

課題と提言③ リスクの説明

- i. 関連学会及び医療現場の実務者は、実効線量の医療利用とリスクの意味合い（例えば被ばく時年齢による違い）を医療現場が理解整理し、患者に適切な説明が可能となるような資料を整理すべきである。

まとめ

実用量、実効線量等の線量に関連した個々の課題は、放射線防護、放射線管理、医療、放射線影響等の学会活動などを通じ、また、国内外の様々な立場の声によって、これまで長きにわたって指摘されてきたが、近年それらに対応した国際的なガイドラインとしてICRU 報告書95、ICRP刊行物147が公表。

ICRP2007年勧告前後から指摘されていた課題は対応されたものもいくつかあるが、引き続き残っている課題もある。また、現時点では、それ以降の国際的な基準化（IAEA、ISO等）及び国内への取入れ（国内法令、JIS等）、現場適用、それらに対する課題の洗い出しは十分なレベルに達していない。

我が国ではICRPの2007年勧告の国内法令取入れが検討中である一方で、水晶体の新しい線量限度が取入れられ、さらに国際的にはICRFが次期勧告の検討に着手。国際的な動向と国内法令取入れのうごきが絡み合っている状況にあり、現場への適用も見通されていないため、関連学会、規制関連省庁、研究開発機関、専門家及び実務者に対する提言は複雑かつ多岐。

社会やステークホルダーに対して理解を深めることが重要であるものの、説明の方法、目的、タイミングには十分に留意する必要がある。一方で線量は医療では日々患者への説明に使われ、緊急時への備えは着実に進めなくてはならないのも事実である。

国際的なコンセンサス、国際動向、方向性を考慮すべきと考える。これらは、社会に普及させるタイミング、我が国の実状等も踏まえて検討する必要があるだろう。

セッション:アンブレラの活動報告I ～放射線防護アカデミアと代表者会議の活動～

放射線防護アカデミアと代表者会議の活動の総括

神田 玲子(量子科学技術研究開発機構)

今年度のアカデミアと代表者会議の活動についてご報告させていただきます。

まず5年間の活動の進展ですが、初年度から行っている安全規制研究の重点テーマ、そして放射線防護人材の課題について、どのような活動をしてきたか、ご報告をさせていただきます。

一つ目の重点テーマ研究のフォローと候補研究の実施に関してです。ネットワークの代表者はこれまでも原子力規制委員会の研究推進委員会から、翌年度の放射線安全規制研究の重点テーマについてヒアリングを受けてまいりました。アンブレラ事業から過去において提案した課題は合わせて 41 あります。そのうち、重点テーマに配慮いただいたものが3分の1、それから他の省庁の枠組みで実施されるようになったものもありますが、それを合わせても 41 の半分には至りません。そこで、学会や事業担当機関がドライ研究や調査の一部を実施してきました。今年度進捗があった部分を紹介しますと、NORM に関して、今年度の安全規制研究に採択されております。また、医療分野の職業被ばくに関しては、ネットワークの検討結果を担当の行政官に報告するなどの進展がございました。それから着手はできなかったものの、提言や Webinar の形で課題の内容を深く掘り下げて、アカデミアの中で共有したものもありまして、5 年間に何らかの進捗があったものは全体の 7 割と考えております。アンブレラの事業は研究そのものをやる事業ではないので、7 割という数字は頑張ったほうかなと思っています。

次に放射線防護人材の育成と確保に関してです。これは、重点テーマの議論から派生したテーマです。この課題は重要だけど、本当にこの研究をやる人材が今いるのか、という問い掛けが検討のきっかけとなっております。

アンブレラ事業の調査で分かったことは、専門家の全体数が 10 年、20 年前に比べてかなり減っていて、年齢分布もシニア側にシフトしているということです。さらに調べてみると、若手が減っているというよりは、40 代 50 代が減少しているという傾向が見られました。つまり 40 代、50 代になったときにこの業界を離れていく、離れざるを得ないといった状況にあるということです。その理由は、会員の声から、ポスト不足やキャリアパスの問題が大きいと解釈しています。そうなりますと、アンブレラ事業でできることは限られているのですが、アンブレラの結論としては、できることからやっていきましょうということで、キャリアアップや裾野を広げることにつながるような Webinar を開催するとともに、若手が企画した若手放射線影響研究会の開催を支援しました。

それから、これはアンブレラ事業の外になりますけれども、アンブレラの参加学会が独自で研究室を紹介するような取り組みも行っています。事業終了後もこうした取り組みが自発的に継続するいい流れになってきていると思っています。

なお、今年度、原子力規制庁より、原子力災害被ばく医療人材のポストが予算措置化されて、将来のリーダーの育成が始まっています。このようにポストに関しては特定領域ごとに人材確保のために動くというものも効果的だと考えているところです。

続いて Webinar 全般についてのご説明です。昨年コロナ禍で半ば苦し紛れで Webinar を行ったのですが、大変有用なツールということがわかり、今年度も5回開催をしております。違うところは、昨年度のようなシリーズものではなく、アンケートを取って希望が多かったテーマに関する Webinar を開催した点です。すでにご説明しましたが、人材育成・確保の観点から、グローバルな活動を支援するようなもの、それから取っつきにくい防護の話を魅力的に解説いただけるような企画を考えました。

こうした5回の Webinar のテーマは代表者会議で決めて、詳細な企画や運営は学会にお願いしたところであります。今いろいろなところで Webinar が開催されている中、各回ともそれなり的人数の方に参加していただけたと思っています。参加も企業や病院、一般の方からもご参加いただいて、ステークホルダーとの対話も可能な場になったと思っています。国際的機関で活躍している方に実体験を話していただいた回の後、実際に ICRP の国内委員に問い合わせをしてくださった方がいたと伺っています。

こうしたことから代表者会議では、Webinar は本事業終了後も自主的に継続すべき課題と評価をしているところです。これについてはまた後ほどご説明をさせていただきます。

続きまして、5年間のうちの後半に注力した活動として、アカデミアとしての提言の取りまとめについてご説明をさせていただきます。昨年度、緊急時対応というお題に対して、各学会にそれぞれの専門性と関心に合ったテーマを選択いただきまして、海外の知見の収集や国内の調査を実施していただきました。今年度は、A 学会が作成した報告書を B 学会がレビューをするということを行いました。正直このプロセスはやるほうもやられるほうも嫌だったと思うのですが、この相互レビューでブラッシュアップされた報告書は、各学会のクレジットで公表いただきました。また、相互レビューは、この内容であれば専門性や関心が異なる4つの学会でも同意できるという事実認識や提言を抽出するのに役立ったという面がございます。最終的には線量 WG の報告書のサマリーと合わせて、提言をまとめて、4学会と代表者会議の連名で2月の下旬ごろ公表することを考えています。

この提言を取りまとめるまでに、何らかの形で総勢 80 名の方がご協力くださっています。これはすごい数字だなと思っています。また原子力や医療放射線の分野に比べて、なかなか放射線防護の関連学会が規制に貢献しづらいのは、放射線を利用する現場ごとに学会ができているということもあって、専門家の意見を統一するのが難しいということがあったと思いますが、それに関しては一歩前進したと思っています。

提言の内容ですが、3つの課題に対して、それぞれに名宛先を想定した提言をまとめています。

1つ目の課題は事故・事象発生の予防および収束についてです。事業者に対して、きめの細かい規定やマニュアルの整備を提言しておりますし、規制当局には事故の情報公開や専門機関による分析や検証を進めることを提言しています。

2つ目の課題は大規模な災害発生時の線量推定に関してです。特に高度被ばく医療支援センターに対して具体的な提案を行っておりますし、国や地方自治体には原子力防災訓練に線量評価の要素も組み込むことを提言しております。

3つ目の課題は線量の新概念の国内導入に関してです。既に佐々木先生からご説明があったとおり、研究開発や放射線管理の実務者、学会、行政に対しての提言をまとめました。

こうした提言は、つくって終わりではなくて、提言の名宛先とこれから意見交換をしていく必要が

あります。すでに高度被ばく医療支援センターには、この提言の策定途中から情報共有をして、提言の内容の一部の実現に向けて着手していただいていることを確認しております。

このように経験を蓄積したアカデミアですが、本事業の終了後どうするかということに関して、代表者会議では1年間かけて議論をしています。その結論ですが、今後続けていく事業として、学会が協力して行う調査や検討と、Webinarの開催を考えており、これらを念頭に制度設計をしています。

今、学会は連合化する方向にありますので、モデルケースはいろいろありますが、会費を集めたり、法人化したりということは取りあえず考えず、緩やかな連合体を考えています。放射線防護の学会と呼ばれることにちょっと違和感があるという学会もおありでしたので、名称も放射線防護・健康科学アカデミアという名称に変更して、学協会以外でも大学や研究所も加盟可能な連合体を想定して、今、学会等に意見を伺っているところであります。

これまでアンブレラ事業の中で学会にご協力いただき検討してきた活動は、アドホック的なものです。今後会費を集めない、定期的な学術集会も開かないといった連合体を継続的に運営するためには、求心力になり得る事業が必要と思っています。皆さま方からご意見をいただきたいと思っています。

本報告会の参加登録に当たって、皆さまから放射線防護関連学会が連携して行ったらいいと思う活動について自由に書いてくださいとお願いしたら、いろいろなご意見がありましたので、次回の代表者会議では議論と参考とさせていただきたいと思っています。

日本放射線研究連合の例もありますように、国際会議の開催は、学会連携が定着するよい機会です。2023年11月には東京でICRPの国際シンポジウムが開催されます。このシンポジウムでは次期主勧告に向けた本格的な議論が行われることになると思います。既に放射線影響学会と保健物理学会はそれぞれの年次大会をこのシンポジウムと同時開催することを決めております。サテライトイベントを開催したり、日本から多くの専門家が参加することで、国際コミュニティに対して日本のプレゼンスを示すことができればと思っておりますので、本事業終了後の当面の学会連携の要として、この機会を活用したいと思っております。

ご報告は以上です。

提言の内容とステークホルダー（提言の名宛人）との対話

- (1)放射線施設における**事故・事象発生**の**予防および収束**に向けた方策
- 事業者に対する提言
 - 新照射機器の新規導入やヒヤリハット事例発生の際、作業工程や訓練内容、マニュアルを見直すなど、**きめ細かい規程やマニュアルを整備**する
 - 事故の原因究明や影響の検証ができるように常に情報共有する
 - 規制当局に対する提言
 - 事故の**情報公開**や**専門機関による分析や検証**を進め、結果を全事業者へフィードバックする

提言
我が国の放射線防護方策の改善に向けて

令和4年3月

日本放射線安全管理学会
日本放射線影響学会
日本放射線事故・災害学会
日本放射線物理学会
放射線防護アンブレラ代表者会議

- (2) **大規模放射線災害発生時の線量推定の高度化**に向けた方策
- 高度被ばく医療支援センターに対する提言（主に生物学的線量評価分野）
 - センター同士の**連携体制の強化**。設備や人員に不足があれば、人材育成や交流による底上げ、支援センター以外との機関レベルの連携を行う。
 - 多数の**トリアージ手法**について引き続き検討する。多様な被ばくに対応できるように準備する。
 - 全国の専門家が協力して正確かつ迅速な線量評価を行えるネットワークを再構築**する
 - 専門家に対する提言
 - 高度被ばく医療支援センターの制度とリンクした技術開発に協力する
 - 国・地方自治体に対する提言
 - 原子力防災訓練に線量評価の訓練を組み込む**

・提言案のとおりまの過程において、支援センターに対して、事実確認を依頼するとともに、提言内容を説明。
・提言の一部については支援センター連携会議の線量評価部会で検討を開始したことを確認

本提言は、規制者や事業者、国際的機関の関係者等との意見交換を行う際のベースとして利用可

- 3 我が国の放射線防護方策のグローバル化に向けた中長期的提言
- (1) **実効線量と実用量に関する新概念の国内導入**に向けた方策
- 研究開発及び放射線管理の実務者に対する提言
 - メーカーやサービス機関と連携して、**線量計や校正手法等の規格化**に取り組む
 - 放射線防護と放射線診療に関する学会
 - 実効線量の意味や制約等に関する共通認識を形成**する
 - 放射線関係行政機関
 - 実効線量の意味や制約等に関する共通認識を社会全体で共有させる。

事業終了後の放射線防護アカデミアの形

検討の経緯

- 一年前に、代表者会議メンバーがアンブレラ事業を評価（アンケート形式）
評価が高かったもの
 - 1) **学会単位あるいは共同での同じテーマでの検討や調査**
 - 2) 国際動向報告会
 - 3) 若手の国際的機関のイベントへの派遣、4) **Webinar**、5) 規制庁とのクロズドの場での対話
→学会の活動や目的と合致しやすい 1) 4) ができる連携体制を検討してはどうか
1) を実施し、見解にとりまとめるのであれば、代表者会議のような意思決定機関が必要
- 今年度の代表者会議で、事業終了後の連合体の制度設計を審議
 - ・参考となる連合体事例を調査（地球惑星科学連合、防災学術連合体、リスク研究NWなど）
 - ・もっとも緩やかな連合体を参考に、会則案を作成
 - ・ネットワークの求心力を持続的に維持するために必要な条件として、**主軸事業**に関して審議中

放射線防護・健康科学アカデミア会則（案）

(目的・名称)
第1条 人間や環境の放射線被ばくに関連する研究情報の収集及び共有化をはかり、国内外の放射線防護の研究の発展に学際的に寄与することを目的として、放射線防護・健康科学アカデミア（以下、「アカデミア」という。）を設置する。英文名は Japan Science Academy on Radiation Protection and Health Effects とする。

(略)

(会員)
第3条 アカデミアを構成する会員は、第1条の目的を共有する科学的研究を行う次のような組織（以下「参加団体」という。）とする。
(1) 国内の学術団体、またはその下部組織
(2) 国内外の研究・教育機関、またはその下部組織
(3) 国内外の行政機関、またはその下部組織

主なる事業

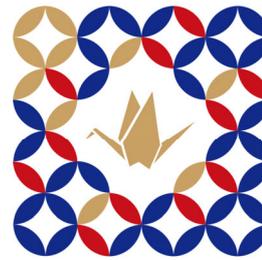
1. 行事協力
広報、名義使用許諾、企画支援、共催
 2. プロジェクト協力(学会の共同検討に相当) 調査協力や広報、参加者派遣、共同実施
 3. 情報発信活動
Webinarの企画・開催、WEBページ運営
- 組織（現アカデミアと同様）
アカデミアの運営のために、連携者会議並びに事務局を置く

参加登録時のアンケートから

今後、放射線防護関連学会が連携して行ったらいいと思う活動があればお書きください。

- ◎活動の性質
特定のテーマ、目的に絞った**シンポジウム**や**研究会の実施**など
関連知識の体系化
国の事業への応募
人材育成（緊急時対応、環境モニタリング）
- ◎活動のテーマ
ICRP次期主勧告に対する意見集約・情報発信
原子力緊急時における**甲状腺モニタリング**
1 1年経過した**福島第一原発事故に関わる住民の被ばく線量評価とリスク評価**（心理面を含む）の再検討
NDR制度の実践に向けた、各ステークホルダーの受益と対価の公平性について理解（納得）するための協議。
身動きがでない程の**過剰な防護にならないよう**
あまり**放射線の知識がない職種の方への教育支援**
放射線施設の周辺での**反対派市民との対立の解消**
消防、警察組織等への放射線防護教育支援

学会連携を推進する好機：ICRP2023



ICRP 2023
7th International Symposium on the System of Radiological Protection
TOKYO, JAPAN
6-9 November 2023

11月6日 Welcome reception
11月7日～9日 シンポジウム（次期主勧告に向けた本格的な議論）

【同時開催】

日本放射線影響学会 2023年年次大会 11月6日～8日
日本保健物理学会 2023年研究発表会 11月9日～10日

セッション:アンブレラの活動報告Ⅰ ～放射線防護アカデミアと代表者会議の活動～

質疑応答

【座長(高田)】 チャットでコメントとご質問をいただいております、アンブレラの5カ年の事業は高く評価をいただきました。ありがとうございます。その上で、医療の分野について、今後どう考えられますかというご質問がありました。予定の時間も超過しているので簡単にご説明いただけますか。

【神田】 このアンブレラ事業自体は規制庁の委託事業ということで、医療分野の職業被ばくを取り扱いました。一方、医療被ばくそのものに関しては、J-RIME という医療被ばくに関心のある学協会のネットワークがあるということもあって、取り上げてこなかったという経緯がございます。しかし医療分野の職業被ばくと患者さんの医療被ばくは切っても切れない関係にあると思いますので、本事業の終了後の自主的な活動においては、ぜひこれまで以上に J-RIME の活動とも連携して、医療被ばくの問題を取り扱っていきたいと思っております。簡単なお説明は以上となります。

【座長(高田)】 ありがとうございます。最初のセッション、アンブレラの活動報告Ⅰは、これにて終了とさせていただきます。

ネットワークの活動のこれまでとこれから

高田 千恵(日本原子力研究開発機構)

緊急時放射線防護ネットワークの活動、5年間の活動をしてまいりました。これまでの内容と、これからについて考えていることなどご紹介をさせていただければと思います。

まず緊急時放射線防護ネットワークの検討活動ですが、5年の中で多少人事異動の影響も受けまして、メンバーの変更はありました。今年度のメンバーは原子力機構の職員が多いのですが、検討グループの中には原子力機構外から QST の栗原先生、立崎先生にお入りいただいています。それからネットワークの検討会では全体のハンドリングなどについてご意見をいただいております。東京電力、原安協、各大学から、松田先生、床次先生、渡部先生にも参加いただきました。またいくつかの分野ごとにサブグループというものを設けました。サブグループの主査は私と同世代の中野、吉田ですが、それぞれの幹事の中に 20 代の若者なども含めました。こういった検討を通じて、全体にこれからこの分野をどうやっていったらいいかというようなところも含めて、機構の若い職員にも一緒に考えてもらったといった点が特徴的かと思っています。

それでは、具体的にこの5年間の活動についてご報告をさせていただきます。

まず、緊急時放射線防護ネットワークというお題を頂戴して、この検討を始めたわけですが、このネットワークとは何だろうということが最初の大きなテーマでした。今回整理をしたところを読み上げさせていただきますと、「日常の業務や研究活動などを通じて放射線に関して相応の知識を持った者が、万一の原子力緊急時に専門家としてその力を発揮するために、非常時にどういった活動ができるかということを考える」、これを緊急時放射線防護ネットワークの目的と、整理しました。そして平常時にできる活動として、取り組みました3点についてご紹介をさせていただきます。

それから、このネットワーク活動が将来にわたって有効性が高い状態で継続できるためにはどのようなあり方がいいのかということで、理想的な姿なども検討してまいりました。報告の後半ではこの点についてもご報告をさせていただければと思います。

平常時にできる活動として実際に行った3項目についてご説明します。

まず1つ目が分野別ネットワーク内での課題解決の取り組みです。分野別ネットワークとしては、環境モニタリング、放射線管理、個人線量評価の3つのグループに分けたのですが、分野別ネットワークとして一番活動として成果が挙げられたのが、環境モニタリングのグループでした。

この環境モニタリングのグループでは、茨城県の東海・大洗地区にある4つの事業所が協力しています。原子力機構の原子力科学研究所、私がおります核燃料サイクル工学研究所、大洗研究所、そして日本原電の東海第2発電所に所属される環境モニタリングを担当する方々にお集まりいただいて、実際にモニタリングされた環境放射線のデータなどを収集・統合・整理をしました。その中で福島原発事故による環境影響を整理して、成果を学会誌『保健物理』で発表しました。こういったことで、同じ分野で研究、業務をする者同士がうまくネットワークとしてつながれたのではないかと思います。また、この活動を通じて、事故時の影響等についてもよりいろいろな理解を

深められたのではないかと考えております。

続きまして2つ目の活動になります。新たな取り組みとして、緊急事態対応ガイドの案をつくりました。緊急事態対応ガイドは、このネットワークの検討を始めたときから作成をしようと考えていたものだったのですが、そのガイドをつくる前のベースとして、2つの事項を準備活動として実施しました。

1つ目ですが、まず人材確保や育成において、どういった課題があるかということを整理しました。そして2つ目として、具体的に緊急事態において活動するためには、どういった力量(スキル)が必要なのかということを整理しました。これについてはさまざまな関係の方々には聞き取り等を行いまして、必要なスキルの目安を取りまとめました。それからそのスキルの目安ができた時点でまた原子力関係の訓練への参加者などにアンケートをしました。こうした情報を整理し、最終的に原子力緊急事態対応ガイド案というものができつつあります。今、最終調整をしているところですが、このガイドは学習素材リストと学習素材カードから構成をすることにしました。

具体的な内容としては、まず原子力防災の中で必要な共通的な内容を共有するための共通編を設けました。基本的には、どの分野の専門家の方にも知っていてほしい教育内容は共通編に入れました。原子力防災に係る法令や指針に加えて、いろいろなアンケートで必要だろうという意見があった、災害対応における放射線管理やリスク管理、コミュニケーションに関する知識やスキルが、共通的に必要なものという整理になりました。

次に具体的な分野別編としては、既に国で指針やマニュアルが相応に整理をされている EMC の活動、それから避難退域時検査の活動という2つのテーマを設けました。それぞれ EMC なり、避難退域時検査で、専門家として活動するために必要な知識などをリストアップして、ガイドの構成を決めたところです。

学習素材リストは、例えば共通編に入れる法律の章でしたら、どういった法律があるかをリストアップしたもので、いわゆる星取り表の形式でまとめました。活動する場所ごとに、標準的なスキルとしてはこういう知識が必要だ、上級のスキルならばさらにこういった知識が必要だ、そこで、こういった学習素材はぜひ見ておいてほしいという情報が、一目でわかるようになっています。自分が EMC や避難退域時検査で活動するにあたり、標準的な知識が求められていると思った人については、○が付いている学習素材から順番に学んでいっていただけるように、という考え方で学習素材を整理しました。学習素材カードは、学習素材それぞれに一件一葉の形で、実際のリンク先や概要を記載しました。概要はわれわれがゼロから書き起こしたもので、これがどういった文書であるか、どういった人にどんな目的で読んでほしいかといったメッセージを込めています。

続いて、試行教育についてご紹介をさせていただきます。先ほどガイド案をご紹介させていただきましたが、このガイドを実際に使い、教育を実施してみました。今回は試行教育ということで、今後の展開は未定ですが、目安として 30 代半ばぐらいまでの方に集まっていただいて、教育を実施しました。

具体的なやり方としましては、共通編は事前学習として 30 枚のノート付スライドで、先ほどの共通的な事項を整理したものを教材としました。それから EMC 活動者編と避難退域時検査活動者編は専門ごとの選択制になりますが、共通編と同様の事前学習に加えておよそ2時間程度の

Webinar を実施しました。Webinar についてはリアルタイムで配信しましたが、時間に限りがある方も多いため、後日その Webinar の録画データを見ていただくというような形でも参加いただけるようにしました。事前学習と Webinar の両方とも理解度テストを設けることで、その理解度等も把握しています。

参加者を募るにあたり、検討会のメンバーを中心にご案内をさせていただきました。広く公開ということはできなかったのですが、指定公共機関である JAEA、QST、電力事業者に所属する方、それから大学に所属する方などを含めて、EMC 編で約 70 人、避難退域時検査の活動者編で約 80 人の方々のご参加を得ることができました。この教育の効果等について、アンケートを取らせていただきましたので、理解度テスト、アンケートともに集計をして、この教育の効果、今後の実効的な実施方法などについて、最終的な検討をしていきたいと考えております。

ここまでが今回、ネットワーク活動として実施してきた概要になります。

ここからは、これからの活動について検討した内容についてご報告をさせていただきます。

まず、緊急時放射線防護ネットワークが今後活動していくために、こういった形が理想的かについて皆の考えなどを図の形でまとめました。ここでわれわれが考える一番のポイントですが、原子力防災において中核となる機関がしっかり明示されるということが必要だと考えています。この中核機関の機能といたしまして第一には、緊急時防護のネットワークに登録をされる方に対して研修をしたり、研修を受けられた方などを名簿に登録したりします。この登録ですが、こういった教育を受けられたかとか、こういった分野に強いとかを登録をすることになります。さらには原子力防災に係る最新情報を収集して、構成員に情報提供をするといった活動が平常時から実施できるしっかりとした中核機関があるとよいと考えております。

この中核機関を中心に、防護の専門家ですとか専門機関、またアカデミアといった関連する学会と連携をすることが必要と考えています。こういった形が出来上がりますと、今、地域の研修をしたり、原子力防災の訓練を実施したりしている自治体とも、専門家情報の提供なども含めて連携が可能になると思います。このように中核機関があることで、かなりネットワークのあり方がすっきり分かりやすいものになると考えています。

ただ、現状ではなかなか難しいです。できれば国からの委託事業となどいう形でこの原子力防災に係るネットワークの中核機関となるべき組織を明らかにしていただいて、中核機関の運営に必要な予算などもこの機関に下りるといいのではないかと考えています。国が交付金等により自治体を支援するところはすでにできていますが、ネットワークの運営に関しては適当な国の仕組みがないというのが現状かと思えます。

ここまでは理想像ということで整理をしたのですが、当面の実際的な活動に当たっては、既に組織がある JAEA の原子力緊急時支援・研修センター (NEAT) の仕組みなどをうまく使いながら行いたいと思っています。

JAEA の中では、NEAT の制度を使って専門的な人材を確保していて、今回の施行教育もその専門家を育てることを目的として参加を募りました。今後も、年1回は分野別に Web 研修会をする他、できればミーティング等を開催して横のつながりができればいいと考えています。それから原子力緊急事態対応ガイドも案の形までできましたので、できればこれも NEAT を中心に JAEA

の中で維持管理ができればと考えています。お約束はできないのですが、そういったことでこれまでの活動を継続していくことを JAEA の中では考えています。

そして、JAEA の内部だけの仕組みではいけませんので、日本全体に向けてどういったことが発信できているかという視点でも検討しました。まず、国の仕組み上同じ立場として声を掛けやすい指定公共機関である QST や電力会社には、Web 研修やミーティングにはオブザーバー的な参加を呼びかけたいと思います。

こういった取り組みを、国などが実施されている要員研修等で宣伝させていただきながら、このネットワークのあり方ですとか、必要性について国の理解を賜ればと考えているところです。なかなか拡大は難しいとは思いますが、引き続き私たちのほうで取り組みをしていきたいと考えています。

最後、「まとめにかえて」ということで、これは私の所感になりますが、5年間の活動をさせていただいて、こういったネットワークをぜひ今後もしっかり続けてほしいという意見を多数ちょうだいいたしました。ただ、なかなか人員や予算が十分でない機関、学会が多いということも痛感しております。やはりネットワークを続けるには核が必要だと思いますので、皆で、どういった形で核をつくるのがいいかを考え、行動していただければいいのではないかと考えました。できない理由を探すというのは簡単ですが、今後もできることから少しずつ、このネットワークの灯を絶やさないようにやっていきたいと考えているところでございます。

以上でご報告を終わります。

緊急時放射線防護NW R 3年度度検討体制 (敬称等略)

PO	高橋知之	
総括	神田玲子 (主任研究者)	
緊急時放射線防護に関する検討Gr	高田千恵 (分担研究者) 百瀬琢盛 (研究参加者) 宗像雅広 (研究参加者) 中野政尚 (研究参加者) 吉田忠義 (研究参加者) 渡邊裕貴 (研究参加者) 栗原 治 (研究参加者) 立崎英夫 (研究参加者) 吉野直美 (研究参加者)	緊急時放射線防護ネットワーク検討会 宮澤晃 (東電HD)、佐藤将(原安協)、松田尚樹(長崎大)、 渡部浩司 (東北大)、床次真司 (弘前大)、 住谷秀一 (JAEA核サ研)、木内伸幸 (JAEA原科研)、 清水勇 (JAEA大洗)、石川敬二→石森有 (JAEA敦賀)、 中根佳弘 (JAEA J-PARC) 緊急時放射線防護ネットワークサブGr ①環境モニタリングGr; 主査: 中野政尚(JAEA)、 幹事: 山田純也、前田英太 (JAEA) ②放射線管理Gr; 主査: 吉田忠義 (JAEA)、 幹事: 横須賀美幸、富岡哲史 (JAEA) ③個人線量評価Gr; 主査: 高田千恵 (JAEA) 幹事: 渡邊裕貴 (JAEA)

青字: JAEA外の参加者, 協力者



ネットワーク活動のこれまで

「緊急時放射線防護NW」の活動



◎ 日常の業務・研究活動等を通じて**放射線に関して相応の知識を持った者が、万一の原子力緊急時に専門家としてその力を発揮するための平常時の活動**として、以下3項目を(試験的に)実施

- ① 分野別ネットワーク内での課題解決の取り組み
- ② 緊急事態対応ガイド(案)の作成
- ③ 若手を対象とした教育の試行

◎ **将来にわたり有効性の高いネットワーク活動を確実に継続**できるようにするため、「ネットワーク」の理想像を検討・整理

活動例① 分野別NW内での課題解決の取り組み



◎ 環境モニタリングサブグループの活動として、茨城県東海・大洗地区の4つの事業所 (JAEA原科研、核サ研、大洗研ならびに日本原電東海・東海第二発電所) における環境放射線モニタリングデータを収集・統合して福島第一原発事故による環境影響を検討し、その結果を学会誌に投稿した。



中野政尚ら, 茨城県東海・大洗地区における福島第一原子力発電所事故後の環境放射線モニタリングデータの共有と課題検討活動, 保健物理 Vol.55-2, P102-109, 2020

3

4

活動例② 緊急事態対応ガイド(案)の作成



- 準備1. 人材確保・育成における共通の課題の整理
準備2. 活動者として求められる力量(スキル)の把握
- ・関係者への聞き取りを基にスキルの目安をとりまとめ
 - ・訓練の参加者・視察へのアンケートを実施

⇒ 「原子力緊急事態対応ガイド(案)」

- ・構成(目次)
- ・学習素材リスト: 学習素材例と星取表
- ・学習素材カード ※現時点83件

5

ガイドの構成



	大分類	小分類	
共通編	1. 法令(共通編)	1.1 原子炉等規制法及び下部規則 1.2 原災法及び下部規則	
	2. 指針類(共通編)	2.1 国内指針(緊急時、平常時)	
	3. 災害対応における放射線管理リスク管理, コミュニケーションに関する知識, スキル	3.1 一般的知識(被ばく管理含む) 3.2 過去の事故事例 3.3 国内報告書(過去の教訓)	
緊急時モニタリングセンター(EMLC)活動者編	4. 環境モニタリング、放射線影響に関する知識、スキル	4.1 EMCに関する知識 4.2 緊急時モニタリングの知識・経験 4.3 国の防災資機材、緊急時モニタリング資機材取扱	
	5. 立地県特有の防災・避難・モニタリング等のマニュアル類	5.1 自治体のモニタリング計画、要領等 5.2 立地県の環境放射線測定設備、手法の把握 5.3 立地県の平常時モニタリング結果の習熟 5.4 立地県地域特性(気候、地理的特性、道路事情)の把握 5.5 立地県要素訓練でのOJT経験(関係性の構築)	
	避難地域時検査スキル	6. 避難地域時検査に関する知識、スキル	6.1 設備、装置の基本的使用方法 6.2 サーベイメータ等の使用方法 6.3 車両用ゲートモニタの使用法 6.4 設備、装置の特性等 6.5 関連JIS規格 6.6 検査方法に対する根拠

6

学習素材リスト(例)



大分類	小分類	文書番号	学習素材例(※: 防災施設に適用されるものに限る。)	防災施設グループ				情報収集管理グループ				測定分析担当				避難区域時検査					
				指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	
1. 法令(共通編)	1.1 原子炉等規制法及び下部規則 1.2 原子力法及び下部規則	1.1.1	核燃料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく検査限度等定める告示	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		1.1.2	原子力法に基づく特別措置法	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		1.1.3	原子力法に基づく特別措置法施行令	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
2. 指針類(共通編)	2.1 国内指針(緊急時、平常時)	2.1.1	原子力災害対策特別措置法に基づく原子力防災管理者が通報すべき事象等に関する指針	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		2.1.2	原子力災害対策特別措置法に基づく原子力災害対策特別措置法施行令	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.1.3	原子力災害対策特別措置法に基づく原子力災害対策特別措置法施行令	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.1.4	原子力災害対策特別措置法に基づく原子力災害対策特別措置法施行令	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.1.5	原子力災害対策マニュアル	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.1.6	原子力災害対策特別措置法に基づく原子力災害対策特別措置法施行令	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3. 災害対応における(被曝者)の対応(被曝者)の対応	3.1 一般的な知識(被曝者)の対応(被曝者)の対応	3.1.1	JAEA-Review 2013-015 我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		3.1.2	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.1.3	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.1.4	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.1.5	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.1.6	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3.1.7	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3.1.8	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3.1.9	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3.1.10	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

学習素材リスト(例)



大分類	小分類	文書番号	学習素材例(※: 防災施設に適用されるものに限る。)	防災施設グループ				情報収集管理グループ				測定分析担当				避難区域時検査						
				指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定	指定		
1. 法令(共通編)	1.1 原子炉等規制法及び下部規則 1.2 原子力法及び下部規則	1.1.1	核燃料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく検査限度等定める告示	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		1.1.2	原子力法に基づく特別措置法	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		1.1.3	原子力法に基づく特別措置法施行令	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
2. 指針類(共通編)	2.1 国内指針(緊急時、平常時)	2.1.1	原子力災害対策特別措置法に基づく原子力防災管理者が通報すべき事象等に関する指針	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
		2.1.2	原子力災害対策特別措置法に基づく原子力災害対策特別措置法施行令	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.1.3	原子力災害対策特別措置法に基づく原子力災害対策特別措置法施行令	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.1.4	原子力災害対策特別措置法に基づく原子力災害対策特別措置法施行令	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.1.5	原子力災害対策マニュアル	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		2.1.6	原子力災害対策特別措置法に基づく原子力災害対策特別措置法施行令	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3. 災害対応における(被曝者)の対応(被曝者)の対応	3.1 一般的な知識(被曝者)の対応(被曝者)の対応	3.1.1	JAEA-Review 2013-015 我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.1.2	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.1.3	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.1.4	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.1.5	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
		3.1.6	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3.1.7	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3.1.8	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3.1.9	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		3.1.10	我が国の新たな原子力災害対策の基本的な考え方について(原子力災害対策特別措置法のための解説)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

学習素材カード(例)



大分類	共通編
小分類	2. 指針類(共通編)
文書番号	2.1 国内指針(緊急時、平常時)
文書名	2.1.2 発行/改訂日(法令は施行日) 2019/7/5
リンク	緊急時モニタリングについて(原子力災害対策指針補足参考資料) https://www.nsr.go.jp/data/000276389.pdf
緊急時モニタリングについて(原子力災害対策指針補足参考資料)	緊急時モニタリングについては、原子力災害対策指針の補足参考資料の位置づけとして原子力規制庁監視情報誌が発刊されました。 緊急時モニタリングの目的、実施体制及び計画等、実施項目、実施内容、機器整備、測定結果の取扱い、情報の共有及び公表について詳しく記載されており、EMC担当者の必読の書です。 解説には、A 原子力施設の特性に応じた調査、B 空間放射線量の測定、C 大気中の放射性物質の濃度の測定、D 環境試料中の放射性物質の濃度の測定、E 機動的なモニタリングの実施体制、F モニタリング要員の防護対策、G 緊急時放射線モニタリング情報共有・公表システムが示されており、専門家には全文理解が求められます。
企業調査	情報収集管理
指定	指定
標準	標準
上級	上級
標準	標準
上級	上級
標準	標準
上級	上級
標準	標準
上級	上級

活動例③ 試行教育



目的: ガイド案の有効性等の確認

① 教育対象者(めやすとして提示)

- ・ 年齢 : ~30代半ばまで
- ・ 放射線に関する知識 : 第2種放射線取扱主任者, 診療放射線技師 程度以上

② 教育内容

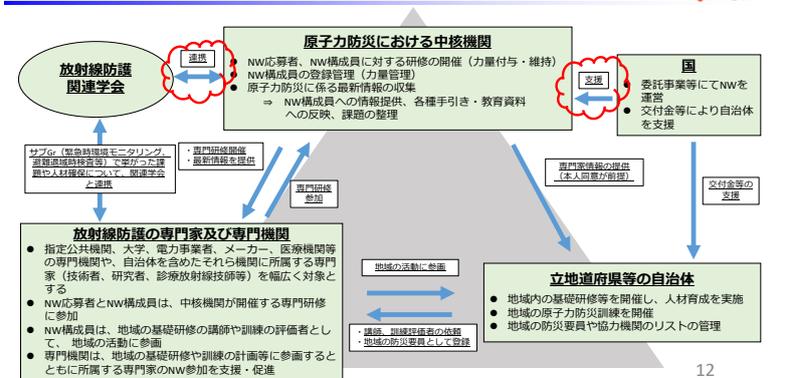
- ・ 共通編(原則全員受講)
 - 0 事前学習(30枚のノート(解説)付スライドにより基本的事項を自習、理解度テスト)
- ・ EMC活動者編/避難区域時検査活動者編(選択制, 各約2時間)
 - 1-1, 2-1 事前学習(スライドを用いて基本的事項を自習、理解度テスト)
 - 1-2, 2-2 ウェビナー(講師による講義又はその録画の視聴、理解度テスト)

⇒ 指定公共機関(JAEA, QST, 電力事業者), 大学等から EMC活動者編: 約70名, 避難区域時検査活動者編: 約80名の参加を得た。(現在アンケート集計中)

ネットワーク活動のこれから



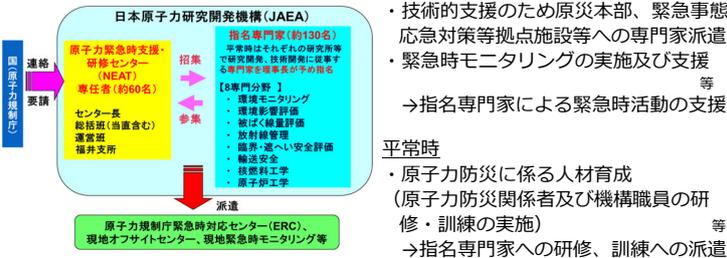
NWの理想像と当面の活動に向けたポイント



(参考) JAEAにおける原子力防災への取り組み



「災害対策基本法」及び「武力攻撃事態対処法」に基づく指定公共機関として、関係行政機関等の要請に応じて原子力災害時等における人的・技術的支援を実施



- 緊急時**
- ・ 技術的支援のため原災本部、緊急事態応急対策等拠点施設等への専門家派遣
 - ・ 緊急時モニタリングの実施及び支援等
 - 指名専門家による緊急時活動の支援
- 平常時**
- ・ 原子力防災に係る人材育成 (原子力防災関係者及び機構職員の研修・訓練の実施) 等
 - 指名専門家への研修、訓練への派遣

13

JAEA内部での取り組み (検討中)



- ・ 放射線管理分野の若手技術系職員の個人別育成計画 (注・JAEA内の人事施策のひとつ) 内の達成目標に「NEAT指名専門家」を加え、**防災に係る専門家**としての成長も**啓発目標**のひとつとして明確化する。
- ・ 新たな取組みとして、**年1回、分野別のWeb研修会** (今回の試行教育と同様のイメージ) と**Webミーティング** (要望多) を開催。(従来は分野横断での全体教育のみ実施。) 分野別研修会は**専門家推薦“予定”者も参加可**とする。
- ・ 「緊急事態対応ガイド (案)」はNEATが維持管理。(どの段階で“案”が取れるかは要検討。将来は必要に応じて改訂WGを立ち上げ各拠点放管部門が協力する方針。)

14

機構外に向けたJAEAの取り組み (検討中)



以下2点について実施可否を検討

- ・ 同じく「指定公共機関」であるQST、電力各社に声かけし、JAEA内の分野別Web研修・Webミーティングへのオブザーバ(的)参加を募る。
- ・ JAEA内の**取り組みを紹介するリーフレット**を作成。当局にご了承いただいたうえで、EMCや避難退域時検査の要員向け**研修事業時に参考資料として配付**することで「ネットワーク」の認知度、実効性に対する**期待度・信頼度をあげる**。

課題

- ・ 国の事業・予算化への効果は**不明** → **確実性・継続性低下のリスク大**
- ・ 大学ネットワークやその他組織 (メーカー、病院等) に所属する専門家等への**拡大は難易度高** → 学会活動に昇華できないか?
- ・ その他、省庁間や専門家間でのコンフリクト、キャリアパス不足、..等々

15

まとめにかえて - NW活動を通じた所感



5年間の活動を通じて以下を(再)確認した。

- 年輩者も若年層も、この分野の人材不足と将来に不安を覚えており、専門家のネットワークに寄せる期待は大きい。
- 一方、各所属機関・所属学会が人員や予算が十分でない問題を抱えており、NW活動をボランティアベースで継続していくことは困難。
- NWには「核」が必要。

活動の灯を絶えさせないためにー

できない理由を探すより、できることから始めませんか？

16

ディスカッション

【座長(吉澤)】 ここまで、緊急時の準備を平常時からしておくために、いろいろ素材を準備したという報告がありました。これからはこれをどう活用していくかが課題だと思いました。

そこで、これからディスカッションで、今後の活動について議論をしたいと思います。まず、あらかじめ指定発言をお願いしている先生方から発言をいただきたいと思います。

【渡部】 ありがとうございます。「アイトープ総合センターをベースとした放射線教育と安全管理ネットワーク(以下、大学 NW)」の代表をしております。こちら規制庁の安全研究という形で、5年間、このアンブレラ事業とともに活動させていただきました。大学 NW を通して、緊急時放射線防護ネットワークに関して、どのようなことができるかということで発言させていただきます。

大学 NW では、実際に物理的なネットワークを構築させていただきました。具体的には 21 大学のアイトープ総合センターを物理的につなげて、例えば従事者の情報のやり取りなどを行えるシステムを構築いたしました。

万が一事故が起こった場合にどのような対応ができるかという点に関しては、例えば震災でネットワークが分断されてしまった、装置も全く使えないというようなところで、われわれは構築したネットワークを用いて教育のマテリアルを提供するとか、あるいは大学 NW を緊急時連絡網という形で使っていただくといったことが考えられると思います。

また、平常時、われわれ 21 大学のアイトープ総合センターが実際にできることというお題をいただきました。いろいろあると思いますが、大学人ですので、第一は人材育成、教育です。大学ですので、さまざまな分野の専門家がおります。そういうさまざまな分野でそれぞれが人材を育てなければ、緊急時の人材育成はできないかと思っておりますので、大学の人たちが一致団結して、さまざまな分野の人材を育成するという取り組みが大事かと考えております。

また、場の提供という形で協力できるのではないかと思います。大学はかなり広い敷地を持っておりますし、放射線にかかわる測定器等を豊富に持っています。10 年前の東日本大震災のときもいろいろな大学で放射線の測定等を提供いたしました。そのような形でサービスを提供できればと思います。

一方、大学の中での人の確保が難しい状況です。そのために、今後、緊急時放射線防護ネットワークも通して、ぜひ大学の中でも緊急時に向けた人材を育てられればと思う次第です。

【座長(吉澤)】 大学としての人材育成のところについて、このネットワークがどうこれから活躍できるかということがポイントなのかなと思いました。ありがとうございます。

次は放射線防護アカデミアに参加する学会からご発言をいただきたいと思います。

【横山】 日本保健物理学会の横山です。緊急時ネットワークに所属しているのは JAEA と QST でかなり的人数を占めているということですので、本学会としてどうするかというのは大変難しいところです。1F事故以降、1F事故に関してさまざまな学会として活動をしてまいりました。今、アンブレラの中で活動している臨時委員会には、緊急時モニタリングや安全文化に関する委員会があります。それ以外にも Public Understanding 専門研究会があり、さまざまな知識や知見を蓄えてきました。今後緊急時ネットワークにこれまでの知見を提供できればと考えております。

【座長(吉澤)】 確かに専門研究会がこういう場に活用できるといいですね。

【松田】 日本放射線安全管理学会の松田です。放射線安全管理学会では、福島原発事故の後の活動は、当時の会長、理事会を中心に自然発生的にスタートしたといった状況でした。例えばメンタルケアですとか、放射性ヨウ素・セシウム の安全対策、水、野菜、土壌、内部被ばく等々、こういったアドホック委員会を立ち上げ、相談窓口もつくりました。大體事故後 10 日間でこういう形が出来上がり、活動しました。

ただ、課題もたくさんございました。課題の一つは、結局、その屋台骨の中での活動にとどまった点です。そういう意味では発信力が限定的だったと思います。学会等の連携のネットワークで、新しい情報の迅速かつ幅広い発信というものが必要だったかなと今は思います。しかし実際に連携しながらするにしても、策が必要です。それは痛切に思います。

それからもう一つの課題ですが、もし次に事故が生じた場合に、学会として同じことをすんなりとできるのかという点です。実は管理区域内の通常の管理、放射線管理でも同じなのですが、知識、技術、経験の継承は必要であります。これもこういった大きな仕組み、ネットワークの中で続けていければいいかと思いますが、まだこれはこれからの大きな課題だと思っております。

【座長(吉澤)】 キーワードとしては人材をどうつないでいくかということだろうと思います。

【小林】 日本放射線影響学会の小林です。影響学会としては、この5年間、緊急時ネットワークの活動に、影響学会にはお声掛けがなく関わっていないので、学会を代表としてというよりは、影響学会の1会員としての意見になります。

学会内の会員については、福島原発事故とそれ以降に、緊急あるいは緊急よりはもう少し落ち着いた状況においてさまざまな対応をされた会員がいます。個人が中心となりますが、そういう対応はできると考えています。今後、緊急時にはネットワークから情報を提供いただくか、あるいはこちらから情報を別のところから取って、緊急時対応に関する検討会等を設置して、会員に早急な情報を共有して、緊急時対応にスキルを持つ会員の活動を促進、支援していきたいと考えています。

ただ、どのような形で緊急時放射線防護ネットワークの活動が続くのか分からないのですが、ネットワークから影響学会に対して、平常時の準備として、十分な情報提供あるいは意思疎通を正式に行っていただきたいと思います。

あと、もう一つお題としていただいていた平常時の連携と協力ですが、この5年間でネットワークが試験的に作成した緊急時対応ガイドをアップデートしたいとか、若手の教育をしたいということであれば、われわれも福島 の経験や防護に関する経験を持つ方がいるので、適切な人材を派遣できると思います。また自治体向けの研修の講師派遣とかも同様です。立地県では毎年研修をされていると思いますが、そういう講師の経験者もいますので、平常時にもいろいろと協力できるのではないかと考えています。

【座長(吉澤)】 事故発生時には健康影響の説明が求められますので、その部分で協力いただけるということかと思えます。

【富永】 日本放射線事故・災害医学会の富永です。事故・災害医学会もこの5年間、緊急時ネットワークと直接連携をしたり協力をしたりという活動はありませんでした。今後どうことができるかということで連携協力体制を考えますと、事故・災害医学会の会員の多くは原子力災害拠点病院であったり、高度被ばく医療支援センターの職員であったり、あるいは原子力災害医療派遣チームに所属をしている方です。緊急時になると、学会の活動というよりも所属機関の業務として緊急時対応を行いますので、学会としての活動というのはなかなか難しいと考えています。

では、平時に何ができるかということですが、被ばく医療や原子力災害医療にかかわっている会員の多くは、被ばく医療や原子力災害医療の人材育成に関わっています。この教育体系は、先ほどの放射線防護とは別の体系で形成されています。そこに多くの会員が携わっているということになります。実際に緊急時の避難退域時検査や、今後体制がつくられる甲状腺測定やモニタリング、線量評価にかかわるときには、防護の先生たちと被ばく医療の専門家の橋渡しが必要であると考えています。人材育成や教育体系が分かれてしまっていますので、これを平時において連携したり、橋渡ししたりということが必要です。これが、平時に学会ができることではないか、学会として何かできないかと考えているところです。

【座長(吉澤)】 まさしく緊急時被ばく医療は大きな防災の中のテーマですので、平常時から、防護側と被ばく医療との連携というのは確かに重要だと思います。

それではチャットでのご意見を読み上げます。「緊急時原子力事故は予測を超えた現象が起こることを認識していることが不可欠。従って、事故対応はマニュアルどおりには行かない。マニュアルを超えた対応、判断力が事故対応者に必要になる。この点は事故対応上、最も重要かつ不可欠な要因と考える。つまり人材の問題である。この点をどう考えるか」ということですが、これは高田さん、ご意見がありますか。まさしく人材育成が重要なポイントかと思っています。

【高田】 個人的に福島事故を経験して思うことは、マニュアルどおりには行かないし、マニュアルを超えた対応は必要だと思います。しかし、マニュアルというのは、マニュアルがつけられる段階も含めてとらえるべきであり、いろいろな専門家が集まって考えた、ベストチョイスを明文化したものがマニュアルではないかなと思っています。

ですので、マニュアルどおりには行かないけれども、マニュアルはどうなっていて、マニュアルのベースにはどういった知見があるとか、どういった理由でこういうマニュアルになっているということをしっかり理解しないと、その超えた対応というのはできないのではないかなと思います。そこで、まず人材育成の段階ではマニュアルをベースにするのがいいと思います。そして、マニュアルどおりには行かないことがある、というところから、次の段階に行くのかなと考えています。マニュアルだけではないということをしかり理解させつつ、マニュアルの理解から始めていく、そこをスキップすることはあってはならないのではないかなと思っています。

ご説明した試行教育の中ではまだそこまで明確なメッセージは伝えられなかったかもしれませんが、講師が1F事故などの対応の経験をお話させていただくコーナーを設けました。そういった中でそれぞれ若手が感じ取ってくれるところもあったと思います。それから今後の活動の中では、いろいろな Web ミーティングをやりたいという意見がありました。そういったところでしっかりメッセージを持って伝えることがまず1つのやり方ではないかなと思っています。

【座長(吉澤)】 先ほど言ったように緊急時の対応要員というのは、確かにマニュアルだけではなくて、経験技術、応用力、判断力などいろいろなものが要求されるので、そういう人材をどうつくっていくかというのは大きな課題だと思います。

その点について、先ほど松田先生から知識、技術とともに経験をどう伝えていくかが重要だといったご発言がございました。この点に関して追加で何か発言はございますか。

【松田】 ありがとうございます。大変ポイントを突いたご質問だと思います。例えば緊急時モニタリングセンターの訓練を見ましても、原子力災害時医療の中核人材の研修を見ましても、シナリオがあって、それに伴っていろいろな訓練が進行していきます。しかし、マニュアルにせよ、シナリオにせよ、そこをマスターすればいいというものではなく、その原理原則が分からないと、いろ

んな状況に対して、シナリオになかったことに対しては全く反応できないということになってしまいます。今まだその取っかかりの段階として、全員がある程度共通体験をして、裾野を広げていく段階だと感じながら、そういう訓練を拝見しております。

従って、原理原則というか、そもそもこれはこういう理由でこのシナリオをつくっている、だからこういうことを訓練してくださいということ、訓練を受ける側じゃなくて、つくる側がしっかりと認識した上で教育していくことが一番大事なかなと思います。その上で、たくさんのシナリオをつくってみる、いろんな訓練パターンをつくってみるという、教育上の努力が必要だと思います。

【座長(吉澤)】 ありがとうございます。富永先生、事故・災害医学会では、教育の面で、何か考えられるものはありますか。

【富永】 学会としてはあまり教育ということをやっていないのですが、先ほど松田先生が言われていた原子力災害医療の中核人材研修とか、派遣チーム研修についてご説明させていただきますと、原理原則の講義のほかに実習とか机上演習を入れています。机上演習もある程度1つのシナリオの流れに沿って、いろいろ考えてもらいますが、同じシナリオでも、参加者とか参加する背景や地域の状況によって、かなり違う答えが出てくるということがあります。1つの研修の中で、こういう地域はこういう考え方があるとか、こういう体制だということを知るというのは、多くのシナリオとか多くの対応のパターンを得られる機会になりうるのかなと考えています。そういう意味では、グループディスカッションも、実体験を広げるときの補助的なやり方になるのではないかと考えています。

【神田】 Q&Aのほうにも質問を書きくださった方がいます。読み上げさせていただきますと、「高田先生のネットワークの図に立地道府県の自治体はありましたが、これは市町村も含んでいるのでしょうか。住民と直接やり取りするのは市町村かなと思ったので確認しました。モニタリングは道府県が中心で専門性のある人材は市町村にはいないとしても、両者の連携は重要ではないでしょうか」というご質問とご意見です。

【高田】 「立地道府県」の記載については具体的にどの範囲と明確に規定をしているつもりはないのですが、まず国からの交付金等の支援は、道府県が受け取ることになります。そこからさらに市町村への展開というところは、道府県ごとに異なると思います。ネットワークは道府県だけを見ているわけではないので、例えば市町村独自にいろいろな研修や訓練をされるというような場合には、中核機関ができていれば中核機関にご相談いただくということもあるかもしれないし、道府県を通してということもあるかもしれません。ネットワークでは道府県だけを対象にするわけではないけれども、すべての関係する市町村を見るということでもない、このあたりはもう少し将来の展開というところになるのかなと思います。ご指摘のとおりで、一番住民に近いところもしっかり押さえていくところは必要ではないかなと思います。

【座長(吉澤)】 なかなか難しい問題として、今後の活動の核をどうするかという問題が最後に残っていると思います。これは様々な状況に依存しており、一概には言い切れないところもあります。少なくとも人材育成に関しては関連学会をはじめいろいろな連携ができそうだということが分かりました。これでこのセッションを終わりにしたいと思います。ありがとうございました。

ネットワークの活動のこれまでとこれから

吉澤 道夫(日本原子力研究開発機構)

それでは活動報告の3番目として、職業被ばく最適化ネットワークの活動についてお話をしたいと思います。まず職業被ばく最適化推進ネットワークは、課題解決型ネットワークの1つとして、2つの活動を行っています。1つが国家線量登録制度検討グループ、2つ目が線量測定機関認定制度検討グループですが、主たる活動は①国家線量登録制度検討グループのほうですので、本報告はこちらに絞らせていただきたいと思います。

この検討のきっかけは約10年前、2010年に出された日本学術会議の提言です。その翌年にも記録という形で実現に向けての具体的な方法も提案されましたが、残念ながら実現しませんでした。その後の10年の間に状況が変わり、大学等では人材流動化も進んできまして、独自の管理の方法の検討が行われています。また、眼の水晶体の線量限度の変更に伴いまして、医療分野で特に線量管理の必要性が増大しているということで、あらためてこの線量登録制度について検討をいたしました。

検討は国家線量登録制度検討グループで行いました。検討では、実現可能性のある合理的方法を実現に向けた課題とともに提案するというを目的としています。参加メンバーは、私の主査の下、原子力分野以外に医療、それから大学関係の方も入っていただいて検討いたしました。特に大学関係のネットワークとも連携したところが、1つ大きなポイントかと思っています。

検討グループではこれまでに7回会合を開催し、検討してきました。また、学会等のステークホルダー会合に検討内容を報告して意見交換をする、そして合意形成を図るということに重点を置いてきました。

ここから主な検討内容をご紹介します。

まず先ほど申し上げたように、学術会議の提言がなぜ実現に至らなかったのかということを考えてみました。多くの学会、それから行政機関、シンポジウムの開催などが行われました。そこで出された意見等を見ますと、広くステークホルダーを巻き込んだ議論ではなかったということが大きなポイントかと思っています。すなわち制度を構築する国、それから受ける側の事業者、その両方から支持されなかったということがあります。具体的には、国は予算を使って国の事業とするという必要性が見いだせなかった、なぜなら線量限度担保のための被ばく前歴把握は雇用主や事業者の役割であり、国の仕事ではないから、ということです。一方、事業者側は大多数が検出限界未満で、複数年管理がまれであるのに、費用を費やすことには抵抗が大きいという認識だったということが大きいかと思っています。

検討グループでは、これらのことを踏まえて、1つの案に限らず、考えられる複数の選択肢を提示して検討を進めてきました。その選択肢がこの4つです。①は国が登録機関を設置して、す

すべての作業者を対象とするもので、いわゆる学術会議が提言した制度です。②は国ではなく事業者が登録機関を設置して、全作業者を対象とする制度です。③は、検出限界未満など線量が低いものには登録は不要という意見もありましたので、複数普通事業所で作業する者、一定の線量以上の者など、一部の作業者を対象にした制度です。④は業界分野別にその必要性に応じて制度を構築するというものです。4つの考え方を提示しました。制度としての完成度は④から①に行けば行くほど高いということになります。

これらの制度案を先ほどのようにステークホルダー会合で示し、意見、コメントをいただいて検討を進めてきました。そうすると分野別にかなり状況が異なるということが分かってきました。まず、原子力分野では既に制度が確立し、運用実績も十分あって、新しい制度を必要としていない状況です。それから、研究・教育分野では検出限界未満がほとんどで、複数年管理を必要とする人もほとんどいません。どちらかというと大学では、線量管理よりも放射線管理記録のやり取りの合理化、標準化が優先課題となっています。

一方、医療分野は状況が異なりまして、医療分野は検出下限以上が2割から3割で、実効線量が年 20mSv を超える、いわゆる複数年管理が必要な方も数百名規模いらっしゃいます。現在は、線量計着用や被ばく線量低減などのほうが優先課題ですけれども、今のような状況を考えて、線量登録管理の必要性は高くなっていると考えられます。

医療分野では、医師の方の異動が頻繁で、被ばく線量の把握が不十分なのではないかという情報もありましたので、Web を使ったアンケート調査を行ってみました。調査対象は、現在または1年以内に放射線診療を行った医師で、251名の回答がありました。専門分野は、内科関係が多くなっています。また、年齢は30代から50代が多くなっています。

時間の関係で主な結果だけご報告します。放射線診療を行っている医師の方で複数施設にいる比率ですが、ここ1年で見ると22%ですが、5年になると43%まで増加します。異動は頻繁で複数施設の方がかなりいらっしゃるということが分かります。

それから、放射線診療を実施している医師のうち、個人線量計を使用している方というのは251名中189名で、全員ではありませんでした。個人線量計を使用している方について被ばくの状況を聞きましたところ、有意な被ばく、すなわち検出下限以上をしている方は3割います。分からないという方も8%いらっしゃいました。この割合は既に公表されている個線協のデータとほぼ近い内容です。

それから被ばく線量について、有意な被ばく有の方に対して、数値が分かるかを聞くと、分かる方は30%しかおらず、7割の方は分からないという回答でした。従って、医師については、複数の施設で放射線診療を実施しているが、その被ばく線量を把握されている方はかなり少ないという実態が調査結果からわかりました。従って、線量登録管理制度を医療分野で構築することの必要性は高いと考えられます。

これらのことを考えますと、制度構築に向けた進め方としては、まず「業界・分野別の管理の構築」を特に医療分野を中心に進め、大学では放射線管理記録等の標準化を進めるのが現実的な対応と考えます。確かにステークホルダー会合では国が主体の一元管理を進めることが理想

的との意見が半数近くを占めましたけれども、その背景には費用負担に対する抵抗が大きく、やるなら国の事業としてやってほしいというのがかなりありました。しかし過去の経緯からすると、これの実現性は低いと思います。分野によって状況も異なる、要求度も異なるということから考えると、全分野というよりは必要な分野がまず構築していくことが現実的とわれわれとしては考えました。

しかしながら、将来的に全分野にまたがる一元管理を実現させることが望ましいのは確かです。このためには将来に向けた準備として、個人識別番号の付与や登録する線量の標準化、個人情報管理などについては共通化しておくということが重要かと思えます。

登録すべき情報は個人識別情報と線量情報に分けられます。個人情報については、将来を考えると固有な番号を付しておくということが非常に重要です。われわれとしては既に運用されている中央登録制度の番号を活用するのが効果的と考えています。また、医療では医師や看護師の方に個別番号がありますので、これは補助的なものとして使えると思います。線量情報については、実効線量と等価線量でいいと思います。すなわち測定値、1cm 線量当量は不要ということです。等価線量については、今は線量限度が複数年の眼の水晶体を対象としていまは複数年ありますが、医療の実態を考えると末端部、指、手の皮膚というものを考えておく必要もあるかもしれません。

次に、具体的な線量登録フローを検討しました。時間の関係で主な流れだけ説明します。検討の前提としては、登録は線量データのみとして、日常的な管理は測定機関のブラウザサービスを利用していただくこととしています。そして登録は例えば年に1回など一定期間ごとに行うことを想定しています。それからやはり個人線量測定登録サービス機関を活用することが重要だろうと考えています。

主な手順としては、まず個人情報を線量登録機関が扱う同意を得て、放射線従事者に指定するときには事業者番号、個人番号を付与し、それを登録しておきます。本来、線量データは医療機関が提供するのですが、これを測定機関に代行してもらって登録し、測定機関から提供されたデータを線量登録機関が名寄せをして登録することを考えています。これをしていくと、医療機関は名寄せした線量を問い合わせ、複数施設のデータ、合計線量、そういうものを照会ができます。このフローは医療機関向けのものですが、他の分野であっても共通に使えるフローになると考えています。

このような線量登録管理制度が構築できると、本来の個人線量管理が実現できます。すなわち職場を異動しても、被ばく前歴把握や複数年の合算ができることになり、記録の散逸防止も実現できます。また、労働保険災害が起こった場合の被ばくデータの提供や、健康影響調査への貢献、UNSCEAR などへのデータ提供も実現できるようになると考えられます。

制度構築に向けた課題としてはいろいろありますが、ここでは基本的な考え方だけまとめておきます。原子力分野では現在実現に至っているわけですが、その制度の発足の経緯を振り返ると、国と事業者の両方が制度確立の必要性を強く認識していたということが大きいです。すなわち国は業界への指導や制度構築のための調査を実施し、業界も制度構築が必要不可欠と意識

して、費用負担を受容したということが大きなポイントかと思います。従って、今後の制度構築には国と業界分野の両方が必要性を認識して、検討を進めることが重要です。特にコストは大きな課題で、業界分野別では事業者が負担するということは避けられませんので、これをどうコストダウンしていくか、それは制度設計にかなり依存すると思います。それでも初期費用はかなりの額になりますので、ここは調査等での国の補助を期待したいところです。

実現に向けての今後の活動ですが、最優先は医療分野での構築かと思います。このためにわれわれの提案を積極的にインプットして検討を継続していただくように働き掛けたいと思います。大学も活動は継続されると思いますので、そういった情報を集め、推進になる働き掛けをする形でネットワークを維持したいと思います。ネットワークの維持は今後の推進のためのアクションのために重要だと考えています。

この報告では具体的な活動報告だけ述べて、今後のディスカッションの今後の活動については、この後のディスカッションの最初に少し詳しくまた別に報告したいと思います。



職業被ばくの最適化推進ネットワーク

●アンブレラ型プラットフォームの課題解決型ネットワークの1つとして「職業被ばくの最適化推進ネットワーク」を設置

➢運営主体： 日本原子力研究開発機構 (JA EA)

●2つのグループで活動

① 国家線量登録制度検討グループ

目標： 国家線量登録制度(NDR)の設立に向けた具体的な提案と合意形成

② 線量測定機関認定制度検討グループ

目標： 個人線量測定機関 (外部サービス機関及びインハウス事業者) の認定要件 (技能試験の内容・方法等を含む) の確立



アンブレラ事業 第5回ネットワーク合同報告会 令和4年1月25日

2



国家線量登録機関検討グループ 検討の背景

●放射線作業者の被ばくの一元管理についての日本学術会議の提言

- 2010年7月 (提言) 「放射線作業者の被ばくの一元管理について」
- 2011年9月 (記録) 「放射線作業者の被ばくの一元管理を実現するための具体的な方法」
- 省庁等への働きかけ → 具体化せず

●最近の被ばく管理に関する動き

- 大学での人材流動化に伴い、大学の放射線管理関係者のネットワークで線量管理を検討
- 眼の水晶体の線量限度変更に伴い、特に異動の多い医療関係者の複数年に亘る線量管理の必要性が増大



