

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：31201

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K17161

研究課題名（和文）Radiomics解析を応用させた高精度画像レジストレーションアルゴリズムの開発

研究課題名（英文）Development of radiomics-based deformable image registration algorithm

研究代表者

家子 義朗（Ieko, Yoshiro）

岩手医科大学・医学部・助教

研究者番号：60825793

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）：放射線治療の質をさらに高めるため、高精度な非剛体画像レジストレーション（deformable image registration: DIR）アルゴリズムを開発することを目的として研究を進めた。従来のDIRアルゴリズムとは異なり、人間の目では検出不可能である膨大な画像の特徴量を扱うradiomics解析を応用することによって、従来よりも精度の高い新たなDIRアルゴリズムを開発し、その精度評価を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発したradiomics解析を組み込んだ非剛体画像レジストレーション（deformable image registration: DIR）アルゴリズムは、より精度の高いDIRアルゴリズムとして期待される。より精度の高いDIRアルゴリズムによって、近年高精度化が進んでいる放射線治療の質を向上することにも貢献できると考えられる。画像を直接変形するこれまでのDIR研究とは発想が異なり、この分野の発展にも寄与できると考えられ、研究成果においては、国際学会での受賞や国内外での特許出願まで至り、高い評価を受けている。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed to develop an algorithm that uses radiomics, which exploits the high-dimensional feature space of medical images, to further improve DIR accuracy.

研究分野：医学物理学

キーワード：Radiomics DIR 放射線治療

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

がんを治す放射線治療においては、腫瘍やその周辺の正常組織への線量を正確に評価するために、照射期間中の腫瘍縮小や患者の体形変化に対応しなければならない。それには、高精度な画像レジストレーション技術が必要とされる。近年、単純な平行移動や拡大縮小だけではなく非線形的な変形を含む非剛体画像レジストレーション (deformable image registration: DIR) の研究が進展し、自動輪郭抽出や線量合算への応用例も報告されている。また、radiology (放射線医学) と-omics (網羅的解析) を組み合わせたより詳細な画像解析である radiomics 解析が注目されており、画像診断支援などへの臨床応用が期待されている。Radiomics 解析は、画像の濃淡だけではなく、腫瘍や臓器の形状、近傍部位との濃度差、画像パターン、ヒストグラム等を含んだ数値解析により抽出した膨大な高次元画像特徴量を定量的に解析することが可能である。本研究では、radiomics 解析を組み込んだ新たな DIR アルゴリズムを開発し、従来の DIR アルゴリズムよりも高い精度を有するか評価した。

### 2. 研究の目的

Radiomics 解析を応用した新たな画像レジストレーションアルゴリズムの開発を試みる。

### 3. 研究の方法

肺癌または食道癌患者 10 人の胸部 4 次元 CT 画像を解析対象とした。データセットは DIR-lab (dir-lab.com) から取得し、4 次元 CT 画像に加え解剖学的特徴を示した 300 対のランドマークの座標リストが含まれている。本研究では、そのデータセットにおける最大吸気画像から最大呼気画像への DIR を評価した。図 1 に radiomics を組み込んだ DIR (Radiomics-based DIR) の概要図を示す。DIR をする前に、まず最大吸気画像 (Moving image) と最大呼気画像 (Fixed image) をそれぞれ radiomics map に変換した。そこでは、画像処理フィルタのように、CT 画像において局所的に CT 値から radiomics 特徴量値へ

