

【仮訳】2021年ICRPワークショップ「放射線防護の将来」のまとめ  
Summary of the 2021 ICRP workshop on the future of radiological protection

W. Rühm, C. Clement, D. Cool, D. Laurier, F. Bochud, K. Applegate, T. Schneider, S. Bouffler,  
K. Cho, G. Hirth, M. Kai, S. Liu, S. Romanov, A Wojcik

Journal of Radiological Protection 42 023002, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/ac670e>

Published 27 May 2022 • © 2022 The Author(s).

この日本語仮訳は、ICRPの公式的な翻訳ではありません。そのため、ICRP及び一般社団法人日本保健物理学会はその正確性を保証するものではなく、またその解釈や使用がもたらすいかなる結果についても、一切責任を負いません。

なお仮訳を公開するにあたりCC BY 4.0のライセンスに準拠していることを確認済みです。詳細は以下をご覧ください。

Original content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 license. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## 2021年ICRPワークショップ「放射線防護の将来」のまとめ

### 概要

国際放射線防護委員会（ICRP）は、現行の放射線防護体系（以下「体系」）を見直し、改定するプロセスに着手している。議論を活性化するために、ICRPは2つのオープンアクセス論文を発表した。1つは体系の見直しが必要と思われる側面について、もう1つは体系の科学的基盤を向上させる可能性のある研究についてのものである。これらの論文を基に、ICRPは放射線防護の将来に関するワークショップを、体系の見直しと改定に関与する機会として開催した。このデジタルワークショップは、2021年10月14日から11月3日にかけて開催され、20のライブストリーミングと43のオンデマンド配信による発表が行われた。100カ国から約1500人が参加した。プレゼンテーションで取り上げられた主題に基づき、この要約は、体系の科学的基礎、概念、適用、およびICRPの役割という4つの大きな分野に整理される。主なトピックとしては、放射線誘発影響の分類、有害性発現経路手法、線量反応関係のより良い理解、防護の最適化に対する全体的かつ合理的アプローチ、環境の放射線防護、体系の倫理的基盤、体系に関する明確性、一貫性およびコミュニケーション、医療における体系の適用、正当化の原則および防護の最適化の適用などが挙げられた。

### 1. はじめに

国際放射線防護委員会（ICRP）は、1928年の設立以来、電離放射線の安全な利用と管理を通じて、人々の健康と福祉、ひいては環境に貢献することを目的として、勧告と指針を策定してきた。ICRPは独立した非政府組織で、現在、主委員会、科学事務局、4つの専門委員会（第1専門委員会「放射線影響」、第2専門委員会「放射線被ばく線量」、第3専門委員会「医療における放射線防護」、第4専門委員会「委員会勧告の適用」）、および一連のタスクグループから成っている。ICRPの取組みの結果は、放射線防護の様々な場で発表され、様々な出版物で紹介されている。1959年以来、ICRPは様々なトピックに関する約150の報告書を発行しており、最近では「プルトニウムとウランの被ばくによるがんリスク」に関するICRP Publication 150 (ICRP, 2021a)が出版されている。これらの出版物のほとんどは電離放射線の特定の用途に関連する側面を扱っているが、いくつかはより基本的な性質のもので、放射線防護体系（以下「体系」）全体の一般的な側面を記述している。これらの一般的な勧告のうち最も新しいものは、ICRP Publication 103, 「ICRP2007年勧告」 (ICRP, 2007)である。

2007年勧告 (ICRP, 2007) の発表から約15年が経過したが、この間、放射線の科学技術は大きく進歩し、また世界的な社会的価値観、リスク認知、リスクコミュニケーションに影響を与える出来事や進展があった。後者には、2011年の福島第一原子力発電所 (FDNPP) 事故、エネルギー分野における人間活動に起因する気候変動、さらに最近では新型コロナウイルス感染症 2019 のパンデミックが含まれる。これらや他の多くの進展を説明し、検討し、反映させるために、ICRPは、約10年後にICRP Publication 103 (ICRP, 2007)の後継を発行することを目標として、体系の見直しの新しいサイクルに着手している。

これに関する議論を刺激し、奨励するために、ICRP は最近、2 つのオープンアクセス論文を発表した。最初の論文は、「ICRP 勧告を目的に適合させる」と題され、見直しを要するかもしれない体系の側面に関する前期の ICRP 主委員会（2021 年 6 月 30 日に終了）の省察を含み（Clement et al., 2021）、第 2 の論文は、「放射線防護体系を支援するための研究分野」と題して、体系の科学的基盤に情報を与える可能性がある将来の短期、中期、長期研究についての議論を行った（Laurier et al., 2021）。特定された研究ギャップのいくつかは、現在、ICRP タスクグループまたは放射線防護と広範な放射線科学の分野の他の組織によって検討されている。

ICRP は体系の管理者であるが、体系は患者、作業員、公衆および環境を防護するためにそれを使用する人々のために存在することに留意することが重要である。従って、体系を利用し利益を得るすべての人々との協力が不可欠である。このため、ICRP は今後 10 年間にわたり、世界中の放射線関連の政策、実務、ガイドライン、規制を形成する次の一般的勧告を策定するために、協調的精神をもって取り組んでいく予定である。上記の 2 つの論文は、そのプロセスにおける重要なステップを示すものである。近年における多くの対話と ICRP の経験に基づき、これらの論文は、ICRP 主委員会が将来の放射線防護のために重要と考えるトピックを - 網羅的ではないと断ったうえで - 要約したものである。

2021 年 10 月、ICRP は、上記の 2 つのオープンアクセス論文に基づき、体系の見直しと改定についてステークホルダーと関わる機会として、デジタルワークショップ「放射線防護の将来に関するワークショップ」（以下「ワークショップ」）を開催した。このワークショップは、このプロセスに関心を持つすべての人々が、これらの論文に反応し、考えを表明し、フィードバックできるプラットフォームを提供するために企画された。この記事は、ワークショップでの発表を要約し、主委員会が関連すると考えた議論への貢献に焦点を当てたものである。

このワークショップは、ICRP が奨励する体系の見直しに関する議論の始まりとなるものである。今後も、各タスクグループが取り組んでいる課題に関するワークショップや、新しい報告書の出版に伴うウェビナーなど、同様のイベントが開催され、この議論を支援していく予定である。隔年で開催される ICRP の体系に関するシンポジウムは、このプロセスにおけるマイルストーンとなるイベントとなるであろう。

## 2. 組織と参加

### 2.1. プログラム概要

ワークショップは、2021 年 10 月 14 日から 11 月 3 日までオンラインで開催された。プログラムは、「目的適合性」論文（Clement et al., 2021）、または体系のレビューと改定に関連するその他のテーマに対応する公募の投稿に基づいて作成された。その結果、20 のライブストリーミングと 43 のオンデマンド配信による発表を含む包括的なプログラムとなった。後者は、短いビデオと拡張した要旨が混在していた。ライブ配信されたプレゼンテーションは、2021 年 10 月 19

日と 20 日にかけて、「全体像」、「リスクと影響」、「放射線防護の概念」、「応用と実践」の 4 つのセッションで構成された。オンラインプラットフォームでは、各ライブストリーミングセッションやオンデマンド配信による発表に付随するチャットを通じて、発表者と参加者の交流が行われた。また、各セッションでは、質疑応答の時間も十分に設けられた。ライブストリーミングセッションの録画は、ワークショップ開催中も利用可能で、チャットを通じた交流が続けられた。上記のチャットを含むワークショップの資料は、当面の間、ICRP のウェブサイト (<https://icrp.org/page.asp?id=510>) でオンライン閲覧が可能である。

## 2.2. 参加方法

参加者は全員登録が必要で、登録料は経済的な障壁がないように、ゼロコスト・オプションを含む 4 段階の柔軟な設定になっており、ワークショップの費用を一部負担することも可能である。どの階層を選んでも、ワークショップへのアクセスは同じである。最高レベルの登録者には、プラットフォームと ICRP のウェブサイト上で謝意が示された。ワークショップには、6 大陸 97 カ国から 1456 人が登録した。ライブ配信された 4 つのセッションには、「全体像」に 826 人、「リスクと影響」に 643 人、「放射線防護の概念」に 608 人、「応用と実践」に 521 人が参加し、多くの参加者が集まった。ワークショップ期間中、43 のオンデマンド配信による発表は 7294 回アクセスされた。このような高いレベルの参加は、体系の見直しと改定に対する世界中の関心と、参加がアクセス可能で、オープンで透明性があり、有意義であることを保証する ICRP の優先事項を反映している。

## 3. キーポイント

このワークショップの要約は、提出されたプレゼンテーションの主題に基づき、体系の科学的基礎、概念、適用、および ICRP の役割の 4 つの大きな分野に整理される。この要点を裏付ける詳細は、以下のセクションで、体系の見直しと改定に関連する各発表をレビューする。

### 3.1. 体系の科学的基礎

放射線影響に関連して浮上した重要な話題の 1 つは、例えば Trott 氏 (2021) が異議を唱えた、防護目的の確率的影響と組織反応の体系における区別であった。この放射線誘発効果の分類に関する問題は、「目的適合性」論文 (Clement et al., 2021) で提起されたトピックの一つであった。ワークショップでは、改善や明確化が必要かつ可能であるかどうかを確認するために、本体系におけるこの取扱いを見直す必要性が強化された。また、放射線デトリメントを確率的影響の統合的指標として解釈することの難しさについて、障害調整生存年 (DALYs) の概念を導入することによってもたらされる貢献との関連で議論された (Grambow, 2021; Vaillant et al., 2021)。もう一つの話は、有害発現性経路 (AOP) 手法の新たな利用であった。これらは、例えば、化学物質や電離放射線などの様々なストレス要因の相互作用を調べるために不可欠なツールとみなされている。この点については、これまで本体系では扱われてこなかった (Burt et al., 2021)。さらに、いくつかの発表では、例えば潜在的なしきい値 (Jeffries, 2021)、線形しきい値なし (LNT) モデル (Hamaoka, 2021)、幹細胞競争の役割 (Sasaki et al., 2021)、放射線関連の慢性リスク

を説明するために用いられるモデル (Bando et al., 2021) を考慮し、線量反応関係のよりよい理解に焦点が当てられた。これらの議論と 2 つの既存の ICRP タスクグループから情報を得て、ワークショップの直後、ICRP は、がんリスクモデル、デトリメントの計算における放射線以外の要因を含むいくつかのテーマに関するタスクグループの設立を優先させた (ICRP, 2021b)。さらに、受胎前の親の放射線量が子孫の有害事象に及ぼす可能性のある影響を探る研究が提案された (Mathews, 2021)。ワークショップの後、ICRP は、この分野の科学文献をレビューし評価するために、「子孫及び次世代における電離放射線被ばくの影響」に関するタスクグループ 121 を設置した。このタスクグループは、ICRP 第 1 専門委員会の下で準備ワーキンググループによって事前に情報を得ていた (ICRP, 2021b)。さらに、ヒト以外の生物相の放射線リスク (Cromnier et al., 2021)、放射線防護物質の使用における研究ギャップの検討 (Filimonova et al., 2021)、コミュニケーション戦略におけるリスク不確実性の役割 (Garnier-Laplace et al., 2021; Malone, 2021; Sasaki et al., 2021) などに取り上げられた。ヒト以外の生物相の防護は、放射線リスクに関して取り上げられ (Cromnier et al., 2021)、線量測定をさらに発展させるための作業が行われた (BenDriss et al., 2021; Gomina et al., 2021)。これらのトピックのいくつかは、Laurier 氏ら (2021) によって取り上げられた。

