

- トップコラム／(独)産業技術総合研究所 計測標準研究部門
研究科長 齋藤 則生
- まだまだ知られていない福島の実況／
〔その3〕放射線可視化技術の進展と除染方法の改善
- 元素とその放射性核種／〔その9〕水銀
- ご案内／個人線量測定サービス規約改定
- ご案内／環境測定サービスをご利用中のお客様へ
クイクセルバッジ新環境用ホルダ

ト
ツ
ブ
コ
ラ
ム
156



齋藤 則生

放射線治療にかかわる 線量標準の進展

近年、放射線治療は急速に進歩し、治療効果も目を見張るものがあります。放射線治療では、「正確」に放射線を照射することが大前提です。この「正確」さは、治療部位を3次元的に捉えることのみならず、照射する放射線の量(線量)も大変重要です。線量の正確さを担保し、その基準となる「線量標準」の開発に、私に関わるようになってから約10年。その間を振り返ってみたいと思います。

私が、国家計量標準機関である(独)産業技術総合研究所(産総研)の放射線標準研究室長を命じられたのは2005年。放射線治療分野の線量標準に関しては新参者でした。専門家の方々にお話を伺う機会に恵まれ、刺激を受ける反面、このままではこの分野における線量標準は時代遅れになりそうだという危機感を覚えました。この頃、産総研では「2010年までに世界に匹敵する計量標準を」というスローガンのもと、皆が計量標準の開発を競っていました。その勢いに乗る形で、私たちが放射線治療にかかわる線量標準の開発に向け、突き進みました。

2005年当時、 $^{60}\text{Co}\gamma$ 線照射線量^{*1}標準を基準として、医療用リニアックの水吸収線量^{*2}を評価していました。そのため、水吸収線量評価の不確かさが大きくなることが避けられませんでした。そこで私たちは不確かさを低減するために、2005年から $^{60}\text{Co}\gamma$ 線水吸収線量標準の確立を目指しました。この研究には特に忘れられない思い出があります。標準の確立を公表しようという段階に入ったある日、標準に不可欠な補正係数を導出するモンテカルロ計算に誤りがあることに気が付いたのです。膨大な量の再計算を考えると、絶望的な気持ちになりました。どう考えても時間が足りません。とにかく研究室一丸となって、死にもの狂いで何と

か乗り切りましたが、あの時のことを思い出すと、今でも冷や汗が出てきます。そんな苦労が実を結び、研究を始めてから5年後の2010年に $^{60}\text{Co}\gamma$ 線水吸収線量標準の供給を開始出来ました。

話は再び2005年に戻りますが、その頃海外では、医療用リニアックを用いて水吸収線量標準を確立している機関が出始めました。この標準の利点は、治療に使われている放射線と同じ放射線の線量標準を供給することにより、線量評価の不確かさが小さくなることです。当時、 $^{60}\text{Co}\gamma$ 線水吸収線量標準に取り組み始めたばかりの私たちでしたが、いずれ医療用リニアックの線量標準が不可欠になると考え、2005年11月に最初の開発提案書を提出しました。しかし、医療用リニアックを用いた標準開発は、考えていた以上に開発費が高み、門前払い扱いでした。ほぼ諦めかけていたところへ、急遽2008年になってゴーサインが出され、今度はこちらが慌てました。諸外国が同様のプロジェクトを始め、さらに国際度量衡局も推進しようと動き出したことが後押ししたと思います。

ゴーサインが出たと言っても、事は一筋縄ではいきませんでした。与えられた予算は、申請していた額の半分以下。その上医療用リニアックを設置する実験室の当てもなく、広い面積の新しい実験室など夢の又夢です。所内でも、放射線遮蔽が可能で耐荷重の大きい実験室は限られていたため、移転交渉(別名「お願い」)の結果、ようやく安住の地を得ました。その後も綱渡りの様な準備期間を終え、やっと2010年2月に医療用リニアックを産総研に設置することができました。設置後は驚くほど開発が順調に進み、2013年9月には医療用リニアック光子線の水吸収線量標準を確立することに成功し、標準供給を始めました。現在の課題は標準供給体制ですが、その解決も遠くないと期待しています。

