

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K15563

研究課題名（和文）畳みこみニューラルネットにて構築した仮想CTによる次世代型適応的放射線治療の実現

研究課題名（英文）Realization of next-generation adaptive radiation therapy using virtual CT image constructed with convolution neural network

研究代表者

臼井 桂介（USUI, KEISUKE）

順天堂大学・保健医療学部・講師

研究者番号：20714132

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本課題は放射線治療時に取得するコーンビームCT画像を利用し治療後の障害予測を付帯した適応放射線治療計画法の考案を目的とした。本研究では、深層学習を用いたコーンビームCTの画質改善、定量的指標を用いた画質評価、コーンビームCT画像から障害予測するモデルの構築の3項目を検討した。では、被検体から発生する散乱線による画質劣化を改善するための畳み込みニューラルネットワークを構築した。では、画像類似度と最大信号雑音比を用いて画質評価を行い、従来法より約10%の改善効果が達成された。では、前立腺がん20例のコーンビームCT画像と臨床情報を用いて障害予測のモデルを作成し、精度検証を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、深層学習が画質が劣化したCT画像の改善に効果的に寄与することを実証した。放射線治療時のコーンビームCT画像は世界中で使用されており、その画質は依然として課題である。本研究成果はこの問題に対し簡易的で実用性の高い手法を提案することができた。さらに、このコーンビームCT画像から放射線治療後の障害を予測するという新しい適応放射線治療計画法を考案した。本手法が実装できることで、放射線治療時の障害発生の頻度と程度を最小限に留めることができると考えている。本研究ではその初期検討を行い、実現可能性を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this task was to develop an adaptive radiotherapy planning method with prediction of toxicity after treatment using cone-beam CT images acquired during radiotherapy. In this study, we examined three studies: improvement of image quality of cone beam CT using deep learning, image quality evaluation using quantitative index, and construction of a training model for predicting toxicity from cone beam CT images. In , we constructed a convolutional neural network to improve the image quality deterioration due to scattered photons generated from the subject. In , the image quality was evaluated using the image similarity and the maximum signal-to-noise ratio, and an improvement effect of about 10% was achieved compared to the conventional method.

In , a model for predicting toxicity was created using cone-beam CT images of 20 cases of prostate cancer and clinical information, and accuracy verification was performed.

研究分野：放射線治療技術学

キーワード：放射線治療学 適応的放射線治療 コーンビームCT 人工知能 深層学習 放射線治療技術学

### 1. 研究開始当初の背景

本国の超高齢化に伴いがんの罹患率は増加の一途を辿っており、「がん対策基本計画」に基づく国家的対策が現在進行中である。がん治療において、放射線療法は手術療法や化学療法とともに重要な役割を果たしており、放射線療法の普及と適応領域の拡大のため、さらなる治療成績の向上と同時に副作用の低減が期待されている。放射線療法は、腫瘍の進展範囲と正常臓器に照射される放射線量が治療後の成績に大きく影響するといえ、この放射線療法の副作用を最小限に留めるには正常臓器の障害を予測して治療計画を最適化することが求められる。これにより、患者個別の状況変化に応じて、照射範囲や放射線の強度分布を最適化させた適応的放射線治療法の実現が臨床的観点から必要とされている<sup>1</sup>。しかし、治療期間中の腫瘍の性状と放射線障害は初回計画のみでは対策しきれず、日々の治療計画を最適化することは時間的および技術的な問題から達成できていない。また、直線加速器に搭載されたコーンビーム CT により治療直前の体内の 3 次元画像を取得できるが、このコーンビーム CT はマルチスライス CT と比較して画質が大きく劣化するという問題があり放射線治療計画に利用することができていない<sup>2</sup>。画質劣化の大きな要因は散乱線の混入と、撮像時の体動による画像の乱れであり、これに対する実用的な解決策は存在しない<sup>3</sup>。

