



Photo M. Abe

Index

「測定線量」と「防護量」	平山 英夫	1
放射線量計測の基礎 (1)	細田 正洋	6
パキスタンと原子力	町 末男	11
■ 公開シンポジウム ■		
「加速器中性子を用いたMo-99等 医療用放射性同位体の生成研究」報告	永井 泰樹	12
〔新刊紹介〕		
放射線遮蔽ハンドブック―基礎編―		17
平成27年度 放射線取扱主任者試験の実施について		18
〔サービス部門からのお願い〕		
GBキャリー集荷専用フリーダイヤルについて		19

「測定線量」と「防護量」



平山 英夫*

1. はじめに

放射線防護の分野では、放射線測定器で測定される線量である「実用量」と放射線によるリスクに関連する「防護量」が同じシーベルト単位で用いられている。また、どのような線量概念の「シーベルト」も、物理量ではないので、「温度」や「気圧」等の物理量の様に「原理に基づいて測定する」ことが出来ない。更に、場の線量として、グレイ単位の空気吸収線量（又は、空気カーマ¹）が用いられる場合もあり、これらの状況が、放射線に関する「線量」が判りにくい一因となっている。放射線に関連した「線量」は、従来は主に放射線管理に関連した業務や放射線作業に従事する人が理解しておくべきことであったが、東京電力福島第1原子力発電所の事故に伴い、多くの国民が関心を持つ問題となった。事故に伴い測定が必要になった放射線場が、広い領域にCs-137等の放射性同位元素が分布しているという放射線管理に従事してきた人にとってもあまり経験したことがないものであることも、理解が難しい要因になっていると思われる。以下では、「実用量」、「空気吸収線量」と「防護量」の概念について紹介すると共に、事故に伴う測定に関連して理解しておくことが必要な事項を紹介する。

2. 放射線防護で使われている線量概念

シーベルトが単位となっている線量概念を第

1表に示す。防護量は、吸収線量という物理量を基本として放射線健康リスクと関連性を持たせた指標であると考えられることができる。被曝を受ける各器官または組織の防護量が等価線量であり、全身の防護量が実効線量である。等価線量は、組織・器官の放射線による平均吸収線量を、放射線の種類の違いによる確率的影響と関連を持つ放射線加重係数（光子の場合は、1）で加重合計した量であり、実効線量は、組織・器官の確率的影響に関する放射線感受性を示す組織加重係数を用いて、等価線量を加重合計したもので、確率的な健康

表1 実用量と防護量の関係

放射線測定器で測定される線量 サーベイメータ	実用量	防護量
1 cm線量当量	周辺線量当量 H*(10)	実効線量
70 μm線量当量	方向性線量当量 H'(0.07,0°)	
個人線量計	個人線量当量	等価線量
1 cm線量当量	H _p (10)	
70 μm線量当量	H _p (0.07)	

¹空気カーマは、電荷を持たない放射線により、微小体積の空气中で荷電粒子に移行したエネルギーであり、空気吸収線量は、放射線により微小体積の空气中で、空気に吸収されたエネルギーである。空気カーマと空気吸収線量は、本来異なる「線量概念」であるが、荷電粒子平衡が成立立っていて、測定領域での電子による制動放射の寄与が無視できる場合には同じ値となる。概念的には、空気吸収線量の方が理解しやすいので、以下の説明では空気吸収線量を使用する。

* Hideo HIRAYAMA 高エネルギー加速器研究機構 名誉教授 / 総合研究大学院大学 名誉教授

影響と関連を持つ指標と考えることができる。外部被曝の場合は、放射線が人体に入射する方向（照射形状）により、組織・器官の平均吸収線量が異なるので、実効線量が異なる。

実用量は、放射線量の測定値から防護量を適切に推定評価するため、また線量計を校正するときの目標量として使用するために、国際放射線単位および測定委員会（International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU）により考案された概念である。実用量は、実効線量とエネルギー応答がよく似ており、なおかつ、どのような照射形状の実効線量よりも大きいことが条件である。場のモニタリングの実用量である周辺線量当量 $H^*(d)$ は、ICRU球という仮想的な直径30cmの球ファントムの主軸上の深さ d (mm)での線量当量として定義される。実効線量に対応する周辺線量当量の場合は、 d として10mmが使用される。個人モニタリングのための実用量としての個人線量当量 $H_p(d)$ は、人体表面上の指定された点の深さ d におけるICRU人体等価物質中の線量当量である。実効線量に対応する個人線量当量にも、 d としては10mmが使用される。

場の測定に使用されるサーベイメータ等は、 $H^*(10)$ と似たエネルギー応答を持つように工夫した線量計である。 $H^*(10)$ との一致の程度は、光子のエネルギー情報の組み入れ方により異なる。一方、個人の被曝線量を測定する個人線量計は、 $H_p(10)$ と似たようなエネルギー特性を持つように工夫した線量計であるが、平板ファントム上で校正する点が、サーベイメータと異なる。シーベルトへの値付けには、どちらの場合も、通常Cs-137からの0.662MeV γ 線が使用される。

空気吸収線量は、実用量と同じように場の測定に使用される線量であるが、実用量と異なり物理量（1グレイ=1ジュール/kg）である。吸収線量は、放射線の種類に関係なく使用できる概念であるが、空気吸収線量は、エックス線・ γ 線についてのみ定義され長年使われてきた「照射線量」に代わって使われているものなので、対象とする物質が空気、エックス線・ γ 線に対して使用されることが多い。空気電離箱で測定する場合には、定義に近い測定となるが、NaI (Tl)等を使って測定する場合には、周辺線量当量の場合と同様に、様々な工夫より、空気電離箱とエネルギー応答が近くなる様に工夫したものである。

第1図に、空気吸収線量から各種照射形状の実効線量又は周辺線量当量への換算係数(Sv/Gy)を示す。図中で、 $H^*(10)$ は、周辺線量当量、APは人体前方から、RLATは照射形状は右側面から、LLATは左側面から、PAは人体後ろから、ISOはあらゆる方向から一様に、ROTは側面から一様に放射線が入射する照射形状での実効線量である。

線量概念については、放射線工学部会の線量概念検討ワーキンググループで執筆した詳しい解説記事が原子力学会誌（2013年2月号）に掲載されている¹⁾。

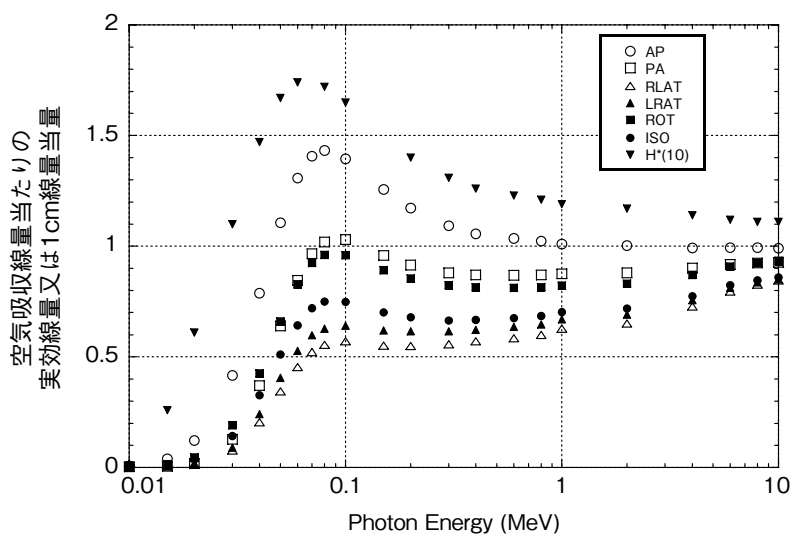


図1 空気吸収線量から実効線量当量又は1 cm線量当量へ換算係数

3. 福島第1原子力発電所の事故に伴う放射線場の特徴

事故に伴う放射線場の特徴は、放射性同位元素が非常に広い範囲に分布していることである。線量計の校正では、線源から放出された一方向の γ 線 (Cs-137であれば、Ba-137mからの0.662MeVの γ 線) を対象として考えれば良い。しかしながら、同じCs-137であっても、広い範囲に分布している場合は、四方八方から来る線源から出た γ 線 (直接線) と広いエネルギー範囲に分布した散乱線を対象とすることになる。EGS5²⁾ で計算した一様な密度で無限に広いCs-137が存在している状態における地表1mでのスペクトルを第2図に示す。 β は、地中への浸透が指数関数的であった時の係数で、 β (g/cm²) の深さでの放射能密度が地表での1/eとなる。直接線の割合が最も多い地表面に分布している場合でも、散乱線が直接線と同じ程度あり、Cs-137が地中に浸透するにつれ散乱線の割合が大きくなることが判る。このような散乱線の寄与と方向性が事故に伴う線量測定において考慮しなければならない重要な点である。なお、地表に広く分布した放射性同位元素による γ 線スペクトルについては、文献3で詳しく検討されている。

