

- トップコラム／名古屋大学 アイソトープ総合センター分館 准教授 緒方 良至
- 医療診断と放射線／〔シリーズ6〕X線の電離作用
- New Horizon of Radiation Therapy／〔その5〕新技術の展開
- お願い／自動引落サービス（口座振替払い）がおトクです!!
- お知らせ／平成28年度放射線安全取扱部会年次大会（第57回放射線管理研修会）
- お知らせ／「保物セミナー 2016」開催のご案内

ト  
ッ  
プ  
コ  
ラ  
ム  
177



緒方 良至

## 放射能測定と不確かさ

年をとるにつれ忘れっぽくなり、「記憶の不確かさ」が増す。あちらの世界に近づいているせいであろうか。それはともかく、放射能の世界に限らず、計測一般で正しく「不確かさ」を評価することはたいへん大切なことであるが、的確に算定されていない事例も多い。放射能の測定では、計測の結果得られる値は、計数あるいは計数率である。一方、例えばある食品に含まれる放射能は壊変率(Bq)で評価しなければならない。この間を取り持つのが「計数効率」である。また、壊変は確率現象であり、計数 $N$ には、標準偏差(SD) $\sqrt{N}$ が伴う。例えば、計測の結果、10,000countsが得られたとすると、その標準偏差は、100countsとなり、相対標準偏差(変動係数)は、1%となる。計測結果は、この標準偏差も含めた測定系全体の不確かさ(uncertainty)を考慮して算定する必要がある。不確かさの要因には、(1)校正線源の不確かさ、(2)計数の不確かさ、(3)測定試料の形状に起因する不確かさ、(4)試料の自己吸収に起因する不確かさ、(5)(体積)試料の不均一に起因する不確かさ、(6)試料の配置に起因する不確かさ、(7)秤量に起因する不確かさ、(8)その他があげられる。計測結果は、これらの不確かさの二乗和の平方根として合成標準不確かさを算出し、さらに包含係数(coverage factor; $k$ )を乗じて拡張不確かさとする。

文部科学省の放射能測定シリーズ「ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー」(平成4年改訂版)は、実用的な解説書として優れた書物であり、測定誤差としては、標準偏差 $\sqrt{N}$ の記述を取り上げている。この書物に従って計算したか否かは定かではないが、例え

ば、福島でサンプリングしたある土壌の $^{137}\text{Cs}$ の放射能が $2.57 \pm 0.0032 \text{ kBq kg}^{-1}$ と記載された報告がある。日本で入手可能な $^{137}\text{Cs}$ 水溶液の相対拡張不確かさ( $k=2$ )は1.6%、また、体積線源では、5%(RI協会製放射能標準体積線源)や6.4%(日本分析化学会認定土壌標準線源)であり、これらを元に導いた計数効率を用いて評価する以上、標準線源の不確かさより小さな不確かさになることはない。上述の報告の評価値は、相対標準偏差として0.12%となる。この小さい値の根拠?というより、このような値を載せることで、この報告の信頼性が疑われる。海外の研究者から「(福島原発事故に関する)日本の放射能測定値は信用できない」と聞いたことがある。上記のような値を載せる報告がある以上、然もありなん。と置いていたところ、最近、IAEAから「日本の放射能測定値は信頼できる」というニュースが飛び込んできて、胸をなでおろしている(<https://www.iaea.org/newscenter/news/japanese-labs-reliable-in-analysing-seawater-sediment-and-fish-samples-near-fukushima-iaea-report-finds>)。

ところで、放射能の測定は、一般に標準線源を用いて得た「計数効率」を用いて計算する「比較測定法」で行われる。一方、測定された「生データ」のみから放射能を算定する「絶対測定法」がある。 $\beta$ 線と $\gamma$ 線を同時に放出する核種に適用できる $4\pi\beta\text{-}\gamma$ 同時計数法や液体シンチレーション計測法で3本の光電子増倍管(PMT)を用いるTDCR(Triple to Double Coincidence Ratio)法などがあり、標準線源の値付けに用いられている。ただ、特別な計測器や熟練した線源作成技術が必要である。一方、精度は劣るが、一度に複数の $\gamma$ 線を放出する核種に対しては、Ge検出器やNaI検出器のような通常の $\gamma$ 線スペクトル計測器で実行可能なsum-peak法がある。この方法は、1963年にBrinkmanらによって開発された。しかし、複数の核種が混在する試料に対しては適用できなかった。筆者らは、ピーク計数のみを用いて計算することにより、複数の核種が混在する試料に対しても適用できるModified sum-peak法を開発した。ご興味のある方は文献<sup>1)</sup>にあたっただければ幸いです。

1) Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, Vol.775, p34 (2015)

おがた よしむね(名古屋大学 アイソトープ総合センター分館 准教授)

プロフィール●名大病院、アイソトープ総合センター、医学部保健学科を経て、2015年より現職。環境学博士。放射線管理における放射能の測定を原点に、環境放射能測定や絶対測定法などの研究に従事。2007年には英国物理研究所に客員研究員として滞在。2009年、放射線安全管理功労表彰受賞。放射線教育フォーラム理事。

医療診断と放射線

〔シリーズ6〕 X線の電離作用



徳島大学大学院 医歯薬学研究部 助教 林 裕晃

今回で「医療診断と放射線」のシリーズは最終回です。このシリーズでは診断用X線の発生原理・性質・画像形成・医療被ばくを、少し噛み砕いて説明しました。いかがでしたか？最終稿では、少し趣旨は変わりますが、放射線とは何かということが分かる簡単な実験を紹介したいと思います。この装置は、大学のオープンキャンパス用に製作した装置で、X線の性質（電離作用）を高校物理の知識だけで理解できるようにになっています。頭の体操だと思って読んでください。

の正電荷を中和するような物理現象が起こったと理解できます。しかし、この考察だけでは不十分で、もう少し具体的に1つ1つの現象を素過程から説明する必要があります。「医療診断と放射線」シリーズで、X線は物質と相互作用をして、光電効果やコンプトン散乱を起こすということを説明しました。箔検電器のX線照射部は空気が満たされており、X線と空気分子が相互作用を起こすことによって、結果的に多数の正イオンおよび電子のペアが生成されます。箔上に分布する正電荷からは、電場が出ていますが、この電場によって電子が引き付けられ、箔の正電荷と中和するため、箔が閉じると理解できます。

このような物理現象は、図3の実験を追加で行うとさらに理解を深めることができるでしょう。図3の実験では、

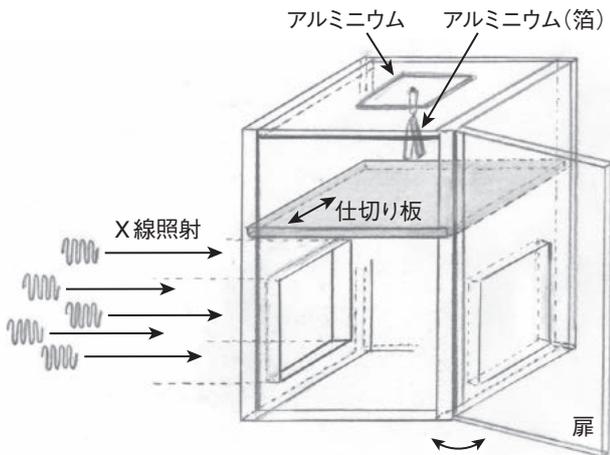


図1 X線実験用の箔検電器の概念図

図1は、箔検電器の概念図です。箔検電器は、閉じている箔に電荷を与えると箔が開くため、簡単に電荷の有無を判断できます。図1の装置は、(1)装置下部にX線を照射するための空間を有することと(2)X線照射部(下部)と箔が存在する部分(上部)をアクリル板によって仕切ることができるという特徴を有します。このような装置を用意し、箔を開かせた状況、すなわち箔が正電荷によって帯電している状態を初期状態とします。ここで、X線を装置下部に照射すると箔はどのように変化すると思いますか？

