

# 放影協 ニュース



2024. 4, No.118

## 令和6年度 事業計画・収支予算 (骨子)

令和6年度事業計画・収支予算は、令和6年3月1日に開催された理事会及び同年3月11日に開催された評議員会において承認され、行政庁に届け出をいたしました。

当協会では、令和6年度はこれに基づき成果の益々の充実を期し、一層の努力をしてまいります。

### 事業計画

#### I 放射線影響に関する知識の普及・啓発及び研究活動への奨励・助成

- 1 放射線影響に係る知識の普及・啓発  
放射線影響に関する国内外の情報の収集・分析評価を行い、放射線影響に関する知識の普及啓発に努めます。このため「放影協ニュース」を年4回発行するとともに、ホームページの運用等を行います。
- 2 研究奨励助成金の交付事業  
放射線影響、放射線の医学利用の基礎並びに放射線による障害の防止など放射

線科学研究の分野における調査・研究のうち、国内で行われる将来性のある、優れた研究に研究奨励助成を行ってまいります。この事業は昭和36年度より実施しているもので、これまでの累計は452件となりました。令和6年度は、3名程度の研究者に助成します。

#### 3 顕著な成果をあげた研究者等の顕彰事業

放射線影響、放射線の医学利用の基礎並びに放射線による障害の防止など放射線科学研究の分野において、顕著な業績をあげた研究者を顕彰するため放射線影響研究功績賞を平成12年度に設け、これまでに22名の研究者を顕彰しました。

また、現下の放射線影響研究の重要性に鑑み、一層の研究促進に寄与するため、新進気鋭の若手研究者を顕彰する制度として、放射線影響研究奨励賞を平成18年度に設け、これまでに35名の研究者を顕彰しました。

### 目次

- 令和6年度事業計画・収支予算(骨子)…………… 1
- 令和5年度放射線影響研究功績賞受賞業績の概要 …… 5
- 令和5年度放射線影響研究奨励賞受賞研究の概要(1)…10
- 令和5年度放射線影響研究奨励賞受賞研究の概要(2)…15
- 令和3年度(2021)研究奨励助成金交付研究の紹介……20

- ICRP調査・研究連絡会行事  
令和5年度放影協開催講座「ICRP特別セミナー」 ……22
- ICRP調査・研究連絡会行事  
令和5年度「外部専門家との意見交換会」……………25
- 第34回日本疫学会学術総会に参加して……………26
- 主要日誌……………28

いずれの賞も我が国の科学技術の進展及び国民保健の増進に寄与することを目的としており、令和6年度も引き続き両賞の顕彰を行います。

- 4 国際研究集会参加等のための助成事業  
放射線影響の分野における国際研究集会への参加、国外研究機関への研究者の派遣及び国外研究機関からの研究者の招へいに対する助成を行っており、平成3年度より実施しているもので、これまでの累計は211名となっています。特に、国際研究集会への参加は、若手研究者に大きな自信を与え、今後の研究成果が期待されます。令和6年度も引き続き3名程度の研究者に助成します。また、必要に応じ外国人研究者招へいの助成を行い、一層の放射線影響研究の発展に寄与します。

## II 放射線影響に関する調査研究

### 1 低線量放射線による人体への影響に関する疫学的調査

低線量放射線の健康影響を明らかにするため、国からの委託を受けて、原子力発電施設等放射線業務従事者等を対象とした疫学的調査を実施します。

平成27年度から新たな調査計画に則って調査対象者に対する疫学調査への協力の意思確認調査を令和元年度までに第VI期調査として終了し、新たな調査に用いるコホートを設定するとともに生活習慣等調査を実施しました。また、調査対象者の生死情報を個人情報保護に留意した上で確認するとともに、全国がん登録データベースに基づくがん罹患情報の取得についても調査計画に基づき実施しています。令和6年度は、令和5年度に引き続き第VII期調査としてこれらの成果を基にデータの更新を行うとともに第VII期調査の最終年度にあたることから成果の取りまとめを行います。さらに、本疫学的調査に関する情報や低線量放射線の健康影響に関する情報の発信を図り、本調査の重要性について放射線業務従事者や関連する機関への認知度を高めることに努めます。

このため、令和6年度は次の事業を行います。

#### (1) 調査計画の評価

平成27年度に策定し、平成28年度及び平成30年度に一部を変更した調査計画（調査への協力の意思確認（インフォームド・コンセント）、放射線以外の生活習慣等の情報の収集、調査対象集団の設定方法やその集団の規模、がん罹患調査、生死追跡調査、健康影響に関する解析方法等の設定等）について、本調査の進捗状況、今後の見通し等を評価し、必要な点があれば見直しを行います。

#### (2) 調査対象者の情報更新と分析

令和6年度は、令和元年度に設定したコホート集団について令和5年度に引き続き計画的に住民票の写し等を取得し、生死確認を行います。死亡が確認された者については厚生労働省の人口動態調査死亡票から死因を特定します。また、調査対象者の受けた放射線量の最新データを放射線従事者中央登録センターから取得し、第VII期の解析方針に基づき分析を行います。

#### (3) がん罹患調査

令和元年度までに実施した調査対象者のがん罹患情報の収集方法、収集項目、情報の保管等に基づき令和5年度に引き続きがん罹患情報の取得を行い、調査対象者の受けた放射線量のデータなどを用いて分析を行います。

#### (4) 委員会での評価・検討

倫理審査・個人情報保護委員会、調査研究評価委員会及び放射線疫学調査あり方検討会フォローアップ委員会での議論を踏まえ、疫学・統計解析を行います。また、成果利活用検討委員会において、本疫学的調査で得られた成果の利活用のための取り組み方針について検討を行います。

#### (5) 国内外の情報収集と理解促進活動

国内の主要な学会や会議などへの参加、及び文献調査を通し関連情報の収集、動向調査及び討議を行います。また、ホームページ等により国内への情報発信を行います。

- 2 福島第一原子力発電所緊急作業従事者に対する疫学研究への協力  
疫学研究の統括研究機関である（独法）

労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所からの依頼を受け、調査対象者について放射線従事者中央登録センターの被ばく線量等の登録情報を提供する等の協力を行います。

### 3 その他

必要に応じて放射線影響に関する調査研究等を実施します。

## Ⅲ 放射線の防護及び利用に関する調査研究

ICRPが取りまとめる勧告や報告は、我が国の放射線防護法令の指針となるものです。このことを踏まえ、協会は、日本における公衆及び放射線を取扱う職業人の防護が的確に行われるようにするため、ICRP勧告等の動向を的確に把握し、日本のICRP委員、専門家及び学識経験者等が、情報及び認識の共有化を図り、国内における考え方が勧告等の検討に貢献できるように、ICRP調査・研究連絡会を中心に以下の活動を行います。

- (1) ICRPの動向調査並びに同勧告、報告等の調査研究を行います。
- (2) ICRP勧告、報告等に関する意見・情報交換を行います。
- (3) 専門家を招へいして放射線影響を中心とした講演会を開催するなどして知識の普及に努めます。
- (4) ICRP委員の活動に対する支援を行います。

本連絡会は、ICRP委員、会員、学識経験者等により構成される連絡委員会を設置し、国内関係各界の意見交換等を積極的に行います。

令和6年度は、上記活動の一環として、これまでに引き続き外部の招へい専門家を交えた専門家間の意見交換や放影協開催講座(ICRPセミナー)等を開催します。

## Ⅳ 放射線業務従事者等の放射線被ばく線量等に関する情報の収集、登録及び管理

### 1 経常業務

各制度参加事業者との協調を図りつつ、原子力放射線業務従事者被ばく線量登録管理制度(以下「原子力登録管理制度」という)、除染等業務従事者等被ばく線量登録管理制度(以下「除染登録管理制度」という)、RI放射線業務従事者被ばく

線量登録管理制度(以下「RI登録管理制度」という)及び放射線管理手帳(以下「手帳」という)制度的確な運営を行います。また、放射線関連法令に基づく放射線管理記録の指定保存機関として適切な記録保管に努めます。制度参加事業者、記録引渡し事業者及び記録の本人からの記録の照会に対して適切に回答を行います。

また、記録の本人の同意の下、国が実施又は関与する放射線影響に関する調査研究に被ばく線量データを提供します。

### 2 経常業務を安全・適切に実施するための業務

経常業務を安全かつ適切に実施するため、令和6年度は次の業務を行います。

#### (1) 登録管理システムのリプレース

令和6年度は、除染登録管理システムの更新を行います。今回は、ハードウェアの更新が主となりますが、各ソフトウェアを最新バージョンに更新するとともに、対象ブラウザをMicrosoft Edgeへ変更するものです。

#### (2) 放射線管理記録の新たなアーカイブ方式の検討

放射線管理記録の保存について、現在は、電子画像から作成したマイクロフィルムで行っています。マイクロフィルムは保存性に優れている一方、国内における作成技術の継続性に不透明な部分があるため、電子化文書による保存方式への変更及び業務プロセスについて検討を進め、令和7年度中の開始を目途に必要な準備を行います。

#### (3) 原子力登録管理制度及び除染登録管理制度に係る協議会の開催

原子力登録管理制度及び除染登録管理制度は、それぞれの制度の適切な運用を図るため、参加事業者による協議会を開催します。令和6年度は令和5年度の事業報告・決算報告及び令和7年度の事業計画・収支予算並びに登録管理制度の遂行に係る重要事項について審議・協議します。

#### (4) 原子力登録管理制度の推進に関する実務担当者会議の開催

協議会での審議結果等に基づき、必要に応じ原子力登録管理制度の推進に関する実務担当者会議を開催します。

- (5) 原子力事業者、除染事業者との登録管理制度及び手帳制度の運用等に関する意見交換

登録管理制度及び手帳制度の適切な運用に資するため、手帳の運用や個人情報等の取扱い等について実務担当者との意見交換を行います。

なお、令和6年度は原子力事業所5事業所程度を対象として実施するほか、除染事業場も必要に応じ実施します。ただし、訪問が困難な状況が発生した場合には書面によるアンケート方式で実施します。

- (6) 放射線管理手帳発効機関に対する手帳の運用等に係る指導、助言

手帳の円滑な運用に資するため、「放射線管理手帳 運用要領・記入要領」等に従って手帳が適切に運用されているか、また、個人情報の取扱いが規程等に基づき適切に運用、管理されているか等について、各手帳発効事業所を訪問して手帳発行実務者と意見交換を行い、必要な指導、助言を行います。

なお、令和6年度は15手帳発効事業所程度を対象として実施します。ただし、訪問が困難な状況が発生した場合には書面によるアンケート方式で実施します。

- (7) 統計データの解析・評価及び公表

原子力登録管理制度に係るデータにより各種統計データを作成し、統計データ評価委員会において解析・評価を行います。また、除染登録管理制度に係るデータについても、各種統計データを作成します。原子力事業所及び除染等事業場における従事者の放射線管理状況を示す統計資料を協会の「ホームページ」、「放影協ニュース」で公表します。

### 3 その他

登録管理制度に関する調査研究委託業務を必要に応じ実施します。

## 令和6年度収支予算書(損益ベース)

(単位：千円)

