

SIGNA Contour CX 後処理用イメージフィルタの基礎的検討

荒尾 信一¹, 天野 貴司¹, 北山 彰¹
 林 明子¹, 山下 一也¹, 古城 剛²
 吉田 耕治², 角場 幸記², 内田 敏敦²
 新田 容子²

A Fundamental Study of Image Filter for SIGNA Contour CX

Shinichi ARAO¹, Takashi AMANO¹, Akira KITAYAMA¹,
 Akiko HAYASHI¹, Kazuya YAMASHITA¹, Tsuyoshi KOJO²,
 Kouji YOSHIDA², Kouki KAKUBA², Toshiatsu UCHIDA²
 and Youko NITTA²

キーワード：イメージフィルタ，MRI，T1強調画像，ROC解析，連続確信度法，信号検出能

概 要

GE YMS 社製の magnetic resonance imaging (MRI) 装置である SIGNA Contour CX に装備されている 8 種類のイメージフィルタについて、ある面積をもった信号に対する検出能を向上させる効果を MRI 信号を入力データとして用いた連続確信度法による receiver operating characteristic (ROC) 解析によって評価した。結果として、イメージフィルタを用いることで有意に信号検出能が向上することが NiCl₂ 溶液ファントムおよび臨床画像について確認でき、8 種類のフィルタの効果は 3 段階の向上レベルのグループに大別できた。これらのフィルタは元画像の SN 比の高低によって効果の程度が異なり、低 SN 比および高 SN 比の画像においては検出能の向上は少なかった。また、信号検出能が特に向上するフィルタではスムージング効果が大きくなり、解像特性の劣化がみられた。実際の臨床の現場では、スムージング効果の強いフィルタが高い信号検出能を示す結果となったにもかかわらず、解像特性の劣化を考慮してスムージング効果の弱いフィルタの使用が好まれている。今後の課題として各臨床写真の読影時のポイントとフィルタの適用ならびにフィルタを使用した場合の空間分解能の変化を定量的に評価することが必要である。

1. はじめに

当附属病院に設置されている MRI 装置には、撮像後の画像の画質改善のために用いるイメージフィルタが装備されている。しかし、そのフィルタの効果や機能については装置マニュアルには全く説明はなく、実際には読影者および術者の経験的な感覚でフィルタを選択し、使用しているのが現状である。

临床上、有用な画像情報を提供するためには、イメージフィルタを用いることで最終的な信号検出能がどのように変化するのかを把握しておくことが必要にな

る。

著者らはこれまでに MRI における低コントラスト分解能について、入力データとして MRI 信号を用いた ROC 解析によって評価することを報告した¹⁾。この方法では画質特性の SN 比とコントラストを統合した信号検出能の評価が可能であり、総合的な信号検出能の解析法として有用であった。

本報告はこの解析法をイメージフィルタを使用した場合の MRI 画像上のある面積をもった信号に対する検出能の評価に応用したものである。撮像対象は緩和時間の若干異なる NiCl₂ 溶液ファントムおよび人体頭部とし、信号検出能に対するイメージフィルタの効果について評価した。また、イメージフィルタによる解像特性への影響について、ピンパターンファントムを用いて確認し、信号検出能の評価と併せて基礎的な検討を行なったので報告する。

(平成11年9月9日受理)

¹⁾川崎医療短期大学 放射線技術科, ²⁾川崎医科大学附属病院 中央放射線部

¹⁾Department of Radiological Technology Kawasaki College of Allied Health Professions

²⁾Department of Radiology, Kawasaki Medical School Hospital

2. ROC 解析 (連続確信度法)^{2,3)} について

(1) ROC 解析法

ROC 解析法は、人の視覚によって画像の属性を主観的、心理的に評価するもっとも優れた方法であり、雑音中に存在する微小な信号に対する人の検出能を検定するものである。

本研究で使用した連続確信度法 (continuously-distributed scale method) による ROC 解析は、1990 年に Metz らによって提案されたカテゴリーに区分されていない連続的に分布したデータを用いて ROC 解析を行う評価法²⁾で、正規分布の広がりを持つデータであれば、心理的な対象であっても、物理的な対象であっても適用が可能であることが確認されているが、現在のところ物理量を対象とした報告は少ない^{1,4~6)}。

