

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月25日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23791422

研究課題名（和文） 次世代のMRI撮像法に対応した信号対ノイズ比評価法の開発

研究課題名（英文） Development of a novel estimation method for spatially varying noise levels in MR images

研究代表者

上口 貴志（UEGUCHI TAKASHI）

大阪大学・医学部附属病院・医療技術職員

研究者番号：80403070

研究成果の概要（和文）：信号対ノイズ比（SNR）は、磁気共鳴画像法（MRI）における重要な画質指標の一つであり、ハードウェアの性能評価や撮像法の最適化などに広く活用されている。SNRは画像の輝度とそのばらつき（ノイズ）より計算されるが、輝度が一律でない場合にはノイズの測定精度が著しく低下するという問題点があった。そこで本研究では、斬新な発想にもとづく精度の高いSNR測定法を開発し、この問題点を解決した。

研究成果の概要（英文）：Signal-to-noise ratio (SNR) is an important metric commonly used to evaluate image quality in magnetic resonance (MR) imaging, because it is quite sensitive to any change of imaging techniques and hardware performances. The SNR is defined as the ratio of the mean signal intensity within a homogeneous region of interest to noise estimated as its standard deviation. However, poor signal uniformity is fairly common in MR images, and thus standard deviation of pixel values is more strongly influenced by the image uniformity than true random noise. In this study, we have developed an accurate and robust noise estimation method for calculating reliable SNR values.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：医用画像，画質評価，磁気共鳴，ノイズ

1. 研究開始当初の背景

医用イメージングにおいては、その目的に応じた撮像法や画像再構成法の最適化が必要であり、そのためには客観的な画質評価が不可欠である。信号対ノイズ比（SNR）は画質評価における基本的かつ重要な指標の一つであり、被写体がノイズに対してどれほど強く描出されているかを表す。本研究で着目する磁気共鳴（MR）画像法（MRI）においても、SNRは機器の性能評価から臨床画像の画質評価に至るまで広く用いられている。

MRIにおけるSNRは、画像上、均一な部分に設定した関心領域（ROI）内での平均信

号強度とノイズ強度の比で定義される。ここでノイズ強度は信号強度分布の標準偏差として求められるが、その前提は、ROI内にノイズ以外の信号変動が存在しないこと（つまり均一なROIで測定していること）である。この前提が満たされないとノイズ強度を過大評価（したがってSNRを過小評価）することになる。しかし現実には、いかに均一な被写体を撮像したとしてもRFコイルの送受信感度分布を反映してROI内の信号は不均一であり、さらに臨床画像では体内構造による不均一性も存在する。このため、理想的には同条件で撮像された2画像の差分画像をもとにノイズ強度を測定することが好ましい（以

下, 差分法という). また, ノイズの空間分布が均一であれば, 差分画像を得ることが困難な臨床画像であっても, 被写体背景部分(空中)からノイズ測定が可能である. 従来の MRI 画像では, これらの方法を採用することで精度のよい SNR 測定が可能であった.

しかし近年, とくに臨床画像の SNR 測定が困難になりつつある. これは「パラレル撮像法」という, 撮像時間の短縮や画質向上を目的とした巧妙な撮像技術の臨床応用が急速に進んでいることによる. パラレル撮像された画像では, ノイズの空間分布はもはや均一ではなく, SNR を評価したい ROI においてノイズ強度も測定する必要がある. 一般に臨床画像では差分法の適用が困難であり, 原画像上に設定した ROI 内の信号分布から直接, 標準偏差を算出し, それをノイズ強度とせざるを得ない(以下, 直接法という). しかし前述のように, 実際の信号分布にはノイズのみならず, さまざまな信号変動が含まれるため, ノイズは過大評価される. パラレル撮像法は, 信号計測時間を飛躍的に短縮させることで多くの革新的な撮像法をも実用化させることから次世代 MRI の要素技術の一つとされており, このような撮像法にも対応できる新しい SNR 測定法の開発は重要な課題である. この問題に対し, 国際的にさまざまな研究が行われているが, 現在のところ, 実用的な解決策はまだ見つかっていない.

2. 研究の目的

本研究では, パラレル撮像法にも対応できる新しい SNR 測定法の開発と実用化を目指す. SNR はあらゆる計測分野で用いられるもっとも基本的かつ重要な評価指標であることから, 本研究は MRI のみならず X 線画像や核医学画像への応用も視野に含めている.

