

総説
----

## 低線量放射線リスク研究動向と放射線防護体系

### -Recent Developments in Low Dose Radiation Risk Research and Radiological Protection System-

近畿大学原子力研究所特別研究員

宮崎振一郎

#### 1. 概要

2011年に発生した福島第一原子力発電所事故は、低線量放射線被ばくによる健康影響を解明する必要性をこれまで以上に高めている。事故直後そして今後続く汚染地域での放射線被ばくによる健康影響への不安を払拭すること、飛躍的に使用頻度、使用対象が拡大している医療（診断、治療）及び放射線利用などが進むにあたり、社会の幅広い分野で放射線、特に低線量（率）放射線被ばくの健康影響に関するデータ、考え方をより明確にする必要性が高まっている。その解明が最も必要とされる低線量（率）放射線の線量領域は日常生活で観察される年数ミリSvレベルに近い領域であるため、これまでは科学的なデータで示されることなく、いわゆる閾値の無い直線仮説（LNT：Linear Non-Threshold）を使って科学的データがあるとされる100mSv以上の被ばくりスクから推定してきている領域が対象になる。低線量（率）放射線の健康影響の解明についての必要性の高まりは、100mSv以上の被ばくりスクからの推定ではなく、より科学的根拠に基づいた内容にすることへの要求であり、急務となっている。その問題意識を踏まえて、生物研究による科学的な解明への試みが世界的に進められている。近年、それらの動きの中から今後の放射線防護体系のパラダイムシフトにつながる動きが現れつつあり、生物研究の内容、放射線防護体系の考え方に大きな変化を与える可能性がある。

キーワード：福島第一原子力発電所事故、低線量放射線、低線量率放射線、放射線防護体系、ICRP、LNT、MELODI、CONCERT、幹細胞

#### 2. 放射線影響研究に関する国際動向

##### 2-1 福島第一原子力発電所事故

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震を契機に発生した福島第一原子力発電所事故では、事故直後の避難、放出された放射性物質による汚染で生じた環境の放射線量上昇下での生活、除染作業など、事故後のすべての局面で放射線被ばくりスクの考え方（放射線防護体系の考え方）が社会・経済に大きな影響を与え、大きな関心を集めている。更に、除染、時間経過などにより環境線量は徐々に低下して

いるものの、事故以前より少し高い環境線量下での生活が続く場合があること、廃炉作業などの事故後作業が続くことから、住民そして作業員の長期の被ばくによる健康影響、その調査に大きな関心が集まっている。放射線被ばくりスクの考え方（放射線防護体系）の根幹を構築しているのが国際放射線防護委員会（ICRP：the International Commission on Radiological Protection）であるが、そのICRPは唯一国際組織として、ボランティアで福島での活動を継続している。ICRPの本来の活動目的は、放

放射線防護体系の構築であって実践ではないが、福島での活動を継続している背景には、放射線防護体系の具体的適用を最も必要としている現地での実践の中から、放射線防護体系の問題点を探し、体系をより発展させることにある。その活動の代表的なものが、地元のボランティア団体、国などとの共催で始めたダイアログセミナーである。ICRPは、長期汚染地域住民の防護に関する勧告（ICRP Publication111）において、汚染地域の住民と専門家が現実の対応に直接関与することが効果的であること、および国や地域の行政は地域住民が自ら決定しうる状況を作りだし、その手段を提供する責任があるとしている。

2015年9月に伊達市で開かれた第12回福島第一原子力発電所事故による長期影響地域の生活回復のためのダイアログセミナー「Experience have gained together（これまでの歩み、そしてこれから）」は、それまでの活動の区切りとなるものであった。そして、これまでの福島での活動の総括として、ワークショップ（International Workshop on the Fukushima Dialogue Initiative（Rehabilitation of Living Conditions after the Nuclear Accident））が2015年12月12、13日に伊達市で開催された。この会議の趣旨は、汚染地域に長期間住む住民の放射線防護の検討に関し、ICRPは住民、地方自治体を入れる必要があることをICRP勧告などの中に記述しているが、それをより分かりやすく、そして福島の実状を踏まえて、より具現化することが必要であるとして開かれた。ICRPは、現実を踏まえ、それに有効に対応する放射線防護体系に少しでも近づけるために2016年以降も活動を継続することにしていく。その中で、今回の事故の最大の問題点は「地域コミュニティの崩壊」で、「放射線被ばくの影響はほとんど考えられないが、被ばくを恐れたことに起因するストレスなどが加わっている」ところにあるとしている。福島事故の本質は、放射線汚染、被ばくに関連する単純な問題