### 3.2. 体系の概念

予想通り、防護の最適化には大きな注目が集まった。何人かの参加者は、最適化に対してより包括的なアプローチを推奨し、今日よく見られるよりも広範囲に放射線学的な要因を考慮し (Andresz et al., 2021; Lamarre et al., 2021; Magnússon et al., 2021)、国民の認識と懸念に対応するために利害関係者のよりよい関与を促した (Lecomte, 2021)。これを支援するために、ICRP は、利益と害の間のトレードオフのための厳密な定量的科学的枠組みを作成することができる (Malone, 2021)。国連 (UN) の持続可能な開発目標は、社会、環境、経済のリスクと影響のバランスをとるための枠組みを提供し得る (Mayall et al., 2021)。さらに、何人かの参加者は、放射線防護における過剰な保守性に注意を促し、現実的な線量推定値を用いて防護を最適化する、最適化は最小化ではないことを強化する、決定に際して自然バックグラウンド被ばくの状況を利用する可能性があるなど、より妥当なアプローチの必要性を訴えた (Coates, 2021)。体系とその実施の要素が過度に保守的になっているという懸念が表明された (Lorenz, 2021; Magnússon et al., 2021; Sasaki et al., 2021)。合理性と耐容性に関する ICRP タスクグループ 114 の作業は、このトピックの重要な部分を扱っている (Schneider et al., 2021)。一部の参加者は、例えば生態系サービスの防護を考慮する (Cromnier et al., 2021)、生態系の健全性を評価するために使用される可能性がある単細胞生物を含めるために基準生物のデータベースを拡大する (Villegas Garcia, 2021)、国連の持続可能な開発目標を通じて防護の正当化および最適化の環境影響によりよく対処する (Mayall et al., 2021) など、環境の放射線防護に関するさらなる発展を支持した。いくつかの発表では、本体系の倫理的基礎を考慮することの重要性が取り上げられた。例えば、自然の完全性に関する倫理的価値と人間の健康に関する価値とを区別する必要性 (Martinez et al., 2021)、獣医活動の分野における動物の防護に関連する倫理的問題 (Cromnier et al., 2021; Pentreath, 2021)、医療倫理と放射線防護の両方に関連する倫理価値の交差 (Malone, 2021) 等

である。これは、科学的基礎と並んで本体系の倫理的基礎を明示的に組み込むという「目的適合性」論文での提案を強化するものである (Clement et al., 2021)。このプロセスで検討すべきその他の概念的問題には、例えば、社会的認可に対する新たな要求、線量限度の原則、被ばく状況の見直し、職業被ばくの定義の再検討、線量に用いられる量の見直し、適用範囲の検討、自然放射線への適用の明示的検討、線量と影響を関連付ける線形モデルの使用、「contamination (汚染)」という言葉の使用、防護の科学的基礎の認識論的制約の検討 (González, 2021)、がある。

### 3.3. 体系の適用

ワークショップでは、体系は堅牢であり、目的に適っており、うまく機能しているが (Johnston, 2021; Sasaki et al., 2021)、その実施はしばしば困難であることが何度も認識された。何人かの発表者は、特にコミュニケーションを助けるために、明快さと一貫性を高めること、および簡素化が重要であると指摘した (Johnston, 2021; Petrová, 2021)。同様に、放射線関連のリスクと関連する不確実性、そしてより一般的に体系の複雑さについて 伝えるためのコミュニケーションの重要性が何度も強調された (Andresz et al., 2021; Garnier-Laplace et al., 2021; Johnston, 2021; Magnússon et al., 2021; Martinez et al., 2021; Moores and Mattson, 2021; Petrová, 2021; Vassileva and Holmberg, 2021; Wilkins, 2021)。ICRP の文書や勧告は読みにくいため、線量限度、線量拘束値、参考レベル、線量測定や健康影響における不確かさ、最適化の適用、LNT モデルについて誤解を招く恐れがある (Chambers, 2021; Lorenz, 2021)。医療における本体系の応用は、いくつかの発表で特に取り上げられた。これらは、例えば、医療スタッフの教育と訓練の改善の必要性 (Nadareishvili et al., 2021)、コンピュータ断層撮影 (CT) スキャンの診断参考レベル (DRL) を全国的に設定することの重要性 (Bernardo et al., 2021)、医療現場におけるリスク認知の具体的側面と実効線量の利用 (Moores and Mattson, 2021)、医療技術の急速な進歩の継続 (García-Fernández et al., 2021)、CT 画像の再利用 (Vassileva and Holmberg, 2021) などが挙げられる。医療における放射線防護には、厳格な質の高い線量管理プログラムも重要である (Cruz and Jornada, 2021)。防護の正当化・最適化は、概念 (前述) だけでなく、実施上の課題に関しても提起された。例えば、正当化・最適化と参考レベルの使用は、ラドンに対する体系の適用 (Petrová, 2021) と同様に、追加ガイダンスから恩恵を受けるであろう分野として特定された (Cromnier et al., 2021)。基準値以下の最適化に関しては、ラドン行動計画の策定で遭遇する困難と、緊急被ばく状況での正当化の実施について明らかにする必要がある (Janžekovič, 2021 年)。原子力安全と放射線防護の関連性を明確にし、最適化プロセスにおける作業者のリスク制約の適用方法について、さらなるガイダンスが期待される (Cromnier et al., 2021)。模擬放射線場での動作追跡ソフトウェアを用いた職業被ばくのオンライン線量測定は、蛍光透視ガイド下インターベンション手技への適用について議論された (VanHavere, 2021)。参加者は、勧告は実行可能でなければならず、提案された変更は正当化されなければならないことを複数回強調した (Magnússon et al., 2021)。

### 3.4. ICRP の役割

いくつかの発表では、ICRP の役割について取り上げられた。これらには、体系の見直しと改定

の継続的なプロセスに対する貴重なアドバイスや、放射線研究と放射線防護の教育と訓練を強化するための国際的な努力の必要性が含まれていた (Caruana and Pace, 2021; Higley et al., 2021; Joseph et al., 2021)。ICRP、他の国際機関、および放射線防護コミュニティ全般の間の相互作用が特に重要であると考えられた (Johnston, 2021; Magnússon et al., 2021) 公開性、アクセス性、透明性は、本体系のレビューと改定を成功させるために極めて重要である。さらに、ICRP はその独立性を評価し確保するために、ガバナンスの枠組みを見直すべきであると提案された (Malone, 2021)。

### 3.5. ワークショップ直後の動き

ワークショップの数週間後に ICRP 主委員会の年 2 回の定例会議が開催され、主委員会は「子孫および次世代における電離放射線被ばくの影響」に関するタスクグループ 121 (ICRP 第 1 専門委員会の下で準備ワーキンググループにより事前に情報を得ていた) を設置し、以下のいくつかのテーマについてタスクグループの設置を優先的に決定した。生物医学研究における放射線防護、がんリスクモデル、環境防護のための生態系サービスアプローチ、医学における実効線量、正当化、不利益における放射線以外の要因 (ICRP, 2021b)。体系のレビューと改定の間、アクセス可能で、オープン、透明で、有意義なコラボレーションを確保し続けるために、ICRP は、進行中の作業に関するワークショップ (仮想、対面、ハイブリッド)、および完成した出版物に関するウェビナーを定期的で開催する意図を確認し、将来のタスクグループが設立された際に参加する専門家の関心表明の公開募集を発表した (ICRP, 2021b)。

## 4. ライブストーリーミングによるプレゼンテーション

### 4.1. セッション 1 : 全体像

この 3 時間のライブストーリーミングセッションは 2021 年 10 月 19 日に行われ、ICRP 科学秘書官兼 CEO の **Christopher Clement** 氏がモデレーターを務めた。5 つの口頭発表と 30 分の質疑応答で構成されている。

ICRP の **Werner Rühm** 委員長は、「放射線防護体系のレビューと改定」を発表してセッションを開始し、既に取り組まれている問題のいくつかを説明し、ワークショップの目的を強調し、国際協力が不可欠となる 10 年間の予定プロセスの概要を説明した。彼は、ICRP の勧告の明確性と一貫性を向上させ、適切な場合には体系の側面を簡素化する必要性を強調した (Rühm, 2021a)。

**Miroslav Pinak** 氏は、国際原子力機関 (IAEA) の **Peter Johnston** 氏を代表して、「放射線安全における国際ガイダンス文書の開発に関する協力」について発表し、放射線防護における IAEA の役割、ICRP との二機関の間での協力および放射線安全に関する関連機関委員会を通じた協力の事例を概説した。また、本体系は堅牢であり、目的に適っており、良好に機能していること、IAEA 加盟国が既に開発されたものを完全に実施するには時間が必要であり、加盟国の課題の多くは体系そのものというよりも実施に関連していることを指摘した。それでも、特にコミュニケーションを助けるために、明快さと一貫性を高め、簡素化することを支持した (Johnston, 2021)。

国際放射線防護学会（IRPA）の **Sigurður Magnússon 氏** は、「放射線防護体系の見直しに関する IRPA の視点」と題し、最近の 3 つの協議に焦点を当てた：「防護体系は目的に適っているか、それを容易に伝えることができるか」に関する IRPA 協議の結果の概要（Coates and Czarwinski, 2018）、「防護の最適化における合理性」に関する IRPA コンサルテーション（IRPA, 2021）、および最近設立された「放射線防護体系のレビュー」に関する IRPA タスクグループが集めた初期フィードバックの 3 つである。後者は、世界のあらゆる地域から数千人の専門家を代表する 20 の IRPA 関連学会から 30 人のメンバーが参加している。回答者の間では、以下のようないくつかの点について強い合意が得られている。

- 体系に関するコミュニケーションは、その複雑さゆえに困難である。
- 放射線やリスクについて一般の方とコミュニケーションをとることは重要である。
- この体系は過度に保守的であり、規制当局のアプリケーションはさらに保守的であるという懸念がある。
- 勧告は、実行可能でなければならない。
- 安定には価値があり、変更は正当化されなければならない。
- 体系の倫理的基礎は、体系に関するコミュニケーションにおける倫理に焦点を当てることを含め、ICRP の勧告に明示的に組み込まれるべきである。
- 最適化は、放射線以外の影響を含む全体的なものであるべきで、最小化ではないことを強調し、過度の保守性を避けるために合理的な注意を促すべきであり、実用的な勧告によってサポートされるべきである。