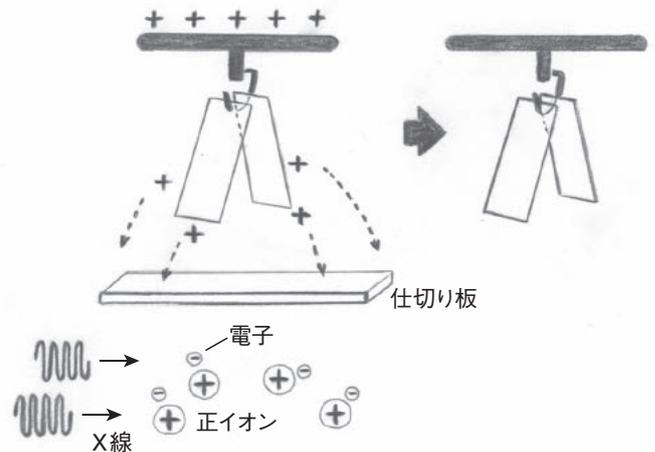


図3 X線照射後の箔の変化(仕切り板ありの場合)

仕切り板を追加した状態で、図1と同様の範囲にX線を照射しています。この実験は、「X線を照射しても箔は開いたままの状態を保持する」という結果になります。X線の照射部(装置の下半分の空間)に正イオンおよび電子のペアが生成される場所は図2と同じです。しかし、仕切り板によって箔からの電場が遮断され、さらに電子も仕切り板を通過できないため、電子と箔上の正電荷の中和が行われず、結果としてX線を照射しても箔が開いたまま保持されると理解できます。この実験からは、正イオンおよび電子のペアはX線の照射範囲(装置下部)のみに生成されることが分かります。

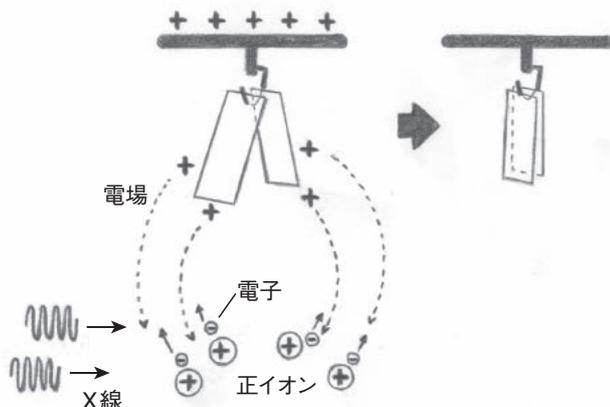


図2 X線照射後の箔の変化(仕切り板なしの場合)

図2は実験結果の模式図です。この実験は、「(図1中の)仕切り板を取り外した状態でX線を照射すると箔は閉じる」という結果になります。この現象は、X線照射によって、箔

放射線の定義は、「直接または間接的に空気を電離させる能力を有する」とされています。本実験の結果を通して、初めて知識を学ぶ者でも医療用のX線撮影装置から空気を電離させる何か(=X線)が出ていることを理解できると思います。私は大学の教員として、教育面で様々な工夫を行って、放射線の安全な利用を推進するための努力を続けようと思っています。NLだよりの読者の皆さん、何か面白いアイデアが浮かびましたら、ぜひ一声掛けてください。短い間でしたが、「医療診断と放射線」のシリーズをご愛読いただきまして誠に有難うございました。

## New Horizon of Radiation Therapy

## 〔その5〕 新技術の展開



国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所 加速器工学部 水島 康太

放医研では、1993年に建設された世界初の重粒子線がん治療用加速器 (HIMAC) を用いて翌1994年から重粒子線治療を行ってきましたが、それと並んで、治療の高度化を目指した加速器、照射装置などに関する研究、技術開発も行ってきました。今号は、放医研での研究開発によって生まれた次世代の重粒子線治療にかかわる新しい技術について紹介します。

重粒子線治療で使用される照射法には、主に、拡大ビーム法とスキニング法と呼ばれる2種類の方法があります。前者は、電磁石や散乱体で広げた荷電粒子ビームを、コリメータ等を用いて腫瘍形状にあわせて成形するもので、静的なシステム構成のため、装置制御が比較的容易で動く臓器にも対応しやすいという利点があります。後者のスキナ