(2) MRI の信号検出能の評価への適用^{1,4)}

図 1 (a), (b), (c) は緩和時間の近接した物質のある関心領域 (region of interest : ROI) から得られた MRI 信号 (信号 : S), およびその周辺部の MRI 信号 (雑音 : N) のデータを横軸に MRI 信号強度, 縦軸に度数をとって示した度数分布モデルと, ROC 曲線の関係を示したものである。それぞれの MRI 信号データの標準偏差は SN 比を反映し, また平均値の差は, 信号強度の差 (組織コントラスト) を意味している。(a) のモデルを基準と考えると, (b) は MRI 信号の標準偏差が (a) と同じで平均値の差が大きくなった場合 (コント

ラストが高くなった場合) を示し, (c) は MRI 信号の平均値の差が (a) と同じで標準偏差が小さくなった場合 (SN 比が高くなった場合) である。ROC 解析では, ROC 曲線が左上方に位置するほど高検出能である。このように連続確信度法では入力データ対の平均値の差と標準偏差の大きさによって度数分布における分布の重なりが変化し, その解析結果 (信号の検出能) は変化するため, SN 比とコントラストの両方の画質特性を統合した信号検出能であると考えられる。これらの観点からわれわれは, ROC 解析を MRI におけるイメージフィルタの信号検出能を向上させる効果の評価に適用した。

この MRI 信号度数分布から ROI の信号検出能を与える ROC 曲線を求めるには, この二つの正規分布曲線に基づき, 次の式を用いて, 偽陽性率 (false positive fraction : FPF) と真陽性率 (true positive fraction : TPF) を求めればよい⁴⁾。

$$TRF = \Phi \left[\frac{\sigma_N}{\sigma_S} \cdot \Phi^{-1}(\text{FPF}) + \frac{\mu_S - \mu_N}{\sigma_S} \right]$$

ここで, σ_S : 信号データの標準偏差, σ_N : 雑音データの標準偏差, μ_S : 信号データの平均値, μ_N : 雑音データの平均値, Φ : 累積的分布関数, そして Φ^{-1} : 累積的分布関数の逆数である。

上式において FPF は 0 から 1 までの連続的変数であるので信号 : S と雑音 : N のそれぞれの平均値と標

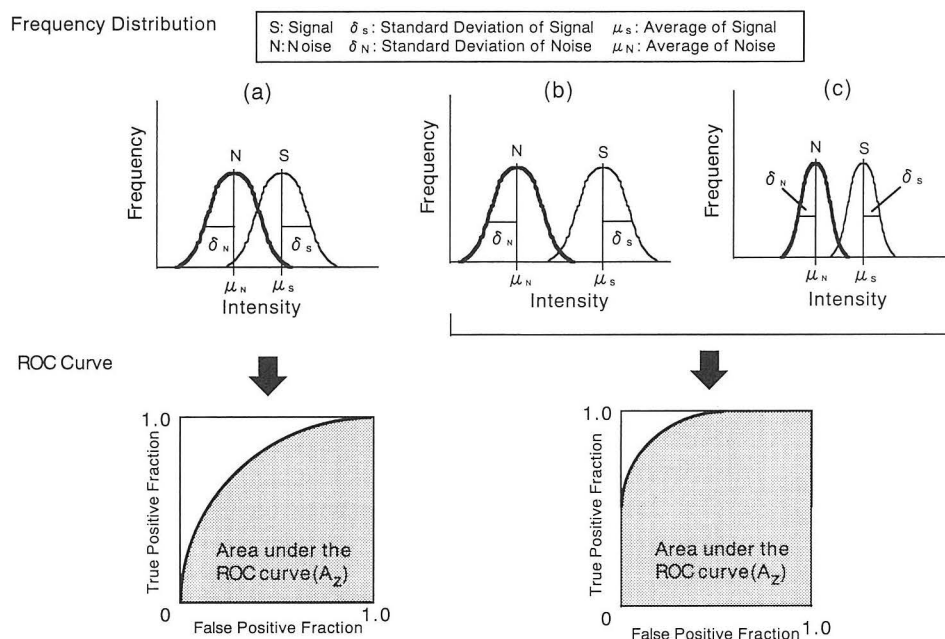


図 1 ROC 解析の概要 (MRI 信号強度度数分布モデルと, ROC 曲線の関係)

準偏差を代入して各 FPF に対する TPF を算出する。また、上式で求めた TPF の積分値から ROC 曲線の評価の指標となる ROC 曲線下の面積： A_z も併せて求めることが可能である。

