

UNSCEAR2020 年報告書について

川口 勇生 中野 隆史
Kawaguchi Isao Nakano Takashi

原子放射線の影響に関する国連科学委員会（The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR）は大気圏内核実験の世界的な影響を調査するため、国際連合（以下、国連）の委員会として 1955 年 12 月の国連総会決議に基づき日本を含む 15 か国の科学者により組織された科学委員会である。事務局は 1973 年よりウィーンに置かれており、現在 27 加盟国に加えて複数の国際的機関がオブザーバとして参加している。UNSCEAR の主な活動としては、年に 1 回総会を行い、電離放射線に関して被ばく状況について世界的な調査・評価を行うと共に、人及び環境に関して放射線影響の情報を収集・評価し、国連に報告することである。

UNSCEAR の報告書は、2020 年報告書¹⁾のように報告書が承認された UNSCEAR 総会が行われた年を冠しており、その年の国連総会への報告と科学的附属書より構成されている。本稿の主題である 2020 年報告書については、当初第 67 回会合が 2020 年 7 月にウィーンにて行われる予定であったが、新型コロナウイルス感染症の影響により延期され、11 月にオンライン開催となった。第 67 回会合が 11 月に延期されたことに伴い、国連総会への報告が 2020 年にできなかったため、2021 年の第 68 回会合報告と共に 2020 年の報告も行われ、報告書も 2020 年－2021 年報告書として公表されることとなった。ただし本稿執筆時点で 2021 年報告書は公表されていないため、本稿においては 2020 年報告書のみ取り上げる。

2020 年報告書に含まれる科学的附属書は、A. 電離放射線による医療被ばくの評価、B. 東電福島第

一原子力発電所事故による放射線被ばくのレベルと影響：2013 年報告書刊行後に発表された情報の影響、C. 低線量・低線量率放射線の発がんリスク推論に関連する生物学的メカニズムの 3 つが含まれており、以下、それぞれの科学的附属書の概要を紹介する。

A. 電離放射線による医療被ばくの評価

UNSCEAR の重要な調査活動の 1 つとして世界的な被ばく状況の調査がある。医療被ばくについては、世界各国の患者の電離放射線への医療被ばくの規模を評価し、様々なモダリティと手技による線量への相対寄与を明らかにし、傾向を把握することを目的としており、これまでいくつか報告書として取りまとめられてきた²⁻⁵⁾。本報告書は前回調査である UNSCEAR2008 年報告書以降の被ばく状況について、2009 年から 2018 年までの医療被ばくに関して国連加盟国への調査（UNSCEAR グローバルサーベイ）の回答の分析、及び、医療被ばくに関する査読付き論文のレビューに基づいている。グローバルサーベイに対する日本の回答に当たっては、（国研）量子科学技術研究開発機構に UNSCEAR 日本代表団を支援するために設置されている UNSCEAR 国内対応委員会（以下、国内対応委員会）の下に、日本医学放射線学会、日本核医学会、日本核医学技術学会、日本医学物理学会、日本診療放射線技師会、日本放射線技師会、日本放射線技術学会、日本放射線腫瘍学会、日本歯科放射線学会からの代表者によって構成されたワーキンググループを設置し、同

ワーキンググループにおいて国内データを収集し UNSCEAR に提出した。

医療被ばくは、人工放射線被ばく源の中で最も大きな割合を占めており、2009 年から 2018 年の間に年間約 42 億件の放射線検査が実施された。世界人口 73 億人に対する集団実効線量は 420 万人・Sv と推定され、一人当たりの実効線量は 0.57 mSv（放射線治療除く）であった。これは、前回の UNSCEAR の調査（UNSCEAR2008 年報告書）の 0.65 mSv と比較して若干低い、不確実性の範囲内である。また、年間推定 620 万件の放射線治療が行われ、そのうち約 580 万件が外部照射、約 40 万件が小線源療法によるものであった。放射性核種を用いた治療は、年間 140 万件と推定される。放射性核種を用いた治療と放射線治療による線量については、実効線量が適切な尺度ではないため、集団実効線量の推定値には含まれていない。全体の検査数及び集団実効線量の不確実性は 3 割程度と推定され、特に検査数と検査ごとの線量の両方に関してデータが提供されなかったため、モデルによる推定値が使用された場合の相違と国内及び国家間の手技ごとの線量のばらつきが不確実性の主な原因であった。