では無く、自然科学と社会科学を統合する活動が問題解決に必要とされるかもしれない。自然科学と社会科学を統合する活動は、現行のICRP勧告（Publication103）に福島事故を契機とした緊急時対応あるいは事故後対応の放射線防護の考え方に改善を与える可能性がある。福島第一原子力発電所事故の経験が、これまでの放射線防護体系に対して新たな知見を与えていることになる。

注）ICRPの最新の勧告（Publication103）での低線量率放射線リスクに関しては下記のように記述されている。

(36) 年間およそ100mSvを下回るの放射線量において、委員会は、確率的影響の発生の増加は低い確率であり、またバックグラウンド線量を超えた放射線量の増加に比例すると仮定する。委員会は、このいわゆる直線しきい値なし（LNT）のモデルが、放射線被ばくのリスクを管理する最も良い実用的なアプローチであり、“予防原則”にふさわしいと考える。委員会は、このLNTモデルが、引き続き、低線量・低線量率での放射線防護についての慎重な基礎であると考えている。

(65) したがって、委員会が勧告する実用的な放射線防護体系は、約100 mSvを下回る線量においては、ある一定の線量の増加はそれに正比例して放射線起因の発がん又は遺伝性影響の確率の増加を生じるのであろうという仮定に引き続き根拠を置くこととする。この線量反応モデルは一般に“直線しきい値なし”仮説又はLNTモデルとして知られている。（中略）

委員会が実施した解析（Publication 99）から、LNTモデルを採用することは、線量・線量率効果係数（DDREF：Dose Doserate Effect Factor）について判断された数値と合わせて、放射線防護の実用的な目的、すなわち低線量放射線被ばくのリスクの管理に対して慎重な根拠を提供すると委員会は考

える。

汚染による被ばくは、福島の場合、自然界の放射線レベル2-3mSv/年に追加される線量として概ね数ミリSv/年である。このレベルの放射線による被ばく影響を、疫学調査、生物研究から割り出すことは極めて困難であるので、これまで、放射線防護上は仮定(LNT)を入れて考えてきた。リスクとしては小さいものの、これまで十分な知見がなかった領域に科学的な検討を加えるために、現在進められている低線量放射線被ばく影響研究は、100mSv以下の領域でのリスクを解明することを基本的な目標として世界中で研究が続けられている。

## 2-2 米国の放射線影響研究

米国の低線量放射線影響リスクに関する考え方は世界的に見て少し独自性の強い面がある。例えば、線量限度の適用に関しては、欧州がICRPの最新勧告(Publication 103)を欧州のBSS(Basic Safety Standard)に取り入れて作業員の線量限度を年20mSv、5年100mSvとしているのに対し(日本も同様)、米国原子力規制委員会(Nuclear Regulatory Commission: NRC)はICRP Pub60(1990年勧告)の作業員の線量限度50mSv/年を継続して適用している。このように、米国はICRP勧告内容を必ずしもそのまま適用することなく、議論をしたうえで、コストなどの要因も勘案しながら独自の判断を行っている。

・米国では、1999年に始まった米国エネルギー省(Department of Energy: DOE)の放射線影響に関する大規模生物研究プロジェクト(Low Dose Radiation Research Program)が2010年頃まで続いたが、放射線防護体系に影響を与えるまでには至らなかった。現在は国レベルでの組織だった研究・プロジェクトは存在しない。近年は米国放射線防護審議会(National Council of Radiation Protection and Measurements: NCRP)が米国議会に低線

量放射線リスクの研究予算を要請するなどの活動が進められているが、具体的な動きには繋がっていない。この関連の動きとしては、2015年11月17日に開かれたBEIRⅧ作成の必要性に関する会議(主催: the National Academy of Sciences注)では、低線量放射線影響研究に関する議論も含まれていて、DOEプロジェクトに続く国レベルの研究実施の必要性などが意見として出された。

NCRPは、2015年12月にCommentary No. 24を出版した。ここでは低線量放射線影響研究の重要性、必要性が具体的に記載されている。一連の米国での低線量放射線影響研究に関する議論でのキーワードの一つは「疫学研究と生物研究の融合」である。これら2つの研究が相互に補完して、相互に解釈が進むことが低線量放射線影響全体の解釈にとって重要であるとの認識である。

