



Photo H. Fukuda

Index

ICRP 第2 専門委員会の近況について	石樽 信人	1
日本人ボクセルファントムの開発と応用例	斎藤 公明	6
オバマ大統領誕生とアメリカのダイナミズム	町 末男	11
ハンガリーのウラン鉱山印象記 反町 篤行、細田 正洋、石川 徹夫、床次 眞司		12
線源製造施設の紹介		15
[サービス部門からのお知らせ] 4月1日はガラスバッジの交換日です。		19



ICRP 第2専門委員会の近況について



石樽 信人*



1. はじめに

ICRP 第2専門委員会の活動は、読者諸兄にはなじみの深い、いわゆる告示別表第2「放射性同位元素の種類が明らかで、かつ、一種類である場合の空气中濃度限度等」や別表第5「自由空气中の空気カーマが1グレイである場合の実効線量」の数値を提供することである、とえば分かり易いかも知れない。もちろんこうした「テクニカル」な作業のみではなく、防護を適切に実践するために評価すべき「量」とは何か、といった防護の「理念」にも深く係わる検討も行われている。

本稿では、まず、2007年勧告で提示された実効線量の定義について述べ、次いで種々の線量換算係数の改定に関する最近の活動を紹介する。

2. 実効線量について

筆者は以前より、実効線量は特定の個人に関わる量であり、解剖学的、生理学的な個人の特性が取得できれば、それらを使用する方がベターであるが、現実にはほとんど不可能なので、あくまでも近似として、専門家間で合意された標準人等のモデルをやむなく使用して線量を評価しているのである、と考えてきた。しかしながら、2007年勧告でこの考えは明確に否定された。

実効線量とは、特定の個人ではなく、ICRPが定めたモデルとパラメータ値とを使用して評価される量、いわゆるレファレンスパーソンに関わる量であると定義されたのである。個別のパラメータ値が使用できるのは、被ばくの状態、例えば吸入摂取した放射性微粒子の粒子径、外部被ばくであれば線源ジオメトリ等のみであるとされた。従って、今後、例えば特定個人から得られた生物学的半減期を使用して評価された『実効線量的な値』に言及する場合には、ICRPの定義への賛否はともかく、何らかの工夫をしなければならないということになる。

種々の換算係数を定めるにあたり、従来は、陽に明示されていた訳ではないが、男性の体格が用いられてきた。近年医療関係を中心として放射線作業に従事する女性が増えてきている。これからのICRP刊行物では、線量換算係数として、男女平均の値が報告されてゆく予定である。つまり、まず各組織・臓器の等価線量を男女別々の数学ファントム（人体での放射線の輸送過程を扱うためにコンピュータ上に構築された人体モデル）と体内動態パラメータを用いて計算する。それらの値の算術平均をもってそれぞれの組織・臓器の等価線量とする。その値に男女平均の組織加重係数を

*Nobuhito ISHIGURE 名古屋大学医学部 保健学科 教授

乗じ、全ての組織・臓器について合計する、という手順である。

男女平均という考え方にも、筆者個人としては、多少の問題意識を抱いている。2006年暮に刊行された消化管モデルには、物質の消化管通過時間に有意な男女差が示されている。また、血中に吸収された核種の臓器残留特性にも、元素によっては有意な男女差が示される予定である。では、全身計測や尿中放射能の分析といった個人モニタリングの測定結果から摂取量を評価する場合、男女差をどのように扱うのが合理的なのだろうか。得られる測定値は個人のものなのに、男女平均の残留率や排泄率を使い、男女平均の線量係数を使うことに果たして意味があるのだろうか。今後のICRPでの議論に待ちたいところである。

3. 内部被ばくについて

内部被ばくの線量係数は Publ.68 (1994) に、モニタリング結果の解釈に用いる残留率、排泄率等のデータは Publ.78 (1997) にそれぞれ与えられている。これらに基づく現行の内部被ばく管理に放射線防護上特段の不都合があるとは思われないが、第2専門委員会では、今の学術・技術水準にふさわしく、またよりよい放射線防護を提供するとして、線量評価モデルやパラメータ値の見直しを行っている。目標は、Publ.68と78の全面的な改訂である。従来別々の刊行物であったものを今後は線量係数と残留率等のデータとを1冊にまとめた刊行物として作ることとした。この刊行物は Occupational Intakes of Radionuclides (OIR) と仮称されている。この作業は主に第2専門委員会の2つのタスクグループ INDOS (Internal Dosimetry) と DOCAL (Dose Calculation) により進められている。

関連するモデル等の改定の進捗状況を最

近終了したものも含め以下に紹介する。

《消化管モデル》

消化管モデルに関して、ICRPは1996年にタスクグループを設け、Publ.30の胃腸管モデルに取って代わる新しい消化管モデルの開発に着手した。10年間に亘る検討を経て、2006年暮にその結果が Publ.100として刊行された。10年以上前に開発された呼吸気道モデルと比べ Publ.30の胃腸管モデルはあまりにも単純化され過ぎていたが、この新モデルの開発により呼吸気道モデルと同様、上皮組織における感受性幹細胞の位置が定められ、その細胞が分布する層の線量が計算されるようになった。また作業者のみならず様々な年齢の人々により構成される公衆にも適用できるようになった。

《呼吸気道モデル》

呼吸気道モデルの見直しはタスクグループが設けられておらず、イギリスの Health Protection Agency の研究者により進められている。

粒子径が明らかでない場合に用いる値として、多くの調査が作業環境における放射性微粒子の空気力学的放射能中央径が4から7 μm の範囲であることを示しており、従来の値5 μm を変更する必要は無いとしている。

物質の気道からのクリアランスや溶解性に関する最近の実験データを取り入れ、気道内各領域間の移行係数や血中への移行係数に変更される予定である。特に、ウラニウム、トリウム、プルトニウム、アメリシウムの化合物については、化合物に特異的な血中吸収パラメータが与えられる。これにより、たとえばウラニウムの場合、従来、タイプ F、M、S の3パターンであったのが、10パターン以上のデータが与えられる

可能性があり、相当複雑なものとなるかも知れない。

《組織系動態モデル》

血中に吸収された放射性核種が組織に移行し排泄される過程を記述したモデルは systemic model と呼ばれている。本稿ではこの用語を仮に組織系動態モデルと訳す。職業被ばくの観点から潜在的に重要と思われる38元素についてモデルの見直し、改訂作業が進められている。9分通り完成しているとの印象をもっているが、詳細に見てみるとまだ問題が残っており、完成にはもう少し時間がかかりそうである。

現行モデルでは古典的な指数関数モデルで記述されている H、C、S、Co、Cs について、組織系動態の変動に関わる生理学的要因を考慮した複雑な生理学的物質動態モデル、いわゆるリサイクルモデルに改訂されることが決まった。また、Ag についても生理学的物質動態モデルの導入が検討されている。

《原子核の壊変データ》

原子核の壊変データは、体内臓器に沈着した放射性核種の比実効エネルギー (SEE) を計算する上で基盤となる必須のデータである。オークリッジ国立研究所および原子力研究開発機構によって、最新の核構造データ等を用い、ICRP 38のデータが更新されデータベースが整備された。まもなく刊行される予定である。