科目	予算額
I. 一般正味財産増減の部	
1. 経常増減の部	
(1) 経常収益	
基本財産運用収益	1
受取会費	5,128
受取受託金等	105,015
受取負担金	461,763
受取寄付金	2,865
雑収益	50
経常収益計	574,822
(2) 経常費用	
事業費	
役員報酬	15,385
給料手当	154,888
退職給付費用	9,666
法定福利費	26,682
通信伝送費	1,357
データ管理費	137,325
事務所借料	35,909
記録保管費用	3,000
支払い助成金	1,050
支払顕彰金	800
支払国際交流助成金	900
諸掛費	74,523
減価償却費	16,478
事業費計	477,963
管理費	
役員報酬	21,162
給料手当	19,056
退職給付費用	3,460
法定福利費	5,838
事務所借料	12,634
諸掛費	25,074
管理費計	87,224
経常費用計	565,187
当期経常増減額	9,635
2. 経常外増減の部	
(1) 経常外収益	
(2) 経常外費用	
当期経常外増減額	
当期一般正味財産増減額	9,635
一般正味財産期首残高	480,200
一般正味財産期末残高	489,835
II. 指定正味財産増減の部	
受取寄付金	7,210
一般正味財産への振替額	△ 7,993
当期指定正味財産増減額	△ 783
指定正味財産期首残高	13,620
指定正味財産期末残高	12,837
III. 正味財産期末残高	502,672

## 放射線防護とリスク研究をつなぐ

日本文理大学  
甲斐 倫明

### はじめに

1970年代、新しいエネルギー源としての原子力エネルギーが注目される中、安全問題としての原子力に関心をもって東大工学部の原子力に進んだ。大学の講義に足が遠のいていた頃に、医学部から講義に来ていた吉澤教授に出会ったことが現在の道に進むきっかけとなった。吉澤教授はHealth Physicsと呼ばれる工学や医学生物などの総合科学の色彩を持った学問が成長していることを独特の語り口で語り学生を惹きつけた。工学部の協力講座であった吉澤教授の研究室に大学院で進学することになり、それが放射線防護（研究室は放射線健康管理学教室と呼ばれていた）の研究のスタートだった。その時から40年あまりを経て、令和5年度放射線影響研究功績賞を頂くことができたことに光栄と思うと同時に何か不思議に感慨深く感じる。私の指導をしていただいた恩師、共に研究を行なった同僚・仲間や指導した学生に至るすべての人々から感謝を申し上げたい。この受賞を機に、放射線防護に関係した研究から社会活動まで広げて私の関わった研究や活動を紹介することで記録としておきたい。

### 緊急時対応

不思議な思いになるのは、放射線防護という分野がもつ社会との関わりの強い側面があることと関係している。これまで様々な放射線防護の課題に関わってきて、放射線防護という分野が評価されることの難しさを知っているからである。

大学院在籍中、米国TMI事故が発生し、原子力安全の論争が沸き立っていた。これを契

機に、放射線防護の観点から行われた国のプロジェクトとして緊急時対応研究が開始された。私は大学院時代、内部被ばく研究に関心をもっていたので、当時の日本原子力研究所の環境安全研究部で緊急時に被ばく線量を予測計算するシステムの開発に従事することになった。この開発研究で実用化したSPEEDIが東日本大震災後に起きた福島第一原子力発電所事故の緊急時対応に使われたが、その顛末については広く知られている通りである。当時の研究開発は、単位放出を仮定した気象拡散予測計算だけでなく、環境から得られた測定データをもとに逆計算をすることで事故サイトからの放出量を予測する機能の検証研究までを行う大型研究だった。私自身は、日本人特有の甲状腺の線量評価や胎児線量の評価法を中心にプルームからの線量評価法に主に従事していた。システムの運用についても議論を進めていたことを覚えているが、SPEEDIの福島第一原子力発電所事故後では残念なことに現実の緊急時に備えることの困難さが教訓となった。

日本原子力研究所から東大の吉澤研究室に移籍した直後にチェルノブイリ原子力発電所事故が発生し、再び原子力事故に関わる課題に直面することになる。チェルノブイリ原子力発電所から北に300キロ離れたモギレフに滞在していた日本人の技術者4名が帰国したときに、彼らの体内放射能を東大のホールボディカウンタで測定することになった。4名の衣服や体内からはヨウ素、テルル、セシウムなどの放射性同位元素が検出され、予想しなかった事故の規模を間接的ではあったが、経験することになる。専門家の間では原子力

安全の観点からは原子炉のタイプの違いや規則違反などが論点となっていた。放射線影響・防護においては、急性障害に対する治療法、晩発影響のリスク予測、さらには事故後の放射線防護としていかに対応するかが国際的な課題となっていた。放射線防護を事故時に拡大して適用する体系とするために、介入と行為という概念が生まれ、ICRP1990年勧告に導入される契機を作ったのがチョルノービリ原子力発電所事故であった。

## 放射線リスク推定

1980年に出版されたBEIR-IIIレポートは、放射線影響・防護の関係者には注目される新しい放射線リスク推定に関する展開があり、放射線リスク論争が記述されていた。線量反応関係がL、LQあるいはQ型なのか、マイクロドシメトリ理論と疫学との論争が関心を集めたが、私が注目したのは相対リスクモデルによるリスク計算が絶対リスクモデルよりも高い推定値を与えることであった。BEIR-IIIレポートは両者のモデルの推定値を併記していたが、両者のモデルの生物学的な違いまでの議論に及んではいなかった。放射線によって誘発するがんのリスクはベースライン（被ばくしない集団のがんリスク）と独立なのか、あるいは依存するのかという新たな論点を意味していた。1977年のUNSCEAR報告やICRP勧告では絶対リスクモデルが暗に想定されていたので、相対リスクモデルを当時の新しいリスク推定法として導入されてきたことに注目した。

放射線リスクはベースラインと独立なのかどうかは、放射線発がんの仕組みそのものに関係した問題である。この点を明らかにしない限り解決しない問題だったので、数理的に扱うことのできる発がんモデルの研究に関心を持つようになった。当時、発がんモデル研究は、米国シアトルにあるフレッドハッチソンがん研究センターのMoolgavkarグループが行っていた生物機構に立脚した2段階発がんモデルが主流となっていた。彼の研究室に留学し、原爆データを初めて統計モデルに代わる発がんモデルで解析する結果を得ることができた。そこから見えてきたのは相対リ

スク型のモデルがより現実に近いという示唆であった。原爆データもその後、相対リスク型を支持する傾向を報告するようになってきた。しかし、モデルにおいて原爆の急性被ばくが発がん過程において初発変異をもたらすだけと考えるとよいのかなど、新たな課題も生まれた。

放射線の発がん過程における働きを疫学データ以外において検討を進めるために、マウスで比較的発がんの起点が明らかになっている急性骨髄性白血病(AML)に注目し、実験研究者と共同で研究を進めた。CBA系マウスでは、2番染色体上の*Sfpi 1*にコードされるPU.1転写因子の不活化によってAMLが発症する。2番染色体の両方のアレルの*Sfpi 1*遺伝子変異によってAMLが発症することが明らかにされていた。しかし、放射線が初期損傷として2番染色体の欠失を起こすことは確認されていたが、その後のがん化までの過程において放射線がどのように関与しているのかはわかっていなかった。当初、*Sfpi 1*遺伝子部分の欠失(DSG)と対立遺伝子*Sfpi 1*遺伝子の点突然変異(PMASG)の2段階数理モデルの試算から、AMLの実験データの時間発現分布が生じるためには、初期変異を保持した細胞の動態が亢進し、その結果、片方のアレルに変異をもたらす確率が高まるように放射線が間接的に作用していることが予想された。実験的にも、3 Gy照射したマウスの造血幹細胞の分裂負荷が老化を促進し、AMLの発生に関与している可能性を確認することができた。そこで、造血幹細胞の分裂負荷には線量率効果が起こるとする仮説から、造血幹細胞の細胞動態に放射線がどのように関与しているかを実験的に調べることで放射線がん化のモデルを追求することにした。20mGy/日、200mGy/日、または1,000mGy/分の線量率で合計3 Gyのガンマ線照射を受けたC3Hマウスの造血幹細胞において、DSGとPMASGの両方の頻度の線量率依存性を調べた結果、両方の変異が線量率依存性をもつことが明らかになった。また、高線量率の急性照射においても細胞動態の影響が長く続くことによってAMLの発症が長期にわたって現れることもわかってきた。これは急性照射

がイニシエーションに留まらないことを示唆していた。

一方、PLANETで行なった共同研究では、我が国で実施されてきた生涯飼育動物実験データは欧米データよりも低い線量率であることに注目し、青森環境研と放医研で実施されてきた実験データのプール分析に取り組んだ。その結果、B6C3F1マウスの悪性腫瘍死亡では線量率効果が急性被ばくの1/3になることを確認した。しかし、この線量率効果はAMLで認められた効果よりも小さく、造血細胞では高線量率での細胞動態の影響が大きいことが関係している可能性など課題が見えてきた。

線量率効果をリスクモデルの中で定式化することが可能となり議論ができるようになってきたが、放射線リスクとベースラインとの関係で述べたように生活習慣の影響は放射線リスク推定の上で重要なポイントである。放射線リスク推定でとくに注目されるのが喫煙習慣による影響である。原爆被ばく者において喫煙習慣は肺がんリスクに特異的な影響をもたらしている、同じ被ばく線量でも喫煙習慣によって肺がんリスクが異なることが知られてきた。この知見をどのように現代人のリスク推定に活用するのか国際的にもまだ十分な議論がなかった。ベースラインとなる非喫煙者の肺がん罹患率を推定することが必要となる。人口動態統計で得られる肺がん罹患率は喫煙者と非喫煙者の混合集団であるので、喫煙効果を考慮する場合、このままではベースラインとして利用できない。そこで、非喫煙集団の肺がん罹患率を推定する方法と、原爆被ばく者の知見を適用することで、放射線のリスクを推定する方法を構築した。その結果、喫煙者と非喫煙者を区別しない混合集団の罹患データを用いると男性で非喫煙者の肺がんリスクを2倍過大評価することがわかった。

### CT検査のリスク推定

放射線防護は原子力分野以外では医療分野において重要な役割を果たす必要がある。筆者がとくに大分県立看護科学大学に籍を移してから、医療被ばく者の健康影響と防護に重

心を移して研究を行うようになった。とくに、CT検査の医療被ばく者の線量が他のX線撮影に比べて高いことから、小児の放射線防護に対する関心が世界的に高くなっていった。我が国のCT検査の影響が世界的に大きいとする欧米の論文を契機に、我が国独自の調査の必要性を感じ、全国調査を実施してモデル推定によって我が国のCT検査実態を明らかにする研究を行なった。人口1,000人当たりのCT実施件数は、全CT検査で166件、小児CT検査で32-34件であり、意外にも日本の方が米国より少ないことが明らかになった。次にCT検査の線量評価と放射線防護を臨床現場に広く確立するために、WAZA-ARIというWebで計算可能なオープン計算システムを開発し、CT検査の最適化に貢献できる取り組みを行い、当時の放射線医学総合研究所が中心となって実用化が進んだ。線量に関する情報だけではリスクは議論できないので、小児CTの影響を調べる研究に発展させた。小児CTの検査が多頻度で行われる背後にある検査理由を明らかにする必要があった。これによって検査の正当性や逆因果関係の議論が可能になると考えた。研究の結果、手術が必要となる疾患の重い小児において検査数が多くなる傾向があることを明らかにした。また、初診時の平均頭部検査数は生後5日未満の小児で高いことが明らかになったことで、先天性の疾患の存在、手術の必要となる背後にがんリスクと関係する因子が存在するかどうかは、まだ仮説の域をでないが、今後の小児CTのリスクを論じる上で重要な知見を示したと考えている。現在、欧州9カ国で行われた小児CTの疫学研究は頭部CT検査が脳腫瘍のリスクが増加することを示唆しているが、逆因果関係の可能性が完全に解決したわけではない。一方で、他頻度のCT検査の正当化の議論には、CT検査の頻度が多くなる理由が見えてきたことが役に立つ知見となるであろう。臨床現場では個別の累積線量を評価することが行われていないので、検査の全体計画で正当化を行うことを難しくしている。研究を通して、医療被ばくにおける放射線防護上の課題が明らかになってきた。