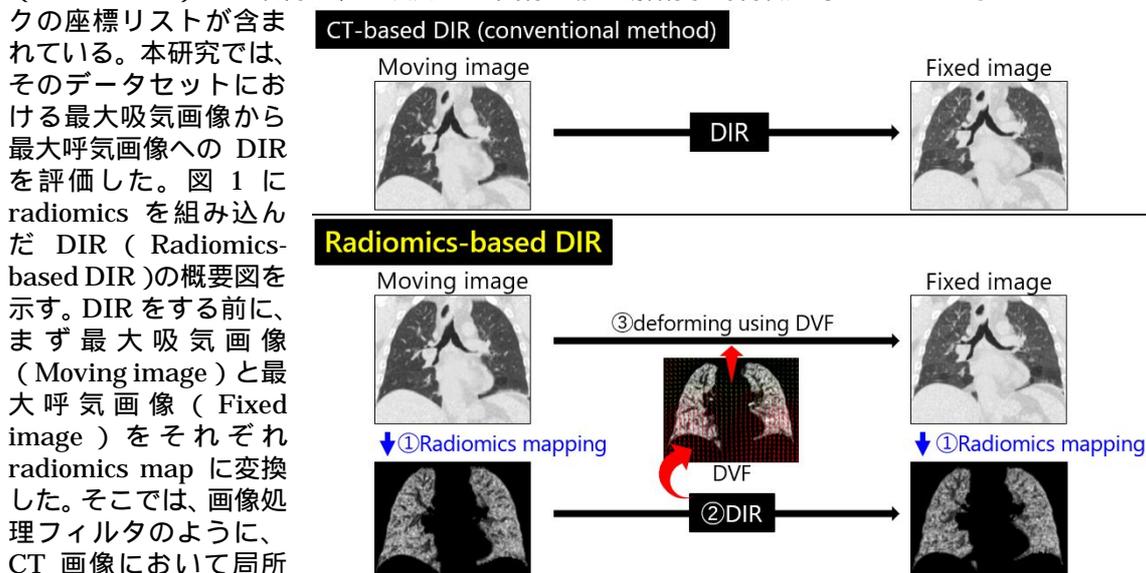


図 1 Radiomics 解析を利用した DIR の概要

の変換を行った。Radiomics 特徴量は、91 個の特徴量にそれぞれ変換した。特徴量には、中央値やパーセンタイル値などを含む 18 個の first-order 特徴量、画像の不均質性や質感をあらわす 73 個の texture 特徴量 (24 gray-level co-occurrence matrix feature [GLCM]、16 gray-level run length matrix feature [GLRLM]、16 gray-level size zone matrix feature [GLSZM]、3 neighboring gray-tone difference matrix feature [NGTDM]、14 gray-level dependence matrix feature [GLDM]) が含まれる。Radiomics mapping の後、同じ特徴量である radiomics map どうしを DIR し、画像の変形情報を示す displacement vector fields (DVF) を取得した。DIR に関しては、Elastix software (ver. 4.8) を用いて 7 種類 (25、50、100、200、300、400、500 回) の iteration (変形の反復回数) を使用してそれぞれ変形させた。最後に、取得した DVF を用いて最大吸気画像を最大呼気画像に向けて変形した。

評価方法に関しては、DIR の変形目標とした最大呼気画像上のランドマークと、上記の方法によって変形した変形画像上のランドマークの座標の差を DIR 誤差と定義し、DIR 精度を評価した。まず Radiomics-based DIR の中で DIR 精度が高いものを探索し、その後 radiomics 解析を使用していない従来の DIR (CT-based DIR) と精度比較を実施した。

### 4. 研究成果

図 2 に Radiomics-based DIR に関する全 iteration における 3 次元の DIR 誤差を示す (91 個の特徴量は非常に膨大なため一部の特徴量のみを示す)。Firstorder と texture でそれぞれ DIR 誤差が最も小さいものは "Range"、"GLCM-Inverse difference moment (Idm)" であった。それぞれの画像と CT 画像、また DIR 誤差を図 3 に示す。CT-based DIR と比較し、radiomics-based DIR は低い DIR 誤差を示し、またその誤差は米国医学物理学会が示すタスクグループ 132 レ

