された後に太平洋に輸送された可能性があることを示唆している。

2. 放射性セシウムの土壌から作物への移行

54. 放射性セシウムの土壌から玄米への移行に関する濃度比率の値(CR¹¹-乾燥重量での深さ20cmの土壌における放射性核種の濃度に対する食品の濃度の比率)、またはCRを導出するために使用できるデータが、Yang et al. [Y5]、Endo et al. [E3]、Wakabayashi et al. [W3]、Ohmori et al. [O7]、Tsukada and Ohse [T11]、Eguchi et al. [E2]によって報告されている。これらの文献において報告されている2011年から2014年に収穫された米に関するデータのほとんどで、玄米のCRが2013年報告書で推定された値よりも高かった(最高で約1桁)可能性が示唆されている。2012年から2014年にかけての米の¹³⁷Cs濃度の変化は、FARMLANDモデル[W3, Y5]で予測されていたものに類似していた。

55. Kusaba et al. [K14]は、沈着から最初の3年間において、樹皮表面に付着した放射性セシウムが、土壌中の放射性セシウムよりも果物中の放射性セシウムの供給源として重要であったことを示す以前のデータを追認した。2011年から2014年にかけて、リンゴの¹³⁷Cs濃度はFARMLANDモデルの予測よりも早く低下した。2012年から2014年にかけてのリンゴのCRは、同モデルで予測された値と同程度である。

56. 2012年に、Win et al. [W6]は97品種の小豆について¹³⁷Csの吸収量を測定した。小豆は日本で2番目に多く消費されるマメ類であり、福島県においても重要な作物である。CRは品種によって10倍の差があり、ほとんどの場合でCR値(経時的な減少と土壌の深さの修正が可能)はFARMLANDモデルで予測されていた値よりも低かった。

57. Djedidi et al. [D1]は、2013年に実施した野外試験で多数のブラシカ属の品種のCRを測定した。菜の花、カラシナ、アブラナでは、¹³⁷CsのCR値は比較的高く、そのほとんどがFARMLANDモデル予測された緑色葉菜野菜の値を上回っていた。2011年5月から2013年5月にかけての茶葉の¹³⁷Cs濃度の減少は、FARMLANDモデルで予測された緑色葉菜野菜に対する減少を上回っていた[H5]。

58. Sunaga and Harada [S13]は、植物への土の付着を推定するための磁気分析器方法を開発し、いくつかのライ麦の作物に適用した。放射性セシウムの濃度は、付着した土の量に

¹¹ 土壌から作物への放射性セシウムの移行は、通常、濃度比(CR) (F_0 で示されることが多く、トランスファーファクター(TF)とも呼ばれる)を用いて定量化される。一部の著者は、用語としてTFを使用し、また、若干異なる土壌の深さに対してこのパラメータを使用しているため、必要に応じて、異なる深さに対する影響をCR値のレビューにあたって考慮に入れている。

直線的に相関しており、収量の多い植物は相対的に付着している土の量が少ないことが判明した。より収量が少なく、背が低いために土壌負荷が高いイタリアンライグラスでは、付着した土は、放射性セシウムの合計濃度の約半分を占めていた。稈(まぐさ)とイタリアンライグラスの両方で測定された最高値は、FARMLAND モデルにより干し草/貯蔵飼料や牧草に対して予測された値よりも1桁低かった。

59. 家畜について、2011年の早春に実施された調査では、室内の乳牛の牛乳に含まれる ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の濃度が、屋外の牧草地にいる乳牛の牛乳に比べてかなり低かった[K8]。Manabe et al. [M4]は、日本ではほとんどの家畜が屋内の家畜小屋で飼育されていると指摘している。これは、日本の農水省のウェブサイトで見ることができる情報で確認される。例えば、事故後の福島県内の乳牛1万4,800頭のうち、屋外で放牧されていたのは720頭のみであった[M1, M2]。管理状況下にある屋内の牛を対象とした4件の調査で測定された放射性セシウムの移行係数[H2, K8, O8, O9]は、FARMLAND モデルで仮定されたものと同程度であった。米で飼育されている豚について測定された移行係数[O6]は、FARMLAND モデルで仮定されたものと同じであった。

3. 2013年報告書で検討されなかった食品への放射性セシウムの移行

60. Fuma et al. [F4]は、2011年から2015年までのモニタリングデータを検討し、タケノコの放射性セシウムの年平均濃度は経時的に徐々に減少しているが、減少率は農産物よりも遅いと報告した。

61. Wada et al. [W2]は、福島県の実施した広範なモニタリングプログラムから16種の淡水魚についてまとめられたデータを要約した。特に事故後の最初の2年間において、食品規制が適用されるレベルを超える放射性セシウムの濃度を含有する淡水魚の比率は、海水魚よりも高かった[W2]。2014年には、沈着濃度が最も高い地域のみで食品規制のレベルを超えており、放射性セシウムの濃度の最高値は750Bq/kg(湿重量)を超えていなかった。

62. 日本では湖や河川で捕獲される「野生」魚よりも養殖魚がより一般的に食されている。養殖魚の放射性セシウムの濃度は野生魚よりも大幅に低いが[Y3]、この一因として、淡水魚への放射性セシウムの移行が主に食物連鎖を介しているのに対し、養殖魚の場合には業務用の餌を与えられていることがある[W2]。特に福島第一原発の北西における放射性セシウムの沈着が高かった地域に沿って、沈着密度と様々な種の淡水魚における放射性セシウムの濃度に相関関係があることが報告された[A5]。湖に生息する魚の放射性セシウムの濃度は、概して川に生息する魚の濃度よりも高かった[W2]。2011年以降、野生魚の放射性セシウムの濃度は時間経過とともに大幅に減少している[A5, I3, W2]。

63. Wada et al. [W2]は、異なる種の淡水魚における放射性セシウムの濃度およびその経時的な変化が、地域および生息地に固有のものであることを発見した。この変化は、給餌方法、ライフサイクル、そして湖は川よりも循環率が低いといった水域の特徴の影響を受けていた。例えば、栄養段階の影響があり、放射性セシウムの濃度は、肉食性(サケなど)、雑食性、草食性、プランクトンの順番で徐々に減少する[A5, I3, W2]。アユ(サケ科)の濃度比(水に対する魚の濃度の比率)が比較的高いことが2011年に報告され、関連のある堆積物の藻類を摂取することがアユの ^{137}Cs の取り込みに最も重要な経路であると特定された[I3]。アユの体内における ^{137}Cs の残留時間は比較的短い、他のサケ科の場合にははるかに長かった[W2]。

64. Tagami et al. [T1]は、2011 年から 2015 年にかけて 5 県において、野生種の動物(特に、クマ、イノシシ、シカ、ヤマドリ)へ放射性セシウムが移行しやすいことと、実効半減期が長いことを報告している。チェルノブイリでの事故後のヨーロッパでも、狩猟で捕獲された動物に移行しやすいことが同様に生じていた。

C. 新規文献がもたらし得る影響

65. 本委員会は、2013 年報告書の当該分野における仮定と知見が全体的に引き続き有効であるとの結論に達した。土壌または食品中への放射性物質の移行に関して、日本の状況に特有の新規情報が入手可能となった。これらの情報は、福島第一原発事故についての今後のいかなる推定に際しても、ヨーロッパでの状況に基づくパラメータ値(他に適切な代替情報がなかったために 2013 年報告書で使用されていた)より適切であると思われる。これらの情報を使用することで、事故後 2 年目以降で予測されている食品摂取からの線量の経時変化、および異なる食品の相対的な重要性について、変更される可能性がある。例えば、日本の家畜は屋内で飼育されるが、ある種の家畜は放牧で飼育されるという保守的な仮定に基づいていたため、畜産物の長期間にわたる食品摂取による線量への寄与は過大評価されていたものと思われる。ただし、本委員会は、食品規制が継続的に適用されていることを主な理由として、2 年目以降に予測される経口摂取による線量が及ぼす全体的な影響は小さいと推定している。なお、人の測定(以下の第 6 章を参照)により、外部被ばくに比べて内部被ばくは非常に小さいことが確認されており、2013 年報告書において事故後 2 年目以降について予測していたように、食品摂取からの線量は過大評価されていた可能性が高いことが示唆されている。

66. 以下の調査分野は、食品への放射性核種の移行に関する地域および国を代表するよりよいパラメータ値を将来の評価のために提供する上で、また環境修復活動の潜在的な効果についての理解を深める上で特に有用であると思われる。

(a) 農業・淡水・林業環境における放射性セシウムの移行、およびさまざまな農産物・水産物・野生食品(特に米とその他の野菜、淡水魚、狩猟動物、野草、キノコ類のカテゴリー)への移行についての継続的な調査

(b) 経口摂取による長期的な線量を予測するための、日本で生産・消費される多様な食品に特有な環境移行プロセスに関する空間的・時間的モデルのをさらなる進展(特に、主要な家畜および野生動物の摂食と管理方法、および河川・湖沼中の放射性セシウムの食品への移行による長期にわたる潜在的な寄与について)

(c) さまざまな農産物および野生食品における放射性セシウムの濃度についての長期的変化の継続的な測定

(d) 土壌から農産物への放射性セシウムの移行を低減する修復対策の有効性に関する継続的な調査

VI. 公衆の線量評価に関する更新情報

A. 2013年報告書の要約

67. 本委員会の目的は、日本人の異なる小集団を代表すると考えられる個人で構成されたグループの線量について、現実的な推定値を示すことであった。外部被ばく線量を評価するために、本委員会は、チェルノブイリでの原発事故の影響を受けたロシアのブリャンスク地方で熱ルミネセンス線量計によって測定された多数の個人の測定値で検証された、主にヨーロッパでの調査研究から導出されたパラメータを含む計算モデルを採用した。本委員会は、2013年報告書において、これらのモデルを日本の行政区画または都道府県における放射性核種の人口平均沈着密度と併せて使用しているが、この人口平均沈着密度とは、放射性核種の沈着密度の測定値と人口密度とを組み合わせ導出されたものである。日本における種々のグループの人口密度、年齢構成および居住係数に関するデータは、2010年国勢調査に基づいている。

68. 内部被ばくによる公衆の被ばく線量評価について、本委員会は、2つの被ばく経路、すなわち吸入および経口摂取を考慮した。吸入による被ばくについては、通過中の放射性プルーム中の放射性核種のみに基づいて評価し、その後の再浮遊放射性核種の吸入は有意に寄与しないと考えた。通過中のプルーム中の放射性核種の吸入による被ばくは、仮定したソースタームおよび ATDM を用いて導出した沈着密度レベルに対する空気中の放射性核種の濃度との比率に基づいて、沈着密度の測定値から推定している。

69. 事故後1年間における食品および飲料水に含まれる放射性核種の摂取量は、福島県および他の都道府県が実施した食品と飲料水の測定値のデータベースを用いて評価した。このデータベースには、食品の検査を目的として行われた多数の測定値が含まれていたため、サンプリングに関していくらかの偏りがあった。つまり、放射能濃度が高い可能性のある試料が選択されやすかったものと見られる。しかしながら、2013年報告書の作成時には、他の食品について利用できる測定値はなかった。

70. その後の数年間で、現在の日本の状況および農業の実状に合わせて一部の移行係数が修正された FARMLAND [B1]の改良版が、陸域の食物連鎖を介した放射性核種の移行の推定に適用された。このモデルは、日本の行政区画また都道府県における放射性核種の人口平均沈着密度に関する入力データと組み合わせ用いられた。

71. 環境中の放射性核種の濃度の測定値を線量推定に用いることができなかった避難区域の住民について、本委員会は、大気への放出について仮定したソースタームおよび ATDM を用いて、環境中の放射性核種の経時的な濃度変化を推定した。その後、アンケート調査の結果から導いた住民の移動を示す代表的なシナリオを適用し、避難前、避難中、避難後の期間の外部被ばくおよび吸入による線量が推定された。

72. 全身や甲状腺計測といった人体内の放射性核種の測定は、内部被ばくに関する直接的な情報源となる。しかしながら、2013年報告書の作成時における甲状腺の測定数は限定的(約1,100人)であり、これらのデータは、いくつかの地区についてモデル計算された甲状腺の線量を追認するためのみに利用できた。加えて、本委員会が全身計測のデータが利用できるようになったのは、2013年報告書作成の最終段階になってからであり、包括的なデータ解析はできなかった。そうした状況ではあったが、本委員会は、人の測定に基づく内

部被ばく線量についていくつかの評価を実施し、2013 年報告書に記述した([U2]段落 116～118 参照)。この結果は、全身計測に基づく内部被ばくからの推定線量がモデル計算に基づく推定値よりも大幅に低いことを示した。

B. 新規文献のレビューで得られた知見

73. 本委員会は、第 1 報および第 2 報の白書において、当該分野における知見は引き続き有効であり、それ以降に発表された新規情報の影響をほとんど受けていないと結論した。そして、新規文献の大部分は、2013 年報告書の主要な仮定および知見を広く裏付けあるいは追認するものであった。さらに、全身計測の結果は、食品中の放射性核種の経口摂取による実効線量が実際には理論的な推定値よりもかなり低かった可能性があるという 2013 年報告書の記述の信頼性を与えた。

74. 第 3 報となる本白書で検討した文献のうち、11 編について詳細なレビューを実施した。かかるレビュー結果の主な影響を以下に要約する。

1. 外部被ばく

75. 福島県内で事故の影響を受けた地域の避難指示を解除して住民が帰還することを許可する決定への根拠として、現在および将来の外部被ばくによる個人線量の現実的な評価が必要である。Naito et al. [N3]は、個人電子線量計(D-Shuttle)に全地球測位システムと地理情報システムを組み合わせ、外部被ばくによる個人線量を周辺線量と個人の活動パターンに関連づけた。142 人の参加者の線量計から、分析で使用される 2 万 9,550 個の 1 時間ごとの被ばくデータが得られた。その結果は、外部被ばくによる追加(バックグラウンドに対して)の個人線量が、航空機モニタリング調査から得られる追加(バックグラウンドに対して)の周辺線量とよく相関していることを示していた。線形回帰分析の結果から、Naito et al. [N3]は、外部被ばくからの追加の個人線量は、計算上、平均で追加の周辺線量の約 5 分の 1 であったとしている。低減係数(追加の周辺線量に対する追加の個人線量の比率)は、自宅および屋外で過ごす時間に対してそれぞれ平均 0.14 および 0.32 になると計算され、これは 2013 年報告書で使用されたモデルとよく一致している[U2]。各活動(自宅、他の建物、屋外、移動中、その他)の間に受けた外部被ばくの個人線量全体に対する寄与は、各活動に費やす日々の時間の割合とよく一致した。この結果は、航空機モニタリングによる周辺線量の測定値と、様々な活動で個人が過ごす時間に関する情報から、外部被ばくによる個人線量の現実的な推定値を得る方法について理解を深める上で有用であった。このデータは、福島県の避難指示区域に住民が帰還した後の将来にわたる累積線量の評価においても有用である。