## 福島第一原子力発電所事故

2011年は東日本大震災に伴って起きた福島第一原子力発電所事故は放射線関係者とくに放射線防護関係者にとって重大な影響を与えた経験だった。ICRP勧告を活用した対策が事故後にとられる中、東京を中心に多くの講演活動で解説が求められた。これらの社会とのコミュニケーション活動から得た教訓は多くの解説文として残したものの、リスク概念を中心に放射線防護を考えてきた立場からは、科学以外の側面をもったリスクに向き合うことの大切を学んだ。

福島事故によって社会的な不安を招いた問題に内部被ばくの影響がある。同じ線量であっても外部被ばくよりもリスクが高いとする風潮に対して実験計画を立てた。X線マイクロビームがin vitroでの内部被ばくからの局所被ばくの影響を再現するのに非常に有効であることに注目し、DNA損傷に対する細胞応答が細胞集団のX線照射野サイズに依存することを示した。内部被ばくが一様な外部被ばくよりもリスクが大きくなることを示唆した。

福島原発事故後、リスクのコミュニケーションの難しさから、リスク推定の指標としてICRPが使用しているデトリメントに変わるリスク指標として公衆衛生や環境分野に広く利用されているDALY（障害調整生存年数）を放射線防護へ導入する必要があると考え、DALYを用いたリスク分析の研究を開始した。

## ICRPの委員として

思いもかけずICRP第4専門委員会の委員に選ばれ、国際的な活動に参加する機会を得た。放射線防護の研究や社会的活動をより深く考える必要性が高まり、放射線防護の哲学についてより高みを目指すことが求められた。福島第一原子力発電所事故前までの活動では、リスク研究者としてラドンと喫煙問題の放射線防護を考えた。そのときの討議の記録を残しているので参照してほしい。

福島第一原子力発電所事故後、その教訓を受けて、ICRPはタスクグループを設置しレポートをまとめることになった。大規模原子力事故における人と環境の放射線防護に関す

るICRPのレポートを座長としてまとめるなど、現在まで国際的に活動できたことは、諸先輩方、同僚・仲間の励ましなど多くの支援を受けることができたからであり、改めて心から感謝したい。

放射線防護という総合科学の色彩を持った学問を専門とするようになってから、リスクという放射線防護の基本にある概念に向き合うようになった。リスクの推定からリスクのコミュニケーションに至る研究や課題がすべて放射線防護の基本問題であることを強く認識するようになった。コロナの経験もリスク問題として通じるものを感じた。放射線リスクを分析・予測し、そしてその情報をわかりやすく伝えることで人々が最適な選択ができることにつながる。そのためには専門家が発信する情報の精度を高めると共に、倫理観のある人として信頼できることを目指す必要を感じている。

## 関連する主な参考文献

1. Imai K, Chino M, Ishikawa H, Kai M, Asai K, Homma T, Hidaka A, Nakamura Y, Iijima T, Moriuchi S. SPEEDI: A computer code system for the real-time prediction of radiation dose to the public due to an accident release. JAERI 1297 (1985)
2. Kai M. Estimation of embryonic and fetal doses from accidentally released radioactive plumes. *Radiat Prot Dosimetry*, 11, 91-94 (1985)
3. Kai M, Kusama T, Eguchi H, Sugiura N, Niimi K, Ban N, Fukui T, Yoshizawa Y. Estimation of internal exposure of four Japanese travellers to fission products released from the reactor accident at Chernobyl. *Radiat Prot Dosimetry*, 18, 175-178 (1987)
4. Kai M, Luebeck EG, Moolgavkar SH. Analysis of the incidence of solid cancer among atomic bomb survivors using a two-stage model of carcinogenesis. *Radiat Res.* 148, 348-358 (1997)
5. Ban N, Kai M, Implication of replicative stress-related stem cell ageing in radiation-induced murine leukaemia. *Br J Cancer*, 101, 363-71

- (2009)
6. Ojima M, Hirouchi T, Etani R, Ariyoshi K, Kai M, Dose-rate dependent PU.1 inactivation to develop acute myeloid leukemia in mice through persistent stem cell proliferation following acute or chronic  $\gamma$ -irradiation. *Radiat Res.* 192(6), 612-620 (2019)
  7. Doi K, Kai M, Suzuki K, Imaooka T, Sasatani M, Tanaka S, Yamda Y, Kakinuma S. Estimation of dose-rate effectiveness factor for malignant tumor mortality: Joint analysis of mouse data exposed to chronic and acute radiation. *Radiat Res.* 194(5), 500-510 (2020)
  8. Shimada K, Kai M, Lifetime risk assessment of lung cancer incidence for nonsmokers in Japan considering the joint effect of radiation and smoking based on the life span study of atomic bomb survivors. *J Radiat Prot Res.* 46(3), 83-97 (2021)
  9. Ono K, Yoshitake T, Hasegawa T, Ban N and Kai M. Estimation of the number of CT procedures based on a nationwide survey in *Japan. Health Phys.*, 100, 491-496 (2011)
  10. Ban N, Takahashi K, Sato K, Endo A, Ono K, Hasegawa T, Yoshitake T, Katsunuma Y, Kai M. *Radiat Prot Dosimetry*, 147, 333-337 (2011)
  11. Takahashi F, Sato K, Endo A, Ono K, Ban N, Hasegawa T, Katsunuma Y, Yoshitake T, Kai M. Numerical Analysis of Organ Doses Delivered During Computed Tomography Examinations Using Japanese Adult Phantoms with the WAZA-ARI Dosimetry System. *Health Phys.*, 109, 104-112, (2015)
  12. Kamei O, Ojima M, Yoshitake Y, Ono K, Nishijima K, Kai M. Calculating patient-specific organ doses from adult body CT scans by Monte Carlo analysis using male-individual voxel phantoms. *Health Phys.* 108, 344-52 (2015)
  13. Kojimahara N, Yoshitake T, Ono K, Kai M, Bynes G, Schuz J, Cardis E, Kesminiene A, Computed tomography of the head and the risk of brain tumors during childhood and adolescence: results from a case-control study in Japan. *J Radiol Prot.* 40, 1010-1023 (2020)
  14. Kadowaki Y, Hamada N, Kai M, Furukawa K. Evaluation of the lifetime brain/central nervous system cancer risk associated with childhood head CT scanning in Japan. *Int J Cancer*, 148, 2429-2438 (2021)
  15. Yoshitake T, Miyazaki O, Kitamura M, Ono K, Kai M, Quantitative Analysis of the Clinical Reasons Influencing the Frequency of Pediatric Head CT Examinations: A Single-Center Observation Study. *Tomography*, 9(2), 829-839 (2023)
  16. Ojima M, Ito Atsushi, Usami N, Ohara M, Suzuki K, Kai M, Field size effects on DNA damage and proliferation in normal human cell populations irradiated with X-ray microbeams. *Sci Rep.* 11(1), 7001 (2021)
  17. Shimada K, Kai M, Calculating disability-adjusted life years (DALY) as a measure of excess cancer risk following radiation exposure. *J Radiol. Prot.* 35, 763-775 (2015)
  18. Murakami M, Nagai T, Kai M, Ethical and social perspectives of risk assessment, management, and communication in radiological protection and chemical safety. *Japanese J. Risk Analysis*, 32, 101-116 (2023)
  19. Hirouch J, Kujiraoka I, Takahara S, Takada M, Schneider T, Kai M, Comparison of lifetime mortality risk, and DALYs of baseline cancer rates among countries as a benchmark for radiation-related cancer risk. *J Radiol Prot.* in press.
  20. Kai M. Experience and current issues with recovery management from the Fukushima accident. *Annals of the ICRP* 44, 153-161, 2015
  21. 甲斐倫明、ICRP第4専門委員会ポルト会議報告. *保健物理*, 45(1), 90-92 (2010).
  22. Kai M, Homma T, Lochard J, Schneider T, Lecomte JF, Nosbet A, Shinkarev S, Averin V, Lazo T, ICRP Publication 146, Radiological Protection of People and the Environment in the Event of a Large Nuclear Accident, Update of ICRP Publication 109 and 111. *Annals of the ICRP*, 49(4), (2020)

## 抗酸化能を指標とした被ばくバイオマーカーと 晩期放射線影響に関する研究

産業技術総合研究所 健康医工学研究部門  
孫 略

### はじめに

放射線と酸化ストレスの関係については古くから研究されているが、時代の潮流に合わせて研究も変容している。ここでは、私どもの研究に影響を与えた背景について簡単に紹介する。

**【放射線白内障】**しきい線量と線量限度が引き下げられたが、実際にはそれらの値より低い線量でも放射線白内障の増加がみられるという報告が散見される。(放射線白内障以外の)白内障の発症には酸化ストレスが関与することが知られているものの、放射線白内障の発症メカニズム(放射線がどのように白内障の進行を促進するか)に関する報告は少ない。

**【脂質ラジカル】**外的要因または細胞代謝の一環として生成された活性酸素種(ROS)の標的の一つが不飽和脂肪酸である。酸化された不飽和脂肪酸は脂質ラジカルとなり、周囲の分子と反応して過酸化脂質やアルデヒド体を形成する。厄介なことに、脂質ラジカルの反応は新たな脂質ラジカルを作る連鎖反応であるため、抗酸化物質によって消去されない限り反応が続き、大量に過酸化脂質やアルデヒド体が生成されてしまう。アルデヒド体は生体内半減期が長く、毒性が蓄積する恐れがある。脂質ラジカルとその代謝物が関与する疾患としては、癌や心筋症などが知られている<sup>1)</sup>。

**【血球】**酸化ストレスに限らず、なんらかの血液検査を行う場合、血漿/血清を試料とすることが多い。すなわち「生きた」細胞である血球の情報を全く評価していないということである。しかし近年、全血や血球の成分解析から新たなバイオマーカーが発見されている<sup>2), 3), 4)</sup>。

これらの背景から、我々は、血球の脂質ラジカルを測定して、放射線の非がん影響発症と関連するかどうかを調べようと考えた。そこで問題となったのが、「血球の脂質ラジカルを測定する方法」と「成果がでるまでの研究期間」であった。

**【脂質ラジカルの測定方法】**我々が研究を始めた当初、市販の過酸化脂質の蛍光プローブを試したが、全く使い物にならなかった。しかし、たまたま酸化ストレス学会の勉強会で佐藤圭創教授(開発当時熊本大学)と同仁化学/同仁グローバルが開発したi-Strap法についての講演があり、この技術を利用することが出来た。i-Strapは、試料(全血)中で脂質ラジカルを発生させ、試料中の抗酸化物質によって消去されずに残ったラジカル量を測定することで、脂質ラジカルに対する消去(抗酸化)能を評価する手法であり、我々の求める測定と近いものであった(図1)。なお、厳密に言えばi-Strap法で測定されるのは「全血の脂質ラジカル消去能」であるが、便宜上、

