

●トップコラム／理化学研究所仁科加速器科学研究センター
センター長 櫻井 博儀

●簡単に分かる内部被ばくモニタリング／〔第1回〕体内放射能の測定方法

●お願い／ルミネスバッジが届かない!?

●お知らせ／令和4年度 放射線安全取扱部会年次大会
(第63回放射線管理研修会)

●ちょっと知っ得2／「着物が語源の言葉」ご存知ですか?

ト
ッ
プ
コ
ラ
ム
248

櫻井 博儀

元素変換

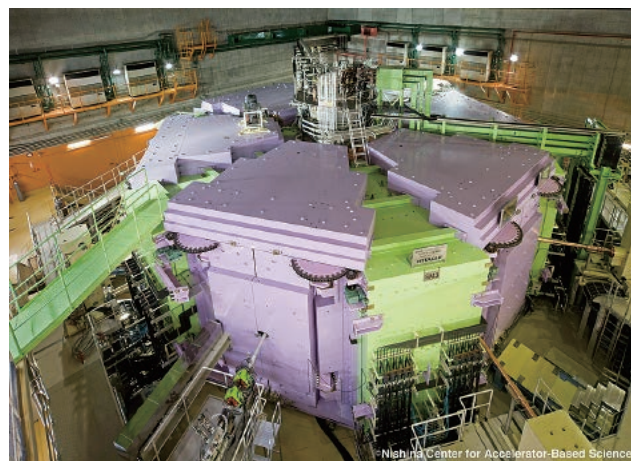
中性子が発見され、原子核が陽子と中性子で構成されていることがわかったのは90年前の1932年である。その後、人類は天然に安定に存在する原子核の陽子数、中性子数を、加速器や原子炉などを利用して人工的に変化させ、放射性同位元素 (RI) をつくり続けてきた。安定原子核は約300種、理論的に存在が予想されている原子核は約1万種あり、人類が生成と発見に成功した原子核は現在、約3300種である。理化学研究所 (理研) は、仁科芳雄博士が世界で2番目のサイクロトロンを建設した1937年から、継続的に元素変換に挑んでいる。

理研の重イオン加速器施設「RIビームファクトリー」(RIBF) は、核子当たり数MeVから345 MeVまでの重イオンビームを利用して、未知のRIを人工的に生産する施設であり、いわば、現代の「錬金術」施設である。百花繚乱の如く、重イオンビームの利用は幅広い。新元素合成や中性子過剰なRIを対象とする原子核物理学の基礎研究だけでなく、放射性医薬品用RIの製造と頒布、重イオンビームの大きな線エネルギー付与を活かした、育種や宇宙産業用半導体試験などが行われている。これらの研究開発を支えているのが、重イオン加速器群である。線形加速器2台とサイクロトロン5台を有し、その中心は世界最高性能を誇る「超伝導リングサイクロトロン」(SRC) である (写真、理化学研究所提供)。

2007年から運用を開始したSRCは「RIビーム」を生成するための強力なドライバーとして利用されている。SRCで加速された核子当たり345 MeVの重イオンビームを標的に照射して、入射した重イオンをRIに変換する。生成されたRIは1

次ビームとほぼ同じ速さで前方に飛びだし、これらをRIビーム生成分離装置で収集分離して、2次ビームとして利用する。SRC稼働以来、新たに発見されたRIは150種を越え、2021年末時点での歴代新同位元素発見数ランキングでは、理研が5位 (191種)、日本が5位 (233種) にランクされている。

SRCは新しい研究領域を広げた。特にウランビームを利用した核分裂反応で、質量数100程度の中性子過剰なRIを大量生産し、宇宙での元素合成過程のひとつ「r過程」に世界で初めて到達した。高レベル放射性廃棄物に含まれる長半減期核分裂生成物をビームとして取り出し、「核のゴミ問題」の解決に向けた研究も世界初である。この他、魔法数研究や中性子ハローの構造、状態方程式の研究などで大きな成果が挙げられている。



RIBFは欧米のモノマネではなく、日本人の発案によりつくられた世界トップの施設である。RIビームのポテンシャルの高さが世界で認識されるようになり、欧米並で新たな重イオン施設建設の計画が進む中、世界の先導性を確保するため、RIBF高度化計画を提案している。この計画の中心は、新たな領域をさらに広げ、原子核の本質を極めることにある。人類が自在に元素を変換し、安全にエネルギーを取り出し、放射性廃棄物のない社会を実現することに挑戦したい。

さくらい ひろよし (理化学研究所仁科加速器科学研究センター
センター長)

