

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2016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 2016 年白書



国際連合  
2016 年 ニューヨーク

本書は UNSCEAR のウェブサイト [www.unscear.org](http://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](mailto:unscear@unscear.org)) へお願いします。

© 2016. United Nations for the English edition.

© 2016. 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 .....	14
VII. 作業者の線量評価に関する更新情報 .....	21
VIII. 作業者と公衆における健康影響に関する更新情報 .....	23
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 .....	28
X. 結論 .....	32
謝辞 .....	34
参考文献 .....	35

本白書で引用されている補足資料は下記のサイトからダウンロードすることができます。  
[http://www.unscear.org/unscear/en/publications/Fukushima\\_WP2016.html](http://www.unscear.org/unscear/en/publications/Fukushima_WP2016.html)



## 要 約

本要約は、第 71 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から抜粋したものである。<sup>1</sup>

[...]

9. 本委員会は、2013 年の第 68 回国連総会に提出された報告書(A/68/46)およびそれを支持する詳細な科学的附属書<sup>2</sup>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されていた。がんの発生率は変わらないであろうと予想された。にもかかわらず、報告書において本委員会は、放射線に最も被ばくした小児の間で甲状腺がんリスクが増加し得る可能性を認識していた。しかしながら、福島原発事故後の甲状腺への吸収線量がかかなり低かったため、福島県においては、チェルノブイリ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とも指摘されていた。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、陸域および海域の生態系への影響も一過的かつ局所的となるであろうという結論に至っていた。また、作業者のがん発生率は変わらないであろうと予想された。

10. 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行う仕組みを整えた。第 70 回国連総会に提出された本委員会の第 62 回年次会合報告書には、その時点までに実施されたフォローアップから得た知見が含まれていた。

11. 本委員会は 2015 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の関連する新規文献のレビューを体系的に行った。注目すべき文献は、国際原子力機関(IAEA)による福島第一原子力発電所での事故に関する報告書<sup>3</sup>であった。報告書では、作成時に利用可能であった大量の情報源からのデータと情報に基づき、事故とその原因、進展、影響が説明されている。当該報告書および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あらた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。資料のレビューに基づき、本委員会は 2013 年報告書の最も重要である結論には現時点では何ら変更の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十分には取り扱われていなかった。

12. 本委員会は、引き続き当該事故に関する新規情報を特定し、体系的に評価した結果を年次会合において定期的に評価していく計画である。また、新規課題を迅速に取り込み、さらなる調査が必要な課題を提起するために、日本の主要な研究計画を策定、実施

<sup>1</sup> 第 71 回年次会合公式記録、補足資料 No. 46(A/71/46)。

<sup>2</sup> 国連刊行物、販売番号 E.14.IX.1。

<sup>3</sup> 国際原子力機関、福島第一原子力発電所事故: 事務局長報告書(GC(59)/14)および付随する技術文書 1 巻～5 巻。

し、それに助言を与える立場にある責任者たちと積極的に協働していく予定である。本委員会は、研究成果次第ではあるが、適切な時期に 2013 年報告書の更新の必要性を検討することを考慮に入れている。

13. 本委員会は、利用できる資源に制約はあるであろうが、新規学術論文の体系的なレビューから得た知見を非売品刊行物として英語版および日本語版でも公表するように事務局に要請した。



## 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<sup>4</sup>にて発表した。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 [U3]。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、この活発な動き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による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「第 62 回年次会合(2015 年 6 月 1 日～5 日)で検討できるように、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の[...]予備計画の提出」を行うよう事務局に要請していた。また、「事故のフォローアップでの新しい科学的進展を常に認識しておくための仕組みの速やかな構築」を事務局に求めた。かかる仕組みは、事故の最新の評価を行うために特別に設けた体制に拠るべきである。また、本委員会は、委員会が策定した作業計画の進捗について、毎年報告するよう事務局に要請した。

4. これに応じて、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、その後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ようにする」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) 公表された情報の収集・評価による、福島第一原発事故における全体的な放射線被ばく状況の体系的レビューの継続

(b) 未解決の課題に関連した、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の情報の収集・評価

(c) 2012 年 10 月以降に発表された情報と 2013 年報告書の間の不一致の速やかな特定

---

<sup>4</sup>第 68 回年次会合公式記録、補足資料 No. 46 および正誤表(A/68/46 および正誤表1)。

(d) 2013 年報告書の更新において用いることを視野に入れた、状況の明確化に役立つ分析の適宜実施

(e) 2013 年報告書に関する質問や批判への対応

(f) 本委員会の年次会合における上記の結果についての年次報告

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<sup>5</sup>を公表することが合意された。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 報の白書は 2015 年 10 月に公表された [U4]。

6. 第 2 報の本白書には、2013 年報告書の知見に関する新たな科学的進展(第 1 報の白書から、2015 年末まで)<sup>6</sup>の影響についてのさらなる評価が示されている。また、本委員会が総会に報告した知見を実証するフォローアップ活動の結果の要約が提供されている。

## 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 年末以前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 報となる本白書には、2015 年末以前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。原則として、第 2 報の白書の範囲は拡張され、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<sup>7</sup>、政府間組織の発行した報告書、公式その他の情報源より取りまとめられたデータのうち主要なもの<sup>8</sup>(および／または分析結果)も含まれた。実際には、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、国際原子力機関(IAEA)によって発行された福島第一原発事故に関する報告書 [I2]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新たな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った。この主題領域を新たに導入することで、本委員会は当該分野において増加している文献の影響を明確に検討することができた。より詳細な評価の対象

<sup>5</sup> 白書は、将来の作業計画の指針を提供するために本委員会が作成し、委員会がより広範なコミュニティと共有することとした文書である。

<sup>6</sup> 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、2015 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 2015 年よりも前とされている文献や最終発行日が 2016 年となっている文献もいくつか含まれている。

<sup>7</sup> 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。

<sup>8</sup> 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取りまとめデータのうちより重要なものに検討対象を限定することとした。

とすべき関連がある文献を選考する過程において、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する異議提唱<sup>9</sup>
- 2013 年報告書の結論への実質的な影響の波及
- 2013 年報告書、または広く統一見解が得られていた主題領域において特定された研究ニーズへの対応

この結果、本白書は 2013 年報告書の仮定と結論を追認する新規情報ではなく、当該仮定および結論に異議を唱える可能性のある新規情報をより重視している。また本白書では、福島第一原発事故の影響について、今後評価する際に有益であると思われる情報を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概観の提供を意味しているわけではない。

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載している。最後に、第 10 章では、第 2 報の本白書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有意に寄与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。

### 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、 $^{131}\text{I}$  および  $^{137}\text{Cs}$  (人と環境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、 $^{131}\text{I}$  が 100 ペタベクレル(PBq)～500PBq、 $^{137}\text{Cs}$  が 6PBq～20PBq であった。公表された推定値の平均は、それぞれ、チェルノブイリ原発事故で推定された大気中への放出の約 10% および 20% であった。放出された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、放射性核種が (a) 乾性沈着と (b) 雨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被ばく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、被ばく当時の測定データを利用できず(避難者などに関して)、データ取得時期を逸した場合、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(放出率の経時的パターンを含む)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を選択している [T12]。このソースタームにおける放射線学的に主要な放射性核種である  $^{131}\text{I}$  および  $^{137}\text{Cs}$  の放出量は、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

<sup>9</sup> 委員会が 2013 年報告書の更新を考慮するほどの十分な影響がある場合、その文献は 2013 年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ているとみなされる。

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([U3]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 報の白書では、この分野において 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。ある文献では、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 [K3]、本委員会はその後調査でこの精緻化された推定値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された。

13. 第 2 報となる本白書で検討された文献のうち、12 編の査読付き学術論文と IAEA 報告書 [I2]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. IAEA 報告書 [I2]には、2015 年第 1 四半期までに発行された多数の査読付き論文と他の関連するデータソースのレビューが含まれていた。また、大気中への放出物の総量の推定と特性が記載されていた。2013 年報告書での本委員会の評価で利用したもの以上に詳細な経時的な放出の情報は提供されていなかった。IAEA 報告書では、2011 年 3 月／4 月の非常に早い時期の限定的な情報に基づいた推定値を除き、 $^{133}\text{Xe}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{131}\text{I}$  の大気への放出範囲はそれぞれ 6,000PBq～12,000PBq、7PBq～20PBq、100PBq～400PBq と推定された。これらの範囲は、2013 年報告書で委員会が記載していた  $^{133}\text{Xe}$  について 7,000PBq、 $^{137}\text{Cs}$  について 6PBq～20PBq、 $^{131}\text{I}$  について 100PBq～500PBq という推定値とよく一致している。大気に放出された放射性物質のほとんどは、卓越風によって東方に移動し、太平洋北部に沈着および拡散した。放出された放射性物質の推定量および組成比率に対する不確かさを解決することは、大気中の放出物の海洋への沈着に関するモニタリングデータの欠如などの理由から困難であった [I2]。

15. Lebel et al. [L2]は、福島第一原発から放出されたヨウ素の化学形に関する利用可能な測定値と、これらの化学形が大気中での拡散や大気から沈着する過程で変化する仕組みについて分析した。彼らは、概ね、ヨウ素の半分が揮発性または気体状の化学形で放出され、残りの半分は粒子状の化学形として放出されたと推定した。また、福島第一原発からの距離ごとに、大気中で測定されたヨウ素とセシウムのレベルの比率の変化を解析し、揮発性または気体状の化学形で放出されたヨウ素は、元素状および有機状の双方によって構成されていたと結論したが、それぞれの相対的な放出量は不確かなままであった。これは、ヨウ素の半分が元素状で、残りの半分が粒子状の化学形で放出されたとする 2013 年報告書の仮定とは異なる(すなわち、有機ヨウ素の放出は評価されなかった)。

16. Lebel et al. の結論に鑑みて [L2]、今後、2013 年報告書を更新する際は、完全性とさらなる厳格さを期すために、有機ヨウ素の放出についてははっきりと考慮すべき必要がある。有機ヨウ素の割合に応じて、合理的推定をすると、2013 年報告書における避難者の甲状腺線量の推定値は、少し(おそらく 10%から 20%程度)減少することになるであろう。また、避難しなかった人々の場合、推定線量の推定値は増加し、その増加率は福島第一原発からの距離

に応じて異なると思われる。福島第一原発からの距離が短い場合、すなわち線量が最も高かった場所では、推定値にいかなる過小評価があったとしても、それは数十パーセントを超えるとは考えにくい。距離がより長い場合では、過小評価の程度がより大きくなる可能性もあるが、そのような距離で推定されている線量のレベルは元々極めて低い。Katata et al. [K3]は、2013 年報告書で使用されたソースターム [T12]の更新に際し、有機ヨウ素の放出量を、実験およびその他の証拠に基づき示している。

17. Leadbetter et al. [L1]は、福島第一原発事故後における放射性核種の沈着についてのモデル予測に対して、異なる気象データセットや湿性除去係数が及ぼす影響について調査した。Saito et al. [S1]は、沈着のモデル化への新たなアプローチを含む、マクロスケールでの大気輸送モデルにおける改良内容について説明している。この新たなアプローチの例としては、乾性沈着や湿性除去、放射性核種エアロゾル粒子の重力沈降のシミュレーションを行うためのアルゴリズムを新しく実装したことがあげられる。双方の著者グループによるこれらの研究は、2013 年報告書で必要性が強調されていた大気輸送モデルにおける湿性沈着モデリングのさらなる改善に対応するものである。

18. Christoudias and Lelieveld [C1]および Evangeliou et al. [E1]は、2013 年報告書に示されているように、大気中放出物の大部分が風によって太平洋上に輸送されたことを確認した。Evangeliou et al. は、放出された  $^{137}\text{Cs}$  の約 23%が日本の地表に沈着し、76%は海洋上（北太平洋および北大西洋）に沈着したと推定している。Christoudias and Lelieveld は、福島第一原発から放出された放射性物質の約 80%が太平洋上に沈着したと推定している。世界のさまざまな国および地域での放射性核種の沈着に関して示されたデータは、今後の評価において有用である可能性がある。

19. Hirayama et al. [H8]は、NaI(Tl)検出器のピーク計数率および計算された応答関数を使用し、2011年3月に福島県の複数のモニタリングポストで得られた測定値から、 $^{131}\text{I}$  の大気中濃度の時間分布を評価した。このデータは、事故後の最初の数日間における $^{131}\text{I}$  の大気中濃度に関する新しい情報を提供するものである。これまで、このような直接測定に関する情報は極めて限られていたため、このデータにより放射性ヨウ素の大気中濃度に関する理解が向上する可能性がある。Hirayama et al. は、これらのモニタリングデータを時間で積分して導出した $^{131}\text{I}$  の大気中濃度と、特定の場所および時間における ATDM 予測に基づく2013年報告書に記載されていた情報(表B10)とを比較している。しかし、2013年報告書に記載されている ATDM 予想地点は少なく、モニタリングポストの場所と異なっていたため、この比較から断定的な結論は導き出されなかった。

20. 本委員会は、Hirayama et al. の測定値とその近隣地点において委員会が独自に推定した $^{131}\text{I}$  の大気中濃度を、さらに厳密に比較した。この委員会独自の推定値は、2013年報告書の根拠として使用されていたものである。比較の詳細は電子ファイルによって提供されている。モニタリングポストの一部(大熊町および双葉町)では、Hirayama et al. の示した一連の測定値の中に、ATDM 解析によって $^{131}\text{I}$  の大気中濃度が高レベルであることが示唆されていた期間のデータが含まれておらず<sup>10</sup>、比較は不完全なものであった。したがって、これらの場

<sup>10</sup> これらの期間中の測定値が欠如している理由は、十分に明らかになっていない（Hirayama et al. によるもう 1 つの文献 [H7] には、3 月 14 日午後 8 時（日本時間）よりも後の当該モニタリングポストのデータは「劇的な上昇またはデータの欠如が原因で分析できなかった」と記載されている）。ただし、機器の故障、あるいは放射性核種の濃度が高く上昇していたプルームの通過による飽和が原因であった可能性がある。

所では有効な比較を行うことができなかった(測定値された $^{131}\text{I}$ の大気中濃度が低かった、より限られた期間は除く)。他の3箇所のモニタリングポスト(楡葉町松館、広野町二ツ沼、福島市紅葉山)では、ATDM を使用した推定に基づく $^{131}\text{I}$  の大気中濃度を時間積分した結果は、対応する場所についてHirayama et al. が示した測定値に対し、約2倍から8分の1までの幅があった。ATDM 予測の不確かさ、Hirayama et al. が使用(および採用)した方法の不確かさ、およびモニタリングポストの正確な場所とATDMで推定された場所の違いを考慮すれば、このような差異が生じたことに驚きはない。これらの場所のうち2箇所では、2013年報告書において時間積分した $^{131}\text{I}$  の大気中濃度(および吸入による線量)の値は、単に ATDM にのみ基づいているわけではなく、測定された沈着密度に基づくスケーリングが施されている。このような方法で推定されたこの2箇所における時間積分した $^{131}\text{I}$  の大気中濃度は、Hirayama et al. の推定値よりもわずかに20%~30%低いだけであった。測定された沈着レベルと ATDM を併用して予測されたレベルが、直接測定のレベルと(数箇所ではあるが)よく一致したことから、放射性核種の大気中濃度および吸入による線量を推定するために用いられた2013年報告書の方法の信頼性が高まった。

21. Hirayama et al. の示したデータは、双葉町および大熊町からの避難者に関して、2013 年報告書で推定された  $^{131}\text{I}$  の大気中濃度(およびその後の吸入による線量)の裏付けにもなっている。この避難は 2011 年 3 月 12 日には完了しており、ATDM の推定値はこの時までには被ばくがなかったことを示唆している。双葉町と大熊町での測定値は、 $^{131}\text{I}$  の濃度が高くなった放射性プルームの到達が 3 月 12 日のある時間(すなわち避難完了後)であったことを示しており、それゆえ 2013 年報告書の推定線量が正しいことを実証している。

