



Photo: Chiaki Sawai

Index

原子力発電環境整備機構が取り組む最終処分事業の実現…豊島 英樹	1
光子の簡易遮蔽計算コードPOKERの概要と X線診療室に対する応用例……………平尾 好弘	6
(コラム) 77th Column 【養老先生のがん治療】……………中川 恵一	11
[学生応援企画] 群馬大学重粒子線医学研究センター・ 重粒子線医学物理学分野の研究紹介 稻垣 俊輔／長谷部有希／今津 玲香 ……………清水 省后／馬越 智也／浦部 直人	12
[放射能・放射線単位・元素名の由来] 第10回 ボーリウム ₁₀₇ Bh : bohrium ………………高橋 正	17
ISORD-12 開催趣意書 ………………	18
[サービス部門からのお願い] ガラスバッジ返却時のお願い～トレイに入れて返却してください～…	19

原子力発電環境整備機構が取り組む 最終処分事業の実現

豊島 英樹*

1. はじめに

原子力発電環境整備機構（以下、「機構」という）は、原子力発電に伴って発生する高レベル放射性廃棄物を地層処分（地下深くの安定した岩盤〔天然バリア〕と人工バリアによる閉じ込めと隔離）という方法で最終処分するため、処分地を選定して施設を建設・操業し、最終的に閉鎖するまでの活動を行うこととなっています。

処分地の選定にあたっては、文献調査、概要調査、精密調査という3段階のプロセスを経るよう法律に定められています。現在は、2020年11月から実施してきた北海道寿都町及び神恵内村での文献調査を終え、2024年11月以降、その結果について関係各所に説明を行っているところです。加えて同年6月以降、佐賀県玄海町でも文献調査を開始しました。（2025年2月現在）

2. なぜ地層処分なのか

高レベル放射性廃棄物を、最終的に処分する方法については、地層処分以外にも、様々な方法が国際機関や世界各国で検討されてきました（図1）。

（1）地上保管

人間の目が行き届くよう、地上で管理すれば良いのではないかとお考えの方もいらっしゃるかと思います。しかしながら、図1の通り安全上のリスク等があることから、長期にわたる人の管理を必要としない最終的な処分を行うべきというのが国際的に共通した認識となっています。

（2）宇宙処分

放射性廃棄物をロケットで確実に宇宙に運べるのであれば、人間社会からの隔離という面では理想的です。しかし、ロケット発射の信頼度や発射コスト、必要なエネルギー効率

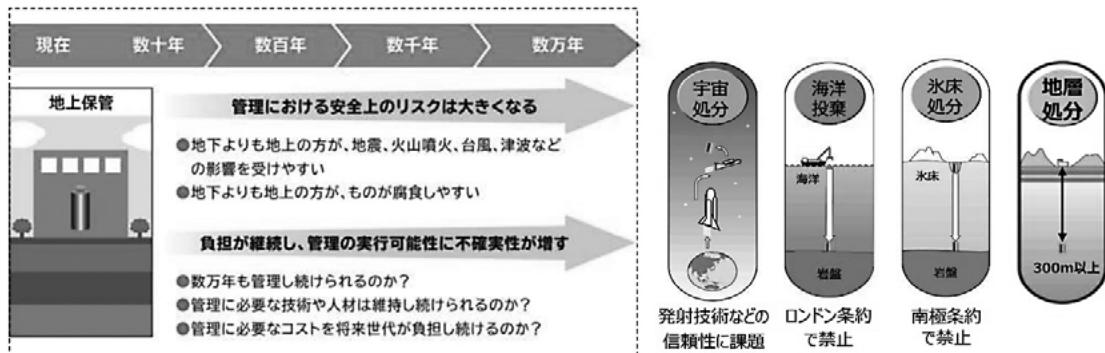


図1 処分方法の比較

* Hideki TOYOSHIMA 原子力発電環境整備機構[NUMO] 事業計画部計画調整グループ

の観点などから、実用的ではないとされています。

(3) 海洋投棄

原子力発電が始まった当初は、各国とも海洋投棄を検討していたそうです。しかし、1972年にロンドン条約が制定され、放射性廃棄物の海洋投棄はできなくなりました。同様に、南極の氷の下に処分する氷床処分も検討されました。こちらは1960年の南極条約で禁止されています。

(4) 地層処分

国際的に様々な処分方法（宇宙処分、海洋投棄、氷床処分など）が検討された結果、地層処分が最も適切であるということが各国共通した考え方となっています。また、国際条約において「放射性廃棄物は発生した国において処分されるべき」とされており、諸外国も自国内での地層処分の実現に向けて最大限の努力をしています。

（各国共通の考え方）

- ・高レベル放射性廃棄物は、放射能の低減に極めて長い期間を要するので、人間が管理し続けることは困難である。
- ・将来の世代に管理責任を残さないよう、現世代の責任で道筋をつけるべきである。

・そのためには、これを人間の生活環境から長い期間にわたって適切に隔離する必要がある。

3. 地層処分におけるリスク

放射性物質を長期にわたり人間の生活環境から隔離する地層処分では、火山活動や断層活動などが安全確保に影響を与えないことを考慮する必要があります。そうしたリスクについて、その内容と対応の方向性を簡単に紹介します。

（1）火山及び断層により地下施設が破壊されるリスク

日本は火山国という印象ですが、日本周辺におけるプレートの動きや火山や断層の位置は、数百万年前からほとんど変化していないことが明らかになっています。今後も10万年程度であればほとんど変化しないと考えられています。機構が最終処分場の位置を検討していくにあたって、過去の経緯を含めた精密な調査によって火山や断層を避けることにより、日本でもヨーロッパ同様、安定した地下環境を探索することができます。（図2）

火山活動が起きる地域は過去数百万年の間ほとんど変化していません。

（注）ここで一例として、現在を含む地質学的な時代である第四紀をその中の時代区分で概ね二分
（①約260万～80万年前と②約80万年前以降）



図2 火山活動の変化

(2) 地震により地下施設が破壊されるリスク

地震についても、過去の地震の発生状況を調査して起こり得る最大限の地震動を想定し、工学的な対策を検討していくことになります。

ただ、日本列島周辺における動きはあまり変化がなく、今後も10万年程度はほとんど変化しないと考えられています。最終処分場は活断層などを避けて設置するため、極めてゆっくり動くプレートと一体となって動き、構造や形状は長期にわたって変化しにくいと考えられます。ただ、これまでの観測データから、地下での揺れは地表の1/3～1/5であることがわかっています。また、処分場閉鎖後は岩盤（天然バリア）と人工バリアが一緒に揺れるため、廃棄体が著しく破壊されるリスクは非常に低いと考えられています。

(3) 地下水により漏れた放射性物質が地上に運ばれるリスク

地下水の流れが極力少ない場所を選ぶとはいえ、年間数ミリメートルでも地下水が流れるのであれば、数万年経過するうちに漏れた放射性物質が人間界に到達するリスクが全くないとは言えません。

そこで、高レベル放射性廃棄物を水に溶けにくいガラス固化体とするほか、これを厚さ約20センチメートルの金属製の容器（オーバー

パック）に封入し、少なくとも1,000年間はガラス固化体を地下水から遮断します。その間に、ガラス固化体の放射能は製造直後の約3,000分の1に減少します。更にオーバーパック全体を包み込むように、厚さ約70センチメートルの粘土（ベントナイト）による緩衝材を設置します。ベントナイトは水に触れると膨らんで水を非常に通しにくくなるという性質に加えて、物質を吸着するという性質を有しているので、オーバーパックが破損して放射性物質が地下水に溶け出したとしても、その移動を遅らせることができます。その間に放射性物質の放射能が減衰することによって大半の放射性物質をこれら人工バリア内にとどめます。こうした水に溶けにくい、通しにくいといった幾重ものバリア（図3の人工バリアと天然バリアである岩盤）によって、仮に放射性物質が移動しやすい設定をしたうえで、敢えて地上に移行するといった厳しいケースを想定した場合においても、地上の人間が受ける被ばく線量は、私たちが日常的に受けている自然放射線による被ばく線量よりもはるかに小さくなります。¹⁾

