

## BNCT における標準的線量評価法の確立に向けた研究

### Research for the establishment of standard computational dosimetry method for BNCT

熊田博明  
筑波大学 医学医療系

#### 1. 研究目的

がんの治療法のひとつである放射線治療では、腫瘍にはなるべく高い線量を集約する一方、腫瘍周辺の正常組織への線量は可能な限り低減させることが求められる。そのため、効率的かつ安全な放射線治療を実現するためには、正確な線量計算手法が求められている。当研究グループでは、数ある線量計算アルゴリズムのなかで、最も高精度な線量計算エンジンとされるモンテカルロ計算を活用した次世代の線量評価ならびに治療計画システムの確立を目指した取り組みを行っている。これまで、ホウ素中性子捕捉療法 (Boron Neutron Capture Therapy: BNCT) と呼ばれる放射線治療に対する線量計算体系の構築から研究を開始し、その後、陽子線治療、X 線治療、炭素線治療といった各種放射線治療の体系構築も行い、あらゆる放射線治療に対して高精度なモンテカルロ計算で評価できる枠組みを構築してきた。今年度は、近年急速な発展を見せる BNCT 分野に着目した。BNCT の線量評価は、現在実施されている種々の放射線治療のなかで最も複雑である。BNCT は腫瘍にホウ素薬剤を予め投与しておき、そこに外部から中性子を照射することで核反応を惹起して線量を付与する。物理的線量評価はもちろん、生体内で発生する種々の核反応は、それぞれ生体への影響度が異なることから生物学的線量評価も必須である。この複雑性ゆえ、統一的な線量評価法が確立されておらず、その確立は急務である。そこで今年度、BNCT における線量評価の標準化プラットフォームの構築を目指す取り組みを実施した。

#### 2. 研究成果の内容

まず物理的線量評価項目として、原子核データライブラリのなかから BNCT で重要となる複数の原子核 (H, B-10, C, N, O) を選択し、それらの原子核が中性子と反応した際に生じる生成熱を計算する変換係数を整備した。これらの変換係数は、BNCT において吸収線量を評価する際に極めて重要で、過去に公開されている論文データとの比較も実施した。次に、BNCT における被ばく線量の評価を行った。BNCT では他の放射線治療と異なり比較的幅の広いビームを人体に対して照射する。中性子ビームの照射に伴い、中性子の核反応で発生する吸収線量と、中性子から副次的に生成され

る光子による吸収線量の 2 種類が人体に照射されることとなる。腫瘍から離れた位置に存在する正常臓器に付与される吸収線量は目的外線量であり、患者の安全性の観点から被ばく線量として適切に把握する必要がある。今年度の物理的評価において、この被ばく線量を水ファントム内で正確にシミュレーションし、定量的に評価した。今後、他の BNCT 実施施設の被ばく線量データと比較し、安全な BNCT の確立に向けた基礎データとする予定である。

さらに、生物学的線量評価に役立つ指標として、BNCT ビームの線質についても計算を行った。具体的に計算で評価した線質指標は、linear energy transfer (LET) と、よりマイクロ領域の線質指標である lineal energy の 2 種類である。計算は人体を模した軟部組織 (ICRU soft tissue) ファントム内で行い、共に線量平均値 (dose-average) として 3 次元的に取得した。これらの線量平均値は、今後他施設間でビームの線質を比較する際にも有用な指標である。また、この線量平均値は、ビームの線質評価のみならず、生体への影響度を推し量る際にも活用できるため、今後すでに確立された生物モデルと組み合わせることによって、生体へのダメージの割合を類推することに応用できる可能性が高い。そのため、患者の治療計画を立案する際に行う biological な評価にも展開する予定である。

### 3. 学際共同利用が果たした役割と意義

放射線治療領域においては、最も高精度な線量計算を供する線量計算アルゴリズムがモンテカルロ計算であることは長く知れ渡っていた。一方、モンテカルロ計算は、計算時間が長いという弱点をなかなか克服することができず、臨床応用の点では実用化にほど遠い状態であった。当研究グループは、学際共同利用としての OFP に出会い、また活用させて頂き機会を得たことによって、多くの有用な計算（線量・線質評価）を実施することが出来た。従前使用していた研究室に設置されたクラスタ計算機では物理的および時間的な制約を受けることが多かったが、OFP ではそれらの制限を全く受けることなく、このコロナ禍においても不自由なく大規模な線量計算を実行することが出来た。OFP の存在が当研究グループの研究活動を進める推進力として極めて大きな価値があったことを、ここに記す。

### 4. 今後の展望

これまでに得た計算の成果は、さらに多くの論文として報告できるよう、引き続きブラッシュアップを行う。また、これまでに蓄積された数多の知見については、『治療計画』と呼ばれる照射前の事前シミュレーションに大いに役立つものであるため、BNCT の治療計画にも展開していく予定である。

5. 成果発表

- (1) 学術論文：0 (投稿中：1)
- (2) 学会発表：3 (国際：2、国内：1)
- (3) その他

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
Cygnus			
Oakforest-PACS	○	178,092	35,000
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			