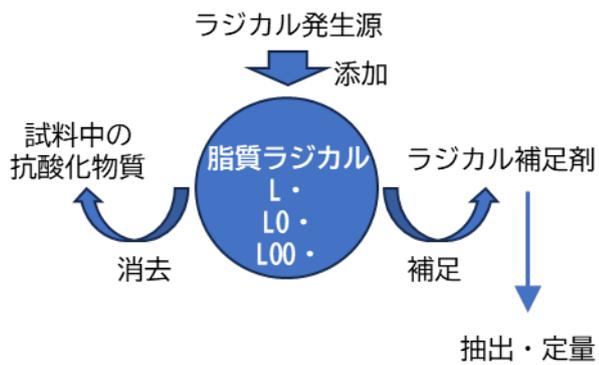


図1 i-Strapの原理。試料(全血)中で脂質ラジカルを発生させ、試料中の抗酸化物質によって消去されずに残ったラジカル量を測定する。(抗酸化物質が多いほど、残存するラジカル量(シグナル)が少なくなる)。

血液抗酸化能や血中抗酸化能と記載している。

【研究期間】マウスで晩期障害を評価する場合、成果が出るまでに3～4年かかる。そんな長期実験を支援してくれるところは、(一部の組織を除いて)なかなか見つからない。そこで、樺田尚樹先生(当時国立保健医療科学院)がバイオドシメトリの研究のために立ち上げたプロジェクトに参加させて頂き、まずは被ばく短期の変化をとらえて、そこから徐々に観察期間を延ばすこととした。

### 被ばく後の生体における血液抗酸化能の変化(短期)

血液抗酸化能をバイオドシメトリに利用できるか否か解析を行うために、マウスにいくつかのパターンで放射線を照射し、経時的にi-Strap法で解析を行った。

【急性全身照射】線量依存的な照射1週間後頃をピークとして、線量依存的に血液抗酸化能が低下することがわかった(図2)<sup>5)</sup>。さらに、1Gy以上であれば、高い診断能を持って被ばくの有無を識別できることが分かった。血液抗酸化能のみで線量推定することも可能だが、例えば、被ばく直後にピークを持つDNA損傷(γH2AX)などと組み合わせれ

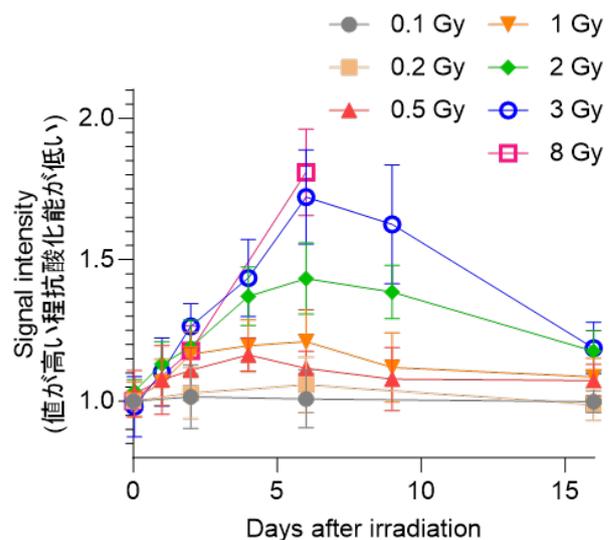


図2 マウスの急性全身被ばく後の血液抗酸化能の変化(短期)。i-Strapの測定原理上、シグナルが高い程、抗酸化能が低いことを示す。一部は参考文献5)を改変。

ば、より精度の高い線量推定が可能となる<sup>6)</sup>。

【急性局所照射】マウスの後脚のみに照射した場合、10Gyを照射しても有意な血液抗酸化能の変化は観察できなかった<sup>7)</sup>。このことから、脚部(大腿骨や筋肉)は抗酸化能低下の責任臓器では無いと考えられた。なお、頭部や体幹部への照射は実施していない。

【慢性全身照射】総線量を固定し、線量率をさげて慢性(連続)照射を行った場合、線量率の低下に比例して抗酸化能低下が小さくなり、低下のピークが前倒しになる傾向が観察された<sup>7)</sup>。

### 被ばく後の血球における代謝物の変化(短期)

血液の約半分は血球。その血球の9割以上を占める赤血球には、血漿の数百倍程度のグルタチオンが含まれている<sup>8)</sup>。そのため、血球は血漿よりもかなり高い抗酸化能を持っている。i-Strapの結果は血球成分に大きく影響を受けることから、被ばく後のマウスにおける血球中の代謝物変化をメタボロームにより解析した。解析できた306代謝物のうち、choline、2-aminobutyric acid、2'-deoxycytidine

の変化が安定して観察され、これら3つの代謝物がバイオシメトリのマーカー候補になりうると考えられた<sup>9)</sup>。一方で、i-Strapと相関が高い代謝物は得られなかった。(我々が実施したメタボローム解析は水溶性の代謝物が得意で、脂は・・・)

### 被ばく後のヒトにおける血液抗酸化能の変化(短期)

心臓カテーテル検査前後の患者さんの血液を頂き、血液抗酸化能を評価する機会を得た。トータル9例の患者さんを測定したが、検査(被ばく)前後で有意な変化は認められなかった<sup>10)</sup>。心臓カテーテル検査での平均被ばく線量はIVR基準点線量(≒最大皮膚線量)で440mGy(最大957mGy)であったため、線量(体へのダメージ)が低く、i-Strapの検出限界未満だったと考えられる。現在、放射線治療などのより被ばく線量の高い症例に対する試験を検討している。

### 被ばく後の生体における血液抗酸化能の変化(長期)

マウスに急性全身照射を行い、100日毎に採血して血液抗酸化能を測定した。その結果、

5Gy被ばくすると、慢性的な抗酸化能低下を(死亡まで)呈することを見出した(図3)<sup>11)</sup>。また、血球のグルタチオン量は1Gyの被ばくでも慢性的に低下することを見出した<sup>11)</sup>。原爆被爆者の血液では炎症性サイトカインが増加することが報告されているが<sup>12)</sup>、我々のマウスの解析では、5Gy被ばくでも慢性的な炎症性サイトカインの増加は観察できなかった<sup>13)</sup>。

### 被ばく後の眼球におけるグルタチオン量の変化

水晶体は最もグルタチオンが多く含まれる組織の一つで、グルタチオン量の低下は白内障を引き起こすとされている。放射線被ばくによって血液抗酸化能や血球グルタチオン量が下がったことから、水晶体のグルタチオン量も被ばくによって低下するのではないかと考えた。そこで、マウスの全身に3Gyの放射線を照射し、眼球のグルタチオン量を解析した。(解剖の難易度、グルタチオンの空気酸化、マウスでは水晶体が眼球の大部分を占めるといった点を考慮して、水晶体ではなく、まずは眼球を測定対象とした次第である。)

被ばく4日後に眼球グルタチオン量が低下したが、血球のように持続せず、250日後

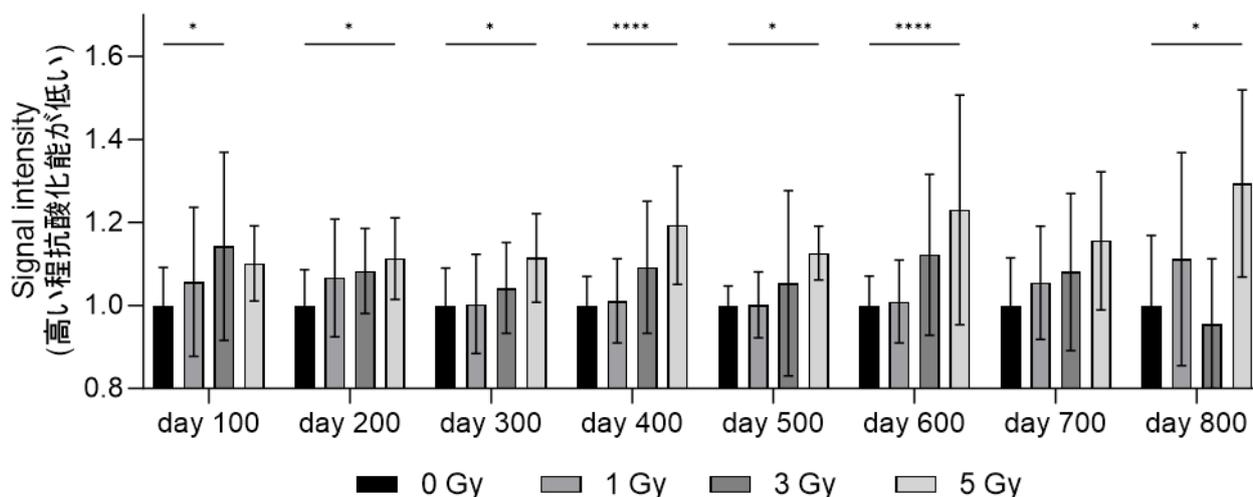


図3 マウスの全身急性被ばく後の血液抗酸化能の変化(長期)。i-Strapの測定原理上、シグナルが高い程、抗酸化能が低いことを示す。参考文献11)を改変。

には完全に回復していた<sup>14)</sup>。また、総線量が同じでも線量率が低くなると低下の度合いが小さくなり、回復に要する時間も短くなった<sup>14)</sup>。

### 放射線白内障と酸化ストレスの研究

ここからは、現在進行中の内容となるが、簡単に紹介する。被ばくによって血液や眼球の抗酸化能が低下するという事は、白内障の発症と酸化ストレスの間にはやはり関連がある可能性が高いと考えられるため、細隙灯や実体顕微鏡を整備して白内障の程度と酸化ストレスの解析を行っている(図4)。

### まとめ

上述の通り、我々は基礎生物実験として、様々な被ばく形態に対する血液や眼の酸化ストレス応答(の脂質ラジカルに関する要素)を解析してきた。被ばく後、中から長期間にわたり抗酸化能が低下して酸化ストレスに陥る可能性を指摘した。放射線によってDNAが

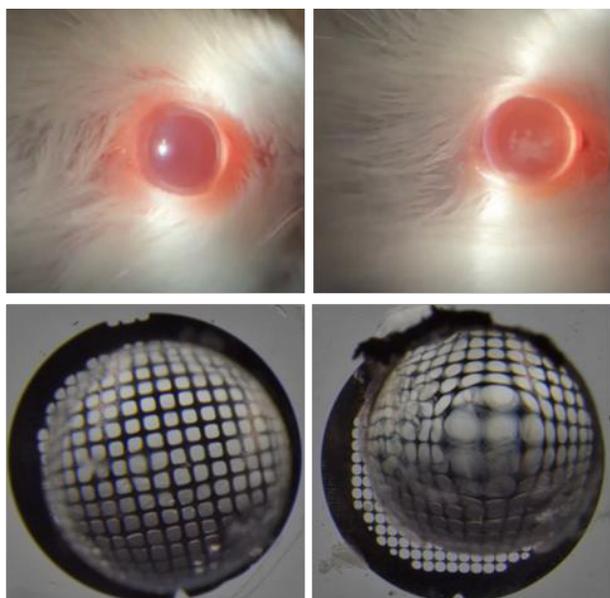


図4 マウスの眼の細隙灯写真と摘出した水晶体の顕微鏡写真。上下のマウスは対応していない。右側に濁りやゆがみが見られるが、本原稿執筆時点で、白内障であるという診断はされていない。

