

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：82502

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K17250

研究課題名（和文）AIイメージングを基盤とした次世代型MRI超高速撮像の実現と臨床応用

研究課題名（英文）A Feasibility Study of AI-driven Imaging for Ultra-Fast MRI

研究代表者

梅原 健輔（Umehara, Kensuke）

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・QST病院・主任研究員

研究者番号：90825077

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：敵対的生成ネットワークを用いた超解像技術を応用した提案手法により、既存のMRI装置で短時間撮像された低画質・低解像度な画像から高画質・高解像度な画像へと再構成することで、画質を担保した上でMRIの撮像時間の短縮が可能であることを示した。加えて、現在の臨床機に実装されている普及型の高速撮像法である圧縮センシング法との比較検討により、提案手法の有用性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

画質改善を目的とした従来のAIイメージング研究は、畳み込みニューラルネットワークを応用した研究が多くを占めていた。本研究課題では、敵対的生成ネットワークに焦点を当て、適切なモデル選択と学習により、畳み込みニューラルネットワークを超える画質改善が可能であることを示した。本研究結果により、既存装置を用いたAI画像処理による新たなMRI高速撮像実現の可能性が示唆された。

研究成果の概要（英文）：This study demonstrated the feasibility of using a proposed method that applies the super-resolution technique utilizing a generative adversarial network to accelerate MRI scans. By performing post-processing on images acquired in a shorter scan time using existing MRI devices, the proposed method reconstructed high-quality and high-resolution images while maintaining image quality. A comparison with the widely used ultra-fast imaging technique, compressed sensing, indicated the significant usefulness of the proposed method. The proposed method has the potential to provide an effective approach for reducing MRI scan time while maintaining high-quality imaging.

研究分野：放射線医学

キーワード：超解像 敵対的生成ネットワーク MRI 高速撮像 AIイメージング

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

MRI は放射線被ばくがなく、組織コントラストの高い画像が得られることから、現代の医療において欠かすことができないモダリティの一つである。MRI 装置の技術革新が進み、これまでに種々の高速撮像法が開発されているにも関わらず、撮像に多くの時間を要することは、未だに MRI の大きな課題の一つである。そのため、被検者の負担を軽減するために、MRI の撮像時間の短縮、すなわち MRI の超高速撮像の実現が強く求められている。しかし、MRI の撮像時間は、画質、特に画像の空間分解能とトレードオフの関係にあるため、短時間の撮像は画質の低下を意味する。このことから、既存の MRI 装置では、高画質な画像の生成と既存の高速撮像よりも速い超高速撮像の両立は難しいと考えられてきた。

一方、近年、ディープラーニングを用いた超解像技術をはじめとした「AI イメージング」が注目を集めており、解像度の低い入力画像から高精細で高解像度な画像を出力できることが報告されている。研究代表者はこれまで、AI イメージングを X 線画像や CT 画像等の医用画像に応用し、高画質化と短時間処理の両立が実現できることを明らかにしてきた。これらの先行研究から、既存の MRI 装置で短時間撮像された画像を入力画像とし、ディープラーニング超解像技術を適用すれば、通常的时间で撮像された画像に匹敵するような高画質な画像生成が可能となるのではないかと考え、本研究課題を企画した。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、ディープラーニング超解像技術を応用して、短時間撮像した低画質で低解像度な MR 画像から通常的时间レベルの高画質で高解像度な画像へと再構成を行うことで、撮像後の画像処理による新たな MRI 超高速撮像法を開発することを目的とした。初期的評価として、すでに臨床で広く用いられている圧縮センシングなどの高速撮像法で撮像された画像と、提案手法で生成された画像の画質を比較検討することにより、実用化に向けた臨床の有用性を評価した。

### 3. 研究の方法

本研究課題の目的を達成するために、研究期間内に主に以下の3点の検討を行った。

#### (1) 敵対的生成ネットワークに基づく MRI 超解像ネットワークの構築

ディープラーニングを用いた超解像技術のうち、敵対的生成ネットワーク (Generative Adversarial Network: GAN) を用いた超解像技術に着目し、低解像度 MR 画像から高解像度 MR 画像へと再構成できる超解像ネットワークを構築した。