しかし、LNT モデルを防護の根拠として使い続けるかどうかについては意見が分かれた（Magnússon et al., 2021）。

**Kathryn Higley 氏**（オレゴン大学、米国）は、「放射線防護の将来における高等教育の役割はどうか」を公表し、放射線防護における正式な教育、訓練、実務経験の重要性に焦点を当て、より具体的には、学術プログラムが国際関与を通じてどのように強化され得るかに言及した。その後の議論では、ICRP、IRPA、その他の手段による関与の可能性を探った（Higley et al., 2021）。

**Flavious Bobuin Nkubli 氏**（マイドゥグリ大学、ナイジェリア）は、「ICRP 勧告の目的適合性の維持とグローバルな南北協力の必要性」を公表し、勧告が世界各地のすべてのエンドユーザーにとって目的に合うように、世界規模の協力の必要性に焦点を当てた。課題としては、言語のギャップ、文化の違い、インフラのレベルの違い、紛争や危機の影響を受けた地域などがある（Nkubli et al., 2021）。

#### 4.1.1. ディスカッション

その後の議論において、市民がどのように体系の見直しや改定に関与できるかという質問に対し、Werner Rühm 氏は、究極のステークホルダーである患者、作業員、そして体系が守るべき公衆の関与が重要であることを指摘した。Miroslav Pinak 氏は、IAEA が加盟国から意見を収集する

ために用いているメカニズムについて想起した。Sigurður Magnússon 氏は、IRPA のウェブサイトに掲載されている IRPA 文書「放射線とリスクに関する一般市民との関わりのための実践的ガイダンス」に言及した。Christopher Clement 氏は、ICRP の活動をより多くの人々が利用できるようにするための ICRPÆDIA の取り組みに言及した。

Flavious Nkubli 氏と Werner Rühm 氏は、ICRP のメンターシッププログラムや、今やおなじみとなったオンライン会議の活用など、国際協力・連携の手段について講演を行った。

このセッションでは、体系の見直しと改定における公開性と透明性の必要性が、スピーカーによって共有された。

#### 4.2. セッション 2：リスクと影響

この 2 時間のライブストリーミングセッションは 2021 年 10 月 19 日に行われ、ICRP 第 1 専門委員会の **Dominique Laurier 委員長** がモデレーターを務めた。5 つの口頭発表と 30 分の質疑応答で構成されている。

**John Mathews 氏** (メルボルン大学、オーストラリア) は、「電離放射線の次世代影響に関する再検討」を発表した。ほとんどの疫学的結果は、放射線に被ばくした人の子孫や次世代に悪影響が生じる過剰なリスクを示していない。彼は、受胎前にチェルノブイリで被ばくした両親の子供におけるデノボ遺伝子変異について、全ゲノム配列決定法を用いた最近の研究を批判した。その理由は、検出されたデノボ遺伝子変異は主に一塩基変異であり、遺伝子欠損やその他のコピー数変異は考慮されていなかったからである。受胎前の親の放射線量が子孫の有害な転帰を予測するという仮説を直接検証できるように、オーストラリアで大規模な全国疫学調査を行い、親の医療放射線の記録とその子供の健康転帰を関連付けることを提案した (Mathews, 2021)。

**伴 信彦 氏** (原子力規制委員会、日本) は、「将来における放射線デトリメントの計算方法の改善可能性」を発表した。ICRP タスクグループ 102 の作業の一部であるため、この発表は ICRP タスクグループ専用のセクションで議論されている (Ban et al., 2021)。

**Jacqueline Garnier-Laplace 氏** (OECD/NEA 放射線防護・原子力安全人的側面部) は、「低線量・低線量率健康リスクの不確実性低減には、研究実施と利害関係者への伝達における国際的なネットワーク化が必要」と題して発表した。NEA の放射線防護・公衆衛生委員会の下で運営されている低線量研究に関するハイレベルグループ (HLG-LDR) の活動について詳しく説明した。HLG-LDR は、低線量研究に資金を提供する組織と研究を実施する組織の世界的なネットワーク化を促進することを目的としている。このイニシアチブには、リスクの不確実性に関する政策指向のコミュニケーション戦略も組み込まれている (Garnier-Laplace et al., 2021)。

**角山 雄一 氏** (京都大学) は、「実測データを正確に近似する数理モデルの放射線防護への適用に関する提案」を発表した。同氏は、植物やマウスなどの動物における遺伝子研究実験で観察される線量率効果の再現を目指した数理モデル「Whack-A-Mole (WAM) モデル」について説明した。現在、WAM モデルの染色体異常への適用性を調査している。WAM モデルを例に、放射線防護

の分野で新しい数理モデルを取り入れることについて、さらなる検討を示唆した (Tsunoyama et al., 2021)。

**Klaus Trott 氏** (ミュンヘン工科大学放射線腫瘍学教室、ドイツ) は、「ICRP 勧告を将来に適合させるために必要なこと」と題して発表した。発表では、確率的影響と組織反応の区別に異議を唱えた。循環器系疾患、白内障、認知機能への影響、遺伝性影響など様々な例を挙げながら、現在体系で適用されている分類は、現在の放射線生物学的証拠と適合していないと主張した。彼は、新しい体系は、特定の臓器や組織における放射線影響の分類ではなく、特定の被ばく状況に基づくべきである、と結論づけた (Trott, 2021)。

#### 4.2.1 ディスカッション

議論では、本体系に関連する多くの問題が提起された。その多くは、被ばく者の子孫における放射線リスクの定量化と体系への統合、放射線影響の確率的反応と組織反応の現行分類の妥当性、がんの線量リスク関係の形状と LNT モデルの妥当性、線量率効果の考慮と線量・線量率効果係数 (DDREF) の妥当性といった影響の特徴づけに関する問題である。

その他、有害事象の計算過程の明確化、リスク指標や管理ツールとしての利用、放射線デトリメントにおける低線量での不確実性の考慮、放射線影響の定量化のためのモデル化手法の多様化など、本体系の改善可能性について検討した。

最後に、放射線デトリメントの計算のためのオープンソースソフトウェアの開発の可能性と妥当性、ICRP と特別なリエゾン組織の間の相互関係のさらなる発展への関心、コミュニケーションとトレーニングにおける改善の必要性など、より運用的なポイントもあった。

### 4.3. セッション 3 : 放射線防護の概念

この 2 時間のライブストリーミングセッションは 2021 年 10 月 20 日に行われ、ICRP 副委員長の **Donald Cool 氏** がモデレーターを務めた。5 つの口頭発表と 30 分の質疑応答で構成された。

**Nicole Martinez 氏** (クレムソン大学、米国) と **Friedo Zölzer 氏** (南ボヘミア大学、チェコ) は、「放射線防護の体系と実践に渡る倫理的価値の一貫性と補完性」について発表した。彼らは、ICRP Publication 138 (ICRP, 2018) から始まる倫理と倫理的価値に関する現在の ICRP の見解と、ICRP Publication 91 (ICRP, 2003a) からの環境放射線防護に関する価値について概説した。次に、医療で放射線を使用する際の患者の放射線防護の倫理を検討する ICRP タスクグループ 109 の作業について説明し、生物医学倫理の原則と ICRP の価値観の類似性に言及した。さらに、獣医学の分野にも拡大し、自然の完全性に関する価値と人間の健康に関する価値を区別する必要性を指摘した。ICRP の出版物によって異なる価値観が使用されているが、これらの価値観は互いに矛盾しておらず、社会的価値の進化に関する洞察を示している。提案された価値観セット間の補完性は、ICRP が前進する際に検討され、明らかにされる必要がある (Martinez and Zölzer,

2021)。

**Jean-François Lecomte** 氏 (放射線防護原子力安全研究所、フランス) は、「第 3 回 SFRP [Société Française de Radioprotection]/ 耐容性の概念の適用に関する IRPA ワークショップ」の概要を報告した。同氏は、最適化原則が本体系の礎であることを紹介した上で、SFRP が開始した一連のワークショップについて説明した。ワークショップは 2017 年、2018 年、2021 年に開催され、最初の 2 つのワークショップは合理性の追求に、3 番目のワークショップは耐容性の問題に焦点を当てた。SFRP のワークショップでは、家庭のラドン、自然由来の放射性物質、原子力発電所の解体などの事例をもとに、耐容と耐容外の境界の問題や、基準の選択の根拠などを検討した。この境界のリスクレベルは必ずしもすべての状況で同じではなく、関係するすべてのハザードを考慮することが重要であることを指摘した。また、決定の持続可能性、議論へのステークホルダーの関与も重要である (Lecomte, 2021)。

**Roger Coates** 氏 (前 IRPA 会長、英国) は、「放射線防護における低線量被ばくに関する意思決定の見直しの必要性」について発表した。体系をどのように導入するかを検討するには、特定の状況の文脈が重要であると述べ、例として、ある行為による材料のクリアランスを、バックグラウンド放射線量が平均より高い地域で休暇中に受けるかもしれない線量と比較する例を挙げた。また、本体系を適用する際には「常識」という価値観を加えるべきであり、自然界のバックグラウンド被ばくという文脈が意思決定に有用であることを示唆した。意思決定には、リスクの許容度との関連、国民の認識や懸念など、課題がある。彼は、意思決定において、参照バックグラウンド放射線レベルを用いること、最適化は最小化ではないことを強化すること、市民参加を優先すること、過剰な防護を避けるために現実的な推定値を用いることで、より親近感のあるアプローチが可能になると述べて締めくくった (Coates, 2021)。

**Sylvain Andresz** 氏 (核物質防護評価研究センター、フランス) は「作業者の放射線防護のための段階的アプローチの適用：欧州の ALARA (as low as reasonably achievable) ネットワークにおける事例と考察」と題して発表した。まず、「graded approach (段階的アプローチ)」という言葉が何を意味するのかを検証し、欧州の ALARA ネットワークからのいくつかの例を用いて、適用における大きなばらつきを説明した。次に、予備的な分析と放射線学のおよびその他の基準による状況の分類を含む、決定を下すための一般的なスキームを提案した。そして、最もリスクの高い部門/施設には最も高い規制の労力を割り、それ以外の部門にはそれ相応の労力を割くべきであると提案した。また、このプロセスにはコミュニケーションとステークホルダーの関与が不可欠であると指摘した。最後に、放射線防護における段階的アプローチは、他の規制で既に存在/定義されている管理メカニズムを活用することができ、その目的は統合的かつ最終的には全体的アプローチであるべきであると指摘した (Andresz et al., 2021)。