3. 研究の方法

(1) 多重解像度解析にもとづく SNR 測定法の理論開発と実証

MR 画像の有意な信号成分は低周波帯域に集中する. したがって, 原画像に対して Mallat 変換(離散ウェーブレット変換の高速アルゴリズム)を行い高域成分の画像を求めると, そこには有意な信号成分はほとんど含まれない. 一方, ノイズは白色であり, 高域画像にはその一部が抽出され, この抽出率は Mallat 変換に使用する 2 種類の空間フィルタの周波数特性により決まる. そこで, ノイズ測定を高域画像上に設定した ROI (信号強度測定と同じ幾何学的条件)で行い, 得られたノイズ量をノイズ抽出率で補正して SNR を求める方法を開発した(提案法 1 ; 図 1).

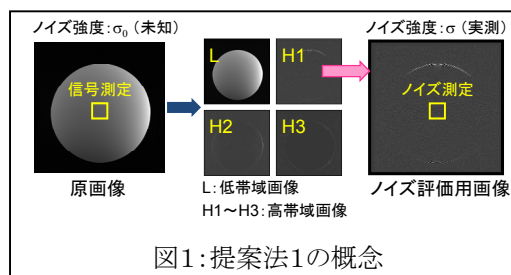


図 1: 提案法 1 の概念

この方法ではノイズ抽出率は 25% である.

提案法 1 の精度を検証するために, SNR 既知のガウスノイズを付加した不均一な信号プロファイルを有するシミュレーション画像にて SNR 測定を行い, 真値との相関を評価した. 対照として直接法による SNR とも比較した. さらに実測されたファントムの MR 画像によっても理論の精度を検証した. 使用した MRI システムは臨床用 3T 装置であり, 受信コイルは 8 チャンネル頭部用フェイズドアレイコイルを用いた. 撮像対象は均一ファントム(直径 17cm)とし, 2 次元高速スピネコー法(FSE ; TR = 500ms, TE = 17ms, ETL = 3, Matrix = 512 × 512, Thickness = 5mm, FOV = 22cm, NEX = 2)にて横断面を撮像した. その際, パラレル撮像法(factor = 2)を併用したものとしないもののそれぞれを撮像し, SNR 評価用画像を得た. SNR の測定は, (1) 提案法 1, (2) 差分法, および (3) 直接法の計 3 種類の方法で行い, ファントム内に設定した 19 個の正方形 ROI (32 × 32 画素)を評価した. 差分法は原理上, 信号不均一性の影響を受けない高精度な SNR 評価が可能である. したがって, この方法で得られた SNR をリファレンスとし, 提案法および直接法との相関を評価した.

(2) 制限された関心領域からの SNR 測定精度の検証

提案法 1 の初期検討では, 比較的大きな ROI で検証を行い, 後述するように精度の高い測定ができることを示した. しかし, 実応用の際には小さな ROI での測定が必要で, 統計的精度が低下する. そこで提案法 1 のアルゴリズムの改良を行ったうえで(提案法 2), SNR 算出に必要な最小 ROI サイズを明らかにした. アルゴリズムの変更点はノイズ抽出率を 25% から 75% へ大きくしたことである. まず, ROI サイズと統計的精度の関係を明らかにするため, SNR 既知のガウスノイズを付加したシミュレーション画像において ROI サイズを 3 × 3 画素から 35 × 35 画素まで変化させながらノイズ抽出率 25% および 75% での SNR 測定を行い, 真値を与える最小 ROI サイズを求めた. つぎに信号不均一性の強いシミュレーション画像に対し上で求めた ROI サイズでの SNR 測定を行い, 真値との相関を評

備した。対照として差分法でも同様の評価を行った。

(3) 簡便な画像処理にもとづく SNR 測定法 (提案法 3) の開発

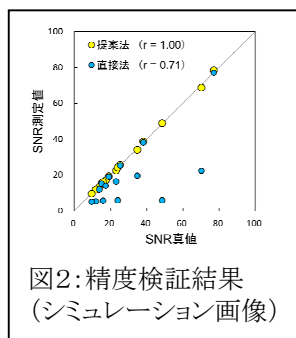
提案法 1 および 2 は、直接法に比べてはるかに高精度な結果を与えることができる反面、その測定法を実装したソフトウェアを利用者が自作する必要があることから現時点では実用性に欠けると言わざるを得ない。また、多重解像度解析のアルゴリズム、とくにウェーブレットの選択やフィルタバンクの構成に関する複数のパラメータが存在することも実用上の扱いを困難にする。そこでフリーウェアでも実行できる簡便な画像処理にもとづく SNR 評価法 (提案法 3) を開発し、その精度を評価した。なお、本研究課題の本質的な問題は、被写体信号の存在下においてノイズ強度を精度よく測定することにあることから、以下、ノイズ強度の測定に焦点を絞って述べる。

