

# 第21回EGS研究会 アブストラクト集

2014年8月5日

(会場) 研究本館小林ホール

(主催) 高エネルギー加速器研究機構放射線科学センター



## 目次

多重クーロン散乱による曲がり角と横拡がり同時分布計算への電離損失効果の導入.....	1
	桶井 一秀
EGS5 を用いた X 線源の電子ビーム径シミュレーション.....	2
	鳥取 潤一郎
X 線 CT のファントム内吸収線量分布における実測と計算との差異の検証 .....	3
	井上 政輝
EPID 画像コントラスト向上を目的とした自作シミュレーションコードと EGS5 によるベンチマーク .....	4
	針生 将嗣
電離箱線量計の吸収線量変換係数について .....	5
	辻 修平
眼科治療用線源の水吸収線量測定における補正係数の導出 .....	6
	加藤 昌弘
EGS5 を用いた眼窩領域の電子線治療における水晶体防護物質の検討 .....	7
	中島 祐二郎
EGS5 を用いた高エネルギー X 線照射時の歯科修復金属からの散乱線遮蔽物の設計.....	8
	齋藤 正英
NaI 波高分布を用いた大気中、地面上放射能濃度の同時推定における核種浸透の影響の検討 .....	9
	廣内 淳
航空機モニタリングによる自然放射線評価手法の開発 .....	10
	西澤 幸康



# 多重クーロン散乱による曲がり角と横拡がり同時分布計算への 電離損失効果の導入

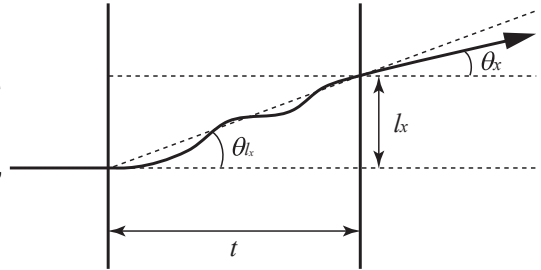
桶井一秀<sup>†</sup>、中塚隆郎<sup>‡</sup>、桐原陽一<sup>\*‡</sup>

<sup>†</sup> 川崎医科大学    <sup>‡</sup> 岡山商科大学    <sup>\*‡</sup> 理化学研究所

物質中を通過する荷電粒子は、多数のクーロン散乱によりその進行方向を変えながら進む。小角近似が成り立つ条件の下で、荷電粒子が厚さ  $t$  の物質を通過した後の曲がり角を  $\theta_x$ 、横拡がりを  $l_x$  とすると (下図参照)、 $\theta_x$  と  $\theta_{l_x} = \tan \theta_{l_x} = l_x/t$  は、同一ではないが全く無関係でもなく、互いに相関を持つので、 $\theta_x$  と  $l_x$  の同時確率分布  $f(\theta_x, l_x)$  は、それぞれの周辺分布の積の形  $g(\theta_x)h(l_x)$  で表わすことはできない。

モリエール理論 [1, 2, 3] は、高エネルギー荷電粒子の多重クーロン散乱を扱う、最も正確なものの一つであり、これまでに多くのアプリケーションで利用されてきている [4, 5, 6] が、解析的に得られているのは、曲がり角  $\theta_x$  のみの分布  $g(\theta_x)$  または横拡がり  $l_x$  のみの分布  $h(l_x)$  だけであり、同時確率密度分布  $f(\theta_x, l_x)$  は分かっていない。しかしながら、周波数空間での分布  $\tilde{f}(\theta_x, l_x)$  までは解かれているので [7, 9]、我々は高速フーリエ変換 (FFT) を用いて、 $f(\theta_x, l_x)$  の数値解を得た [7, 10]。

荷電粒子は、物質内での電離により、通過距離とともにほぼ一定の割合でエネルギーを失っていくが、入射時と最終段階でのエネルギーの差が大きくなると、 $\theta_x$  と  $l_x$  との相関の度合いが変わる [8] ので、 $f(\theta_x, l_x)$  の形も変化する。そこで、今回は、電離損失の影響を考慮した  $f(\theta_x, l_x)$  の計算を試みた。電離損失の効果を考えてした場合 [11] も、 $\tilde{f}(\theta_x, l_x)$  の解析解は得られたが、その数値計算の際には、パラメータによっては丸め誤差の影響を受けやすく、そのような場合は、数値積分を用いたほうが、より安定な数値が得られることがわかった。