一般（X 線）撮影（歯科検診を除く）は、全手技中の 63% を占め、集団実効線量の 23% を占めている。歯科 X 線撮影は全手技中の 26% を占めるが、集団実効線量の 0.2% にすぎない。CT 撮影の利用は拡大を続けており、一般（X 線）撮影や透視検査の一部から置き換わっている。CT 撮影の総検査数は約 80% 増加し、集団実効線量への寄与は 37% から 62% に増加した。しかし、消化管の X 線撮影と透視検査は大きく減少し（約 90%）、胆道・泌尿器系と胸部の透視検査も減少していると報告されている。全体として、従来の放射線検査の件数は 10% 減少し、集団実効線量は 60% 減少した。IVR の寄与は大幅に増加し、全手技中に占める割合は 0.6% に過ぎないが、集団実効線量では 8%（前回評価では 1%）を占めている。核医学は引き続き全手技の約 1% を占め、集団実効線量への寄与は 5% から 7% へと上昇した。放射性核種の内用療法の治療件数は、前回の UNSCEAR 報告書から 60% 増加し、放射線治療の件数は 22% 増加したと推定される。

診断と治療のための医療放射線の使用は、高所得国と高中所得国に強く偏重しており、放射線検査全

体の約 70%、集団実効線量の 75% を占めている。この格差は核医学において更に顕著であり、高所得国と高中所得国が放射線検査全体の 90% 以上、集団実効線量の 95% 以上を占めている。放射線治療へのアクセスも同様に集中しており、全治療の約 95% が高所得国及び高中所得国で行われている。

UNSCEAR グローバルサーベイは国連加盟国から提出される品質が保証されたデータの収集に依存しているが、データ収集のフォーマットは各国の状況に応じて異なるため、比較的提出可能な必須データセットに限定された調査票を作成し定期的に収集することも今後の検討課題としている。

B. 東電福島第一原子力発電所事故による放射線被ばくのレベルと影響：2013 年報告書刊行後に発表された情報の影響

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う津波によって引き起こされた東京電力福島第一原子力発電所事故の影響について、UNSCEAR は 2013 年に包括的な報告書をまとめた（UNSCEAR 2013, 以下、2013 年報告書⁶⁾）。2013 年報告書は 2012 年 10 月末までに公表された査読付き論文に加えて、日本及び国際機関から提供されたデータに基づき被ばく線量を推定し、影響の将来予測を行った。主な結論としては、一般公衆の被ばく線量は低く抑えられており、将来におけるがんの識別可能な増加は観測されないと考えられるとした。その後、2015 年から 2017 年にかけて、公表された研究論文のレビューを行い、新しく報告された知見が 2013 年報告書の評価や結論にどのような影響があるか検討を行い、白書として公表した⁷⁻⁹⁾。いずれの白書においても、公表されている文献は 2013 年報告書の主要な評価や結論に影響を与えるようなものではなかったと結論されたが、ソースタームの更新やその物理化学形態に関する知見や 2013 年報告書作成時に保守的に仮定された評価に対する情報の更新があったため、2013 年報告書の改訂版となる包括的な報告書の作成が 2018 年の UNSCEAR 第 65 回会合にて合意された。

UNSCEAR2013 年報告書作成時に採用された基準に基づき、1,600 以上の文献から 500 件程度が検討された。文献に加えて、改定されたソースタームと

土壌サンプリングデータ（特に放射性ヨウ素）、モニタリングデータ（楢葉町、南相馬市の個人線量データ等）が再評価に使用された。更に、日本人のヨウ素吸収率や屋内における空气中放射性核種のフィルタ効果等を考慮し、より現実的な線量推定を行った。

事故による大気への総放出量の推定値は、 ^{131}I の総放出量が約 100～約 500 PBq の範囲、 ^{137}Cs の総放出量が 6～20 PBq の範囲であり、海洋への直接放出（放射性核種を含む水の漏洩や意図的な放出）は、事故後 1～3 か月で ^{131}I が約 10～20 PBq、 ^{137}Cs が 3～6 PBq であり、2013 年報告書と大きな変更はない。また、地下水及び河川からの海洋への流入が新たに追加されているが、初期の海洋放出と比較して総放出量への寄与は少ない。

公衆の線量に関しては 2013 年報告書と比較して、食品や飲料水の摂取による線量は、少なくとも 10 分の 1 に減少した。これは主に食品規制の状況及び測定限界の取扱い、日本人特有のヨウ素の取込み割合について、現実的な仮定を取り入れたためである。また、事故後 1 年の平均線量は全体的に減少しており、避難地域から避難した住民では、最初の 1 年間の自治体または都道府県で平均した（以下も同様）平均実効線量と平均甲状腺線量はそれぞれ最大でも約 8 mSv、約 30 mGy と推定され、避難地域以外の福島県内の住民は、最初の 1 年間の平均実効線量と平均甲状腺線量はそれぞれ最大約 5 mSv、最大約 20 mGy と推定された。その他の都道府県では最初の 1 年間の平均実効線量と平均甲状腺線量はそれぞれ約 1 mSv 以下、約 6 mGy 以下と推定された。生涯線量は、外部被ばくの寄与が高い地域では増加し、その他の地域は減少した。また、本報告書では推定時に使用したパラメータの不確実性を考慮して個人線量分布を推定し、個人線量分布の 5% 及び 95% は、一般的に、それぞれ平均線量の約 1/3、約 3 倍と推定された。

