

- トップコラム／理化学研究所 放射光科学総合研究センター  
グループディレクター 浅野 芳裕
- X線検査における患者線量の評価／〔シリーズ1〕測定の不確かさを考える
- まだまだ知られていない福島の現状／  
〔その5〕シミュレーション計算による線量率の評価
- お願い／名義変更(名変)について
- ご案内／クイクセルWebサービス

 ト  
 ッ  
 プ  
 コ  
 ラ  
 ム  
 158


浅野 芳裕

## 放射光施設の放射線

放射光の持つ能力やその有望性から現在建設中も含めて世界中でたくさんの施設が稼働しています。たとえば大型施設ではAPS(米)、ESRF(EU)、SPring-8(日)などです。中型では現在建設中のNSLS-II(米)、MAX IV(Sweden)や稼働中のDIAMOND(英)、SOLEIL(仏)、PF(KEK、日)、SSRF(上海中国)、NSRRC(新竹台湾)、PAL(浦項韓国)、SLSA(豪)など多くがあります。また、次世代放射光施設であるX線自由電子レーザー施設もLCLS(SLAC、米)、SACLA(SPring-8、日)が稼働中であり、European XFEL(DESY、独)やSwissFEL(PSI、Swiss)、PALやSSRFなどでも現在建設或いは設計中です。放射光は制動放射でシンクロトロン放射、つまり荷電粒子が進行方向に対して磁場によって直角方向に加速を受けたとき(求心加速度)にその接線方向に放射される、一般的に指向性の強い電磁波を指します。例に挙げた施設は電子エネルギーもGeVオーダーと高く、発生する放射光のエネルギー範囲はX線領域にまで広がっています。

電磁波に限定して法律上の放射線の定義を再確認してみますと、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律(RI障害防止法)では、直接又は間接に空気を電離する能力を持つもので、(1)ガンマ線及び特性エックス線(軌道電子捕獲に伴って発生する特性エックス線に限る)、(2)1メガ電子ボルト以上のエネルギーを有する電子線及びエックス線、とあります。労働安全衛生法、電離放射線障害防止規則(電離則)ではガンマ線及びエックス線、となっています(放射線審議会に関する法律である放射線障害防止の技術的基準に関する法律ではガンマ線、X線その他電磁波となっている)。各々、公共の安全確保や労働者・作業者の

安全確保を目的とするので対象範囲が異なっているのに気がつきます。このガンマ線とX線ですが、人によってその概念が異なることに気づかされます。実際、Knollの[Radiation Detection and Measurement]にもガンマ線は原子核内から放出されるという記述が見られます。また、地人書館の「放射線データブック」には明確にガンマ線は原子核内から放出される電磁波であり、X線は電磁波の一種で外殻電子が内殻に落ちてくるときに放出される特性X線や原子核のクーロン場の作用によって発生する制動放射線と記述されています。一方、Nicholas Tsoulfanidisの「Measurement and Detection of Radiation」や岩波書店の理化学辞典にはガンマ線は波長の短い電磁波(約0.1オングストローム以下)でX線は波長が約0.1から数百オングストローム程度の電磁波を指すと記されています。明確ではありませんが、RI障害防止法では発生過程による区分、電離則では波長域による区分をとっているように見えます。ではSPring-8で発生する制動放射線(蓄積電子損失による制動放射線や残留ガスと蓄積電子との相互作用によって発生するガス制動放射線)は8GeVに達しますが、X線でしょうか、それともガンマ線でしょうか。発生過程で区分するとX線、波長領域で区分するとガンマ線と考えられますが数GeVのエネルギーを持つ電磁波をX線とするのに違和感を覚える方々は多くいます。また、SPring-8では最大エネルギー3.5GeVのレーザー電子光(レーザー光が加速電子によって進行方向と逆方向に散乱されて出てくる光子、逆コンプトン散乱光子とも言う)が利用できます。もしRI障害防止法が発生過程で区分していると仮定すると、この3.5GeVのレーザー電子光はRI障害防止法上放射線ではない可能性が生まれます。

概して、発生過程で区分しているのが工学系、波長領域(エネルギー)で区分しているのが理学系の方々が多いようです。どちらが正しいという問題ではありませんが、このような基礎的なことでも分野が違っていると概念が異なることに気付かされます。

あさの よしひろ (理化学研究所 放射光科学総合研究センター)  
グループディレクター

プロフィール●1978年日本原子力研究所に入所。2008年理化学研究所に移り現在に至る。この間、プルトニウム実験施設や再処理施設・工場の放射線安全管理や安全評価、検出器校正場の整備などを行った。またSPring-8やX線自由電子レーザー計画に初期から参加するなど最近では加速器に関する安全設計・評価を主に行っている。リメスを自転車で走破することを夢想しているが、早急に体重を減らすことから始めないと夢のままに終わってしまう。

