

# 深層学習を利用した左乳癌深吸気息止め照射法の仮想 CT 構築

愛知県がんセンター

放射線治療部 医長 小出雄太郎

愛知県がんセンター

放射線治療部 部長 古平毅

## 1. 研究の背景・目的

左側乳癌治療後は心臓の晩期有害事象が問題となる。心臓の被曝線量が 1Gy 増えると、心血管系合併症が 7.4% 上昇する [1]。乳癌ガイドラインには心臓の線量低減を配慮するよう推奨されており、平成 30 年の診療報酬改定でも心臓線量低減を目指した呼吸性移動対策加算が認められた。深吸気息止め照射法 (DIBH-RT) とは心臓被曝低減を目指した照射方法だが、呼吸性移動対策に高額な装置が必要とされてきた。我々は 2019 年度からこの照射法を装置なしで、簡便に行えるように考案し、欧州学会や国内学会で成果発表している。

当院はこの 2 年間で左乳癌患者 98 名のうち 94 名が希望され DIBH-RT を実施した。結果、平均 1Gy の心臓線量低減に成功したが 33% の患者は低減量が 1Gy 未満であった。その患者達は通常法 (自由呼吸照射) での治療も可能であったが、治療計画を比較しないと判断できない。

DIBH-RT は通常照射より検査被曝の増加 (2~4 回 CT を撮る)、撮影時間の増加 (通常より +30~40 分)、治療時間の増加 (+3~5 分×治療回数) といったデメリットがあり、不要な場合は自由呼吸照射を提案したい。DIBH-RT が不要な患者を予測する先行研究があり、多くは心臓の測定距離 (最大心臓距離や心臓と胸壁の接地距離など) を用いた線形予測モデルを作成しているが、その精度は残念ながら高くない。

そこで我々は全く新しいアプローチとして、Deep Learning (深層学習) を利用して仮想 CT を作成して予測する方法を考案した。本法はある CT (自由呼吸 CT) をもとに別の CT (深吸気息止め CT) を生成し、得られた治療計画から定量的な心臓線量予測を目指すものである。

## 研究の対象ならびに方法

【対象】 左乳癌に対して、深吸気息止め照射（DIBH-RT）を実施された患者 94 名。

## 【方法】

- (1) 仮想 CT (Synthetic CT = sCT) 作成モデルの構築：対象患者 94 名を以下のグループに無作為に分ける。①Training：48 名、②Validation：16 名、③Test：30 名。①②でモデルを最適化する。最終的な予測結果は、学習に用いていない③でテストした結果とする。学習は U-Net を利用して 8326 スライスの CT1(自由呼吸 CT)から各スライスに対応する CT2 (息止め CT=教師データ) 画像を生成するモデルを生成する。生成画像の質は、ピクセル毎の CT 値の誤差、心臓や肺の輪郭の一致度、最大表面距離を評価する。
- (2) 心臓線量予測のための仮想治療計画作成：最適化されたモデルを用いて Test 患者 30 名の仮想 CT を作成する。その CT 上に実際の治療計画装置を用いて治療計画を作成し、心臓への被曝線量、肺や全身への被曝線量を計算する。計算値と正解値 (Ground Truth) のずれを評価する。
- (3) 比較用の線形モデルの構築：我々のモデルと先行研究のモデルを比較するために、同一患者群において先行研究で用いられた線形モデルを構築する。指標は先行研究で用いられたもの (最大心臓距離や接地距離など) から最も心臓線量と相関が高いものを用いる。
- (4) 仮想 CT モデルと線形モデルの予測精度の比較：Test 患者において主要目的である心臓線量の予測精度を比較する。同時に得られる肺線量についても予測精度を評価する。
- (5) 臨床応用するための考察：DIBH-RT が不要となる低減量のカットオフ値を 1Gy と設定したときの診断能を評価する。感度、特異度、AUC 値を求める。