## 参考文献

- [1] G. Molière, Z. Naturforsch. **2a**, 133 (1947).
- [2] G. Molière, Z. Naturforsch. **3a**, 78 (1948).
- [3] H.A. Bethe, Phys. Rev. **89**, 1256 (1953).
- [4] W.R. Nelson, D.W.O. Rogers and H. Hirayama, The EGS4 Code System, Stanford Linear Accelerator report SLAC-265 (1985).
- [5] GEANT Detector Description and Simulation Tool, CERN Program Library Long Writeup, PHYS325 (1993).
- [6] H. Hirayama et al., The EGS5 Code System, SLAC-R-730 (2005) and KEK Report 2005-8 (2005).
- [7] T. Nakatsuka, K. Okei and N. Takahashi, *Proc. 13th EGS User's Meeting in Japan*, KEK Proceedings 2006-4, 18 (2006).
- [8] K. Okei and T. Nakatsuka, *Proc. 3rd International Workshop on EGS*, KEK Proceedings 2005-7, 57 (2005).
- [9] T. Nakatsuka, K. Okei and N. Takahashi, *Journal of Okayama Shoka Univ.* vol. 43-1, 1 (2007).
- [10] K. Okei and T. Nakatsuka, *Proc. 14th EGS User's Meeting in Japan*, KEK Proceedings 2007-5, 26 (2007).
- [11] T. Nakatsuka and J. Nishimura, *Physical Review E* **78**, 021136 (2008)

# EGS5 を用いた X 線源の電子ビーム径シミュレーション

鳥取潤一郎  
株式会社ニコン

## 目的

シャープな X 線透過像を得るためには X 線源の大きさを小さくすることが望ましい。ところが、X 線源は電子ビームを重金属に照射して X 線を発生させているため、X 線源の大きさは電子ビームに依存している。そこで、X 線源の大きさと電子ビームとの関係を見積もるために EGS5 を用いてシミュレーションを行った。

## 計算

タングステンのターゲットに電子ビームを照射し、ターゲットを透過した X 線をターゲット入射面から 1 mm 離れた位置に配置した検出器で検出した。このとき、電子ビームの入射面での分布はガウシアン分布とし、開き半角 30 mrad で集光しているとした。入射面での電子ビーム径および加速電圧を変えた時の X 線の Line Spread Function (LSF) をナイフエッジ法と検出器から光源側へ逆追跡する方法の 2 通りで計算した。

## 結果

図 1 はナイフエッジ法と逆追跡法との計算結果を比較したものである。図 1 より 2 つの方法の計算結果はほぼ一致していることが確認された。また、図 2 のように加速電圧ごとに電子ビーム径と X 線源径とを比較すると、各加速電圧で電子ビーム径と X 線源径との間に相関が得られた。

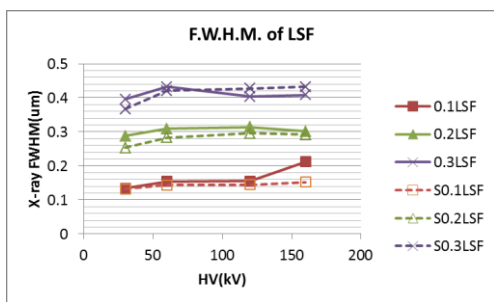


図 1 ナイフエッジ法(実線)と逆追跡法(破線)の LSF の比較

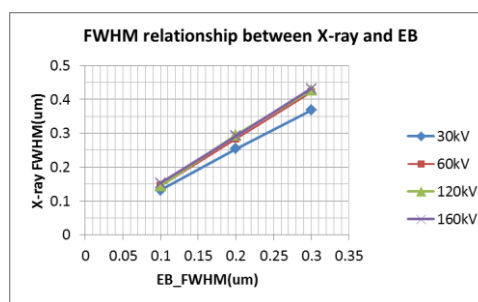


図 2 X 線源径と電子ビーム径との比較

## X線 CT のファントム内深部線量分布における実測と計算との差異の検証

井上政輝<sup>1</sup>, 小山修司<sup>2</sup>, 角田尚矢<sup>3</sup>, 羽場友信<sup>4</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学医学系研究科, <sup>2</sup>名古屋大学脳とこころの研究センター,

<sup>3</sup>名古屋大学医学部保健学科, <sup>4</sup>藤田保健衛生大学病院放射線科

### 1. 背景・目的

近年の X 線 CT 装置は、多列化に伴い体軸方向のビーム幅が拡大してきており、被写体内の深部線量分布が以前と変わってきていると考えられる。そこで本研究室ではこれまで、実測と、EGS5 を用いたモンテカルロシミュレーションにより、X 線 CT におけるファントム内深部線量分布の解析を行ってきた。しかし、これまでの検討で、実測とシミュレーションにより取得した深部線量分布には差異が生じていた。そこで今回は、特に X 線管球の回転開始角度に注目し、実測とシミュレーションの差異の原因を明らかにすることを目的とした。

### 2. 方法

すべての計算は、EGS5 を用いて、東芝メディカル社製 Aquilion64 の X 線ファンビームデータを組み込んで行った。線源 - 中心間距離は 600 mm、体軸方向ビーム幅は 16 mm とし、ファントムの体系はこれまでの研究で使用してきたものをそのまま使用している。エネルギー取得領域は、ファントム体軸方向中心の 4 mm×3 mm×1 mm とし、ヘリカルピッチは実測と同じ 0.938 に固定し、X 線管球の回転開始角度を 0° から 30° ずつ、330° まで変化させてそれぞれファントム内深部線量分布を取得した。