# X線検査における患者線量の評価

## 【シリーズ1】測定の不確かさを考える

茨城県立医療大学 保健医療学部 放射線技術科学科 教授 佐藤 齊



画像診断や放射線治療などの医療分野で利用されている放射線は現代医療に大きく貢献している。一方では医療被曝の大きさの問題が国際的に提起され、医療被曝の防護方策についての検討が進められている。また、東北地方太平洋沖地震に起因した福島第一原子力発電所事故により、放射線被曝に対する社会的関心が高まった。これらの近年の社会情勢から、医療における放射線利用に関する品質保証の重要性はさらに増している。画像診断の分野では、画像診断性能と患者の被曝線量を監視し、線量低減化の検討を十分に行うことが不可欠となっている。ここでは、画像診断分野での品質保証（以下、品質保証という）に関して、X線検査における患者線量の評価について述べる。

X線検査における患者線量の評価は、放射線測定器による実測が基本である。一般的には電離箱式線量計が用いられ、数種類の電離箱が市販されている。しかし、電離箱の材質や形状などによりX線応答特性がそれぞれ異なることが知られており、適確に線量校正を実施して用いる必要がある。マンモグラフィでのX線エネルギー領域に用いられている7種類の電離箱について、X線エネルギーによる応答特性を測定した結果を図1に示す。この図はMo/Mo(管球焦点材質/フィルタ材質)X線管を用いて、管電圧20kV

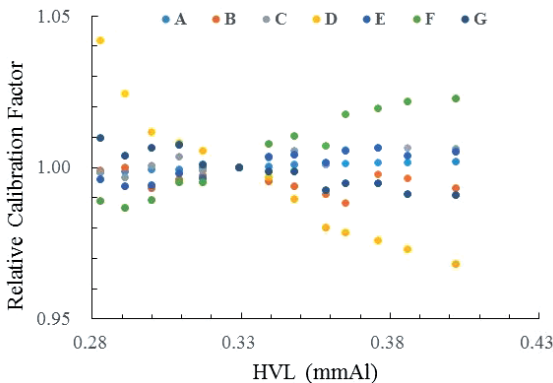


図1 マンモグラフィのX線エネルギー領域に用いられる電離箱の応答特性(相対値)

から35kVまで1kV間隔で測定した空気カーマから求めた校正値を管電圧28kVでの値で規格化して示しており、横軸は管電圧ごとに実測した半値層の値として示している。AからGまでの電離箱は全て平行平板型で、電離箱の構造や入射窓材質及び厚さなどにより応答特性の傾向が異なることが示されている。代表的な1点の校正値を用いる場合には注意が必要で、供給される校正値の不確かさを5%とした場合には、このエネルギー範囲では、測定前から最大で約8%の不確かさを持つ検出器が存在することになる。この電離箱を用いて注意深く測定を実施したとしても、不確かさ

を合成していくと実用では10%以上の不確かさになる可能性がある。また、一般撮影でのX線エネルギー領域に用いられている7種類の電離箱について、W/AIX線管を用いてX線エネルギーによる応答特性を測定した結果を図2に示す。この図は管電圧35kVから145kVまでの空気カーマ測定結果から求めた校正値を管電圧70kVでの値で規格化し

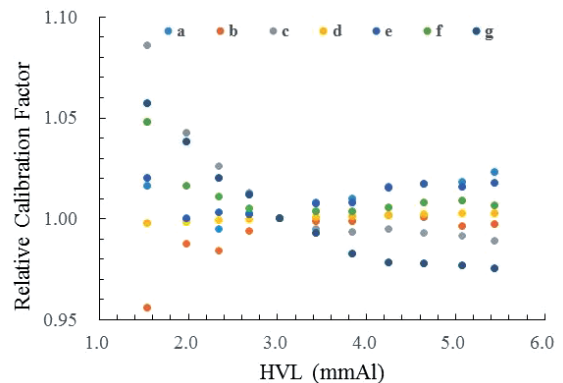


図2 一般撮影のX線エネルギー領域に用いられる電離箱の応答特性(相対値)

て示してある。電離箱dとfが平行平板型で、その他は円筒型である。マンモグラフィでのX線エネルギー領域よりも変化は大きく、測定前からの不確かさが最大で約10%である検出器が存在し、実用測定では、それ以上の不確かさになる可能性がある。

X線量の検出器として電離箱を用いる主な理由として、X線エネルギーに対する応答がほぼ一定であるとする教科書的な記載が多い。しかし、図1、2に示したとおりX線エネルギーにより電離箱の応答特性が変化するため、検出器によっては、より細かなエネルギー間隔で測定値を補正する必要がある。その場合には、測定対象のエネルギーを併せて評価する必要がある。連続X線のエネルギー評価もいくつかの手順を要し、品質保証を適用する現場での実用測定では困難が多いことが予測される。