なお、地層処分のリスクとそれに対する安全確保の考え方につきましては、FBNewsの第566号(2024年2月1日発行)にも機構作成の記事がより詳しく掲載され

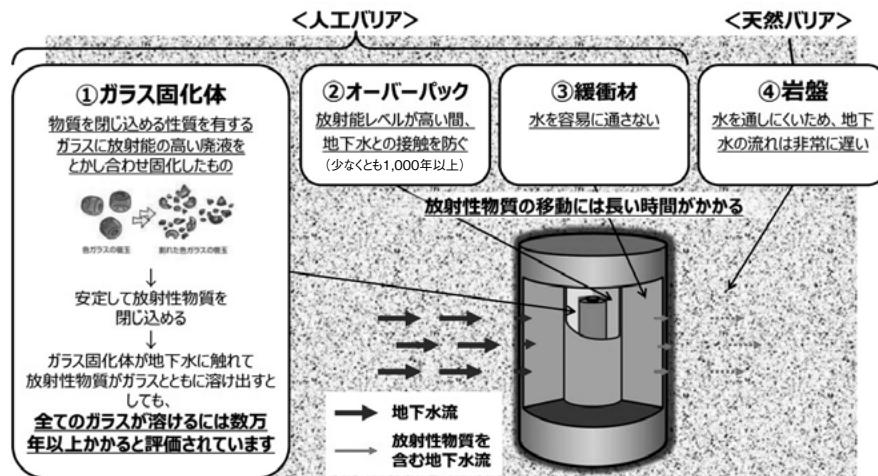


図3 地下水への対策

ています。(株)千代田テクノルのホームページからバックナンバーを見るることができますので、御関心のある方にはご覧いただけたと幸いです。

4. 海外における検討状況

放射性廃棄物の最終処分の問題は、決して日本だけの問題ではありません。原子力発電を行っている全ての国が直面している問題です。どの国も国民理解・地域理解に弛まぬ努力を重ねており、中でもフィンランドやスウェーデンが先行しています。(図4)

フィンランドでは、エウラヨキ自治体のオルキルオトで2016年に最終処分場の建設が始まり、2024年8月には試運転を開始しました。スウェーデンにおいてもエストハンマル自治体のフォルスマルクでの建設許可(条件付き)が2022年1月に出され、2025年1月には地上施設の建設が始まりました。

フィンランドやスウェーデンが先行しているのは、処分事業の実施主体が、地層処分に適した環境であるか、工学的に対応可能であるなどについて、綿密な調査を段階的に実施してきたことはもちろんのこと、地層処分の安全性について信頼を高めていただけたよう、実施主体が国民や自治体に様々な検討材料の提供や、住民同士が情報共有や意見交換を行っていただけた場を積極的に設けるなど、長い時間をかけて丁寧な対話活動に取り組まってきたことが挙げられます。

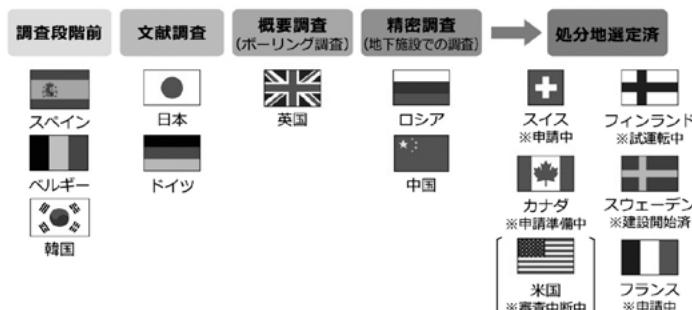


図4 海外における最終処分事業の進捗状況

5. 今後の課題

原子力エネルギーを利用すれば発電によって使用済燃料が発生し、これまでに約19,000トンの使用済燃料が存在しています。加えて、国のエネルギー基本計画で、原子力エネルギーを持続的に活用するとしています。

このように今後も発生すると考えられる使用済燃料について、私たちの世代の責任としてその対策は確実に進めるべきであり、その帰結として高レベル放射性廃棄物の最終処分の事業実現が不可欠です。日本の原子力政策の基本方針である原子燃料サイクルを確立し、原子力エネルギー利用のシステム全体として完結することで原子力エネルギーの持続的活用は可能となります。2023年4月に原子力関係閣僚会議で決定された「今後の原子力政策の方向性と行動指針」では、「再処理・廃炉・最終処分のプロセス加速化」は重要施策の一つと位置付けられています。

国民の皆さんに最終処分事業を御理解いただくとともに、最終処分の計画的実施、文献調査を受け入れていただく地域の拡大に向けて、機構は国や事業者の連携を強化し、地域への情報提供や地域に根ざした活動に邁進しなければなりません。合わせて地域社会との共生は円滑かつ着実な事業進展に欠くことはできません。

それに加えて、最終処分事業で心掛けなければならないことは安全を確保し、それを国民の皆さんに御理解いただくための取組です。安全確保の基盤は信頼される技術力とエビデンスを備えることです。技術力はそれを目に見える形にしてお示しして初めて価値があるため、最終処分場の安全性と不確かさを評価してその結果を発信することも大切な仕事です。

世界には日本と同じように最終処分事業に取り組む国は多数あり、技術開発や安全評価の確度と説明性を高めるためにはそれらの国との国際連携を深化させることは有効な取組です。また、海外には地域との良好なコミュニケーション、専門性への社会からの信頼が処分場選定に大きく貢献していることが伺われる事例もあります。このような良好な取組の経験や教訓を共有することも国際連携の意義であると考えます。

これらの基本的施策にしっかりと取り組むことが、今後の課題です。

【参考】最終処分施設と中間貯蔵施設の違い

各電力会社が中間貯蔵施設を整備するとのニュースをご覧になった方もいらっしゃるかと思います。機構がわざわざ地下深くに施設を作らなくても、その中間貯蔵施設があれば十分なのではないか、と思われる方もあるうかと思います。

この中間貯蔵施設は、機構が作ろうとしている最終処分施設とは異なるものです。日本では、再処理工場において、原子力発電所で発電した後の使用済燃料からウランを回収し、再利用することとしていますが、中間貯蔵施設とは、この再処理工場に送る「前」の使用済燃料を一時的に保管する施設です。一方、機構の最終処分施設とは、再処理工場でウランを回収した「後」に副産物として出てくる廃液をガラスと溶かし合わせて固めたガラス固化体（高レベル放射性廃棄物）を処分する施設です。施設に入れる対象物がそもそも異なる訳です。（図5）

使用済燃料を再処理せずそのまま処分する方法もありますが、廃液をガラスと溶かし合わせた形態とすると処分する量が大幅に減る上にウランやプルトニウムがほとんど除去されるため臨界の恐れも非常に小さくなり、むしろ管理しやすくなります。

なお、原子力発電所を廃炉にする際には、建材等の廃棄物の処理も必要となります、その処分はまた別の方法によることとなっています。

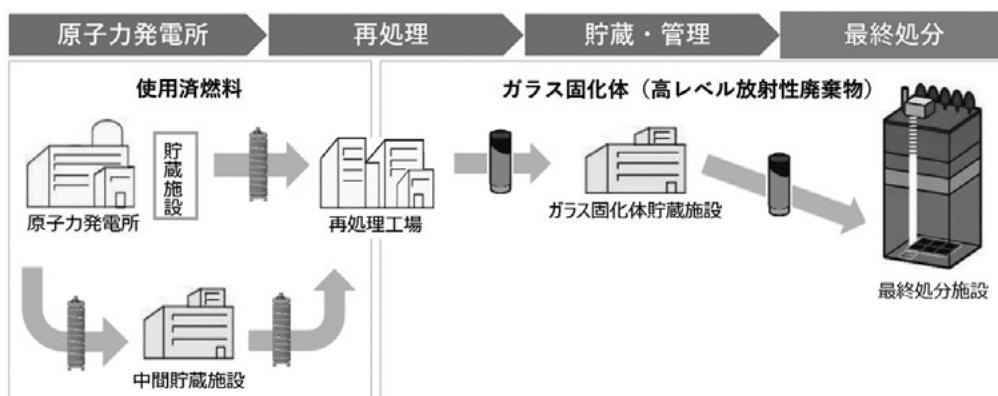


図5 最終処分施設と中間貯蔵施設

なお、ここで記載した内容は、機構ホームページにより詳しく丁寧に掲載しております。下のQRコードからお訪ねいただけすると幸いです。

■ 機構ホームページ

<https://www.numo.or.jp/>



参考文献

- 1) 原子力発電環境整備機構, 包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現－適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築－, <https://www.numo.or.jp/technology/technical-report/tr180203.html> (閲覧日2025年1月27日)