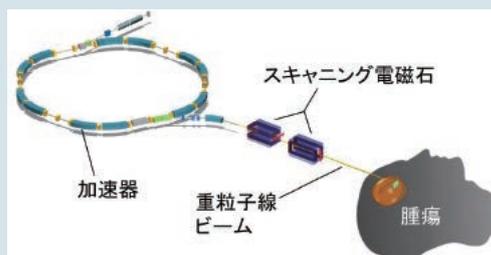


図1 スキニング照射法による重粒子線治療

ング法 (図1) は、細いビームを電磁石によって走査し、腫瘍を塗りつぶすように照射するもので、正常組織への線量付与を抑えつつ複雑な腫瘍形状にも適用可能で、治療期間中の腫瘍形状の変化にも対応できるという利点があり、現在、世界的にも主流となりつつある方法です。しかし従来、スキニング法を用いる場合には、照射中に何度もビームの位置やエネルギーを変える必要があるため、装置制御が複雑で、照射時間が長くなるという難点がありました。照射時間が長くなると、照射中に患者さんが動いて照射位置がずれてしまうリスク、そして、治療台に長時間固定される患者さんの負担も増えてしまいます。

そのような問題を解決するため、放医研ではいくつかの要素技術開発がありました。まず1つ目は、荷電粒子ビームを高速で走査するためのスキニング電磁石・電源の開発です。これによる高速スキニングでは、腫瘍に当てるビームの位置を1ミリ秒で100mm以上動かすことができるようになり、従来装置の

数倍の速度向上がありました。続いて、加速器制御技術の開発によって、ビームエネルギー変更の高速化とビーム強度最適化制御が行われ、照射時間を従来の1/2に短縮することが可能となりました。上記技術に付随して、治療計画方法も最適化のために見直され、最終的に出来上がったスキニング照射システムは、従来装置の数倍から数十倍の高速化を達成しました。そして、非常に高速な照射を行えるため、従来は不可能だった呼吸性移動臓器への適用も可能となりました。この成果は現在、放医研の開発した小型加速器装置とともに神奈川県立がんセンターの重粒子線治療施設 (i-ROCK) にも導入され、その性能が実証されています。

重粒子線治療施設の普及を目指した研究成果として、超伝導技術を用いた小型回転ガントリー照射装置 (図2) の開発についても紹介いたします。回転ガントリー照射装置とは、患者さんを動かすことなく360度任意の角度から重粒子線を照射可能にす

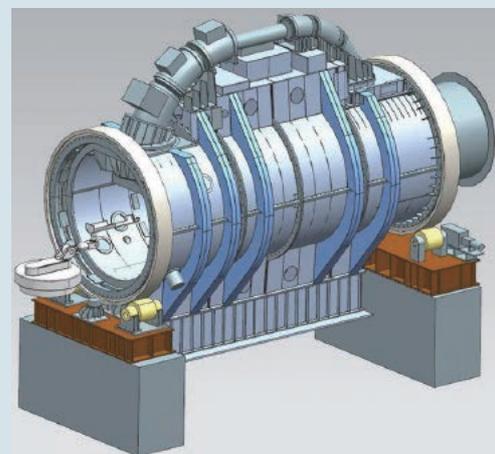


図2 超伝導電磁石を用いた回転ガントリー照射装置

るもので、これまで以上に正常組織へのダメージを抑えつつ腫瘍に十分な線量を与えるための最適な照射の実現を目指しています。従来装置では常伝導電磁石が使われていたために非常に大型で600tを超える重量がありましたが、放医研では超伝導電磁石を採用したことでサイズ、重量ともに1/2程度の小型化が実現できました。その大きさゆえに重粒子線治療では実用化がほとんど進んでいなかった回転ガントリー照射装置ですが、この成果と技術により、今後建てられる多くの重粒子線治療施設への普及が期待されます。

お願い

## 自動引落サービス(口座振替払い)がおトクです!!

お問い合わせ：お客様サポートセンター  
〈請求担当〉Tel.029-839-3323

日頃より当社の放射線被ばく線量測定サービスをご利用いただきまして、誠にありがとうございます。

当社では、測定サービス料などのお支払いに便利な自動引落サービス(口座振替払い)を提供しております。お支払いの際に銀行振込や郵便振替をご利用されている場合、振込手数料はお客様のご負担となりますが、このサ