これらから、X線検査における線量を放射線測定器により実測する場合、供給される校正値の不確かさが5%程度として、実用現場で要点を押さえながら注意深く測定を実施したとしても、合成していくと空気カーマの測定だけで10%程度の不確かさになることがある。品質保証における線量評価では、評価値の用途により必要な精度が異なるが、診断参考レベルなどの管理目標値との比較や、線量低減化方策を検討するための相対的な線量変化を調べる際には、X線検査時の照射パラメータ(管電圧、管電流など)を基にした計算による線量評価で目的を達成できることが多い。

## まだまだ知られていない福島現状

[その5]

# シミュレーション計算による線量率の評価



京都女子大学 現代社会学部 教授 水野 義之

放射線被曝の線量率評価に利用されるシミュレーション計算について紹介したい。ここでは日本で開発されたコンピュータ・シミュレーション・ソフトウェアを例に解説する。

### 放射線のシミュレーションとソフトウェア開発

放射線のエネルギーが高い場合、止まるまでに何度も散乱する上に、各過程で粒子の多重発生が起こる。このため素粒子実験の高エネルギー加速器の発展に伴い、シミュレーションのソフト開発が進んだ。ただし被曝には低エネルギー領域がむしろ重要である。そこで加速器ビームの強度が上がって被曝計算が重要になると、中・低エネルギー反応を特に得意とするソフトウェアが開発された。これが今回紹介するPHITS (Particle and Heavy-Ion Transport code System)<sup>\*1</sup>である。

### 宇宙線の外部被曝シミュレーション

宇宙線による外部被曝シミュレーションを図1に示す。これは2006年6月の東京での宇宙線による被曝線量率の上空高度依存性である。横軸は大気深度で、地上が右端、宇宙空間が原点である。地上では予想通り、 $\mu$ (ミュー)

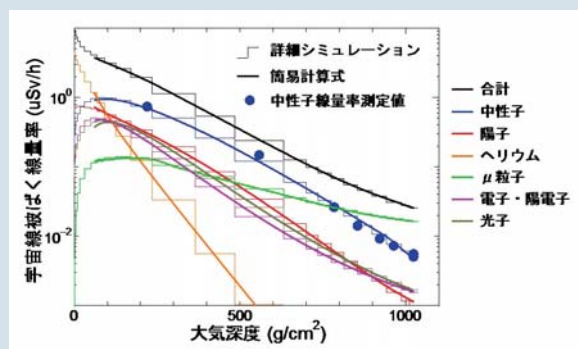


図1 宇宙線による外部被曝シミュレーション  
(出所: <http://phits.jaea.go.jp/expacs/jpn.html>)

粒子(緑線)による被曝が最大であるが、中性子(青線)も届いていて実測値(青点)と一致する。黒線は合計であり、東京の空間線量率約 $0.03\mu\text{Sv/h}$ が再現される。また航空機の高度約11000m(大気深度約 $235\text{g/cm}^2$ )では地上の約100倍の線量率といった「常識」も再現されている。この大気宇宙線シミュレーションは、例えば太陽スーパーフレア時の宇宙飛行士の被曝予測にも使われている。

### 宅地の周辺は除染を20mまで?

このようなシミュレーションは、原子力災害後の除染効果予測にも使われた。例えば遠方まで面的に一様に $^{137}\text{Cs}$ で汚染された環境中の家屋周辺を、半径20mまで除染した場合の線量の低減率は、宅地中心では40%までしか下がらない。理由は $\gamma$ 線が遠くまで飛ぶからである。除染半径100mでも、(除染率90%の場合)線量の低減率は20%にまで下がるに過ぎない(25倍の作業量でも効

果は2倍に過ぎない)。これが除染の難しさを端的に示し、除染作業で現実に起こったことである。実際に家屋周り20m先までが除染作業の対象とされている。

### 建物での線量率の分布

図2は代表的な幼稚園の建屋(平面図)での空間線量率(シミュレーション)を示す。幼稚園では床面が10cmと低いため、窓際では線量率があまり下がらない。また $\gamma$ 線が全方向から来るため、建物内の「壁の交点の周囲」で特に線量率が低くなる等の結果が出ている。

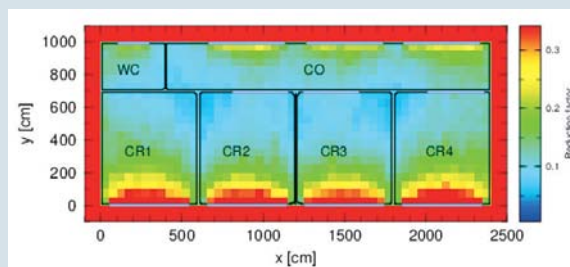


図2 幼稚園の建屋構造での線量率分布  
(出所: JAEA-Research 2014-003.)