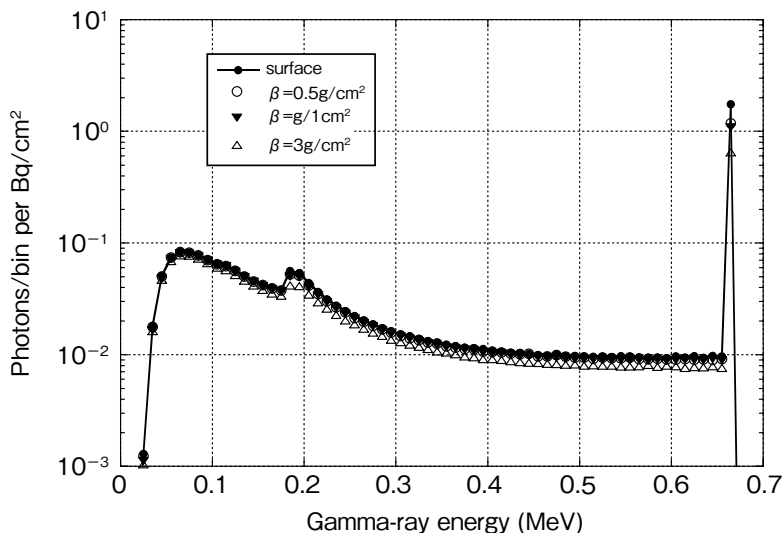


図2 地表に無限に広がったCs-137による地表1mでの光子スペクトル

4. サーベイメータ等による場の線量測定

2で紹介したように、周辺線量当量を測定するサーベイメータ等の線量計は、H*(10)と似たエネルギー応答を持つように工夫したものであり、その一致の程度はサーベイメータのエネルギー特性により異なる。第2表は、一般社団法人日本電気計測器工業会の「放射線測定機器の性能チェックシート作成委員会」により作成されたもの⁴⁾ であるが、エネルギー補償があるシンチレーション式以外の線量計では、光子のエネルギーによるが、周辺線量当量H*(10) と数倍の違いが生じる可能性がある。一般的に、校正に使用されるCs-137の0.662MeVより高いエネルギーでは過小評価に、低いエネルギーでは過大評価となる傾向がある。このことは、同じ場での測定であっても、線量計間で場合によっては、2倍程度の違いが生じる可能性があることを示している。サーベイメータ等の線量計は、「シーベルト単位の周辺線量当量や周辺線量当量率」を短時間で知ることができるという点では、便利な測定器であるが、本質的に上記のような特性を持ったものであることを知って使用する必要がある。

測定された「周辺線量当量」から、「実効線

量」を求める場合には、場の状況 (照射形状) の情報が必要である。「周辺線量当量」が同じ場でも、照射形状により「実効線量」は異なることは、第1図から明らかである。「周辺線量当量」から外部被曝による「実効線量」を求める場合には、場の状況に基づく照射形状と一緒に示さなければならない。

一方、発電所や自治体が設置しているモニタリングポストでは、空気吸

表2 検出器種別の測定エネルギー範囲、感度、環境測定への適用の評価⁴⁾

エネルギー範囲	感度	評価	適用する検出器の種類
60keV~1.5MeV	0.85~1.15	A	シンチレーション式 (エネルギー補償あり)
60keV~1.5MeV	0.7~1.3	B	Si半導体検出器
60keV~1.5MeV	0.20~5.0	C	シンチレーション式 (エネルギー補償なし)
60keV~1.5MeV	0.50~2.0	C	GM式
I~131、Cs-134、 Cs-137が測定可能 200keV~1.25MeV	0.5~3.0	C	無補償型で、エネルギー範囲が狭いが、福島第一原発事故で 出た核種は測定できる

表3 広く分布したCs-137又はCs-134による各種線量の比較¹⁾

地表高さ100cm、浸透汚染 ($\beta = 1 \text{ g/cm}^2$)

	Cs-137 1 Bq/cm ² 、 $\mu\text{Sv/h}$		Cs-134 1 Bq/cm ² 、 $\mu\text{Sv/h}$	
周辺線量当量(A)	0.0206 ± 0.000011	(A)に対する比	0.0558 ± 3.3E-05	(A)に対する比
空気吸収線量	0.0163 ± 8.5E-06	0.791	0.0448 ± 2.7E-05	0.803
実効線量 (ROT照射)	0.0135 ± 7.5E-06	0.655	0.0369 ± 2.2E-05	0.661
実効線量 (ISO照射)	0.0112 ± 6.3E-06	0.544	0.0308 ± 1.9E-05	0.553
成人Cristyファントム 装着個人線量計	0.0142 ± 0.00022	0.689	0.0385 ± 0.00061	0.690

地表高さ100cm、地表汚染

	Cs-137 1 Bq/cm ² 、 $\mu\text{Sv/h}$		Cs-134 1 Bq/cm ² 、 $\mu\text{Sv/h}$	
周辺線量当量(A)	0.0313 ± 0.000020	(A)に対する比	0.0857 ± 5.7E-05	(A)に対する比
空気吸収線量	0.0253 ± 0.000016	0.808	0.0692 ± 4.7E-05	0.807
実効線量 (ROT照射)	0.0207 ± 0.000013	0.661	0.0569 ± 3.9E-05	0.664
実効線量 (ISO照射)	0.0173 ± 0.000011	0.553	0.0478 ± 3.3E-05	0.558
成人Cristyファントム 装着個人線量計	0.0214 ± 0.00032	0.684	0.0595 ± 0.0009	0.694

吸収線を測定している場合が多い。当然の事ながら、空気吸収線量は周辺線量当量とは異なる線量なので、第1図から判るように、エネルギー応答が異なる。空気吸収線量として示す場合は、そのことを示しておけば、場の情報として使う上では問題はない。ただし、空気吸収線量から防護量である「実効線量」に変換する場合には、「周辺線量当量」の場合と同じ様に照射形状を考慮する必要がある。平常時では、モニタリングポストでの線量の主要な要因が希ガスとスカイシャインであることから、「ISO照射形状」であるとして空気吸収線量から実効線量への換算を行ってきたと思われる²。「環境モニタリング指針」では、「緊

急事態発生時の第1段階モニタリングにおいては1 mGy=1 mSvとする。」とされており、福島第1原子力発電所の事故でもこの措置がなされた。しかしながら、この措置の根拠と緊急事態発生時に想定すべき照射形状をどうするかについての説明はされていない。

第3表に、一様な密度で広く分布したCs-137又はCs-134からの地表1 m高さでの各種線量の比較を示す¹⁾。表には、成人Cristyファントムに装着した個人線量計について推定した結果も併せて示している。

²原子力安全委員会「環境モニタリング指針」：解析結果から実効線量 (単位mSv) の推定値を求めるには、原則として、空気カーマ (単位mGy) に0.8を乗ずる。

5. 個人線量計による被曝線量の測定

個人線量計は、放射線作業における被曝管理において有用な線量計である。通常の放射線作業において、最も被曝線量が高くなるのは線源に対置している場合（AP照射形状に近い状況）である。この事実は、個人線量計が、ファントムに装着した状態で校正されていることと対応している。この場合、個人線量計のエネルギー特性により精度は異なるが、 $H_p(10)$ に近い結果となることが期待できる。ファントムの効果がファントムにより後方散乱されて再び線量計に入ってくる散乱線による寄与であることから、線量計を装着した個人の体格による影響を受けにくい。しかしながら、福島等において、個人の被曝線量を把握する目的で個人線量計を使用する場合には、以下の点に留意することが必要である。

- (1) 放射線が四方八方から来るため、人体が遮蔽の役割を果たす。着用部位の反対側から入射した場合、15cm厚さのファントムで約1/2に減衰する。第3表に示した様に、一様な密度で広く放射性同位元素が分布している場では、ファントムに装着した個人線量計の線量は、数値的には「ROT照射形状の実効線量」に近い値となる⁵⁾。このことは、ファントムを使って福島で行われた実験でも確認されている⁶⁾。人体による減衰効果が影響していることなので、体格による影響が出る可能性も考慮する必要がある。
- (2) 通常の放射線作業の場合は、作業期間しか被曝の可能性がないので、作業期間における着用とその他の時間の適切な保管に注意すれば良い。しかしながら、事故に伴う被曝線量の把握では、24時間の測定が必要になる。自宅での線量計の扱い等に注意しないと正しい結果が得られない。

6. まとめ

事故に伴う放射線場の測定や個人被曝の測定も、放射線測定という点では、通常の放射

線作業の場合と同じという受け止め方をしがちであるが、事故に伴う放射線場は、通常の作業時の放射線場と異なること、被曝の状況も放射線作業と異なる場合があることを理解して対応する必要がある。本誌の読者のように、これまで放射線作業や放射線管理に従事して来た方が、上記のことを理解して事故に伴う「線量測定」に対応すると共に、事故後「線量測定」に係わることになった多くの方へきちんと説明することが望まれる。