### 2. 研究の目的

本研究では、畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network; CNN)の深層学習を用いてコーンビーム CT 画像の画質を改善させ、画像内の特徴量を深層学習にてモデル化することで、治療後の障害予測を可能とする次世代の適応的放射線治療計画法を考案することである。本研究により、画質が劣化したコーンビーム CT 画像からマルチスライス CT 画像に近い高画質な仮想 CT を自動的に構築し、これを放射線治療時の線量計算用画像へ利用できると考えた。さらに、画像から抽出した特徴量を解析することで治療期間中の放射線治療の効果や放射線障害の予後予測といった情報を再治療計画に反映させることができると考えた。

### 3. 研究の方法

本研究では、コーンビーム CT 画像の画質を改善させ障害予測を可能とする深層学習モデルを作成し、本画像を用いた適応放射線治療法の実現可能性を検証する。そのため、以下の 3 項目について検討を進めた。

#### (1) CT 画像の画質改善をモデル化した深層学習の構築

CT 画像の画質をコンピューターシミュレーションにより定量的に劣化させた 1000 枚の腹部 CT 画像を深層学習に利用した。深層学習には多層 CNN を利用した。

#### (2) 定量的評価指標を用いた仮想 CT 画像の画質評価

学習したモデルを用いて CT 画像の画質改善を行い、その画質の最大信号雑音比と画像類似度を評価した。提案手法の有効性を比較するため、他の画質改善処理との比較を行った。

#### (3) 直腸障害の予測モデルの構築

前立腺がんに対し強度変調放射線治療が施行された患者症例を後ろ向きに解析し直腸障害の予測モデルを深層学習で構築した。

### 4. 研究成果

(1) 図 1 に CT 画像画質改善に利用した深層学習モデル構造を示す。本モデルは 20 層で構成されており、64 個のフィルタを用いて画像特徴量を解析している。さらに学習データをバッチ分割することにより、学習データのかさましを行っている。

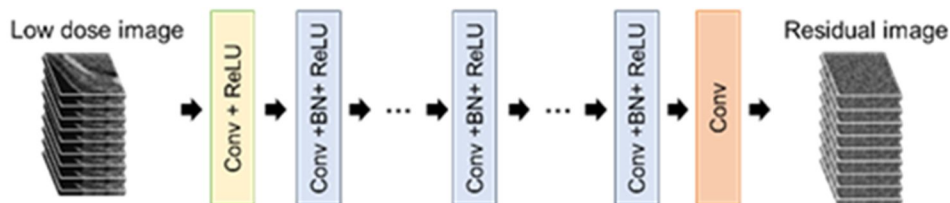


図 1 画質改善の深層学習モデル構造

図 2 にシミュレーションによる画質劣化画像と深層学習による画質改善画像の結果を示す。また図 3 に画素値のプロファイルを示す。本研究にて学習したモデルを利用することで、CT 画像の劣化を著しく改善させることができた。本モデルはコーンビーム CT 画像の画質改善処理への転用が期待できるものである。