SNR 評価用ファントムおよび同意を得た被験者頭部の MR 画像に対し、メディアンフィルタによるノイズ除去を行い、それを原画像から減算したのに対して、7×7 画素の ROI からノイズ測定を行った (提案法 3)。ROI は、ファントムでは中心部と周辺部に計 5 か所、頭部では比較的均一な部分とやや不均一な部分にそれぞれ 30 か所を設定した。また差分法および直接法でも上記 ROI にてノイズ測定を行い、精度に優れる差分法をリファレンスとしたときのノイズ測定誤差を直接法と比較した。撮像には臨床用 1.5T 装置を使用し、信号受信には頭部用 8ch フェイズドアレイコイルを用いた。パルス系列は T1 強調スピンエコー法 (SE) および T2 強調高速スピンエコー法 (FSE) とし、マトリクスは 256×256、スライス厚は 5mm、FOV は 22cm とした。FSE では平行撮像 (factor=2) を使用したものとし、ないものを評価した。

4. 研究成果

(1) 提案法 1 の実証結果

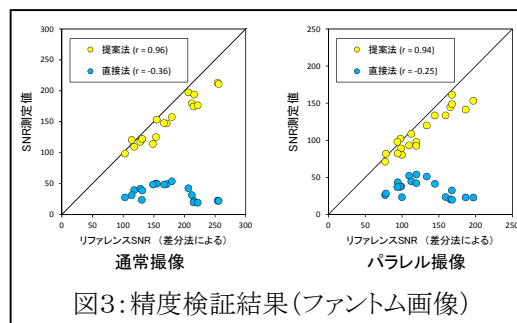
シミュレーション画像での評価 (図 2) では、提案法にて得られた SNR は真値ときわめて高い相関 (相関係数 $r = 1.00$) を示した。一方、原画像から直接 SNR を求めた場合には



真値との相関は低く ($r = 0.71$)、特に信号変動が大きい ROI において過小評価となった。

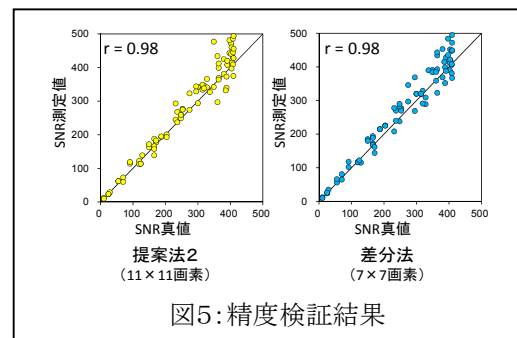
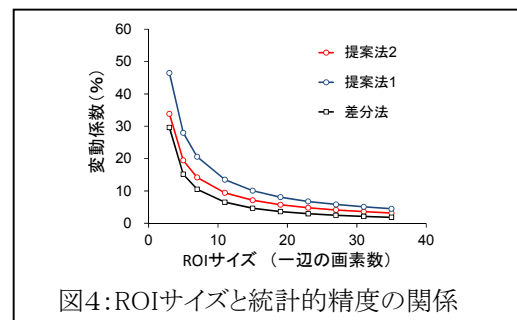
ファントム実測画像での評価 (図 3) では、提案法で求めた SNR は平行撮像併用の有無に関わらず、差分法によるものときわめて良好かつ線形な相関を得た (通常撮像: 相関係数 $r = 0.96$, 平行撮像: $r = 0.94$)。したがって、提案法は信号不均一性の強い MR 画像においても差分法に匹敵する精度で SNR を測定できるといえる。一方、直接法では平行撮像併用の有無に関わらず差分法に比べて SNR を著しく過小評価し、差分法との相関は認められなかった (通常撮像: $r = -0.36$, 平行撮像: $r = -0.25$)。