この刊行物には1251核種が集載され、また、 β 線スペクトルやオージェ電子、特性 X 線に関する詳細データも示されており、膨大なデータ集となっている。

《数学ファントム》

線量換算係数を求めるためには、体外線

源、体内線源を問わず放射線の体内での相互作用を計算により追跡する必要がある。この目的に使われる数学ファントムについて、今回の基本勧告で初めて定義されることとなった。

ICRP により長年使用されてきたのはいわゆる MIRD ファントムを基本とする数学ファントムである。現在では、各辺がミリメートルオーダーのボクセルと呼ばれる直方体の集合として人体を表現したいいわゆるボクセルファントムが CT データ等を元に数多く作られている。ICRP においてもこうした新しい技術に対応すべく、体内および体外線源に対する線量換算係数の計算にボクセルファントムを利用することを決め、その整備を行った。

既に、身長、体重および臓器の質量が標準人と一致した男性用、女性用のボクセルファントムが完成し、複数の機関においてこれらのファントムを用いた計算が進められている。関連する刊行物も間もなく入手できるものと思われる。

さて、実効線量の評価は、まず個人モニタリングによる尿中放射能等の測定値をモデル予測値で割って摂取量 (Bq) を評価し、次いでこの摂取量に線量係数 (mSv/Bq) を乗ずるという2段階の手順を踏み行われている。このため ICRP 刊行物の値の誤用によるエラーがしばしば発生している。これを改善するため、現在準備している OIR では、モニタリング測定値当たりの実効線量の値も併せて掲載される予定である。この値にモニタリング測定値を乗ずるという1回の計算操作で線量を評価でき、信頼性の向上が期待できる。

刊行スケジュールであるが、38元素を対象とした OIR Part 1 が2011年に刊行され、その後 OIR Part 2、公衆の線量係数、胎

児・乳児の線量係数などが順次刊行される予定である。

4. ラドンの線量換算規約について

現在、ラドンの線量換算規約として用いられている値は作業員 5 mSv/WLM、公衆 4 mSv/WLM である。なお、WLM (Working Level Month) とは曝露量の単位で、1 Working Level (平衡等価ラドン濃度 $3,700 \text{ Bq/m}^3$) の空気への170時間の曝露量が1 WLM である。これらの値は、1990年台始めまでの鉱山労働者に対する疫学調査と原爆被爆者の総合損害確率とから算出された値である。その後、より低レベルの曝露を含む鉱山労働者に対する調査が進み、曝露量1 WLM 当たりの肺がん死亡確率が従前の評価値よりも大きいことが分かってきた。また、新勧告において1 mSv 当たりの肺のデトリメント (損害) の値も最新の調査研究を反映したものに改定された。この両者の評価値の変更により線量換算規約は、作業員は5 mSv/WLM のまま、公衆は7 mSv/WLM に変更されると言われている。しかし、別の評価法もあるとの議論もあり、最終的な結論には至っていないと考えられる。

5. 外部被ばくについて

前述の別表第5などの体外線源に対する種々の線量換算係数は、Publ.74 (1996) に与えられた値に準拠したものである。現在、2009年つまり今年中に刊行することを目標にこれらの値の全面的な見直しが行われているところである。

見直しが必要となった背景は、新勧告による組織加重係数の改定、中性子と陽子の放射線加重係数の改定、線量計算に用いる数学ファントムの新たな定義、加速器の普及に伴う対象エネルギーの拡大、シミュ

レーション技術の進歩などである。

光子については、10keV～10MeV、限定的ではあるが10GeV までのデータが与えられる予定である。暫定的な結果では、30keV～5 MeV の光子は従前とさほど大きな違いはないとのことである。

中性子については、10GeV までのデータが与えられ、また光子、中性子以外に電子、陽電子、パイオン、ミューオン、ヘリウムイオンについても線量換算係数が与えられる予定である。

中性子と陽子の従前との差は、主として放射線加重係数が新勧告で改定されたことに起因していると言われている。

公衆の被ばく、あるいは事故時に重要となる大地沈着線源のような環境線源に対するデータは、小児等の数学ファントムがフルセット揃った段階で計算されるとのことである。

6. 宇宙放射線防護について

国際宇宙ステーションでは、一日の外部被ばく線量が地上の一年分に相当すると言われている。宇宙放射線防護は、数年前に第4 専門委員会で取組みが始まり、その後2006年から第2 専門委員会のタスクとして再スタートが切られた。

宇宙放射線被ばくに対しては、そのリスクに強い関心が向けられている。しかしながら、宇宙ステーションあるいは宇宙船内外の放射線場は、重イオンを含む様々な線質の放射線が混在しており、きわめて複雑であって現段階ではとてもリスクについて報告書をまとめるのは不可能であり、従って今回の具体的なタスクとしては、もっぱら臓器線量の評価に焦点を当てたいとしている。具体的には、種々の放射線のフルエンス当たりの臓器線量の計算値を提供することになるものと思われ、個人的には期待

はずれの感もある。

実際の宇宙飛行士のニーズは、個人被ばく線量計を着用し、自分の被ばく線量を地上での被ばくと同じ尺度で知りたいということであろう。しかしながら複雑な放射線場での実用量をどう定義するかは今後の課題である。また、線量の測定方法や線量計の開発にも多くの課題が残されている。

7. 他の専門委員会との協力について

前章で宇宙放射線防護について述べたが、もっぱら補助限度を検討する専門委員会とみなされてきた第2専門委員会が今なぜこのトピックスを扱うのか疑問に思われたかもしれない。

昨今、放射線の輸送過程を扱う計算技術が飛躍的に向上した。そして、その分野のエキスパートが線量換算係数を定めるため前述のタスクグループ DOCAL に参加してきた。その方達の技術を適用すれば、前述の宇宙放射線に対するフルエンス当たりの臓器線量を計算することができるであろうことは容易に推察できる。

こうした計算技術は、ICRP の他の専門委員会の検討事項にも貢献し得る。たとえば第3専門委員会の放射性医薬品の線量換算係数、また第5専門委員会の標準動植物の線量換算係数の導出にも適用し得るであろう。

また、人体のボクセルファントムを作成した計算技術は、標準動植物の数学ファントムの作成にも応用が利くはずである。第5専門委員会では、動物を密度が一樣な球体、楕円体、円柱に分類して線量換算係数を求めて報告することになると思うが、それらの値の妥当性の検証に上記の技術は活用できるものと思われる。

8. むすびに代えて

線量換算係数を定めるためのモデルの構造やパラメータ値の「レファレンス」は、実験研究あるいは人体データから、専門家としての判断を交え最良推定値あるいは中央推定値として導出されたものである。それらには当然不確かさが伴う。ICRP は可能な限り不確かさを小さくするとともに不確かさを評価する努力を払っている。しかし使われるパラメータは多岐に亘りその数も非常に多い。その上ごく少数の大きくばらついた実験値から決めざるを得ない推定値もあり、不確かさの程度もまちまちである。こうした事情があるので、ICRP は線量評価モデルの全範囲に亘って不確かさの数値を与えることは困難としている。

また、安全規制を実践する立場からは、これらモデルやパラメータ値、またそれらに基づいて求められた線量換算係数などは、言わば「引き合い」に出すことを「申し合わせ」たものなので、そこには誤差の概念は元々入っていない。