### 家屋構造と覆土の放射線遮蔽

図3左は $10000\text{Bq/m}^2$ の平坦な地面に建つ家屋内外での空間線量率(空気カーマ率)の垂直分布、図3右は土壌に覆土(厚さ $0.5\text{g/cm}^3$ 、約3mm厚)を施した場合である。図3左では、1階より2階の方が線量率は低い。しかし覆土を行うと(図3右)、この関係が逆転し、1階の方が低くなる。この理由は、1階の方が覆土を斜めに通過する遠方の $\gamma$ 線が多く、その方が余計に遮蔽されるからである。

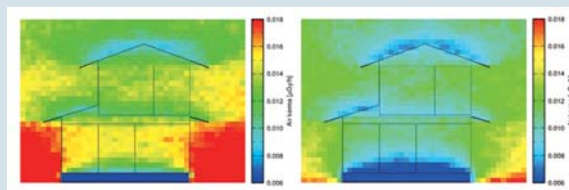


図3 一般家屋内外の線量率分布。右は覆土した場合  
(出所: JAEA-Research 2014-003.)

### ICRP/ICRUのシミュレーション計算

PHITSによる放射線シミュレーション計算はICRP(国際放射線防護委員会)でも取り入れられている。例えば今般の原子力災害で注目されたICRP-103(新ICRP主勧告、2007年)を始め、ICRP-116(2010年)、ICRP-123(2013年)等である。またこのような計算は内部被曝の評価にも有用である。放射線に関する日本生まれのソフトウェアが世界で役立つ例の一つであろう。

\*1 T. Sato, et al., J. Nucl. Sci. Technol. 50(2013)913-923.

# お願い

## 名義変更(名変)について

「名義変更(名変)」とは、お送りしたバッジを従来の着用者に代わり、新たな着用者に名義を変え継続して使用することです。新たな着用者は、従来の着用者とは異なる個人番号で登録され、測定データ等も別々に管理されます。人事異動等によりバッジ着用者の交代がある場合、「名義変更(名変)」をご利用いただくと、追加費用がなく、期を空けずに着用を開始することができます。

### 【名義変更の手続き】

- 名義変更をするバッジと同一着用期間の「登録変更依頼書」にご記入の上、Fax(または電話)にてご連絡ください。

- 記入済みの「登録変更依頼書」はバッジご返送の際に同封してください。

### 【手続きの注意】

- 一つのバッジを複数人でお使いになることはできません。
- 「登録変更依頼書」のお知らせ欄の締切日時を過ぎてご連絡いただいた場合、翌月も従来の着用者の名義でバッジが送付されますので、前着用者のバッジをご着用ください。

お問い合わせ：お客様サポートセンター

Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8441

## ご案内

# クイクセルWebサービス

クイクセルWebサービスは、お客様ご自身がインターネットでバッジの追加、変更等ができるサービスです。サービスは無償で提供しています。(通信料はお客様負担)

### ＜主な内容＞

- ・ バッジの追加、変更、取消など
- ・ バッジ登録された方全員の氏名、積算線量の確認
- ・ 電離放射線健康診断個人票の記入に役立つ、被ばく線量集計表の印刷
- ・ 外部被ばく線量測定・算定記録表の印刷
- ・ 外部被ばく積算線量証明書印刷
- ・ 外部被ばく線量測定報告書(PDFファイル)のダウンロード
- ・ 当社内でのバッジ測定状況の確認
- ・ 個人一括登録(CSVファイルのアップロード)

なお、セキュリティ面におきましてはSSL-VPN接続を採用しています。ご興味をお持ちのお客様は当

社お客様サポートセンターまでご連絡ください。詳しい資料をお送りいたします。

対応OS:Windows Vista/7

推奨ブラウザ:Internet Explorer 7.0、8.0、9.0

お問い合わせ：お客様サポートセンター

Tel.029-839-3322 Fax.029-836-8441

E-mail mail@nagase-landauer.co.jp



## 編集後記



今月は二八の二月です。世間では季節がら、売り上げが落ちる業界、逆にバレンタインデーで忙しい業界等、様々あり二八のイメージも大分変わったように思います。当社はと言うと、31日ある月に比べ2月は3日も少ないのに、出荷、返却バッジ数とも同じです。通常は月末になると業務量も減り一瞬ホッとできるのですが、今月は

ホッとする間もなく、直ぐに3月の業務に追われることになります。休日が多い1月、5月も2月同様、当社には厳しい月となります。これらの月でも支障を来さない仕組み作りが線量測定会社の重要ポイントです。

吉野先生の「分野が違うと概念が違う」に掛けると「分野が違うと二八が違う」になります。皆様の二八はどんな二八ですか。(佐藤 輝之)

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.446 平成27年<2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