注) 米国環境保護庁(EPA)は、放射線リスクに関する検討を米国科学アカデミー(NAS: the National Academy of Sciences)に依頼し、NASは電離放射線の生物影響に関する委員会(BEIR: the Biological Effects of Ionizing Radiation)を設置し、低線量放射線影響に関する報告書公表している。この報告書は権威ある内容として、ICRP文書と同様に尊重されている。最新版は2006年に出されたBEIRⅧ(Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation)である。

また、2016年には米国電力研究所(EPRI: Electric Power Research Institute)がInternational Dose Effect Alliance(IDEA)と名付けたプラットフォームを動かし始め、その活動の一環として、2016年11月9-10日に最初のワークショップが開かれる。目的としては、低線量放射線影響の考え方の理解促進、研究の推進であり、低線量放射線影響研究における米国内外の協力体制の構築である。ただし、この活動は始まったばかりで具体的な資金規

模、参加メンバー数などの詳細は今後のことになる。

### 2-3 欧州の放射線影響研究

現在、低線量放射線影響に関する研究が組織的に進められているが欧州である。欧州共同体（EC）には、「欧州研究開発フレームワーク計画（FP：Framework Programme for Research and Technological Development）」と称する科学研究開発に対する財政支援制度がある。その第6次計画（FP6）は2002-2006年の間実施され、様々な研究プロジェクトが実施された。その一つにRISC-RAD（Radiosensitivity of Individuals and Susceptibility to Cancer induced by ionizing RADiations）とする低線量放射線リスク研究プロジェクトがあった。このプロジェクトは2004-2008年の間、動き、総額約20億円の研究費が使われた。この後、欧州での低線量放射線リスク研究の統合とそれによる効率的な研究の実施を図るために、DoReMi（Low Dose Research towards Multidisciplinary Integration）が第7次計画（FP7）の中の一つとして続いた。

この研究プロジェクトを効果的な運用の具体的な方策として、検討グループHLEG（High Level and Expert Group on European Low Dose Risk Research）「ヨーロッパにおける低線量放射線影響に関する高度専門家グループ」が立ち上げられた。そして2009年1月に低線量放射線影響に関する研究の考え方（実際に研究を実施するための戦略的研究計画）を示した報告書SRA（Strategic Research Agenda）が出された。それに基づき、研究内容を戦略的に議論するプラットフォーム、MELODI（Multidisciplinary European Low Dose Initiative）「学際的欧州低線量イニシアチブ」が立ち上げられた。MELODIはそこでの議論の透明性を高める意味もあって2009年に第1回の公開会議を開いて以降、毎年秋に会議を開催している。第1回

（ドイツ シュツットガルト）会議には原子力安全委員会（当時）事務局からの参加もあった。

注）MELODI第7回が2015年11月9～11日にかけてドイツミュンヘンで開催された。本会議のタイトルは次世代放射線防護研究（Next Generation Radiation Protection Research）であった。第8回に関しては後述。

現在研究が行われているプロジェクトであるDoReMiは2017年に終了し、その後継プロジェクトとしてのCONCERT（European Joint Programme for the Integration of Radiation Protection Research）が立ち上がっている。（2014年から、FP7の後継プログラムであるFP8がHorizon 2020として動き始め、CONCERTはその欧州の研究開発プログラム Horizon 2020の中に組み込まれている）CONCERTは、2015年6月、公式にスタートとして、研究テーマ・傘下組織を募集している。純粋にECのプロジェクトであるためEC以外の地域からの参加は認められていない。

CONCERTの基本概念は、これまで進められてきたDoReMiの考え方を踏襲するものであるが、まず、3つの大きな研究目標（低線量放射線リスクに関する線量反応曲線の解明、放射線の個人感受性、非がん影響）があり、それらに対する横通し項目として、3つの大きな項目が挙げられている（組織感受性、内部放射能、線質）。縦横の項目を相関させながら低線量放射線影響を解明することが重要としている。

低線量放射線影響研究に関する議論でのキーワードの一つは米国での議論と同様、「疫学研究と生物研究の融合」である。これら2つの研究が相互に補完して、相互に解釈が進むことが低線量放射線影響全体の解釈にとって重要であるとの認識である。