以上のことから、提案法は平行撮像された臨床画像からの高精度な SNR 測定法を可能とすることが示唆された。



(2) 提案法 2 の実証結果

測定誤差を 10% 程度に抑えることを目標をすれば、差分法では 7×7 画素での評価が可能であったのに対し、提案法 1 (ノイズ抽出率 25%) では 15×15 画素を要した。しかし改良型アルゴリズム (提案法 2; 同 75%)



では 11×11 画素での評価が可能となり、実用性が向上した (図 4)。

この ROI サイズで求めた SNR は不均一な画像であっても真値ときわめて高い相関 ($r > 0.90$) を示した (図 5)。したがって、提案法 2 では、11×11 画素の ROI から精度よく SNR を評価することが可能であることが示された。

(3) 提案法 3 の検証結果

以下、ノイズ測定誤差を百分率にて、SE, FSE, パラレル撮像 (ASSET) 使用 FSE の順に記す。ファントムでの測定誤差は、直接法では 247%, 111%, 45%であったのに対し、提案法では 11%, 1%, 4%であった。頭部画

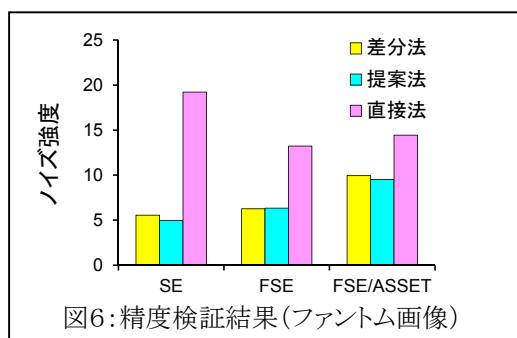


図6: 精度検証結果 (ファントム画像)

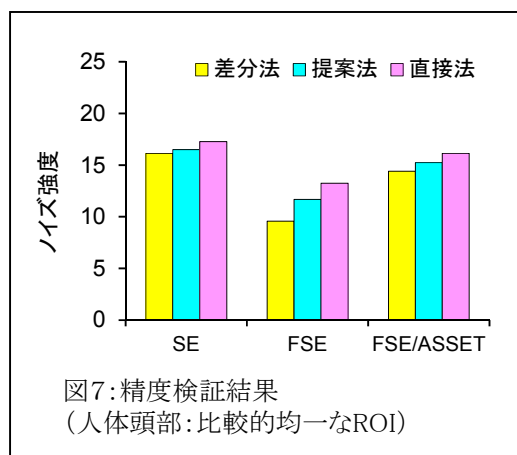


図7: 精度検証結果 (人体頭部: 比較的均一なROI)

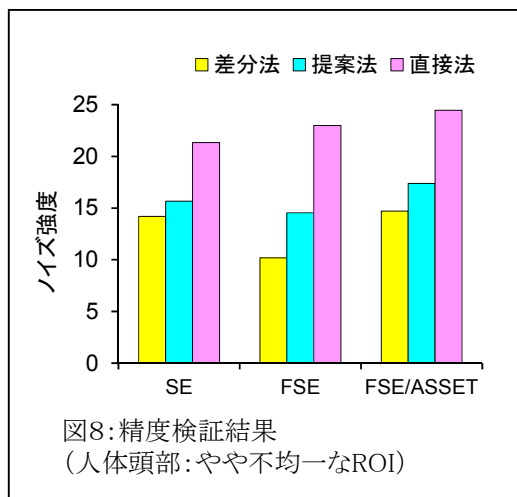


図8: 精度検証結果 (人体頭部: やや不均一なROI)

像での測定誤差は、比較的均一な ROI では、直接法で 7%, 38%, 12%であったのに対し、提案法では 2%, 22%, 6%であった。また、やや不均一な ROI での測定誤差は、直接法で 50%, 126%, 66%であったのに対し、提案法では 10%, 43%, 18%であった。いずれの例でも提案法によるノイズ測定精度は高く、一方、直接法では不均一な ROI での精度低下が示された (図 6, 7, 8)。

(4) 総括

本研究では、被写体信号存在下でのノイズ測定を精度よく行うため、まず原画像の高域成分よりノイズ量を推定する方法を開発し、その精度が優れることを実証したのち、実用化を見据えた理論の再構築を行った。最終的には簡便な画像処理によって精度の高いノイズ測定を行うための理論を提案し、人体の実測画像においてその精度が優れることを実証した。これらの研究成果は本研究の目的を達成するものであり、これまで困難であったパラレル撮像された MRI における客観的かつ公正な画質評価を可能とした。