参考文献

- 1) 放射線工学部会線量概念検討ワーキンググループ、“特集 放射線防護に用いられる線量概念”、日本原子力学会誌、2013年2月号
- 2) H. Hirayama, Y. Namito, A. F. Bielajew, S. J. Wilderman and W. R. Nelson, “The EGS 5 Code System”, SLAC-R-730 (2005) and KEK Report 2005-8 (2005).
- 3) 平山英夫、佐波俊哉、波戸芳仁、“モンテカルロコードegs5を用いた地表に広く分布した放射性物質による地表1mでのガンマ線スペクトルの評価”、日本原子力学会和文論文誌12 (2013) 222-130.
- 4) 平成24年度我が国情報経済社会における基盤整備事業放射線測定機器の性能チェックシート、11ページ、エネルギー特性
https://jemima.or.jp/assets/files/kankoubutsu/guideline/SurveyMeter_Checksheet.pdf
- 5) 平山英夫、“EGS5による地表に広く分布した¹³⁴Cs及び¹³⁷Csの環境下における個人被曝線量の評価”、RADIOISOTOPES, Vol.62, No.6 (2013) 335-345.
- 6) 日本原子力研究開発機構・放射線医学総合研究所、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に係る個人線量の特性に関する調査、NIRS M-270, 2014.4

著者プロフィール

1946年香川県生まれ。1973年8月京都大学大学院工学研究科博士課程中退。同年9月、高エネルギー物理学研究所に入所。電磁カスケードモンテカルロ計算コードegsの改良・普及及びegsを使った研究と高エネルギー加速器施設の遮蔽に関する研究等に従事。1995年より、同研究所教授。2006年より、高エネルギー加速器研究機構(1997年に改組)共通基盤研究施設長。2012年3月任期満了で退職。工学博士。

放射線量計測の基礎 (1)



細田 正洋*

1. はじめに

放射線の諸量と単位の在り様については国際放射線単位測定委員会 (International Commission on Radiation Units and Measurement: ICRU) が勧告し、その改訂の都度、多くの専門家によって解説がされている。また、多くの放射線計測学、放射線防護学、放射線物理学の教科書類にも放射線の量と単位に関する記述がある。これらを目にすると著者の学生時代の恩師である故森内和之先生が「量とその単位は全ての計測に通ずる最も基本的なことである」とよく話されていたことを思い出す。森内先生は当時の電子技術総合研究所 (現在の国立研究開発法人産業技術総合研究所) で照射線量の国家標準確立のために大きな貢献をされた。先生の放射線科学概論の講義は、放射線の量と単位については特に多くの時間を割き、用語の使用について正確かつ丁寧なものであった。福島での原発事故を受け著者自身、放射線に関する諸量とそれらの単位の重要性を改めて認識させられた。そこで、本稿のタイトルは先生が翻訳された J. R. Greening の著書の和訳名である「放射線量計測の基礎」¹⁾ とした。

本稿は、大学及び大学院において放射線物理学や診療放射線基礎科学等の講義を担当している立場として、著者が講義資料の作成のために生前の森内先生と直接話をしながらまとめた資料や既に出版されている様々な教科

書や論文等を引用しつつ、**放射線の専門家を対象として放射線量計測の基礎となる放射線の量とその単位について改めて復習することができるように、関連する情報を整理してまとめたものである。**

2. 放射線計測の基礎

放射線の測定方法には大きく分けて絶対測定法と相対測定法がある。森内²⁾によれば、絶対測定法とは、「目的とする量の定義に基づき何かと比較することなく、一つの測定器でその量を求めることができる測定方法」である。つまり、①目的量の定義に基づく測定ができること、②一つの測定器によって目的とする量が得られることの2つがポイントである。一方、相対測定法とは、「目的とする量の値が基準測定器の指示値や既知の標準線源などから発する放射線への応答と測定値を比較することでその量を求めることができる測定方法」である。ここで、絶対測定法は相対測定法よりも測定精度において必ずしも上位にある測定法ではないが、計量の国家標準体系では絶対測定が可能であり、かつ、その精度と確度が高いことが望まれる。放射線量計測では、国としての計量に係るトレーサビリティ確保策として国立研究開発法人産業技術総合研究所が一次標準を担うように指定されており、同所では平行平板型自由空気電離

* Masahiro HOSODA 国立大学法人弘前大学大学院 保健学研究科 医療生命科学領域 放射線生命科学分野・講師

箱を用いた照射線量（もしくは空気カーマ）の絶対測定がなされている³⁾。

そもそも放射線とは、エネルギーを持って空間中を飛んでいる粒子のことである。通常は放射線といえば、物質に対して電離能力を持つ放射線のことを意味し、電離性放射線と呼ぶ。紫外線も物質に作用して電子にエネルギーを与えることができるが、生成される電子は物質を電離させることができないので、電離性放射線の仲間には入れない。また、電離性放射線には α 線や β 線のような物質に対して直接電離を引き起こすことができる直接電離性放射線と、X線・ γ 線や中性子線のように物質との間で相互作用を起し、発生した二次荷電粒子（電子や陽子など）によって電離が引き起こされる間接電離性放射線とに分けられる。

ここで、作用相手である物質を放射線検出器のセンサーに当てはめてみる。直接電離性放射線の検出には、電離の収率を高めるため媒質のW値は小さい程よく（電離の量が多いほど統計的な揺らぎも少なくなる）、また速い信号の取出しには、その媒質における生成荷電粒子の易動度が大きいことが望ましいものとなる。一方、間接電離性放射線の検出には、X線や γ 線に対して光電効果、コンプトン効果や電子対生成を起しやすい物質、中性子線に対して弾性散乱や荷電粒子放出反応を伴う非弾性散乱や吸収反応を起しやすい物質を用いることが検出器の感度の向上につながる。

いずれにしても、全ての放射線は最終的に電離か励起によって計測される。現在の放射線量計測学では、“エネルギー吸収”を“荷電粒子による電離生成の過程を介しての物質系に対して付与されるエネルギー”を意味するものとしている。さらに言えば、物質系に対して付与されるエネルギーには、その系の内部エネルギーの増減は組み込まないこととされていることに注意が必要である。

ここで話題が少し変わるが、「放射線の量」

と「放射線量」の違いについて述べる。「放射線の量」とは、英語で言うならばQuantity of Ionizing Radiationであり、入射する放射線自身に関連する量のことである。これは、ICRUの報告書の中で、ラジオメトリック量（放射線場の量）としてまとめられている粒子フルエンスやエネルギーフルエンスなどを示すものであって、“線量 (dose)”とは異なる。「放射線量 (Dose of ionizing radiation)」とは、放射線が物質と相互作用をした結果作られる各種作用の生成物の収量や作用を引き起こす物質や物体への効果・影響を定量的に把握したり、予測したり、制御したりするための量のことである。これには、照射線量、カーマ、吸収線量等が含まれ、ICRUの報告書の中ではドシメトリック量（線量計測量）としてまとめられている。物理量としての線量の特徴は、放射線だけでなく、相互作用する相手方の物質にも依存して決まることである。

3. 各量とそれぞれの間の関係について

放射線関連の諸量は物理量、防護量、実用量の3種に大別されることが多い。これら3種の量の相互関係は、例えば平山らの論文⁴⁾に分かりやすく解説されている。その論文⁴⁾にある図を一部改変して図1に示す。

物理量とは、物理的手段で計測できる、もしくは計測できる量の組合わせて求めることができる量のことである。例えば、照射線量、カーマ、吸収線量などが該当する。線量においてはこの物理量が基準となり防護量や実用量が計算される。防護量とは、人に対する放射線防護の目的のみに用いられる線量のことであり、実効線量と等価線量が含まれる。これらの量は国際放射線防護委員会 (International Commission on Radiological Protection: ICRP) によって定義されているが、実際に計測することができない量である。とはいえ、放射線防護の関係法令では実効線量や

等価線量を制御量としているため、放射線管理を行う上で定量可能な制御量が必要となる。そこで、放射線管理の実務のために実用量が導入されている。放射線場のモニタリングに関する実用量として周辺線量当量や方向性線量当量、人のモニタリングに関する実用量として個人線量当量などがICRUによって用意されている。これらの量は防護量の代替量としてや線量計の較正目標値として用いられる⁴⁾。

物理量から防護量や実用量へは、図1に示すように放射線加重係数、組織加重係数やICRU球等を用いて換算されるというのがICRPのシステムである。実用量は、導入の意図からわかるように、相当する防護量の制御が安全側に行われるように設定されている⁵⁾。

放射線に関する諸量の相互関係を図2に示す。この図は森内によってつくられ、論文^{6,7)}や教科書^{1,8)}に用いられていたものに一部加筆した。放射線に関する諸量は①ラジオメトリック量、②相互作用係数及び関係量、③ドシメトリック量、④放射能関係量に分類できるが、加藤⁹⁾によれば、ICRUがこのような分類をし

たのは1980年の報告書33からであり、この背景には森内による働きかけがあったとのことである。

放射線の発生源は、①宇宙や大地に含まれる放射性核種に代表されるような天然のもの、②加速器やX線管のような人工のもの、③人工の放射性物質に、分けられる。放射性物質は放射性同位体を含む物質の中で有意の放射能を持つ物質であり、我が国の放射線防護に関わる制御設計では放射性同位元素と核燃料物質とに大別されて、規制法規も別々につくられている。

