

## 乳がんに対する放射線治療における

### 治療計画立案の深層学習を用いた自動化の検討

#### Automatic planning of radiation therapy for breast cancer using deep learning

大矢めぐみ

理化学研究所、千葉大学

#### 1. 研究目的

乳癌に対して腫瘍摘出手術後の放射線治療は再発率を低減するというエビデンスがあり、標準治療の一環として行われている。放射線治療を行う際にはがん細胞が存在する可能性がある領域をターゲットとして決定する必要がある。ターゲットの決定には患者の 3 次元的な画像情報が取得可能なコンピュータ・トモグラフィ (CT) が用いられる。現在は CT 画像上に放射線治療のターゲットである乳腺組織を 3 次元的に描出するセグメンテーションが手動で行われる。この作業を自動化することができれば、医療者の負担を減らすとともに、患者により精度の高い放射線治療を迅速に提供することが可能となる。

この研究の目的は、全乳房放射線治療における臨床標的体積 (CTV) の自動セグメンテーションを行う 3D-CNN を実装し、勾配加重クラス活性化マッピング (Grad-CAM) を使用して、CNN が予測を行う際にどのような特徴に焦点を当てているかの検証を行うことである。

その上で、上記にて描出したターゲットの情報を用いて、安全で効率的な治療計画の立案を自動化する方法の開発を目指す。放射線治療においては、がん組織には高い放射線量を与えながらも、隣接する正常組織に対しては放射線量を低く抑える必要がある。この最適なバランスを、患者や臓器ごとに実現するには、様々なパラメータ調整が必要である。そうした放射線治療計画の最適化を高精度に自動化する方法を検討する。

#### 2. 研究成果の内容

[方法]: 本研究では、3D-UNet という 3 次元の畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を使用して乳癌 CTV の自動セグメンテーションを実装した (Oya M. 2021)。学習には 3 種類のデータセット (左乳癌のみ、右乳癌のみ、左右どちらの乳癌も含むデータセット) を用いた。セグメンテーションの精度はダイス係数(DSC)を用いて評価した。次に、左右どちらの乳房が治療対象であるかの分類を、3 次元 CNN を用いて行った。そして、セグメンテーションと分類のそれぞれの学習済みモデルを分析するために、Grad-CAM という

う手法を使用した。Grad-CAM を用いることで、CNN が予測をするにあたり画像上のどのような特徴に着目していたのかを可視化することができる。

[結果]: 3D-UNet を用いたテストデータセットに対するセグメンテーションの DSC の結果は、左のみ、右のみ、左右どちらも含むデータセットでそれぞれ、0.88, 0.89, 0.85 であった。ターゲットの左右分類では、テストデータ 60 人中 59 人で正しく分類することができた。正しい側と予測したスコアはほとんどの患者で 1 に近い値をとり、非常に高かった。Grad-CAM の結果から、分類の CNN は左右を判断する際に、CT 画像上の皮膚に置かれたマーカーに着目していたことがわかった。3D-UNet のセグメンテーションに対する Grad-CAM からは、ターゲット側の乳腺組織のみならず、反対側の乳腺や周辺の骨、脊椎にも着目しながら、セグメンテーションを行う領域を決定していたことがわかった。Grad-CAM を用いることで、CNN が意思決定を行うにあたり着目した部位を可視化でき、3次元 CNN の適用可能な範囲と限界を示すことができると考えられる。左右の分類とセグメンテーションの両方の課題に取り組んだことで、放射線治療の自動化には欠かせない品質管理の方法を提案した。また 2021 年度は、セグメンテーションからの発展に向けて、多岐に渡る治療データを包括的に扱えるよう、データ抽出と前処理の方法の工夫に取り組んだ。

### 3. 学際共同利用が果たした役割と意義

本研究では各患者から収集された 3 次元画像データを扱っており、使用データの量は大きなものとなる。それらに対し前処理を行い、学習を実施するには、メモリ容量が十分確保できる GPU を複数台用いて計算を実施する必要がある。学際共同研究によって Cygnus を使用することで、豊富な GPU 環境を用いて効率的に研究を実施することができた。また、豊富な計算環境があることで、計算の高速化技術について理解を深め、実際の課題に応用する可能性を広げることができた。

### 4. 今後の展望

これまでは、放射線治療のターゲットとなる乳腺照射領域の抽出を行ってきた。今後は、自動セグメンテーションされたターゲットの情報を扱い、安全で効率的な治療計画の立案までを深層学習を用いて自動化する方法の開発と、放射線治療の全体の最適化に取り組んでいく。今までは輪郭情報のみを取り扱っていたが、今後のプロジェクトにおいては多岐にわたる治療データを扱っていくため、統合的なデータ解析手法も確立させる必要がある。今後は特に、がん組織には高い放射線量を与え、隣接する正常組織では放射線量を低く抑えることができるような最適な線量の分布を実現するための治療パラメータ決定の自動化に取り組む予定である。その際には新たに強化学習の手法を取り入れて、パラメータ選択の最適化を実施することで、人間による意思決定の精度を上回る治療計画を提案することを目標とする。

同時に、治療計画の高速化にも取り組んでいく。放射線治療計画のプロセスは非常に複雑であるが、Cygnus の計算パワーを活用することで、治療計画立案の高速化や自動化に貢献できることが期待される。

また、放射線治療計画のプロセスは非常に複雑であるため、学際共同研究による計算環境を用いて計算を実施することで、放射線治療全体の最適化、治療計画立案の高速化や自動化に貢献できることが期待される。

## 5. 成果発表

### (1) 学術論文

Oya M, Sugimoto S, Sasai K, Yokoyama K. Investigation of clinical target volume segmentation for whole breast irradiation using three-dimensional convolutional neural networks with gradient-weighted class activation mapping. Radiol Phys Technol. 2021 Sep;14(3):238-247. doi: 10.1007/s12194-021-00620-8. 本論文にて 2021 年度 Radiological Physics and Technology 誌 Vol.14 土井賞受賞

### (2) 学会発表

1. Megumi Oya, Satoru Sugimoto: Investigation of Clinical Target Volume Segmentation for Whole Breast Irradiation Using 3D Convolutional Neural Network and the Shape Regularization Model Without the Prior Information of the Target-Side Breast. American Association of Physicists in Medicine (AAPM) 63rd Annual Meeting & Exhibition, 2021
2. 大矢めぐみ、杉本聡、笹井啓資、横山和仁: Investigation of clinical target volume segmentation for whole breast irradiation using three-dimensional convolutional neural networks with gradient-weighted class activation mapping. 第 123 回日本医学物理学会学術大会, 2022 土井賞受賞講演

### (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	○	4500	
Oakforest-PACS			
※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。			