3. 使用機器およびファントム

使用した MRI 装置は、SIGNA Contour CX (GE-YMS 社製) で静磁場強度は 0.5T である。この装置には後処理用イメージフィルタとして No. 1 ~ No. 8 の 8 種類のフィルタが装備されている。信号検出能評価用ファントムは、図 2 に示したように NiCl_2 溶液を封入したポリエチレン容器 (3.9×3.9×8.0cm) をモザイク状に 9 個並べたものを用いた。このファントムの中心位置には目的の MRI 信号データを得るための NiCl_2 溶液を満したものを順次、差し替えて配置し、その周辺部には 3.00 mmol/l の NiCl_2 溶液を封入した容器を配置した。中心位置の NiCl_2 溶液は高濃度溶液を 2.75 mmol/l、低濃度溶液を 2.50 mmol/l とした。その結果、高濃度溶液は低濃度溶液と比べて T1 緩和時間が若干短く、わずかに高い MRI 信号がえられることになる。

解像特性の変化はデータスペクトル社製の MRI ファントム (DELUXE MODEL MRI/DLX-P) のピンパターン部を用いて確認した。ピンパターンの直径は 1.2, 1.6, 2.4, 3.2, 4.0mm である。

表 1 各実験に用いた MRI 撮像シーケンス

	TR (msec)	TE (msec)	FOV (cm)	Matrix size	NEX	Slice thickness (mm)
(a)	400	15	25	256×256	2	3, 6, 9
(b)	400	16	25	256×256	1	6
(c)	466	16	24	256×192	4	6

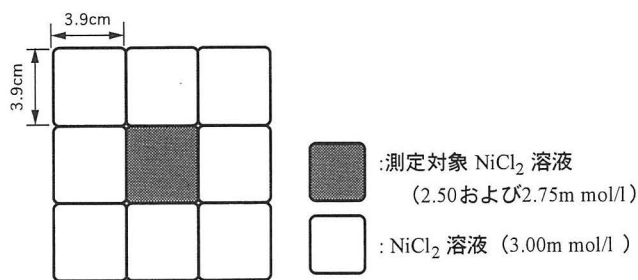


図 2 NiCl_2 溶液ファントムの外観

4. 方 法

(1) NiCl_2 ファントムによる評価

表 1 (a) に実験に用いた撮像シーケンスを示す。撮像シーケンスは SE (spin echo) 法、T1 強調画像シーケンスで、元画像の SN 比を変化させてフィルタ効果を比較するためにスライス厚をそれぞれ 3, 6, 9 mm とした。撮像方向は冠状断面である。得られた画像にイメージフィルタ No. 1 ~ No. 8 をかけた画像を作成し、目的とする中心の画像内に 20×20mm の ROI を設置して、高濃度溶液および低濃度溶液のそれぞれについて MRI 信号強度の平均値とその標準偏差を測定した。データの収集数は ROI をそれぞれの溶液画像範囲において 5 箇所に移し、5 組のデータを読み取った。この際、高濃度溶液からのデータを ROC 解析における信号：S、低濃度溶液からのデータを雑音：N とし、先に 2 (2) で述べた方法を用いて信号検出能を示す ROC 曲線および ROC 曲線下面積 (A_z) を求めた。

(2) ピンパターンファントムによる評価

撮像シーケンスを表 1 (b) に示す。撮像領域 (FOV) 25cm、マトリックスサイズ 256×256 より、理論的な解像限界は 0.977mm であるので、直径 1.2mm および 1.6mm のピンパターンをフィルム上で目視によって観察し、解像特性の劣化を確認した。

(3) 臨床画像による評価

臨床画像には健常者の頭部横断像 (視床レベル) を用いた。撮像シーケンスを表 1 (c) に示す。 NiCl_2 ファントムと同様にイメージフィルタ No. 1 ~ No. 8 をかけた画像を作成した。ROI は視床の被殻部分およびその周辺部に楕円状に設定し、それぞれについて MRI 信号強度の平均値とその標準偏差を測定した。ROC 曲線および ROC 曲線下面積 (A_z) の算出は NiCl_2 ファントムと同様に行なった。

5. 結果および考察

(1) NiCl_2 ファントムによるイメージフィルタの評価

図 3 (a), (b), (c) にスライス厚 3, 6, 9 mm における NiCl_2 ファントムを用いて得られた各イメージフィルタによる信号検出能の変化を表す ROC 曲線および ROC 曲線下面積 (A_z) を示す。ROC 曲線は 5 箇所 ROI を移動させたデータより、5 本の曲線を求め、そのデータを平均して表示したものである。スライス厚の違いによる比較では、スライス厚が厚くなると画像全体の SN 比が高くなり、検出能が高くなった。また、各