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 3 件)

- ①山田幸子, 上口貴志, 鶴飼 勲, 永井由美子, 山川正信, 下瀬川恵久, 嶋津岳士, 畑澤順. 仮想単色 CT による腎嚢胞の pseudoenhancement 抑制効果: 腎嚢胞ファントムモデルによる検証. 日放技学誌 69(10):1379-1384, 2012 (査読あり)
- ②上口貴志. Mallat 変換を用いた MR 画像の信号ノイズ比測定: 制限された関心領域からの SNR 測定精度の検証. 医学物理 32(Sup.1), 237, 2012 (査読なし)
- ③上口貴志. MRI における単一関心領域からのロバストな信号ノイズ比の推定法. 医学物理 31(Sup.1), 237, 2011 (査読なし)

[学会発表] (計 12 件)

- ①Ueguchi T, Yamada S, Fujino K, Shimosegawa E, Ogihara R, Ogata T, Shimazu T, Murase K, Hatazawa J. Accuracy of attenuation coefficients with dual energy virtual monochromatic imaging for SPECT attenuation correction. 105th Japan Society of Medical Physics (JSMP) 2013 Annual Meeting, April 13, 2013, Yokohama.
- ②荻原良太, 上口貴志, 山田幸子, 尾方俊至, 田中千香子, 三木弘, 畑澤 順. Dual energy 仮想単色 CT における CT 値の精度. 日本放射線技術学会第 69 回総合学術大会. 2013 年

4月13日, 横浜.

③山田幸子, 上口貴志, 尾方俊至, 荻原良太, 小泉雅彦, 嶋津岳士, 村瀬研也, 小川和彦. 仮想非造影 CT による放射線治療計画の可能性. 第105回日本医学物理学学会学術大会. 2013年4月13日, 横浜.

④荻原良太, 上口貴志, 山田幸子, 尾方俊至, 田中千香子, 三木 弘, 下瀬川恵久, 畑澤 順. Dual energy CT による仮想単色画像の CT 値の精度: 理論値との比較. 第56回日本放射線技術学会近畿部会学術大会. 2013年1月27日, 大阪.

⑤山田幸子, 上口貴志, 藤埜浩一, 下瀬川恵久, 畑澤 順. Dual energy CT による SPECT 減弱補正. 第52回日本核医学会学術総会. 2012年10月, 札幌.

⑥荻原良太, 上口貴志, 山田幸子, 尾方俊至, 田中千香子, 三木 弘, 下瀬川恵久, 畑澤 順. ガドリニウム造影 dual energy CT angiography における仮想単色画像を用いた造影剤低減の可能性. 日本放射線技術学会第40回秋季学術大会. 2012年10月4日, 東京.

⑦上口貴志. 簡便な画像処理による MR 臨床画像でのノイズ測定精度向上の試み. 第40回日本磁気共鳴医学会大会. 2012年9月6日, 京都.

⑧山田幸子, 上口貴志, 下瀬川恵久, 畑澤 順. フェイズドアレイコイル使用下での背景ノイズの測定精度: 4種の測定法の比較. 第40回日本磁気共鳴医学会大会. 2012年9月6日, 京都.

⑨上口貴志. Mallat 変換を用いた MR 画像の信号ノイズ比測定: 制限された関心領域からの SNR 測定精度の検証. 第103回日本医学物理学学会学術大会. 2012年4月12日, 横浜.

⑩山田幸子, 上口貴志, 藤埜浩一, 下瀬川恵久, 畑澤 順. ヘッドレストが Chang 吸収補正法による脳血流 SPECT 画像に与える影響. 第103回日本医学物理学学会学術大会. 2012年4月14日, 横浜.

⑪上口貴志. パラレル撮像された MR 画像における新しい信号ノイズ比評価法の提案 (1) 理論および数値シミュレーション. 第39回日本磁気共鳴医学会大会. 2011年9月30日, 小倉.

⑫上口貴志. パラレル撮像された MR 画像における新しい信号ノイズ比評価法の提案 (2) ファントムによる精度検証. 第39回日本磁気共鳴医学会大会. 2011年9月30日, 小倉.

6. 研究組織

(1)研究代表者

上口 貴志 (UEGUCHI TAKASHI)

大阪大学・医学部附属病院・医療技術職員

研究者番号: 80403070

(2)研究分担者 ()

研究者番号:

(3)連携研究者 ()

研究者番号:

