

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K08688

研究課題名(和文)非線形再構成処理によるMR画像の画質評価法の開発

研究課題名(英文)Development of evaluation method for MR images using non-linear reconstruction processing

研究代表者

町田 好男(Machida, Yoshio)

東北大学・医学系研究科・教授

研究者番号：30507083

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：近年MRイメージング領域においても、圧縮センシング(CS)をはじめとする新しい情報技術を用いた高速撮像技術やデータ処理技術が導入されつつある。これらの技術では非線形演算処理を伴うものが多く、得られた画像の画質評価をいかに行うかが課題になっていた。本研究では、ノイズパワースペクトル(NPS)や変調伝達関数(MTF)などの従来からの線形系の評価用ツールを活用した非線形処理画像の画質評価することを目的として、その計測手法の確立といくつかの非線形処理画像の評価法の試みを行った。

研究成果の概要(英文)：Recently in the MR imaging area, MR fast imaging techniques and data image reconstruction techniques using new information technology including compression sensing (CS) are being introduced. Many of these techniques involve nonlinear calculation processing, and how to evaluate the image quality of the obtained images was a challenge. In this research, we aim to evaluate the image quality of nonlinearly processed MR images by utilizing conventional linear evaluation tools such as noise power spectrum (NPS) and modulation transfer function (MTF). We have tried to establish the measurement method and evaluate some nonlinear processed images.

研究分野：MRIの画像化技術および画質評価法の開発

キーワード：MRI 非線形処理 圧縮センシング 高速撮像 画質評価

## 1. 研究開始当初の背景

近年、情報理論における画期的な成果である「圧縮センシング：CS」を応用した MR 高速撮像法 (CS-MRI) が注目されているが、この新しい手法により得られる画像の画質評価をいかに行うべきか、研究者にとって大きな課題となっていた。我々がそれ以前に取り組んでいた検討結果も限定的かつ間接的な結果と言わざるを得ず、非線形処理の結果の評価・解釈に対しては、より分かりやすい指標を目指した検討が必要であることを実感している状況であった。

研究代表者は、企業の MRI 研究開発部門にあって、フーリエ収集再構成法、MR アンジオグラフィ (MRA)、パラレルイメージング (PI) などのイメージング技術の開発に直接携わった経験がある。分担者の森も X 線 CT や MRI の開発経験を持っており、ともに CS-MRI の実用化への強いモチベーションを持っていた。代表者は、CS-MRI にかかわる講演や発表も行いながら、多くの研究者と意見交換も行ってきたが、画質評価法の難しさとの必要性は共通の認識であった。一方で我々は、放射線技術学領域では一般的な、ノイズパワースペクトル (NPS、雑音指標のひとつ) や変調伝達関数 (MTF、解像度指標のひとつ) を用いた MR 画質評価法の検討、およびその適用も従来より行っていた。

このような背景のもと、我々は、CS-MR 画像をはじめとする非線形再構成処理により得られた MR 画像の画質評価に対する検討をさらに進め、より一般的な観点から画質評価法を開発する必要があると考えるに至った。特に、評価法としては従来の線形系の指標を活用したシンプルで分かりやすい評価を可能としたいと考えた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、圧縮センシング等の非線形処理により得られた MR 画像の画質を、できるだけ標準的な線形系のツール等を活用して評価する方法を開発することである。

## 3. 研究の方法

実際の検討は、従来から取り組んできた圧縮センシング MR 画像に対する画質評価と、MRI 画像に対する画質評価の手法の研究を並行して進め、次にこれら両者を統合した検討を試みた。

(1) CS-MR 画像の画質評価法の検討： 従来から行ってきた圧縮センシング MRI に対する画質評価をさらに進めた。すなわち、我々が提案した MRA の数値モデルを用いた計算機上での検討において、実際の撮影を意識した被検体の大きさなどの条件、および CS-MR 画像生成において重要なスパースサンプリ

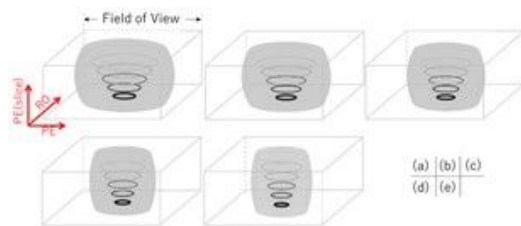
ングパターンの変更を行って得た画像について、画像の視覚的な変化と画質指標の比較検討を行った。

(2) 画質指標の計測手法の検討： MRI における MTF 計測は、標準的な手法が確立されているとはいえない。そのため、MTF については計測法そのものの検討をさらに進めることとした。また、計測法の検討を蓄積しつつ、それを用いた画像の評価あるいは画像特性の解析を試みた。NPS については、計測手法そのものについてのこれまでの我々の検討を継続し、さらに、アダプティブフィルタ処理をほどこした非線形処理画像を対象として、1次元 NPS を評価指標とした画質評価の可能性について検討を行った。