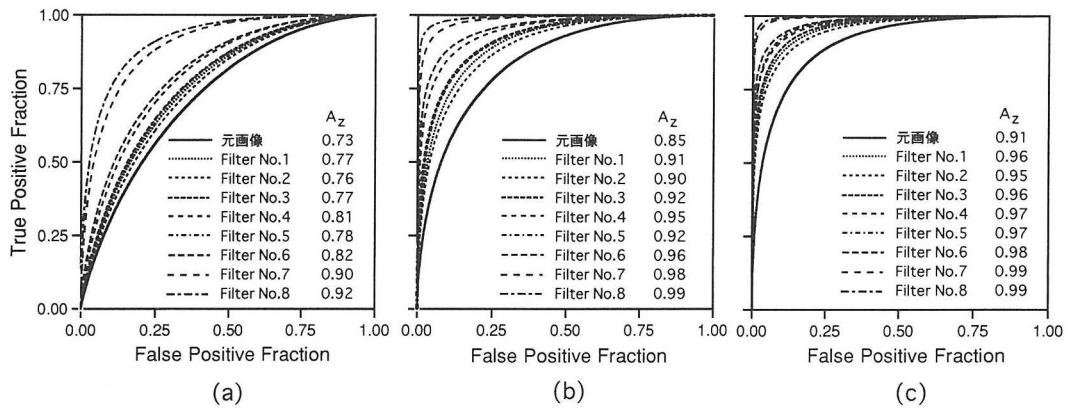


図3 NiCl₂溶液ファントムを用いて得られた各イメージフィルタのROC 曲線および ROC 曲線下面積 (A_z)
 (a) スライス厚 3 mm (b) スライス厚 6 mm (c) スライス厚 9 mm

表2 イメージフィルタ各グループ間の信号検出能についての有意差検定結果 (p-value < 0.05)

スライス厚	3 mm			6 mm			9 mm		
	元画像	グループ1	グループ2	元画像	グループ1	グループ2	元画像	グループ1	グループ2
グループ1	○			○			○		
グループ2	○	○		○	○		○	×	
グループ3	○	○	○	○	○	○	○	○	○

※各グループ内のフィルタ間の信号検出能に有意差は認められない。

○……有意差あり ×……有意差なし

グループ1……フィルタNo.1, 2, 3, 5 (信号検出能の改善度が低い)

グループ2……フィルタNo.4, 6 (信号検出能の改善度が中程度)

グループ3……フィルタNo.7, 8 (信号検出能の改善度が高い)

スライス厚ともイメージフィルタを使用すると元画像より信号検出能が向上した。イメージフィルタの種類による比較では、各スライス厚ともイメージフィルタの効果の大小関係はほぼ同じで、[元画像 < No.2 ≤ No.1 ≤ No.3 ≤ No.5 < No.4 ≤ No.6 < No.7 ≤ No.8] の順となった。これらのイメージフィルタによる信号検出能に対する向上の程度は、向上効果の小さいグループのNo.1, 2, 3, 5, 中程度のグループのNo.4, 6, および向上効果の大きいグループNo.7, 8の3段階に大別できると考えられる。しかし、スライス厚 3 mmではスライス厚 6 mmに比べ、元画像のSN比が低いため、特に信号検出能の向上効果の小さいグループのフィルタによる検出能の向上は僅かであった。また、スライス厚 9 mmではスライス厚 6 mmに比べ、元画像のSN比が高いため、信号検出能の向上効果の小さいフィルタと中程度のフィルタによる検出能に大きな違いはなく、信号検出能の向上はほぼ飽和に近い状態となっている。

つぎに表2に元画像および各フィルタのグループの信号検出能についてt検定による有意差検定 (p-value < 0.05) を行なった結果を示す。各スライス厚ともフィルタを用いることによって、元画像の検出能に対

して有意差が認められ、信号検出能の向上に対して有効であるといえる。また、スライス厚 3 mmと 6 mmでは各フィルタグループ間に有意な検出能の違いがあることも認められた。スライス厚 9 mmでは、向上効果の小さいフィルタと中程度フィルタの間に有意な差は認められなかった。このことより、これらのイメージフィルタは特に低～中程度のSN比の得られた画像に対して、より高い信号検出能の向上をもたらすことが確認できた。一方、同一フィルタグループ内のフィルタ間には有意な差はみられなかった。しかし、同一フィルタグループでは、コントラストおよびSN比に関連した信号検出能はほぼ同程度であっても他の画質因子であるエッジ処理、空間周波数処理等の違いがあるのではないかと考えられる。