### 3. 結果・考察

回転開始角度の違いにより、それぞれのファントム内深部線量分布が異なることが示された。今回の結果では、330° から開始した場合が最も実測に近い線量分布を示した。ヘリカルピッチが大きくなるほど回転開始角度の違いによる線量分布への影響は大きくなると考えられるため、シミュレーションにより X 線 CT のファントム内深部線量分布を取得する際には、ヘリカルピッチを慎重に設定したうえ、X 線管球の回転開始角度も考慮に入れる必要があるといえる。

# EPID 画像コントラスト向上を目的としたシミュレーションコードと EGS5 によるベンチマークテスト

針生将嗣, 明上山温, 齋藤秀敏

首都大学東京大学院

## 背景・目的

画像誘導放射線治療 (image guided radiation therapy IGRT) とは、2 方向以上の 2 次元照合画像または 3 次元照合画像に基づき治療時の患者位置変位量を 3 次元的に計測・修正し、治療計画で決定した照射位置を可能な限り再現する照射技術のことである。IGRT の一つとして、治療計画時の CT 画像を再構成して得られる 2 次元照合画像 (digitally reconstructed radiography) と、照射直前に治療ビームを照射してリニアックに装備された electronic portal imaging device (EPID) で撮影されたポータル画像を照合する方法がある。このとき、治療患者からのコンプトン散乱光子によって EPID 画像のコントラストは低下し位置照合が困難な場合がある。EPID に入射する散乱光子の寄与をモンテカルロシミュレーションにより推定し、その影響を除去することによってコントラストの改善が期待できる。しかし、汎用的なモンテカルロシミュレーションでは十分な散乱光子データの取得には長い計算時間を要する。このため、我々はコンプトン散乱のみを考慮し散乱光子を効率良くサンプリングできるモンテカルロシミュレーションコード開発と、その結果を利用した画像コントラスト改善に関する研究を行っている。これまでの研究では、開発したシミュレーションコードを用いて EPID 原画像から散乱光子によると推定される画素値を減算することによりコントラストが改善されることを報告した。本報告では、作成したシミュレーションコードの計算アルゴリズムの信頼性を確認するため EGS5 を用いてベンチマークテストを行ったので報告する。

## 方法

EGS5 によるベンチマークテストのための条件として、ファントム-EPID 間距離 400 mm、EPID サイズ 512 pixel×384 pixel (0.784 mm / pixel) とし、EPID の構造は銅板 1.0 mm、Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S:Tb シンチレータ 0.4 mm、アモルファスシリコンダイオード 1.5 μm に設定した。30 cm×30 cm×30 cm の水ファントムにエネルギー 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6 MeV の光子をペンシルビームとして入射させ、EPID 座標中心から半径 5 mm ごとの同心円状に入射する光子数とそのエネルギースペクトルおよび計算時間を比較した。このとき、EGS5 では PCUT = 10 keV、電子が発生した場合は追跡を中止する設定とした。

## 結果・結論

図 1 (a)、(b) に入射光子エネルギー 6 MeV のペンシルビームを用いた場合のエネルギースペクトルを比較して示す。各領域における散乱光子のフルエンスおよびエネルギースペクトルは開発コードと EGS5 でよく一致した。このとき、各散乱光子エネルギーにおけるフルエンスの差は平均 0.77 %であった。他の入射光子エネルギーでは平均 0.5 %から 1.5 %以内の差であった。これによって、開発コードの信頼性が EGS5 より確認された。また計算時間は、一次光子数  $3 \times 10^7$  個の場合 EGS5 で約 270 s、開発コードでは約 220 s となり若干の計算速度の向上がみられた。

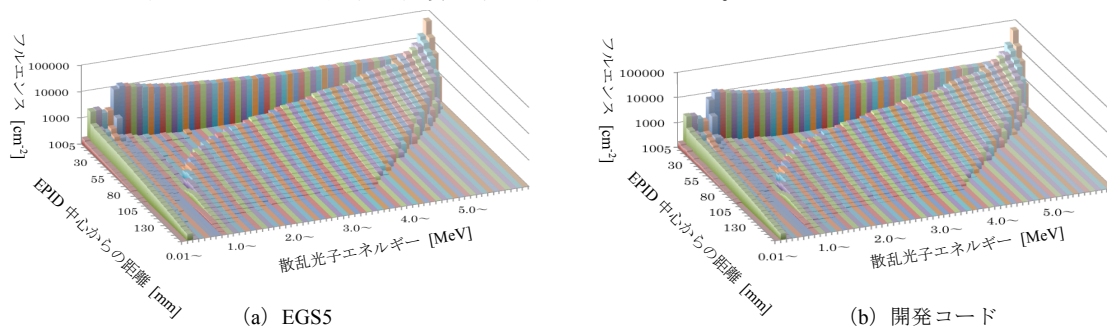


図 1 EPID 中心からの距離による散乱光子エネルギースペクトルの比較 (光子エネルギー 6 MeV)