アンブレラ事業 第5回ネットワーク合同報告会 令和4年1月25日

3



国家線量登録機関検討グループの目的と構成

●目的

➢我が国の制度や各々の現場の実態を考慮し、既存システムをできるだけ活用した実現可能性のある合理的方法を、実現に向けた課題とともに提案する。

●参加メンバー

	氏名	所属
主査	吉澤 道夫	日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所
委員	浅野 智宏	放射線影響協会 放射線従事者中央登録センター (R3年度から)
	伊藤 敬夫	〃 (R2年度まで)
委員	阪本 武志	東京大学環境安全本部
委員	岡崎 龍史	産業医科大学 産業生態科学研究所
委員	神田 玲子	量子科学技術研究開発機構
委員	百瀬 琢磨	日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所
委員	渡部 浩司	東北大学サイクロترون・ラジオアイソトープセンター



アンブレラ事業 第5回ネットワーク合同報告会 令和4年1月25日

4



活動経緯

●検討グループ会合

- ①2019年2月2日、②2019年10月15日、③2020年12月22日、④2020年9月10日、⑤2021年1月15日、⑥2021年7月8日、⑦2021年9月29日、⑧2022年1月26日 (予定)

●ステークホルダー会合での報告・議論

- 日本保健物理学会第53回研究発表会 (2020年6月29日)
- 日本放射線安全管理学会第19回学術大会 (2020年12月10日)
- 第3回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会 (2021年12月1日)
- 医療放射線防護連絡協議会年次大会 (2021年12月10日)
- その他の各種検討会合等でも報告



アンブレラ事業 第5回ネットワーク合同報告会 令和4年1月25日

5



主な検討内容



学術会議提言が実現に至らなかった主な要因

- 広くステークホルダーを巻き込んだ議論ではなかったため、ステークホルダーの理解が得られなかった。
- 主要なステークホルダー (国、事業者) が以下の各々の理由で実現に向けたインセンティブが働かなかった。
 - 国 (規制当局) :
 - 国の事業として実施する必要性が見いだせない
 - ・線量限度担保のための線量管理 (事前把握等) は雇用主・事業者の役割
 - ・原子力分野では既に事業者による運営制度が確立している。
 - 事業者 :
 - 被ばく線量が低い (検出限界未満が大多数)、複数年管理はまれであるのに、コストを費やす必要性がない



アンブレラ事業 第5回ネットワーク合同報告会 令和4年1月25日

6



アンブレラ事業 第5回ネットワーク合同報告会 令和4年1月25日

7

登録すべき情報

●個人識別情報

- 将来を考えて各人に固有な従事者登録番号を付す事が必要
 - ⇒中央登録制度の番号制度を活用するのが効果的
 - ✓番号発行制度（現在は手帳発行機関が実施）の拡大を検討する必要
 - ✓医師、看護師、技師には個人識別に使える番号があるが、これは補助的なものとし、中登録番号の活用を検討する必要

●線量情報

- 登録すべき線量：実効線量、等価線量（眼の水晶体、皮膚）
 - ✓測定値（1cm線量当量等）は不要
 - ✓外部被ばく、内部被ばくを分ける必要はない。



線量登録フローの提案

●検討の前提

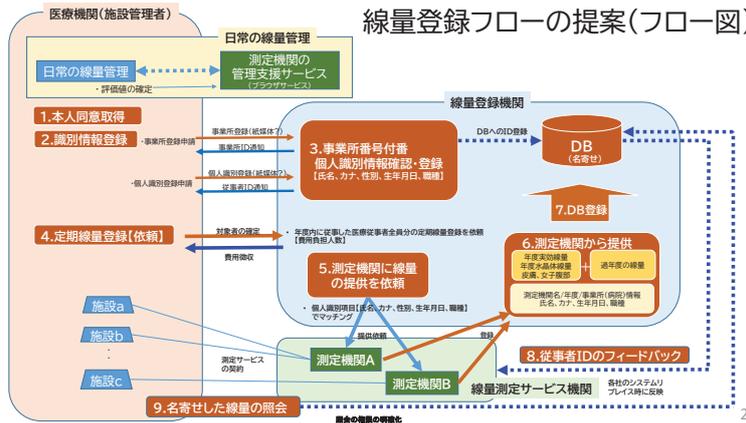
- 登録制度の対象は、線量データのみとする。
- 線量測定サービス機関【測定機関】の管理支援サービス(ブラウザサービス)を利用して日常の線量管理を行っている。

●線量登録フローの提案

1. 医療機関は、従事者本人に対して、線量登録機関【登録機関】での個人情報の取扱いの同意を取得する。
2. 医療機関は登録機関に事業所と従事者の識別情報を登録する。
3. 登録機関は医療機関に事業所ID及び従事者IDを通知するとともに、識別情報をDBに登録する。
4. 医療機関は登録機関に対して、対象者を明確にして、線量測定機関からのデータの取得を依頼する（過年度データも合わせて）。
5. 登録機関は測定機関に対象者のデータ提供を依頼する。
6. 測定機関は登録機関に線量等のデータを提供する。
7. 登録機関は登録内容を確認し、DBに登録する(名寄せ等を実施)。
8. 登録機関のDBから従事者IDを測定機関にフィードバックし、将来の運用に向けてデータを蓄積する。
9. 医療機関あるいは測定機関は、登録機関に名寄せした線量結果を照会することができる。



線量登録フローの提案(フロー図)



制度構築により実現できること

●本来の“個人”線量管理の実現

- 被ばく前歴の把握、複数年の合算、複数事業所での合算
- 記録の散逸防止・保管
- 労働災害保険対応（被ばく線量データの提供）
- 健康影響調査等への貢献
 - 疫学研究、UNSCEAR等へのデータ提供
 - 我が国の職業被ばく統計の作成、国民線量の把握



線量登録管理制度の実現のために必要なこと

- 実現に至っている線量登録管理制度（原子力分野）では、国と事業者の両方が、制度確立の必要性を強く認識
 - ・国： 業界への指導、構築のための調査の実施
 - ・業界： 制度の構築が必要不可欠と認識し、費用負担を受容
- 線量登録管理制度の実現には、国と業界・分野の両方が線量登録管理制度構築の必要性を認識し、検討を進めること
- 特に、医療分野では制度の必要性が高いと考えられることから、是非、前向きに、積極的な検討をお願いしたい。
- 登録管理制度のためのコストの確保
 - 業界・分野別制度の場合、運用コストは参加事業者が負担する必要
 - ⇒コストダウンの検討
 - 初期投資コストは国の補助を期待したい。



実現に向けての今後の活動

- 最優先は、医療分野での線量登録管理制度の構築
- このためには、医療分野での線量管理の検討に、線量登録管理制度構築を組み込み、検討を継続する必要がある。
- 一方、大学関係は管理の標準化に優先度があり、その中に線量が含まれている状況であるが、これは将来、全分野に有益となる可能性大。このため、制度の検討・継続（記録保存の安定性）を見守る必要がある。
- 関係者が集まるネットワークを維持・拡大し、情報共有・意見交換、必要に応じた推進へのアクションを行うことが重要



ディスカッション

【吉澤】 今後のネットワーク活動について少し補足したいと思います。先ほど申し上げましたように、検討を推進するためのプロモートが重要だと思っていますので、医療関係の学会、医療放射線防護連絡協議会や関係学会などに継続的な働き掛けをしたいと思っています。また国の役割も重要です。国からの推進指導をいただくという関係もあって、医療関係ですと厚労省に対して継続的な情報提供や意見交換をしたいと思っています。

それから制度設計上、中央登録センターと個人線量測定機関協議会が非常に重要な役割を果たすと思っていますので、そことも連携して具体的な提案等をしていきたいと思っています。また、大学関係も記録の標準というのは今後大きな役割を果たすと思っていますので、情報の共有をしていきたいと考えています。

ここまで割と個人的なネットワークという形で検討グループを組みましたが、今後も関係者が集まるネットワークを維持しつつ、さまざまな団体を通じて、全体的な推進をプロモートできればいいと思っています。なかなかこのネットワークをどこが担うかというのは難しいところですが、このネットワークは実際に活動するというよりは横並びをつなぐということが大きな役割になるかと思っています。そういう意味で、今までの流れの延長ということで、原子力機構と量研が連携して何とかこのネットワークを維持していきたいと考えているところです。

【座長(百瀬)】 ありがとうございます。今、1つの具体的な活動の進め方の提案もございました。それを踏まえて、特に指定発言者からご発言よろしく願いいたします。

【樺田】 医療分野はかなり課題が多いという話がありました。その点をお話したいと思います。

そもそもの線量の管理者は事業主ですよという話がありました。その背景ですが、労働者の健康は労働安全衛生法で守られるわけですが、その実施主体は事業主となっています。事業主というのは、病院で言えば病院管理者、病院長が責任を負うことになっています。今回改正された電離放射線障害防止規則というのは労働安全衛生法の中の規則という位置付けです。

私はこの電離則改正の検討会の委員をさせていただいていたのですが、その議論の中で、線量計の装着が非常に悪いというところがあるので、線量測定の徹底を行いなさいという話になりましたし、放射線障害防止対策を再周知して線量低減のための対策をやりなさい、ということになりました。今までも厚労省が何回か同じような通知を出していたのですが、あらためてそれを実施しなさいという通知が出されたところでもあります。

実際線量が測定されていない環境について、私たちの研究班でも医療従事者の線量計の装着率を調べました。すると医師の場合であれば、放射線業務に従事する人の中において4割しか線量計を装着していないというような実態が見えてきました。診療放射線技師であっても100%でないといった状況です。エプロンを着けた不均等被ばくの場合も同様程度の状況であって、非常に線量計の装着が悪い環境にあるということが、あらためて確認されたところでもあります。

こういったことを受けて、検討会が検討結果をまとめる際にも、国としてさまざまな支援を実施していかないといけないということになり、代表的なものとして3つの支援が実施されました。まず法令改正される前に、線量低減するための設備を改修するところに費用を補助するといった支援が行われました。これは昨年度だけで終わりました。

もう一つは電離放射線対象事業所における自主点検事業です。実際事業者がどのような線量測定をされていて、線量分布がどうなのかということを自主管理してチェックできるような対応を取っていきましょうという事業です。昨年度、今年度と、継続して実施されているところです。

電離則改正の際に放射線審議会に諮問・答申したときにも、改正することは妥当であるけれども、管理体制が非常にずさんなところがあるので、線量管理を徹底しなさい、また被ばくを低減しなさい、そういった線量の測定について経過報告しなさいということを意見附带されたといった状況がありました。そこで、昨年10月の第154回の放射線審議会でも回答がなされています。この後で、実際どんな状況なのか、自主点検事業の内容について簡単に触れたいと思います。

それともう一つ、労働安全衛生マネジメントシステムとかといった自主管理制度を上手に導入していくことも考えていきましょうということが厚労省の支援事業として実施されております。

線量管理の自主点検のことにしましては、昨年の6月にNHKのニュース報道でもされたところです。3分の1程度の医療機関では十分に線量計が配布されておらず、線量管理ができていないといったことが報道されています。

調査した結果を細かく見ていきますと、必要数の線量計が配布されていない施設が3分の1ある、線量計の装着対策をちゃんと指導するような体制が取られていないところが2割強ある、実効線量・水晶体等価線量を超過する人たちが一定程度いる、また、そういった実態を把握していない人たちもいる、5年管理が必要となるような人たちも0.5%いる、といったことがわかりました。また、先ほど吉澤先生のほうからも話がいろいろ出ていましたけれども、異動が頻繁にあるのに、その異動したときに前歴の把握が全然されていないところが16%ぐらいあることや、いわゆる一時立入と言いますか、メインの所属機関以外で例えばアルバイトとしてほかの病院で診療するような場合の線量管理もされていないところも多数あるというようなところがわかりました。

こういった実態を踏まえると、何よりもまず線量測定をしないことには何もならないということで、測定の徹底を求めています。また労働衛生の3管理といったようなものに基づいた線量低減策も必要です。そして、それを自主管理するシステムとしてのマネジメントシステムの導入といったようなことが求められてきます。そういった上で線量の一元管理というのが必要になってくるだろうと思います。先ほども言いましたように、複数の医療機関に同時に従事するような場合の線量管理も課題として検討していかないといけないところです。

これらは従事者の被ばく線量の管理の話ですが、平成2年4月から医療法が改正されて、患者さんの医療安全に関しては、医療被ばくの低減化が実施されてきて、研修を受ける等の体制が求められているところです。中身に関してはかなり共通するところがあるのですが、医療法の目的は患者の医療安全、電離則は従事者の安全の確保ですので、そこを十分わきまえた上で対策を取っていかないと、十分に達成できないのではないかと危惧されるというような現状にあります。現在の医療における特殊性について紹介させていただきました。以上になります。

実現に向けての今後の活動

• 医療分野での検討のプロモート

- ✓ 医療関係の学会・機関（医療放射線防護連絡協議会、関係学会等）への継続的な働きかけ
- ✓ 国からの推進指導（厚労省） → 継続的な情報提供・意見交換
- ✓ 中央登録センターの協力・支援 → 具体的な提案の検討など
- ✓ 個人線量測定機関協議会の協力要請 → 登録フローへの関与

• 大学関係の検討状況・内容の把握

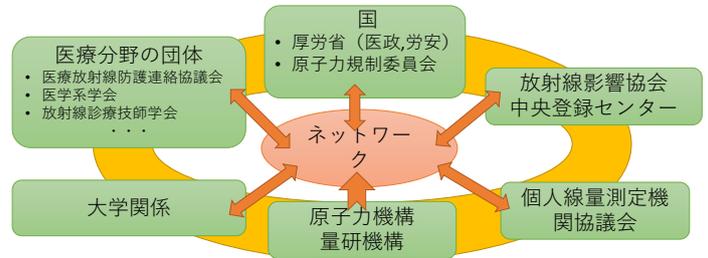
- 管理記録等の標準化などは、分野を超えた共通的な課題への解決策になる可能性大

アンブレラ事業 第5回ネットワーク合同報告会 令和4年1月25日

1

本事業後のネットワーク活動（イメージ）

- 関係者が集まるネットワークを維持・拡大し、情報共有・意見交換、必要に応じた推進へのアクションを行う



アンブレラ事業 第5回ネットワーク合同報告会 令和4年1月25日

2

令和3年度 放射線安全規制研究戦略的推進事業費
(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)事業
第5回ネットワーク合同報告会：令和4年1月25日(火)14:00~17:00

～職業被ばく最適化推進 NW の活動～

電離則の遵守状況に関する調査報告

* 医療分野の線量管理の実態 *

産業医科大学 産業保健学部
櫻田尚樹



・発表者は、放射線審議会・眼の水晶体の放射線防護検討部会 専門委員、厚生労働省・眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会委員を務めておりました。
・開示すべきCOI関係にある企業等はありません。

労働安全衛生法 第3条-1(事業者等の責務)

事業者は、単にこの法律で定める労働災害の防止のための最低基準を守るだけでなく、**快適な職場環境の実現と労働条件の改善**を通じて職場における**労働者の安全と健康を確保**するようにしなければならない。また、事業者は、国が実施する労働災害の防止に関する施策に協力するようにしなければならない。

電離放射線障害防止規則

(被ばく限度(実効線量, 等価線量), 線量の測定, 外部放射線の防護, 特別の教育, 健康診断等

6

放射線業務従事者等に対する線量測定等の徹底に関する厚生労働省労働基準局通知

厚生労働省労働基準局安全衛生部長通知

基安発1101第1号 令和元年11月1日

放射線業務従事者等に対する線量測定等の徹底及び眼の水晶体の被ばくに係る放射線障害防止対策の再周知について

電離則第8条第1項において、事業者は、放射線業務従事者、緊急作業に従事する労働者及び管理区域に一時的に立ち入る労働者の線量を測定しなければならないと規定されている被ばくによる線量の測定について、その遵守の徹底を図ってきたが、今般、検討会において現行法令上不均等被ばくの場合には、2つ以上の放射線測定器の装着等を求めているところ、適切な線量測定が実施されていない事例が散見されることが報告された。

下記の事項について周知徹底を図られたい。

- 現在実施している外部被ばくによる線量及び内部被ばくによる線量の測定について、電離則第8条第1項に基づき適切な対象者に対して実施しているか確認すること。
- 現在実施している外部被ばくによる線量の測定について、電離則第8条第3項に基づき放射線測定器を適切な位置に装着しているか確認すること。
- (略)放射線業務を現在行っている事業場においては、放射線防護の基本原則である「遮蔽をする。放射線源から距離を取る。作業時間を短くする。」に則り、作業方法及び手順の再確認を行い、必要に応じて、作業方法の見直し、被ばく低減対策等を検討すること。

厚生労働省 <https://www.mhlw.go.jp/content/000563255.pdf> (演者抜粋, 下線追記)

【令和3年4月1日施行】改正電離放射線障害防止規則及び関連事業について

眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会 報告書 (令和元年9月24日)

- ア 国は、(中略)事業者が、放射線防護設備の設置や改善による被ばく低減措置を講ずるための支援を行うことが望ましい。
- イ 国は、水晶体への被ばく線量が高い業務を行う事業者が、労働安全衛生マネジメントシステム等の取組を着実に進め、安全衛生管理体制を確立するための支援を行うことが望ましい。

被ばく線量低減設備改修等補助金事業 (令和2年度で終了)

本事業は、病院及び診療所に対し、眼の水晶体が受ける被ばく線量を低減するための器具の購入経費の一部に対して補助金を交付するものです。

電離健診対象事業場に対する自主点検等事業 → 第154回放射線審議会にて意見附帯に回答

本事業は、放射線業務を行っている事業者における放射線管理が、電離則等に定められている内容と照らして問題ないかを自ら点検し、事業場内における放射線管理の課題を自主的に改善するきっかけとしていただくとともに、令和3年度から施行される改正電離則に対応する準備を進めていただくことを目的としております。

放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業

本事業は、放射線業務に従事する医療従事者の被ばく低減のためのマネジメントシステムについてご説明し、貴機関における放射線管理を支援します。

https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_06824.html

https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kovou_roudou/roudoukijun/anzen/0000186714_00003.html

現状・課題と対策

厚労省R2年自主点検事業アンケート概要 → 第154回放射線審議会

- 線量計を必要な配布されていない(33.3%)
- 線量計の適切な装着対策が実施できていない(21.0%)
- 実効線量・水晶体透過線量限度超過、未把握者が存在
- 5年間管理が実施されていない(0.5%)
- 異動時に前所属機関での線量を未把握(15.7%)
- 管理区域一時立入者の線量を未把握(15.2%)

- 線量測定の徹底
- 労働衛生の3管理に基づく被ばく線量低減
- マネジメントシステム導入
- 線量の一元管理
- 複数の医療機関に従事する際の線量管理

個人被ばく線量計装着率調査集計結果

表1 職種別個人被ばく線量計装着率

職種別 人数	全体(電離則第8条第1項)		不均等被ばく管理のみ									
	線量計装着 (胸・腹部)	(有)の装着 率(%)	職種別 人数	線量計装着 (胸・腹部)	(有)の装着 率(%)	線量計装着 (頭部)	(有)の装着 率(%)	線量計装着 (手指)	(有)の装着 率(%)			
医師	519	38.5	203	39.1	272	43.5	123	45.2	91	33.5	3	1.1
看護師	366	27.2	282	77.0	144	23.0	122	84.7	93	64.6	1	0.7
診療放射線 技師	347	25.7	324	93.4	172	27.5	163	94.8	125	72.7	9	5.2
臨床工学技 士	100	7.4	67	67.0	37	5.9	24	64.9	24	64.9	0	0.0
その他	16	1.2	4	25.0	1	0.2	1	100.0	0	0.0	0	0.0
合計	1348		880	65.3	626		433	69.2	333	53.2	13	2.1

* 手指に関しては、『持っていないから無い』と『持っているけど装着していない』を見分けることが困難。

個人被ばく線量計(電離則第8条第3項の均等被ばく(第1項)=胸・腹部)装着率は、診療放射線技師が高く、一般的に被ばく線量が高いと言われている医師が一番低い。

第53回日本保健物理学会研究発表会 WEB大会 令和2年6月29日(月)~6月30日(火)
企画シンポジウム:放射線防護の喫緊課題への提案~職業被ばくの個人線量管理と緊急時対応人材の確保~
第1部 職業被ばくの個人線量管理 ~流動性の高い現場の問題~
榎田尚樹:放射線管理区域に立ち入る医療従事者の個人被ばく線量計装着実態調査

医師や看護師の被ばく3割余りの医療機関で管理徹底されず

2021年6月7日 11時38分

令和2年度厚労省自主点検事業の結果を報道

<https://www.3.nhk.or.jp/news/html/20210606/k10013070951000.html>

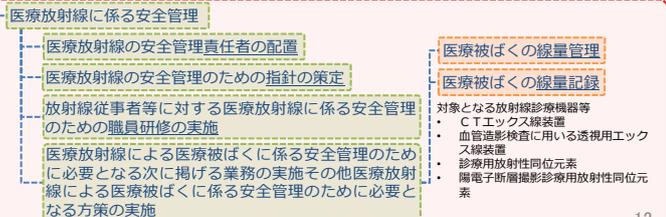
医療法における医療放射線に係る安全管理の分類

○ 医療放射線に係る安全管理は、管理者が確保すべき安全管理の体制の1つとし、体制の確保に当たっての講じるべき措置を定める。

管理者が確保すべき安全管理の体制 (規則第1条の11)

- 院内感染対策 (規則第1条の11第2項第1号)
- 医薬品に係る安全管理 (規則第1条の11第2項第2号)
- 医療機器に係る安全管理 (規則第1条の11第2項第3号)
- 高難度新規医療技術等 (規則第1条の11第2項第4号)

新たに規定



第6回 医療放射線の適正管理に関する検討会 資料1 (平成30年6月8日)

【座長(百瀬)】 医療被ばくの問題、医療の職業被ばくの問題を考えるときには、その基礎となる安全管理の体制、それから個人線量の測定、さまざまな課題がまず既に現場にあるということによく分かりました。そういったものを今後はしっかりと管理をしていくというところの延長に、この被ばく線量一元管理があると理解をしています。

【佐々木康人】 吉澤先生のご報告を伺いまして、業界分野別の管理の機構構築が現実的な進め方であって、特に医療分野での実現に向けての今後の活動の必要性を提案されたことに対して、賛意を表します。ご指摘のとおり、放射線診療従事者は数が多く、特に医師と診療放射線技師の中には、ご指摘にもありましたように、年間被ばく線量が 20mSv、50mSv を超える作業者がそれぞれ数百人、あるいは数十人レベルでいることが知られております。医療機関では放射線管理、防護への関心が低いという課題も以前から指摘されておりました。しかし、学術会議が提言を出した 10 年余り前に比べますと、医療機関での放射線管理体制は改善されつつありますし、医療従事者の放射線防護への関心は当時と比べれば格段に高まっていると思います。既に適切な管理防護を実施している病院も少なからずあると思います。管理体制の構築と改善を推進する時期が熟していると感じています。

放射線を取り扱う医療施設は大規模な病院から個人診療所まで、規模が多岐にわたっているというのが特徴です。従って、一斉に管理体制を構築するよりも、できるところから始めて、順次拡大をしていくというのが現実的な対応とも考えられると思います。放射線診療従事者は放射線科の医師とそれ以外の各科診療医師、技師、医学物理士、看護師など、多岐にわたっております。それぞれが学会や職能団体を組織して活動しています。適切な放射線管理体制を構築するためには、中立的なまとめ役が必要だと思えます。吉澤先生のグループがこれまでの活動を継続して、牽引役を務めることを切に望んでおります。医療分野の学会などでも、これまでのご活動や今後の計画を積極的に紹介して議論の場をつくっていただきたいと願っています。

職種別の学会や団体のみならず、医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)や医療放射線防護連絡協議会など職種横断的な活動の実績のある団体との連携、情報共有、意見交換を通じて活動を推進していただきたいと思えます。また、原子力事業者の中央登録制度のこれまでの実績と経験を生かして、医療分野の管理体制実現にぜひとも役立てていただきたいと思えます。よろしく願いをいたします。

【座長(百瀬)】 佐々木先生から医療分野でも機が熟しているという力強いお言葉をいただきましたので、ぜひこういった検討結果が実を結ぶことを強く願うところでございます。また、病院の組織、あるいは職能の違いというところをよく考えた上で、中立的な立場で事業を進めていくことが重要だというご指摘も非常に重要だと思えました。

それでは、総合的な討論に入りたいと思えます。まず質問が2つほど来ておりますので、先にこちらへの回答をお願いしたいと思います。

最初の質問ですが、「医療機関では 1cm 線量当量の測定値は不要という話ですが、個人線量計の測定値は不要という意味でしょうか」といったご質問です。これは吉澤先生からご回答よろしいでしょうか。

【吉澤】 だいぶ端折って説明したので、少し意図が伝わらなかったかもしれません。線量測定・評価のプロセスとして 1cm 線量当量は引き続き必要ですが、登録機関に登録する情報、つまり集計する情報としては 1cm 線量当量から算出された実効線量だけでいい、結果だけでいい、途中の測定値は要らない、そういう意味です。個人線量評価のプロセスで 1cm 線量当量が要らないといったわけではないということは誤解ないようにお願いしたいと思います。

【座長(百瀬)】 もう1つ「医療従事者の線量の UNSCEAR への提供は診療行為の分類が必要と聞いたことがある。現在の従事者登録なら把握ができるのでしょうか」というご質問がありました。

【佐々木康人】 私のほうから回答したほうがいいのかもしれませんが、よろしいでしょうか。私自身も UNSCEAR で経験したことがあるのですが、医療現場で放射線に被ばくする方たちの UNSCEAR の分類と、日本での現状とは必ずしも一致しないといった問題があります。例えば放射線診療で被ばくをする医師も技師も看護師もいるわけですが、UNSCEAR は、核医学、放射線画像診断、放射線診療といった専門別分類で線量をまとめることを求めたりします。しかし日本では放射線科の中で、特に若い修練時期などでは 1 週間の間に治療も診断も核医学も 1 週間のうちにそれぞれ回るといような人たちがいて、UNSCEAR の分類に合わせるということは極めて困難でした。そういう経験を私はしておりますので、そういう意味のお話かなと思います。

【吉澤】 現在の従事者登録番号なら把握できるのでしょうかという質問に関して言うと、現在の従事者登録番号は原子力分野だけのもので、この登録番号には職業というか、職種の分類とか作業の分類みたいなものは登録していません。ですので、分類別のデータを出すというのは既存制度でも困難な状況です。

国家線量登録制度検討グループでは、将来的には被ばくの最適化の検討に使うために、作業の分類情報は要るかもしれないという議論は致しました。しかし今そこまで含めた制度設計をするとすると、現実的な対応としては広がりすぎると考えました。国際規格でも職業分類の標準化が進められている状況ですので、議論はしておいて、今の制度案の構築ができれば、さらにその次のステップとして組み入れるものと考えています。以上です。

【座長(百瀬)】 まずは第一歩、医療分野でもこういった制度に入っていただくというようなところから始めるが、国際的な標準が今開発されつつあるといったお話がありました。国際的な視野から見ると、あるべき姿にだんだん近づけていくということも重要な課題だと理解しました。

また追加の質問がありました。「医療被ばくでは患者、被験者の被ばくが問題になりますけれども、医療従事者被ばく者の被ばくはそれなりに把握されているが、いわゆる医療被ばくのほうはどうなのでしょう」というご質問です。

【神田】 医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)の代表代行を務めていますので、私のほうからご説明をさせていただきます。

ご存じのとおり、患者さんの被ばくには線量限度を設けているわけではございませんので、医療従事者のように患者さんの被ばくを個人レベルで把握するということはしていませんが、樺田先生も触れられたように医療法の施行規則が改正されて、患者さんの被ばくに関しても記録と管理はしましようということになっています。現時点では CT や IVR、核医学という検査が対象

となっておりますが、どの医療機関でも患者さん1人ずつの線量が推定できるようなパラメータの記録は取っているはずですし、そのデータを基にして、その医療機関における検査において、患者さんの被ばく防護の最適化が行われているところでもあります。各機関が持っている線量データを集約すれば、全体的な傾向と被ばくの把握ができるわけですが、それに向けては今、技術開発が進んでいるところです、とお答えさせていただきます。

【樺田】日本は本当に国民皆保険制度が非常に早い段階から整っていましたので、医療へのアクセスがしやすく、どうしても海外よりも医療被ばく線量は高めのところがありますが、それは患者さん方に十分なメリットがあるという状況にありました。

ただ、医療被ばくの線量が高いのであれば、それは本当に問題ないか考えないといけないということもあって、J-RIME が音頭取りをして、日本でも診断参考レベルが導入されてきています。これにより、線量の低減が図れる対応がとられているのが実態で、医療法改正と合わせて今医療現場が変わりつつあるといった状況かと思えます。

【座長(百瀬)】職業被ばくのみならず医療被ばくの方針においても、被ばくという観点でより適切な線量に向けた仕組みの追求が進んでいるといったお話でした。

残り時間で、医療分野での検討、適用、一元管理へのまず取り組みを進めていくというような切り口で今後の活動のほうを見ていきたいと思えます。吉澤先生、何かご発言がございますか。

【吉澤】われわれがちょっと分からないのは、どこにどうアプローチをするのが一番効果的か、という点です。医療と言っても、いろいろな団体があり、いろいろな部署に分かれていて、全てにアプローチする必要はあるのだろうと思うのですが、やはりどうやっていくかということが1つポイントかなと思っています。ぜひ医療関係の方から発言とか説明の場をいただいて、意識付けをさせていただいて、前進の意識を持っていただくことが重要かと思っています。そこについてアドバイスをいただくとありがたいです。

12月に、医療放射線防護協議会で説明をさせていただいて、その後の議論で特徴的だったのは、職種間の問題です。放射線管理は比較的放射線技師がやっているところが多いが、医師とのコミュニケーションとか組織的なギャップがあって、統一的な管理をやっていくのがすごく難しいという話でした。こういうところからも一元管理や線量登録管理の意識付けをしていく集団として、医師へのアプローチが重要だと思ったところです。これからそういうところを積極的にやっていきたいと思えますので、医療関係の方からぜひアドバイスをいただければと思っています。以上です。

【座長(百瀬)】医療現場での職業被ばくの管理は、恐らく規制の視点からも重要なマターになっていくだろうと思えます。そういう意味で、職業被ばくを受ける立場の方々の関心や力が極めてこの事業を推進させるための重要なファクターになると思えます。ぜひ引き続き関心を持っていただければと思います。

これでこのセッションを終わりにしたいと思います。ありがとうございました。

パネルディスカッションと指定発言

【座長(児玉)】 それでは最後にパネルディスカッション、アカデミアの今後ということで進めていきたいと思えます。

パネリストは、代表者会議のメンバーとして、東大の飯本先生、日本文理大の甲斐先生、国際医療福祉大の小林先生、東京医療保健大の酒井先生、電中研の佐々木道也先生、量研の富永先生、東北大の細井先生、長崎大の松田先生、藤田衛生大の横山先生、事業担当者としては神田先生、高田先生、吉澤先生、指定発言者として佐々木康人先生と岩岡先生です。

議論するテーマとしては、5年間かけて行ってきたアカデミアの活動を振り返りまして、最後に今後の放射線防護アカデミアのあり方に関して、指定発言者3名のコメントを頂きます。

では、最初のテーマになりますけれども、①アカデミアが行った調査と解決の取り組みということで、放射線防護人材の実態把握と若手への支援、これについて取り上げます。まず調査の概要と結果について、富永先生からご自身のコメントを交えてお話しただければと思います。

【富永】 アカデミアの調査としては、2018 年に関係学会に対して、会員数の推移を調査しました。その結果、20 年前に比べて放射線防護の専門家が約2割減になっているということがわかりました。それを踏まえて、2019 年はアカデミアの学会に参加している会員を対象に、年齢、専門分野や業務内容、それから今の職業に就いている経緯といったようなことを調査しました。学会に複数所属されている先生もいらっしゃいますが、お1人1回のみでの回答ということで、371 名の回答を得られています。

若手人材に関する調査結果を簡単に報告します。まず 20 代から 30 代が会員の大体3割ちよつとを占めていますが、これが 20 年後になると専門家の全体数としては減少するだろうという結果が得られました。それから、学会それぞれに特徴があつて、専門分野としては基礎系が多い学会とか、応用臨床系が多い学会とかあるのですが、私が所属している事故・災害医学会は会員の半分から回答があつたんですが、20 代 30 代が、ほとんどいないという結果でした。これはこの学会の特色でもあります。被ばく医療や原子力防災にかかわる原子力災害拠点病院や高度被ばく医療支援センターは原子力規制委員会から指定を受けていて、指定要件を満たすために研修の受講とか、特定部署に所属することが必要になるのですが、そうした役割を担うのが 40 代以降になることが多いからではないかと考えています。つまり、臨床医をやっていて、被ばく医療や原子力災害医療にかかわり始めるとなると、どうしてもある程度年齢がいった医師や看護師、技師になってくるのではないかと思います。特に 20 代 30 代の学生だったり、研修医だったり、若手の看護師が被ばく医療の分野にかかわるといのは、病院の中では機会としては少ないのではないかと考えています。

原子力災害拠点病院や高度被ばく医療支援センターには施設要件があるので、一定数の医療職がこの分野にかかわるといことは多分持続することにはなると思えます。ただそういう医師や看護師がこの学会の会員になるとか、放射線防護のアカデミアに参加してこの分野に入ってくるといった人材は少ないのかなと考えています。

若手の確保に関しては、大学の放射線関係や基礎講座等での人材育成だったり、あるいはキャリアパスをしっかりと明示してもらえなかったり、ポストがないといったようなことも関係しています。

こういった課題を解決することが今後の新たに若手を確保し、人材育成をして確保するというところについては重要ではないかと、一部私見ではありますが考えているところです。

【座長(児玉)】 これは何か学会として対策を考えるというようなことはされているのでしょうか。

【富永】 学会として若手の支援をすとか、そういった積極的な活動というのはないです。当学会はかなり小規模な学会なので、何か支援できるような体制がなかなか整備できないといった事情があります。会員の中には、それぞれの施設とか医療機関で人材育成に携わっていたり、教育に携わっていたりする方は多いとは思いますが、学会として、というのは難しいところです。

【座長(児玉)】 ありがとうございます。それぞれの学会にいろいろな事情があるかと思いますが、防護人材の枯渇というのはいろんな分野で実態が明らかになってきたと思います。アカデミアでも対策を考えて講じてきました。コロナウイルスのまん延ということもありまして、成果が挙がるころまでには至りませんでしたけれども、若手人材育成の取り組みといったことについては取り組んできたところでもあります。これについては飯本先生から、概要とコメントがありましたら、お願いします。

【飯本】 参加各学会それぞれが戦略を持って人材育成事業はこれまで進めているところではありますけれども、このアンブレラ事業全体としましては、冒頭セッションでご紹介がありましたように、若手向けに特別にテーマを選んだ Webinar を開催しました。また目玉事業の1つとしては、国際機関が主催する事業に若手を派遣するというミッションも展開してきたところです。これについては広く浅くではなくて、未来を担うコアメンバーを育てるという意味だったと私は理解しています。若手のメンバーが国際学会で自らの研究発表をするという機会だけではなく、国際イベントに参加してもらって、雰囲気を感じていただいて、新鮮な気持ちで学んでいただけるように、彼らの背中を押して送り出すということが視野に入っていた事業だったと思っています。

この事業は、アンブレラ参加学会を通じてアナウンスをしたわけですが、45歳未満の学会正会員から若手を募って、送り出しました。その成果としては ICRP/ICRU90 周年コロキウムに2名、OECD/NEA 主催の放射線防護スクールに1名、ICRP 主催の第5回シンポジウムに1名、IAEA 主催の Radiation Safety 会議に1名と、合計5人の若者をアンブレラから国際イベントにこれまで送り出したということになります。それぞれ参加者本人にとっては貴重な経験で、大きな成果にはなったと思いますが、彼らの経験を今後どのようにほかの若手に水平展開できるか、あるいは分野として継続的な人材育成をどうするかというのが重要です。また学会それぞれの人材育成戦略をできるところから有機的に相互につないでいくことも重要と考えています。さらに各所属機関でも若手たちが元氣よく自分の組織外に出て行って、伸び伸びと活動できるような土壌、風土をつくっていく、そんな理解や努力もわれわれ関係者にとっては大きな課題になると感じているところです。

【座長(児玉)】 ありがとうございます。実績に基づいて、また将来どのようにしていくべきかという提言もいただけたと思います。

それでは、次のテーマに進ませていただきます。次のテーマは、アカデミアが行った検討と合意形成、放射線安全規制研究の重点テーマと提言作成に関してです。この5年間、アンブレラ事業

はいろいろな意思の表出を行ってききましたが、アカデミア内の合意形成のために、いろいろなプロセスを介した試みが行われました。最初に行われたのが、放射線安全規制研究の重点テーマの提案でした。学会あるいは PLANET が議論をして、代表会議で集約しました。この活動を振り返って、まず細井先生からコメントをいただけますでしょうか。

【細井】

放射線安全研究の重点テーマについて、放射線防護アカデミアが提案を行うという試みは、複数の放射線関係の学会が共同で提案をするという点において、また学会、アカデミアの側から政策策定者に研究を提案するという点において、日本にはこれまでになかった新しい取り組みであると思います。この点では非常に評価ができる、新しい、しかも有用であって、将来の可能性を感じるものでありました。

実際の活動を振り返りまして、個人的に気になった点が2点ございます。第1の点といたしましては、4つの学会では政策策定者のニーズに合うようにとそれぞれ考えて、そうと思われるテーマを自ら設定して、提案したものと思います。しかしながら、振り返ってみると、重点テーマの選定に当たり、事前に政策策定者のニーズや方向性がもう少し具体的に示されると、それに合ったより具体的な内容の選定が可能になったのではないかと感じました。あるいはテーマを策定する過程で、アカデミアと政策策定者の間で率直な意見交換ができると、よりよかったのではないかという点を感じました。

2点目として、生物系の大学研究者がどのように放射線防護に寄与できるかという点です。日本放射線安全管理学会あるいは日本保健物理学会は、放射線防護が研究対象であると思いますが、日本放射線影響学会は生物影響を実際に研究する研究者が多い学会です。生物影響研究が放射線防護と無関係というわけではありませんが、短期的な放射線防護のための成果には結び付きにくい点があります。しかも、大学で教員がどういう点で評価されるかという点、研究論文の数、あるいはインパクトファクター、あるいは何回引用されたか、あるいは外部資金をどれだけ取ったか、間接経費はどれくらい得られたかという点で評価されてしまいます。そういう点を考えると、生物系の大学研究者がどのように放射線防護に寄与できるかは、今後の課題だと感じました。以上です。

【座長(児玉)】 実際に重点テーマの提案にかかわった中から貴重なコメントを2ついただいたと思います。特に放射線影響学会で生物系の基礎研究者が多いというご指摘に関しては、今後、放射線防護研究をしていく上では、基礎研究も含めて他分野からの研究者がどのように放射線防護研究分野にかかわってくるかということも重要だということを含んだご指摘だと感じました。

こうした重点テーマの中にはアンブレラ事業の中で実施した課題もございます。低線量リスクに関するコンセンサスの策定に関しましては、保健物理学会と日本放射線影響学会が合同委員会を立ち上げて議論しました。このプロセスや成果について、酒井先生からコメントをいただきたいと思います。

【酒井】 福島原発事故後のことですがけれども、専門家によって低線量リスクに関して言うことが違う、それが混乱の一因であるという状況がございました。少なくとも一般の方にはそのように見えるような状況でした。これは研究に携わる者としては、研究成果の情報発信に関する非常に重大な問題であると認識しました。そういう問題意識の下に保健物理学会と影響学会が合同で委

委員会を立ち上げまして、今分かっていることとしてここまでは合意事項と言えるというコンセンサスと、ここから先はまだ分かっていないので今後の課題ですという課題をまとめようということになりました。

こうして出来上がったのがコンセンサスと課題で、最終的には論文になって『放射線生物研究』の雑誌に掲載されております。ぜひご覧いただきたいと思いますが、そのような成果物にする過程では、影響学会と保健物理学会から、分子レベルの発がんメカニズムから疫学、さらには放射線管理まで幅の広い分野の専門家が集まって検討することができました。このような幅広い専門家による共同作業というのはアンブレラネットワークならではのものと考えておりますし、今後の活動へ向けての、いわば良好事例として挙げることはできないのではないかと考えています。

【座長(児玉)】 低線量リスクのコンセンサスの策定は非常にうまくいった例で、今後もこのような連携による活動をぜひ推進していただきたいと思います。

それから各学会がテーマを選んで、調査検討したものを他学会がコメントして、ブラッシュアップして、最終的には連名で事故予防や緊急時対応に対する提言をまとめるという活動もこの代表者会議で行いました。今、その最終段階にあります。異なる学会間で足並みをそろえる難しさというものもあったかと思えます。このあたりについて、松田先生からコメントをいただければと思います。

【松田】 おっしゃるとおりで、放射線防護という1つの単語で関わっていると言いましても、関わり方ですとか、関わり方の深さですとか、また立ち位置が違うという、そういう学会が足並みをそろえるのは簡単ではなかったと思えます。しかし、今回提言をまとめるに当たって、ブラッシュアップをそれぞれ交互に学会が行うという仕組みはよく機能したのではないかと私自身は感じております。原稿を出す側、それを読む側、両方させていただきましたが、特に各学会が言いたいこと、ほかの学会による指摘との間、そこにはあまり大きなずれはなかったように感じています。

ただ、提言というのは一般的にその後どうするか、フォローをどうするのかというところが大事だと思います。私どもの学会でかかわった RI 事故事例や事故予防に関して言えば、これは日々の放射線安全管理にどう生かすかということがそのままフォローにつながります。各事業所における良好事例であったり、立入検査等における規制側との意見交換であったり、こういった事例をグッドプラクティスなども含めて、学会の場を通して報告していくということがそのまま安全管理レベルの維持向上につながると思います。

片や原子力事故、それから放射線緊急時対応に関する提言に関しては、これは原子力防災体制に生かすとなると、相手が大きくなってまいります。今回の提言では原子力災害時医療、特に生物学的線量評価に関して深掘りをして、いろいろな提言を行いました。中には国や地方自治体への提言もあり、相手が大きなものに対してどうフォローしていくか、特に学会で何か活動はできるのかといった課題があり、そこにうまく、この3つ4つの学会が足並みをそろえることができればいいのかなと感じています。

【座長(児玉)】 ありがとうございます。提言も大事ですけれども、提言した後のアクションもまた大事であるという貴重なコメントをいただきました。もう1人、影響学会の小林先生もコメントをいただけますでしょうか。

【小林】 影響学会として中心的是にはかかわったのは、大規模放射線災害発生時の線量推定の高度化に対する方策に関してです。まず昨年、影響学会の中に設置した小委員会が中心になって報告書をまとめて、今年度はよりブラッシュアップして提言としてまとめられました。影響学会の中には、生物学的線量推定の専門家がいて、高度被ばく医療支援センターの関係者が中心になって報告書をまとめたのですが、より大きな効果を狙った文章になっていたきらいがあります。これを代表者会議で練っていただいて、提言先が明確になった提言としてまとめられたと考えています。

このようなことから、今後もこのような枠組みで課題を放射線防護の中で抽出して、学会が共同で何らかの提言を出していくという仕組みは有効ではないかと考えています。

【座長(児玉)】 さて、吉澤先生にお伺いしたいのですが、職業被ばくの個人線量の管理について、学会の場でステークホルダーの意見を求めることで合意形成をしようとされてきたわけですが、アカデミアの場合は、このような制度設計の議論にとって有効だったかどうかということについてご意見がありましたらお願いいたします。

【吉澤】 先ほどの報告したとおり、ステークホルダー会合として、保健物理学会や放射線安全管理学会で複数の制度案を示して、アンケート調査を行うというようなことも行いました。これらの2つの学会の会員は、現場の管理実務者でもある場合が多いので、いろいろな立場での現場の感覚を知るのに非常に有効だったと思っています。従って、これらを踏まえたことによって、そういうステークホルダーに一定程度だとは思いますが、受け入れ可能な現実的な提案ができたと思っています。

このような制度設計とか基準に関する議論に関しては、例えば直近だと眼の水晶体の線量限度の議論もかなり学会で行われましたが、その時も「こういうことは国がお決めになることですから」みたいな意見がありました。まだまだそういう感覚も強いのかなという気もしています。そういう意味では、管理実務者集団でもある学会が、もっと活発に管理の制度とか防護基準に関する議論を行い、合意形成をした上で、例えば規制と対話するとかいうことがもう少し積極的にできる、そういう流れができるとさらにいいのかなと思いました。

【座長(児玉)】 どうも貴重なご助言ありがとうございました。

3つ目のテーマは、アカデミアが行った情報共有と課題抽出、国際動向報告会や Webinar の活用に関してです。課題の抽出や問題意識の共有には国際動向報告会が大きな意味を持っていたと思います。この国際動向報告会の活動に関して、甲斐先生から総括とコメントをお願いしたいと思います。

【甲斐】 このアンブレラ事業の一環として、国際動向報告会を開催していただきました。日本の多くの研究者や行政関係者がさまざまな国際機関で活動しております。例えば ICRP、ICRU、UNSCEAR、IAEA、WHO、OECD/NEA、さらにはアメリカの委員会でありますけれども NCRP、それから親学会のような IRPA、そういったさまざまな国際機関の中で日本人の研究者や行政の関係者が活動しています。そういった国際機関の活動ではかなり同じようなテーマについてオーバークラップした議論が行われていたりしますので、国際動向報告会では、各機関で行っている議論に関して情報共有し、討論など行って、次の活動につなげていこうという狙いで行ってきました。

特にテーマとしては、リスク評価や基本的な線量概念を取り上げました。こういったところは多くの人にとって非常に関心の高い領域ですし、ちょうど国際機関等でいろんな動きがあったテーマです。例えば線量概念につきましては、実用量や実効線量については ICRP、ICRU のレポートが出る状況にありました。そこでレポートが出る前でしたけれども、令和元年度には実効線量、実用量に関する改訂に向けた日本の中での課題といったテーマでパネル討論をしていただきました。

それから、令和2年はさまざまな機関でリスク評価に関する議論が行われていることを取り上げました。リスク関連の情報というと、例えば低線量率の線量率効果であったりとか、組織反応の RBE であったりとかですが、いろいろな健康影響に関するリスク議論が国際機関等で行われております。こういったものの情報共有と討論を行ったというのが令和2年度でございました。

令和3年度、これは今年度でございませけれども、ICRP 新勧告に向けた動きが始まりましたので、その論点をご紹介します、それについて関係する委員、またはいろいろな国際機関に活動しております先生方のコメントをいただくということを行いました。

このようにそれぞれテーマは少しずつ異なっているわけですが、それぞれの専門の研究者や行政関係者が互いに情報共有するということは非常に大切なことだということを、あらためて国際動向報告会を通して感じたということでもあります。またいろいろな国際機関の動きは、レポートが出てからならわかることもありますが、途中の動きを知ることはなかなかできないことです。国際動向報告会では、途中経過を知ることができるので、今後の議論を活発にしていこうという意味では非常にいい場ではなかったかと思えます。今後もこのような場を継続していくことは非常に大事ですが、ぜひ規制庁にご協力いただいて、学会連携などが主体となって行っていけるといいかなと思っております。

コロナ禍で Web 会議というスキルを身に付けました。これですと交通費のようなコストもかかりませんので、ぜひ Web 会議のようなものを通して、情報交換していく場が今後も続いていければいいと考えております。

【座長(児玉)】今出てまいりましたけれども、線量の新概念というのは国際動向報告会のテーマとしても取り上げられまして、Webinar のシリーズものにもなりました。最終的にはワーキンググループが組織されまして、この活動が続けられたわけですが、これに関しまして、佐々木道也先生のほうから総括とコメントをお願いしたいと思います。

【佐々木道也】電中研の佐々木です。今回実用量と実効線量に関するワーキンググループに関しては、先生方や専門家の先生方から貴重なご意見をいただきまして、課題と提言をまとめることができました。線量ということで、測定から管理、あるいはリスクに使われる数値としていろいろな学会や専門家が共通して興味を持つ対象というところであったので、特別に取り上げられたと思えます。ちょうど国際的にも ICRU、ICRP の新しい報告書等が出てくるということもあって、関心が高かったのかなと思えます。

総括とコメントということですが、今回、学会の先生方とまとめたということではあるんですけれども、実際この線量、あるいは実用量の変更にしましては、学会だけではなくて現場、法令、あるいは基準、JIS とか ISO とか、そういった多岐にわたるいろんなところが影響するだろうと感じました。今の時点でわれわれが課題や提言をまとめたところではありますが、さらに細かいところとか、いろいろ足りないところとかあると思えます。そういったときに学会の枠組みであったり、ある

いは専門家同士での枠組みであったり、大きいグループであったり、小さいグループだったり、いろいろなところで線量をターゲットにして、いろいろな活動ができるといいのかなと感じました。

【座長(児玉)】 事業の後半では、Webinar というツールが多用されたわけですがけれども、このアンブレラ事業の Webinar を振り返って、横山先生からコメントをいただきたいと思います。

【横山】 今年度のアンブレラ事業の Webinar としては、放射線防護を理解するための Webinar シリーズということで、若い方に向けての企画が多くありました。先ほどから出ているように放射線防護アンブレラには、さまざまな立ち位置の学会の方、また防護というひとくりにできない方々が参画されていたということで、若手に向けただけではなく、われわれの世代の方々にも、他分野の方々、近い分野の方々にも放射線防護を理解していただける Webinar のシリーズになったのかなと思っています。

第1回目は、国際機関で活躍する方々に、今後若い方々にも活躍いただきたいということでお話しいただきました。なかなか実際にお話を聞くということはないと思うので、こういう機会は若い方々にとっては、大変いい機会になったかと思います。また、影響学会と保健物理学会が共同で取りまとめたコンセンサスレポートについてのご紹介、それから保物学会として提案させていただきました放射線防護のイロハをお話しいただく企画など、さまざまな分野において分かりやすくお話ししていただきましたので、若い方だけではなく、いろいろな方々に向けてもよかったのではないかなと思います。

先ほど神田先生は苦し紛れに始めた、とおっしゃられましたけれども、Webinar というのは時間とか場所とかということに制約されないという意味では、大変便利なツールかと思います。またアーカイブなどの配信ということもありまして、本当に意義深かったと思います。それから、これはアンブレラ事業の特徴なのかもしれないですが、行政の方とアカデミアが一緒の場に着いたこともよかったと思います。先ほど行政との率直な意見交換がなかなかできなかったというお話がありましたけれども、ぜひ今後、Webinar を通して、行政の方とアカデミアの方が同じ立場でざっばらんに話せるような機会があるといいなと思いました。

【座長(児玉)】 ありがとうございます。ここまで5年間の活動の総括について伺いました。最後に事業代表者からこれだけは言っておきたいということがありましたら、お願いいたします。

【神田】 ありがとうございます。5年間の活動では予算措置もしていただいた一方で、計画も立てます、締め切りも設けますという形で進めてまいりましたので、学会側の先生方にはかなり窮屈な思いをさせてしまったのではないかなと思っています。

放射線防護の問題解決にはさまざまな専門性と幅広い視点からの検討が必要となりますので、これまでよりも一層こういった学会連携が必要な時代になると思っております。今後、学会連携での活動を自主的にやろうということになりますと、今度は今の学会の活動をベースに、それに乗けて新たな活動をするということになります。その分、窮屈さはなくなると思いますが、求心力を維持するところに少しハードルがあるかなと思っています。参加機関が同じ問題意識を持って、一緒に活動ができるテーマの設定が大事だと思っておりますので、このあたりもこの後の指定発言者の先生方からコメントをいただければと思っております。

【座長(児玉)】最後のテーマにまいりたいと思います。放射線防護アカデミアではこの先どこに向かうべきかという点につきまして、何人かの指定発言者の先生にコメントをいただきたいと思います。最初に佐々木康人先生、お願いいたします。

【佐々木康人】放射線防護や規制の基礎となる放射線の生物影響の機構解明研究の推進とその知見の周知、教育を求めたいと思います。11年前の福島事故の折には、低線量の放射線を被ばくした住民を中心として、必要以上の不安を招きました。酒井先生からもご指摘がありましたけれども、専門家が統一した見解を示すことができずに、極端に異なる意見に翻弄された人々が正しく恐れることができなかつたとも言われたと思います。

日本学術会議は2014年に医学教育における放射線健康リスク科学教育の必修化を求める提案をいたしました。全国医学部長病院長会議の尽力によって、医学教育のコアカリキュラムに取り入れられ、文科省は問題解決型高度医療人材養成プログラム、放射線災害を含む放射線健康リスクに関する領域を2016年に取り上げました。その中で2件の研究成果が高く評価された事後評価が昨日公表されております。これをモデルに全国の大学に放射線健康リスク教育が定着して、多くの人材が育つことを期待しております。各年代での放射線教育が進んで、市民の放射線とその健康影響、あるいは防護管理の常識、リテラシーが高まることを念じております。低線量放射線の健康影響のメカニズム研究が進んで、疫学研究との統合によって、適切な管理防護規制が作成されることが期待できるかと思っております。

一方、1999年9月に起こったウラン加工工場JCO臨界事故では、3人の作業員が高線量の放射線に被ばくをして、そのうち2人の作業員が犠牲となりました。治療を担当した医療チームは日々初めて遭遇する病状に懸命に対応したのですが、救命はできませんでした。高線量被ばくによる組織損傷から回復を可能とする治療法の開発研究が待たれます。めったに起きない事故とはいえ、研究の重要性は低線量影響研究に引けを取らないと思います。研究人材が自発的には出にくい重要分野を見いだして、研究環境を整え、予算を準備して、専門家を育てる努力、これもアカデミアの重要な役割であると思っております。

【座長(児玉)】非常に私たちに重要なポイントをいくつか提示していただけたと思っております。次に中堅代表ということで、岩岡さん、お願いいたします。

【岩岡】これまでのアンブレラ事業の中で学会などの研究団体の連携組織、つまり放射線防護アンブレラが構築されてきたと思います。今後はこの枠組みを利用して、各研究分野が抱える問題意識を共有できるようになると思っています。例えば先ほど若手の防護人材に関するお話がございましたが、量研、放医研でも放射線に関連する若手人材が少なくなってきました。これは大学や研究所の定員の問題もございますので、すぐ解決できるような問題ではございませんけれども、このような解決が難しい情報を含めたさまざまな情報を共有できるような方向に放射線アンブレラが進んでいったらいいのではないかと思います。

【座長(児玉)】それから、大学と研究機関とでアカデミアの距離感が違うと思います。高田先生からはアカデミアとの連携に関してどうお感じになったか、今後についてどうかコメントをお願いいたします。

【高田】 今、研究機関ということでお題をいただきましたが、研究機関にも大小ありますし、私の所属している原子力機構でも、研究者もいれば、普段は管理の業務をやっている者もいます。それは大学などでも同じような状況かと思います。そういった中でアカデミアとの関係を考える中では、自分の組織の強み、それからアカデミアでなければできないこと、それぞれの特徴をよく知ることが大事かと思います。自組織を知るということも大事なのですが、特に、周りの連携をすべき相手にはどういう特徴があるかということをよく知りながら、共通的な課題を携えて、それぞれが手を差し伸べ合うと言いますか、双方向でのコミュニケーションというのが欠かせないと思います。お互い、相手が働き掛けてくれれば連携する、ではなくて、相手にどういうことをしてほしいか、自分たちはどういうものが差し出せるかといったような考え方を今後もしていくことが大事ではないかと思いました。以上です。

【座長(児玉)】 この後、高橋プログラムオフィサーからの総評、それから閉会の挨拶というのがあると思います。パネルディスカッションについてのまとめもそこで述べられると思いますので、パネルディスカッションはここまでとさせていただきます。ありがとうございました。

プログラムオフィサーによる総評

高橋 知之(京都大学)

本事業のプログラムオフィサーを仰せつかっております、京都大学の高橋と申します。

本日は第5回ネットワーク合同報告会に多くの方にお集まりいただき、ありがとうございました。本事業は平成29年度から始まりました。5年目の今年度が最終年度となり、本日が最後の報告会となります。5年前、この事業が始まったときのことを思い起こしてみますと、みんなが走りながら考えるといったような状況だったと記憶しております。そして、本日ご報告いただきました皆さまをはじめとして、多くの方のご尽力により、さまざまな活動がなされました。本日はそのような活動につきまして、アンブレラ活動報告Ⅰ～Ⅲで今年度および5年間のご報告があり、また、最後のパネルディスカッションにおきまして、今後のアカデミアの活動につきまじのディスカッションがありました。

アンブレラの活動といたしまして、放射線防護研究重点テーマの提案、人材育成活動、国際動向報告会、Webinarの開催、そして提言の取りまとめなど、この5年間の活動が極めて有意義だったということが、本日のご報告やパネルディスカッションを聞きまして、あらためて感じたところでございます。

一方、緊急時放射線防護ネットワーク、また、職業被ばく最適化推進ネットワーク、こちらにつきましては、この5年間の活動によって、課題が整理されたと感じます。この整理された課題の解決に向けまして、今後さらなる議論、そして実践が必要になろうかと思えます。

原子力規制委員会による放射線安全規制研究戦略的推進事業としての活動は、今年度で終了となります。しかしながら、本日の報告およびパネルディスカッションにありましたように、アカデミアの連携活動は今後も続きます。そして、このような連携活動は、わが国の放射線防護研究において、今後ますます重要になると考えられます。ネットワーク活動の今後のさらなる発展を期待いたします。

最後に、本日ご参加いただきました皆さまに、今後の学会連携活動へのご協力をお願いいたします。プログラムオフィサーによる総評は以上です。ありがとうございました。

閉会のあいさつ

神田 玲子(量子科学技術研究開発機構)

閉会のご挨拶に代えて、一言申し上げさせていただきます。

まず、この事業にご協力いただきまして、どうもありがとうございました。初年度、放射線安全規制研究の重点テーマに自分の領域の研究を採択してもらおうという熱い思いから、ネットワーク合同報告会にも 80 名の方が参加されたのですが、そのときに基礎研究の多くは対象外となってしまって、ちょっと期待外れだと思われた先生方も多くいらしたのではないかと思います。それでもここまで人材の枯渇ですとか、線量、事故、緊急時といった比較的共通性の高いテーマに関して、学会連携で検討ができて、本日も 80 名近い先生方にご参加いただき、本当にありがたいと思っております。

この5年間を通じて、異なる専門家の連携や合意形成については、多くの経験ができました。特にネットワークの活動では、異なる考えを持つ方が協調して議論するという点にも着手できたのですが、実際のところ放射線防護をしなくていいと考えている人というのはあまりいません。むしろ健康に影響があるかもしれないなら、しっかり防護をしようとはまず考える方が多いです。しかしながら、優先順位となると、意見が異なってきます。どこから着手をすべきかというところで、意見が割れるという事例が多いと思っています。医療現場の職業被ばくの一元化管理もしかりです。職業人なら被ばくしてもいいとは誰も思っていないのですが、医療現場に負荷をかけるようなことをして、患者さんの診療に影響が出たらどうしよう、そういったバランス感覚で判断が分かります。そして、ここが放射線防護の課題の本丸なのではないか、と思っています。

優先順位はリスクとか線量だけでは判断ができません。これはコロナの対応にも言えることだったと思います。この2年間、リスク管理については考えさせられることが多くありました。それから、緊急時対応も自然災害から学ぶべきことは多いと思ったことがたくさんありました。

先達たちが築いてきた放射線防護体系に関しては、化学物質利用の規制と比べても、精緻化が進んでいて、優れているところがたくさんあって、それが私たちにとっても誇りでもありますけれども、これからは他の分野の知識も人材も何とか引き入れて、複雑なリスク社会の中での学問として、放射線防護がより成熟していくのがいいだろう、そういう方向に進めていきたいと思っております。

本日はお忙しいところご参加いただきまして、どうもありがとうございました。

登壇者(登壇順、敬称略)



上段(左から): 岩岡和輝(量研)、三橋康之(原子力規制庁)、高田千恵(現諸力機構)、神田玲子(量研)、米原英典(原安協)、佐々木道也(電中研)、吉澤道夫(原子力機構)

中段(左から): 渡部浩司(東北大)、横山須美(藤田衛生大)、松田尚樹(長崎大)、小林純也(国際福祉医大)、富永隆子(量研)、百瀬琢磨(原子力機構)、櫻田尚樹(産業医大)

下段(左から): 佐々木康人(放影協)、児玉靖司(大阪府大)、飯本武志(東京大)、細井義夫(東北大)、酒井一夫(東京医療保健大)、甲斐倫明(日本文理大)、高橋知之(京都大)

放射線防護アンブレラ事業

放射線防護の喫緊の課題の解決のために

放射線防護アンブレラ事業は、放射線防護の喫緊の課題の解決に適したネットワークを形成する活動を行っています。



<https://www.nirs.qst.go.jp/usr/umbrella-rp/index.php>

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

原子力規制委員会委託事業「放射線安全規制研究戦略的推進事業費

(放射線防護研究分野における課題解決ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)」

第 17 回代表者会合 議事概要

1. 日 時 : 2021 年 6 月 15 日(月) 15:00~17:10

2. 場 所 : Web 会議

3. 出席者(敬称略)

・放射線防護アンブレラ参加団体代表

甲斐倫明(PLANET)、児玉靖司(JRRS)、小林純也(JRRS)、酒井一夫(PLANET)、佐々木道也(実効線量と実用量に関する WG)、中島覚(JRSM)、細井義夫(JARADM)、松田尚樹(JRSM)、横山須美(JHPS)

JRSM:放射線安全管理学会/JRRS:放射線影響学会/JARADM:放射線事故・災害医学会/JHPS:保健物理学
/PLANET:放射線リスク・防護研究基盤

・原子力規制庁

高橋知之(本事業 PO、京都大学)、
高山研・大町康・三浦弘靖・荻野晴之・角田潤一(放射線防護企画課)

・事業実施主体

神田玲子・岩岡和輝・山田裕・石黒千絵(QST)、高田千恵・百瀬琢磨・吉澤道夫(JAEA)、
杉浦紳之(NSRA)

4. 議題:

- | | |
|------|--|
| 議題 1 | 議長の選出 |
| 議題 2 | 前回議事概要案の承認 |
| 議題 3 | 今年度のネットワークの事業について(審議)
・今年度のスケジュール案について
・国内の放射線防護対策の推進に関する検討(=アカデミアの活動)
・実効線量と実用量に関する WG による提言のとりまとめについて
・国際動向報告会の計画について
・緊急時放射線防護 NW の活動と今年度のゴールについて
・職業被ばくの最適化推進 NW の活動と今年度のゴールについて |
| 議題 4 | 2021 年度国際的機関主催会合等への若手派遣者選考について(報告) |
| 議題 5 | 今後の予定について(審議) |
| 議題 6 | その他審議・報告事項等 |

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

5. 資料

- 資料 1 代表者会議の運営に関する内規 (ver 3)
- 資料 2 第 16 回代表者会議議事概要案
- 資料 3-1 令和 3 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)事業計画書
- 資料 3-2 令和 3 年度アンブレラ活動年間スケジュール(案)
- 資料 3-3-1 令和 3 年度放射線防護アカデミアの活動について
- 資料 3-3-2 低線量放射線リスクコンセンサスレポートに関するウェビナー企画
- 資料 3-3-3 2021 年度日本放射線影響学会の人材育成に係る取り組み
- 資料 3-3-4 令和 3 年度人材育成に関する取り組み(日本放射線安全管理学会)
- 資料 3-3-5 人材育成に関する企画及び予算の支援についての提案(日本保健物理学会)
- 資料 3-4 実効線量と実用量に関する WG 提出資料:骨子の骨子案
- 資料 3-5 令和 3 年度 放射線防護に関する「国際動向報告会」の計画
- 資料 3-6 原子力防災体制を支援する「緊急時放射線防護ネットワーク」今年度の活動とゴールについて
- 資料 3-7 職業被ばくの最適化推進ネットワークの活動計画とゴールについて
- 資料 4 事業終了後の学会連携について

- 参考 1 令和 3 年度具体的な活動案(第 15 回会合のまとめ)
- 参考 2 NEA 国際放射線防護スクール(IRPS)について
- 参考 3 リスク研究ネットワーク 規約
- 参考 4 労災疾病臨床研究事業費補助金研究 放射線防護分野研究班
合同連絡会議(2021 年 5 月 31 日)