プロフィール●東京大学理学系研究科博士課程修了、博士(理学)。理化学研究所主任研究員、東京大学教授などを経て、2020年より理化学研究所・仁科加速器科学研究センター・センター長。研究テーマは、RIビームを利用した、中性子過剰核の核構造やダイナミクス。福島事故が契機となり、高レベル放射性廃棄物中の長半減期RIの無害化研究も開始。仁科記念賞 (2015年)、21世紀発明賞 (2018年) を共同受賞。主な著書は「元素はどうしてできたのか?」(PHP研究所)。

簡単に分かる内部被ばくモニタリング

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研

はじめに

本稿では主に原子力施設の放射線業務従事者に対する内部被ばくモニタリングについて紹介します。外部被ばくと内部被ばくは両方とも実効線量(単位:Sv)によって被ばくの大きさを表しますが、その測定方法や評価方法はまったく異なります。外部被ばくは、OSL線量計等の個人線量計を着用することで比較的容易に、またほとんどの被ばく状況において同品質な測定が可能です。一方、内部被ばくは複数の測定方法があり、その用途や測定精度が異なるなどより複雑です。本紙の読者はOSL線量計ユーザーの方が多いと思いますが、内部被ばくモニタリングを定常的に受けている方は少ないかもしれません。万が一内部被ばくしてしまった際にどのように測定され、被ばく線量が求められるのかについて、少しでも知っていただければ幸いです。

内部被ばくモニタリングは、体に取り込んでしまった放射性物質の種類と量の測定と、体内の放射性物質から受ける被ばく線量の計算評価の2つのプロセスに大きく分けられます。そこで今月号では体内の放射性物質の測定方法と使用される装置などについて紹介します。

内部被ばくモニタリングの特徴

外部被ばくと異なり、内部被ばくは体内に放射性物質が残っている期間被ばくが継続します。外部被ばくモニタリングでは個人線量計へ入射した放射「線」のエネルギー付与を計測し線量を求めますが、内部被ばくモニタリングでは体内に取り込まれた放射性物質の放射「能」を計測対象とします。放射性物質は核種によって放出する放射線の種類(α 線、 β 線、 γ 線など)が異なり、また、その化学的性質によって体内で留まる期間や部位が変化します。体内放射能を測る際はこれらの放射性物質の特徴を踏まえる必要があります。

表1にいくつかの放射性物質の内部被ばく上の特徴を示します。 ^3H (トリチウム)と ^{239}Pu (プルトニウム239)の実効線量係数(1 Bq摂取時の実効線量)を比較すると ^{239}Pu の

表1 放射性物質の内部被ばくに関する特徴

放射性物質の種類	主な放出放射線	留まりやすい臓器・組織	実効線量係数*
^3H (トリチウム水)	β 線	全身	1.8×10^{-8}
^{60}Co (酸化物)	γ 線	肺	1.7×10^{-5}
^{131}I (ヨウ化メチル以外の化合物)	γ 線	甲状腺	1.1×10^{-5}
^{239}Pu (酸化物)	α 線、X線	肺、骨、肝臓	8.3×10^{-3}

* 呼吸により1 Bq摂取したときの実効線量(mSv)

方が10万倍以上大きく、危険性が高いことがわかります。危険な放射性物質のモニタリングはより慎重に行う必要があります。 ^3H は水と同様に体内で循環し尿等から排泄されるため、尿中の β 線のエネルギー量を計測することで求めます。 ^{239}Pu は、便や尿から化学的に抽出し α 線を計測する方法や胸部に検出器を密着させ肺からの特性X線を計測する方法など複数の方法を組み合わせます。 ^{60}Co (コバルト60)、 ^{131}I (ヨウ素131)は体外に飛び出してくる γ 線を検出器により計測します。

内部被ばくモニタリングでは、外部被ばくのように作業員全員を同じ方法でモニタリングすることは合理的ではなく、内部被ばくのリスクや放射性物質の種類に応じて、対象者、方法、頻度を選択します。これをモニタリングプログラムと言います。モニタリングプログラムは主に内部被ばくが管理レベル以下であることの確認のための測定と管理レベルを超えた際の詳細測定に分類されます。内部被ばくの管理レベルは、通常1~2 mSvの範囲で設定され、このレベルを超えるもしくは超える可能性がある場合、被ばく原因などの調査や個人線量の記録などの管理が行われます。

内部被ばくモニタリングの3つの方法

内部被ばくモニタリングは主に体外計測、バイオアッセイ分析、空気中放射性物質濃度からの計算の3つの方法により行われます。**表2**にそれぞれの概要を示します。体外計測は γ 線などの透過性の高い放射線のみ計測でき、エネルギー弁別により核種同定します。数分~数十分程度の短時間で比較的精度のよい測定が可能です。用途に応じて簡易型と精密型の計測装置(**写真1**)があり、検出感度やバックグラウンド放射線低減用の遮蔽体の大きさが異なります。簡易型は主に内部被ばくの有無の確認、精密型は詳細な体内放射能の定量を目的とします。