#### (2) 畳み込みニューラルネットワークとの比較検討による初期的評価

国立循環器病研究センターにて研究参加の同意が得られた健常ボランティア 20 名を対象に、2 種類のプロトコルで撮像した T2 強調画像を用いて、初期的評価を行った。通常的时间で撮像した画像 (以下、「参照画像」という) と低解像度で短時間撮像した画像 (以下、「低解像度画像」という) の 2 種類を用意し、(1) で構築した超解像ネットワークに低解像度画像を入力し、参照画像と同一のマトリクスサイズの画像 (以下、「再構成画像」という) に変換した。評価には全 20 例をランダムに分割して評価する 2 分割交差検証法を用い、画質の評価には各スライスの任意の 5 箇所 ROI (matrix size: 64x64) を設定して構造的類似性指数 (Structural Similarity: SSIM) を測定し、参照画像に対する再構成画像の構造的類似性を評価した。加えて、従来手法である超解像畳み込みニューラルネットワーク (Super-Resolution Convolutional Neural Network: SRCNN) と比較した。

#### (3) 提案手法と圧縮センシングとの比較検討

国立循環器病研究センターにて研究参加の同意が得られた健常ボランティア 20 名を対象に、通常的时间、通常と比較して 1.3 倍速、通常と比較して 2 倍速の 3 種類のプロトコルで撮像された T2\* 強調画像 (2D-GRE) と磁化率強調画像 (3D-GRE) を用いて、(1) で構築した超解像ネットワークに 1.3 倍速と 2 倍速の低解像度画像をそれぞれ入力し、再構成画像にそれぞれ変換した。また、圧縮センシング (Compressed Sensing: CS) で同様の撮像時間となるように調整した画像を合わせて取得し、提案手法での再構成画像と比較検討した。

定量的な評価として、参照型メトリクスであるピーク信号対雑音比 (Peak Signal-to-Noise Ratio: PSNR)、構造的類似性指数 (Structural Similarity: SSIM)、非参照型メトリクスである Natural Image Quality Evaluator (NIQE) をそれぞれ測定し、CS と比較検討した。

主観的な評価として、放射線科医 1 名、診療放射線技師 1 名による観察者実験を実施し、主観的な画像の類似性を計測し、ROC 解析により評価した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 敵対的生成ネットワークに基づく MRI 超解像ネットワークの構築

ディープラーニングを用いた超解像技術のうち、敵対的生成ネットワークを用いた超解像技術である ESRGAN (Enhanced Super Resolution Generative Adversarial Network) をベースとして、低解像度 MR 画像から高解像度 MR 画像へと再構成できるネットワークを構築した。

##### (2) 畳み込みニューラルネットワークとの比較検討による初期的評価

提案手法による再構成画像の SSIM の平均値は、SRCNN に対して有意に高値を示し ( $p < .05$ )、視覚的にも画質の向上が認められた。加えて、提案手法、SRCNN での再構成画像のそれぞれをフーリエ変換によって得られたパワースペクトルからも、提案手法によって参照画像に極めて近い画像が生成されていることが示唆された。本実験での撮像時間は、通常の撮像時間と比較して約 59.2% に短縮されたことから、GAN による MRI 撮像の高速化の実現可能性が示唆された。

##### (3) 提案手法と圧縮センシングとの比較検討

定量的画質評価において、1.3 倍速の T2\*強調画像、2 倍速の T2\*強調画像、1.3 倍速の磁化率強調画像、2 倍速の磁化率強調画像のいずれにおいても、提案手法の PSNR, SSIM, NIQE は CS よりも有意に高値を示した ( $p < .001$ )。

2D-GRE で撮像された T2\*強調画像においては、提案手法による再構成画像は参照画像と同等レベルの画質が得られたのに対し、CS による画像は血管構造の消失やエッジの平滑化が認められた。3D-GRE で撮像された 1.3 倍速の磁化率強調画像においては、提案手法、CS とともに同等レベルの画質が得られた。一方で、2 倍速の磁化率強調画像においては、CS が細かい静脈の描出の減少が見られたのに対し、提案手法では過度にエッジが強調された画像が得られた。