6. 議事内容

議題 1: 議長の選出

事務局より、「議長の選出」について、資料 1 を用いて説明がされた。メンバーの互選により、児玉氏が議長として選出された。

議題 2: 前回議事概要案の承認

事務局より、前回の議事概要案(資料 2)を用いて前回の議事概要が説明された。事前にメールでも確認済みであることから、議事概要案は承認された。

議題 3: 今年度のネットワークの事業について(審議)

事務局より、「今年度のネットワークの事業について」について、資料 3-1、3-2 を用いて説明が

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

された。

事務局より、「アカデミアの活動」について、資料 3-3-1 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】 提言の部分は、事務局が作成するのか。

【事務局(神田)】 すでに各学会で提言がまとまってきている。それに基づいて、事務局で作文する。最終的に代表者会議でチェックしていただく予定である。

【甲斐】 ウェビナー企画のためのアンケートは、どのように行ったか。

【事務局(神田)】 前回のウェビナーの最後にアンケート(google form)の宣伝を行った。

【高橋 PO】 ウェビナーのアナウンスは、どのように行うのか。

【事務局(神田)】 色々な選択肢(事前登録の廃止など)を考えて調整しながら進める。ひとまず、ウェビナー第 1 回目は昨年度同様、学会を通じてアナウンスすることを考えている。2 回目、3 回目については、やり方(時間、質疑応答など)も含めて、企画側とともに検討したい。

小林氏より、「低線量放射線リスクコンセンサスレポートに関するウェビナー企画」(ウェビナー2回目、3回目)について、資料 3-3-2 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【事務局(神田)】 質疑応答をしなければ座長は不要と考える。当日の飛び入り参加が可能な場合、参加者は匿名となるので慎重な対応が必要かもしれない。

【甲斐】 福島関係が論争になる場合がある。演者側で準備が必要である。

【事務局(神田)】 折衷案として、基本、事前登録制とする。一方で報道機関や行政関係者についてはあらかじめ URL を伝えるのはいかがか。

【佐々木】 そのようなことで良いと考える。

【小林】 事務局(神田氏)の案で良いと考えているが、改めて検討する。

【事務局(神田)】 第 2 回目ウェビナーはオリパラの間に、第 3 回目ウェビナーはオリパラの後に行いたい。

【児玉議長】 学生はあまり放射線防護を理解していない。それもあり、第 4 回目のウェビナーとして「放射線防護のいろは」が提案された。

【甲斐】 海外の人が講演する場合、通訳はつけられるのか。また対象は誰か。

【事務局(神田)】 通訳をつけることは可能である。提案段階では、対象は若手やニューカマーということであった。

【児玉議長】 若手に対して放射線防護用語の入門的な話をしていただくのが良いと考える。日本語訳の ICRP 刊行物を読んでも理解が難しい。

【横山】各学会の若手が参加できるような会となると良い。適した演者を探す。

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

【事務局(神田)】保物(横山氏)と相談して進めたい。

【児玉議長】第5回目ウェビナーは「廃棄物」がテーマであるので、管理学会で検討していただくのはいかがか。

【中島】検討する。

【事務局(神田)】管理学会でウェビナーなどの企画がすでにあれば、それとコラボすることも可能である。

【松田】クリアランスの話まで含めると管理学会では難しいかもしれない。放射線管理学会的な観点で、テーマになりそうなものを検討する。

【事務局(神田)】第6回目ウェビナー(利用と防護)を実施するかどうかは、次回以降に議論したい。

事務局より、「影響学会と管理学会の人材育成の取り組み」について、資料 3-3-3、3-3-4 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【事務局(神田)】今のところ、量研は対面でのイベントに制限を設けている。

【松田】管理学会提案の「対面での座談会」は1月2月ぐらいを想定している。

【事務局(神田)】会場費はキャンセル料が発生する可能性があるので、大学などでの開催をお願いすることになるかもしれない。

横山氏より、「保物学会の人材育成の取り組み」について、資料 3-5 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【事務局(神田)】量研の会計上、広告費のための予算の支出は難しいと考える。動画コンテンツの作成費については支出可能と思う。成果物(動画コンテンツ)の公表については、規制庁の承諾が必要になるかもしれない。規制庁と検討させていただく。

【規制庁(荻野)】動画コンテンツ作成は、若手の意見を踏まえて提案されたものか。人材育成の観点では、若手が動画コンテンツを作成していくのが望ましい。

【横山】コンテンツの作成の企画は若手が考える。編集の部分を外部に発注する。

佐々木氏より、「線量 WG の骨子の骨子案」について、資料 3-4 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【高橋 PO】アンブレラ事業は今年度で終わる。その後、どのような形で提言が残るのか。

【事務局(神田)】報告書にまとめていただく予定である。アンブレラ HP 閉鎖後も量研の HP に報告書を掲載することは可能である。

杉浦氏より、「国際動向報告会の計画」について、資料 3-5 を用いて説明がされ、計画通りに承認された。主な議論は下記の通り。

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

【児玉議長】新しい論点はどんなものになりそうか。

【甲斐】例えば、「最新の科学的知見から、確定的影響、確率的影響というカテゴリーはまだ有効であるか」といった論点である。

高田氏より、「緊急時放射線防護ネットワークの今後の活動とゴール」について、資料 3-6 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】実施することがたくさんあるように感じる。

【高田】これまで実施してきたことのまとめであり、実施可能である。

【甲斐】保物の WEB シンポジウムや発表会などで成果発表を考えているのか。

【高田】成果の発表を検討したい。

吉澤氏より、「職業被ばくの最適化推進ネットワークの活動計画とゴール」について、資料 3-7 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【甲斐】制度の提案について、費用の負担はどうなるのか。

【吉澤】学術会議では国の負担を想定していたが、実現していない。今回は複数の制度案を検討しており、制度案に応じた費用負担の考え方を整理したい。

【細井】医療現場の管理を知っている者の意見も重要と考える。

【吉澤】医療分野から岡崎氏がメンバーに入っている。

【事務局(神田)】厚労省の研究班が実施した医療従事者の線量調査の結果について、参考 4 として本会資料に添付している。

議題 4: 2021 年度国際的機関主催会合等への若手派遣者選考について(報告)

事務局より、「国際的機関主催会合等への若手派遣者選考」について、今回応募者がいなかったことが説明された。

議題 5: 今後の予定について

事務局より、「事業終了後の連携」について、資料 4 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【事務局(神田)】任意団体を形成する場合、数年以内に成果が創出できる計画があると良い。このアンブレラ事業の中で、何を継続するのが良いか考えるのが良いと思う。

【児玉議長】次回以降に、色々と議論できれば良いと考える。

議題 6: その他審議・報告事項等

なし

以上

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

原子力規制委員会委託事業「放射線安全規制研究戦略的推進事業費

(放射線防護研究分野における課題解決ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)」

第 18 回代表者会合 議事概要

1. 日 時 : 2021 年 10 月 15 日(金) 15:30~18:30

2. 場 所 : Web 会議

3. 出席者(敬称略)

・放射線防護アンブレラ参加団体代表

甲斐倫明(PLANET)、児玉靖司(JRRS)、小林純也(JRRS)、酒井一夫(PLANET)、佐々木道也(実効線量と実用量に関する WG)、富永隆子(JARADM)、中島覚(JRSM)、細井義夫(JARADM)、松田尚樹(JRSM)、横山須美(JHPS)

JRSM:放射線安全管理学会/JRRS:放射線影響学会/JARADM:放射線事故・災害医学会/JHPS:保健物理学
/PLANET:放射線リスク・防護研究基盤

・原子力規制庁

高橋知之(本事業 PO、京都大学)、

三橋企画官・大町康・三浦弘靖・荻野晴之・野島久美恵(放射線防護企画課)

・事業実施主体

神田玲子・岩岡和輝・山田裕・石黒千絵(QST)、高田千恵・百瀬琢麿・吉澤道夫(JAEA)、
米原英典(NSRA)

4. 議題:

議題 1 前回議事概要案の承認

議題 2 今年度の放射線防護アカデミアの事業について

・今年度のスケジュール案について

・代表者会議が主催する活動について

・国際動向報告会について

・Webinar について

・学会主催の若手支援の活動と支援

・他の学会との連携(報告のみ)

・代表者会議が取りまとめる提言の取りまとめ状況について

・実効線量と実用量に関する WG による提言のとりまとめ

・学会の報告書からの抜粋

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

- 議題 3 事業終了後、継続すべき事業について
- 議題 4 今年度の NW の活動と今後の事業について
- ・職業被ばく NW の活動と今年度のゴール、その後の活動/主体について
 - ・緊急時 NW の活動と今年度のゴール、その後の活動/主体について
- 議題 5 その他審議・報告事項等

5. 資料

- 資料 1 第 17 回代表者会議議事概要案
- 資料 2-1-1 令和 3 年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの成) 事業計画書
- 資料 2-1-2 令和 3 年度アンブレラ活動年間スケジュール(案)
- 資料 2-2 令和 3 年度 放射線防護に関する「国際動向報告会」の計画案
- 資料 2-3-1 放射線防護を理解するための Webinar(第 1~3 回)の開催報告
- 資料 2-3-2 放射線防護を理解するための Webinar(第 4~5 回)の開催企画
- 資料 2-4 学会主催の若手支援の活動と支援(報告)
- 資料 2-5 放射線防護アカデミア外の学会との連携
- 資料 2-6 放射線に関わる量に対する正しい理解に向けたとりまとめと提言(案)
- 資料 2-7 提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(素案)
- 資料 3 学会連携の様々な取り組み
- 資料 4-1 原子力防災体制を支援する「緊急時放射線防護ネットワークの活動とゴールについて
- 資料 4-2 職業被ばくの最適化推進ネットワークの活動計画とゴールについて
- 参考 1 日本放射線安全管理学会 令和 2 年度報告書(HP 公表版)
- 参考 2 日本放射線影響学会 令和 2 年度報告書(HP 公表版)
- 参考 3 日本保健物理学会 緊急時モニタリングに関する検討
- 参考 4 日本保健物理学会 安全文化醸成のための提言素案

6. 議事内容

議題 1: 前回議事録案の承認

事務局より、前回の議事概要案(資料 1)を用いて前回の議事概要が説明された。事前にメールでも確認済みであり、本会議中に意見がなかったため承認することとなった。

議題 2: 今年度の放射線防護アカデミアの事業について

事務局より、「今年度の放射線防護アカデミアの事業」及び「今年度のスケジュール(案)」について資料 2-1-1、2-1-2 を用いて説明がされた。また、国際動向報告会を担当していた杉浦氏の後任として、米原氏が今後担当する旨の紹介があった。主な議論は下記の通り。

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

【児玉議長】今年度の国際動向報告会は12月23日か。

【米原】その日を予定している。

米原氏より、「国際動向報告会」の活動について資料2-2を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】提案されたプログラムをアンブレラとして承認する。

事務局より、「Webinar」について資料2-3-1、2-3-2を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】5回目の準備を引き続きお願いする。

事務局より、「学会主催の若手支援の活動と支援(報告)」について資料2-4を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】本件について、今後も支援いただけるのか。

【事務局(神田)】イベントについては、開催の1か月前にはご相談いただきたい。イベントを含めて何かあれば11月中にご相談いただきたい。

事務局より、「放射線防護アカデミア外の学会との連携」について資料2-5を用いて説明がされた。

佐々木氏より、「実効線量と実用量に関するWGによる提言のとりまとめ」について資料2-6を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】提言案の学会への報告や意見募集はどのように行うのか。

【事務局(神田)】各学会のHPを利用するつもりか。

【佐々木】アンブレラHPに提言案を掲載して、そのリンク先を各学会から会員用のメーリングリストを使って、1回情報を流していただきたい。

【高橋PO】次回の代表者会議(12月上旬)までに完成されたバージョンとなるのか。

【佐々木】今回の代表者会議の後に、各学会に見てもらい意見を反映する予定であり、次回の代表者会議までに完成版を作成したい。

【小林】文書内の内容を踏まえると、タイトルの提言という言葉に違和感がある。

【佐々木】タイトルを変更するなど修正したい。

【酒井】人以外の生物種の防護には線量率が用いられる。人以外の生物についての説明があると良いかもしれない。

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

【佐々木】検討したい。

【吉澤】課題②の提言先の研究開発とは具体的に何か。

【佐々木】校正・装置開発など研究開発を行っている組織・個人を提言先として想定している。

事務局より、「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(素案)」について資料 2-7 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】提言を学会連名とすることについて、各学会の連絡状況は如何。

【事務局(神田)】学会として合意を得る手続きについて伺ったが全部の学会からまだ連絡いただいていない。

【小林】影響学会は了承される見込みである。

【甲斐】災害時の自治体の生物線量評価について、高度被ばく医療支援センター等がどのような支援を行うのかまだ明確に決まっていないように思う。それに関連する提言をするのはいかがか。

【事務局(神田)】検討したい。

【小林】X線装置の云々の箇所で少し違和感がある。冒頭のX線装置の被ばくは「社員」ではなく外部の人だったように思う。外部の人が被ばくしないような情報の共有を提言すると良いように思う。

【事務局(神田)】検討したい。

【吉澤】密封線源の健全性の云々の箇所は、安全管理学会に確認いただくと良いかもしれない。

【高橋 PO】この後、代表者会議メンバーならびに学会の関係者が提言案を確認し、コメントを事務局に連絡する。次回の代表者会議までに完成バージョンが出来上がる。このようなスケジュールを想定しているか。

【事務局(神田)】その通りである。

【高橋 PO】中長期的提言の内容は、線量WGの提言書をまとめたものになるのか。

【事務局(神田)】線量WGの提言部分を中心にまとめた内容となる。

議題 3: 事業終了後、継続すべき事業について

事務局より、「学会連携の様々な取り組み」について、資料 3 を用いて説明がされた。主な議論

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

は下記の通り。

【児玉議長】 次回代表者会議でも議論する予定か。

【事務局(神田)】 第20回代表者会議までに、事業終了後も続けるものを具体的に決めて合意したい。

【酒井】 アンブレラ設立時の大きな目的は「学会間の交流」、「規制側との交流」であった。「規制側との交流」は何らかの形で残すと良い。ICRP2023のシンポジウムに向けて、「学会間の交流」として何らかの連携が取れると良い。

【事務局(神田)】 ICRP2023のシンポジウムに関しては、各学会にご協力をお願いする。

【児玉議長】 他に何かあれば、次回代表者会議までに事務局に連絡いただきたい。

議題4: 今年度のNWの活動と今後の事業について

吉澤氏より、「職業被ばくの最適化推進ネットワークの活動計画とゴール」について、資料4-2を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【酒井】 本事業のスコープに、健康影響の調査は含まれているのか。

【吉澤】 基本的に線量管理のみである。健康影響の調査は「3.登録制度の必要性」のところに含まれている。

【甲斐】 これに関連して、整形外科領域で労災として認められたケースがある。なんかか形で健康影響の調査も検討すると良い。

【甲斐】 JAEA、QSTを中心にネットワークを続けていける状況にあるのか。海外でのコストは如何か。

【吉澤】 どこが運営主体となるのか明確に定まっていない。海外のコストのデータは存じていない。

【甲斐】 ネットワークの構築について、何かあれば協力したい。

【児玉議長】 今後の方針はまだ決まっていないということか。

【吉澤】 12月のグループ会合までにはある程度見えてくる。

高田氏より、「原子力防災体制を支援する「緊急時放射線防護ネットワークの活動とゴール」について、資料4-1を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【甲斐】 感想として、日本の緊急時への対応に不安を感じている。人材をデータベース化して、緊急時には派遣できるような仕組みが理想的であると個人的に思っている。

【規制庁(大町)】 福島原発事故のときは放出後に避難したため膨大な住民に対する汚染検査が必要であった。事故の教訓を踏まえた現在の指針では放出前にPAZの住民が避難を開始するなど防護措置のタイミングに改良が図られている。自治体の要

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

請に基づき QST、JAEA などが避難退域時検査などに参画するが、必要に応じて大学の専門家への協力要請も有り得る。避難退域時検査などに必要な知識や技能が緊急時緊急時放射線防護ネットワークでまとめられるので、それは大学の専門家も活用できると思う。

【松田】人材を育成するような仕組みを維持するようがあると良いと思う。

【規制庁(野島)】専門家の窓口的なところ(何かあったときに相談できるところ)があると有難い。

【事務局(神田)】次回の代表者会議の際に、万が一事故があった際の学会の対応を教えてほしい。

【児玉議長】次回以降、各学会での緊急時の対応について情報を頂きたい。

議題 5: その他審議・報告事項等

なし

以上

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

原子力規制委員会委託事業「放射線安全規制研究戦略的推進事業費

(放射線防護研究分野における課題解決ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)」

第 19 回代表者会合 議事概要

1. 日 時 : 2021 年 12 月 10 日(金) 15:30~18:10

2. 場 所 : Web 会議

3. 出席者(敬称略)

・放射線防護アンブレラ参加団体代表

飯本武志(JHPS)、甲斐倫明(PLANET)、児玉靖司(JRRS)、小林純也(JRRS)、酒井一夫(PLANET)、佐々木道也(実効線量と実用量に関する WG)、中島覚(JRSM)、細井義夫(JARADM)、松田尚樹(JRSM)、横山須美(JHPS)

JRSM:放射線安全管理学会/JRRS:放射線影響学会/JHPS:保健物理学/PLANET:放射線リスク・防護研究基盤

・原子力規制庁

高橋知之(本事業 PO、京都大学)、
三橋企画官・大町康・荻野晴之(放射線防護企画課)

・事業実施主体

神田玲子・岩岡和輝・山田裕・石黒千絵(QST)、高田千恵・百瀬琢麿・吉澤道夫(JAEA)、
米原英典(NSRA)

4. 議題:

議題 1 前回議事概要案の承認

議題 2 今年度の放射線防護アカデミアの事業について

- ・今年度のスケジュール案について
- ・代表者会議が主催する活動について
 - ・Webinar について
 - ・他の学会との連携(報告のみ)
- ・代表者会議が取りまとめる提言について
 - ・実効線量と実用量に関する WG による提言のとりまとめ(報告)
 - ・「提言我が国の放射線防護方策の改善に向けて(案)」

議題 3 今年度の NW の活動と今後の事業について

- ・緊急時 NW の活動と今年度のゴール、その後の活動/主体について
- ・職業被ばく NW の活動と今年度のゴール、その後の活動/主体について

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

- 議題 4 NW 合同報告会について
- 議題 5 事業終了後、継続すべき事業について
- 議題 6 その他審議・報告事項等

5. 資料

- 資料 1 第 18 回代表者会議議事概要案
- 資料 2-1 令和 3 年度アンブレラ活動年間スケジュール(案)
- 資料 2-2 放射線防護を理解するための Webinar(第 1~5 回)の開催報告
- 資料 2-3 放射線防護アカデミア外の学会との連携(リスク学会の TG による
原子力災害の防護方策の意思決定に関する議論)
- 資料 2-4-1 放射線に関する線量の現状と課題-課題解決に向けた提言-(案)
- 資料 2-4-2 線量 WG 提言コメントと対応案
- 資料 2-5 提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(案)
- 資料 3-1 原子力防災体制を支援する「緊急時放射線防護ネットワークの活動と
ゴールについて
- 資料 3-2 職業被ばくの最適化推進ネットワークの活動計画とゴールについて
- 資料 4 第 5 回 NW 合同報告会 プログラム案
- 資料 5-1 学会連携の在り方(これまでの議論の整理と提案)
- 資料 5-2 放射線防護アカデミア会則案および覚書案

6. 議事内容

議題 1: 前回議事録案の承認

事務局より、前回の議事概要案(資料 1)を用いて前回の議事概要が説明された。事前にメールでも確認済みであり、本会議中に意見がなかったため承認することとなった。

議題 2: 今年度の放射線防護アカデミアの事業について

事務局より、「今年度のスケジュール案」、「Webinar」、「他の学会との連携」について資料 2-4-1、2-4-2 を用いて説明がされた。

佐々木氏より、「実効線量と実用量に関する WG による提言のとりまとめ」について資料 2-2 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】 本日の会議で承認することになるのか。

【事務局(神田)】 本日は提言内容について議論をいただきたい。ご異議がなければ、文言等の詳細についてはメールでご意見を頂きたいと思っている。

【児玉議長】 課題①の提言 1 について、「構造的に整理」とはどういうことか。

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

【佐々木】医療や放射線管理など、それぞれの現場での使われ方を横並びで整理するという意味である。

【甲斐】提言ごとに重みが異なるので、表を用いて個別に具体的に示すことに違和感がある。

【佐々木】セクション分けの文章にするなど修正を検討したい。

【児玉議長】その場合、各提言の提言先を明記しないことになるか。

【佐々木】文章の中に組み込みむなど修正を検討したい。

【規制庁(大町)】提言先の「国」という表現よりは、具体的に省庁を示した方が提言先の対象を明らかにできると思う。

【甲斐】具体的な省庁名まではいらぬのではないか。

【佐々木】具体的に示すのかぼやかした表現にするのか難しいところであるが、規制関連省庁といった表現にするなど検討したい。

【児玉議長】課題②の提言 2 について、「生物学的効果比(RBE)の情報を整理」とあるが、これは治療における情報も含めるのか。

【佐々木】特段、限定していないが、幅広い情報の整理を想定している。

【甲斐】RBE の情報を収集・整理するのか。

【佐々木】それに加え、現場に与える影響についての情報も想定している。

【高橋 PO】提言 3 の提言先が「研究開発」となっている。もう少し具体的に示せるか。

【佐々木】修正したい。

【児玉議長】内容について意義はない。他にコメントあれば今月 20 日までにはいただきたい。それらのコメントを反映して、WG 主査、議長、事務局で承認するか判断したい。

事務局より、「提言我が国の放射線防護方策の改善に向けて(案)」について、資料 2-5 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】p12 に、「国としてのネットワークや会議体は存在していない。」とあるが、生物学的線量評価分科会が立ち上がれば、それが国としてのネットワークになるのではないか。

【事務局(神田)】支援センターの連携会議の位置づけが微妙であり、「国としてのネットワーク」と言えるか微妙なところである。

【児玉議長】例えば、血液の採取方法など、マニュアルを統一して、同じ規格でやる必要がある。規格や情報が共有されるようなネットワークになっているのか。

【事務局(神田)】支援センター5 機関で共有検量線の作成が進められている。生物学的線量評価分科会が立ち上がり、議論が進めば、様々な問題が解決されると思う。

- 【甲斐】緊急時に各研究者が協力できる体制を構築することが重要であり、その辺りを提言すると良いように思う。
- 【酒井】旧放医研に染色体ネットワークがあった。その活動での問題点が、国としてのネットワークの構築にどのように活かせるのか分析が必要である。
- 【児玉議長】支援センター間で連携がなされているが、生物学的線量評価分科会がまだ構築されていないのが問題である。
- 【松田】生物学的線量評価に携わる人材が少ない。人材を育成することが重要である。平時については、訓練を通じてネットワークが構築されてきているが、人も予算も限られている。
- 【酒井】「旧放医研に染色体ネットワークがあった。それには不足している部分があった。だからそこを改善する。」という文章の構成にすると良いかもしれない。
- 【松田】現在の支援センター連携では、平時の研修については、ネットワークが構築されてきている。緊急時にどのように活動するのかというネットワーク(緊急時に対応できる体制)はまだ構築されていない。
- 【細井】しっかりした形でのネットワークが形成されるのが好ましい。
- 【事務局(神田)】いただいた意見を踏まえ、「国としてのネットワークや会議体は存在していない。」「染色体分析の専門家によるネットワークを再構築する。」の個所について、それぞれ修正を検討したい。
- 【児玉議長】次のステップは、各学会での承認か。
- 【事務局(神田)】修正したバージョンを先生方に送る。2月中旬までに各学会で承認していただきたい。
- 【児玉議長】2月中旬までに承認をお願いしたい。

議題 3: 今年度の NW の活動と今後の事業について

高田氏より、「緊急時 NW の活動と今年度のゴール、その後の活動/主体」について、資料 3-1 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

- 【児玉議長】今後、万が一事故が起こったら、学会として、学会に所属する個人としてどのような対応をするのか教えてほしい。また連携・協力が可能か教えてほしい。
- 【中島】管理学会について。福島原発事故の時、食品班などを編成し対応した。Q&A を作成し一般向けに発信した。今後、事故が起これば同様の対応や連携を行うと思う。
- 【小林】影響学会について。過去の放射線事故を踏まえた提言書を作成した。その提言を踏まえて、緊急時に必要なことを整理する。また、必要に応じて、住民の不安を解消するような活動を行うと思う。現在、福島で活動しているようなメンバーが中心になると思う。

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

【細井】事故災害学会について。原子力災害時に関連した国の委員会等に関与している会員が多い。そのような関与により、原子力災害時に貢献すると思う。平時の活動について、要請があれば参加する会員はいると思う。

【横山】保健物理学会について。平時には、緊急時のための委員会は組織されていない。一般向けの Q&A の支援や情報発信に貢献できると思う。

【高田】「緊急時の際は、学会独自というよりは、所属元の立場で対応することになる。」ことを理解した。

吉澤氏より、「職業被ばく NW の活動と今年度のゴール、その後の活動/主体」について、資料 3-2 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】医療の現場では、放射線被ばく管理組織の体制がないとのことであるが、被ばく管理の責任者はいないということか。

【吉澤】統一的に被ばく管理する体制になっていない。

【細井】体制を改革するには、医師に重要性を認識してもらう必要がある。

【酒井】医療現場でどのような人を管理の対象とするのか。

【吉澤】議論が必要な部分である。

【事務局(神田)】医療現場での被ばくをどのように管理するかについては、保健物理学会報告書「放射線安全文化の醸成に関する専門研究会」活動報告書が参考になるかもしれない。

議題 4: NW 合同報告会について

事務局より、「NW 合同報告会」について、資料 4 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】指定発言者は決まっているのか。

【事務局(神田)】未定である。アカデミア内に適任者がいればご推薦をお願いする。

議題 5: 事業終了後、継続すべき事業について

事務局より、「事業終了後、継続すべき事業」について、資料 5-1、5-2 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【細井】資料 5-2 について。「放射線防護アカデミア」という文言に違和感がある。

【小林】すべての参加団体が代表者会議のメンバーになれるようであるが、それは基準が緩いように思った。また、Webinar を行いやすくするのはいかがか。

【松田】代表者会議メンバーはきちんとした団体が構成した方が良い。

【事務局(神田)】まだ作成中のものである。文言はいかようにも変えられえ。引き続きコメントいただきたい。

【児玉議長】各自、一度持ち帰って検討していただき、次回議論したい。

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

議題 6: その他審議・報告事項等

米原氏より、「放射線防護に関する国際動向報告会」が 12 月 23 日に開催されることが説明された。また、その開催報告を学会誌のニューズレター等で掲載したいため各学会と今度相談したい、との説明がされた。

以上

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

原子力規制委員会委託事業「放射線安全規制研究戦略的推進事業費

(放射線防護研究分野における課題解決ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)」

第 20 回代表者会合 議事概要

1. 日 時 : 2022 年 1 月 18 日(火) 15:30~17:30

2. 場 所 : Web 会議

3. 出席者(敬称略)

・放射線防護アンブレラ参加団体代表

飯本武志(JHPS)、甲斐倫明(PLANET)、児玉靖司(JRRS)、小林純也(JRRS)、酒井一夫(PLANET)、佐々木道也(実効線量と実用量に関する WG)、富永隆子(JARADM)、中島覚(JRSM)、松田尚樹(JRSM)、横山須美(JHPS)

JRSM:放射線安全管理学会/JRRS:放射線影響学会/JARADM:放射線事故・災害医学会/JHPS:保健物理学
/PLANET:放射線リスク・防護研究基盤

・原子力規制庁

高橋知之(本事業 PO、京都大学)、

三橋企画官・大町康・荻野晴之・三浦広靖(放射線防護企画課)

・事業実施主体

神田玲子・岩岡和輝・山田裕・石黒千絵(QST)、高田千恵・百瀬琢麿・吉澤道夫(JAEA)、
米原英典(NSRA)

4. 議題:

議題 1 前回議事概要案の承認

議題 2 今年度の放射線防護アカデミアの事業について

・今年度のスケジュール案について

・国際動向報告会開催の報告

・代表者会議が取りまとめる提言について

・実効線量と実用量に関する WG のとりまとめと提言について

・「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(案)」について

議題 3 NW 合同報告会について

議題 4 事業終了後、継続すべき事業について

議題 5 その他審議・報告事項等

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

5. 資料

資料 1	第 19 回代表者会議議事概要案
資料 2-1	令和 3 年度アンブレラ活動年間スケジュール(案)
資料 2-2	国際動向報告会開催報告
資料 2-3	放射線に関わる量に対する正しい理解に向けたとりまとめと提言(案)
資料 2-4	提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(案)
資料 3-1	第 5 回 NW 合同報告会 プログラム案
資料 3-2	今後の緊急時 NW の在り方: ディスカッション(30 分)のシナリオ案
資料 3-3	今後の職業被ばく NW の在り方: ディスカッション(30 分)のシナリオ案
資料 3-4	パネルディスカッション: アカデミアの今後(30 分)のシナリオ案
資料 4-1	放射線防護・健康科学アカデミア会則(案)
資料 4-2	放射線影響機関協議会と医療被ばく研究情報ネットワークの歩み～放射線防護・健康科学アカデミアの成立するための条件を考える～

6. 議事内容

議題 1: 前回議事録案の承認

前回の議事概要案(資料 1)は、事前にメールで確認済みであり、本会議中に意見がなかったため承認することとなった。

議題 2: 今年度の放射線防護アカデミアの事業について

事務局より、「今年度のスケジュール案」について資料 2-1 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】次回 3 月 4 日の会議は対面での開催が予定されているが WEB での開催になる可能性はあるか。

【事務局(神田)】その可能性は高い。

【児玉議長】対面か WEB どちらにするのかいつごろ決めるのか。

【事務局(神田)】2 月中旬までに決める。

【高橋 PO】対面と WEB どちらでも参加できるようにする予定はあるか。

【事務局(神田)】機器操作等が複雑になるので、どちらか一方にする。

米原氏より、「国際動向報告会開催報告」について資料 2-2 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【事務局(神田)】一般参加者の質問はどのような内容で、どのように回答する予定であるか。

【米原】WEB 会議システムに不備があったため、一般参加者の質問をメールで受け付

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

けた。その結果、1 件のメール(質問 2 件)があり、質問の一つが「線量限度がすべての被ばく状況下でも適用される防護体系が ICRP で検討されている。これについての背景と問題点に関するもの」であり、もう一つが「NCRP と ICRP の基準が違う理由」である。これらの質問の回答を演者に依頼しており、最終的にアンブレラ HP に掲載したい。

【事務局(神田)】承知した。

佐々木氏より、「実効線量と実用量に関する WG のとりまとめと提言」について資料 2-3 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【佐々木】てにをはの部分や表のデザインを修正する予定。

【児玉議長】修正後の提言を承認する。

【事務局(神田)】アンブレラ HP で掲載するので、修正後に事務局にお送りいただきたい。

【佐々木】承知した。

事務局より、「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(案)」について資料 2-4 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】この提言案について、各学会の承認状況は如何か。

【中島】管理学会について。理事会に諮っているところである。2 月中旬までお待ちいただきたい。

【小林】影響学会について。次回の理事会で審議され承認される予定である。2 月中旬までに間に合うと思う。

【富永】事故災害医学会について。理事会で確認し、この案で承認済みである。

【横山】保物学会について。メールで審議し、いくつかコメントがあったが承認済である。

【高橋 PO】保物学会でのそれらのコメントは軽微なものか(再確認は不要なものか)。

【横山】その通りである。

【児玉議長】それぞれの学会で承認後に公表する。この提言案の実現に向けて、事務局から何かコメントはあるか。

【事務局(神田)】この提言案は研究者や国際機関などとの意見交換に役立てたい。生物学的線量評価については具体的な提言がされている。1 月 11 日に開催された支援センターの連携会議の線量評価部会において、その提言内容がすでに検討されている。

【児玉議長】線量評価部会はこの提言案をすでに意識していたのか。

【事務局(神田)】多少は影響したと思う。

議題 3: NW 合同報告会について

事務局より、「第 5 回 NW 合同報告会 プログラム案」について資料 3-1 を用いて説明がされた。

高田氏より、「今後の緊急時 NW の在り方: ディスカッション(30 分)のシナリオ案」について資料 3-2 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】 指定発言者の横山先生、松田先生は何かコメントあるか。

【横山】 保物の緊急時の対応に関する発言を検討したい。

【松田】 管理学会としてどのようなことが言えるのか発言を検討したい。

【小林】 緊急時 NW に影響学会も関与すればよかったと思っている。

【高田】 当方も気にしていた部分であった。今回、指定発言でご意見いただき今後に繋がられればと思っている。指定発言を検討いただけないか。

【小林】 発言する方向で検討したい。

【高田】 各学会からコメントいただくのも良いように思う。事故災害医学会についても指定発言を検討いただけないか。

【富永】 代表理事に相談させていただきたい。

事務局より、「パネルディスカッション: アカデミアの今後(30 分)のシナリオ案」について資料 3-4 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【富永】 指定発言するにあたって、資料は不要か。

【事務局(神田)】 発言だけで、資料は不要である。

【吉澤】 自身の発言部分は、自分が話したいことを児玉先生にあらかじめ連絡する。

【児玉議長】 他の方も何かあれば、私と事務局に連絡いただきたい。

吉澤氏より、「今後の職業被ばく NW の在り方: ディスカッション(30 分)のシナリオ案」について資料 3-4 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【児玉議長】 指定発言者の承諾は得られているか。

【吉澤】 承諾は得られている。

【百瀬】 来年度以降のことも提示できればと良いと思っている。

【吉澤】 最初の 5 分のところで、医療放射線防護連絡協議会などにアプローチして様々な進んでいくことを説明する予定である。

【事務局(神田)】 学術会議の WG でも職業被ばく NW の検討結果を報告している。現在、学術会議においても医療従事者の被ばくに関する提言がまとめられているところである。医療従事者の被ばく防護について、医療関係者も前向きに考えている。

【児玉議長】 今回の議論等で修正されたシナリオは共有されるのか。

【事務局(神田)】 NW 合同報告会開催日前日までに共有する。

議題 4: 事業終了後、継続すべき事業について

事務局より、「放射線防護・健康科学アカデミア会則(案)」について資料 4-1 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【小林】 影響学会について。現理事会メンバーから賛成頂いている。次期の理事会メンバーがこの連携に実際に加わるか決めることになる。

【横山】 保物について。この案について、理事会で確認いただき、承認されている。

【中島】 管理学会について。まだ理事会に諮っていない。内容を検討したい。

【富永】 事故災害医学会について。まだ理事会に諮っていない。内容を検討したい。

【山田】 PLANET について。メンバーに確認いただき、「学協会の定義」や「代用者会議の名称」についてコメントがあった。

【甲斐】 「代表者会議」より「連絡者会議」の方が良いように思う。また、「学協会」という定義では、法人格を持たない様々な組織が連絡者会議のメンバーになれてしまうので、場合によっては悪用される可能性があり心配である。

【事務局(神田)】 事故災害医学会は法人格を持っていないので、「学術団体」にするのも良いかもしれない。

【松田】 どこまで連携を広げるかは、ひとまず始めてからで良いよう思う。

【高橋 PO】 原子力学会の場合は 4 つの部会がアンブレラ事業に関与している。これらの部会がそれぞれ連絡者会議のメンバーになれば、それだけで大きなボリュームになると思う。

【事務局(神田)】 まずは、みんなで同じ方向を向けるようなネットワークになれば良いと思う。

事務局より、「放射線影響機関協議会と医療被ばく研究情報ネットワークの歩み～放射線防護・健康科学アカデミアの成立するための条件を考える～」について資料 4-2 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【甲斐】 連携して取り組む課題を設定するのは難しいと感じる。個人的には、緊急時の人材育成や職業被ばくの一元化が安定したテーマだと思う。

【酒井】 規制庁の意向を伝える場の一つとしてアンブレラが作られたと思う。

【規制庁(大町)】 平成 28 年の IRRS において、「国内研究機関の連携が必要である」という評価がなされたのがアンブレラ事業の出発点である。このアンブレラ事業で、放医研や学会などに活力を与えることで防護に関する活動が盛んになり、20 年後に専門家として活躍できるような若手が育てば良いと思っている。そうなることで、規制行

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

政の諸問題の解決にも繋がっていくと思っている。

【酒井】アカデミアも規制行政も向かっている方向は同じだと感じた。今後も応援いただきたい。

【規制庁(大町)】応援する。来年度に規制庁に研究部門が立ち上がり、また JAEA や QST の次期中期計画も来年度や再来年度に始まり、いろんなことが新しくなる。これらを追い風にして国内の防護関連の活動の活性化に繋がればと思う。

【兎玉議長】今回の議論を踏まえて、次回の代表者会議でも引き続き議論する。

議題 5: その他審議・報告事項等

【事務局(神田)】本事業についての学会発表や誌上発表があれば事務局にご連絡いただきたい。

以上

原子力規制委員会委託事業「放射線安全規制研究戦略的推進事業費

(放射線防護研究分野における課題解決ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)」

第 21 回代表者会合 議事概要(案)

1. 日 時 :2022 年 3 月 4 日(金) 15:00~16:55

2. 場 所 :Web 会議

3. 出席者(敬称略)

・放射線防護アンブレラ参加団体代表

飯本武志(JHPS)、甲斐倫明(PLANET)、児玉靖司(JRRS)、小林純也(JRRS)、酒井一夫(PLANET)、佐々木道也(実効線量と実用量に関する WG)、富永隆子(JARADM)、中島覚(JRSM)、細井義夫(JARADM)、松田尚樹(JRSM)、横山須美(JHPS)

JRSM: 日本放射線安全管理学会/JRRS: 日本放射線影響学会/JARADM: 日本放射線事故・災害医学会/JHPS: 日本保健物理学会/PLANET: 放射線リスク・防護研究基盤

JRSM:放射線安全管理学会/JRRS:放射線影響学会/JARADM:放射線事故・災害医学会/JHPS:保健物理学/PLANET:放射線リスク・防護研究基盤

・原子力規制庁

高橋知之(本事業 PO、京都大学)、

三橋企画官・大町康・荻野晴之(放射線防護企画課)

・事業実施主体

神田玲子・岩岡和輝・石黒千絵(QST)、高田千恵・百瀬琢磨・吉澤道夫(JAEA)、米原英典(NSRA)

4. 議題:

議題 1 前回議事概要案の承認

議題 2 今年度の放射線防護アカデミアの事業について

・今年度のスケジュール案について

・今年度の評価結果について

・「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(案)」について

議題 3 事業終了後、継続すべき事業について

議題 4 その他審議・報告事項等

5. 資料

資料 1 第 20 回代表者会議議事概要案

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

資料 2-1	令和 3 年度アンブレラ活動年間スケジュール
資料 2-2	次評価結果
資料 2-3-1	提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(案)
資料 2-3-2	「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(案)」に対する学会 の承認と修正対応
資料 2-4	放射線防護に関する国際動向報告会報告書
資料 2-5	放射線に関わる量に対する正しい理解に向けたとりまとめと提言
資料 2-6	第 5 回 NW 合同報告会 報告書
資料 3-1	放射線防護・健康科学アカデミア会則(案)
資料 3-2	放射線防護・健康科学アカデミアの活動 具体例
参考資料	Advisory Opinions for Improving Radiation Protection Measures in Japan

6. 議事内容

議題 1: 前回議事録案の承認

前回の議事概要案(資料 1)は、事前にメールで確認済みであり、本会議中に意見がなかったため承認することとなった。

議題 2: 今年度の放射線防護アカデミアの事業について

事務局より、「今年度のスケジュール案」、「今年度の評価結果」について、資料 2-1、2-2 を用いて説明がされた。

主な議論は下記の通り。

【児玉議長】本事業の評価委員は、事業終了後の継続について不安を感じているのか。

【事務局(神田)】その通り。この後の議題で議論できればと思う。

事務局より、「提言 我が国の放射線防護方策の改善に向けて(案)」について資料 2-3-1、2-3-2 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【小林】影響学会のコメントの反映については、この提言内容で問題ない。

【中島】管理学会のコメントの反映については、この提言内容で問題ない。

【児玉議長】他の学会からはすでに承認いただいている。したがって、アンブレラ代表者会議として承認する。この提言の公開はいつか。

【神田(事務局)】月曜日(3月7日)以降に HP で公開したい。

議題 3: 事業終了後、継続すべき事業について

事務局より、「事業終了後、継続すべき事業」について資料 3-1、3-2 を用いて説明がされた。主な議論は下記の通り。

【小林】影響学会ではこの後役員交代もある。新しいアカデミア組織はいつ発足する

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

のか。また、資料 3-1 に誤り(代表者会議総会決定と書かれている)がある。

【事務局(神田)】 誤りについて修正する。影響学会の新理事が決定した後、すなわち 6 月～7 月以降を考えている。他の学会で役員の改選などあるか(6～7 月以降で良いか)。

【中島】 管理学会の新理事は 6 月に決まるので問題ない。

【横山】 保物学会の役員はしばらく変わらないので問題ない。

【富永】 災害医学会では 9 月に役員の選挙がある。6 月であれば、メール審議等で対応可能である。

【事務局(神田)】 新しいアカデミア組織が何を行うのか決めておいた方が、学術団体等が参加を検討しやすいと思う。ちなみに J-RIME は、発足後 3 年間は情報共有がメインで、その後に実際の活動が始まった。

【酒井】 資料 3-2 活動の具体例の「関連知識の体系化」に関連するものとして、放射線影響・放射線防護のナレッジベース(QST 運営)がある。このナレッジベース構築の活動を新しいアカデミア組織に組み込むと良いように思う。

【事務局(神田)】 このナレッジベースは WEB で公開されている。規制庁の委託事業として 5 年間かけて構築してきたあと、量研が自主事業として運営とコンテンツの追加を行っている。コンテンツの執筆を新しいアカデミア組織にお願いできると良いかもしれない。現状、情報セキュリティ上の問題から新しいコンテンツが公開できずにいる。

【規制庁(荻野)】 [チャットによる発言] 最終更新日はいつか。

【事務局(神田)】 情報セキュリティ上のトラブルが発生しており、最後の更新は 1 年半前である。この 1 年半分の活動を今年度中にアップする予定である。

【児玉議長】 ナレッジベースも新しいアカデミア組織の活動の一つとしても良いかもしれない。

【酒井】 ナレッジベースは認知度があまり高くない。ナレッジベースの認知度を向上させることも大切である。

【児玉議長】 新しいアカデミア組織の活動について、他のメンバーからもご意見いただきたい。

【吉澤】 すぐに活動のテーマを決めるのは難しいと思う。放射線防護と言っても職種(医療系、理工系など)で感覚が違う。様々な活動が相互で作用するためにも Webinar は良い取り組みになると思う。

【高田】 緊急時の専門家の確保のためにも、認定制度が必要である。認定制度の設定に、新しいアカデミア組織を活用できるかもしれない。作業が発生することを新しいアカデミア組織で行うのは難しいと感じる。

【米原】 新しいアカデミア組織が、国際的な動き(例えば、ICRP 次期主勧告)に一体とな

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform
in the field of radiation protection research

って対応していけるようなものになると良い。

【中島】学生が必ずしも放射線防護の人材になってくれるわけではない。新しいアカデミア組織で放射線防護の人材を育成していけると良い。

【小林】人材育成に新しいアカデミア組織を活用していければと思う。Webinar で、幅広い知識を持つ若手を育成できるかもしれない。持ち回りでできることを提案しあうのも良いと思う。

【横山】人材育成や ICRP 次期主勧告は重要と思う。これらに関連した活動に、Webinar などが活用できると思う。

【飯本】保物の若手研究会が様々な学会と一緒に勉強会を行っている。若手の得意なテーマを扱いながら学会誌などで公表していくと活動がさらに広がると思う。

【富永】資料 3-2 の具体例に「消防、警察組織等への放射線防護教育支援」と書いているが、このような初動対応者も関連させていくと良いと思う。

【細井】様々な学会と合同シンポジウムなどを開催していくと良いと思う。

【甲斐】ある 1 つのテーマを立ち上げるよりは、情報共有するだけでも良いと思う。新しいアカデミア組織が規制当局のパイプ役(アカデミア側の窓口)となると良いと思う。様々なことに若い人を混ぜて検討していけば、人材育成にもつながると思う。

【佐々木】線量 WG の岩井先生の Webinar に関係するが、線量の歴史についての情報共有が重要である。資料 3-2 の具体例の「ICRP 次期主勧告」や「福島第一原発事故」も重要な課題と思う。若手以外の人でも学び直すことも重要と思う。Webinar に加えて直接交流するようなイベントもあると良いと思う。

【規制庁(荻野)】2023 年の ICRP シンポジウムについて、新しいアカデミア組織の中で議論されると良いと思う。また、ICRP 次期主勧告に向けて取り組む課題について、各学会で重複しないように新しいアカデミア組織の中で情報を共有すると良い。

【事務局(神田)】今回議論いただいた内容を新しいアカデミア組織のキックオフのときに議論していただくことになる。

【事務局(神田)】これらのテーマに関連した趣旨書を 6 から 7 月ぐらいに各学会等へ送り、参加の意向を伺う。参加の意向が 3 学会ぐらいからあれば新しいアカデミア組織を設置できると思う。

【児玉】3 学会は最低でも必要と思う。PLANET は新しいアカデミア組織に参加することを予定しているか。

【甲斐】PLANET は ICRP 次期主勧告を意識して活動している。新しいアカデミア組織に参加する予定である。

【小林】放射線技師会では生殖腺の防護が話題になっている。放射線技師会にも声をかけると良いと思う。

【事務局(神田)】会則では、放射線技師会も参加可能である。

Formation of problem-solving network and umbrella-type integrated platform in the field of radiation protection research

【高橋 PO】3 学会から参加の意向があれば新しいアカデミア組織を設置するのか。その後、他の学術団体等に声をかけるのか。

【事務局(神田)】放射線技師会は趣旨書を見てすぐに参加を検討してくれるだろうか。

【小林】高橋 PO を言われているように、まずは身近な団体だけで発足すると良い。

【事務局(神田)】ICRP2023 のサテライトイベントに関しては、28 団体に声をかけた。

【細井】放射線に関連するものとして、医学放射線学会、IVR 学会がある。どこまで声をかけるか検討が必要と思う。

【事務局(神田)】何をやるのかで声をかける団体先が決まると思う。今日の議論ではいろいろと案が出たが優先順位はないようなので、リスト化して本事業の報告書にも記載し、事業終了後の活動に引き継ぐこととする。

議題 4: その他審議・報告事項等

事務局より、報告書用の会議画面の撮影が行われた。その他の報告事項等については下記の通り。

【事務局(神田)】情報提供として、NEA の防護スクールが 8 月に開催される。

【高橋 PO】5 年間の活動に感謝する。今後も新しいアカデミア組織が幅広い活動を行っていくことを期待する。

以上

放射線防護・健康科学アカデミア会則(案)

第1章 総則

(名称)

第1条 本組織は、放射線防護・健康科学アカデミア(以下、「アカデミア」と言う。)と称する。その英文名は、Japan Science Academy on Radiation Protection and Health Effects とする。

第2章 目的及び事業

(目的)

第2条 人間や環境の放射線被ばくに関連ある研究情報の収集及び共有化をはかり、国内外の放射線防護の研究の発展に学際的に寄与するために、(i) 低線量被ばく(公衆、職業被ばく)ならびに緊急時被ばくの科学的知見の創出と収集、(ii) 防護体系・安全基準の策定の提言、(iii)放射線防護の人材育成を行う。

(事業)

第3条 前条の目的を達成するため、次の事業を行う

- (1) 人間や環境の放射線被ばくに関わる科学的研究並びに放射線防護に関わる社会活動を促進するための行事
- (2) 人間や環境の放射線被ばくに関わる科学的研究並びに放射線防護に関わる社会活動を促進するためのプロジェクト協力事業
- (3) 人間や環境の放射線被ばくに関わる科学的研究並びに放射線防護に関わる社会活動を促進するための広報活動
- (4) その他、人間や環境の放射線被ばくに関わる研究並びに放射線防護に関わる社会活動にとって有用な事

第3章 会員

(会員資格)

第4条 アカデミアを構成する会員は、第2条の目的を共有し科学的研究を行う以下の組織とする。

- (1) 国内の学術団体、またはその下部組織
- (2) 国内外の研究・教育機関、またはその下部組織
- (3) 国内外の行政機関、またはその下部組織

なお学術団体とは、日本学術会議協力学術研究団体もしくはこれに準ずる組織とする。

(加入の成立)

第5条 第2条の目的に賛同し、会員資格を有する団体が以下の情報をアカデミア事務局に送付し、連絡者会議が加入を承認した場合、加入が成立する。

- (1) 加入希望団体名ならびにその活動概要。

(2) 加入希望団体の代表者名の連絡先

(3) 加入希望団体からの推薦により連絡者会議に参加する者(2名以内)の連絡先

(退会の成立)

第6条 会員からの退会通告、会員である団体の解散、連絡者会議の決議により、退会が成立する。

第4章 組織運営

(連絡者会議)

第7条 連絡者会議は、会員からの被推薦者から構成され、アカデミアの運営に関わる案件を審議する。

2 連絡者会議は体面形式(オンラインを含む)の会合を年1回以上開催し、アカデミアの運営に関わるビジョン、活動方針、規定などを議論・整備し、決定する。

(連絡者会議 議長)

第8条 連絡者会議の議長は、会員からの被推薦者からの互選により選出される。議長は、連絡者会議の議事を運営するとともに、任期の間、アカデミアを代表する。

(招集)

第9条 連絡者会議は、代表が招集する。会員は、代表に対し、連絡者会議の目的である事項及び招集の理由を示して、連絡者会議の招集を請求することができる

(ワーキンググループ)

第10条 連絡者会議は、必要な下部組織として、ワーキンググループを構築し、アカデミア活動の一部を委託することができる。

(事務局)

第11条 本組織の事務局は別途定める。

第5章 活動

(行事協力)

第12条 行事協力とは、会員からアカデミアに協力要請があった場合、当該会員が主催し、アカデミアの目的に合致する研究集会・啓発活動などについてアカデミアの会員全体あるいは一部が様々なレベルで可能な限り協力することをいう。

2 会員がアカデミアに協力要請する場合は、次の協力レベルを具体的に明らかにし、他の会員に支援を要請するものとする。

(1) レベル1とは、一般的な広報支援(ポスター張り出し、WEBなど会員が管理している媒体での広報)をいう。

- (2) レベル2とは、協賛団体としての名義使用許諾をいう。
- (3) レベル3とは、講師・講演者派遣を含む企画支援を行うことをいう。
- (4) レベル4とは、資金支援を含む共催を行うことをいう。

3 各レベルに対する支援要請された会員の対応は次のとおりとする

- (1) レベル1、2の協力要請に対しては、支援要請された会員は、自身が主催する事業との利害衝突がない限り原則として協力を受諾するものとする。
- (2) レベル3、4の要請に対しては、支援要請された会員の個別判断で協力の可否を決定することができるものとする。

(プロジェクト協力事業)

第13条 プロジェクト協力事業とは、会員が企画あるいは主導する研究・調査・科学的助言・社会活動プロジェクトに関してアカデミアに対して協力要請があった場合、アカデミアの会員全体あるいは一部が様々なレベルで可能な限り協力することをいう。

2 会員がアカデミアに協力要請する場合は、次の協力レベルを具体的に明らかにし、他の会員に支援を要請するものとする。

- (1) レベル1とは、プロジェクトからの調査協力や成果発表等の広報を行うことをいう。
- (2) レベル2とは、プロジェクトに参加する専門家を派遣することをいう。
- (3) レベル3とは、プロジェクトの共同実施者になることをいう。

3 各レベルに対する支援要請された会員の対応は次のとおりとする。

- (1) レベル1の協力要請に対しては、支援要請された会員は、自身が主催する事業との利害衝突がない限り原則として協力を受諾するものとする。
- (2) レベル2、3の要請に対しては、支援要請された会員の個別判断で協力の可否を決定することができるものとする。

(情報発信活動)

第14条 情報発信活動とは、アカデミアとして Webinar を企画・開催することや、アカデミアのサイトを事務局が管理し、会員から協力要請のあった行事・プロジェクトについての広報の支援を行うことをいう。

2 アカデミアとして行う情報発信の対象は、原則、アカデミア会員に閉じないこととする。

(規約の変更)

第15条 この会則は、連絡者会議の決議によって変更することができる。

附則

1. 本組織の活動に係る費用は、原則、それぞれの活動に参加する会員が負担する。

(論文解説)

タイトル	論文解説「Biological Effects of Low-Dose Chest CT on Chromosomal DNA」
説明	<p>CTは、現代医療において最も重要な検査のひとつである。CT装置の進歩に伴い、心臓CTやCT検診等も普及しており、その件数は増加傾向にある。また、異なったエネルギーのX線を用いることで物質の分別が可能なDual energy CTや従来CTの2倍の空間分解能を有する超高精細CTなど新しい技術も登場し、今後も幅広い領域での応用が期待される。しかしながら、CTは放射線を用いるため、放射線被ばくによる発がんなどの生物学的影響が懸念されている [Berrington de Gonzalez A and Darby S, 2004., Brenner DJ and Hall EJ., 2007]。本稿では、Sakane, Hら [2020] の論文を中心に、CT検査の放射線被ばくによるDNA損傷の研究について解説する。</p> <p>近年、CTの放射線被ばくによるDNA損傷について、DNA損傷の生物学的指標であるγ-H2AXフォーカスや染色体異常を用いて検討する研究が行われている [Brand M, et al., 2012, Fukumoto W, et al. 2016, Rothkamm K, et al., 2007]。γ-H2AXフォーカスは、リン酸化されたヒストンH2AXが構築する球状の細胞核内高次構造体で、切断された二本鎖DNAの修復過程初期に認められ、1つのγ-H2AXフォーカスに1つのDNA二本鎖切断が含まれている (図1)。また、染色体異常は、切断された二本鎖DNAが誤って再結合された染色体で、緊急被ばく医療分野では、二動原体染色体や環状染色体が直近の放射線被ばくの線量評価の指標となっている (図2)。</p> <p>これら生物学的指標の増加は、1回のCT検査による放射線被ばくでも確認されており、CTによる放射線被ばくは可能な限り線量を低くすることが求められている [Brand M, et al., 2012, Fukumoto W, et al. 2016, Rothkamm K, et al., 2007]。一方、放射線量を低減するとCT画質の劣化が生じる。このため近年では、逐次近似再構成法や豊富なデータから自動的に特徴を見つけ出すDeep learning技術を用いた再構成法により画質を担保しながら線量を低下させる低線量CT技術が発展してきている。低線量CTを用いた肺がん検診は、重喫煙者における肺がんの死亡率を約20%低下させる非常に有効なスクリーニング法であることが知られている [National Lung Screening Trial Research T, et al., 2011]。しかし、CT検査による被ばく線量をどの程度まで下げるべきかについては定まった見解はなく、長年の研究課題となっている [Higaki T, et al., 2019., Tatsugami F, et al., 2019., Tatsugami F, et al., 2017]。</p> <p>そこで、Sakaneら [2020] はγ-H2AXフォーカスと染色体異常を用いて、通常の線量で撮影した胸部CTと低い線量で撮影した低線量CTで生じたDNA損傷の違いについて検討した。</p> <p>広島大学病院胸部外科で胸部CTが撮影された症例のうち3か月以内に放射線を用</p>

	<p>いた検査歴がある人などを除いた 209 人を対象としている。低線量 CT と通常線量 CT の平均実効線量はそれぞれ 1.5mSv、5.0mSv であり、低線量 CT の実効線量は通常線量 CT の 30%程度であった。これらの症例について、CT 撮影直前と撮影 15 分後に採血を行い、末梢血リンパ球の γ-H2AX フォーカスと染色体異常の数を測定した。1 細胞当たりの γ-H2AX フォーカス数は、通常線量 CT では平均 0.11 個から 0.16 個に増加していたが、低線量 CT では有意な増加が認められなかった。染色体異常数についても、通常線量 CT では 1000 細胞あたり平均 7.6 個から 9.7 個に増加していたが、低線量 CT では γ-H2AX フォーカスと同様に有意な増加が認められなかった。今回の研究に参加した 209 人中 63 人は、3 か月以上の期間を空けて通常線量 CT と低線量 CT 撮影を受けていたので、同一症例についてそれぞれの検査の前後で γ-H2AX フォーカスと染色体異常を解析し結果の検証を行った。その結果、同一症例についても、通常線量 CT では γ-H2AX フォーカス数と染色体異常数の増加が認められたが、低線量 CT では認められなかった。これらの結果から、通常線量 CT による放射線被ばくの染色体 DNA 損傷を鋭敏に検出できる検査法を用いても、低線量 CT の放射線被ばくによる染色体 DNA 損傷は検出できないほど低いレベルであることが示された。本研究では、異なる症例と同一症例で、γ-H2AX フォーカスと染色体異常という 2 つの異なった生物学的指標を用いて DNA 損傷の定量化を行って、同様の結果が得られており、信頼性の高い結果が得られていると考えられる。</p> <p>ただし、肺がん CT 検診などでは、繰り返し CT 検査を受けることもあり、頻回の CT 撮影による DNA 損傷の誘導やその蓄積についても検討する必要がある。また、年齢や性別、喫煙歴、放射線感受性などの個人差や造影剤使用の有無などが DNA 損傷に与える影響についても考慮すべきであり、今後の更なる検討が望まれる。</p> <p>本研究では、低線量 CT による有意な DNA 損傷の増加は認められておらず、低線量 CT による肺がん CT 検診での放射線被ばくは、生物学的観点からは許容されるレベルであると考えられる。CT の放射線量低減において、どの程度まで低減すべきかが長年の研究課題であったが、本研究の結果は今後 CT の線量をどの程度まで下げるべきか議論するうえで重要な指標になると考えられる。DNA 損傷の新しい生物学的指標が、被ばく影響を考慮した新しい医療放射線管理体制の確立に資する重要な指標となる可能性が示された。</p>
キーワード	CT、DNA 損傷、 γ -H2AX フォーカス
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> • Berrington de Gonzalez A and Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. Lancet 363, 345-351 (2004) • Brenner DJ and Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. N Engl J Med 357, 2277-2284 (2007)

	<ul style="list-style-type: none"> • Brand M, et al. X-ray induced DNA double-strand breaks in coronary CT angiography: comparison of sequential, low-pitch helical and high-pitch helical data acquisition. <i>Eur J Radiol</i> 81, e357-362 (2012) • Fukumoto W, et al. DNA damage in lymphocytes induced by cardiac CT and comparison with physical exposure parameters. <i>Eur Radiol</i>. 10.1007/s00330-016-4519-8 (2016) • Higaki T, et al. Improvement of image quality at CT and MRI using deep learning. <i>Jpn J Radiol</i> 37,73-80 (2019) • National Lung Screening Trial Research T, et al. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. <i>N Engl J Med</i> 365,395-409 (2011) • Rothkamm K, et al. Leukocyte DNA damage after multi-detector row CT: a quantitative biomarker of low-level radiation exposure. <i>Radiology</i> 242, 244-251 (2007) • Tatsugami F, et al. Deep learning-based image restoration algorithm for coronary CT angiography. <i>Eur Radiol</i>. 10.1007/s00330-019-06183-y (2019) • Tatsugami F, et al. Coronary Artery Stent Evaluation with Model-based Iterative Reconstruction at Coronary CT Angiography. <i>Acad Radiol</i> 24,975-981 (2017)
参照サイト	<ul style="list-style-type: none"> • Sakane, H. et al. Biological Effects of Low-Dose Chest CT on Chromosomal DNA, <i>Radiology</i>. 295(2), 439-445 (2020) https://pubs.rsna.org/doi/pdf/10.1148/radiol.2020190389

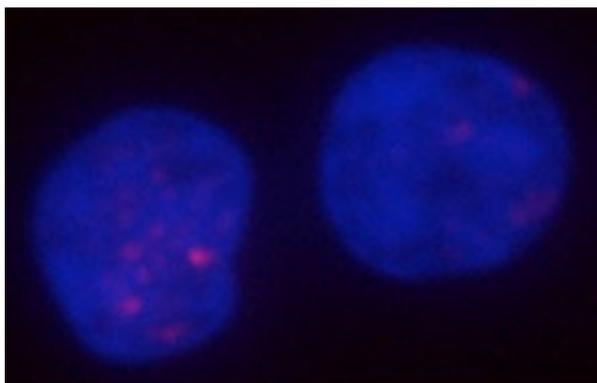


図1 γ -H2AX

赤く標識される点が DNA 損傷後の初期の修復過程でヒストン H2AX がリン酸化された γ -H2AX フォーカスである。これを測定することにより DNA 損傷の定量化が可能である。

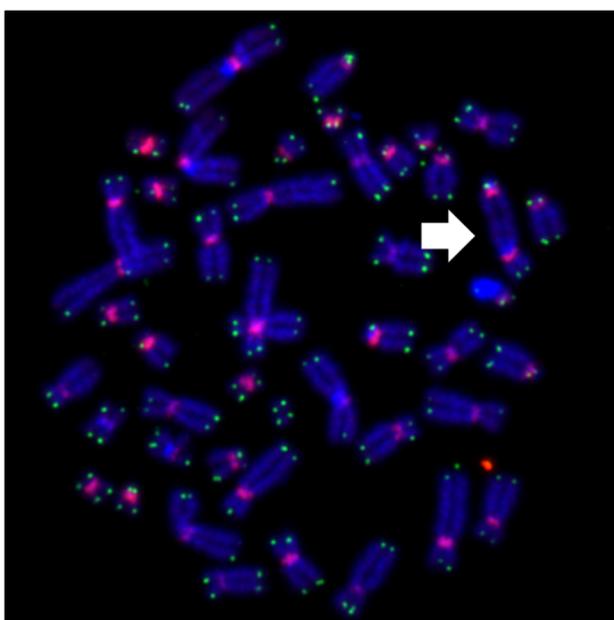


図2 染色体異常

矢印はセントロメアを2つ有する染色体異常の二動原体染色体である。DNA 損傷の修復ミスにより生じる変化であり、DNA 損傷の古典的な生物学的指標として用いられている。

(論文解説)

タイトル	論文「Properties of Radioactive Cs-Bearing Particles Released by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident and Trace Element Analysis. (東京電力福島第一原子力発電所事故で放出された放射性セシウム含有粒子の性質と微量元素分析)」の解説
説明	<p>2011年3月に起こった東京電力福島第一原子力発電所の事故により、環境中に大量の放射性物質（核種）が放出された。この事故では、過去の原子力事故では報告の無い、放射性セシウムを濃集した粒子が放出されたことが分かっている。これらの粒子は環境中で安定に存在しており、人体に摂取した場合長期的な被ばく影響が懸念されている。本論文ではこれまでの研究で明らかとなった、これらの粒子の性質について解説している。</p> <p>過去の原子力事故、また事故を模擬した実験から得られた知見から、原子力事故において放射性物質は核燃料体の破損に伴い、揮発した放射性物質が環境中に放出されると考えられていた。こうして放出された放射性物質は、水溶性のエアロゾルに吸着して大気中を移動し沈着する。つまり沈着した放射性物質は雨などで一度は溶けるはずである。しかしながら福島事故においては、放射能分布のイメージング分析（イメージングプレートを用いたオートラジオグラフィ実験）から、放射能を濃集した粒子状の汚染があることが指摘されていた【田野井ら、2011、Nakanishi TM, et al. 2013】。これらの汚染は水や酸に不溶であり、環境中である程度安定に存在していると考えられた。</p> <p>2013年になって、2011年の事故直後に気象研究所（茨城県つくば市）で採取されていた大気試料から、放射性セシウムを濃集した粒子が分離され、詳しい性質が調べられた（Adachi K. et al., 2013）。走査型電子顕微鏡とエネルギー分散型X線分析装置による解析から、この粒子は直径数マイクロメートルであり、シリカ(SiO₂)を主成分としており、他にセシウム(Cs)、鉄(Fe)、亜鉛(Zn)、マンガン(Mn)、塩素(Cl)を数%含んでいることが分かった。この粒子に含まれているセシウムは数ベクレルであり、粒子の大きさを考慮すると粒子に含まれているセシウムはほとんどすべてが放射性セシウム(¹³⁴Cs および ¹³⁷Cs)であり、放射性物質の重量当たりの濃度（比放射能）が極めて高く、事故時に原子炉内で形成されたものであると考えられた。さらに放射性セシウムの質量数134と137の二つの同位体の含有比から、この粒子は福島第一原子力発電所の二号機に由来すると考えられた（タイプA粒子）。一方で福島原発から北北西方向に数kmの限られた領域には、直径数百マイクロメートルの、放射性セシウムを数百・数万ベクレル含むような粒子が存在していることも分かった。この大きな粒子は、放射性セシウムの同位体比から、事故時に水素爆発を起こした一号機に由来すると考えられた（タイプB粒子）【Satou Y., et al. 2018】。</p>