外部機関をはじめ周りの方々の多大なるご協力と、タイミングにも恵まれ、予想以上の速さで研究開発が進みました。今後は、放射線治療に関わる標準として、高エネルギー電子線、施設が近年増加している重粒子線治療、密封線源を用いた放射線治療などに対応した線量標準を整備して、さらなる放射線治療の安全・高度化に貢献していきたいと考えています。

*1 γ 線によって空気1kgあたりに発生する電荷量
*2 水1kgあたりに吸収される放射線のエネルギー

さいとう のりお (独)産業技術総合研究所 計測標準研究部門 研究科長

プロフィール●1984年早稲田大学理工学研究科修士課程修了、理学博士。同年電子技術総合研究所研究員、2001年産業技術総合研究所主任研究員、2005年同所研究室長、2011年より現職。専門は、放射線計測、原子分子物理。治療の他にマンモグラフィX線、環境放射線、大線量 γ 線などの線量標準、X線レーザ計測技術の開発などに従事。

まだまだ知られていない福島現状

〔その3〕



放射線可視化技術の進展と除染方法の改善

京都女子大学 現代社会学部 教授 水野 義之

2011年の福島原発事故は放射線災害に対する対応の難しさを世に知らしめたが、同時にこの事故は放射線の測定技術に進展を促すことにもなった。また放射性物質の除染についても、広く社会に理解を促したと思われる。そこで今回は放射線の可視化技術の進展と除染方法の改善について紹介したい。

放射線源の広域遍在化と遮蔽効果

放射線事故では通常、その汚染源は局在していると想定されている。しかし今回の放射線災害のように非常に広範囲の環境が全面的に汚染された(汚染源が広域化・遍在化している)場合、今までの常識が通用しなかった。その理由は第1に、放射線が全方向から到来するという問題があったからである。一般に放射線測定器では放射線の方向によって感度が異なる。しかし今回の放射線災害ではあらゆる方向から放射線が来るため、測定点の周辺環境や空気中、あるいは人体での遮蔽効果を考慮するかしないかで、被曝線量の推定結果が変わってしまう。この事実は測定結果の評価や解釈において意外に重要な影響を生み出すことがわかってきたのである。

実際の積算線量と空間線量率での推定との食い違い

一般に被曝管理は年間の積算線量で行われている。そこで、ある居住環境をどこまで除染すべきか、あるいは現状で住めるかどうか等を判断する目的で、年間積算線量の推定が必要となる。これは通常、空間線量率を測定し、屋外・屋内の滞在時間等を仮定して推定されている。しかしこのような推定結果は、実際の測定(積算線量計での測定結果)と系統的に約数十%もずれていることが判明した(実際には少なかった)。このような事実は、大規模で広範囲の放射線災害で初めて明らかにされたデータの系統的な蓄積が、一般的な放射線計測の常識を覆しつつあることを意味している。

遠方の γ 線の影響
セシウム137の γ 線(662keV)の空気中での平均自由行程は標準状態で約107メートルであることが知られている。つまりある場所での外部被曝は、その周辺の半径数百メートルの全域からくる γ 線の影響を受ける。これが除染の難しさの原因の一つである。逆にこの事実から、例えば地面に薄く覆土するだけで大きな遮蔽効果を発揮する場合もあることが分かる(例えば鉄分が多いことで知られる遮蔽性土壌リモニト等を、ある場所の周辺に広く薄く散布するだけで、大きな遮蔽効果が得られる場合等)。なぜなら放射性セシウムは地表面に分布しており、従って遠方の γ 線は、薄い覆土を斜めに通過するためである(すなわち実質的に部厚い物質での遮蔽と同じになる)。例えば冬に使わない田圃でも水を張っておくだけで、水によって放射線は効果的に遮蔽され、従って隣接する家屋や生活環境での被曝低減に有用であると溝口らは提案している。

遠方の γ 線の影響

セシウム137の γ 線(662keV)の空気中での平均自由行程は標準状態で約107メートルであることが知られている。つまりある場所での外部被曝は、その周辺の半径数百メートルの全域からくる γ 線の影響を受ける。これが除染の難しさの原因の一つである。逆にこの事実から、例えば地面に薄く覆土するだけで大きな遮蔽効果を発揮する場合もあることが分かる(例えば鉄分が多いことで知られる遮蔽性土壌リモニト等を、ある場所の周辺に広く薄く散布するだけで、大きな遮蔽効果が得られる場合等)。なぜなら放射性セシウムは地表面に分布しており、従って遠方の γ 線は、薄い覆土を斜めに通過するためである(すなわち実質的に部厚い物質での遮蔽と同じになる)。例えば冬に使わない田圃でも水を張っておくだけで、水によって放射線は効果的に遮蔽され、従って隣接する家屋や生活環境での被曝低減に有用であると溝口らは提案している。

