



Title	即時適応陽子線治療に向けた治療計画法に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	宮崎, 康一
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(医理工学)
Dissertation Number	甲第15972号
Issue Date	2024-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/92222
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Miyazaki_Koichi_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 宮崎 康一

	主査	准教授	高尾	聖心
審査担当者	副査	教授	久下	裕司
	副査	教授	松浦	妙子
	副査	准教授	安田	元昭

学位論文題名

即時適応陽子線治療に向けた治療計画法に関する研究
(Studies on the treatment planning method for online adaptive proton therapy)

陽子線治療は患部に線量を集中しつつ患部周辺の危険臓器（OAR：Organ At Risk）への線量を低減可能な治療法として期待されている。しかし実際の治療においては治療期間中に患者の体形変化等が生じることにより、初期治療計画時に想定した通りの線量分布が実現できないことがある。このような治療期間中の変化に対応するため、患者が治療台に乗った状態で治療計画を修正（再計画）する即時適応陽子線治療の実現が急務である。即時適応陽子線治療の実施においては再計画による線量改善効果と医療負荷低減を両立する治療フローの確立が望まれる。本研究は、高速かつ誤差に対して頑強（ロバスト）な再計画法、および過去に作成した適応治療計画の再利用を含めた新たな適応放射線治療の提案を目的とするものである。前者に関し申請者は、先行研究で示された線量復元（DR：Dose Restoration）法の発展として、腫瘍の形状や位置変化に対応するため初期治療計画の線量分布を治療日 CT 上の新たな標的に合わせて変形し、その後変形により得た変形線量分布を再現する変形線量復元（DDR：Deformed Dose Restoration）法を開発した。本手法を腫瘍の形状変化または位置変化が生じた典型的な 6 症例に適用した結果、初期治療計画を継続した場合や DR により再計画した場合と比べ、DDR では全てのケースにおいて標的線量の改善が確認された。また、後者については、治療日 CT に対して初期治療計画および過去に作成した適応治療計画での線量評価を実施し、全ての治療計画が予め定めた線量評価基準を満たさない場合に限り再計画を実施する DAAre（Dose Assessment and daily Adaptation with plan reuse）法を提案し、前立腺がん 23 症例に対する評価を行った。その結果、DAAre では標的の線量制約を満たしつつ再計画の回数を通常の適応治療法の平均 8.7 回（全 21 回中）から 2.0 回と大幅に低減可能であることが確認された。

審査にあたり、まず副査の久下教授から、DDR において 10 分以内での再計画が可能となった理由についての質問があり、申請者は目標線量分布を目的関数とすることにより最適化に要する時間が短縮できていると回答した。DAAre での線量評価に要する時間に関する質問に対しては、現在 1 分程度を要しているが将来的に高速化は可能であると回答した。続いて副査の安田准教授

から **contouring** に関する質問があり、申請者は、基本的に医師が手作業で行う必要があるが今後は AI による自動化の方向に向かうだろうと回答した。また、**DAAre** の検証において再計画の回数が平均 2 回まで低減した理由についての質問に関しては、前立腺がんは日々の体内構造変化がランダムであるため再利用が有効に機能していると回答した。続いて副査の松浦教授から **DDR** の目的関数を構成する要素についての質問があり、申請者は目的の線量分布を得るために必要な要素を盛り込んでいるが簡略化の余地はあるかもしれないと回答した。また、**DAAre** の評価が累積線量ではなく日毎に行われていることについての質問に関しては、累積の線量分布を得るためには変形レジストレーションが必要であり、そこに不確定性が多く含まれるため各日での評価としたと回答した。最後に主査の高尾准教授から、**DDR** の最適化において **OAR** を考慮していない点についての質問があり、申請者は **OAR** を考慮することによって線量分布は改善すると考えられるが最適化に要する時間が長くなると回答した。

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、陽子線治療の理想形の実現を見据えた価値ある研究であると考えられる。

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。