	<p>タイプ A 粒子については、透過型電子顕微鏡を用いたより詳細な分析が行われ、粒子に含有されている元素は粒子内でほぼ均一であることが分かった。ただし放射性セシウムについては外側のほうが内側より 2 倍程度高いと報告されている [Kogure T, et al. 2016]。また二次イオン質量分析により微量に含まれる U の同位体比が調べられ、ウランの由来は環境中に存在する天然ウラン ($^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ が 0.00729) ではなく、核燃料に由来するということが報告されている [Imoto J., et al. 2017]。一方でタイプ B 粒子については、タイプ A 粒子とは異なり元素の分布は不均一であり、多数の空孔を含むものがあると報告されている。また粒子の化学分析により微量に含まれる放射性ストロンチウム (^{90}Sr) やプルトニウム (^{239}Pu, ^{240}Pu, ^{241}Pu) の定量が行われており、これらの放射性物質が微量であるが粒子中に含まれていることが報告されている [Igarashi J., et al. 2019]。</p> <p>このような粒子が事故によりどれだけ放出されたのか、その存在量についても、土壌や河川中の浮遊粒子の分析から調べられている。しかしながらその量については手法により大きなばらつきがあり、福島事故で放出された放射性セシウムのうち粒子として放出されたものの割合は、8.53 - 31.8%、0.2%程度、1.3 - 67%と報告されており、今後の研究が待たれる。環境中では粒子はある程度安定に存在しているが、雨水や風化作用により少しずつ分解されており、その寿命は数十年程度であると考えられている。また粒子を 900℃で加熱することで分解できることも報告されている [Okumura T., et al. 2018]。</p> <p>粒子は非常に高い濃度で放射性セシウムを含むため、事故時に原子炉の建屋内で生成したと考えられている。このため、粒子の生成過程を明らかにすることは事故時の炉内の情報を得る手段のひとつとして、研究が進められている。特に主成分であるシリカの由来については多くの研究があり、コンクリートや鋼材に含まれているシリコンが母材として考えられているが、粒子の形成過程についてはいまだ解明されておらず、今後の課題となっている。</p>
キーワード	不溶性セシウム粒子
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> • Adachi K., et al. Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident. <i>Sci. Rep.</i>, 3, 2554 (2013) • Igarashi J., et al. First determination of Pu isotopes (^{239}Pu, ^{240}Pu and ^{241}Pu) in radioactive particles derived from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, <i>Sci. Rep.</i>, 9, 11807 (2019) • Imoto J., et al. Isotopic signature and nano-texture of cesium-rich micro-particles: Release of uranium and fission products from the Fukushima Daiichi Nuclear

	<p>Power Plant. Sci. Rep., 7, 5409 (2017)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kogure T., et al. Constituent elements and their distribution in the radioactive Cs-bearing silicate glass microparticles released from Fukushima nuclear plant. <i>Microscopy</i> 65, 451-459. (2016) • Nakanishi TM, et al., Radioactive cesium deposition on rice, wheat, peach tree and soil after nuclear accident in Fukushima. <i>J. Radioanal. Nucl. Chem.</i>, 296, 985–989 (2013) • Okumura T., et al. Loss of radioactivity in radiocesium-bearing microparticles emitted from Fukushima Daiichi nuclear power plant by heating. <i>Sci. Rep.</i>, 8, 9707 (2018) • 田野井ら、福島県に降下した放射性物質のコムギ組織別イメージングとセシウム 134 およびセシウム 137 の定量 <i>Radioisotopes</i> 60, 317–322 (2011) • Satou Y., et al. Analysis of two forms of radioactive particles emitted during the early stages of the Fukushima - Nuclear Power Station accident. <i>Geochem. J.</i>, 52, 137-143 (2018)
参照サイト	<ul style="list-style-type: none"> • Ninomiya, K., Properties of Radioactive Cs-Bearing Particles Released by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident and Trace Element Analysis, <i>Low-Dose Radiation Effects on Animals and Ecosystems</i>. Fukumoto M. (eds), Springer, Singapore, 195 - 204 (2019) https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-13-8218-5?page=2#toc

(Q&A)

タイトル	Q トリチウム水を大量に飲んでしまった場合、どうしたらよいですか？
説明	<p>A トリチウム水を大量に摂取し、被ばく低減化の治療を要する状況となった場合の治療法について記します。</p> <p>トリチウム（化学形を「水」とする）の摂取は、経口摂取、吸入、傷口または正常皮膚からの吸収が考えられています。体内に摂取されたトリチウムは、97%が体内の水と平衡し、実効半減期約 10 日で減っていきます。残りの3%は、有機分子に取り込まれ、実効半減期約 40 日で減っていきます。したがって、トリチウムの物理学的半減期は 12.3 年ですが、実効半減期ははるかに短く、10 日以下とされています。</p> <p>多量に摂取した場合の治療法は、通常の水（実質的にはトリチウムが入っていない水）を体内に負荷することです。</p> <p>IAEA のマニュアル、EPR-Internal Contamination 2018 [IAEA, 2018] によると、摂取の場合の治療法は、トリチウムの代謝を速める目的で、1 日 3 - 4L の水を摂取させます。これにより、希釈効果があり、また利尿を促進することで排泄を促進します。飲水の増量により、実効半減期は、10 日から 2.4 日に短縮できます。多量の摂取の場合、経静脈的水負荷と利尿剤の使用が考えられますが、この治療のリスクとの兼ね合いになります。治療の前後で、尿のバイオアッセイにより、体内のトリチウム量をモニターし、治療の効果を確かめます。トリチウムの場合、尿中のトリチウム濃度が、そのまま体内水中のトリチウム濃度と考えられます。</p> <p>NCRP Report 161I [NCRP, 2008] でも推奨されている治療は、1 日 3 - 4L の水負荷であり、多量摂取の場合時に 1 日 6 - 10L まで増量することもあるとされます。この治療を 5 日間連続するとされています。多量摂取の場合、経静脈投与と利尿剤も可能とされます。これらの場合も、心不全などの禁忌に注意が必要です。</p> <p>効果についての評価はされていないが、トリチウムの急性摂取に対して、上記の水負荷と利尿剤での治療例が報告されています。[Chen W, 2019]</p> <p>従って上述のように、摂取時の治療法は、飲水または時に経静脈的による水負荷と利尿剤により体内のトリチウムを希釈、置換していくことになります。</p>
キーワード	緊急時
参考文献	・ International Atomic Energy Agency (IAEA), Medical Management of Persons Internally Contaminated with Radionuclides in a Nuclear or Radiological Emergency ---A Manual for Medical Personnel---, EPR-Internal Contamination 2018. IAEA, Vienna, Austria, (2018)

	<ul style="list-style-type: none"> • National Council on Radiation Protection & Measurements (NCRP), NCRP Report No. 161I: Management of persons contaminated with radionuclides: Handbook, NCRP, Bethesda, MD, USA, (2008) • Chen W., Medical Treatment and Dose Estimation of a Person Exposed to Tritium. Dose-Response, 17(4):1-5, (2019)
参照サイト	

(解説)

タイトル	トリチウムの物理的・化学的性質
説明	<p>トリチウムは水素の仲間である。図 1 に水素の仲間を示す。図に示すように自然界の水素には 3 種類の仲間が存在する。一つ目は陽子が 1 個と電子が 1 個で、質量数が 1 の (軽) 水素と呼ばれる水素である。自然界に存在する水素の仲間のうち 99.985%がこの (軽) 水素 (Hydrogen、H) で、水素と言えばこの軽水素を指す。この水素は安定同位体で放射線は出さない。二つ目は陽子が 1 個、中性子が 1 個と電子が 1 個で質量数が 2 の重水素 (Deuterium、D) である。自然界に存在する水素の仲間のうち重水素は 0.015% を占める。重水素も安定同位体で放射線を出さない。三つ目は三重水素である。トリチウム (Tritium、T) ともいう。トリチウムは陽子が 1 個、中性子が 2 個と電子が 1 個で構成されており、質量数は 3 になる。トリチウムは自然界に存在する水素の仲間の中ではごく微量しか存在しせず、放射線を出す。トリチウムは水素の放射性同位体である。</p> <p>図 2 にトリチウムの壊変の詳細を示す。トリチウムの場合には多すぎる中性子を陽子と電子とニュートリノに分解して、電子とニュートリノを放出する性質がある。この時に放出する電子を β-線と呼び、この現象を β-壊変という。トリチウムはこの壊変により安定な ${}^3\text{He}$ に変わる。この時に放出される β-線のエネルギーは一定ではなく、図 3 に示すように、最大エネルギーが 18.6keV で、平均エネルギーが 5.69keV の連続したエネルギーである。この β-線のエネルギーは放射性核種から放出される放射線の中でもエネルギーが非常に小さく、最大エネルギーでも、水中では 6 μm 程度しか透過できない。そのため、皮膚や容器の壁を通り抜けることができない。</p> <p>トリチウムの半減期 (T) は 12.3 年である。つまり 1 日後には 99.985%に、1 年後には 0.945%に減少し、12.3 年後には 50%に減少する。</p> <p>先に述べたとおり、水素、重水素、トリチウムは質量数がそれぞれ 1、2、3 であり、重水素と三重水素の質量は、水素と比べて 2 倍、3 倍となっている。重水素とトリチウムの化学的性質は水素と全く同じだが、重水素とトリチウムの質量が水素と比べて 2 倍、3 倍となっているため、物理的性質に若干の違いがある。例えば沸点を比較すると水素 (H_2)、重水素 (D_2)、トリチウム (T_2) は、20.6K、23.87K、25.04K というように、少しずつ異なる (同位体効果)。この同位体効果を用いることにより、水素、重水素、トリチウムを分離することができる。水素の同位体効果は、水素が水の形でも発現し、表 1 のように、水 (H_2O) は、0°Cで氷から水に融解するが、D_2O は 3.79°C、T_2O は 4.49°C となり、融点が異なる。水状の水素同位体の同位体効果を用いることにより、ガス状と同じく水素、重水素、トリチウムを分離することができる。</p>

	<p>トリチウムは身の回りにたくさん存在する。図 4 に示すように、環境中には天然のトリチウムと人為起源のトリチウムが存在する。天然のトリチウムは、主に宇宙線（中性子）と大気中の窒素との核反応により生成する。他にも地殻に含まれる ^{238}U や ^6Li から生成するトリチウムが存在する。人為起源のトリチウムは、ほとんどが原子力施設から放出されており、^{235}U の三体核分裂や制御用のホウ素と中性子との核反応や、重水素と中性子の核反応により生じる。環境中に存在するトリチウムの化学形は、ガス状（HT、DT、T₂）や水状（HTO、DTO、T₂O）、ヒドロカーボン（C_xH_yT）がある。この中でガス状と低分子のヒドロカーボンは大気成分よりも分子量が小さいため、環境中に存在したとしても大気上層に速やかに運ばれる。そのため生活圏にはごく少量しか存在しない。従って、人間の生活圏に存在するトリチウムのほとんどはトリチウム水（HTO）である。</p> <p>図 5 に地球上に存在するトリチウムを示している。1945 年～1980 年に核実験が行われ、この時に大量のトリチウムが大気圏内に放出された。その量は 186EBq と見積もられた。大気圏内核実験の停止後は実験起因のトリチウムの環境放出が止まったため、トリチウムは壊変により減少しており、百島 [1990] によれば核実験由来の推定トリチウム量は 1990 年で 52 EBq である。半減期から計算すると、この量は 2021 年現在で 9.1 (=52×0.5^[(2021-1990)/12.3]) EBq、地球上に残存していると思われる。天然のトリチウムの起源として宇宙線と大気との核反応による生成、太陽フレアにより加速された粒子との核反応による生成、太陽から飛来するトリチウムの沈着があり、1 年で 72PBq のトリチウムが生成していると言われている [UNSCEAR, 2000]。1998 年から 2002 年にかけて、世界の原子力施設から気圏および水圏へのトリチウム年間平均放出量は、UNSCEAR は 2016 年の報告書において、それぞれ 11.7 PBq および 16.0 PBq と見積もっている。</p>
キーワード	水素、重水素、同位体効果
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> • P. Clark Sours, Hydrogen Properties for Fusion Energy, University of California Press, 1985.
参照サイト	<ul style="list-style-type: none"> • UNSCEAR, UNSCEAR 2000 Report: "Sources, effects and risks of ionizing radiation" ANNEX B Exposures from natural radiation sources, 84-156 (2000) https://www.unscear.org/docs/publications/2000/UNSCEAR_2000_Annex-B.pdf • UNSCEAR, UNSCEAR 2016 Report: "Sources, effects and risks of ionizing radiation" ANNEX C Biological effects of selected internal emitters–Tritium, 245-359 (2016) https://www.unscear.org/docs/publications/2016/UNSCEAR_2016_Annex-C.pdf

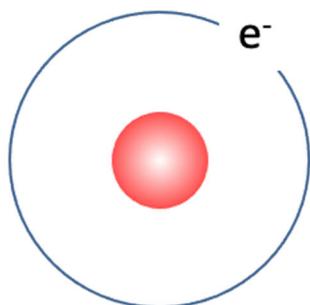
表 1 : トリチウムの同位体効果

	H ₂	D ₂	T ₂
沸点(K)	20.28	23.87	25.04

	H ₂ O	D ₂ O	T ₂ O
分子量	18. 0153	20. 0275	22. 0315
融点(°C)	0	3. 79	4. 49
沸点(°C)	100	101. 4	101. 5
密度(g/ml)	1. 000	1. 105	1. 215

文献) P. Clark Sours, Hydrogen Properties for Fusion Energy, University of California Press, 1985.

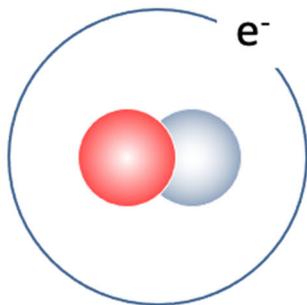
(軽)水素



Protium (H)

質量数:1
 陽子 1個
 中性子 0個
 電子 1個
 安定同位体
 存在比 99.985%

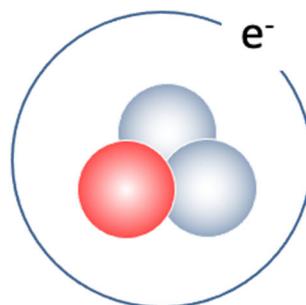
重水素



Deuterium (D)

質量数:2
 陽子 1個
 中性子 1個
 電子 1個
 安定同位体
 存在比 0.015%

三重水素



Tritium (T)

質量数:3
 陽子 1個
 中性子 2個
 電子 1個
 放射性同位体
 極微量



: 陽子



: 中性子

図1: 水素の仲間

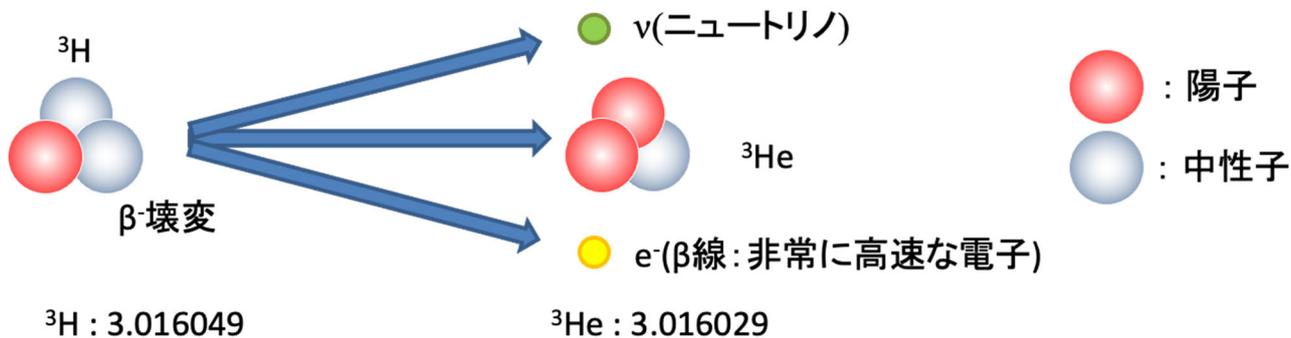
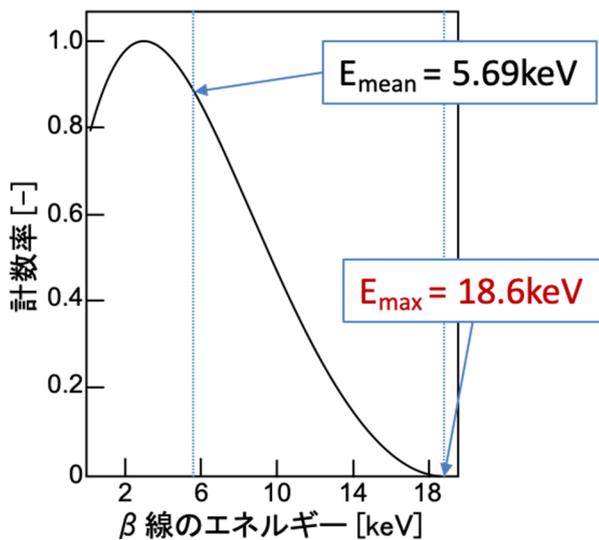


図2: トリチウムの壊変



放射性核種から放出される放射線の中でも、非常に小さいエネルギーの放射線を放出する。

水中で6μmぐらいしか透過せず、皮膚や容器の壁を通り抜けることはできない。

図 3 : トリチウムの壊変時のベータ線のエネルギー

★天然のトリチウム

- ・宇宙線(陽子)と大気中の窒素との相互作用により生成



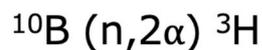
- ・地殻に含まれる ^{238}U や ^6Li からの生成 (ごくわずか)

★人為起源トリチウム (主に原子力施設)

- ・ ^{235}U の三体核分裂



- ・制御棒中ホウ素と中性子の反応



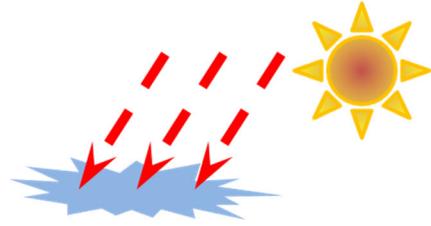
- ・重水素(D)と中性子との反応



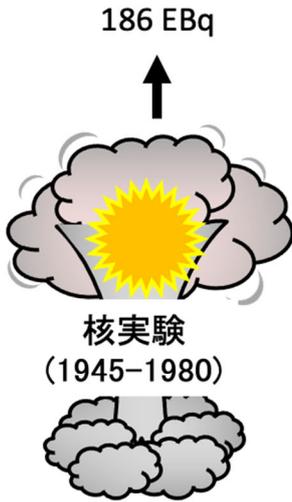
★環境中に存在するトリチウムのほとんどは水状(HTO)

図 4 : 身の回りに存在するトリチウム

全球存在量(1990)
1-1.3 EBq + 52EBq
(百島、2000)



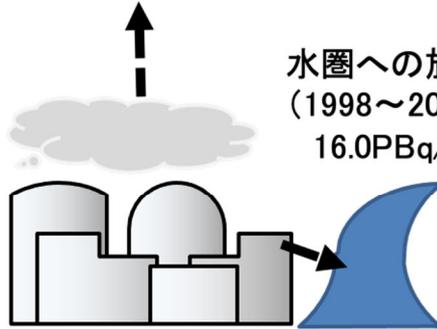
宇宙線生成量
72 PBq/y
(UNSCEAR 2000 付属書B Table 4)



186 EBq

核実験
(1945-1980)

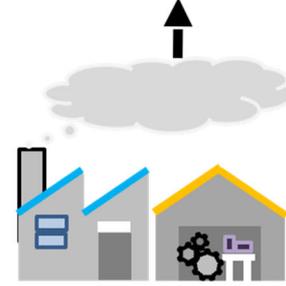
気圏への放出
(1998~2002)
11.7PBq/y



原子力施設

水圏への放出
(1998~2002)
16.0PBq/y

0.4EBq/y(百島、2000)



消費財

E(エクサ): 100京 10^{18}
P(ペタ) : 1,000兆 10^{15}

図5：地球に存在するトリチウム

(解説)

タイトル	トリチウム化生化学物質の影響 (UNSCEAR2016 報告書を中心に)
説明	<p>この解説では、トリチウム化生化学物質 (biochemical substrates) の影響について UNSCEAR による 2016 年の報告書 [UNSCEAR, 2016] (以下、「UNSCEAR2016 報告書」と記載) を中心にまとめる (文末の括弧内の数字は、UNSCEAR2016 報告書における見出し番号を示す)。</p> <p>1. トリチウム化生化学物質の代謝</p> <p>本項における「トリチウム化生化学物質」とは、分子中の一部の水素がトリチウムに置換されたブドウ糖、アミノ酸、ホルモン、DNA および RNA 前駆体などを示す (特に断りのない限り、光学異性体は、生体内で主として存在する化学形とする)。(45、95)</p> <p>UNSCEAR は、「放射性医薬品の製造施設では、トリチウム化生化学物質を生成し、病院での健康診断や医学・生物学の研究活動に使用している。」(95) の記述のように、トリチウム化生化学物質の起源として人工的に合成する放射性医薬品製造施設について述べている一方で、光合成などの代謝による生合成については詳しく記載していない。実際、植物可食部中の OBT の濃度変化についての研究 [天野ら、1997] はあるものの、化学形まで詳しく調べたものは少なく、Moses と Calvin [1959] は、代謝研究目的で、クロレラの光合成などによって短時間にトリチウム水のトリチウムが種々の有機物に取り込まれる実験をしているが、その際に使用している濃度は 1ml 中に 1Ci (3.7×10^{10}Bq) で、日本の放射線関連施設排水中のトリチウム水の規制濃度である 60Bq/ml と比較して量が桁違いに大きい条件、しかも短時間での結果であり、低濃度での取り込み・長期間の蓄積については不確定である。</p> <p>トリチウム化生化学物質は、吸入や皮膚汚染、意図しない経口摂取などを行うことによって、体内に取り込まれ、内部被ばくする危険性がある。(95)</p> <p>体内に取り込まれた生化学物質は、一般的に、血流中に入り込み、細胞内の代謝が活性化部位に到達すると、体内組織の有機分子として直接取り込まれる。これは、トリチウム水 (HTO) などの無機トリチウム化合物にない特徴でもある。有機分子に取り込まれたトリチウムは、体内の滞留時間が HTO よりも長くなるが、最終的には、トリチウム化生化学物質が部分的に酸化され、体内の水分 (HTO) に移行するか、低分子量の有機分子として排出される。(95)</p> <p>特にトリチウム化 DNA 前駆体 ($[^3\text{H}]$ チミジン、$[^3\text{H}]$ デオキシシチジン) がヒト体内に摂取される、または動物に投与されると、大部分は HTO または代謝された生化学物質となるが、一部のトリチウム化 DNA 前駆体は、DNA を複製する S 期に直接 DNA に</p>

取り込まれる。分裂細胞の DNA に取り込まれたトリチウム化 DNA 前駆体は、選択的に増殖細胞の細胞核をベータ線で被ばくさせる。(46、95)

トリチウム化 DNA 前駆体の急性摂取および慢性摂取の両方の場合について、増殖細胞の細胞核における吸収線量は、同量の HTO を摂取した場合の線量よりも 1 - 2 桁高くなる。トリチウムのベータ線の水中における平均飛程は 0.56 μm 、最大飛程でも 6 μm であり、(38) ベータ線の飛程は哺乳類細胞の細胞核の直径 (6 - 15 μm) に比べて大幅に短いため、DNA 結合トリチウムの分布のみならず、局所の吸収エネルギーは臓器、組織、細胞内で極めて不均質となると判断される。そのため、UNSCEAR2016 報告書では「有機結合型トリチウム (OBT) について ICRP が提示する預託実効線量係数は、トリチウム化 DNA 前駆体の摂取に対しては直接適用すべきではない」としている。さらに、トリチウム化 DNA 前駆体のような場合に臓器や組織に均一線量を当てはめる考え方を適用するには、慎重な考慮が必要とし、参考として、細胞核内のトリチウム局所化を考慮して線量を計算する文献 (NCRP、1979 など) を挙げている。(137, 171)

2. 影響研究

トリチウム化生化学物質に関する生物影響を個別に調査した研究は少なく、そのほとんどが DNA 前駆体およびアミノ酸を使ったものである。

UNSCEAR2016 報告書には、げっ歯類の個体を用いた動物実験及び細胞レベルの実験が取り上げられており、動物実験では、トリチウム化生化学物質の投与が確定的及び確率的影響の両方を誘発することを報告している。(242) ここでいう確定的影響とは致死性のことであり、確率的影響とは動物では発がんや突然変異であるが、細胞では発がんではなく、染色体の相互転座、遺伝子突然変異である。一連の実験により、 $[^3\text{H}]$ L 型リジンおよび $[^3\text{H}]$ デオキシシチジンなど細胞核親和性化合物 (nucleotropic form) の影響が大きいことが証明され、摂取放射能あたりでは、 $[^3\text{H}]$ チミジンは HTO よりも 5 - 10 倍影響が高いとされる一方、「 ^3H 標識ヌクレオシドについては、哺乳動物細胞の分布に関するデータが不足しているため、組織と細胞の線量の考え方を適用することはできない」としている。(242)

また、トリチウム化生化学物質を含む培地中での哺乳動物細胞や胚の培養実験報告の結果から、UNSCEAR2016 報告書は「培地中のトリチウム標識生化学物質の単位放射能濃度あたりで評価した放射線生物学上の影響は、HTO と比較して最大 1,000 倍まで、物質間で最大数十倍まで変化する」とまとめている。(250) なお ANS のトリチウム白書では、Müller (2010) が *in vitro* の研究に対し代謝の影響が無視されていることを指摘している。

最後に UNSCEAR2016 報告書は、「HTO または OBT の摂取の結果として現れる OBT

	<p>の影響は、ICRP モデルが予測するよりも大きい可能性がある」という指摘の存在を認めつつも、いくつかの研究者グループ (Takeda、1991 など) による、HTO 摂取後の線量に対する OBT の影響は小さく (10%未満)、OBT 摂取による線量もそれほど大きくならないという報告を引用し、「OBT の摂取による合計線量が HTO の摂取より約 2 倍大きくなる」とした ICRP の結論には合理性がある」と結論付けている。(87)</p> <p>なお、UNSCEAR2016 報告書で引用されていた Takeda の論文では、ラットを用いて HTO のほかに [³H] ロイシン、[³H] リジン、[³H] グルコース、[³H] グルコサミン、[³H] チミジン、[³H] ウリジンを飲料水に混ぜて慢性的に摂取させ、投与開始から 22 日後に肝臓、腎臓、精巣、脾臓、肺、心臓、小腸、筋肉、脳の湿組織中の総トリチウム濃度と乾燥組織中の OBT 濃度を調べるという実験を行っている。この研究では、飼育期間中に尿中のトリチウム濃度を測定し、約 10 日目以降にほぼ一定の値になることを確認したのち、個々の組織について過去に求められた含水量データを使用して、臓器ごとのトリチウム放射能濃度およびベータ線の平均エネルギーから線量率を求めている。その結果、トリチウム水を経口摂取したラット臓器における OBT の線量への寄与割合は肝臓が最大で 10.6%であることや、[³H] リジン、[³H] チミジン、[³H] ウリジンによる線量率はトリチウム水摂取による線量率と比較して少し高かったのに対し、[³H] ロイシン、[³H] グルコース、[³H] グルコサミンによる線量率はトリチウム水とほぼ同じか少し低いこと、さらには臓器ごとの OBT 摂取による線量率はトリチウム水摂取による線量率の 2 倍以下である、という結果を得ている。</p> <p>参考までに、ICRP Publication 72 における、ヒト成人のトリチウムに対する預託実効線量係数は、HTO が $1.8 \times 10^{-11} \text{Sv Bq}^{-1}$ であり、OBT が $4.2 \times 10^{-11} \text{Sv Bq}^{-1}$ である。</p>
キーワード	UNSCEAR2016、チミジン
参考文献	<ul style="list-style-type: none"> • Moses, V and Calvin, M, Photosynth studies with tritiated water, Biochim. Biophys. Acta, 33, 297 (1959). • NCRP. Tritium and other radionuclide labeled organic compounds incorporated in genetic material. NCRP Report No. 63. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, (1979) • Takeda, H. Incorporation and distribution of tritium in rats after chronic exposure to various tritiated compounds. Int J Radiat Biol 59(3): 843-853 (1991).
参照サイト	<ul style="list-style-type: none"> • UNSCEAR, UNSCEAR 2016 Report: "Sources, effects and risks of ionizing radiation" ANNEX C Biological effects of selected internal emitters-Tritium, 245-359 (2016) <p>https://www.unscear.org/docs/publications/2016/UNSCEAR_2016_Annex-C.pdf</p>

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• 天野 光ら、IV-4 植物中におけるトリチウムの挙動、日本原子力学会誌 39, 929 - 930 (1997)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesj1959/39/11/39_11_914/_pdf/-char/ja• ICRP. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 1. Publication 56. (1990)
https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_20_2• Müller, WU, Cell nucleus seeking OBT: a still neglected problem? TOL et noyau de la cellule: un probl me encore negligé? Livre Blanc du tritium, ed. ASN, 245-250 (2010)
https://www.asn.fr/l-asn-informe/publications/rapports-d-expertise/livre-blanc-du-tritium2 |
|---|

(解説)

タイトル	人体組織内の有機結合型トリチウム
説明	<p>この解説では、人体組織内の有機結合型トリチウムについて UNSCEAR による 2016 年の報告書 [UNSCEAR, 2016] (以下「UNSCEAR 2016 報告書」) を中心にまとめる。</p> <p>トリチウムは宇宙線と大気中の窒素原子との核反応などによって生成されるため、もともと自然界にも一定量が存在している。また 1960 年代の大気圏内核実験では大量に放出され、現在でも世界中の核施設から放出されている。</p> <p>そのため、自然環境中のトリチウムを測定した研究報告は多いが、人体組織内のトリチウム挙動についての報告は少なく、UNSCEAR 2016 報告書においても 3 編の調査報告を取り上げているだけである。そのうち有機結合型トリチウムについて取り上げているものは 2 編で、うち 1 編はアメリカでの調査、もう 1 編は日本での調査に基づくものである。</p> <p>UNSCEAR は、これらの調査報告に基づき、結論として、人体組織内の有機結合型トリチウム (OBT) の量は、環境中のトリチウム量に応じて変化すること、環境中のトリチウムを 1 としたとき、人体組織内の OBT の量は、1-2 の間で変化することを述べている。</p> <p>アメリカでの調査報告 [Bogen, D.C. and Welford, G.A., 1976] は、1972 年のニューヨークで調査されたもので、肺、肝臓、腎臓組織中のトリチウム濃度を測定した値が記載されているのみで、臓器提供者の年齢や性別など詳しいことは記載されていない。なお、自由水型トリチウム (HTO) は試料を凍結乾燥して得られた水を測定し、OBT は乾燥試料を燃焼して測定した。</p> <p>肺、肝臓、腎臓の HTO はそれぞれ、320、310、290pCi/L (1pCi = 0.037Bq で計算すると、12、11、11Bq/L)、OBT は 530、450、470 pCi/L (1pCi = 0.037Bq で計算すると、20、17、17Bq/L) となり、OBT/HTO 比は 1.7、1.5、1.6 であった。OBT/HTO 比は食品でも調べられており、根菜で 4.4、新鮮な野菜で 2.9、肉で 1.4、卵で 2.2 と、農産物の方が畜産物より高い傾向があった。</p> <p>日本における調査報告 [Hisamatsu, S., et al., 1989, 1992] は、1986 年に秋田県で突然死した 11 遺体 (男性 10 名、女性 1 名、平均年齢 \pm SD = 46 \pm 16 歳) から摘出した臓器および組織について、トリチウム濃度測定を行ったものであり、脳、肝臓、肺、心臓、および腎臓試料から蒸留した自由水型トリチウム (HTO)、および酸素雰囲気内で乾燥試料を燃焼して得られた燃焼水中のトリチウム (組織結合型トリチウム: OBT と</p>

	<p>ほぼ同意) 濃度を測定している。種々の臓器および組織から採取した 7 試料の自由水型トリチウムの平均濃度は 1.5 - 1.9 Bq/L とほぼ同様であり、組織結合型トリチウムの平均濃度も類似した数値範囲でのばらつきが観察された。</p> <p>また、これとは別に、健康診断で採取された血液を集めて血清および全血中のトリチウム濃度も測定しており、血清および血液中の自由水型トリチウムおよび組織結合型トリチウムの濃度はほぼ同じであった。</p> <p>なお、5 つの臓器および血清・血液の自由水型トリチウム濃度および組織結合型トリチウム濃度の平均値は 1.7 Bq/L であった。</p> <p>この論文に引用されているイタリアでの調査は UNSCEAR 2016 報告書に取り上げられていないが、組織結合型トリチウムと自由水型トリチウムの放射能比が日本のデータと比較して非常に高く、この高い比率がイタリアの食品におけるトリチウム濃度比率に起因する可能性があるとしている。</p> <p>HTO を投与した動物実験でも臓器ごとの有機結合型トリチウムが研究されており、UNSCEAR 2016 報告書では、Takeda と Kasida (1979) によるラットにおける HTO の体内動態研究が取り上げられている。トリチウム水摂取後の自由水型トリチウムおよび組織結合型トリチウムを分析し、「初期の総トリチウム量に対する組織結合型トリチウムの割合は腎臓で約 3%、その他の組織では 1 - 5%であった」ことを発見している。</p> <p>なお ICRP Publication 56 (1990) に臓器および年齢ごとのトリチウムの実効線量係数が提示されているが、ICRP Publication 89 (2002) では基本となった体内動態モデルが改定されており、数値もわずかに変更されることが予定されている。新しいモデルでは、トリチウム水として投与された場合 (吸入・経口を問わず) は、急速に血液に移行し全身の水と混合され、94%~95%は HTO として残留し、5%~6%が急速に OBT に移行すると仮定している。成人では、HTO は生物学的半減期 10 日で滞留すると仮定し、OBT は化学形に応じて生物学的半減期 40 日の短期コンパートメントと生物学的半減期 350 日の長期コンパートメントに分かれて滞留すると仮定している。</p>
キーワード	UNSCEAR2016、OBT
参考文献 (日本語の アイウエオ 順、英語の ABC 順に並 べて下さい)	<ul style="list-style-type: none"> • Takeda, H. and Y. Kasida. Biological behavior of tritium after administration of tritiated water in the rat. J Radiat Res 20(2): 174-185 (1979). • Hisamatsu, S., et al. Fallout 3H in human tissue at Akita, Japan. Health Phys 57(4): 559-563 (1989). • Hisamatsu, S., et al. Tritium level in Japanese diet and human tissue. J Radioanal Nucl Chem 156(1): 89-102 (1992).

	<ul style="list-style-type: none"> • Bogen, D.C. and G.A. Welford. "Fallout tritium" distribution in the environment. Health Phys 30(2): 203-208 (1976).
参照サイト	<ul style="list-style-type: none"> • UNSCEAR, UNSCEAR 2016 Report: "Sources, effects and risks of ionizing radiation" ANNEX C Biological effects of selected internal emitters–Tritium, 245-359 (2016) https://www.unscear.org/docs/publications/2016/UNSCEAR_2016_Annex-C.pdf • ICRP. Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 1. Publication 56. (1990) https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_20_2 • ICRP. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection reference values, Publication 89. (2002) https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_32_3-4

(解説)

タイトル	告示濃度限度
説明	<p>我が国における、放射線業務従事者が作業する管理区域内における空気中の放射性物質の濃度、公衆の居住する空気中の放射性物質の濃度、または水中の放射性物質の濃度の上限値を濃度限度という。濃度限度は、告示「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件（以下「RI 数量告示」という）の「別表第2」、及び「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示（以下「線量限度等告示」という）」の「別表第一」等で定められている。前者は放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則、後者は核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下、「炉規法」という）に係る諸規則に規定する濃度限度を定めている。以下に示すように、それぞれで対応している項目の数値は同一である。</p> <p>1. 空気中に存在する放射性物質からの被ばく線量</p> <p>空気中に放射性物質（不活性ガス等を除く）が存在する場合、放射性物質が呼吸によって体内に取り込まれ、体内の臓器に移行、蓄積して被ばくをもたらす経路が主な被ばく経路となる。この場合、吸入による実効線量は以下の式で与えられる。</p> <p>実効線量=空気中濃度×線量係数×呼吸率×呼吸時間</p> <p>ここで、線量係数は、放射性物質を単位量吸入した場合の実効線量である。現在の告示において、この線量係数は、ICRP1990年勧告に基づく線量推定モデルを用いて計算されている。</p> <p>また、不活性ガスの放射性物質は、呼吸によって体内に取り込まれ、臓器に蓄積することはない。よって、線量率係数を用いて計算を行う。</p> <p>実効線量=空気中濃度×線量率係数×滞在時間</p> <p>ここで、線量率係数は、単位濃度の放射性物質が空気中に均一に存在する場合の、単位時間当たりの実効線量である。</p> <p>2. 空気中濃度限度（放射線業務従事者）</p> <p>放射線業務従事者が作業する管理区域内における空気中の放射性物質の濃度は、RI数量告示では「第四欄 空気中濃度限度(Bq/cm³)」、「線量限度等告示」では、「放射線業務従事者の呼吸する空気中の濃度限度(Bq/cm³)」として定められている。</p> <p>不活性ガス以外の空気中濃度は、以下の式で算出される。</p> <p>空気中濃度(Bq/cm³)</p> <p>= 1 (mSv/週) / [線量係数 (mSv/Bq) × 呼吸率(cm³/時間) × 作業時間 (時間/週)]</p> <p>呼吸率は作業員に対する呼吸率で、1.2×10⁶(cm³/時間)が用いられる。作業時間は作業</p>

者の作業時間で、40 時間/週が用いられる。すなわち、この空气中濃度は、作業者がその環境において 40 時間/週作業した場合に、実効線量が 1mSv/週となる値である。なお、トリチウム水については、呼吸に加えて、皮膚を通じての吸収も考慮し、この式で求められた空气中濃度の3分の2の値が用いられている。

不活性ガス等の空气中濃度は、以下の式で算出される。

空气中濃度(Bq/cm³)

$$= 1 \text{ (mSv/週)} / [\text{線量率係数 ((mSv/時間)/(Bq/cm}^3\text{))} \times \text{作業時間 (時間/週)}$$

不活性ガス等以外の場合と同様に、作業時間は 40 時間/週が用いられる。この方法で計算された放射性物質は、告示別表の「化学形等」の欄に「サブマージョン」と記載されている。

なお、放射線業務従事者に対する空气中濃度限度は、一週間についての平均濃度に対して用いられる。

3. 空气中濃度限度 (公衆)

公衆が居住する地域における空气中の放射性物質の濃度は、RI 数量告示では「第五欄排気中又は空气中の濃度限度(Bq/cm³)」、「線量限度等告示」では、周辺監視区域外の空气中の濃度限度(Bq/cm³)」として定められている。これは、炉規法に係る関係法令においては、周辺監視区域内には公衆が居住できないことが定められているためである。

これらの空气中濃度は、対象者が公衆であることから、年齢依存性を考慮して以下の式で算出される。

$$\text{空气中濃度(Bq/cm}^3\text{)} = 1 \text{ (mSv/年)} \times 70 \text{ (年)} /$$

$$\sum_{\substack{\text{成人} \\ \text{3月児}}} \text{(各年齢層の線量係数 (mSv/Bq)} \times \text{各年齢層の呼吸量(cm}^3\text{/年)} \times \text{適用年数 (年))$$

この式は、年齢依存性を考慮して、ある一人の人が誕生してから 70 歳になるまでの期間について、この空气中濃度の環境で生活して、年平均の実効線量が 1mSv となる濃度である。

各年齢層とその呼吸量、及び適用年数は以下のように与えられている。

年齢層	各年齢層の呼吸量	適用年数
0 歳 ≤ 3 月児 < 1 歳	2.86 × 10 ⁶ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	1 年間
1 歳 ≤ 1 歳児 < 3 歳	5.16 × 10 ⁶ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	2 年間
3 歳 ≤ 5 歳児 < 8 歳	8.72 × 10 ⁶ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5 年間
8 歳 ≤ 10 歳児 < 13 歳	1.53 × 10 ⁷ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5 年間
13 歳 ≤ 15 歳児 < 18 歳	2.01 × 10 ⁷ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5 年間
18 歳 ≤ 成人 < 70 歳	2.22 × 10 ⁷ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	52 年間

不活性ガス等については、年齢依存性を考慮せず、以下の式で評価している。

$$\text{空气中濃度(Bq/cm}^3\text{)} = 1 \text{ (mSv/年)} \times 70 \text{ 年} / [\text{線量率係数 ((mSv/年)/(Bq/cm}^3\text{))} \times 70 \text{ 年}]$$

なお、公衆に対する空气中濃度限度は、三月間についての平均濃度に対して適用される。

4. 水中に存在する放射性物質による被ばく線量

水中に放射性物質がある場合、放射性物質が飲用水として経口摂取されて体内に取り込まれ、体内の臓器に移行、蓄積して被ばくをもたらす経路が主な被ばく経路となる。この場合、経口摂取による実効線量は以下の式で与えられる。

$$\text{実効線量} = \text{水中濃度} \times \text{線量係数} \times \text{摂水量} \times \text{摂水期間}$$

ここで、線量係数は、放射性物質を 1Bq 経口摂取した場合の実効線量である。現在の告示において、この線量係数は、ICRP1990 年勧告に基づく線量推定モデルを用いて計算されている。

5. 水中濃度限度（公衆）

放射線業務従事者が管理区域内で水を摂取することは禁止されているため、水中濃度限度は公衆に対してのみ設定されている。この水中濃度は、RI 数量告示では「第六欄 廃液中又は排水中の濃度限度(Bq/cm³)」、「線量限度等告示」では、「周辺監視区域外の水中の濃度限度(Bq/cm³)」として定められている。これらの水中濃度は、対象者が公衆であることから、年齢依存性を考慮して以下の式で算出される。

$$\text{水中濃度(Bq/cm}^3\text{)} = 1 \text{ (mSv/年)} \times 70 \text{ (年)} /$$

$$\sum_{\text{3月児}}^{\text{成人}} (\text{各年齢層の線量係数 (mSv/Bq)} \times \text{各年齢層の摂水量(cm}^3\text{/年)} \times \text{適用年数(年)})$$

この式は、年齢依存性を考慮して、ある一人の人が誕生してから 70 歳になるまでの期間について、この水中濃度の水を飲み続けて、年平均の実効線量が 1mSv となる濃度である。

各年齢層とその摂水量、及び適用年数は以下のように与えられている。

年齢層	各年齢層の摂水量	適用年数
0 歳 ≤ 3 月児 < 1 歳	1.4 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	1 年間
1 歳 ≤ 1 歳児 < 3 歳	1.4 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	2 年間
3 歳 ≤ 5 歳児 < 8 歳	1.6 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5 年間
8 歳 ≤ 10 歳児 < 13 歳	1.8 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5 年間
13 歳 ≤ 15 歳児 < 18 歳	2.4 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5 年間

	<p>18歳≦成人<70歳 2.65×10^3 (cm³/日)×365 (日/年) 52年間</p> <p>なお、公衆に対する水中濃度限度は、三月間についての平均濃度に対して適用される。</p> <p>6. 複数の放射性物質に対する適用など</p> <p>濃度限度は、放射性物質の種類（核種及び化学形等）毎に、上記の方法によって算出され、上述した告示別表に記載されている。放射性物質の種類が明らかでない場合は、当該空気あるいは水に含まれている可能性のある放射性物質の中から、最も低い値を適用する。また、放射性物質の種類が2種類以上の場合は、それぞれの濃度の濃度限度に対する割合の和（分数和）が一となるような濃度が濃度限度となる。</p> <p>放射性物質の種類（核種及び化学形等）が明らかで、上述した告示別表に記載されていない場合の濃度限度は、アルファ線放出の区分及び物理的半減期の区分毎に、濃度限度が与えられている（RI数量告示別表第3及び線量限度等告示別表第二）。</p>
キーワード	数量告示、線量限度等告示
参考文献	
参照サイト	<ul style="list-style-type: none"> ・河井勝雄ら、ICRPの内部被ばく線量評価法に基づく空气中濃度等の試算、JAERI-Data/Code 2000-001, 87p (2000). https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAERI-Data-Code-2000-001.pdf ・吉澤道夫、水下誠一、「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」について、保健物理、34(3), 319-322 (1999) https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps1966/34/3/34_3_319/_article ・放射線を放出する同位元素の数量等を定める件 https://www.nsr.go.jp/data/000045581.pdf ・核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示 https://www.nsr.go.jp/data/000306810.pdf ・外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針（平成11年4月放射線審議会基本部会） （第1回眼の水晶体の放射線防護検討部会（平成29年7月25日、原子力規制委員会開催）にて参考資料3として使用） https://www.nsr.go.jp/data/000197226.pdf

(用語解説)

タイトル	年齢別呼吸量																					
説明	<p>ここでは「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」の「第五欄 排気中又は空気中の濃度限度(Bq/cm³)」、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」の、「周辺監視区域外の空気中の濃度限度(Bq/cm³)」として定められている公衆が居住する地域における空気中の放射性物質（年齢依存を考慮しない不活性ガスを除く）の濃度を求める際に使用されている年齢別呼吸量を示す。</p> <p>各年齢層とその呼吸量、及び適用年数は以下のように与えられている。</p> <table><thead><tr><th>年齢層</th><th>各年齢層の呼吸量</th><th>適用年数</th></tr></thead><tbody><tr><td>0歳 ≤ 3月児 < 1歳</td><td>2.86 × 10⁶ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>1年間</td></tr><tr><td>1歳 ≤ 1歳児 < 3歳</td><td>5.16 × 10⁶ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>2年間</td></tr><tr><td>3歳 ≤ 5歳児 < 8歳</td><td>8.72 × 10⁶ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>5年間</td></tr><tr><td>8歳 ≤ 10歳児 < 13歳</td><td>1.53 × 10⁷ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>5年間</td></tr><tr><td>13歳 ≤ 15歳児 < 18歳</td><td>2.01 × 10⁷ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>5年間</td></tr><tr><td>18歳 ≤ 成人 < 70歳</td><td>2.22 × 10⁷ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>52年間</td></tr></tbody></table> <p>「各年齢層の呼吸量」の根拠は ICRP Pub. 71 Table. 6 による呼吸量である。</p>	年齢層	各年齢層の呼吸量	適用年数	0歳 ≤ 3月児 < 1歳	2.86 × 10 ⁶ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	1年間	1歳 ≤ 1歳児 < 3歳	5.16 × 10 ⁶ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	2年間	3歳 ≤ 5歳児 < 8歳	8.72 × 10 ⁶ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間	8歳 ≤ 10歳児 < 13歳	1.53 × 10 ⁷ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間	13歳 ≤ 15歳児 < 18歳	2.01 × 10 ⁷ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間	18歳 ≤ 成人 < 70歳	2.22 × 10 ⁷ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	52年間
年齢層	各年齢層の呼吸量	適用年数																				
0歳 ≤ 3月児 < 1歳	2.86 × 10 ⁶ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	1年間																				
1歳 ≤ 1歳児 < 3歳	5.16 × 10 ⁶ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	2年間																				
3歳 ≤ 5歳児 < 8歳	8.72 × 10 ⁶ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間																				
8歳 ≤ 10歳児 < 13歳	1.53 × 10 ⁷ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間																				
13歳 ≤ 15歳児 < 18歳	2.01 × 10 ⁷ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間																				
18歳 ≤ 成人 < 70歳	2.22 × 10 ⁷ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	52年間																				
キーワード																						
参考文献																						
参照サイト	<ul style="list-style-type: none">「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」 https://www.nsr.go.jp/data/000197226.pdf http://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/3537352/www.nsr.go.jp/archive/mext/b_menu/shingi/housha/sonota/990401.htm「ICRP Publication 71 Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 4 Inhalation Dose Coefficients (1995)」 https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_25_3-4																					

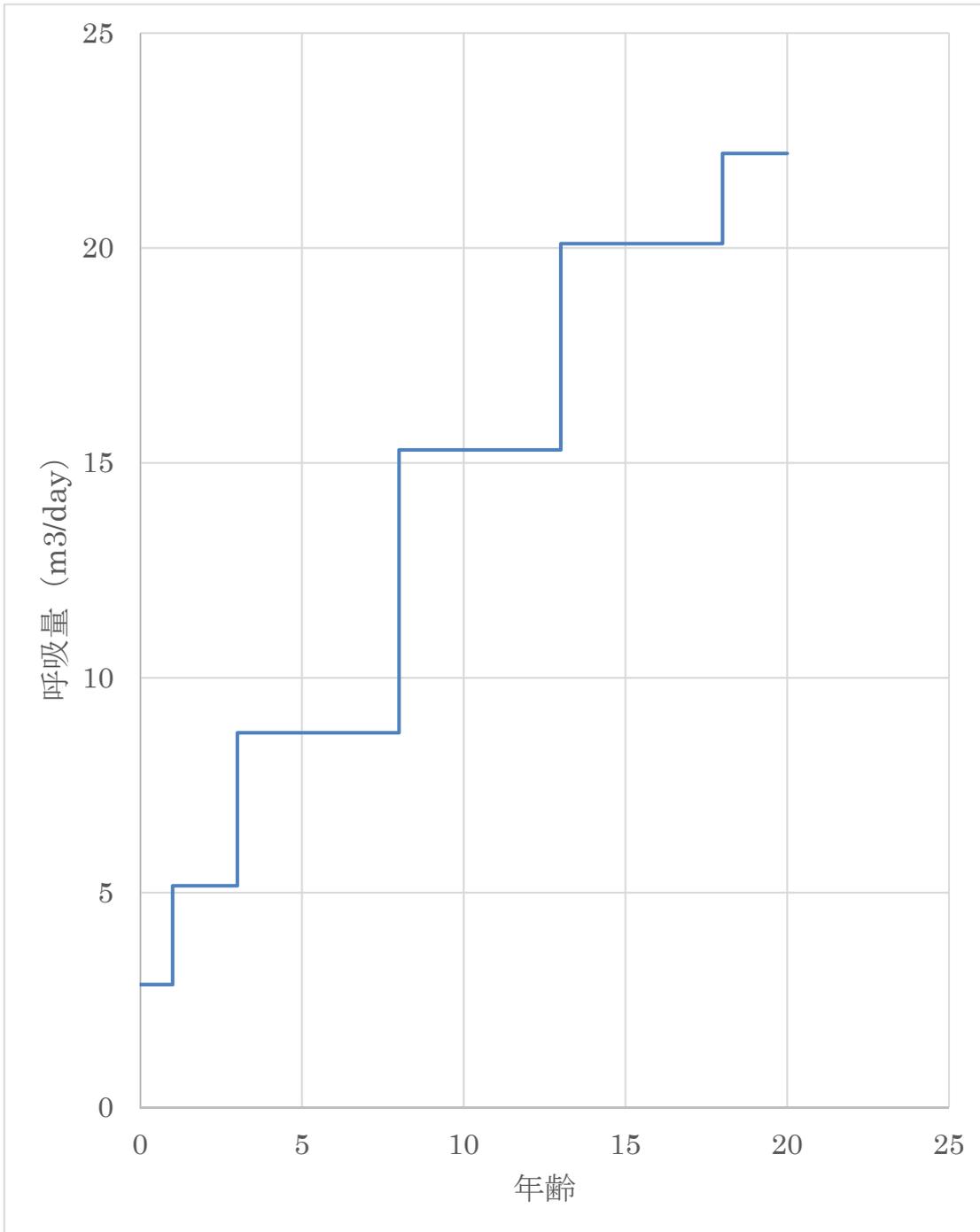


図1：年齢別呼吸量

「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」より

(用語解説)

タイトル	年齢別摂水量																					
説明	<p>ここでは「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」の「第六欄 廃液中又は排水中の濃度限度(Bq/cm³)」、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」の「周辺監視区域外の水中の濃度限度(Bq/cm³)」として定められている水中濃度限度を求める際に使用されている年齢別摂水量を示す。</p> <p>各年齢層とその摂水量、及び適用年数は以下のように与えられている。</p> <table><thead><tr><th>年齢層</th><th>各年齢層の摂水量</th><th>適用年数</th></tr></thead><tbody><tr><td>0歳 ≤ 3ヶ月児 < 1歳</td><td>1.4 × 10³ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>1年間</td></tr><tr><td>1歳 ≤ 1歳児 < 3歳</td><td>1.4 × 10³ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>2年間</td></tr><tr><td>3歳 ≤ 5歳児 < 8歳</td><td>1.6 × 10³ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>5年間</td></tr><tr><td>8歳 ≤ 10歳児 < 13歳</td><td>1.8 × 10³ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>5年間</td></tr><tr><td>13歳 ≤ 15歳児 < 18歳</td><td>2.4 × 10³ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>5年間</td></tr><tr><td>18歳 ≤ 成人 < 70歳</td><td>2.65 × 10³ (cm³/日) × 365 (日/年)</td><td>52年間</td></tr></tbody></table> <p>10歳児および成人の数値の根拠に用いられた文献として ICRP Publication 23 [1975] が、1歳児の数値の推定の参考に用いられた文献として IAEA, Safety Series No.81 [1986] が記載されている。3ヶ月児は1歳児と同じ数値であり、5歳児と15歳児はそれぞれ1歳児と10歳児、10歳児と成人の数値から求めたものと考えられる。</p>	年齢層	各年齢層の摂水量	適用年数	0歳 ≤ 3ヶ月児 < 1歳	1.4 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	1年間	1歳 ≤ 1歳児 < 3歳	1.4 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	2年間	3歳 ≤ 5歳児 < 8歳	1.6 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間	8歳 ≤ 10歳児 < 13歳	1.8 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間	13歳 ≤ 15歳児 < 18歳	2.4 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間	18歳 ≤ 成人 < 70歳	2.65 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	52年間
年齢層	各年齢層の摂水量	適用年数																				
0歳 ≤ 3ヶ月児 < 1歳	1.4 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	1年間																				
1歳 ≤ 1歳児 < 3歳	1.4 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	2年間																				
3歳 ≤ 5歳児 < 8歳	1.6 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間																				
8歳 ≤ 10歳児 < 13歳	1.8 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間																				
13歳 ≤ 15歳児 < 18歳	2.4 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	5年間																				
18歳 ≤ 成人 < 70歳	2.65 × 10 ³ (cm ³ /日) × 365 (日/年)	52年間																				
キーワード																						
参考文献																						
参照サイト	<ul style="list-style-type: none">• IAEA, Safety Series No.81 Procedures and Data "Derived Intervention Levels for Application in Controlling Radiation Doses to the Public in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency" (1986) https://gnssn.iaea.org/Superseded%20Safety%20Standards/Safety_Series_081_1986.pdf• ICRP Publication 23 Report of the Task Group on Reference Man (1975) https://journals.sagepub.com/pb-assets/cmscontent/ANI/P_023_1975_Report_on_the_Task_Group_on_Reference_Man_rev0.pdf																					

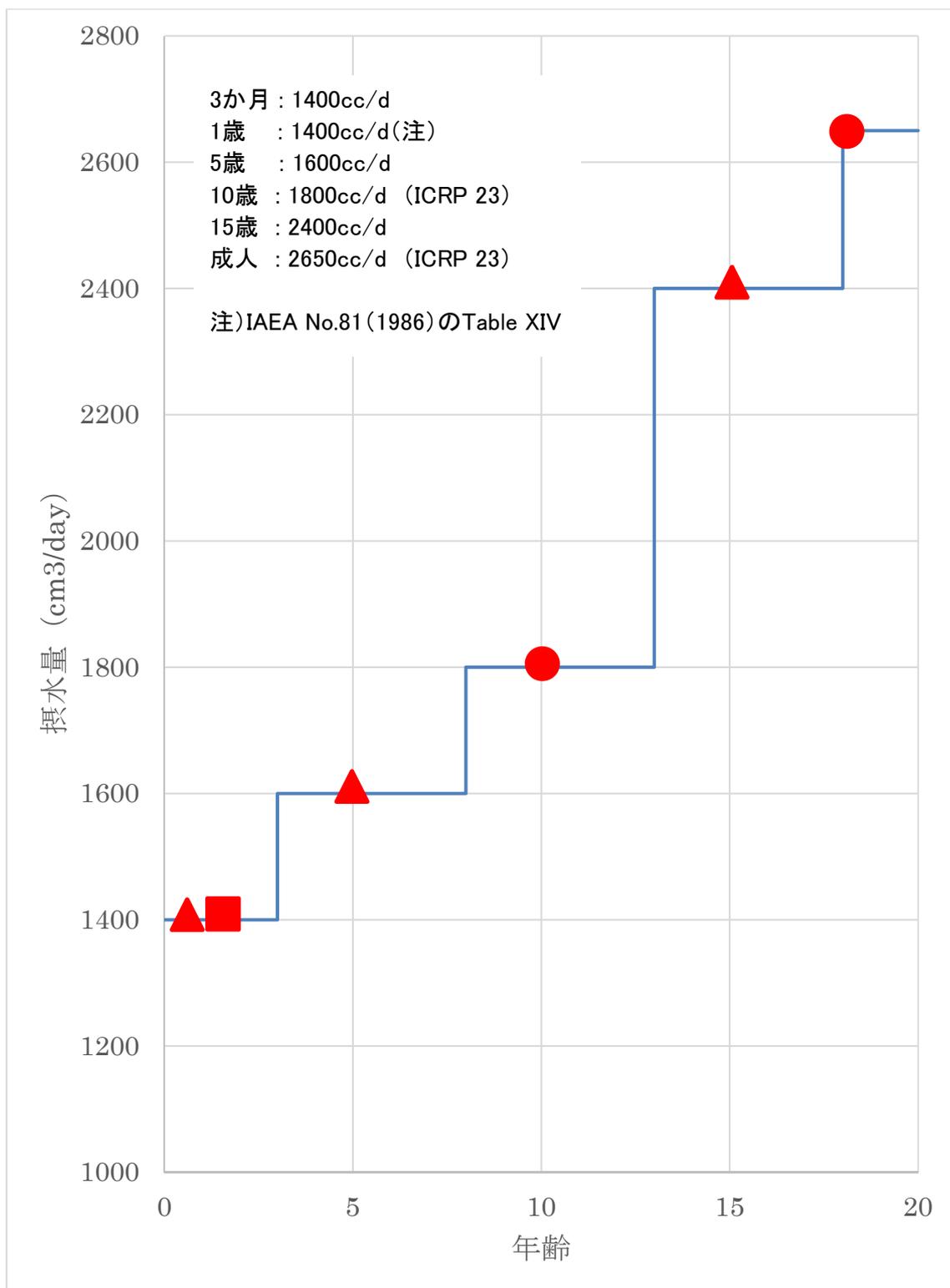


図 1 : 年齢別摂水量

「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」より

令和3年度公表資料集(一般公開されているもののみ)

- ・角山雄一ら、海外の放射線施設の放射線事故に係る最新知見の収集、日本放射線安全管理学会誌 20(2)、68-73 (2021)
- ・桧垣正吾ら、放射線事故が発生した際の放射線施設の緊急時対応の調査と提言、日本放射線安全管理学会誌 20(2)、74-77(2021)
- ・神田玲子、放射線防護分野を元気にするために、保健物理 5(1)、3-4(2022)
- ・令和3年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)事業における放射線防護に関する国際動向報告会の開催について(第153回放射線審議会、令和3年6月23日、報告資料)
- ・放射線安全規制研究戦略的推進事業 成果発表会(令和4年2月14日) 発表資料

海外の放射線施設の放射線事故に係る最新知見の収集

京都大学環境安全保健機構

角山 雄一

自然科学研究機構核融合科学研究所

佐瀬 卓也

国立保健医療科学院生活環境研究所

山口 一郎

広島大学原爆放射線医学研究所

保田 浩志

放射線や放射性物質の不適切な取り扱い、あるいは放射線関連施設管理に関する事故等は、海外においても毎年のように報告されており、中には計画外被ばくを伴う事象も散見される。これらの事故に関する報告の中には、我が国における放射線規制行政の充実向上を目指す上で参照すべき情報も含まれるものと思われる。これまでも海外における放射線関連事故の実態調査が実施されているが¹⁻³⁾、最近の事故事例に関してまとまった調査資料は知られていない。そこで、本ワーキンググループでは、海外における近年の放射線関連事故事例の情報を収集し、我が国における放射線安全管理や放射線規制行政に有益な情報を抽出して分析、その分析結果を共有することを念頭に当該テーマを選択することとした。

1. 知見の収集方法

2000年以降に各国の研究機関や医療施設、産業関連施設などの放射線施設内外で発生した、国際原子力・放射線事象尺度(INES: The International Nuclear and Radiological Event Scale)レベル2以上の放射線安全管理関連事故について、その経緯や事故原因の概要等について調査し、さらに一部の事例については事故の収束に向けた対応等についても情報収集を実施した。尚、核燃関連の事故等については当学会が扱う規制研究の範疇にはないため調査の対象から除くこととした。

2. 得られた知見と考察

2.1. 2000年以降における INES 報告の概要

まずは、海外における近年の放射線関連事故について、その傾向と概要を把握するための情報収集を実施した。INES レベル2以上を該当する国際的な放射線関連事故の情報は、国際原子力機関(IAEA)がインターネット上で公開しており、その情報は常に更新されている(<https://www-news.iaea.org/Default.aspx>)。しかし、このサイトに掲載される情報は直近1年間にに関するものであり、それ以前の情報については示されていない。そこで、オランダのLAKA(LAndelijk Kernenergie Ar-

INES		2020年12月4日時点							
		0	1	2	3	4	5	7	total
欧州	核燃	9	25	48	2				84
	RI	5	68	68	9	2			152
北米	核燃	8	4	8	2				22
	RI	4	18	89	4				115
南米	核燃	4	2	1					7
	RI	6	3	4					13
アフリカ	核燃			1					1
	RI			1		1			2
オセアニア	核燃			1					1
	RI			2	2				4
アジア (日本以外)	核燃	3	8	7					18
	RI	4	14	15	4	1			38
(日本)	核燃 ^{*1}	2		2	6		3	1	14
	RI			1	1				2
total		45	143	248	29	4	3	1	473

*1: 日本の核燃関連INES3以上は、すべて東京電力福島第一・第二原子力発電所事故に関する報告

データ引用元: IAEA-database of nuclear and radiological incidents, the Laka Foundation, Netherland (<https://www.laka.org/docu/ines/>)

図1: 2000年以降における INES 報告件数(核燃・RI 関連/地域別)

chief)財団が公開するデータベース(<https://www.laka.org/docu/ines/>)から2000年以降に発生した事故に関する情報を網羅的に抽出することとした(2020年12月公表分までを対象)。その結果、欧州や北米からの報告が大半を占め(図1)、その多くが INES レベル2であること(図1, 2)、また地域に関わらず「異常被ばく」に関する事故報告が多数を占めていること(図3)などが読み取れた。各事故事例について調査すると、複数の事象においてその発生経緯においていくつかの共通要素が見受けられ、またこれら事象は我が国の放射線安全管理においても十分に参考とすべきものであることが判明した。そこで、これらの事象を以下の4つの課題に分類し、さらなる調査を実施することとした。

- ① 線量・リスク評価に関する課題
- ② インターベンショナルラジオロジー(IVR)従事者の線量限度を超える放射線曝露に関する課題
- ③ 紛失密封線源による被ばく事故に関する課題
- ④ 作業中の非密封 RI 飛散事故に関する課題