これらのモデル等は、今後も ICRP により不断に見直され、科学的な新しいデータや情報がとりいれられてより適切なものに修正されてゆくであろう。

プロフィール

岐阜市生まれ。keV 領域の電子の平均自由行程と阻止能の測定に関する研究で名古屋大学より工学博士。1978年より2005年まで放射線医学総合研究所に勤務。主に超ウラン元素の内部被ばく影響と線量評価に関する研究に従事。この間原子力留学生として、英国医学研究審議会放射線生物学研究部門に1年間在籍。2005年より名古屋大学医学部保健学科教授。ICRP 第2専門委員会委員。



日本人ボクセルファントムの 開発と応用例



齋藤 公明*



1. はじめに

人間が被ばくにより受ける臓器線量ならびに臓器線量の荷重平均として計算される実効線量は直接に測定することができないため、数学人体モデル(数学ファントム)を用いてシミュレーション計算により評価することが広く行われてきた。放射線防護の目的で数学ファントムが最初に用いられたのは1960年代まで遡るが¹⁾、人体の臓器・組織を数式の組合せで表現した数式ファントムが長い間使用され、有用なデータを提供してきた。

近年は、CTやMRI画像データをもとにして、ボクセルと呼ばれる直方体要素を組合せて人体臓器・組織を表現するボクセルファントムが盛んに開発され、その有用性が認識されてきた。この状況を受けて、国際放射線防護委員会(ICRP)では、西欧標準人に近い体格を持ったボクセルファントム²⁾を標準ファントムとして定義し、今後はボクセルファントムを用いて放射線防護の基礎データを整備して行くこととした。

放射線防護の基礎データは西欧標準人を対象に取得することが原則であり、数式ファントムもボクセルファントムも、西欧人をモデルにしたものが従来から中心に開発されてきた。一方、日本人の防護を考えた時に、西欧人との体格の違いや個人毎の体格の特徴がどの程度線量に影響を与えるのかについて検討しておくことが必要である。

日本原子力研究開発機構(原子力機構)では、日本人成人男子のボクセルファントムを2001年

に開発した³⁾。これは東洋人を対象とした初めてのボクセルファントムであり、その後韓国、中国でもボクセルファントムの開発が行われるようになった。原子力機構ではさらに4体の日本人ボクセルファントムを開発し、これらを用いて線量評価の研究を進めてきた。

本稿においては、原子力機構で開発したボクセルファントム、これと組合せて用いるモンテカルロ・シミュレーション計算システム、ならびに線量計算の例について紹介する。

2. 日本人ボクセルファントムの概要

原子力機構ではこれまでに合計5体の日本人ボクセルファントムを開発した。第1世代の成人男女ファントム Otoko³⁾と Onago⁴⁾は $1 \times 1 \times 10 \text{ mm}^3$ のボクセルで、第2世代のファントム JM⁵⁾と JFはより分解能の高い $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ のボクセルで構成されている。いずれも健康人ボランティアのCT画像を基に開発されている。CT画像の撮影に際しては、被験者に撮影に伴うリスクについて適切な情報を与えるとともに、撮影を行った藤田保健衛生大学の倫理委員会において承認を得た。

セグメンテーションと呼ばれる画像処理によりCT画像から臓器・組織毎の領域を確定し、その領域を構成するボクセルに特定のID番号を付与することによりファントムを作成する。人体の密度に関連のあるCT値が周囲の物質と明らかに異なる肺や骨ではセグメンテーションは比較的容易に行うことができるが、似通った

*Kimiaki SAITO 独立行政法人 日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門 研究主査

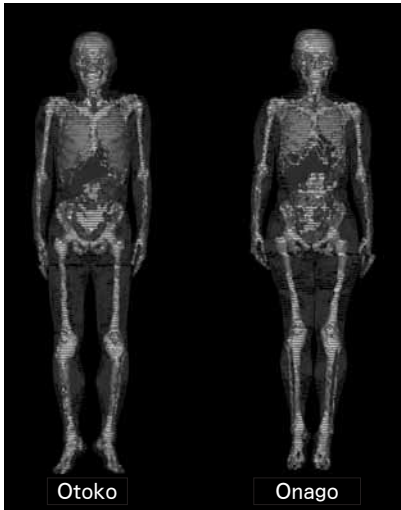


図1 原子力機構で開発した日本人ボクセルファントム

CT 値を持つ臓器が密集して存在する場合にはセグメンテーションが難しい。詳細なファントム1体の開発には相当の労力と時間を要する。

JM と JF は現在世界的にも最も分解能の高い人体ファントムに類する。これらのファントムの外観を図1に、またファントムの体格データを表1に示す。Otoko、JF、JM は東洋人の標準体格⁶⁾に近い体格を有しているが、Onago は標準よりも若干大きめの体格を持つ。

ボクセルファントムは一般に寝た状態（臥位）で撮影したCT データに基づき作成されるが、放射線防護目的の線量評価は立った状態（立位）の人間に対して行われるのが普通である。そこでJM と同じ被験者を対象にコーンビームCT 装置を利用して立位のCT 画像を撮影し、立位のファントム JM 2 も開発されている⁷⁾。姿勢の違いに起因して、JM と JM 2 で臓器の位置が明らかに異なる部分がある。

3. シミュレーション計算システムの開発

ボクセルファントムの開発と平行し、ファントムと組み合わせて用いるシミュレーション計算システムの開発を、電磁カスケードモンテカルロ計算コード EGS 4⁸⁾ を基に行ってきた。ボクセルジオメトリを対象としたシミュレ-

表1 日本人ボクセルファントムの体格

	Otoko	Onago	JM	JF	アジア標準人	
性別	男性	女性	男性	女性	男性	女性
体重 (kg)	65	57	66	44	64	46
身長 (cm)	170	162	171	152	170	155

ーション機能を EGS 4 に付加し、以下に示すように使用目的に応じた計算システムを整備した。

UCPIXEL⁹⁾：外部被ばく線量計算のためのシステムで、放射線防護で一般に考慮される理想的な入射ジオメトリをはじめ、特有の入射方向分布、エネルギー分布を持った環境分布線源からの γ 線に対する線量計算、また環境中 β 線被ばく線量計算も可能である。

UCSAF¹⁰⁾：内部被ばくを想定した線量計算システムで、内部被ばく線量評価の基礎データである比吸収割合 (SAF) 等を計算することができる。電子線に関しては、放射性核種から放出される β 線スペクトルを考慮したシミュレーションも可能である。

UCWBC¹¹⁾：体外計測装置の校正へのボクセルファントムの応用を目的としたシステムで、体外計測システムを詳細にモデル化し、放射

性核種を体内摂取した時の体外計測における検出器の応答関数を得ることができる。

UCRTP¹²⁾：放射線治療における患者体内の線量分布特性を明らかにするためのシステムで、放射線治療における典型的な照射条件を考慮できるとともに、臓器毎の平均吸収線量に加えて標的部分のボクセル毎の線量分布を得ることが可能である。

