

## 医学利用に関する原子核データ

医学用原子分子・原子核データワーキンググループ

「医学利用で必要とする原子核データ」の要望に対して、一応のまとめを行ったので報告する。

### 1 はじめに

医学用に必要な原子分子・原子核データについては、10年ほど前の1985年前後に多くの人々によって検討が既になされている[1,2]。基本的な考え方、また検討すべき方向やその内容、さらにその対策について報告されておりそれらは、多くは現在でも当てはまるものである。報告書を読んで印象的なことは、生体を構成する原子や分子と放射線の物理的な作用の最終段階の反応を考える場合に避けて通れない、電子に対する原子分子データの整備の必要性和、その整備の困難性についてであった。特に低エネルギー電子線との相互作用のデータ整備については、整備された面もあろうが、測定の高難性や理論展開の難しさなどから、当時と同様、今も多くが今後の課題に残されているように思われる。

一方、中性子、 $\gamma$ 線(X線)、電子線、中間子、重荷電粒子等、それらの発生装置に関するデータについては、当時既に、十分とは言えないまでも整備が進んでいたと思われる。特に発生装置の設計などに必要なデータは、生体との反応評価に必要なデータに比べて、エネルギーが大きい範囲のものであり、実験値や理論値による対応が比較的容易であったと思われることから、この点に関するデータ整備の要求は電子のデータに比較すると多くはなかったと思われる。

これらのことから、医学や生物学利用に関して、必要な核種および対象となる放射線に関係するデータについて考えてみると、生体が eV オーダーで反応を起こす系であることから、一般的にどの放射線でも、低エネルギーでの生体との作用に関する精密なデータを整備していくことの必要性和重要性が、今も指摘できると思う。

本報告では、中性子捕捉療法を通して、中性子、 $\gamma$ 線、電子線、重荷電粒子を取り扱ってきた数少ない経験から、医学利用に必要な原子核データの整備について考えることにする。

### 2 医学用の原子核データとして取り扱う範囲に対する一考察

生体への作用は、粒子線等による原子核の位置変化や核種変換が大きく影響することも

あるが、大部分の生体反応は放射線によって生じた二次電子や荷電粒子による、原子の電離や励起など、電子レベルの変化によって起こることはよく知られている。例えば、 $\gamma$ 線や中性子線等の電荷を持たない照射線が生体と反応する場合、反応の一次過程では、いずれも生体を構成する原子核や電子等と反応を起こす。

このことから、医学利用に関する原子核データとして取り扱う範囲は、関係する放射線に対して、原子核及びその周辺場に由来して起こる反応現象と、その反応現象の後、その原子の軌道電子と反応するまでの現象に関するデータとする。すなわち内部転換電子までは核データとするが、特性X線やオージェ電子は原子分子データの方に含まれるとする。

以上の考え方に従えば、原子核データとして取り扱うものは、核変換反応、電子対生成反応、即発 $\gamma$ 線放出、内部転換電子、生成核種に対しては $\gamma$ 、 $\beta$ 及び $\alpha$ 崩壊、自発核分裂などに関係するものになる。具体的には、各種反応断面積（吸収、散乱、核分裂、等）、反応エネルギー、などでこれらのデータには角度依存性や入射粒子のエネルギー依存性がある。また、生成核種の半減期、崩壊型式、反応分岐比、等のデータも必要とされる。

### 3 医学用核データとして考える条件など

どのような医学利用条件を想定するかによって、放射線の種類、そのエネルギー、反応断面積データなどの必要な物理データが決められる。医学物理学で検討することは基本的には吸収線量になるが、それに関する分類の一例を以下に挙げる。