福島第一原子力発電所事故の教訓から原子力災害時において主要な被ばく源となる ^{131}I の内部被ばくを高精度かつ迅速に測定するため、日本原子力研究開発機構は可搬型甲状腺



写真1 (左) 簡易型全身カウンタ
(右) 精密型全身カウンタ

第1回

体内放射能の測定方法

研究所 放射線管理部 線量管理課・技術副主幹 高橋 聖

腺モニタを新たに開発しました(写真2)*。この甲状腺モニタは周囲の放射線レベルが上昇する災害時でも使用でき、乳幼児から大人まで幅広い対象者の甲状腺中の微量な ^{131}I を短時間に測定可能です。また、内部被ばくモニタリングの専門家以外でも簡単に使用できるよう設計されています。本装置は医療分野における甲状腺 ^{131}I 測定にも応用が期待できます。

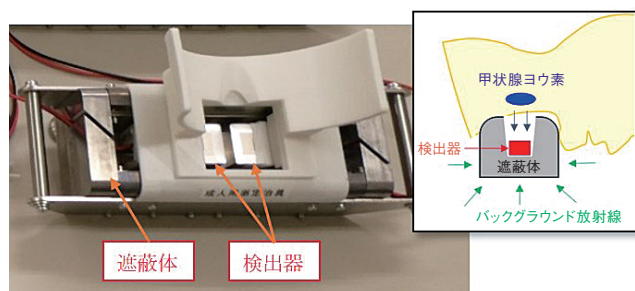
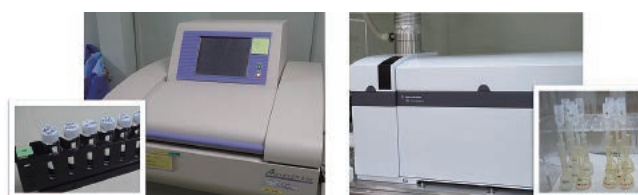


写真2 開発された甲状腺モニタ

バイオアッセイ分析では尿などの人体から採取した試料に含まれる放射能を測定します。体外計測では測定できない α 線や β 線も測定でき、微量な放射能の検知にも向いています。ただし、試料の蒸発や灰化などの前処理、放射性物質の抽出(化学分離)、放射能測定など多くの工程があるため時間がかかり、さらに化学分離の専門技術と設備が必要となります。代謝の個人差によるばらつきを考慮し、一定期間継続して試料を採取し平均化する場合もあります。液体シンチレーションカウンタによる尿中 β 線測定や、近年では誘導結合プラズマ質量分析装置による放射性同位元素の同定も行われます(写真3)。また、呼気や鼻汁の測定も放射性物質の体内摂取を迅速に調べる目的に行われます。

空气中放射能濃度からの計算では、滞在時間や呼吸量

から体内摂取量を求めます。空气中放射能濃度は作業場所の空気をサンプリングし、含まれる放射性物質を捕集して測定します。サンプリング地点と実際の作業域の濃度差を考慮し、内部被ばくを過小評価しないように測定値を10倍して計算することもあります。このようにあくまでも内部被ばくの推定値として扱われ、主に体外計測やバイオアッセイ分析の対象者選定の判断等に用いられます。

写真3 (左) 液体シンチレーションカウンタ
(右) 誘導結合プラズマ質量分析装置

摂取量の評価

体内の放射性物質は排泄や放射性壊変によって徐々に減少します。体外計測やバイオアッセイ分析ではモニタリング時点における体内や排泄物中の放射能を定量しますが、内部被ばくによる線量を求めるためにはすでに体内から失われた放射能の寄与分も考慮する必要があります。つまり最初に体内に摂取した量(摂取量)を求める必要があります。これには摂取からモニタリングまでの時間経過に対する放射性物質の残留割合や排泄割合を使います。これらは放射性物質の体内での挙動をモデル化することによって数値計算により求めます。このモデル計算については次号で説明します。

* 原子力規制委員会「平成30年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費」により実施

表2 内部被ばくモニタリングの3つの方法

モニタリング法	測定・分析方法	種類	特徴
体外計測	体外に置いた検出器により γ 線や X 線を検出する	全身計測、胸部計測、甲状腺計測など	γ 線などの高透過性放射線のみ検出可能 測定が簡便で比較的精度がよい 被検者の体の大きさや放射性物質の体内分布に影響を受ける
バイオアッセイ分析	排泄物などに含まれる放射能を測定する	尿分析、便分析、呼気測定、鼻スミヤなど	α 線、 β 線の低透過性放射線を含め検出可能 尿、便試料の場合、化学分析に時間を要し、専門技術が必要 化学分析の工程や代謝の個人差などが結果のばらつきに影響する
空气中放射能濃度からの計算	空気をサンプリングし放射能濃度と呼吸量から摂取量を計算する	定置式空気サンブラ、個人用空気サンブラ	定置式サンプリングの場合、個人の測定ではないため、あくまで推定値として、体外計測やバイオアッセイ分析実施の判断や内部被ばくのないことの確認などのため行われる

お願い

ルミネスバッジが届かない!?