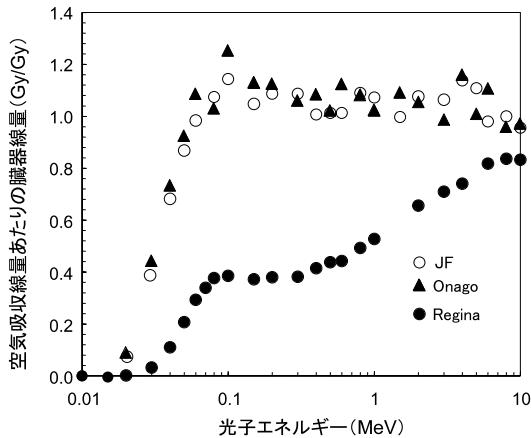


図2 人体左側面から入射する (LLAT) 光子ビームによる甲状腺線量
Regina：西欧標準女性ボクセルファントム

4. シミュレーションの例

開発した日本人ボクセルファントムと計算システムを用いて様々な状況でのシミュレーションを行い、被ばく線量の特徴等が明らかになってきている。ここでは、誌面の関係上、顕著な例を以下に数例示すこととする。さらに興味のある読者は参考文献をご覧ください。

4. 1 外部被ばく線量評価

(1)光子

単色エネルギーの平行光子ビームが理想的なジオメトリーで入射する典型的な外部被ばくに関して、日本人ボクセルファントムと西欧人ファントムとの線量の比較を行ってきた。全体的に、日本人と西欧人の体格による被ばく線量の違いはそれ程大きくないことが明らかになってきている。一方、個人の身体的な特徴の違いで被ばく線量が大きく異なるケースも浮き彫りにされている。

図2は人体の横方向から入射する平行光子ビームに対する甲状腺の線量を示している¹³⁾。甲状腺の位置は個人差が大きく、甲状腺が肩で遮へいされる位置にあるか否かによりその線量が大きく異なる。図は、日本人女性ファントムに比べて

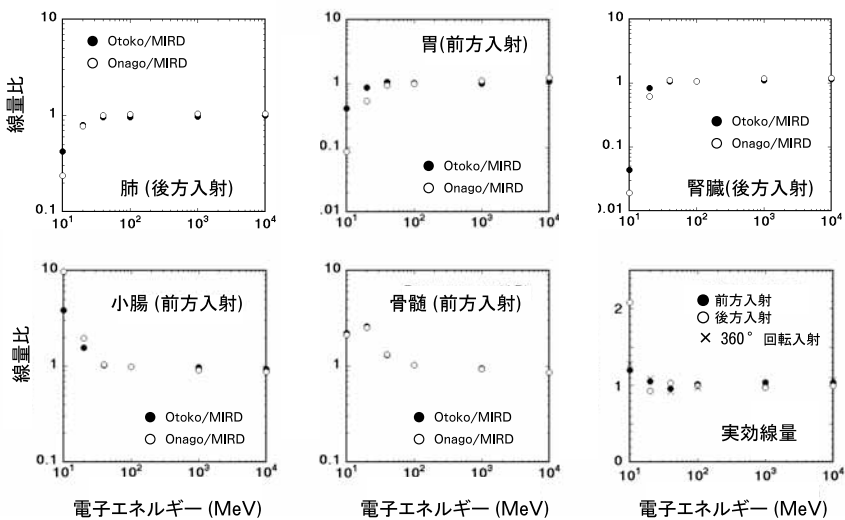


図3 電子による臓器線量の比率 MIRD ファントムで規格化した線量を示している

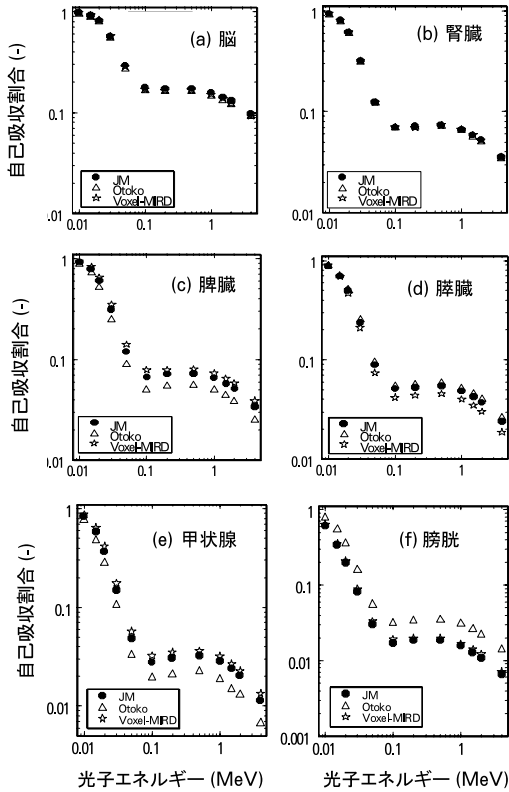


図4 線源臓器と標的臓器が同じ場合の吸収割合 (AF) の例

西欧人女性ファントムの線量が、肩による遮へい効果の影響で顕著に低いことを示している。

(2)電子

単色エネルギーの平行電子線ビームが入射する場合の臓器線量の計算を Otoko と Onago を用いて行い、MIRD タイプの西洋人数式ファントムの結果との比較を行った。図3は、MIRD ファントムの結果で規格化した Otoko 及び Onago の線量を示している⁴⁾。飛程が数 cm である10 MeV 近辺の電子ビームで、ファントムによる大きな線量の差がみられることが分かる。電子線が臓器へ到達するか否かで臓器線量が大きく異なるが、主要な臓器が数 cm の深さに存在するためである。

この研究で観察された最大の差は、背後からの電子ビーム入射 (PA) に対する腎臓の線量

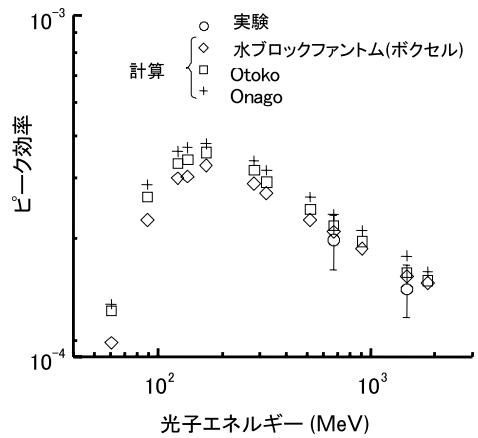


図5 原子力機構の体外計測装置の校正定数

でファクター50に達する。この50という数値は必ずしも代表的な意味合いを持つものではないが、荷電粒子線に対しては、体の構造が線量に大きな影響を及ぼすことを示すものである。実効線量でみた場合には、MIRD ファントムと日本人ファントムの最大の差はファクター2である。

4. 2 内部被ばく

内部被ばく線量評価に用いられる吸収割合 (AF) に関してもシミュレーションが行われてきている。AF は線源を含む臓器から放出された放射線のエネルギーが、標的となる臓器でどのくらいの割合で吸収されるかを示す。線源臓器と標的臓器が同じ場合の光子に対する AF の計算例を図4に示す⁵⁾。

脳や腎臓等、サイズが大きくまた形状が良く似ている臓器の場合は、異なるファントム間でも AF は同じような値をとることが分かる。一方、甲状腺等サイズが小さく形状も個人により異なる臓器では、ファントムにより AF が有意に異なる。