ブチっと切れることによる障害発生はもちろんあるだろうが、その後に引きずる酸化ストレスも障害発生の修飾要因となりうる可能性がある。事実、放射線被ばく後に抗酸化物質を投与することで細胞死や急性骨髄死を抑制できる、と他の研究グループが報告している<sup>15), 16), 17)</sup>。しかしながら、被ばく後の長期酸化ストレス状態と晩期障害との関連についてはほとんど解析されたことが無く、引き続き研究が必要である。特に、国内に約30万人いる医療放射線従事者にとって放射線白内障は重要な問題であり、今後の研究の進展が期待されている。

### 謝辞

故・櫻田尚樹先生(産業医科大学教授/国立保健医療科学院部長)が代表を務める厚生労働科学研究費補助金が本研究を大きく進展させるきっかけとなりました。この場をお借りし、改めてご冥福をお祈り申し上げます。

本研究の一部は環境省委託事業「放射線健康管理・健康不安対策事業(放射線の健康影響に係る研究調査事業)」、東北大学災害科学国際研究所共同研究プロジェクト、科研費、産総研-東北大学マッチング事業において実施したものです。なお、開示すべきCOI関係にある企業等はありません。

### 参考文献

1. 山田健一、酸化還元反応および脂質ラジカルをターゲットとした検出と抑制、Drug Delivery System 33-3, p197-203, 2018
2. Teruya T, Chen YJ, Kondoh H, Fukuji Y, Yanagida M. Whole-blood metabolomics of dementia patients reveal classes of disease-linked metabolites. Proc Natl Acad Sci USA. 2021; 118(37): e2022857118.
3. Kameda M, Teruya T, Yanagida M, Kondoh H. Frailty markers comprise blood

- metabolites involved in antioxidation, cognition, and mobility. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2020; 117(17): 9483-9489.
4. Teruya T, Sunagawa S, Mori A, Masuzaki H, Yanagida M. Markers for obese and non-obese Type 2 diabetes identified using whole blood metabolomics. *Sci Rep*. 2023; 13(1): 2460.
  5. Sun L, Inaba Y, Sato K, Hirayama A, Tsuboi K, Okazaki R, Chida K, Moritake T. Dose-dependent decrease in anti-oxidant capacity of whole blood after irradiation: A novel potential marker for biodosimetry. *Sci Rep*. 2018; 8(1): 7425.
  6. 孫略ら、特許6889439
  7. Sun L, Inaba Y, Sogo Y, Morikawa K, Kunugita N, Chida K, Moritake T. Analysis of whole-blood antioxidant capacity after chronic and localized irradiation using the i-STrap method. *J Radiat Res*. 2022; 63(1): 30-35.
  8. Unt E, Kairane C, Vaher I, Zilmer M. Red blood cell and whole blood glutathione redox status in endurance-trained men following a ski marathon. *J Sports Sci Med*. 2008; 7(3): 344-9.
  9. Sun L, Inaba Y, Kanzaki N, Bekal M, Chida K, Moritake T. Identification of Potential Biomarkers of Radiation Exposure in Blood Cells by Capillary Electrophoresis Time-of-Flight Mass Spectrometry. *Int J Mol Sci*. 2020; 21(3): 812.
  10. Sun L, Igarashi T, Tetsuka R, Li YS, Kawasaki Y, Kawai K, Hirakawa H, Tsuboi K, Nakamura AJ, Moritake T. Pilot clinical study of ascorbic acid treatment in cardiac catheterization. *J Radiat Res*. 2019; 60(5): 573-578.
  11. Sun L, Inaba Y, Sogo Y, Ito A, Bekal M, Chida K, Moritake T. Total body irradiation causes a chronic decrease in antioxidant levels. *Sci Rep*. 2021; 11(1): 6716.
  12. Hayashi T, Morishita Y, Khattree R, Misumi M, Sasaki K, Hayashi I, Yoshida K, Kajimura J, Kyoizumi S, Imai K, Kusunoki Y, Nakachi K. Evaluation of systemic markers of inflammation in atomic-bomb survivors with special reference to radiation and age effects. *FASEB J*. 2012; 26(11): 4765-73.
  13. 盛武敬ら、環境省令和3年度放射線の健康影響に係る研究調査事業報告書、p187～211.
  14. Sun L, Inaba Y, Sogo Y, Kunugita N, Chida K, Moritake T. Ionizing radiation reduces glutathione levels in the eye: A pilot study. *J Radiat Res Appl Sci*. 2022; 15(2): 106-110.
  15. Ueno M, Inano H, Onoda M, Murase H, Ikota N, Kagiya TV, Anzai K. Modification of mortality and tumorigenesis by tocopherol-mono-glucoside (TMG) administered after X irradiation in mice and rats. *Radiat Res*. 2009; 172(4): 519-24.
  16. Kobashigawa S, Kashino G, Suzuki K, Yamashita S, Mori H. Ionizing radiation-induced cell death is partly caused by increase of mitochondrial reactive oxygen species in normal human fibroblast cells. *Radiat Res*. 2015; 183(4): 455-64.
  17. Sato T, Kinoshita M, Yamamoto T, Ito M, Nishida T, Takeuchi M, Saitoh D, Seki S, Mukai Y. Treatment of irradiated mice with high-dose ascorbic acid reduced lethality. *PLoS One*. 2015; 10(2): e0117020.

## 低線量・低線量率放射線リスク評価に関わる 放射線生物・放射線防護研究

電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部  
生物・環境化学研究部門 藤通 有希

### 1. はじめに

高線量率放射線被ばくによって、線量依存的にがんリスクが増加することが知られている<sup>1)</sup>。一方で、高自然放射線地域住民の疫学調査から、低線量率長期被ばくの場合にはがんリスクが増加しない<sup>2)</sup>ことも報告されており、その線量率による違い(線量率効果)のメカニズム解明は、放射線生物学における重要課題の一つである。

また、発がんリスクや線量率効果係数の推定には、解析条件等によって推定値が変わりうるといった課題や、実験動物や培養細胞のデータをどのように人の放射線リスク推定に適用するのかといった課題も残っている。

そのため、線量率効果の生物学的な機構解明や線量率効果に関わる放射線リスク分析の課題解決に向けた研究に取り組むことが重要であると考えている。

### 2. 線量率効果のメカニズム解明に向けて

#### 2-1. 放射線誘発幹細胞競合仮説(RISCC)

ICRP Publication 131において、線量率効果を説明可能な仮説の1つとして「細胞競合仮説」が提示された<sup>3)</sup>。低線量率被ばく状況では、単位時間あたりに放射線がヒットした細胞とヒットしていない細胞が混在するため、ヒットした細胞が優先的に排除される

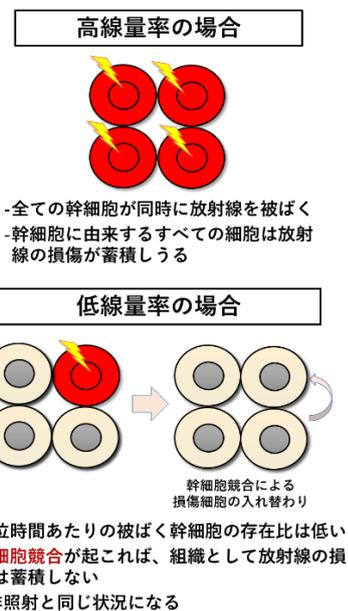


図1 線量率効果を説明する幹細胞競合仮説

ことでがんリスクが増加しないという仮説である(図1)。この仮説を検証するため、放射線発がんにおいて重要な役割を果たすと考えられる幹細胞<sup>3)</sup>に着目し、「放射線誘発幹細胞競合(RISCC; Radiation-induced stem cell competition)」の研究を進めてきた。

#### 2-2. マウス腸管幹細胞とオルガノイド

腸管では、腸管基底部に位置するクリプト内に幹細胞が存在する(図2左)。幹細胞は自己複製能、多分化能を持っており、機能細

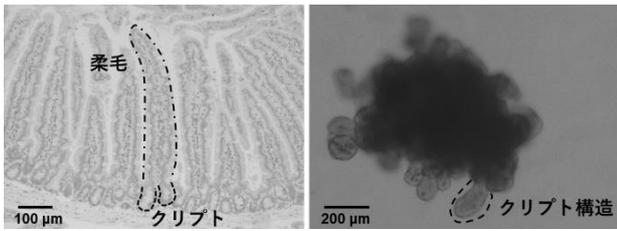


図2 マウスの小腸(左)とオルガノイド(右)

胞等を供給して柔毛を支えている。役目を終えた機能細胞はターンオーバーにより排出される。腸管のクリプトあたりの幹細胞数には上限があるため、細胞分裂に伴うターンオーバーの際に、クリプト内で幹細胞競合が生じると考えられる。

マウス腸管の幹細胞を3次元培養し、クリプト構造を持ったミニ臓器(オルガノイド)を作成する手法が2009年に報告された<sup>4)</sup>。これを当所の目的である放射線応答の評価や後述の幹細胞競合の評価に合わせて改良し、高効率でオルガノイド(図2右)を形成するプロトコルを確立した<sup>5)</sup>。幹細胞がオルガノイドを形成するには、幹細胞の特徴である自己複製能、多分化能が必須であるため、オルガノイド形成効率は幹細胞機能の指標の1つとして有用と考えられる。

### 2-3. 幹細胞とオルガノイドの放射線応答

マウスにX線を高線量率照射(0.5 Gy/分)して1週間後に解剖すると、腸管クリプト

中の幹細胞割合は線量増加に伴って減少し、ターンオーバーは1 Gy以上で有意に亢進された<sup>6)</sup>。プレートに播種したin vitroの幹細胞にX線を高線量率照射した際のオルガノイド形成効率は、線量の増加に応じて低下する傾向にあり、4 Gyで有意差を示した。一方で、マウスにX線を高線量率照射し、1週間後に採取した幹細胞のオルガノイド形成効率は、非照射群と同等もしくは増加傾向を示した<sup>6)</sup>。照射後1週間の間に、マウス体内で細胞死等によって損傷度の大きい幹細胞の排除が生じていることが推察される。マウスに低線量率γ線(1 Gy/2週間)を照射した場合は、いずれの指標においても非照射群と有意差がなかった(図3)<sup>6)</sup>。