76. Sakumi et al. [S3]は、2013 年の 11 ヶ月間、避難が実施された飯舘村において外部被ばくによる作業員の個人線量を測定した(以下の第 7 章を参照)。これらの作業員で測定された最大線量から、著者らは 2013 年に住民が飯舘村に帰還したと仮定した場合の外部被ばくによる年間線量を約 10mSv と推定したが、これは 1 年間にわたって 1 日 24 時間屋外に滞在するという非現実的な仮定に基づいていた。2013 年報告書で使われたモデルに基づく、屋外での作業を含めたより現実的な推定値は、2013 年で約 5mSv、2015 年で約 3mSv となるであろう[I1, U2]。

77. Malins et al. [M3]は、 ^{134}Cs および ^{137}Cs の土壌沈着密度、深度分布、地表における水平方向への分布を考慮するモデルに基づいて、地上 1m の周辺線量当量率を計算するツールを開発した。予測された線量率と、福島第一原発事故による放射性セシウムの沈着があった福島県内の地域においてサーベイメーターで測定した線量率の間には強い相関がみられた。福島県内の人の立ち入らない平坦地における空間線量率の低減は、放射性崩壊および土壌中のセシウムの方下への移行によるものと考えられる。このツールによる予測は、実測値および 2013 年報告書で使用されたモデルによる予測の両方とよく一致していた[U2]。このツールは、将来にわたる外部被ばくによる現実的な線量の推定に有用であろう。

78. Ishikawa et al. [I8]は、福島県において福島県立医科大学が実施した基本調査で収集された情報から、飯舘村の住民が屋外で費やした時間(外部被ばく線量を推定する上で重要な要素)を評価した[I7]。飯舘村の住民から回収された 3,400 件のアンケートの結果から、著者らは年齢層別の元々の人口分布に従って合計 240 件の回答を無作為に選択し、屋外で費やされた 1 日あたりの平均時間を推定した。4 ヶ月間の行動に関して完全なデータがある 170 人の平均値は、2.08 時間(95%信頼区間:1.64~2.51)であった。これは、多くの線量評価で一般的に仮定されている値よりもはるかに低い値である。ちなみに、2013 年報告書では室内作業員に対して 2.4 時間を採用していた[U2]。

2. 内部被ばく

(a) 早期摂取および線量の評価

79. 環境および人の早期における測定値がない状況で、寿命の短い放射性核種(主に ^{131}I) の摂取による内部被ばくに伴う甲状腺線量を推定するという困難な課題を取り扱う 3 編の重要な文献[K5, K6, T5]が公表されている。

80. Kim et al. [K6]は、2011 年 6 月 27 日から 7 月 28 日にかけて放射線医学総合研究所(NIRS)で実施された全身計測に基づき、事故当時に福島第一原発の近傍に居住していた 174 人の住民について内部被ばく線量を評価した。174 人の調査対象のうち、成人は 125 人、小児は 49 人であり、20km の避難区域内にある浪江町の住民が 90 人含まれていた。 ^{134}Cs および ^{137}Cs の両方が検出された住民の割合は比較的少なく、成人で 28.8%、小児では 4.1%であった。全身の放射性セシウムの濃度について、成人の男女間で有意な差が観察されたが(男性>女性)、小児では差がなかった。 ^{134}Cs および ^{137}Cs の預託実効線量(CED)は、体の大きさに応じて個人の全身計測の値を修正し、また福島第一原発において最初の爆発が発生した 2011 年 3 月 12 日に、肺で容易に溶ける化合物の短期的な吸入による摂取があったと仮定して計算された。その結果、成人の CED 分布の 90 パーセンタイル値は約 0.1mSv であり、最大の CED は高齢の男性で見つかった(0.63mSv)。続いて、NIRS と同様の方法による別の全身計測が日本原子力研究開発機構(JAEA)によって実施され、比較可能な CED の結果が得られた。同じ町および近隣地域の異なる成人グループを対象として Tokonami et al.が実施した甲状腺中の ^{131}I の測定値に基づき[T9]、Kim et al.は ^{134}Cs に対する ^{131}I の摂取比率を 3~5 前後と評価した。その後、Kim et al.は、平均の摂取比率であった 3.8 を使用し、著者らの調査において対象としていた成人の甲状腺で等価線量の中央値および最大値を、それぞれ 3.5mSv および 84mSv と推定した。これに対して、2013 年報告書では、浪江町から避難した成人の集団における甲状腺吸収線量の平均が、事故後の最初の 1 年間で 34mGy になると推定していた[U2]。このアプローチについては、特に異なる研究グルー

プが実施した異なる調査対象者についての全身および甲状腺の測定値から導出された¹³⁴Cs に対する¹³¹I の摂取比率を使用している点、および導出された平均値の使用に伴う不確かさが評価されていない点など、いくつか注意しておく点がある。土壌について測定された¹³⁴Cs に対する¹³¹I の濃度の比率は、いくつかの場所(例えば、福島第一原発の南部など)において大きく異なっており[U2]、摂取のシナリオは異なる年齢層で同じとはいえない可能性がある。著者らは、このようなアプローチに不確かさが伴うことを認識しており、内部被ばくによる個人線量と事故後の個人の行動との関係についてのさらなる調査を計画している。

81. Kim et al. [K5]は、福島県の住民の内部被ばくによる甲状腺線量について、NIRS による別の推定値についても報告している。この推定は、2011年3月末に実施された1,080人の小児の甲状腺の直接測定(¹³¹I)、2011年7月11日から2012年1月31日にかけて実施された約3,000人の成人の全身計測の測定値(¹³⁴Cs、¹³⁷Cs)、および利用できる直接測定の結果がない地域について実施されたATDMシミュレーションによる大気中の¹³¹Iの濃度のそれぞれの情報を組み合わせて実施された。¹³¹Iによる小児の甲状腺線量と、¹³⁴Cs および¹³⁷Csによる成人のCEDの両方が直接測定によって推定されている地域(飯舘村および川俣町)に関して、それらを比較することで¹³⁷Csに対する¹³¹Iの摂取比率が3であることを導出した。その後、この比率を他の地域の全身計測の測定の情報に適用し、当該地域の甲状腺線量を推定した。双葉町、飯舘村、いわき市の住民の内部被ばくによる甲状腺線量が最も高いと推定され、そのほとんどは30mSv未満だった。著者らは、この推定値を2013年報告書でのいくらか高い値と比較したが、後者の値には著者らが推定していない経口摂取による線量も含まれていることにも言及した。2013年報告書において甲状腺線量を過大評価している可能性(経口摂取の仮定が原因)を認識していたが、甲状腺被ばくに寄与する要因として吸入摂取が突出して最も大きいことを示したIAEAの分析[I1]によっても、そのことが確認された。2013年報告書の推定値は、¹³¹Iと同様にその他の寿命の短い放射性核種(¹³²I、¹³²Te、¹³³I)も考慮されている。この調査には、直前の段落で説明したものと同様の注意点がある。経口摂取による線量の寄与を含む残りの問題に対応するため、著者らは個人の行動に関するデータを使用した新たな線量推定の手法を提案し、予備的な分析の例を示している。

82. Tani et al. [T5]は、ヨウ素の体内動態モデルと、周辺の空気の吸入および水道水の摂取についての経時的な変化に関するシナリオに基づき、空気中と水道水中の¹³¹Iの濃度の各測定値を使用し、茨城県で授乳している母親の母乳に含まれる¹³¹Iの濃度を計算した。著者らは、計算した母乳中の¹³¹Iの濃度を、2011年の事故直後に福島県および隣県に居住していたボランティアから採取した少数の試料について測定されていた濃度と比較し、一般的に一致することを確認した。その後、Tani et al.は、母乳で育てられた乳児(乳児は毎日800mLの母乳を消費すると想定)の甲状腺等価線量を水戸市および笠間市で10mSv～11mSv、つくば市および守谷市で1.1mSv～1.8mSvと推定した。このため、Tani et al.は、大気中の¹³¹Iの濃度が比較的低い地域においては母乳の消費が乳児の内部被ばくによる甲状腺等価線量の主な要因となった可能性があることを示唆したが、個人の線量を推定するには、個人的な行動調査を含めたさらなる調査が必要であることも指摘している。

(b) 現在の被ばくの評価

83. Orita et al. [O11]は、経口摂取による公衆の線量を評価し、事故後の内部被ばくに関する公衆の不安を最低限に抑えるために、福島第一原発から30km未満の位置する川内村で収集された地元の食品について現在の放射性セシウムの濃度を評価した。放射性セシウ

ムの規制値(一般の食品で 100Bq/kg)を超えていた試料の数は、4,080 件の野菜の試料のうち 5 件(0.1%)、1,986 件の山菜・キノコ類の試料のうち 652 件(32.8%)、647 件の果物の試料のうち 8 件(1.2%)であった。この調査では、これらの食品の摂取による内部被ばくの年間実効線量は成人で 22 μ Sv~43 μ Sv と低いことが確認された。著者らは、長期にわたる包括的なフォローアップ調査を実施し、地元の食品に含まれる放射性セシウムの濃度と福島地域における住民の CED の傾向を明らかにしていくべきであると考えている。

84. Aono et al. [A4]は、日本の農産物の一部と事故後に福島県沖で収集された海産物に含まれる放射性核種の濃度の変動を調査した。日本全体で生産されたホウレンソウの ^{134}Cs および ^{137}Cs の濃度は、2011 年春の 10Bq/kg~10,000Bq/kg から、2012 年には 1Bq/kg~100Bq/kg、2013 年~2014 年には 1Bq/kg~10Bq/kg と急激に減少している。対照的に、日本全体で生産または収集されたキノコの ^{134}Cs および ^{137}Cs の濃度は、事故後の 3 年間でほとんど減少しておらず、2013 年~2014 年でも 3Bq/kg~300Bq/kg の範囲に留まっている。キノコから測定された放射性核種の濃度は、多くの場合で依然として 2012 年 4 月に設定された暫定規制値を超えていた。2013 年から 2015 年にかけて、福島第一原発の周辺で収集されたガンギエイの ^{134}Cs および ^{137}Cs の濃度は測定可能なレベルであったが、ほとんどが暫定規制値を下回っていた。農産食品と海水魚の放射性セシウムの濃度は、概して日本における規制レベルを下回っていたが、山菜、野生キノコ、猟獣(イノシシなど)の肉については、引き続き放射性セシウムの濃度が当該レベルを上回っていた。著者は、経口摂取による公衆の線量を評価すること、および食物連鎖を介した許容できないレベルの放射性核種の摂取を避けることの両方のために、陸域および海洋環境における長期的な放射性核種の動態調査が重要となると考えている。

3. 修復

85. 本委員会が、第 1 報および第 2 報の白書で注目したように、2012 年以降、避難が実施された除染特別地域および居住者のいる汚染状況重点調査地域において除染が進められている。しかしながら、修復の前後で実施された線量率の測定について、まだ査読付き論文で発表されていない状況に変わりはない。本委員会は、線量率の低減の観点からだけでなく、住民の個人および集団の両方について計算される外部被ばくによる年間実効線量の低減の観点からも、除染効果の評価の重要性について引き続き言及していく。

86. Howard et al. [H11]は、放射性核種の分布と影響を受けた地形、適用された放射能の基準、修復地域の指定、採用された修復策などを含めて、チェルノブイリと福島第一原発での事故後の修復に関連した特徴の相違を比較した。いずれの事故においても、目標の適用時期には差があったものの、修復の長期的な目標は個人の追加の年間実効線量を 1mSv 未満にすることである。福島第一原発事故では公衆に対する放射線の影響はかなり低かったが、それでも修復活動の規模は両者で同等であった。この主要な理由として以下が挙げられる。

(a) 日本で適用された修復のための放射能基準は旧ソ連が適用したものより低く、関連費用が相対的に高かった。

(b) 日本では食品の放射性核種の濃度に関してより低い基準値が採用された。

(c) 日本では避難区域も修復することが決定された。

87. チェルノブイリでの事故後においては、回避される集団線量と修復費用のバランスを取ることが修復戦略の一環として重視された。日本では、放射線や社会的および文化的な考慮に基づき、影響を受けた市町村の修復が正当化され、実施された。

88. 修復計画には、Malins et al. [M3]の開発した地表から1メートルの地点における周辺線量当量率を計算するためのツール(上記の段落 77 を参照)が有用であろう。このツールを使用して農地の土壌による空間線量率を低減させる3つの修復方法による効果をシミュレーションしたところ、表土除去および天地返し方式の効果は同程度で、いずれも反転耕より効果が高いことが示された。

C. 新規文献がもたらし得る影響

89. 本委員会は、2013年報告書の当該分野における知見は引き続き有効であり、それ以降に入手可能となった新規情報の影響をほとんど受けていないとの結論に達した。新規文献の大部分は、特に以下の点において、2013年報告書における主な仮定および知見を全般的に裏付け、追認している。

(a) 日本における公衆の線量は、2013年報告書の知見に即して引き続き減少している。

(b) 個人線量または線量率の測定値から、国内の建物の遮へい係数および被ばくシナリオを組み合わせて評価された日本における公衆の外部被ばく線量は、概して2013年報告書の知見と一致している。2016年に公表された論文は、外部被ばくのパターンをさらに明確にしており、関連するモデルのパラメータに適切な値を与えた。

(c) 2016年には、影響を受けた地域の住民の現在の ^{134}Cs および ^{137}Cs の全身残留量について大規模な測定に関する文献はなかったが、本委員会は、放射性セシウムを含む食品の摂取による福島県および隣県の住民の内部被ばく線量が全般的に低いことを以前から指摘している[U4, U5]。農産食品の放射性セシウムの濃度は、2011年以降、急激に減少しているが、山菜、野生キノコ、イノシシのような猟獣類の肉に含まれる濃度はより緩やかに減少している。