22. Muramatsu et al. [M16] は、2013 年報告書で要約されていた、 $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  比率のより高いプルームが南方向に移動したという判断を追認した。さらに、 $^{131}\text{I}$  の直接測定から作成された  $^{131}\text{I}$  の沈着マップ [S2]と、その後の  $^{129}\text{I}$  の測定値から再構成されたマップはよく一致していると結論した。新たに再構成された(土壌サンプル中の  $^{129}\text{I}$  の測定値に基づく)  $^{131}\text{I}$  の沈着データは、 $^{131}\text{I}$  のソースタームの推定値をさらに改善し、吸入による住民および避難者の線量の推定を向上させる可能性がある。非常に大規模な土壌サンプリング活動から得られた残りの土壌サンプルを分析することで、今後  $^{129}\text{I}$  および  $^{131}\text{I}$  の当初の沈着に関して貴重な追加データが提供される可能性がある。

23. Oura et al. [O7]は、99 箇所のモニタリングステーションにおいて、フィルターテープに自動的に収集されたサンプルから得られた、2011 年 3 月 12 日から 23 日における東日本の  $^{134}\text{Cs}$  および  $^{137}\text{Cs}$  の大気中毎時濃度について包括的な新規データセットを示している。このデータセットは、多数のモニタリングステーションにおける高時間分解能の放射性セシウムの大気中濃度に関する独自の新規情報源となっている。このデータセットによって、ソースタームの推定値、大気中放射性核種のレベル、そして吸入による線量の推定値のそれぞれを改良できる可能性があり、2013 年報告書の知見に対して異議を唱えることになるかもしれないが、その判断は 2013 年報告書で使用された仮定やデータとのより詳細な比較によって下されるものである。著者らは約 400 の残りのモニタリングステーションに対しても同様の分析を実施しているところで、今後より多くの場所における、また他の放射性核種に対する大気中濃度についても情報を提供するとしている。

24. Steinhäuser et al. [S10]は、エアフィルターの週ごとの測定値を分析した結果から、福島第一原発が安定化した後も長らく放射性核種が散発的に放出されていたことが示されたと報告している。同論文は、福島第一原発での廃炉および解体に向けての活動により、事故か

ら何年か経た後においても、放射性物質が二次的に放出された可能性があったことを示唆している。このような二次的な放出は、事故直後の放出に比べると小規模であったと推定されており、それゆえ、(過去および将来の両方について)評価された線量へ及ぼす影響も軽微であると判断した。

25. Akimoto [A3]は、2011 年 6 月から 2013 年 7 月までの期間中、福島市における大気中および地上に沈着した放射性セシウム濃度の測定値を報告している。当該測定値は、沈着した放射性セシウムの再浮遊が大気中濃度にもたらした影響は非常に小さいものであったことを示しており、線量に対する再浮遊の寄与は軽微であるという 2013 年報告書の推定を追認している。

### C. 新規文献がもたらし得る影響

26. 本委員会は、経時的な  $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  の大気中濃度、土壌サンプル中の  $^{129}\text{I}$  の測定値に基づく  $^{131}\text{I}$  の沈着、そして放出されたヨウ素の化学形についての新規データが入手可能になりつつある点に着目した。これらのデータによって、ソースタームの推定値のほか、大気中および地上に沈着した放射性核種のレベルの推定値が有意に改善される可能性がある。他の既存サンプルを同様に分析することで、近い将来さらなるデータが生成されるものと期待される。このような新規データの影響を十分に把握するためには、これらのデータと 2013 年報告書で使用されたデータとの詳細な比較が必要であろう。

27. 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高いとして特定した。

- (a) 大気輸送・拡散モデル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。
- (b) 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。
- (c) あらゆる利用可能な測定データ、特に  $^{129}\text{I}$  の沈着の測定値から再構成された  $^{131}\text{I}$  の沈着、 $^{131}\text{I}$  の大気中濃度、および  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の大気中濃度に関する新規データを利用して、現在のソースタームの推定値を改善する。
- (d)  $^{129}\text{I}$  の測定値に基づく  $^{131}\text{I}$  の沈着の再構築を、残りの土壌サンプルについて実施する。
- (e) モニタリングステーションのフィルターテープにおける放射性核種の濃度の測定を、残りのフィルターサンプルについても実施する。
- (f)  $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  の大気中濃度に関する新規データを分析し、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。
- (g) 線量推定を目的とした吸入特性を把握するために、 $^{137}\text{Cs}$  のエアロゾル粒子の大きさと化学形の測定に関する新規データを分析する。

## 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

28. 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、主に事故直後 1 ヶ月間に発生しており、その後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、主に三次元モデル計算を用いて導出された推定値に基づき、海洋へのかかる直接的な放出は、 $^{131}\text{I}$  が約 10PBq～20PBq、 $^{137}\text{Cs}$  が 3PBq～6PBq であったと結論している。さらに、本委員会は、大気からの沈着による海洋への負荷量は、 $^{131}\text{I}$  が約 60PBq～100PBq、 $^{137}\text{Cs}$  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認識していた。本委員会は、福島第一原発サイト付近の海水中の  $^{137}\text{Cs}$  の測定濃度は、2011 年 4 月 7 日に最高値 68,000Bq/L が記録されて以降、急速に減少し、4 月末には概して 200Bq/L を下回ったと結論し、その後の減少率は小さかったとしている。海岸から離れるに従い濃度は急速に低下し、福島第一原発から 15km および 30km の沖合では、それぞれ福島第一原発の近傍の濃度の約 100 分の 1 から 1,000 分の 1 であった。堆積物中の  $^{137}\text{Cs}$  の測定濃度は、非常に高い福島第一原発の港湾内を除くと、堆積物乾燥重量に対して一般的に 10Bq/kg から 1000Bq/kg の範囲であった。

29. 2013 年報告書がまとめられた当時、放射能汚染水は、まだサイトで流出しており、地下水が放射性核種を水域環境に輸送していた。また、さらに、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と認識していた。科学的調査における主要な優先事項は、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本委員会は確認している。

### B. 新規文献のレビューで得られた知見

30. 本委員会は第 1 報の白書で、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ている。

31. 第 2 報となる本白書で検討した文献のうち、14 編の査読付き学術論文と IAEA 報告書 [I2] 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、複数の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している。

32. IAEA 報告書では、海洋への直接漏洩について 2011 年から 2013 年の間に発表されたさまざまな推定値の間に相当なばらつきがあるとしている。このばらつきの原因は、各調査で使用された異なった種類の海洋循環および放射性核種拡散モデルとモデル計算アプローチに多大な不確かさが伴っていたこと、そして周辺地域の空間への拡散状況の観察が欠如していたことであると考えられた。当該報告書には、 $^{137}\text{Cs}$  の直接漏洩および放出は概ね 1PBq～6PBq の範囲になると推定されているが、最高 26.9PBq までの推定値を報告している評価もあると記載されている。この規模の推定値は 2013 年報告書にも記載されているが、本委員会は、これが通常、一定の拡散率を想定した外挿方法によって得られているため、信頼度が低いとみなしている。



33. Aoyama et al. [A7]は、大気への放出とその後の沈着による海洋への放出総量の推定値を評価した。著者らは、2011 年 4 月および 5 月の北太平洋全域の表面水における  $^{134}\text{Cs}$  および  $^{137}\text{Cs}$  の濃度測定値から  $^{137}\text{Cs}$  のインベントリを推定した。彼らはその後、このインベントリ推定値と、大気への放出に関する特定のソースタームと大気拡散・沈着モデルによる推定値 [T12]、および Tsumune et al. による海洋への直接放出の推定値 [T18]との比較を行った。この比較により、大気を経由して海洋へ放出された  $^{137}\text{Cs}$  の沈着量は  $11.7\text{PBq} \sim 14.8\text{PBq}$  の範囲であって 2013 年報告書の推定値である  $5\text{PBq} \sim 8\text{PBq}$  よりも高いことが示唆されたと著者らは報告している。ただし、Aoyama et al. が言及する範囲については、水深の変化に沿った放射性セシウムの鉛直分布に関する想定に伴う不確かさ、または海洋への直接放出に関する推定が持つ不確かさが考慮されていないようである。このような不確かさを考慮に入れた場合、海洋表面への沈着に関する推定値の幅ははるかに広がり、2013 年報告書に記された範囲も含まれるようになる可能性がある。さらに、2013 年報告書と第 1 報の白書に記載されているように、Terada et al. のソースタームは陸上の放射性核種沈着レベルの測定値から得たものであり、海洋への沈着を査定するために使用できる最も信頼性の高いソースタームとはいえないであろう。さらに最近では、Katata et al. [K3]および Kobayashi et al. [K9]が、より広範な陸上および海洋中での測定値を使い、モデルを組み合わせることで大気への総放出量と経時的な放出量の双方についてさらに優れた推定を行っているが、彼らの場合は海洋への沈着についての推定は行っていない([U4]を参照)。

34. 放射性セシウムの河川から太平洋への放出に関する寄与について、いくつかの研究論文がある。河川からの  $^{137}\text{Cs}$  の年間放出量は  $5\text{TBq} \sim 10\text{TBq}$  と推定されており [A1, K8]、これは福島第一原発事故の影響を最も受けた河川の集水域への最初の沈着の 1%~2%に相当する。これらの集水域は、継続的に放射性セシウムを太平洋に放出する源になると見られている。Takata et al. [T7]は、異なる川を対象に、さまざまな粒子に固定された  $^{137}\text{Cs}$  が河口における陽イオン(特に  $\text{K}^+$ )の存在により脱着した割合について推定している。溶存態の放射性セシウムは海洋生物相により吸収されやすいため、これは興味深い点である。Takata et al. は、この割合が数パーセントから、河川流量増加時(洪水など)では 50%以上の範囲になることを明らかにした。

35. 福島第一原発における放水口付近での継続的なモニタリングによって、海洋への直接的な放出が全般的に減少していることが確認されている。しかしながら、このモニタリング結果は、港湾内と海洋の間に海水が入れ替わることにより  $^{137}\text{Cs}$  のレベルが散発的に上昇することも示している [H9]。このような散発的な上昇のほとんどは、豪雨の発生時と一致している。Hirose は、放射性核種が引き続き海洋に放出される 2 つの主要な経路があると結論している。ひとつは、港湾と外洋の海水が入れ替わることによる継続的な放出、もうひとつは降雨による排水からの汚染水の散発的な放出である。

36. 複数の文献において、福島第一原発からの異なる距離にある表面海水の放射性セシウム濃度が減少していることが報告されている。このような調査では以下の結果が得られている。

(a) 2014 年に 5 号機および 6 号機の北側水路と福島第一原発の北側放水口での  $^{137}\text{Cs}$  濃度は  $1,000\text{Bq/m}^3$  であった [A6, H9]。

(b) 20km 圏内における 2014 年の  $^{137}\text{Cs}$  濃度は  $10\text{Bq/m}^3 \sim 100\text{Bq/m}^3$  で、バックグラウンドレベルよりも 1 桁から 2 桁高かった [H9]。

(c) 2011 年 6 月から 2012 年 6 月に太平洋北西部(福島第一原発から数百～数千キロメートル)で 3 回にわたって行われた調査船による調査では、この 1 年間に  $^{137}\text{Cs}$  の平均濃度が約 40 分の 1 にまで減少し、2012 年 6 月の  $^{137}\text{Cs}$  の平均濃度は  $3.4\text{Bq/m}^3$  であった [M8]。

(d) 2012 年冬期、東経 149 度沿いの北緯 42 度と南緯 4 度の間(福島第一原発から 400km～4000km の間にわたる地域)の  $^{137}\text{Cs}$  インベントリの平均は、核実験からの残留インベントリの約 1.3 倍になると推定された [K16]。

37. 太平洋における  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の輸送について立証した文献は数編あり、その中のいくつかでは、この輸送の原因となった物理的なプロセスについて説明がなされている。これらの研究から以下の結果が明らかとなった。

(a) 浮遊粒子状物質を介して横方向に輸送された  $^{137}\text{Cs}$  が、福島第一原発の南東 115km にある大陸棚外縁において観察されている [B7]。Buesseler et al. は、これらの粒子は、より浅い地域で発生し、恐らく台風の時期に再浮遊したものであり、沿岸部に埋もれているインベントリと比べて少量の  $^{137}\text{Cs}$  だけを輸送したものであるため、この輸送プロセスによって沿岸部堆積物中の  $^{137}\text{Cs}$  レベルが有意に減少したということはないと示唆している。

(b) 海洋中規模渦(直径約 200km)が太平洋北西部の亜寒帯前線帯(黒潮続流の北側)で発生するが、これらの海洋渦が放射性セシウムを蓄積し、水深 500m の海中まで輸送した [B6]。

(c) 放射性セシウムはまた、風の作用で冬期には海洋中にさらに深く(水深 100m～400m)輸送された [A6]。

38. 海流による放射性セシウムの東方への長距離輸送が、太平洋、遠くは北米沿岸で確認されている。福島第一原発事故により放出された放射性セシウムは、まず、2012 年 6 月にブリティッシュコロンビア州の沿岸から 1500km の海域で検出され、濃度は  $0.3\text{Bq/m}^3$  であった。次いで、2014 年 2 月に同じ場所で観測したところ、水柱の上部 150m の全ての場所で濃度が  $2\text{Bq/m}^3$  に上昇していることが明らかとなった。2013 年 6 月には、福島第一原発事故に起因すると思われる  $^{137}\text{Cs}$  がカナダの大陸棚で検出され、濃度は  $0.5\text{Bq/m}^3$  であった [S8]。これらの濃度は、事故前に観察されていた核実験による放射性降下物を原因とする  $^{137}\text{Cs}$  の濃度  $1\text{Bq/m}^3$  と類似している。

39. 放射性セシウムの西方への輸送に関しては、2012 年 9 月のインドネシア・ジャワ島南部での観測 [S12]でも、2011 年 9 月から 2013 年 4 月までに行われたスリランカ周辺で実施された定期観測 [W5]においても、事故に起因する可能性のある放射性セシウム濃度の上昇は検出されなかった。

### 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 年報告書で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、福島第一原発事故後 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 [B5]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)を考慮に入れるため、当該モデルは一部修正されたが、北欧のデータに基づいた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、2 年目以降の経口摂取による線量評価に考慮された成人の体重別一人当たり摂取量が最も多い食品カテゴリーは、米、「その他の野菜」(緑色葉菜と同一と仮定)、小麦・小麦製品(穀物と同一と仮定)、果物、牛乳であった。線量に関して現実的な値を推定することが目的であり、人口の代表グループの平均線量の推定に焦点が置かれていたため、野生動物やキノコなどの野生の食品の消費は考慮に入れられなかった。

43. この仮定に基づき、また食品に対する規制が実施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への外部被ばくによる線量に比べて約 10 分の 1 から 100 分の 1 となると推定した。その後の複数の研究では、人の内部被ばくが直接測定され、外部被ばく経路の方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が高いことが示唆された(以下の第 VI 章を参照)。

44. 本委員会は、将来における調査の優先事項として、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があることを確認した。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対して地域および国を代表する値があれば、今後福島第一原発事故の結果を評価する際の役に立つであろうし、同時に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有用であろう。

### 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 報の白書で、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 報となる本白書では、委員会は放射性セシウム(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および 2015 年に発表された情報を重視することとした。

46. 第 2 報の本白書で検討された文献のうち、25 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固定と移動

47. 2013 年報告書では、作物の生産に使わ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 30cm より下への移動は 10 年後で約 7% に留まるといった想定である(1 日当たり  $1.9 \times 10^{-5}$  の移動速度定数に基づく)。30cm より下の土壌の深さで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(本白書でレビューされた文献の中では)示されていない。

48. Lepage et al. [L3]によって、また、Matsuda et al. [M5]による広範な調査によって、森林と住宅地を除く場所の土壌における放射性セシウムの移動速度が測定された。いずれの調査でも、台風などに伴う累積降水量が大きかったにも関わらず、ほとんどの放射性セシウムは表面から 5cm 以内にとどまっている。

49. Uematsu et al. [U1]および Nakao et al. [N5]は、放射性セシウムを固定する土壌の能力と、土壌特性の差異による影響を測定した。いずれの調査でも、雲母質粘土鉱物と有機物の存在が、土壌に放射性セシウムを固定する程度に影響を与える主要な要素であることが判明した。火山灰由来の土壌における放射性セシウムの固定は、他の土壌タイプに比べて低い可能性がある(このため、植物による放射性セシウムの吸収と土壌深部への移動速度が高い可能性がある)という証拠がいくつか得られている。

## 2. 放射性セシウムの土壌から作物への移行

50. レビューされた論文のうち 7 編 [F1, F2, I4, K4, K11, O2, S3]では、土壌から玄米への放射性セシウムの移行に関する濃度比(放射性核種の食品中濃度と土壌における濃度との比率)の値が報告されている。これは、2011 年と 2013 年に行われたポット実験とフィールド実験から得られたものである。これらの文献は、最初の 1 年～2 年における玄米の濃度比が 2013 年報告書の想定よりも(最高で約 10 倍)高かったかもしれないが、2011 年と 2012 年の間に 2013 年報告書での予測と類似した速度で減少したと示唆している。

51. Sato et al. [S5]は 2011 年、土壌から 6 種類の果物への放射性セシウムの移行に関する濃度比を報告している。報告された値はすべて 2013 年報告書で想定された値よりも高く(1.6 倍～16 倍)、サクランボで最も値が高かった。Kusaba et al. によるブルーベリーと栗に関する 2 編の調査 [K17, K18]では、沈着後の最初の 3 年間においては、土壌の放射性セシウムよりも、樹皮表面に付着した放射性セシウムが果物にとっての放射性セシウムの主要な供給源であったことが示唆されている。2 編の調査 [K17, K18]で報告されている栗とブルーベリーにおける放射性セシウム濃度の減少は、FARMLAND モデルを使用して予測されたものよりも速かった。対照的に、Tagami and Uchida [T2]は、千葉県の特定の場所における柿の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の減少は FARMLAND モデルによる予測結果と同程度であり、福島県で収穫された柿では減少速度がより遅かったことを明らかにした。

52. 緑色葉菜野菜について、Aung et al. [A9, A10]は、 $^{137}\text{Cs}$  の濃度比が 2013 年報告書で使用されたものと同程度であり、なかには 2 分の 1 程度低い値もあれば、2 倍～3 倍高い値も含まれていたことを報告している。Ohse et al. [O2]も、2012 年に大熊町の放射性セシウム濃度が高い土壌で栽培されたナス、カボチャ、大豆、キャベツを含む一連の作物で放射性セシウム濃度比が高かった(最高で 20 倍)ことを報告している。Tagami and Uchida [T1]は、蒔

の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の減少について報告しているが、2013 年報告書において用いられた緑色葉菜に対する推定速度よりも速かった。

53. Kubo et al. [K12]は、蕎麦の放射性セシウムの平均濃度比について、また Hoshino et al. [H13]はライ麦における濃度比について報告している。当初(2011 年および 2012 年)の濃度比は 2013 年報告書での穀物と牧草で想定された値よりも約 10 倍高かったが、2013 年までに同程度の値まで低下した。Sunaga et al. [S11]は、穀物と牧草に関して 2013 年報告書で想定されているものよりも 20%低い値から 40%高い値にまでの範囲に及ぶ濃度比を示すデータを、限定的ではあるが報告している。

54. 本委員会は、麦あるいは畜産物への放射性セシウムの移行に関して 2015 年に発表された論文を確認していない。

### 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

55. Hiraide et al. [H6]および Nakai et al. [N4]は、日本の森林のキノコへの放射性セシウムの移行が、他国で報告されているものと同程度に高かったことを示している(例:[I1])。

56. Tsuboi et al. [T13]は、2012 年から 2013 年にかけて、5 つの河川を対象に鮎の内臓(この魚はしばしば日本人に食される)における放射性セシウムの濃度と、集水域の土壌における濃度との相関関係を報告している。Matsuda et al. [M3]は、放射性セシウムのレベルが異なる 3 箇所の湖からの 11 種類の淡水魚における放射性セシウム濃度を測定した。これらの報告では、湖水、堆積物、魚中の放射性セシウム濃度と湖近くの表土の濃度との相関がみられている。

57. 本委員会は、野生の動物への放射性セシウムの移行に関して 2015 年に発表された論文を確認していない。

### C. 新規文献がもたらし得る影響

58. この予備的なレビューから本委員会は、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結論した。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、今後福島第一原発事故についてどのような推定を行うにしても、2013 年報告書で使用されたヨーロッパの状況に基づくパラメータ値、すなわち他に適切な代替情報がなかったために使用されたパラメータ値よりも、そのような推定により適していると思われる。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時間依存性、および異なる食品の相対的な重要性について詳細な改善がもたらされる可能性がある。ただし、本委員会は、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。その主な理由は、食品の制限が継続的に適用されているためである。なお、人での測定(以下の第 VI 章を参照)では、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、FARMLAND モデルを使用して予測された食品摂取からの線量は過大評価になる可能性が高いことが示唆されている。

59. 以下の調査分野は、将来の評価に備えて食品への放射性核種の移行に関し、地域および国を代表するよりよいパラメータ値を用意し、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) 日本の土壌における放射性セシウムの固定メカニズムに基づく長期的な影響を同定および定量化するとともに、植物の吸収に対する異なる土壌での固定の影響を実証する。

(b) 農業・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・野生食品への移行についての調査(特に米と「その他の野菜」、イノシシ、野草、キノコ類のカテゴリー)を継続する。

(c) 長期的な経口摂取由来の線量に関する予測を行うための、日本で生産・消費される多様な食物に特有な環境移行プロセスに関する空間的・時間的モデルを策定する(特に以下を対象としたもの)。

- 異なるタイプの土壌からの放射性セシウムの吸収の差異、およびこの差異のメカニズムを示す根拠
- 主要な家畜および野生動物の摂食と管理方法
- 河川・湖の放射性セシウムが食品に移行することによる、長期にわたる潜在的な寄与

(d) さまざまな農産・野生食品における放射性セシウム濃度の長期的な変化を測定する。

(e) 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調査を継続する。

## 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

60. 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、範囲を限定した個人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。外部被ばくによる線量进行评估するために、本委員会は、チェルノブイリ原発事故後の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み、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線量の値を用いて検証された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、この平均密度は、放射性核種の沈着密度の測定値を人口密度と組み合わせで導き出されたものである。日本の異なる人口グループの人口密度と年齢構成および職業要素に関するデータは、2010 年国勢調査に基づいたものであった。

61. 内部被ばくによる公衆の被ばく線量評価において、本委員会は、2 つの被ばく経路、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ていないと考えた。通過中のプルームの放射性核種の吸入による被ばくは、空気中の放射

性核種の濃度と、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。

62. 事故後 1 年間における食品および飲料水中の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ている。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。放射能が高い試料がより選択されたものと見られる。しかしながら、2013 年報告書の作成時には、他の食品の測定はできていなかった。

63. その後の数年間で、現在の日本の状況および農業活動に合わせて一部の移行係数が調整された FARMLAND [B5]の修正版が、陸域の食物連鎖を通じ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て用いられた。

64. 避難地域では、環境中の放射性核種の濃度の測定値を用いることはできなかったが、避難地域の住民に関して、本委員会は、大気への放出に関し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による線量および吸入による線量が推定された。

65. ホールボディカウンタ(WBC)や甲状腺測定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 名)であり、これらのデータは、いくつかの地区においてモデル計算された甲状腺の線量を追認するためにのみ利用可能であった。加えて、本委員会が WBC 測定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、本委員会により、人の測定に基づく内部被ばく線量の評価が一部実施され、2013 年報告書に掲載された([U3]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ていた。

## B. 新規文献のレビューで得られた知見

66. 第 1 報の白書で、本委員会は、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。一方、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している。さらに、全身計測の結果により、食品中の放射性核種の経口摂取による実効線量は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が増したといえる。

67. 第 2 報となる本白書で検討した文献のうち、16 編の査読付き学術論文と IAEA 報告書 [I2]について詳細なレビューを実施した。2013 年報告書の主要な知見に実質的な影響を与えるものではなく、9 編は主要な仮定の全体または一部を追認している。以下は、かかるレビュー結果の要約である。

68. IAEA 報告書 [I2]には、2015 年第 1 四半期までに発行された多数の査読付き論文と他の関連データソースのレビューが含まれていた。IAEA 報告書の執筆者は、公衆の線量分布の確率論的解析および入手可能な線量評価のためのパラメータと 2013 年報告書 [U3]の値との比較を含め、入手可能なデータを詳細に分析した。すべてのケースで、入手可能な情報は 2013 年報告書の知見と矛盾しないとの結論に達している。

## 1. 外部被ばく

69. 福島第一原発事故後、外部被ばくによる線量推定の基本調査を含む福島県民健康調査 (FHMS)<sup>11</sup>が開始された。情報は、50 万人以上 (2011 年における福島県全住民の 26%) が回答した、事故後最初の 4 ヶ月間における住民の行動に関するアンケートから収集された [I7]。このデータを空間および時間依存的な線量率に関する情報<sup>12</sup>と組み合わせることで、4 ヶ月間の外部被ばくによる個人の実効線量の評価が可能になった。Ishikawa et al. は、福島県全域の 42 万 1,394 人の最初の 4 ヶ月にわたる線量の分布を 7 つの地域、複数の特定の行政区画、および年齢・性別ごとに示した。

70. 最初の 4 ヶ月間における推定線量の完全なデータセットが示した分布は以下の通りであった。すなわち 62% が 1mSv 未満、94% が 2mSv 未満、99% が 3mSv 未満であった。外部被ばくによるすべての個人線量に対する算術平均と最大値はそれぞれ、0.8mSv と 25mSv であった。福島第一原発の北側と西側の地域、県北 (1.4mSv)、県中 (1.0mSv)、相双 (0.8mSv) の住民が受けた平均線量が高かったと評価された。これらの地域のうち、最も高い平均線量は飯舘村の住民のもの (4mSv を超える) であったと評価された。また、高齢者 (50 歳～79 歳) は他の成人 (20 歳～49 歳)、特に小児と青年 (0 歳～19 歳) に比べて受けた線量がいくぶん高かったと評価された。これは、乳児および小児の線量が成人の線量よりも高いと評価された 2013 年報告書 [U3] とは対照的である。男性の線量は一般的に女性の線量よりも若干高いと評価された。

71. FHMS で推定された線量と 2013 年報告書で推定された線量とを (地域を離れなかった人の 1 年目の外部被ばくによる線量は最初の 4 ヶ月間分の約 2 倍になるという想定に基づいて) 比較することはできるが、より詳細な比較を行うためには特別な分析が必要になる。2013 年報告書には特定のグループと町の線量が示されているが、FHMS はより大きな地域と集団の線量を報告している。ただし、どちらの調査でも、外部被ばくから推定される線量は一般的に低いと結論している [I7, U3]。

72. Naito et al. [N3] は、福島県で影響を受けたさまざまな地域の住民 26 人の外部被ばくによる個人の線量を比較した。この線量は、2013 年 9 月 20 日から 11 月 7 日の間に個人用電子線量計 (D-シャトル) を使用して測定されたものである。線量は、毎日の活動パターンを考慮に入れて周囲の線量率の測定値から評価し、各ボランティアが着用する地理情報システム検出器を使用して定量化された。その結果は、(ボランティアが動き回るため) 個人の实効

<sup>11</sup> 福島県民健康調査は、福島県立医科大学が日本政府の予算措置を得て行っている大規模な健康アンケート・集団検診プログラムである。集団検診には 2 つの主要な要素がある。すなわち 0 歳～18 歳で被ばくした小児の甲状腺疾患の集団検診と、福島第一原発事故当時、妊娠していたか母乳による育児中であった女性とその子どもを対象とした集団検診である。

<sup>12</sup> 本段落およびその後の段落では、レビューされた文献の著者が使用した用語を使用しているが、これが不正確な場合もあることが認識されている。



線量の平均は、時間積分した周辺線量当量率の 29% であったことが示された。これは、2013 年報告書の評価とよく一致している [U3]。

73. Nomura et al. [N6]は、(a) 2012 年の 3 ヶ月間に南相馬市の 520 人の児童について測定された外部被ばくによる個人線量と、(b) 自宅外で測定された線量率との間に統計的に有意な相関関係があることを実証した。対照的に、個人の線量と年齢または性別、あるいは学校における屋外活動中の行動との間に統計的に有意な相関関係は見つからなかった。これは、自宅外の線量率 ( $0.19\mu\text{Sv/h} \sim 1.38\mu\text{Sv/h}$ ) は全般的に学校のグラウンドでの線量率 ( $0.06\mu\text{Sv/h} \sim 0.22\mu\text{Sv/h}$ ) よりも高いことが一因になっている可能性がある。

74. 南相馬市では、2012 年～2013 年における内部被ばくおよび外部被ばくによる個人の線量を測定することを目指した集団検診プログラムに 881 人の児童が参加した [T14]。児童は全員、個人用ガラス線量計をさまざまな時季の 3 ヶ月間着用するとともに、体内の放射性セシウムを WBC によって測定された。年間実効線量は  $0.025\text{mSv}$  から  $3.5\text{mSv}$  で、中央値は  $0.7\text{mSv}$  であった。881 人のうち、体内から放射性セシウム ( $^{134}\text{Cs}$  の場合は  $220\text{Bq}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  の場合は  $250\text{Bq}$  を超えるレベル) が検出されたのは 3 人のみで、総線量の 90.3% は外部被ばくの結果だと推定された。この知見は 2013 年報告書に一致している [U3]。この調査では、福島第一原発事故から 2 年目にあたる 1 年間における南相馬市の児童の年間実効線量が低かったことも示されている。

75. Mikami et al. [M9]は、3 つの異なる期間に約 6500 箇所で取得された測定結果を使用し、福島第一原発周辺の空間線量率マップを作成した。空間線量率の経時的な変化が調査された。2011 年 6 月から 2012 年 12 月までの 18 ヶ月間の空間線量率の減少は、同期間における放射性セシウムの放射性崩壊からのみによる減少よりも 10% 大きく、これは 2013 年報告書で実施された放射性セシウムの土壌への移行のモデル計算とよく一致している [U3]。空間線量率の減少傾向は土地の利用とは関連しないことが観察された。

76. Yoshida-Ohuchi et al. [Y7]は、避難が行われた飯舘村および南相馬市小高区にある 69 戸の木造一軒家の室内と屋外の広い土地で線量率を測定した。522 件の調査結果に基づき、屋外線量率に対する屋内線量率の比率 (線量低減係数 (DRF)) が計算された。観察された DRF の中央値は 0.43 で、四分位範囲は  $0.34 \sim 0.53$  であった。これは、2013 年報告書の公衆線量評価のために本委員会が使用したパラメータと一致している [U3]。著者らは、1 階と 2 階で DRF に違いはなかったことを明らかにしている。ただし、家屋内での部屋の位置、地域の地形、セメントタイル屋根の使用が DRF に影響を与えた。リビングルーム (通常は家の表側にある) の DRF の中央値は 0.38 ( $0.31 \sim 0.47$ )、家の裏側にある部屋の DRF の中央値は 0.49 ( $0.41 \sim 0.62$ ) であった。

77. Satoh et al. [S6]はモンテカルロシミュレーションを使用して、沈着した放射性セシウムからの外部被ばくについて年齢に依存する線量換算係数を計算し、乳児、小児、成人の受けた線量を推定した。この作業は以前の調査を拡張するもので、その結果はそれらの調査と一貫していた。若年者の実効線量率は成人よりも高くなると推定されていたが、数値的には福島第一原発周辺で継続的に測定されている周辺線量当量率を下回るものであった。著者らは、平面線源に対する線量換算係数を使用して立体線源に対する線量換算係数を導出する方法も提案している。彼らはこの方法を使用して、想定される土壌の深度プロファイルで分布した放射性セシウムからの線量を推定した。また、放射性セシウム沈着後の 1 ヶ月目と 2 ヶ月目、1 年目、および生涯 (50 年と想定) にわたって累積する実効線量の換算係数を導き

出した。このようなデータは、事故の影響で放射性物質のレベルが上がった地域に残っている人々や修復後の地域に戻って居住する人々の線量を推定する上で有用である。

## 2. 内部被ばく

78. Orita et al. [O5]は、2012 年にいわき市の 2,839 人、2013 年に 2,092 人の住民を対象に行った WBC 検診について報告している。その結果、最初の検診では対象者の 99%で体内の放射性セシウムが 300Bq を下回り、2回目の検診で全対象者が 300Bq 未満であったことを示している。それぞれの内部被ばくに相当する預託実効線量の推定値の範囲は、一次検診で 0.01mSv~0.06mSv、二次検診では 0.01mSv~0.02mSv であった。このような非常に低い慢性的な内部被ばくのレベルを確認し、「放射線の健康リスクを伝えることで住民の懸念を軽減する」ためには長期的なフォローアップ調査が有用である。上述の結果は 2013 年報告書の推定値に即したものであった [U3]。

79. Tsubokura et al. [T15]は、2013 年に南相馬市に居住していた小児の実効線量に対する内部被ばくの寄与は少ないというさらなる証拠を提示した。同市の 3,299 人の小学生と中学生のうち、3,255 人(98%)が学校の健康診断において WBC 測定による検診を受けた。<sup>134</sup>Cs で 220Bq、<sup>137</sup>Cs で 250Bq という検出下限値を超える放射性セシウムが検出された生徒は一人もいなかった。これらの検出下限値は、放射性セシウムの 1 日あたりの摂取量が一定であるという仮定に基づくと、<sup>134</sup>Cs および <sup>137</sup>Cs 双方の内部被ばくによる年間実効線量として、それぞれ 6 歳で 66μSv、10 歳で 40μSv、15 歳で 25μSv に相当する。生徒には、福島県外からの食品を消費した者、生産地域が不明な食品を消費した者、地元で生産された食品を消費した者(放射性核種の含有量に関する試験を受けていない食品を含む)が含まれていた。

80. 2013 年~2015 年の公衆の内部被ばくが低レベルであったさらなる証拠を Hayano et al. が提供している [H2]。2013 年 12 月から 2015 年 3 月までの期間、福島第一原発の北側、西側、南側にある 3 箇所の病院において、身長 130cm 未満の乳児および小児のスキュンに適した 3 台の WBC (Babyscan)が使用された。この期間中、福島県、宮城県、茨城県の 1 歳から 12 歳までの小児 2,707 人について測定が実施されている。すべての子どもについて、体内の放射性セシウムは、検出下限値である 3Bq/kg を下回っていた。この検出下限値は、1 日あたりの放射性セシウムの摂取量が一定であるという仮定に基づき摂取率を 1Bq/日~2Bq/日(年齢によって異なる)とした場合の年間内部被ばく線量として、8μSv~16μSv に相当する。これは、1 年目以降の内部被ばく線量が非常に低いと推定した 2013 年報告書の評価と一致している。

81. スキュンを受けた乳児および小児の保護者は、家族の食習慣に関するアンケートに答えるよう求められた。地元の水を飲むことや福島県で生産された米または野菜を消費することを避けた家族の割合は、太子町および三春町で 1%から 4%、南相馬市および相馬市で 57%から 65%であった。この差は放射線リスクの受け止め方に起因しており、確認された各地域の放射線のレベルを反映しているわけではなく、事実、三春町、南相馬市、相馬市における放射線のレベルは同程度であった [H2]。

82. 事故後におけるより長期的な公衆被ばくの潜在的な線源となる可能性のある <sup>90</sup>Sr の寄与を明らかにするため、Nabeshi et al. [N1]は、2011 年~2013 年に日本全国から収集した野菜および畜産物のサンプル 53 品目を分析した。それまでに放射性セシウムが検出されていた 40 品目のサンプルの中から 25 件で <sup>90</sup>Sr が検出され、放射性セシウムが検出されてい

なかったサンプル 13 品目の中でも 8 件から検出された。海水魚、淡水魚、米、穀物、豆、牛肉、その他の食品における  $^{90}\text{Sr}$  の濃度は、福島第一原発事故前に報告されていた濃度を有意に超えるものではなかった。また、放射性セシウムが検出されたサンプルと、検出されなかったサンプルの間でも  $^{90}\text{Sr}$  の濃度に差はなかった。このため、食品サンプルにおける  $^{90}\text{Sr}$  の濃度は、核実験による世界的な放射性降下物によって生じたバックグラウンドとして存在している  $^{90}\text{Sr}$  の濃度と区別がつかないと結論された。これは、福島第一原発事故の結果、 $^{90}\text{Sr}$  の濃度が顕著に上昇していないこと(同時にこれによる被ばくがなかったこと)を示唆している。著者らは、将来参照できるデータをさらに収集するため、福島第一原発の近隣地域で収穫されたサンプルを含むさまざまな食品サンプルを対象に、 $^{90}\text{Sr}$  の分析を継続する予定である。

### 3. 修復

83. 2012 年以降、避難が行われた除染特別地域 (SDA) および居住者のいる汚染状況重点調査地域 (ISCA) における地区の除染が行われている。SDA で除染が行われた町の中には、避難命令が 2014 年に解除されたところもあり、住民の帰還が始まっている。修復の前後で定期的に線量率の測定が行われているが、まだ査読付き論文では発表されていない。線量率の観点からだけでなく、住民の年間実効線量(個人および集団の双方)の観点においても除染の効果を評価することが重要である。後者は、線量率の測定からの外部被ばくによる線量を推定するか、除染前後の住民の個人ベースの線量を測定することで評価できる。

84. 修復作業後においては、2013 年報告書で使用されている地表に沈着した放射性核種からの外部被ばくによる線量を推定する方法の有効性が損なわれる可能性があり、予測線量は屋外および屋内の線量率の測定値を基に評価する方がよいであろう。Yajima et al. [Y1] は、福島県内の多数の調査地域全体で多くの住宅地および職場の周辺線量率を測定し、個人の線量も個人線量計を使用して測定した。この測定結果では、外部被ばくによる加重周辺線量率に対する個人線量計に基づく個人線量の比率が 0.7 であったことが示されている。また、この論文では、2013 年報告書 [U3] で使用されたパラメータと比較可能な、国内におけるいくつかの居住パラメータと建物の防護パラメータを示している。調査が行われたすべての地域で、屋外作業員の推定実効線量は、屋内作業員の値よりも大幅に高かった。

85. Martin et al. [M2] は、軽量のガンマ線スペクトロメータを備えた低空無人航空機と高度標準化システムを開発し、福島県内の 3 箇所で試験を行った。その目的は、放射性物質の沈着レベルの高空間分解能マップ(1 メートル未満)を作成することを目的としていた。この装置は、操縦者が受ける線量を大幅に低減しつつ、沈着レベルの高い地域と修復済みの地域の双方を迅速に調査する貴重な方法を提供するものであった。このような機器を利用できることは、放射性物質の沈着レベルの高空間分解能による正確な特性や、地域が修復されたかどうかの検証、修復が有効に行われたかどうかの評価を行う上で重要である。

### C. 新規文献がもたらし得る影響

86. 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 年報告書の仮定および知見を全般的に裏付け、追認している。

(a) 日本の公衆の放射線量は引き続き、2013 年報告書の知見通りに減少している。

(b) 個人線量または線量率の測定値から、国内の建物の防護係数および被ばくシナリオと組み合わせることで評価された日本の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。

(c) WBC 測定によって評価された、食品中の放射性セシウムの摂取に起因する日本の公衆の線量は低く、2012 年以降に関する 2013 年報告書の知見と矛盾しない。

(d) セシウムとヨウ素以外の放射性核種 ( $^{90}\text{Sr}$  など) の寄与を明確にする作業が進められているが、それによる内部被ばく線量への寄与は小さいと思われる。

87. 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) さまざまな環境での沈着物質への外部被ばくによる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。

(b) 線量評価モデルを改良するために必要となる地域および国を代表する以下のようなパラメータ値を定める。

- － 建物の防護パラメータ値
- － 年齢および社会グループごとの、さまざまな建物のタイプおよび異なる時季における屋外および屋内で過ごす時間
- － 栽培食物および野生食物の流通システムや消費習慣に関するパラメータ値

(c) 放射性核種の沈着が多い地域の住民の外部被ばくによる個人線量を測定して、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。

(d) 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、線量およびその分布の推定の向上に役立てる。

(e) 食品に含まれる放射性核種の摂取による被ばくのレベルへの影響という観点で、土壌から植物への移行、日本の食品流通システム、全国の食品消費習慣、放射性物質に関する日本の食品検査システムの役割を明確にする。

(f) 福島第一原発事故後における、さまざまな食品（農産物および野生）の経時的な放射性セシウム濃度を測定する。

(g) 環境における放射線に関する指標（線量率、放射能濃度など）の低減、および住民の外部・内部被ばくに対する回避線量への影響の双方の観点から、環境修復計画（除染、農業対策など）の効果を定量化する。

(h) モデル計算された公衆の線量分布を、確率論的アプローチを使用して、個人間のばらつきを示しつつ、より精密に把握し、その結果を人の測定値と比較する。

## 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

88. 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をどの程度正しく信頼できる数値として提供できているか、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、福島第一原発の 2 万 5000 名の作業者の線量に関する統計学的データを報告しており、そのほとんどは協力企業の従業員であった。東電の報告によると、事故後 19 ヶ月間の福島第一原発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 名に相当) 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預託実効線量も、報告された値の中で最も高かった(590mSv)。数百名の緊急作業従事者における線量の統計情報は別途報告された。

89. 内部被ばくによる預託実効線量が 100mSv を上回る 12 名(計 13 名の作業者の内)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、 $^{131}\text{I}$  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。

90. 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。

91. 本委員会は、体内から  $^{131}\text{I}$  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ている。しかしながら、ほとんどの作業者の場合、甲状腺内の  $^{131}\text{I}$  の計測は 2011 年 5 月中旬から下旬になるまで開始されておらず、この遅延により、多くの場合で  $^{131}\text{I}$  はもはや検出されなかった。同様の理由で、 $^{132}\text{Te}$  や  $^{133}\text{I}$  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、確実な評価はできていない。本委員会は、東電が報告した評価のうち、体内から  $^{131}\text{I}$  が検出されていなかった作業者についてなされたもの、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。

92. 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おり(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者の 1 名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。

93. 本委員会には、作業者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がなかった([U3]段落 143)。

### B. 新規文献のレビューで得られた知見

94. 本委員会は第 1 報の白書において、2013 年報告書以降に一部の作業者について推定された線量に有意な変化があったが、これが主要な知見に実質的な影響を与える可能性はないであろうと結論した。ただし、再評価で使用されたデータおよび方法をより詳しく分析して確認する必要性も指摘された。

95. 第2報となる本白書で検討された文献のうち、6編の査読付き学術論文とIAEA報告書 [I2]について詳細なレビューを実施した。1つの文献 [Y6]ではモニタリング手順に加えられた改善に関する情報が提供され、2つ目の [K10]ではデータと分析が提供された。双方ともに、本委員会の2013年報告書の追跡評価に際して関連する可能性がある。2013年報告書の主要な仮定を追認したり、異議を唱えたりする文献はなく、主要な知見に実質的な影響を与える文献もなかった。

96. 2013年報告書の発行後に、東電社員および協力企業の作業員について再評価された線量の結果が入手可能となっており、IAEA報告書 [I2]はこの再評価の結果を考慮に入れた作業員の線量に関する統計的な分析に言及している。東電社員および協力企業の双方の作業員の個人線量当量を統計的に分析することにより、2011年における作業員の個人線量当量の確率密度分布と累積確率分布が得られている。現場作業員の職業被ばくの推定値は、2013年報告書の知見と一致している。

97. Yasui [Y6]は、日本の厚生労働省(厚労省)が実施した実態調査から得られた教訓を示している。この調査は、福島第一原発において、外部被ばくによる線量の値を低く示すよう、警報付き個人線量計の上に遮蔽用の鉛を覆うことで読み取り値が意図的に操作された事例に対応して実施されたものである。実態調査は、厚労省の指定した方法を使い、「類似した事例を特定し、この事件の再発を防ぐ対策を決定するため」に行われた [Y6]。もしこのような意図的な操作が広く行われていたものだとすると、日本で報告されている外部被ばくの線量の信頼性に関する本委員会の評価が影響を受ける可能性がある。厚労省は、この調査で意図的にデータが改変された事例は他に見つからなかったとしている。Yasuiが重視したのは、意図的な読み取り値の操作に対する直接的な防止策ではなく、実践的な外部被ばくモニタリング手順の改善によって福島第一原発の作業員の放射線防護を向上できるであろうという教訓であった。ただし、Yasuiは被ばくデータの操作による隠蔽には、作業員と雇用者の双方にとっての共通利益があるため、「...厚労省は、実態調査でさらなる線量計操作の事例を見つけ出すことは難しく、むしろ、作業員がデータ操作の行為に及ぶ動機を最小限に抑えることのできる将来のシステムを構築するための情報収集の機会とすることを意図した」と述べている。このコメントを見る限り、意図的な操作が及んだ範囲に関する調査結果がどの程度確固たるものかについてはいくらか疑義が残る。入手することができた証拠を考慮した上で、本委員会は、さらなる意図的な操作が行われていたとしても、おそらくは広範なものではなく、2013年で評価した知見は引き続き有効であると判断した。

98. 事故の救急対応時に被害者の治療に関与した医療従事者の線量評価について報告された査読付きの文献はほとんどなかった。Kodama et al. [K10]は、南相馬市立総合病院(福島第一原発の北25 km)で2011年7月と8月に101人の病院職員を対象に行われた体外計測の結果を報告している。この測定は、近隣の医療施設に対する原発事故の影響に関する広範な調査の一環として実施されたものである。測定の対象となった医療従事者は、2011年3月11日から入院患者の全員が避難した20日までの期間に、入院患者と外来患者の治療にあたっていた。これらの医療従事者は、放射性核種による汚染によって、外部被ばくおよび内部被ばくの両方、あるいはそのいずれかの被ばくを受けていた患者を介して被ばくした可能性があった。職員は3月14日に安定ヨウ素剤を服用するとともに、化学防護服の着用を指示された。医療従事者に対して放射性核種の全身測定が行われ、預託実効線量が推定された。101人の職員のうち、24人で $^{134}\text{Cs}$ が検出され、預託実効線量は全員が1mSv未満であると報告された。 $^{134}\text{Cs}$ には検出可能なレベルの $^{137}\text{Cs}$ が伴うことが考えられるが、体内の $^{134}\text{Cs}$ のみについて結果が報告されており、なぜ $^{137}\text{Cs}$ について報告されていない

いのかは明らかでない。これらの比較的低い線量は、2013 年報告書で報告されたサイト外の他の作業者に関する知見と一致している。医療従事者の体外計測の測定値から評価された預託実効線量を報告する文献として、もう 1 編の査読付き英文論文が報告されている(長崎大学の緊急被ばく医療支援チーム(REMAT)の 5 人について、Matsuda et al. が報告しており [M4]、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{134}\text{Cs}$  の摂取による預託実効線量は、REMAT の 5 人全員が 0.1mSv 未満であった)。異なる地域での医療従事者に関するさらなる査読付きの文献は、日本語で入手可能である。

### C. 新規文献がもたらし得る影響

99. 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。

100. 本委員会は、眼の水晶体の被ばくについて、または 2013 年報告書で特定されたさまざまな分野での推定線量の質の改善について、情報に基づいた判断を可能とする新規情報を確認することはできなかった。当該分野でのさらなる調査は特に重要となるであろう。

## VIII. 作業者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

101. 本委員会は、福島第一原発事故による健康リスクは、公衆および作業者の被ばく線量が有意に低いためにチェルノブイリ原発事故の場合よりもはるかに低いと予想されると認識していた。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」([U3]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 歳未満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([U3]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、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。福島県の FHMS 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。

102. 福島第一原発緊急作業者の間で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、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なため、白内障のリスクを評価することもできなかった。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

者から生涯にわたり 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、本委員会はこのような被ばくによるがん発生率の増加が識別可能となる可能性は低いと考えている。本委員会は、作業者の間で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。

103. 本委員会は、一般公衆および作業者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であると認識していた [U3]。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なかった。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

104. 本委員会は第 1 報の白書で、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。

105. 第 2 報となる本白書で検討された文献のうち、11 編の査読付き学術論文と IAEA 報告書 [I2]について詳細なレビューを実施した。後述する 1 編のみが、2013 年報告書の仮定または知見に異議を唱えていた。他の文献は、2013 年報告書の知見を強化するか、補足した。3 編の文献は、検査時点で若年であった対象者の甲状腺がん検診に関する情報を提供している。これらは、FHMS で観察された検出率に関する解釈を提供することを目的として、被ばくしたグループおよび被ばくしていないグループの双方における甲状腺嚢胞、結節、がんの検出率に関する情報を含んでいる。さらに 2 編は、集団検診で検出された小児甲状腺がんを解釈する際に関連する放射線生物学上の洞察を提供している。残りの文献は、心疾患や他の非がん疾患、または作業者の健康に関する情報を提供するものである。

106. IAEA 報告書 [I2]は、福島第一原発事故後に日本で開始された健康調査について記述している。この中には、公衆を対象とした FHMS と復旧作業に関与した作業者の健康モニタリングが含まれている。同報告書は、その刊行時点において、作業者と公衆については、医師により診断され、病理学的に確認され、それが福島第一原発事故で生じた放射線被ばくに起因すると考えうる健康への影響は認められていないと結論している。

107. IAEA 報告書は、2011 年 3 月から 2014 年 8 月までの間に記録・報告された福島第一原発作業者の線量に係る生涯寄与リスク割合 (LARF) (放射線被ばくに起因すると推定されるがんの発生率の割合) の推定値をさまざまな形の悪性腫瘍について比較している。これらの LARF は、ICRP リスクモデルと WHO リスクモデルとを使用して得られた [W4]。IAEA 報告書は、固形がん、白血病、およびがん全体について推測される LARF がすべて 1% 未満であったとしている。甲状腺がんに関する LARF は、受けた甲状腺線量に応じて作業者間で異なるが、甲状腺線量を入手できた作業者集団全体の LARF はいずれのリスクモデルでも 3% 以下の水準であった。

108. また、IAEA 報告書は、線量の高い地域のさまざまな場所の公衆、および小児を含むさまざまな集団に係る LARF 推定値も提供している。これらの集団の線量は、緊急作業者のそれよりも低かったため、LARF 値も 0.1%～1%と低かった。若年小児における甲状腺がんの LARF は、甲状腺線量の情報を入手できた全地域で 1% 未満であった。



109. IAEA 報告書は、FHMS での甲状腺検診結果の予備的な更新情報を提供している。この中には、2 回目の甲状腺検診を受けた福島県の 12 万 1,997 人の小児／青年も含まれていた。このうち、1,043 人は甲状腺の結節または嚢胞が検出されたため、精密検査に回された。事故当時に平均年齢が 13.1 歳（6 歳～18 歳）であった 5 人の小児が、新たに甲状腺乳頭がんと診断された。ただし、さらに 10 人が穿刺吸引生検または手術を待機していたため、がん発生率／有病率の正確な推定には至らなかった<sup>13</sup>。IAEA 報告書は、事故の影響を受けた地域から遠く離れた場所に居住する小児で同じ集団検診が行われたが、同様の結果が得られ、発見された疑わしい症例や悪性の症例の割合も福島県の各地域とほぼ同じであったと述べている。多くの場合で、甲状腺がんは 10 代後半の小児から発見され、事故発生時に最も影響を受けやすい年齢層、すなわち 5 歳未満であった小児からは発見されなかった。IAEA 報告書は、調査で検出された甲状腺異常が事故による放射線被ばくに関連しているとは考えにくいと結論した。

110. 事故に起因する放射線被ばくがほとんどない日本の 3 地域で、1 回目の超音波検診で甲状腺結節または嚢胞があると診断された 31 人の小児を対象に、2 ヶ月～15 ヶ月の追跡検査が実施された [H4]。このうち 3 分の 1 の症例では、再検査の結果「正常」と診断され、1 例は甲状腺がんと診断され、残りはさまざまな良性病変という結果であった。FHMS の集団検診プログラムにおいても、当初、甲状腺結節または嚢胞と診断された事例について、同様の分析を行うことが、比較の上で有益であろう。

111. 1 編の論文 [T17]（およびその後に発表された、批判への回答 [T16]）は、甲状腺がんの発生率が放射線によって上昇したことを証明できると主張している。著者らは福島県で 50 倍（95%信頼区間:25 倍～90 倍）の過剰を報告している。しかし、調査の計画と方法は、この解釈を正当化するにはあまりにも偏りが生じやすいもの [J2]であった。Tsuda et al. [T17] は、観察された甲状腺がん発見率に対する、甲状腺の高感度超音波検診の影響を十分には考慮に入れていない。彼らの結論は、FHMS の集団検診を受けた人の甲状腺がん発見率と、小児の甲状腺検診結果がほとんど含まれていない日本の他の地域での発見率との比較に基づいていた。小児期に検診を受けた他の集団、特に被ばくしていない 3 県で超音波検診を受けた小児についての調査 [H3]、および日本の若年層における他の検診調査 [T6]では、放射線被ばくのない甲状腺がんのベースライン発見率が FHMS の発見率と同程度であることが判明している。同様に、韓国で広範な検診を行ったところ、甲状腺がん発見率の明らかに大幅な上昇を経験した[A2]。また、検診で検出されたがんの一部は、放射線被ばくの前から存在していた可能性がある [T5]。

112. Wakeford et al. [W2]は、FHMS が調査した小児の甲状腺がん有病率について、事故に起因する被ばくが比較的低い地域、中程度の地域、および高い地域（Tsuda et al.の定義によるもの）にそれぞれ居住していた小児の有病率を比較することで、Tsuda et al. の論文のデータを分析している。Wakeford et al. による分析では、線量反応関係の傾向は何ら認められなかった。実際、被ばくが最も高い地域と最も低い地域における甲状腺がん有病率の比はわずか 1.08（95%信頼区間:0.60～1.96）であった [W2]。このほかにも、Tsuda et al.と小児の放射線誘発甲状腺がんに関するデータの本質的な部分には、以下のような不一致が見られる。(a) Tsuda et al. の論文は、放射線被ばく後、1 年～2 年以内に過剰発生があったと報告し

<sup>13</sup> 第 1 報の白書では、発表された論文 [N2]に記載されているように、51 例の甲状腺がんが当時までの FHMS 検診で見つかったことを示している。この数値は同じ論文の他の箇所でも示されているように、誤っているとみられる（正しい数値はがん 50 例と良性腫瘍 1 例）。

ているが、チェルノブイリ原発事故後の調査および甲状腺への線量がより高かった他の調査において、3年～4年以内での過剰発生は見られていない。(b) FHMS における甲状腺がんはすべて、放射線被ばく時に6歳～18歳の年齢層で発生しているが、他の調査では甲状腺がんの誘発は小児早期(5歳未満)に被ばくした年齢層で最も多く発生している。(c) 測定された甲状腺の線量は、報告された高有病率と整合するには低すぎる [T6, W2]。このような弱点と不一致があるため、本委員会は、Tsuda et al. による調査が2013年報告書の知見に対する重大な異議であるとはみなしていない。

113. Williams [W6]は、臨床的な甲状腺がんの進展に関する生物学的な理論を提示し、小児期の組織標本で特定された甲状腺がんのうち、治療しなければ将来臨床的に有意ながんに進展(すなわち、がん細胞クローンの無制御な増殖を伴う進展)する可能性がある甲状腺がんの割合が小さいことを示唆している。甲状腺濾胞細胞は、青年期または成人期よりも小児早期において急速に分裂する。このため、主に小児早期に被ばくした人では放射線によって生じた突然変異でがんが進展する可能性が上昇するとみられる。この一連の出来事は、まず突然変異により組織標本の顕微鏡検査で甲状腺がんと識別できる細胞のクローンが生じ、その後の細胞分裂における突然変異でがん細胞クローンが無制御に成長し、その結果臨床的ながんが発生すると予測される。しかし、小児早期の被ばくに関連したがんは、FHMS では発見されていない。むしろ、がんはすべて6歳以上で被ばくした人(平均年齢は13.1歳)から発生しており、このことは甲状腺がんが放射線誘発のものではない可能性を示唆している。放射線誘発甲状腺がんのリスク推定とそのような症例がそれらの原因に帰すると判断する能力を向上させることを目的に、散発性甲状腺がんと放射線誘発がんを識別する突然変異または遺伝子発現のパターンを特定する新たなバイオマーカーを発見する研究が続けられている([D1, S7])。進展はあるが、実際に使用可能なバイオマーカーが確立できるまでにはまだ多くが必要である。その潜在的意義を考えると、この分野の研究は積極的に行われるべきであろう。

114. 他の健康パラメータに関して、Ishii et al. [I6]は、放射線被ばくのレベルが最も高いいくつかの地域に居住していたものの、避難対象とならなかった集団を対象に、一連の臨床健診と検査室での測定を行った。そして、放射線に被ばくした対象者の基本的な生理・代謝パラメータに対する実質的な悪影響はないと結論した。しかし、16歳未満の小児の人数が少なく、結果が年齢別に分類されていなかったため、小児に対する影響については、十分に対応していない。IAEA 報告書 [I2]では、福島県の住民の肥満度指数、糖化ヘモグロビン(HbA1c)、血圧上昇、肝機能異常を示唆する調査と、飯舘村における肥満度、高血圧、高脂血症の上昇を示す別の調査を要約している。しかし、IAEA 報告書は、このような変化はストレスとライフスタイルの変化によるものだと結論している。同様に、三重災害と危険の感知がストレスにつながり、結果的に心理的影響が生じたが [G2, O3]、このような心理的ストレスはほとんどの災害に共通しており、放射線被ばくによるものではない [O4]。このため、本委員会ではこれについてさらなる検討は行っていない。

115. 事故後1年以内に福島県のさまざまな場所で白血球、好中球、リンパ球数が比較された。放射線被ばくレベルが最も高い地域における個人の数値は、被ばくレベルが低い地域の結果と変わらなかった [S4]。

116. 福島第一原発の作業員の健康に関して発表されているデータはほとんどない。IAEA 報告書 [I2]は、2011年に厚労省の研究助成のもと、甲状腺等価線量が100mSvを超えていた緊急作業員627人と、被ばくレベルがより低かった1,437人の甲状腺超音波検査が実

施されたことを示している。これら 2 つのグループ間において甲状腺の所見に有意な差はなく、このことは(a) 被ばくの程度が比較的低かった、(b) 被ばくした作業者が成人であった、(c) 被ばく後の期間が短かったことを踏まえ、予測と一致するものであった。

117. 1976 年には、当時の労働省（現在の厚労省）の提供する労働者災害補償保険制度に基づき、日本政府は職業被ばくした作業者に対する補償裁定の基本を設定した。設定された枠組によると、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てい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。特定の他のリンパ造血系悪性腫瘍についても同様の制度が、それぞれの放射線感受性に従って修正して適用される。2012 年と 2013 年に福島第一原発で作業を行って白血病を発症した 1 名の作業者に対して、この制度のもとに 2015 年に補償金が給付された。この補償金給付は、補償金給付に関する既存の政策が適用された結果である。これは、放射線被ばくと当該健康影響との間に科学的に証明された因果関係のあることを意味するものではない（附属書 A [U5]を参照）。

118. 福島県での将来の健康リスクと、それに対応する戦略を考慮するために、国際がん研究機関 (IARC) および福島県立医科大学により専門家グループが召集された [I5]。当該グループの勧告は、全般的に 2013 年報告書の内容に沿ったものであったが、研究の科学のおよび公衆衛生上の価値を向上させるための共同作業とデータ共有がさらに強調された。

### C. 新規文献がもたらし得る影響

119. 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。放射能を原因とする甲状腺がんの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る 1 編の調査には、重大な欠陥がみられた。

120. 本委員会は、事故による健康影響に関する継続中の研究と調査、特に福島県が実施している健康調査に注目し、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、以下に示す分野を、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特定した。

(a) 福島県での甲状腺検診プログラムの知見を適切に理解するには、福島第一原発事故の放出による影響を受けていない同等の日本人集団を対象とした十分な規模の調査結果との関連性においてそれらの知見を検討することが望ましい。このような調査は、福島県の知見が放射線被ばくの結果ではなく、この年齢範囲の甲状腺疾患の基本的な性質の反映であるという現在の認識を評価するための決定的な証拠を提供するであろう。ただし、当該調査には適切な倫理的承認が必要であることは明らかであろう。

(b) FHMS による検診者数および甲状腺結節と甲状腺がんの年齢別、性別で分類した検出数を詳細に論文にまとめる。これにより、被ばくしていない検診受診者に関する既存のデータとのより正確な比較ができるであろう。

(c) FHMS のスクリーニング調査に含まれる若年者の線量推定を完了すること。これにより、線量関連解析が可能となる。その解析は、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、推論におけるより強い基礎を提供するであろう。

(d) 帰結に関する十分に標準化された情報。これには、良好な品質管理のもとに得られる臨床および検査所見を伴う、がんおよび非がん疾患、並びに出生時異常による死亡およびそれらの発生を含む。健康事象とリスクに関する最も情報に富んだ評価を可能とするために、これらを、放射線被ばくと生活習慣に関するよく整理された情報と結びつけるための準備をすべきである。これは、やがて科学者と公衆の双方が持つかもしれない重要な疑問に対応するためでもある。

(e) 福島第一原発の緊急作業従事者、特に被ばく線量が高い作業者の健康に関するデータを体系的に収集および分析すること。

## 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

121. 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。その後、本委員会では、線量効果関係についての一般的な評価を総合して、当該線量に対応した放射線被ばくによる影響が推測された。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り、いくつか例外の可能性があると考えられているが、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、概して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、高濃度の放射性物質を含む水が海洋に漏洩したり放出されたりした場所の近傍域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について、個々の生物への影響リスクを、特に哺乳類については排除することはできていないが、個体群レベルで観察可能な影響が出る可能性は低いと考察した。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。

122. 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引用しており[H10, M12, M13]、これらの調査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認識している。

### B. 新規文献のレビューで得られた知見

123. 本委員会は第 1 報の白書で、2013 年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の生態系における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。

124. 第 2 報となる本白書で検討された文献のうち、52 編の査読付き学術論文と IAEA 報告書 [I2]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。

