



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	動体追跡陽子線治療における照射ログファイルを用いた実績線量評価に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	山田, 貴啓
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(医理工学)
Dissertation Number	乙第7181号
Issue Date	2023-06-30
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/90395">https://hdl.handle.net/2115/90395</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Takahiro_Yamada_review.pdf, 審査の要旨



## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（医理工学）	氏名	山田 貴啓
審査担当者	主査	准教授	高尾 聖心
	副査	教授	久下 裕司
	副査	准教授	橋本 孝之
	副査	准教授	宮本 直樹

### 学位論文題名

動体追跡陽子線治療における照射ログファイルを用いた実績線量評価に関する研究  
(Studies on Evaluation of Actual Dose Distributions Utilizing Log Data  
in Real-time-image Gated Proton Therapy)

陽子線治療では、標的を数千のスポットに分割して照射するスポットスキニング照射により、標的へ線量集中性や、線量分布形状の自由度が向上している。さらに、体内マーカを用いた標的位置のリアルタイム監視により陽子線のゲート照射をおこなう動体追跡陽子線治療（Real-time-image Gated Proton Therapy; RGPT）により、呼吸性移動をとまなう臓器に対しても高精度な照射が実現されている。一方、このような照射方法の高度化にとまなない、照射精度の管理や検証に対する要求が高まっており、その検証方法として、照射時に記録されるログデータを用いる方法が注目されている。本研究は、特に RGPT におけるログデータの活用に着目しており、研究における第一の目的は、照射装置の誤差および呼吸性移動を考慮した実績線量の再構成により、肝臓に対する RGPT の線量分布を検証することであり、第二の目的は、ログデータを用いた線量計算により、患者 QA の測定時間を短縮する方法を検証することとしている。申請者は、前者の目的に対し、ファントムによる実測とガンマ解析から実績線量分布をよく再現できることを示したと共に、肝臓がんの RGPT を対象にした実績線量分布評価を実施し、提案手法の有効性を確認した。また後者の目的に対して、Simplified Monte Carlo (SMC) 法による線量計算アルゴリズムを利用し、実績ログデータをもとに線量分布を計算できる体系を構築した。立方体照射野および実際の患者 QA での実測値との比較をおこない、二次元線量分布のガンマ解析による評価では十分なパステートが得られ、絶対線量評価においても補正係数を加えることで誤差 2%以内を実現できることを示した。以上のことから、提案する実績線量評価手法の臨床における実行可能性を示した。

審査にあたり、まず副査の久下教授から、実績線量分布再構成に関して実施された各評価の目的についての質問があり、申請者はファントムでの検証は手法自体の精度評価を目的としており、それを踏まえて実患者データを用いて治療での有効性を評価していると回答した。また、実績線量分布と治療計画線量分布との差異の理由に関する質問に対しては、主に患者の動きによってそのような線量分布の差異が生じ得ると回答した。続いて副査の橋本准教授から、実績線量評価に

においてスポットサイズの変動を考慮した場合に結果にどう影響するかについての質問があり、申請者は、照射中のスポットサイズの変動は0.2mm程度でありその寄与は小さいと回答した。また、更なるQA時間短縮の可能性に関する質問については、AIを用いたQA結果予測などの活用により実測する症例数を減らすことが有効であると回答した。続いて副査の宮本准教授から、先行研究と比較した本研究の独自性に関する質問があり、申請者は従来の研究では加速器の運転パターンを仮定した評価であるため各スポットの照射のタイミングおよび位置が実際と異なるが、本研究では治療時の照射条件を用いた評価であると回答した。実績線量分布を呼気止めで撮影されたCTのみを用いて計算していることの妥当性についての質問に対しては、RGPTにおける照射中の腫瘍の動きは高々±2mm程度であり、これは概ね四次元CTの一位相の範囲内であることから呼気止めCTを用いた評価は適切であると回答した。また、SMCによって実測を代替するにあたり、SMCと実測で得られる分布の同等性をどのような基準で判断するかとの質問に対しては、現時点では先行研究を参考に行っているが、ガイドライン等が存在しないため最終的にはユーザーの判断が求められると回答した。最後に主査の高尾准教授から、実績線量分布評価におけるinter-fractionalの解剖学的変化の影響に関する質問があり、申請者は、その影響はdailyあるいはweeklyで取得されたCT画像が存在すれば可能であり、それはadaptive治療の高度化のためにも必要であると回答した。また、SMCの絶対線量補正の物理的な意味に関する質問に対しては、SMCで十分に考慮されていない大角度散乱の効果を表現していると回答した。

以上、申請者は各質問に対し、自身の解析結果、過去の報告および知見を引用し概ね適切に回答した。本研究は、国内外の学会等において発表し高く評価されており、現在の陽子線治療における更なる精度向上や省力化・低コスト化に大きく寄与するものと期待される。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、申請者が博士（医理工学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。