(お問い合わせ: お客様サポートセンター)
Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8440

弊社ではお客様の着用周期に合わせ、ルミネスバッジを継続的にお届けしておりますが、お客様より「ルミネスバッジが届かない」とご連絡をいただくことがございます。その際速やかにバッジの再発行をいたしますが、「別の部署に届いていた」など、見つかることもあるようです。

ルミネスバッジがお手元に届かない場合、大

変お手数ですが、再度事業所内のご確認をお願いいたします。

なお、未着の主な原因といたしまして、送付先変更処理がされていない場合がございます。ご担当者や送付先住所の変更が生じた場合は、必ずご連絡くださいますようお願い申し上げます。

お知らせ

令和4年度 放射線安全取扱部会年次大会 (第63回放射線管理研修会)

会場: WEB開催

参加費: 事前・当日受付 6,000円、

(学生会員は事前受付のみ 2,000円)

新型コロナウイルス感染の収束が見通せないため、今年度の年次大会もWEB開催となりました。担当は北海道支部です。

プログラム概要(予定)

◆特別講演は、原子力規制庁から「放射線安全行政の現状について(仮題)」、また北海道ならではの話題として、「泊発電所の放射線管理と北海道胆振東部地震におけるブラックアウト対応」及び「北海道大学電子加速器駆動中性子実験施設の活動と放射線管理」の話題を紹介していただく予定です。シンポジウムでは「放射線測定器の精度向上と校正について」及び企画委員会の立案によるテーマで企画中です。ポスター発表はシンポジウムの中で、ショートプレゼンテーションとして演題を募集します。

【連絡先】(公社)日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会事務局
〒113-8941 東京都文京区本駒込2-28-45

Tel. 03-5395-8081 Fax. 03-5395-8053

E-mail nenjitaikai@jrias.or.jp

・詳しくはホームページをご参照ください。

https://www.jrias.or.jp/annual_meeting/index.html

ちよつと知っ得

「着物が語源の言葉」ご存知ですか?

「襟を正す」という言葉は着物からきているのを知っていますか? 漢の宋忠(後漢時代末期の学者、政治家)と賈誼(前漢時代の政治思想家、文章家)が司馬李主に会ったとき、「冠の紐を整え、襟をきちんと直し、正しく座り直した」という故事に基づき(諸説あり)、衣服の乱れを直し、姿勢を正しくすることを意味するようになりました。そこから派生し、真面目な気持ちで物事に対処する態度を示すことを表します。

「お裾分け」も着物からきています。衣服の下の縁の足にあたる部分を裾と呼びます。地面に近い末端の部分であることから、「つまらないもの」という意味があります。ここから謙遜を含めて「つまらないものですけどお裾分けです。」と使われるようになりました。お裾分けは他人からもらった品物などの一部をさらに知人に分け与えることで、目上の人に対して使うことは適切ではないようです。

「はしる」も着物からきている言葉です。「端折る(はしおる)」が変化した語で、元は着物の襟や裾を折り上げて帯などに挟むことをいいました。このように着物の端を折って短く縮めることから、省略することを「はしる」というようになったそうです。(M.I.)

編集後記



がふと頭に浮かびました。

随分昔からあったリニア構想は、かなりの時間を要しましたが数年前より試験運行するまでになりました。

そんな超電導リニアの体験乗車を熱望していた鉄道好きの私に2018年ようやく

今月のトップコラムの「超伝導リングサイクロトロン」の言葉に、リニアモーターカー

当選し、高揚感あふれる中でついに憧れの超ロングノーズに試乗!

タイヤ走行からスムーズに浮上走行した車両の中は振動もなく、瞬間に到達した時速500kmの世界に胸は躍り、まさに夢のような時間でした。

これから革新的な技術が作るより便利で豊かな未来を夢見て、リニア乗車券を思い出と共に大切にしまっておこうと思います。(J.K.)

長瀬ランダウア(株)ホームページ・Eメール

<https://www.nagase-landauer.co.jp>
E-mail: mail@nagase-landauer.co.jp

■当社へのお問い合わせ、ご連絡は

本社 Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8440

大阪 Tel.06-6535-2675 Fax.06-6541-0931

NLだより No.536
2022年(8月号)

毎月1日発行 発行部数: 41,700部

発行 長瀬ランダウア株式会社
〒300-2686

茨城県つくば市諏訪C22街区1
浅川 哲也