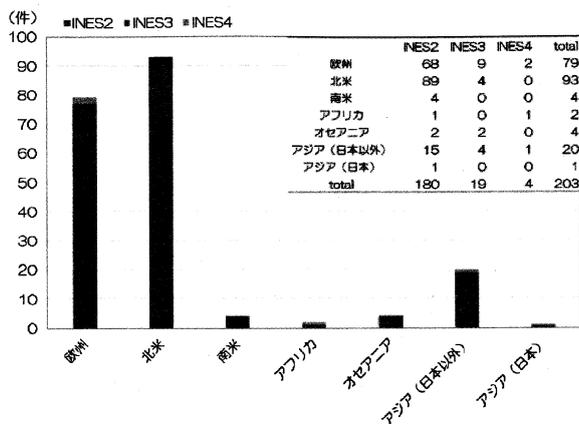


図2：RI 関連施設・INES レベル 2 以上の事故報告件数(地域別)

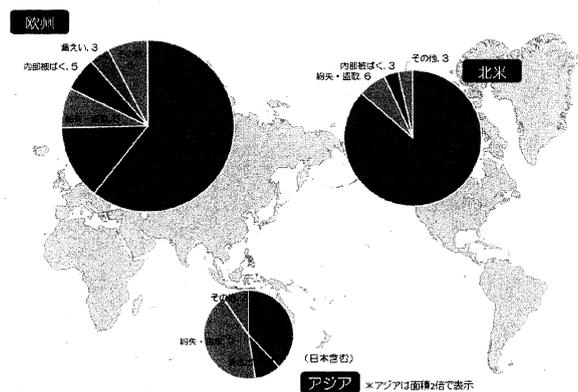


図3：RI 関連施設・INES レベル 2 以上の事故の報告件数(種類別)

2.2 線量・リスク評価に関する課題

海外での放射線被ばく事故において、発生当初に被ばく線量やリスクを過少に評価していたケースは少なくない。初期に当事者を診た医師が、放射線被ばくの可能性に気づかず、将来発現する健康影響を予測できず適切な医学的処置がなされなかったケースも散見される。例えば、1987年9月にブラジル国ゴイアニア市で発生した¹³⁷Cs線源による被ばく事故(INESレベル：5)では、被ばく後に体調に異常を感じて来院した人々を診断した現地の医師は、それをアレルギー反応等と診断して対処していた。当該事故では、それらの症状が放射線被ばくであることが判明するまでに2週間以上を要し、その間に汚染が拡大して被害が増大した⁴⁾。また、1999年2月にペルー国ヤナゴ市で発生した¹⁹²Ir線源による被ばく事故(INESレベル：3)では、最初に被ばく者を診察した現地の医師は、それを虫刺され(insect bite)と診断した⁵⁾。当然ながら、被ばくの実態が認識されなければ、

被ばく線量の評価は行われず、その間に線量の再構築に有用な情報が失われていき、被ばくの実態を正確に把握することが難しくなっていく。

そこで、規制行政に有益な知見を提供していると思われる最近の施設内被ばく事象として、2017年にオーストラリア国で発生した品質管理分析者の手の被ばく事象について取り上げ、そこから学べる教訓を抽出した。2017年8月22日、オーストラリア国の原子力科学技術機構(Australian Nuclear Science and Technology Organisation: ANSTO)傘下の組織「ANSTO Health」の品質管理の分析者(以下「作業員」という)が、日常的な品質管理手順中に皮膚を⁹⁹Moで被ばくする事象(INES 3)が発生した。この事故では、作業員が定められた手順に従って⁹⁹Mo(4.5 GBq, 0.6 ml)を含む溶液が入ったバイアルの圧着シールを外そうとしたところ、誤って落下させ、溶液が飛散したことによって、手の部位が汚染され被ばくを受けたものである。このとき作業員は二重の手袋をしていたが、手袋のみならず手も汚染していた。この事象の発生を受けてANSTOが行った初期の線量評価では、作業員の手の被ばく線量は等価線量で0.85 Svと算出された。これは皮膚への法定等価線量限度(0.5 Sv/年)を超えるレベルであったが、皮膚の確定的影響(紅斑や潰瘍等)のしきい線量を超えるものではなかった。しかし、被ばくから2週間以上経って、作業員の手に紅斑と水泡の発生が認められ、先述の線量評価レベルとの矛盾が生じた。その後、作業員の手に観察された組織反応の状態に係る医学的観察結果等に基づいて、ANSTOにより再度線量が評価され、被ばくした組織の等価線量は10~20 Sv(皮膚への法定年間等価線量限度の約20~40倍)に相当すると評価された。オーストラリア放射線防護・原子力安全庁(ARPANSA)は、規制当局として、ANSTOから提出された報告内容を精査するとともに、独自に調査を実施して、被ばくの状況や放射線障害の症状等から、作業員の被ばくした部位における等価線量は~20 Svと評価することが妥当であると結論付けるとともに、これをINESのレベル3(重大な異常事象)として分類した⁶⁾。一方、ARPANSAは当該被ばく事象の背景にある人的および組織的要因についても分析・特定し、ANSTOに対して、事故現場が適切に保存されておらず個人用防護具の汚染レベルに関する重要な情報が収集されていなかったこと、又、被ばくのリスクが事業者によって十分に理解されておらず適切な対応(線量評価のシステム、被ばく低減策の準備、作業員の教育訓練、ニアミス学習等)が採られていなかったこと等を指摘し、それらに係る指導を行った。

上記のANSTOで起きた事象から得られる主な教訓として、以下の3点を挙げるができることと考える。

- 身体のごく一部(四肢や臀部など)が高い線量を受けた場合、等価線量(組織に付与されたエネルギーを組織

全体の重量で平均化した量を放射線加重係数で補正)を用いると、対象とする組織の体積を広く取れば線量値が小さくなることから、一部の組織の線量レベルを過小に評価する恐れがある。局所的な被ばくに対しては、被ばくした身体部位の吸収線量の分布をできるだけ正確に把握して、リスク(将来起こり得る炎症や壊死などの確定的影響の程度)の予測評価に供することが肝要である。

- 局所的な被ばくが生じた(恐れがある)場合には、痛みや嘔吐などの前駆症状が明確に現れない場合もあり、相当の経験がある医師であっても初期の診断でそのリスクを見逃す可能性がある。こうした場合には、患者の行動や周囲の状況に関する情報を広範に収集して放射線被ばくの可能性を確認し、それに応じた医学的処置(感染症予防や組織移植の準備等)を判断することが望まれる。
- 被ばく事象の発生後、時間が経つにつれ、被ばく状況の検証に要する情報が失われ、線量の再構築が正確に行えなくなる。この問題を防ぐには、事象が発生した時点で、線量評価に有用な情報(現場の写真、モニタリングデータ、関係者の供述/行動記録、衣類や爪など遡及的な線量推定に役立ち得る試料等)をできるだけ詳しく収集・保存し、規制当局や独立した専門機関による遡及的な検証を容易に行えるようにしておく必要がある。

2.3 IVR 従事者の線量限度を超える放射線曝露に関する課題

海外では、IVR 従事者の医療従事者の異常被ばくの報告が INES を利用してなされている(表 1)。一方、国内では、個人線量測定協議会のデータでは年間の実効線量が 50 mSv を超えた労働者がいることが、毎年、示されている。例えば平成 29 年度は 9 名で内訳は一般医療 8 名、獣医療 1 名となっている。皮膚等価線量限度を超えた労働者数は、個人線量測定協議会では公表していないが、長瀬ランダウア社によると令和元年度に皮膚等価線量が 500 mSv を超えた労働者は 4 名で全て医療従事者となっている。また、引き下げ前の眼の水晶体の等価線量限度である年間 150 mSv を超える労働者が厚労省の検討会での資料では平成 29 年度には 7 名おり、うち 6 名は医療従事者である⁷⁾。RI 規制法施行規則第 39 条第 1 項で規定されている報告義務のある計画外被ばくは、2020 年度に医療機関から報告があったが、2.2 で言及した事例とも類似し、PET 薬剤を生成中に 11C が入った小瓶が落下し室内に漏えいした事例である⁸⁾。IVR 従事による事例は本制度の対象外と考えられるものの、電離則第 44 条により事業主は、放射線業務従事者が受ける線量が線量限度を超えたときはその旨を所轄労働基準監督署長に報告しなければならないとされている。しかし、この制

表 1 海外で報告された事例のうち該当する事故。

INES	国	場所	事象発生日	事象名
2	英国	ウエールズにある医療機関	2019年12月31日	IVR 従事者における水晶体過剰被ばく
2	フランス	サン・ドニにあるドラフォンテーヌ病院	2017年10月20日	IVR 従事者における皮膚過剰被ばく

度により報告された線量限度を超えた労働者に関する発表はなく、INES への通報事例も、2021年1月現在公表されていない。

2.3.1 それぞれの事例の詳細

◎事例 1: UK, 2019年 IVR 従事者における水晶体過剰被ばく

管理システムの不具合、個人用防護具(PPE)の誤用、水晶体の等価線量の測定に適さない線量計の使用など、いくつかの不具合が確認された事例である。水晶体における等価線量は推定 25.8 mSv とされている。欧州連合は、欧州基本安全基準 Basic Safety Standards: 欧州 BSS の法制化を加盟国に求めている。このため、IAEA の General Safety Requirements (GSR) part 3 で規定されている眼の水晶体の等価線量限度を 5 年間で 100 mSv を超えないようにすることなどが法的拘束力を持ち、少数の例外となっている国があるものの英国では既に規制に反映済みである³⁾。従事者の PPE 使用の記憶に基づき現実的な仮定で線量が推定された。この事例は英国の安全衛生行政機関によって調査され、現在は不起訴の決定を受けて事件としての扱いは終了している。

◎事例 2: フランス, 2017年 IVR 従事者における皮膚過剰被ばく

2017年の第 1 四半期に、放射線科医の手の被ばくが年間の等価線量限度(500 mSv)を超過した事例である。2018年1月24日、フランス原子力安全局(ASN)はこの事例を検査した。環境法第 125 条の 13 の透明性確保と情報公開の考えに基づき、検査報告書は ASN のウェブサイトに掲載されている。この検査報告書は詳細なもので参考になる。なお、ASN は、多くの利害関係者(AFIB (Association Française des Ingénieurs Biomédicaux), AFPPE (Association française du personnel paramédical d'électroradiologie), G4 (le Conseil National Professionnel de radiologie (4 つの団体から構成されている)), SFPM (la Société Française des Physiciens Médicaux), SNITEM (le Syndicat National de l'Industrie des Technologies Médicales), ANSM (l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé))と協力して、2016年6月13日に、線量最適化機能をよりよく利用できるように、新しい機器を設置する際にオペレータに提供

される訓練を強化することを目的とした勧告を発表している。

2.3.2 国内の事例との比較

個人線量測定協議会などのデータから日本でも線量限度を超過している事例があると考えられる。しかし、線量限度の超過が判明した事例は労災申請がなされたり、勤務時間管理などの問題での労働基準監督署の立入時の調査での判明にはば限られており、データ間で事実関係の乖離がある。線量限度超過の事例に対する調査報告書は日本では公開されていない。ただし、関係学会での取り組みは日本でも進められており¹⁰⁾、行政機関により事業所への幅広い援助もなされている^{11,12)}。また、放射線治療での事故では関係学会による事故調査を踏まえた対策が講じられている¹³⁾。

事例1では事業所の責任を問うかどうかが課題となっていたが、日本では個人線量測定が未実施だとした書類送検事例がある^{14,15)}。放射線管理は線量評価にも基づき行われるが、IVR で用いる X 線は相対的にはエネルギーが低いので素子の装着法によっては、人体での X 線の減弱により線量を過小評価することが考えられる¹⁶⁾。このため、測定会社から注意が促されているが¹⁷⁾、線源利用時にも、線源からの距離が遠くなるために、手背側に装着した素子は手掌側の線量を過小評価する。また日本では指輪タイプの素子は商業サービスではフリーサイズのみとなっており、指が細い労働者では線量が過小評価される可能性がある¹⁸⁾。なお、対策を効果的に行うには資源の機能的な配分も必要となるが、英国では規制整備に向けた規制影響分析がなされていた¹⁹⁾。日本でも行政機関が行う政策の評価に関する法律施行令により規制整備の事前評価が義務付けられており、本件はこの義務付けの対象外ではあるものの経済的な検討が検討会で示された例がある²⁰⁾。

2.3.3 検討から得られた提言

- ・リスクに応じた管理を行い、資源配分を最適化できるように IAEA GSR part3 や IAEA Safety Standards Series (GSG)-7 Occupational Radiation Protection の段階的な放射線管理の規制への導入を目指して関係学会でも検討を進める。また、規制影響分析を行いより機能的な規制整備に役立てる。
- ・各事業所は電離則第44条を遵守する。行政機関は、電離則第44条に基づき報告された事例を集計して INES 通報し、公開する。
- ・報告された事例に対して、専門的な定見を持つ学会など関係機関が協力して、当該事業所の背景も踏まえて課題解決の援助を行う。

表2 Ir-192線源による異常事象または事故の事例(INES 3以上)。

年	国	概要	INES
1971	日本	造船所で使用していた非破壊検査用の線源が脱落し、知らずに拾った作業員と同僚の計6名が外部被ばく。線源に直接接触した者が放射線熱傷を発生した。	3相当
2000	エジプト	40Ciの線源が紛失し、その後に民家で発見される。少なくとも7名が被ばくし、うち2名が死亡した。	4
2014	ペルー	脱落によってガイドチューブ先端に引っかかっていた線源に気づかず、3名の作業員が被ばく。作業員1名の股関節に発赤。推定全身被ばく線量0.5 Gy未滿。	3
2015	イラン	格納ミスによってガイドチューブ内に残った線源を気づかず自動車内に放置。2名が車内にて長時間の被ばく。推定全身被ばく線量1.6~3.4 Gy。	3
2018	イラン	脱落によってガイドチューブ内に残った線源に気づかず、2名の作業員が被ばく。手指の局所放射線障害が発生した。推定全身被ばく線量0.3~0.4 Gy。	3

2.4 紛失密封線源による被ばく事故に関する課題

海外では¹⁹²Ir線源による異常事象または事故が度々発生している(表2)²¹⁾。また、我が国においても INES 導入以前の1971年に非破壊検査装置からの¹⁹²Ir線源の脱落による比較的重大な被ばく事象が発生している^{22,23)}。

これら殆どの事例は、作業後のサーベイを確実にしていれば防げた事象であった。また多くの事例で個人被ばく線量計の未装着がみられ、被ばく線量の正確な評価に手間を要した。高線量率の密封線源の使用に際しては、これらについて徹底することが必須であることがあらためて示唆された。

2.5 作業中の非密封 RI 飛散事故に関する課題

作業者が不安全な操作により飛散した RI 溶液等を被り目や手などを汚染させる事故が世界でも散発的に発生している(表3)。非密封 RI を取り扱う作業に従事する現場において、今後、参考となる対策等がないか調査した。

2.5.1 各事例の詳細と事故後に提示された原因と対策

◎事例1：スイス、2019 ⁶⁸Ga 溶液による眼の汚染

放射性薬剤を取扱う従事者が、ドラフト内で品質管理のため700 MBqの⁶⁸Ga溶液を含む密閉バイアルからサ

表3 作業中の非密封 RI 飛散事故例。

INES	国	場所	事象発生日	事象名
2	スイス	病院の薬剤部	2019年 6月21日	^{68}Ga 溶液の飛沫による眼の汚染
3	オーストラリア	オーストラリア原子力科学技術機構	2017年 8月22日	品質管理分析者(QC Analyst)の手の被ばく

ンプルを取り出す操作を行っていた。バイアルの開口部を注射器で突き刺したところ、液滴が飛び散り右眼を汚染した。作業員は保護眼鏡をかけていなかった。作業終了8分後に目に布をあててから流水で洗眼した。放射線防護担当者が測定を行ったが少量の汚染が検出されたため追加洗浄。眼の水晶体の等価線量は27 mSv と計算された(スイスの線量限度を各年度に単純に割り当てた場合の年間割当値となる20 mSv を超える)。作業員はその後2週間以内に眼科医の診察を受けた。右眼の角膜に軽度のびらんを伴う炎症が認められ人工涙液の定期的な塗布が処方された。なお、4日後の再検査ではこれらの病変の大部分は寛解しており追加のケアやフォローアップは必要ないとの結論に至った。事故後、再発防止のため以下の対策を講じた。：①保護眼鏡の着用を徹底する。②早急な除染を徹底する。③ドラフト内の鉛シールドを人間工学に基づいて調整する。

◎事例2：オーストラリア，2017 品質管理分析者(QC Analyst)の手の被ばく

本事例は1.1.3.2「線量・リスク評価に関する課題」でも取り上げた。事故の経緯についてはそちらを参照のこと。事故後の報告書には、発生原因について、①軽微なトラブルやヒヤリハット事例から効果的に学ぶ仕組みが組織に欠如していた。②作業員の事故時のリスクに関する認識が不十分であった。③当該研究所のマニュアル等において、作業に危険性に対する注意喚起が記載されていない。④作業の安全性に関する訓練は、訓練者の指導能力に過度に依存しており、また訓練の有効性についての検証はなされていなかった。等の分析がなされている⁶⁾。また、中長期的な再発防止策として、①リスク低減のため、従来の作業員の手動による作業を自動化するなど、品質管理工程の見直しを行う。②品質管理サンプル中の放射性物質濃度を低くする。等が提示されている⁶⁾。

以上の事例を俯瞰すると、その発生原因は凡そ共通しており、

- ・作業員が作業中に発生し得るリスクを十分に認知していなかった。
- ・事故が発生する可能性について施設全体として情報を共有しておらず、何ら対策をとっていなかった。

の二点に集約される。事故前にも軽微なトラブルやヒヤリハットが発生しており、飛散や落下等の可能性がありえることが事前に十分想定できたはずである。にもかかわらず作業への慣れ等から作業環境の改善やマニュアルの整備等を怠っていた。

我が国においても常に同様の事故が発生する可能性がある。RI 規制法の施行に伴い、我が国の放射線施設ではヒヤリハット事例から学び、定期的に安全管理体制を更新し続けるといった、いわゆる PDCA の仕組みの導入が始まっている。今後もこのような仕組みの徹底と充実が求められる。

3. 最近の INES 報告事象について

本ワーキンググループが調査対象とした海外事例は、2000年以降に発生し、2020年12月時点までに INES に報告されていた事象(Laka のデータベース及び IAEA の NEWS に掲載された事象)であるが、その後も何件かの異常事象が IAEA の NEWS に掲載されている。それらの中には本調査報告において課題として取り上げた密封線源や非密封線源の取扱いに関する事象も含まれている。例えば、2020年6月、米国テキサス州の化学工場では故障した装置から外れ落ちた ^{137}Cs 密封線源(3.5 GBq)を従業員が単なる部品と思ひ込み、拾ってポケットに入れて持ち運んだために400 mSv 前後の被ばくをするという密封線源による過剰被ばく事象が発生している。また、2020年11月米国ルイジアナ州のパイプ製造会社において発生した事象では、放射線技師が撮像中に誤って ^{192}Ir 線源由来の放射線を過剰に被ばくしている。これも密封線源の取扱いに関する事象である。あるいは、2020年8月、独バイエルンの放射性薬剤研究所において、 ^{177}Lu 製造工程で従業員が使用済みのカニューレを指に刺し、6.7 Sv(保守的に見積もった穿刺部位における皮膚局所線量)の被ばくをするという、飛散によるものではないが非密封 RI の不安全な取扱いに起因する事象が発生している。このように、散発的ではあるものの本ワーキンググループで取り上げた課題に関する異常事象が依然として発生し続けており、日本も含め密封線源及び非密封 RI の取扱いや管理について、安全対策や管理体制強化などが求められるところである。

また、新たに精査すべき課題が本ワーキンググループ調査終了後に顕出している。

2021年5月、我が国の民間製鉄所において社員2名が非正常業務において気づかれないままに X 線を被ばくする事象が発生している(INES レベルは未発表)。線量評価や、被ばくされた方のその後の経過、事象発生の背景などについては調査中とのことであり、その結果の公表が待たれるところであるが、このような X 線の過剰被ばく事象は2020年7月にドイツでも INES2 レベルの事象が2件発生している。喫緊の課題のひとつとして、

これら国内外の事象を精査比較し、X線装置についても異常事象の発生を繰り返さないための防止策等を打ち出して行く必要がある。

参考文献

- 1) UNSCEAR2008年報告, 第2巻, 附属書C「事故における放射線被ばく」
- 2) JERI-Data/Code 98-023 「国際原子力事象尺度(INES)に基づく事故・故障事例集:和訳版」, 日本原子力研究所, 1998年9月
- 3) 平成19年内閣府委託事業「放射性物質の輸送に関する実態及び放射線源に関する事故事象の調査」別冊「放射性物質及び放射線の関係する事故・トラブル 国内・海外事例データベース」, 原子力安全技術センター
- 4) International Atomic Energy Agency (IAEA). The Radiological Accident in Goiania. STU/PUB/815, IAEA, Vienna, 1988.
- 5) International Atomic Energy Agency (IAEA). The Radiological Accident in Yanango. STU/PUB/1101, IAEA, Vienna, 2000.
- 6) Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA). Report to Parliament—Radiation exposure of a worker at ANSTO Health, Lucas Heights on 22 August 2017. <https://www.arpansa.gov.au/about-us/corporate-publications/reports-parliament/report-parliament-radiation-exposure-worker-ansto> (accessed on 5 February 2021) (閲覧日 Oct. 25, 2021)
- 7) 厚生労働省: 眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会報告書, 2019.
- 8) 原子力規制委員会: 原子炉等規制法または放射性同位元素等規制法に基づく報告, 2020. Available from: https://www.nsr.go.jp/activity/bousai/trouble/houkoku_new/220000042.html (閲覧日 Oct. 25, 2021)
- 9) 樺田尚樹: 不均等被ばくを伴う放射線業務における被ばく線量の実態調査と線量低減に向けた課題評価に関する研究, 労災疾病臨床研究事業費補助金研究報告書, 2019.
- 10) 医療分野のガイドライン作成委員会. 医療スタッフの放射線安全に係るガイドライン～水晶体の被ばく管理を中心に～, 2020. Available from: <https://www.kyoto-msc.jp/news/suishoutai2020/> (閲覧日 Oct. 25, 2021)
- 11) 厚生労働省安全衛生部労働衛生課電離放射線労働者健康対策室. 被ばく線量低減設備改修等補助金事業, 2020. <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11628248/www.jsrt.or.jp/data/news/42641> (閲覧日 Oct. 25, 2021)
- 12) 電離放射線労働者健康対策室厚生労働省労働基準局安全衛生部労働衛生課. 放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業, 2020. Available from: https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/roudoukijun/anzen/0000186714_00003.html (閲覧日 Oct. 25, 2021)
- 13) 放射線治療品質管理機構: 2001年-2004年に公表された放射線治療における誤照射事故の調査報告のまとめ, 2020.
- 14) 労働新聞社. 北海道労働局, 被ばく測定せず送検医療法で電離則違反, 2012. <https://www.rodou.co.jp/news/81887/> (閲覧日 Oct. 25, 2021)
- 15) 労働新聞社: 放射線基準値超える被曝で送検保護具付けず30年間土浦労基署, 2019
- 16) 山口一郎, 大西世紀: 放射線診療における手指の不均等被ばく線量の推計, 日本保健物理学会第39回研究発表会要旨集, 2005
- 17) 株式会社千代田テクノ: ガラスバッジサービス取扱説明書, 2021
- 18) 山口一郎, 南佑子, 塚本豊浩, 中井康博, 三宅実, ゴンザレスクリーゼル, et al.: スペシャルニーズ歯科での放射線管理, 第53回日本保健物理学会研究発表会講演要旨集, 64, 2020
- 19) The Health and Safety Executive: Implementation of the occupational exposures elements of the Council Directive 2013/59/Euratom laying down the basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation—The Ionising Radiations Regulations [Internet], 2017. https://www.legislation.gov.uk/ukia/2017/161/pdfs/ukia_20170161_en.pdf (閲覧日 Oct. 25, 2021)
- 20) 樺田尚樹: 眼の水晶体の等価線量限度を意見具申どおりに見直す際の留意事項, 第2回 眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会資料, 2019.
- 21) M. H. Shabon: “Heath Effects Sequence of Meet Halfa Radiological Accident After Twelve Years”, XI Radiation Physics & Protection Conference, p.351-365, Nasr City-Cairo, Egypt, 2012
- 22) ATOMICA: 千葉市におけるイリジウムによる放射線被ばく事故(09-03-02-11) https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-03-02-11.html (閲覧日 Oct. 25, 2021)
- 23) 文部科学省: 非破壊検査装置イリジウム192の盗難に対する対応. <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/bougo/siryo/bougo12/siryo12-1.pdf> (閲覧日 Oct. 25, 2021)

放射線事故が発生した際の放射線施設の緊急時対応の調査と提言 WG 報告書

東京大学アイソトープ総合センター

桧垣 正吾

北海道大学アイソトープ総合センター

久下 裕司

京都大学医学部附属病院

志水 陽一

東京工業大学放射線総合センター

富田 悟

聖マリアンナ医科大学大学院アイソトープ研究施設

廣井 朋子

東京ニュークリア・サービス株式会社

古澤 哲

はじめに

日本放射線安全管理学会では、令和2年度に原子力規制庁の放射線安全規制研究戦略的推進事業の一部を成す「放射線影響分野における放射線防護対策の推進に関する調査と提言ならびに放射線防護人材の確保・育成に関連する業務」の業務の一部を請け負い、その業務を円滑に遂行することを目的として、学会内に「放射線施設の放射線事故に係る最新知見の収集 WG」と「放射線事故が発生した際の放射線施設の緊急時対応の調査と提言 WG」の2つの小委員会を設け、関連する知見の効率的な収集に取り組んだ。このうち、後者の本 WG では、国内の法令報告事象を対象として、原子力規制庁が web で公開している事業者から提出された情報から、これらの原因や対処における問題点を明らかにし、各事業所の放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルに、事態を想定した対応を予め準備するよう提言をまとめることを目的とした。

委員の構成は以下の通りであった。

WG 長：桧垣正吾，委員：久下裕司，志水陽一，
富田 悟，廣井朋子，古澤 哲

実施方法

本 WG では以下のように調査活動を行った。

1. 原子力規制庁 web サイトに公開されている法令報告事象に該当する事故トラブル情報¹⁾、また危険時の措置の届出のうち、2013年4月から2020年11月までの29件について、事業者の報告書を精査し、類型ごとに分類して事故の原因や対応に関する問題点を抽出した。表1に概要の一覧を示す。
2. 法令報告事象に該当する事象を、以下のように通常の管理業務で「予防(発生を制御)できそうなもの」、

「予防(発生を制御)できないもの」に分類した。

予防できそうなもの：計画外被ばく，所在不明，漏水，汚染の拡大を含む漏洩

予防できないもの：悪意のある盗取，墜落による所在不明，線源製造上の不具合を含む漏洩，火災

3. 事故トラブル事象のうち、類型ごとの代表的な、すなわち多くの放射線施設で起こりうる可能性のある問題点8点を4件の事例から抽出した。これらの問題点について、WG 委員が所属する放射線施設で事前に整備されている放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルのままで、「予防できそうなもの」については予防方法は十分か、「予防できないもの」については問題なく対処することは可能かを確認した。また、WG 委員だけではなく、会員有志の協力を募るため、アンケート調査を行った。
4. 予防方法が十分ではない、あるいは対処できないとの回答が多い事項は、同じ事象が起こった際に対応が不十分となる可能性が高いことを意味する。そのため、放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルに、事態を想定した対応を予め準備するよう提言をまとめた。

また、第19回学術大会で中間報告として上記3.時点までの活動内容についての報告を行い、アンケートへの協力を呼びかけた。第17回 JRSM 6月シンポジウムにて最終報告を行った。

調査結果

調査に使用した4件の事例の概要および抽出した問題点8点を以下に示す。

1. 非密封 RI の所在不明(2017年12月21日発生，企業)
概要：滅菌処理後，保管廃棄するまでの間に，保管中

表1 原子力規制庁 web サイトに公開されている RI 法に関する事故・トラブル情報の概要.

No.	事業所	類型	発生日	最終報告日	備考
28	企業(消防設備点検)	所在不明	2020/11/30	2020/12/10	表示付認証機器 Cs-137
27*	病院	計画外被ばく	2020/11/27	2020/12/7	PET 検査用 C-11線源の漏洩
26	公立大学(病院)	所在不明	2020/6/10	2020/6/17	シード線源 I-125
25	企業(研究・測定器製造)	所在不明	2019/12/16	2020/4/30	表示付認証機器 Cs-137
24	企業(研究)	火災による漏洩(疑い)	2019/9/3	2019/9/13	表示付認証機器 Ni-63(ECD)
23	国立大学(研究)	所在不明	2019/8/21	2020/5/11	表示付認証機器 Co-57
22	企業(非破壊検査)	計画外被ばく	2019/4/24	2020/5/7	非破壊検査作業時
21	企業(空港)	所在不明	2019/4/10	2019/4/22	表示付認証機器 Ni-63(爆発物検査装置)
20	企業(研究)	管理区域外漏洩(排水)	2018/12/11	2020/4/27	
19	企業(消防設備)	所在不明	2018/12/5	2020/5/19	表示付認証機器 Cs-137
18	自治体(消防ヘリ)	墜落による所在不明	2018/9/20	2018/11/9	密封線源 H-3
17	自治体(警察)	破損による漏洩	2018/9/7	2018/9/13	密封線源 H-3
16	企業(航空機)	漏洩(線源製造上の不具合)	2018/7/2	2018/9/28	密封線源 Kr-85
15	自治体(消防ヘリ)	墜落による所在不明	2018/5/14	2018/5/24	密封線源 H-3
14	企業(製造)	誤廃棄による所在不明	2018/4/27	2018/9/20	特定表示付認証機器用の線源 Am-241
13	企業(研究)	所在不明(マウス死骸)	2017/12/21	2018/5/23	
12	国立大学(研究)	管理区域外漏洩(排水)	2017/10/13	2018/5/31	
11	自治体(警察)	所在不明	2017/10/18	2017/10/26	密封線源 H-3
10	企業(研究)	所在不明	2016/5/16	2017/1/27	表示付認証機器 Ni-63(ECD)
9	企業(消防設備)	盗取	2016/4/21	2017/2/6	表示付認証機器 Cs-137
8	国立大学(研究)	管理区域外漏洩(排水)	2016/3/15	2016/3/25	
7	企業(建設)	所在不明	2015/6/2	2015/10/8	表示付認証機器 Co-60, Cf-252
6	企業(建設)	所在不明・盗取	2014/12/25	2015/3/31	表示付認証機器 Co-60, Cf-252
5	企業(ECD洗浄)	管理区域外漏洩(汚染)	2014/12/24	2016/6/3	Ni-63, H-3
4	国立大学(研究)	管理区域外漏洩(持ち出し)	2014/3/24	2014/9/30	
3	国立大学(研究)	管理区域外漏洩(排水)	2013/12/19	2014/4/1	
2	公立大学(研究)	破損(経年劣化)による漏洩	2013/10/29	2014/3/20	密封線源 H-3
1	国 研	管理区域外漏洩	2013/5/23	2013/8/12	大型加速器

* その後の線量評価で法令報告事象に該当する線量を超えないことが判明

の ^{14}C 投与動物死体を紛失。他の動物サンプルと共に処理されたと考えられた。

問題点①：保管中の動物死体および動物乾燥用金属カゴを定期的に在庫確認する仕組みがなく、RI 管理上、使用中である動物死体を一時的に冷凍庫へ保管あるいは冷凍庫から持ち出す際に、記録を残していなかった。

2. 表示付認証機器の所在不明(2019年12月16日発生、企業)

概要：放射線量率標準ガンマ線源 ^{137}Cs の所在不明。

問題点②：管理手順書がない，出入庫の記録がホワイトボードへのメモ程度しかなく，装備機器の説明書にあった専用容器への収納，施錠付き金庫への収納が行われ

ていなかった。

3. 破損(経年劣化)による漏洩(2013年10月29日発生，大学)

概要：保管していたトリチウム密封線源から汚染が拡大した。

問題点③：古い線源から経年劣化によりトリチウムを含む金属が剥落，あるいは，吸蔵合金から常温でのゆっくりとしたガス状トリチウムの放出があったため，線源に対する情報の不足と認識の誤りがあった。また，密封線源から汚染が発生すること自体が異常事態であったが，密封線源施設，通報判断基準に対する認識の誤りがあり，異常事象に対する行動基準が整備されていなかっ

表2 委員および会員有志の施設における検討結果の取りまとめ。

	①投与動物の使用記録	②表示付認証機器の管理	③密封線源に対する認識	④線量率測定	⑤非密封 RI の使用記録	⑥情報公開	⑦管理体制	⑧主任者の代理者
対応できる	5	7	7	11	11	9	11	11
どちらとも言えない	3	2	4	3	3	3	2	3
対応できない	2	3	3	1	1	3	1	1
該当しない	6	4	2	—	—	—	—	—
対応できる割合(%)	50	58	50	73	73	60	79	73

た。

4. 火災(2016年7月1日発生, 大学病院)

概要: 管理区域内で実験用のヒーターから火災が発生。緊急時対応について安全管理体制の問題等が指摘された。詳細は第14回 JRSM12月シンポジウムのプロシードィングス²⁾などを参照されたい。

問題点④: すぐに正しい線量率を測定できるか。

(注) 消防は、高い線量を想定して電離箱式サーベイメータを持参することがある。ただ、線量が $1\mu\text{Sv/h}$ 未満と低い場合には有意な値が計測されない。この例では $0.5\mu\text{Sv/h}$ が計測された。数字だけ見るとバックグラウンドの10倍の線量があるように見え、正しくない数字だけが一人歩きし、混乱をもたらす可能性がある。

問題点⑤: 非密封 RI 使用記録の作成は本当にいつも十分なされているか。

(注) 使用記録と、実際の使用との不整合があった。

問題点⑥: すぐに情報公開ができる体制にあるか。

(注) 使用していた核種・数量の把握ができず情報公開が遅れた。その結果、規制庁への通報・近隣住民への説明(情報公開)が遅れた。

問題点⑦: 管理組織体制は適切か。

(注) 火災があった施設の場合、建屋の管理、RI 室の管理、放射線取扱主任者の部局がバラバラであったため、緊急時に情報共有が遅れ組織としての対応が難しかった。

問題点⑧: 放射線取扱主任者の代理者は設定されており、連絡体制が整っているか。

(注) 火災時、主任者は短期出張のため不在で、代わりの対応者が決められていなかったため、規制庁への連絡が遅れた経緯がある。

委員およびアンケートによる会員有志の施設において検討結果を取りまとめたものを表2に示す。なお、施設によっては、当該線源を所持していない等の理由により無回答の設問がある。そのため、件数の合計は一致しない。

提言

上記の結果より、対応できるとの回答の割合が低かつ

た点、すなわち、放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルに、事態を想定した対応を準備するよう提言すべき項目を順に示す。

- ① 投与動物の使用記録
- ③ 密封線源に対する認識
- ② 表示付認証機器の管理
- ⑥ 情報公開

具体的な提言は以下の通りとなる。

1. 非密封 RI では、その全ての使用を追うために適切な記録が残されているか、盲点となっている取り扱いはないか、記録を付けるユーザーに周知が徹底されているか、を確認することが必要である。
2. 密封線源では、線源の健全性が保たれなくなったことによる汚染拡大が起こりうる。定期的に漏洩の有無を確認することが必要である。また、発生した場合の対処について通報判断基準を含めて定めておく必要がある。
3. 認証付装備機器は、法令の規制が緩やかなため管理が手薄になりやすい。装備機器の説明書に従い専用容器への収納、施錠付き金庫への収納が行われていることを確認することが必要である。また、使用する者や管理する者の全てが、線源に対する正しい認識を持つことが必要である。
4. 速やかな情報公開は、事故の対処として必須である。多くの事業所では Web サイトを利用した情報公開が行われると想定されるが、ネガティブな事象であっても必要な情報が速やかに公開が出来るよう、予め担当者と相談しておくことが必要である。

まとめ

上記の提言は、規制側ではなく事業所側に向けたものである。放射線に関する事故に対する対応が上手いかわからない事態が多発した場合、規制側では規制を強化せざるを得ないとの風潮になることが想定される。過度な規制に繋がらないよう、全ての事業所において事故の予防に努め、また、適切な対応ができるよう自主的な管理体制を見直す必要があると考えられる。

謝辞

アンケートにご回答くださった本学会会員有志の方、
本 WG の報告書を査読いただいた一般社団法人日本放射線影響学会の会員有志の方にお礼申し上げます。

- 2) 角山雄一：6-2 管理区域火災時の対応—事故報告(第14回 JRSM12月シンポジウム), 日本放射線安全管理学会誌, 17 (1), 84-86, (2018).

文 献

- 1) 原子力規制委員会 HP 「原子炉等規制法または放射性同位元素等規制法に基づく報告」.

<https://www.nsr.go.jp/activity/bousai/trouble/houkoku/> (閲

覧日：Aug. 20, 2021).

巻頭言



放射線防護分野を元気にするために

神田 玲子*1

私が所属する（国研）量子科学技術研究開発機構の量子生命・医学部門では、がん死ゼロ健康長寿社会実現に向けた「量子医学・医療」と安全・安心な社会実現に向けた「放射線安全」に関する研究開発を行っています。放射線医学の両輪とは言われますが、前者に比べて後者は地味な研究分野で、「戦略的・革新的」よりも「淡々・粛々・着実に」といった修飾語が似合います。そんなところが私は性に合っているのですが、それでも論文を書いてもインパクトファクターが低いと言われたり、社会から「胡散臭く」思われているのでは、と不安になって落ち込んだりします。

言わずもがなではありますが、放射線利用と放射線被ばくの現場の数だけ放射線防護のニーズはあります。例えば、患者さんと医療従事者の放射線防護がしっかり行われない医療現場では、放射線の医学利用は制限され、医療レベルが大きく後退することになります。このように、放射線防護が持つ社会的責務や影響度は大きいと思っています。しかしこれからも「淡々・粛々・着実に」「縁の下の力持ち」を続けているだけでは、社会からの評価は変わりません。その結果、中堅や若手研究者が放射線防護を魅力の乏しい研究分野と認識して、どんどん元気がなくなることを危惧しています。

そこで、放射線防護の研究者が、研究分野としての放射線防護を自ら活性化する方策を2つご提案したいと思います。

一つは、これまでも多くの先生がおっしゃっていることですが、外に意識を広げて、自然科学の基礎から応用、人文科学、社会学、法学などさまざまな視点からの考え方や意見を交えながら議論していくことです。その場合のアプローチは、放射線防護分野に他分野の専門家に参加してもらう、あるいは放射線防護の専門家が他分野に出向くの2択となります。今、「コロナ感染」「生殖医療」「自動運転」「AI」といった喫緊のリスクや新興リスクがいろいろあって、人文科学、社会学、法学の専門家が議論したい/しなくてはいけない問題が目白押しです。放射線防護に関心を持ってくれる専門家もいるでしょうが、さほど多くはありません。そこで、ぜひ若手や中堅研究者には、本学会の中に議論の場ができるのを待たず、上記のような放射線以外のリスクにも関心を持ち、議論に加わり、学んだことを放射線防護に持ち帰っていただきたいと思います。

もう一つの活性化の鍵は、放射線防護が社会から見える存在になることにあります。放射線防護方策の決定に、ステークホルダーの合意形成が必要な場面が増えています。こうしたリスクコミュニケーションやステークホルダー会合の場には、通常専門家が参加しますが、他の分野では専門家の関与がまずくて合意形成がうまくいかなかったという例もあります。これは、学術コミュニティ内で十分検討していない段階で専門家個人が対応せざるを得なかったことによります。またテーマによっては、当学会だけでなく、関係する学会が連携してより包括的な議論が必要になることもあります。

私は、平成29年度から原子力規制委員会委託事業として、放射線防護関連学会のネットワーク形成を実施し（通称、アンブレラ事業）、放射線防護の喫緊の課題の解決にふさわしいネットワークをつくりながら、放射線防護のアカデ

*1 量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所副所長

ミアと放射線利用の現場をつなぐ活動をしてきました。アンブレラ事業の名前の由来は、放射線防護関連学会等の連合体である「放射線防護アカデミア」、緊急時対応人材の確保をめざす「緊急時放射線防護検討ネットワーク」、職業被ばくの国家線量登録制度構築を目指す「職業被ばくの最適化推進ネットワーク」が独自に活動しつつ、一つの傘（アンブレラ）の下で連結したことによります。

この5年間の活動を通じて、先に記した2つの活性化方策のベースづくりができたと思っています。Webinarや国際動向報告会には多くの方が関心を持って参加くださり、情報共有に効果的であることがわかりました。また、連携には複数団体による合同委員会や団体からの推薦者から成るワーキンググループを、協調には様々な立場や考え方の人が参加する課題解決型ネットワークを設置し、中立的な検討の場とすることが効率的であるということがわかりました。さらに日本リスク学会の活動にアンブレラ関係者が参加し、異分野の研究者や非専門家、海外の専門家と一緒に、原子力災害の防護方策の意思決定に関する検討を進めるという経験もしました。

こうした実効性の高い仕組みづくりや経験の蓄積にあたり、本学会をはじめ多くの専門家の協力をいただきました。また原子力規制委員会からも有形・無形のご支援をいただきました。今後もアンブレラ事業の成果を活用かつ継承し、放射線防護分野の活性化に繋げていくことができればと思っています。

神田 玲子（かんだ れいこ）

東京大学理学部生物学科動物学教室卒業，東京大学大学院理学系研究科博士課程修了，量子科学技術研究開発機構放射線医学研究所副所長。UNSCEAR 日本代表代理，日本学術会議第二部（生命科学）幹事，放射線審議会委員，疾病・障害認定審査会委員などを歴任。

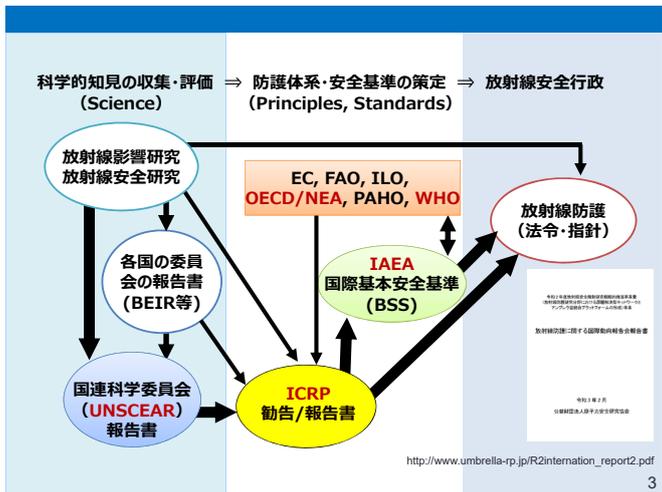
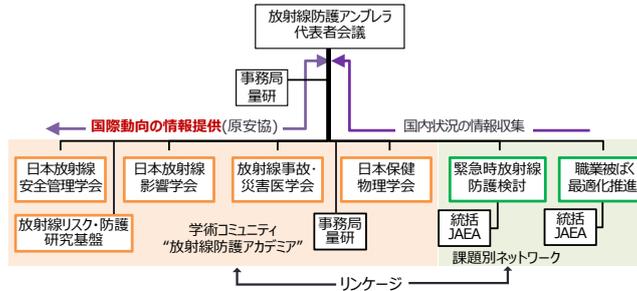
令和2年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費（放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成）事業における放射線防護に関する国際動向報告会の開催について

令和2年度放射線防護研究ネットワーク形成推進事業
『放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成』（放射線防護アンブレラ事業）

ネットワーク代表者 量子科学技術研究開発機構 神田玲子

アンブレラ事業の概要

分野別の組織と課題別に組織されたネットワークを統合し、アンブレラ型プラットフォームを形成。当面の課題として、①放射線安全規制研究の重点テーマ、②緊急時対応人材の育成、③職業被ばくの最適化、に関する検討を実施
アンブレラ内の情報共有を目的として、年に一度放射線影響・防護に関係する**国際的機関等の動向に関する報告会**を開催する。



第4回 国際動向に関する情報共有のための報告会

日時 令和3年1月8日（金）13:00~17:00
形式 「Zoomウェビナー」によるライブ配信（一般参加者 100名）
テーマ 放射線防護の基礎となる放射線リスク評価に関する国際動向

時間	内容
13:10~13:15	開会 高山 研（原子力規制庁）
13:15~13:30	講演「UNSCEAR におけるリスクに関する検討状況」 講師：川口 勇生（量子科学技術研究開発機構）
13:30~13:45	講演「ICRP 第1専門委員会における検討状況」 講師：酒井 一夫（東京医療保健大学）
13:45~14:00	講演「米国放射線防護審議会(NCRP)での放射線リスクに関する最近の検討状況」 講師：浜田 信行（電力中央研究所）
14:00~14:15	講演「IAEA 放射線安全基準委員会(RASSC)における最近の検討状況」 講師：荻野 晴之（原子力規制庁）
14:15~14:30	講演「OECD/NEA 放射線防護・公衆衛生委員会(CRPPH)における最近の検討状況」 講師：本間 俊充（原子力規制庁）
14:40~16:55	パネルディスカッション「放射線リスク評価に関する国際動向」 ファシリテーター：甲斐 倫明（大分県立看護科学大学） パネリスト：上記の講師/佐藤 達彦（日本原子力研究開発機構） 伴 信彦（原子力規制委員会）/神田 玲子（量子科学技術研究開発機構）
16:55~17:00	閉会 高橋 知之（京都大学、アンブレラ事業PO）

国際放射線防護委員会（ICRP）の活動状況（1）

主委員会からの報告

- 2020年末に刊行されたPublication
・Publ.146 Radiological Protection of People and the Environment in the Event of a Large Nuclear Accident
- 2021年に刊行されたPublication
・Publ. 147 The Use of Dose Quantities in Radiological Protection
・Publ. 148 Radiation Weighting for Reference Animals and Plants
・ICRU Report 95 Operational Quantities for External Radiation Exposure Prepared jointly with ICRP
- 今後刊行予定
・Detriment Calculation Methodology
・Cancer Risk from Exposure to Plutonium and Uranium

現在25のタスクグループが活動しており、日本からはのべ27人の専門家が参加している（2021年1月現在）



国際放射線防護委員会（ICRP）の活動状況（2）

第1専門委員会（影響）からの報告

- タスクグループ（TG）による検討事項
・TG64 プルトニウムおよびウランによるがんリスク
・TG91 低線量・低線量率放射線によるリスク
・TG99 標準動物・標準植物モニタリング
・TG102 デトリメントの算定の方法論
・TG111 放射線感受性を制御する個人的要因
・TG115 宇宙飛行士の放射線防護に係る線量とリスクの評価

第2専門委員会（線量）からの報告

- 最近刊行されたPublication
・Publ.141 Occupational Intakes of Radionuclides: Part 4. ランタノイド・アクチノイドの線量係数
・Publ.143 Paediatric Computational Reference Phantoms
・Publ.144 Dose Coefficients for External Exposures to Environmental Sources
・Publ.145 Adult mesh-type reference computational phantoms.
- 主な議論
・OIR Part 5(職業被ばくの残り全ての核種)がPublic Consultationまで進んだ(2021年1月15日まで)
・X線イメージングに対する線量係数を評価するTG113を第3専門委員会と共同で立ち上げられた

第4専門委員会（適用）からの報告

- タスクグループ（TG）による検討事項
・TG97 浅地中での放射性廃棄物の処分。報告書ドラフトは主委員会の査読者のコメントを受け修正中
・TG98 レガシーサイトからの被ばく
・TG109 (第3専門委員会と共同) 医療分野に放射線防護における倫理
・TG110 (第3専門委員会と共同) 獣医療における放射線防護
・TG114 放射線防護体系におけるReasonablenessとTolerability

各国際機関におけるリスクに関する最近の検討状況 (1)

リスク：(放射線に関連した)健康影響の文脈では、リスクとは、ある期間(例えば、被ばく後の残りの人生)に関心のある事象(例えば、がんの発症など)が起こる確率(すなわち、前向きなもの)を意味する。リスクは、以前に被ばくした集団における疾病率の疫学的調査から得られた証拠を用いて推定することができる(すなわち、過去の観察に基づく)。このようなretrospectiveな分析の結果は、線量反応関係に関する直接的な疫学的データが得られない異なる集団を含む他の被ばく状況のリスクを推論するために、適切な修飾因子および調整因子を用いて使用されることが多い。【UNSCEAR 2012年 報告書用語集】。

原子放射線の影響に関する国連科学委員会 (UNSCEAR)
 2012年報告書において、放射線と健康影響の帰因性やリスク推論についてレビューを実施。
 ・現在の被ばくから将来的なリスクを予測する場合：科学的手法で検証可能なリスク推定と、条件付きのリスク予測を区別することを推奨。
 ・リスク推定や他の集団でのリスク予測について、様々な不確実性が存在するため、評価の際には不確実性について明示し、検討材料として提供することが重要との見解を表明。

国際放射線防護委員会 (ICRP) 第1専門委員会
 放射線の作用のメカニズムと確率的影響の誘発のリスクを検討。次期基本勧告を見据えた構成要素の整備が進んでいる。
 ・フルトウラムおよびウラン等、α核種のがんのリスクの検討：報告書にパブリックコメントを反映中。
 ・低線量や低線量率の放射線によるリスク推定：報告書が完成し、第1専門委員会内で共有中。
 ・予備的検討中のテーマは、放射線による循環器疾患、子孫への影響および継世代影響、異なる線種の影響、デトリメント算定のためのパラメータの検討の4つである。

各国際機関におけるリスクに関する最近の検討状況 (2)

米国放射線防護審議会 (NCRP)
 2018年以降、LNTモデル/仮説の疫学的観点から更新したコメントリーや、中枢神経系への宇宙放射線影響に関する報告書を刊行。
 ・循環器疾患に関して、ICRP (2011年)は、しきい線量を線量率によらず約0.5 Gyと勧告したが、NCRPは0.5Gy以下でのリスクは不明と判断している。
 ・医療従事者、原子力作業員、工業放射線技師、核兵器実験作業員など、31コホートを対象としたがん/非がんの疫学調査(「100万人研究」)は、数年以内に各コホートの解析が終了予定。

国際原子力機関 (IAEA) 放射線安全基準委員会 (RASSC)
 放射線安全に関する国際会合や個別安全指針の議論において、科学的根拠に基づくリスクをベースにした資源配分(グレーデッドアプローチ)などを検討。
 ・LNTモデルは低線量領域で選択的に放射線の規制をするために長年にわたって有効に機能してきた。しかし、仮説ではなく科学的事実であると信じて誤用されることにより問題が生じていると指摘。
 ・ラド線量換算係数に関しては、ICRPが2018年に発表した10 mSv/WLMを支持。一方、2019年にはUNSCEARが5.7mSv/WLMを発表。

経済協力開発機構原子力機関(OECD/NEA)放射線防護・公衆衛生委員会(CRPPH)
 リスクコミュニケーションや最適化のための合理性の議論の中で、放射線リスクを検討
 ・2019年、公衆とのコミュニケーションにとって適切なリスクの指標が議論された。
 ・被ばくの最適化は、多くの場合放射線防護方針に焦点が絞られ、残留被ばくの最小化になっていると指摘。
 ・最適なwell-beingの達成に焦点を当てた防護の最適化が必要であり、それには多様なリスクと便益のパラメータをツール開発が必要と判断。

パネルディスカッション「放射線リスク評価に関する国際動向」

- ✓ 目的：最近の動向を踏まえ、今後どのような分野で知見が変わる可能性があるのか、また我が国での期待される取組みについて、それぞれ研究や規制の観点から意見交換を行う。
- ✓ ファシリテーターが6つのテーマを提示し、テーマごとに議論
- ✓ 質疑応答機能を用いた一般参加者からの質問・コメントも受付



パネルディスカッションのテーマ	キーワード
1. 低線量・低線量率のがんリスク評価	DDREF：疫学と動物実験の差異、線量率効果と低線量効果の区別
2. がんリスクの修飾因子	デトリメント評価での治療率の考慮、自然罹患率が異なるのに世界平均に均する意味
3. ラドン・子孫核種の線量評価とリスク評価	ICRPの線量評価手法の変更、ICRPとUNSCEARとの線量換算係数の違い
4. 不確かさ、リスク推定とリスク予測	不確かさの原因の区別、その上での防護のための単純化、真の値の継続的追及
5. Graded approach、合理性、規制免除	ReasonablenessやWell-beingという概念
6. リスクコミュニケーション	線量やリスクを伝えるための手法開発と汎用性(誰向け、どの国にとって適当か)

(参考) パネルディスカッション「放射線リスク評価に関する国際動向」の要点 (1)

- テーマ1：低線量・低線量率のがんリスク評価
 - ✓ 疫学と生物学の統合に向けて、動物実験と人間の疫学データに関する情報共有が行われている。
 - ・放射線防護に関心のある線量率や線量での動物実験のデータの見直し結果からは、DDREFとしてあまり大きな値が報告されている。
 - ・疫学データの解析は線量率効果(DREF)と低線量効果(LDEF)に分けて議論されている。慢性被ばくのデータ(例：マヤック)からは、DREFが2を超えるような疫学情報は少ない。
 - ・DREFは生物データを基礎として、2よりも大きい数値が示唆されていたが、ICRPのTGによる発がん実験データと疫学データの分析からは、2を超える値を示す情報は少ない。日本の研究者グループは、環境研と放医研の動物実験のデータのフル解析の結果、DREFを3と推定した。
- テーマ2：がんリスクの修飾因子
 - ✓ デトリメント評価ではがんの致死性が考慮されているが、がん治療により治療率が向上している。従来、疫学のエンドポイントはがん死亡であったが、現在原爆調査でもがんの罹患のデータが主流。放射線リスク評価に罹患のデータが用いられ、デトリメント評価にはがんの致死率を加えている。
 - ・被ばくしていない集団のベースラインの罹患率が重要になってくる。ベースラインの健康統計の充実度は国によって異なる。現在は充実した地域のデータが活用されており、今後はデータを世界で平均化するこの意味を考えると重要
 - ・規制の観点からは、線量限度を設定する上でDDREFは複数ある考慮すべき要素のあくまで1つ。ICRPの防護体系は、科学、倫理、経験から構成されており、Prudent (Act wisely) なアプローチを確立していくことが重要。

(参考) パネルディスカッション「放射線リスク評価に関する国際動向」の要点 (2)

- テーマ3：ラドン・子孫核種の線量評価とリスク評価
 - ✓ ラドンの線量換算係数に関して、最近、いくつかの国際機関が見解を発表している。
 - ・疫学はウラン鉱山に関するデータでリスク評価がなされている。ICRPは、放射線防護のための線量評価を疫学データ(原爆疫学とラドン疫学)の比較から行ってきたが、最新のPublicationでは呼吸気道モデルをベースとする方法に変更。その結果、不確かさの範囲であるが、ラドン濃度からの線量換算係数にICRPとUNSCEARとで違いが生じている。今後、線量評価の点から注視が必要になる。
 - ・UNSCEAR2019年レポートでのラドンの線量評価は、ICRPのレポートを含めた包括的にレビューを行い、線量換算係数に関して従来の値を変更する必要はないという結論
 - ・2019年10月のIAEA技術会合「ラドンの線量換算係数」では、GSR Part 3の要件が作業員に対するラドン222の参考レベルを1,000Bq/m³を超えない値という幅で示しているため、直ちに基準に関する要件を変更する必要はないと結論。
- テーマ4：不確かさ、リスク推定とリスク予測
 - ✓ 防護上のリスク予測には不確かさが伴う。リスク予測は、過去に起きた事例に対するリスク推定と混同されがち。
 - ・リスク予測全体に与える不確かさとして捉えるべきである。不確かさは知識の不足によるもの、統計データのばらつきに起因する変動、性差や年齢などの取り扱いの影響などがあり、整理が必要。
 - ・防護ではある程度シミュレーションにせざるを得ない。精緻化すると実務を複雑化しかねない。
 - ・従来、不確かさを避けるために防護上は安全側をとってきた。それとは別に真の値を探すアプローチの継続も必要になってくる。
 - ・リスク予測にはリスクの背後にあるメカニズムの理解が必要。一方で、低線量における生物学的な実証の難しさがあっても認識しておくことが必要。

(参考) パネルディスカッション「放射線リスク評価に関する国際動向」の要点 (3)

- テーマ5：Graded approach、合理性、規制免除
 - ✓ 被ばく状況の違いによるReasonablenessの違いに関する議論が始まっている
 - ・NEAでは放射線だけでなくwell-beingを視野に入れるようになってきた。次の勧告の改定に向けたICRP委員会の議論が気になる。
 - ・ICRPはReasonablenessとTolerabilityのTGをEthicsに位置付けたことから、防護の根本的な考え方の一つとして取り入れるのではないかと。
 - ・Reasonableにはpracticalやfairnessといった意味もある。今後は方法論のfairnessが重要になり、より倫理面での議論が重要になる。
- テーマ6：リスクコミュニケーション
 - ✓ リスクコミュニケーションに関する指針や推奨が実際の社会でどこまで機能するか議論する余地がある
 - ・IAEAは、緊急時におけるパブリックコミュニケーションに関する共通安全指針GSG-14を2020年に発行。放射線帰因性に関するUNSCEAR2012年レポートを踏まえ、放射線の健康影響を3つの色に分けて、尺度を示しているが、これらの指針の内容が実際の社会でどこまで機能するのか、議論する余地がある。
 - ・WHOは、緊急時のコミュニケーションに関する報告書を公開した。過去に平常時のリスクコミュニケーション(ラドンや小児の医療被ばく)についてはレポートをまとめており、これらは日本でも利用可能。しかし緊急時のコミュニケーションの一般化がどこまで可能かは疑問。
 - ・放射線のリスクの観点から線量の比較を誰が判断するか、一般化できるものを今後検討する必要がある。

放射線安全規制研究戦略的推進事業費 『放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークと アンブレラ型統合プラットフォームの形成』

成果報告

ネットワーク形成事業代表者

量子科学技術研究開発機構 量子生命・医学部門 神田 玲子

ネットワーク形成事業分担者

日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門 高田 千恵
日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 吉澤 道夫
原子力安全研究協会 米原 英典

1

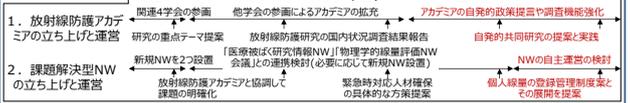
研究事業全体の概要

課題名 放射線防護研究分野における課題解決型ネットワーク(NW)とアンブレラ型統合プラットフォームの形成 研究期間：平成29年～令和3年（5年間）

背景・目的

- 近年、放射線防護方策の決定に、**ステークホルダーの合意形成**が必要な場面が増えているが、課題が生じた際に、専門家が適切にステークホルダーの合意形成に関与するためには、事前に「**情報共有/協議関係**」の協働関係が構築されている必要がある。
- 上記の条件を満たす環境を整えるため、様々な性格のネットワーク（NW）を統合したアンブレラ型プラットフォーム（＝アンブレラ）を形成するとともに、特定の課題を調査・分析するNWを設置し、ステークホルダーとともに議論し、解決案を提示する。

実施状況



各NWの具体的な成果

- **アカデミア**：①放射線防護の重点研究のリスト化と推進、放射線防護人材の育成、育成の取り組み、②線量の新概念と緊急時対応に関する提言、緊急時対応放射線防護NW、緊急時に様々な活動を行う専門家、技術者のネットワークを構築、NWの自律的・自主的運営の提案、職業被ばく（最適化）推進NW：①実効性の高い個人線量登録制度を複数提案と医療分野での実装企画、②測定機関の認定の良質な運用・情報収集した情報や検討結果は、放射線防護WG（4回）、研究推進委員会（4回）、線量の新概念（限定的見直し）に関する検討会（1回）で発表
- **議論・合意形成プロセスの確立**：規制プロセスの意見交換、異なる分野の専門家との議論、合意形成の場が定着（代表者会議、報告会、学会合同委員会、学会主催イベント等）学会間や調査の実施や既存NWとの連携によりアンブレラの知名度・求心力が向上→アカデミアの自律的・自主的運営の必要条件

期待される成果

放射線防護上、必要な調査や政策提言、およびステークホルダー関与が必要な課題の設定やNWの設置・運営などを、放射線防護の学術コミュニティが自律的かつ学際連携により実施する環境の整備

2

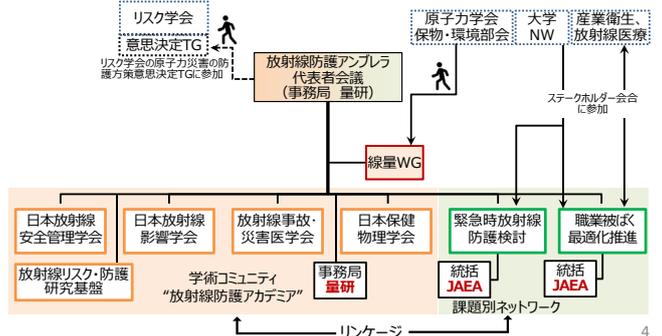
研究事業体制①

事業	担当	会議およびNWに参加する研究協力者
総括	神田玲子（主任研究者）	
1-(1)国内の放射線防護対策の推進に関する検討	神田玲子（主任研究者） 若岡和輝（研究参加者） 山田 裕（研究参加者）	代表者会議 飯本武志・横山須美（放射線学会）、児玉研司・小林純也（放射線影響学会）、富永隆子・堀井義夫（放射線事故・災害医学会）、中島寛・松田尚樹（放射線安全管理学会）、甲斐倫明・酒井一夫（放射線リスク・防護研究基盤） 1)実効線量と実用量に関するWG：若岡和輝（基研）、佐々木道也（電中研）、床次真司（弘前大）、橋本剛（JAEA）、堀井義夫（東北大）、保田浩志（広島大）
1-(2)緊急時放射線防護に関する検討	高田千恵（分担研究者） 百瀬球磨（研究参加者） 宗像雅広（研究参加者） 中野政尚（研究参加者） 吉田忠義（研究参加者） 渡邊裕美（研究参加者） 吉野直美（研究参加者） 栗原 治（研究参加者） 立崎英夫（研究参加者）	緊急時放射線防護ネットワーク 佐藤勝（原安協）、床次真司（弘前大）、松田尚樹（長崎大）、宮澤晃（東電HD）、渡部浩司（東北大）、木内伸幸（JAEA原研）、住谷秀一（JAEA核研）、清水勇（JAEA大洗）、橋本剛（JAEA）、中根佳弘（JAEA J-PARC） 緊急時放射線防護ネットワークサブグループ（JAEA） 1)環境モニタリングサブGr：主査は中野政尚 幹事：山田純也、前田英太 2)放射線管理サブGr：主査は吉田忠義、幹事：橋本剛、高岡啓史 3)個人線量評価サブGr：主査は高田千恵、幹事：渡邊裕美
1-(3)職業被ばくの最適化推進に関する検討	吉澤道夫（分担研究者） 木内伸幸（研究参加者） 高橋 聖（研究参加者） 山口純謙（研究参加者） 合村嘉多（研究参加者）	職業被ばく（最適化）推進ネットワーク 1)国家線量登録制度検討グループ：飯本武志（東大）、浅野智宏（放射線）、岡崎龍史（産業医大）、渡部浩司（東北大学） 巨瀬球磨 2)職業測定機関認定制度検討グループ：黒澤忠弘（産総研）、壽藤紀道（産総研）、辻村憲雄（JAEA）、中村吉秀（RI協会）、宮澤弘一（放射研）、植本剛（産総研）
1-(1)国際動向に関するアンブレラ内の情報共有	米原英典（分担研究者） 野村裕之（研究参加者）	国際動向報告会の登壇者
2-(2)放射線防護に関するアンブレラ内の意思決定	神田玲子（主任研究者） 若岡和輝（研究参加者）	代表者会議
2-(3)アンブレラから社会への情報発信	若岡和輝（研究参加者） 坂内定明（研究参加者） 渡邊遊人（研究参加者）	放射線影響・放射線防護ナレッジベース運用委員会 山口純謙（研究参加者）、若岡和輝（研究参加者）、酒井一夫（東医大）、佐々木道也（電中研）、田内 広（茨城大）、山口一郎（国保研） 1)編集委員会（運用委員会委員以外）石井伸昌（基研）、小野田真（基研）、勝部季則（基研）、久保田善久（基研）、児玉嘉明（放射研）、立崎英夫（基研）、橋 隆久（九州大）、細谷純子（東大）、橋本 剛（JAEA）、吉永倫治（広島大）