ガンマカメラの開発と効率的な除染

大規模な放射線災害の被災地での γ 線はあらゆる方向

から来る。場合によっては山林や崖から来ているような場所もある。また汚染度の分布は「まだら模様」的(フラクタル的)である。どこの線量率が高いか、あるいは低いか把握しなければ、効果的な除染は困難である。しかし現状の除染工事では一律に土剥ぎが行われていることが多いようである。この結果、大量の除染物が発生し続け、行き場のない状況は悪化し続けてきた。機械的に土剥ぎを行えばよい訳ではないが、細かい測定も困難である。この問題を解決する秘策の一つはガンマカメラ(可視化装置)の開発であった。ガンマカメラはすでに医療用に固定式のものが使われている。しかし除染状況の可視化の目的には、持ち運びできることが重要である。

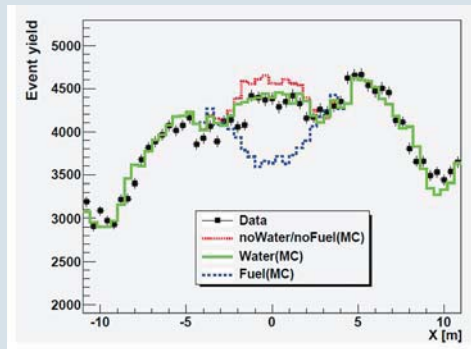
ガンマカメラは種々の原理で作成可能である。例えば鉛遮蔽体でピンホールカメラを構成し撮像面に小型 γ 線測定器のアレイを配置する方法、あるいは γ 線と電子のコンプトン散乱を利用して2平面での γ 線の通過・散乱位置とエネルギーを測定することで γ 線の3次元的な飛来方向を再構成する方法、等である(筆者自身もコリメータタイプの簡易で安価なカメラを開発した)。 γ 線の方向とエネルギースペクトルを簡便に測定する方法には、他にも興味深い原理が種々、提案されている。ここでは安価で使い勝手のよい普及型の装置開発が期待されている。例えば実際に除染工事が終了した村の一つではピンホールタイプのガンマカメラ(価格約3千万円)を1台購入して除染を進めていたが、このガンマカメラは従来型の一律工事を行った結果報告の撮影にしか使われなかった。なぜなら現場では、スケジュール消化に精一杯という現状があり、測定しながら除染を行う等の有効活用は面倒かつ困難だったからである。

宇宙線ミュオン粒子の透過を活用した原子炉内部の撮像
事故中に原子炉内で炉心溶融が発生し、どこかに落下したと思われる燃料体の位置推定(撮像)は宇宙線のミュオン粒子を使うと可能である。ミュオン粒子(ミュオン)は2次宇宙線として地上まで届いているが、それは透過力が高いからであることはよく知られる。地上付近で水平方向にも来ているミュオン粒子の、この性質を使ってすでに1995年、永嶺らは火山の透視技術を提案し実証している(『宇宙線ミュオンを用いた火山体トモグラフィ』『地学雑誌』第104巻)。この天然の宇宙線ミュオン粒子を使って、その入射方向と運動量をそれぞれ測定すれば、中間にある原子番号の高い物質の位置推定が可能である。図1にはミュオン粒子測定データの一部を示す(データは高エネルギー加速器研究機構、筑波大学、東京大学、首都大学東京の研究者らによる)。図中の赤線は炉心(圧力容器)がカラの場合、緑線は水の場合、青線はウラン燃料がある場合の各推定、黒点は観測データである。この技術も現場での活用が始まっている。