(2) ピンパターンファントムによるイメージフィルタの解像特性に対する評価

各イメージフィルタの解像特性に対する影響についてピンパターンファントム像を目視により評価した結果を表3に示す。フィルタNo.7, 8では理論的な解像限界に近い1.2mmφのピンパターンの識別において明らかな解像特性の劣化が確認された。これらのフィルタ

表3 イメージフィルタによる解像特性の変化

	ピンパターン直径	
	1.2mmφ	1.6mmφ
元画像	○	○
フィルタNo.1	○	○
フィルタNo.2	○	○
フィルタNo.3	○	○
フィルタNo.4	○	○
フィルタNo.5	○	○
フィルタNo.6	○	○
フィルタNo.7	×	○
フィルタNo.8	×	○

○……識別可能 ×……識別不可能

はコントラストおよびSN比に関係した信号検出能の向上効果が最も高いグループであったが、同時に解像特性の劣化が最も大きいという特性を併せ持っているため、フィルタの使用には注意が必要である。その他のフィルタに関しては肉眼では差が認められなかった。

(3) 臨床画像によるイメージフィルタの効果の評価

図4に臨床画像を用いて得られた各イメージフィルタによる信号検出能の変化を表すROC曲線およびROC曲線下面積(A_z)を示す。元画像の信号検出能はNiCl₂ファントムのスライス厚3mmとほぼ同程度であったが、フィルタを用いることでNiCl₂ファントムの場合とほぼ同様の信号検出能の向上効果が得られた。

実際の臨床写真では信号の高検出能のフィルタはほとんど使用されず、低検出能のフィルタが主として用いられている。これは、No.7, 8のフィルタはある面積をもった信号に対するSN比改善のための平滑化処理が強く、信号検出能の向上効果が大きくなるが、一方では、その処理の影響で微小な信号が失われる傾向が強まるのが原因ではないかと考えている。つまり、読影上求められる画質としてはある面積をもった信号に対する検出能だけでなく、併せてある水準以上の解像特性が必要とされていることになる。これらの各臨床写真の読影時のポイントとフィルタの効果については今後の課題としたい。

本研究でイメージフィルタのコントラストおよびSN比に関係した信号検出能向上のレベルに関して判定す

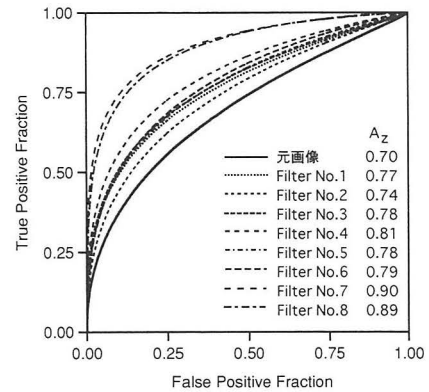


図4 頭部横断像(視床レベル)における各イメージフィルタのROC曲線およびROC曲線下面積(A_z)

ることができたが、他の画質因子に関する評価については不十分であるため信号検出能の向上効果が近似したフィルタの評価が十分行なえなかった。今後は解像特性(空間分解能)の定量的な評価、画像の空間周波数解析等を実施してより詳細なフィルタの特性の解析が必要である。

文 献

- 1) 荒尾信一, 天野貴司, 北山 彰, 板谷道信, 山下一也, 古城 剛, 浮田智子: ROC解析によるMR画像の信号検出能の評価, 医用画像情報学会雑誌14(3): 128-138, 1997.
- 2) Metz CE, Shen JH and Herman BA: New Methods for Estimating a Binormal ROC Curve from Continuously-Distributed Test Results, Presented at the 1990 Annual Meeting of the American Statistical Association, Anaheim, CA, August 7: 1990.
- 3) 日本放射線技術学会専門委員会編: ROC解析の基礎と応用, 京都: 日本放射線技術学会, pp. 35-54, 1994.
- 4) 白石順二, 上田容子, 宇都宮あかね, 花岡信子, 辰巳大作, 津田和良: ROC解析を応用したCT装置の密度分解能の測定, 日本放射線技術学会雑誌53(4): 431-436, 1997.
- 5) 荒尾信一, 天野貴司, 北山 彰, 山下一也, 友光達志: 骨代謝マーカのROC解析, 川崎医療短期大学紀要17: 61-66, 1997.
- 6) 荒尾信一, 天野貴司, 北山 彰, 林 明子, 山下一也: ROC解析による濃度値を用いた胸部腫瘍状模擬病変の評価, 医用画像情報学会雑誌16(2): 70-78, 1999.