作業員の線量に関しては、2013 年報告書から若干の修正があるものの、引き続き有効である。最も高い線量を受けた作業員 6 人の甲状腺線量について、甲状腺の大きさを測定し再評価が行われ、甲状腺が標準より小さかった 5 人については標準的な大きさを仮定した場合に比べて高くなった。

健康影響については、推定された公衆の被ばく線量は、2013 年より低いと同程度であるため、引き

続き放射線被ばくに直接関連した将来の健康影響が識別できる可能性は低いと考えられている。現在報告されている福島県の小児甲状腺癌については、疫学研究の比較に加え、チェルノブイリの事例との比較や、現在報告されている分子生物学的な特徴等の科学的知見から判断して、放射線の直接的な影響により誘発されたものではなく、高感度の超音波検査を用いた大規模スクリーニングによる有病率の増加を検出したものであると考えられるとしている。また、住民における白血病やその他のがんの発生及び胎児への放射線影響についてはこれまで報告されていない。がん以外の影響については、事故後避難者においていくつか生活習慣病の有病率が増加していることが様々な報告で示されているが、非避難者との比較から避難による影響と考えられるとしており、心血管系疾患や白内障等の組織反応の増加も識別可能ではないと予想されているとした。

2011 年 3 月から 2012 年 3 月末までに福島第一原子力発電所敷地内で緊急作業等に従事した作業員 21,135 人の平均実効線量は約 13 mSv、100 mSv 超の線量を受けた作業員は 174 人（0.8%）であった。2012 年 4 月以降の年間実効線量はかなり低下しており、年間平均実効線量は 2013 年 3 月期の約 6 mSv から 2019 年 3 月期には 2.5 mSv に低下し、2013 年 4 月以降、年間実効線量が 50 mSv を超える人はいない。初年度の実効線量が 100 mSv 以上の作業員はごく一部であるため、白血病、全固形がん、甲状腺癌の発生率の増加は識別可能ではないと考えられている。また、白内障のリスクについて情報が不足しており、十分な情報に基づいた判断を下すことができなかった。

ヒト以外の生物については、個々の生物への影響について可能性は否定しないが、放射線に帰因する個体群への影響は一部地域を除いて観察されないと考えられている。現在報告されているいくつかの個体群への影響報告については、これまでの知見から懐疑的であると考えられるが、主に毒性試験の結果に基づいている現在の影響評価手法が野外生物への評価に不十分である可能性もありうるとしている。

C. 低線量・低線量率放射線の発がんリスク推論に関連する生物学的メカニズム

放射線によるがん等の影響が生じる生物学的メカニズムの解明は、放射線リスク推論に関連する要素であり、UNSCEARはこれまで広くレビューを行ってきた^{3,4,10-13)}。特に近年生物学的なメカニズム研究が進んでおり、2012年には低線量・低線量率放射線被ばく者の健康影響に関連する生物学的メカニズムについて、2006年から2011年までの文献レビューを行ったUNSCEAR2012白書を公表している¹⁴⁾。本報告書は、UNSCEAR2012年白書以降の文献を中心に、発がんリスク推論に関連する低線量から中線量域における放射線作用の生物学的メカニズムに関する現在の知見を整理することを目的としている。なお、この附属書では低線量の定義を低LET（線エネルギー付与）放射線（X線及びγ線）については100 mGy以下、線量率0.1 mGy/分以下としている。また、文献レビューに関しては、「放射線被ばくの疫学研究に関するUNSCEARのレビューの質を確保するための原則と基準」（UNSCEAR 2017報告書の附属書A¹⁵⁾）に準じて、実験研究に関するUNSCEARのレビューを行っており、付録として収録されている。

放射線は、DNAに対し、直接的な損傷もしくは活性酸素種等の生成に起因する損傷を誘発し、二本鎖切断、複雑な損傷、ミトコンドリアへの影響に寄与する可能性がある。DNA損傷に対する修復ミス等の不完全な反応は、誘発された突然変異と染色体損傷に寄与し、各研究で使用されたすべての線量及び線量率での被ばく後のがんの発生に影響を与えるという非常に強固で信頼できる証拠がある。