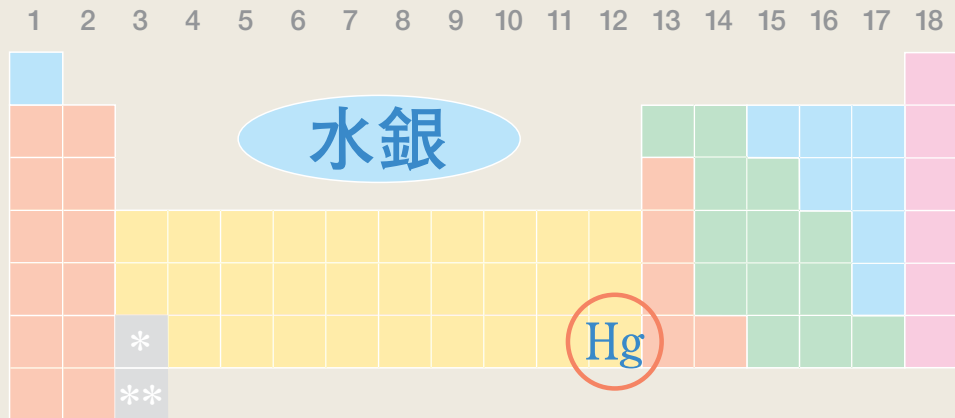
宇宙線ミュオン粒子の透過を活用した原子炉内部の撮像

事故中に原子炉内で炉心溶融が発生し、どこかに落下したと思われる燃料体の位置推定(撮像)は宇宙線のミュオン粒子を使うと可能である。ミュオン粒子(ミュオン)は2次宇宙線として地上まで届いているが、それは透過力が高いからであることはよく知られる。地上付近で水平方向にも来ているミュオン粒子の、この性質を使ってすでに1995年、永嶺らは火山の透視技術を提案し実証している(『宇宙線ミュオンを用いた火山体トモグラフィ』『地学雑誌』第104巻)。この天然の宇宙線ミュオン粒子を使って、その入射方向と運動量をそれぞれ測定すれば、中間にある原子番号の高い物質の位置推定が可能である。図1にはミュオン粒子測定データの一部を示す(データは高エネルギー加速器研究機構、筑波大学、東京大学、首都大学東京の研究者らによる)。図中の赤線は炉心(圧力容器)がカラの場合、緑線は水の場合、青線はウラン燃料がある場合の各推定、黒点は観測データである。この技術も現場での活用が始まっている。

図の出典: H. Fujii et al., Prog. Theor. Exp. Phys. (2013) 073C01.



元素とその放射性核種 [その9]



Hg

* 日本語名：すいぎん	融点：-39℃
* 英語名：Mercury	沸点：357℃
** 原子番号：80	同位体と天然存在比： ¹⁹⁶ Hg(0.15%)、 ¹⁹⁸ Hg(9.97%)、 ¹⁹⁹ Hg(16.87%)、 ²⁰⁰ Hg(23.1%)、 ²⁰¹ Hg(13.18%)、 ²⁰² Hg(29.86%)、 ²⁰⁴ Hg(6.87%)、他
元素記号：Hg	
族：第12族	
周期：第6周期	

水銀(Hg)は原子番号80の第12族元素です。常温、常圧下で液体として存在する唯一の金属元素で、銀のような白い光沢を放つことから水銀と呼ばれています。元素記号のHgはラテン語のHydrargyrumの略であり、これも古典ギリシア語で「水」と「銀」を表す言葉に由来します。

水銀に関する歴史は古く、紀元前1000年より以前から利用されていたと言われています。辰砂と呼ばれる硫化水銀(II)の赤い結晶として取り出された水銀は、最初は顔料として使用していましたが、のちには不老不死の薬として始皇帝や持続天皇など多くの権力者が服用していたようです。

現代に至り、水銀は蛍光灯をはじめ、体温計や血圧計、水銀灯や水銀電池など、日常生活の様々な場所に使われてきました。工業分野においても、金や銀を含む鉱石から金属を取り出すアマルガム法や水銀整流器などにも利用されてきました。しかし強い毒性が問題視され、最近ではLED電球や水銀0電池など、水銀を使用しない製品の開発が進められています。それでも、研究分野などでは他に代えがたい物質として、環境への影響が生じないように注意を払いながら利用されています。茨城県の東海村に所在する大強度陽子加速器施設(J-PARC)もその一つです。