**Abel González** 氏 (アルゼンチン原子力規制庁、アルゼンチン) は、「放射線防護のための ICRP パラダイムに関する展望」について発表した。まず、現在の防護のパラダイムは健全な科学に基

づき、包括的であるが、放射線影響の認識論に関する科学的情報と放射線防護に対する現代の社会的要請に基づき、さらに改良する機会があることを指摘した。彼は、検討すべき 12 の提案を行った：社会的認可に対する新しい要求（すなわち社会的認可（すなわち、機関／企業の業務基準および操作手順に対する公衆の継続的な信頼と受容）に対する新しい要求、線量限度の原則、倫理の組み込み、被ばく状況の見直し、職業被ばくの定義の再検討、医療被ばくに対するアプローチの改良、線量に用いる量の見直し、適用範囲の検討、自然放射線への適用の明示、「LNT」の明確化、「contamination（汚染）」という言葉の使用、防護の科学的基礎の認識論的制約の検討であった（González, 2021）。

#### 4.3.1. ディスカッション

公開討論では、許容範囲と妥当性、様々な分野での最適化の適用、利害関係者と一般市民の参加の重要性というテーマに焦点が当てられた。これらの分野は、本体系の効果的な実施、関係者や影響を受ける人々の認識、そして決定の持続可能性にとって極めて重要である。本体系の理解とその適用をより促進するために、概念と原則を洗練し明確にする機会がある。

#### 4.4. セッション 4：応用と実践

この 2 時間のライブストリーミングセッションは、ICRP 第 4 専門委員会の **Thierry Schneider 委員長**の司会で、2021 年 10 月 20 日に行われた。5 つの口頭発表と 30 分の質疑応答で構成された。

**Douglas Chambers 氏**（TKI Radiological Sciences Arcadis Canada Inc.、カナダ）は、「ICRP 勧告の更新－実務者の視点」を発表し、ICRP の出版物と勧告を一般聴衆と規制委員会に提示する際に遭遇する困難さを強調した。彼は、線量限度、線量拘束値、参考レベルの概念の適用に関する誤解によるいくつかの課題について言及した。また、ALARA の原則の適用は、線量ゼロを意味するのではなく、諸要素のバランスに依存することを想起した。LNT の線量反応の利用については、これが実効線量の概念と明確に結びついた仮定であることを想起することの重要性を指摘した。しかし、Chambers 氏は、低線量では線量そのものを測定できない可能性があることを示唆している。その場合、リスクは低く、バックグラウンド放射線からのノイズに紛れてしまうことが多い（Chambers, 2021）。

**Nina Cromnier 氏**（スウェーデン放射線安全局（SSM）、スウェーデン）は、「理論と実践の間のギャップを埋める必要性－いくつかの特定された領域における当局の見解」を発表し、ICRP 勧告の中で SSM がさらなる明確化と調整を求めているいくつかの論点を挙げた。彼女はまず、医療被ばく状況についての実践と理論の間のギャップを強調した。ICRP の多くの出版物が医療現場における体系の実用化を扱っているが、医療被ばくをよりよく体系に統合することを訴えた。緊急被ばくについては、緊急・復旧活動に従事する作業員の分類を改善する必要性に言及した。原子炉の設計と運転については、原子力安全と放射線防護を関連付け、作業員の潜在被ばくに対処するための具体的な放射線基準をよりよく扱うよう主張した。最適化プロセスにおける作業員

のリスク制約の適用方法について、ICRP からのさらなるガイダンスが期待される。環境防護については、生態系サービスの防護をさらに考慮した体系の拡張の重要性に言及した。最後に、獣医学的活動の分野における動物の防護に関連する倫理的問題について議論するよう呼びかけた (Cromnier et al., 2021)。

**Helena Janžekovič** 氏 (スロベニア原子力安全局、スロベニア) は、「ICRP 103 と認可・検査プロセス」について発表し、ICRP が導入した概念の一部が、線源のユーザー、規制スタッフ、有資格専門家などにとって理解不足であったことを説明した。彼女は、特に正当化、線量拘束値の使用、参考レベルを用いた最適化など、実践のための更なるガイダンスの必要性に言及した。後者については、国家ラドン行動計画の策定、あるいは FDNPP 事故後に観察されたように、原子力事故時の避難の決定において遭遇する困難を報告した (Janžekovič, 2021)。

**Dlama Zira Joseph** 氏 (ラフィア連邦大学、ナイジェリア) は、「放射線防護における教育と訓練：ICRP 勧告を目的に合ったものにするためのギャップの解消」を発表し、発展途上国が持続可能で適切な訓練プログラムを設定する際に直面する困難さを強調した。また、放射線防護のための教育・訓練は、統合的かつ全体的なアプローチで取り組むことが重要であると述べた。教育訓練プログラムの開発を促進するために、内容の調和、ICRP の支援による訓練生への支援の組織化を提案した (Joseph et al., 2021)。

**Jim Malone** 氏 (トリニティ・カレッジ・ダブリン、アイルランド) は、「ICRP と医療における放射線防護のためのガバナンスと倫理の一世紀」を発表し、ICRP がその独立性を確保し評価するために、ガバナンスの枠組みを見直すことの重要性を強調した。彼は、勧告は医療倫理と放射線防護の両方に関連する倫理的価値に照らして検討されなければならないことに言及した。彼は、利益と害のトレードオフのための厳密な定量的科学的枠組みを作ろうとする ICRP の試みに疑問を呈し、今後、不確実性に関する考察を深めるよう求めた (Malone, 2021)。

#### 4.4.1 ディスカッション

正当化の原則の適用、最適化の原則の適用、教育・訓練とリスクコミュニケーションの 3 つを中心に議論が行われた。

正当化の原則の適用については、医療分野を中心に、異なる領域での適用を検討する必要性が強調され、当局・規制者、専門家、ステークホルダーの役割、正当化の評価基準について検討された。また、診療の初期段階やすべてのライフステージにおいて、正当化の適用を検討することの重要性についても言及された。倫理的な基準は、この原則の適用を評価するために有用であると考えられた。

最適化の原則の適用については、現行制度の簡素化と理解増進の要請がバランスよく議論された。また、線量限度、線量拘束値、参考レベルの概念の適用の明確化も強調された。また、医療分野

における最適化の実践的な適用に関するさらなるガイダンスが要求され、さらに、異なる被ばく状況において基準レベル以下に適用する際の倫理的配慮の根拠と使用方法に関する明確化も要求された。同じ精神で、何人かの参加者は線量カットオフ値の導入を求めたが、他の参加者はその根拠と有用性に疑問を呈した。最後に、COVID-19 のパンデミックの管理から教訓を引き出すこと（特に国民の共同専門知識の開発と専門家がとどまる必要性）、パンデミックの管理からの教訓が放射線防護の現在のアプローチをどのように変えるかも検討することが提案された。

教育・訓練、リスクコミュニケーションに関しては、ICRP が本体系に関する放射線防護専門家の教育・訓練を促進するための戦略計画およびロードマップを策定する必要性が議論された。このため、教育・訓練に関するロードマップを実施するために、国内および国際機関との協力関係を築くことが提案された。さらに、ICRP 勧告のコミュニケーションと普及を改善するために、一般向けの要約を作成すること、また、勧告の実施に関するフィードバックを奨励し測定するために、様々な利害関係者との対話を組織化することが強調された。

## 5. オンデマンド配信による発表

オンデマンド配信による発表では、電離放射線の様々な適用と関連する放射線防護の問題に焦点が当てられた。口頭発表と論文あるいはポスター発表で構成され、参加者のコメントと著者およびまたは ICRP 委員による回答があった。これらの発表の簡単な要約を、個々の ICRP 専門委員会に関連する順番で以下に示す。

### 5.1. 第 1 専門委員会関連発表の概要

**Julie Burt 氏**（カナダ原子力安全委員会、カナダ）らは、「放射線研究における有害発現性経路（AOP）の推進：国際的な水平思考型演習」を発表した。NEA の HLG-LDR の支援の下、放射線分野における AOP の枠組みの使用に関して最も重要な未解決の課題を特定するために、国際的な水平思考型演習が実施された。AOP は、化学と放射線の両分野の研究者の知識に基づいて、知識領域を特定し、エビデンスギャップを定義し、研究の方向性を示すために不可欠なツールであると考えられている。本実験の第一段階では、放射線研究における AOP の利用に関する研究課題を収集した。課題には、放射線被ばくの影響の理解、放射線に対する個人感受性に関する洞察、放射線被ばくと免疫系の関連性、有害事象におけるエピジェネティックな変化の役割の解明、DNA 修復機構の解明、放射線リスク評価の支援をよりよく理解するために AOP を使用することが含まれている。現在、将来の共同研究プロジェクトの方向付けを目的として、幅広い研究者コミュニティに調査を行うため、課題のランク付けを行い、最有力候補を特定している（Burt et al., 2021）。

**Marina Filimonova 氏**（シベリア放射線医学研究センター、ロシア連邦）らは、「放射線病変の予防のための手段開発のための有望な概念」を発表した。その結果、選択された一酸化窒素合成酵素（NOS）阻害剤が有望な放射線防護剤となる可能性が示唆された。現在、放射線治療において正常組織への毒性を防ぐために使用が認められている放射線防護剤は、アミフォスチンとパリフ

エルミンの2種類のみである。しかし、両者とも副作用を誘発するため、より副作用の少ない放射線防護剤の開発が求められている。内皮型および誘導型NOSを選択的に阻害できる化合物は、有望な候補である。NOS阻害剤、特にN,S-置換イソチオウレアは比較的安全な用量で正常組織を放射線毒性から防護することが実証されている。NOS阻害剤は、血管弛緩の内皮依存性eNOS/sGC/cGMP経路を抑制することによって作用し、将来の放射線防護剤の有望種となる(Filimonova et al., 2021)。

**Cameron Jeffries 氏** (南オーストラリア・メディカル・イメージング、オーストラリア) は、「放射線防護体系は、目的に適うために第N度までの科学を必要とするか」を発表した。規制が要求されないしきい線量を導入することで、利害関係者の利益のために体系を簡素化できる可能性が示唆された。このような修正が有益な分野の一例として、LNTの採用(または地域での解釈)により、たとえ途中で短いX線検査が含まれるだけであったとしても、医療スタッフは長時間の外科手術の間、7kgの鉛製エプロンの着用が義務付けられている。この慣習は、エプロンを着用せずに吸収した放射線量から想定される確率的影響のリスクよりも高い筋骨格系損傷のリスクを与える。また、費用対効果を計算すると、鉛製エプロンの適用が正当化されないことがわかる。Jeffries氏によれば、規制は経済的、社会的要因に関係なく、危害のリスクを防止するための適切な防護レベルを超えている。本体系を目的に適ったものにするために、1mSvをしきい値とする新たなしきい値モデルを適用すべきである(Jeffries, 2021)。

**佐々木 道也氏** (電力中央研究所、日本) らは、「発がんリスクと放射線防護体系の実施に関する課題」を発表した。本体系は十分に堅牢であるが、時代とともに変化しており、新しい知見を加え、さらに改善する必要があると述べられた。低線量域では、がんが主なデトリメントとなる。佐々木氏らの研究室では、幹細胞ニッチへの滞留をめぐる正常幹細胞と放射線修飾幹細胞の競合、すなわち放射線誘発がんの線量応答の形状に影響を与えるプロセスの解明に注力している。さらに、低線量域におけるリスクの不確実性にどう対処するかを明らかにすることが重要である。放射線防護は、安全マージンを確保し、過度の保守主義を避けなければならない。最後に、本体系を目的に適ったものに維持するために、放射性廃棄物管理の最適化にさらに注意を払う必要がある(Sasaki et al., 2021)。