(d) 早期の放射性核種の摂取、特に小児における ^{131}I の摂取による内部被ばく線量の遡及的な評価で進展があった。

90. 本委員会は、以下に示す分野での調査が2013年報告書で確認された研究ニーズへの対応に寄与する可能性が高いとして特定した。

(a) さまざまな環境へ沈着した物質による外部被ばくの線量率を継続的に測定し、予測するとともに、経時的な変化を追跡すること

(b) 線量の全国的小さいおよび地域的なモデルに必要なパラメータ値(例えば、建物の遮へい係数、年齢および社会グループ別および季節別の屋外および屋内における滞在時間と滞在する建物の種類、食品生産と流通のシステムならびに栽培食物および野生食品の消費習慣に関するパラメータ値)を定めること

(c) 放射性核種の沈着が多い地域における住民の外部被ばくによる個人線量を測定し、線量評価モデルを検証するとともに、不確かさ解析のための実験による根拠を得ること

- (d) 2011年の甲状腺線量再構築に関する活動を継続すること
- (e) 食習慣が異なる人を対象とした放射性セシウムの体外計測をさらに実施し、内部被ばくによる現在の線量およびその不確かさの推定の向上に役立てること
- (f) 福島第一原発事故後における、さまざまな農産物および野生食品における放射性セシウムの濃度を経時的に測定すること
- (g) 環境中の放射線に関する指標（線量率、放射線核種の濃度など）の低減、および住民の外部被ばくおよび内部被ばくの線量の回避という2つの観点から、環境修復計画（除染、農業対策など）の効果を定量化すること
- (h) 確率論的アプローチを使用して個人間のばらつきを表現しつつ、公衆についてモデル計算された線量の分布を明確にし、その結果を人の実測値と比較すること

VII. 作業者の線量評価に関する更新情報

A. 2013年報告書の要約

91. 本委員会の作業の主な目的は、日本で報告された作業者の個人線量が実際の線量としてどの程度正しく信頼できる数値を提供できているか、そして、報告された線量に基づいて、健康に及ぼす影響についてどの程度信頼できる解釈ができたのかを評価することであった。2012年10月末までに、東京電力（東電）は、ほとんどが協力企業の従業員である福島第一原発の2万5000人の作業者の線量に関する統計学的データを報告していた。東電の報告によると、事故後19ヶ月間の福島第一原発の作業者の平均実効線量は約10mSvであった。この期間中、作業者の約34%で実効線量が10mSvを超え、作業者の0.7%（173人に相当）で100mSvを上回った。報告された実効線量の最高値は東電社員の679mSvであり、この社員の内部被ばくによるCEDも、報告された値の中で最も高かった（590mSv）。数百人の緊急作業従事者についての線量の統計情報は別途報告された。
92. 内部被ばくによるCEDが100mSvを上回る12人（計13人の作業者の内）の作業者を対象として、本委員会が独自に線量进行评估した結果、 ^{131}I の吸入による当該作業者の甲状腺吸収線量は2Gy～12Gyであったことが確認された。
93. 内部被ばく線量の評価値がより低い、さらに多くの作業者についての評価の信頼性は、作業者の無作為抽出サンプルについて独立した評価を行うことで確認された。
94. 本委員会は、体内から ^{131}I が検出された作業者について、東電が報告した評価の信頼性を確認した。しかしながら、ほとんどの作業者の場合、甲状腺内の ^{131}I の計測は2011年5月後半まで開始されておらず、この遅延により、多くの場合で ^{131}I が検出されることはなかった。同様の理由で、 ^{132}Te や ^{133}I などの半減期のより短い放射性核種の摂取による内部被ばくへの寄与についても、確実な評価はできなかった。本委員会は、東電が報告した評価のうち体内から ^{131}I が検出されていなかった作業者についての評価、および協力企業が報告した評価について、いずれも信頼性を確認することはできなかった。

95. 本委員会は、外部被ばく評価の信頼性に影響を与える可能性のある主な要因は、2011 年 3 月に電子式個人線量計を共有していたために(なぜなら、津波で線量計の大半が失われていたため)、多くの作業においてチーム内の作業員の 1 人のみしか線量計を着用することができなかったことであると判断した。

96. 本委員会には、作業員の眼の水晶体の線量を評価するためのベータ線による被ばくに関する十分な情報は得られなかった([U2]段落 143)。

B. 新規文献のレビューで得られた知見

97. 本委員会は、第 1 報および第 2 報の白書において、2013 年報告書の当該分野での知見はいまだに有効であり、それまでに発表された新規情報による影響をほとんど受けていないと結論した。一部の作業員に対して推定された線量については、2013 年報告書([U4]および[U5]を参照)との有意な相違があったが、本委員会は、さらに詳細な分析が必要であるが、主要な知見が実質的な影響を受けるとは考えなかった。

98. 第 3 報となる本白書で検討した文献のうち、3 編について詳細なレビューを実施した。Yasui [Y7]による文献では、日本の厚生労働省(厚労省)によって招集された専門家会合で作成された大規模な作業員の疫学調査の枠組みに関する提言が示された。この調査結果の公表が、おそらく本委員会の 2013 年報告書のフォローアップにかかる評価に関連することになるであろう。第 2 の文献[Y6]では、除染作業員を対象とした線量登録システムの設置について報告され、2011 年 4 月から 2014 年 12 月にかけての線量統計情報が示されている。第 3 の文献[S3]では、2013 年に飯舘村の作業員の外部被ばくによる実効線量に関する個人の測定結果が報告された。作業員のデータと、そこから予測される帰還後の避難者の線量は、フォローアップにかかる評価において有用である可能性がある。

99. Yasui [Y7]が言及する作業員の疫学調査は、約 2 万人におよぶ福島第一原発の緊急作業員を対象として健康への影響を調査することを目指している。調査結果はまだ公表されていないが、予備調査は完了しており、2015 年 4 月から本格的な調査が始まっている。この調査は、対象者となる作業員の生涯にわたって継続される。専門家会合では、評価された線量の信頼性と有効性の解析とともに、外部被ばくおよび内部被ばく線量の包括的な再評価も実施することが提案された。また、専門家らは、実効線量が 100mSv を超えている作業員を対象とした生物学的線量測定(特に蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション法を使用した染色体検査)の実施を推奨している。この調査は包括的で一貫性のある枠組みであるが、本委員会は、線量評価に関する調査の枠組みについて、さらに検討しておくべき 2 つの側面があると考えている。

(a) 調査では、被ばくの測定として健康診断までの実効線量の累積を推定するよう推奨している。本委員会は、調査すべき健康影響を特定し、その影響に関する被ばくについての適切な測定を特定するべきであろうと考えている。放射線被ばくによる疫学調査では、通常、CED ではなく、各年に特定の臓器が受けた吸収線量が必要であり、その特定の臓器(例えば、甲状腺)は、調査対象とする健康への影響(甲状腺がんなど)を考慮して選択される。

(b) 多くの作業員において、甲状腺モニタリングの開始が遅れたことは、 ^{131}I の摂取による甲状腺線量の評価の信頼性が低下することを意味するであろう。これらの線量はこの調

査で再評価されることになるが、その値には依然として大きな不確かさを伴うことになるであろう。調査に期待される結果として、このような不確かさの影響評価が含まれれば、より妥当な枠組みであると判断することができるであろう。

100. 提案された作業員についての包括的な線量の再評価は、2013年報告書で特定された作業員の線量評価に関する複数の研究ニーズに対応することを意味する。

101. Yasui [Y6]は、除染特別地域において除染作業に従事している作業員の中央線量登録システムが2013年12月に設置されたことも報告している。登録された線量から、Yasuiは、2011年4月から2014年12月までの3ヶ月ごとの実効線量の分布と、2012年、2013年および2014年の各年における性別、年齢別の実効線量の分布を示している。除染作業員の数は2011年の1万1,058人から2014年には3万4,611人に大きく増加し、実効線量の平均値は2012年の0.5mSvから2014年には0.7mSvに上昇した。実効線量の最大値は、2012年は13.9mSv、2013年は6.7mSv、2014年は10.4mSvであった。示された結果から、除染作業員の線量が低かったことが確認された。

102. Sakumi et al. [S3]は、飯舘村で2013年の11ヶ月間に実施された64人の作業員の外部被ばくによる実効線量に関する個人の測定結果を報告した。飯舘村は計画的避難区域内にあたるが、環境省はいくつかの企業がそこで事業を継続することを許可した。Sakumi et al.は、作業員が1日10時間ずつ週5日間にわたって飯舘村に滞在していたことを報告した。測定には、蛍光ガラス線量計が使用された。Sakumi et al.は、作業員の70%について年間の実効線量は2mSv未満であり、年間の実効線量が3mSvを超える作業員は、全員が作業日には毎回ほぼ10時間にわたって屋外で作業していたことを報告している。実効線量の最大値は3.6mSvであり、この作業員は飯舘村の中心部の道路近くの屋外で作業していた。線量の平均値および中央値は、それぞれ1.73mSvおよび1.53mSvであった。この文献は、2013年報告書で対象とした期間よりも後のものであるが、特定された研究ニーズに対応している。

C. 新規文献がもたらし得る影響

103. 本委員会は、2013年報告書の当該分野における知見は引き続き有効であり、それ以降に発表された新規情報の影響をほとんど受けていないとの結論に達した。

104. Yasui [Y7]の提案している作業員についての包括的な線量の再評価は、2013年報告書で特定された作業員の線量評価に関する複数の研究ニーズに対応できるものである。本委員会が眼の水晶体の被ばくについて判断できる新規情報は特定されず、当該分野でのさらなる調査は特に重要であるだろう。

VIII. 作業員と公衆における健康影響に関する更新情報

A. 2013年報告書の要約

105. 本委員会は、福島第一原発事故による健康リスクは、公衆および作業員の被ばく線量が有意に低いためにチェルノブイリでの原発事故の場合よりもはるかに低いと予想している。放射線被ばくによる確定的影響は公衆では観察されておらず、今後も出現しないと予測され

ている。妊娠中の被ばくによる自然流産、その他の流産、周産期死亡、出生時異常または認知機能障害の増加は予測されていない。また、「事故によって被ばくした人の子孫における遺伝性疾患の識別可能な増加」([U2]段落 224)が生じるとも予測されていない。放射線被ばくに関連する白血病または乳がん(最も放射線に誘発されやすい 2 種のがん)や他のタイプの固形がん(おそらくは甲状腺がん以外)の発生率が、識別可能なレベルで放射線に関連して上昇することはないと予測されている。福島第一原発事故による甲状腺線量の推定値はチェルノブイリ周辺が受けた線量よりも大幅に低いため、チェルノブイリ原発事故後に発生したような放射線被ばくによる甲状腺がんの大きな過剰発生は考慮しなくともよいとみなされた。ただし、事故当時 18 歳以下¹²の子供に対する超音波を使用した感度の高い甲状腺集団検診により、多数の甲状腺嚢胞と固形結節および「このような集中的な集団検診がなければ通常は検出されない」多数の甲状腺がんなどが検出されると予想されている([U2]段落 225)。しかし、事故による有意な放射性核種の沈着が生じていない青森県、山梨県、長崎県の各県でも、同様またはわずかに高い有病率で嚢胞と結節が確認されていた。福島県民健康調査(FHMS)¹³で既に観察されていた相当量の症例は、放射線の影響ではなく、集団検診の感度による可能性が高いとみなされた。

106. 福島第一原発の緊急作業員において確定的影響が生じる可能性は低いと考えられているが、本委員会は、甲状腺機能低下症の可能性を除外することはできず、また、白内障のリスクを評価することもできなかった(ベータ線被ばくによる眼の水晶体の被ばく線量に関する情報が不十分であったため)。被ばく線量が 100mSv を上回る(主に外部被ばくによる)173 人の作業員から生涯にわたり 2 症例～3 症例のがんの過剰発生が推測される可能性はあるが、本委員会は被ばくによるこのようながん発生率の増加を識別できる可能性は低いと考えている。本委員会は、作業員において推測される甲状腺がんのリスクの規模について、放射線被ばくによる発生率の上昇を識別できる可能性は低いであろうと判断した。

107. 本委員会は、一般公衆および作業員において観察された主要な健康影響は、精神衛生の問題および社会福祉の脆弱化によるものであると認識した [U4]。本委員会は、放射線被ばくに関連しない健康への影響は評価していない。このような健康影響の発生とその重篤度の推定は、本委員会の負託の範囲外である。

B. 新規文献のレビューで得られた知見

108. 本委員会は、第 1 報および第 2 報の白書において、2013 年報告書の当該分野における知見は引き続き有効であり、それ以降に発表された新規情報の影響をほとんど受けていないと結論した。第 2 報の白書でレビューした 1 編が、放射線誘発甲状腺がんリスクに関する本委員会の知見に異議を唱えたように見えたが、その調査に重大な欠陥があることが判明した。

¹² 以前の白書では、事故当時 18 歳未満であった人々を対象に検査が実施されたと報告したが、その後、事故当時 0 歳～18 歳の人々であったことが確認された。

¹³ 福島県民健康調査(FHMS)は、福島県立医科大学が日本政府の予算措置を得て実施している大規模なプログラムであり、健康に関する質問票調査および検診で構成されている。FHMS には、避難区域の住民全員に対する包括的な健康診断と生活習慣および心の健康度の評価、2011 年 3 月 11 日に妊娠していた県内の全ての女性の全ての妊娠と出産に関する記録、ならびに事故当時 0 歳～18 歳であった県内の全ての子どもに対する反復した甲状腺超音波検査が含まれる。

109. 第3報となる本白書で検討した文献のうち、20編について詳細なレビューを実施した。これらの文献は、2013年報告書の知見を強化または補足した。3編の文献[N2, S14, S15]は、福島県における甲状腺嚢胞、小結節、がんの発見率に着目し、福島第一原発の事故当時に18歳以下であった人々のFHMS臨床・超音波検査プログラムにおける甲状腺がんの検査に関する更新情報を提供した。それらは、感度の高い超音波検査が原因となって、甲状腺がんの発見数が明らかに上昇したことを示した。3編の文献[O5, S14, S15]は、被ばくのレベルが比較的高かった、中程度であった、または低かった福島県内の地域における甲状腺がんの発見率を比較した。1編の文献[K1]は、放射線誘発性の甲状腺乳頭がんと散発性のがんを区別する傾向がある特定の遺伝子の発現レベルによって識別される、甲状腺がんの異なる2つの進展経路の生物学的なモデル化について報告した。注目すべきは、福島第一原発の作業者をコホートとする調査の計画を説明した文献[Y7]である。