ICRUでは放射能関係量として壊変定数、放射能、空気カーマ率定数を定義している。これらは壊変する性質をもった原子核の壊変活性度に関する量を表している。最近のICRUの報告書(60や85a)の中では敢えてradioactivityとactivityの2つの表記をしている。radioactivityは「不安定な原子核が放射線を放出することにより安定な原子核へと変わる性質」を表している。一方、activityはradioactivityの強さを表す物理量であり、その定義は「不安定原子核が

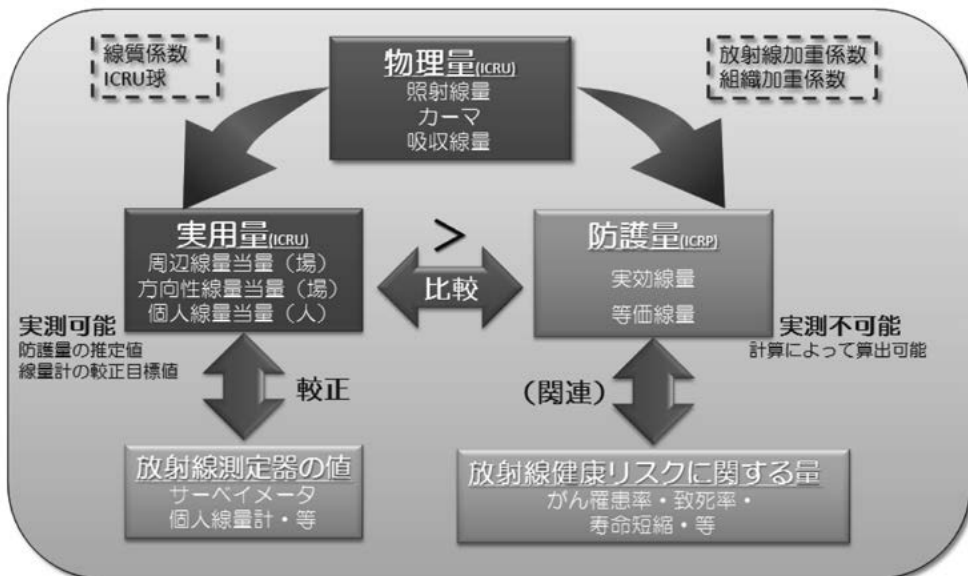


図1 ICRPのシステムにおける物理量・防護量・実用量の関係。この図は平山らの論文⁴⁾の図1を一部改変したものである。原図では防護量として臓器吸収線量も記載されているが本稿ではこの量については触れないため図から省略した。

単位時間当りに壊変する数の期待値」である。activityの単位に対する特別名称としてBq(国際単位系(SI)では s^{-1})が用いられている¹⁰⁾。我が国では、どちらも“放射能”と訳されているが、一部の研究者からは、activityの訳として壊変活性度とした方がよかったとの意見もあった^{8,11)}。ここでいう放射能(activity)は、壊変別に放出される放射線の数、種類、エネルギーには直接関係ない量であり、単位時間に放出される放射線の数のことではない。福島事故後に様々なホームページ等で放射能に関する解説がされているが、単位時間当たり放出する“放射線の数”であるかのような解説が多く見られた。つまり、放射能が1Bqであれば1回の壊変にともなって放射線が必ず1本放出するかのような記載であるがこれは誤りである。もちろん、1壊変当たり1本の放射線を放出するような放射性核種があるのは事実であるが、今問題となっている¹³⁷Csから放出する662 keVの γ 線の放出率(1壊変当たり放出する放射線の割合)は85.1%であり、これは1壊変当たり必ず1本の γ

線を放出しないことを意味する。

放射能なる用語の使い方に関する更なる問題は、福島での原発事故後にメディア等で頻繁に使用されたように“放射性物質”の別称としても用いられることが多いということである。この問題は福島の原発事故以前から存在しており、多くの研究者によって長年指摘されてきたものの、改善させることなく現在に至っている。その結果、多くの人々は「放射性物質=放射能」という認識になってしまった。

次に、放射線そのものに関する量として、粒子(ここには粒子名が入る)フルエンスやエネルギーフルエンスなどが用意されている。また、放射線量計測システムの構築には、相互作用係数などが必要であり、微視的な表現量(微視的世界の理を表現するのに用いられる量の意味)である作用(作用名が入る)断面積と巨視的な表現量(巨視的世界の理を表現するのに用いられる量の意味)である相互作用係数や種々の定数が必要となる。そして、放射線と対象物質との相互作用の結果算出される量の期待値として定義される量がドシメ

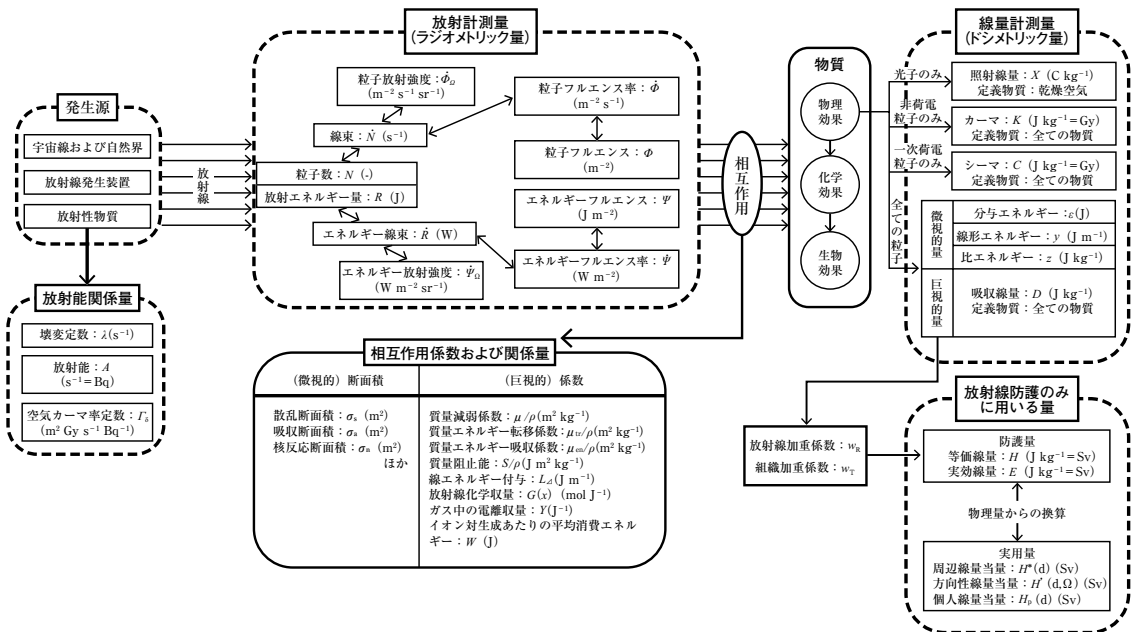


図2 放射線に関する諸量の相互関係。森内による作図を改変引用したものである。

トリック量である。ドシメトリック量は前述の通り、放射線と物質との相互作用の結果、物質や物体に生起する効果・影響の大きさやそれらが生起する可能性を予測するために使用される量である。

4. ラジオメトリック量

図2に見るように、ラジオメトリック量として多くの量が導入されているが、ここでは粒子フルエンスとエネルギーフルエンスについての記載に留める。粒子フルエンスはしばしば粒子名を省略して単にフルエンスと呼ばれる。フルエンスとは、大円の面積が単位面積である球体を通過する着目粒子数（正確にはその期待値）のことである。フルエンス Φ は(1)式で表される。

$$\Phi = \frac{dN}{da} \quad (\text{m}^{-2}) \quad (1)$$

ここで、 N は入射粒子数（個）、 a は球の大円面積（ m^2 ）である。また、単位時間当たりのフルエンスはフルエンス率といわれるが、粒子束密度と呼ばれるのが普通で、放射線場の特性を表す基本的量である。放射線分野では単位時間当たりの量を“〇〇率”として表している。放射線は運動エネルギーをもって物質に入射する。そこで、個数の代わりに粒子の運動エネルギーの総和としてフルエンスを定義することもあり、これをエネルギーフルエ

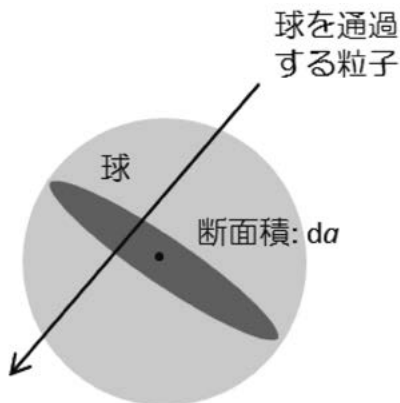


図3 フルエンスの概念

ンスと呼んでいる。エネルギーフルエンス Ψ は(2)式で表される。

$$\Psi = \frac{dR}{da} \quad (\text{J m}^{-2}) \quad (2)$$

ここで、 R は入射放射線の運動エネルギーの総和である。フルエンスと同様に単位時間当たりのエネルギーフルエンスをエネルギーフルエンス率もしくはエネルギー束密度という。エネルギーフルエンス率は放射線の強さを表す量であり、強度（intensity）とも呼ばれる。入射放射線のもつ運動エネルギーが同じでも球の単位断面積を通過する放射線の数（フルエンス）が少なければ、放射線の強度は弱くなる。