光子の簡易遮蔽計算コード POKERの概要と X線診療室に対する応用例



平尾 好弘*

1. はじめに

POKERとは、原子力規制庁「放射線安全規制研究戦略的推進事業費（ICRP 2007年勧告等を踏まえた遮蔽安全評価法の適切な見直しに関する研究）（令和2～3年度）」事業において、将来のICRP 2007年勧告等の国内法令取り入れが遮蔽計算に与える影響を調べるために作成された遮蔽線量計算コードの名称である¹⁾。本稿ではPOKERの概要を紹介するとともに、POKERをX線診療室に応用した場合の遮蔽計算例を参考まで示す。

2. 簡易遮蔽計算コードPOKERの概要

POKERはWindowsパソコンで動作し、点減衰核積分法²⁾と云う簡易手法に即して、3次元空間に置いた線源及び遮蔽体の情報をもとに、任意の位置の線量を計算する。この手法は、距離の逆二乗則、遮蔽体の透過による線量減衰、及び遮蔽体内での散乱による線量増加（ビルドアップ）を扱う一方で、例えば遮蔽体の周囲にある壁又は空気で散乱して周りこんで来る分の線量までは考慮しない点に

注意されたい。遮蔽体の透過による線量減衰の計算には、最新の光子断面積データベース³⁾の線減衰係数を参照した。また線量ビルドアップの計算には、モンテカルロ法輸送シミュレーション⁴⁾で扱える光子と遮蔽材の相互作用を全て考慮し（干渉性散乱及び高エネルギー領域で発生する光核反応を含む）、ICRP 2007年勧告に基づく線量換算係数⁵⁾を用いて線量種類毎にビルドアップ係数を整備した。そのため、現行法令に基づく計算と比較して若干の差異を生ずる場合がある²⁾。

POKERの条件適用範囲を表1に示す。特徴として、医療用リニアック設置施設を評価するため、線源エネルギーの上限を従来の10MeVから30MeVまで引き上げた。線源の形状として、円柱等の体積を指定可能であり、小線源への分割は指定した方法に従って自動的に行われる。遮蔽体の材料として任意の組成を指定できるが、ビルドアップ係数を整備した材料は代表的な13種だけである。線量を計算する位置として1～3次元の空間領域をカバーするグリッド検出器を指定できる。例えば2次元の平面を指定すると、面内を分割したグリッド点の全てに対して一度に計算が行われる。計算結果は、光子の線量と光核反応で生じた中性子の線量を分けて提示する。

* Yoshihiro HIRAO 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所 海洋リスク評価系 上席研究員

表1 POKERの条件適用範囲

	概要
光子線源	<ul style="list-style-type: none"> ・指定：放射性同位元素の名称、又は30 MeVまでエネルギー毎の光子放出率 ・形状：点、直方体、円柱、球
遮蔽体	<ul style="list-style-type: none"> ・材料：炭素、アルミ、鉄、銅、タンゲステン、鉛、大気、水、普通コンクリート、アクリル樹脂、ポリエチレン、ホウ珪酸ガラス、土壌 ・厚さ：80 mfp（平均自由行程長）まで ・形状：直方体、円柱、球、円錐台、楔形、円環、又はそれらの集合演算による組合せ立体
線量検出器	<ul style="list-style-type: none"> ・形状：点、又は1～3次元の空間領域をカバーするグリッド検出器 ・計算可能な線量種類： <ul style="list-style-type: none"> － 実効線量：全身照射条件6種 － 等価線量：眼の水晶体、男性又は女性の皮膚 ・物理量・実用量：空気カーマ、1 cm線量当量、3 mm線量当量

表2 POKERのユーザインタフェース

	概要
計算条件入力	<ul style="list-style-type: none"> ・入力規約に従ってYAMLテキストを編集、又はWindowsフォームによるグラフィカルな入力支援 ・入力した計算条件を立体図で表示して確認
計算結果出力	<ul style="list-style-type: none"> ・線源毎、検出器毎に、計算結果をYAMLテキストで提示 ・線源と検出器を結ぶ透過線の情報、及び線量計算に用いたデータを提示 ・グリッド検出器の出力を可視化

実効線量の計算は、高エネルギー領域での比較のため、6種の全身照射条件に対応した。

POKERの備えるユーザインタフェースを表2に示す。計算条件の入力は入力規約に従ってテキストで作成する。入力言語として構造化データの記述に適したYAML⁶⁾を採用し、専用のエディタを組み込んだ。YAMLはテキストをアウトライン的に扱い、線源・遮蔽体・検出器等の入力項目が多岐にわたる場合に表示、編集が容易で、入力ミスの防止に役立つ。またユーザが入力規約に慣れていない段階では、テキストを直接編集する代わりにWindowsのグラフィカルなフォームを

通して分かりやすく条件を設定可能である。作成した入力条件は立体図で表示され、ユーザの意図どおりに入力が作成されたか確認することができる。計算結果は線源毎、検出器毎の線量をYAMLテキストで表示され、またグリッド検出器を用いた場合は空間の線量分布を線量減衰グラフ、又は平面のカラーマップで可視化して確認することができる。

3. X線撮影装置の設置施設に対する応用例

POKERは当初、放射線施設、特にRI及び医療用リニアックの使用施設に対する申請実務の利用を目指して開発されたが、現在では原子力施設を含む、光子を扱う施設一般へと応用範囲が拡大している。それに伴い、対象施設への適用性を評価するV&V(Verification & Validation: コードの妥当性検証)活動が進められている⁷⁾。

その一環として、X線撮影装置を線源としたX線診療室に対してPOKERを応用した計算例を示す。X線診療室の遮蔽計算は、その考

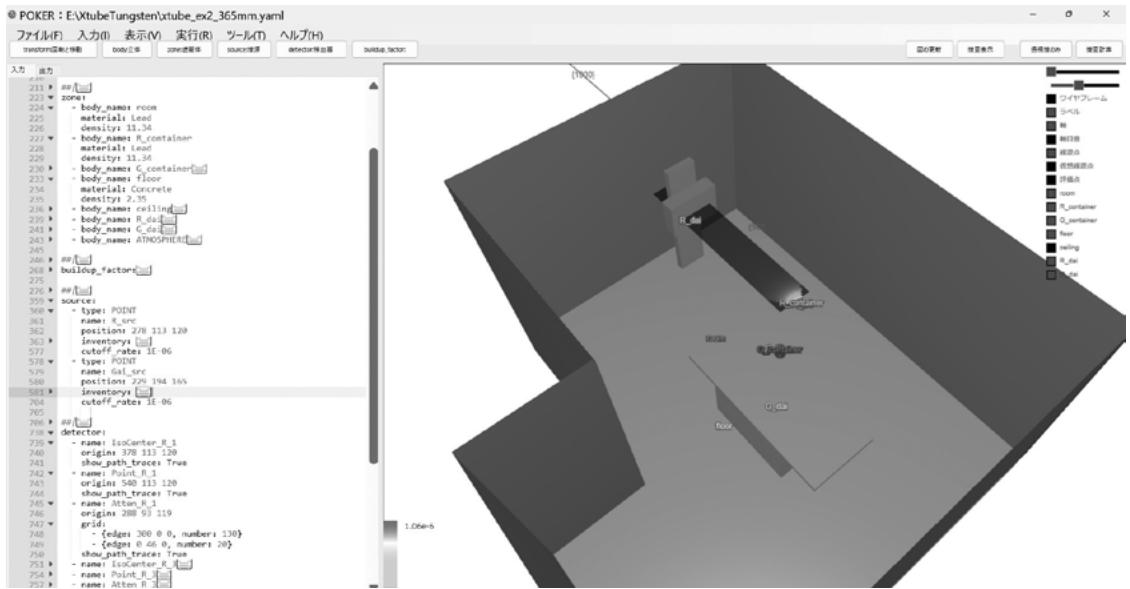


図1 一般X線撮影装置が据え置かれたX線診療室(マニュアル4.1節⁸⁾)に対するPOKER入力及び立体図

え方及び方法が厚生労働省医薬局長通知で提示されており、それをもとにした標準的方法の規格が「X線診療室しゃへい計算マニュアル」⁸⁾(以下、「マニュアル」という。)として制定されている。この方法では、特定位置における空気カーマ率を与えて照射時の線量の規格化を行っており、線源の強度又はエネルギーについて直接の言及は無い。装置・線源の詳細を特定し難い状況でよく用いられる簡易線量評価である。一方、POKERでは線源をエネルギー毎の光子放出率で指定するため、強度及びスペクトルの情報が不可欠である。マニュアルでは、X線診療室の線源として一次X線、散乱X線、及びX線管容器からの漏えいX線の3種を想定している。以下の計算では、一次X線及びX線管容器の線源として、半経験的な近似式に基づくタンゲステンターゲットのX線スペクトル⁹⁾を使用し、ターゲット角度12度、固有ろ過2.5mmAl、エネルギー間隔0.5keVで固定してX線管電圧のみ計算例の条件に合わせ