#### 1) 評価対象や形態など

- ・ 生体、放射線発生装置（ターゲット、照射設備、遮蔽、計測器、等）
- ・ 利用形態等；治療・診断 場所；地球上・宇宙

#### 2) 対象核種、放射線（電磁波、各種の粒子線など）[3,4,5,6]

- ・ 核種 = 生体中に含まれる全ての核種及び装置などに使われる核種
- ・ 放射線の種類及びその反応
 

電磁波< $\gamma$ 線、X線>	( $\gamma$ , n) ( $\gamma$ , p) 等
中性子	(n, $\gamma$ ) (n, n) (n, p) (n, $\alpha$ ) 等
電子、中間子	(e-, X) ( $\pi$ -, f) 等
重粒子	(p, n) (p, $\alpha\gamma$ ) 等
- ・ 粒子線等のエネルギー：治療照射等に用いるビームエネルギーの範囲  
周辺環境に存在する粒子線等のエネルギー範囲

### 4 中性子と $\gamma$ 線に対する原子核データについての話題

医学用原子核データの一例として、中性子と $\gamma$ 線に関するものについて説明する。これらは、使いやすさに改良の余地はあると思われるが、ENDF/B6 や JENDL-3 などにより、

データは質、量ともかなり整備が進んでいるように思われる。JENDL-3 の場合を例にとると、324 核種についてのデータが含まれているおり、生体に極微量にしか含まれていない核種まで含めても、生体構成核種の大部分のデータが整備されている。エネルギー範囲は、 $10^{-5}$  eV から 20MeV までをカバーしている。ただし、現状で全く問題がないということではなく、例えば、ガドリニウムの中性子捕捉療法への適用検討の場合に、中性子捕獲  $\gamma$  線データに検討を要したように、個々の適用において今後も検討が必要になることは起こると思われる。将来とも、照射装置の設計や吸収線量の評価など中性子データの医学利用が進めば、より正確で、詳細なデータが必要となることは予想できる。とはいえ、中性子と  $\gamma$  線に関しては、現在の所、整備されたデータで十分対応できている状態と見るのが妥当と思われる [7, 8]。

#### 4.1 中性子照射における $\beta$ 線問題の一例

近年計算機の性能向上に対応して、MCNP のような本来、中性子と  $\gamma$  線だけの計算コードが、 $\beta$  線も取り扱えるようになってきている。このことに対応して、崩壊  $\beta$  線のデータを組み込んだような整備が、必要になる面があるのかも知れない。これに関係したものとして以下の 2 つを示す。

##### (1) 熱中性子照射場における TLD を用いた $\gamma$ 線測定に関する崩壊 $\beta$ 線の影響

熱中性子照射場の照射台や照射ケースに、中性子吸収断面積が小さく加工性に優れていることなどから、テフロンが使われているが、 $^{20}\text{F}$  からの崩壊  $\beta$  線による TLD 量の増加が観測された。アルミニウム ( $^{28}\text{Al}$ ) も同様である。中性子と  $\gamma$  線に加えて崩壊  $\beta$  線のデータも同一コードで計算評価できることが望ましい例の一つと考えられる。

$^{19}\text{F}(n, \gamma)^{20}\text{F}$  半減期 11.2 秒 <  $\beta$  線 5.40MeV、  $\gamma$  線 1.63MeV >

$^{27}\text{Al}(n, \gamma)^{28}\text{Al}$  半減期 2.24 分 <  $\beta$  線 2.87MeV、  $\gamma$  線 1.78MeV >

##### (2) ガドリニウム中性子捕捉療法における内部転換電子評価

$^{157}\text{Gd}(n, \gamma)^{158}\text{Gd}$  は内部転換電子とそれに引き続いてオージェ電子を多く放出することから中性子捕捉療法の増感元素の一つとして着目されている。線量評価の過程でガドリニウムの中性子捕獲  $\gamma$  線放出のデータが、スペクトル重視で Q 値が十分反映されていないことが問題になった。現在は改められているが、この背景には、従来原子力関係コードでは、電子や  $\gamma$  線スペクトルに関するデータが実用上あまり問題とならなかったことが考えられる。低エネルギーデータが重要な医学利用に転用する場合、配慮が必要な場合があると考えられる。

## 5 まとめ

医学用原子分子・原子核データの検討においては、既に指摘されているように、生体内

での電子の振る舞いに関するデータすなわち、原子分子データの検討が重要であることを重ねて指摘できると思う。放射線が生体に作用する最後の部分では、核との反応よりも電子との反応確率が大きいという事と、その後にかかる化学反応への影響も電子によるところが大きいことから理解できる。