参考文献

- 1) J. R. Greening著, 森内和之, 高田信久訳: 放射線量計測の基礎. 地人書館, 東京都 (1993).
- 2) 森内和之: 私信 (1998).
- 3) 国立研究開発法人産業技術総合研究所放射線標準研究室のホームページ; <http://www.nmij.jp/~quant-rad/xg/head-xg.html> (2015年4月17日閲覧可).
- 4) 平山英夫他: 放射線防護に用いる線量概念. 日本原子力学会誌, 55(2): 13-26 (2013).
- 5) 下道國: 自然放射線による線量を理解する. ESI-NEWS, 31(6): 1-6 (2013).
- 6) 森内和之: 放射線量計測の現状と課題. 電子技術総合研究所彙報, 46(11): 119-130 (1982).
- 7) 森内和之: 放射線諸学者向の解説図表の一例 (資料). 岐阜医療技術短期大学紀要, 3: 99-109 (1987).
- 8) 森内和之: 放射線ものがたり. 裳華房, 東京都 (1999).
- 9) 加藤和明: 放射線の量と単位に関するICRU勧告—その過去、現在および未来—. RADIOISOTOPES, 32: 127-134 (1983).
- 10) International Commission on Radiation Units and Measurements. Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation (ICRU Report 85a-Revised). Journal of ICRU, 11(1a):1-30 (2011).
- 11) 小田啓二: 放射能 (Radioactivity) と放射能 (Activity). 日本放射線安全管理学会誌, 3(2): 101-102 (2004).

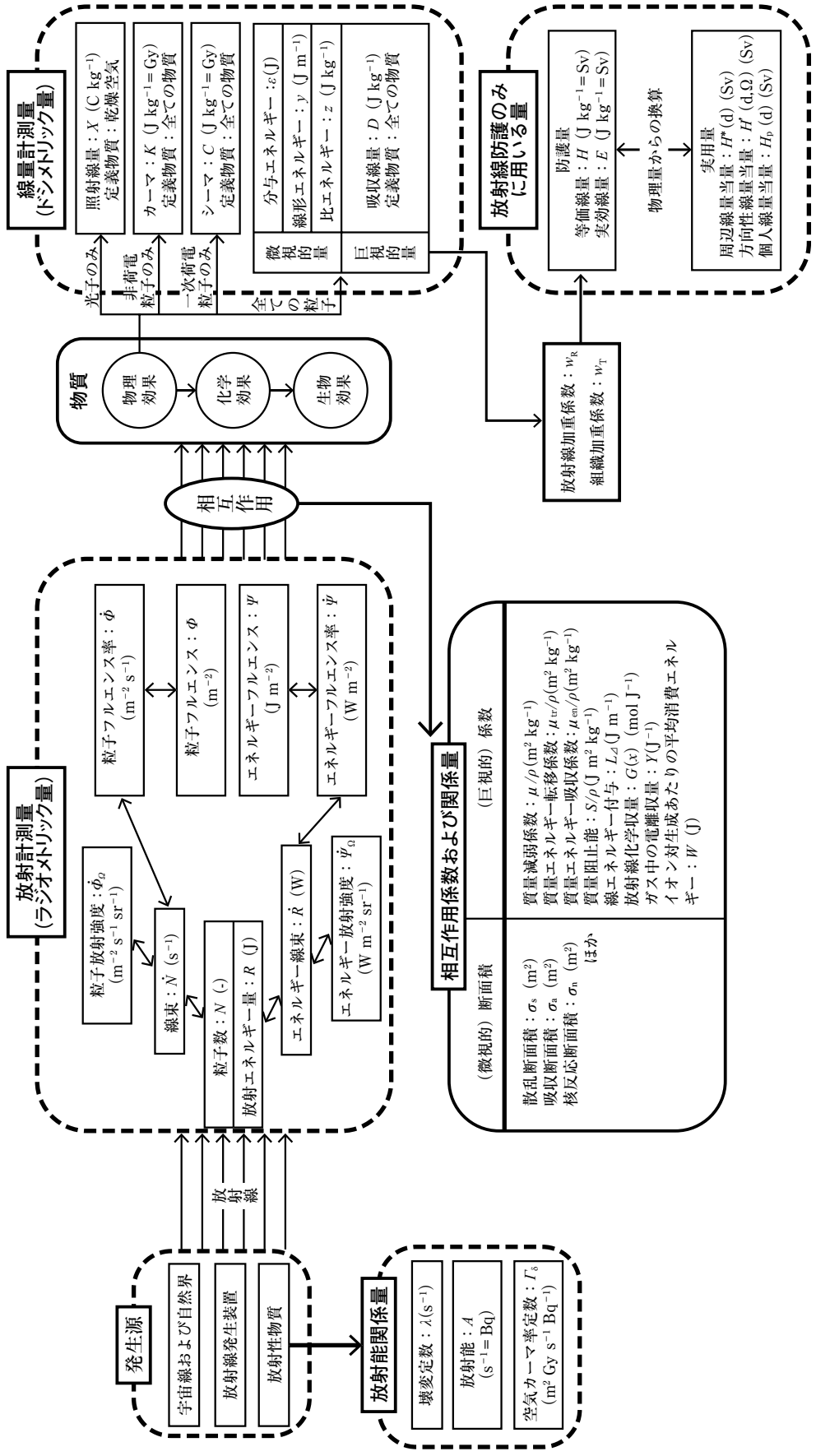


図2 放射線に関する諸量の相互関係。森内による作図を改変引用したものである。

パキスタンと原子力

元・原子力委員 町 末 男



パキスタンとの出会い

15年3月16日、29年ぶりにIAEAの会議でパキスタン・イスラマバードを訪問した。最初は1986年やはりIAEAの会議でラホールに滞在した。

パキスタンには3つの思い出がある。

1981年IAEA(国際原子力機関)の工業利用・化学課長をしていた筆者のところにパキスタン原子力研究所の物理学者ブット(Butt)博士がやって来て議論を交わし、明快な意見を述べられた。その後交流を続けていたButt氏は業績を上げパキスタン原子力研究所の理事長に就任した。今回の訪問でほぼ25年ぶりの再会を果たした。

次は17年もパキスタン原子力委員長を務めた故ムニール・カーン博士との出会いである。1985年に来日した際に原研の企画室次長として食事をしながら意見交換したのが初めて、その後IAEAで何回もお会いしその静かな話しぶりと、見識の高さに感心したものである。

もう1つは筆者がIAEA事務次長の時代に所管していた国際理論物理センターの所長(当時)の故アブデュール・サラーム博士、パキスタン出身のノーベル賞受賞者である。筆者がお会いした時には既にパーキンソン病が進行しており、話す言葉もはっきりせず、不便な生活をされていた。しかし、ICTPの創始者であり、IAEAに貴重な貢献をされた。



旧友で元・パキスタン原子力研究所理事長ブット(Butt)博士(右)と筆者(2015年3月イスラマバードにて)

大国パキスタン

パキスタンは日本から遠い国でバンコク乗り換え飛行時間だけで12時間を要する。パキス

タンの事情は日本ではあまり知られていない。

人口は1億8千万人と多く、年3%も増え続けている。面積は日本の約2倍である。97%の国民がイスラム教徒で1947年英領インドから独立した。アフガニスタン、中国、インド、イランと国境を接し地政学的にも重要な場所にある。1998年5月に核実験を行い世界の非難を浴びた。日本は無償資金協力、円借款を停止した。しかし、2001年の核実験モラトリアム宣言の継続措置などを受けて、日本はこれらの経済的な制裁措置を停止した。治安は良くないので今回も会場であるホテルの外に出る事は無かった。

農業はGDPの20%を占め、綿糸、綿布、衣料品などの繊維製品が輸出の50%を占めている。これに関連して思い出すのは1980年代IAEAも協力して綿の放射線育種に成功し綿の収穫が倍増したのである。これはパキスタンの綿産業にとって画期的な発展をもたらした。

原子力利用

パキスタンはすでに3基の原子力発電プラント(80MW 1基、325MW 2基)を運転中であり、4基(340MW 2基、1100MW 2基)を建設中である。電力不足の状態で今回の滞在中にも短い停電が何回かあった程である。従って原子力発電を今後も拡大していく計画である。初号機はカナダからの輸入だが現在プラント建設には中国が協力している。

これらの原子力発電所は全て原子力委員会が運営、運転している。今回出席したIAEA・RCA会議も原子力委員会が共催で、委員長主催の晩さん会もあり、パルヴェツ委員長にお目に掛かり暫く歓談した。原子力委員会は原子力研究所の他に原子力の農業利用研究所、18の核医学・放射線ガン治療病院医療施設など原子力関連施設をすべて所管している巨大な組織である。

パキスタンが今後、平和利用に限定して原子力利用をすすめる、国民の生活の向上に取り組むことを期待する。(2015年3月30日稿)