観察者実験による ROC 解析の結果では、T2\*強調画像は 1.3 倍速、2 倍速ともに、提案手法による再構成画像と参照画像を識別することは、CS 画像と参照画像を識別することよりも、有意に困難であることが示唆された。それに対して、2 倍速の磁化率強調画像では、CS 画像と参照画像を識別することは、提案手法による再構成画像と参照画像を識別することよりも有意に困難であることが示唆された。これらのことから、本手法では主に 2D-GRE で撮像された画像において特に有用性があることが示唆された。

今後の課題として、GAN 以外の新規手法での検討、マルチベンダーで取得した大規模データセットでのロバスト性の検証、再構成画像での病変検出能などの診断能の評価、PSNR や SSIM に代表される既存の定量的画質指標の代替となり得る医用画像向け定量的画質評価指標の確立、などが挙げられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4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 0件）

1. 著者名 Ueki Wataru, Nishii Tatsuya, Umehara Kensuke, Ota Junko, Higuchi Satoshi, Ohta Yasutoshi, Nagai Yasuhiro, Murakawa Keizo, Ishida Takayuki, Fukuda Tetsuya	4. 巻 64
2. 論文標題 Generative adversarial network-based post-processed image super-resolution technology for accelerating brain MRI: comparison with compressed sensing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Acta Radiologica	6. 最初と最後の頁 336 ~ 345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/02841851221076330	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 梅原健輔	4. 巻 76(5)
2. 論文標題 深層学習を用いた超解像技術と医用画像への応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本放射線技術学会雑誌	6. 最初と最後の頁 524-533
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.6009/jjrt.2020_JSRT_76.5.524	査読の有無 無
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 梅原健輔	4. 巻 35(2)
2. 論文標題 AI イメージングによる超高速撮像 MRI: 最新技術レビューとProof of Concept	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 月刊インナービジョン	6. 最初と最後の頁 43
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 無
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 梅原健輔	4. 巻 18(2)
2. 論文標題 AI イメージングによる超高速撮像 MRI: 最新技術レビューとProof of Concept	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Rad Fan	6. 最初と最後の頁 47-49
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 無
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6件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Wataru Ueki, Tatsuya Nishii, Kensuke Umehara, Junko Ota, Yuki Kittaka, Satoshi Higuchi, Yasutoshi Ohta, Yasuhiro Nagai, Keizo Murakawa, Takayuki Ishida, Tetsuya Fukuda
2. 発表標題 Accelerating Brain MRI Using Generative Adversarial Network Based Image Super-Resolution Technology: Comparison with Compressed Sensing
3. 学会等名 RSNA 2020 106th Scientific Assembly and Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kensuke Umehara, Tatsuya Nishii, Junko Ota, Naoki Ishimaru, Wataru Ueki, Hisateru Ohba, Takayuki Obata, Tetsuya Fukuda, Takayuki Ishida
2. 発表標題 Artificial Intelligence-Driven Imaging for Ultra-Fast MRI: Cutting-Edge Technology and Clinical Application
3. 学会等名 RSNA2019 105th Scientific Assembly and Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅原健輔, 西井達矢, 大田淳子, 植木渉, 大場久照, 小島隆行, 福田哲也, 石田隆行
2. 発表標題 敵対的生成ネットワークを用いたAIイメージングによるMRI高速撮像の基礎的検討
3. 学会等名 第47回日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Wataru Ueki, Tatsuya Nishii, Hirotsugu Ida, Masaru Shiotani, Tatsuhiro Yamamoto, Yasutoshi Ohta, Kensuke Umehara, Junko Ota, Yasuhiro Nagai, Takayuki Ishida, Tetsuya Fukuda
2. 発表標題 Image super-resolution using generative adversarial networks for accelerating MRI: Image quality analysis of the volunteer MRI
3. 学会等名 第47回日本磁気共鳴医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 梅原健輔
2. 発表標題 AIイメージングは新たなモダリティになり得るか：現状と将来展望
3. 学会等名 第76回日本放射線技術学会総会学術大会（JRC2020web）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梅原健輔
2. 発表標題 放射線医学におけるAIイメージング
3. 学会等名 日本光学会 第4回AI Optics研究会～AIとイメージング～（招待講演）
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