ービスをご利用の場合、手数料は当社の負担となり、たいへんおトクです。

また、お客様のお振込の手続きも不要になりますので経済的かつ効率的です。ぜひ、この機会に自動引落サービスをご利用ください。

\*お申込後の請求から自動引落サービス(口座振替払い)となります。

お知らせ

平成28年度  
放射線安全取扱部会年次大会  
(第57回放射線管理研修会)

平成28年度年次大会は、テーマを「いいね鎌倉ー主任者よ立ち上がれー」として、鎌倉市で開催いたします。多くの皆様のご参加をお待ち申し上げます。

開催日：平成28年11月10日(木)、11日(金)

会場：鎌倉芸術館小ホール(JR大船駅東口より徒歩約10分)

交流会：鎌倉芸術館集会室

参加費：事前登録 6,000円 当日登録 7,000円

交流会事前登録 5,000円 当日登録 6,000円

ただし、学生は各事前登録のみで2,000円

・詳しくはホームページ(<http://www.jrias.or.jp>)をご参照ください。

プログラム概要(予定)

◆1日目[11月10日(木) 受付9:30~]

\*特別講演I「放射線安全行政の動向」(原子力規制庁)

\*ポスター発表・相談コーナー

\*シンポジウムI「(仮題)放射線利用における安全文化の醸成」

\*交流会

◆2日目[11月11日(金) 受付9:10~]

\*特別セッション「高校生による放射線研究発表」

\*特別講演II「(仮題)113番元素ニホニウム」(一般公開)

\*シンポジウムII「(仮題)最先端のガン治療と研究」(一般公開)

\*私の意見・支部の意見

\*大会まとめ・次回大会紹介・閉会

この他に機器展示、書籍コーナーを予定しています。

【連絡先】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 [gakujutsu@jrias.or.jp](mailto:gakujutsu@jrias.or.jp)

「保物セミナー2016」  
開催のご案内

開催日時：平成28年11月2日(水) 9:25~20:00

会場：大阪科学技術センター8階大ホール

(ボイリング・ディスカッションは地下1階)

〒550-0004 大阪市西区鞆本町1-8-4

参加費：5,000円(ボイリング参加者は別途5,000円)

主催：「保物セミナー2016」実行委員会

テーマ：1.「未定」

特別講演「放射線障害防止法関係の最近の動向」

2.「福島から考えるこれからのリスクコミュニケーション」

3.「低線量放射線のひとへの影響」

なお、テーマは変更になる場合があります。

【連絡先】〒542-0081 大阪市中央区南船場3-3-27

サンエイビル2F

NPO安全安心科学アカデミー内

「保物セミナー2016」事務局

Tel & Fax. 06-6252-0851

E-mail [seminar@esi.or.jp](mailto:seminar@esi.or.jp)

\*詳しくは、ホームページをご参照ください。

<http://www.anshin-kagaku.com/>

## 編集後記



緒方先生のお話にある放射能測定に関連しますが、私はかなり前に $\alpha$ ・ $\beta$ の標準線源を作製した経験があります。ウラン粉末を硝酸溶液に溶かし、線源のベースとなるステンレス板に塗って高温の電気炉で酸化ウラン( $U_3O_8$ )として焼付けていく。ウラン溶液を少しずつ刷毛につけて塗る方向を適宜変えていくのがコツで、一度に

多く塗ると線源面の放射線放出率に偏りができる。加熱時の温度と時間が合わないと焼付けが不十分で、酸化ウランが剥がれ易くなるので技術と神経を使う作業です。直径5cmの丸型線源を作るときは、まるで煎餅を焼いているようでした。

ところで煎餅は硬い食べ物の代表ですが、最近、抗加齢化として意識的に硬い食べ物をよく噛んでゆっくり食べる健康法を始めました。(T.I.)

長瀬ランダウア(株)ホームページ・Eメール

<http://www.nagase-landauer.co.jp>

E-mail: [mail@nagase-landauer.co.jp](mailto: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.465  
平成28年<9月号>

毎月1日発行 発行部数：38,600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

発行人 的場 洋明