内部被ばくの場合には、臓器間の距離と臓器の形状が AF に明らかに影響を与えるため、特に現実的な人体モデルを使用することが必要である。

4. 3 体外計測装置の校正

原子力機構が有する体外計測装置の校正定数をシミュレーション計算から取得した例を図5に示す¹¹⁾。体内に均一に分布した線源から単色エネルギー光子が放出された場合の、Ge検出器を用いた体外測定のパーク検出効率を示している。普段校正に使用されている水ブロックファントムでは、ボクセルファントムに比べて校正定数が低めに出ることが分かる。

ボクセルファントムを用いた校正は、放出光子エネルギーが低い時に特に重要な役割を果たす。原子力機構で整備してきたボクセルファントムを用いた校正手法は、体外計測に関する国際比較においても良い成績を挙げている。

5. おわりに

原子力機構では開発した日本人ボクセルファントムを使用して、様々な状況を想定したシミュレーションが行われ、その有用性が確認されてきた。世界的に見ても、かつて主流であった数式ファントムに替わり、様々な分野における線量計算でボクセルファントムが使用されてきている。

ボクセルファントムの重要な応用分野の一つは、個人に対する正確な線量評価が必要な医療分野であり、原子力機構においても、大学等と協力して放射線治療における患者の線量を高精度で計算するシステムの開発を行ってきた¹⁴⁾。

動物ファントムの利用も活発になりつつある¹⁵⁾。放射性薬剤の開発や放射線影響研究において、また、環境防護にも動物ファントムが活用されて行くことが期待される。さらに、情報通信研究機構を中心に、電磁波への曝露量評価のための興味あるファントム開発も行われている¹⁶⁾。

今後、ボクセルファントムとその応用技術は広い用途への活用が期待されるため、ニーズに応じた研究、技術開発も適切に進めることが必要である。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、原子力機構の佐藤薫研究員、木名瀬栄副主任研究員の関連した研究成果を使用させていただきました。ありがとうございました。

参考文献

- 1) W.S. Snyder, et al. : J. Nucl. Med., 10, Supplement No. 3 (1969).
- 2) H. Schlattl, et al. : Phys. Med. Biol., 52, 2123 (2007).
- 3) K. Saito, et al. : Radiat. Environ. Biophys. 40, 69 (2001).
- 4) K. Saito, et al. : Jap. J. Health Phys. 43, 122 (2008).
- 5) K. Sato, et al. : Radiat. Prot. Dosim., 123, 337 (2007)
- 6) T. Tanaka, et al. : NIRS-M-115 (1996).
- 7) K.Sato, et al. : Radiat. Prot. Dosim., 127, 205 (2007).
- 8) W.R. Nelson, et al. : SLAC-265 (1985).
- 9) J. Funabiki, et al. : KEK Proceedings 2000-20, 56 (2000).
- 10) S. Kinase, et al. : Radiat. Prot. Dosim., 105, 557 (2003).
- 11) S. Kinase, et al. : Radiat. Prot. Dosim., 125, 159 (2007).
- 12) J. Funabiki, et al. : KEK Proceedings 2001-22, 80 (2001).
- 13) K. Sato, et al. : The 41 st annual conference of Japan Health Physics Society, Tokyo, June 14-15, 2007.
- 14) K. Saito, et al. : Radiat. Prot. Dosim., 116, 190 (2006).
- 15) S. Kinase, et al. : J. Nucl. Sci. Technol., Suppl. 5, 268 (2008).
- 16) T. Nagaoka, et al. : Phys. Med. Biol., 49, 1 (2004).

プロフィール

長野県出身。東京工業大学原子核工学科修士課程終了。日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）に入所後、環境放射線の測定・評価に関する研究に従事し、特にシミュレーションによる環境γ線の特性解析を担当した。その後、数値ファントムを利用した線量評価の研究を開始し、日本人ボクセルファントムを開発して線量評価研究を行ってきた。また、シミュレーション計算を利用した微視的放射線影響過程の研究を実施している。最近ではボクセルファントム技術を応用し、ネットワークを利用した治療線量計算システムの開発にも携わった。

E-mail : saito.kimiaki@jaea.go.jp

オバマ大統領誕生とアメリカのダイナミズム

前・原子力委員 町 末 男



人種差別の壁乗り越えたアメリカ

ワシントン時間1月20日正午にオバマ新大統領の宣誓式と就任演説が行なわれた。全米から二百万人が集まり、キャピトール（議事堂）とワシントンメモリアル間の広大な広場が人の波で埋まった。先日の調査では支持率68%でケネディ大統領に次ぐ高さである。

私は黒人のオバマ氏をその政策と実行力に対する期待のもとに大統領に選んだアメリカ国民に大きい敬意を表したい。公民権法は45年前に成立したばかりである。私がアメリカで研究していた40年前には私の働いていた大学の原子力工学科には教授も学生にも黒人はいなかった。大学全体でも黒人の学生は少なかった。他方、原子力工学科の建物の清掃をしているのは殆ど黒人だった。南部を旅した時など、公衆トイレや水飲み場は白人用と黒人用が区別されていた。

オバマ大統領は就任演説で「60年足らず前には父親が、その町のレストランで食事をする事が出来なかったかもしれない」と述べている。それから僅か60年後、人種差別の高い壁を乗り越えて、その息子が大統領になり、新しい希望の時代に進もうとしているのである。このダイナミズムこそがアメリカの偉大さであり力だと感ずる。



キング牧師

1963年ワシントンで「I Have a Dream」で有名な演説を行なう公民権運動の指導者キング牧師。翌年1964年公民権法が制定され法律上人種差別が終わった。

オバマ大統領の名演説―「貧しい国の人々よ、」

オバマ大統領の演説は聞く人の心をとらえる。就任演説のなかで、私の心に残ったのは、貧困の撲滅について、途上国に「貧しい国の人々よ」と呼びかけて「我々はあなた方の農場に豊かに作物が実り、きれいな水が流れ、飢えた人々に食物を与え、飢えた心を満たすように、あなた方と共に働くことを誓う」と述べたことである。

そして更に、「世界は変わった、我々もそれと共に、変らなければならない」と国民に呼びかけている。

イスラムの世界に向けては、「我々は相互の利益と尊敬の上に立って前進する新しい道を探求する」、そしてイスラムの指導者には「あなた方の国民は何を築く事ができるかで、あなたがたを評価するのであって、何を破壊するかによってではない」と呼びかけている。まことに印象深い演説である。



オバマ大統領

アメリカ再生へ科学の力を活用

アメリカをこの経済危機から救う手段の一つとしてオバマ大統領は就任演説で「科学を本来の地位に戻し、技術の素晴らしい力を利用して医療のコストを下げ、質を高める。太陽や風力および土壌を利用して車の燃料とし、工場を動かす」と科学技術の力を高く評価している。

また、オバマ大統領は「グリーン・ニューディール」政策を提唱している。クリーンなエネルギー産業を発展させて不況を乗り切ろうというものだ。とくに、風力、太陽エネルギー、バイオマスなどの再生可能エネルギーの利用を拡大するとしている。

