



## スキャンニング陽子線治療に適応可能な生物線量計算システムの開発



研究者所属・職名 : 大学院工学研究院・准教授

ふりがな まつうら たえこ

氏名 : 松浦 妙子

主な採択課題 :

- [基盤研究\(C\) 「陽子線照射の線量率とLET変動を同時に考慮した治療効果評価システムの開発」\(2018-2020\)](#)
- [基盤研究\(C\) 「動体追跡スポットスキャンニング陽子線治療に適合した生物線量計算システムの開発」\(2015-2017\)](#)

分野 : 放射線治療学、放射線科学

キーワード : 陽子線治療、放射線生物モデル、線エネルギー付与、損傷回復、生物線量

### 課題

#### ●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

現在がんの陽子線治療は、陽子線の生物学的効果を表す生物線量が物理線量の1.1倍であると仮定して照射が行われている。また照射時間の生物学的効果への影響は考慮されていない。一方で近年の培養細胞を用いた実験や臨床研究によって、陽子線の人体への生物学的影響は線エネルギー付与(LET)とともに増加すること、および照射に時間を要すると細胞の損傷回復により抗腫瘍効果が低下することが示唆されている。本研究では、実際の陽子線治療のシナリオに沿って人体への生物学的効果を評価するための生物モデル構築を行った。

#### ●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

LETの影響を考慮するにあたって従来はモンテカルロシミュレーションを用いる手法が一般的であった。しかし多大な計算時間を要するため日々の臨床評価に用いるには困難があった。そこでLETの解析モデル化を行い計算の高速化を図った。また照射の時間的因子については、実臨床で広く用いられているスキャンニング陽子線照射法を再現するために異種LET陽子線の断続的な照射を表すモデルを構築した。

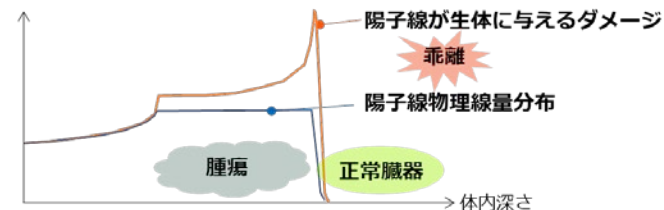


図1 陽子線線量分布と生体を与えるダメージ分布 (概念図)



## スキャンング陽子線治療に適応可能な生物線量計算システムの開発

### 研究成果

#### ● どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

##### 1. 解析LETモデル構築

一般的に商用の治療計画装置の線量計算アルゴリズムとして搭載されているペンシルビームアルゴリズム(PBA)をベースとしたLETの解析計算手法を開発した。モンテカルロシミュレーション(MCS)による結果を正とした場合、従来の解析LETモデル(single LETカーネルモデル)は標的端や隣接する危険臓器においてMCSと乖離するが、開発したdual LETカーネルモデルは中心線量の10%程度の低線量領域までMCSを再現した。また、典型的な標的に対する計算時間は、MCSが数時間程度要するのに対してPBAベースの手法を用いれば数分で完了するため日々の臨床評価に用いることも可能である。

(文献1. Hirayama et al. Med Phys. 45(7):3404-3416 (2018))

##### 2. スキャンング陽子線照射のLETおよび時間構造を考慮した生物モデル構築

本研究では、放射線治療で一般的に用いられているLinear quadratic modelをTheory of dual radiation action (Radiat. Res. 83 (1980))と組み合わせることにより、異種LET陽子線の断続的な照射が行われた際の生物効果を表現するモデルを構築した。スキャンング照射への適用の準備として、より単純な時間構造を持つ散乱法照射を想定した評価を行い、処方線量を表すパラメータが治療時間の延長とともにどのように低下するかを調査した。この結果、生物パラメータによっては医師が想定した処方線量と比較して10分あたり3%程度の実質的低下が起こることが分かった。

(文献2. Kasamatsu et al. Med Phys. 47(9):4644-4655 (2020) )

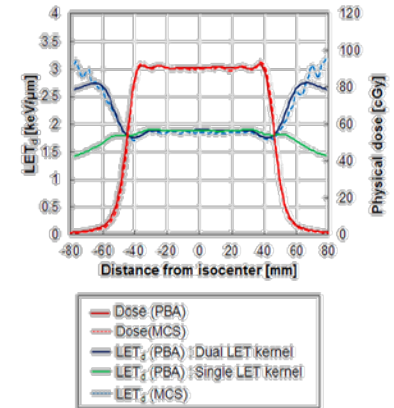


図2 解析LETモデルの計算例  
(文献1より転載)

### 今後の展望

#### ● 今後の展望・期待される効果

近年、LETと陽子線治療後の副作用発生との相関関係が複数の部位で明らかになってきている。このような相関を明らかにする臨床研究には多数の症例が必要になる場合もある。研究成果1で構築した解析LETモデルは、患者体内のLET分布を高精度かつ短時間で計算可能であるため、このような症例研究にも効力を発揮すると考えられる。今後は研究成果2で構築した生物モデルをより複雑な線量分布および時間構造を持つ強度変調陽子線治療などの照射法に拡張し、適応可能範囲を広げる予定である。