# 電離箱線量計の吸収線量変換係数について

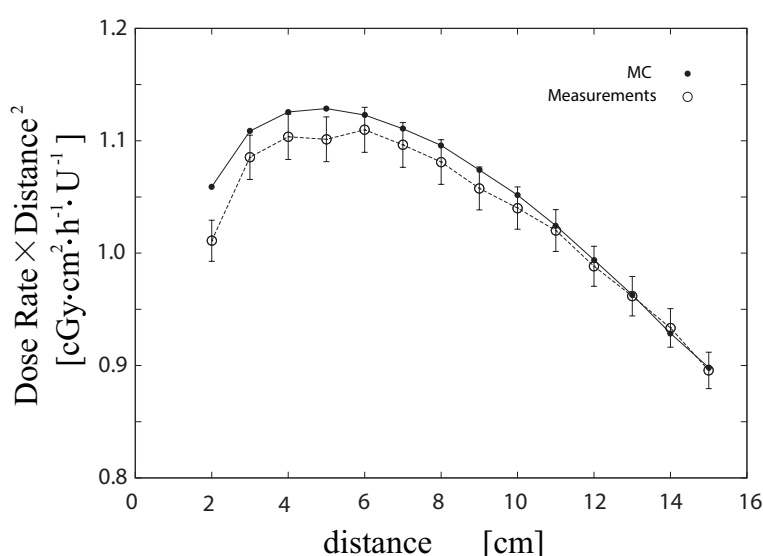
辻 修平, 成廣 直正<sup>†‡</sup>, 笈田将皇<sup>‡</sup>

川崎医科大学

<sup>†</sup>川崎医療短期大学

<sup>‡</sup>岡山大学大学院保健学研究科

<sup>192</sup>Ir 線源を使用した microSelectron-HDR v2 は、高線量率放射線治療に使用されている。一般に AAPM TG-43U1 プロトコルに従って吸収線量は計算されるが、モンテカルロシミュレーションでも計算できる。水ファントム中での吸収線量率の実測と EGS5 でのモンテカルロシミュレーション結果を図に示す。



一番大きい相対誤差は、2cm のところで 4.76 %であった。

モンテカルロシミュレーションは、実際の測定時での環境をより詳細に考慮することにより、近似させることができる。しかしながら、実測にもシミュレーションでは補正しきれない「不確かさ」が存在するので、これを考慮することも必要である。例えば、吸収線量の実測は、電離箱線量計を使って電荷量を測定し、コバルト校正定数、吸収線量変換係数等を使い変換する。シミュレーションでは、吸収線量、すなわち「水の単位質量あたりのエネルギー」を直接求めているのに対し、実測では「空気中の電荷量から水の単位質量あたりのエネルギー」に変換している。これらの変換係数にも当然ながら「不確かさ」が存在すると思われる。今回、吸収線量変換係数に着目し、使っている値が妥当かどうか、また距離においても、一定になるかどうかを EGS5 により検証する。尚、扱う線源は microSelectron-HDR v2、電離箱線量計は PTW TN30013 と特化した。

## EGS5 を用いた眼科治療用線源の補正係数の導出

産業技術総合研究所 加藤昌弘、黒澤忠弘、齋藤則生

**背景** 産総研では、 $\beta$ 線放出核種 Ru-106 を利用した眼科治療用線源の、水吸収線量標準の開発を行い[1]、供給を開始した。測定は外挿電離箱((株)応用技研、C-112C)を使って行う。測定値から水吸収線量の絶対値を導出する時に必要な、極板材質補正係数、薄膜補正係数、拡散補正係数および電子のエネルギースペクトルを、EGS5 コードを用いて求めた。

**手法** 線源は Eckert&Ziegler 社の Ru-106 アイアプリータの COC 型について計算した。線源は図 1 に示すように球面の一部を切り出した形状をしており、半径は 14mm である。外挿電離箱のジオメトリはメーカーから提供された図面をもとにして入力した。極板材質補正係数と薄膜補正係数は、外挿電離箱の電荷収集領域の吸収エネルギーを、電離箱の材質を変化させて計算し、結果の比から求めた。拡散補正係数は電荷収集領域における吸収エネルギーの分布から求めた。エネルギーフルエンスは電荷収集領域における値を計算した。

**結果** 図 2 に、エネルギースペクトルの計算結果を示す。得られたスペクトルを元に導出した質量阻止能比は  $1.099 \pm 0.07$  であり、平面線源に関して報告されている値[2]と不確かさの範囲内で一致した。各補正係数は 0.1% から 0.4% 程度の不確かさで求めることができた。