た。線源強度は、計算例で与えられたX線管焦点から100cm位置の空気カーマ率をもとに調整した。一方、散乱X線については受像面等での散乱スペクトルを簡易に推定し難いため、計算を省略した。

マニュアル4.1節、一般X線撮影装置が据え置かれたX線診療室を模してPOKERの入力を作成した(図1)。この例では撮影台の受像器を無視して対向遮蔽が無いものと仮定する。X線管容器からの漏えいX線については、マニュアル図3.1.1のA方向(画壁:鉛当量2mm)のみ計算した。

表3にPOKERの計算結果をマニュアルの計算値とともに示す。一次X線の線量(以下、「 E_p 」という。)は、立位及び臥位撮影ともにマニュアルよりPOKERの方が少し高めであり、POKERのマニュアルに対する線量比が立位と臥位撮影で異なるのは主に画壁材の違いによるものと考えられる。

次に、X線管容器からの漏えいX線の線量

表3 一般X線撮影装置が据え置かれたX線診療室(マニュアル4.1節⁸⁾)に対する遮蔽計算値の比較

	撮影体位	マニュアル 画壁方向	マニュアル (μSv /3月間)	POKER (μSv /3月間)	線量比	POKER計算の線源強度
一次X線 E_p	立位	図3.1.1 B方向	284.8	333.0	1.17	X : $110 \mu\text{Gy}/\text{mAs}$ で規格化 $\Rightarrow 3.07 \times 10^{15}$
	臥位	図3.1.4 F方向	0.0065	0.014	2.17	X : $40.7 \mu\text{Gy}/\text{mAs}$ で規格化 $\Rightarrow 1.81 \times 10^{15}$
X線管容器からの漏えいX線 E_L (容器遮蔽:鉛当量3.65mm想定)	立位	図3.1.1 A方向	0.101	0.126	1.25	$X_L : 1000 \mu\text{Gy}/\text{h}$ で規格化 $\Rightarrow 3.09 \times 10^{15}$ 一次X線の線源強度と同等
	臥位	図3.1.3 A方向	0.00047	0.0066	13.8	$X_L : 1000 \mu\text{Gy}/\text{h}$ で規格化 $\Rightarrow 1.59 \times 10^{18}$
				0.00001	0.02	一次X線の線源強度を使用
漏えいX線による敷地境界線量 (距離:11m)	立位	図3.1.1 A'方向	0.005	0.007	1.33	$X_L : 1000 \mu\text{Gy}/\text{h}$ で規格化 $\Rightarrow 3.09 \times 10^{16}$
				0.00001	0.003	一次X線の線源強度を使用

(mAs : ミリアンペア・秒)

(以下、「 E_L 」という。)を計算する場合、X線管容器を囲む材料の遮蔽性能を与える必要がある。そこで立位撮影の一次X線のPOKER計算で推定された線源強度(3.07×10^{15})を用いて、100cm位置の空気カーマ率が $1000 \mu\text{Gy}/\text{h}$ になるように設定することにした。結果的にX線管容器の遮蔽を鉛当量3.65mmと特定し、以降の E_L 計算においてもX線管容器の遮蔽に同じ仮定を置くことにした。

E_L の計算値について、立位撮影ではマニュアルとPOKERの線量率は殆ど同じであったが、臥位撮影の方は10倍を超える線量比となった。臥位撮影の場合、 E_p の計算で得られた線源強度は E_L のそれと比べて3桁も低い。参考まで、 E_p の計算で得られた線源強度を用いて E_L を計算すると、線量比は0.02まで低下する。この場合、実際の100cm位置の線量率は、 X_L として与えた医療法施行規則の上限値1000

$\mu\text{Gy}/\text{h}$ より2桁程低いと推察される。

以上、対向遮蔽が無い場合の限られた計算例であるが、 E_p 及び敷地境界の線量はPOKERの方がマニュアルより2倍程度まで高い評価を与えることが示された。 E_L の臥位方向ではPOKERの方がマニュアルより10倍以上高かったが、総じてPOKERがマニュアルより低い評価を与えることは無かった。

POKERの計算値がマニュアルと比べて高い理由として、点減衰核積分法は、無限媒質中の球体系で評価したビルドアップ係数を用いるため、有限厚の平板遮蔽体に対して保守的な評価を与える傾向がある。また双方の使用する実効線量換算係数の低エネルギー領域における違いも考えられる。ICRP 2007年勧告(ICRP 116⁵⁾)の係数値を現行法令(ICRP 74¹⁰⁾)と比べると100keV未満で差異があり、エネルギーが低くなるほど差は拡がって10keVで4割程高

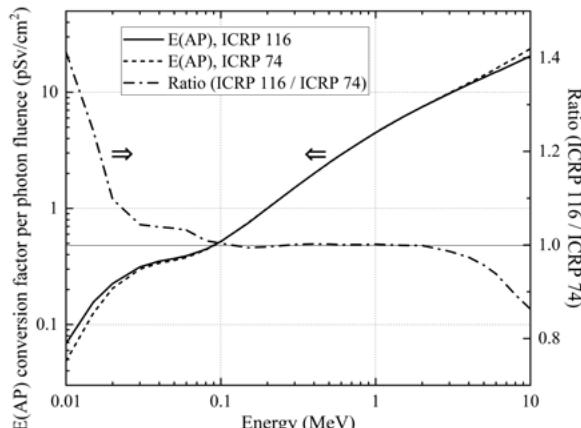


図2 光子の実効線量換算係数の新旧比較

い（図2）。X線管のエネルギー領域はまさにその差が現れる領域と重なっており、相応の影響が見込まれる。

4. おわりに

筆者の場合、上述した計算例の入力（立体23、遮蔽体7、線源2、検出器12）を完成するのに、初見の図面を見ながら2時間もかからなかった。計算時間は体感で数秒である。こう云うと作業能率の良さが際立つようだが、POKERの本質的な価値は設計又は解析に係る関係者の合意形成の支援にある。例えば建屋、敷地、コストの制約下、線量目標に対して合理的な線源又は遮蔽の設計解を探る場合、特定の個人が叩き台を作成し、任意の条件を変更しながら計算を繰り返すだけでなく、設計履歴のファイルを保存して他者と共有し、その場でポイントを可視化して議論・確認するプロセスにも配慮されている。同時に計算に使用されたデータを確認して、誰でも同じ結果を手計算で再現できる。当事者性を促す形で線量評価に説明性・透明性を導入する試

みこそPOKERの目指す地平であり、放射線防護に責任・関心ある方々が施設の安全性を納得して受容するのに肝要と考える。

なお、POKERはX線診療室に対して実測に基づくV&Vを実施しておらず、本稿で示した計算例は最新の知見に基づく評価の参考にすぎないことを付記しておく。

参考文献

- 1) POKER, <https://pointkernel.com/>.
- 2) (国研) 海上・港湾・航空技術研究所, ICRP 2007 年勧告等に基づく光子遮蔽計算ガイドライン (2022).
- 3) NIST, XCOM: Photon Cross Sections Database, <https://www.nist.gov/pml/>.
- 4) MCNP Version 6.2 Release Notes, LANL report LA-UR-18-20808 (2018).
- 5) ICRP, Publication 116, Ann. ICRP 40 (2-5) (2010).
- 6) YAML, <https://www.yaml.org/>.
- 7) 日本原子力学会放射線工学部会, 平成6年度簡易遮蔽計算コードレビューーキンググループ報告書 (2025).
- 8) 日本画像医療システム工業会規格, X線診療室しゃへい計算マニュアル, JESRA TR-0046-2019 (2019年4月) https://www.jira-net.or.jp/publishing/files/jesra/JESRA_TR-0046_2019.pdf.
- 9) Tucker, et al., Med. Phys., 18 (2) (1991).
- 10) ICRP, Publication 74, Ann. ICRP 26 (3-4) (1996).