ポート[1]における許容値 (< 2-3 mm) を満たしていた。  
 また図 4 には各 iteration に対する DIR 誤差 (CT-based DIR, Radiomics-based DIR) を示す。  
 この図より、より少ない DIR の反復回数 (より低い iteration) において従来の CT-based DIR よりも Radiomics-based DIR における DIR 誤差がより小さくなり、短時間の DIR でも高い精度を有することが示された。  
 また、図 5 にはランドマーク 300 対に関する DIR 誤差の plot (iteration = 25) を示す。CT-based DIR では、ランドマークの距離が大きいくほど誤差が大きくなる (大きな変形が必要なケースにおいて誤差も大きくなる) 傾向が示されたのに対し、Radiomics-based DIR ではランドマーク間距離が大きいくケースにおいても誤差が小さいことがわかり、従来の CT-based DIR では誤差が大きくなるような領域に関する Radiomics-based DIR では高い精度で DIR が可能であることが示された。  
 以上の結果より、radiomics 解析を応用した DIR アルゴリズムは従来のアルゴリズムよりも高い精度で画像変形が可能であることが示された。

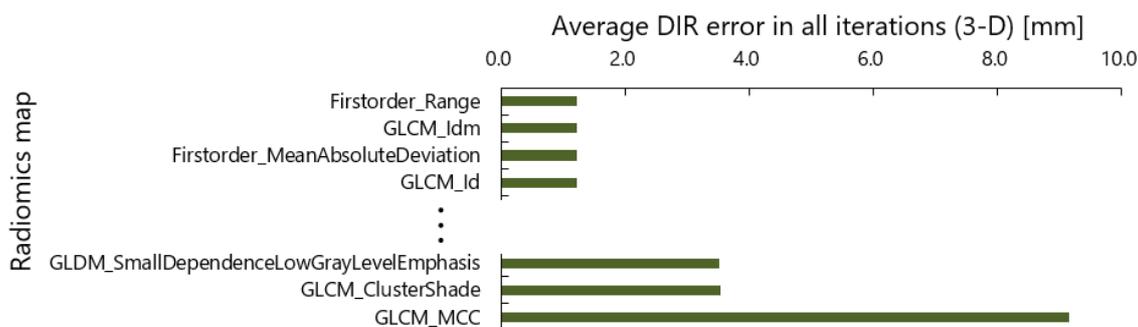
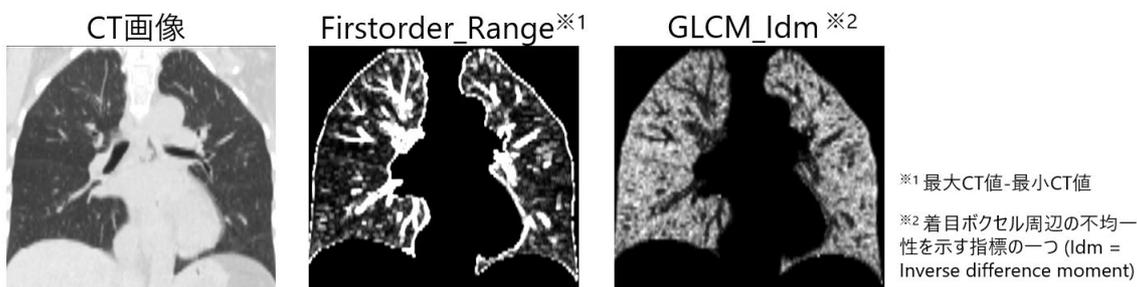


図 2 各 radiomics map における DIR 誤差



		Radiomics-based DIR	
		Firstorder_Range	GLCM_Idm
全iterationにおけるDIR誤差 (平均±SD [mm])	左右方向	0.49 ± 0.45	0.47 ± 0.42
	腹背方向	0.56 ± 0.54	0.51 ± 0.43
	頭尾方向	1.04 ± 1.02	0.82 ± 0.74
	3次元	1.44 ± 1.06	1.22 ± 0.76