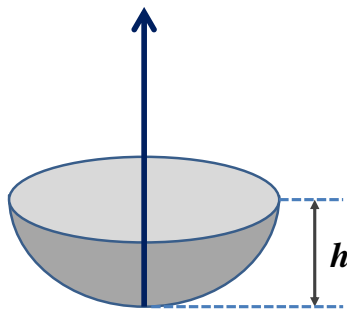


図 1 線源の形状。矢印は深さ方向の軸を示す。図中の  $h$  は、7.5 mm である。

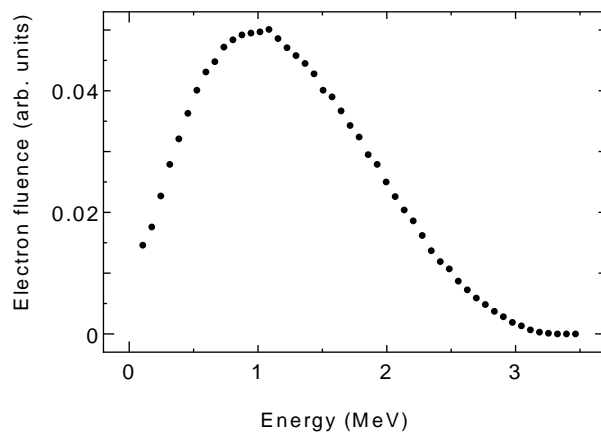


図 2 COC 型のルテニウム 106 治療用線源から放出されたベータ線のエネルギースペクトル。外挿電離箱を線源からの距離 10.5mm に設置した時の、電荷収集領域における値を、EGS5 コードで計算した結果。

[1] Kato *et al.*, KEK Proceedings, 2013-6, 24 (2013)

[2] Nuclear energy -- Reference beta-particle radiation -- Part 2: Calibration fundamentals related to basic quantities characterizing the radiation field

## EGS5 を用いた眼窩領域の電子線治療における水晶体防護物質の検討

中島祐二郎<sup>1</sup>、角谷倫之<sup>1</sup>、土橋卓<sup>1</sup>、岸和馬<sup>2</sup>、佐藤清和<sup>2</sup>、武田賢<sup>1</sup>、神宮啓一<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院医学系研究科 <sup>2</sup> 東北大学病院

### 【背景・目的】

眼窩領域の腫瘍に対して電子線治療が行われる。この治療ではリスク臓器として水晶体があり、有害事象である白内障を予防するため水晶体遮蔽が行われる。遮蔽物には鉛やタングステンが用いられるが、遮蔽に有効な物質と厚さは決められていない。そこで本研究では、EGS5 を用いて水晶体防護物質に必要な物質と厚さについて検討した。

### 【方法】

EGS5 を用いて眼瞼、遮蔽物、水晶体を再現したファントムを作成した。眼瞼の厚さを 1 mm とし、眼瞼に続く遮蔽物は 1 mm ～ 2 mm 厚の鉛 (Pb) またはタングステン (W) を用いた。遮蔽物から 3.5 mm を前房とし、水晶体は前房の後ろから厚さ 4 mm とした。入射電子のエネルギーは 4, 6, 9 MeV, 照射野は 6×6 cm<sup>2</sup>, SSD は 100 cm とした。ビーム中心軸上の線量プロファイルカーブを算出し、水晶体への最大線量 (d<sub>max</sub>) と平均線量 (d<sub>mean</sub>) を計算することで、遮蔽に最適な厚さを検討した。計算における光子・電子の cut-off energy はそれぞれ PCUT = 10 keV, ECUT = 521 keV とした。

### 【結果・考察】

図 1 に 6 MeV における Pb と W 挿入時の線量プロファイルカーブを示し、表 1 に Pb と W を用いた場合の各エネルギーに対する水晶体の d<sub>max</sub> と d<sub>mean</sub> を示す。この結果から、W が Pb より、また 2 mm 厚が 1 mm 厚より遮蔽効果が高いことが確認できた(4 MeV を除く)。4 MeV では、電子の側方散乱が増えるため遮蔽物を厚くすることでは水晶体を防護することができないためであると考えられる。また、入射電子のエネルギーが高い 6 MeV や 9 MeV では、側方散乱した電子による線量寄与が小さくなり、直接線の線量寄与が大きくなるため、高密度な遮蔽物を厚くすることで水晶体を防護することができると考えられる。患者の目に挿入する最大厚を 2 mm とした場合、4 MeV では W の 1 mm 厚、6 MeV と 9 MeV では W の 2 mm 厚が最適な物質と厚さであると考えられる。