3

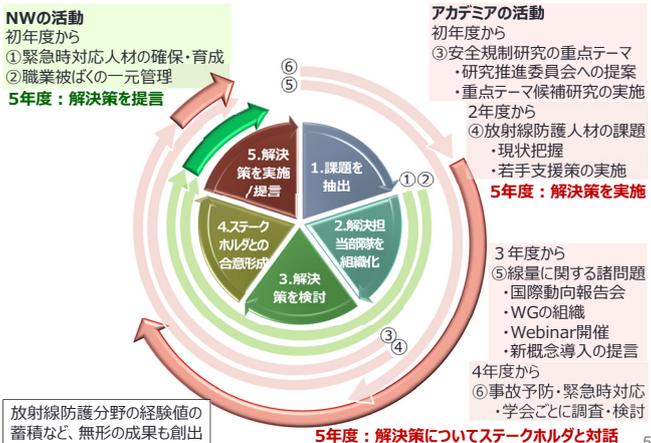
研究事業体制②

分野別の組織と課題別に組織されたネットワークを統合し、アンブレラ型プラットフォームを形成
当面の課題として、①放射線安全規制研究の重点テーマ、②緊急時対応人材の育成、③職業被ばくの個人線量管理、に関する検討を実施
アンブレラ内の情報共有を目的として、年に一度、放射線影響・防護に関する国際的機関等の動向に関する報告会やネットワーク合同報告会を開催する。



4

今年度事業の概要①：事業の流れと最終年度

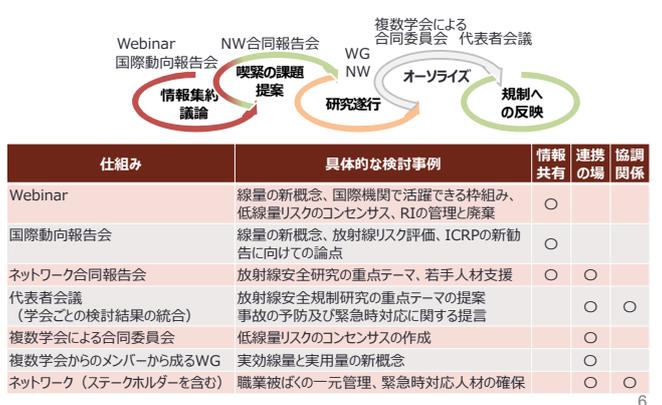


放射線防護分野の経験値の蓄積など、無形の成果も創出

5

今年度事業の概要②：アカデミアの役割と仕組み

科学的知見の規制への取込みに係るアカデミアの役割



仕組み	具体的な検討事例	情報共有	連携の場	協関係
Webinar	線量の新概念、国際機関で活躍できる仕組み、低線量リスクのコンセンサス、RIの管理と廃棄	○		
国際動向報告会	線量の新概念、放射線リスク評価、ICRPの新動向に向けての論文	○		
ネットワーク合同報告会	放射線安全研究の重点テーマ、若手人材支援	○	○	
代表者会議	放射線安全規制研究の重点テーマの提案（学会ごとの検討結果の統合）	○	○	○
複数学会による合同委員会	低線量リスクのコンセンサスの作成	○		
複数学会からのメンバーからなるWG	実効線量と実用量の新概念	○		
ネットワーク（ステークホルダーを含む）	職業被ばくの一元管理、緊急時対応人材の確保	○	○	

6

今年度事業の概要③:5年目の総括

事業の最終年度として

- 6つの課題それぞれの解決策を取りまとめ、一部実行
 - ・アカデミア内の合意形成に新プロセス(報告書案へのパブリックコメントや学会間の相互レビュー)
 - ・放射線防護の枠外との連携: ステークホルダー会合への参加、NWから外部への説明
- Webinar、国際動向報告会は今年度も継続
 - ・WebinarのテーマはHP上で募集し、決定。
 - ・一部の企画を学会が分担。事業終了後の自主運営への"予行演習"を実施。

昨年度の評価結果を踏まえて

- 「今後の展開に課題」とされた若手人材育成は、特定領域へのアプローチと一般論を分離
 - ・放射線安全関連全般: グローバル的活動支援やその野の拡張をねらったWebinarを開催
 - ・特定領域の人材育成: 主に関連学会が実施
 - ・事業内でまとめる提言内容に、人材確保や教育の視点を入れる
- 事業終了後の課題解決型プラットフォームやネットワーキングの形態や機能を検討
 - ・放射線防護アカデミア⇒行事やプロジェクト協力、情報発信(Webinar)をする連合体
 - ・緊急時NW⇒平常時に研修開催/構成員リスト管理/原子力防災の最新情報の提供
 - ・職業被ばくNW⇒業界単位の線量管理の制度化に関与、将来統合のため業界間の連携

7

進捗:重点テーマ研究のフォローと実施

研究分野	研究内容	進捗状況	関係機関
I. 放射線の生物学的影響の調査研究	放射線トリチウムによる細胞損傷(染色体)に関する調査研究 (影響学会と放射線学会がH31に再提案)	原子力規制委員会等の対応状況	740-ア7
II. 放射線防護の国際的連携	放射線防護の国際的連携(IAEA)による国際的連携(影響学会と放射線学会がH31に再提案)	影響学会と放射線学会の連携状況	影響学会と放射線学会の連携状況
III. 放射線防護の国際的連携	放射線防護の国際的連携(IAEA)による国際的連携(影響学会と放射線学会がH31に再提案)	影響学会と放射線学会の連携状況	影響学会と放射線学会の連携状況
IV. 放射線防護の国際的連携	放射線防護の国際的連携(IAEA)による国際的連携(影響学会と放射線学会がH31に再提案)	影響学会と放射線学会の連携状況	影響学会と放射線学会の連携状況
V. 放射線防護の国際的連携	放射線防護の国際的連携(IAEA)による国際的連携(影響学会と放射線学会がH31に再提案)	影響学会と放射線学会の連携状況	影響学会と放射線学会の連携状況
VI. 放射線防護の国際的連携	放射線防護の国際的連携(IAEA)による国際的連携(影響学会と放射線学会がH31に再提案)	影響学会と放射線学会の連携状況	影響学会と放射線学会の連携状況

赤字: R3に研究や検討の進捗があった課題、青字: 提言やWebinarの形で課題の重要性を共有した課題
H29~R2で41課題を重点テーマとして抽出⇒H30~R3で29課題に進展があった (7割)

8

進捗:放射線防護人材の育成・確保

アカデミア参加4学会の会員に関する実態調査 (平成30, 31年度に実施)

- 会員数: トータルで10年・20年前に比べ、放射線防護の専門家数は2割減少と推定。大規模な学会は減少、小規模で特化した学会は増加傾向
- 年齢分布: 多くの学会は高齢側にシフト、しかし若年層が少なくなっているとも言えない。40歳未満の会員の3割は診療放射線技師の資格を持っている。
- 大問題: 40-50代の割合が減少 (現リーダーと次世代リーダーの枯渇)
 - ⇒ポストの獲得、そのための業績や資格(第一種主任者、博士)取得やキャリアパスの問題

解決策の実施

- これまでの取り組み
 - ・国際的機関が主催するイベントへの若手の派遣: COVID/パンデミック以降は中止/応募なし
 - ・Webによる進路等個別相談会の実施: 昨年度の利用者は1名
 - 令和3年度取り組み
 - ・Webinar「国際的機関で活躍するためには」対象: 防護分野の若手・中堅/指導者
 - ・Webinar「放射線防護のイロハ」対象: 若手の研究者や技術者、学生
 - ・若手が企画したイベントに対する支援 (第1回 若手放射線影響研究会)
 - ・その他: アカデミア参加学会が、研究室紹介のWebinarなどを実施 (アンブレラ事業外)
 - 特定ターゲットへの取り組み
 - ・事故や緊急時対応のアカデミアの提言: 生物学的線量評価をする者
 - ・緊急時NWの育成プラン: 放射線に関する知識を持ち、緊急時に専門家として対応する者
- 特定分野や確保・育成する人物像の明確化(的を絞る)、時宜を得た関係機関間の連携や分担が重要

9

進捗:Webinarの活用

- R2: 実効線量と実用量に関するWebinar(全5回シリーズ)を実施
 - シリーズ終了後、Webinarのテーマに関するアンケートを実施
 - ⇒希望が多かったテーマ
 - ①生物影響、低線量域の影響と防護の問題
 - ②放射線利用現場の防護、放射性廃棄物の取扱い
 - ③医療被ばくの正当化、最適化、ビッグデータの活用

- 人材の育成・確保
- グローバル的活動支援
- キャリアアップになる経験
- 分野のその野の拡張
- 難解な放射線防護の世界を魅力的に解説

代表者会議で5回分のWebinarのテーマを決定。2,3回は影響学会と放射線学会、4回は放射線学会、5回は安全管理学会が担当

開催日・回	放射線防護を理解するためのWebinarシリーズの内容	参加者数
1回目 7/30	国際的機関で活躍するためには 藤田博喜 (ICRP)、高田E E (産総研) ICRPで活躍中の講師が、国際的機関の研究者受け入れの仕組みを、経験談を交えて講演	82
2回目 8/20	低線量放射線リスクに関するコンセンサス(1) 甲斐倫明 (日本文化大)、今岡彦彦 (量研) コンセンサスレポートの目的・概要と動物実験での放射線発がんの部分を解説	116
3回目 9/17	低線量放射線リスクに関するコンセンサス(2) 小笠原大 (放射研)、佐々木道也 (電中研) コンセンサスレポートの放射線の疫学的知識の解説、低線量影響についての最新知見の紹介	149
4回目 10/25	放射線防護のイロハ 占部浩正 (福山大)、島田義也 (環境研) 放射線防護に関する背景や初歩的な知識の解説、低線量影響についての最新知見の紹介	114
5回目 11/26	放射線防護の各論:放射性物質の合理的な管理と廃棄 松田正吾 (東大)、榎本和義 (KEK) 放射線施設での放射性物質の合理的な管理と廃棄物の処理・施設廃止の進め方を解説	142

5回合わせたべ603名が参加。大学・研究機関からの参加が2/3、残りは企業、病院、一般の方。
1回目のWebinar終了後、視聴した若手がCRPのMenteeを希望し、TGに問い合わせた。

代表者会議では、過去2年間のWebinar開催はアカデミアの活動の中でも成功事例であり、事業終了後も自主的に継続すべき活動と自己評価している。

10

進捗:国際動向報告会による情報共有と円卓討議

- 国際動向報告会: 平成29年、30年度の2回は、UNSCEAR, ICRP, IAEA, OECD/NEAなどの国際機関での活動について、各機関の関係者(国内専門家)が報告
- 令和元年度より、一つのメインテーマを決めて、関係者が円卓討議する形式に変更

今年度のテーマは「最新科学や経験を取り入れた放射線防護体系の改訂」

報告会の概要: ICRP2007年勧告の改訂に向けた検討が始まったことを受けて「最新科学や経験を取り入れた放射線防護体系の改訂に関する論点」について、ICRP委員や国際機関等に関連の専門家間で討議した。

成果: ICRP勧告の改訂の検討において、重要な論点について明らかになった。今後の検討において、国際機関等との連携も重要であることが示された。

放射線防護体系の改訂に関する論点について、アンブレラ事業に参加する関係者に情報共有することができた。



令和3年12月23日(金) 13:00~17:00
「Zoomウェビナー」によるライブ配信(参加者約90名)

観点	パネルディスカッションでの議論
防護体系	現状で順調に機能しているが、社会の発展、科学的理解、放射線の新たな用途に合わせて進歩すべき
課題(リスク)	ヒトの防護における確率的影響と組織反応の区別や確率的影響の表現、一般公衆への説明
課題(線量)	RBEを加重した吸収線量を用いた線量限度、医療での個人線量評価の精緻化
論点(リスク)	リスクモデルによる線量反応関係、DDR/F-RBE・放射線感受性・デリバントの評価
論点(線量)	個人線量評価の精緻化とシステムとしての単純化との折り合い
防護の実践	DRL以外にも必要(医療被ばく)、RAP,DCRLを用いた防護の実践(環境防護)、Well-beingの指標化

最新情報や国際的機関における議論を関係者間で共有し、新たな課題の抽出の場として定着

11

進捗:実効線量と実用量に関する課題抽出と検討

令和元年度国際動向報告会「実効線量と実用量-改訂の概要と今後の課題」

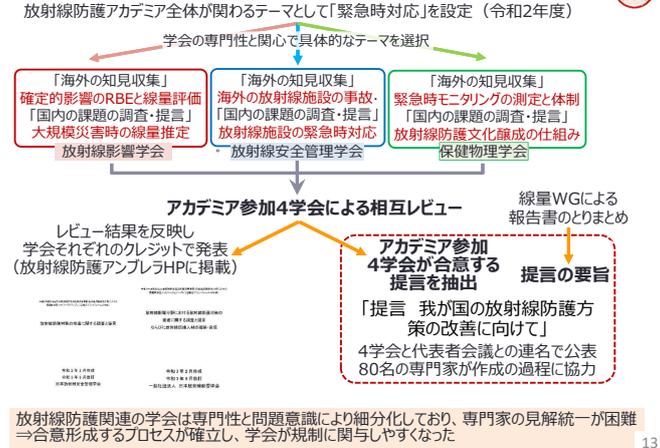
- 論点例
 - 線量の異なる放射線に対するRBE
 - 防護量である実効線量は、その制約を認識して、便利なツールとして今後も活用
 - 実用量は理解しやすくなったが、実務上は課題は何か
- 令和2年度「実効線量と実用量に関するWG」を立ち上げ、アカデミアが共同研究の枠組みで線量に関する諸問題を検討
 - 関係者(専門家、実務者、規制当局)の共通理解を深めるため、実効線量と実用量に関する計5回のWGを開催
 - 線量の歴史、リスク評価、国際動向、生物影響、コミュニケーション等様々な情報が示され、課題が共有

- 令和3年度
 - 情報の整理: 国際動向報告会や学会等の報告書、ICRP, ICRUの刊行物などが情報源
 - 提言作成:
 - 関連学会及び規制関連団体に対して: 新実用量を取り入れる場合に必要検討や準備
 - 研究開発機関、専門家に対して: 規制ニーズのある研究の実施と国際機関への情報提供(放射線のRBEなど)
 - 放射線管理、医療の実務者: 実務的課題の整理
 - 合意のプロセス: アンブレラ代表者会議及び放射線防護関連学会、団体等による確認。"パブリックコメント"スタイルでの意見聴取を実施
 - 提言内容の特徴: 社会への新概念の説明について言及、医療現場や緊急時において線量を説明する必要があることから、国民の理解を着実に進めなくてはならないが、説明の方法、目的、タイミングには十分に留意する必要がある、として具体的な方策を提言。

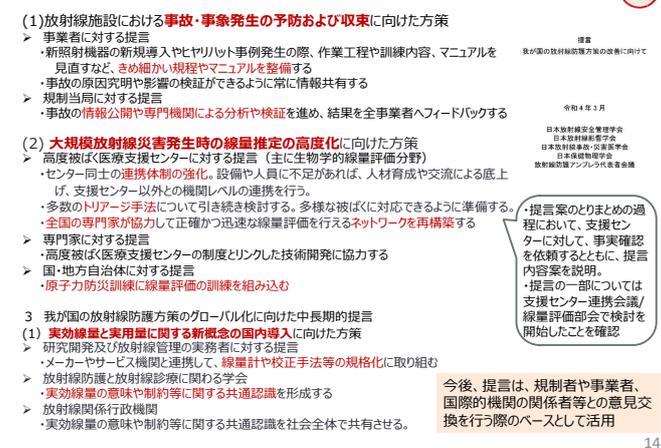
今後、提言内容に関するステークホルダーとの意見交換は、アカデミアの自主活動として実施予定

12

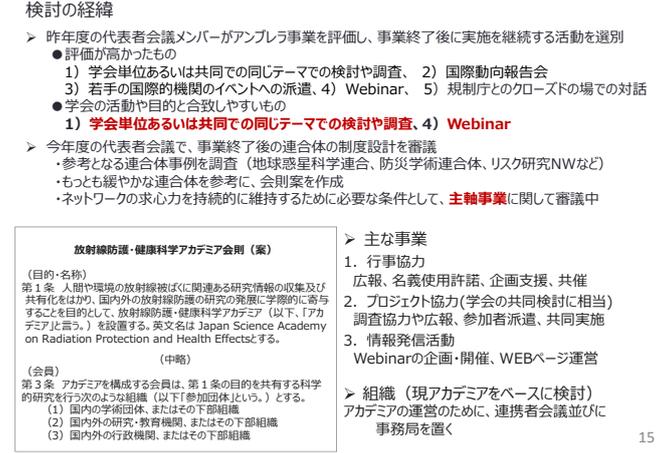
進捗: 事故・緊急時対応に関する課題抽出と検討



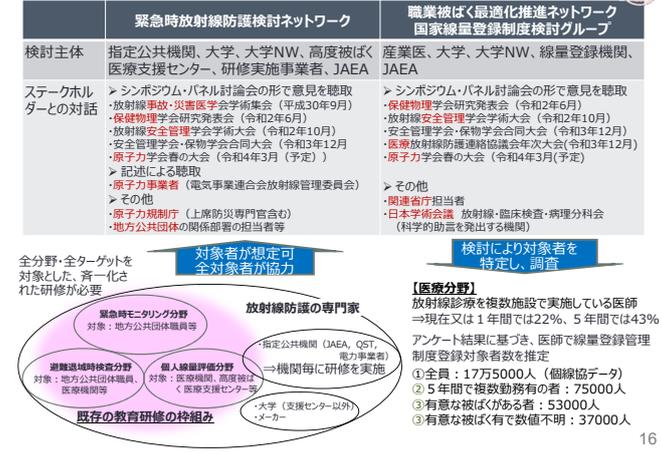
進捗: 提言内容と名宛先の明確化



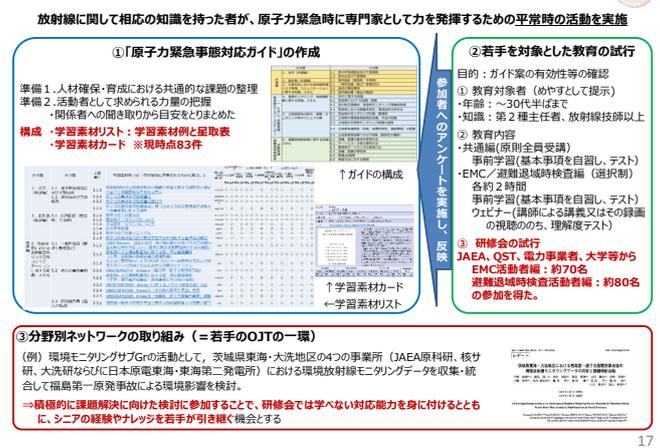
進捗: 事業終了後の放射線防護アカデミアの形



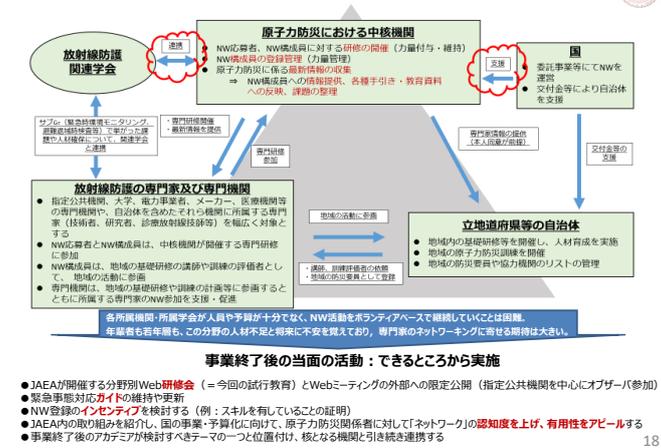
進捗: 課題解決型NWの検討プロセス



進捗: 緊急時対応人材の育成確保（研修）



進捗: 緊急時対応人材の育成確保（理想形）



進捗：職業被ばくの一元管理（ターゲットの特定）

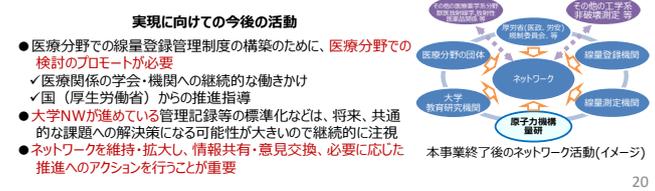
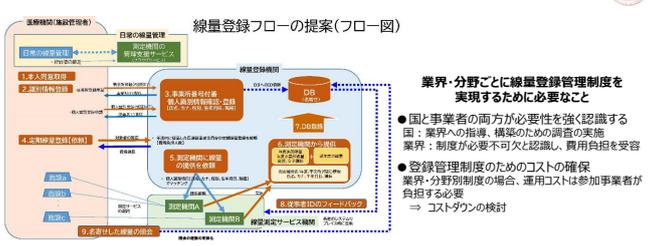


- ①過去の取り組みの振り返り
～学会提言が実現に至らなかった要因～
- 広くステークホルダーを巻き込んだ議論ではなかったため、**2. テクノロジーの理解が深められなかった。**
 - 国、事業者にてセンティブが働かなかった。
- 規制当局：
線量限度担保のための線量管理（事前把握等）は雇用主・事業者の役割
原子力分野では既に事業者による運営制度が確立している。
事業者：
●**線量が低い（検出限界未満が大多数）、複数年管理はまわっているため、コストを減らす必要性がない。**
- ②分野別に異なる状況
- ▶ 原子力分野
全体6万人強、複数事業所作業者10%程度、平均0.6mSv程度、年20mSv超の者あり、放射線従事者中央登録制度が確立
 - ▶ 研究、教育分野（医療以外）
全体6万人程度、検出下限未満が95%以上、20mSv超：いも数人、線量も健康診断・教育等の管理記録のやり取りの合理化が優先課題
 - ▶ 医療分野
人数が多い（総線協で40万人程度）、検出下限以上が20-30%程度、年20mSv超の者あり
線量計着用、被ばく線量低減などの線量管理の課題解決が優先課題
眼の水晶体の線量限度変更により、線量登録管理の必要性は高くなっていく。

主体	国	全事業者	一部事業者	業界別
対象	全放射線作業者	全放射線作業者	一部作業者（複数施設を利用/異動が頻繁/一定線量以上の被ばく）	業界別
線量登録制度	国による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度	国による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度	国による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度	国による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度 事業者による登録制度
特徴	国としての運用で、完全さは高い	参加状況に依存（規制要求必要）	前歴把握の完全さには欠けるおそれあり	業界の取り組みに強く依存

NWの結論
費用負担を回避するため国家線量登録機関による中央一括管理を望む声が多いが、実現の可能性は高い。
登録管理の必要性が高く、ステークホルダーの理解が得られた業界から制度を構築するのが現実的。特に医療分野。
ただし、全分野の統合管理を目指し準備しておくことが重要
✓ 登録する線量の標準化
✓ 個人識別番号の付与
✓ 個人情報管理（事前同意等）

進捗：職業被ばくの一元管理（制度提案と推進）



今年度の成果

	誌上発表	口頭発表	発表内容	審議会等での報告	報告会主催	学会との共催企画	Webinar
H29	1	0	アンプレア事業の仕組みの紹介等	1	2	0	
H30	3	5	目的の紹介など	2	2	4	
H31	2	3	検討結果を発表	3	2	2	
R2	7	8	検討結果を発表、原着2編含む	2	2	5	5
R3	4	11	ステークホルダーとの対話、等	2	2	5	5

- ▶ 誌上発表 4件
- 角山正一、海外の放射線施設の放射線事故に係る最新知見の収集、日本放射線安全管理学会誌 20(2)、68-73 (2021)
 - 松田正吾、放射線事故が発生した際の放射線施設の緊急時対応の調査と提言、日本放射線安全管理学会誌 20(2)、74-77 (2021)
 - 神田玲子、放射線防護内野を元知にするため、保健物理 (印刷中)
 - 阿保聖史、国際動向報告会に参加して、日本放射線安全管理学会誌 (印刷中)
- ▶ 口頭発表 11件
- 角山正一、海外の放射線施設の放射線事故に係る最新知見の収集WG、日本放射線安全管理学会シンポジウム、2021年6月25日
 - 松田正吾、国内放射線事故が発生した際の放射線施設の緊急時対応の調査と提言WG、同上
 - 神田玲子、原子力災害の防護方策の意思決定に関する検討 TG の活動報告、第 34 回日本リスク学会年次大会、2021年11月21日
 - 高田千恵、緊急時対応の人材の確保と育成に向けて、第 3 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会、2021年12月1日
 - 古澤進夫、職業被ばくの線量登録管理の検討、第 3 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会、2021年12月1日
 - 古澤進夫、個人線量管理の動向、令和 3 年度 放射線防護推進連絡審議会年次大会、2021年12月10日
 - 神田玲子、医療放射線による被ばくの管理に関する最近の検討状況、日本学術振興会「第195委員会」総会2022年3月5日
 - 神田玲子、放射線防護アンプレア事業の概要、日本原子力学会2022年春の大会、2022年3月17日
 - 古澤進夫、職業被ばくの線量登録管理の検討、日本原子力学会2022年春の大会、2022年3月17日
 - 高田千恵、原子力緊急時の放射線防護に関する専門家連絡・確保の取組み、日本原子力学会2022年春の大会、2022年3月17日
 - 佐々木進也、実効線量と実用線量に関するWGの活動、日本原子力学会2022年春の大会、2022年3月17日
- ▶ シンポジウムや学会セッション等の企画 5件
- センション「令和2年度放射線防護アンプレア事業委託事業 最終報告」、日本放射線安全管理学会シンポジウム、2021年6月25日
 - 第1回「若手放射線影響研究会」が中心地開会時期報告、2021年8月20日
 - センション「緊急時対応の人的確保と育成に向けて」、第 3 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会、2021年12月1日
 - センション「職業被ばくの線量登録管理の検討」、第 3 回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会、2021年12月1日
 - 保健物理・環境科学部会セッション「放射線防護に関する学会連携活動と今後の展開」、日本原子力学会2022年春の大会、2022年3月17日
- ▶ 審議会等でのレビュー 2件
- 神田玲子、放射線防護に関する国際動向報告会の開催について、放射線審議会第153回総会、2021年6月23日
 - 神田玲子、職業被ばくの線量登録管理の検討状況、日本学術会議 放射線・臨床検査・病理分科会WG第2回合会、2021年12月21日 2.1

自己評価

評価の視点	自己評価	コメント
事業全体	2 概ね計画どおり	本事業では、「緊急時人材の確保」「職業被ばくの一元管理」「放射線安全規制研究の重点テーマの提案」「放射線防護人材の柱」「線量の新規急の国内導入」「放射線事故の予防と緊急時対応」という喫緊の課題を解決しながら、「①アカデミアが課題を抽出→②課題解決に取り組む部局を組織化→③解決策を検討→④ステークホルダーと調整→⑤解決策を実施する」という解決策を実施するべく主体に提言という各プロセスに必要な仕組みづくりを行った。今年度はいづれの課題解決においても、解決策を取りまとめて公表し、③→⑤のプロセスに到達した。結果、事業全体として③→⑤の仕組みづくりを完了した。昨年度の評価委員会からのコメントを踏まえ、事業内の全活動に人材確保の視点を入れつつ、グローバル人材育成分野のすそ野の拡張を意図したWebinarを開催した。また研究終了後の放射線防護アカデミアとNWの将来像と自主的運営について取りまとめた。成果の公表も例年より同程度だが、アンプレア事業による各課題の検討結果に関心のある団体から議案依頼が有り、口頭発表件数が増えた。
緊急時防護	2 概ね計画どおり	緊急時対応者として求められる力量（スキル）の目安を整理し、放射線防護専門家向けの「原子力緊急事態対応ガイド」案を完成させた。このガイドをテキストとして、若手を対象とした研修会を試行するとともに、参加者アンケートをもとにガイド案のさらなる改善を図った。またNW構築のあり方についても、「理想像」および従来の活動の範囲で実施可能な「当面の活動案」を検討し、提案した。いづれの活動においても、ステークホルダー合会において広く意見を収集し、その意見を反映した。
職業被ばく	2 概ね計画どおり	実現可能性のある線量管理に関する複数の制度案とその展開について、ステークホルダーの視点から実現に向け課題の検討・整理を行い、新たな実態調査結果と合わせて成果をまとめた。学会やシンポジウム等で発表し、ステークホルダーへの制度構築に向けた働きかけを行った。また線量測定サービスマン向け認定制度発足に伴う認定基準・技能試験等の具体的な運用・解釈に関して、データの少ない末端部用線量計（リングバッチ）の技能試験の基礎的取組し、これまでの結果と合わせて成果をまとめた。
放射線防護	2 概ね計画どおり	今年度は議論のテーマ「最新科学や経験をとり入れた放射線防護体系の改訂」に関する論点に絞り、幅広い分野の専門家間で徹底的に議論を行った。ICRPから出された新勧告に向けての論点を整理した論文の内容の解釈やパレル討論を通じて、アンプレア関係者へ情報提供でき、当初の計画に満たなかった。

● 研究費使用実績：契約額は23,633,291円に対し、予算執行予定額は計画額の92%。
22

放射線安全規制研究戦略的推進事業費

[染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム
(基本モデル)の開発]事業

令和 3 年度 事業成果報告書

令和 4 年 3 月

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

本報告書は、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構が実施した「令和3年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費[染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発]事業」の成果を取りまとめたものです。

目次

1. 研究の背景と目的	4
2. 研究の概要	8
3. 研究の成果	10
4. 今後の展望	10
5. 成果発表	10
6. 文献	12
7. 資料	
7-1. 事業概要資料	14
7-2. 研究計画書	15
7-3. 研究会合 議事録	18
7-4. 画像検討会 議事録	20
7-5. 情報収集(学会報告)	63
7-6. 情報収集(論文調査)	74
7-7. 現有顕微鏡システムにおける画像情報	79
7-8. AI 研究用コンピュータの構成・スペック	81
7-9. エルピクセル株式会社概要	82

1. 研究の背景と目的

(注:令和2年度 事業成果報告書と共通)

染色体線量評価では、あらかじめ線量と染色体異常頻度から成る検量線を作成し、患者の末梢血リンパ球の染色体異常頻度を当てはめて被ばく線量を推定する。特に、二動原体染色体異常[参考図1]の生成頻度に基づく分析法(二動原体分析法)は、鋭敏で最も信頼性の高い生物学的線量評価法として国際的に標準化されている[文献1, 2, 3]。実際に、旧・放射線医学総合研究所、現・量子科学技術研究開発機構(以下、量研機構)では東京電力福島第一原子力発電所事故(2011年)で緊急時作業員の線量評価を実施し、被ばく医療に貢献した[文献4]。

二動原体染色体異常の生成頻度は個人差が小さく、かつ、バックグラウンド値が非常に低い(1000メタフェーズ当たり0~1個)。このため、直近の放射線被ばくの影響を反映するといえる。メタフェーズ1個当たりの二動原体頻度はポアソン分布にしたがうため、観察すべきメタフェーズ数は線量が低いほど大きくなる。患者1人につき、1000メタフェーズまたは二動原体染色体100個以上を観察することが国際的に推奨されて、さらに、患者1人につき、2名以上の染色体検査担当者によるブラインドテスト形式で染色体異常検出をすることが推奨されている[文献1, 2, 3]。

2010年頃までには、血液検体から染色体画像を作成するまでの過程が、装置の自動化により高速化された。染色体画像の解析自動化の開発は、この10年で、画像解析条件のパラメータを人間が設定する従来型の機械学習法によって行われてきているが、今なお実用段階には無い。具体的には、顕微鏡画像解析の自動化[文献5, 6, 7, 8]や、フローサイトメトリーにCCDカメラによるフロー撮影を結びつけた検出と解析の迅速化[文献9]が試みられている。

画像判定は依然、検査者の目視観察によっているのであるが、患者1人当たりの判定に高度熟練者で実質30時間以上かかる。熟練者養成は困難で、また、検査者により判定基準にブレが生じることが知られている。長年、国際的に訓練が実施されてきたが、染色体異常の判定基準のラボ間・検査者間の変動が未だに大きいのである。大規模原子力災害等に備え、染色体異常の画像判定の標準化と効率化が最大で喫緊の課題であるといえる。

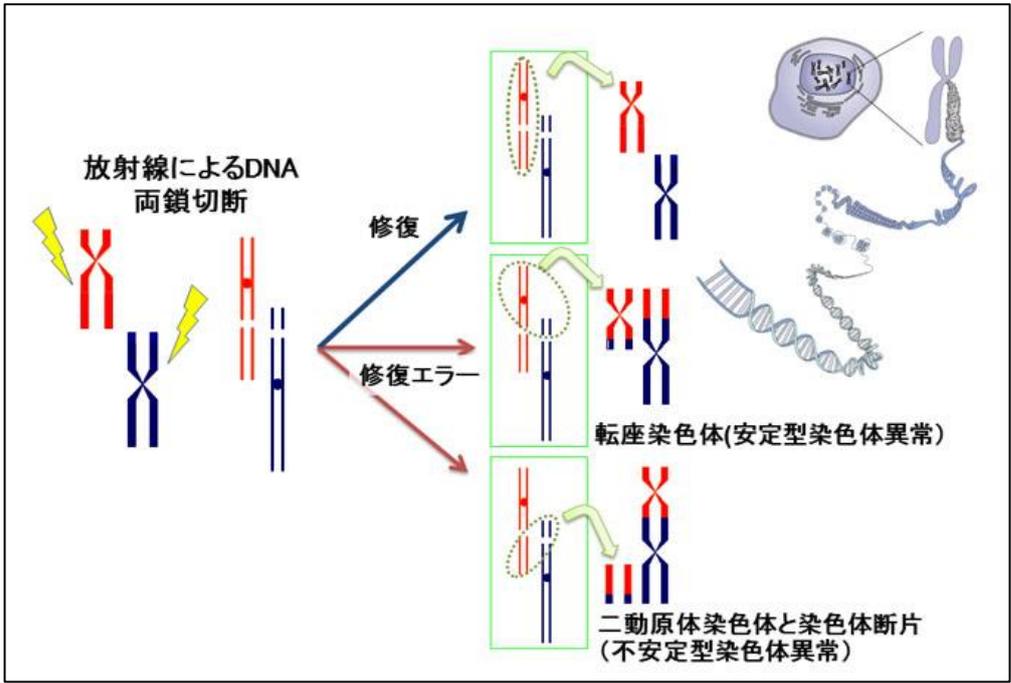
一方、近年、分子細胞遺伝学の発展により染色体の染色方法の選択肢が増えた。並行して人工知能(以下、AI)による画像識別手法の開発には目覚ましいものがある。

主任研究者らはフィージビリティ・スタディとして染色体画像判定におけるAI導入の有効性検証を行い(平成30・31年度放射線安全規制研究推進事業、課題名:染色体線量評価手法の標準化に向けた画像解析技術に関する調査研究)、この分野での先鞭をつけた。染色体線量評価において、AI利用による染色体画像判定アルゴリズム開発が非常に有望であることが示唆されたのである[参考図2, 3]。重要かつ特徴的なのは、ゲノムの塩基配列の相同性に基づいて動原体領域を短時間で染め分けることのできる、蛍光標識ペプチド核酸(peptide nucleic acid, PNA)プローブを用いた蛍光 *in situ* ハイブリダイゼーション(fluorescence *in situ* hybridization, FISH)法(以下、PNA-FISH)[文献10]を併用することで、主観や習熟度の差に影響されない、しかも効率の良い、正確な教師画像データを作成することに成功したことである[参考図2]。

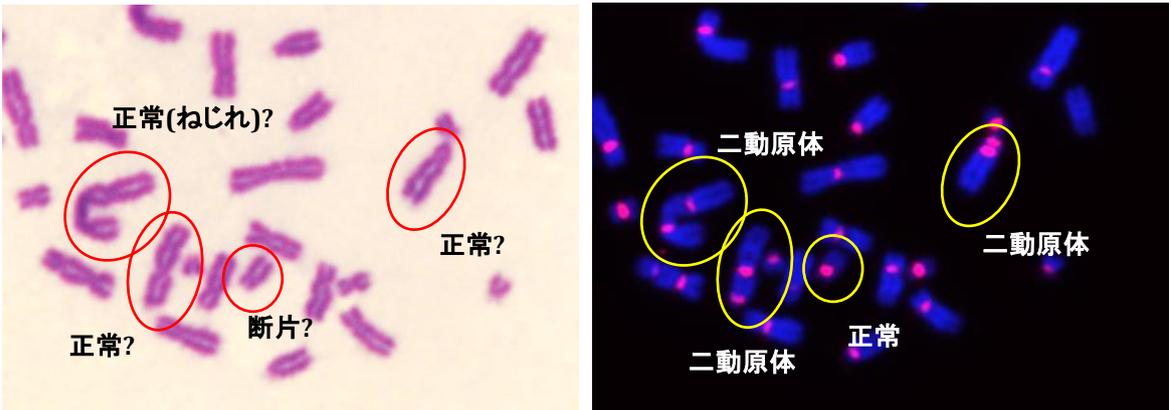
以上の背景をふまえ、本研究では2か年で、AI技術のひとつである深層学習法を基盤とした染色体画像自動判定モデルの開発を目標とした。本事業で開発するモデルは、量子科学技術研究開発機構の基本モデルとし設置する。これにより、トリアージのための線量評価の画像判定が1検体につき約10分以下で可能となる。加えて2年目後半には、汎用化に向けて、様々な品質の画像に対応するための技術検討、および、他機関での利用を容易にするギムザ染色画像の適用やアプリケーション化のための技術検討を行う。

AIによる画像識別の開発では、学習用の正解付き画像(以下、教師データ)の正確さと作成者の高い信頼性が最重要視されている。主任研究者らは染色体技術について国際的に高い評価を得ており、また量子科学技術研究開発機構(以下、量研)は国立研究機関として設備や人材の完備・維持がなされることから、長期間安定して信頼性の高い開発モデルの運用・管理・性能向上が提供できる。

研究に当たっては、主任研究者が中心となって画像データを作成し、AIの医用画像解析利用で高い実績のある外部機関と共同でモデル開発を行う。その評価・検討においては諸分野の専門家の協力を得る。人由来試料から取得した画像ファイルを利用するため、倫理委員会承認手続き・試料提供者同意取得確認等を行った試料を用いる。



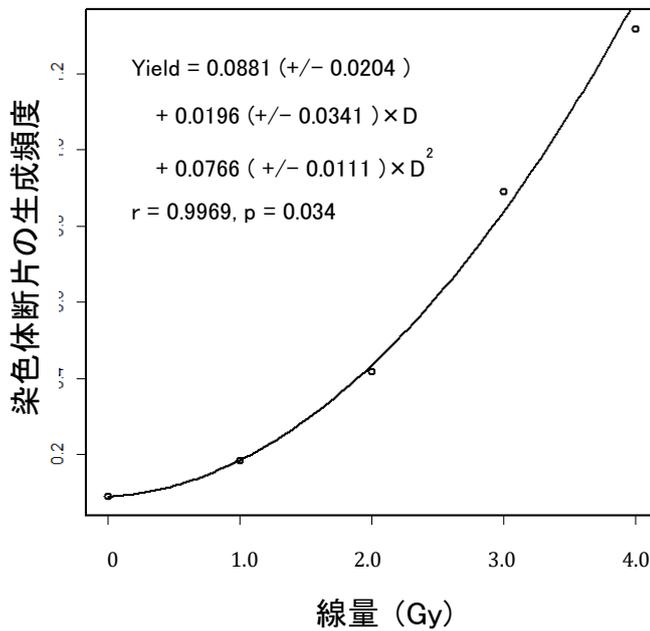
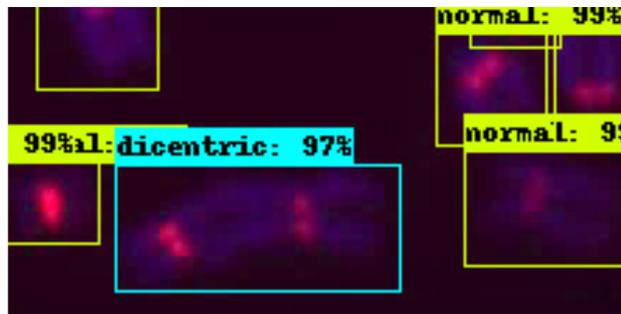
参考図1. 放射線被ばくによる染色体異常の生成
(QST e-learning を改変)



参考図2. 同一メタフェーズの部分図

ギムザ染色像(左)とPNA-FISH像(右)。PNA-FISHを用いれば、ギムザ染色より正確に染色体異常の判定ができるため、正確な教師画像が作成できることを示している。

注:「染色体線量評価手法の標準化に向けた画像解析技術に関する調査研究」令和元年度報告書より改変。



参考図3. AI 自動画像判定によりメタフェーズ(上)(部分表示)から検出された染色体断片を指標とした検量線(下)

dicentric: 二動原体; normal: 正常; %表示: 確度。染色体断片を指標にすることができれば、二動原体染色体を指標とした場合より精度が高い可能性が示された。

注: 「染色体線量評価手法の標準化に向けた画像解析技術に関する調査研究」令和元年度報告書より改変。

2. 研究の概要

【目的】

本研究では、2か年で、染色体異常を指標とする被ばく線量評価において、染色体異常の画像判定の標準化および効率化を目指して、人工知能(AI)技術のひとつである深層学習法を基盤とした染色体画像自動判定モデルの開発を行う。本事業で開発するモデルは、量子科学技術研究開発機構の基本モデルとして量研に設置する。これによりトリアージのための線量評価の画像判定が1検体につき約10分以下で可能となることを目指す。加えて2年目後半には、汎用化に向けて、様々な品質の画像に対応するための技術検討、および他機関での利用を容易にするアプリケーション化のための技術検討を行う。

【前年度までの進捗】

フィージビリティ・スタディ(平成30年度・令和元年度)では、染色体画像判定におけるAI導入の有効性検証を行い、染色体線量評価においてAI利用による染色体画像判定アルゴリズム開発が有望であることが強く示唆された。

令和2年度(1年目)は、まず、フィージビリティ・スタディで示唆された線量評価の指標となり得る染色体異常について検証し、利用条件を明らかにし、以下の成果を得た。

1) 線量評価の指標となる染色体異常の条件を明らかにした。

- ・1回目分裂細胞の二動原体染色体
- ・1回目分裂細胞の染色体断片(世界で初めて証明)

(Y. Suto et al., 2021) [文献 11]

2) AIのアルゴリズムを開発した。(令和3年度継続)

- ・アルゴリズムのさらなる検討・開発を進め、各種評価値が向上した。

3) 同一標本でギムザ染色とPNA-FISHを行う技術、および同一細胞のギムザ画像とFISH画像のマッチング技術を確立した。

【令和3年度の成果】

+ 令和3年度(2年目)においては、研究計画書[7. 資料:7-2参照]にしたがい、研究開発、研究会合・画像検討会合[7. 資料:7-3, 4参照]、情報収集[7. 資料:7-5, 6参照]を実施し、以下の成果を得た。

1) 同一細胞の FISH 画像・ギムザ画像を追加作成した(2.0 Gy 照射サンプル、2638 組)。

2) 深層学習法を利用した基本モデルを開発し、**一般的な染色体検査者による目視判定と同等またはそれ以上という良好な性能**を得た。人の場合、個人の資質や解析状況により、安定した正しい判定ができず、本来は検査者1名につき1個の検量線を作成する必要がある。**AI の場合、再現性 100%**であり、**染色体画像判定および検量線の統一化**が可能であることが重要な利点である。

3) 基本モデルを量研に設置した。現状のスペック(ラボ用コンピュータ)では**トライージ判定のための画像 70 枚で迅速判定**ができ、**画像 1000 枚でも 56 秒であった**。基本モデルを被ばく者由来標本に試験適用してトライージ判定に有用であることを確認した。

4) 基本モデルを染色体線量評価担当 5 機関共通プロトコールで作成した標本画像に試験適用した。**ラボごとのファイン・チューニングが必要か、あるいは、様々な品質の画像を大量に学習させることが必要**であると考えられる。

5) 汎用化という点ではこのほかに、ギムザ染色しかできないラボのためのモデル開発[上述 1)の技術が利用できる]、コンピュータ言語やコマンド入力に不慣れな人のためのインターフェース開発を検討した。

6) AI の導入により、トライージに資する染色体画像判定が 1 検体につき 1 分未満で可能となることが期待でき、大規模放射線事故における多検体トライージ診断支援の大きな力となる。

3. 研究の成果

(省略)

4. 令和4年度の展望

(省略)

5. 成果発表

5-1. 原著論文

なし(投稿中1報、準備中2報)

5-2. 学会発表

なし。発表予定：EPR BioDose 2022 in Paris (2022年6月)

5-3. 関連業績

【論文】

1) Masahiro Satake, Yumiko Suto: Universal or selective irradiation: a comparison of approaches. *Transfusion and Apheresis Science*, 2022, Mar 10; 103403. doi: 10.1016/j.transci.2022.103403.

【ガイドライン】

2) RCARO/AEANTOM プロジェクト「TECHNICAL REPORT: Guideline for Radioactivity Measurements in the Environment and Individual Dose Assessment following a Nuclear or Radiological Emergency」第3版、第8章「3. Biological Dosimetry」(p. 59 - 64)執筆。
(RCARO and KIRAMS, 2021年10月刊行)

【学会発表】

3) Yumiko Suto et al.: A preliminary report on retrospective dose assessment by FISH translocation assay in FDNPP Nuclear Emergency Worker Study (NEWS). EPR BioDose 2022 in Okayama (2022年3月28日～3月30日、オンライン発表参加)

【国際協力】

4) 国際標準化機構 ISO/TC85/SC2 (Radiological Protection)、WG-18 (生物線量評価) 出席。

・2021年9月会議(2021年9月7日、9日、オンライン会議)

・2022年2月会議(2022年2月18日、オンライン会議)

① 「ISO 19238」および「ISO 17099」の改訂を行った。

② 新規課題候補に「染色体線量評価の自動化」が入った。

5) 国際標準化機構 ISO/TC85/SC2 (Radiological Protection)、WG-25 (被ばく事故・住民等対応) 出席。

・2021年9月会議(2021年9月8日、オンライン会議)

① 被ばく事故・住民等対応手順書作成。

以上。

6. 文献

- [1] International Atomic Energy Agency (IAEA). Cytogenetic dosimetry: Applications in preparedness for and response to radiation emergencies. Vienna: IAEA Publications. 2011.
- [2] ISO 19238: Radiological Protection – Performance criteria for service laboratories performing biological dosimetry by cytogenetics. Geneva: International Organization for Standardization (ISO) TC 85/SC 2; 2004.
- [3] ISO 21243: Radiation Protection – Performance criteria for service laboratories performing cytogenetic triage for assessment of mass casualties in radiological or nuclear emergencies - general principles and application to Dicentric Assay. Geneva: ISO TC 85/SC 2; 2008.
- [4] Suto Y, Hirai M, Akiyama M, Kobashi G, Itokawa M, Akashi M, Sugiura N. Biodosimetry of restoration workers for Tokyo Electric Power Company (TEPCO) Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. *Health Physics* 105: 366–373, 2013.
- [5] Gruel G et al. Biological dosimetry by automated dicentric scoring in a simulated emergency. *Radiation Research* 179(5): 557–569, 2013. doi: 10.1667/RR3196.1.
- [6] Romm H et al. Automatic scoring of dicentric chromosomes as a tool in large scale radiation accidents. *Mutation Research* 756: 174–183, 2013. doi: 10.1016/j.mrgentox.2013.05.013.
- [7] Rogan PK et al. Radiation Dose Estimation by Automated Cytogenetic Biodosimetry. *Radiation Protection Dosimetry* 172: 207–217, 2016. doi: 10.1093/rpd/ncw161.
- [8] G. M. Ludovici et al.: Cytogenetic bio-dosimetry techniques in the detection of dicentric chromosomes induced by ionizing radiation: A review. *Eur. Phys. J. Plus* (2021).
- [9] Beaton LA et al. Analysis of chromosome damage for biodosimetry using imaging flow cytometry. *Mutation Research* 756: 192–195, 2013. doi: 10.1016/j.mrgentox.2013.04.002.

[10] Suto Y, Hirai M, Akiyama M, Suzuki T, Sugiura N. Sensitive and Rapid Detection of Centromeric Alphoid DNA in Human Metaphase Chromosomes by PNA Fluorescence In Situ Hybridization and Its Application to Biological Radiation Dosimetry. *Cytologia* 77: 261–267, 2012.

[11] Yumiko Suto, Takako Tominaga, Miho Akiyama, Momoki Hirai: Revisiting Microscopic Observation of Chromosomal Aberrations in Cultured Human Peripheral Blood Lymphocytes at the Second Mitotic Division after Gamma Irradiation In Vitro. *Cytologia* 86(1): 67–77, 2021.

7. 資料

7-1. 事業概要資料

<事業名>

染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発

<機関名>

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構

<事業のポイント>

- ✓ 染色体異常を指標とする被ばく線量評価において、染色体異常の画像判定の標準化および効率化を目指して、人工知能(AI)技術のひとつである深層学習法を基盤とした染色体画像自動判定モデルの開発を行う。
- ✓ AI の導入により、画像判定が 1 検体(1000 細胞)につき 10 分以下で可能となることが期待でき、大規模放射線事故における多検体トリアージ診断支援の大きな力となる。
- ✓ 本事業で開発したモデルは、量子科学技術研究開発機構の基本モデルとする。他の検査機関での使用を考慮した汎用化に向けて、多様な品質の画像に対応するための技術検討やアプリケーション化のための技術検討を行う。

<事業代表者名>

数藤 由美子 (量子科学技術研究開発機構 量子医学・医療部門
高度被ばく医療センター 計測・線量評価部
生物線量評価グループ、グループリーダー)

<共同実施者>

なし

7-2. 研究計画書

令和3年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
[染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発]
事業計画書

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
数藤 由美子

これまでの予備研究(AI 導入 Phase 1「フィージビリティ・スタディ」)から、AI の導入は大規模放射線事故における多検体トリアージ診断支援に有用であることが期待できた。そこで本研究では、染色体異常を指標とする被ばく線量評価において、染色体異常の画像判定の標準化および効率化を目指して、人工知能(AI)技術のひとつである深層学習法を基盤とした染色体画像自動判定モデルの開発を行う。本事業で開発したモデルは、量子科学技術研究開発機構の基本モデルとする。他の検査機関での使用を考慮した汎用化に向けて、多様な品質の画像やギムザ染色画像に対応するための技術検討やアプリケーション化のための技術検討を行う。

上記の目的を達成するため、令和3年度は次に示す項目を実施する。

(1) 情報の更新

通年で染色体線量評価研究・AI 画像解析研究開発の動向を調査し、情報を随時更新する。(文献調査、関連学会などへの参加・情報収集3回を予定。ただしコロナの影響で学会は延期されることがある。)

(2) AI 導入 Phase 2「実用化研究開発」

①令和2年度に引き続き、教師データと線量推定用の画像を作成する。画像データ作成において

は、画像データ検討会(週1回程度、計40回程度)(専門家1名が参加)を実施する。

②令和2年度に開発した試作モデルをもとに、①の画像データを用いて訓練を行う。

③訓練後モデルを量子科学技術研究開発機構に設置した AI 画像解析 PC にて検証を行い、検証データをもとにフィードバックし、再度モデルを作成する。

④③を繰り返し行い、基本モデルを作成する。

⑤本研究の協力者・参加者、検討委員(各分野専門家)により研究会合(2回)を開催して情報共有し、助言を得る。

(3) 汎用化のための検討

他の検査機関での使用を考慮した汎用化に向けて、多様な品質の画像やギムザ染色画像に対応するための技術検討やアプリケーション化のための技術検討を行う。

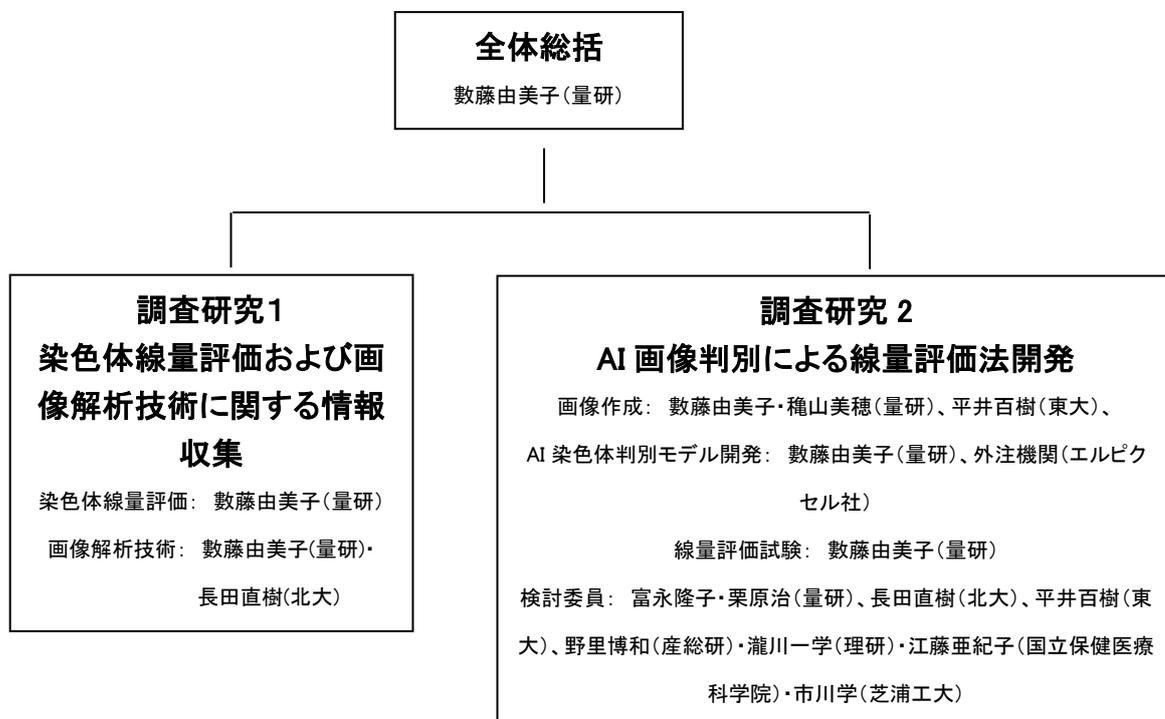
(4) 成果の公表

原子力規制庁が開催する成果報告会や論文投稿などにおいて、成果を報告する。

(5) 事業の進捗管理等

原子力規制庁並びにプログラムオフィサー(PO)及びPO 補佐に対し、研究班会議(事業当初、研究会合時、成果報告会の1ヶ月前頃)及び電子メール(月に1回程度)により、事業の進捗を報告するとともに、必要な助言を仰ぐ。特に、事業実施内容について疑問や変更すべき事項が生じた場合、PO 会合等を通じて報告し、その都度助言を仰ぐ。

<実施体制>



7-3. 研究会合 議事録

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第1回研究会合

議事録

1. 日時・場所: 令和4年2月8日(火)10:00~12:00
オンライン 開催(Microsoft Teams)

2. 議 題: ①年度末報告会予行(量研・数藤由美子)
②特許取得について(量研・数藤由美子)
③その他

3. 出 席 者: 瀧川一学(理研)、野里和博(産総研)
数藤由美子、栗原治、富永隆子(量研)

3. 議事内容:

①年度末報告会予行

数藤(量研)により、2月14日原子力規制庁年度末報告会の予行練習が行われた。質疑応答において、瀧川氏よりデータセットの種類について質問があり、数藤が回答した。運用上の問題点について野里氏より経験をふまえた具体的なアドバイスがなされた。富永氏より、プレゼンテーションの時間配分についてアドバイスがなされた。

②特許取得について

企業との共同研究および特許のありかたについて、野里氏より経験をふまえた具体的なアドバイスがなされた。

③その他

数藤(量研)より、令和4年度からの2年間は環境省委託研究事業に採択されたことが公表された。

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第2回研究会合

議事録

1. 日時・場所: 令和4年2月21日(月)10:00~12:00

オンライン 開催(Microsoft Teams)

2. 議 題: ①研究成果 説明・質疑応答

(量研・数藤由美子、エルピクセル担当者)

②令和4年度以降の計画 その他(量研・数藤由美子)

3. 出 席 者: 瀧川一学(理研)、野里和博(産総研)、

市川学(芝浦工大)、長田直樹(北海道大)

数藤由美子、栗原治、富永隆子、穂山美穂(量研)

瀧野望、袴田和巳、神元健児(エルピクセル社)

オブザーバー参加:石井公太郎(量研)

3. 議事内容:

①研究成果 説明・質疑応答

数藤(量研)により、2か年の研究成果の概要説明がなされた。技術面における質疑応答において、瀧川氏よりデータの解像度について質問があり、数藤が回答した。野里氏、市川氏、瀧川氏、長田氏から、事前学習の有無ほか、具体的なアルゴリズム内容について質問があり、神元氏が回答した。運用上のAI管理について野里氏、瀧川氏より具体的な問題点と改善方法がアドバイスされた。富永氏、栗原氏により予算(委託元)による対象となる放射線事故の種類に制約が生じる可能性について説明がなされた。

②令和4年度以降の計画 その他

数藤(量研)より、年度末研究報告会における質疑応答内容および令和4年度環境省委託研究事業採択課題の研究計画内容について説明がなされた。

以上。

7-4. 画像検討会 議事録

(注)

事業計画通り全 42 回、実施した。なお、新型コロナウイルス感染症拡大にともない、以下の 5 回を中止した。新型コロナウイルス感染状況が改善された 11 月以降、第 43 回～第 47 回として開催した。

第20回 令和3年8月 5日(木)11:00～15:00

第21回 令和3年8月11日(水)11:00～15:00

第22回 令和3年8月12日(木)11:00～15:00

第25回 令和3年8月25日(水)11:00～15:00

第26回 令和3年8月26日(木)11:00～15:00

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第1回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年6月3日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)被ばく者2名由来標本2枚のギムザ染色および画像撮影

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第2回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年6月4日(金) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)被ばく者2名由来標本2枚の PNA-FISH 染色および画像撮影

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第3回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年6月9日(水) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)被ばく者2名由来標本2枚の PNA-FISH 染色および画像撮影
(つづき)

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第4回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年6月10日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)被ばく者2名ギムザ染色画像 目視正解データ作成

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第5回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年6月16日(水) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)被ばく者2名 PNA-FISH 画像 目視正解データ作成

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第6回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年6月17日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)被ばく者2名 PNA-FISH 画像 目視正解データ作成

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第7回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年6月23日(水) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1) 被ばく者2名 AI自動判定結果と目視判定結果との比較検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第8回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年6月24日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1) 被ばく者2名 AI自動判定結果と目視判定結果との比較検討
(つづき)

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第9回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年6月30日(水) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)今後の画像準備についての検討
2)0.5 Gy 画像作成 20 枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第10回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年7月2日(金) 11:00~15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第11回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年7月7日(水) 11:00~15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第12回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年7月8日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第13回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年7月14日(水) 11:00~15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第14回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年7月15日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像作成 標本4枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第15回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年7月20日(火) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第16回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年7月21日(水) 11:00~15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像作成 標本4枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第17回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年7月28日(水) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第18回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年7月29日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第19回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年8月4日(水) 11:00~15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像作成 ギムザ染色 704 枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第23回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年8月18日(水) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像作製 FISH 299 枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第24回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年8月19日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像作製 FISH 399 枚

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第27回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年9月10日(金) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第28回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年9月16日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第29回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年9月29日(水) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第30回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年10月5日(火) 11:00~15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第31回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年10月7日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度 32 回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年10月12日(火) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第33回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年10月14日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第34回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年10月21日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第35回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年10月22日(金) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第36回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年10月28日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)(オンライン参加)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第37回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年10月29日(金) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第38回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年11月4日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第39回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年11月5日(金) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第40回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年11月11日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第41回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年11月16日(火) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第42回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年11月18日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第43回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年11月24日(水) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)(オンライン参加)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討
6. 備考 8月コロナ禍のため中止した第20回画像検討会の振替開催

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第44回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年11月25日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討
6. 備考 8月コロナ禍のため中止した第21回画像検討会の振替開催

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第45回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年12月2日(木) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討
6. 備考 8月コロナ禍のため中止した第22回画像検討会の振替開催

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第46回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年12月3日(金) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 敷藤由美子(量研機構)(主任研究者)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討
6. 備考 8月コロナ禍のため中止した第25回画像検討会の振替開催

以上。

令和元年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
染色体線量評価のための AI 自動画像判定アルゴリズム(基本モデル)の開発
令和3年度第47回画像検討会

議事録

1. 日時 令和3年12月7日(火) 11:00～15:00
2. 場所 量研機構 計測・線量評価部
(千葉県稲毛区穴川 4-9-1 第3研究棟 L315 室)
4. 参加者 数藤由美子(量研機構)(主任研究者)(オンライン参加)
穂山美穂(量研機構)(研究参加者)
平井百樹(東京大学名誉教授)(検討委員)
5. 実施内容 1)2.0 Gy 画像判定 20 枚
2)論文化についての検討
6. 備考 8月コロナ禍のため中止した第26回画像検討会の振替開催

以上。

7-5. 情報収集(学会報告)

(注)

令和3年度、新型コロナウイルス感染症の影響で、国際バイオドシメトリ学会 2022 は延期され、2022年3月28日～30日開催となったため、他の研究予算により、関連研究で発表参加した。本報告書には参加報告を含めない。

(1)人工知能 EXPO

●展示会概要

展示会名:第5回 AI・人工知能 EXPO 春

日時:2021年4月9日 10:00-18:00(EXPO 自体は4月7日～9日)

会場:東京ビッグサイト 青海展示棟

主宰:リード・エグジビション ジャパン(株)

出展者数:67ブース(同時開催の量子コンピューティング EXPO, ブロックチェーン EXPO を除く)

●AI 開発のアウトソーシングを受託している企業

医療分野での実績がある企業は少ない。

・ネットフォース株式会社

実績:スマート農業実現に向けた植物の物体検出

・AIMENEXT JAPAN 株式会社

実績:農産物認識(トマト認識・収量カウント), 農産物の交配種 F1 予測システム

・ハイパーダイン株式会社

実績:血液検査機器の癌陽性/陰性の判定アルゴリズム開発

・株式会社菱友システムズ, デジタル技術活用支援サービス

・株式会社モルフォ, イメージング AI

染色体検査の効率化

「技術としては継続しているが、人はあまり割いていない」(松尾さん)

- SRA Tohoku, Inc., JUDGE!

画像 AI に必要なすべてのサービス・ソリューションを提供

- MST 一般財団法人材料科学技術振興財団

- 株式会社 KDDI テクノロジー

- FPT コーポレーション

- Incubit, 画像認識 AI

実績: 神経細胞の発達観測とカウント

- ギリア株式会社

実績: 介護用ベッドの転倒転落対策

- FastLabel 株式会社, アノテーションサービス

レントゲン検査や超音波・内視鏡検査などの医療画像・動画から病原箇所を検出する教師データを提供

「教師画像提供なので薬機法は関係ない」

- 中外製薬, DIGITAL X

創薬事業での AI 活用

●AI 解析プラットフォームを提供する企業

- 株式会社 aily, DAVinCI LABS

- 株式会社 Pros Cons, Gemini eye

教師あり&なし統合外観検査 AI

- 株式会社 MILIZE, milize Forecast; milize Auto ML

金融業界向けの予測のための AI 分析プラットフォーム

- 株式会社 Anamorphosis Networks, OpenPoC

実績: 外観検査

- 株式会社 MatrixFlow, MatrixFlow

ビジネス活用のための AI 構築プラットフォーム。環境構築・プログラミング一切不要。

- 株式会社コンピュータマインド, DeepEye

Deep Learning 技術を用いた画像分類・物体検出を行えるオールインワンパッケージ

- ソホビービー株式会社, HAMPANAI AI

実績: 海苔の等級判定

●生物系の解析に関与している企業

10//67 = 15%

●総合医療システム

・FPT コーポレーション

AI 支援の視覚診断, インテリジェントな顧客サービス管理

・住友電工情報システム株式会社, QuickSolution

医療系特化ではない

●OCR

・SRA Tohoku, Inc., JUDGE!