図 3 DIR 誤差が小さかった radiomics map とその DIR 誤差

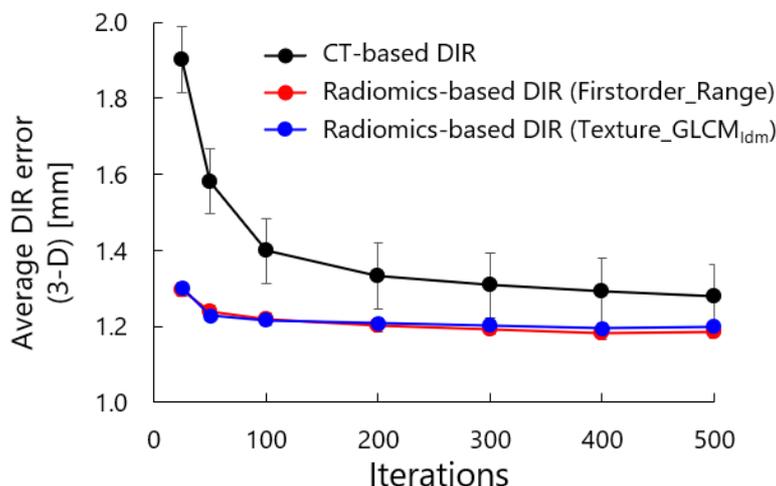


図 4 各 iteration における DIR 誤差 (CT-based DIR, Radiomics-based DIR)

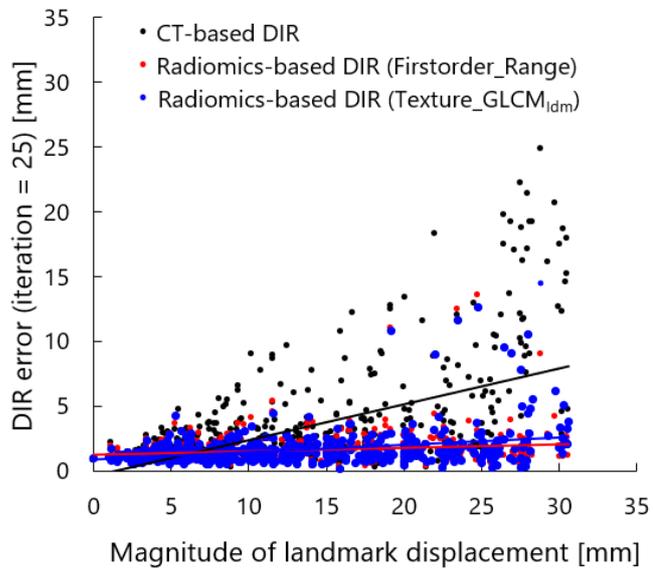


図 5 ランドマーク 300 対におけるランドマーク間距離に対する DIR 誤差 (CT-based DIR, Radiomics-based DIR)