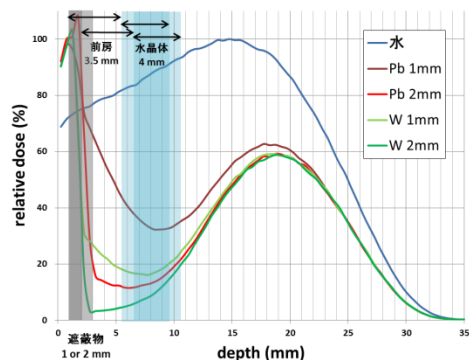


図 1. 6 MeV における遮蔽物ごとの線量プロファイルカーブ

表 1. エネルギー・遮蔽物に対する水晶体の d<sub>max</sub> と d<sub>mean</sub> の違い

	4 MeV		6 MeV		9 MeV	
	d <sub>max</sub>	d <sub>mean</sub>	d <sub>max</sub>	d <sub>mean</sub>	d <sub>max</sub>	d <sub>mean</sub>
Pb 1mm	38%	30%	42%	35%	65%	51%
Pb 2mm	36%	26%	20%	15%	36%	24%
W 1mm	32%	19%	19%	17%	30%	33%
W 2mm	36%	18%	18%	11%	8%	7%

## EGS5 を用いた高エネルギーX線照射時の歯科修復金属からの散乱線遮蔽物の設計

齋藤正英、角谷倫之、土橋卓、武田賢、神宮啓一

東北大学大学院医学系研究科

### [背景・目的]

頭頸部領域の外部放射線治療において、照射領域内に歯科修復金属がある場合、後方散乱による局所的な線量増大によって近接する口腔粘膜の炎症を引き起こす恐れがある。そのため歯科修復金属が照射領域から除去不能な場合、PMMA で構成されたマウスピースなどを用いて散乱線の遮蔽を行う場合がある。本研究ではモンテカルロシミュレーションを用いて、歯科修復金属からの後方散乱線量を定量解析した。さらに、その後方散乱の遮蔽物の最適な厚さを検討した。

### [方法]

歯科修復金属は 12%金銀パラジウム合金(alloy)、高カラット金陶材焼付用合金(KIK)の 2 種類、X線のエネルギーは Varian 社製リニアックの公称エネルギー 4, 6, 10, 15 MV を用いた。まず、水ファントムのビーム中心軸上の 5 cm 深に歯科修復金属(10 mm\*10 mm\*2 mm)を挿入し、ビーム中心軸の線量プロファイルカーブを算出した(図 2)。次に金属の前面に 2 mm~6 mm の厚さの PMMA を設置し、遮蔽の最適な厚さを検討した。計算における光子・電子/陽電子の cut-off energy は、いずれも PCUT=10keV, ECUT=521keV とした。

### [結果・考察]

6MV の X 線では、歯科金属の有無により、最大で alloy で 32.1%、KIK で 42.7%の線量増加が見られ、高原子番号物質ほど後方散乱線量は増加する傾向を示した。また、PMMA を 3mm, 4mm 設置することで、後方散乱線量を alloy で 1.4%, 0.3%, KIK で 2.5%, 0.3%に低減することができた。したがって、PMMA は 3~4 mm の厚さであれば、後方散乱を十分に遮蔽することが可能であると予想される。今後は実測など詳細な検討を行う予定である。

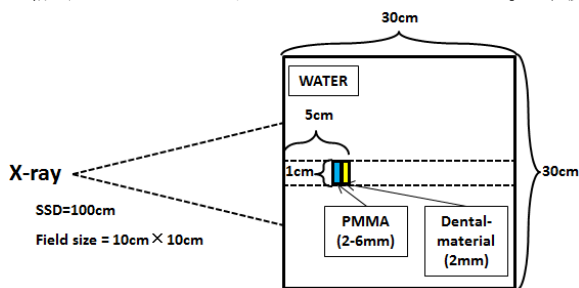


図 1 計算体系

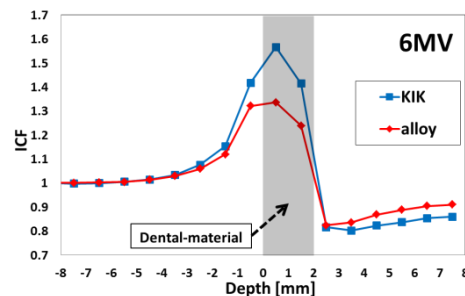


図 2 金属の線量プロファイルカーブの比較

参考文献 : Daryoush Sheikh-Bagheria and D. W. O. Rogers, "Monte Carlo calculation of nine megavoltage photon beam spectra using the BEAM code", Med. Phys. 29, 391-402, (2002)

# NaI 波高分布を用いた大気中、地面上放射能濃度の同時推定における核種浸透の影響の検討

廣内 淳<sup>1)</sup>, 寺阪 祐太<sup>1)</sup>, 平尾 茂一<sup>1)</sup>, 森泉 純<sup>1)</sup>, 山澤 弘実<sup>1)</sup>, 桑原 雄宇<sup>2)</sup>

1) 名古屋大学大学院工学研究科, 2) 茨城県環境放射線監視センター

**1. 緒言** 原子力発電所の事故後、大気中、地面上放射能濃度は内部被ばく、周辺の汚染状況を評価する上で重要である。今まで、波高分布を用いた放射能濃度の推定が行われてきたが、これらの推定では、放射性物質が大気中、地面上の両方に存在する場合に、濃度推定値が合理的でないことが指摘された<sup>[1]</sup>。散乱線が主である低エネルギー側(< 500 keV)の計数率と光電ピーク部の計数率との比は放射性物質の存在位置（大気中または地面上など）によって変わることが知られている。本研究ではこの計数率の比を用いて、NaI(Tl)検出器で測定された波高分布から、大気中、地面上放射能濃度を同時に推定する際の核種浸透による濃度推定値への影響を検討した。

**2. 解析方法** 各核種による NaI(Tl)検出器応答を EGS5 により求めた。計算体系は半無限空間とし、放射性物質は高さ 1 km まで大気中に一様に存在する、または地表面に沈着した核種は全てある深さ  $d_i$  ( $d_i = 0$  は浸透無し) に存在する条件で波高分布を計算した。推定核種は、大気放出されやすく、線量率への寄与が大きく、検出された核種(<sup>131</sup>I, <sup>132</sup>I, <sup>133</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>136</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>132</sup>Te, <sup>133</sup>Xe)とした。各核種の主要な光電ピークが一つのエネルギー幅(BIN)に収まるように、60~1100 keV のエネルギー範囲内に BIN を 8 つ設定した。さらに本研究では大気中放射能濃度と地面上放射能濃度の比  $F$  は核種によらないとし(<sup>133</sup>Xe を除く)、各時刻の  $F$  を推定核種の光電ピークを含まない BIN(120-180 keV)を用いて推定した。これら 9 つの BIN 内の計数率の実測値と計算値が最も一致する各核種の放射能濃度及び  $F$  を最小二乗法で決定した。本手法を茨城県内の MS で 2011 年 3 月 14 日~31 日に測定された波高分布 (10 分間値) に適用した。

**3. 結果** 浸透深さ  $d_i = 0$  (浸透なし)、 $1.6 \text{ g cm}^{-2}$  と仮定した時の大気中放射能濃度推定値の時間変化を図に示す。浸透を考慮していない場合、3 月 15 日、16 日、20-22 日に放射性物質を含むプルームの通過に対応する鋭いピークが見られ、その他の期間では指数関数的に変動した。浸透を考慮した場合、プルーム通過時では浸透を考慮していない場合と濃度推定値に大きな違いは見られなかったが、その他の期間では推定値は 0 となり、より合理的な推定結果が得られたことを示している。

浸透を考慮しない場合、放射性核種が地面上のみに存在する条件で計算した波高分布は、プルームが通過していない期間中も、低エネルギー側で実測値よりも過小に計算され、放射性物質の一部が大気中にも存在すると見なされた。その結果、大気中放射能濃度推定値は 0 にならなかった。一方、浸透を考慮することにより、土壤中で散乱する  $\gamma$  線の数が多くなり、低エネルギー側の波高分布はより大きく計算される。それ故、放射性核種が地面中のみに存在する条件で計算した波高分布は、プルームが通過していない期間中で、実測値とよく一致し、大気中放射能濃度推定値が 0 となった。

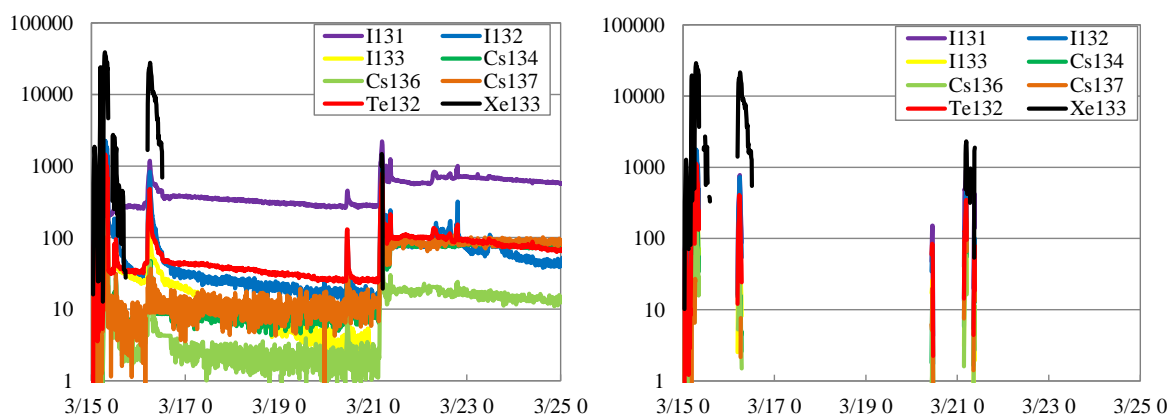


図 村松 MS での大気中放射能濃度推定値の時間変化 (左:  $d_i=0 \text{ g cm}^{-2}$ , 右:  $d_i=1.6 \text{ g cm}^{-2}$ )

[1] 平山ら, 日本原子力学会和文論文誌, Vol. 12, No. 4, 304-310, (2013).