著者プロフィール

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所 海洋リスク評価系
専門分野：遮蔽安全工学、放射性物質の輸送及び核燃料の貯蔵リスク評価



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

養老先生のがん治療



(画像：エクスナレッジより提供)

2024年、もっとも印象に残った出来事は、恩師の養老孟司先生の小細胞肺がんの治療に携わったことです。

養老先生の闘病生活については、11月に発売された私と先生の共著「養老先生、がんになる」(エクスナレッジ)にまとめられています。

養老先生の肺がんは、全国の養老ファンにとって衝撃的だったようで、本書は発売1カ月で5万部を突破、ベストセラーとなりました。

「病院嫌い」で知られる養老先生ですが、本書のあとがきで、「医師、看護師、放射線科の技師、病院の事務の人たちに至るまで、お世話になった」と記しています。

養老先生が解剖学の教鞭をとり、私が医学学生だった頃の東大病院は、自己中心的で、決して患者本位の病院とは言えませんでした。

そのためか、東大を離れてからの養老先生は、東大病院に対して、否定的な発言を繰り

返してきたように思います。

そんな養老先生が東大病院に対し、お礼の言葉を述べられたのは画期的なことです。

確かに現在の東大病院は、昔とは違います。ニュースウイーク誌「よい病院ランキング」日本版では4年連続の第1位。患者本位の病院に生まれ変わりました。

養老先生は抗がん剤と放射線治療を終え、昨11月には都内のホテルで、米寿（88歳）のお祝いの会を催されました。

会には、建築家の隈研吾氏や脳科学者の茂木健一郎氏、作家の島田雅彦氏など、養老先生と親交のある著名人らが駆け付けました。

私は2ヵ月ぶりにお会いしましたが、脱毛のあった髪もフサフサに蘇っていました。小細胞肺がんでは、私が知る限り、治療の副作用が一番少なかった患者でした。

また、肺がんが肋骨に接していたため、治療後も背中に痛みが残っていましたが、12月には本人から「背中の痛みはウソのように消えました」というメールを受け取りました。肺がんが縮小したことで、痛みが消えたと考えます。その後のCT検査でも、肺がんはほぼ消えていました。

わずかに残った肺がんを完全に消失させるのは患者自身の免疫です。養老先生は免疫が高いのだと思います。

このコラムでも取り上げていますが、ウォーキングなどの有酸素運動やスクワットなどの筋トレは、がんを予防するだけでなく、治療効果も高めることができます。

養老先生は、88歳の今も野山を駆け巡って、趣味の虫捕りを続けています。虫捕りに出かけることで、筋肉量を保ち、免疫力を維持しているのだと、私は考えています。

シリーズ 学生応援企画 -未来への挑戦!!-

群馬大学重粒子線医学研究センター・ 重粒子線医学物理学分野の研究紹介

稻垣 俊輔^{*1}／長谷部有希^{*2}／今津 玲香^{*3}
清水 省后^{*4}／馬越 智也^{*5}／浦部 直人^{*6}

はじめに

群馬大学は国内初の重粒子線（炭素線）がん治療施設を持つ大学として2010年より重粒子線がん治療を提供する¹⁻³⁾とともに、高度で実践的な研究・教育を行ってきた。重粒子線治療は鋭く集中してがんにエネルギーを与えることが可能で、またがん細胞に対し強力な殺傷効果を持つため他の放射線と比べ優れた治療が可能となっている。

群馬大学重粒子線医学研究センターは学部や大学院とは独立した組織として機能しており、医学部門・生物学部門・物理学部門の3部門から構成されている⁴⁾。当センターは学部や大学院と連携協力し、学生を受け入れ研究・教育を行っている。2024年度現在、物理学部門の研究室である重粒子線医学物理学分野では、田代陸教授を筆頭として7名の助教と17名の学生が在籍しており日々議論、研究に勤しんでいる。当研究室では重粒子線治療に関わる様々な研究が行われている。例えば、①「より高精度な治療照射を目指したもの」や、②「放射線が植込み型心臓電子デバイス等に与える影響に目を向けた研究」も行っている。さらに、様々な要求に応じた動物照射へ向けた③「デバイス」や、④「照射計画システムの研究開発」にも取り組んでいる。これらは当研究室の研究テーマの一部であるが、以下に紹介する。

①重粒子線積層原体照射における呼吸性移動の影響評価

放射線治療では標的（がん）に均一な線量を与え、標的外の正常組織への余剰線量を避けることが重要である。粒子線を標的サイズに応じて拡大して照射するパッシブ照射では、標的外に余剰線量が照射され、治療上問題になる場合がある（図1(a)）。パッシブ照射を応用した積層原体照射⁵⁾は、標的をビーム軸方向に対して層に分割し、層毎に照射範囲を調整することにより、標的前側の余剰線量を低減することができ（図1(b)）、頭頸部などの治療に実用化されている。

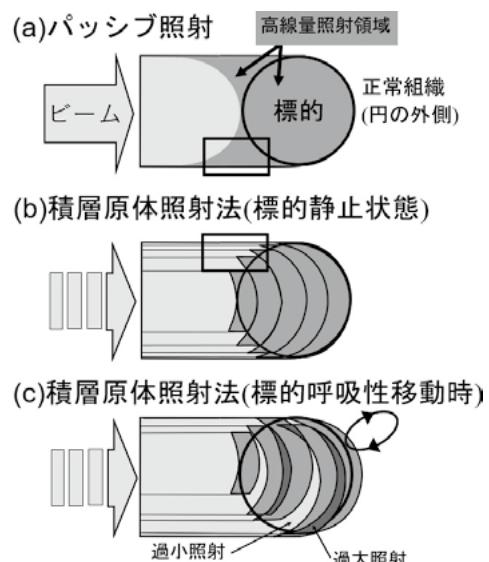


図1 パッシブ照射と呼吸性移動の影響

*¹ Shunsuke INAGAKI 群馬大学大学院医学系研究科 大学院生

*² Yuki HASEBE 群馬大学大学院理工学府 大学院生

*³ Reika IMAZU 群馬大学大学院医学系研究科 大学院生

*⁴ Naoto URABE 群馬大学大学院理工学府 大学院生

*⁵ Tomoya UMAKOSHI 群馬大学大学院医学系研究科 大学院生

*⁶ Naoto URABE 群馬大学大学院医学系研究科 大学院生

標的が呼吸性移動を伴う場合は、層が計画通りに重ね合わず標的内の線量均一性が悪化する⁶⁾(図1(c))。臨床では照射中の動きが無視できない場合、積層原体照射は実施されていない。動きを伴う場合でも積層原体照射を実施したい症例があるが、動きの許容値が示されていないため、照射の可否を判断することができない状況である。

そこで我々は、重粒子線がん治療における、動きを伴う積層原体照射に対して、動きの影響を評価する研究を行っている。動きの評価には呼吸性移動を考慮した線量分布を計算または測定し、標的内の線量均一性を評価する必要がある。臨床で使用される治療計画装置は患者体内の動きを考慮した線量分布を計算することができないため、我々は動きを考慮した線量分布シミュレーションソフトウェアを開発した⁷⁾。シミュレーションの信頼性は物理線量測定との比較検証により確認されている。

水中に球標的を想定し、標的はビーム方向に對してラテラル（垂直）方向および、ビーム軸方向に周期的運動を模擬した。処方線量、照射開始タイミング、標的の呼吸周期や移動量など様々な条件について臨床線量分布シミュレーションを行い、標的体積内の線量均一性を評価した。評価方法として、呼吸性移動時の線量均一性について、静止状態からの悪化度を算出した。この悪化度が5%以内の場合の標的の動き量を許容し、許容された最大の動き量を許容変動量とした。許容変動量を図2に示す。各動き方向について、一段目は処方線量が4Gy (RBE: Relative Biological Effectiveness)、二段目は10Gy (RBE) の場合の結果である。括弧内は照射範囲を限定する呼吸同期照射を組み合わせた場合の結果である。積層原体照射のみと、



図2 許容された照射内変動量(mm)

呼吸同期照射を組み合わせた場合の動きの許容量の提示は、動きを伴う積層原体照射の治療効果判断に役立つと期待される。本研究では水や球標的な単純なモデルを用いているが、今後は実患者の4次元CT (Computed Tomography) を用いた評価などを検討している。

②粒子線治療中に発生するソフトエラーに関する研究

心臓ペースメーカーや植込み型除細動器などの植込み型心臓電気デバイス (Cardiovascular Implantable Electronic Devices : CIEDs) は、主に不整脈などの心疾患の治療に用いられる医療機器である。高齢化に伴い、CIEDsを必要とする患者数は増加傾向にあり、同様にがんの発生率も増加している⁸⁾。CIEDsを装着した患者にとって比較的低侵襲である放射線治療はがん治療の有力な選択肢の一つとされるが、放射線治療によるCIEDsの誤動作も懸念される。CIEDsの誤動作は、ハードエラーとソフトエラーに分けられる。ハードエラーは機器の交換を要する恒久的な機能不全による誤動作である。ソフトエラーは電子機器に発生する一次的な誤動作であり、機器の再起動やデータの書き直しによって正常な状態に戻る。しかし、CIEDsの誤動作はたとえ一時的であっても装着者に致命的な結果をもたらす可能性がある。