オバマ政権と原子力エネルギー

就任演説は原子力エネルギーには触れていない。ブッシュ大統領時代に打ち出した原子力カルネーションの政策が今後どうなるかが注目される。地球温暖化抑止に熱意のあるオバマ大統領が今後、経済性が高く、大量安定供給可能な低炭素エネルギー技術である原子力発電の温暖化抑止法としての価値を理解するであろうと期待する。新しいエネルギー庁長官にノーベル物理学賞受章者のチュー博士が就任した事も注目に値する。
(2009年1月22日稿)

ハンガリーのウラン鉱山印象記



反町 篤行*

細田 正洋*¹、石川 徹夫*²、床次 眞司*³

1. はじめに

我が国では原子力発電所から生じるウラン廃棄物の処分に関して検討が始まっており、廃棄物由来の放射性核種の環境移行に関して研究が進められている。ウラン廃棄物からは放射性壊変により将来的にはラドン (^{222}Rn) も発生するため、ラドンも含めて環境影響を検討する必要がある。このような検討を進めていくうえで、実際にウラン廃棄物を埋設した地域において、ラドン散逸率やその関連パラメータを調査できれば貴重なデータとなる。

放医研では2003年に日本学術振興会・外国人特別研究員の制度によってハンガリー・パンノニア大学のラドン研究者を受け入れて以来、同大学との研究交流を深めてきた。我々はこの度、同大学の全面的な協力を得て、ハンガリーのウラン鉱山跡地

(鉱山を閉山した後に環境修復処理中のサイト)を訪問した¹⁾。そこで、我々のチームは海外における閉山処理中のウラン鉱山をフィールドとした調査を計画した。

2. 閉山処理中のハンガリーウラン鉱山

Mecsek ウラン鉱山は、ハンガリー南西部の都市である Pécs の近郊に所在し (図1)、ハンガリー唯一のウラン鉱山として1964年以来操業を続けてきた。しかし、採掘の経済性や過酷な労働環境等の問題があったため、政府が1997年に閉山を決定した。その後鉱山跡地では、州立の企業である Mecsek Ore Environment Company が環境修復作業を行っている。また、環境修復作業とともに、水質や環境放射線 (能) のモニタリングも実施している。

図2に修復中の tailing pond (残渣物

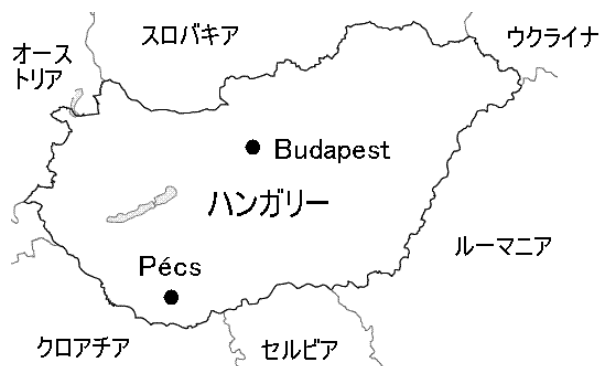


図1 ハンガリーの地図と Pécs の位置

*Atsuyuki SORIMACHI 独立行政法人 放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター 研究員、*¹Masahiro HOSODA 同 博士研究員、*²Tetsuo ISHIKAWA 同 主任研究員、*³Shinji TOKONAMI 同 室長

表 閉山処理中のハンガリーウラン鉱山における測定項目

Measurement item	Unit	Measurement method	Model (manufacturer)
Radon exhalation rate	Bq m ⁻² s ⁻¹	Accumulation method with scintillation cell	AB-5 & 110A (Pylon Electronics Inc., Canada)
Ambient radon concentration	Bq m ⁻³	Pulse ionization chamber	AlphaGUARD (Genitron GmbH, Germany)
Gamma-ray dose rate	nGy h ⁻¹	CsI (TI) scintillation survey meter	PDR-101 (Aloka Co., Ltd., Japan)
Radionuclide contents (²³⁸ U and ²³² Th series and ⁴⁰ K) in soil	Bq kg ⁻¹	Gamma spectrometer with a high-purity germanium coaxial detector	GEM (EG&G Instruments, USA)
Waterborne radon concentration	Bq L ⁻¹	Electrostatic collection method	RAD 7 (DurrIDGE Co. Inc., USA)
Volumetric water content in soil %		Amplitude domain reflectometry	ML 2 x (Delta-T Devices, UK)
Soil temperature	°C	Thermister thermometer	CT-220 (Customize Creation, Japan)
Indoor radon concentration	Bq m ⁻³	Alpha track detector	Raduet (Radosys, Hungary)



図2 Tailing pond に盛り土の作業をしている現場



図3 修復作業後の Tailing pond

の堆積場)の現場の写真を示す。図2に示すように、我々が訪れたときにはブルドーザーで盛り土の作業を行っている最中であつた。写真において、人とトラックの大きさを比べるとサイトの広さが見て取れ、写真の左横に植生が生えた地表面と盛り土の高さを考えると tailing pond の処理現場の規模の大きさに圧倒される。図3は修復後の tailing pond である。この tailing pond は59.3ヘクタール (5.93×10⁵ m²) という広大な広さであり、東京ドームの建築面積 (4.68×10⁴ m²) の約13個分の広さである。図3のように既に表面に草が生えており、以前に堆積場であつたということを感じさせないほどに原状回復されている印象を受けた。Tailing pond の修復作業の

工程において、単に土を盛るだけでなく、草の種子や窒素成分を含む化学肥料等がまかれ、植生が復活するような処置がされている。

ウラン鉱山への雨水や地下へ浸透した地下水に対しては、放射性物質の管理がされていた。図4はウラン鉱山の地下水の処理現場の写真である。この写真の右横には処理水が写っているが、後に近くの一般河川に放流される。その際に、処理水及び一般河川の水質の管理がなされていた。

3. 環境放射能(線)の測定

今回は、ウラン鉱山跡地における環境防護及び周辺住民・作業者の防護の観点から、ラドン散逸率や空間ガンマ線線量率及びそ



図4 地下水の処理場の様子

れらに関連するパラメータに関して測定を行った(表)。これらの測定は修復中及び修復後の tailing pond において行われた(それぞれ図2及び図3)。図5に修復中の tailing pond の現場におけるラドン散逸率の測定及び土壌のサンプリングの様子を示す。ラドン散逸率は、ステンレス製容器に土壌から散逸してきたラドンを測定する蓄積法により測定された。蓄積されたラドンはシンチレーションセルに封入され、サンプリング終了後にアルファ線計数装置によりアルファ線を計数し、ラドン散逸率を計算した。その周辺において大気中ラドン濃度及び空間ガンマ線線量率を測定するとともに、土壌をサンプリングし、天然放射性核種濃度を測定した。また、処理後の地下水及び一般河川の水の中ラドン濃度についても測定を行った。このようにして取得した測定データは別報としてまとめる予定である。

4. おわりに

今回の調査では、図2及び図3に示したように、陽射しを遮るものが何もない炎天下の平原で、一日中測定を行うのはかなり過酷な作業であった。しかしながら、この研究によって得られた成果は、近隣住民の