**濱岡 豊氏** (慶応義塾大学、日本) は、「LNTモデルは“仮説”ではない：LNTを経験的に支持する疫学データの再解析」と発表した。低線量域のデータに適合し、事実に基づいた最適なモデルを発見することを目的として、原爆被ばく者のがん発生に関する寿命調査データの再解析を行った。この研究の理論的根拠は、LNTモデルが100mSv以下の確率的影響のリスク評価に適切かどうかに関して、科学的証拠によって結論を導き出すことはできないというICRPが表明した意見の妥当性を確認することであった。この解析では、個人レベルのデータの集計・表化、低線量域へのサンプルの限定、不完全なモデル選択という3つの一般的で問題のあるアプローチを避けるべきことが強調された。その結果、LNTモデルがデータに最もよく適合することが示され、放射線防護に使用するためにLNTモデルを選択する科学的根拠が示された(Hamaoka, 2021)。

**Ludovic Vaillant 氏**（核物質防護評価センター、フランス）らは、「放射線デトリメントの計算方法：現在の放射線関連以外のパラメータのレビューと展望」を発表した。ICRP タスクグループ 102 では、放射線デトリメントの計算方法とその発展のための展望が検討されている。この計算過程では、がんの重症度を調整した後、名目リスク係数から放射線デトリメントを推定している。この調整は、致死率、QOL（生活の質）係数、がんによらない生活の相対的損失年数という放射線とは関係のない 3 つのパラメータに依存する。ICRP は、放射線デトリメントの計算方法を改定する必要があり、がんの重篤度に関する科学的知見と専門家の判断の発展を反映するために、これらの放射線に関連しないパラメータについて更新が必要であることを認識している。これを更新するために考えられる方法が説明され、放射線誘発損害の指標として DALYs を用いることの妥当性と実現可能性が議論された。今後数年間、ICRP によってこの分野での作業が行われるはずである（Vaillant et al., 2021）。

**富田 雅典氏**（電力中央研究所、日本）らは、「放射線誘発幹細胞競合と線量率効果」を発表した。富田氏らの研究室での研究は、高線量率および低線量率の被ばく条件下における放射線誘発幹細胞の競合を腸管オルガノイドを用いて評価することに焦点をあてている。その結果、照射された幹細胞は、非照射細胞との混合オルガノイドで培養すると、増殖に不利になることが観察された。しかし、単独で培養した場合には、照射した幹細胞はよりよく生存することが確認された。これらの結果は、放射線誘発幹細胞競合が腸内で起こりうることを示唆しており、幹細胞競合は、高線量率照射と比較して低線量率照射の温存効果を説明することができる。この知見は数理モデルによって裏付けられている。低線量率被ばくと高線量率被ばく後のがんリスクにおける幹細胞競合のメカニズムを考慮することは、今後の体系を目的に合ったものにするために重要である（Tomita et al., 2021）。

**Bernd Grambow 氏**（素粒子物理学・関連技術研究所、フランス）は「世界的な疾病負担における放射線リスク」について発表した。疾病負担全体に対する放射能の寄与は、公共性の高さにもかかわらず、環境汚染全体との関連で語られることはほとんどなかった。この点について、世界保健機関（WHO）が開発した概念である DALYs を用いて、世界的な疾病負担を評価し、化学毒性リスクの影響を他の多くのリスク要因の影響と比較することにより説明した。福島避難区域や将来の放射性廃棄物処分場周辺など、電離放射線に曝される多様な状況を考慮した結果が示された。ICRP は放射線リスクを他のリスクとの総合的な文脈で理解できるように努力すべきであると結論づけられた（Grambow, 2021）。

**坂東 昌子氏**（京都大学、日本）らは、「放射線による生物影響の統一的理解。線形二次モデルの難点を克服する」を発表した。放射線による生物影響の統一的な記述として、WAM モデルが発表された。WAM モデル開発の基礎となったのは、放射線誘発 DNA 突然変異の頻度に対する線量率の影響に関するデータの不整合であった。WAM モデルは、細胞排除効果を考慮することにより、DDREF の概念を適用することなく、低線量率の場合として線量分割の影響を記述するこ

とができる。このように、WAM モデルは、放射線治療中の腫瘍消失の進行予測に適用することができる (Bando et al., 2021)。

## 5.2. 第2 専門委員会関連発表の概要

**Mahmoud Gomina 氏** (イブラヒム・バダマシ・ババンギダ大学、ナイジェリア・ラパイ) らは、「エル・アミン大学建設予定地 (ナイジェリア・ミナ) における非ヒト生物相の線量評価」の拡張した要旨を提供した。ナイジェリアのある場所における非ヒト生物相への線量率を、ERICA ソフトウェアを用いて推定した。主な入力データは、過去の調査から得られた自然放射能レベルである。主な結論は、これらの結果は、非ヒト生物相への総線量率の人為的増加の可能性を評価するためのベースラインデータとして役立つということであった (Gomina et al., 2021)。

**Seung-Chan Lee 氏** (韓国水力原子力発電株式会社、韓国) は、「ICRP30 および ICRP60 に基づく原子力発電所における MCR 運転員の被ばく影響に関する研究」と題して発表した。原子力発電所の主制御室で作業するオペレータに与えられる線量を計算した。ICRP Publication 30 と 60 (ICRP, 1991, 2007) に従って提案された線量換算係数を比較し、トリチウムの線量寄与はどちらの場合も無視できると結論づけた (Lee, 2021)。

**Andrea Castillo 氏** (ニカラグア国立自治大学、ニカラグア、マナグア) らは、「円筒ファントムを用いた Hp(3)線量計の校正」という拡張した要旨を発表した。この研究では、眼の水晶体に対する Hp(3)線量計の校正手順が報告された。これにより、国家レベルでのこの線量計の利用を提案することができた (Castillo et al., 2021)。

**Hafssa BenDriss 氏** (イブン・トフェール大学、モロッコ) らは、「InterDosi に基づくモンテカルロ法による Cs-137, Te-132, Co-58 のボクセルベースのカニファントムにおける S 値評価」の拡張した要旨を発表した。カニファントムへの Cs-137, Te-132, Co-58 の組込みに関連する S 値を医療用内部被ばく線量計の方法論に従って計算した。この計算は、海洋電離放射線汚染の指標として使用される InterDosi コードを用いて、カニの 5 つの主要臓器について行われた (BenDriss et al., 2021)。

**Lynn Ninsiima 氏** (原子力委員会、ウガンダ) らは、「成人胸部コンピュータ断層撮影検査における線量の最適化：ファントム研究」の拡張した要旨を発表した。胸部 CT プロトコルの画像取得パラメータ (ピッチと印加電圧キロボルテージ) は、S/N 比を一定以上に保つように最適化された (Ninsiima et al., 2021)。

**Filip Vanhavere 氏** (SCK-CEN、ベルギー) は、「計算法による個人オンライン線量測定:PODIUM プロジェクトとアクティブ型線量測定法の未来」を発表した。欧州の PODIUM プロジェクトは、従来の測定器 (装着型モニタリングバッジ) なしで個人の職業被ばくの線量測定を行うことの可能性を調査することを目的としている。本発表では、透視下での介入的治療手技の事例を分析し

た。PODIUM プロジェクトでは、3次元光学イメージングを使用して、線量算定ファントムとともに作業者の位置と姿勢をリアルタイムで推定し、さらに透視装置の被ばくパラメータを推定することを提案している。現時点では、特定の被ばく状況においては、将来的にこのようなアプローチが有効であると思われるが、室内での異なる作業者の動きの監視や、遮蔽物の位置や役割など、解決すべき重要な課題が残っている。個人線量計を使わない自動線量測定が長期的な目標であり続けるとしても、開発中のツールは間違いなく、教育や訓練の分野でより早く用途を見出すことができるだろう (Vanhavere, 2021)。

### 5.3. 第3 専門委員会関連発表の概要

**David Nadareishvili 氏** (ベリタシュヴィリ実験生物医学センター、グルジア) らは、「グルジアにおける歯科放射線処置に携わるスタッフの放射線防護と安全に対する意識：アンケート調査に基づく研究」を発表した。この研究は、放射線画像の使用と歯科患者の防護に関する歯科スタッフの現在の知識と認識について重要な情報を提供するものである。歯科医師を中心に 100 を超える回答があり、基本的な安全基準に関する十分なトレーニング、妊娠中の患者に対する特別な防護の必要性の認識、患者に対する放射線画像の適切な使用などが示された。また、この調査は、行われている訓練の機会で得られる知識ギャップを強調した。つまり、質問の表現によっては明確でないかもしれないが、回答者の 55%のみが研修プログラムから放射線安全を学んだと回答し、25%は「ALARA」という用語を知らなかった。この調査は規制機関や専門機関とよく調整された取り組みであったので、時間の経過とともに繰り返されたり拡大されたりするかもしれない (Nadareishvili et al., 2021)。

**Michael Moores 氏** (International Radiotherapy Services Ltd、英国) らは、「C 放射線防護体系に関するコメント」を発表し、放射線防護に関する 3 つの議論に焦点を当てた。すなわち、リスクの認識と現実には大きな違いがあること、世界中で CT 検査が著しく増加していることに伴う線量とリスクの評価、医療における実効線量の使用である。この興味深く、刺激的な発表では、ある分野の知識の専門家とそうでない人との間で特定のリスクについてどのように認識しているのか、また、電離放射線リスクについて他の活動と比べてどの程度理解が不足しているのかについてのデータが示された。リスクは排除できないが、安全管理を強化し、人間の行動とリスクコミュニケーションを理解することで実用的に管理できることが指摘され、これは ICRP による次の一般勧告のレビュー/考察の焦点となっている (Clement et al., 2021, Moores and Mattson, 2021)。

**Gonzalo García-Fernández 氏** (マドリード工科大学、スペイン) らは、「小型陽子線治療センター (CPTC) における運用的な放射線防護の試運転時における新たな進展の効果」について議論し、ICRP Publication 127 (ICRP, 2014)の出版以来、陽子線治療技術の科学と実践がいかに早く進展しているのかを実証した。小型陽子線治療センターの優れた概観と患者への線量付与の進展について、コスト削減も可能な放射線防護のための施設設計に焦点を当てて示された。ICRP Publication 127 (ICRP, 2014)の推定値と異なるモンテカルロ計算結果が提供された。新しい設備

の試運転のための 10 の戒めリストでは、コンクリート、換気、水、土壌の技術で線量を軽減する方法が提供された (García-Fernández et al., 2021)。