ワトソンが 1 行だけ記載されていた

・株式会社ダイレクトクラウド, Direct Cloud BOX

AI-OCR とのコラボにより帳票をテキストデータ化し、瞬時に検索できる。

・株式会社 MILIZE, milizeOCR

金融業界向け:顧客の書類を撮影>データ化>分析レポート作成

・株式会社 KDDI テクノロジー, OCR ソリューション

●学会系

・人工知能学会全国大会:2021 年 6 月 8 日~11 日 オンライン開催

・日本ディープラーニング協会:講座 AI For Everyone オンライン講座無料

●理論系出展団体

・中央大学理工学部 田口善弘教授

「テンソル分解を用いた教師なし学習による変数選択法を用いたデータサイエンス」

少量サンプルでも有意差のある変数を容易に同定でき、計算不可も少ない、次世代のデフ

ァクト「高次元小標本データ解析手法」

「理論ができたところで使用した事例はまだない」(中央大職員の方)

・大阪大学大学院情報科学研究科加納敏行先生

「ゆらぎ学習～ヒト脳に倣う次世代人工知能」

ヒト脳の認知メカニズムに倣うことで環境適応や発達機能を有し、わずかなデータによる学習で雑音や変動を含むデータを正確に識別分類する次世代人工知能技術

ベイジアンアトラクタモデル(Sebastian Bitzer, Jelle Bruineberg, Stefan J. Kiebel)を採用
複雑な問題を簡単にする／省エネ

「ゆらぎ学習データ分析基盤」

CUI のゆらぎ学習基本モジュールは GitHub にて公開中

Core i7 以上, 16 GB メモリで動く

パラメータ設定の処理経過を保存するので各経過段階に戻れる

●顕微鏡系のメーカーは参加なし

(2)第3回日本メディカル AI 学会学術集会 報告

集会名称	第3回日本メディカル AI 学会学術集会
場所	オンライン開催
期間	2021-06-11～2021-6-12
成果	医療分野での AI を用いた画像解析、自然言語処理の最新の研究成果を聴講し、AI 技術に関する知見を深めることができた。また AI を活用した医療機器の薬事規制に関する動向が得られた。本研究に直結する内容としては、多施設間試料格差の検討が有用である。

収集情報の抜粋(プログラム番号および内容):

- G-2 MRI による T2 強調像から STIR 像を敵対的生成ネットワーク(GAN)により生成した。T2 強調像から疑似的な STIR 像を生成する Generator と疑似的な STIR 像と本物の STIR 像を判別する Discriminator からなる。(ギムザ画像-FISH 画像の変換へ応用できそう)
- G-4 X 線像の読影で骨盤骨折の骨折型や転位量から大量出血を予測する。モデルが画像のどの部分に関心をもったのかという関心領域を Grad-CAM によって確認した。
- G-5 病期の膀胱がんの発見のため CycleGAN を用いて CT 画像を初期の病気分類に優位性がある MRI 画像に変換した。
- G-6 多施設間の画像差に対して頑強な脳腫瘍領域の自動セグメンテーションが目的。公開データセットである BraTS データセットと日本全国 10 施設より収集された JC データセットを用いた。BraTS データセットのみで学習した BraTS モデルに対してファインチューニングモデルは、BraTS モデルに対して少数(20 例以下)の各施設の画像を用いて各施設ごとにファインチューニングを行なったモデルとした。BraTS モデルとファインチューニングモデル間にはダイスコアの有意差を認めた。(多施設間の染色体画像の差に対応できそう)
- G-7 医用画像のラベル付けの効率化を図る手法としてアクティブラーニング(AL)がある。AL は AI が判断に迷うデータを効率的に選択することができる。CT 画像から病変部を Faster R-CNN によって検出するモデルに対して AL を適用し、抽出された画像に対してアノテーションを行い学習データに追加した。ランダムに選択した場合に比べて有効性が示された。(染色体画像のアノテーションに適用できる)

- G-8 MRI 画像の 3D セグメンテーションが目的。計算モデルが大規模なためメモリ不足になりがち。実行環境に IBM の Large Model Support (LMS) を適用し、計算結果を一時的に CPU メモリに退避させることで大規模な計算に対応した。モデルのレイヤー数増加に対応できるようになった。(我々の環境でも適用可能だがその必要があるかは要検討)
- G-33 知識行列をモデルに組み入れた非負値行列因子分解(NMF)による解析手法 methPLIER(主成分分析により遺伝子の数を圧縮する)により Human Methylation 450 BeadChip (HM450K)プラットフォームのデータを Human Methylation EPIC (EPIC)や、全ゲノム DNA メチル化解析(WGBS)プラットフォームのデータと比較した。クラスタリング分析を行ったところ、raw データではプラットフォームごとにクラスタリングされたのに対し、methPLIER による因子負荷行列では解析サンプルごとにクラスタリングされた。
- G-37 一通りの実験を自動化できる LabDroid "Maholo"
- G-16 結腸がんの術後切除検体 HE 染色標本。AI 解析前に部分画像切り出しと Stain tools による染色の標準化を行った。
- G-17 腎生検の Periodic Acid-Schiff 染色画像。AI が誤判定した場合、画像のどの部分を誤認識したのかを Grand-CAM で調べた。
- G-18 免疫組織化学染色画像からの非小細胞肺癌未分化リンパ腫キナーゼ融合遺伝子異常 (ALKr) の有無の予測。学習コホートでは異なる 2 つの解像度 ($1.0 \mu\text{m}/\text{pix}$, $0.25 \mu\text{m}/\text{pix}$) にて ALKr 判別アルゴリズムを構築。低解像度の方が高い精度を示した (Samuel et al. ICRI 2018)
- G-45 AI 解析におけるブラックボックス化問題に対処するため、人工知能の先端技術であるルール抽出技術を導入し、ホワイトボックス化した説明できる人工知能を用いて緊急帝王切開術を検出するシステムを構築した。緊急帝王切開の要因となる可能性がある 52 因子を抽出し、人工知能を用いたルール抽出のアルゴリズム (ReRX with J48graft; Hayashi 2019)に入力し、2 つのクラスに分類されるルールセットを抽出した。ルールの平均精度は 81.94%であった。
- P-2 AI による画像診断の精度を高めるには学習させるデータの質と量がとても重要である。
- ラベル付き学習データを一括生成するシステム(Bise et al. MICCAI 2019)
 - 倍率、部位の知見を活かすシステム(Harada et al. EMBC 2019)
 - GAN を利用して病変画像を生成するシステム(Han et al. ACMCIKM 2019)

- G-50 膠原病肺の画像分類。Grad-CAM による特徴量の可視化(Selvaraju et al. 2017)により、AI が画像の肺野以外の領域に注目していたことがわかった。
- S-30 FDA で承認されている医療機器は全てアルゴリズムが固定されている”locked”医療機器である。現在”adaptive”医療機器についての議論がなされている:AI/ML-SaMD Action Plan。その日本版が改善・改良計画事前確認制度(IDATEN)。

特別講義

・AI 開発環境

NVIDIA の開発プラットフォーム Clara, オープンソースフレームワーク(ヘルスケア向け)MONAI。Clara Parabricks は GATK をベースにした解析ソフトウェアで、ヒトのバリエーションコーリングが 23 分(CPU で 1,200 分のところ)でできる。

AI 開発支援プラットフォーム(FUJI FILM, 国立がんセンター):AI 開発を All in One でサポートする。

・開発における課題

・過学習 (Nakkiran arXiv 2019)

・Deep double descent: 複雑なモデルは過学習を起こすが、十分な学習で改善される。

・現実的な対策:

・データ数を増やす(data augmentation, semi-supervised learning: 少数のラベル付きデータと多数のラベルなしデータを組み合わせた学習方法)

・正則化によりモデルの自由度を抑える。Dropout: 学習の際、隠れ層中のいくつかのノードを無効にして学習を行う。ネットワークの自由度が制限される。Batch normalization: ネットワークの学習プロセスを安定化させ、学習速度を高める。併用する場合は Dropout を Batch normalization より後に入れる。

・過学習する前に学習を停止する

・ブラックボックス問題

・Deep explanation: 説明可能な特徴量の学習技術

・Interpretable models: 構造化された、説明可能な因果モデルの学習技術

・Model induction: AI モデルを XAI (explainable)モデルで近似する技術

•XAI/Interpretable AI の分類(Arun and Paul arXiv 2020)

•ドメインシフト問題: 多施設共同研究などによるデータにはドメインバイアスがある。

•Fine-tuning 法(G-6, Takahashi et al. Cancers 2020)

•Domain Adaptation: 転移学習の一種で、十分な教師ラベルを持つドメインから得られた知識を、十分な情報がない目標のドメインに適用する。

•医療 AI に関連する法制度の動向

学術研究に係る適用除外規定の見直し

現行法

個人情報取扱事業者の義務:学術研究は全て適用除外

見直し後

利用目的による制限:学術研究は例外

要配慮個人情報の取得制限:学術研究は例外

第三者提供の制限:学術研究は例外

安全管理措置等:学術研究も適用

保有個人データの開示等:学術研究も適用

(3) 日本人類遺伝学会第 66 回大会 報告

集会名称 日本人類遺伝学会第 66 回大会
主催者 日本人類遺伝学会
場所・会場 オンライン開催
期間 2021-10-14～2021-10-16

概要:

医療分野における AI 技術を用いた研究成果についての情報収集を行い、最新の知見を得た。

本研究と直接関連のある研究発表情報:

1) 診断支援システム構築における AI とデータベースの貢献

○藤原 豊史 (情報・システム研究機構 ライフサイエンス統合データベースセンター)

希少・遺伝性疾患の診断を支援する PubCaseFinder (<https://pubcasefinder.dbcls.jp>) を構築・運用している。日本語で記述された診療録を Human Phenotype Ontology (HPO) に標準化してデータを共有する。さらにゲノム情報ともリンクされている。入力された症状セットの類似度は GeneYenta アルゴリズムで計算される。GeneYenta がノイズに対してよりロバストになるよう新たに 3 つのパラメータを導入した(PubCaseFinder+)。4 手法の比較では PubCaseFinder+ が最も精度が高い。

2) 畳み込みニューラルネットワークを活かした HLA インピュテーション

○岡田 随象(大阪大学 大学院医学系研究科 遺伝統計学)ほか

畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Networks: CNN)は深層学習に分類される機械学習手法の一つである。対象データの局所的特徴を学習する畳み込み層を複数組み合わせて判別を行う手法であり、特に画像データの認識・分類予測における有用性が見出されてきた。一方、回帰型ニューラルネットワーク(Recurrent Neural Network; RNN)は、時系列・可変長入力データを対象に、連続したネットワークにおいて中間層の値を順次反映させる手法である。HLA imputation 法は、主要組織適合遺伝子複合体(MHC)領域内のヒト白血球抗原(HLA)遺伝子多型を周辺 SNP genotype 情報から推定する機械学習手法である。一般的な SNP genotype imputation は、欠損 SNP を中心としたハプロタイプ配列の連続性に基づ

くアルゴリズムが多く、即ち RNN との相性の良さを示されてきた。我々は、MHC 領域内の複雑な連鎖不平衡関係と HLA アレルの関係を示す特徴量抽出への有用性を期待し、CNN を用いた HLA imputation 法として DEEP*HLA を実装した (Naito T et al. Nat Commun 2021)。MHC 領域内のヒト集団ゲノム行列を画像変換することで DL の適用を可能にした。近接する変異間の連鎖不平衡関係に依存しないため、従来の機械学習と比較して、稀な HLA 遺伝子型の推定精度が改善した。CNN genotype imputation では個別の変異に対する学習パラメータの推定が必要となる。DEEP*HLA では複数の HLA 遺伝子を対象としたマルチタスク学習を用いて対応したが、genome-wide SNP imputation への適用は計算負荷の観点から現時点では実装が難しいと考えている。

3) 東北メディカル・メガバンク計画における大規模ゲノム解析と AI 技術の活用

○木下 賢吾 (東北大学 東北メディカル・メガバンク機構; 東北大学 情報化学研究科)

東北メディカル・メガバンク計画では、一般住民 15 万人の協力を得て前向きコホートの構築を行ってきた。その中から、現時点で約 1 万人、将来的には 10 万人規模の全ゲノム解析を実施している。参照パネルの利用では、SNP アレイデータに対する遺伝子型インピュテーションへの活用が重要であり、遺伝子型インピュテーションでは、SNP アレイ解析を行った対象検体とハプロタイプ参照パネルを構成する検体が民族的に近いことが好ましい。そのため、当機構で解析を行ったハプロタイプ参照パネルは日本のゲノム医療の推進に寄与することが期待されている。既存のインピュテーション手法では遺伝子型情報の中でもフェージング済のハプロタイプパネルを用いることが一般的であり、個人情報保護の観点からパネルそのものの配布が困難な状況である。そこで我々は、深層学習の手法を用いたインピュテーション手法を開発することで、個人特定性できない形式で配布可能なインピュテーション手法の開発を行った。従来の遺伝子型推定では SNP アレイ解析の結果を参照パネルを直接用いてアレイに載っていない場所の遺伝子型を統計的に補完するが、RNN-IMP 法は参照パネルから数値パラメータ情報をモデル化し、これを用いて補完を行うため個人情報を共有する必要がなくなる。

4) AI は遺伝学研究に革命を起こせるか

○清田 純 (理化学研究所)

①2017 年将棋(10²²⁶) PONANZA(機械学習) vs 佐藤叡王、2016 年囲碁(10³⁶⁰)

AlphaGo(深層学習)vs Lee Sedol など、深層学習の発展によりわかったこと: 人間による探求の限界 10³⁶⁰ の可能性のうち人間が探求してきた範囲は局所解で、深層学習はそれ以外

の範囲の最適解を見つける。これは医学分野と似ている。②予測する深層学習:PhysioNet Challenge 2019 1500 万件の ICU データから 6 時間後の敗血症発症を予測する。異なるパラメータをもつ 5 つの学習モデルにデータを与え、それぞれの予測を上位の学習モデル(1 つ)に渡す。上位のモデルはデータと受け取った予測から最終予測を行う。③創造する深層学習:深層生成モデル:概念を学習することが可能。Discriminator 学習モデルが「概念」の例を学習し、画像が真か生成されたものかを判定する。Generator 学習モデルが画像を 1 から生成する。「人間の顔」、「胸部 X 線写真」といった概念を学習し、実在しない画像を生成できる。究極の暗黙知:芸術 デザイナーの世界観を学ぶ学習モデルを作製し、「巻貝」、「薔薇」といったモチーフと組み合わせた衣装デザインを生成した。東京コレクションの壇上に登った初めての AI 科学者となった。

以上。

7-6. 情報収集(論文調査)

(注)深層学習を用いない従来型の機会学習法(人がパラメータ設定を行って学習させる手法)による染色体画像自動解析ソフトウェアのうち、情報公開され、入手可能で、最も性能の高い「Automated Dicentric Chromosome Identifying software (ADCI)」(Cytogenomix 社、カナダ)について、詳細な論文発表がなされているので、その内容をまとめ、検討／考察を添える。

(1)論文 [文献8]

G. M. Ludovici et al.: Cytogenetic bio-dosimetry techniques in the detection of dicentric chromosomes induced by ionizing radiation: A review. Eur. Phys. J. Plus (2021)

[アブストラクト]

電離放射線は環境中に遍在する。電離放射線への過度の曝露は、生体組織に損傷を与え、深刻な健康問題を引き起こす。Cytogenetic bio-dosimetry は細胞遺伝学的生体線量測定には、個人間の変動を考慮に入れるという大きな利点があり、物理的線量測定が適用できない場合でも有益であり、WHO が推奨する方法である。主に二動原体染色体(DC)の頻度を数えることが行われる。本レビューでは、主としてアルゴリズム「Automated Dicentric Chromosome Identifying software (ADCI)」について、DC 検出のためのさまざまなアルゴリズムを分析、解説する。(注意:線量推定や DC 検出の記述は無い。)

ADCI:

二動原体を画像(ギムザ画像もしくは DAPI 画像)から検出・カウントするソフトウェア。基本アルゴリズムはほぼ一緒だがいくつかのバージョンがあり、C++や MATLAB など実装のパターンもいくつかある。単一のソフトウェアを指すというよりはアルゴリズム群を指す。機械学習的手法ではなく、明示的に記述されたルールに従って特徴量抽出や定量、分類を行う。

(2)ADCI アルゴリズムの概要

ADCI はギムザ画像を以下の6つのモジュールで段階的に処理することによって DC の数を定量する。ただしこの手順や名称は引用文献 127 の論文 (<https://doi.org/10.1093/rpd/ncu>) およびその先行研究の論文

(<https://ieeexplore.ieee.org/document/5479183>)に準拠するもので、必ずしも ADCI 一般での名称や計算方法が以下の通りではない。

1. Metaphase ranking
2. Chromosome separation (引用元では Chromosome separation となっているときもある)
3. Gradient vector flow contour extraction (GVF)
4. Discrete curve evolution (DCE)
5. Centerline interpolation
6. Centromere detection

GUI を用いて操作を行いデスクトップ PC で、各ステップごとに諸条件のハイパーパラメータの設定を行いながら操作するのが基本だが、スーパーコンピュータ (cluster computer) で実行するバージョンもある。ADCI のこの基本 6 モジュールの他にも、追加で結果を再調整するための処理を追加するバージョンもある。

(3) Module 1: Metaphase ranking

ADCI はすべての画像を解析しない。Metaphase ranking モジュールでは解析に使用するのに最適な画像を選出するため、ランキング付けを行い、ランキングスコアの高い画像を使用する。Metaphase ranking という名前だが、細胞周期のフェーズをランキングするわけではない。おもに染色体の広がり进行评估し、染色体の分布や染色体の数や長さ、シグナル強度が適切かどうかを判断する。

(4) Module 2: Chromosome classification (separation)

まず、個々の物体検出を行う。次に、検出した物体が単一の染色体なのか、あるいは染色体が重なっているものなのかを判別する。のちの Centromere 検出の過程において、染色体の形状を利用するため、染色体が重なっていると DC 偽陽性の元になる。そのため重なって存在する染色体はそもそも解析対象から除くことが ADCI において重要となる。

手順

1. Otsu's method (大津法)で画像のシグナル強度のヒストグラムの閾値を決定し、画像のバックグラウンドと物体に画像を分割する。物体の小さな穴 (隣接するピクセルが4つ以下のもの)を埋める

2. 検出した物体の Skelton (大まかなライン) を抽出し、その Skelton が2つ重なっている物体は染色体が重なっているものとみなして排除する。Skelton が重なっていないものを単一染色体とみなして次の解析に回す

上記の出典元: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5479183>

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7080619>

(5) Module 3: Gradient vector flow contour extraction (GVF)

物体の輪郭をなめらかでより正確な曲線として決定するために用いられる。ADCI では染色体の輪郭の凹凸を利用して Centromere を決定するため、輪郭の決定法はクリティカルに結果を左右する。

(6) Module 4: Discrete curve evolution (DCE)

たくさん分岐した skeleton から些末な枝をとりのぞき、メインの skeleton を残すアルゴリズム。染色体のセンターラインとなるものを抽出するために利用する。

(7) Module 5: Centerline interpolation

前のモジュールで得られた skeleton (ライン) はノイズの影響で途切れていたり、カクカクしていたりする。それをなめらかに連続したものに補完し、センターラインを得る。

(8) Module 6: Centromere detection

ADCI の中心的なモジュール。染色体の形体から、Centromere の位置を推定する。赤線でセンターライン、青線で染色体の幅を表す。染色体の幅と輝度の2つの情報を用いて、「染色体のくびれ」を探し出し、Centromere の位置の候補とする。例えば幅の local minimum がくびれ位置となる。異なる2つの Centromere が認識された場合、その物体を DC とみなす。

(9) ADCI の特徴

このレビューでメインに取り上げている ADCI が引用文献 127 のものであるため、その性能を中心に ADCI の特徴についてまとめる。

- DAPI 画像もしくはギムザがそうから、染色体のくびれの個数により DC をカウントする。
- 画像あたりの DC の頻度によって検量線をつくり、Normal などの染色体についてはそもそも検量線作成時に利用しない。

- 重なり合った染色体も解析対象としない
- 前処理で画像の選択をおこない、約20%の画像を利用する

(10) ACDI の性能 (全般)

- Centromere の誤検出が多い (1画像あたり 3~10)
- 専門家が判断した DC は 1 や 2 が多い (1~4 個の範囲) だが、ACDI が検出した DC は 10 個以上と、非常に DC の偽陽性が多い。

(11) ACDI の性能 (Sensitivity, Specificity)

このレビューでメインに取り上げている ACDI が引用文献 127 のものであるため、その性能を中心に ACDI の特徴についてまとめる。

- Sensitivity 85%, Specificity 94%

参考: 我々のアルゴリズムの場合 (Yolov5 + DenseNet161)

- Sensitivity 81.8%, Specificity 99.8% (= 8003/8019x100, 偽陽性は 8019 のうち 16)

ACDI は染色体のクビレで DC を認識するため、非常に誤検出 (偽陽性) が多く、正しい DC の数の数倍の DC を誤って検出することになる。Sensitivity と Specificity はトレードオフの関係にあるため、仮に specificity を多少落としても良いなら、我々のアルゴリズムでも DC として検出するか否かの閾値を下げるだけで、Sensitivity 96.1%, Specificity 99.4% のようなスコアになる。

(12) ACDI の性能: 実行時間

このレビューでメインに取り上げている ACDI が引用文献 127 のものであるため、その性能を中心に ACDI の特徴についてまとめる。

- 1025 枚の画像を処理したときの実行時間 (ただし最終的に解析対象としたのは 200 枚の画像)
 - ◆ 8コア デスクトップ PC での時間 : 68 h 54 m 19 s
 - ◆ 1024 コア スーパーコンピュータでの時間 : 1.4 h

(13) ACDI の実装

ソースコードは非公開。デモ版はリクエストに応じて無料で利用できるとのこと。
正式なバージョンは有償 (<https://radiation.cytognomix.com>)

ADCI_Online subscriptions

ADCI_Online runs exclusively on a cloud-based system (Amazon Web Services [AWS] - [AppStream 2.0](#)) and pixels are streamed to the user through a web browser or [AppStream 2.0 client](#). An AWS Simple Storage Service ([S3](#)) Bucket is utilized for storage of uploaded metaphase images and ADCI results. Each user is assigned a unique directory within the S3 bucket. Images can be uploaded to S3 before the subscription start date. See the "ADCI Online" heading on the [adciwiki](#) for more information.

If this is a multi-institutional project (calibration curves for each laboratory and multiple sets of samples to be analyzed by each), please contact CytoGnomix for assistance in selecting appropriate subscription quantities and support levels.

Standard - 96 hour subscription	\$1,000.00 USD
96 hour extension (within one month of standard subscription expiry)	\$500.00 USD

(サブスクリプション情報は 2021 年6月時点のもの)

以上。

7-7. 現有顕微鏡システムにおける画像情報

本研究で使用した顕微鏡画像は、モノクロ CCD カメラ CoolCube 1m を搭載した顕微鏡システム Axio Imager Z2 とソフトウェア Metafer 4(以上、Zeiss / MetaSystems 社、ドイツ)を用いて自動撮影したものである。

本研究では PNA-FISH マージ画像を用いた。

表 A. 画像ファイルの情報

	ギムザ	PNA-FISH 各フィルター	マージ画像
種類	JPEG(80%圧縮)	TIF(LZW 圧縮)	TIF(LZW 圧縮)
大きさ (幅)	1280 pixel	1280 pixel	1280 pixel
(高さ)	1024 pixel	1024 pixel	1024 pixel
解像度 (水平方向)	96 dpi	96 dpi	96 dpi
(垂直方向)	96 dpi	96 dpi	96 dpi
ビットの深さ	24 bit	8 bit	24 bit
サイズ	~150 KB	~600 KB	~2.5 MB

(注: JPEG, TIF, BMP からの選択や圧縮無しの選択も可能)

表 B. 撮影に用いた CCD カメラおよび対物レンズのスペック

Technical Specifications	
<i>Resolution/Pixel Size</i>	1360 x 1024 pixels; 6.45 μm x 6.45 μm
<i>Sensor</i>	2/3" EXview HAD CCD™, quadratic pixels, monochrome or color (BAYER pattern)
<i>Order Number</i>	CoolCube 1m (monochrome): H-0310-009-MS CoolCube 1c (color): H-0310-010-MS
<i>Frame Rate</i>	15 fps @ full resolution
<i>Full Well Capacity</i>	17,000 e
<i>Digitization Depth</i>	12 Bit
<i>Shutter</i>	Global Shutter
<i>Exposure Time</i>	20 μs to 270 s
<i>Gain</i>	1 - 16
<i>Data Interface</i>	High Speed USB 2.0
<i>Power Supply / Power Consumption</i>	USB powered; 2.4 W
<i>Internal Image Memory</i>	32 MByte
<i>Mechanical Interface</i>	C-Mount
<i>Dimensions</i>	70 mm x 70 mm x 70 mm
<i>Weight</i>	730 g

CCD カメラ: CoolCube 1m (Metasystems 社製モノクロ CCD カメラ)

対物レンズ: PlanApochromat 63 倍油浸レンズ

7-8. AI 専用コンピュータの構成・スペック

(省略)

7-9. エルピクセル株式会社概要

[企業情報]

住所：東京都千代田区大手町1-6-1 大手町ビル6階

ホームページ：<https://lpixel.net/>

事業概要および実績：東京大学発、ライフサイエンスと画像解析を背景に独自の技術を研究・開発。オリンパス、富士フイルム、キャノンメディカル等から出資を受け複数の医療、医薬用システムを開発。医用画像解析ソフトウェア(脳動脈瘤を診断支援する医療機器)が国内初の薬事・薬機法承認を取得し発売した(2019年10月15日)。

* 研究事例 (一部抜粋。括弧内は共同研究先)

- ・Deep Learning を用いた脳動脈瘤検出アルゴリズム(大阪市立大学)
- ・生物画像自動分類ソフトウェア CARTA(東京理科大学、国立がん研究センター)

* 国家プロジェクトへの参加

- ・経済産業省 / 戦略的基盤技術高度化支援事業：生体組織の立体構造情報と人工知能を活用する病理診断支援システム
- ・科学技術推進機構 / 戦略的創造研究推進事業(CREST)：栽培植物倍数体のマルチオミクス技術開発プロジェクト
- ・厚生労働省 / 革新的がん医療実用化研究事業：人工知能技術を用いた大腸内視鏡検査における病変検出・診断支援技術の開発

* 特許

- ・第 4688954 号 能動学習型の生物医学画像自動分類ソフトウェアCARTA
- ・第 4696278 号 領域分割画像生成方法、領域分割画像生成装置及びコンピュータプログラム
- ・第 6329651 号 画像処理装置及び画像処理方法

* 論文(2017~13年分省略)

- ・2019年 IMACEL: A cloud-based bioimage analysis platform for morphological analysis and image classification. PLOS ONE DOI:10.1371/journal.pone.0212619 ほか
- ・2018年 Deep Learning for MR Angiography: Automated Detection of Cerebral Aneurysms. Radiology DOI: 10.1148/radiol.2018180901 ほか

以上。

令和3年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費
(福島原発事故の経験に基づく防護措置に伴う
社会弱者の健康影響と放射線リスクの比較検討に関
する研究)

事業報告書

福島県立医科大学
令和4年3月

本研究は放射線安全研究戦略的推進事業費(JPJ007057)の助成を受けたものです。

目次

I. 研究要旨	4
II. 研究目的	6
III. 研究方法	7
1. 災害時における医療・介護施設からの避難の影響について・過去報告の systematic review	7
2. 福島原発事故後の地域弱者の緊急避難状況を明らかにするための症例集積 研究及びインタビュー調査	7
3. OSCAAR(off-site consequence analysis code for atmospheric release in reactor accident)を用いた、福島原発周辺の医療・介護施設における被ばく線量 評価シミュレーションとその結果を用いたワークショップ	8
① 目的	8
② 実施要項	8
③ プログラム	8
④ 講義内容	9
IV. 研究結果と考察	18
1. 災害時における医療・介護施設からの避難の影響について・過去報告の systematic review	18
① 論文の検索結果	18
② それぞれの報告からの教訓について	19
2. 福島原発事故後の地域弱者の緊急避難状況を明らかにするための症例集積 研究及びインタビュー調査	20
① 昨年度までの進捗状況について	20
② 20～30km 圏内の病院避難状況に関して	20
③ 原発直近の病院避難状況に関して	22
④ その他	24
3. OSCAAR(off-site consequence analysis code for atmospheric release in reactor accident)を用いた、福島原発周辺の医療・介護施設における被ばく線量 評価シミュレーションとその結果を用いたワークショップ	28
① 結果	28
② アンケート結果	29
③ ワークショップに関するまとめ	30
V. まとめ	31
VI. 参考資料	32
VII. 参考文献	41

I. 研究要旨

原子力災害時における避難などの防護措置は、放射線リスク低減のために最も重要な対策の一つである一方、住民に対し大きな精神的・心理的・身体的負担を与える。本研究は、過去の災害を参考にしながら、東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島原発という。）事故時の避難に伴うリスク及び困難をまとめ、福島原発周辺の医療・介護施設における被ばく線量評価シミュレーションにより被ばくリスクを定量化し、避難に伴うリスクと比較検討し、その結果を用いたワークショップを行い他の原子力発電所立地地域でのより効果的な防護措置立案のための情報を生成することを目的とする。

当該研究は3つのパートから成り立つ。

①災害時における医療・介護施設からの避難の影響について・過去報告の systematic review

昨年度は、PubMed を用いて災害＋避難＋医療施設に関する文献を収集し、災害前後での教訓の取りまとめを行った。今年度は、検索対象の文献データベースを拡張し、避難と避難しないことを比較考量した文献のリスト化と内容の取りまとめを行った。

②福島原発事故後の地域弱者の緊急避難状況を明らかにするための症例集積研究及びインタビュー調査

昨年度には関係者40名からインタビューを行い、(対象者の詳細については昨年度報告書を参照のこと)、インタビューの結果を元に、(i)20～30km 圏内の病院避難状況に関して、(ii)原発直近の病院避難状況に関して、のそれぞれ研究成果を昨年度の報告書の中で報告した。今年度はそれぞれの case report を元に、さらに病院間の比較を行いその差がなぜ生じたかについて考察を行った。加えて今年度は、双葉病院・小高病院・DMAT 関係者の10名に対して追加インタビューを行った他、医療の立場から見た法律や取り決めの問題点をまとめた報告として、(iii)20km 圏内における精神科病院での避難に関して、(iv) 災害関連死の定義の歴史の変遷と現状のまとめに関して、(v)災害対策基本法の変遷と病院避難の課題についてまとめに関して、研究を行った。

③ OSCAAR を用いた、福島原発周辺の医療・介護施設における被ばく線量評価シミュレーションとその結果を用いたワークショップ

今年度は、再び原子力災害が発生した場合に備え、対応力を向上させるための要件を抽出することを目的としてワークショップを開催した。講義内容として、本研究の成果である原発事故時の避難リスクおよび OSCAAR を用いた線量評価について説明した。

キーワード：社会弱者、防護措置、避難、レベル 3PSA

主任研究者

坪倉正治（福島県立医科大学医学部放射線健康管理学講座・主任教授）

研究協力者

高原省五（国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・研究主幹、グループリーダー），小野恭子（産業技術総合研究所・主任研究員），内藤航（産業技術総合研究所・研究グループ長），保高徹生（産業技術総合研究所・主任研究員），村上道夫（福島県立医科大学・准教授），野村周平（慶應義塾大学医学部・特任准教授），尾崎章彦（ときわ会常磐病院・医員），西川佳孝（ひらた中央病院・医員），森田知宏（相馬中央病院・医員），野中沙織（南相馬市立総合病院・研修医），妹尾優希（スロバキアコメニウス大学・医学生），三浦訓子（特定非営利活動法人医療ガバナンス研究所・事務員），関家一樹（特定非営利活動法人医療ガバナンス研究所・事務員），原田恭子（特定非営利活動法人医療ガバナンス研究所・事務員），澤野豊明（福島県立医科大学医学部・大学院生），齋藤宏章（福島県立医科大学医学部・大学院生），樋口朝霞（福島県立医科大学医学部・大学院生），小橋友理江（福島県立医科大学医学部・大学院生），園田有紀（福島県立医科大学医学部・大学院生），西村有代（福島県立医科大学医学部・事務員），朱旭瑾（福島県立医科大学医学部・事務員），原田由佳（福島県立医科大学医学部・事務員），趙天辰（福島県立医科大学医学部・事務員）

II. 研究目的

原子力災害時における避難や屋内退避などの防護措置は、放射線被ばくによるリスクを低減するために最も重要な対策の一つである。その一方で、避難は病院や施設に入所している患者や高齢者など、様々な社会弱者をあぶり出し、社会・身体・経済的などの側面で弱者がより被害を受ける事態を引き起こす(Tsubokura, 2018)。福島原発事故の教訓からも多くの弱者が防護措置に伴う健康リスクを負った。

実際に福島原発事故後の避難の過程において、老人ホームなどの施設入所者、在宅医療を受ける住民、透析患者、高齢者などは健康被害を受けやすく、十分なケアと対策が必要な社会弱者の典型例であった。野村らは、震災時に南相馬市で避難を余儀なくされた老人ホームの入所者に対する震災前後における生存解析を行ったが、老人ホーム入所者の震災後の相対死亡率は震災前に比べ約2.7倍に上昇していた(Nomura et al., 2013)。また、この避難による死亡率の上昇は、福島原発事故から数年間の中での様々な健康リスクの中で、最大のものであったことが示されている(Morita et al., 2017)。そのため、このような社会弱者における、放射線リスク・放射線以外の避難に伴うリスクを具体的に提示し、定量化することは、原子力防災上非常に重要である。

その一方で、原子力防災の観点から、社会弱者の防護措置に伴うリスクについての検討は十分に行われていない。施設敷地緊急事態以降におけるPAZ(Precautionary Action Zone)圏内や、全面緊急事態におけるUPZ(Urgent Protective action planning Zone)圏内外の社会弱者は、緊急時において屋内退避及び適当なタイミングで避難をすることになっているが、防護措置に伴う放射線以外のリスク要因の特定、定量化、そのリスクを低減するために必要な方策、並びに避難前及び避難後にそのような弱者をケアするためのスタッフの維持とその対策など検討が必要な課題は多い。

本研究は、1) 福島原発事故時の避難において、実際に起こったリスク及び困難をまとめ、上述の防護措置に伴う放射線以外のリスクを俯瞰し定量化すること、及び2) 防護措置による健康リスクと、放射線リスクを死亡率や損失余命によって比較することにより、原子力発電所立地地域でのより効果的な防護措置立案のための情報を生成することを目的とする。

本研究は避難しないことを正当化することを目的とはしない。実際にどのような事故が起こりうるか、住民の被ばく量がどの程度となるかは事故の規模により千差万別である。その一方で、福島原発事故の経験は、避難及び防護措置に伴う健康影響の重大さを露呈している。防護措置に伴う多様な健康リスクがある中で、どのような対策が重要か、ありえるかを明らかにすることを目的とする。

III. 研究方法

本研究は3つのステップで構成される。

1. 災害時における医療・介護施設からの避難の影響について・過去報告の systematic review

避難リスクの疫学研究について事例をまとめ、メタ解析を行った。それによってこれまで報告されている、放射線被ばく以外のリスクを俯瞰・リスト化し、防護措置に伴うリスクとその対策を明らかにすることを目標とした。具体的には様々な災害時における医療・介護施設からの避難と避難しないこと、を比較考量した既報を体系的に整理した。

本年度は、5つのデータベースで文献検索と整理を行ったため、その方法論について以下に示す。各々のデータベースで使用した検索式は参考資料に掲載した。

検索式により、災害に関すること+避難に関すること+病院及び介護施設に関することの3つの用語で文献の絞り込みを行った。その後、一般的な systematic review 方法に基づき、該当した論文を2名の独立した調査者がタイトルと抄録で適格性を審査した。相違が生じたものは合議の上判定を決定した。(1st screening)そして、本文取得可能であったものを7名の調査者で分担し1本につき独立した2名が適格性を審査した。相違が生じたものは合議の上判定を決定した。(2nd screening)対象言語は英語に限定し、組入論文を量的研究と質的研究、事例報告に分類し、記述された災害の種類や発生地、発生時期、避難に伴う影響、今後の教訓をまとめた。

最終的な解析に含めた論文は、実際に起こった災害後の病院及び医療施設の避難を扱い(防災・避難計画や事前のアンケートに関するものは除外した)、その避難する場合と避難しない場合の両方について量的または質的に比較考量した論文のみを対象とした。戦争・内戦等に伴う爆破等の人為災害や、内容として避難の過程のみを述べている論文についても除外した。

2. 福島原発事故後の地域弱者の緊急避難状況を明らかにするための症例集積研究及びインタビュー調査

地域の弱者の緊急避難の状況を明らかにするため、現在までに福島原発事故に関する避難についての公開資料(市町村が公開している資料・書籍、医療法人・個人の出版物、裁判資料等)を用いて、症例集積研究等としてまとめた。加えて、病院スタッフ、患者本人や家族の承認が得られた場合にはインタビューを行い、避難の状況についてのデータを収集した。また、病院に保管されている診療録を用いた患者の身体的情報についても記載した。

昨年度には関係者40名からインタビューを行い、(対象者の詳細については昨年度報告書を参照のこと)、インタビューの結果を元に、(i)20~30km圏内の病院避難状況に関して、(ii)原発直近の病院避難状況に関して、のそれぞれ研究成果を昨年度の報告書の中で報告した。今年度はそれぞれの case report を元に、さらに病院間の比較を行いその差がなぜ生じたかについて考察を行った。

これに加えて今年度は、双葉病院・小高病院・DMAT関係者の10名に対して追加インタビューを行った他、医療の立場から見た法律や取り決めの問題点をまとめた報告として、(iii)20km圏内における精神科病院での避難に関して、(iv)災害関連死の定義の歴史的変遷と現状のまとめに関して、(v)災害対策基本法の変遷と病院避難の課題についてまとめに関して、研究を行った。

聞き取り時間は一人あたり約 30 分から 1 時間であり、対面または新型コロナウイルス感染症対策のため、zoom などのソフトを用いてオンラインで行った。インタビュー内容は、同意いただける場合録音し文字起こしを行い、匿名化した上で研究班内において共有した。「インタビューについては、一度同意頂いた後でも、答えたくない質問には答えなくて構わないこと、いつでもインタビューを終わらせることができること、いつでもこの研究について質問することができること、研究結果を論文等にするために提出する前であれば、いつでもこのプロジェクトへの参加を取りやめることができること。その場合には、インタビューデータは消去すること。」について説明の上行った。上記のインタビューは、福島県立医科大学及び南相馬市立総合病院の倫理委員会の承認を得た上で行われた。

3. OSCAAR(off-site consequence analysis code for atmospheric release in reactor accident)を用いた、福島原発周辺の医療・介護施設における被ばく線量評価シミュレーションとその結果を用いたワークショップ

本研究結果を用いて、福島原発事故前後に南相馬市内の医療機関に勤務していた医療従事者および関係者を招いてワークショップを実施した。

① 目的

原発事故が発生した際、周辺自治体の病院は多くの患者を避難させる必要があった。このオペレーションは、災害の状況や病院スタッフの数が減少していたために困難を極めた。今回、原発事故発生前から南相馬市内の病院（20km 圏内 1 病院、20～30km 圏内 2 病院）に勤務し、患者避難に携わったスタッフを招き、避難オペレーションを振り返り、今後、再び原子力災害が発生した場合に備え、対応力を向上させるための要件を抽出することを目的としてワークショップを開催した。講義内容として、本研究の成果である原発事故時の避難リスクおよび OSCAAR を用いた線量評価について説明した。

② 実施要項

- ・開催日時 2021 年 11 月 30 日 17:30～20:30
- ・場所 南相馬市立総合病院
- ・ワークショップ参加人数と原発事故当時の職務 14 名
 医師 1 名 看護師 6 名 放射線技師 3 名 検査技師 1 名
 薬剤師 1 名 リハビリテーション技師 1 名 医療事務 1 名
 （南相馬市立総合病院 12 名 大町病院 1 名 小高病院 1 名）
- ・研究班側のスタッフ
 坪倉正治 澤野豊明 尾崎章彦 堀有伸 山本知佳 趙天辰 原田由香 安井清孝
 オブザーバー：本間俊充（原子力規制庁）

③ プログラム

1	開会式	主旨説明
2	GW 1	原発事故後に困ったこと、足りなかったこと
3	講義 1	坪倉による原発事故時の避難リスクおよび OSCAAR を用いた被ばく量の計算方法
4	GW 2	事故後の QOL を上げるために
5	閉会式	全参加者が本日の内容について感想を述べる。アンケート記入

表：ワークショッププログラム

④ 講義内容

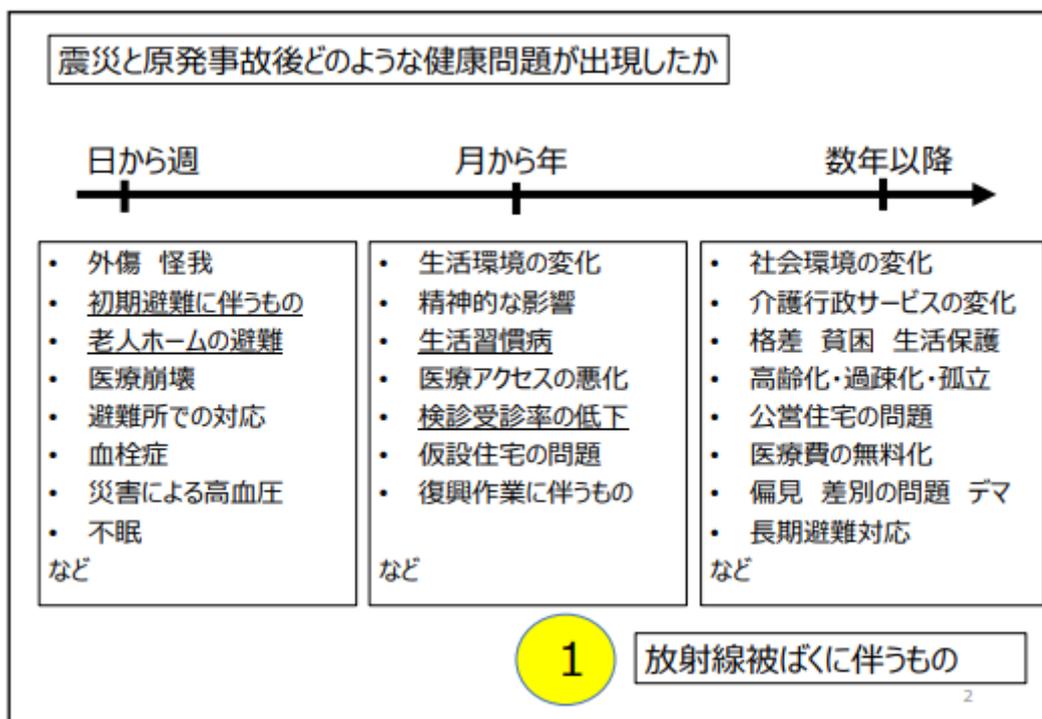
参加者による2つのグループワークの間に、坪倉より本研究の成果から患者避難に関わる内容の講義を行った。講義内容は以下である。

2021.11.30 南相馬市立総合病院
ワークショップ資料

放射線事故時の 避難のリスクに関する研究結果

研究課題名：
「福島原発事故の経験に基づく防護措置に伴う社会弱者の健康影響と放射線リスクの比較検討に関する研究」

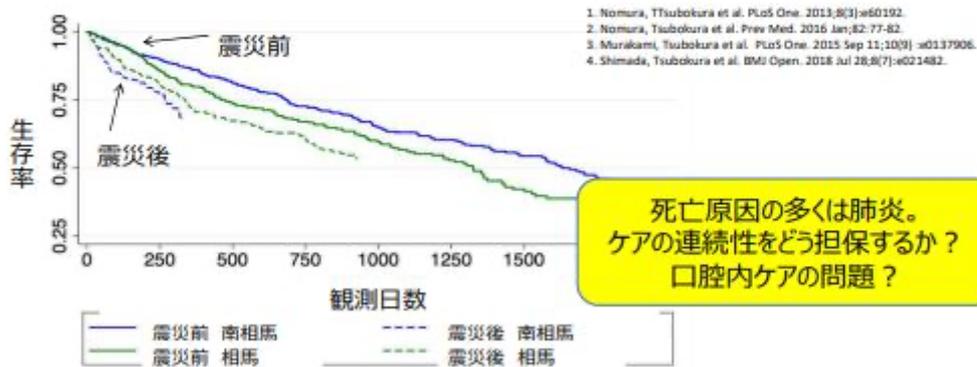
1



2

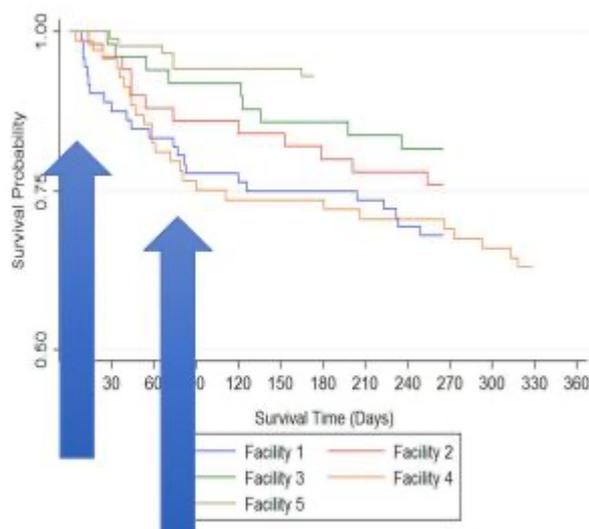
施設入所の高齢者の死亡リスクは避難後、特に高まった。

- ・南相馬 5 施設では、事故後一年で平均2.68倍の死亡率上昇が見られた。*1
- ・避難経験には1.82倍の死亡リスクが認められた。*2
- ・相馬地方における施設入所高齢者の避難による死亡リスクは放射線被ばくによるリスクと比較すると2桁以上大きかった。*3
- ・避難しない場合でも、十分なリソースの提供が無い場合は死亡率の上昇があり得る。*4



3

南相馬市内老人ホーム施設の避難後生存率



超急性期と亜急性期の2種類の対応が必要だろう。
具体的には避難先の病院に着くまでと到着後。

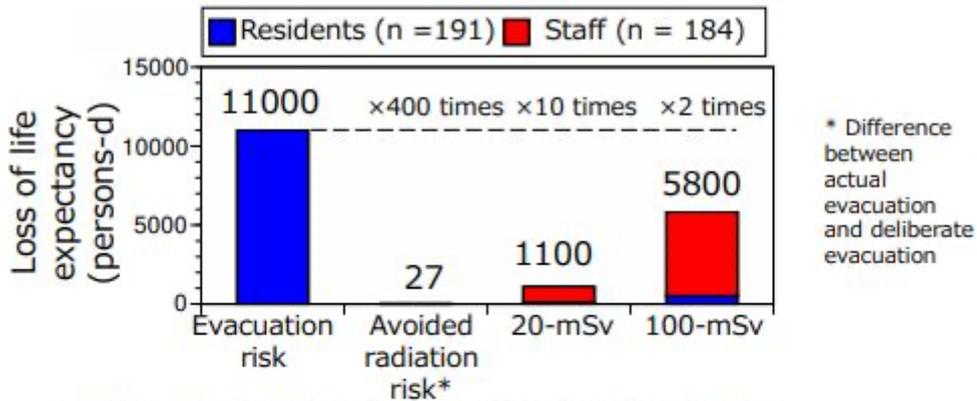
初期の避難での90日以内での死亡率の上昇
施設単位ごとのきめ細やかな避難プランの作成が必要

- 前もっての避難場所の選定
- 前もって避難の方法についての相談
- その場でのケアの維持
- 可能であればスタッフも継続

(Nomura, Tsubokura et al. PLOS ONE. 2013)

4

避難と放射線のリスクトレードオフ

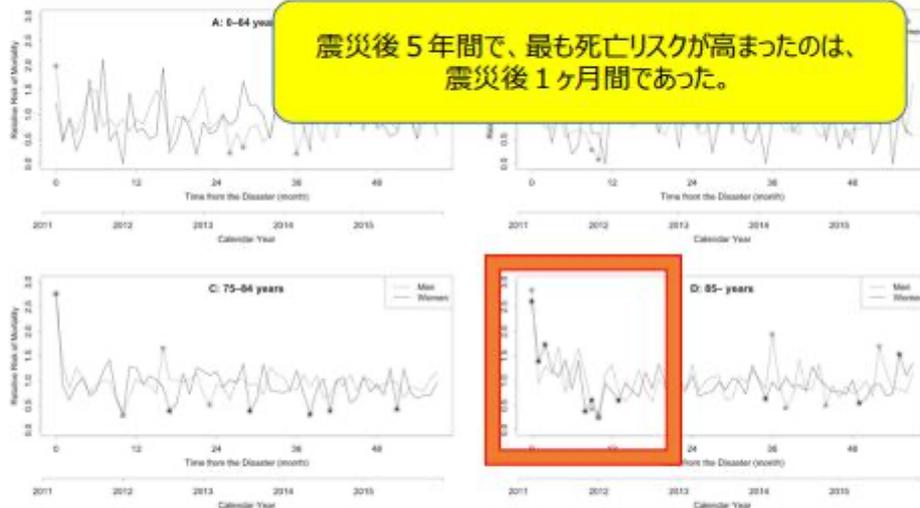


- ◆ 避難により、高齢者施設の入居者の死亡率が増加した。
- ◆ 避難のリスクは、放射線のリスクよりもはるかに高かった。
- ◆ 避難すべきかどうかを議論することが目的ではない。緊急時の準備の一環として、事故が起こる前に避難のリスクを軽減する方法を十分に検討する必要がある。

Murakami Tsubokura et al. (2015) PLOS ONE, 10, e0137906.

5

どの時期の死亡リスクが高かったのか？



相馬市・南相馬市の年齢別で震災前の同時期と比較した相対死亡リスク

Morita, Tsubokura et al. J Epidemiol Community Health. 2017 Oct;71(10):974-980.

6

放射線災害時に病院や施設で亡くなられる方の5つの理由と必要な対応

1. 恐怖⇒混乱⇒システム崩壊による平常の医療、介護が提供できないことによる死亡
2. 職員負担の増加、職員の減少に伴う、需給バランスの崩壊による医療・介護ケアの質の低下による死亡
3. 状態が悪く何かの侵襲があれば亡くなるケースでの死亡：最後の一押しによる死亡
4. 放射線被ばくがあったとして、それ以外の疾患の悪化を原因とした死亡
5. 放射線被ばくによる死亡（急性放射線障害）

体制を確立し
資源調整を行う
災害医療対応
DMAT?

尊厳ある死亡
を守るための
対応が必要

除染・線量評価や
高度被ばく医療

7

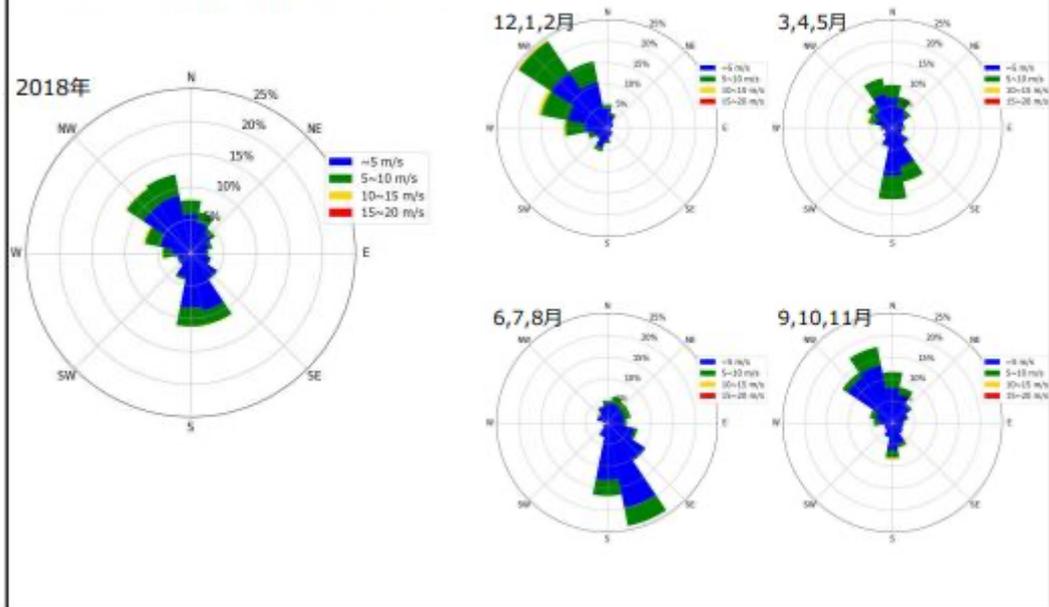
福島原発20-30kmの3病院の避難概要

	南相馬市立：新潟	渡辺病院：県内	大町病院：群馬
	震災初期：33名程	震災初期：40名程	震災初期：40名程
受入患者数	小高病院：68名	施設一時避難：160名程	西病院透析患者：1名
最大在院数	211名	250名超	210名程度
病院避難患者数	104名	80名程度	124名
		竹田：約20名	
	新潟 92（32病院）	西多賀：約10名	外来透析約45名（2病院）
	福島 68（6病院）	白河医師会：約40名	入院透析4名（県立医大）
避難先詳細	他県 2、合計162人	その他重症者：8名	群馬124名
	18日5名		19日62名
	19日49名		20日13名
各日の避難者数	20日に38名	記録は存在しない	21日62名
	入院機能閉鎖。		
避難後病院機能	4/4外来診療再開	完全閉鎖	一時閉鎖、4/4外来再開

Nonaka, Tsubokura et al. in preparation 8

8

福島第一原子力発電所サイトにおける風配図（風上）

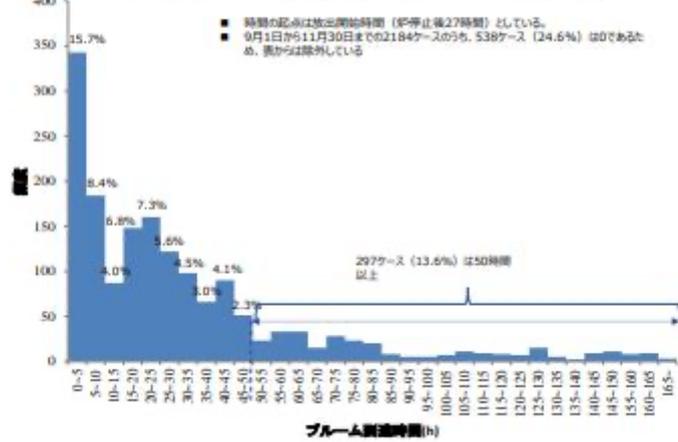


9

ブルーム到達時間の分布

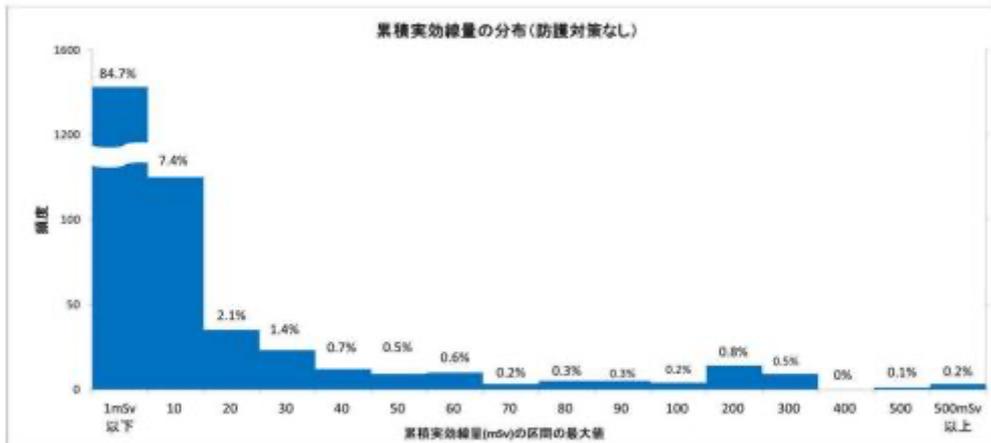
*ブルーム到達時間：空間線量率が> 0となる時間の最小値

ブルーム到達時間の分布
(南相馬市立総合病院、9月1日～11月30日)



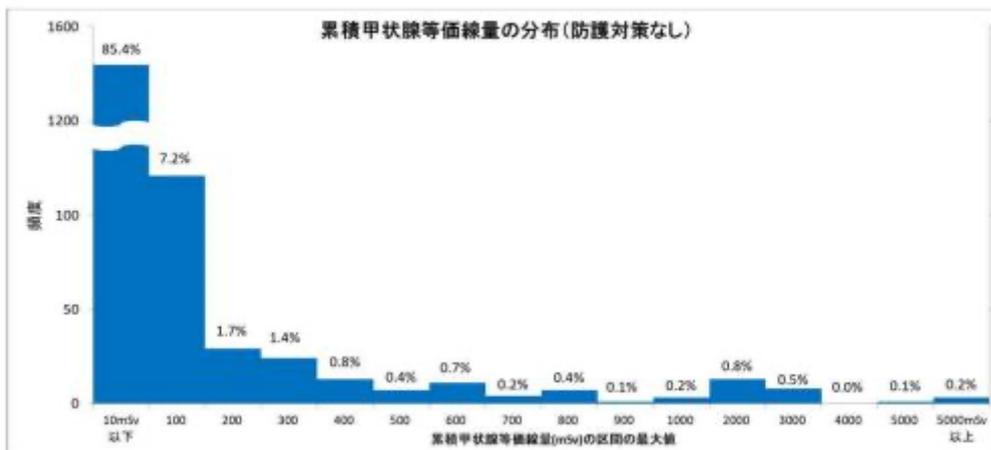
10

累積実効線量の分布(防護対策なし)



11

累積甲状腺等価線量の分布(防護対策なし)



12

事故の条件 1

表1 計算条件

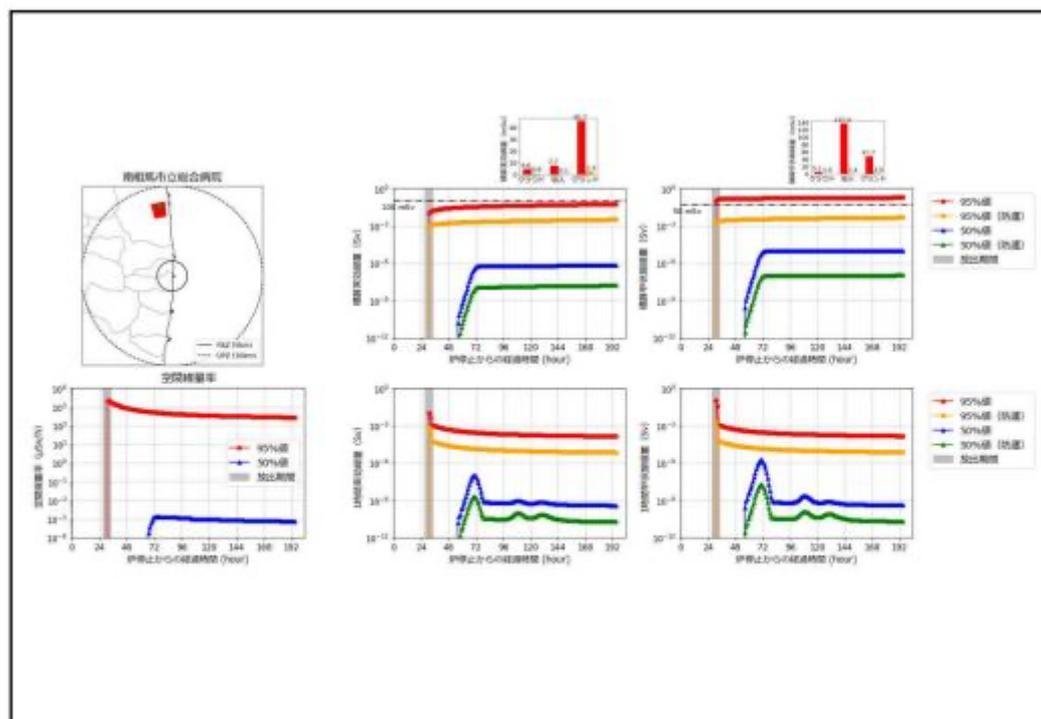
炉内インベントリ	IAEA-Data/Code 2012-018 福島第一原子力発電所の燃料組成評価 2号機炉心、短期放射能(表31)より0hの値を使用
ソースターム	表2参照
放出点	福島第一原子力発電所
気象条件	福島サイトにおける1年間(2018年1~12月まで計8760通り)の気象シーケンスを使用
被ばく経路	外部被ばく(クラウドシャイン、グランドシャイン)及び内部被ばく(吸入被ばく)
防護対策	隔圧化したRC造建屋への屋内退避 (クラウドシャイン80%低減、グランドシャイン95%低減、吸入被ばく99%低減)
対策実施期間	放出開始時点から1週間(168時間)
対策実施範囲	放出点から30km圏内

※ 書及していない種々のパラメータについては公開版OSCAARのデフォルト値を使用。

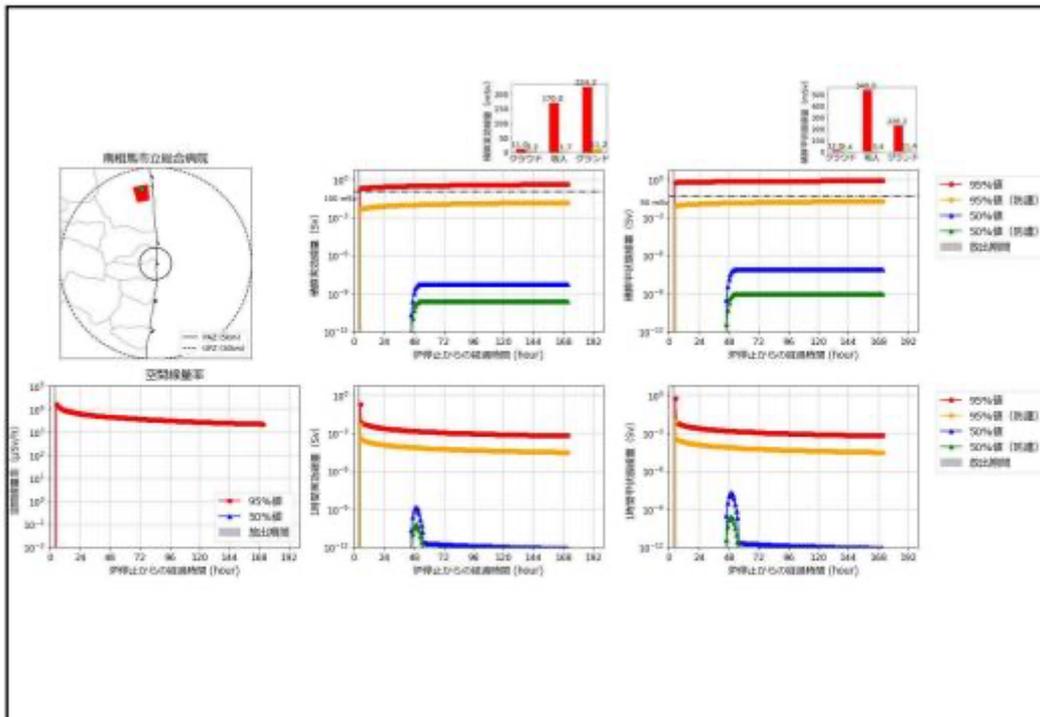
表2 評価に用いたソースターム

事故シーケンス	放出開始時間(h)	放出継続時間(h)	放出点高さ(m)	放出分類別の全放出割合(%)							
				希ガス	有機ヨウ素	無機ヨウ素	Cs-Rb	Ta-Sb	Sr-Ba	Ru	La
TQIV-DWF	27	7	40	9.5E-01	1.6E-03	3.1E-02	2.8E-02	2.8E-04	1.2E-08	2.4E-11	5.2E-12