図5 Tailing pond 処理地におけるラドン散逸率測定及び土壌サンプリング

生活水の拠点の保護や同様の事情をもつ他国のために重要なデータを提供すると考えられる。そのため、実際にウラン廃棄物を埋設したフィールドで各種の測定を行えた経験は貴重であった。

謝辞

本研究は、平成20年度放医研理事長調整費(萌芽的研究)「ウラン残土埋設地域における天然放射性核種による環境への影響評価手法の検討」の助成により行われた。

参考文献

- 1) 石川徹夫、反町篤行、細田正洋、床次眞司、ハンガリーにおける閉山処理中のウラン鉱山訪問記。保健物理 43(4), 320-322 (2008)

プロフィール

反町 篤行(そりまち あつゆき)
群馬県生まれ。(独)放射線医学総合研究所放射線防護研究センター防護技術部環境放射能調査支援室。研究員。埼玉大学大学院理工学研究科博士後期課程生物環境科学専攻修了。博士(学術)。ガス・粒子状物質の環境動態解析及び測定法の開発に関する研究。

E-mail : sorimac@nirs.go.jp

線源製造施設の紹介

1. はじめに

弊社は、2000年4月にがん治療に用いられる医療用線源および非破壊検査等に用いられる工業用線源の製造を開始し、10年目を迎えようとしています。

当グループで行っているラジオアイソトープ (RI) の製造に関しては、すでに、フィルムバッジニュース No.283 (2000.7月号) で紹介しましたが、原研 (現日本原子力研究開発機構：原子力機構) の RI 製造施設で実施しています。

今回は、前回紹介した内容と多少重複することをお許しいただき、最近の線源製造グループの業務についてご紹介いたします。

2. 医療用線源の製造

2.1 製造品目

現在、がん治療用の RI 線源として、低線量率の金グレイン (Au-198) と7種類のイリジウム (Ir-192) 線源 (線源形状：ヘアピン、シングルピン、シード、シードアセンブリおよび3種類のシンワイヤ) の製造を行っています。これらの製品の製造作業は、写真-1 に示すような鉛10 cm 厚さ



写真-1 製造セル

で遮へいされたセル内でトングを用い、遠隔操作によって行います。

各々の製品の放射能は、写真-2 に示す

ようなアクリル製試験管に線源を入れ、井戸型電離箱でコンピュータ制御により自動測定します。

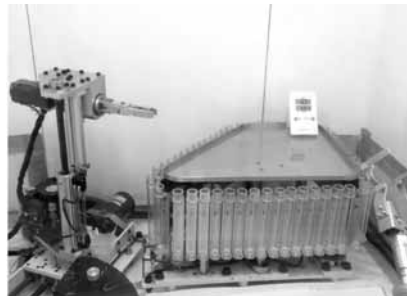


写真-2 放射能自動測定装置

2008年度の医療用線源の製造実績は、毎週1回行う Au-198線源では年間約2,600個、2ヶ月ごとに行う Ir-192シンワイヤでは年間約60個、3ヶ月ごとに行うヘアピンおよびシングルピンでは70個程度です。

いずれの製品も研究炉 (JRR-3またはJRR-4を併用) を利用して製造されます。

RALS用 Ir-192線源は、材料試験炉 (JMTR) で製造されますが、JMTRの改造計画のため現在停止中で、製造は中断しているところです。

2.2 医療用密封線源の等級試験

密封線源については、その用途に対する性能要件が JIS (ISO 対応) によって定められ、製造業者が密封線源の安全性を評価することとされています。

弊社が製造している治療用の低線量率線源については、当初は等級試験を実施していませんでしたが、2006年に実施し、医療用線源の等級を明確にしました。

等級試験は、実物相当の線源 (放射能：規格値の1/5程度の Au-198線源および1/20程度の種々の Ir-192線源) を用いて

表－1 代表的な用途に対する密封線源の性能要件

密封線源の用途		要求される試験項目および等級				
		温度	圧力	衝撃	振動	パンク
医療用線源	組織内および腔内用	5	3	2	1	1
	γ線遠隔照射治療用	5	3	5	2	4
ラジオグラフィ用線源 (工業用)	機器に装備されていないもの	4	3	5	1	5
	機器に装備されているもの	4	3	3	1	3

表－2 等級別試験条件および試験結果

試験項目、試験条件 及び等級	温度	圧力	衝撃	振動	パンク	曲げ
		5	3	2	1	1
製品名	-40℃ (20 min) +600℃ (1 h) 熱衝撃 600℃ → 20℃	25 kPa ↓ 2 MPa (絶対圧)	1 m から 50 g	無試験	無試験	線源全長 > 30 mm 90度曲げた のち、戻す
¹⁹⁸ Au グレイン (AGS-1)	適合	適合	適合	-	-	-
¹⁹² Ir ヘアピン (IHS-1)	適合	適合	適合	-	-	適合
¹⁹² Ir シングルピン (ISS-1)	適合	適合	適合	-	-	適合
¹⁹² Ir シンワイヤ (ITS-1) (ITS-2) (ITS-3)	適合	適合	適合	-	-	適合

行いました。

JIS に定められた試験条件下で、試験線源について各試験項目を実施したのち、放射能漏出検査を行います。放射能漏出量が検出限度値200 Bq を超えなければ密封性があるものとみなされ、等級が決定されます。組織内および腔内用の医療用密封線源ならびにその他の代表的な用途に対する密封線源の性能要件を表－1 に示します。表－2 には当グループで実施した低線量率線源の試験結果を示しました。

3. 工業用線源の製造

工業用線源としては、溶接部等の非破壊検査に利用されるイリジウム (Ir-192) 線

源およびイットテルビウム (Yb-169) 線源、ならびにレベル計等に用いられるコバルト (Co-60) 線源の製造を行っています。

製造は、写真－3 に示すような重量コンクリート (厚さ68 cm) で遮へいされたケー



写真－3 重量コンクリートケーブ

ブを使用し、マニピュレータによる遠隔操作で行います。

工業用 Ir 線源 (Ir-192 370 GBq/個) は、年間 6 回、約 1,300 個を JMTR と JRR-3 を併用して製造してきましたが、2006 年から JMTR の停止により、年間 4 回の製造となりました。そのほか 2 回は、製品の輸入対応で安定供給をしています。

Yb-169 線源 (370 GBq/個) は、核燃料再処理施設で使われる SUS 製薄肉配管の溶接部の非破壊検査に利用されています。

2001 年の建設最盛期には、年間 100 個を超える線源が使用されました。最近は、定期検査のみの利用となったため、年間 5 個程度を輸入し、当グループで放射能測定および放射能漏出等の試験検査を行って供給しています。

Co-60 線源 (37~740 MBq/個) は、年間 1~2 回、50 個程度の線源を供給しています。

4. 精製 RI の製造

4.1 短寿命核種の製造

2004 年には、あらたに短寿命の精製 RI 4 核種 (Na-24、K-42、Cu-64、Mo-99) の製造技術を原子力機構から継承しました。

精製 RI は、これまでの治療用線源と異なり、溶液の取り扱いとなるので繊細な技術が要求されます。今のところ、カリウム (K-42) の供給に留まっています。

4.2 イットリウム (Y-90) 溶液の供給

Y-90 は、ストロンチウム (Sr-90) の娘核種として、強いベータ線 (2.28 MeV) を放出します。わが国でも 2008 年に Y-90 標識薬剤が悪性リンパ腫の抗体として薬事承認がなされ、今後の放射免疫療法が期待されています。