J-PARCでは加速した陽子を水銀原子核に衝突させ、多量の中性子を生成しています。水銀は、中性子を91個持つ¹⁷¹Hgから中性子130個の²¹⁰Hgまでの同位体が確認されていますが、安定同位体として存在するのは²⁰⁰Hg(中中性子数:120個)や²⁰²Hg(同:122個)など、中中性子の数が陽子数(80個)の1.5倍に及ぶものばかりです。そのためエネルギーの高い陽子を水銀に衝突させると、水銀原子核は破碎して多くの中性子を生成します。J-PARCが水銀を利用して生成した中性子は、タンパク質の分子・原子レベルでの観測に基づく新薬の開発、水素原子や水分子の挙動の観測に基づく燃料電池の開発等に生かされています。

水銀ときいて、水俣病を最初に思い浮かべる方もいらっしゃると思います。水俣病とは有機水銀による中毒性の中枢神経疾患であり、アセチレンからアセトアルデヒドを製造する過程で生成されたメチル水銀が原因物質とされています。脂溶性であるメチル水銀は海や河川に排出された後、食物連鎖によって生物濃縮が起こりました。これにより、高濃度化したメチル水銀を取り込んだ魚介類をたくさん食べた人の間で水俣病が発症しました。

²⁰³ Hg
半減期： 46.594日
崩壊形式： β^-
γ 線エネルギー： 0.279MeV
崩壊生成物： ²⁰³ Tl



ご案内

個人線量測定サービス規約改訂

当社では個人線量測定サービスのご提供にあたり、基本的な事項を「個人線量測定サービス規約」として規定し、これに則した業務を行っております。

本規約は、お客様と当社間での円滑なサービス提供とその品質向上を目的とし、当社の果たすべき役割と責任およびお客様にご協力いただくべき事項について記載しております。

●本規約の主な項目

- ・規約の適用について
- ・ご契約について
- ・個人線量測定サービスについて
- ・個人線量測定サービスのお申し込みについて
- ・個人情報の保護について
- ・個人線量の評価・認定について
- ・統計資料の公表について
- ・機密の保持について

●規約の改訂内容

平成26年12月1日付けで、本規約について改訂いたします。

- ・モニター→線量計に変更
- ・モニタリングサービス
→個人線量測定サービスに変更
- ・その他細かな用語の変更

上記の通り、これまでの「モニター」という汎用的な用語から使用用途を特定した表現にしております。

なお、本規約の内容は当社ホームページでもご確認できますのでご参照ください。

http://www.nagase-landauer.co.jp/quixel/use_agreement.html

また、本規約（印刷版）をご要望の場合は下記までご連絡ください。

お問い合わせ Tel. 029-839-3322

環境測定サービスをご利用中のお客様へ

クイクセルバッジ新環境用ホルダ

これまでお客様からいただきましたご意見をもとに、このたび環境用ホルダを全面的にモデルチェンジしました。

●主な特徴は以下の通りです。

- ・クイクセルバッジ全面を覆う構造と厚みの変更により、さらに丈夫になりました。（バッジの有無は容易に確認できます。）
- ・ホルダは両面テープで壁に簡単に固定可能で、ネジによる固定にも対応しています。
- ・紛失防止のためロック可能な形状としました。
- ・ホルダに「測定中」シールを貼付し、より分かりやすくしました。

現在環境測定サービスをご利用中のお客様で、新環境ホルダへの変更をご希望の方は右記までご連絡ください。



お問い合わせ Tel. 029-839-3315

編集後記



年末を迎え、なにかとお忙しいことと存じます。

この時期、私が楽しみにしているのが『年末ジャンボ宝くじ』です。黄色い布に包んで暗い場所に保管するなど、当選者のマネをして幸運に肖ろうとしているのですが、なかなか当たりに当たりません。唯一惜しかったのは、1等と組番号が一緒に四桁目の数字だけが

違っていたことです。いつも残念な結果ですが、大晦日の抽選日まで取らぬ狸の皮算用をして楽しんでおります。（笑）

このNLだよりでも、次号は豪華賞品が当たる『お年玉クイズ』を掲載予定です。宝くじよりも当選確率は高いかもしれませんよ。お楽しみに！

皆様様が健やかに新年をお迎えになれますようお祈り申し上げます。

（金子 利佳子）

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

■当社へのお問い合わせ、ご連絡は
本社 Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8441
大阪 Tel.06-6535-2675 Fax.06-6541-0931

NLだより No.444
平成26年〈12月号〉

毎月1日発行 発行部数：36,200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 中井 光正