

第39回秋季学術大会 専門講座3

電子平衡と空洞理論

金沢大学 越田 吉郎

放射線測定では、物理的な事象を測定するので、基本的な「単位」を用いて行われる。長さであれば“m”の単位を用いる。放射線の場合は周知のように“J/kg(特別単位 Gy)”を用いることになる。しかも人体への影響を念頭に置いて計測するから、人体組織への吸収線量を求めることになる。単位からも理解できるように電離電流から、その量を計測するのであるが、ここで困ったことが発生する。つまり、人体内に電極等を挿入して計測することができないということである。たとえ人体組織を模擬した組織等価物質を作成したとしても、そこに電極を入れて測定すると、何の電流を計測しているか分からず誤差が大きく左右してしまう。

そのため、ある位置での放射線による電離電流を測定するために微小体積の空洞内におけるガスの電離量を測定することにより、吸収線量を求めることになる。通常、そのガスは空気としている。その測定方法を確立するための理論や考え方が発案され、空洞理論や荷電粒子平衡の考え方が生まれた。その確立された測定方法により、今日盛んに計測がなされ、トレーサビリティを保持しつつ、各利用者の目的に供されている。

そこで、良く知っていることではあるが、今一度、空洞理論と電子平衡について述べてみたい。

媒質中の吸収線量を測定するとき、その媒質中に線量計を挿入する。その線量計での測定物質は空気、空洞内の空気と挿入された物質とは等価な組成物質としている。空洞理論は、線量計の測定物質(通常は空洞内空気)内の吸収線量を、空洞を囲む周辺物質内の吸収線量としている。空洞の大きさは、空洞物質内で光子によって生成した二次荷電粒子の飛程と比較して、小さいか中間かあるいは大きいかである。荷電粒子(電子)の飛程が空洞の径より非常に大きい

場合(空洞が小さいと見なされた場合)、特に有利である。空洞が小さいときは、Bragg-Grayの空洞理論やSpencer-Attixの空洞理論が適用され、空洞が中間の大きさならBurlin理論が適用される。その空洞の条件は二つあり、一つは入射する荷電粒子の飛程と比較して空洞が小さくなければならず、その存在が媒質内での荷電粒子のフルエンスを擾乱させないという大きさである。二つ目は、空洞内の吸収線量が空洞を通過する荷電粒子のみによって沈積するということである。はじめの条件は、フルエンス平衡が周辺物質とほとんど同じか等価と見なすということである。しかし、この条件は荷電粒子平衡または一時的な荷電粒子平衡の領域のみに有効であって、空洞の存在は、フルエンス擾乱補正係数の導入を求められることがいつも生じてしまう。二つ目の条件は、空洞内の光子による相互作用がほとんどないか無視できること、空洞内での線量を沈積させる全電子が空洞外で生成され完全に空洞を通過すること、二次電子が空洞内で生成されず空洞内で停止しないことを意味している。それによって媒質への線量は空洞内線量と関連付けられる。これらの基本的空洞理論がある一方、電離させる十分なエネルギーを持つ二次電子(δ 電子)の生成を考慮した一般的な式が必要である。 δ 電子は線量計内の容積で一次電子を遅くさせるハード散乱の結果として発生される。これらの電子は、その一部のエネルギーを持ち出して空洞から逃げ出すのに十分なエネルギーを持つ可能性がある。このことは空洞内のエネルギー吸収を減少させ、ガスの阻止能の修正が要求される。そこで考えられたのがSpencer-Attixの空洞理論である。それは、制限付き質量阻止能の導入である。

空気中の光子測定を考えると、二次電子の飛程と比較して壁材質を大きくする必要がある。というのは電子平衡が空洞の内壁で成立しているからである。電

子平衡の成立条件下で、媒質中の吸収線量は媒質内の光子(エネルギー)フルエンスおよび質量エネルギー吸収係数と関係づけられている。電離箱として固体物質が壁材質であり、その空洞は内部がガスで充満させている。通常はそのガスは空気であり、壁材質は空気等価物質としている。以上の詳細や、二次電子平衡が成立する人体組成素材および空気壁厚に換算した飛程を提示しながら説明したい。