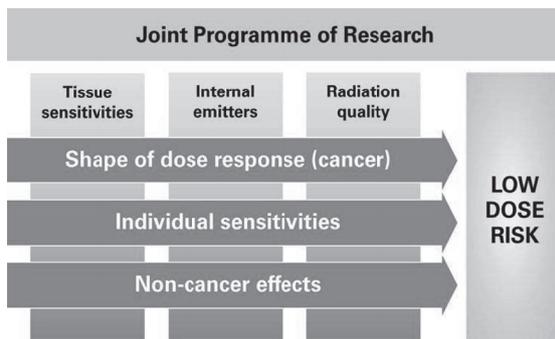


図 欧州の放射線生物研究のイメージ (DoReMi Workshop on implications of science to low dose risk assessment and radiation protection 10 December 2015 より)

CONCERTには、MELODI（低線量放射線影響研究）の他、ALLIANCE（環境の放射線防護）NERIS（緊急時対応）、EURADOS（線量測定）がこれまで加わっていたが、2016年9月には新たにEURAMED（医療）が加わり、CONCERTには放射線防護に関係するすべてのプラットフォームが傘下に入るようになった。

注) MELODI (Multidisciplinary European Low Dose Initiative)

ALLIANCE (European Radioecology Alliance)

NERIS (European Platform on Preparedness for Nuclear and Radiological Emergency Response and Recovery)

EURADOS (European Radiation Dosimetry Group)

EURAMED (European medical radiation protection research)

そして2016年9月にはこれら5つのプラットフォームの効率的な運用、意見交換を図るために、第1回RPW (Radiation Protection Week) として一度に会議を開いた。RPWに先立つ9月12日に第7回目のMELODIのSRAドラフトが公開された。こ

のSRAはHLEGによって第1回MELODIが開かれた2009年以降、毎年発行されていて、低線量放射線影響研究の基本的な考え方が記述されている。このSRAの基本的考え方に基づく研究参加募集 (EC加盟国限定) が行われている (2016年10月現在)。

欧州の放射線影響研究は、これまでに報告されている内容とリスクとの結びつきがまだ十分に明確になっていないものの、リスクを意識した放射線影響研究にしようとする取り組みを向上させている。低線量放射線領域での実験手法の難しさがあるが、全体戦略としては低線量放射線リスクの解明を目指す動きが強まっている。現在、欧州における放射線防護の具体的な項目としては、「個人の放射線感受性<sup>注1)</sup>」及び「非がん (心臓疾患) 疾患<sup>注2)</sup>」とそれらを含む「100mSv以下の放射線の健康影響」に向けられている。

注1) 個人の放射線感受性：低線量放射線被ばく影響に関する放射線感受性には個人によって差異がありその理由、程度について研究し、その感受性の差異が放射線防護体系を考える上での影響度を検討する。

注2) 非がん (心臓疾患) 疾患：放射線被ばく影響は従来、がんのみであったが、近年、広島・長崎被爆者疫学調査報告書のデータなどから低線量放射線被ばく影響にがん以外の非がんリスク、特に、水晶体 (白内障)、心臓疾患リスクがあるのではないかの議論。水晶体に関しては、既に、国際放射線防護委員会 (ICRP) が2011年4月に声明を出して、線量限度の推奨値を従来の150mSv/年から20mSv/年に下げた。

#### 2-4 日本の放射線影響研究

放射線防護体系の根幹にかかわる重要なデータを提供している広島・長崎の原爆被爆者の疫学調査結

果は、1947年に設立された原爆傷害調査委員会を前身として、1975年に発足した放射線影響研究所によって定期的に報告されている。調査は大きく2つに分けられる。生涯にわたる追跡調査を行い、がんの発生率、がん死亡率、およびがん以外の疾患のリスクと放射線量との関連を調べる寿命調査は定期的に報告されていて第14報まで公表されている。がん以外の疾患の放射線に関連したリスクを確認し、加齢および放射線に関連する生理学的変化を調べる成人健康調査は第8報が公表されている。広島・長崎の疫学調査はその規模（対象人数）の大きさ、調査期間の長さが他の放射線被ばくに関連する疫学調査との比較において格段に優れているため、その調査結果は放射線防護体系の発展に極めて大きな貢献を果たしている。ただし、被爆後70年以上経過しているため、これ以上の大きな展開は難しくなりつつある。

青森にある環境科学技術研究所は、1990年の設立以降、低線量生物影響実験棟に世界的にも例を見ない低線量率放射線照射実験を行っている。また、量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所などでも放射線照射施設を持ち、放射線生物研究を進めている。

### 3. 今後の放射線影響研究及び放射線防護体系の課題

#### 3-1 放射線影響研究の課題

欧州を中心に低線量放射線影響生物研究が進められているが、これまで長年研究が行われているにもかかわらず100mSv以下の低線量放射線の健康影響に関する議論は収束する兆しが無い。それにはいくつかの理由が考えられる。