110. 福島第一原発事故当時に18歳以下であった小児および青年30万476人を対象とする1巡目の集団検診は、高受診率(81.7%)で終了している。検診結果は数編の文献中で報告されている。2編[S14, S15]では、2,294人に5mmを超える結節や20mmを超える嚢胞が存在するか、あるいは臨床検査および超音波検査に基づく精密検査が必要であると報告された。Nagataki [N2]は、細針による穿刺吸引細胞診(FNAC)により、116件で甲状腺がんまたはその疑いがあった(10万人あたり38.6人)ことを示した。このうち、102症例が外科手術の対象であり、100症例が甲状腺乳頭がん、1症例が低分化型腺がん、1症例が良性腫瘍と診断された。腫瘍の大きさには分布の偏りがあり、平均値は13.9mm(5.1mm~45mmの範囲内)であった。¹³¹Iによって被ばくした事故当時の平均年齢は、甲状腺がんの症例について14.9歳であり、6歳未満の症例はなかった。甲状腺乳頭がんは全て古典型であった[S15]。対照的に、チェルノブイリでの事故後には、充実型乳頭がんが放射線被ばくした小児に頻繁に発見された[Z1]。2巡目の集団検診では、27万379人が検査されているが(2016年6月30日現在)、その受診者のほとんどが1巡目の集団検診を受けており、FNACによってさらに59件(10万人あたり21.8人の割合)の甲状腺がんの疑いがある症例が発見された[N2]。

111. 数編の文献では、事故の結果として放出された放射性核種による被ばくのレベルごとに、福島県の地域における甲状腺がんの有病率が比較された。Ohira et al. [O5]と Suzuki [S14]はいずれも、被ばくの程度が最も高かった地域、または中程度であった地域の居住者と、被ばくの程度が最も低かった地域の居住者とを比較したが、甲状腺がんの有病率に統計的に有意な差を見出していない。例えば、Suzuki は、福島県における被ばくの程度が最も高かった地域、中程度であった地域、最も低かった地域において、10万人あたりの甲状腺がんの有病率が、それぞれ、33人、39人、35人であることを示した。Suzuki et al. [S15]は、被ばくの程度が低かった地域を細分し、低かった地域と最も低かった地域に分け、最も低かった地域と比較したオッズ比(OR)はすべて有意ではなく、被ばくの程度が高かった地域(避難区域)、中程度であった地域、低かった地域について、それぞれ1.22(95%信頼区間:0.55~2.7)、1.21(95%信頼区間:0.64~2.3)、1.19(95%信頼区間:0.58~2.4)であった。これらの文献では、被ばく地域の区分はそれぞれ異なっていたが、いずれの場合においても甲状腺がんの有病率と被ばくレベルとの関連性は見られなかった。Katanoda et al. [K3]は、FHMSによって観察された甲状腺がんの有病率が予想されていた有病率と比較して約20倍高かったとし、この結果は甲状腺線量やその他の考察から放射線被ばくの影響とは考えにくいと、超音波検査によるスクリーニング効果に起因するものと報告している。

112. Ohira et al. [O5]は、甲状腺がんの56症例について推定された外部被ばく線量を、集団の残りの人々である個人線量が推定され検査を受診した約12万9,300人の当該線量と比

較した。外部被ばくによる推定線量が 1mSv 未満の集団と比較して、推定線量が 1mSv から 2mSv の範囲の集団では甲状腺がんのリスクに関する OR が 0.76 (95%信頼区間:0.43~1.35) であり、推定線量が 2mSv 以上の集団では 0.24 (95%信頼区間:0.03~1.74) であった。Suzuki et al. [S15]によると、外部被ばく線量が推定されていて甲状腺がんが確定したか疑われた 63 人のうち、71%は線量が 1mSv 未満であり、2.2mSv を超える人はいなかった。しかしながら、甲状腺線量については入手可能な推定値がないため、甲状腺線量による同様のより意味のある比較を実施することはできない。甲状腺線量が欠落していることについて、Ohira et al. [O5]の結果を解釈するにあたっては注意が必要である。

113. 別の文献では、超音波による感度の高い甲状腺検査による一般公衆の甲状腺がんの過剰診断の可能性や小さな甲状腺がんに対する積極的な治療に対する懸念が強調されている。甲状腺がんの発生率の国際的な動向から、Vaccarella et al.[V1]は、オーストラリア、韓国、米国、ヨーロッパの多数の国において、大規模なスクリーニングが甲状腺がん罹患率の上昇に影響することを示した。Park et al. [P1]は、韓国における甲状腺がん罹患率が大幅に上昇した 1999 年から 2008 年までの期間について、韓国にある多数の診療所から収集した広範な甲状腺がんのデータを分析した。著者らは、罹患率上昇の約 94%は、全人口規模での超音波スクリーニングを促す全国的なプログラムが原因であったと推定した。定期的な集団スクリーニングに対する公衆の意識を見直すキャンペーンが韓国で始まった 2014 年には、甲状腺がん手術の件数が 1 年で 35%減少した。Leboulleux et al. [L1]は、超音波検査で発見された小さな甲状腺乳頭がんの多くは、ゆっくりと進行し良性の挙動をとるものであったと指摘した。手術には費用がかかり、医学的・心理学的なリスクを伴う可能性があるため、著者らは、小さながんでは手術よりも「周到的経過観察」を推奨している。しかし、この提案についてはまだコンセンサスが得られていない。Nagataki [N2]は、ゆっくりと進行する甲状腺乳頭がんから侵襲性の強いがんを区別できる分子マーカーを特定するためのさらなる研究を推奨している。

114. 甲状腺スクリーニングは複雑な問題であり、福島第一原発事故後において、スクリーニングの範囲、性質、そして継続を判断するためには、純粋な科学的課題の範疇を超える要素(社会経済的要素、公衆衛生、法律、倫理、人権に関するものなど)を考慮する必要がある。¹⁴もしスクリーニングを継続するのであれば、生検資料(被ばく関連情報を含む)を体系的に収集・保存して、価値ある研究のために情報を公開すれば、放射線誘発の甲状腺がんに対するバイオマーカーや分子指標に関する調査に有用であろう(すなわち、チェルノブイリ組織バンクに類似した方法)。

115. Kaiser et al. [K1]は、小児期における放射線誘発の甲状腺がんは、散発性の甲状腺がんの発がんとは異なる多段階経路で進展するという仮説を唱えた(Williams [W5]による単一経路の仮説とは対照的に)。著者らは、チェルノブイリでの甲状腺がんデータをモデル化し、20 歳より前に発生する放射線関連の甲状腺がんが、CLIP2 遺伝子の過剰発現によって散発性のがんから統計的に区別されることを発見した。放射線起因性甲状腺がんを予測するバイオマーカーを発見し、モデル化するためのさらなる研究が、放射線起因性甲状腺がんの発症機序の解明につながるかもしれない。

¹⁴ 福島県における甲状腺検査の継続や実施の決定に関するより広範な課題については、様々なフォーラムで取り扱われている(例えば、[Y4]および[N5])。

116. 1編の文献は、高度なモデル化手法を使用して、福島第一原発事故前後の県全体の周産期死亡率と比較して、被ばくに関連した周産期死亡率が上昇したことを示したと主張している[S8]。しかしながら、この研究は、著者らが他の地域と比較するために「重大な汚染があった」地域として6県を指定している点に欠陥がある。これらの県のほとんどで受けた被ばくは、通常のバックグラウンド放射線被ばくに比べると小さかった。さらに、著者らが認めているように、これは因果推論のできない観察研究であった。

117. 福島第一原発事故の結果として避難した人々を対象とする、自己申告に基づく精神的苦痛に関する調査では、自宅付近の放射線レベルと苦痛の頻度との間に正の相関があることが示された[K13]。ただし、2013年報告書に記載されているように、精神的苦痛は大惨事による一般的な間接的影響であり、被ばく自体が寄与するものではなく、このような影響は本委員会の負託の範囲外である。

118. 多数の文献で、避難者の健康に関する変化が、避難前と避難後について、あるいは避難期間の長さに応じて比較されている[E1, H3, O2, O3, O4]。著者らは、メタボリックシンドローム、脂質異常症、高血圧、体重増加、精神的苦痛、アルコール依存症などの健康状態の頻度が、避難と関連しうる上昇を示すことを観察した。特に懸念すべきことは、施設に入所していた高齢者の死亡率が避難後1年以内に上昇していることである[Y8]。¹⁵ 本委員会は、これらが放射線事故または他の惨事の結果として生じた避難、ストレス、生活習慣の変化に伴う間接的影響でありうることを認識しているが、このような避難の影響は本委員会の負託の範囲外である。

119. 2016年、日本政府は職業上の被ばくをした原発作業員2人への労災保険給付を認めた。2人は事故後に福島第一原発で雇用され、蓄積被ばく線量の一部はここで受けたものであった。1人は白血病、もう1人は甲状腺がんと診断された。本委員会は、悪性腫瘍に対する放射線被ばくによる科学的な寄与について情報を提供している(2012年報告書[U3]の付録Aを参照)。科学的に起因しているということと、法的に職業上の状況に起因することとは同じではない。このため、このような労災保険給付(同様に、過去または将来に職業被ばく者に認められてものを含む)が、放射線被ばくと特定のがんの症例との因果関係が科学的に証明されたことを意味するわけではない。これは、労働者災害補償保険のために日本政府が数十年前に策定した枠組み¹⁶を適用した結果であり[M8]、放射線の影響に関する知識と理解はその後大幅に改善している。

¹⁵ 避難の移動中に死亡した12人と、移動直後に避難者として死亡した50人が含まれる。

¹⁶ 1976年、日本政府は労働者災害補償保険制度に基づき、職業被ばくした作業員に対する補償裁定の基本を設定した[M8]。最初にこの枠組みで着目されたのは白血病であった。この枠組みによると、白血病は、少なくとも被ばくから診断までの年数に5mSvを乗じた線量以上を被ばくしたかという点を踏まえた上で、医学調査委員会により医療補償の適格性を判断される。その他のリンパ造血悪性腫瘍についても、それぞれの放射線感受性に応じて修正した後、同様の制度が適用される。日本では、2016年末までに15人の原発作業員がリンパ系ならびに造血悪性腫瘍でこの制度に基づく補償を認められ、そのうち約半数は白血病であった。15人の作業員のうち、2人は事故後に福島第一原発で雇用されていた。

固形がんは、実効線量が100mSv以上であるか、(最初の)被ばくと悪性腫瘍の診断までの期間が5年以上であるか、放射線以外に他の病因がないかという点を踏まえた上で、医学調査委員会によって医療補償の適格性を判断される。このような基準は継続的にレビューされており、新たな科学的根拠によって改定される可能性がある。2016年には、1人の作業員について甲状腺がんの補償が認められた。40代のこの作業員は、1992年から放射線を取り扱う仕事に従事しており、2011年3月から2012年4月にかけて福島第一原発で雇用され、積算実効線量の約150mSvうち、139mSvが福島第一原発での作業中に受けたものであった。

120. 厚労省によって招集された専門家は、福島第一原発の緊急作業者を対象とした長期的な疫学および健康モニタリングに関する研究を計画した[Y7]。福島第一原発での緊急作業の前、最中および後における放射線線量の正確な累積線量を評価する予定である。この調査研究では、よく標準化された定期的な健康診断により、約 2 万人の作業者に対する長期的なフォローアップを計画している。専門家は、測定された指標および毎年義務づけられている健診の一部として実施される臨床検査に基づいた標準の健康データを毎年まとめ、事故の結果として 100mSv を上回って被ばくした作業者については 3 年～5 年ごとに、甲状腺超音波検査、水晶体混濁検査、ならびに腎機能、感染症、および全身性炎症に関する特別な検査を実施することを推奨している。甲状腺の懸念すべき検査結果には、甲状腺がん、甲状腺機能低下症、自己免疫性甲状腺炎を含む。また、専門家は、病歴や生活習慣および社会人口統計学的データ、精神ストレス、他の毒性物質への暴露といった潜在的な交絡因子について、定期的に質問票による情報を取得すべきということも推奨している。さらに、対象となる作業者を、厚労省全国死亡(死因)データベースおよび新たな全国腫瘍登録と照合できるように手配することも勧めている。将来の疾患マーカーの評価および他の研究目的のために、血液試料の一部を保存することも提案されている。恣意的な統計分析を防ぐため、統計的に有意な差があるものと差がみられないものの両方を含む全ての分析を報告するよう研究者に勧めている。

121. 本委員会には、この調査研究の科学的な価値に関して、以下の懸念がある。

(a) 生涯線量を推定するために、緊急作業の前後における追加の職業被ばくに関する情報および医療被ばくの情報を取得することになるが、緊急作業の間に 100mSv の放射線を受けた作業者は 173 人のみであるため、累積線量と線量率効果を区別するという調査の目標を達成するには、統計的検出力が低すぎる可能性がある。

(b) 放射線作業者は義務づけられている毎年の健康診断をすでに別途受けており、協力企業の放射線作業者は短期間での移動を繰り返すため、その所在を追跡することが難しいのであれば、本調査研究は参加率が低いことによる支障を受けるおそれがある。

この調査研究の科学的な価値は限定的かもしれないが、本委員会は、影響を受けた作業者の健康上の懸念に対応するために正当化されると考えうると認識している。

C. 新規文献がもたらし得る影響

122. 本委員会は、2013 年報告書における福島第一原発事故による放射線被ばくの健康影響に関する知見は引き続き有効であり、それ以降に発表された新規情報の影響をほとんど受けていないとの結論に達した。

123. 本委員会は、福島県で実施された FHMS およびその他の情報源に基づいて報告された、事故による健康影響について継続している研究および調査に注目し、今後も遅滞なく状況を把握する予定である。また、本委員会は、さらなるデータまたは情報が 2013 年報告書で特定された研究ニーズへの対応に寄与する可能性が高いとして、以下に示す分野を特定した。

(a) 若年者の検診受診者数、ならびに腫瘍サイズ別、被ばく時年齢別、検査時年齢別、および性別の甲状腺がん確定および疑い症例数をさらに詳細に分類したものを FHMS

が提供すること。これにより、被ばくしていない若年の検診受診者に関して、他の対応するデータとのより正確な比較が可能となるであろう。

(b) FHMS による甲状腺スクリーニング調査における若年者、特に、甲状腺がんの疑いまたは確定診断を受けた若年者に関する外部被ばく線量の推定を完了すること。これにより、被ばくレベルごとに解析を改善させることが可能となり、年齢、性別、検診方法、その他の要素が FHMS の調査とは異なるかもしれない他の集団との比較よりも、推論のためのより強い基礎を提供するであろう。

(c) 健康事象とリスクに関する最も情報の多い評価を可能とするために、帰結に関する情報(甲状腺がん、その他のがんおよび非がん疾患の死亡および罹患、出生時異常、ならびに臨床および検査所見を含む)を、放射線被ばくおよび年齢、性別、その他のリスク因子に関する情報と結びつけること。これは、科学者および公衆の両方が持つであろう重要な疑問に対応する能力を最大限に高めるであろう。

(d) 一方で、生活習慣、毒性物質への暴露、疾病などの既存の医学的状态による交絡の可能性を考慮しつつ、潜在的な放射線の影響について質の高い評価を実施するために、追跡率を高くするように政府と原子力産業の協力を得て、福島第一原発の緊急作業者の健康に関する体系的なデータを提供すること。

IX. ヒト以外の生物相における線量と影響に関する更新情報

A. 2013年報告書の要約

124. 本委員会は、適切なモデルを適用して、事故によるヒト以外の生物相が受けた放射線量を推定した。当該線量に対応した放射線被ばくによる影響は、線量効果関係に関する本委員会の一般的な評価を組み合わせて推測された。事故後の海域および陸域におけるヒト以外の生物相の被ばくは、地域的なばらつきによるいくつかの例外がある可能性が考えられているが、全体として急性影響を観察するには至らない低いレベルであった。本委員会は、海洋環境におけるヒト以外の生物相の個体群レベルでの影響は、概して高濃度汚染水が海洋に漏洩したり放出されたりした福島第一原発近傍に限られるであろうと結論した。本委員会は、陸域における特定の生物種、とりわけ哺乳類について、個々の生物への影響リスクを排除することはできなかったが、個体群レベルで観察可能な影響が現れる可能性は低いと考えた。また、本委員会は、いかなる放射線の影響も、放射性物質の沈着密度が最も大きい限られた地域に留まり、このような地域以外では、生物相への潜在的な影響は無視できる程度であると結論した。

125. 本委員会は、福島第一原発事故の結果として、高濃度の放射性物質によって汚染された地域において、さまざまな陸域の生物相に影響が観察されたとする研究を参照した[H8, M9, M10]。これらの調査の中で野生生物の個体群に関して報告された有意な影響は、本委員会による理論的な評価に基づく主要な知見と一致しないことを認識している。本委員会は、線量の評価法に関する不確かさと交絡因子の可能性の観点から、前述のフィールド調査から確固たる結論を実証することは難しいため、これら観察結果について慎重に取り扱う必要性を指摘している。

B. 新規文献のレビューで得られた知見

126. 本委員会は、第 1 報および第 2 報の白書において、2013 年福島報告書の当該分野における知見は、利用可能な根拠により、広く支持されていると結論した。しかしながら、本委員会は、フィールド調査よりも実験室での調査研究に大きく依存するアプローチに限界がある可能性も認識している。本委員会は、高濃度の放射性物質に汚染された地域における生態系について、多様な条件下で相互に影響しあう野生生物の個体群を対象として、電離放射線被ばくの影響を解析するために計画された学際的なフィールド調査の必要性を指摘した。

127. 第 3 報となる本白書で検討された文献のうち、21 編について詳細なレビューを実施した。以下は、これらの文献の知見を要約したものである。

128. 複数の著者[T6, V2, V3]が、様々な環境区画の放射性核種の濃度の経時的な進展についてさらなる洞察を加えるため、福島第一原発事故からの放出に動態学的輸送モデルを適用した。Tateda et al. [T6]は、福島南部の沖合いの底生魚について観察された、 ^{137}Cs の濃度の緩やかな減少は、経口摂取による底生無脊椎動物から底生魚への放射性セシウムの移行によって説明できることを示す分析を実施した。Vives i Batlle et al. [V3]は、海洋生物相の放射線被ばくを予測するために設計された 8 つのモデル(2013 年報告書で使用された安定状態モデルと 2 つの動態学的モデルを含む)を対象として実施した相互比較について概説した。相互比較では、場合によって、パラメータおよび方法の違いが原因となってモデル間に有意なばらつきがあったものの、被ばくに関する主要な指標の一部(ほとんどの有機物における放射性セシウムの濃度など)の予測は極めて同等であった(1 桁以内のことが多かった)。これは、2013 年報告書で使用されている 2 つの動態学的モデルが、事故後の初期の放出における海洋生物相の被ばくについて合理的で信頼できる予測ができていていることを示唆している。

129. レビューした数編の文献は、ヒト以外の生物相への放射性核種の移行とその濃度の調査に関するものであった[A3, F3, T1, T2, T4, W1, W2]。この結果は、2013 年報告書における環境影響に関する評価に使用した一連のデータと全体的に一致しており、いくつかの場合で同じ情報源や関連する情報源へ引用されている。動態学的輸送モデルに関する作業を含めた上記の全ての調査、および輸送[S12, U1]とその後の沈着過程[S5, T3]に関するその他のより間接的な関連調査は、フォローアップ評価において 2013 年報告書で使用されたモデルを改善するために有用であろう。

130. Qiu et al. [Q1]は、2011 年および 2012 年に、福島県沿岸を含む様々な沿岸地域から採取したフナムシ(リギア属)中の放射性セシウムおよび放射性銀の濃度に関するデータを提示した。全般的に、試料中に含まれる放射性核種の濃度は低く(生体重で 100Bq/kg を超えることは稀であった)、したがって 2013 年報告書で評価された濃度よりもはるかに低い値であった。しかしながら、Qiu et al. [Q1]の調査では、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ の大幅な生物濃縮がいくつかの地点で起きた可能性があることが示唆されている。 $^{110\text{m}}\text{Ag}$: ^{137}Cs の比率が 1 を超える(沿岸部堆積物における比率と比べると約 1 桁~2 桁大きい)事例が福島県沿岸の 1ヶ所で見つかっている。魚類について、銀の濃度が比較的高くなることを考慮すると、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ が 2013 年報告書における想定よりも重要である可能性がある。Horiguchi et al. [H10]もまた、貝類の中に比較的濃度の高い $^{110\text{m}}\text{Ag}$ を測定しており、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$: ^{137}Cs の放射能比はさらに高かった。例えば、カサガイおよびアカニシに含まれる $^{110\text{m}}\text{Ag}$: ^{137}Cs の放射能比は、それぞれ 1.5~54.2 および 13.6~15.7 であると報告された。しかしながら、 ^{137}Cs と比べて海洋堆積物中の $^{110\text{m}}\text{Ag}$ の濃度

が比較的低いという IAEA [I1]による記述や、海洋生物相中の ^{110m}Ag 、 ^{137}Cs の比率が 1 を超えることが稀であるという Qiu et al. [Q1]の記述を考慮すると、Horiguchi et al. [H10]によって報告された ^{110m}Ag の上昇した数値は突発的な値のように思われるが、さらなる調査が有用であろう。

131. 2 編の文献[T2, V2]は、事故後の初期における海洋生物相の被ばくに対する海洋堆積物中の放射性核種の寄与は、他の供給源と比べて無視できるという 2013 年報告書の知見を裏付けているといえる。

132. Okano et al. [O10]は、生殖細胞のアポトーシスと精子の形態異常に焦点を当て、福島県の大型ノズミ(*Apodemus speciosus*)を調査した。著者らは、2013 年および 2014 年のオスの低受胎の原因は被ばくではなかったと結論づけた。この調査は、ヒト以外の生物相において地域の生息数に影響が及ぶ可能性は低いという 2013 年報告書の主要な知見を裏付ける根拠を与えている。しかしながら、この調査における試料採取場所は、1 ヶ所は周辺線量当量が $10\mu\text{Gy/h}$ (事故後 30 ヶ月経過時)を超える場所であったものの、概して放射性核種の沈着が最も高い地域ではなかった。

133. Horiguchi et al. [H10]は、2011 年～2013 年に福島第一原発の周囲にある東日本の海岸線に沿った沿岸地方において、潮間帯生物(棘皮動物、甲殻類、二枚貝など)の生息密度と種類を調査した。潮間帯の生息数は、福島第一原発に近い沿岸で有意に減少していることが判明した。さらに、2012 年には、福島第一原発から約 30km 圏内においてニシ(*Thais clavigera*)の試料は収集されなかった。この腹足類の特定の種については、津波の影響を受けた他の多くの地点で観察されている事実があり、当該生物の消失と福島第一原発事故との間に何らかの因果関係があることが示唆されている。2013 年に調査された潮間帯における種の数と生息密度は、福島第一原発の近傍、すなわち南方に数キロメートル圏内において、他の離れた場所よりもはるかに低く、特に節足動物について 1995 年よりも低かった。しかしながら、この調査の著者らは、津波による物理的な被害や事故直後に放出された化学物質や放射性核種の毒性といった様々な直接的影響の可能性が考えられるため、確固たる因果関係の確立が難しいことも強調している。また、非常に高い ^{110m}Ag の相対値が報告されていることを考慮すると、この調査における放射性核種の特定に関しては、いくらかの疑問があるように思われる(上記の段落 130 を参照)。しかし、この生物学的調査の結果はなおも信頼できるものであり、2013 年報告書の評価における環境リスクの定量化にあたって、生態系の複雑さを考慮に入れていない点で単純化し過ぎている可能性があるという主張をさらに裏付けている。

134. Hiyama et al. [H9]は、ヤマトシジミで観察された高い異常率が「人為的起源の放射性突然変異原」によって引き起こされたことを示唆するさらなる根拠を提供している。しかしながら、Otaki [O12]は、福島第一原発事故後の同種のチョウに対する影響に関する複数の調査結果を総合し、電離放射線が観察された環境生物への影響の主たる原因であった可能性は低いと報告した。

135. Yoschenko et al. [Y9]は、福島第一原発事故後に放射性核種の沈着密度が上昇した地域において、アカマツ(*Pinus densiflora*)種の稚樹における形態学的な異常が有意に増加していることを観察した。これは、モミの形態学的異常を発見し、第 2 報の白書[U5]で報告された以前の調査[W4]とも一致している。第 2 報の白書[U5]にも記載されているように、沈着した放射性核種の密度が比較的高い地域の植生における累積線量は、チェルノブイリでの事故後に針葉樹の成長、繁殖、形態における阻害が観察された線量と同等であると 2013 年報

告書では推定していた。木の個体群の完全性に対する形態学的異常の影響は、よく確認されていない。

C. 新規文献がもたらし得る影響

136. 福島第一原発事故によって放出された放射性核種のヒト以外の生物相への移行と、その結果として生じる環境被ばくに関する本委員会の評価は、依然として多数の文献で広範に裏付けられている。Horiguchi et al. [H10]の調査は、潮間帯における生息数への大きな影響を観察した点において、2013 年報告書の知見に異議を唱える可能性があるが、上述のように、この文献に示されている一部のデータについては決定的に結論づける前に解決する必要のある疑問がある。Geras'kin [G1]は、被ばくによって生態系の構成要素間の生態学的な相互作用が分断されることを示す根拠が増えているようであり、これが摂動のきっかけとなり、生物個体レベルで観察される直接的な影響から予測されるものとは異なる結果に至る可能性があると述べている。以前の白書[U5]に記載されているように、計算された線量率の解釈の仕方、特に生態系の相互作用の複雑さを完全には考慮に入れずにエンドポイントに焦点をあてるだけで十分なのかどうかに関連して、疑問が生じる可能性がある。生態系内の生物相の相互作用を十分に考慮した、生物学的組織のより高いレベル(例えば、生息数のレベル)での線量反応を調査するという、フォローアップ調査として特定されたニーズは引き続き有効である。

X. 新規文献の評価に関する結論

137. 第 3 報となる本白書のために評価された新規情報源の内、大部分が 2013 年報告書の主要な仮定の 1 つまたは複数を追認するものであった。実質的に 2013 年報告書の主要な知見に影響を及ぼしたり、その主要な仮定に異議を唱えたりするものはなかった。さらなる分析や、より質の高い調査での確認が必要ではあるが、影響の波及や異議の提唱の可能性のあるものについて、以下で簡単に概説する。

A. 2013 年報告書に対する潜在的な異議

138. Horiguchi et al. [H10]の調査は、潮間帯におけるヒト以外の生物相に対する生息数への大きな影響を観察した点において、2013 年報告書の知見に異議を唱えている可能性がある。しかし、この文献に示されている一部のデータについては、決定的に結論づける前に解決する必要のある疑問がある。被ばくによって生態系の構成要素間の生態学的な相互作用が中断されることを示す根拠が、さらなる調査[G1, H9, O12]によって増えている。生態系内の生物相の相互作用を十分に考慮する調査が引き続き必要である。

B. 研究ニーズへの寄与

139. 表 1 は、2013 年報告書で特定された研究ニーズへの対応に大きく寄与すると判断された文献をまとめたものである。多くの領域で進捗があるが、いくつかの研究ニーズについては、まだ科学界において完全には取り扱われていない(少なくとも査読付きの文献として)。

表 1. 特定されたいずれかの研究ニーズへの対応に大きく寄与するとみなされた文献

研究ニーズ	研究ニーズに大きく寄与するとみなされた文献	研究ニーズに中程度に寄与するとみなされた文献
大気中への放出、拡散および沈着		
大気への放出の推定量と特性についての経時的な評価を改善させる	[C2, S7, S9, T8]	[F1, G2, H7, J1, K2, M5, M7, O1, S1, S4, S10, Y1, Y10]
水域への放出、拡散および沈着		
経時的な放射能汚染水の漏洩および水域環境への放出の特性を把握および改善する	[C1, F2, I4, T10]	
長期的な輸送ならびに放出の混合、その結果として生じる水生系を介した被ばくを予測して定量化する	[K11, K12]	[I5]
陸域および淡水域環境を介した移行		
食物連鎖経路の移行パラメータに関する関連情報を照合する	[K8, M11, W2, Y2]	[D1, E3, E4, F4, I3, K7, K9, K14, M6, M12, O6, O9, S13, T1, U1, W3, W6, Y3, Y5]
公衆の線量		
種々の環境中で沈着した物質による外部被ばくの線量率を測定し、経時変化を予測および追跡し、環境修復計画の効果を定量化する		[M3, N3]
人体内放射性核種の体外計測を実施し、線量とその分布の推定精度向上を支援し、現在および将来の被ばくレベルを推定する		[K5, K6, T5]
作業員の線量		
個々の作業員の作業履歴を考慮しつつ、報告された作業員の線量について不確かさを定量化する		[S3, Y6, Y7]
健康影響		
福島県で現在実施中の健康調査を継続する	[N2]	[S2]
福島県における甲状腺がんの見かけの発生率に対する超音波検査の影響を解析し定量化する	[O5, S14, S15]	
ヒト以外の生物相における線量と影響		
ヒト以外の生物相の特定の種について、典型的な環境被ばくの評価に基づき、放射線被ばくが環境影響の原因となる重要な要素であるか否かについて分析したフィールド調査が報告されているが、本委員会の評価とは一致していない	[H9, H10, O10, T1, W1, W2, Y9]	[A3, F3, O12, Q1, S12, T2, T4, V2, V3]

XI. 主要な研究プロジェクトおよびプログラムの収集と評価

140. フォローアップ活動の計画(段落 4 を参照)における具体的な目標のひとつは、「未解決の課題に関連する主要な研究プロジェクトや計画の進捗状況および計画立案状況について情報を収集・評価すること」することであった。この目標は、公表された情報のレビューに焦点があてられていた以前の白書では、いずれにおいても体系的には取り扱われていなかった。進行中または予定されている主要な研究プロジェクトまたはプログラムの認識や評価は、次の 2 つの点で本委員会のフォローアップ活動に有益になる。第 1 に、調査結果が 2013 年報告書の知見に実質的な影響を与える可能性について事前に注意しておくことができる点、第 2 に、2013 年報告書の更新が適切であるか、またその適切な時期はいつか、すなわち、フォローアップ活動の計画におけるフェーズ I(新規情報のレビュー)からフェーズ II(2013 年報告書の更新)に移行すること(段落 4 を参照)に関する判定をよりよい情報に基づいて判断できる点である。

141. 日本の組織が実施または資金を提供している研究プロジェクトおよびプログラムは、進行中および計画されている福島第一原発事故に関する研究の大半を占めている。これらは、日本の研究者との会合に基づいて評価された。

142. 2016 年 11 月に、日本の研究者との会合が 2 回開催された。会合の目的は、福島第一原発事故による健康および環境影響に関する評価を改善する余地のある隔たり、不確かさおよび研究ニーズに関する見解について意見を交換すること、主要な日本の研究プロジェクト/プログラム、とりわけその範囲、目的、現状、予想される結果と要する期間についての理解をより深めること、および本委員会の専門家と日本の研究者との間において効果的な対話および情報交換を可能にする仕組みを確立することであった。第 1 の会合は、国レベルで実施または資金提供されているプログラム/プログラムを対象として東京で開催し、第 2 の会合は、主に福島県の大きな支援の下で実施されているプロジェクト/プログラムを対象として福島市で開催された。本委員会の専門家グループおよび日本人専門家作業グループのメンバーが、各プロジェクト/プログラムの代表研究者および研究の委託/資金提供を実施している多くの組織の代表者とともに、両方の会合に出席した。

143. これらの会合の範囲、内容、結果は、本白書の電子ファイルにて簡単にまとめられている。とりわけ、研究プロジェクト/プログラムが、2013 年報告書で特定された研究ニーズを取り扱うものであるかという点に着目した。表 2 は、主要な日本の研究プロジェクト/プログラムの概要を示したもので、主な目的、研究ニーズに対応する予想される結果、および各時間スケールが示されている。これは、本委員会の日本人専門家作業グループが最初にまとめた情報に基づき、2 回の会合において示された情報を補足したものである。研究プロジェクト/プログラムの多くは、少なくとも現在の予定では、今後数年間のうち(すなわち、2020 年以前)に完了し、それらが、特に放射性物質の放出の規模と特徴、福島第一原発事故による公衆の線量、および健康への影響に関する現在の推定の質、頑健性、包括性を大きく高める可能性がある。

表2. 主要な日本の研究プロジェクトおよびプログラム

研究プログラム（依頼者または責任者）	目的	UNSCEARの研究ニーズに対応する主要な結果	予想される結果の発表時期
原発事故により放出された大気中微粒子等 のばく露評価とリスク評価のための学際研 究（環境省）	大気中における放射性物質の濃度の測定値のデータベ ースおよび ATDM を活用し、事故当時に人がいた場所の 濃度をよりよく定量化し、事故後早期の吸入線量を評価 する	吸入による公衆の線量推定値と不確かさの改善	2018 年中頃
東京電力福島第一原子力発電所事故にお ける住民の線量評価に関する包括研究（環 境省）	改善された ATDM の結果、空間線量率に関する測定デー タ、および更新されたソースタームを使用し、ソースターム およびモデル化の不確かさに対応する内部被ばくおよび外 部被ばくによる公衆の線量を再構成する（特に事故後早 期の段階）	大気への放出に関する新規ソースターム特に事 故後早期の段階における吸入摂取、経口摂取、 外部被ばくによる公衆の線量推定値の改善	2017 年中頃
放射性物質の分布に関する調査（文部科学 省、原子力規制庁、JAEA）	空間線量率と沈着密度に関する地図を作成する 沈着に関する特性を説明する 放射性セシウムの環境中における移行について研究する 空間線量率の将来予測モデルを開発する 取得データを一般に公開する	空間線量率と沈着密度の地図 沈着に至る過程と経時的および空間的な変化に 関する理解の改善 事故後の 30 年間にわたる空間線量率の予測 さまざまな環境モニタリングに関するデータを集約 した包括的な一般公開データベース	適宜、文献を発表しな がら研究を継続
福島第一原発事故からの放射能汚染水の 海洋環境への放出に関する調査（JAEA）	時間経過に伴う地下水を含む水域環境と最終的に太平 洋までの放出の特性を評価する このような放出に伴う長期的な輸送および混合を予測し、 定量化する 水域経路を介した結果として起こる被ばくを評価する	供給源（直接的な放出、大気からの沈着、河川と 地下水からの流入）による経時的な海洋への放 出 海洋における輸送および拡散の理解	2019 年中頃
陸域環境における放射性核種の移動に関 する調査（文科省、JAEA）	陸域環境での放射性核種の移行を評価する	日本の陸域環境における放射性核種の移行をモ デル化するための計算ツールおよびパラメータ値	2018 年 さらなる研究結果が続 く
陸域および水域環境での放射性核種の輸 送と野生生物の被ばくに関する調査（福島 大学）	陸域および水域環境における放射性核種の輸送、放射 性核種の生理化学的形態、河川、貯水池、および海洋環 境での放射性核種の長期的な動向、生態系内での放射 性核種の長期的な動向を理解する 事故による野生生物の慢性的な被ばくの影響を評価する	日本の陸域および水域環境での放射性核種の移 行をモデル化するため、および食品の摂取による 公衆の線量を推定するためのパラメータ値 ヒト以外の生物相の長期的な線量と影響の推定 の改善	適宜、文献を発表しな がら研究を継続
野生の動植物に対する放射線の影響に関 する調査（環境省）	福島第一原発から放出された放射性物質の自然の生態 系に対する影響を理解する	福島第一原発事故の結果として、ヒト以外の生物 相に与える被ばくと影響の評価	2012 年から 2015 年の 調査を 2016 年に報 告。 適宜、文献を発表しな がら研究を継続

研究プログラム(依頼者または責任者)	目的	UNSCEAR の研究ニーズに対応する主要な結果	予想される結果の発表時期
福島健康管理調査(福島県、福島県立医科大学)	福島第一原発事故後の最初の 4 ヶ月の外部被ばく線量推定値を含む、福島県の住民の健康的な健康推定値を提供する避難区域の居住者の包括的な健康診断、県内の小児全員の甲状腺検査、心の健康と生活習慣の変化の観察、妊娠・出産調査により福島県の住民の健康と福祉を評価して観察する	内部被ばくおよび外部被ばくによる公衆の線量推定値 健康および福祉の変化に関する根拠	適宜、文献を公表しながら研究を継続
原子力緊急作業健康調査(厚労省、放射線影響研究所)	緊急時の外部被ばくと内部被ばく線量推定値、包括的な健康診断、超音波による甲状腺検査、白内障(水晶体混濁)検査、心の健康調査、生物試料の保管を含む、緊急作業者の個人線量の推定と健康状態の観察を実施する	内部被ばくおよび外部被ばくによる作業者の線量推定値の改善 作業者の健康および福祉の変化に関する根拠	基本調査は 2019 年に完了する見込み

謝辞

本委員会は、本白書の公表を承認するにあたり、2011年東日本大震災後の原発事故による放射線被ばくのレベルと影響の評価に関するフォローアップ活動の遂行に直接的に関与した、以下の専門家の貢献に謝意を表す。

シニアテクニカルアドバイザー

W. Weiss (ドイツ)、M. Akashi (日本)

専門家グループ

M. Balonov (ロシア連邦)、C. Estournel (フランス)、G. Etherington (英国)、F. Gering (ドイツ)、B. Howard (英国)、R. Shore (米国)、S. Solomon (オーストラリア)、P. Strand (ノルウェー)

日本人専門家作業グループ

テクニカルサポート: K. Kodama (日本)

メンバー: T. Aono (日本)、M. Chino (日本)、K. Ozasa (日本)、S. Saigusa (日本)、K. Sakai (日本)、T. Takahashi (日本)、H. Yasuda (日本)

クリティカルレビュー担当者

J. Brown (英国)、J. Chen (カナダ)、N. Harley (米国)、G. Hirth (オーストラリア)、J.-R. Jourdain (フランス)、F. Mettler (米国)、B.I. Min (韓国)、H. Nies (ドイツ)、S. Shinkarev (ロシア連邦)、K.S. Suh (韓国)、H. Vandenhove (ベルギー)

プロジェクトマネージャー

G.N. Kelly (英国)

参考文献

- A1 Abe, Y., Y. Iizawa, Y. Terada et al. Detection of uranium and chemical state analysis of individual radioactive microparticles emitted from the Fukushima nuclear accident using multiple synchrotron radiation X-ray analyses. *Anal Chem* 86(17): 8521-8525 (2014).
- A2 Adachi, K., M. Kajino, Y. Zaizen et al. Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident. *Sci Rep* 3: 2554 (2013).
- A3 Aono, T., Y. Ito, T. Sohtome et al. Observation of radionuclides in marine biota off the coast of Fukushima prefecture after TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power station accident. pp.115-123 in: *Radiation Monitoring and Dose Estimation of the Fukushima Nuclear Accident*. (S. Takahashi, ed.) Springer, Tokyo, 2014.
- A4 Aono, T., S. Yoshida and M. Akashi. Initial and present situation of food contamination in Japan after the accident at the Fukushima Dai-Ichi nuclear power plant. *Radiat Prot Dosim* 171(1): 14-19 (2016).
- A5 Arai, T. Radioactive cesium accumulation in freshwater fishes after the Fukushima nuclear accident. *Springerplus* 3(1): 479-491 (2014).
- B1 Brown, J. and J.R. Simmonds. FARMLAND a dynamic model for the transfer of radionuclides through terrestrial foodchains. NRPB-R273. National Radiological Protection Board, Chilton, 1995.
- C1 Castrillejo, M., N. Casacuberta, C.F. Breier et al. Reassessment of (90)Sr, (137)Cs, and (134)Cs in the coast off Japan derived from the Fukushima Dai-ichi nuclear accident. *Environ Sci Technol* 50(1): 173-180 (2016).
- C2 Chino, M., H. Terada, H. Nagai et al. Utilization of (134)Cs/(137)Cs in the environment to identify the reactor units that caused atmospheric releases during the Fukushima Daiichi accident. *Sci Rep* 6: 31376 (2016).
- D1 Djedidi, S., K. Kojima, N. Ohkama-Ohtsu et al. Growth and (137)Cs uptake and accumulation among 56 Japanese cultivars of Brassica rapa, Brassica juncea and Brassica napus grown in a contaminated field in Fukushima: Effect of inoculation with a *Bacillus pumilus* strain. *J Environ Radioact* 157: 27-37 (2016).
- E1 Ebner, D.K., M. Ohsawa, K. Igari et al. Lifestyle-related diseases following the evacuation after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident: a retrospective study of Kawauchi Village with long-term follow-up. *BMJ Open* 6(7): e011641 (2016).
- E2 Eguchi, T., T. Ohta, T. Ishikawa et al. Influence of the nonexchangeable potassium of mica on radiocesium uptake by paddy rice. *J Environ Radioact* 147: 33-42 (2015).
- E3 Endo, S., T. Kajimoto and K. Shizuma. Paddy-field contamination with ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs due to Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident and soil-to-rice transfer coefficients. *J Environ Radioact* 116: 59-64 (2013).
- E4 Evrard, O., J.P. Laceby, Y. Onda et al. Quantifying the dilution of the radiocesium contamination in Fukushima coastal river sediment (2011-2015). *Sci Rep* 6: 34828 (2016).
- F1 Fujiwara, H. Observation of radioactive iodine ((131)I, (129)I) in cropland soil after the Fukushima nuclear accident. *Sci Total Environ* 566-567: 1432-1439 (2016).
- F2 Fukuda, M., T. Aono, S. Yamazaki et al. Dissolved radiocaesium in seawater off the coast of Fukushima during 2013–2015. *J Radioanal Nucl Chem* 311(2): 1479-1484 (2016).
- F3 Fuma, S., Y. Kubota, S. Ihara et al. Radiocaesium contamination of wild boars in Fukushima and surrounding regions after the Fukushima nuclear accident. *J Environ Radioact* 164: 60-64 (2016).
- F4 Fuma, S., Y. Watanabe, Y. Kubota et al. Radiocaesium contamination of bamboo shoots in Fukushima and surrounding regions after the Fukushima nuclear accident. *J Radioanal Nucl Chem* 311(1): 219-223 (2017).
- G1 Geras'kin, S.A. Ecological effects of exposure to enhanced levels of ionizing radiation. *J Environ Radioact* 162-163: 347-357 (2016).
- G2 Girard, S., V. Mallet, I. Korsakissok et al. Emulation and Sobol' sensitivity analysis of an atmospheric dispersion model applied to the Fukushima nuclear accident. *J Geophys Res Atmos* 121(7): 3484-3496 (2016).
- H1 Hanna, S.R. and G.S. Young. The need for harmonization of methods for finding locations and magnitudes of air pollution sources using observations of concentrations and wind fields. *Atmos Environ* 148: 361-363 (2017).
- H2 Hashimoto, K., K. Tanoi, K. Sakurai et al. The radioactivity measurement of milk from the cow supplied with the meadow

- grass grown in Ibaraki-prefecture, after the nuclear power plant accident. *Radioisotopes* 60(8): 335-338 (2011). (Japanese).
- H3 Hashimoto, S., M. Nagai, S. Fukuma et al. Influence of post-disaster evacuation on incidence of metabolic syndrome. *J Atheroscler Thromb* 24(3): 327-337 (2017).
- H4 Hirayama, H., H. Matsumura, Y. Namito et al. Estimation of time history of I-131 concentration in air using NaI(Tl) detector pulse height distribution at monitoring posts in Fukushima prefecture. *Trans At Energy Soc Japan* 14(1): 1-11 (2015). (Japanese).
- H5 Hirono, Y. and K. Nonaka. Time series changes in radiocaesium distribution in tea plants (*Camellia sinensis* (L.)) after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J Environ Radioact* 152: 119-126 (2016).
- H6 Hirose, K. Two-years trend of monthly ¹³⁷Cs deposition observed in Kanto and south Tohoku areas, Japan: effects of the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *J Radioanal Nucl Chem* 303(2): 1327-1329 (2015).
- H7 Hirose, K. Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident: Atmospheric and oceanic impacts over the five years. *J Environ Radioact* 157: 113-130 (2016).
- H8 Hiyama, A., C. Nohara, S. Kinjo et al. The biological impacts of the Fukushima nuclear accident on the pale grass blue butterfly. *Sci Rep* 2: 570 (2012).
- H9 Hiyama, A., W. Taira, M. Iwasaki et al. Geographical distribution of morphological abnormalities and wing color pattern modifications of the pale grass blue butterfly in northeastern Japan. *Entomol Sci* 20(1): 100-110 (2017).
- H10 Horiguchi, T., H. Yoshii, S. Mizuno et al. Decline in intertidal biota after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami and the Fukushima nuclear disaster: field observations. *Sci Rep* 6: 20416 (2016).
- H11 Howard, B.J., S. Fesenko, M. Balonov et al. A comparison of remediation after the Chernobyl and Fukushima Daiichi accidents. *Radiat Prot Dosim* 173(1-3): 170-176 (2017).
- I1 IAEA. The Fukushima Daiichi accident. Technical volume 5/5: Post-accident recovery. International Atomic Energy Agency. Vienna, 2015.
- I2 Igarashi, Y., M. Kajino, Y. Zaizen et al. Atmospheric radioactivity over Tsukuba, Japan: a summary of three years of observations after the FDNPP accident. *Progress in Earth and Planetary Science* 2(1): 44 (2015).
- I3 Iguchi, K., K. Fujimoto, H. Kaeriyama et al. Cesium-137 discharge into the freshwater fishery ground of grazing fish, ayu *Plecoglossus altivelis* after the March 2011 Fukushima nuclear accident. *Fish Sci* 79(6): 983-988 (2013).
- I4 Inomata, Y., M. Aoyama, T. Tsubono et al. Spatial and temporal distributions of (134)Cs and (137)Cs derived from the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident in the North Pacific Ocean by using optimal interpolation analysis. *Environ Sci Process Impacts* 18(1): 126-136 (2016).
- I5 Inoue, M., H. Kofuji, K. Fujimoto et al. Delivery mechanism of (134)Cs and (137)Cs in seawater off the Sanriku Coast, Japan, following the Fukushima Dai-ichi NPP accident. *J Environ Radioact* 137: 113-118 (2014).
- I6 Inoue, M., Y. Shirotani, S. Nagao et al. Migration of the FDNPP-derived ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs along with ²²⁶Ra and ²²⁸Ra concentrations across the northwestern North Pacific Ocean. *J Environ Radioact* 162-163: 33-38 (2016).
- I7 Ishikawa, T., S. Yasumura, K. Ozasa et al. The Fukushima Health Management Survey: estimation of external doses to residents in Fukushima Prefecture. *Sci Rep* 5: 12712 (2015).
- I8 Ishikawa, T., S. Yasumura, A. Ohtsuru et al. An influential factor for external radiation dose estimation for residents after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident-time spent outdoors for residents in Iitate Village. *J Radiol Prot* 36(2): 255-268 (2016).
- J1 Jäckel, B.S., A. Bevilacqua, G. Ducros et al. Land contamination activity data interpretation from Fukushima Daiichi accident. *Nucl Eng Des* 300: 28-33 (2016).
- K1 Kaiser, J.C., R. Meckbach, M. Eidemuller et al. Integration of a radiation biomarker into modeling of thyroid carcinogenesis and post-Chernobyl risk assessment. *Carcinogenesis* 37(12): 1152-1160 (2016).
- K2 Kaneyasu, N., H. Ohashi, F. Suzuki et al. Sulfate aerosol as a potential transport medium of radiocesium from the Fukushima nuclear accident. *Environ Sci Technol* 46(11): 5720-5726 (2012).
- K3 Katanoda, K., K. Kamo and S. Tsugane. Quantification of the increase in thyroid cancer prevalence in Fukushima after the nuclear disaster in 2011--a potential overdiagnosis? *Jpn J Clin Oncol* 46(3): 284-286 (2016).
- K4 Katata, G., M. Chino, T. Kobayashi et al. Detailed source term estimation of the atmospheric release for the Fukushima

- Daiichi Nuclear Power Station accident by coupling simulations of an atmospheric dispersion model with an improved deposition scheme and oceanic dispersion model. *Atmos Chem Phys* 15(2): 1029-1070 (2015).
- K5 Kim, E., O. Kurihara, N. Kunishima et al. Internal thyroid doses to Fukushima residents-estimation and issues remaining. *J Radiat Res* 57 (Suppl 1): i118-i126 (2016).
- K6 Kim, E., O. Kurihara, N. Kunishima et al. Early intake of radiocesium by residents living near the TEPCO Fukushima Dai-Ichi nuclear power plant after the accident. Part 1: Internal doses based on whole-body measurements by NIRS. *Health Phys* 111(5): 451-464 (2016).
- K7 Kitamura, A., H. Kurikami, K. Sakuma et al. Redistribution and export of contaminated sediment within eastern Fukushima Prefecture due to typhoon flooding. *Earth Surf Process Landforms* 41(12): 1708-1726 (2016).
- K8 Kobayashi, M., K. Suzuki, S. Miyamoto et al. Urgent study on the contamination of radionuclides in milk of dairy cows following the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in Japan. *Nihon Chikusan Gakkaiho* 83(1): 57-64 (2012). (Japanese).
- K9 Konoplev, A., V. Golosov, G. Laptev et al. Behavior of accidentally released radiocesium in soil-water environment: Looking at Fukushima from a Chernobyl perspective. *J Environ Radioact* 151 (Pt 3): 568-578 (2016).
- K10 Konoplev, A.V., V.N. Golosov, V.I. Yoschenko et al. Vertical distribution of radiocesium in soils of the area affected by the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *Eurasian Soil Sci* 49(5): 570-580 (2016).
- K11 Kumamoto, Y., M. Aoyama, Y. Hamajima et al. Meridional distribution of Fukushima-derived radiocesium in surface seawater along a trans-Pacific line from the Arctic to Antarctic Oceans in summer 2012. *J Radioanal Nucl Chem* 307(3): 1703-1710 (2016).
- K12 Kumamoto, Y., M. Aoyama, Y. Hamajima et al. Fukushima-derived radiocesium in the western North Pacific in 2014. *J Radioanal Nucl Chem* 311(2): 1209-1217 (2017).
- K13 Kunii, Y., Y. Suzuki, T. Shiga et al. Severe psychological distress of evacuees in evacuation zone caused by the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident: The Fukushima Health Management Survey. *PLoS One* 11(7): e0158821 (2016).
- K14 Kusaba, S., K. Matsuoka, K. Abe et al. Effect of soil surface management on radiocesium concentrations in apple orchard and fruit. *Hort J* 85(1): 30-36 (2016).
- L1 Leboulleux, S., R.M. Tuttle, F. Pacini et al. Papillary thyroid microcarcinoma: time to shift from surgery to active surveillance? *Lancet Diabetes Endocrinol* 4(11): 933-942 (2016).
- M1 MAFF. 2012 livestock statistics. Ministry of Agriculture, Forestry and Fishery, Japan. [Internet] Available from (<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001105713>) on 1 January 2017. (Japanese).
- M2 MAFF. 2011 livestock statistics. Ministry of Agriculture, Forestry and Fishery, Japan. [Internet] Available from (<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001099430>) on 1 January 2017. (Japanese).
- M3 Malins, A., H. Kurikami, S. Nakama et al. Evaluation of ambient dose equivalent rates influenced by vertical and horizontal distribution of radioactive cesium in soil in Fukushima Prefecture. *J Environ Radioact* 151 (Pt 1): 38-49 (2016).
- M4 Manabe, N., T. Takahashi, M. Endo et al. Effects of "Clean Feeding" management on livestock products contaminated with radioactive cesium due to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. pp.77-90 in: *Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident* (T.M. Nakanishi and K. Tanoi, eds.). Springer, Tokyo, 2016.
- M5 Mikami, S., T. Maeyama, Y. Hoshide et al. Spatial distributions of radionuclides deposited onto ground soil around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant and their temporal change until December 2012. *J Environ Radioact* 139: 320-343 (2015).
- M6 Mishra, S., S.K. Sahoo, P. Bossew et al. Vertical migration of radio-caesium derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident in undisturbed soils of grassland and forest. *J Geochem Explor* 169: 163-186 (2016).
- M7 Miyamoto, Y., K. Yasuda and M. Magara. Size distribution of radioactive particles collected at Tokai, Japan 6 days after the nuclear accident. *J Environ Radioact* 132: 1-7 (2014).
- M8 ML. Criteria for approving occupational/non-occupational diseases related to ionizing radiation disease. Director-General's notice No. 810. Ministry of Labour, Japan, 8 November 1976. (Japanese).
- M9 Møller, A.P., A. Hagiwara, S. Matsui et al. Abundance of birds in Fukushima as judged from Chernobyl. *Environ Pollut* 164: 36-39 (2012).

- M10 Møller, A.P., I. Nishiumi, H. Suzuki et al. Differences in effects of radiation on abundance of animals in Fukushima and Chernobyl. *Ecol Indic* 24: 75-81 (2013).
- M11 Mukai, H., A. Hirose, S. Motai et al. Cesium adsorption/desorption behavior of clay minerals considering actual contamination conditions in Fukushima. *Sci Rep* 6: 21543 (2016).
- M12 Mukai, H., S. Motai, T. Yaita et al. Identification of the actual cesium-adsorbing materials in the contaminated Fukushima soil. *Appl Clay Sci* 121-122: 188-193 (2016).
- M13 Muramatsu, Y., H. Matsuzaki, C. Toyama et al. Analysis of ^{129}I in the soils of Fukushima Prefecture: preliminary reconstruction of ^{131}I deposition related to the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP). *J Environ Radioact* 139: 344-350 (2015).
- N1 Nagao, S., M. Kanamori, S. Ochiai et al. Migration behavior of ^{134}Cs and ^{137}Cs in the Niida River water in Fukushima Prefecture, Japan during 2011–2012. *J Radioanal Nucl Chem* 303(2): 1617-1621 (2015).
- N2 Nagataki, S. Minimizing the health effects of the nuclear accident in Fukushima on thyroids. *Eur Thyroid J* 5(4): 219-223 (2016).
- N3 Naito, W., M. Uesaka, C. Yamada et al. Relationship between individual external doses, ambient dose rates and individuals' activity-patterns in affected areas in Fukushima following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *PLoS One* 11(8): e0158879 (2016).
- N4 Naulier, M., F. Eyrolle-Boyer, P. Boyer et al. Particulate organic matter in rivers of Fukushima: An unexpected carrier phase for radiocesiums. *Sci Total Environ* 579: 1560-1571 (2017).
- N5 Nippon Foundation. Recommendations: the Fifth International Expert Symposium in Fukushima on Radiation and Health. [Internet] Available from (<http://www.nippon-foundation.or.jp/en/news/articles/2016/img/60/1.pdf>)
- O1 Ochiai, S., H. Hasegawa, H. Kakiuchi et al. Temporal variation of post-accident atmospheric ^{137}Cs in an evacuated area of Fukushima Prefecture: Size-dependent behaviors of ^{137}Cs -bearing particles. *J Environ Radioact* 165: 131-139 (2016).
- O2 Oe, M., S. Fujii, M. Maeda et al. Three-year trend survey of psychological distress, post-traumatic stress, and problem drinking among residents in the evacuation zone after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident [The Fukushima Health Management Survey]. *Psychiatry Clin Neurosci* 70(6): 245-252 (2016).
- O3 Ohira, T., M. Hosoya, S. Yasumura et al. Evacuation and risk of hypertension after the Great East Japan earthquake: The Fukushima Health Management Survey. *Hypertension* 68(3): 558-564 (2016).
- O4 Ohira, T., M. Hosoya, S. Yasumura et al. Effect of evacuation on body weight after the Great East Japan earthquake. *Am J Prev Med* 50(5): 553-560 (2016).
- O5 Ohira, T., H. Takahashi, S. Yasumura et al. Comparison of childhood thyroid cancer prevalence among 3 areas based on external radiation dose after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Medicine* 95(35): e4472 (2016).
- O6 Ohmori, H., Y. Sasaki, K. Tajima et al. Radioactive caesium concentrations in pigs fed brown rice contaminated by the Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi nuclear power plant. *Livestock Sci* 159: 156-160 (2014).
- O7 Ohmori, Y., M. Kajikawa, S. Nishida et al. The effect of fertilization on cesium concentration of rice grown in a paddy field in Fukushima Prefecture in 2011 and 2012. *J Plant Res* 127(1): 67-71 (2014).
- O8 Oinuma, H., K. Yanai, H. Matsuyama et al. Inhibitory effect of zeolite and bentonite on absorption radioactive cesium in daily cattle. *Tohoku J Agric Res* 65: 89-90 (2012). (Japanese).
- O9 Oinuma, H., M. Saito, Y. Oda et al. Effect of zeolite supplementation on the transfer of radioactive cesium from diet in dairy cows. *Nihon Chikusan Gakkaiho* 84(3): 333-339 (2013). (Japanese).
- O10 Okano, T., H. Ishiniwa, M. Onuma et al. Effects of environmental radiation on testes and spermatogenesis in wild large Japanese field mice (*Apodemus speciosus*) from Fukushima. *Sci Rep* 6: 23601 (2016).
- O11 Orita, M., K. Nakashima, N. Hayashida et al. Concentrations of radiocesium in local foods collected in Kawauchi village after the accident at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station. *Sci Rep* 6: 28470 (2016).
- O12 Otaki, J.M. Fukushima's lessons from the blue butterfly: A risk assessment of the human living environment in the post-Fukushima era. *Integr Environ Assess Manag* 12(4): 667-672 (2016).
- O13 Oura, Y., M. Ebihara, H. Tsuruta et al. A database of hourly atmospheric concentrations of radiocesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) in suspended particulate matter collected in March 2011 at 99 air pollution monitoring stations in eastern Japan. *J Nucl Radiochem Sci* 15(2): 1-12 (2015).

- P1 Park, S., C.M. Oh, H. Cho et al. Association between screening and the thyroid cancer "epidemic" in South Korea: evidence from a nationwide study. *Br Med J* 355: i5745 (2016).
- Q1 Qiu, X., S.L. Undap, M. Honda et al. Pollution of radiocesium and radiosilver in wharf roach (*Ligia* sp.) by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J Radioanal Nucl Chem* 311(1): 121-126 (2016).
- S1 Sakaguchi, A., P. Steier, Y. Takahashi et al. Isotopic compositions of (236)U and Pu isotopes in "black substances" collected from roadsides in Fukushima prefecture: fallout from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *Environ Sci Technol* 48(7): 3691-3697 (2014).
- S2 Sakai, A., T. Ohira, M. Hosoya et al. White blood cell, neutrophil, and lymphocyte counts in individuals in the evacuation zone designated by the government after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: the Fukushima Health Management Survey. *J Epidemiol* 25(1): 80-87 (2015).
- S3 Sakumi, A., R. Miyagawa, Y. Tamari et al. External effective radiation dose to workers in the restricted area of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant during the third year after the Great East Japan Earthquake. *J Radiat Res* 57(2): 178-181 (2016).
- S4 Salbu, B. and O.C. Lind. Radioactive particles released to the environment from the Fukushima reactors-Confirmation is still needed. *Integr Environ Assess Manag* 12(4): 687-689 (2016).
- S5 Sasaki, Y., H. Abe, K. Mitachi et al. The transfer of radiocesium from the bark to the stemflow of chestnut trees (*Castanea crenata*) contaminated by radionuclides from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *J Environ Radioact* 161: 58-65 (2016).
- S6 Sato, I., M. Natsuhori, J. Sasaki et al. Local variation of soil contamination with radioactive cesium at a farm in Fukushima. *Jpn J Vet Res* 64(1): 95-99 (2016).
- S7 Satou, Y., K. Sueki, K. Sasa et al. First successful isolation of radioactive particles from soil near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Anthropocene* 14: 71-76 (2016).
- S8 Scherb, H.H., K. Mori and K. Hayashi. Increases in perinatal mortality in prefectures contaminated by the Fukushima nuclear power plant accident in Japan: A spatially stratified longitudinal study. *Medicine (Baltimore)* 95(38): e4958 (2016).
- S9 SCJ. A review of the model comparison of transportation and deposition of radioactive materials released to the environment as a result of the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. Sectional Committee on Nuclear Accident, Science Council of Japan, Tokyo, 2014.
- S10 Snow, M.S., D.C. Snyder and J.E. Delmore. Fukushima Daiichi reactor source term attribution using cesium isotope ratios from contaminated environmental samples. *Rapid Commun Mass Spectrom* 30(4): 523-532 (2016).
- S11 Steinhauser, G., T. Niisoe, K.H. Harada et al. Post-accident sporadic releases of airborne radionuclides from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant site. *Environ Sci Technol* 49(24): 14028-14035 (2015).
- S12 Sugiura, Y., M. Shibata, Y. Ogata et al. Evaluation of radiocesium concentrations in new leaves of wild plants two years after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J Environ Radioact* 160: 8-24 (2016).
- S13 Sunaga, Y. and H. Harada. Simple method for estimating soil mass loading onto plant surface using magnetic material content as a soil indicator - Influence of soil adhesion to vegetation on radioactive cesium concentration in forage. *J Environ Radioact* 164: 125-132 (2016).
- S14 Suzuki, S. Childhood and adolescent thyroid cancer in Fukushima after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: 5 years on. *Clin Oncol (R Coll Radiol)* 28(4): 263-271 (2016).
- S15 Suzuki, S., S. Suzuki, T. Fukushima et al. Comprehensive survey results of childhood thyroid ultrasound examinations in Fukushima in the first four years after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Thyroid* 26(6): 843-851 (2016).
- T1 Tagami, K., B.J. Howard and S. Uchida. The time-dependent transfer factor of radiocesium from soil to game animals in Japan after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident. *Environ Sci Technol* 50(17): 9424-9431 (2016).
- T2 Tagami, K. and S. Uchida. Consideration on the long ecological half-life component of ¹³⁷Cs in demersal fish based on field observation results obtained after the Fukushima accident. *Environ Sci Technol* 50(4): 1804-1811 (2016).
- T3 Takada, M., T. Yamada, T. Takahara et al. Spatial variation in the (137)Cs inventory in soils in a mixed deciduous forest in Fukushima, Japan. *J Environ Radioact* 161: 35-41 (2016).

- T4 Tanaka, S., K. Hatakeyama, S. Takahashi et al. Radioactive contamination of arthropods from different trophic levels in hilly and mountainous areas after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *J Environ Radioact* 164: 104-112 (2016).
- T5 Tani, K., O. Kurihara, E. Kim et al. Implementation of iodine biokinetic model for interpreting I-131 contamination in breast milk after the Fukushima nuclear disaster. *Sci Rep* 5: 12426 (2015).
- T6 Tateda, Y., D. Tsumune, T. Tsubono et al. Status of (137)Cs contamination in marine biota along the Pacific coast of eastern Japan derived from a dynamic biological model two years simulation following the Fukushima accident. *J Environ Radioact* 151 (Pt 2): 495-501 (2016).
- T7 Terada, H., G. Katata, M. Chino et al. Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. Part II: verification of the source term and analysis of regional-scale atmospheric dispersion. *J Environ Radioact* 112: 141-154 (2012).
- T8 Terasaka, Y., H. Yamazawa, J. Hirouchi et al. Air concentration estimation of radionuclides discharged from Fukushima Daiichi Nuclear Power Station using NaI(Tl) detector pulse height distribution measured in Ibaraki Prefecture. *J Nucl Sci Technol* 53(12): 1919-1932 (2016).
- T9 Tokonami, S., M. Hosoda, S. Akiba et al. Thyroid doses for evacuees from the Fukushima nuclear accident. *Sci Rep* 2: 507 (2012).
- T10 Tsubono, T., K. Misumi, D. Tsumune et al. Evaluation of radioactive cesium impact from atmospheric deposition and direct release fluxes into the North Pacific from the Fukushima Daiichi nuclear power plant. *Deep-Sea Res Part I Oceanogr Res Pap* 115: 10-21 (2016).
- T11 Tsukada, H. and K. Ohse. Concentration of radiocaesium in rice and irrigation water, and soil management practices in Oguni, Date, Fukushima. *Integr Environ Assess Manag* 12(4): 659-661 (2016).
- T12 Tsuruta, H., Y. Oura, M. Ebihara et al. First retrieval of hourly atmospheric radionuclides just after the Fukushima accident by analyzing filter-tapes of operational air pollution monitoring stations. *Sci Rep* 4: 6717 (2014).
- U1 Uematsu, S., H. Vandenhove, L. Sweeck et al. Variability of the soil-to-plant radiocaesium transfer factor for Japanese soils predicted with soil and plant properties. *J Environ Radioact* 153: 51-60 (2016).
- U2 UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Volume I: Report to the General Assembly and Scientific Annex A. UNSCEAR 2013 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations sales publication E.14.IX.1. United Nations, New York, 2014.
- U3 UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly and Scientific Annexes A and B. UNSCEAR 2012 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations sales publication E.16.IX.1. United Nations, New York, 2015.
- U4 UNSCEAR. Developments since the 2013 UNSCEAR Report on the Levels and Effects of Radiation Exposure due to the Nuclear Accident following the Great East-Japan Earthquake and Tsunami. A 2015 white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2015.
- U5 UNSCEAR. Developments since the 2013 UNSCEAR Report on the Levels and Effects of Radiation Exposure due to the Nuclear Accident following the Great East-Japan Earthquake and Tsunami. A 2016 white paper to guide the Scientific Committee's future programme of work. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations, New York, 2016.
- V1 Vaccarella, S., S. Franceschi, F. Bray et al. Worldwide thyroid-cancer epidemic? The increasing impact of overdiagnosis. *N Engl J Med* 375(7): 614-617 (2016).
- V2 Vives i Batlle, J. Dynamic modelling of radionuclide uptake by marine biota: application to the Fukushima nuclear power plant accident. *J Environ Radioact* 151 (Pt 2): 502-511 (2016).
- V3 Vives i Batlle, J., N.A. Beresford, K. Beaugelin-Seiller et al. Inter-comparison of dynamic models for radionuclide transfer to marine biota in a Fukushima accident scenario. *J Environ Radioact* 153: 31-50 (2016).
- W1 Wada, T., T. Fujita, Y. Nemoto et al. Effects of the nuclear disaster on marine products in Fukushima: An update after five years. *J Environ Radioact* 164: 312-324 (2016).
- W2 Wada, T., A. Tomiya, M. Enomoto et al. Radiological impact of the nuclear power plant accident on freshwater fish in Fukushima: An overview of monitoring results. *J Environ Radioact* 151 (Pt 1): 144-155 (2016).

- W3 Wakabayashi, S., S. Itoh, N. Kihou et al. Influence of water management and fertilizer application on ¹³⁷Cs and ¹³³Cs uptake in paddy rice fields. *J Environ Radioact* 157: 102-112 (2016).
- W4 Watanabe, Y., S. Ichikawa, M. Kubota et al. Morphological defects in native Japanese fir trees around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Sci Rep* 5: 13232 (2015).
- W5 Williams, D. Thyroid growth and cancer. *Eur Thyroid J* 4(3): 164-173 (2015).
- W6 Win, K.T., A.Z. Oo, K. Kojima et al. Genotypic difference in ¹³⁷Cs accumulation and transfer from the contaminated field in Fukushima to azuki bean (*Vigna angularis*). *J Environ Radioact* 158-159: 138-147 (2016).
- Y1 Yamaguchi, N., M. Mitome, A.H. Kotone et al. Internal structure of cesium-bearing radioactive microparticles released from Fukushima nuclear power plant. *Sci Rep* 6: 20548 (2016).
- Y2 Yamaguchi, N., I. Taniyama, T. Kimura et al. Contamination of agricultural products and soils with radiocesium derived from the accident at TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: monitoring, case studies and countermeasures. *Soil Sci Plant Nutr* 62(3): 303-314 (2016).
- Y3 Yamamoto, S., K. Mutou, H. Nakamura et al. Assessment of radiocaesium accumulation by hatchery-reared salmonids after the Fukushima nuclear accident. *Can J Fish Aquat Sci* 71(12): 1772-1775 (2014).
- Y4 Yamashita, S. and G. Thomas. *Thyroid Cancer and Nuclear Accidents: Long-Term Aftereffects of Chernobyl and Fukushima*. Academic Press, 2017.
- Y5 Yang, B., Y. Onda, Y. Wakiyama et al. Temporal changes of radiocesium in irrigated paddy fields and its accumulation in rice plants in Fukushima. *Environ Pollut* 208(Pt B): 562-570 (2016).
- Y6 Yasui, S. Establishment of the central radiation dose registration system for decontamination work involving radioactive fallout emitted by the Fukushima Daiichi APP accident. *J Occup Environ Hyg* 13(10): D166-D174 (2016).
- Y7 Yasui, S. A recommended epidemiological study design for examining the adverse health effects among emergency workers who experienced the TEPCO Fukushima Daiichi NPP accident in 2011. *J Occup Environ Hyg* 13(5): D77-D88 (2016).
- Y8 Yasumura, S. Evacuation effect on excess mortality among institutionalized elderly after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Fukushima J Med Sci* 60(2): 192-195 (2014).
- Y9 Yoschenko, V., K. Nanba, S. Yoshida et al. Morphological abnormalities in Japanese red pine (*Pinus densiflora*) at the territories contaminated as a result of the accident at Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. *J Environ Radioact* 165: 60-67 (2016).
- Y10 Yumimoto, K., Y. Morino, T. Ohara et al. Inverse modeling of the ¹³⁷Cs source term of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident constrained by a deposition map monitored by aircraft. *J Environ Radioact* 164: 1-12 (2016).
- Z1 Zablotska, L.B., E.A. Nadyrov, A.V. Rozhko et al. Analysis of thyroid malignant pathologic findings identified during 3 rounds of screening (1997-2008) of a cohort of children and adolescents from Belarus exposed to radioiodines after the Chernobyl accident. *Cancer* 121(3): 457-466 (2015).

1955年、国連総会は、電離放射線の人体と環境への影響に対する懸念に応えるため、原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR) を設置した。当時、大気圏内核兵器実験によって発生した放射性降下物が、大気、水および食物を通じて人々のもとに到達しつつあった。UNSCEARは、電離放射線のレベルと影響に関する情報の収集及び評価のために設けられた。最初の一連の報告書が科学的根拠となり、大気圏核実験を禁止する部分的核実験禁止条約が1963年に調印されている。

以降数十年を経て、UNSCEARは地球規模の原子放射線レベルとその影響に関する世界的権威となるまで発展を遂げた。UNSCEARは科学的情報を独自にかつ客観的に評価するが、その目的は、放射線リスクと防護についての政策決定と意思決定に取り組むことではなく、それら決定のための情報を提供することである。