突然変異及び小核の線量反応関係は、少なくとも50 mGy及び10 mGyの低LET放射線の低線量域では、それぞれ線形であり、DNA損傷応答活性化の線量反応も10 mGyまでの低線量域で直線的である。がん免疫監視の線量反応の形は不明であるが、職業被ばく群ではがんを減少させる過程が観察されており、マウスでは1 mGy（低LET放射線）以上で免疫系活性化シグナルが作動することが確認された。放射線の潜在的な促進効果は、50 mGy（低LET放射線）以上で作動するようであるが、更なるデータが必要である。DNA二本鎖切断が10個に1個以下

の細胞で誘発されるような極低線量レベル（約2 mGyの低LET被ばく）では、活性酸素を介した作用が優勢であると考えられ、これには放射線の潜在的促進効果が含まれる。動物実験では、低線量・低線量率被ばくは寿命を延長し、実験動物の腫瘍蓄積量を減少させる可能性があることを示す研究もある。しかし、一般に、これらの動物実験に関する機構的な理解は不十分であり、本報告書のレビューにおいて、低線量被ばくがDNA損傷応答／修復、あるいはがん発生を調節する免疫応答を刺激することもあるが、常にがん発生に対して抑制的に働くという結論には至っていない。低線量被ばくによる腫瘍血管形成の刺激に関する知見については、利用可能なデータの一貫性と整合性がより高いものとなっている。腫瘍の血管新生を刺激することは、腫瘍の発達を促進することになると予想される。

伝達性ゲノム不安定性の誘発、バイスタンダー効果、適応応答に関する研究の意義はまだ明確ではない。いくつかの研究では、伝達性ゲノム不安定性とバイスタンダー効果の誘発の閾値が100 mGy程度（低LET放射線）であることを示唆している。もしこれが正しいとすれば、この現象は低線量発がんリスク推定には関係がないことになる。同様に、自然放射線レベルの高い地域に住む人の試料を用いた研究は適応応答を示唆していると解釈できるものもあるが、リスク評価の目的で採用するには十分な一貫性がない。

したがって、発がんにおける突然変異と染色体異常の役割に関する現在の確実な知識を考慮すれば、放射線防護目的のリスク推定に閾値なしモデルを使用する正当性は依然として存在する。

最後に将来課題としては、低線量放射線発がんの機構論的理解と疫学研究を組み合わせるために、定量的・定性的な生物学的データを統合した数理モデルを使用することが推奨される。数理モデルは、仮説を検証し、リスク推論のための更なる洞察を提供するために使用することができる。低線量被ばく後の発がんにおける主要な機構的段階を定義し、形式化するために、化学毒性学やリスク評価で適用されているAOP（Adverse Outcome Pathway）アプローチの利用を検討すべきである。更に、実験的調査により、放射線関連疾患のバイオマーカーを特定することができれば、交絡の影響を軽減することにより

疫学研究の精度を向上させることができるかもしれない。

最後に

本稿では UNSCEAR2020 年報告書について概説した。UNSCEAR では 2021 年に「電離放射線による作業者の被ばく評価」について報告書としての公表を承認し、2022 年 7 月までに公表予定である。また、今後の課題としては、「放射線治療後の二次がん」、「放射線とがんの疫学」、「電離放射線による公衆被ばくの評価」、「循環器系疾患」、「中枢神経系」、「白内障」、「免疫系」、「その他の非がん影響」が検討される予定である。

参考文献

- 1) UNSCEAR, UNSCEAR 2020 report (2020)
- 2) UNSCEAR, UNSCEAR 1988 report (1988)
- 3) UNSCEAR, UNSCEAR 1993 report (1993)
- 4) UNSCEAR, UNSCEAR 2000 report (2000)
- 5) UNSCEAR, UNSCEAR 2008 report (2008)
- 6) UNSCEAR, UNSCEAR 2013 report (2013)
- 7) UNSCEAR, UNSCEAR 2015 white paper (2015)
- 8) UNSCEAR, UNSCEAR 2016 white paper (2016)
- 9) UNSCEAR, UNSCEAR 2017 white paper (2017)
- 10) UNSCEAR, UNSCEAR 1986 report (1986)
- 11) UNSCEAR, UNSCEAR 1994 report (1994)
- 12) UNSCEAR, UNSCEAR 2001 report (2001)
- 13) UNSCEAR, UNSCEAR 2006 report (2006)
- 14) UNSCEAR, UNSCEAR 2012 white paper (2012)
- 15) UNSCEAR, UNSCEAR 2017 report (2017)

((国研)量子科学技術研究開発機構)