日本放射線腫瘍学会と日本循環器学会が発表したガイドラインでは、ソフトエラーを引き起こしたCIEDsの動作異常によって装着患者の生命が脅かされたことが報告されている⁹⁾。10MV以上のX線や粒子線を照射したときに発生する二次中性子がソフトエラー発生の主な原因であるとされるが、放射線治療によるソフトエラーの定量的なリスク評価はされておらず、二次中性子のエネルギーと量とソフトエラー数の関係も確立されていない。特に粒子線治療では核反応によって大量の二次中性子が発生するため、安全な治療を全ての患者に提供するためにはリスク評価を行う必要がある。そこで我々は粒子線治療中に発生するソフトエラーに関する研究に取り組んでいる。

(1) 照射エネルギーとコリメータがソフトエラー発生に与える影響

群馬大学の重粒子線治療ではワブリング法によって拡大させたビームをがん標的に照射するパッシブ法が用いられている。コリメータの開口部の大きさを変化させ、腫瘍の形状に合わせた照射野を形成する。また、腫瘍の深さに応じて炭素線の照射エネルギーを変化させる。コリメータや照射エネルギーの変化はソフトエラーの原因となる二次粒子の発生にも大きな影響を与えると考えられる。そこで我々は各照射条件で実測実験とシミュレーションを行い、照射条件の変化がソフトエラーの発生に及ぼす影響について調べている。実測実験ではCIEDsの代わりにField Programmable Gate Arrays (FPGA) を用いて開発したソフトエラー計測システムを使用している。FPGAはカスタマイズ性の高い集積回路であり、CIEDsを始め、様々な電子機器に組み込まれている。また、FPGAは放射線感受性の高いメモリユニットを搭載しており、ソフトエラー計測に適している。実験には実際の治療装置を用い、照射野近傍にFPGAを設置して、照射中に発生するソフトエラーを測定する。シミュレーションでは、二次粒子の分布を計算し、二次粒子とソフトエラーの関係性を調べている。

(2) 照射方式や炭素線と陽子線の違いがソフトエラー発生に及ぼす影響の比較

粒子線治療の照射方式には、パッシブ法の他にスキャニング法がある。スキャニング法は電磁石を用いて細いビームの照射位置を変えながら、均一な線量分布を標的内に生成する。標的形状に合わせた高線量域の作製が可能であり、線量の濃淡をつけることも可能である。コリメータ等が不要となることから、パッシブ法に比べて中性子の発生量が少なく、ソフトエラーのリスクも低下すると考えられる。先行研究では、群馬大学のパッシブ法による治療装置で安全性が評価されてきたが、日本ではスキャニング法が主流になりつつあり、今後多くの患者がスキャニング法で治療を受けると考えられる。さらに、粒子線治療では重粒子線治療だけではなく、陽子線治療も多く行われている。そこで、

パッシブ法とスキャニング法による重粒子線治療および陽子線治療でのソフトエラー数を比較し、CIEDs装着患者に対する粒子線治療全体の安全性を評価することを目的として研究を進めている。

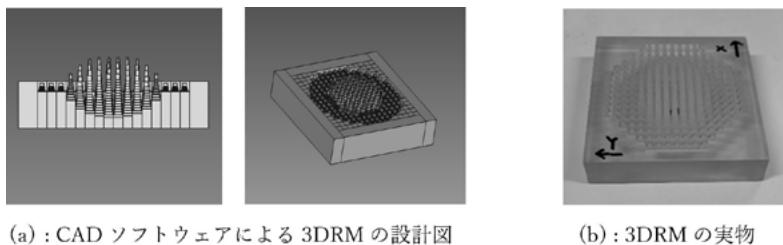
③汎用性3Dプリンタを用いた動物照射用炭素イオン線3DRMの開発

粒子線治療は陽子線や炭素線などの粒子線を用いた治療であり、体内の特定の深さでエネルギー放出のピークを迎えることで停止するブレーキングピークという優れた物理的特性を生かして、従来の放射線治療で使用されているX線や電子線と比べて、腫瘍に対して線量集中性を高めることができる。特に炭素線は高い生物効果を持つため、放射線抵抗性を示す腫瘍に対しても効果的な治療が可能である。

近年、放射線治療において、FLASH効果が注目されている。FLASH効果とは標的にに対して超高線量率 (Ultra High Dose Rate : uHDR) 照射を行うことで、腫瘍へのダメージを維持したまま、正常組織障害を抑制するとされている効果であり、これまで電子線や陽子線にて報告されている。しかし、炭素線ではデータが極めて少ない状況であるため、我々は炭素線におけるFLASH効果について研究を進めている。

三次元的な体積を持つ標的に対して炭素線uHDR照射を行うために、パッシブ（ブロードビーム）照射法ではビームライン上に散乱元が複数存在して拡散するため、標的にuHDRを得ることが困難である。uHDR照射では大強度のビームを必要とするため、よりビーム損失の少ないスキャニング照射法で行うことが現実的である。しかし、uHDR照射をスキャニング照射により実現するには三次元的な体積を持つ標的をごく短時間で照射することが求められる。従来のスキャニング照射法では、標的下層からエネルギー変調を行い、照射層を変化させることで標的全体を照射する。この時、標的全体を照射するまでに一定の時間を要することで、標的内各位置において実質的な線量率が大きく変化し、線量率の定義が困難となる。

こうした課題の解決策の1つとして3D Range



(a) : CAD ソフトウェアによる 3DRM の設計図

(b) : 3DRM の実物

図 3 動物照射用炭素イオン線3DRM

Modulator (3DRM) がある (図 3)。3DRMは標的形状に対して四角錐型のリッジフィルタ (標的の厚みに応じて放射線量が最大となるようブレックピーカーに幅を持たせた拡大ブレックピーカーを形成する器具) とボーラス (標的の深さに合わせてビームの打ち込み深さを調整するための器具) を組み合わせた構造であり、単一のエネルギーで三次元的な線量分布の形成を可能とする¹⁰⁾。スキヤニング照射法によりuHDR照射を行うために最も有効な方法とされており、これまで、患者照射に向けた3DRMの開発に加え、物理的特性に対する研究が行われてきた¹⁰⁻¹²⁾。また、3DRMのリッジフィルタの構造は μm 単位の精密さが求められ、これまでの研究ではすべて工業用の高精度な3Dプリンタにより作製されている。しかし、そのような3Dプリンタは高額であり、動物照射を行うにあたり試験的な導入は困難である。そこで、我々はどの施設でも導入可能な汎用3Dプリンタを使用した動物照射用炭素イオン線3DRMの開発を行っている。

3DRMを作製する際、四角錐型のリッジフィルタでは μm 単位の精度が求められるため、ボーラスに比べて製作難易度が極めて高い。そこで、まず四角錐型リッジフィルタのみの構造である2DRMの作製を行い、安定的に任意の均一な拡大ブレックピーカー (SOBP) を形成できることを目指とした。これまでに、SOBP10mmと20mmの2DRMの開発に成功している。次に単純な標的形状である直径30mmで最大厚み20mmの楕円形の標的を想定して3DRMの製作・評価を行った。その結果として、SOBP幅が急激に変化する領域ではわずかに線量均一性が低下しているが、概ね想定した標的形状に一致した線量分布の形成に成功している。現在は、より複雑な形状に

対する3DRMの開発を行っており、今後それらを用いてuHDR照射の検証を行う予定である。

④小動物向け炭素線照射システムの開発

重粒子線、特に炭素線を用いたがん治療は、高い生物学的効果や、ブレックピーカーを持ち物質内の多重散乱が小さいことによる高い線量集中性が特長となっており、照射位置や範囲を事前に計画することが肝要である。これは動物照射のように小さなターゲットに重粒子線を照射する際には特に重要視されるべきであるが、動物照射計画を可能とする装置は限られており、小動物スケールの微小標的やその近傍のリスク臓器を考慮した計画を用いた実験はされていない。

