



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on Quick Prediction of Dose Volume Statistics in Proton Beam Therapy using Deep Learning [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	JAMPA-NGERN, SIRA
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(医理工学)
Dissertation Number	甲第15034号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/86132
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Sira_Jampa-ngern_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 SIRA JAMPA-NGERN

主査 教授 白土 博樹
審査担当者 副査 准教授 小野寺 康仁
副査 准教授 高尾 聖心

学位論文題名

Study on Quick Prediction of Dose Volume Statistics in Proton Beam Therapy using Deep Learning

(深層学習を用いた陽子線治療における線量体積統計量の迅速予測に関する研究)

陽子線治療は、X線治療に比べて体内の線量分布に優れるものの、装置が高価で世界的に施設数が限られている。放射線治療医は、患者の紹介があった場合に、陽子線治療の適応があるかどうかを短時間に判断をする必要があるが、3次元線量計算装置を利用した場合、体内の線量分布を正確に予測するには、数日から一週間を要す。本研究は、患者ごとに迅速に陽子線治療の線量分布を予測し陽子線治療の適応があるかどうかを深層学習で予測するシステム Simple dose prediction (SDP) tool の開発研究である。

第一章では、SDP tool の構想を述べたあと、同システムのプロトタイプの作成とその評価を行っている。深層学習を利用する前に、医用画像に対する 2-dimensional profiling (2DP) という前処理を行うことでニューラルネットワーク (CNN) での計算容量を低減した。また、ヴァーチャルな腫瘍を利用して、少ない実画像をもとに予測性能を上げる Contour-based Data Augmentation (CDA) を開発した。

第二章では、第一章で開発したプロトタイプをさらに改善する試みとして、2DP のかわりに 3-dimensional profiling (3DP) を開発し評価し、次に最新の既存深層学習モデルを利用することでの予測精度向上を試みた。

材料は、肝がんとし、予測すべき線量体積統計量は、陽子線治療の適応判断において広く利用されている、肝臓平均線量 D_{mean} としている。完成したプロトタイプのシステムで、7 症例の実 CT 画像をもとに、CNN を構築し、6 種 (2 方向からの陽子線治療で、6 種の方向の組み合わせ) の陽子線治療時の D_{mean} の予測をした。

第一章では、10 症例のテスト用実患者データを用い、Mean Relative Error (MRE) で評価したところ、1 症例あたりヴァーチャルな腫瘍を 199 個追加 (=計 200 腫瘍) して CDA を行い、7 症例をトレーニングデータと検証データに振り分ける割合は 5:2 とし、トレーニングに利用すべき臓器は肝臓のみ、2 次元前処理でいくつの要素に分けるかのパラメーター k は 10 とした場合、最も優れた予測が可能であった。最適化された自作 SDP の予測の精度は $MRE=0.1637$ ($\beta=0.9455$) で、一人当たりの計算時間は 14 秒と極めて高速であった。

第二章では、まず、医用画像に対する前処理を 2DP から 3DP に変えて、CNN での計算容量を低減することを試みたが、かえって 2DP よりも精度が低下することもわかった。次に、予測性能を上げるために、CNN を自作のものから既にトレーニングの終了している既存のモデルに変えてみ

た。その結果、Alexnet では MRE が 0.2363 に悪化した。VGG、Resnet などでは改善し、GoogLenet では 0.0797 に向上した。ただし、トレーニングに要する時間は、自作の CNN では 83 分に対して、GoogLenet は 3.5 倍の時間がかかった。CDA の利用は、いずれのモデルでも、予測性能の向上につながった。

以上より、自作の SDP プロトタイプは、コストパフォーマンスのよい肝 D_{mean} の迅速予測が可能であること、既存の CNN モデルの利用は、トレーニングに要する時間は長くなるものの、予測性能の向上につながることがわかった。

審査にあたり、まず副査の小野寺准教授から現在の 3 次元治療計画装置と比較して、どの程度速く、どの程度コストが低いのか、について質問があり、申請者は現時点での同装置の具体的な金額は国によっても異なるため明確にはできないこと、また本開発品の適正価格はハードだけではなくソフトの価値の査定によるため一概には判断できないとの回答があった。副査の高尾准教授からは、 D_{mean} 予測において 2 次元計算と 3 次元計算の差が小さかったのはなぜか、という質問があり、申請者は詳細は不明であるが、3 次元的な散乱部分の影響が少なかったためであると回答した。最後に主査の白土教授から、既にトレーニングの終了している既存のモデルの Softmax function を外したことの影響などに関する質問があったが、申請者は、Softmax function は、分類問題には適しているが、今回の回帰問題には適していないと回答をした。

この論文は、放射線治療における深層学習の有用性の証明とその実用性とコスト・パフォーマンスの観点から高く評価され、その一部はすでに国際誌に掲載され、今後の実用化と陽子線治療の有効利用の促進に資することが期待される。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ、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。