解説シリーズ

UNSCEAR2013 レポートの概要

第3回 福島報告：ヒト及びヒト以外の生物種への影響

放射線医学総合研究所 酒井 一夫, 栗原 治

東京電力福島第一原子力発電所事故に関する UNSCEAR2013 レポート¹⁾では、放射性核種の放出・拡散・沈着および線量の評価に引き続き、第Ⅵ章でヒト(公衆および作業員)に対する影響を取り上げている。また、第Ⅶ章では、ヒト以外の生物種について線量と影響が評価されている。本稿では、これらに加え、福島事故の長期的な影響を理解するために取り組むべき課題の提言(第Ⅷ章)を合わせて紹介する。

I. はじめに

ヒトへの影響については、まず報告書取りまとめの時点ですでに観察されていた影響について述べている。次いで、将来にわたって予想される健康影響を取り上げている。将来にわたる健康影響の検討にあたっては、本報告書において評価された線量(報告書第Ⅳ章および第Ⅴ章。本解説シリーズ第2回参照)に基づき、線量と影響の関係に関するリスクモデルを用いて推定している。また、今後の健康状況のフォローアップ体制についても触れている。

ヒト以外の生物種については、放射性核種の沈着に係るデータ(報告書第Ⅲ章。本解説シリーズ第1回参照)に基づいて線量の評価を行ったうえで、これまでに蓄積されている線量と影響との関係に照らした検討をしている。

II. 一般公衆への影響

1. 健康影響の現状

一般公衆においては、放射線被ばくを原因として生じる急性の健康影響は見られていない。このことは、一般公衆の被ばくが、被ばく後、早期に現れるような健康影響が生じる線量(しきい線量)を大きく下回っていると本報告書の評価と一致する。

2013年7月末までに福島県に居住する約17万5,000人の小児が高感度の新型超音波機器を使った甲状腺検査

を受けた²⁾。調査対象者の約40%において甲状腺嚢胞(液体がたまった袋状の構造)が見つかり、約1%で甲状腺結節(しこり。嚢胞の内部が液体ではなく、中身が詰まったもの。)が見つかった。類似の高性能の機器を使用し、約4,000人の小児及び青年期の人を対象とした調査が、事故の影響をほとんど受けていない長崎、青森、山梨でも行われ³⁾、観察された甲状腺嚢胞及び結節の発生率は福島県で観察された発生率よりも高かった。これは、当該調査での嚢胞と結節の高い発見率は、検査が集中的で、使用機器の感度が高いことが原因であり、事故によって付加された放射線被ばくによるものでないことを示唆している。

また、精神的な健康の問題と平穏な生活が破壊されたことが、事故後に観察された主要な健康影響を引き起こした。これは、地震、津波、原発事故の多大な影響、及び放射線被ばくに対する恐怖や屈辱感への当然の反応の結果であった。公衆においては、うつ症状や心的外傷後ストレス障害などの心理的な影響が観察されており、健康に深刻な影響を及ぼす可能性がある。

さらに、本報告書の検討対象外ではあるが、放射線とは関係のない健康への影響も見られた。たとえば、50人以上の入院患者が、低体温症や脱水症状、基本的な医療上の問題の悪化により、避難中又は避難直後に死亡したと報告されている⁴⁾。多くの人は地震、津波、原発事故を原因とする困難な状況に苦しみ、さまざまな危険にさらされることにより、身体の疾患症状が強まった可能性がある。

2. 将来の健康リスクの推定

UNSCEARでは、日本の一般住民における固形がんの生涯ベースラインリスク(放射線を受けない場合のリスク)は約35%であり、全身吸収線量100 mGyを急性

Outline of UNSCEAR 2013 Report (3): Health implications on humans and assessment of dose and effects on non-human biota: Kazuo SAKAI, Osamu KURIHARA.