- そもそも100mSv以下の低線量放射線の健康影響は極めて小さく、他の因子（たばこなどの生活習慣、環境など）のリスクに隠れる程度で、これを疫学調査で見つけることはほとんど不可能である。また、生物研究でもその程度の小さな変化を見つけることは困難である。

- そのために、生物研究では生物学的な変化が出る高い線量（率）でのデータでの研究に頼ることになる。

- 生物には、放射線が当たることにより細胞に損傷が発生しても、修復あるいはアポトーシス（細胞死）のような組織から損傷を排除する機構があるので、同等の線量であっても時間的な因子を入れて考える（線量率を勘案）ことが重要である。

- 生物研究で使われるげっ歯類での研究結果を人間に当てはめることが可能か、細胞レベルと組織レベルの区別をどのように考えるかなどの問題もある。

- また、生物研究と疫学研究との関連、相互に説明可能かなどの課題も重要である。これは生物研究の結果と疫学研究の結果は人体の放射線影響の観点から、同じ反応を示している相互に説明可能であることが必要とされるためである。

近年、これらのことが具体的に解決できることを示す新たな可能性が示唆されている。組織幹細胞の挙動、特に幹細胞とニッチ（幹細胞を維持するために一体で存在する細胞）との関連、幹細胞競合から放射線影響にかかわる諸現象を説明する動きであり、新しい展開として今後期待できるかもしれない。

#### 3-2 幹細胞研究の重要性

##### 3-2-1 幹細胞とは

体内の組織細胞には、組織細胞（機能細胞）とそれを作る幹細胞からなる。普通の細胞である機能細胞は一定周期で置き換わるが、幹細胞は長時間残り続ける。現在の放射線防護体系は、放射線による傷（痕跡）が体内に蓄積する（残る）ことを前提としている。傷が残るとすれば、幹細胞に残ることになり、幹細胞の動態に関する研究が重要と考えられる。

幹細胞；Stem Cell

幹細胞は、自己複製能と様々な細胞に分化する能力（多分化能）を持つ特殊な細胞である。この2つの能力により、発生や組織の再生などを担う細胞であると考えられている。幹細胞には、その由来や能力などから、胚性幹細胞（ES細胞）、成体幹細胞、iPS細胞に分類される。

#### 胚性幹細胞；Embryonic Stem Cell (ES細胞)

胚性幹細胞は、受精卵後、胚盤胞の段階に発生した胚（内部細胞塊）より分離され、株化された幹細胞である。故に、ほぼ全ての組織（細胞）への分化能を有する万能細胞と考えられている。

#### 組織幹細胞；Tissue Stem Cell

組織幹細胞は身体の組織に存在しており、ある程度の多分化能を持ち、発生過程や、細胞死、損傷組織の再生において、新しい細胞を供給する役割を持つと考えられている。ES細胞に比べると、成体幹細胞の持つ多分化能は限定されと考えられているが、自己の幹細胞を治療に用いることができることから、現在、多くの臨床応用が進められている。

#### iPS細胞；induced Pluripotent Stem Cell

2006年に京都大学の山中伸弥教授によりマウス線維芽細胞に4つの因子の遺伝子を導入することで、人工的に多能性幹細胞が作られた。翌2007年には、同教授により、ヒトの細胞を用いたiPS細胞の作製に成功し、成熟細胞のリプログラム（細胞の若返り）の可能性とともに、再生医療への応用など多くの分野で注目を浴びている幹細胞の一つである。

### 3-2-2 放射線生物研究における幹細胞研究

ICRPが初めて組織幹細胞を系統立ててまとめた報告書Publication 131が2015年12月に発刊された。また、欧州の幹細胞に関するプロジェクトRisk-IRが2012年から研究を続けているが、2017年以降、次のプロジェクト（CONCERT）でも研究が継続される可能性が高い。なお、幹細胞研究関連プロジェクトは複数あり、それぞれ独自に進んで来た。

DoReMi 2010年1月-2015年12月

OPERRA 2014年-2018年

RISK-IR 2012年-2017年

この内、RISK-IR (Risk, stem cells and tissue kinetics – Ionising radiation) だけが幹細胞に特化したプロジェクトである。

このプロジェクトは、現在（2016年10月）はプロジェクト成果の取りまとめを進めている。上述のようにこのプロジェクトに日本は参加できないが、幹細胞研究の重要性から日本の幹細胞研究者とRISK-IR参加研究者との情報交換、意見交換は進められている。例えば2015年5月に京都で開かれた第15回国際放射線研究学会（International Congress of Radiation Research：ICRR）に併設されたワークショップ（日本放射線影響学会・（財）体質研共催）では、日欧の幹細胞研究者が発表した。

ここでは、放射線生物分野ではない、生物研究からの発表があった。生物研究における幹細胞研究には、2012年の京都大学の山中伸弥教授のノーベル賞受賞に象徴されるように覚ましいものがあり、生物分野の幹細胞研究は、基礎から応用（創薬、臨床など）まで非常に幅広い分野で発展している。

幹細胞と放射線防護との関係を考える場合、この幹細胞に関わる研究は、組織幹細胞（幹細胞とそれと一対をなすニッチェと合わせた挙動の解明）としての研究が重要であることがICRP Publication131に記述されている。組織幹細胞は常にそれを支えるニッチェとよばれる細胞と対で存在し、ニッチェが組織幹細胞の維持に大きな役割を果たしていると考えられる。そのため幹細胞研究は組織レベルの研究が重要であり、ニッチェとの関連で、低線量率放射線環境下では、放射線の当たる幹細胞と当たらない幹細胞ができ、当たった幹細胞が排除されることから、低線量率放射線の場合は放射線傷の蓄積が起りにくいとの考え方が示された。

### 4. まとめ

ICRPは2015年10月にICRP第3回シンポジウムを

開いた（ソウル）。この初日のプレゼンテーションでICRP委員長クリア カズンは、ICRP勧告の見直し作業に入るとした。理由として最新の勧告（ICRP Pub103）が完成してから約10年経過し、この間の変化を取り入れる必要があるかもしれないとしている。放射線防護体系を取り巻く動きを見ると以下の理由から、この作業の重要性が理解できる。そして、当然のことながら新しい勧告には、これらに関わる議論がこれまで以上に進展していることが必要となる。

- ① 福島事故に関する議論で出てきた放射線防護体系に必要とされる改善、例えば、ICRP Pub131で導入された計画、緊急時、現存の3つの被ばく状況の実務的な有効性を検証することが必要となる。
- ② 放射線被ばくによって生じる害（Detriment）は、がんのみならず非がん（心臓疾患、白内障など）を放射線被ばくの影響に含める場合を考慮すると影響の程度に関する議論を深める必要がある。
- ③ ②に関連する議論として線量・線量率効果（Dose and Dose Rate Effectiveness Factor：DDREF）の今日的意味は生物研究、疫学調査の進展と併せて必要な議論である。ICRPはDDREFの値として2を採用している。この数値の扱いには多くの議論が依然として続いている。一方、Detrimentの議論にも深く関係しているので、DDREFが持つ生物学的な意味も含めた議論が必要である。
- ④ 放射線被ばくの蓄積性に関する組織幹細胞挙動に関する新たな知見は、低線量率放射線被ばく影響に新しい生物学の発展を取り込むことを意味することから、放射線防護体系のパラダイムシフトになる可能性がある。

放射線生物研究の発展と放射線防護の議論は放射線防護体系発展にとって両輪となるものであるが、現状は放射線生物研究に関する動きが目立ち、防護に関する議論は表面上余り見えてこない。また、防護を議論する専門家が国際的に少ないこともこの現象の要因の一つである。防護関係の人材育成と併せて今後必要な議論となる。

（文献）

ICRP（1990）International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60

ICRP（2005）International Commission on Radiological Protection. Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk, ICRP Publication 99

ICRP（2007）International Commission on Radiological Protection. 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP37（2-4）

ICRP（2007）International Commission on Radiological Protection. Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations ICRP Publication 109 Ann. ICRP 39（1）, 2009

ICRP（2009）International Commission on Radiological Protection. Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency, ICRP Publication 111 Ann. ICRP 39（3）

ICRP（2015）International Commission on Radiological Protection. Stem Cell Biology with

Respect to Carcinogenesis Aspects of  
Radiological Protection, ICRP Publication131  
Ann. ICRP 44 (3/4)

ICRP (2016) International Commission on  
Radiological Protection. Proceedings of the  
Third International Symposium on the System  
of Radiological Protection Ann. ICRP 45 (1S),  
2016

NCRP (2015) National Council on Radiation  
Protection and Measurement. Commentary No.  
24 - Health Effects of Low Doses of Radiation:  
Perspectives on Integrating Radiation Biology  
and Epidemiology