125. IAEA 報告書 [I2]には、あらゆる生態系についての影響評価が含まれている。IAEA の評価では、2013 年報告書で本委員会が採用したものと、いくらか異なる方法を使用している(本委員会の場合は、動的移行モデルを取り入れ、短期間に生じる最大線量率を推定)。全体的な結果は概して一致しているが、IAEA はフィールド調査で観察された個体群レベルへの影響が放射線被ばくに関連しているかどうかについてより断定的で、個体群と生態系(陸域および海洋環境の双方)への影響は予測されないと結論している。さらに、IAEA は、短期間における推定線量が、極めて有害な急性影響が観察されおそれのあるレベルを全体的に大きく下回っており、事故後に線量率が比較的急速に減少していることを踏まえ、長期的な影響は予測されないとしている。

126. 複数の論文で、ヒト以外の生物相への放射性核種の移行とその濃度について報告されている [A8, B1, H1, H5, K5, K13, M3, T9, T10, T11, T13, W1]。2013 年報告書における環境影響評価では、これらの論文の一部使用されたものと同じ、あるいは関連性のある情報源をもとにした入力データセットを使用した。これらの論文で提示された結果は、その入力データセットと全体的に一致するものであった。また、多数の新しい生物または生命段階に関するデータも提示されており [A11, A12, K1, S9, T8, Y3, Y8]、これらについては本委員会も検討していなかった。とはいえ放射性核種の濃度を広範に比較することは可能と思われる(例えば、無脊椎動物といった一般的なカテゴリーに分類される種について、数値を比較できる)。これらの文献で報告されている放射性核種のレベルも 2013 年報告書で使用されたものと一致しているように見受けられる。上記の文献のすべて、および直接的な関連性の低い他の文献 [B2, M6, Y4]の内容をもとに、2013 年報告書で適用したモデルを改良することができる可能性がある。陸上生物の被ばく線量が評価されているケース [F4]や、かかる被ばく線量についてフィールドでの実験によって決められている典型的なケース [F5, K14]に関しては、線量率が概して 2013 年報告書で提示したものとよく一致している。

127. 数編の論文 [B3, K19, M10, O6, Y2]は、事故後早期において、海洋堆積物中の放射性核種が海洋生物相の被ばくに寄与した可能性は、その他の要因に比べるとごくわずかであるという 2013 年報告書の知見を追認していると思われるが、そうでない論文(例:[K7])もあった。一部の研究 [I3, K2, M1]では、いくつかの生態系における構成要素(河川の魚類、森林の樹木など)に対しては定常状態の移行モデル(2013 年報告書で想定)が、事故の数ヶ月後でも、適切ではないと示唆している。

128. 福島地域の生物相に対する致死量以下の影響が、いくつかの研究で観察されている。福島県内の放射性核種の濃度が上昇した地域に生息する野生のネズミにおいて染色体異常が増加し、推定線量との相関性が示された[K15]。野生のコイの研究において、Suzuki [S13]は、放射性核種の濃度が上昇した地域で捕獲した魚のさまざまな血液パラメータに対する有害な影響を観察したが、放射線による魚類の健康への悪影響を実証することはできなかった。Fujita et al. [F3]は「高線量」地域(当該研究では周辺線量当量率が  $3\mu\text{Sv/h}$  程度の地域として定義 — 野生生物には適切でない単位を使用している点に留意)のミズが、「低

線量」地域(当該研究では線量率が  $0.3\mu\text{Sv/h}$  程度の地域として定義)のミミズに比べて、有意に大きい DNA 損傷を受けていることを観察したが、一方で、野生のイノシシでは差異は明らかではなかった。この研究は、哺乳類はより放射線感受性が高いため、無脊椎動物よりも損傷のリスクが高いという予想(2013 年報告書での推測)とは一致していない。とはいえ、他の論文 [F3, U2]で指摘されるように、DNA 損傷が必ずしも野生生物の生物学的機能障害、ひいては健康障害と対応するわけではない。同様に、Ochiai et al. [O1]は、福島市に生息していたサル血球数低下を観察し、その免疫系がある程度損なわれてしまったため、個々の動物と群れ全体が感染症にかかりやすくなっている可能性がある」と推測している。

129. Matsushima et al. [M7]は、放射性核種の濃度が高かった場所で捕獲されたカエルの生殖腺組織で明確な異常は観察されなかったとしている。一方、Watanabe et al. [W3]は、福島第一原発に近いモミの個体群において、福島第一原発から遠い対照個体群と比較して、形態異常の件数が有意に上昇していることを示した。異常の頻度は、調査場所における放射性物質の沈着密度と一致しているが、他の多くの交絡因子(偶発的な損傷、または霜などの環境ストレスなど)が観察された形態変化の原因になっている可能性がある。2013 年報告書では、比較的沈着密度の高い地域における植生の蓄積線量が推定されている。樹木の推定線量は、チェルノブイリ原発事故後に成長、生殖、形態の障害が観察された針葉樹のものと類似していた(ただし 2013 年報告書で明確にこの推定を行ったわけではない)。

130. Murase et al. [M17]は、福島第一原発事故後、鳥類における頂点捕食者であるオオタカの繁殖成績が顕著に低下し、調査期間である事故後の 3 年間にわたって徐々に低下し続けたという観察結果を報告している。著者らは、他の要因よりも原発事故の結果、オオタカの巣の下で測定された周辺線量当量率の上昇が主な原因であったと結論している。報告にある繁殖成績の変化は、(保護対象である)オオタカを観察できた期間を考慮に入れば、妥当な観察結果であるように思えるものの、調査地域は福島第一原発の南西 100km~120km の関東北部、すなわち事故の放出による有意な影響を受けていない地域であった。Murase et al. [M17]は、自然のバックグラウンドレベルを大きく上回っておらず、かつ明らかに個体レベルで有害と一般的にみなされるしきい値を大幅に下回る周辺線量当量率の環境において、生殖への劇的な影響について言及している。

131. Hiyama et al. [H12]および Taira et al. [T4]の調査は、2013 年報告書および第 1 報の白書で報告された、同じグループによる以前のヤマトシジミ(蝶)の調査 [H11, T3]に基づいている。著者らは、異常発生率と福島第一原発からの距離との相関関係の方が、放射線量(子孫世代にとって)との相関関係よりも強いことを見いだしたが、これは福島第一原発南側の調査場所において、放射線照射が早期の段階で短寿命放射性核種によって上昇したことを反映している(実証されていない)と論じている。Hiyama et al. [H12]は、放射線被ばくの結果、蝶の個体群は重大な障害を被ったが、異常発生率は 2013 年の事故前のレベルに戻ったと主張している。Taira et al. [T4]は、蝶の前翅サイズにおける地理的、時間的および温度依存的变化を調査した。あらゆる要因を考慮に入れた後、著者らは、2011 年に福島県でのみ観察されたサイズの減少は放射線被ばくによるものだという結論を主張している。同論文で説明されているように、翅の大きさといった特定の生物学的エンドポイントにおける変動は、多くの環境的な要因とその間の複雑な相互作用が原因で生じる可能性がある。Akimoto [A4]は、アブラムシについて、事故直後の対照群に比べ事故の影響を受けた地域では異常と死亡率が有意に高かったが、この昆虫の生存能力と健康は 2013 年までに有意に改善したと述べている。人による管理が行われなくなるといった交絡因子は、ハチのような一部の種の昆虫

個体群に多大な悪影響を与える可能性があり [Y9]、このことはストレス要因による影響を評価の際に考慮する必要がある。

132. Møller et al. [M14]は、福島とチェルノブイリの周辺地域における個体数調査法による鳥類発生量についてのデータの分析を提供しており、少なくともその一部はそれ以前に発表された情報に基づいている。この調査では、鳥類における発生数や多くの生態学的特徴における電離放射線被ばくの悪影響が実証されているが、一方で潜在的な交絡変数も考慮されている(植生や農業生息地の範囲など)。Møller et al. [M15]は、2011 年～2014 年の期間においてバックグラウンド放射線レベルの上昇に伴い、福島県地方の鳥類発生数が、種の間で有意なばらつきがあるものの減少したことを明らかにした(以前の文献 [U4]でも報告されていた)。著者らは、発生数と種多様性への放射線被ばくの悪影響は時間の経過に伴って累積するという仮定に自らの知見が一致していると論じている。この調査は、Garnier-Laplace et al. [G1]が同じ個体数調査データセットを参考にして提示した線量再構成によって裏付けられている。再構成された線量率は、Garnier-Laplace et al. が鳥に生理的な障害を引き起こすと考えたレベルに一致していた。また、著者らは、線量率が 2013 年報告書で使用された  $100\mu\text{Gy/h}$  というベンチマークを超えなかったものの、合計線量の上昇に伴い、福島県の鳥の全体的な発生数が減少したという結果を再現した。このような線量再構成の質が向上したとはいえ、適用されたアプローチにはいくつかの弱点が残った。Bonisoli-Alquati et al. [B4]がツバメを対象に実施した関連性のある調査においては、放射線被ばくと雛の遺伝子損傷の頻度との間に相関がないことが観察されている。ただし放射線被ばくのレベルがより高い場合、鳥の数が減少し幼鳥が占める割合も低下している。上記の調査は、細胞遺伝的損傷がない場合には個体群レベルにおけるリスクの上昇は無視できるという従来の見方は単純過ぎであり、ストレス要因が誘発する環境外乱について理解するには、個々の生物に対するストレス要因が及ぼす影響に関する知識だけでは不十分かもしれないことを示唆している [U4]。

133. 一部の著者は、福島第一原発周辺 [J1, K6, K7]およびより距離の離れた場所 [Y5, Y10]の海洋環境についての包括的な環境影響評価を報告している。これらの評価においては、海洋生物相の個体群が放射線被ばくの重大な影響による有意なリスクにさらされることはないという 2013 年報告書の知見を追認している。対照的に、Aliyu et al. [A5]は、2013 年報告書で適用された被ばくモデルおよび線量/線量率のベンチマークは、個体群の健全性に対する影響の可能性を推定するには不適切であったと結論している。

### C. 新規文献がもたらし得る影響

134. 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多くは概ねこれを裏付けるものであるという結論に達した。特に、2013 年報告書で推論されたヒト以外の生物相における線量率が妥当なものであることが複数の文献により追認されている。これらの線量率をどう解釈すればいいか、特に生態系の複雑な相互作用が十分に考慮されていないエンドポイントに着目することが適切であるかという点に関してさらなる疑問が生じる可能性がある。第 1 報の白書に記載されているように、利用可能な線量反応データの多くは、隔離され、管理された実験室条件下に置かれた少数の個体群における被ばくに関するものである。これらのデータとさらに限定的な現場での観察から、個体群がリスクにさらされるとみなせる線量率を評価することはできる。しかしながら、実際の状況では、ストレス要因への暴露が原因となって、生態系の機能と構造上に個々の生物への影響からは予測できない非線形的な変化が生じる可能性がある。生態系内での生物相の相



相互作用を適切に考慮に入れ、高次の生物組織（個体群など）における線量反応を調査する追跡研究が必要であることは明らかである。これを達成するためには、学際的なアプローチが欠かせないであろう。

## X. 結論

135. この第 2 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は、以下で簡単に概説している。

### A. 2013 年報告書に対する潜在的な異議

136. 経時的な  $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、および  $^{137}\text{Cs}$  の大気中での測定濃度、および土壌サンプルでの  $^{129}\text{I}$  の測定値からの  $^{131}\text{I}$  の沈着に関する新規データ [H8, M16, O7] が入手可能になっている。ソースタームおよび大気と地上に沈着した放射性核種のレベルの推定値がこれらのデータによって大幅に改善される可能性がある。他に現存するサンプルを同様に分析することで、近い将来さらなるデータが生成されるはずである。また、大気に放出されて輸送されるヨウ素の化学形に関して、さらなる情報 [L2] が限定的ながら出てきている。このような新規データの意味するところを十分に理解するためには、それらと 2013 年報告書で使用されたデータとの詳細な比較を行う必要がある。

137. 日本原子力研究開発機構の研究者グループ [K3] が開発した大気への放出に関するソースタームの、一連の推定値の最新情報が、第 1 報の白書で注目された。このソースタームの推定では、経時的な放出パターンの推定を向上させるだけでなく、ヨウ素の 3 つの異なる物理化学形（元素状、有機状、粒子状）での放出も考慮に入れている。これは、2013 年報告書で使用された推定（元素状と粒子状の 2 つの化学形のみを検討）よりも、この最新の推定を使用すべきだという委員会の見解を支持するものである。第 1 報の白書で明らかになったように、この推定値を適用することによって、概して、2013 年報告書で推定された線量が有意に変化するとは予測されないであろう。ただし、避難者の推定線量については、例外となる可能性がある。有機ヨウ素の化学形を考慮に入れると、甲状腺の推定線量が上昇する可能性があるが、有意な上昇があったとしても、それは福島第一原発から離れた線量の低い場所に限定されると思われる。避難者の推定線量と、より遠い距離における甲状腺への推定線量の精度について論じるためには、さらに詳細な分析が必要であろう。

138. 1 編の文献 [T17] は、放射線によって甲状腺がんの発見率が増加したことを実証したと主張しているが、この調査には重大な欠陥があることが判明している。当該調査の弱点と他の調査との不一致が、少なからぬ証拠によって確認されている。

139. 第 1 報の白書でレビューされた文献に加え、本委員会の評価では予測されていなかったヒト以外の生物相に対する個体群レベルでの影響を報告した文献が他にも確認された [B4, H12, M14, M15, T4]。本委員会での見解では、このような調査の結果は結論的なものではなく、2013 年報告書の当該分野における知見は、依然として利用可能な証拠によって広く



支持されているとみなしている。今後、これらの明らかな差異を解明するためには学際的な調査が引き続き必要である。

## B. 研究ニーズへの寄与

140. 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。しかしながら、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において)。

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文献	研究ニーズに中程度に寄与する文献
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	[M16, O7]	[L2, S1, S10]
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	[A1, H9, K8, K16]	
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	[A6, M8, S8]	[B6, B7]
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	[K11, N5, O2, U1]	[A9, F1, F2, H6, H13, K4, K12, L3, M3, N4, S3, S5, S11, T1, T2, T13]
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	[Y7]	[I7, M2, M5, M9, N3, S6, T14, Y1]
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		[I2, O5, T14, T15]
ヨウ素およびセシウム以外の放射性核種が内部被ばくによる線量に寄与する可能性を定量化する		[N1]
健康影響		
福島県で現在実施中の健康調査を継続する		[I2, S4]
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	[H4]	[M11, W6]
個人線量を適切に評価できる構成員からなる疫学調査のためのコホートの設定について、その実行可能性を検討する		[I5]
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	[B4, F3, F5, G1, H12, J1, K2, K13, K14, M1, M7, T4, W3, Y9]	[A11, A12, B2, B3, F4, H5, I3, K7, K19, M3, M6, M10, M14, M15, M17, O1, O6, S9, S13, T11, T13, W1, Y3, Y8]

## 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)、K. Kodama (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