**Arícia Ravane Pereira da Cruz 氏** (ペルナンブコ連邦大学、ブラジル) らは、「様々な介入的画像診断装置における動作モード (High、Normal、Low) と FOV (Field of View) サイズの違いが空気カーマ率に与える影響」を発表し、室内装置と C アーム装置における介入手技用の線量出力品質管理試験の経験談を述べた。管球出力の低モードと通常 (中) モードと高モードを使用し、異なる FOV を使用した場合の出力測定が行われた。その結果、低、中、高とモードが切り替わるにつれて、線量が段階的に増加することが予想され、一般に FOV が小さいほど線量が増加するが、フラットパネル装置ではそれほどでもなかった。しかし、ベンダー間や同一装置内での線量や線量率のばらつきという点では、予想外の結果もあった。このことは、高品質の線量管理プログラムの必要性を補強した (Cruz and Jornada, 2021)。

**Jenia Vassileva 氏** (IAEA 患者放射線防護ユニット、オーストリア) らは、「繰り返し行われる医療用放射線画像診断に対する放射線防護の視点」を発表した。100mSv を超える医療用画像診断における累積実効線量 (CED) の増加の証拠について、今後の可能性のある道筋に沿って説明された。2017 年から 2021 年にかけて、主に CT 画像から、そして介入処置や陽電子放射断層撮影/CT からも、主に先進国において、最短で 1 日から、典型的には 1~5 年の期間にわたって発生した 100mSv 超の CED を示す 20 件以上の論文が発表された。健康影響が生じる可能性があることを示す証拠があるこれらの線量を受けた世界中の撮像集団の割合は、一貫して約 1% であり、いくつかの出版物は、すべてのケースが高齢者や病気の集団でないことを示す一般的な人口統計情報を提供している。この新しい分野に取り組むための提案として、正当化の強化、医療画像記録における標準的な線量測定の使用、この分野における関係者間の教育・訓練の強化、CED に関する利益/リスクのコミュニケーションの明確化など、9 つの国際機関によって作成された IAEA 立ち位置表明と行動のための呼びかけを実施した (Vassileva and Holmberg, 2021)。

**Mônica Oliveira Bernardo 氏** (ミゲル・ソエイロ病院、ブラジル、サンパウロ) らは、「ブラジルにおけるトモグラフィーの線量基準レベル導入のための戦略: 予備解析」を発表し、それは CT 検査における DRL の確立に向けた素晴らしい一歩を示すデータで、おそらくラテンアメリカで最初のものである。この予備解析では、国際的な手法を組み合わせ、ブラジル国内の 8 つの州の 15 の病院から迅速にデータを収集し、最も一般的な 10 の臨床 CT 検査における平均値と 25~75% 値の範囲 (ボックスプロット) の指標を提供した。このプロセスは、データの収集、分析、公表、病院への還元を説明する、よく練られたものであった。ICRP Publication 135 (ICRP, 2017) や他のツールの使用も含め、数ヶ月という短い期間でのチームの成功は賞賛されるべきであり、このアプローチは他の人によって適用されるかもしれない。このプロジェクトグループで最も印象的なのは、彼らがプロジェクト管理について深く理解しており、各ステップが重要であることである。つまり、DRL は反復的であり、定期的に更新する必要がある、常に改善の機会があることである (Bernardo et al., 2021)。

#### 5.4. 第4 専門委員会関連発表の概要

**Edith Villegas Garcia 氏**（トリエステ AREA サイエンスパーク、イタリア）は、「環境と非ヒト生物に対する放射線防護の課題」に関して強調して発表し、ICRP Publication 108 (ICRP, 2008b) で採用したアプローチを拡大するよう呼び掛けた。生態系は単純な生物の集合体では完全に記述できず、ヒトをモデルとした生物個体単位のアプローチでは、生態系の放射線防護を保証するには限界がある。また、低線量放射線がバクテリアに様々な影響を与え、抗生物質に対する潜在的な耐性を誘発することを示す最近の研究結果が取り上げられた。このような観点から、より小さな生物も無視できないことが言及された。特定の地域の生態系に適合した決定を導くために、異なる生物に対する影響に関する共同データベースの開発が提案された (Villegas Garcia, 2021)。

**Mary Olson 氏**（Gender and Radiation Impact Project、米国）は、「放射線防護におけるデータ可視化とジェンダーの問題」について、2019 年からの研究結果を発表した。人間の全ライフサイクルにおける電離放射線の生物学的影響を探った。標準人や標準集団でアプローチを単純化するのではなく、その人の生涯に沿った進化を考慮することの重要性が強調された。これに基づいて、原爆被ばく者の利用可能なデータが分析され、生涯を通じた性差を考慮することの重要性が強調された。Olson 氏は、標準人を 6 歳以下の女性に設定することで、これらの差異を放射線規制によりよく統合することを呼びかけた (Olson, 2021)。

**Andy Mayall 氏**（英国環境庁、英国）らは、世界的な社会経済的課題と環境悪化の変化が加速する中で、「国連の持続可能な開発目標への貢献を強化するための放射線防護体系の開発」の必要性を論じた。社会、環境、経済のリスクと影響のバランスをとるための統合的なアプローチの採用が提案された。この観点から、国連持続可能な開発目標は、ICRP の 3 原則である放射線被ばくの正当化、最適化、線量限度を再調査するための理想的な枠組みであると考えられた (Mayall et al., 2021)。

**Karla Petrová 氏**（欧州放射線防護機関管理者連合 (HERCA) の議長）は、「ICRP の将来の作業領域に関する HERCA の提案」を発表し、これらの提案は HERCA 会員による協議によって特定された予備リストとして考慮されなければならないことに言及した。この協議では、体系の簡素化、参考レベルの正当化・最適化・使用、ラドン、コミュニケーションの 4 つのテーマが選ばれた。HERCA メンバーは ICRP と協力し、特に特定の HERCA 文書や出版物を作成し、話題のワークショップを開催することで、今後数年間にわたり体系の洗練に貢献することを望んでいる (Petrová, 2021)。

**Bernd Lorenz 氏**（Lorenz Consulting、ドイツ）は、「ICRP : 今こそ変革の時！」と強調して、体系の大幅な変革を訴えた。線量については、ICRP 勧告を適用した場合、世界の職業被ばくは 1mSv/年未満であり、線量限度から大きくかけ離れている。この状況で、ICRP はこれらの結果を無視し、電離放射線の有害な影響を過大評価する傾向があり、特に眼の水晶体に対する新しい

線量限度、ラドンに対する参考値、新しい DCRL について述べられた。ICRP Publication 26 (ICRP, 1977)で採用された ICRP 勧告は再考されなければならない、ICRP は現在の放射線防護制度下では「誰でも」安全であると明言すべきであると指摘された。LNT 仮説を用いないことを推奨した (Lorenz, 2021)。

**Carmel J. Caruana 氏** (マルタ大学、マルタ) らは、「ICRP の勧告は目的に合っているかもしれないが、十分な人的資源がなければ、そこに到達することはできない」の中で、体系の進化を成功させるための条件について議論した。ICRP 勧告を効率的に実践するための人材不足が深刻であることが強調された。この観点から、医学物理学と放射線防護の専門職の教育プログラムを統合することが提案された。この革新的なカリキュラムは試験され、成功することが見出された (Caruana and Pace, 2021)。

**Jessica Callen-Kovtunova 氏** (ハノーバー大学、ドイツ) らは、「原子力または放射線緊急事態への対応のための ICRP 勧告の目的適合化」を発表した。600 以上の論文のメタ分析に基づき、FDNPP 事故後の防護措置の実施による過剰な早期死亡について、仮想的な過剰放射線誘発性がんと比較した推定値が報告された。人々の効果的な防護を確保するためには、ICRP 勧告にこれらの負の影響をよりよく統合することが必要である (Callen-Kovtunova and McKenna, 2021)。

**Marcel Lips 氏** (世界原子力協会 WNA) らは、「電離放射線リスクの管理：より広範な状況に対する必要性」について発表した。気候変動という状況において、ローカルなスケールに焦点が当たりすぎるのを避けるために、ICRP が「オールハザード・アプローチ」を採用する必要性が強調された。この状況では、LNT 仮説、低線量に伴うリスクに関する教育、過剰な保守性、線量の体系などの問題が世界に及ぼしうる影響について慎重に検討することが推奨された (Lips and de Ruvo, 2021)。

**Greg Lamarre 氏** (OECD/NEA) らは、「意思決定における最適化の近代化」に関する放射線防護・公衆衛生委員会の現在の検討状況を発表した。本体系の実施における最適化の重要な役割は認識されているが、包括的かつ全体的な意思決定プロセスの推進を可能にする枠組みの開発を促進する必要があることが強調された。この観点から、最適化の原則を実践するために考慮すべき 4 つの柱が挙げられた：全体的または統合的な防護、純益と「共通善」の最大化、利害関係者の関与、そして比例の必要性であった。このため、NEA の放射線防護と公衆衛生に関する委員会の今後の作業では、政策と実践を社会と協議しながらどのように展開するか、政策と実践をどのように簡素化できるか、他の政策と実践の考慮をどのように統合するか、という 3 つの柱を扱うことになる (Lamarre et al., 2021)。

**熊澤 蕃 氏** (元・日本原子力研究所) らは、「低線量リスクに対するリスク認知の定量的評価」に関する分析結果を発表した。その目的は、年間線量が線量限度値に近づいた場合に、特に対数分布と正規分布を組み合わせた「ハイブリッド対数正規分布」の採用を促進することであった。こ

のモデルは、1980年代に開発され、放射線防護の様々な分野で応用されているものである。特に、FDNPP 事故後のモデルの特性として、空間線量率の時間的・空間的減衰と、避難住民の個人線量分布の推定に関する観測が強調された (Kumazawa et al., 2021)。

**Hugh Wilkins 氏** (Radiation Consultancy Services、英国) は、「放射線防護文化、コミュニケーション、状況」についての考察を発表した。社会的・文化的背景の進化が議論され、放射線リスクが意思決定者やその他の利害関係者によく理解されるように放射線防護文化を発展させる必要があることが示された。この観点から、組織文化は良好なコミュニケーションを発展させるための重要な要素である。この分野における IAEA、WHO、IRPA、国際医学物理学機構の最近の発展が強調された (Wilkins, 2021)。

**水野 義之 氏** (京都女子大学、日本) は、「福島第一原子力発電所事故から 10 年、トリチウムの社会的理解に関する科学的改善」に関する研究成果を発表した。福島第一原子力発電所から海洋へのトリチウム放出という難しい社会的課題から出発し、測定されたトリチウム濃度を再現するモンテカルロ・シミュレーションを実施した。その結果を、福島の漁業関係者を含む一般市民と共有することが目的である。また、遠心分離機を用いたトリチウムの分離の可能性についても検討した。放射線防護の領域で、正確でわかりやすい情報を発信することの難しさについて言及した (Mizuno, 2021)。