### 2-4. RISCCの検証

1 GyのX線をin vitro照射した幹細胞を単独培養してオルガノイドを形成させると、非

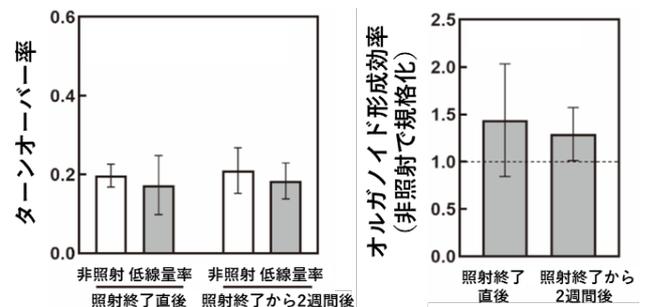


図3 腸管幹細胞の放射線応答  
参考文献6より抜粋・編集

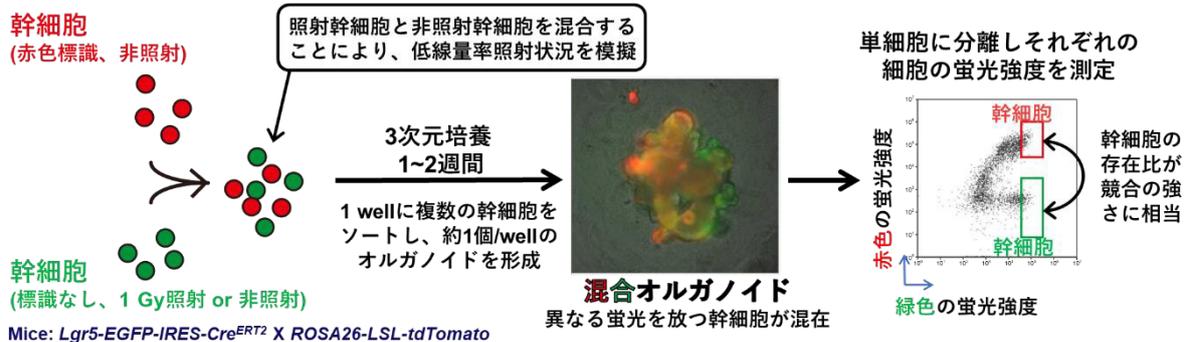


図4 混合オルガノイド実験の概要

照射幹細胞と比較して細胞増殖能に有意な差はなかったが、照射幹細胞と非照射幹細胞を混合培養して混合オルガノイドを形成させ、構成細胞の蛍光強度を測定すると(図4)、照射幹細胞の混合オルガノイド占有割合は有意に低かった<sup>5)</sup>。また、オルガノイド中の1個の細胞を赤色蛍光で標識し、X線マイクロビームを照射してタイムラプス観察したところ、照射した細胞は数回分裂した後に排除されることを観察した<sup>7)</sup>。以上から、腸管幹細胞集団においてRISCCが生じうることを示した<sup>7)</sup>。

### 3. 放射線リスク分析の課題解決に向けて

#### 3-1. 線量率効果係数の検討にあたって

放射線発がんリスクは過剰相対リスク(ERR; Excess Relative Risk)や過剰絶対リスク(EAR; Excess Absolute Risk)により表されているが、同じERRでも30歳被ばく・70歳到達時のERRであったり、生涯のERRであったりするため、注意が必要である。さらに、同じ集団を対象にしても、解析条件や被ばく条件によって見かけ上のリスク推定値が変わり、結果的に線量率効果係数の推定にも影響を及ぼしうるため、個々の疫学研究の比較には注意が必要であると考えられる。

また、発がん頻度の高い臓器やがんの種類がマウスと人で違う場合があるが、マウスで推定した線量率効果係数を人の放射線防護にどのように適用すればよいのかといった議論や、マウスが放射線に高感受性を示す週齢と人の年齢はどのような対応関係にあるのかといった議論が続いている。これらの、実験動物等のデータを人のリスク推定にどのように適用すればよいのかという「リスク転換」に関する課題にも着目している。そこで、解析条件によるリスク推定結果の差異の程度(3-2節)や動物種間であてはまりのよい指標の1つとして知られている全死因死亡<sup>8)</sup>の早期化

(3-3節)について検討を進めている。

#### 3-2. 発がんのリスク推定

放射線防護のための発がんリスク推定において、ICRP2007年勧告ではデトリメント指標が用いられている<sup>9)</sup>。デトリメントは生命表法によって計算された名目リスク係数(1万人当たりの症例数)に基づいた数値である。ICRP2007年勧告におけるデトリメント計算の再現性を確認したうえで<sup>10)</sup>、正味のリスクが同じである仮想集団のリスク推定を行った<sup>11)</sup>。その結果、解析手法が異なればその数値の意味合いは異なり、さらに、その違いは無視できない程度(最大で数倍程度)の差である場合があることを示した(図5)<sup>11)</sup>。また、被ばく条件(慢性被ばくや急性被ばく)により、累積リスクがどの程度異なるか解析したところ、生物学的な線量率効果がないと仮定しても、0歳から慢性被ばくし続けた場合の生涯のリスクは、0歳で急性被ばくした場合ではなく、30～40代で急性被ばくをした場合の生涯リスクと同程度であることを見出した。

疫学研究結果を比較検討する際に、解析結果である数値(生涯のERRや、特定の観察期間におけるERR等)だけを単純に比較して議

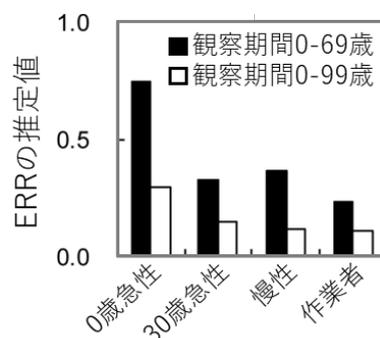


図5 見かけ上のリスク推定値の差の例  
(男性、EAR係数使用時)  
参考文献11より抜粋・編集

論しがちである。しかし、解析条件や被ばく条件によって見かけ上のリスクが変わり、結果的に線量率効果係数にも影響を及ぼしうることを定量的に示した<sup>11)</sup>。

### 3-3. マウスデータの人のリスク推定への適用

リスク転換の議論の第一歩として、放射線被ばくによる死亡時期の早期化(図6)について、マウス・人それぞれについて研究を進めてきた。放射線リスクが死亡時期の前倒しにより評価可能であるかを、公開されているマウスのデータを用いて解析した結果、全死因累積死亡率、全固形がん累積死亡率の線量応答は線形応答であること、照射時日齢が35日齢と105日齢の間で応答が変わることを報告した<sup>12)</sup>。また、これらのマウスにおける早期化解析結果<sup>12)</sup>とLife Span Study (LSS) データを用いた早期化解析結果<sup>13)</sup>とを比較して、マウスのデータを人のリスク推定に適用するための検討も進めている。

## 4. まとめ

線量率効果を説明可能なRISCCについて、腸管オルガノイドを用いた実験により仮説の

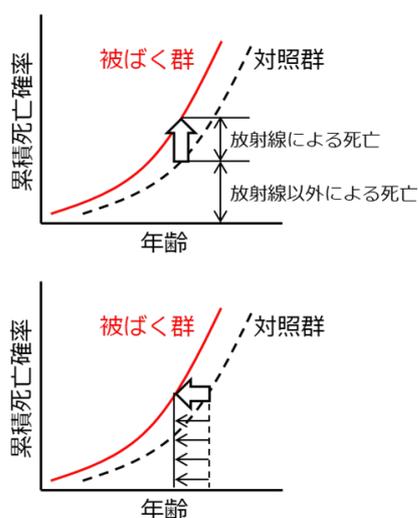


図6 リスク増加(上)と早期化(下)の考え方

成立性を示すことができた。現在は、混合オルガノイドにおけるRISCCの線量・線量率応答やマイクロビーム照射実験の統計的解析を進めている。また、当所ではRISCCに関する数理モデル化研究も推進しており<sup>14)</sup>、多角的にRISCCを考察していく予定である。

放射線リスク分析については、正味のリスクが同じでも解析条件によって見かけ上のリスクや線量率効果係数が変わりうること、早期化指標の放射線防護への適用可能性について検討を進めた。今後は、高線量データの低線量・低線量率領域への適用や実験動物データを人のリスク推定に適用する課題に着目し、検討を進めていく予定である。

以上の観点から、低線量・低線量率放射線影響や線量率効果の課題解決に向けた研究を推進し、放射線影響研究の発展に貢献できるよう尽力していきたい。

## 謝辞

腸管オルガノイド実験の一部は科学研究費助成事業(16K16196、20K19971)による助成を受けました。研究推進および本原稿執筆にあたって、電力中央研究所の共同研究者の皆様にご指導・ご協力いただきました。放射線防護の基礎については東京大学・小佐古敏荘名誉教授にご指導いただきました。また、多くの方に実験のサポートや様々なご協力・ご助言をいただきました。深く感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) Grant EJ, et al. Solid Cancer Incidence among the Life Span Study of Atomic Bomb Survivors: 1958-2009. *Radiat. Res.* 187:513-537, 2017.
- 2) Jayalekshmi PA, et al. Background radiation and cancer excluding leukemia in Kerala, India-Karunagappally cohort study. *Radiat.*

- Environ. Med. 10:74-81, 2021.
- 3) ICRP. Stem Cell Biology with Respect to Carcinogenesis Aspects of Radiological Protection. ICRP Publication 131. Ann. ICRP 44(3/4), 2015.
  - 4) Sato T, et al. Single Lgr5 stem cells build crypt-villus structures in vitro without a mesenchymal niche. Nature. 459:262-5, 2009.
  - 5) Fujimichi Y, et al. An efficient intestinal organoid system of direct sorting to evaluate stem cell competition in vitro. Sci. Rep. 30; 9 (1):20297, 2019.
  - 6) Fujimichi Y, et al. Ionizing radiation alters organoid forming potential and replenishment rate in a dose/dose-rate dependent manner. J. Radiat. Res. 63:166-173, 2022.
  - 7) Fujimichi Y, et al. Intestinal organoids for studying the effects of low-dose/low-dose-rate radiation. Radiat. Prot. Dosimetry. 198:1115-1119, 2022.
  - 8) NCRP. Extrapolation of Radiation Induced Cancer Risks from Nonhuman Experimental Systems to Humans. Report No. 150, 2005.
  - 9) ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4), 2007.
  - 10) Ogino H, Fujimichi Y, et al. Quantitative assessment of provability of radiation-related cancers considering unavoidable existence of unadjusted risk factors. J. Radiol. Prot. 36:865-884, 2016.
  - 11) Fujimichi Y, et al. Estimated risks of radiation-induced solid cancers from various exposure conditions and the effects of age and follow-up period on these risks. Jpn. J. Health Phys. 55:144-153, 2020.
  - 12) Fujimichi Y, et al. Effects of irradiation on cumulative mortality in mice: shifting toward a younger age of death. J. Radiat. Res. 64:412-419, 2023.
  - 13) Sasaki M, Fujimichi Y, et al. Calculation of an Indicator for Early Death Using Atomic Bomb Survivors' Data. J. Radiat. Prot. Res. 47:22-29, 2022.
  - 14) Uchinomiya K, et al. A mathematical model for stem cell competition to maintain a cell pool injured by radiation. Radiat. Res. 194:379-389, 2020.