T. Aono (日本)、K. Ozasa (日本)、S. Saigusa (日本)、T. Takahashi (日本)、H. Yasuda (日本)

### クリティカルレビュー担当者

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)、S. Shinkarev (ロシア連邦)、J. Simmonds (英国)、  
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 Adhiraga Pratama, M., M. Yoneda, Y. Shimada et al. Future projection of radiocesium flux to the ocean from the largest river impacted by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Sci Rep* 5: 8408 (2015).
- A2 Ahn, H.S., H.J. Kim and H.G. Welch. Korea's thyroid-cancer "epidemic"--screening and overdiagnosis. *N Engl J Med* 371(19): 1765-1767 (2014).
- A3 Akimoto, K. Annual and weekly cycles of radioactivity concentration observed in Fukushima City. *Health Phys* 108(1): 32-38 (2015).
- A4 Akimoto, S. Morphological abnormalities in gall-forming aphids in a radiation-contaminated area near Fukushima Daiichi: selective impact of fallout? *Ecol Evol* 4(4): 355-369 (2014).
- A5 Aliyu, A.S., A.T. Ramli, N.N. Garba et al. Fukushima nuclear accident: preliminary assessment of the risks to non-human biota. *Radiat Prot Dosim* 163(2): 238-250 (2015).
- A6 Aoyama, M., Y. Hamajima, M. Hult et al.  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the North Pacific Ocean derived from the March 2011 TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Japan. Part one: surface pathway and vertical distributions. *J Oceanogr* 72(1): 53-65 (2015).
- A7 Aoyama, M., M. Kajino, T.Y. Tanaka et al.  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the North Pacific Ocean derived from the March 2011 TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Japan. Part two: estimation of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  inventories in the North Pacific Ocean. *J Oceanogr* 72(1): 67-76 (2015).
- A8 Arai, T. Radioactive cesium accumulation in freshwater fishes after the Fukushima nuclear accident. *Springerplus* 3: 479 (2014).
- A9 Aung, H.P., Y.S. Aye, A.D. Mensah et al. Relations of fine-root morphology on  $^{137}\text{Cs}$  uptake by fourteen Brassica species. *J Environ Radioact* 150: 203-212 (2015).
- A10 Aung, H.P., S. Djedidi, A.Z. Oo et al. Growth and  $^{137}\text{Cs}$  uptake of four Brassica species influenced by inoculation with a plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus pumilus* in three contaminated farmlands in Fukushima prefecture, Japan. *Sci Total Environ* 521-522: 261-269 (2015).
- A11 Ayabe, Y., T. Kanasashi, N. Hijii et al. Radiocesium contamination of the web spider *Nephila clavata* (Nephilidae: Arachnida) 1.5 years after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J Environ Radioact* 127: 105-110 (2014).
- A12 Ayabe, Y., T. Kanasashi, N. Hijii et al. Relationship between radiocesium contamination and the contents of various elements in the web spider *Nephila clavata* (Nephilidae: Arachnida). *J Environ Radioact* 150: 228-235 (2015).
- B1 Baumann, Z., N. Casacuberta, H. Baumann et al. Natural and Fukushima-derived radioactivity in macroalgae and mussels along the Japanese shoreline. *Biogeosciences* 10(6): 3809-3815 (2013).
- B2 Baumann, Z., N.S. Fisher, C.J. Gobler et al. Fukushima  $^{137}\text{Cs}$  at the base of planktonic food webs off Japan. *Deep-Sea Res Part I* 106: 9-16 (2015).
- B3 Black, E.E. and K.O. Buesseler. Spatial variability and the fate of cesium in coastal sediments near Fukushima, Japan. *Biogeosciences* 11(18): 5123-5137 (2014).
- B4 Bonisoli-Alquati, A., K. Koyama, D.J. Tedeschi et al. Abundance and genetic damage of barn swallows from Fukushima. *Sci Rep* 5: 9432 (2015).
- B5 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.
- B6 Budyansky, M.V., V.A. Goryachev, D.D. Kaplunenko et al. Role of mesoscale eddies in transport of Fukushima-derived cesium isotopes in the ocean. *Deep-Sea Res Part I* 96: 15-27 (2015).
- B7 Buesseler, K.O., C.R. German, M.C. Honda et al. Tracking the fate of particle associated Fukushima Daiichi cesium in the ocean off Japan. *Environ Sci Technol* 49(16): 9807-9816 (2015).
- C1 Christoudias, T. and J. Lelieveld. Modelling the global atmospheric transport and deposition of radionuclides from the Fukushima Dai-ichi nuclear accident. *Atmos Chem Phys* 13(3): 1425-1438 (2013).
- D1 Dom, G., M. Tarabichi, K. Unger et al. A gene expression signature distinguishes normal tissues of sporadic and radiation-

- induced papillary thyroid carcinomas. *Br J Cancer* 107(6): 994-1000 (2012).
- E1 Evangeliou, N., Y. Balkanski, H. Florou et al. Global deposition and transport efficiencies of radioactive species with respect to modelling credibility after Fukushima (Japan, 2011). *J Environ Radioact* 149: 164-175 (2015).
- F1 Fujimura, S., Y. Muramatsu, T. Ohno et al. Accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  by rice grown in four types of soil contaminated by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident in 2011 and 2012. *J Environ Radioact* 140: 59-64 (2015).
- F2 Fujimura, S., Y. Sakuma, M. Sato et al. Difference in Cs-137 concentration of brown rice between the years of 2011 and 2012 in Fukushima Prefecture. *J Radioanal Nucl Chem* 303(2): 1147-1150 (2015).
- F3 Fujita, Y., Y. Yoshihara, I. Sato et al. Environmental radioactivity damages the DNA of earthworms of Fukushima Prefecture, Japan. *Eur J Wildl Res* 60(1): 145-148 (2014).
- F4 Fujiwara, K., T. Takahashi, P. Nguyen et al. Uptake and retention of radio-caesium in earthworms cultured in soil contaminated by the Fukushima nuclear power plant accident. *J Environ Radioact* 139: 135-139 (2015).
- F5 Fuma, S., S. Ihara, I. Kawaguchi et al. Dose rate estimation of the Tohoku hynobiid salamander, *Hynobius lichenatus*, in Fukushima. *J Environ Radioact* 143: 123-134 (2015).
- G1 Garnier-Laplace, J., K. Beaugelin-Seiller, C. Della-Vedova et al. Radiological dose reconstruction for birds reconciles outcomes of Fukushima with knowledge of dose-effect relationships. *Sci Rep* 5: 16594 (2015).
- G2 Goto, A., E.J. Bromet, K. Fujimori et al. Immediate effects of the Fukushima nuclear power plant disaster on depressive symptoms among mothers with infants: a prefectural-wide cross-sectional study from the Fukushima Health Management Survey. *BMC Psychiatry* 15: 59 (2015).
- H1 Hasegawa, M., S. Kaneko, S. Ikeda et al. Changes in radiocesium concentrations in epigeic earthworms in relation to the organic layer 2.5 years after the 2011 Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J Environ Radioact* 145: 95-101 (2015).
- H2 Hayano, R.S., M. Tsubokura, M. Miyazaki et al. Whole-body counter surveys of over 2700 babies and small children in and around Fukushima Prefecture 33 to 49 months after the Fukushima Daiichi NPP accident. *Proceedings of the Japan Academy* 91(8): 440-446 (2015).
- H3 Hayashida, N., M. Imaizumi, H. Shimura et al. Thyroid ultrasound findings in children from three Japanese prefectures: Aomori, Yamanashi and Nagasaki. *PLoS One* 8(12): e83220 (2013).
- H4 Hayashida, N., M. Imaizumi, H. Shimura et al. Thyroid ultrasound findings in a follow-up survey of children from three Japanese prefectures: Aomori, Yamanashi, and Nagasaki. *Sci Rep* 5: 9046 (2015).
- H5 Higaki, T., S. Higaki, M. Hirota et al. Radiocesium distribution in bamboo shoots after the Fukushima nuclear accident. *PLoS One* 9(5): e97659 (2014).
- H6 Hiraide, M., M. Sunagawa, H. Neda et al. Reducing radioactive cesium transfer from sawdust media to *Pleurotus ostreatus* fruiting bodies. *J Wood Sci* 61(4): 420-430 (2015).
- H7 Hirayama, H., H. Matsumura, Y. Namito et al. Method to separate plume- and accumulated surrounding-contributions to peak count rate using pulse height distribution time histories at monitoring post. KEK Internal 2014-7. High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Japan, 2015.
- H8 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).
- H9 Hirose, K. Current trends of  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in coastal waters near the Fukushima Daiichi NPP. *J Radioanal Nucl Chem* 307(3): 1699-1702 (2015).
- H10 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).
- H11 Hiyama, A., C. Nohara, W. Taira et al. The Fukushima nuclear accident and the pale grass blue butterfly: evaluating biological effects of long-term low-dose exposures. *BMC Evol Biol* 13: 168 (2013).
- H12 Hiyama, A., W. Taira, C. Nohara et al. Spatiotemporal abnormality dynamics of the pale grass blue butterfly: three years of monitoring (2011-2013) after the Fukushima nuclear accident. *BMC Evol Biol* 15: 15 (2015).
- H13 Hoshino, Y., T. Higashi, T. Ito et al. Tillage can reduce the radiocesium contamination of soybean after the

- Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *Soil Tillage Res* 153: 76-85 (2015).
- I1 IAEA. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Technical Reports Series 472. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2010.
- I2 IAEA. The Fukushima Daiichi Accident. International Atomic Energy Agency. Vienna, 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 Ii, I., K. Tanoi, Y. Uno et al. Radioactive caesium concentration of lowland rice grown in the decontaminated paddy fields in Iitate-Village in Fukushima. *Radio-isotopes* 64: 299-310 (2015). (Japanese).
- I5 Inamasu, T., S.J. Schonfeld, M. Abe et al. Meeting report: suggestions for studies on future health risks following the Fukushima accident. *Environ Health* 14: 26 (2015).
- I6 Ishii, T., M. Tsubokura, S. Ochi et al. Living in contaminated radioactive areas is not an acute risk factor for non-communicable disease development: a retrospective observational study. *Disaster Med Public Health Prep* 10(1): 34-37 (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).
- J1 Johansen, M.P., E. Ruedig, K. Tagami et al. Radiological dose rates to marine fish from the Fukushima Daiichi accident: the first three years across the North Pacific. *Environ Sci Technol* 49(3): 1277-1285 (2015).
- J2 Jorgensen, T.J. Re: Thyroid cancer among young people in Fukushima. *Epidemiology* 27(3): e17 (2016).
- K1 Kaeriyama, H., K. Fujimoto, D. Ambe et al. Fukushima-derived radionuclides  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in zooplankton and seawater samples collected off the Joban-Sanriku coast, in Sendai Bay, and in the Oyashio region. *Fish Sci* 81(1): 139-153 (2015).
- K2 Kanasashi, T., Y. Sugiura, C. Takenaka et al. Radiocesium distribution in sugi (*Cryptomeria japonica*) in eastern Japan: translocation from needles to pollen. *J Environ Radioact* 139: 398-406 (2015).
- K3 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).
- K4 Kato, N., N. Kihou, S. Fujimura et al. Potassium fertilizer and other materials as countermeasures to reduce radiocesium levels in rice: Results of urgent experiments in 2011 responding to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *Soil Sci Plant Nutr* 61(2): 179-190 (2015).
- K5 Kawai, H., A. Kitamura, M. Mimura et al. Radioactive cesium accumulation in seaweeds by the Fukushima 1 Nuclear Power Plant accident-two years' monitoring at Iwaki and its vicinity. *J Plant Res* 127(1): 23-42 (2014).
- K6 Keum, D.K., B.H. Kim, K.M. Lim et al. Radiation exposure to marine biota around the Fukushima Daiichi NPP. *Environ Monit Assess* 186(5): 2949-2956 (2014).
- K7 Keum, D.K., I. Jun, B.H. Kim et al. A dynamic model to estimate the activity concentration and whole body dose rate of marine biota as consequences of a nuclear accident. *J Environ Radioact* 140: 84-94 (2015).
- K8 Kinouchi, T., K. Yoshimura and T. Omata. Modeling radiocesium transport from a river catchment based on a physically-based distributed hydrological and sediment erosion model. *J Environ Radioact* 139: 407-415 (2015).
- K9 Kobayashi, T., H. Nagai, M. Chino et al. Source term estimation of atmospheric release due to the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident by atmospheric and oceanic dispersion simulations. *J Nucl Sci Technol* 50(3): 255-264 (2013).
- K10 Kodama, Y., T. Oikawa, K. Hayashi et al. Impact of natural disaster combined with nuclear power plant accidents on local medical services: a case study of Minamisoma Municipal General Hospital after the Great East Japan Earthquake. *Disaster Med Public Health Prep* 8(6): 471-476 (2014).
- K11 Kondo, M., H. Maeda, A. Goto et al. Exchangeable Cs/K ratio in soil is an index to estimate accumulation of radioactive and stable Cs in rice plant. *Soil Sci Plant Nutr* 61(1): 133-143 (2015).
- K12 Kubo, K., K. Nemoto, H. Kobayashi et al. Analyses and countermeasures for

- decreasing radioactive cesium in buckwheat in areas affected by the nuclear accident in 2011. *Field Crops Res* 170: 40-46 (2015).
- K13 Kubota, T., Y. Shibahara, S. Fukutani et al. Cherenkov counting of  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{90}\text{Y}$  in bark and leaf samples collected around Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *J Radioanal Nucl Chem* 303(1): 39-46 (2015).
- K14 Kubota, Y., H. Takahashi, Y. Watanabe et al. Estimation of absorbed radiation dose rates in wild rodents inhabiting a site severely contaminated by the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *J Environ Radioact* 142: 124-131 (2015).
- K15 Kubota, Y., H. Tsuji, T. Kawagoshi et al. Chromosomal aberrations in wild mice captured in areas differentially contaminated by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Environ Sci Technol* 49(16): 10074-10083 (2015).
- K16 Kumamoto, Y., M. Aoyama, Y. Hamajima et al. Impact of Fukushima-derived radio-cesium in the western North Pacific Ocean about ten months after the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *J Environ Radioact* 140: 114-122 (2015).
- K17 Kusaba, S., K. Matsuoka, K. Abe et al. Changes in radiocesium concentration in a blueberry (*Vaccinium virgatum*Aiton) orchard resulting from radioactive fallout. *Soil Sci Plant Nutr* 61(1): 169-173 (2015).
- K18 Kusaba, S., K. Matsuoka, T. Saito et al. Changes in radiocesium concentration in a Japanese chestnut (*Castanea crenata*Sieold & Zucc.) orchard following radioactive fallout. *Soil Sci Plant Nutr* 61(1): 165-168 (2015).
- K19 Kusakabe, M., S. Oikawa, H. Takata et al. Spatiotemporal distributions of Fukushima-derived radionuclides in nearby marine surface sediments. *Biogeosciences* 10(7): 5019-5030 (2013).
- L1 Leadbetter, S.J., M.C. Hort, A.R. Jones et al. Sensitivity of the modelled deposition of Caesium-137 from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant to the wet deposition parameterisation in NAME. *J Environ Radioact* 139: 200-211 (2015).
- L2 Lebel, L.S., R.S. Dickson and G.A. Glowa. Radioiodine in the atmosphere after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident. *J Environ Radioact* 151 Pt 1: 82-93 (2016).
- L3 Lepage, H., O. Evrard, Y. Onda et al. Depth distribution of cesium-137 in paddy fields across the Fukushima pollution plume in 2013. *J Environ Radioact* 147: 157-164 (2015).
- M1 Mahara, Y., T. Ohta, H. Ogawa et al. Atmospheric direct uptake and long-term fate of radiocesium in trees after the Fukushima nuclear accident. *Sci Rep* 4: 7121 (2014).
- M2 Martin, P.G., O.D. Payton, J.S. Fardoulis et al. Low altitude unmanned aerial vehicle for characterising remediation effectiveness following the FDNPP accident. *J Environ Radioact* 151 Pt 1: 58-63 (2016).
- M3 Matsuda, K., K. Takagi, A. Tomiya et al. Comparison of radioactive cesium contamination of lake water, bottom sediment, plankton, and freshwater fish among lakes of Fukushima Prefecture, Japan after the Fukushima fallout. *Fish Sci* 81(4): 737-747 (2015).
- M4 Matsuda, N., K. Yoshida, K. Nakashima et al. Initial activities of a radiation emergency medical assistance team to Fukushima from Nagasaki. *Radiat Meas* 55: 22-25 (2013).
- M5 Matsuda, N., S. Mikami, S. Shimoura et al. Depth profiles of radioactive cesium in soil using a scraper plate over a wide area surrounding the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, Japan. *J Environ Radioact* 139: 427-434 (2015).
- M6 Matsui, S., S. Kasahara, G. Morimoto et al. Radioactive contamination of nest materials of the Eurasian Tree Sparrow *Passer montanus* due to the Fukushima nuclear accident: The significance in the first year. *Environ Pollut* 206: 159-162 (2015).
- M7 Matsushima, N., S. Ihara, M. Takase et al. Assessment of radiocesium contamination in frogs 18 months after the Fukushima Daiichi nuclear disaster. *Sci Rep* 5: 9712 (2015).
- M8 Men, W., J. He, F. Wang et al. Radioactive status of seawater in the northwest Pacific more than one year after the Fukushima nuclear accident. *Sci Rep* 5: 7757 (2015).
- M9 Mikami, S., T. Maeyama, Y. Hoshide et al. The air dose rate around the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant: its spatial characteristics and temporal changes until December 2012. *J Environ Radioact* 139: 250-259 (2015).
- M10 Misumi, K., D. Tsumune, T. Tsubono et al. Factors controlling the spatiotemporal variation of  $^{137}\text{Cs}$  in seabed sediment off the Fukushima coast: implications from numerical simulations. *J Environ Radioact* 136: 218-228 (2014).
- M11 Mitsutake, N., T. Fukushima, M. Matsuse et al. BRAF(V600E) mutation is highly prevalent in thyroid carcinomas in the