**Catherine Taylor 氏** (クリスティ NHS 財団トラスト、英国) は、「トラストの部門を超えて自己評価された放射線安全文化」を調査するためのアプローチを発表した。米国放射線防護・測定審議会が採用した放射線安全自己評価のレベルに基づき、英国の医療部門と原子力部門の間で、タスク、プロセス、プログラムの 3 つのレベルに区別して比較調査を実施した。この調査で分析された主な要素は、説明責任、公開性とコミュニケーション、継続的な学習、作業プロセスについて言及している。ICRP がコミュニケーションと利害関係者の関与という側面を取り入れることの重要性が強調された (Taylor, 2021)。

## 5.5. ICRP タスクグループからの発表の概要

通常、各 ICRP 専門委員会は、ICRP の目標達成に関連するテーマについて、いくつかのタスクグループを監督している。多くの場合、タスクグループは報告書ドラフトを作成するために設置され、対応する専門委員会と主委員会で承認された後、ICRP のウェブサイトに掲載され、一般公開される。今回のワークショップでは、いくつかのタスクグループが、体系の見直しにおいて重要と思われるテーマについて作業内容を発表した。

かなり長い間、「診断核医学における患者への放射線量」に関するタスクグループ 36 は、とりわけ、ICRP Publication 60 (ICRP, 1991) で発表された線量測定体系に依然として基づいている「放射性医薬品による患者への放射線量：頻繁に使用する物質に関連する最新情報の概要」に関する ICRP Publication 128 (ICRP, 2015a) の改定に取り組んできた。タスクグループ 36 の議長であ

る **Augusto Giussani** 氏は、この取り組みには、例えば、ICRP Publication 110 (ICRP, 2009a) と ICRP Publication 143 (ICRP, 2020) の新しい ICRP 成人・小児標準ボクセルファントム、ICRP Publication 107 (ICRP, 2008a) の核崩壊データ、ICRP Publication 103 (ICRP, 2007)、及び、利用できるのであれば、最新の生物動態情報を含む完全コンパートメントモデル(例えば、 $^{18}\text{F}$ FDG の生体内動態及び線量評価に関する改定されたコンパートメントモデル、あるいは尿中排泄の動的過程についてより現実的な記述を含むモデル)を使用した線量換算係数の計算が必要であると報告した。また、生後1年の乳児に対する特異的な線量測定や、投与された放射性医薬品の分布が不均一な場合の臓器や組織の小領域に対する線量の評価が検討に含まれる可能性がある。タスクグループ 36 が議論してきたことの一つは、診断用核医学における実効線量の使用という、より基本的なものである。現在までのところ、実効線量の計算は標準人(年齢と性別の平均)に対してのみ行われているが、核医学では、片方の性別だけの患者や、標準人とは異なる解剖学的・生理学的特徴を持つ患者(例えば、アブレーション後の甲状腺検査患者)に対して、全身の線量が有用である場合がある。したがって、**Clement** 氏ら(2021)が強調したように、標準人だけでなく、人口のサブグループへ実効線量の概念を適用することは、多くの医療用線量測定の応用にとって前進となり得る可能性がある。ある意味で、「放射線防護における線量の使用」に関する ICRP Publication 147 (ICRP, 2021c) は既に道を開いており、タスクグループ 111 (下記参照) の作業は、これらの線に沿ってさらなる情報を提供するかもしれない (Giussani et al., 2021)。

「放射線防護のための低線量・低線量率被ばくにおける放射線リスク推定」に関するタスクグループ 91 では、本体系にとって基本的なもう一つの問題、すなわち、約 100mGy 以上の比較的高い線量および高い線量率での日本の原爆被ばく者の研究から得られた本体系の放射線リスクをどのように推定するかという問題を扱っている。議論を呼んでいる一例として DDREF があり、ICRP が 2 という値を選び、原爆被ばく者について推定された固形がんの放射線リスクを低減し、本体系で使用している。DDREF は、低線量と低線量率の推論を組み合わせるために ICRP Publication 60 (ICRP, 1991) で導入され、ICRP Publication 103 (ICRP, 2007) で確認されている。タスクグループ 91 の **Werner Rühm** 議長は、タスクグループ 91 が数年にわたり、細胞内研究、実験動物に関する研究、人被ばく集団に関する疫学研究についての文献をレビューしてきたと述べた。結果は公開文献に掲載されており、関連する文献はタスクグループ 91 の ICRP ウェブサイトに掲載されている。調査したエンドポイントによって、線量率効果係数と低線量効果係数の推定値は 1~3 の間にあるようで、より正確な推定値に絞り込むことは難しい (Rühm et al., 2021a)。

タスクグループ 102 の **伴 信彦** 議長は、「放射線デトリメント計算方法」について発表した。放射線デトリメントとは、低線量・低線量率被ばくによる確率的影響の人体への負担を定量化するために、ICRP が開発した概念である。タスクグループ 102 の目的は、デトリメントの計算方法に関する歴史的なレビューを提供し、放射線デトリメントの計算における変動や不確実性の主な原因となり得るパラメータや計算条件を特定するために選択的感度分析を行い、将来の放射線デトリメントの計算を改善する方法を特定することである。現在の放射線デトリメント計算のスキ

ームは十分に確立されているが、人類の健康に関する統計の変化や放射線健康影響の科学的理解の進展をより良く反映するために進化させる必要がある。この点で、標準集団のデータやがんの重症度など、いくつかの重要なパラメータは更新が必要である。また、最近の疫学的知見の蓄積に基づくがんリスクモデルの改良の余地もある。LNTモデル、DDREF、リスク転換スキームなど、名目上のリスク計算の前提は、最新の科学的知見に照らして検討する必要がある。また、遺伝的影響に対するリスク推定値についても、最近の研究を考慮して見直すことが望まれる。また、がんリスクの性・年齢による変動への対応も重要である。がん以外の影響、特に循環器系疾患や白内障への配慮も必要である。最後に、デトリメントの概念の分かりやすさとその計算過程の透明性を高めることの重要性がますます高まっている。タスクグループ 102 の報告書は、2022 年に発行される予定である。

放射線防護に関する新たな問題は、「獣医学的診療における放射線防護」に関するタスクグループ 110 から提起され、改定された放射線防護の枠組みの中でどのように動物を防護するかということである。ICRP 主委員会の名誉委員であり、タスクグループ 110 のメンバーでもある **Jan Pentreath** 氏は、この状況で、動物の防護は単に患者として考えるだけでなく、商業的な理由で被ばくする動物（例えば、肉の含有量を調べるために羊を CT スキャンしたり、競走免許取得のために馬を X 線検査したりするなど）についても考慮しなければならないと強調した。環境の放射線防護を社会がどのように扱うかは、倫理的価値観に依存し、例えば、人間中心（人間に影響がある場合、環境をどう考えるか）、生物中心（人間以外の種の個体を考慮する）、生態系中心（全体として生態系を重視する）に分類することができる。動物個体の防護については、放射線防護の基本 3 原則（これらは何らかの形で前述の倫理的価値を反映している）をどのように考慮するかという現実的な問題がある。動物個体を防護対象とする場合、その動物個体における放射線の影響やリスク、自然発がん性などが重要になることは明らかである。Jan Pentreath 氏によれば、ICRP はまず、包括的な倫理観に支えられた「放射線防護の範囲を明確にする」べきである。例えば、等価線量や実効線量（Sv で表示）はどの動物にも使用できないため、量と単位をさらに開発する必要がある。これらの観点では、適切な相対的生物学的効果（RBE）値とともに吸収線量を使用することが選択肢となり得る [ICRP Publication 148 (ICRP, 2021d) で提案されているように]。獣医学的診療で主に関心のある動物の標準モデルを開発する必要があり、動物に対する CT 処置による線量推定は最適化を支援するために改善されなければならない。要約すると、この論文は現行体系の見直しを求め、ICRP に透明性のある倫理的根拠に基づいたその範囲の再検討を促している。この論文は、「改定された ICRP 勧告の中でこのすべてを行う機会を逃してはならない」と結んでいる (Pentreath, 2021)。

現在の放射線防護体系は、標準人に対する放射線関連のリスクの推定に基づいている。しかし、放射線防護の個人化の可能性は議論されており、例えば、緊急事態、医療患者による電離放射線の利用、あるいは宇宙飛行士のような特殊な環境における放射線防護について、将来のガイダンスに反映される可能性がある。また、がんの放射線治療では、治療を受けた患者のごく一部で、正常組織の深刻な合併症が観察されることがあるが、まだ予測はされていない。その根底にある

メカニズムを理解することで、放射線治療の意思決定に反映させ、腫瘍の治癒率を向上させるとともに、急性の重篤な合併症を回避することができる。そのため、「電離放射線に対するヒトの個人感受性を規定する要因」に関するタスクグループ 111 は、現在、放射線に対する個人感受性のばらつきに関する知識の現状を検討している。タスクグループ 111 の **Simon Bouffler 議長**は、タスクグループ 111 で検討されている健康影響には、放射線治療後の正常組織反応、がん、循環器疾患、認知障害、白内障が含まれると発表した。検討された証拠には、臨床研究、疫学研究、実験動物研究、細胞アッセイなどがある。感受性のばらつきの潜在的な要因としては、遺伝的要因、エピジェネティックな変化、生活習慣的要因、同時被ばく、基礎疾患などが考慮される。個人感受性を予測する可能性がある場合、どの検査を使用するか（遺伝子検査、細胞検査、画像検査）、どの集団を検査するか（医療、職業）、どのサンプルを採取するか（血液、唾液、細胞生検）など、いくつかの疑問が生じる可能性がある。最後に、その結果、及び家族の健康リスクスクリーニングの可能性を、罹患者、その家族、及び医療従事者にどのように伝えるか、倫理的配慮が必要となる（Bouffler et al., 2021）。

「放射線防護体系における合理性と耐容性」に関するタスクグループ 114 の **Thierry Schneider 議長**は、タスクグループ 114 の現在進行中の考察について議論した。このタスクグループは、放射線リスクの合理性と耐容性に関する歴史的・現在の視点を再検討し、ICRP Publication 103（ICRP, 2007）を明確化・統合し、将来の勧告の策定に必要な考察と基礎を準備するために創設されたものである。現行体系の基礎となる倫理的価値観として、「恩恵」、「非利益」、「慎重さ」、「正義」、「尊厳」が強調された[ICRP Publication 138 (ICRP, 2018)に記載]。耐容性とは、物事を我慢できる程度であり、合理性とは、他の見解、目標、相反する利益を尊重し、合理的で情報に基づいた公平な決定を行うことである。ICRP Publication 60 (ICRP, 1991) では、許容できるリスクと許容できないリスクの境界（これは線量限度として表現される）を、日常生活と労働生活の両方に生じる他の一般的な危険との比較によって定義している。タスクグループ 114 は、個人と状況が異なるため、許容できるリスクレベルには単一／普遍的な値はなく、耐容できると許容できないの間には「灰色の影」があるかもしれないと強調している。したがって、トップダウン的なアプローチよりも、利害関係者の関与を含むボトムアップ的なアプローチの方が望ましい。この状況では、放射線リスクと化学リスクの比較は、これらの基準を整理する上で有用であろう。特定の状況において、耐容できるリスクが特定されたとしても、耐容度と合理性の相互作用は、リスクのレベルだけでなく、倫理的価値、社会的・状況的な考慮も含まれるため、複雑である。これは ALARA 原則にも反映されている。タスクグループ 114 の現在の見解は、様々な国際組織と協力して開発されたもので、合理性とは適切な判断、公平性、実行可能性、中庸さ、および適切性を指すとするものである。合理的な被ばくとは、適切な防護レベルを探し、妥協点を見出すことで全員の幸福を最大化し、倫理的問題を統合し、リスク認知を考慮することで特定されるかもしれない。タスクグループ 114 は、3つの R（「関係」、「根拠」、「資源」）に依存した予備的なアプローチを開発した。次の段階として、タスクグループ 114 は、耐容性の概念の適用をさらに調査し、合理性の 3R を洗練し、環境、医療被ばく、潜在被ばくの防護に耐容性と合理性の概念を適用する（Schneider et al., 2021）。