医学用に必要な原子核データについても、中性子、 $\gamma$ 線（X線）、電子線、中間子、重粒子線等、複合的な現象を一度に評価できる計算コードやそれに適したデータを整備していくことが望まれる。

原子分子・原子核データに共通であるが、分子結合レベルの eV オーダーの低エネルギーでのデータの整備が必要である。（DNAレベルの線量評価）

治療装置の建設やそれを用いた治療が盛んになるにつれて、それらに関連するデータが整備されたように、利用の増大がデータ整備を促進する側面を持っている。従って、医学用の原子核データについても、利用者の拡大と利用機会の増大を促進するハード及びソフト面の整備を従来以上に進めることも重要な検討対象に入ると思われる。

具体例として、近年のパソコン利用に適したデータセット作成など、普及に力点を置いた整備をし、利用の拡大によるニーズの掘り起こしを計るのも一つの提案になろう。近年パソコンの性能が向上するにつれて、手軽にだれでも使えるようなシステムが登場すると思われるが、それのようなデータや計算コードを整備する等も必要である。また、さらにもう一步進めて、従来、プログラムの製作や計算機の端末の操作まで利用者が取り組まねばならなかったが、これらを支援する機構やプロ集団を設置育成して頂けたらと思うものである。

以上古林徹委員が中心となり、本報告を作成したことを付記する。

## 参 考 文 献

- 1] 医学用原子分子・原子核データ W・G 報告書, JAERI-M 85-024, 原研 (1985)
- 2] 医学における放射線と原子分子データ現状と問題点, 映像情報(M) 19 (1987) 158-176.
- 3] 医学物理データブック, 日本医学放射線物理学会 (1994)
- 4] アイソトープ便覧, 改訂3版 日本アイソトープ協会, (1984)
- 5] Table of Isotopes 7th. A Wiley Interscience Publication (1978)
- 6] Reference Man, ICRP 23, Pergamon Press (1974)
- 7] JENDL-3, JAERI-M 90-099, 原研 (1990)
- 8] Fission Product Nuclei in JENDL-3, JAERI-M 92-077, 原研 (1992)

## 6 その他の活動

前回報告した活動報告以後（平成5年度）の委員会で取り上げ検討を行っている講演演題および演者名を以下に記す。

光子・中性子照射における臓器線量（山口恭弘）

放射線医薬品データ報告（尾川浩一）

医学用核データ・原子分子データに関するアンケート結果（喜多尾憲助）

重イオンの阻止能について（高橋 旦）

核医学における核データ（尾川浩一）

放医研 HIMAC 利用施設について（平岡 武）

電離箱中でのイオン再結合損失（高田信久）

原子分子基礎データを使用したモンテカルロ計算によるナロービームの線量計算  
（岩波 茂）

HIMAC ビームの照射場とその線質（金井達明）

Stopping Power for Heavy Ions (Hans Bichsel)

医学利用に関する原子核データについて（古林 徹）

医学利用に関する原子核データ II（古林 徹）

陽子および重イオンの阻止能（平岡 武）

放射線治療と放射線研究のための原子・分子データ（伊藤 彬）

ESR 生体線量計測のための硬組織の質量減弱係数と質量エネルギー吸収係数（原田康雄）

人体組織および臓器に対する光子の質量減弱係数—XGAM—による計算（中井洋太）

診断領域 X 線の標準測定法で必要とする基礎データ（岩波 茂）

重水設備改修後の利用特性（古林 徹）

NIST が公開した X 線・ガンマ線データに関する近年の動向（原田康雄）

WG メンバー：

平岡 武（リーダー、放医研）、伊藤 彬（癌研）、岩波 茂（北里大）、  
上原周三（九大）、尾川浩一（法政大）、喜多尾憲助（データ工学）、古林  
徹（京大）、高田信久（電総研）、高橋 旦（理研）、中井洋太（近畿大）、  
原田康雄（昭和大）、山口恭弘（原研）、長谷川明（原研）