## 重イオンマイクロビーム組織形状照射による 線虫の放射線応答組織の探索

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 高崎量子技術基盤研究所  
量子バイオ基盤研究部 量子バイオ技術応用プロジェクト

鈴木 芳代

### 研究背景

量子科学技術研究開発機構高崎量子技術基盤研究所(QST高崎研)は、イオン照射研究施設(TIARA)のAVFサイクロトロン末端に設置されたピンホール式の重イオンマイクロビーム照射装置を用いて重イオンを細く絞る(マイクロビーム化する)独自の技術を有している。筆者の所属プロジェクトでは、これを駆使して様々な生物試料へのピンポイント照射を実現し、放射線影響の照射部位依存性の解析に取り組んできた[例えば、1-2]。また、筆者は、生きた線虫(*C. elegans*)の中樞神経系の直径20  $\mu\text{m}$ ないし60  $\mu\text{m}$ の範囲への重イオンビームのピンポイント照射を実現し、筋運動制御における中樞神経系の寄与を調べるなど、生体機能解析ツールとしてマイクロビームを活用する試みも進めている[2-3]。

しかし、ピンホール式の重イオンマイクロビーム照射装置では、ビーム形状がビーム出口の形状(円形)に依存し、対象組織の周辺にも重イオンビームが当たることや、原理上、対象組織の一部が照射されないなどの問題があった。線虫の組織ごとの放射線応答を精度よく評価するには、人の放射線治療で行われているような組織形状に塗りつぶす組織形状照射をマイクロメートルレベルで実現する技術が必要と考えられた。そこで、筆者らの研究プロジェクトでは、重イオンマイクロビームを走査することで予め設定した形状に重イオンビームを照射する技術を世界に先駆けて完成させた[4]。

筆者らは当初、この技術を用いて予め設定した形状による線虫の組織照射を試みた。し

かし、組織形状は個体差が大きく、一律に設定した形状での照射では十分な精度を担保できないことが判明し、個体に合わせたオーダーメイド照射を実現する本研究を計画した。

### 研究目的

本研究では、線虫の放射線全身照射後に各組織や生体機能に誘導される放射線応答がどの組織(臓器)への照射影響を反映しているのかを明らかにするための新たな技術として、特定の組織形状に重イオンビームを正確に照射するためのマイクロビーム組織形状塗りつぶし照射技術を確立することを目的とした。

### 線虫の特定組織を対象とした重イオンマイクロビーム組織形状照射技術の確立[5]

線虫(*C. elegans*)は、細胞数が約1,000個と少ないながら、神経系、筋、消化器、生殖器などの基本的な組織を有し、人と共通の生体機能を備えたモデル動物である。

本研究では、研究参画者の舟山と共同で、線虫を顕微鏡下で撮像し照射対象組織の形状に照射範囲を設定する手法(独自の照射ソフトウェア等)を開発した。これを用いて、生きた線虫の咽頭を対象として、顕微鏡下で撮像した画像に基づいて組織形状に合わせて照射範囲を設定し、炭素イオンビームを正確に照射することに成功した。さらに、複数の顕微鏡視野にわたる細長い臓器である生殖巣を対象として、その形状に沿って炭素イオンビームを正確に照射することに成功した(図1)。

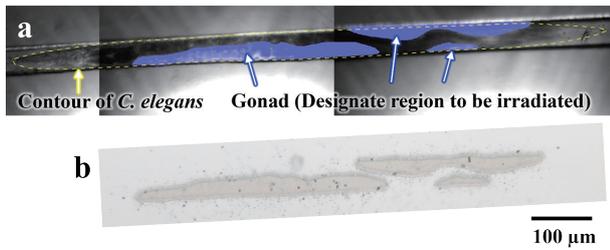


図 1 重イオンマイクロビームを用いた線虫の生殖巣形状塗りつぶし照射の例。

- 顕微鏡下で撮像した線虫画像をもとに生殖巣の形状に設定した照射エリア(青)。
- 線虫の下に配した飛跡検出用プラスチック (CR-39)シートに形成された生殖巣形状のイオン飛跡。

### 重イオンビーム組織形状照射による線虫の放射線応答組織の探索

上述のとおり、重イオンマイクロビーム組織形状照射技術が完成した。現在、この照射技術を用いて、線虫の全身への照射で観られる放射線影響がどの組織への影響を反映したものなのかを調べる実験に取り組んでいる。具体的には、線虫の咽頭への照射が咀嚼・嚥下機能にどのような影響をもたらすのか、生殖巣への照射が照射当代の生殖機能や次世代にどのような影響をもたらすのかなどを明らかにしていく計画である。

さらに、重イオンマイクロビーム組織形状照射技術を線虫以外の様々な生物試料を対象とした生体機能解析実験に広く応用していくために、更なる技術開発を進めていく。

### おわりに

本研究の成果は、日本放射線影響学会第65回大会(2022年9月)、QST高崎サイエンスフェスタ2022(2022年12月)、線虫研究の未来を創る会2023(2023年8月)、第13回国際放射線神経生物学会大会(2024年3月)等にて発表するとともに、論文をBiology誌(2023年12月)[5]にて発表した。

### 謝辞

第61回令和3年度(2021)放射線影響研究奨

励助成金交付対象課題として筆者の研究をご採択くださり、ご支援・ご助力くださった公益財団法人放射線影響協会の皆様をはじめとする関係者各位に厚く御礼申し上げます。また、研究参画者の舟山知夫氏、TIARAにおける線虫照射実験にご協力くださった柏木啓次氏、宮脇信正氏をはじめとするQST高崎研の皆様、サイクロトロンオペレーターの皆様に心より感謝申し上げます。

### 参考文献

- Suzuki, M., Hattori, Y., Sakashita, T., Yokota, Y., Kobayashi, Y., Funayama, T., Region-specific irradiation system with heavy-ion microbeam for active individuals of *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Radiation Research*, 58, 881-886, 2017.  
DOI: [10.1093/jrr/rrx043](https://doi.org/10.1093/jrr/rrx043)
- 鈴木芳代, 舟山知夫, 重イオンマイクロビームを用いた個体の機能解析研究. *放射線生物研究*, 57(2), 114-131, 2022.
- Suzuki, M., Soh, Z., Yamashita, H., Tsuji, T., Funayama, T., Targeted Central Nervous System Irradiation of *Caenorhabditis elegans* Induces a Limited Effect on Motility. *Biology*, 9(9), 289, 2020.  
DOI: [10.3399/biology9090289](https://doi.org/10.3399/biology9090289)
- Funayama, T., Sakashita, T., Suzuki, M., Yokota, Y., Miyawaki, N., Kashiwagi, H., Satoh, T., Kurashima, S., An irradiation device for biological targets using focused microbeams of cyclotron-accelerated heavy ions. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 465, 101-109, 2020.  
DOI: [10.1016/j.nimb.2019.12.028](https://doi.org/10.1016/j.nimb.2019.12.028)
- Funayama, T., Suzuki, M., Miyawaki, N., Kashiwagi, H., A Method for Locally Irradiate Specific Tissue of Model Organisms using Focused Heavy-Ion Microbeam. *Biology*, 12(12), 1524, 2023.  
DOI: [10.3390/biology12121524](https://doi.org/10.3390/biology12121524)

## 令和5年度 放影協開催講座 「ICRP特別セミナー」(Webセミナー形式)

公益財団法人 放射線影響協会 企画部

放射線影響協会では、放射線影響に関する調査研究も事業の柱としており、国際放射線防護委員会 (ICRP) の勧告や報告等について調査研究するICRP調査・研究連絡会を組織し活動を行っています。

本年度は、放影協ニュース前号でご紹介したICRPセミナーに加え、ICRP特別セミナーを実施いたしました。

ICRP特別セミナーは、ICRPに関連の深い機関・団体の活動概況等を説明いただくセミナーで、今回は国際放射線防護学会理事兼パブリックアンダースタンディングTG委員長で、ICRP第4専門委員会委員でもある東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター研究教授の吉田 浩子先生をお迎えし、国際放射線防護学会 (IRPA : International Radiation Protection Association) の活動をご紹介いただきました。

国際放射線防護学会は、1965年に創設された放射線防護に関する学会の国際連合です。

放射線防護に携わる世界の研究者や技術者の情報交換や放射線防護の技術や福祉の向上を目標に掲げ、世界68カ国・53の加盟学会で構成され、国際放射線防護委員会 (ICRP)、国際原子力機関 (IAEA) などの国際機関、専門学会と連携し活動しています。我が国からは日本保健物理学会がIRPA設立当初から加盟学会として加わっています。

本講演では、現IRPA理事であり前日本保健物理学会会長であられた吉田浩子先生に、IRPAの活動状況について概説いただきました。

本セミナーは、放影協ホームページ等により事前に参加者を募り、令和6年2月1日(木)にWebセミナー形式で開催し、60名を超えるご参加をいただきました。

放射線影響協会では今後も「ICRP特別セミナー」を、適宜、開催して参りたいと考えております。

記

<開催日時>

令和6年2月1日(木)  
13時00分～14時20分

<プログラム>

13:00～13:05 開会の辞 放射線影響協会  
13:05～13:55 「国際放射線防護学会 (IRPA) の活動紹介」吉田 浩子先生 (国際放射線防護学会理事・パブリックアンダースタンディングTG委員長／ICRP第4専門委員会委員／東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター研究教授)  
13:55～14:15 質疑応答  
14:15～14:20 閉会の辞 放射線影響協会

<報告会概要>

吉田先生のご講演の後視聴者の方とテーマに関連する質疑応答を行いました。

## 国際放射線防護学会 (International Radiation Protection Association, IRPA) の活動紹介

国際放射線防護学会理事・放射線リスクについての公衆の理解促進TG委員長、  
国際放射線防護委員会、ICRP第4専門委員会委員、  
東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター研究教授  
吉田 浩子

国際放射線防護学会 (International Radiation Protection Association, IRPA) は、放射線防護活動に携わる世界の研究者や技術者の情報交換と技術向上を援助し、人類の福祉のため放射線の医療、科学、工業技術への安全利用を図ることを目的として1965年6月19日に設立された。IRPAは電離放射線だけでなく非電離放射線に対する防護も取り扱っている。IRPAには、各国で1つの学会のみを加盟学会として受け入れるという規約があり、日本からは(一社)日本保健物理学会(以下、保物学会)が創立当初から加盟している(1965年12月17日に入会)。創立時の1965年には10の学会が加盟しているのみであったが、IRPAの活動目的の一つが世界各地における放射線防護学会の設立促進とネットワーキングであることから年ごとに加盟学会は増え、現在では世界の68ヶ国、53の学会が加盟している。特に近年は、発展途上国の学会の設立と加盟に大きな力を注いでおり、2012～2016年にはカメルーン、ガーナ、ナイジェリア、チュニジアが、そして2020年にはチリが新しく加わった。IRPAメンバーは、医療、原子力、その他の産業分野の専門家、規制当局、政府のアドバイザー、研究者など、放射線防護のあらゆる分野にわたっており、かつ、大規模な先進国から小さな発展途上国で働く現場の実務者(プラクティショナー)に至るまで、あ

らゆる経験を網羅しているところが大きな特徴である。国際放射線防護委員会、ICRPが原理・原則(プリンシプル)に重きを置くのに対し、IRPAは実務(プラクティス)に基づく考え方をとる。また、IRPAは放射線防護のあらゆる専門家、実務者の声の代弁者であることをそのアイデンティティとしており、国際放射線防護委員会、ICRPにはその立場で特別リエゾン機関、SLOとして議論に加わっている。

IRPAの活動母体は世界の加盟学会であるが、意見の集約や議論を行い活動の総合管理と運営を担っているのが理事会で、会長を始めとする12人(officer 6人とNon-officer 6人)で構成されている。理事(Non-officerの6人)は各加盟学会から推薦された候補者から、4年に1回開催される国際会議の総会での選挙により選出されるシステムになっている。任期は4年で、現在のターム(2020-2024年)の理事会メンバーは下記となっている。

会長: Bernard Le Guen(フランス)、副会長: Christopher Clement(カナダ)、次期国際会議、IRPA16対応副会長: Kevin Nelson(米国)、総務: Ana Maria Bomben(アルゼンチン)、会計: Sigurður Magnússon(アイスランド)、出版: Dave Niven(カナダ)、理事: Joseph Amoako(ガーナ)、Marie-Claire Cantone(イタリア)、Claire-Louise Chapple(英国)、Klaus Henrichs