当グループでは、2004 年から 3 年間、輸入した Y-90 溶液を調製、小分け、分取し、国内医療機関 10 箇所に標識薬剤の研究開発用として提供しました。

4.3 高比放射能 RI の製造技術開発

2008 年 10 月からは、原子力機構との業務

委託契約「RI を用いたがん治療と診断を目指した放射性薬剤開発」の一環として、レニウム (Re-186)、タングステン (W-188) およびルテチウム (Lu-177) の高比放射能の大量製造を目的とした技術開発を進めています。現在は、既存の製造技術を継承しているところです。

写真-4 に、製造セル内の Re-186 精製 RI 製造装置を示しました。



写真-4 Re-186 製造装置

5. その他の業務

5.1 BM 型輸送容器の性能維持管理

工業用 Ir-192 線源 (約 150 TBq) を日本アイソトープ協会殿へ供給する際は、BM 型輸送容器を使用して行います。BM 型輸送容器については、性能を維持するために年 1 回以上の定期的な保守点検を行うこととされています。当グループでは、線源収納容器 2 基、保護容器 3 基を所有しており、表-3 に示した検査項目について定期検査を実施しています。検査項目のうち、特に、吊り上げ荷重検査を行うときが一番緊張します。写真-5 に示した容器の吊り上げ用シャックルを支える溶接部をトラニオン



写真-5 線源収納容器のトラニオン

表－3 BM型輸送容器の定期検査

検査項目		検査方法	合格基準
①外観検査		目視検査	傷、亀裂、塗装、形状等に異常がないこと
②寸法検査		主要部の寸法測定	設計製作図の公差内であること
③吊り上げ荷重検査	線源収納容器	トラニオンに荷重負荷し、異常の有無を検査	自重（線源収納容器と組になる場合は、線源収納容器と保護容器の総重量）の2倍の荷重に耐えること
	保護容器		
④容器表面の汚染検査		スマイヤ法による検査	表面の放射性物質の密度 4 Bq/cm ² を超えないこと

（耳軸）と称していますが、このトラニオンが、線源収納容器と保護容器の総重量の2倍の荷重（3.68トン）に耐えることを検査します。容器の吊り上げには10トン用クレーンを使用し、吊り具には耐荷重に適切なナイロンスリングを用いています。

ナイロンスリングが荷重に耐えて徐々に引っ張られるスリングな瞬間です。まるで、ナイロンスリングの耐荷重を検査しているかのような緊張です。検査の様子を写真－6に示します。



写真－6 吊り上げ荷重検査

6. おわりに

低線量率の治療用線源の製造では、研究炉のJRR-3およびJRR-4が併用して利用されます。いずれかの原子炉が定期点検で運転停止されても、どちらかは運転するように計画され、安定供給が可能です。しかし、2008年1月からはJRR-4が計画外

停止され、一部の製品は海外炉での照射で何とか供給できましたが、短半減期の金グレインをオランダや韓国から輸入供給するのは時間との戦いでした。

また、高線量率のRALS用Ir線源の製造では、高熱中性子束密度が利用できる材料試験炉（JMTR）の照射が不可欠です。

しかし、JMTRは、2006年8月に施設改造のため停止されました。RALS用Ir線源の国産による製造は中断したものの、現在はすべて製品輸入によって安定供給がなされております。

高線量率RALS用Ir線源の国内利用の普およびに伴い、これまでの低線量率Ir線源の利用が大幅に減少している状況です。

短寿命の精製RIの製造では、わずかにカリウム（K-42）製品を供給したにとどまっているのが現状で、今後の利用拡大が待たれるところです。

一方、2008年10月から、原子力機構との業務契約で強β線核種Re-186、W-188、Lu-177の大量製造技術の開発を進めており、がん治療用放射性薬剤の開発に貢献できるよう願っております。

※写真の製造セル、放射能自動測定装置、重量コンクリートケープは、原子力機構と設備使用賃貸借契約により使用しているものです。

（線源製造グループ：米田 収一）

サービス部門からのお知らせ

4月1日はガラスバッジの交換日です。

平素は弊社のモニタリングサービスをご利用くださりまして、誠にありがとうございます。
4月1日はガラスバッジ、ガラスリングの交換日です。

平成20年度の個人線量の集計は平成20年4月1日から平成21年3月31日までのご使用分が対象です。平成20年度内にご使用分のガラスバッジのデータが揃った方を対象に、法定管理帳票として年間合計の入った「個人線量管理票」が出力されます。

ご使用期間が3月31日までのガラスバッジは、ご使用期間終了後、速やかに弊社測定センターまでご返送くださいますよう、お願い申し上げます。

4月1日の交換時期が遅れてしまいますと、年線量限度と対比する個人の年線量の値が正しく集計されない場合がございますので、ご注意ください。

なお、4月1日以降にご使用いただいたガラスバッジは、新たに平成21年度分の個人線量として、四半期ごとに「個人線量管理票」が出力されます。



編集後記

●今月号の巻頭には「ICRP 第2 専門委員会の近況について」と題して、名古屋大学の石樽信人教授にご執筆いただきました。また「日本人ボクセルファントムの開発と応用例」と題して、日本原子力研究開発機構の斎藤公明様にご執筆いただきました。十人十色である各個人のパラメータを地域別・性別等で標準化。それを基にボクセルファントムを作成し、評価を行う。基準を定めるために重要な標準化が、膨大な量のデータと時間で成り立っていることを実感いたしました。私の体重は標準をオーバーしていますが、この場合、モデル等から評価された被ばく量よりも過大なのか過小なのか、いささか気になるところです。また、国際天文年である今年、宇宙放射線防護の議論が進展することを期待しています。

●長期にわたりコラムを連載していただいています町末男様からは、オバマ大統領就任を受け、寄稿していただ

きました。景気の悪化が叫ばれている昨今、国内外において景気の回復は元より、エネルギー・医療等において原子力・放射線の平和利用がますます促進されることを願います。

●放射線医学総合研究所 反町篤行様からは「ハンガリーのウラン鉱山印象記」を寄稿いただきました。私も学生時代は環境放射能の研究を行っており、モニタリングを行っていた若かりし頃を思い出しました（国内専門ですが…）。ウラン残土埋設地域での測定結果には非常に興味があるところでした。

●先日、数年振りに雪山へスキーに行きました。一面の銀世界に、慌しい日常で疲労した心が洗われました。ただ、肉体は運動不足のおかげで悲鳴をあげてしまいましたが、今年こそは体重を標準に近づけようと誓った一日でした。

(亀田周二)

FBNews No.388

発行日/平成21年4月1日

発行人/細田敏和

編集委員/竹内宣博 福田光道 中村尚司 金子正人 加藤和明 小迫智昭 壽藤紀道

藤崎三郎 安田豊 野呂瀬富也 丸山百合子 窪田和永 亀田周二 高羽百合子

発行所/株式会社千代田テクノル 線量計測事業本部

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4階

電話/03-3816-5210 FAX/03-5803-4890

http://www.c-technol.co.jp

印刷/株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円(本体381円)