

## 乳癌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

千葉大学、順天堂大学

#### 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。畳み込みニューラルネットワーク (CNN) を使用した自動セグメンテーションが近年可能となってきたおり、CNN の予測に対する解釈と理解が、技術を安全に適用する上での重要な課題となっている。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。また、Shape Regularization Model (SRM)を用いた際の、セグメンテーションのパフォーマンスについても検証する。

#### 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) を使用して乳癌の CTV の自動セグメンテーションを実装した。CTV の情報を含む CT 画像 192 人分(98 人が左乳癌患者、94 人が右乳癌患者)をトレーニング用と検証用データに用い、60 人分(左乳癌、右乳癌それぞれ 30 人)をテストデータとして用いた。5 分割交差検証法によって 3D-UNet の学習を実施した。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。分類の CNN も 5 分割交差検証法によって学習を実施した。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。さらに、予測されたセグメンテーションの形状を整えることができる SRM を、左右どちらの乳癌も含むデータセットを用いた 3D-UNet の学習に導入した。SRM の有無によるセグメンテーション精度の向上について比較検討する。

[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ことがわかった。最後に、左右どちらの乳癌も含むデータセットを用いた 3D-UNet の学習に SRM を導入したことで、DSC の精度は 0.852 から 0.854 に向上した。実際に、予測された CTV 形状において、小さな島構造が取り除かれ、辺縁が整えられることがわかった。特に、反対側の乳房の一部が誤って治療対象として予測されていたものが取り除かれた。

### 3. 学際共同利用が果たした役割と意義

本研究を進める上で、学際共同研究により提供された Cygnus の高性能な計算環境は必須のものであった。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。学際共同研究を通じて 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。

### 4. 今後の展望

今後は、これまで行ってきた学習をより患者データを増やして行うことで、どの程度の精度向上が見られるかを検証する。乳房のターゲット領域抽出を行うにあたり何人分のデータ収集を行えば十分であるかが明らかにできれば、深層学習に必要な医療データの効率的な収集につながり、大きな意義がある。また、自動セグメンテーションされたターゲットの情報をを用いて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にも取り組む。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

(2) 学会発表

1. 大矢めぐみ、杉本聡、横山和仁: Automatic target segmentation for whole breast irradiation using 3D-Unet. 第 119 回日本医学物理学会学術大会, 2020
2. 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 (発表予定)

(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	○	5000	
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。			