(2014年9月1日受理)

■前回のタイトル

第2回 福島報告：公衆及び作業員の線量評価

被ばくした場合には、生涯リスクが約 1.3% 高まると推定している⁵⁾。事故後、1 年の間に成人避難者が受けた平均実効線量と、避難区域外で最も影響を受けた地域の成人の平均生涯実効線量は、いずれも最大で約 10 mSv と推定された。このような低い線量でのがんや遺伝性疾患のリスクは、リスクが線量と直線的に比例するというモデルを適用すれば、計算することはできるが、その値はベースラインの統計的ばらつきに比べると小さいとしている。小児において線量の推定値が高いことを考えても、被ばく集団での全固形がんの発生率は、ベースラインリスクに比べて識別できる (discernible) ほど上昇するとは考えられない。

放射線によりがんが発生しやすい臓器および感受性の高い年齢層についての個別のリスク推定は次の通り。

(1) 甲状腺がん

事故後、1 年間の成人の平均甲状腺吸収線量は数十 mGy の範囲内であり、甲状腺がんのリスクは低いと考えられる。

日本の 10 歳の小児と 1 歳の乳児で生涯の間に甲状腺がんが発症するベースラインリスクは、約 200 人に 1 人だが⁶⁾、非常に感度の高い超音波検査では発見率が数倍上昇することがある。UNSCEAR では事前に、10 歳で被ばくし、その甲状腺吸収線量が 200 mGy と仮定した場合、リスクはほぼ倍増すると推定した⁵⁾。

事故による被ばくについては、避難した 1 歳児の平均甲状腺吸収線量は最大で約 80 mGy、避難区域外の乳幼児については最大で約 50 mGy と推定した。甲状腺吸収線量のほとんどは、疫学的な研究で甲状腺がんの過剰な発生率が観察されない範囲内だった。ただし、線量が推定の幅の上限に近い場合には、線量とリスクの間に直線的な関係を仮定し、かつ集団が大きければ、甲状腺がんの発生率が識別できるほど上昇する可能性はある。実際には、線量分布に関する情報が不十分であり、比較的高い甲状腺線量を受けた幼児および小児について識別可能な程度に甲状腺がんの発生率が上昇する可能性について確固たる結論を導くことはできないが、線量が大幅に低いため、チェルノブイリ原発事故後に観察されたような多数の甲状腺がんの発生を考慮する必要はない。

(2) 白血病

日本における白血病の生涯発生率のベースラインは約 200 人に 1 人 (0.5%) であり、小児白血病については約 1,500 人に 1 人 (0.07%) である⁷⁾。UNSCEAR は事前に、日本の一般公衆について放射線照射による白血病のリスクを評価しており⁵⁾、1 Gy の赤色骨髄吸収線量を受けた 0～9 歳の小児の被ばくによる生涯リスクは、0.11% から 0.85% の範囲になると推定している。福島事故では、避難した乳幼児と避難区域外の乳幼児のいずれの場合も、事故後 1 年の間の赤色骨髄吸収線量が最大で約 10 mGy と推定されており、線量や被ばくした集団が小

さいことを考慮すれば、小児白血病の増加が識別できるとは予想されない。

(3) 乳がん

日本人女性における乳がんの生涯ベースラインリスクは約 5.5% である⁶⁾。放射線によるリスクの増加は、100 mGy あたり 0.3% とされている⁵⁾。避難前および避難中の女性の平均乳房吸収線量は 10 mGy 未満と推定されており、放射線による乳がん発生率の上昇が識別可能レベルに達するとは予測されない。

(4) 出生前被ばくの影響

福島事故による出生前被ばくが原因で、流産、周産期死亡率、先天的な影響又は認知障害の発生率が上昇するとは考えにくい。小児白血病などの小児がんの発生率の識別可能な上昇につながるとは予測されない。

3. 福島県民健康管理調査

福島県民健康管理調査⁸⁾は、「県民の被ばく線量の評価を行うとともに、県民の健康状態を把握し、疾病の予防、早期発見、早期治療につなげる」ために開始された。この中には、事故発生時の福島県の住民 200 万人全員の外部放射線被ばくを推定するための調査のほか、小児の甲状腺超音波検査、精神健康生活習慣調査、妊娠・出産調査などが含まれている。この調査は、30 年間継続するよう計画されている。