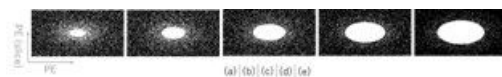
(3) 上記の両者を統合し、CS-MR 画像など非線形処理により得られる MR 画像の画質指標あるいは画質評価法の検討を行うことを試みた。必要に応じて視覚的な評価も含めて行うことなども予定した。

## 4. 研究成果

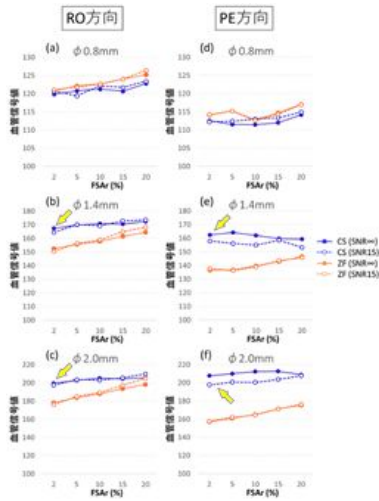
(1) CS-MR 画像の画質評価法の検討： スパースサンプリングの密度分布の検討を行った。その結果、圧縮センシング MR アンジオグラフィにおける血管描出能が、撮影視野に対する被写体サイズに依存した適切なスパースサンプリングパターンにより改善することを示すこと等ができた。検討結果の一部を例示する。



単純化した血管の数値ファントム  
(被検体の大きさを変えることを模擬)



スパースサンプリング  
(中心部の「フルサンプリング領域の比 (FSAr)」を5段階変えた)



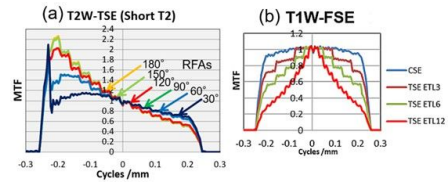
被検体サイズを一定としたときの血管信号値の FSAr 依存性の例

(2) 画質指標計測手法の検討: MTF の計測手法については、より実用化を目指して必要 SNR の検討や計測用コイルの影響などについての検討を行った。また、より多くの撮像シーケンスについて MTF の評価を重ねることができた。MTF は解像特性の評価法ではあるが、MRI においては、もう少し広い意味での画質特性を把握できるともいえた。図に一例を示した。

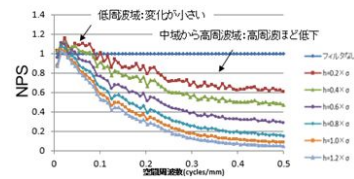
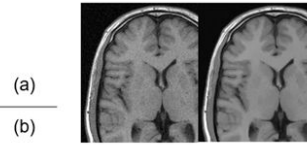
NPS については、本研究としては初期の段階で計測法そのものはある程度確立することができた[論文1, 発表22]これを用いて、非線形フィルタ処理画像に対する画像評価に重点をおいた検討を進めた。今回の検討では、全体のノイズ低減量を一定にした束縛条件下で 1 次元 NPS の特性比較を行う方法を提案した。図に一例を示した。

以上の検討結果の一部については、国際学会でも報告を行った[発表2, 9]。

(3) 最終年度の検討としては、CS-MRI に対して視覚的な評価まで視野に入れていたが、実際には、上記(1, 2)を中心とした検討を進めることとした。その一つの理由として、圧縮センシングの臨床機への実装が予想以上に早く進んだため、より視覚的な検討は、臨床装置での最新画像も含めて進めたほうがよいとの判断があった。今後の研究の展開としては、今回の検討結果をさらに発展させて、非線形高速 MR 画像の臨床導入をより強く意識した画質評価法の開発を進めたいと考えている。



変調伝達関数 (MTF) 計測の一例  
撮像条件による特性の違いが分かる  
(a) T2 強調時の再収束角依存性  
(b) T1 強調時のエコー数依存性



ノイズパワースペクトル (NPS) の計測例  
(a) 非線形フィルタ処理によるノイズの低減  
(b) NPS の平滑化フィルタパラメータ依存性

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

1) Ichinoseki Y, Machida Y, Relation between one- and two-dimensional noise power spectra of magnetic resonance images, Radiological Physics and Technology, Vol.10, p.161-170, 2017/6 (DOI 10.1007/s12194-016-0380-3)、査読有り

2) 町田好男, MR イメージングにおける圧縮センシングとその周辺技術 .Medical Imaging Technology, Vol.34, No.4, p.198-202, 2016/9、査読なし

3) 町田好男, フーリエ変換と MR イメージング - 連続と離散の観点から -, 東北大学医学部保健学科紀要, Vol.25(1), p.27-37, 2016/1、査読なし

4) 町田好男, 最新の MRI 撮像技術、医用画像情報学会雑誌, Vol.32, No.4, p.ii-v, 2015/12、査読なし

[学会発表](計22件)

1) 吉田礼、曾根理、荒木隆博、町田好男、MTF を用いた T2-weighted Variable

Refocusing Flip Angle 3D TSE の画像特性の検討、日本放射線技術学会第 74 回総会学術大会予稿集, p.347, 2018

2) Aita K, Miyamoto K, Machida Y, Evaluation of nonlinear processed magnetic resonance images using noise power spectra, ECR2018, C-1818, 2018 (DOI: 10.1594/ecr2018/C-1818)