**Nicole Martinez** 氏が行ったタスクグループ 114 の発表では、上記の合理性の 3 つの R がさらに説明された。目標は、「合理的」を構成する要素について、構造的で透明性のある考察を支援するためのツールを開発することであり、これは新しいものでも簡単なものでもない。ツールは、理解しやすく使いやすく、共通のテーマを統合し、広く適用でき、記憶に残るものでなければならぬ。その結果、合理性に関連する以下の 3 つのカテゴリー (3R) が特定された。(a) 「関係性 (relationships)」: ステークホルダー・エンゲージメント (リスク認識や共同知への配慮)、透明性 (信頼構築におけるコミュニケーションの役割の認識)、共感 (他者の視点を理解すること) を含む。(b) 「根拠 (rationale)」: 技術的側面 (リスク、利益、不確実性の評価と議論)、状況的側面 (現状を理解し取り込む)、倫理的側面 (正しいことをする) (c) 「資源 (resources)」: 技術的側面 (適切な方法、技術、手法を用いる)、財政的側面 (責任ある支出を含む)、時間的側面 (時間スケール、期間、労働時間分布を考慮) などが含まれる。それぞれのカテゴリーについて、タスクグループ 114 は、配布資料や手続き上のチェックリストの形でガイドラインを起草している (Martinez et al., 2021)

「宇宙飛行士の放射線防護のためのリスクと線量評価」に関するタスクグループ 115 は、国際宇宙ステーションに関わる宇宙機関が参加する国際放射線防護熟化チームからの要請を動機として、2019 年に設立された。タスクグループ 115 の **Werner Rühm 議長**は、タスクグループの目的は、クルーの健康やミッションの成功に影響を与える可能性のある放射線影響 (中枢神経系への影響、心疾患、水晶体混濁など) を検討し、共通の健康リスク評価の枠組みや探査クラスの有入宇宙飛行ミッションの被ばく限度に関する勧告を作成することだと言及した。この作業は、「宇宙飛行士の放射線防護のためのリスクと線量評価」に関する ICRP Publication 123 (ICRP, 2013) に基づいて行われる。現在までに、タスクグループ 115 は、2 つの例示的なミッション (遠月性ミッションと月表面ミッション) を定義している。銀河宇宙線と太陽フレアによる被ばくを推定し、様々な宇宙機関で使用されている手順に従って、対応する放射線関連リスクを計算する予定である。がんリスクを計算するための利用可能な測定基準、および宇宙での放射線場を使用される RBE と放射線の線質係数 (タスクグループ 118 で行われた作業を基にしたもの-下記参照) に関する問題に重点が置かれる予定である。タスクグループ 115 の長期目標は、「航空における宇宙放射線からの放射線防護」に関する ICRP Publication 132 (ICRP, 2016) を反映し、放射線防護の原則を宇宙環境に適用する方法に取り組むことである (Rühm et al., 2021b)。

「RBE、放射線加重係数、Q ファクターに関する ICRP 92 の構築」に関するタスクグループ 118 の **Gayle Woloschak 議長**は、ICRP Publication 92 (ICRP, 2003b) 以降の作業を調査するために 2001 年から 2021 年の出版物を含むタスクグループが実施した文献レビューについて論じた。様々な放射線の RBE に関する 300 以上の論文が特定され、関連する可能性がある。多くの研究は陽子線治療施設での RBE を調べており、場合によってはホウ素中性子捕捉療法や炭素線治療も含まれている。陽子線と重粒子線に関する多くの動物実験がゼブラフィッシュ、ラット、マウスを対象として実施され、その多くは宇宙での放射線場について学ぶという米国航空宇宙局の仕

事を支援するために実施されたものである。モデリング論文は、異なるアプローチでエネルギーをもった中性子の RBE を調べ、細胞や動物のエンドポイントを含む陽子と炭素イオンの拡散ブラッグピークにおける RBE を検討した。例えば DNA 損傷や細胞生存率を含む多くの in-vitro 研究が行われ、in-vitro で照射したヒト細胞を含むいくつかの ex-vivo 研究が行われた。植物実験（例えばタマネギの根の先端を含む）についての文献もあったが、すべて実験室で行われたものである。人の疫学研究としては、原爆被ばく者における中性子の RBE、フランスのウラン鉱山労働者およびロシアのプルトニウム労働者におけるアルファ粒子の RBE に関する研究などがある。今後、タスクグループ 118 は、RBE に対する線量率の影響、ブラッグピーク内外の差異、RBE に対する基準放射線の選択の重要性、エンドポイントとしての二次がん、原爆被ばく者研究の線量評価に対する中性子の寄与を検討する (Woloschak et al., 2021)。

ごく最近、ICRP は **Tamara Azizova** 氏を議長とするタスクグループ 119「循環器系疾患 (DCS) に対する電離放射線の影響とその放射線防護体系における考慮」を立ち上げた。胸部内悪性腫瘍の治療のための放射線治療による高分割線量が、人の心臓や血管（頸動脈や冠動脈など）に障害を引き起こし、被ばく後 10～20 年で DCS の発生率と死亡率が増加することはかなり前から知られていたが、数百 mGy という低い線量で DCS のリスクが増加するという証拠が現れたのはごく最近であった。ICRP Publication 118 (ICRP, 2012) では、放射線防護の観点から、脳や心臓への急性被ばくおよび分割・長時間被ばくについて、約 0.5 Gy のしきい値を提案し、DCS を組織反応と分類している。しかし、DCS の線量応答の形状、組織反応としての分類、および関連する基礎的な生物学的メカニズムについては課題が残されている。したがって、タスクグループ 119 の目的は、DCS の関連する放射線疫学および放射線生物学的研究に関する最近の科学文献をレビューし、DCS の放射線量応答に関する助言を行い、DCS のリスクに関する線量率依存性および線質依存性に関する助言を行い、放射線誘発性 DCS に関する現在の知見を制度に反映させる方法に関する助言を行うことである。タスクグループ 119 の活動は、同様のテーマに関する UNSCEAR 専門家グループと緊密に連携して実施される (Azizova et al., 2021)。

## 6. 結論

ICRP は最近、体系を見直し、ICRP Publication 103 の後継を開発するプロセスを開始した (ICRP, 2017)。ICRP は、これを、ICRP のすべての国際的なステークホルダーコミュニティと共同で、協調的な精神で、アクセス可能で、公開性と透明性が高く、意義のある参加を可能にする努力が必要であると考えている。

2021 年 10 月 14 日から 11 月 3 日にかけて ICRP が主催した「放射線防護の将来に関するワークショップ」は、世界各国からの参加者に、このプロセスに関与し、アイデアを共有する機会を提供した。参加費は、参加に経済的な障壁がないように、ゼロコスト・オプションを含む柔軟な設定とした。合計で 1500 人近くの参加登録者があり、20 のライブストリーミングによる発表と 43 のオンデマンド配信による発表を視聴し、発表者と質疑応答することができた。4 つのライブセッションには 500 人から 800 人の参加者がリアルタイムで視聴し、オンデマンド配信による発表

には 7000 回以上のアクセスがあった。

議論された多くの問題の中で、発表は、体系の科学的基礎（放射線関連の影響と線量測定の両方を含む）、放射線技術の適用、これらの技術の利点/リスクのコミュニケーション、意思決定における倫理の役割、およびそれぞれ（影響、線量測定、技術的利用の利点/リスク）の不確実性をカバーした。また、いくつかの発表では、「放射線防護体系を支援するための研究分野」（Laurier et al., 2021）に関する論文の側面についても言及された。

このほか、体系のコンセプトや改善点についての発表もあった。さらに、この体系を適用するためには、実用的で理解しやすいものである必要があることも、しばしば強調された。コミュニケーション、教育、トレーニングはこれに直結している。より基本的な検討事項としては、国際機関としての ICRP の役割、他の国際機関（科学機関、規制当局、実務者等）との相互関係、労働者、一般市民、患者（すなわち社会全体）を含むステークホルダーとの関わりなどが挙げられた。これらの問題の多くは、「ICRP 勧告を目的に適合させる」（Clement et al., 2021）に関する論文でも言及されている。

COVID-19 の大流行により、2021 年に大規模な対面会議を開催することができなかったため、デジタル形式のワークショップが開発された。ワークショップに使用されたプラットフォームは、質疑応答オプション（チャット機能、ビデオ通話を含む）を通じて参加者と発表者の間の直接対話をサポートしたが、これは直接対面での対話に完全に取って代わることはできなかった。しかし、今にして思えば、ICRP が対面式会議よりも低コスト（旅費がかからないため）で多くの参加者に接近でき、さらに二酸化炭素排出量が低いという利点があり、このワークショップの形式は成功したと言えるだろう。

この経験に基づき、ICRP は将来的にさらなるオープンなデジタル形式の利用を検討している。これには、新しく発行された ICRP 報告書を紹介・解説するデジタルウェビナーや、特定のトピックを議論する ICRP タスクグループに焦点を当てたデジタルワークショップが含まれる可能性がある。将来的には、隔年開催の ICRP シンポジウムの中に、今回紹介したようなデジタルワークショップを開催することも主委員会は想定している。2022 年 11 月 3 日から 7 日までカナダのバンクーバーで開催される予定の次回の ICRP シンポジウムでは、本稿で紹介したワークショップで得られたフィードバックと知見を基に、現行体系の改定に関するトピックがさらに議論される予定である。主委員会は、本ワークショップで意見を交換したすべての人々に感謝するとともに、表明された考察は、現行体系の見直しと改良のプロセスにとって非常に建設的で有益なものであると考えている。

## 謝辞

ドイツ連邦環境・自然防護・原子力安全・消費者防護省は、契約番号 3620I02264のもと、放射線防護の将来に関する ICRP デジタルワークショップのサマリーの作成を快く支援した。