甲状腺超音波検査は、2011 年 3 月 11 日に 18 歳以下であった福島県民全員 (約 36 万人) を対象として実施されている。第 1 回目の検査は 3 年で (2014 年 3 月までに) 完了し、対象者が 20 歳になるまでは 2 年ごとに、その後は 5 年ごとに検査を受ける。

福島県での継続的な超音波検査では比較的多くの甲状腺異常 (がんを含む) が発見されると見られるが、これは通常、このように集中的な検診がなければ検出されないものと考えられる⁶⁾。甲状腺がんは、臨床的な疾患のない対象者でも検死解剖で見つかることがよくあり、当該調査でも、このようながんが見つかる可能性が高い。事故の影響を受けていない地域における集団の甲状腺がん発生率の調査は、そのような集中的な検診の影響を推定するのに有用な情報を提供することとなる。

III. 緊急時作業員への影響

1. 健康影響の現状

緊急時作業に従事した作業員について、放射線被ばくが原因で生じた可能性のある急性の健康影響 (急性放射線症や他の確定的影響) や死亡は確認されていない。

元請業者の作業員 3 人が 2011 年 3 月、足と下肢の皮膚がタービン建屋の放射能汚染水に曝露された後に入院した。線量は皮膚に何らかの傷害を起こすとされるしきい線量を大きく下回っていたことが確認されており、当該作業員は 4 日後に退院した。長期的にも大きな影響が

生じるとは考えられない。

放射性ヨウ素の甲状腺への取り込みを予防するため、緊急時作業に従事していた約 2,000 人の作業者に約 1 万 7500 錠のヨウ化カリウムが投与された⁹⁾。14 日を超えて長期にわたってヨウ化カリウム錠を繰り返し摂取した作業員および 20 錠を超えて大量に摂取した作業員約 230 人が健康診断を受けたが副作用の報告はなかった。

当初の観察では、緊急時作業に携わった福島第一原発作業員の間で重篤な心理的影響が認められた¹⁰⁾。このような影響は、地震、津波、非常に過酷な作業環境、家族の死亡、家族との別離、緊急時作業中の困難な住環境、将来における放射線の影響の可能性に対する懸念、放射線作業員であることに関連した差別と屈辱感の影響による苦痛と不安など、数多くの原因が考えられる。

2. 将来の健康リスクの推定

(1) 確定的影響のリスク

13 人の作業員が¹³¹I の吸入により 2～12 Gy の範囲で甲状腺吸収線量を受けたと見られている(平均線量約 5 Gy)。線量推定に伴う不確かさと人数を考慮すれば、被ばく線量の高い作業員での甲状腺機能低下症の可能性を排除できないが、その可能性は低い。被ばく量の最も高い作業員でも放射線被ばくによる心血管疾患のリスクは非常に低い。また、作業員の眼水晶体のベータ線の被ばくに関する情報は不十分であり、白内障のリスクについては評価できない。

(2) 発がんのリスク

ほとんどの作業員では(2012 年 10 月 31 日現在、2 万 4,832 人の 99.3%)、実効線量は低く(100 mSv 未満)、平均して約 10 mSv であった。推定値に伴う不確かさを考慮に入れても、大多数の作業員の線量は、疫学的にがんのリスクが上昇すると実証されている線量を下回っている。直線的なリスクモデルを適用すれば、このような線量でもリスクの増加が示唆されるが、その程度は小さく、このグループの作業員で、放射線被ばくを原因とする健康影響が識別可能なほど大きくなるとは予測されない。

2012 年 10 月 31 日現在、作業員のうち約 0.7% に相当する 173 人が 100 mSv 以上の実効線量を受けた(平均線量は約 140 mSv)。このグループでは、がんのリスクが少し高まると予測される。この被ばく作業員集団の場合、ベースラインリスクが約 40% であることから、自然発症的に生じるがんが約 70 症例あることになる。それに対して被ばくによるがんの発症は約 2～3 症例増すと推定される。ただし、このような予測には大きな不確かさが含まれる。がん発生率や他のリスク要因などに関する疫学的不確かさを考慮すれば、被ばくによるがんの発生率上昇が識別できるようになるとは予想されない。ただし、甲状腺がんと白血病に関しては注意を払う必要