陽子線を対象とした調査では動物実験と臨床研究の結果の不一致が報告がされており、その理由の一つとして小動物スケールでの線量分布の検証が不十分であることが指摘されている¹³⁾。適切な線量分布の検証がなされた動物照射は生物学的研究、あるいは臨床研究の進展に貢献すると期待される。我々はそのような背景のもと小動物向け炭素線照射計画システムの開発を行っている。システムは大きく2つの要素からなる。1つは小動物用CT画像から炭素線阻止能比への変換、もう1つは微小照射野に対する炭素線線量分布の最適化である。

(1) 小動物CTの炭素線阻止能比変換

線量分布計算にはCT値から阻止能比に変換する必要があるが、小動物を対象とした研究はほとんど行われていないため、動物用CTのCT値阻止能比変換の妥当性を調査している。ここでは、治療と同様のCT値阻止能比変換校正法¹⁴⁾による変換の精度を調べた。まず、動物CTで用いる校正用のファントムを作製した。これは、動物の撮影部位に相当するサイズを持ち、校正用物質は人体治療用と同じものである。このファントムに対して動物CT撮影を行い、CT値に対する阻止能比を表す変換校正曲線を作成した。その精度の検証のために、数種の生体物

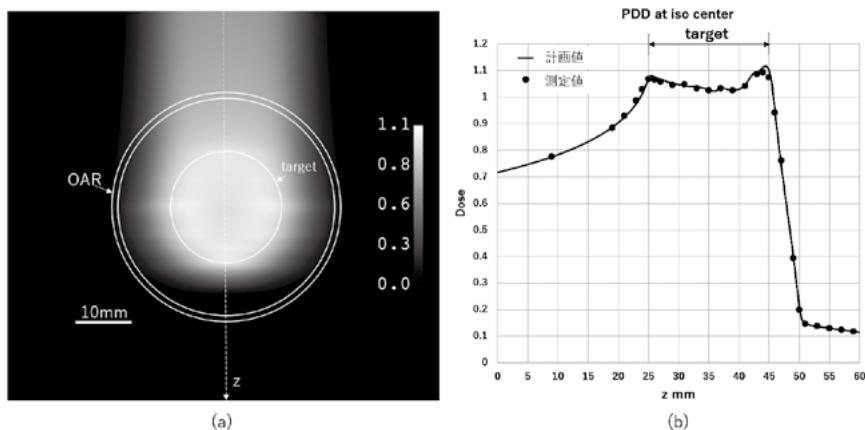


図4 (a)計画線量分布 (b)アイソセンター軸(破線矢印(a))上の線量プロファイル

質等の水に対する阻止能比を、炭素線を用いて実験的に求めた。実験的に得られたものと、計算値を比較することで、CT値から阻止能比変換の精度検証を行い、校正法の評価を行った結果、その精度は95%程度であることがわかった。

さらに、校正用代用物質の一つであるリン酸水素二カリウム40%水溶液は、作製や保存に手間がかかるため、作製が簡便な代用物質に置換する校正方法の適用可能性を調べた。代替として、市販されているタフボーンを検討し、CT値から阻止能比への変換校正曲線を比較した。その結果、3%程度の精度で従来法と一致した。

(2) 小動物用炭素線線量分布最適化

照射はスキャニング法であり、計画では照射位置（スポット）によってビームウェイトを最適化する必要がある。基本ビームを実測に基づいて3Gaussian Method¹⁵⁾を用いてモデル化し、標的内部が均一な線量分布となるように、最急降下法を用いて最適化を行うアルゴリズムを作成した。

次に照射計画を検証するため、直径20mmのシリンダー状標的を持つ水ファントムを用いて照射計画を立て、実測との比較を行った。図4は計画された線量分布と、計画値と実測値を比較したプロファイルであり、全体の平均誤差0.93%と精度よく一致していることが示された。

今後は小動物スケールに合わせ様々な標的サイズに対して精度検証を行い、実際にマウスCT画像を用いての検証も予定している。

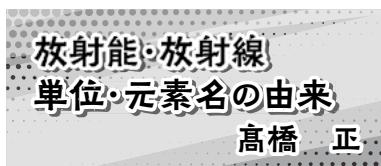
おわりに

以上に紹介した研究は当研究室のテーマの一部であり、ほかにも様々な研究が行われている。重粒子線治療や研究内容に興味を持って頂いた読者や大学院進学を目指す学生の方は、本研究室のウェブページ (<https://heavy-ion.showa.gunma-u.ac.jp/lab/>) をご参照頂くか、問い合わせを頂ければ幸いである。



参考文献

- 1) T. Ohno, et al., Cancers, 2011, 3, 4046–4060.
- 2) T. Ohno, EPMA J. 2013, 4, 9.
- 3) 中野隆史ら, 特集 粒子線治療, RADIOISOTOPES, 2015, 64(6), 365–453.
- 4) 田代 隆, 群馬大学重粒子線医学研究センターの紹介, 医学物理, 2021, 41(3), 161–165.
- 5) N. Kanematsu, et al., Med Phys., 2002, 29, 2823–2329.
- 6) S. Tajiri, et al., J. Radiat. Res., 2017, 58, 840–848.
- 7) Y. Hasebe, et al., Radiol. Phys. Technol., 2025, 18, 3–16.
- 8) N. Okano, et al., J. Radiat. Res., 2022, 63, 122–127.
- 9) 植込み型心臓電気デバイス装着患者に対する放射線治療ガイドライン, 日本放射線腫瘍学会・日本循環器学会編, 2019.
- 10) Y. Simeonov, et al., Phys. Med. Biol., 2017, 62, 7075–7096.
- 11) Y. Simeonov, et al., Biomed. Phys. Eng. Express., 2022, 8, 035006.
- 12) Y. Simeonov, et al., Cancers, 2024, 16, 3498.
- 13) F. Biltekinet, et al., Int. J. Part. Ther., 2023, 10, 13–22.
- 14) N. Kanematsu, et al., Phys. Med. Biol., 2016, 61, 5037–5050.
- 15) S. Fujitaka, et al., J. Appl. Clin. Med. Phys., 2021, 22, 77–92.



第10回

ボーリウム ^{107}Bh : bohrium

放射線関連分野での大きな功績を称え、その名前が単位や元素名に用いられている科学者の人物像や功績を紹介するシリーズ

107番元素で、周期表の第7族元素に属し、レニウム Re の下に位置する。この元素は1981年にドイツの重イオン研究所 (GSI) で、 ^{209}Bi (^{54}Cr , n) ^{262}Bh の核反応で合成された。Bhの同位体は11核種知られているが、最も長半減期は ^{270}Bh の61sである。2000年にクロロトリオキソボーリウム BhClO_3 が合成され、揮発性が理論予測と一致した。元素の名称は、20世紀の物理学の巨人ニールス・ボーア (Niels Bohr, 1885–1962) に因む。

ボーアはデンマークのコペンハーゲンに生まれた。父クリスチャンは有名な生理学者で、母エレンはユダヤ系の裕福な銀行家の娘だった。1903年にコペンハーゲン大学に入学し、物理学を学んだ。1907年に、学生ながらデンマーク王立科学院の懸賞論文で金賞を受賞し、1911年5月に金属電子論で学位を取得した。電子論は当時の先端の研究の一つであったが、ボーアは当時の物理学の理論の有効さと限界を明らかにした。

1911年9月に電子論で有名な J. J. トムソンのもとに、継いで翌年3月にラザフォードのもとに留学した。それはラザフォードが有核原子模型を提案した直後だった。研究室ではヘヴェシー (George de Hevesy, 1943年ノーベル化学賞) との討論を通して、同位体や放射性変位則の本質—それが原子核に関係するということを見抜き、ラザフォードの原子模型の重要性を認識した。またダーウィン (Charles G. Darwin: 進化論のダーウィンの孫) の α 線の吸収理論の欠点に気づいて、電子が原子核に束縛された原子模型による α 線の吸収理論を論じた。

1912年7月にコペンハーゲンに戻り、その暮れから翌年初めにかけて、原子構造の理論に取り組んだ。2月に友人のハンセン (Hans M. Hansen) から水素の発光スペクトル線についてのバルマーの公式を聞き、それがボーアが考えていた原子理論で説明できることに気づくと、それも組入れて1913年中に論文を3つ発表した。ボーアの原子構造は、原子核の周りの決まった軌道を電子が回るというものだった。元素の周期律に興味があったので、種々の原子の電子構造についても触れた。

ボーアの理論は比較的早く受け入れられ、原子の構造とスペクトルの問題を中心に拡張と精密化が進められた。その理論はいまでは前期量子論とよばれ、1925年に始まる本格的な量子力学の構築を導いた。量子論発展への貢献に対して、1922年にノーベル物理学賞を受賞した。量子力学の解釈に関するボーアとアインシュタインとの