13



14



16

事故の条件 3

表1 計算条件

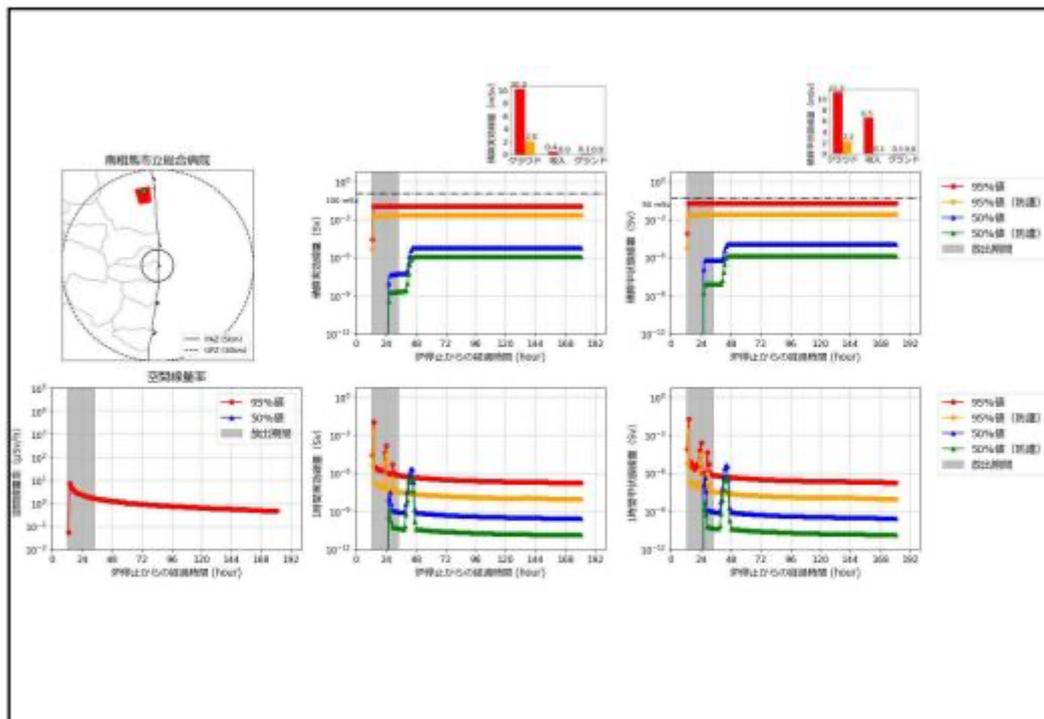
炉内インベントリ	IAEA-Data/Code 2012-018 福島第一原子力発電所の燃料組成評価 2号機炉心、短期放射能(表31)より0hの値を使用
ソースターム	表2参照
放出点	福島第一原子力発電所
気象条件	福島サイトにおける1年間(2018年1~12月まで計8760通り)の気象シーケンスを使用
被ばく経路	外部被ばく(クラウドシャイン、グランドシャイン)及び内部被ばく(吸入被ばく)
防護対策	隔圧化したRC造建屋への屋内退避 (クラウドシャイン80%低減、グランドシャイン95%低減、吸入被ばく99%低減)
対策実施期間	放出開始時点から1週間(168時間)
対策実施範囲	放出点から30km圏内

※言及していない種々のパラメータについては公開版OSCAARのデフォルト値を使用。

表2 評価に用いたソースターム

事故シーケンス	放出開始時間(h)	放出継続時間(h)	放出点高さ(m)	放出分類別の全放出割合(-)							
				希ガス	有機ヨウ素	無機ヨウ素	Cs-Rb	Ta-Sb	Si-Ba	Ru	La
TQJV-CV	12	22	100	8.7E-01	4.5E-05	8.6E-04	7.5E-04	3.2E-04	2.0E-08	3.4E-11	6.5E-12

17



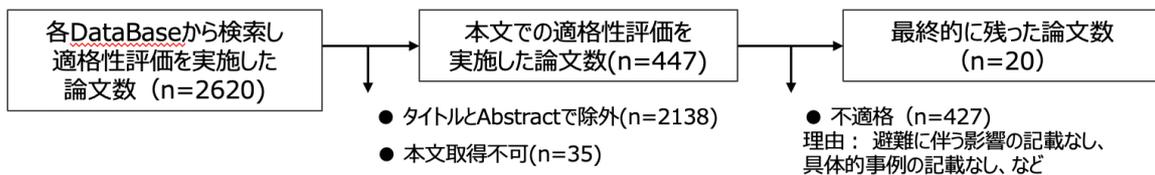
18

図：ワークショップで用いた資料

IV. 研究結果と考察

1. 災害時における医療・介護施設からの避難の影響について・過去報告の systematic review

今年度は、5つ (PubMed, CINAHL, Embase, PsycInfo, Scopus) のデータベースを用いて災害+避難+医療・介護施設に関する文献を収集した。各 Database の検索式および Hit 数に関しては、参考資料の通りである。



図：論文選択の経過について

① 論文の検索結果

方法で示した検索式によって、2620 件の論文が該当となった。1st スクリーニングとして、2名の独立した調査者がタイトルと抄録で適格性を審査した結果、2138 件の論文が除外となった。多くの論文が、実際の避難の経験を扱うよりも、災害前の防災・避難計画や、アンケート調査によるものであった。その後、1st スクリーニングを通過した論文すべての本文の取得を試みた。35 件は取得不能であった。本文が取得できなかった論文は、古い年代の紙媒体でしか存在しないものが多かった。本文の取得が可能であった 447 件の論文全文を精査し、7名の調査者で分担し適格性を審査 (2nd スクリーニング) した結果、427 件が不適格・重複と判定され、最終的に 20 件の論文が解析の対象となった。2nd スクリーニングで不適格と判断した理由は主に、避難に伴う影響の記載が無い、具体的な事例の記載が無い、避難せずにその場に留まることを選択肢として考慮していない、本文が英語以外であった、戦争や内戦に伴う人為災害であった、などであった。

対象となった 20 件の論文一覧 (タイトル、筆頭著者、災害の種類、避難発生国と避難発生年、研究の種類) は参考資料 (38, 39 ページ) に掲載の通りである。各論文のアウトカムの種類及び、具体的記述に関しても本報告書末尾 (40 ページ) に添付する。

上記の 20 件をその種類別にカウントした表が以下である。

今年度の調査の結果、避難と避難しない場合の影響についての報告は米国におけるハリケーン 12 件、及び日本における原発事故・地震 7 件、不特定 1 件の合計 20 件のみに限られた。災害の発生年は 1 件を除いて、2005 年以降であり、ハリケーン・カトリーナ (2005 年)、東日本大震災 (2011 年) を扱ったものが多くを占めた。

発生国	(N=20)	発災年 *複数回答可	(N=20)	災害の種類 (論文件数)	
アメリカ	12(60%)	1998	1 (5%)	原発事故・地震 (7)	ハリケーン (12)
日本	7(35%)	2005	5 (25%)	死亡率 (4)	死亡率 (3)
その他	1 (5%)	2008	4 (20%)	損失余命 (1)	入院率 (2)
災害の種類	(N=20)	2011	7 (35%)	避難決定プロセス (1)	せん妄スコア (1)
ハリケーン	12(60%)	2012	1 (5%)		透析をできなかった割合 (1)
原発事故・地震	7(35%)	2017	2 (10%)		医療費等 (1)
不特定	1 (5%)				避難 or Shelter in placeの 決定に影響した因子 (1)

表：対象論文の種類別まとめ

論文内で調査している影響に関しては、上記右図の通りであり、死亡率について扱っているものが7件、ハリケーンでは入院率やせん妄スコア、医療費などを扱っている論文も見られた。

各文献からの災害前後での教訓の取りまとめ（国・自治体レベル、施設レベル、個人レベルに行うこと別）を行った。下記におけるそれぞれの論文番号（アスタリスクとともに示される太字の数字）は、解析の対象となった20件の論文を指す。

② それぞれの報告からの教訓について

a) 災害前に実施すべきこと

・国、自治体レベル：

各施設の現状をレビューすること*13

災害・避難計画（人的・物的・移動手手段）をレビュー・策定すること*7, 16, 20

病院避難時の医療費保証の計画を策定すること*7

被災リスクの高い場所に施設建設を許可しないこと*20

・施設レベル：

外部組織との災害時協力の締結をすること*12

即時避難を避けるための備蓄をすること*12

サイコロジカル・ファーストエイドについて学ぶこと*6

b) 災害中に考慮すべきこと

・避難の有無の決断について

避難するかどうかは、リスクとベネフィットを鑑みた決断を行うべきである*11, 13

・避難の有無の決断後

十分な準備ができるまでは各施設がシェルターの役割を果たすことができる*12

避難の有無に関わらず、必要な措置を講じること

避難する場合：自治体による避難先の調整援助が必要*12

避難しない場合：外部からの物資供給^{*12} 入居者の心理的ストレスを減らす工夫をすること*6

・その他

普段と異なる環境で働くスタッフのストレス調査やケアが必要とされる*16

c) 災害後に行われるべきこと

・国、自治体レベル

一つの災害での教訓を活かせるように、防災計画の見直しと水平展開を行うこと*13

・施設レベル

手荷物を避難者とともに戻すこと*4

・個人レベル

患者の日常生活への復帰支援をすること*4

また、その他、災害時の病院避難あるいは避難しないことに伴う患者への影響について、以下のような示唆が得られた。

・原発事故、ハリケーンにおいて、避難後の死亡率*12, 13, 20 や入院率*2, 20 の増加がみられる事例が多いが、有意差までは見られない群*13, 15 もある一方で、非避難者の方で死亡率が増加した事例*15 もある。

・疾病や災害前の患者状態がその後のアウトカムに影響を及ぼしているかもしれない*15

- ・30日および90日の入院に対する避難の影響は、肥満、がん、うっ血性心不全、糖尿病、重度の認知障害など、他の併存疾患の効果よりも総じて強かった*8
- ・避難することで、入院が増加するため、医療費負担者（保険者）の負担が大きくなることもある*8

2. 福島原発事故後の地域弱者の緊急避難状況を明らかにするための症例集積研究及びインタビュー調査

① 昨年度までの進捗状況について

昨年度には関係者40名からインタビューを行い、(対象者の詳細については昨年度報告書を参照のこと)、インタビューの結果を元に、(i)20~30km圏内の病院避難状況に関して、(ii)原発直近の病院避難状況に関してのそれぞれ研究成果を昨年度の報告書の中で報告した。今年度はそれぞれのcase reportを元に、さらに病院間の比較を行いその差がなぜ生じたかについて考察を行った。

これに加えて今年度は、双葉病院・小高病院・DMAT関係者の10名に対して追加インタビューを行った他、医療の立場から見た法律や取り決めの問題点をまとめた報告として、(iii)20km圏内における精神科病院での避難に関して、(iv)災害関連死の定義の歴史の変遷と現状のまとめに関して、(v)災害対策基本法の変遷と病院避難の課題についてまとめに関して、研究を行ったため、以下に研究成果を記す。

② 20~30km圏内の病院避難状況に関して

福島原発事故後、20~30km圏内に位置した病院は2011年3月22日までに全入院患者を退院あるいは避難(県内外への広域転院搬送)させた。本研究では20~30km圏内に位置した公立・私立あわせて3つの病院を対象として、医療関係者へのインタビューと公開資料を用いて、この過程で生じた困難と工夫を記述し、避難が確定しない状況での病院機能維持及び避難確定後の円滑な避難のための方策を探った。20~30km圏内は現在のUPZに当たる部分であり、本研究成果は今後のUPZの避難に生かすことができると考える。以下では、昨年度の報告書の中でまとめた避難の問題点を施設別に集約し、今後の災害に対する教訓を述べる。

(ア) 原発から20~30km圏内の病院の避難の比較

福島原発から20~30km圏内に位置し、南相馬市内にあった、3つの病院の避難についてインタビューおよび既存の資料から検証を行なった。3つの病院における避難を比較した表を以下に示す。

	南相馬市立総合病院	渡辺病院	大町病院
受入患者数	震災初期:33名程 小高病院:68名	震災初期:40名程 施設一時避難:160名程	震災初期:40名程 西病院透析患者:1名
最大在院数	211名	250名超	210名程度
病院避難患者数	104名	80名程度	124名
避難先詳細	新潟 92名(32病院) 福島 68名(6病院) 他県 2名、合計 162人 (震災初期に病院で個別調整した患者避難を含む)	会津:約20名 仙台:約10名 白河:約40名 その他重症者:8名 (全て病院で調整して避難)	外来透析約45名 (2病院) 入院透析4名(県立医大) 群馬124名 (透析患者の一部は病院で個別調整)

各日の避難者数	18日 5名	記録は存在しない	19日 62名
	19日 49名		20日 13名
	20日に 38名		21日 62名

避難後病院機能	入院機能閉鎖。 4/4 外来診療再開	完全閉鎖	一時閉鎖、4/4 外来再開
---------	-----------------------	------	---------------

表：福島原発から 20～30km 圏内に位置する 3 病院における避難状況の比較

実際には 20km-30km の屋内退避指示が行われた地域の病院は 4 病院であったが、本研究ではインタビューが可能であった南相馬市内の 3 病院を比較し、その後の対策と困難に関してまとめている。

3 病院に共通した困難であった点は、もともと自病院の患者がいる状況の中で、20km 圏内から避難した患者をさらに受け入れる必要があったことである。つまり、より原発に近い地域から避難した多くの患者を受け入れなければいけないという困難を、今回の研究対象となった 20～30km 圏内に位置する全ての病院が実際に経験していた。これによって対応しなければいけない患者数が急激に増加し、病院への負荷が一時的に非常に高まった実態が明らかになった。

避難先の詳細は、新潟や群馬、県内外と病院によって差があった。各日の避難者数を見ると、南相馬市立総合病院では 18 日から避難を開始した一方で、大町病院は 1 日遅れた 19 日から、そして病院によってその後避難が完了するまでに時間に数日のずれが生じていた。実際には自衛隊などの外部機関が避難支援をしており、順番に対応を行っていたがためにタイムラグが生じたと考えられたが、後になった病院では士気が下がる、行政への不満などが生じており、そういった点についても注意が必要である。

(イ) 原発から 20～30km 圏内の病院の避難から導き出される教訓

本研究から導かれる教訓として、20～30km 圏内という立地にある病院において避難が必要となるという概念や避難計画がその当時には存在しなかったことは、まず大きな問題であった。福島原発から 20～30km 圏内の病院では、原発からある程度の距離があり、放射線量もただちに人体に影響を与えるほどの線量にはならなかったにもかかわらず、比較的急性期において避難が避けられない状態になってしまったことを考えると、UPZ は時間がある、線量が限られるなどといった、PAZ に比べて有利な点もある一方で、結局避難が避けられないという潜在的なリスクを有するため、なんらかの個別の避難計画は必要であるのかもしれない。

また、最終的に避難するか施設内に留まるかの方針決定という形でしか見えないが、方針を決定するまでにはある程度の時間がかかること、加えて情報が少ない中で病院幹部を含めスタッフが浮き足立ってしまうことが明らかになった。つまり、実際には方針が決まるまでタイムラグが必ずある程度存在するはずだが、UPZ の病院では、そういった時間が存在することによって、実際に病院の士気の維持が非常に難しかったという状況が認められた。こういった現象は、原発から 5km 圏内に位置していた病院のような、避難に緊急性がある場合には認められなかったものである。

また、放射線災害時の UPZ の病院では、PAZ の病院で避難が必要となった場合、その後方医療機関として負荷がかかること、避難を行う場合には PAZ に比べて支援が遅れがちとなること、方針決断までの時間がかかる間に外部からのサポート体制が必要となることを認識し、今後の対策を作成する必要があるだろう。

③ 原発直近の病院避難状況に関して

原発事故後、5km 圏内に位置した病院は全入院患者を緊急で避難させた。この避難は現場の医療従事者の尽力はもちろんのこと、DMAT 及び自衛隊など様々な関係者の総力を挙げて行われた。本研究は 5km 圏内に位置した病院の医療関係者へのインタビューと公開資料を用いて、この過程で生じた困難を記述し、避難が確定しない状況での病院機能維持及び避難確定後の円滑な避難のための方策を探ることを行った。

昨年度の報告書では主に避難によって大きな被害を生じた 2 病院について、避難の経緯とその教訓について詳細に示した。今年度はさらに 5km 圏内に位置した 1 病院を追加し、避難の状況をまとめた上で比較を行った。5km 圏内は現在の PAZ に当たる部分であり、本研究成果は今後の PAZ の医療施設における避難に生かすことができると考える。以下では、昨年度の報告書の中でまとめた避難の問題点を施設別に集約し、今後の災害に対する教訓を述べる。

(ア) 福島原発から 5km 圏内の 3 病院の避難の比較

福島原発の 5km 圏内には双葉病院、双葉厚生病院、福島県立大野病院の 3 病院が存在した。病院ごとにそのプロフィールが異なるため、原発事故発生時点における 3 病院の背景を下の表に示す。

	双葉病院	双葉厚生病院	福島県立大野病院
病院の種類	私立	私立/公立	公立
福島原発からの距離	4.6km	3.9km	4.7km
病床数	350 床	260 床	150 床
病床の種類	精神	一般/精神	一般
入院患者数	338 名	136 名	46 名
寝たきりの入院患者数	129 名(38.1%)	40 名(29.4%)	10 名以下(21.7%以下)
病院内のスタッフ数	65 名	150 名	89 名

表：福島原発の 5km 圏内の 3 病院のプロフィール比較

3 病院は福島原発からの距離には差はなかったものの、双葉病院は私立病院、双葉厚生病院と福島県立大野病院は公的な病院(双葉厚生病院は JA 福島厚生連が管理)と、設立母体が異なっていた。また、病床数にも開きがあった。

最も病院規模が大きかった双葉病院は、精神科の病院であり、東日本大震災の発災当時 338 名(病床数:350 床)の患者が入院しており、そのうち寝たきりなど自分自身では移動ができない患者が約 40%を占めていた。その一方で、精神科の病院であったがためにその病床数に対してスタッフの数は少なく、最も病床数が少なかった福島県立大野病院(150 床)に比べてもスタッフの数は少なかった。福島県立大野病院は双葉厚生病院と 2011 年 3 月末に合併を予定していたため、入院患者数は 46 名まで減少した。双葉厚生病院は一般病床と精神科病床を有する病院であり、260 床の病床数があったが、こちらも福島県立大野病院との合併前であったがために入院患者数は 136 名と病床規模に比較して入院患者数は少なかった。

上記のような背景を有する福島原発から 5km 圏内にあった 3 病院が、事故直後に緊急での避難を強いられた。それぞれの病院における避難の詳細を比較した表を以下に示す。

	双葉病院	双葉厚生病院	福島県立大野病院
最終的に避難を決断した要因	政府からの避難指示	災害対策本部からの助言	政府からの避難指示
緊急避難時の交通手段	バス、自衛隊車両	バス、自衛隊車両・ヘリ	バス、救急車、自家用車
インフラの供給 (水・電気・ガス)	全壊	一時的な障害 (水・ガス)	全壊
避難指示の時間	3月12日午前5時44分		
避難決定の時刻	3月12日午前8時00分	3月12日午前6時40分	3月12日午前6時00分
避難を開始した時刻	3月12日午後2:00	3月12日午前8時30分	3月12日午前7時40分
避難完了の時刻	3月16日午前0時35分	3月13日午前8時00分	3月12日午前8時10分
避難に要する時間	82.5時間	23.5時間	0.5時間
避難直後に死亡した人数	39 (11.5%)	4 (2.9%)	0 (0%)
避難中の医療ケア提供	途絶	持続	持続
事故後3ヵ月時点での死亡者数	不明	17 (12.5%)	不明
放射能災害を想定した訓練	なし	年に1回実施	年に1回実施
放射線に関する専門家の確保	なし	なし	なし

表：福島原発の5km圏内の3病院における避難状況の比較

3病院は全て3月12日朝に避難指示が発出された地域に含まれ、全ての病院で3月12日午前中に避難することを決定した。(ただし双葉厚生病院は午前の時点では軽症の患者のみの避難を決定し、重症患者の決定は午後になされた。)その一方で、特筆すべきは福島県立大野病院では避難開始後30分で避難が全て完了した一方、双葉厚生病院では23.5時間、双葉病院では82.5時間を避難完了までに要した点である。加えて、避難完了までに亡くなった患者数も病院により異なる結果となった。

避難完了までに、双葉病院では39名(入院患者の11.5%)、双葉厚生病院では4名(入院患者の2.9%)がそれぞれ死亡した。これは避難に時間を要したことにより、元々重篤な併存疾患を有する患者で避難そのものの負荷で死亡した例があったほか、院内や避難時において人員や物資不足によって避難中および避難開始前の医療ケアが不十分となったことに起因して死亡した患者もいた。

またデータが不十分なものの、避難後3ヶ月時点でのデータでは、双葉厚生病院に入院していた患者のうち17名(入院患者のうち12.5%)が亡くなっており、避難中や避難完了までの超急性期の死亡リスクの他、避難してから一定の期間中、亜急性期にも避難によって生じた負荷や緩急変化によって死亡リスクが上昇する、二峰性の死亡リスクがある可能性が示唆された。

(イ) 原発から5km圏内の3病院の避難から導き出される教訓

本研究では福島原発から5km圏内の3病院の避難をまとめ、比較検討した。避難中から直後の死亡とその後続く二峰性の死亡がありえること、入院患者数(特に重症や寝たきり患者)が多いと移動手段を確保するのが難しく、避難にも時間がかかること、複合災害では、建物やインフラの損傷もあり、実際には避難しないという選択肢は取りづらく、結果的には放射線量が極めて高い場合を除き、病院避難の方針決定(避難するか、病院に留まるか)には、放射線量以外の

多くの変数が関与すること、私立と公立など病院のシステムが異なる場合、その後の対応に差が生じている可能性があることが示唆された。

本研究の結果からは今後のPAZの病院避難を安全に遂行するためには、以下のことに留意しながら今後の対策を作成する必要があると考える。

- ・原子力関連施設に近い(PAZ およびUPZ)医療機関では避難が避けられないことがあるため、事故をある程度想定した個別の避難計画があることが望ましい
- ・医療施設の決断(避難するか、施設内に留まるか)をサポートする仕組みが必要かもしれない
- ・現実的に屋内退避を続けるために物的・人的資源を支援する手段・方法のより具体的な検討をすべきである
- ・特に入居者数が多い施設や体の不自由な方が多くいる施設では、避難に時間がかかるため、施設や避難を支援する機関が事前に具体的な避難の移手段を準備が必要である

④ その他

本研究の課題は「福島原発事故後の地域の弱者、特に医療・介護施設からの避難の実態とその困難、留まる際に考慮すべき課題、医療・法律上の現在の問題点を公開資料およびインタビュー調査を用いて明らかにすること」であり、上記に挙げた20km圏内および20～30km圏内の避難は非常に教訓的ではあるものの、その事例だけでは地域の弱者の避難の問題点を網羅できない項目について、下記の通り調査を行ったため報告する。

a) 20km圏内における精神科病院での避難に関して

(ア) 調査方法

小高赤坂病院は、福島原発から20km圏内に位置していたため、原発事故後に避難指示による避難が行われた。その経緯について、当時の院長であった医師と、詳細な記録を残していた職員の二人にインタビューを行い、避難の経緯について明らかにした。

(イ) 避難の経緯

発災時に小高赤坂病院には104名の患者が入院していたが、地震そのものの被害は軽微で、津波の影響も受けなかった。職員・入院患者らは、自分たちが避難指示の対象となっていることをテレビでの報道を通じて知るなど、情報伝達のあり方に混乱が認められた。3月12日の夜に独歩可能な若い患者を中心とした48名が職員13名とともに南相馬市内の一般の避難所に移動したが、その中の10人が避難所の生活に適応できずに13日に小高赤坂病院に戻った。残りの38名は職員とともに福島市内の避難所に移動し、そこからの福島市内の精神科病院に転入院することとなった。

14日の午後7時30分に病院に7台の観光バスが到着し、残りの66名の患者とスタッフらの移動が始まった。その中には、寝たきりの高齢者や保護室を利用していたような精神症状が活発だった患者も含まれていた。病院職員らの主体的な工夫によって、リスクの高い患者の近くに重点的にスタッフを割り当てるような対応が行われた。9時間以上の時間をかけて、避難所となっていたいわき市の高校の体育館に移動した。

いわき市の避難所は、温風器に患者が触れて熱傷を負う危険性があったり、他病院から避難して命を落とされた方のご遺体が置かれているなど、高齢者や精神症状を持つものが留まる目的のためには不適切な要因があった。この避難所で働いていたボランティアの医師の仲介により、小高赤坂病院の患者たちは南会津町の病院と福祉施設に移動できることになった。ここでは暖かい対応を患者と職員たちは受けることができた。3月18日に東京の松沢病院に患者たちは転院することになった。一連の避難の経過中に重大な健康状態の悪化を認める患者は発生しなかった。

(ウ) 考察

原発事故後の病院避難では、高齢者を中心に深刻な健康被害が起りうるということが考察されている。しかし小高赤坂病院の避難においては、全入院患者が深刻な健康状態の悪化を認めることなく移動することができていた。これは、高齢者病棟等に比べて身体的な状態が悪い患者が少なかったことに加え、長年患者と接してきた病院スタッフの士気が高く配慮の行き届いたケアが避難中に提供されたこと、病院関係者の公式・非公式のつながりによって避難先が確保されたことなどが、避難のリスクを下げる方向に働いたと考えられる。また、今回の経験からは、災害時に通常の避難所に精神科の患者が適応することが難しい傾向があることが示された。

一方で、東日本大震災・原発事故における精神科の入院患者の避難後の死亡率については、長期にわたってそれが高い水準に留まるとする報告がなされている。これは、日本の精神科病院が長期にわたる傾向があるために、職員と患者の関係が密接になっており、これが避難によって失われた場合の否定的な影響が長期間回復されないことを示していると推測された。

b) 災害関連死の定義の歴史的変遷と現状のまとめに関して

本研究では、日本の災害関連死が抱える問題や課題について、政府データを用いた観察研究(研究1)および災害関連死に関する医師・弁護士によるシンポジウム(研究2)を通して明らかにした。

研究1(投稿中)：

Disaster-related deaths after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident - definition of the term and lessons learned

投稿先雑誌：Environmental Advances

著者：坪井基浩(帝京大学大学院公衆衛生学研究科)，澤野豊明(ときわ会常磐病院外科)，野中沙織(南相馬市立地域医療研究センター)，堀有伸(ほりメンタルクリニック)，尾崎章彦(ときわ会常磐病院乳腺外科)，西川佳孝(京都大学大学院医学研究科社会健康医学系専攻健康情報学分野)，趙天辰(福島県立医科大学放射線健康管理学講座)，村上道夫(大阪大学感染症総合教育研究拠点)，坪倉正治(福島県立医科大学放射線健康管理学講座)

方法：2011年3月から2021年7月までに災害弔慰金が支払われた災害関連死の数を、各都道府県ならびに福島県内の市町村の入手可能なデータから収集した。また、福島原発事故により避難した福島県内の市町村について、災害関連死認定率および認定された災害関連死の数を調べた。

結果：東日本大震災における福島県、岩手県、宮城県の総死亡者数は19,617人であり、そのうち2021年7月時点では3,691人が災害関連死であった。災害関連死の割合は、福島県が59.1%で、岩手県、宮城県(それぞれ8.5%、8.8%、 $p<0.001$)よりも大きかった。また、災害関連死の数では、震災から半年以上経過した時点での増加率が最も大きかったのは福島県(55.0%)であった。災害関連死の認定状況は、都道府県(認定率の幅：57.3%~73.3%)だけでなく、福島県内の市町村(認定率の幅：75.9%~40.0%)でも異なる結果となった。

結論：本研究は、東日本大震災後の10年間の災害関連死に関する初めての研究であった。本研究により、被災県の中でも原発事故後に避難地域となった自治体の認定率と累積死亡者数の違いが明らかになった。今後のさらなる分析により、災害対策に役立つ可能性が考えられた。

研究 2: シンポジウム「災害関連死の本質～現場で感じるこれからの課題～」

方法：本シンポジウムは、福島県立医科大学放射線健康管理学講座が主催した。運営事務局は、事前に数回のオンライン会議を開催し、シンポジウムを準備した。講演のタイトル案と講演者候補が提案された。プログラム案が合意されると、提案された講演者に連絡を取り、講演の可否を尋ね、同意を得た。運営事務局は、医療機関、法律機関、行政機関（国・地方）、報道機関などのステークホルダーに参加を呼び掛けた。

発表演者と参加者の情報は、以下の通りであった。

演者：

- ・坪井基浩；さいたま赤十字病院高度救命救急センター
- ・宇都彰彦；宇都・山田法律事務所
- ・在間文康；弁護士法人空と海 そらうみ法律事務所
- ・渡辺叔彦；浜通り法律事務所
- ・坪倉正治；福島県立医科大学放射線健康管理学講座
- ・澤野豊明；ときわ会常磐病院

参加者：医療関係、法律関係、行政関係、大学・研究関係者など計 191 人が参加した。

演題：

1. 「医療者から見た災害関連死の歴史と変遷」 坪井基浩 さいたま赤十字病院 救急科
2. 「弁護士から見た災害関連死の認定手続の課題」 宇都彰彦 宇都・山田法律事務所
3. 「災害関連死の事例集積、分析の必要性とその現状－訴訟で災害関連死と認定された具体的事例からの考察－」 在間文康 弁護士法人空と海 そらうみ法律事務所
4. 「原発事故関連死事案における 東電への損害賠償請求の課題」 渡辺叔彦 浜通り法律事務所
5. 「原発事故に伴う二次的な健康影響について」 坪倉正治 福島県立医科大学 放射線健康管理学講座主任教授
6. 「福島第一原発事故における医療施設での災害関連死」 澤野豊明 ときわ会常磐病院 外科

目的：

- ・災害関連死が抱える問題点と改善点を議論し共有すること
- ・東日本大震災の災害関連死の事実を残すこと
- ・議論をアーカイブ化することで、今後の日本の復興や世界の放射線災害対策として活かすこと

本講演では、災害関連死に関わる医師と弁護士の東日本大震災および福島原発事故後の経験に基づき、日本の災害関連死の現状と問題点を議論し、東日本大震災後の復興と将来の放射線災害における対策として被災者を守るための備えとなすべきことを議論した。

c) 災害対策基本法の変遷と病院避難の課題についてまとめに関して

1959年の伊勢湾台風を受けて制定された災害対策基本法は、防災の基礎をなしており、大きな災害が起こるたびに改正されてきた。例えば、阪神大震災で高齢者が死者の半数以上を占めたことから、高齢者や障がい者も支援の枠組みに入った。東日本大震災においても、高齢者や障がい者への被害の集中を抑えることはできず、災害時の支援を必要とする人の名簿作成が義務付けられた。

このように、災害弱者の健康を守ることに法律の焦点が移り、さまざまな枠組みがあるものの、彼らの被害を抑えることは依然として難しい。2011年3月11日の東日本大震災に引き続き

発生した福島原発事故後には施設入居者の避難が行われたが、避難者の23%が1年以内に死亡し、非避難に比べ死亡リスクは約1.8倍であった。これは避難に伴う肉体的・精神的負担の増加が関連すると指摘されている。福島原発から4.6キロの双葉病院でも避難が行われ、11.5%が緊急避難中に死亡した。インフラの停止による病院環境の変化に加え、スタッフ不足で十分な医療ケアの継続が困難になったことや、避難移動の長期化などが原因と指摘された。

一方で、避難を行うことができずに、施設入居者が大きな被害を受けた例も存在する。2016年8月下旬に発生した台風では、自治体の避難指示が遅れたことに加え、施設自体に浸水時の避難マニュアルや避難時の連絡方法がなかったことが原因となり、9人の老人ホーム入居者が亡くなった。これを受けて、災害対策基本法は改正され、高齢者向け施設に避難計画の策定と、避難訓練の実施を義務付けた。2020年7月の九州豪雨においても、特別養護老人ホームの避難が遅れ、14人が亡くなった。その施設では緊急時の避難計画を作成し、防災訓練も行っていたものの、災害発生後に避難を支援するための人手が不足したり、誤った情報が広まったりして、避難が遅れるに至った。このような事例は、法的な指示とその実践には溝があることを示している。

災害発生後、場所や状況に応じて生じる健康被害はさまざまであるため、それらを幅広くカバーするような方針を確立するには限界がある。さらに、災害対策で問題となる点は、避難するかどうかを決めることや、その場にとどまることを選択した場合の物資の確保など多岐にわたる。災害後の避難における現状を明確化し、さらなる議論が望まれる。

Yoshida M, Sawano T, Senoo Y, Ozaki A, Nishikawa Y, Zhao T, Saito H, Shimazu Y, Nonaka S, Moto Y, Yamamoto C, Tsubokura M. Importance of individualized disaster preparedness for hospitalized or institutionalized patients: Lessons learned from the legal revisions made to the Basic Act on Disaster Management in Japan following the Fukushima nuclear disaster. *J Glob Health*. 2021 Oct 2;11:03108. doi: 10.7189/jogh.11.03108. PMID: 34804508; PMCID: PMC8580284.

3. OSCAAR(off-site consequence analysis code for atmospheric release in reactor accident)を用いた、福島原発周辺の医療・介護施設における被ばく線量評価シミュレーションとその結果を用いたワークショップ

① 結果

ワークショップは14名の参加者を3グループに編成した。1班は医師・看護師・医療事務の混合、2班は技師・薬剤師、3班は看護師のみである。職種別により、それぞれの業務における重要事項について整理することを狙いとした。

グループワーク①：原発事故後に困ったこと、足りなかったこと

テーマに関して、個人として、組織として、地域としての3つの視点で意見を出し合った。最初に参加者それぞれが重要と思われることについて付せん記入した。次に、それをもとにグループで話し合い、表を完成させた。

	1班	2班	3班
個人	<ul style="list-style-type: none"> 放射線に関して心配(健康被害について不明だった) 家族のことが心配⇒どこに避難する? 自分の将来が心配 人の噂が心配⇒風評被害がでた 情報が伝わらなかった⇒情報の欠如、相談するところがなかった 	<ul style="list-style-type: none"> 衣食住の確保 ライフライン(水道、電気) 家族とのつながり 生活リズムの変化(朝早く起きるようになった) 情報不足 外出しにくい、娯楽がない 医療機関の減少 避難の選択(仕事を続けるかどうか) 	<ul style="list-style-type: none"> 転院先で汚染されていると対応された 経験したことのない不安と恐怖 ガソリンが不足していた 原子力発電に対する知識がなかった 限られた食事(病院食とは思えないパン、おにぎり)であり、いつまで食事が持つのかの不安もあった
組織	<ul style="list-style-type: none"> 病院運営をどうするか方針決定が困難であった 病院避難を短時間でやらなければならなかった 避難計画がなかった 職員の意思統一が難しかった⇒スタッフの人数も保てない、残ったスタッフ1/3程度 原子力に対する個人の知識、認識の違いがあった。地区ごとで幼少期からの教育の違いがあったことも平時は知らない 	<ul style="list-style-type: none"> 情報の正確性 情報の伝達 医療資源の不足 入院患者の食事 人手不足 災害時の勤務体制(決定権の所在) 患者搬送 慢性期患者への対応 普段と違った業務 	<ul style="list-style-type: none"> スタッフ不足 患者の避難先が不明であった 重傷者が残った 転院先がなかなか決まらなかった 情報提供を作成するのが大変だった 患者にとって避難したことが正しかったのか 他の病棟、部署のことが分からなかった 外部からの助け(自衛隊以外)がなかった
地域	<ul style="list-style-type: none"> スピーディが活用されなかった⇒避難先が違ったかも 総合病院がスタッフに避難してもいいと決めた⇒それが地域の病院に影響を与えた? 	<ul style="list-style-type: none"> ライフライン(水道・電気)、ガソリン不足 避難により住民がいない 店がやっていないため物資がない メーカーが来ない 交通網(道路・鉄道) 	<ul style="list-style-type: none"> 情報がすべて不足していた 避難先を選べなかった

表：グループワーク①まとめ

グループワーク②：原発事故後の QOL を上げるために

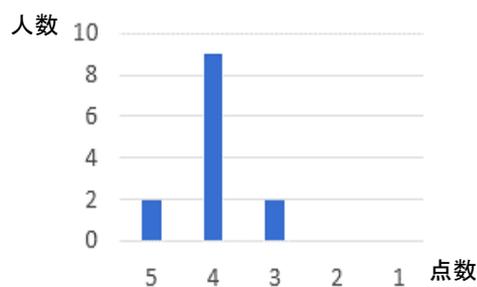
ここでは単に避難を円滑に行うという視点ではなく、災害後の QOL の向上について総合的に考える内容とした。

	1 班	2 班	3 班
個人	<ul style="list-style-type: none"> ・何かをやること⇒何もしないでいることをしない、支援者になること ・支援を素直に受け入れること⇒助けなくても言う ・欲しい情報を受け取れる⇒信頼できる情報（人）がいる、情報一元化、発信の一元化 ・家族と日頃から話合いをする ・無理はしない⇒寝る 	<ul style="list-style-type: none"> ・情報（正しい）の入手 ・規則正しい生活（冷静な対応） 	<ul style="list-style-type: none"> ・時間の経過が大切 ・癒し
患者	<ul style="list-style-type: none"> ・患者情報を日頃から詳細に把握しておく ・避難計画を作っておく⇒現場で理解している ・患者の思いを聞いておく（避難について）⇒ACP 	<ul style="list-style-type: none"> ・備蓄を増やす ・電子カルテのバックアップ体制 ・外部との遠隔診療 	<ul style="list-style-type: none"> ・患者に選択を与える（避難に対して） ・高齢、重傷者の遠方への搬送は考える必要あり
地域	<ul style="list-style-type: none"> ・情報の一元化 ・地域の状況をリアルタイムで知ることができる 	<ul style="list-style-type: none"> ・災害時のガソリン、食料等の供給地点（コンビニ等） ・大規模避難での避難先の指定 	<ul style="list-style-type: none"> ・復興を進める ・風評被害を払拭 ・コミュニティの再構築

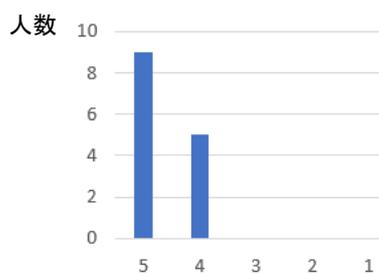
表：グループワーク②まとめ

② アンケート結果

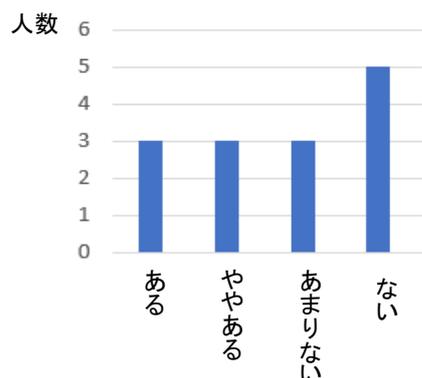
1) 全体的な満足度



2) 原発事故から 10 年が経過した段階で、事故後の対応について考える意義について



3) 事故時のことを思い出したくないという気持ちはありますか。



4) グループワーク①の評価

点数	5	4	3	2	1
人数	4	6	3	0	0

5) 講義についての評価

点数	5	4	3	2	1
人数	7	7	0	0	0

6) グループワーク②の評価

点数	5	4	3	2	1
人数	3	9	2	0	0

7) 今後、もし同様の原発事故が発生したら避難しますか、留まりますか？

留まる 8名
状況による 6名
避難する 0名

③ ワークショップに関するまとめ

グループワークを通して、原発事故前から南相馬市で働き生活していた医療従事者から、災害後の混乱と意思決定についての難しさが言及された。南相馬市は震災に加え放射線被ばくの影響により、患者を受け入れる施設や地域の情報もなく、相談すらもなかったことで、さらに困難になっていたことが明らかになった。講義を受けて、後半のグループワークでは今後に向けて、避難計画や備蓄を改善、患者情報をネットワーク化、避難に関する患者の希望や選択を事前に確認することの重要性が強調された。一方、放射線に関する知識や教育については触れられておらず、これは、原発事故後の不明確な状況で、知識に基づいて意思決定を行うことの困難さを示唆している可能性がある。

本ワークショップでは、グループ・ディスカッションを通して福島第1原子力発電所事故後の患者避難およびマネジメントの困難さ、避難に関する選択の重要性が明らかになった。アンケートの結果は、参加者の半数が災害時のことを思い出したくないと答えた。一方、全員が災害への対応を考えることの重要性と、このワークショップの意義を評価した。これは、医療従事者が災害時に自らの責任について考え続けることの重要性を示している。

また問7)では、今後、福島原発事故と同程度の原子力災害が発生した場合、避難すると答えた人はゼロなのに対して、留まるが8名、状況によるという人が6名であった。全員が直ちに避難を開始することはせずに、留まる、または事故の状況を見極めた上で考慮するという選択をしており、本災害での経験およびその後の放射線に対する取り組みが、それぞれの原子力災害に対する向き合い方に影響を及ぼした可能性が示唆される。

本研究の結果を受けて、今後、全国の原子力発電所の所在地にある病院・福祉施設の関係者に対して、原発事故時の避難に関するセミナーを提供する必要があると考えられる。

V. まとめ

本研究は、1) 福島原発事故時の避難において、実際に起こったリスク及び困難をまとめ、防護措置に伴う放射線以外のリスクを俯瞰し定量化すること、及び2) 防護措置による健康リスクと、放射線リスクを死亡率や損失余命によって比較することにより、原子力発電所立地地域でのより効果的な防護措置立案のための情報を生成することを目的とした。

Systematic review でも示されたように、避難に伴うリスクについては、福島原発事故によるものだけではなく、近年様々な災害でも報告されるようになり、特に弱者と呼ばれる高齢者や独居、疾患を持つ方々の対応が重要であることが指摘されている。災害前後の様々なフェーズにおいて、放射線教育をはじめとして、多くの対策が必要である。

その一方で、そのような避難のリスクと放射線リスクのバランスについては、何か一つのパラメータだけで比較できるものではなく、慎重な検討が必要である。インタビュー調査でも示されたように、留まる場合であっても、病院の士気の維持や物資の補充など、留まる場合でも避難する場合でも十分な対策が必要である。ワークショップでは、被ばくリスクの定量化は、原発事故時の実際の対応をより冷静に行うための根拠となる可能性が示されたが、事故の不明確さがある中での意思決定を単純な一つのパラメータで考えることの困難さが浮き彫りとなった。

今後は

- ・福島原発事故を経験した医療スタッフや行政スタッフ、住民へのインタビューをすすめ、医療施設だけではない様々なセクターでの経験を蓄積する
- ・その中で、避難に伴うリスクや留まる際に困難となること、サポートが必要なことを明らかにしていく（特に、原発事故に伴う災害関連死といった影響に焦点を絞り、その課題についてより明らかにする）
- ・今回のワークショップのような、福島原発事故の教訓を、原子力発電所の立地する地域に還元する取り組みを強化する（例えば、福島原発事故の避難に関する教訓をまとめたテキストの作成や、ワークショップ、勉強会の開催など）
- ・他の災害と原子力災害を比較することにより、原子力災害時に特有のリスクおよび必要な対策を明らかにする

といった取り組みが必要であると考えている。

今回の研究を遂行するにあたり、インタビューやワークショップをはじめ、ご協力いただいた、関係各所の皆さまに感謝申し上げます。

VI. 参考資料

災害時における医療・介護施設からの避難の影響について・過去報告の systematic review において、各々のデータベースで用いられた検索式

データベース: PubMed 02/06/2021

Based on search strategy as provided by the client on 01/06/2021; note minor changes.

Search number	Query	Search Details	Results
1	"Radioactive Hazard Release"[Mesh] OR "Natural Disasters"[Mesh] OR "Disasters"[Mesh:NoExp] OR "Disaster Planning"[Mesh] OR disaster*[tiab] OR Chernobyl*[tiab] OR Fukushima*[tiab] OR Three Mile Island*[tiab] OR cyclone*[tiab] OR hurricane*[tiab] OR "tropical storm*[tiab] OR typhoon*[tiab]	"Radioactive Hazard Release"[MeSH Terms] OR "Natural Disasters"[MeSH Terms] OR "Disasters"[MeSH Terms:noexp] OR "Disaster Planning"[MeSH Terms] OR "disaster*"[Title/Abstract] OR "chernobyl*"[Title/Abstract] OR "fukushima*"[Title/Abstract] OR "three mile island*"[Title/Abstract] OR "cyclone*"[Title/Abstract] OR "hurricane*"[Title/Abstract] OR "tropical storm*"[Title/Abstract] OR "typhoon*"[Title/Abstract]	70,442
2	"Home Care Services"[Mesh] OR "Health Facilities"[Mesh]	"Home Care Services"[MeSH Terms] OR "Health Facilities"[MeSH Terms]	856,527
3	facility[tiab] OR facilities[tiab] OR home[tiab] OR homes[tiab] OR hospital[tiab] OR hospitals[tiab]	"facility"[Title/Abstract] OR "facilities"[Title/Abstract] OR "home"[Title/Abstract] OR "homes"[Title/Abstract] OR "hospital"[Title/Abstract] OR "hospitals"[Title/Abstract]	1,560,986
4	#2 OR #3	"Home Care Services"[MeSH Terms] OR "Health Facilities"[MeSH Terms] OR "facility"[Title/Abstract] OR "facilities"[Title/Abstract] OR "home"[Title/Abstract] OR "homes"[Title/Abstract] OR "hospital"[Title/Abstract] OR "hospitals"[Title/Abstract]	2,032,346
5	"Disabled Persons"[Mesh] OR "Frailty"[Mesh] OR "Aged"[Mesh] OR "Patients"[Mesh] OR "Hospitalization"[Mesh] OR inpatient*[tiab] OR hospitali*[tiab] OR vulner*[tiab] OR frail*[tiab] OR fragil*[tiab] OR weak*[tiab] OR	"Disabled Persons"[MeSH Terms] OR "Frailty"[MeSH Terms] OR "Aged"[MeSH Terms] OR "Patients"[MeSH Terms] OR "Hospitalization"[MeSH Terms] OR "inpatient*"[Title/Abstract] OR "hospitali*"[Title/Abstract] OR "vulner*"[Title/Abstract] OR "frail*"[Title/Abstract] OR "fragil*"[Title/Abstract] OR "weak*"[Title/Abstract] OR	9,104,349

Search number	Query	Search Details	Results
	resident*[tiab] OR elder*[tiab] OR disable*[tiab] OR disabil*[tiab] OR evacuee*[tiab] OR non- evacuee*[tiab] OR nonevacuee*[tiab] OR patient*[tiab]	"resident*" [Title/Abstract] OR "elder*" [Title/Abstract] OR "disable*" [Title/Abstract] OR "disabil*" [Title/Abstract] OR "evacuee*" [Title/Abstract] OR "non- evacuee*" [Title/Abstract] OR "nonevacuee*" [Title/Abstract] OR "patient*" [Title/Abstract]	
6	"Emergency Shelter" [Mesh] OR evacuat*[tiab] OR emergency shelter*[tiab]	"Emergency Shelter" [MeSH Terms] OR "evacuat*" [Title/Abstract] OR "emergency shelter*" [Title/Abstract]	22,693
7	"Patient Transfer" [Mesh] OR "Transportation of Patients" [Mesh]	"Patient Transfer" [MeSH Terms] OR "Transportation of Patients" [MeSH Terms]	25,117
8	(shelter*[tiab] OR remain*[tiab]) AND "in- place" [tiab]	("shelter*" [Title/Abstract] OR "remain*" [Title/Abstract]) AND "in- place" [Title/Abstract]	5,939
9	#6 or #7 or #8	"Emergency Shelter" [MeSH Terms] OR "evacuat*" [Title/Abstract] OR "emergency shelter*" [Title/Abstract] OR ("Patient Transfer" [MeSH Terms] OR "Transportation of Patients" [MeSH Terms]) OR (("shelter*" [Title/Abstract] OR "remain*" [Title/Abstract]) AND "in- place" [Title/Abstract])	52,352

Search number	Query	Search Details	Results
10	#1 AND #4 AND #5 AND #9	("Radioactive Hazard Release"[MeSH Terms] OR "Natural Disasters"[MeSH Terms] OR "Disasters"[MeSH Terms:noexp] OR "Disaster Planning"[MeSH Terms] OR "disaster*"[Title/Abstract] OR "chernobyl*"[Title/Abstract] OR "fukushima*"[Title/Abstract] OR "three mile island*"[Title/Abstract] OR "cyclone*"[Title/Abstract] OR "hurricane*"[Title/Abstract] OR "tropical storm*"[Title/Abstract] OR "typhoon*"[Title/Abstract]) AND ("Home Care Services"[MeSH Terms] OR "Health Facilities"[MeSH Terms] OR ("facility"[Title/Abstract] OR "facilities"[Title/Abstract] OR "home"[Title/Abstract] OR "homes"[Title/Abstract] OR "hospital"[Title/Abstract] OR "hospitals"[Title/Abstract])) AND ("Disabled Persons"[MeSH Terms] OR "Frailty"[MeSH Terms] OR "Aged"[MeSH Terms] OR "Patients"[MeSH Terms] OR "Hospitalization"[MeSH Terms] OR "inpatient*"[Title/Abstract] OR "hospitali*"[Title/Abstract] OR "vulner*"[Title/Abstract] OR "frail*"[Title/Abstract] OR "fragil*"[Title/Abstract] OR "weak*"[Title/Abstract] OR "resident*"[Title/Abstract] OR "elder*"[Title/Abstract] OR "disable*"[Title/Abstract] OR "disabil*"[Title/Abstract] OR "evacuee*"[Title/Abstract] OR "non evacuee*"[Title/Abstract] OR "nonevacuee*"[Title/Abstract] OR "patient*"[Title/Abstract]) AND ("Emergency Shelter"[MeSH Terms] OR "evacuat*"[Title/Abstract] OR "emergency shelter*"[Title/Abstract] OR "Patient Transfer"[MeSH Terms] OR "Transportation of Patients"[MeSH Terms]) OR (("shelter*"[Title/Abstract] OR "remain*"[Title/Abstract]) AND "in- place"[Title/Abstract]))	942

データベース: CINAHL 02/06/2021

Search number	Query	Results
S1	((MH "DisasterPlanning") OR (MH "Disasters") OR (MH "Natural Disasters") OR (MH "Nuclear PowerPlants") OR (MH "Radioactive Pollution")) OR (TI (disaster* OR Chernobyl* OR Fukushima* OR "Three Mile Island" OR cyclone* OR hurricane* OR "tropical storm*" OR typhoon*)) OR AB (disaster* OR Chernobyl* OR Fukushima* OR "Three Mile Island" OR cyclone* OR hurricane* OR "tropical storm*" OR typhoon*))	34,899
S2	((MH "Home Health Care+") OR (MH "Health Facilities+")) OR (TI (facility OR facilities OR home OR homes OR hospital OR hospitals) OR AB (facility OR facilities OR home OR homes OR hospital OR hospitals))	929,121
S3	(MH "Disabled+") OR (MH "Aged+") OR (MH "Hospitalization+") OR (MH "Patients+") OR (TI (inpatient* OR hospitali* OR vulner* OR frail* OR fragil* OR weak* OR resident* OR elder* OR disable* OR disabil* OR evacuee* OR non-evacuee* OR nonevacuee* OR patient*)) OR (AB (inpatient*OR hospitali* OR vulner*OR frail* OR fragil* OR weak* OR resident* OR elder* OR disable* OR disabil* OR evacuee* OR non-evacuee* OR nonevacuee* OR patient*))	2,586,294
S4	((MH "Emergency Evacuation") OR (MH "Transfer, Discharge") OR (MH "Transportation of Patients+")) OR ((TI (evacuat* OR (emergency N3 shelter*)) OR AB (evacuat* OR (emergency N3 shelter*))) OR (TI (shelter* OR remain*) W2 "in place") OR AB ((shelter* OR remain*) W2 "in place"))	22,442
S5	S1 AND S2 AND S3 AND S4	509

データベース:Embase 02/06/2021

#	Query	Results d
1	exp natural disaster/ or exp disaster/ or exp disaster planning/ or exp nuclear accident/	49,322
2	(disaster* or Chernobyl* or Fukushima* or "Three Mile Island" or cyclone* or hurricane* or "tropical storm*" or typhoon*).mp.	66,947
3	1 or 2	70,053
4	exp disabled person/ or exp frailty/ or exp aged/ or exp patient/ or exp hospitalization/	5,718,181
5	(inpatient* or hospitali* or vulner* or frail* or fragil* or weak* or resident* or elder* or disable* or disabil* or evacuee* or non-evacuee* or nonevacuee* or patient*).mp.	12,126,885
6	4 or 5	12,919,521
7	exp home care/ or exp health care facility/	1,698,082
8	(facility or facilities or home or homes or hospital or hospitals).mp.	2,944,224
9	7 or 8	3,440,429
10	exp emergency shelter/	530
11	exp patient transport/	29,049
12	((shelter* or remain*) adj2 place*).mp.	4,524
13	(evacuat* or (emergency adj1 shelter*)).mp.	30,267
14	10 or 11 or 12 or 13	62,730
27	3 and 9 and 14	1,459

データベース: PsycInfo 02/06/2021

#	Query	Results
1	exp Radioactive Hazard Release/ or exp Natural Disasters/ or exp Disasters/ or exp Disaster Planning/ or exp natural disaster/ or exp disaster/ or exp disaster planning/ or exp nuclear accident/	10,242
2	(disaster* or Chernobyl* or Fukushima* or "Three Mile Island" or cyclone* or hurricane* or "tropical storm*" or typhoon*).mp.	16,319
3	1 or 2	16,618
4	exp Disabled Persons/ or exp Frailty/ or exp Aged/ or exp Patients/ or exp Hospitalization/ or exp disabled person/ or exp frailty/ or exp aged/ or exp patient/ or exp hospitalization/	121,512
5	(inpatient* or hospitali* or vulner* or frail* or fragil* or weak* or resident* or elder* or disable* or disabil* or evacuee* or non-evacuee* or nonevacuee* or patient*).mp.	1,106,651
6	4 or 5	1,110,750
7	exp Home Care Services/ or exp Health Facilities/ or exp home care/ or exp health care facility/	6,861
8	(facility or facilities or home or homes or hospital or hospitals).mp.	308,074
9	7 or 8	308,074
10	exp Emergency Shelter/ or exp Patient Transfer/ or exp Transportation of Patients/ or exp emergency shelter/ or exp patient transport/	268
11	((shelter* or remain*) adj2 place*).mp.	546
12	(evacuat* or (emergency adj1 shelter*)).mp.	2,035
13	10 or 11 or 12	2,828
14	3 and 6 and 9 and 13	106

データベース: Scopus 02/06/2021

Search strategy	Results
(TITLE-ABS-KEY ((disaster* OR chernobyl* OR fukushima* OR "Three Mile Island" OR cyclone* OR hurricane* OR "tropical storm*" OR typhoon*))) AND (TITLE-ABS-KEY ((inpatient* OR hospitali* OR vulner* OR frail* OR fragil* OR weak* OR resident* OR elder* OR disable* OR disabil* OR evacuee* OR non-evacuee* OR nonevacuee* OR patient*))) AND (TITLE-ABS-KEY ((facility OR facilities OR home OR homes OR hospital OR hospitals))) AND ((TITLE-ABS-KEY ((shelter* OR remain*) W/2 place*)) OR (TITLE-ABS-KEY (evacuat* OR (emergency W/1 shelter*))) OR (TITLE-ABS-KEY (patient* W/1 (transport* OR transfer*))))	1990

災害時における医療・介護施設からの避難の影響について・過去報告の systematic review にて対象となった 20 件の論文一覧

No.	title	First Author	災害の種類	災害発生国	災害発生年	研究の種類
1	Small but mighty. In the face of an impending natural disaster, you need a great plan, an electronic patient record and community cooperation.	McGinty J	ハリケーン	USA	1998	事例報告
2	Missed dialysis sessions and hospitalization in hemodialysis patients after Hurricane Katrina.	Anderson AH	ハリケーン	USA	2005	量的研究
3	A comparison of the nursing home evacuation experience between hurricanes katrina (2005) and gustav (2008).	Blanchard G	ハリケーン	USA	2005	量的研究
4	DISASTER STRIKES!	Cacchione, Pamela Z.	ハリケーン	USA	2005	量的研究
5	Evacuate or 'hunker down?' ED experts ponder options as Katrina wreaks havoc: hurricane veterans say the decision is not as easy as it may appear		ハリケーン	USA	2005	事例報告
6	The effects of evacuation on nursing home residents with dementia	Brown, Lisa M.	ハリケーン	USA	2008	量的研究
7	The incomplete circle of the National Disaster Medical System: what Arkansas hospitals learned from hurricane Gustav.	Mason WL	ハリケーン	USA	2008	量的研究
8	Effect of forced transitions on the most functionally impaired nursing home residents.	Thomas KS	ハリケーン	USA	2008	量的研究
9	Long-term outcomes of patients evacuated from hospitals near the Fukushima Daiichi nuclear power plant after the Great East Japan Earthquake.	Igarashi Y	原発事故	Japan (福島)	2011	量的研究
10	Evacuation Decision Making and Expanded Roles of Adult Daycare Services in the Great East Japan Earthquake: Qualitative Analysis Using Semistructured Interviews.	Mori H	地震	Japan (宮城)	2011	質的研究
11	Was the Risk from Nursing-Home Evacuation after the Fukushima Accident Higher than the Radiation Risk?	Murakami M	原発事故	Japan (福島)	2011	量的研究
12	Post-nuclear disaster evacuation and survival amongst elderly people in Fukushima: A comparative analysis between evacuees and non-evacuees.	Nomura S	原発事故	Japan (福島)	2011	量的研究
13	Mortality risk amongst nursing home residents evacuated after the Fukushima nuclear accident: a retrospective cohort study.	Nomura S	原発事故	Japan (福島)	2011	量的研究
14	Successful emergency evacuation from a hospital within a 5-km radius of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: the importance of cooperation with an external body.	Sawano T	原発事故	Japan (福島)	2011	事例報告
15	Balancing the risk of the evacuation and sheltering-in-place options: a survival study following Japan's 2011 Fukushima nuclear incident.	Shimada Y	原発事故	Japan (福島)	2011	量的研究

No.	title	First Author	災害の種類	災害発生国	災害発生年	研究の種類
16	Challenges of nurses' deployment to other New York City hospitals in the aftermath of Hurricane Sandy.	VanDevanter N	ハリケーン	USA	2012	量的研究
17	Evacuate or shelter in place: A view from the water's edge.	Jarrett MP	ハリケーン	USA	2017	事例報告
18	Assisted Living Communities During Hurricane Irma: The Decision to Evacuate or Shelter in Place and Resident Acuity.	Peterson LJ	ハリケーン	USA	2017	量的研究
19	Exploring factors affecting the decision of emergency hospital evacuation in disasters: A qualitative study	Yaghoubi, Tahereh	—	イラン	—	質的研究
20	To evacuate or shelter in place: implications of universal hurricane evacuation policies on nursing home residents.	Dosa D	ハリケーン	USA	2008, 2005	量的研究

Systematic Review の対象となった 20 件の論文における量的アウトカムの種類及び、その具体的記述

No.	First Author	災害の種類	災害発生国	災害発生年	研究の種類	アウトカムの種類	アウトカムの詳細
2	Anderson AH	ハリケーン	USA	2005	量的研究	血液透析患者の透析しなかった回数 (避難後30日 90日)	Odds 比 1-2回欠席 非避難者: 0.96 (95%CI: 0.34-2.74) [ref= 避難] 3回以上欠席 非避難者2.05 (95%CI: 0.60-6.99) [ref= 避難]
4	Cacchione, Pamela Z.	ハリケーン	USA	2005	量的研究	介護施設入所者のせん妄スコア (避難後1週 2週)	NEECHAM confusion scale score 平均値 避難前:4.53 避難当日: 3.94 1週後: 3.03-3.26 2週後: 6.06 mCAM score 平均値 避難前: 2.71 避難当日: 2.79 1週後: 4.09-4.35 2週後: 2.91
6	Brown, Lisa M.	ハリケーン	USA	2008	量的研究	介護施設入所者の死亡率 (避難後30日 90日)	90日での死亡率の増加: 2.7-5.3% [ref=同施設の過去2年間の死亡率] 90日での入院率の増加: 1.8-8.3% [ref=同施設の過去2年間の入院率]
7	Mason WL	ハリケーン	USA	2008	量的研究	避難時の医療費等	
8	Thomas KS	ハリケーン	USA	2008	量的研究	介護度の高い老人ホーム入居者が 避難or Shelter in placeで30日後と 90日後に死亡・入院する割合	死亡 (30日: 避難6.2% Shelter in place 5.4%) (90日: 避難15.2%, Shelter in place 12.5%) 入院 (30日: 避難12.0% Shelter in place 8.2%) (90日: 避難21.1% Shelter in place: 16.6%)
9	Igarashi Y	原発事故	Japan (福島)	2011	量的研究	入院患者の死亡率 (約300日)	介護施設入所者と比較 [ref=6の論文] して死亡率が有意に高い ($p < 0.00001$)
10	Mori H	地震	Japan (宮城)	2011	質的研究	高齢者デイサービス・介護施設における避難の意思決定について	
11	Murakami M	原発事故	Japan (福島)	2011	量的研究	介護施設入所者の損失余命	早期避難: 11,000 persons-d, 意図的避難: 27 persons-d 20 mSv被ばく: 1100 persons-d, 100 mSv被ばく: 5800 persons-d
12	Nomura S	原発事故	Japan (福島)	2011	量的研究	介護施設入所者の死亡率 (約2年半)	Hazard ratio (95%CI) 避難者=1.82 (1.22-2.70) [ref=非避難者] 災害経験あり=1.10 (0.84-1.43 有意差なし) [ref=災害経験無] 性別等調整後 避難者=3.37 (1.66-6.81) [ref=非避難者]
13	Nomura S	原発事故	Japan (福島)	2011	量的研究	介護施設入所者の死亡率 (約300日)	地震前後の全相対死亡リスク 2.68 (95% CI: 2.04-3.49) (施設によるばらつき: 0.77 (95% CI: 0.34-1.76) ~ 2.88 (95% CI: 1.74-4.76)) 避難距離による死亡率の有意差はなし 元の施設からの初回避難のHazard Ratio:1.94 (95% CI: 1.07-3.49). [ref= 2回め以降の避難]
15	Shimada Y	原発事故	Japan (福島)	2011	量的研究	入院患者の死亡率 (約2200日)	Hazard ratio (95%CI) 内科部門 [ref=事故前] 非避難者: 1.57 (1.11-2.18) 避難者: 0.53 (0.42-0.66) 事故後入院者: 0.64 (0.49-0.82) 精神科部門 [ref=事故前] 非避難者: 3.83 (0.08-15.75) 避難者: 1.36 (0.45-3.29) 事故後入院者: 1.39 (0.53-2.99)
18	Peterson LJ	ハリケーン	USA	2017	量的研究	介護施設における避難あるいは屋内 退避かの判断に与えた要因	有意差がついた因子として、区分 (精神・保険・福祉)、保険の種類、属する地域が挙げられた
20	Dosa D	ハリケーン	USA	2008, 2005	量的研究	介護施設入所者の死亡率/入院率 (避難後30日 90日) ※統計解析では90日	90日での死亡率の増加: 2.7-5.3% [ref=同施設の過去2年間の死亡率] 90日での入院率の増加: 1.8-8.3% [ref=同施設の過去2年間の入院率]