Reference

[1] Brock KK, Mutic S, McNutt TR, Li H, Kessler ML. Use of image registration and fusion algorithms and techniques in radiotherapy: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 132. Med Phys. 2017;44:e43-e76.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ieko Yoshiro, Kadoya Noriyuki, Sugai Yuto, Mouri Shiina, Umeda Mariko, Tanaka Shohei, Kanai Takayuki, Ichiji Kei, Yamamoto Takaya, Ariga Hisanori, Jingu Keiichi	4. 巻 101
2. 論文標題 Assessment of a computed tomography-based radiomics approach for assessing lung function in lung cancer patients	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physica Medica	6. 最初と最後の頁 28 ~ 35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejmp.2022.07.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kadoya Noriyuki, Nemoto Hikaru, Kajikawa Tomohiro, Nakajima Yujiro, Kanai Takayuki, Ieko Yoshiro, Ikeda Ryutarou, Sato Kiyokazu, Dobashi Suguru, Takeda Ken, Jingu Keiichi	4. 巻 77
2. 論文標題 Evaluation of four-dimensional cone beam computed tomography ventilation images acquired with two different linear accelerators at various gantry speeds using a deformable lung phantom	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica Medica	6. 最初と最後の頁 75 ~ 83
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ejmp.2020.07.030	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshiro Ieko, Noriyuki Kadoya, Takayuki Kanai, Yujiro Nakajima, Kazuhiro Arai, Takahiro Kato, Kengo Ito, Yuya Miyasaka, Ken Takeda, Takeo Iwai, Kenji Nemoto, Keiichi Jingu	4. 巻 13
2. 論文標題 The impact of 4DCT-ventilation imaging-guided proton therapy on stereotactic body radiotherapy for lung cancer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiological Physics and Technology	6. 最初と最後の頁 230 ~ 237
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s12194-020-00572-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Takuya, Suzuki Yuji, Kuroda Hidekatsu, Hiraki Hayato, Suzuki Akiko, Tamura Akio, Ieko Yoshiro, Nishizuka Satoshi S., Matsumoto Takayuki	4. 巻 101
2. 論文標題 Circulating Cell-Free DNA as a Biomarker for Prognosis and Response to Systemic Therapy in Patients with Unresectable Hepatocellular Carcinoma	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Oncology	6. 最初と最後の頁 714 ~ 722
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1159/000531671	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 家子 義朗, 角谷 倫之, 有賀 久哲
2. 発表標題 Radiomics特徴量を用いた非剛体画像レジストレーションの精度評価
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会 第35回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 家子 義朗, 角谷 倫之, 菅井 裕斗, 毛利 詩菜, 梅田 真梨子, 田中 祥平, 金井 貴幸, 市地 慶, 山本 貴也, 有賀 久哲, 神宮 啓一
2. 発表標題 Radiomics特徴量を用いた肺機能推定モデルの開発
3. 学会等名 日本放射線腫瘍学会 第35回学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y Ieko, N Kadoya, K Abe, S Tanaka, H Takagi, T Kanai, K Ichiji, T Yamamoto, H Ariga, K Jingu
2. 発表標題 Evaluation of CT-Based Radiomics Features for Predicting Parameters Measured Using a Pulmonary Function Test
3. 学会等名 2020 Joint AAPM   COMP Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y Ieko, N Kadoya, H Ariga
2. 発表標題 Development of Radiomics-based Deformable Image Registration Algorithm
3. 学会等名 The 2nd International Conference on Radiological Physics and Technology (国際学会)
4. 発表年 2023年

## 〔図書〕 計1件

1. 著者名 有村 秀孝、角谷 倫之	4. 発行年 2021年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 338
3. 書名 レディオミクス入門	

## 〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 プログラム、画像変形方法及び画像変形装置	発明者 家子 義朗、角谷 倫之、有賀 久哲	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-046694	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 プログラム、画像変形方法及び画像変形装置	発明者 家子 義朗、角谷 倫之、有賀 久哲	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願PCT/JP2024/010356	出願年 2024年	国内・外国の別 外国

## 〔取得〕 計0件

## 〔その他〕

Doi Award (優秀論文賞) 受賞 (2021年). Radiological Physics and Technology. Yoshiro Ieko, Noriyuki Kadoya, Takayuki Kanai, Yujiro Nakajima, Kazuhiro Arai, Takahiro Kato, Kengo Ito, Yuya Miyasaka, Ken Takeda, Takeo Iwai, Kenji Nemoto, Keiichi Jingu.
AFOMP Journal Prize 2021 Best Paper Award (最優秀論文賞) 受賞 (2021年). アジア - オセアニア医学物理学学会連合. Yoshiro Ieko, Noriyuki Kadoya, Takayuki Kanai, Yujiro Nakajima, Kazuhiro Arai, Takahiro Kato, Kengo Ito, Yuya Miyasaka, Ken Takeda, Takeo Iwai, Kenji Nemoto, Keiichi Jingu.
Certificate of Merit Award 受賞 (2023年). The 2nd International Conference on Radiological Physics and Technology (ICRPT). Yoshiro Ieko, Noriyuki Kadoya, Hisanori Ariga.

## 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
研究協力者	角谷 倫之  (Kadoya Noriyuki)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	有賀 久哲  (Ariga Hisanori)		

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