- young population in Fukushima: a different oncogenic profile from Chernobyl. *Sci Rep* 5: 16976 (2015).
- M12 Møller, A.P., A. Hagiwara, S. Matsui et al. Abundance of birds in Fukushima as judged from Chernobyl. *Environ Pollut* 164: 36-39 (2012).
- M13 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).
- M14 Møller, A.P., T.A. Mousseau, I. Nishiumi et al. Ecological differences in response of bird species to radioactivity from Chernobyl and Fukushima. *J Ornithol* 156(S1): 287-296 (2015).
- M15 Møller, A.P., I. Nishiumi and T.A. Mousseau. Cumulative effects of radioactivity from Fukushima on the abundance and biodiversity of birds. *J Ornithol* 156(S1): 297-305 (2015).
- M16 Muramatsu, Y., H. Matsuzaki, C. Toyama et al. Analysis of  $^{129}\text{I}$  in the soils of Fukushima Prefecture: preliminary reconstruction of  $^{131}\text{I}$  deposition related to the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP). *J Environ Radioact* 139: 344-350 (2015).
- M17 Murase, K., J. Murase, R. Horie et al. Effects of the Fukushima Daiichi nuclear accident on goshawk reproduction. *Sci Rep* 5: 9405 (2015).
- N1 Nabeshi, H., T. Tsutsumi, Y. Uekusa et al. Surveillance of strontium-90 in foods after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident. *Shokuhin Eiseigaku Zasshi* 56(4): 133-143 (2015).
- N2 Nagataki, S. and N. Takamura. A review of the Fukushima nuclear reactor accident: radiation effects on the thyroid and strategies for prevention. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes* 21(5): 384-393 (2014).
- N3 Naito, W., M. Uesaka, C. Yamada et al. Evaluation of dose from external irradiation for individuals living in areas affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident. *Radiat Prot Dosim* 163(3): 353-361 (2015).
- N4 Nakai, W., N. Okada, S. Ohashi et al. Evaluation of  $^{137}\text{Cs}$  accumulation by mushrooms and trees based on the aggregated transfer factor. *J Radioanal Nucl Chem* 303(3): 2379-2389 (2015).
- N5 Nakao, A., A. Takeda, S. Ogasawara et al. Relationships between paddy soil radiocesium interception potentials and physicochemical properties in Fukushima, Japan. *J Environ Qual* 44(3): 780-788 (2015).
- N6 Nomura, S., M. Tsubokura, T. Furutani et al. Dependence of radiation dose on the behavioral patterns among school children: a retrospective analysis 18 to 20 months following the 2011 Fukushima nuclear incident in Japan. *J Radiat Res* 57(1): 1-8 (2016).
- O1 Ochiai, K., S. Hayama, S. Nakiri et al. Low blood cell counts in wild Japanese monkeys after the Fukushima Daiichi nuclear disaster. *Sci Rep* 4: 5793 (2014).
- O2 Ohse, K., K. Kitayama, S. Suenaga et al. Concentration of radiocesium in rice, vegetables, and fruits cultivated in the evacuation area in Okuma Town, Fukushima. *J Radioanal Nucl Chem* 303(2): 1533-1537 (2015).
- O3 Ohto, H., M. Maeda, H. Yabe et al. Suicide rates in the aftermath of the 2011 earthquake in Japan. *Lancet* 385(9979): 1727 (2015).
- O4 Ohtsuru, A., K. Tanigawa, A. Kumagai et al. Nuclear disasters and health: lessons learned, challenges, and proposals. *Lancet* 386(9992): 489-497 (2015).
- O5 Orita, M., N. Hayashida, H. Nukui et al. Internal radiation exposure dose in Iwaki city, Fukushima prefecture after the accident at Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. *PLoS One* 9(12): e114407 (2014).
- O6 Otosaka, S. and Y. Kato. Radiocesium derived from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident in seabed sediments: initial deposition and inventories. *Environ Sci Process Impacts* 16(5): 978-990 (2014).
- O7 Oura, Y., M. Ebihara, H. Tsuruta et al. A database of hourly atmospheric concentrations of radiocesium ( $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$ ) in suspended particulate matter collected in March 2011 at 99 air pollution monitoring stations in eastern Japan. *J Nucl Radiochem Sci* 15: 2 (2015).
- S1 Saito, K., T. Shimbori and R. Draxler. JMA's regional atmospheric transport model calculations for the WMO technical task team on meteorological analyses for Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *J Environ Radioact* 139: 185-199 (2015).
- S2 Saito, K., I. Tanihata, M. Fujiwara et al. Detailed deposition density maps constructed by large-scale soil sampling for gamma-ray emitting radioactive nuclides from the Fukushima Dai-ichi Nuclear

- Power Plant accident. *J Environ Radioact* 139: 308-319 (2015).
- S3 Saito, T., K. Takahashi, T. Makino et al. Effect of application timing of potassium fertilizer on root uptake of  $^{137}\text{Cs}$  in brown rice. *J Radioanal Nucl Chem* 303(2): 1585-1587 (2015).
- S4 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).
- S5 Sato, M., D. Takata, K. Tanoi et al. Radiocesium transfer into the fruit of deciduous fruit trees contaminated during dormancy. *Soil Sci Plant Nutr* 61(1): 156-164 (2015).
- S6 Satoh, D., T. Furuta, F. Takahashi et al. Age-dependent dose conversion coefficients for external exposure to radioactive cesium in soil. *J Nucl Sci Technol* 53(1): 69-81 (2015).
- S7 Selmansberger, M., J.C. Kaiser, J. Hess et al. Dose-dependent expression of CLIP2 in post-Chernobyl papillary thyroid carcinomas. *Carcinogenesis* 36(7): 748-756 (2015).
- S8 Smith, J.N., R.M. Brown, W.J. Williams et al. Arrival of the Fukushima radioactivity plume in North American continental waters. *Proc Natl Acad Sci USA* 112(5): 1310-1315 (2015).
- S9 Sohtome, T., T. Wada, T. Mizuno et al. Radiological impact of TEPCO's Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident on invertebrates in the coastal benthic food web. *J Environ Radioact* 138: 106-115 (2014).
- S10 Steinhäuser, 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).
- S11 Sunaga, Y., H. Harada and T. Kawachi. Weathering half-life of radioactive cesium for winter rye (*Secale cereale*L.) and Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*Lam.) directly contaminated by the 2011 Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. *Soil Sci Plant Nutr* 61(2): 200-211 (2015).
- S12 Suseno, H., I.B. Wahono and Muslim. Radiocesium monitoring in Indonesian waters of the Indian Ocean after the Fukushima nuclear accident. *Mar Pollut Bull* 97(1-2): 539-543 (2015).
- S13 Suzuki, Y. Influences of radiation on carp from farm ponds in Fukushima. *J Radiat Res* 56 Suppl 1: i19-i23 (2015).
- T1 Tagami, K. and S. Uchida. Effective half-lives of  $^{137}\text{Cs}$  in giant butterbur and field horsetail, and the distribution differences of potassium and  $^{137}\text{Cs}$  in aboveground tissue parts. *J Environ Radioact* 141: 138-145 (2015).
- T2 Tagami, K. and S. Uchida. Effective half-lives of  $^{137}\text{Cs}$  from persimmon tree tissue parts in Japan after Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J Environ Radioact* 141: 8-13 (2015).
- T3 Taira, W., C. Nohara, A. Hiyama et al. Fukushima's biological impacts: the case of the pale grass blue butterfly. *J Hered* 105(5): 710-722 (2014).
- T4 Taira, W., M. Iwasaki and J.M. Otaki. Body size distributions of the pale grass blue butterfly in Japan: Size rules and the status of the Fukushima population. *Sci Rep* 5: 12351 (2015).
- T5 Takahashi, H., T. Ohira, S. Yasumura et al. Re: Thyroid cancer among young people in Fukushima. *Epidemiology* 27(3): e21 (2016).
- T6 Takamura, N. Re: Thyroid cancer among young people in Fukushima. *Epidemiology* 27(3): e18 (2016).
- T7 Takata, H., K. Hasegawa, S. Oikawa et al. Remobilization of radiocesium on riverine particles in seawater: The contribution of desorption to the export flux to the marine environment. *Mar Chem* 176: 51-63 (2015).
- T8 Takata, H., M. Kusakabe and S. Oikawa. Radiocesiums ( $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) in zooplankton in the waters of Miyagi, Fukushima and Ibaraki Prefectures. *J Radioanal Nucl Chem* 303(2): 1265-1271 (2015).
- T9 Tanoi, K., K. Uchida, C. Doi et al. Investigation of radiocesium distribution in organs of wild boar grown in Iitate, Fukushima after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *J Radioanal Nucl Chem* 307(1): 741-746 (2016).
- T10 Tateda, Y., D. Tsumune and T. Tsubono. Simulation of radioactive cesium transfer in the southern Fukushima coastal biota using a dynamic food chain transfer model. *J Environ Radioact* 124: 1-12 (2013).
- T11 Tateda, Y., D. Tsumune, T. Tsubono et al. Radiocesium biokinetics in olive flounder inhabiting the Fukushima accident-affected Pacific coastal waters of eastern Japan. *J Environ Radioact* 147: 130-141 (2015).
- T12 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).
- T13 Tsuboi, J., S. Abe, K. Fujimoto et al. Exposure of a herbivorous fish to  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  from the riverbed following the Fukushima disaster. *J Environ Radioact* 141: 32-37 (2015).
- T14 Tsubokura, M., S. Kato, T. Morita et al. Assessment of the annual additional effective doses amongst Minamisoma children during the second year after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant disaster. *PLoS One* 10(6): e0129114 (2015).
- T15 Tsubokura, M., S. Kato, S. Nomura et al. Absence of internal radiation contamination by radioactive cesium among children affected by the Fukushima Daiichi nuclear power plant disaster. *Health Phys* 108(1): 39-43 (2015).
- T16 Tsuda, T., A. Tokinobu, E. Yamamoto et al. Response to the Commentary by Professor Davis and the Seven Letters. - a well-known fact should be disseminated to remedy the problems. *Epidemiology* 27(3): e21-23 (2016).
- T17 Tsuda, T., A. Tokinobu, E. Yamamoto et al. Thyroid cancer detection by ultrasound among residents ages 18 years and younger in Fukushima, Japan: 2011 to 2014. *Epidemiology* 27(3): 316-322 (2016).
- T18 Tsumune, D., T. Tsubono, M. Aoyama et al. Distribution of oceanic  $^{137}\text{Cs}$  from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model. *J Environ Radioact* 111: 100-108 (2012).
- U1 Uematsu, S., E. Smolders, L. Sweeck et al. Predicting radiocaesium sorption characteristics with soil chemical properties for Japanese soils. *Sci Total Environ* 524-525: 148-156 (2015).
- U2 UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Volume II: Effects. Scientific Annexes C, D and E. UNSCEAR 2008 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations sales publication E.11.IX.3. United Nations, New York, 2011.
- U3 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.
- 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. 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.
- W1 Wada, T., Y. Nemoto, S. Shimamura et al. Effects of the nuclear disaster on marine products in Fukushima. *J Environ Radioact* 124: 246-254 (2013).
- W2 Wakeford, R., A. Auvinen, R.N. Gent et al. Re: Thyroid cancer among young people in Fukushima. *Epidemiology* 27(3): e20-21 (2016).
- W3 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).
- W4 WHO. Health risk assessment from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and tsunami, based on a preliminary dose estimation. World Health Organization, Geneva, 2013.
- W5 Wickramasooriya, P.L., V.A. Waduge, T.N. Attanayake et al. Radioactive caesium evidence for the absence of contamination of Sri Lanka sea water by the Fukushima accident. *Environ Chem Lett* 13(4): 487-493 (2015).
- W6 Williams, D. Thyroid growth and cancer. *Eur Thyroid J* 4(3): 164-173 (2015).
- Y1 Yajima, K., O. Kurihara, Y. Ohmachi et al. Estimating annual individual doses for evacuees returning home to areas affected by the Fukushima nuclear accident. *Health Phys* 109(2): 122-133 (2015).
- Y2 Yamamoto, K., K. Tagami, S. Uchida et al. Model estimation of  $^{137}\text{Cs}$  concentration change with time in seawater and sediment around the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant site considering fast and slow reactions in the seawater-sediment systems. *J Radioanal Nucl Chem* 304(2): 867-881 (2015).

- Y3 Yamamoto, S., T. Yokoduka, K. Fujimoto et al. Radiocaesium concentrations in the muscle and eggs of salmonids from Lake Chuzenji, Japan, after the Fukushima fallout. *J Fish Biol* 84(5): 1607-1613 (2014).
- Y4 Yamashita, J., T. Enomoto, M. Yamada et al. Estimation of soil-to-plant transfer factors of radiocesium in 99 wild plant species grown in arable lands 1 year after the Fukushima 1 Nuclear Power Plant accident. *J Plant Res* 127(1): 11-22 (2014).
- Y5 Yang, B., Y. Ha and J. Jin. Assessment of radiological risk for marine biota and human consumers of seafood in the coast of Qingdao, China. *Chemosphere* 135: 363-369 (2015).
- Y6 Yasui, S. Fact-finding survey in response to the manipulation of personal alarm dosimeter collection efficiency: lessons learned about post-emergency radiation protection from the TEPCO Fukushima Daiichi APP accident. *J Occup Environ Hyg* 12(6): D96-102 (2015).
- Y7 Yoshida-Ohuchi, H., M. Hosoda, T. Kanagami et al. Reduction factors for wooden houses due to external gamma-radiation based on in situ measurements after the Fukushima nuclear accident. *Sci Rep* 4: 7541 (2014).
- Y8 Yoshimura, M. and A. Akama. Radioactive contamination of aquatic insects in a stream impacted by the Fukushima nuclear power plant accident. *Hydrobiologia* 722(1): 19-30 (2014).
- Y9 Yoshioka, A., Y. Mishima and K. Fukasawa. Pollinators and Other Flying Insects inside and outside the Fukushima Evacuation Zone. *PLoS One* 10(11): e0140957 (2015).
- Y10 Yu, W., J. He, W. Lin et al. Distribution and risk assessment of radionuclides released by Fukushima nuclear accident at the northwest Pacific. *J Environ Radioact* 142: 54-61 (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なく、それら決定のための情報を提供することである。