■ 公開シンポジウム ■

「加速器中性子を用いたMo-99等 医療用放射性同位体の生成研究」報告



永井 泰樹*

1. シンポジウム開催の背景

生活の質を保持した非侵襲の“核医学診断と治療”が、放射性同位元素（RI）を構成元素とし特定の臓器や細胞に集積し易い化合物（放射性医薬品）を用いて行われています。“核医学診断”では、被験者の体内の臓器などに集積したRIが放出するガンマ線が体外の測定器で検出され、病巣部の位置と大きさや臓器機能の異常と変化が早期に高精度で診断されます。一方、“RI内用療法と呼ばれる治療”では、ベータ線やアルファ線を放出するRIで標識された医薬品が体内に投与され病巣を選択的に放射線照射してがん細胞が致死されます。核医学診断及び治療に重用されるRIの強度は、診断・治療後は微弱になるのが望ましく、利用されるRIの半減期は短く、多くが数時間から数日です。実際、我が国で年間70～90万件の核医学診断に利用されているテクネチウム-99m (^{99m}Tc) の半減期は6時間です。この ^{99m}Tc は、毎週数回輸入される親核のモリブデン-99 (^{99}Mo : 半減期66時間) のベータ壊変で自然に得られます。 ^{99}Mo を安定に確保することは国民の健康に関わる最重要事項です。現在、世界の ^{99}Mo 需要の95%以上は海外の高経年化した5台の研究用原子炉で高濃縮ウランの核分裂反応で製造されています。(以後、核分裂 ^{99}Mo と略記)。ところが、この内2台の原子炉(カナダ及びオランダ)が2008年以来計

画外停止を頻発し ^{99}Mo の不足が世界中の問題となっています¹⁾。そのため、原子炉及び加速器を利用して ^{99}Mo または ^{99m}Tc を生成する代替案の検討が行われています。

永井・初川は、 ^{99}Mo の国内製造を目指して小・中型加速器で得られる中性子(以後、加速器中性子と略記)を用いて ^{99}Mo を生成する新しい方法を2009年に提案しました²⁾。(図1参照)。2010年にはこの方法の技術的成立性及び課題等を共同で検証し解決するために“ $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ の分離精製”に経験を持つ(株)千代田テクノル、“ ^{99m}Tc の品質試験と製剤化”に経験を持つ富士フィルムRIファーマ(株)そして“加速器中性子”に経験を持つ住友重機械工業(株)から成る特別グループが原子力機構に発足しました。現在まで核分裂 ^{99}Mo が世界中で長らく利用されているため、加速器で生成される ^{99}Mo から得られる ^{99m}Tc が診断に利用された例は世界に無く、特別グループがその開発に成功すれば世界初になります。ところで当該グループは、 ^{99}Mo に係る研究開発を進める中で加速器中性子が、がん治療用RIであるイットリウム-90 (^{90}Y) や銅-67 (^{67}Cu) の生成能力を有することを明らかにし、これらRIの医学利用に向けた研究開発も行っています³⁾。

本シンポジウムは、特別グループのこれまでの研究開発を踏まえ、核医学・核薬学・病院・関連企業の専門家及び一般市民の方の理解と支援を得て、“加速器中性子を用いた多様な高

* Yasuki NAGAI 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力エネルギー基盤連携センター

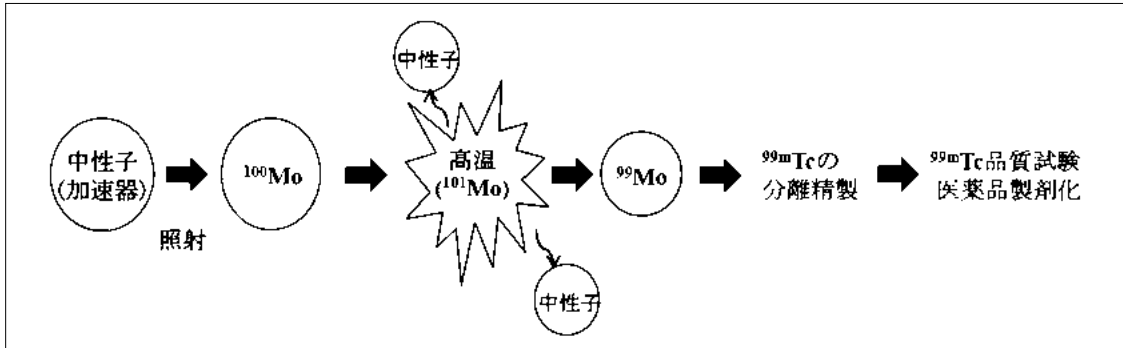


図1 加速器中性子による⁹⁹Mo製造法と^{99m}Tcの分離精製
 加速器で生成される中性子が試料の¹⁰⁰Moに照射され¹⁰¹Moが合成されます。
¹⁰¹Moは直ぐに2個の中性子を放出して⁹⁹Moが生成されます。

品質RIの生成能力”を実証するプロトタイプ
 の加速器施設の建設を実現したく、2015年2
 月21日(土)に神田(東京)で開催しました(参
 加者は108人)。プログラムは、1) ⁹⁹Mo/^{99m}Tc、
 2) RIを用いたがん治療法、3) がん治療用
 RIの製造分離研究、4) 加速器中性子による
 医療用RI生成、そして5) パネルディスカッ
 ションの5つのセッションから構成されました。
 以下、各セッションで取上げられた講演概要
 を紹介します。

2. 講演概要

1) 「⁹⁹Mo/^{99m}Tcについて」のセッション

①中村吉秀氏(日本アイソトープ協会)は
 「⁹⁹Mo等医療用RI供給の現状と将来」のテーマ
 で同協会が公表している“アイソトープ等流
 通統計2014”等をもとに講演されました。

「我が国のRI製品(医薬品、研究用含め)の
 頒布金額は約550億円、^{99m}Tc医薬品を用いて
 我が国で行われている診断は年間70万件、そ
 して2020年頃迄の海外の⁹⁹Moの新規製造計画
 (原子炉及び加速器を利用)はどの計画も未確
 定要素が多い中で、2016年10月31日に閉鎖予
 定のカナダNRU原子炉が2018年3月31日まで
 稼働継続が決定しました。国内で薬事承認さ
 れている内用療法用RIは、沃素-131 (¹³¹I: 甲
 状腺がん用)、⁹⁰Y(悪性リンパ腫用)とストロ

ンチウム-89 (⁸⁹Sr: 疼痛緩和用)で、⁸⁹Srと⁹⁰Y
 が2007~2008年に使用開始された結果、RI内
 用療法がこの10年間に2倍に急増(2012年で
 約1万件)しました。一方、放射性医薬品の
 内用療法が行える施設は、この5年間に1,244
 施設から1,257の微増です。(この問題は絹谷清
 剛氏も取上げました)。

次いで、加速器中性子による⁹⁹Mo/^{99m}Tcの
 研究開発のセッションでは、

②間賀田泰寛氏(浜松医科大学)が、「^{99m}Tc
 を用いた核医学診断薬剤」のテーマで講演さ
 れました。「テクネチウム(Tc)は、ギリシャ
 語で“人工の”を意味し“Tcには天然の同位
 体が無い”ことに由来します。放射性医薬品は、
 比放射能が高く物理量としては微量のため化
 合物としての薬理作用の発現は期待されずRI
 の出す放射線のみが利用されます。診断用放
 射性医薬品のRIとして、^{99m}Tc、炭素-11、窒素
 -13、酸素-15、フッ素-18、ガリウム-67、クリプ
 トン-81m、沃素-123、沃素-131、キセノン-133、
 タリウム-201の11核種が利用されています。
^{99m}Tcは、脳・心臓・肺・甲状腺・腎臓・肝臓
 等の臓器、骨代謝や腫瘍検査に最も多く利用
 されています」。

③川端方子氏(原子力機構)は、「加速器中
 中性子による⁹⁹Mo/^{99m}Tc製造分離」のテーマで講
 演されました。「加速器中性子による⁹⁹Mo生成
 法は、不要なRIは微量で多量の⁹⁹Moを生成で

きる優位性を持ちます。ただ、 ^{99}Mo の比放射能が核分裂 ^{99}Mo に比べ低いため（～1/5000）既存の方法で $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を分離できません。そこで酸化モリブデンと酸化テクネチウムの蒸気圧の違いを利用する熱分離法について長年の課題の解決を目指した研究開発を進め、高品質の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を4～5回のミルキングに対し高効率で分離精製を達成し、従来の課題を解決して既存の方法と遜色ない結果を得ました」。

④中原勇人氏（富士フィルムRIファーマ）は、「マウスSPECTイメージングによる $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の品質評価」のテーマで講演されました。「川端氏らが提供した $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を骨シンチグラム用医薬品に標識し医薬品基準を満たす95%以上の標識率を達成し、これを用いて撮影したマウスのSPECT画像が市販の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 医薬品のマウス画像と差異の無いことを検証しました。これらの結果は、加速器中性子による $^{99\text{m}}\text{Tc}$ について医薬品原料として使用できる可能性が示唆されること、今後はエンドトキシン試験や他の放射性医薬品による標識実験が必要です」。

