

## 『放射線医療現場における受動型検出器による計測手法の最近の進展』

納富昭弘(九州大学)、 小平聡(量子科学技術研究開発機構・放医研)

医療用放射線（治療・診断）で発生する放射線（中性子、ガンマ線、荷電粒子群）の計測や線量評価には、受動型検出器が多く利用されてきているが、最近、従来からの測定方法の改良や新たな視点からのアプローチなどが行われている。また、放射線照射技術の進展に伴い治療用放射線の線量・線量分布測定にも新たな試みがなされている。平成28年・秋季講演会の放射線分科会企画シンポジウムでは、これらの計測手法の最近の進展について、その基礎から応用を含む内容をまとめて講演していただいた。

最初に、京大炉の牧大介氏から、蛍光ガラス線量計を使った医療分野における線量管理について紹介があった。日本の東芝・横田等の開発研究により改良された蛍光ガラス線量計測定技術は、個人被ばく線量計(ガラスバッチ)システムとして実用化され、2000年から千代田テクノルにより測定サービスが開始されている。最近では、この蛍光ガラス線量計はマンモグラフィーの精度管理にも応用されており、平均乳腺線量および半価層の評価をする場合、標準的な空気電離箱と同等の測定精度を実現しつつ、費用は1/10程度に抑えることができる。さらに、2011年にICRPが水晶体等価線量限度を従来の 150 mSv/y から 20 mSv/y に引き下げることがを勧告しており、IVRの術者の被曝線量管理が喫緊の課題となっており、蛍光ガラス線量計の応用が期待される。

続いて、量研機構・放医研の小平聡氏から、CR-39固体飛跡検出器を用いた治療用放射線からの二次粒子の線量計測について報告がなされた。診断に伴う患者の放射線被ばくが問題とされる場合が多いが、治療に伴う患者の被曝も無視できなくなっている。その背景のひとつとして、IMRTや粒子線治療などの高精度放射線治療の普及に伴い、患部(腫瘍等)への線量集中性が大幅に向上するにつれて、治療対象部位の治癒率が高くなる一方で、治療後の患者の余命が長くなり治療時の二次粒子被ばくによる晩発性二次がんのリスクが顕在化してきていることが挙げられる。これらの二次粒子は、標的核破砕反応や核核反応で発生し、高いLET(線エネルギー付与)を持つ荷電粒子や速中性子である場合が多いが、高いフルエンスの一次粒子(粒子線やX線)と混在するため、分離して測定することが困難である。CR-39に代表される固体飛跡検出器は、これらの二次粒子を識別して測定し、個々の粒子のLETを評価することが可能である。講演では、高エネルギーの陽子線、炭素線、光子線から発生する二次粒子計測の実験結果が紹介された。

広島国際大学の林慎一郎氏は、「ポリマーゲル線量計による3次元吸収線量評価に向けて」というタイトルで、最近同氏のグループが行っている改良および臨床応用について報告をした。まず「ゲル」の定義の説明から始まり、ゲル線量計開発の歴史が述べられた。ゲル線量計は、形状や大きさがある程度任意に選択することができるので、3次元線量測定への応用が期待されており、最近進展がめざましい高精度放射線治療の精度検証・QA/QCに直結している点で、魅力的である。MRIや光学的CTと組み合わせることにより、3次元的な線量分布が把握できることも利点である。しかしながら、臨床現場での実用化のためには、

コスト、安定した再現性、線量に対するダイナミックレンジ、読み出し時の空間分解能など改良すべき点が多く存在する。講演では、これらの課題に対する取り組みについて紹介がなされた。

次に、首都大東京の眞正浄光氏は、TLDによる線量分布測定の高精度化について講演した。小片のTLDを多数用いることにより、人体ファントム内の線量分布を測定することはしばしば行われてきたが、眞正氏は平板状のTLD板の開発に成功し、それを放射線治療の線量検証システムへ応用することに取り組んでいる。本報告では、熱蛍光体として $Al_2O_3$ の板を用いて構築した治療計画線量分布検証システムの有用性が紹介された。 $Al_2O_3$ は水等価性が低いものの、医療で利用されるX線のエネルギー領域において、その質量エネルギー吸収係数に対する水の質量エネルギー吸収係数の比がほぼ一定となるので、水吸収線量の算出に利用できることが見込まれる。すなわち、ある断面の二次元線量分布の検証を精度よく行うことが可能である。また、一枚のTLD板を水ファントム中に、ビーム入射方向から少し傾けて配置することにより深部線量分布を迅速に測定することも検討されており、今後の実用化が期待される。

シンポジウムは後半に入り、九州大学の納富昭弘氏は、治療用X線装置において光核反応で発生する二次中性子の線量計測法の一つとして、中性子入射による無機シンチレータ自身の放射化現象を利用した計測技術の開発と応用研究について講演した。この方法は、CsI検出器であれば、ヨウ素128からのベータ線を測ることになるので高感度であり、特別なシステム構築は不要で簡便であるという特徴を有する。異なるフィルター条件での測定結果をアンフォールディングすることによって、エネルギースペクトル近似を行うことで、中性子線量当量を評価している。この手法は、今後の加速器を用いたホウ素中性子捕獲療法（BNCT）での中性子線量や分布評価へ応用される可能性がある。

広島大学の田中憲一氏は、イメージングプレートを用いたBNCTにおける中性子ビームプロファイルの計測技術について講演した。治療の品質保証・品質管理（QA/QC）としては、BNCTに必須である熱・熱外中性子の他、併せて発生する被ばくの要因となる高速中性子や $\gamma$ 線の二次元分布測定が望まれている。4つのビーム成分それぞれを増感する材料（熱中性子であればホウ素コンバーターや高速中性子であればエポキシ等）を組み合わせ、4成分の二次元空間分布を簡便に弁別測定し、BNCT照射場の各成分強度分布を品質保証する標準になり得ると期待される。

最後の講演は、量研機構・放医研の松藤成弘氏による過熱液滴型検出器（SBD）の開発と炭素線の線質評価への応用についてであった。粒子線の場合、その通過経路に沿った線量分布は二次電子成分を含む特異的なものであり、その生物学的効果を評価する上では、従来の吸収線量の測定だけでは不十分である。このためマイクロシメトリと呼ばれる線量評価法が導入されてきている。従来のマイクロシメトリでは組織等価比例計数管（TEPC）が用いられるが、本研究ではサブミクロン領域に付与されるエネルギーを成因とするバブルが、その線量分布構造を反映している可能性があると考えた新しいアイデアに基づくものである。講演では、自作したSBDを用いて得られた炭素線に対する応答特性やLET依存性、三次元分布の測定結果等が示され、今後の進展が期待される。