3) 吉田礼、川又渉、町田好男、単板ファントムを用いた MTF 計測におけるコイル依存性の検討、日本磁気共鳴医学会雑誌、Vol.37S, p.241 (2-46), 第 45 回日本磁気共鳴医学会大会、2017

4) 会田健人、宮本宏太、一関雄輝、町田好男、MRI における異なる非線形フィルタ処理後の NPS の比較、第 36 回日本医用画像工学会大会, p.36 (OP3-4), 2017

5) 三浦洋亮、町田好男、数値ファントムを用いた圧縮センシング MR アンギオグラフィにおける k 空間中心部フルサンプリング領域と血管形状に関する検討、第 36 回日本医用画像工学会大会, p.36 (OP3-5), 2017

6) 会田健人、宮本宏太、一関雄輝、町田好男、MRI における異なる非線形フィルタ特性の NPS による評価、日本放射線技術学会第 73 回総会学術大会予稿集, p. 211, 2017

7) 吉田礼、引地健生、町田好男、MRI における MTF 計測に必要な SNR の検討、日本放射線技術学会第 73 回総会学術大会予稿集, p.212, 2017

8) 三浦洋亮、町田好男、数値ファントムを用いた圧縮センシング MRA における k 空間中心部フルサンプリング領域に関する検討、日本放射線技術学会第 73 回総会学術大会予稿集, p. 254, 2017

9) Yoshida R, Machida Y, Hikichi T, Measuring modulation transfer function using a single thin-plate phantom in magnetic resonance imaging, ECR2017, C-1296, 2017

10) 吉田礼、町田好男、引地健生、永坂竜男、一関雄輝、曾根理、MRI における MTF 計測精度向上の検討、第 6 回東北放射線医療技術学術大会予稿集, p. 69, 2016

11) 会田健人、一関雄輝、宮本宏太、町田好男、MRI における非線形フィルタ効果の対象画像依存性の NPS による評価、日本放射線技術学会雑誌, Vol.72, No.9, p.823, 第 44 回日本放射線技術学会秋季学術大会, 2016

12) 吉田礼、引地健生、町田好男、絶対値画像と単板ファントムを用いた PSF および MTF 計測、日本磁気共鳴医学会雑誌、Vol.36S, p.171 (0-1-094), 第 44 回日本磁気共鳴医学会大会、2016

13) 三浦洋亮、齋藤俊樹、町田好男、数値ファントムを用いた Total Variation による圧縮センシング MR アンギオグラフィにおける血管描出能の検討、日本磁気共鳴医学会雑誌、Vol.36S, p.218 (0-2-075), 第 44 回日本磁気共鳴医学会大会、2016

14) 三浦洋亮、齋藤俊樹、町田好男、数値ファントムを用いた圧縮センシング MR アンギオグラフィにおける血管描出能の検討、第 35 回日本医用画像工学会大会, p.41 (PP-16), 2016

15) 曾根理、吉田礼、引地健生、町田好男、MTF 計測を用いた T2WI TSE asymmetric order の解像特性の検討、日本放射線技術学会第 72 回総会学術大会予稿集, p.211, 2016

16) 吉田礼、曾根理、引地健生、町田好男、Comparison between apparent T2 decay and modulation transfer function in turbo spin echo sequences with low refocusing flip angles、日本放射線技術学会第 72 回総会学術大会予稿集, p.212, 2016

17) Ichinoseki Y, Miyamoto K, Machida Y, Noise power spectrum measurement for clinical MR image evaluation, ECR2016, C-1069, 2016

18) 町田好男、圧縮センシング MRI の原理と今後の展開、Radiology Update 研究会、2015

19) 吉田礼、町田好男、引地健生、永坂竜男、一関雄輝、MRI における MTF 計測精度向上の検討、第 5 回東北放射線医療技術学術大会予稿集, p. 50, 2015

20) 三浦洋亮、齋藤俊樹、一関雄輝、町田好男、圧縮センシング MR アンギオグラフィにおける血管と背景実質部コントラストの検討日本磁気共鳴医学会雑誌、Vol.35S, p.213 (0-1-101), 第 43 回日本磁気共鳴医学会大会、2015

21) 吉田礼、引地健生、町田好男、MTF 計測を用いた 3D TSE T1WI における解像特性評価の検討、日本磁気共鳴医学会雑誌、Vol.35S, p.241 (0-2-041), 第 43 回日本磁気共鳴医学会大会、2015

22) 一関雄輝、宮本宏太、永坂竜男、森一生、町田好男、MRI における 1 次元 NPS の実用化に向けた計測精度の検討、日本磁気共鳴医学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

町田 好男 (MACHIDA, Yoshio)  
東北大学・大学院医学系研究科・教授  
研究者番号：30507083

##### (2) 研究分担者

本間 経康 (HOMMA, Noriyasu)  
東北大学・大学院医学系研究科・教授  
研究者番号：30282023

森 一生 (MORI, Issei)  
東北大学・大学院医学系研究科・非常勤  
講師  
研究者番号：90375171

##### (3) 連携研究者

##### (4) 研究協力者

( )