有名な議論は1927年に始まり、1935年まで続いた。量子の世界の波動性と粒子性からくる特有の性質についての議論だったが、この議論を通してボーアは相補性についての考察を深め、哲学的な領域にまで高めた。

ボーアは1916年に新設されたコペンハーゲン大学理論物理学の教授となり、理論物理学研究所（通称ボーア研究所）を1921年に発足させた。名称は理論物理学ながら実験も行なわれた。ボーアは分野や立場にとらわれずに自由な雰囲気で徹底的に議論を重ねる、コペンハーゲン精神とよばれる研究スタイルを貫いた。このスタイルはラザフォードの影響を受けていた。

1930年代は、原子核物理学が飛躍的に発展した時代であり、ボーアも関与した。1934年10月にフェルミ (Enrico Fermi) たちが熱中性子による核反応を報告すると、カルカー (Fritz Kalckar) と複合核理論を1936年に発表し、1938年の暮れにはフリッッシュ (Otto R. Frisch) から核分裂の説明を聞き、ホイーラー (John A. Wheeler) と液滴模型に基づく核分裂の理論的研究をした。

1933年1月ナチス・ドイツが誕生していわゆる人種法が施行されると、ボーアはドイツからの科学者の避難を助けた。1943年8月にはボーアの身も危険となり、9月末に南スウェーデンに脱出し、10月にイギリスに渡った。そこでアメリカの原子兵器の計画が進んでいることを知り驚いた。イギリスのモード委員会の科学アドバイザーとして四男のオーア (Aage Bohr, 1975年ノーベル物理学賞) と、ロスマラモス、ワシントンとロンドンを行き來したが、直接には兵器開発を担わなかった。原子力の利用を開示しておかないと戦争終結後に原子兵器の開発競争が起こりかねないことを危惧し、ルーズベルトやチャーチルに情報開示を直接訴えたが、不調に終わった。戦後の1950年6月には、国連事務総長へ原子力利用についての情報公開と交流を求める公開書簡を送った。

戦後コペンハーゲンに戻ったボーアは研究所を立直し、再び物理学の国際協力のセンターにした。1952年から1957年までヨーロッパ原子核研究センターCERN の理論グループがボーアのもとにおかれた。1957年には北欧理論原子物理学研究所 (Nordita) の活動が開始された。1963年に向けてボーア原子模型50周年の記念会議が計画され、ボーアも研究者たちとの再会を楽しみにしていたが、1962年11月18日心不全のために急逝した。会議は予定通り翌年7月に開催され、ボーアを追悼した。

ISORD-12 開催趣意書

ISORD-12 実行委員会
実行委員長 高橋 浩之（東京大学）

第12回放射線安全と検出技術に関する国際会議（International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology）を2025年6月30日(月)～7月3日(木)に東京において開催予定であります。メイン会場は、東京大学本郷キャンパスの山上会館ですが、最近改修され、横長のレイアウトに変更がなされているものであります。

会議のトピックスとしては、以下のようなものとなっております。

- Radiation transport and shielding
- Radiation dosimetry
- Radiation detection and sensor technology
- Environmental radiation measurement and assessment
- Radiological risk management
- Education, training and policy in radiation safety
- Radiological emergency planning and preparedness
- Radioactive waste and current radiological issues

招待講演者としては、以下の5名を予定しており、日本からは創設者の中村先生と福島廃炉の現状について鈴木先生からご講演いただきます。

- 中村尚司先生（東北大学 名誉教授）
- 鈴木俊一先生（東京大学）
- Dr. Miroslav Pinak (IAEA)
- Dr. Liu Cun (China Institute for Radiation Protection)
- Prof. Yeon Soo Yeom (Yonsei University)

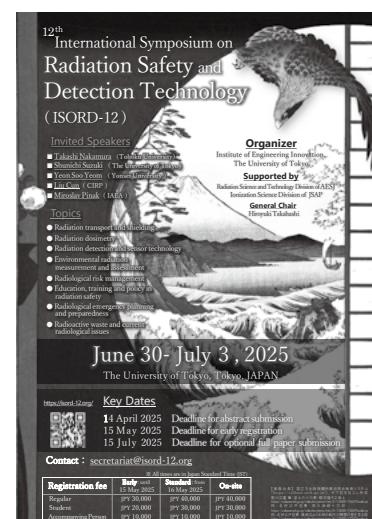
講演会の内容としては、放射線安全と検出技術に関わる幅広い分野を包含しており、国内外から多くの研究者・学生が参加することを見込んでおります。なお、プロシーディングスについては、Radioisotopes誌の特集号としてお願いしております。実行委員としては次の通りでございます。

ISORD-12 実行委員

委員長：高橋浩之（東京大学）

委 員：中島 宏（北海道大学）、渡辺賢一（九州大学）、
富田英生・井口哲夫（名古屋大学）、佐藤優樹・
佐藤達彦（日本原子力研究開発機構）、波戸芳仁
(高エネルギー加速器研究機構)、鳥居建男（福井大
学）、保田浩志（広島大学）、黒澤俊介（東北大学）、
坂本幸夫（アトックス）、飯本武志（東京大学）

事務局：三津谷有貴（東京大学）



サービス部門からのお願い

ガラスバッジ返却時のお願い ～トレイに入れて返却してください～

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださいまして、誠にありがとうございます。

ご使用後のガラスバッジ、ガラスリング、DOSIRIS（以下、線量計）を返却される際、封筒やキャリーバッグに線量計単体で同梱されると、輸送時の落下、紛失等に繋がる恐れがございます。

返却時は、お届けした際の発送トレイに線量計を収納し、測定依頼票とセットでご返却いただけますようご協力をお願いいたします。

お手元のトレイが足りない場合や紛失した場合は、下記ガラスバッジ担当事務所までご連絡ください。

【ガラスバッジ担当事務所TEL】※担当地区が不明な場合は右のQRコードよりご確認ください。

札幌：011-206-6801 / 仙台：022-727-9572 / 東京：03-3518-5698
名古屋：052-220-6722 / 大阪：06-6369-1566 / 福岡：092-262-2235



記事に関するご意見や掲載希望の記事案については、こちらまでお送りください ctc-fbnews@c-technol.co.jp

編集後記

- 初夏の風が清々しさを増していく季節になりましたが、最近、めっきり元気よく泳ぐ鯉のぼりを見かける機会が減ってきたように思います。少子化、飾る場所や維持管理の問題、個人情報保護、見栄の張り合い防止など背景は様々なようですが、未来を支える子供達には明るくのびのび育って欲しいと思う今日この頃です。
- 冒頭、原子力発電環境整備機構 豊島様より、高レベル放射性廃棄物をなぜ地層処分にするのか、火山、地震、地下水といったリスクに対する考え方も含め分かりやすく解説いただきました。
- 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 平尾様からは、光子の遮蔽線量を迅速に計算する国産の安全評価用コードPOKERを紹介いただきました。パソコンで動作し、GUIによる入力支援もあり、計算コードの使用に不慣れな場合でも施設の設計や解析をサポートしてくれるものと思います。
- 中川先生のコラムでは、養老先生の近況などを紹介いただきました。20年ほど前、養老先生著の「バカの壁」を拝読したことがあります、「自分自身の無知や偏見に気づかず、それを他者に押し付ける態度がバカを作る」、「人間は自分が理解できる範囲内でしか物事を認識できない」といったご指摘を改めて思い起こした次第です。
- 学生応援企画の第6弾では、田代陸教授を筆頭とした群馬大学重粒子線医学研究センター・重粒子線医学物理学分野における高精度かつ安全な重粒子線がん治療技術の高度化を目指した様々な研究についてその一部を紹介いただきました。未来を見据えた学生達の研究に大いに期待です。
- 高橋正先生のコラムシリーズ「放射線・放射能 単位・元素名の由来」の第10回としてボーリウム (Bh) を紹介いただきました。引き続き様々な元素名などの由来を紹介いただく予定です。
(A.F.)

FBNews No.581

発行日／2025年5月1日

発行人／井上任

編集委員／小山重成 小口靖弘 中村尚司 野村貴美 古田悦子 青山伸 福田達也 藤森昭彦
篠崎和佳子 高橋英典 田谷玲子 東元周平 堀口亜由美 松本和樹 丸山百合子 村山賢太郎

発行所／株式会社千代田テクノル

所在地／〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話／03-3518-5665 FAX／03-3518-5026

<https://www.c-technol.co.jp/>

印刷／株式会社テクノルサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円（本体364円）