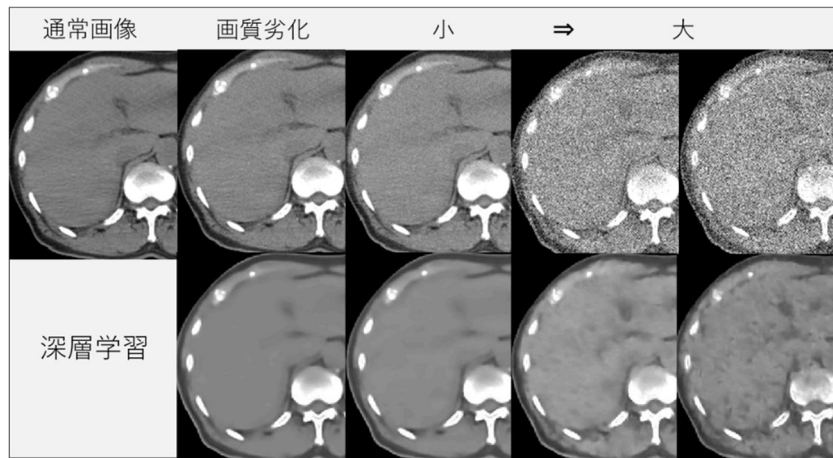


図2 画質改善の深層学習モデル構造

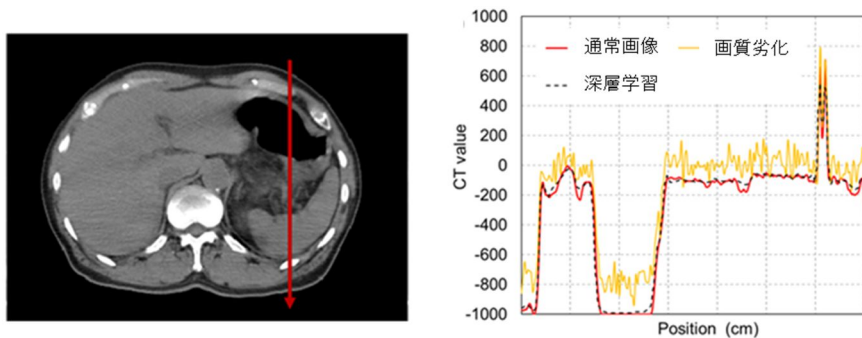


図3 画素値プロファイルの比較

(2) 表1に画像類似度を最大信号雑音比の解析結果を示す。画像類似度および最大信号雑音比を解析した結果、本研究で構築した深層学習モデルは画質劣化が生じているCT画像を理想的な高画質のCT画像へ近づけることができることを証明した。我々の深層学習モデルは従来法より約10%の改善効果が期待できる。

表1 定量的画質評価

	画質劣化	メディアン	ガウシアン	深層学習
画像類似度	0.60	0.79	0.82	0.93
最大信号雑音比	22.8	23.1	23.0	34.2

(3) 前立腺がんに対し強度変調放射線治療を実施した患者のコーンビームCT画像と臨床情報を用いて、直腸障害の予後予測を行う深層学習モデルを構築した。本モデルの学習には初回治療時のコーンビームCT画像を直腸輪郭の情報から直腸障害の連結する学習モデルとすべく、CNNの構造と学習パラメータの最適化を実行した。本学習には20症例の患者データを用いた。その結果、放射線治療計画時の参照情報とできるだけ精度を確保できず、さらなる改善が必要であった。そのため、学習データの増加を目指すとともに、深層学習モデルの構造を検討する必要がある。

<引用文献>

1. Barker JL Jr, Garden AS, Ang KK et al: Quantification of volumetric and geometric changes occurring during fractionated radiotherapy for head-and-neck cancer using an integrated CT/linear accelerator system. Int J Radiat Oncol Biol Phys 59: 960-970, 2004
2. Yoo S, Yin FF: Dosimetric feasibility of cone-beam CT-based treatment planning compared to CT-based treatment planning. Int J Radiat Oncol Biol Phys 66: 1553-1561, 2006
3. Bootsma G, Verhaegen F, Jaffray D: Efficient scatter distribution estimation and correction in CBCT using concurrent Monte Carlo fitting. Med Phys 42: 54-68, 2015

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Keisuke Usui, Koichi Ogawa, Masami Goto, Yasuaki, Sakano, Shinsuke Kyogoku, Hiroyuki Daida	4. 巻 -
2. 論文標題 Quantitative evaluation of deep convolutional neural network-based image denoising for low-dose computed tomography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Visual Computing for industry, Biomedicine and Art	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 村田一心、尾川浩一、白井桂介
2. 発表標題 機械学習を用いたコーンビームCTの散乱線除去
3. 学会等名 第39回日本医用画像工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keisuke Usui
2. 発表標題 Quantitative evaluation of deep convolutional neural network based denoising for ultra-low-dose CT
3. 学会等名 20th Asia-Oceania Congress on Medical Physics (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------