

2. ゲル線量計による三次元線量評価

小野 薫
林 慎一郎

広島平和クリニック高精度がん放射線治療センター
広島国際大学保健医療学部診療放射線学科

近年、放射線治療分野における装置や技術の飛躍的な発展により、正常組織へのダメージを低減しつつ、腫瘍の形に合わせて線量を集中させて照射する強度変調放射線治療や粒子線治療など、さまざまな高精度放射線治療が行われている。これらの治療では、従来よりも高い位置精度および照射精度が得られる半面、それに合わせた品質管理・品質保証(QC・QA)もまた必要とされる。これらの精度検証として、これまでは電離箱線量計や半導体検出器、あるいはフィルムといった点や面の線量計が用いられてきたが、将来的には線量評価を直接三次元的に行うことが求められている。さらに、磁場を利用するMRIと医療用加速器を組み合わせた装置(MR-linac)や超高線量率での照射(FLASH)など、既存の線量計では測定が困難な技術も現れている。それらに対応した線量計候補の一つとして、三次元ゲル線量計(以下、ゲル線量計)があらためて注目されている¹⁾。

ゲル線量計とは、放射線感受性物質を含む水溶液を、ゼラチンなどのゲル化剤で固化(ゲル化)した化学線量計の一群である。放射線により生じた生成物はゲルマトリックスによって保持され、その空間分布をMRIやX線CT、光学CT(optical CT:OCT)などを用いて三次元的に直接読み取ることにより、吸収線量分布を評価することができる。また、その変化は白

濁や色調の変化となって現れるので、線量分布が目視で確認でき、直感的に理解しやすいのも利点である。さらに、その重量の90%前後が水であるため、水等価、あるいは人体組織等価とみなせるため、線量計自体を水(組織)等価ファントムとして扱うことができるのも大きな特徴である。代表的なゲル線量計としては、ビニルモノマーの放射線誘起ラジカル重合反応を利用したポリマーゲル線量計(polymer gel dosimeter)、鉄イオンの酸化反応($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$)を利用したフリッケゲル線量計(Fricke gel dosimeter)、放射線感受性物質の酸化還元に伴う発色や蛍光を利用したラジオクロミックゲル線量計(radiochromic gel dosimeter)が挙げられる。

筆者らはこれまで、主にポリマーゲル線量計やラジオクロミックゲル線量計の開発と臨床応用について研究を行ってきた。特に、近年開発した、ポリビニルアルコール(PVA)とヨウ素(Iodide)の錯体形成により赤く発色するPVA-Iラジオクロミックゲル線量計(PVA-Iゲル線量計)は、高い感度や安定性に加え、アニーリング(加熱処理)により消色(初期化)させることで再利用できるなど、これまでのゲル線量計にない優れた特性を示す²⁾。本稿では、誌幅の都合上、PVA-Iゲル線量計の臨床応用事例に絞り、その一部を紹介する。

三次元ゲル線量計の臨床応用事例

1. X線および電子線のPDD計測^{3), 4)}

図1 aに照射時のファントムセットアップと照射されたPVA-Iゲル線量計の画像、図1 bにフラットベッドスキャナ(ES-10000G:エプソン社製)を用いて計測したX線と電子線の深部量百分率(percentage depth dose:PDD)を示す。PVA-Iゲル線量計を充填したアクリル容器(X線用:2cm×2cm×25cm、電子線用:2cm×2cm×12cm)を水中に配置し、線源水面間距離(SSD)を100cmに設定して、照射野10cm×10cmで照射した。照射により、深部方向にかけて赤く発色していることが目視でも確認できる。スキャナによる読み出しは、TIFF画像から最も赤色を吸収する青色チャネルを抽出し、以下の式(1)により、正味の光学濃度(net optical density:netOD)を算出した。

$$netOD = -\log_{10} \left(\frac{ADC_i}{ADC_{Base}} \right) \dots (1)$$

ここで、 ADC_i (analog-to-digital converter)はスキャナで記録した画像の画素値、 ADC_{Base} は未照射ゲル線量計の画素値を示す。このnetODと吸収線量に強い線形相関があるため、netODを直接相対線量として換算できる。X線、電子線共にPVA-Iゲル線量計により計測し