がある。

(3) 甲状腺がん及び白血病

約 2,000 人の作業員が 100 mGy を超える甲状腺吸収線量を受けた。しかしながら、推定されるリスクの規模では、この作業員グループ内での甲状腺がんの発生率上昇を識別できる可能性は低い(放射線被ばくによる発生率の上昇は、ベースライン発生率に伴う統計的ばらつきに比べて小さい)。

甲状腺がんのリスクは、2～12 Gy の範囲で甲状腺吸収線量を受けた 13 人の作業員グループでは特に高いが、かかる線量で被ばくした作業員の人数が少なすぎるため、甲状腺がんの発生率上昇を識別できない。白血病リスクに関わる赤色骨髄吸収線量は、これらの作業員で最大 100 mGy になると推定されたが、当該作業員の数が少ないため、白血病の発生率上昇を識別できるとは予測されない。

3. 長期健康管理

厚生労働省は 2011 年 8 月、「東電福島第一原発作業員の長期健康管理に関する検討結果」を発表した¹¹⁾。福島第一原発サイトでの緊急時及び復旧時の管理に従事した作業員の被ばく・健康記録を含むデータベースが構築され、被ばくレベルが最も高い作業員に対しては、年次眼検査(水晶体混濁)と甲状腺、胃、大腸そして肺におけるがんに関するモニタリングを含む特別な健康診断が実施される。超音波検査によって必然的に甲状腺がんの発見率の上昇が見込まれるが、検出される症例のほとんどは、放射線被ばくとは関係なく生じたものと予測される。

IV. ヒト以外の生物種への影響

ヒト以外の生物種への影響について、UNSCEAR ではすでに、1996 年及び 2008 年に取りまとめを行い、100 μ Gy/h 未満の慢性的な線量率は、ほとんどの陸生生物群集の個体群に重大な影響を及ぼす可能性は低く、400 μ Gy/h 未満の線量率は水生生物群集レベルでは有害な影響を及ぼす可能性が低いとしている¹²⁾。

1. 陸生生物種への線量と影響

2011 年 6 月に測定された動物体内の放射性核種濃度から、陸生哺乳類と鳥類は¹³⁷Cs が沈着した地域で 1.2～2.2 μ Gy/h の線量率で被ばくしたと推定された。この線量は、環境内で自然に存在する放射性核種からの線量率に比べて約 1 桁大きい。事故後 2 ヶ月未満の時点では、大熊町など沈着密度の高い地域の土壌生物で 300 μ Gy/h の線量率が推定された。極めて短い半減期の放射性核種¹³²Te 及び¹³²I が含まれているため、短期間(数時間から数日)に一部の生物で線量率が最大で 1 mGy/h (1,000 μ Gy/h) に達したことが示唆される。これらの線

量は、100 $\mu\text{Gy/h}$ という基準レベルより1桁高いものの、被ばくは一過性であり、観察できるほどの影響を集団に及ぼす可能性は低い。

事故後、沈着密度の比較的高い地域で特定の種（特に哺乳類）の個体への潜在的な影響のリスクがあった可能性はあるが、陸生生物相の個体群集団への観察可能な影響が出た可能性は低い。

放射性核種の放出の影響を受けた地域における調査で鳥類の個体数減少¹³⁾やチョウの形態学的、遺伝的異常¹⁴⁾などが報告されている。これらの報告では、被ばくと影響の関係が明確にされておらず、津波の影響による可能性も視野に入れた今後の検証が必要である。

2. 水圏生物種への影響

淡水魚で計算された線量率は、自然のバックグラウンドレベルを1桁以上回ることもあるが、慢性的な被ばくの影響に関する基準レベルには達しなかった。

生物試料を入手できる海岸地域では、2011年5月10日から2012年8月12日までの期間の線量率は基準レベルに比べて低かった。あらゆる生物群に対してまとめられた線量率は、0.10～0.25 $\mu\text{Gy/h}$ の範囲にあり、海洋環境のバックグラウンド線量率と同程度であった。

最も高い線量率は、福島第一原発サイトに近い北側排水口の付近において、2011年5月10日より前の時点で、生じていたことが、海水中の推定濃度から計算された。魚類では、最大推定線量率（約140 $\mu\text{Gy/h}$ ）が事故後1ヶ月目に生じ、1年間にわたる積算線量は約0.32 Gyであった。主要な核種が¹³¹Iであったため、同じ場所の大型藻類で計算された線量率は事故後23日で最大値（20 mGy/h 超）に達したが、その後、急速に減少した。1年間にわたる大型藻類の積算線量は約7 Gyであった。計算されたこの線量は、放出地点に非常に近い場所における大型藻類の一過性の被ばくを除けば、個体群への観察可能な影響が予測されるレベルを大きく下回っていた。

2012年8月現在、海水魚では、販売と消費にかかる日本の基準値（100 Bq/kg、新鮮重量）を上回る放射性核種濃度レベルの個体がまだ見つかった。このようなレベルは公衆の放射線防護に関わるものではあるが、海水魚群集に影響を与えるレベルではない。

3. ヒト以外の生物種への影響のまとめ

以上のような評価を踏まえれば、陸圏及び水圏（海洋及び淡水）環境の双方について、ヒト以外の生物種への影響の可能性は限定的である、と結論できる。ただし、放射性核種の海洋環境への放出が2013年12月末の時点で継続していることに鑑み、今後も被ばくの推移について調査を継続する必要がある。

V. 今後の課題

報告書では、(1) 今後数十年にわたり、さまざまな情報が蓄積されるであろうこと、(2) 原発サイト内の作業者の集団実効線量が増加していること、(3) 放射能汚染水が原発サイト内で引き続き漏えいしていることなどを認識した上で、今後継続して取り組むべき科学的課題を挙げている。

- (a) 事故の進展や放出中の気象条件に関する理解と、大気輸送、拡散及び沈着のパターンを再構築するためのモデル計算に基づき、放射性核種の大気中への放出量とその特性の時間的変化の推定を改善すること。
- (b) 放射能汚染水の漏えいと水域環境（地下水及び最終的には太平洋を含む）への放出に関し、測定を継続して特性評価を改善するとともに、放出された放射性核種の長期的な輸送と混合、水圏の経路からもたらされる被ばくを予測して定量化すること。
- (c) 降下物からの外部被ばくによる線量の測定を継続し、時間の経過に伴う変化を予測し追跡して、環境修復対策の影響も定量化して反映させること。
- (d) 確率的なアプローチ、利用可能なあらゆるデータ、適切なモデルを活用し、公衆が受けた線量の分布の特徴を個人間のばらつきや不確かさを含めて、よりよく把握すること。
- (e) 人々の体内の放射性核種の測定をさらにを行い、線量の推定値と分布の精度を向上させ、現在及び将来の被ばくレベルを推定すること。
- (f) 現行進められている手順に従い、福島県での健康調査及び小児の継続的な超音波検査を続けること。福島県で検出された甲状腺がんの発生率について当該検査手法を採用したことによる影響を解析し定量化すること（この点に関しては、事故の影響を受けていない地域での甲状腺がん発生率の調査が有用である）。また、疫学的な調査研究のために、個人線量が適切に評価できている調査対象集団の設定を検討すること。
- (g) 事故早期の各作業者の作業履歴、放射性核種の時間変動レベル（短半減期放射性核種を含む）、作業・休憩場所での周辺線量当量率、個人線量計の共有に基づく線量推定の信頼性、各作業者による防護対策を考慮に入れながら、報告された作業者の線量における不確かさを定量化する。原発サイト内の軽減活動に従事した作業者の水晶体吸収線量（及び関連する不確実性）を推定し、白内障のリスクを評価するとともに、元請業者から報告されている実効線量推定の質を確認するため、さらなる調査を行うこと。

- (h) 将来のさらなる解析に備え、被ばくしていない作業者と実効線量が100 mSvを超えた作業者についての組織バンクの設立を検討すること。
- (i) ヒト以外の生物種につき典型的な環境からの被ばくを測定評価すること。本報告書の評価と一致しない報告事例について、放射線被ばくが原因であったか否かをさらに解析すること。

VI. おわりに

ヒトに関しては、福島原発事故由来の放射線による健康影響は見られておらず、将来にわたっても認識可能なほどの健康リスクは生じるとは考えにくい、というのが本報告の結論である。一方で、放射線とは関連しない影響や心理的な影響についての言及は見逃せない。今後事故の影響に関する分析を進めるにあたり、事故由来の「放射線による影響」と「事故そのものによる影響」とを区別して取り扱うことの重要性が示唆されている。

事故後3年半以上が経過した。今般の事故について最終的な評価に至るまでの長い道のりを考えると、いまだ3年半ということもできよう。この時点で入手可能な情報に基づいてさまざまな側面について記載し、追求すべき科学的課題を提言した本報告書は、今後の長期にわたるフォローアップの貴重な道しるべとなるに違いない。

－ 参考資料 －

- 1) UNSCEAR: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly with Scientific Annexes Volume I Scientific Annex A, United Nations, New York (2014).
- 2) Fukushima Medical University. Results of thyroid ultrasound examination (as of March 2013). Proceedings of the 11th Prefectural Oversight Committee Meeting for Fukushima Health Management Survey. Department of International Cooperation, Radiation Medical Science Center. [Internet] Available from (http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/results/media/11-2_Thyroid.pdf) on 4 June 2013.
- 3) N.Taniguchi, N.Hayashida, H.Shimura, et al., Ultrasonographic thyroid nodular findings in Japanese children, J. Med. Ultrasonics, 40 (3), 219-224 (2013).
- 4) K.Tanigawa, Y. Hosoi, N. Hirohashi, et al., Loss of life after evacuation: lessons learned from the Fukushima accident. Lancet 379 (9819), 889-891 (2012).
- 5) UNSCEAR. Effects of Ionizing Radiation. Volume I: Report to the General Assembly, Scientific Annexes A and B. UNSCEAR 2006 Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations sales publication E.08.IX.6. United Nations, New York, 2008.
- 6) 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.
- 7) IARC. Cancer incidence in five continents, Vol. X. IARC Scientific Publications No. 164. (D. Forman et al., eds.). International Agency for Research on Cancer, Lyon, 2013.
- 8) S. Yasumura, M. Hosoya, S. Yamashita, et al., Study protocol for the Fukushima Health Management Survey, J. Epidemiol., 22 (5), 375-383 (2012).
- 9) H. Kikuchi, Iodine prophylaxis for emergency workers in Fukushima Daiichi NPS of TEPCO. Officially submitted to the UNSCEAR secretariat. Tokyo Electric Power Company, 2013.
- 10) J. Shigemura, T. Tanigawa, I. Saito, et al., Psychological distress in workers at the Fukushima nuclear power plants, J. Am. Med. Assoc., 308 (7), 667-669 (2012).
- 11) MHLW. Review meeting on the long-term health management of emergency workers at the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, 26 September 2011. (Grand design of the long term health management system). Ministry of Health, Labour and Welfare. [Internet] Available from (<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001plbx.html>) on 1 October 2011. (Japanese).
- 12) United Nations. 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.
- 13) A.P. Møller, A. Hagiwara, S. Matsui, et al., Abundance of birds in Fukushima as judged from Chernobyl. Environ. Pollut., 164, 36-39 (2012).
- 14) A. Hiyama, 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).

著者紹介

酒井一夫 (さかい・かずお)
放射線医学総合研究所
(専門分野/関心分野) 放射線生物学/放射線防護

栗原 治 (くりはら・おさむ)
本誌, 56 [12], P.41 (2014)参照.