(ドイツ)、Cameron Jeffries(オーストラリア)、Hiroko Yoshida(日本)

IRPAでは理事会を中心にタスクグループ(TG)が設置されており、保物学会からはすべてのTGに会員がメンバーとして参画している。現在活動しているTGは以下である。

放射線防護システムの見直しに関するTG  
組織反応に関するTG

放射線リスクについての公衆の理解促進TG  
放射線分野における女性に関するTG  
— ジェンダーの視点から

NORMに関するTG

非電離放射線に関するTG

高等教育、研究、トレーニングに関するTG  
若手ネットワークTG

放射線防護システムの見直しに関するTG(委員長：Claire-Louise Chapple(英国))では、ICRPの新勧告に向けて加盟学会からの意見を集約する活動をしている。

組織反応に関するTG(委員長：Marie-Claire Cantone(イタリア))は、眼の水晶体の線量限度引き下げに関するTGの後継である。IVRや放射線治療などの医療手技では、0.5 Gy程度の低い線量が循環器系に影響を与える可能性があることを考慮して、心臓、脳血管疾患、動脈および静脈の疾患にも注意が払われることを受けて、特に眼の水晶体および循環器系に重点を置き、様々な知見、経験及び加盟学会の考え方の収集を進めている。

IRPAは2013年に放射線リスクについての公衆の理解促進TG(第1期)を発足させた。これは、放射線防護システムに関してIRPAが加盟学会に実施した調査結果から、放射線とリスクに関する一般公衆の理解促進とコミュニケーションが放射線防護の専門家の主

要な課題の1つであることが認識されたことを受けたものである。第2期(2017年～)からはHiroko Yoshida(日本)がこのTGの委員長を務めている。2020年にはPractical Guidance for Engagement with the Public on Radiation and Risk(放射線とそのリスクに関する一般公衆との関わり合いのための実践的ガイダンス)がIRPAより刊行され、IRPAウェブサイトで開催されている(<https://www.irpa.net/page.asp?id=54777>)。IRPAガイダンスの実用性、専門家が直面している継続的な課題、およびIRPA TGが取り組むべき課題についての意見を求めるため、昨年7月には加盟学会を通してあらたにサーベイを実施し、160を超える意見を得た。現在TGではこれらの意見をまとめているところである。

NORMに関するTG(委員長：Rainer Gellermann(ドイツ)、Jim Hondros(オーストラリア))では、NORMに関連する問題に対する意識を高めることなどを目的としている。NORMによる放射線リスクを正しい見方で捉えること、NORMへのグレーデッドアプローチに関する実践的な視点の提供を行うこと、かつ、ICRPの放射線防護システムの見直しにおいてNORMに関するフィードバックを行うことなどをタスクとしている。

IRPAは4年に1回国際会議(International Congress)を開催し、その間を縫って4年ごとに地方会議(Regional Congress)を開催している。2023年2月7～11日には、新型コロナウイルス感染症拡大のため約1年延期されていた第6回アジア・オセアニア放射線防護会議、AOCRP 6がインドのムンバイにて対面で開催された。IRPA 16国際会議は2024年7月にフロリダ州オーランドで米国保健物理学会、HPSが主催して開催される予定である。

## ICRP調査・研究連絡委員会 令和5年度「外部専門家との意見交換会」(Webセミナー形式)

公益財団法人 放射線影響協会 企画部

放射線影響協会では、放射線影響に関する調査研究も事業の柱としており、国際放射線防護委員会 (ICRP) の勧告や報告等について調査研究するICRP調査・研究連絡会を組織し活動を行っています。

このICRP調査・研究連絡会の下にICRP調査・研究連絡委員会を設けてICRP各委員会における検討・審議の状況に関する情報交換等を行ってきております。その活動の一環として、外部の専門家を招聘し、ICRP委員及び調査・研究連絡委員会の委員とが様々な視点から意見交換・議論を行う会を開催してきております。今般、「外部専門家との意見交換会」と題し、連絡会外部の専門家・有識者及びICRP委員をお招きして、「ICRP call for actionを受けて」をテーマに意見交換会を実施いたしました。

本意見交換会は、放影協ホームページ等により事前に参加者を募り、令和6年1月23日(火)にWebセミナー形式で開催し、80名を超えるご参加をいただきました。

本報告会の概要を以下に記します。

### 記

#### <開催日時>

令和6年1月23日(火)  
14時00分～17時00分

#### <プログラム>

14:00～14:05 開会の辞 放射線影響協会  
14:05～15:00 講演  
進行役 甲斐倫明(ICRP主委員会委員)  
14:05～14:15 ICRPのVancouver - Call for actionの概要 / 甲斐倫明  
14:15～14:30 我が国の放射線分野の人材 / 神田玲子(QST放射線医学研究所 所長)  
14:30～14:45 放射線取扱主任者の状況 / 上叢

義朋(日本アイソトープ協会 常務理事)

14:45～15:00 医学物理士の育成状況 / 赤羽恵一(QST量子生命・医学部門 人材育成センター 教務課 研究統括)

15:00～15:10 休憩

15:10～16:40 パネル討論

モデレーター 吉田浩子(ICRP第4専門委員会委員)

- ① アカデミア：教育研究 / 神田玲子
  - ② 産業界：放射線業務担当者の教育訓練 / 平純一(東京電力 放射線管理グループ マネージャー)
  - ③ 放射線防護：放射線取扱主任者の教育 / 上叢 義朋
  - ④ 医療：医学物理士 / 赤羽恵一
- パネラー：上記先生方および甲斐倫明先生に加え、小笹晃太郎(C1委員)、島田義也(C1委員)、細野真(C3委員)

16:40～16:55 質疑応答

モデレーター 甲斐倫明

16:55～17:00 閉会の辞 放射線影響協会

#### <報告会概要>

開会の辞の後、講演の部では「ICRP call for actionを受けて」をテーマに4名の先生方からご講演いただきました。

休憩をはさみラウンドテーブル討論の部では吉田浩子ICRP第4専門委員会委員をモデレーターとしてお迎えし、前半の講演を踏まえ、4つのテーマ(①アカデミア：教育研究 ②産業界：放射線業務担当者の教育訓練 ③放射線防護：放射線取扱主任者の教育 ④医療：医学物理士)について、活発な討論が行われました。

引き続き、甲斐委員がモデレーターとなり視聴者とパネラーとの質疑応答を行いました。

## 第34回日本疫学会学術総会に参加して

放射線影響協会 放射線疫学調査センター 三輪 祥江

第34回日本疫学会学術総会がメインテーマを「疫学が創る未来社会」として、1月31日から2月2日にかけて滋賀県大津市のびわ湖大津プリンスホテルにおいて開催され、当協会からは三枝、古田、工藤と筆者が現地に赴いて参加しました。現地開催ではありましたが、主要プログラムについてはオンデマンド配信が行われました。口頭発表に加え、ポスター発表、シンポジウム等が開催され、現地参加者は1,000人を超えた活気のある学会でした。筆者はポスター発表を行いました。



会場のびわ湖大津プリンスホテル



第34回日本疫学会学術総会

筆者の演題は「放射線業務従事者における生活習慣・社会経済状態のカテゴリ別の累積線量とがん死亡相対リスクとの関連」でした。これまでの研究では喫煙等の交絡因子の調整により放射線リスクの推定値が下がることが確認されています。これは生活習慣・社会経済状態と累積線量との関連に起因することが考えられました。本発表は2003年の生活習慣調査回答者41,742人について、2005年から2010年までの観察期間データに基づいて分析した結果を紹介したものです。協会では2019年に新たなコホートを設定しましたが、この

新コホートでも喫煙や学校教育年数と累積線量との関連が見られています。新コホートを対象とした解析でも喫煙等の交絡因子を調整することにより放射線関連の罹患・死亡リスク推定値が低下することが考えられました。

発表後には、従事者の特性や、今後の予定等に関する質疑応答を行いました。質問対応をすることで、さらに理解を深めることができ、ご意見をいただくことで、新たな視点を学ぶことができました。

今回の疫学会では、目的のために収集されたデータを使用した解析だけでなく、別目的で既に収集されたビッグデータ(例えばレセプトデータ)を使用した解析が多く見られました。前職で歯科レセプトを作成していた筆

者にとって、このレセプトデータを使用した解析はとても興味深かったです。

次回の第35回日本疫学会学術総会は2025年2月12日から2月14日まで高知県高知市の高知市文化プラザかるぽーとで開催予定です。



ポスター会場の様子



筆者とポスター



会場前の琵琶湖

# 主 要 日 誌

## 【人事異動】

### ○放射線従事者中央登録センター

4月1日 昇格 RI等記録管理課長 兼 原子力登録管理課調査役 兼 除染登録管理課調査役 兼 手帳管理課調査役(原子力登録管理課課長代理) 川田 雪枝

### ○放射線疫学調査センター

4月1日 昇格 放射線疫学調査センター長代理 兼 事業推進課長 兼 調査課長(事業推進担当部長 兼 事業推進課長 兼 広報担当部長 兼 調査担当部長 兼 調査課長) 中込 崇

## 【活動日誌】

### ○総務部

3月1日 令和5年度第5回理事会(令和6年度事業計画及び収支予算並びに資金調達及び設備投資の見込みを記載した書類について、令和6年度第1期国際交流助成の決定について等)(対面及びWebミーティング形式)

3月11日 令和5年度第3回評議員会(令和6年度事業計画及び収支予算について等)(対面及びWebミーティング形式)

### ○企画部

1月23日 令和5年度ICRP調査・研究連絡委員会「外部専門家との意見交換会」(Webセミナー形式)

2月1日 ICRP調査・研究連絡会行事「令和5年度

放射線協開催講座(ICRP特別セミナー)」(Webセミナー形式)

2月5日 令和6年度第1期国際交流助成金選考委員会(書面回答形式)

2月16日 令和5年度ICRP調査・研究連絡委員会「ICRP活動状況の概要報告会」(Webセミナー形式)

### ○放射線従事者中央登録センター

2月20日 第20回除染等業務従事者等被ばく線量登録管理制度参加者協議会(令和5年度事業報告及び決算の見込み、令和6年度事業計画及び収支予算について等)(会議参加及び書面表決により議決)

### ○放射線疫学調査センター

1月31日 第34回日本疫学会学術総会において「放射線業務従事者における生活習慣・社会経済状態のカテゴリ別の累積線量とがん死亡相対リスクとの関連」のタイトルでポスター発表

2月2日 令和5年度第5回成果利活用検討委員会(対面及びWebミーティング形式)

2月21日 令和5年度第2回あり方検討会フォローアップ委員会(Webミーティング形式)

2月29日 令和5年度第2回調査研究評価委員会(Webミーティング形式)

3月7日 令和5年度第2回倫理審査・個人情報保護委員会(Webミーティング形式)

3月12日

## 放射線協ニュース 2024. 4, No.118

編集・発行 公益財団法人 放射線影響協会

URL : <https://www.rea.or.jp>

〒101-0044 東京都千代田区鍛冶町1丁目9番16号 丸石第2ビル5階

電話 : 03(5295)1481(代) FAX : 03(5295)1486

●放射線従事者中央登録センター

電話 : 03(5295)1788(代) FAX : 03(5295)1486

●放射線疫学調査センター

電話 : 03(5295)1494(代) FAX : 03(5295)1485