## 2. 研究結果

図 1 に示す U-Net を利用して sCT モデルを構築した。sCT モデルは既存の線形モデルと比較して、下表のように予測精度が高い結果となった。

	R <sup>2</sup>	RMSE	MAE
sCT モデル	0.972	0.120	0.087
線形モデル	0.450	0.551	0.412

また、sCT モデルは肺線量についても予測が可能であった。図 2 に真の CT と仮想 CT それぞれで作成された治療計画の線量分布図を示す。

図 1 : 本研究に用いた U-Net

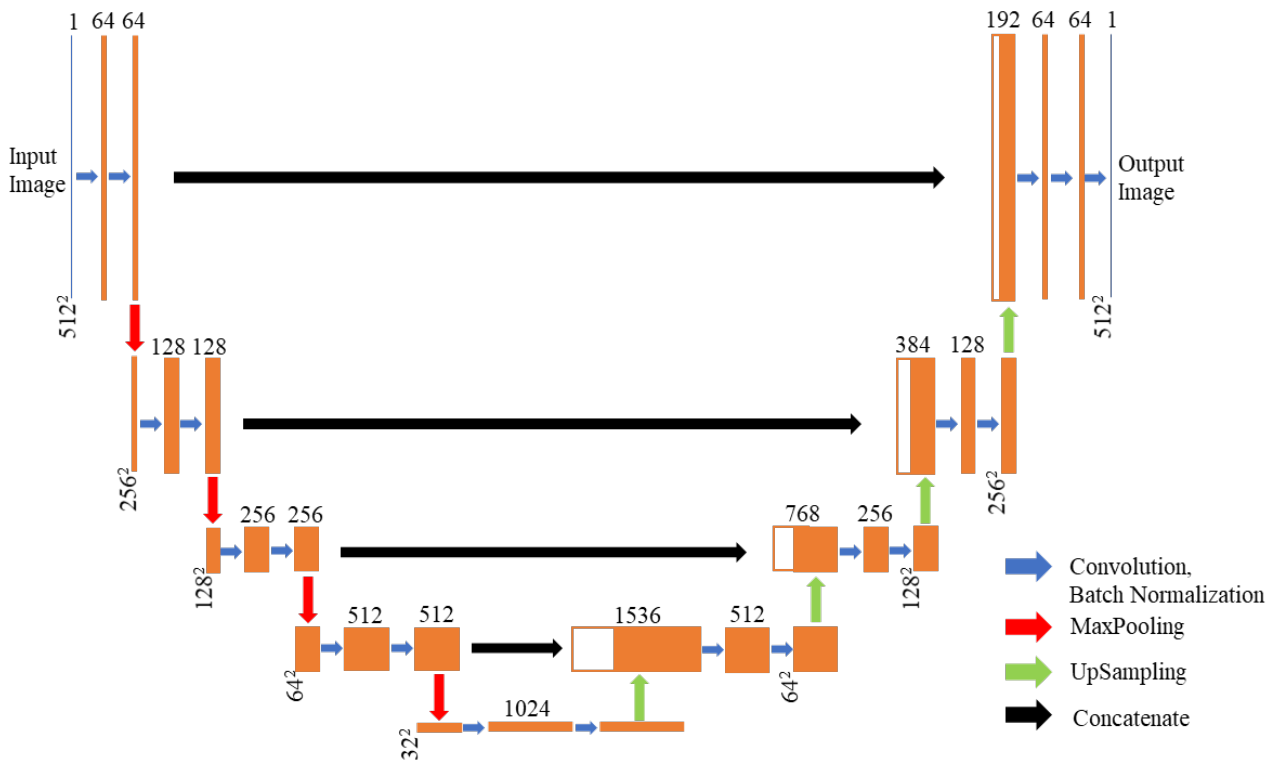
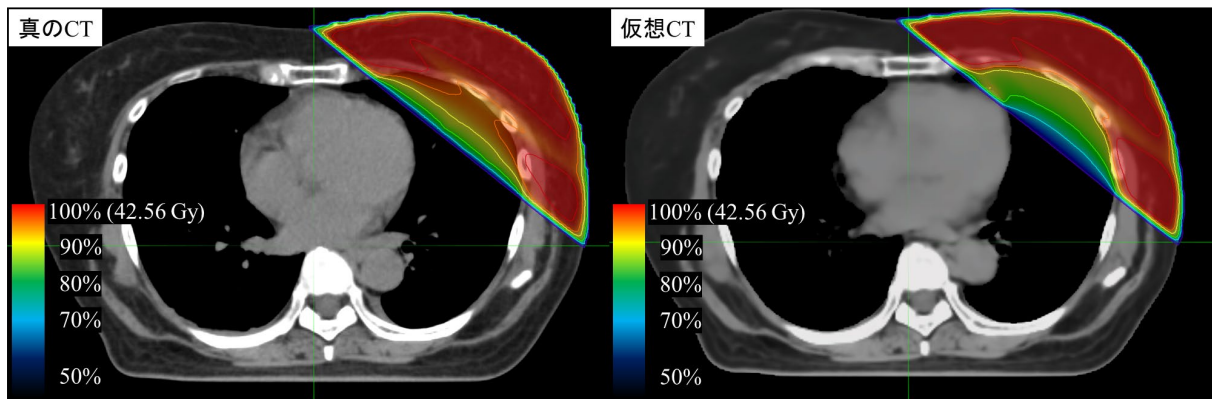


図 2 : 治療計画線量分布図の比較



カットオフ値 1Gy と設定した時の各モデルの診断能は、AUC が線形モデルは 0.803 に対して sCT モデルは 0.995 と高い値を示した(P=0.025)。

### 3. 考察

本研究において、sCT モデルは既存の線形モデルより高い精度で心臓や肺の線量を予測する性能を示した。通常の予測モデルと異なり、CT そのものを予測結果として生み出す sCT モデルは結果の視認がしやすいため臨床医が予測結果を受け入れやすい利点があると考えられた。一方で sCT に治療計画をしなくてはならない点が予測結果を得るために 20 分程度要することが今後の課題と考えている。我々は本研究から生まれた新たな課題を解決するために、ほかのパラメータも探索して、予測精度を保ちながらより簡便に利用できるモデルの検討を続けている。

### 4. 参考文献

[1] Sarah C. Darby et al. Risk of Ischemic Heart Disease in Women after Radiotherapy for Breast Cancer. *New England Journal of Medicine*. 2013;368: pp987-998

### 5. 論文発表

#### 【学会発表】

- ① 小出雄太郎、U-Net を用いた仮想 CT 生成による左乳癌深吸気息止め照射の心臓線量予測. 日本放射線腫瘍学会 (Web 開催 : 2021 年 11 月 12 日~2022 年 1 月 15 日)

#### 【論文発表】

Koide Y, Shimizu H, Wakabayashi K, Kitagawa T, Aoyama T, Miyauchi R, et al. Synthetic breath-hold CT generation from free-breathing CT: a novel deep learning approach to predict cardiac dose reduction in deep-inspiration breath-hold radiotherapy. *J Radiat Res*. 2021. doi:10.1093/jrr/rrab075

Koide Y, Shimizu H, Aoyama T, Kitagawa T, Miyauchi R, Watanabe Y, et al. Preoperative spirometry and BMI in deep inspiration breath-hold radiotherapy: the early detection of cardiac and lung dose predictors without radiation exposure. *Radiat Oncol*. 2022;17. doi:10.1186/s13014-022-02002-9