⑤森川康昌氏（富士フィルムRIファーマ）は、 $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ の国産化の議論の中で製剤メーカーの立場から「 ^{99}Mo 原料からの製剤化」のテーマで講演されました。「 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を用いた主要製剤は“投与時の放射能濃度が10-20mCi (370-740メガベクレル) /mLであること”が薬事承認事項としてあります。そこで、製剤メーカーでの溶出時に $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 溶液の放射能濃度は1 Ci (37ギガベクレル) /mL以上であることが必要です。また、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の壊変で生成される ^{99}Tc はベータ線放出核種で、医薬品との標識では $^{99\text{m}}\text{Tc}$ と同様の振舞をします。そこで ^{99}Tc が多すぎるとリガンドが不足し $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が標識できなくなる可能性がありますので留意する必要があります（図2参照）」。

2) RIを用いたがん治療法のセッション

⑥絹谷清剛氏（金沢大）は、「RIを用いたがん治療法の現状と将来」のテーマで講演され

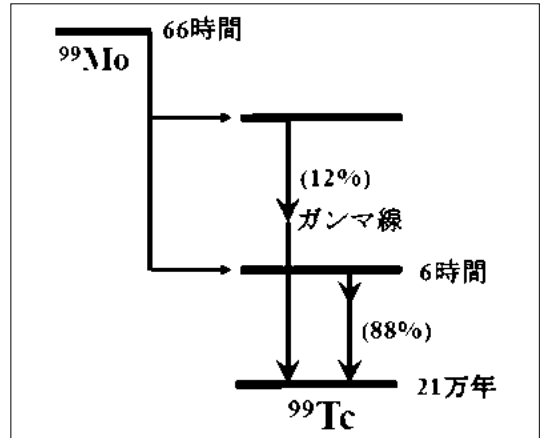


図2 ^{99}Mo (半減期66時間)から $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (半減期6時間)が生成される壊変(変化)図。
 ^{99}Mo は、半減期が21万年の ^{99}Tc へ88%が $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を経由し12%が直接壊変します。

ました。「保険診療の ^{131}I 、 ^{90}Y 及び ^{89}Sr 医薬品の治療の結果、甲状腺がんが頸部リンパ節や肺に転移した患者が ^{131}I 医薬品で寛解され、前立腺がん多発性骨転移で腰・背中の痛みで起立できなかった患者が ^{89}Sr 治療で一月後には歩けました。しかし、“我が国の内用療法環境”は不十分です。実際、甲状腺内用療法実施数は2002年～2012年の10年間に2.2倍に急増しましたが、放射線治療病室はこの間に30%減少です。ところで、例えば、転移がある甲状腺がん患者の ^{131}I 治療実施が甲状腺全摘術後180日以降まで遅れ、内用療法の待ち時間が延長されますと生存率が大幅に下がります（死亡リスクが4.22倍）。放射線治療の患者用ベッドの適正な数については、2～4万人に1台の議論がある中でドイツでは現在9.6万人に1台です。日本は92万人に1台（2014年）と圧倒的に不足しています。更に、色々な種類のRIを用いた臨床試験・治療が欧州では数100件行われており、アジア諸国でも種々の臨床試験が実施中です。しかし、日本がこれら開発でも遅れており改善が必要です」。

⑦飯田靖彦氏（鈴鹿医療科学大）は、「治療用放射性核種 ^{67}Cu の可能性」のテーマで講演

表1 内用療法に利用されているRIの特性(⁶⁷Cuは世界が期待するRI)。
ストロンチウム-89(⁸⁹Sr)は疼痛緩和用で半減期が治療用RIに比べ長い。

RI	放出する放射線	半減期	ベータ線最大 エネルギー(MeV)	最大飛程 (mm)
⁶⁷ Cu	ベータ線、ガンマ線	62時間	0.58	1.8
⁸⁹ Sr	ベータ線	50.5日	1.49	8
⁹⁰ Y	ベータ線	64時間	2.3	12
¹³¹ I	ベータ線、ガンマ線	8.0日	0.61	2
¹⁷⁷ Lu	ベータ線、ガンマ線	6.7日	0.5	1.5

されました。「⁶⁷Cu(半減期62時間)は⁹⁰Yに比べ大量の投与が可能で治療効果が⁹⁰Yより高まると期待されます。これは、⁶⁷Cuが放出するベータ線の体内の飛程が1.8mmと⁹⁰Yの12mmよりかなり短いので、小さながん組織に対して有効に照射できるためです。また、⁶⁷Cuはガンマ線が放出されるため“治療と診断が同時に行える”こと、⁶⁷Cuには既になんに集積する有用な化合物があることから世界的に期待の高いRIです」。

⑧上田真史氏(岡山大)は、「がんの分子標的治療の効果予測・効果判定のための放射性銅標識抗体プローブの開発」について講演されました。「腫瘍に存在する特定分子を標的としてその機能を抑制する薬剤は、その薬剤が効く患者のみを選別した治療ができる可能性があり開発は重要です。その際、放射能標識された抗体医薬品で標的分子の発現を非侵襲的に評価することができます。そこで⁶⁴Cu標識抗体プローブの開発を行っています。そして⁶⁴Cuを用いた薬剤による腫瘍組織中のPET画像化に成功しました。今後は⁹⁰Yで標識することで治療への応用の可能性もあります」。

3) がん治療用RIの製造分離研究のセッションでは、

⑨石岡典子氏(原子力機構)は、「がん細胞に障害を与えるRIの生成～化合物導入に関す

る開発：¹⁷⁷Lu、²¹¹At」のテーマについて講演されました。「ルテチウム-177(¹⁷⁷Lu:半減期6.7日)はベータ線の飛程が1.5mmと短く、⁹⁰Yより多量のRI照射が可能で治療効果がより高まると期待されます。そこで原子炉で製造した¹⁷⁷Luの標識医薬品を合成し、マウス実験を行いリンパ腫の治療効果を確認しました。また、アスタチン-211(²¹¹At:半減期7時間)は、飛程が0.1mmと極めて短いアルファ線を放出するので、正常組織への影響を小さく照射でき治療効果も大きい有望なRIですので加速器による生成・分離法を開発中です」。

⑩塚田和明氏(原子力機構)は、「がん治療用⁹⁰Yの合成・分離・精製研究」のテーマで講演されました。「治療用⁹⁰Yは、海外の原子炉で製造され数日かけて輸入されます。そのため放射能濃度が減り標識が困難な場合があること、利用が2日間しかできない問題があるようです。そこで、加速器中性子で⁹⁰Yを製造する新しい方法の最適な生成条件を探る実験及び試料の⁹⁰Zrから⁹⁰Yを抽出する最適な分離法の確立に向けた実験を行っています。⁹⁰Yの標識試験で89%の標識率が得られています」。

4) 加速器中性子による医療用RI生成のセッションでは、医療用RIの生成に加速器中性子が従来法に比べ有効であることを検証する実験及び多量の加速器中性子を作るために検討

されているサイクロトロン加速器の現状について下記講演がありました。

⑪塚田和明氏（原子力機構）は、「加速器中性子を用いた医療用RIの生成実験」のテーマで講演されました。「原子力機構（高崎）のサイクロトロン加速器（TIARA）で得られる40MeVの重陽子を炭素標的に照射して加速器中性子を生成し、これを試料に照射して、 ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 、 ^{90}Y 、 ^{99}Mo の生成実験を行いました。そして、例えば ^{67}Cu では放射性核種純度などを調べ従来の生成方法より優れた純度を得ました⁴⁾」。

⑫密本俊典氏（住友重機）は、「加速器（サイクロトロン）の最先端」のテーマで講演されました。

「サイクロトロンは高強度のビームを安定に電力効率よく得る事ができ、医療・科学研究・工学と多様なニーズに順応して利用されています。医療利用では、陽電子放射断層撮影（PET）、陽子線がん治療及び加速器による中性子源を用いた中性子捕捉療法（BNCT）があります。加速器中性子で多量の ^{99}Mo を生成する上で、高い中性子束を得るには高強度の重陽子ビームを中性子生成用炭素標的に当てるため、標的の熱負荷を緩和するシステムの開発が重要です。現在、テスト実験の結果を踏まえ開発が進んでいます」。

5) おわりに

シンポジウムの最後はパネルディスカッションでした。自由討議のセッションでしたが、終了後回収されたアンケートに、“市民の方々のご発言は良かったです”という回答が数多くありました。実際、市民の方々からは、“RIの国産化、インフラの整備はもとより、「放射線」に対する国民の感情を変える必要があると考えますとのコメント、そして、我が国が“内用療法環境”が欧州やアジア諸国に比べ劣っているのは大きな驚きである。何故その様な環境になっているのか？との問題提起もなされま

した。「放射線」に関係するシンポジウムで市民の方々からこのような発言を貰ったことは、医療用RIの研究開発に携わる私達にとり大きな励みです。また、シンポジウムは市民の方々、研究開発にかかわる研究者・技術者と医療関係者が一堂に介して議論しあうことの大切さを学ぶ貴重な機会でもありました。シンポジウム終了後、講演資料を欲しいと60人近くの方から希望が寄せられました。この様な反響が得られたのは、講師の方々のご尽力そして参加された方が様々な形でシンポジウムを盛り上げて下さった結果であり、この場をお借りして感謝申し上げます。

■ 参考文献

- 1) J.R. Ballinger, J. Labelled Compounds and Radiopharmaceuticals, 53, 167, (2010).
- 2) Y. Nagai and Y. Hatsukawa, J. Phys. Soc. Japan, 78, 033201 (2009).
- 3) Y. Nagai et al., J. Phys. Soc. Japan, 82, 064201 (2013).
- 4) N. Sato et al., J. Phys. Soc. Japan, 83, 073201 (2014).

著者プロフィール

1943年 京都府生まれ。
1962年愛媛県立西条高校卒。
1971年 東京工業大学理工学研究科修了、理学博士。

大阪大学助手、東京工業大学助教授を経て1988年東京工業大学教授、1999年大阪大学教授、2007年大阪大学定年退職。2007年4月より日本原子力研究開発機構の客員研究員で現在に至る。2002年原子核による速中性子捕獲現象の研究で仁科記念賞を受賞。現在は加速器で得られる中性子を用いた医療用RI製造の研究開発を(株)千代田テクノル、富士フイルムRIファーマ(株)、住友重機械工業(株)と共同で進めている。

新刊紹介

放射線遮蔽ハンドブック－基礎編－



日本原子力学会 「遮蔽ハンドブック」研究専門委員会
定価 5,000円 2015年3月3日発行

4年間に亘って原子力学会の中に設立された「遮蔽ハンドブック」研究専門委員会で、多くの委員によって書かれたハンドブックがようやく完成して出版された。これは、20年以上も前に原子力学会の「放射線施設遮蔽」研究専門委員会によって、1988年1月に刊行された「ガンマ線遮蔽設計法」と「放射線挙動工学」研究専門委員会によって、1993年4月に刊行された「中性子遮蔽設計法」をまとめた改定版であり、この20年間の急速な進展を取り入れて改訂されたハンドブックである。目次は以下の通りである。

- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 概説 2. 線源 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 概要 2.2 アイソトープ線源 2.3 商業用軽水型原子炉施設における線源 2.4 核融合炉 2.5 核燃料再処理施設における線源 2.6 電子線加速器 2.7 陽子線、重イオン加速器 3. 断面積とライブラリー <ol style="list-style-type: none"> 3.1 概要 3.2 断面積 3.3 群定数ライブラリー 3.4 連続エネルギー断面積ライブラリー 3.5 線量換算係数 4. 輸送計算法 <ol style="list-style-type: none"> 4.1 概要 4.2 ボルツマン輸送方程式の基礎概念 4.3 離散座標法 4.4 モンテカルロ法 4.5 随伴計算 4.6 Invariant Embedding法 5. バルク遮蔽の簡易計算手法 <ol style="list-style-type: none"> 5.1 概要 5.2 単純形状線源に対する計算式 5.3 簡易計算コード | <ol style="list-style-type: none"> 6. ストリーミングの簡易計算手法 <ol style="list-style-type: none"> 6.1 概要 6.2 簡易計算法 6.3 簡易計算コード 7. スカイシャインの簡易計算手法 <ol style="list-style-type: none"> 7.1 概要 7.2 ガンマ線スカイシャイン 7.3 中性子スカイシャイン 8. 放射化 <ol style="list-style-type: none"> 8.1 概要 8.2 核分裂炉と核融合炉における放射化 8.3 加速器施設における放射化 8.4 放射化計算コード 8.5 低放射化 9. 遮蔽材 <ol style="list-style-type: none"> 9.1 概要 9.2 ガンマ線用遮蔽材 9.3 中性子用遮蔽材 9.4 ガンマ線・中性子共通の遮蔽材料 9.5 各材料の中性子遮蔽特性 10. 放射線防護の考え方 <ol style="list-style-type: none"> 10.1 いくつかのICRP主勧告を通じた放射線防護の変遷と線量限度 10.2 線量概念の変遷 10.3 遮蔽計算における線量評価と線量測定 |
|---|---|

(中村 尚司)

平成27年度 放射線取扱主任者試験の実施について

1 試験の日程

第1種試験 平成27年8月19日(水)、20日(木)

第2種試験 平成27年8月21日(金)

2 試験地

札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、福岡

3 受験の申込期間

平成27年5月15日(金)～平成27年6月15日(月)

(郵送の場合、平成27年6月15日の消印のあるものまで有効)

4 受験料

第1種：14,300円(消費税込み)

第2種：10,200円(消費税込み)

5 申込書の頒布

受験申込書(無料)は、次の方法により入手できます。

①頒布機関の窓口で入手する場合：

頒布機関及び原子力安全技術センター窓口で直接入手できます。頒布機関につきましては下記ホームページをご覧ください。お問い合わせください。

②郵送による入手を希望する場合：

「受験申込書〇〇部請求」と朱書きした封筒に、切手を貼り付けた返信用封筒を同封して、原子力安全技術センターに請求して下さい。なお、返信用封筒は角2サイズ(240mm×332mm)(A4が折らずに入る大きさ)とし、郵送切手代は請求部数に応じて次のとおりお願い致します。

請求部数	1部	2部	3部	4～8部	9～10部
切手代金	140円	205円	250円	400円	600円

なお、11部以上請求される場合には、宅配便(着払い)でお送りしますので、FAX又は電子メールにて必要部数・送付先・連絡先をお知らせ下さい。

6 合格発表

合格者には合格証が交付されます。また、合格者の氏名は官報で公告されるとともに、原子力安全技術センターのホームページ等へ掲載されます。

7 お問い合わせ先

登録試験機関

公益財団法人原子力安全技術センター

放射線安全事業部 安全業務部 主任者試験Gr.

〒112-8604 東京都文京区白山五丁目1番3-101号 東京富山会館ビル4階

TEL 03-3814-7480 FAX 03-3814-4617

ホームページ <http://www.nustec.or.jp/>

電子メール shiken@nustec.or.jp

サービス部門からのお願い

GBキャリア集荷専用フリーダイヤルについて

GBキャリアでガラスバッジをお届けしているお客様には、ガラスバッジ返却時にご使用いただく「返送用伝票」をGBキャリアの内ポケットに入れてお送りしています。

この「返送用伝票」に記載してあります集荷専用フリーダイヤル（日本郵便株式会社）に受付時間（10:00～18:00）内にお掛けただいて、電話が繋がらない、とご連絡をいただくことがございます。



<返送用伝票>

携帯電話やIP電話からは繋がらない設定になっておりますので、固定電話からのご利用をお願いいたします。

固定電話からのご利用が不可能なお客様につきましては、「返送用伝票」の読み込みが可能な最寄りの集荷郵便局の連絡先をお調べいたしまして、ご案内させていただきますので、下記の弊社お問い合わせ窓口まで、ご連絡をお願いいたします。

- お問い合わせ窓口
測定センター サービス課
TEL : 029-266-3120 (代表)

編集後記

●福島の事故以降、周辺線量当量や個人線量当量の違い等について度々話題になってきております。そこで本6月号の巻頭は、「測定線量」と「防護量」と題して、高エネルギー加速器研究機構の平山英夫先生にご執筆いただきました。この中で事故に伴う放射線場は、通常の作業時の放射線場と異なる場合があることを踏まえて対応する必要があると述べられています。今後も放射線測定や放射線防護が必要な種々の場所や状況に応じて、これらの理解のもとに、最適化を図るうえで常に具体的な手法を追及していくことが必要であると感じます。

●続いて弘前大学の細田正洋先生に「放射線量計測の基礎」と題してご執筆いただきました。細田先生には放射線量計測の基礎となる放射線の量とその単位についてまとめたいただき、本号から3回に分けて掲載させていただく予定です。これらの内容は、前述の平山先生にご寄稿いただいた内容の理解を深める意味でも、ま

た今後の放射線計測教育の場においても素晴らしい教科書・ガイドとなるでしょう。読者の皆様、どうぞ連載をご期待ください。

●日本原子力研究開発機構の永井泰樹先生には、「公開シンポジウム「加速器中性子を用いたMo-99等医療用放射性同位体の生成研究」報告」としてご寄稿いただきました。日本の医療技術は、最先端を走っており、また世界でもトップの長寿国だと認識しています。しかし、放射線医薬品の内服療法については、製造から利用できる施設についても、種々の課題があることがわかります。今回のシンポジウムの報告をいただいて、これらの課題についても各先生方が市民の方々の声を取り入れて開発をすすめていくであろうことが伺えました。

●さて今年の梅雨入りはいつごろになるでしょうか。夏に向かって水害や水不足にならないことを願っています。読者の皆様、季節の変わり目には、ご自愛ください。

Y. Y

FBNews No.462

発行日/平成27年6月1日

発行人/山口和彦

編集委員/畑崎成昭 佐藤典仁 中村尚司 金子正人 加藤和明 五十嵐仁 加藤毅彦
木名瀬一美 篠崎和佳子 長谷川香織 福田光道 安田豊 山瀬耕司

発行所/株式会社千代田テクノロ 線量計測事業本部

所在地/〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル4階

電話/03-3816-5210 FAX/03-5803-4890

http://www.c-technol.co.jp/

印刷/株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円(本体371円)