## 航空機モニタリングによる自然放射線評価手法の開発

西澤幸康<sup>1)</sup>、杉田武志<sup>2)</sup>、眞田幸尚<sup>1)</sup>、鳥居建男<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 日本原子力研究開発機構 <sup>2)</sup> 科学システム研究所

### 1. 目的

東京電力福島第一原子力発電所の事故により大気中に拡散した放射性セシウムの分布状況を調査するため、原子力規制庁からの委託により原子力機構では航空機モニタリングを実施してきた。航空機モニタリングでは放射性セシウム沈着量を評価するためにバックグラウンドである天然核種由来の線量率を評価している。予め放射性セシウムが検出されない地域で測定したデータから全計数率と 1400keV 以上の積算計数率との比率 (BG-Index) を算出しておき、放射性セシウムが分布した地域で BG-Index と 1400keV 以上の積算計数率を掛けて天然核種由来の線量率を評価する。しかし、地域により異なる天然核種の組成比が BG-Index にどの程度影響を及ぼすか検証されていなかった。そのためモンテカルロコード EGS5 を用いて計算した天然核種別の BG-Index と、実測により得られた天然核種の組成比を掛け合わせることで BG-Index のばらつきを求めた。また、線量率の高い地域では 1400keV 以上の積算計数率に Cs-134 の 1365keV ピーク由来の計数率が僅かながらに影響することから、天然核種由来の放射線が過大評価となる可能性があった。そのため放射性セシウムの影響を取り除き自然放射線分布マップを評価する手法を開発した。

### 2. 手法

天然核種の組成比が BG-Index へ及ぼす影響を検証するため行ったシミュレーションでは、地中に天然核種を均一分布させ、高度 300m に配置した NaI シンチレーション検出器のスペクトルを計算した。そのスペクトルから天然核種ごとのピーク面積と BG-Index の関係性を評価し、実測により得られた天然核種の組成比を掛け合わせることで BG-Index のばらつきを求めた。また、1400keV 以上の積算計数率から放射性セシウム由来の影響を取り除くには、K-40 のピークから Cs-134 の寄与を分離する必要があることから、2つのガウス関数を仮定し関数適合法を用いて求め、逆行列を利用して両者のピーク面積を算出した。さらに、K-40 のピーク領域における 1400keV 以上の計数率を求めて、1400keV 以上の積算計数率を減算した。

### 3. 結果・考察

上記手法により放射性セシウムの沈着が確認されている地域において天然核種の組成比による BG-Index の変動が 10%以内にほとんどが収まり、地域により BG-Index を変える必要がないことが分かった。また、放射性セシウムの影響を取り除いた日本全国の自然放射線分布のマップを作成し、より詳細な放射性セシウム沈着量の評価が可能となった。航空機モニタリングのように全国を網羅しメッシュ上の測定により得られた自然放射線分布は今までになく、本マップは今後の天然核種分布の基礎データとしての利用が期待できる。

## 第21回EGS研究会プログラム(暫定)

日時:2014年8月5日(火)

場所:高エネルギー加速器研究機構研究本館小林ホール

8月5日(火)

### 【基礎・X線】

13:30-14:45

桶井 一秀 川崎医大 多重クーロン散乱による曲がり角と横拡がり同時分布計算への電離損失効果の導入

鳥取 潤一郎 ニコン EGS5を用いたX線源の電子ビーム径シミュレーション

井上 政輝 名大医 X線CTのファントム内吸収線量分布における実測と計算との差異の検証

### 【治療用放射線場の評価】15:00-17:05

針生 将嗣 首都大 EPID画像コントラスト向上を目的とした自作シミュレーションコードとEGS5によるベンチマーク

辻 修平 川崎医大 電離箱線量計の吸収線量変換係数について

加藤 昌弘 産総研 眼科治療用線源の水吸収線量測定における補正係数の導出

中島 祐二郎 東北大医 EGS5を用いた眼窩領域の電子線治療における水晶体防護物質の検討

齋藤 正英 東北大医 EGS5を用いた高エネルギーX線照射時の歯科修復金属からの散乱線遮蔽物の設計

### 【福島関連】

17:15-18:30

廣内 淳 名大工 NaI波高分布を用いた大気中、地面上放射能濃度の同時推定における核種浸透の影響の検討

西澤 幸康 JAEA 航空機モニタリングによる自然放射線評価手法の開発

平山 英夫 KEK 福島第一原子力発電所の事故に関連した線量評価へのEGS5の応用