

## 学位論文題名

Wavelet Compression on Detection of Brain Lesions  
with Magnetic Resonance Imaging

(磁気共鳴画像(MRI)での脳病変の検出能に及ぼす  
wavelet 圧縮の影響についての検討)

## 学位論文内容の要旨

「目的」近年、コンピュータおよびネットワーク関連の技術進歩により、大規模な医用画像の電子保管・伝送システム (PACS: picture archiving and communication system) の構築が可能となってきた。しかし、医用画像の発生データ量は年々増加しており、全ての画像データをオリジナルのまま数年以上保管するのは今なお困難である。それゆえ、PACS では画像圧縮によって保管・伝送する画像データを減量することが必要となる。画像圧縮の欠点は画質劣化であり、診断に影響を与えない範囲で、できるだけ高い圧縮率を達成できる方法が望まれる。wavelet 圧縮は、現在広く用いられている JPEG (Joint Photographic Experts Group) 圧縮よりも高い圧縮率を達成できる方法として注目されている。本研究は、磁気共鳴画像(MRI)での脳病変の検出能について、臨床的に許容できる wavelet 圧縮の圧縮率について検討したものである。

「対象と方法」受信者動作特性 (ROC) 解析および圧縮誤差の定量解析を行った。対象画像は、北海道大学医学部附属病院放射線部に電子保管してある画像データから、軽微な病変を含む 16 症例と正常 4 症例を選択した。病変の有無とその局在の判定は、3名の神経放射線科医の同意により行い、各症例ごとに連続する 4 横断面を抽出した。病変の有無の評価は、解剖学的部位別 (前頭葉、側頭葉、頭頂葉、後頭葉、基底核とその周囲、視床、小脳、中脳、橋、延髄) に行った。全体として 109 箇所の解剖学的部位が対象となった。そのうち 50 箇所には病変が存在し、59 箇所には病変はなかった。別の 3名の放射線科医が、各解剖学的部位ごとに連続確信度法 (50 点満点) で病変の有無を評定した。

原画像は 1.5 テスラの MR 装置で撮像された T1 強調像と T2 強調像で、ピクセルサイズ  $0.9 \times 1.2 \times 0.47$  mm、スライス厚 5 mm であった。原画像を DICOM ファイルに変換してワークステーションに伝送し、3種類の圧縮率 (1/20, 1/40, 1/60) の wavelet 圧縮画像を作成した。DICOM ファイル変換後のファイルサイズは  $512 \times 512 \times 16$  bit となった。原画像と 3種類の wavelet 圧縮画像を 4つの画像群に割り振った。各画像群には異なる 20 症例が含まれ、非圧縮と各圧縮率の画像が 5 症例ずつとなるようにした。評定実験は 4 回に分けて行い、各観察者は 1 度に 1つの画像群を評定した。観察はワークステーションの CRT で行った。ROC 解析には、ROCKIT プログラム (Metz CE ら) を用いた。Az 検定を用い、片側検定で P 値が 0.05 未満を有意差ありとした。

誤差の定量には RMSE (root mean squared error) を用いた。対象は、正常ボランティアの脳の T1 強調像と T2 強調像で、2種類のピクセルサイズ ( $0.94 \times 0.94$  mm と  $0.94 \times 0.47$  mm) で撮像し

たものを用いた。また、原画像から圧縮画像を引き算した差分画像を視覚的に評価した。

「結果」視覚上は 1/20 圧縮ですでに画像に軽度のぼけが認められた。圧縮率が大きくなるに従い、ぼけの程度は大きくなった。ROC 解析では、原画像と比べて 1/20 圧縮では診断能に有意差を認めなかった。1/40 圧縮では 1 名の観察者で有意に診断能が低下し ( $P = 0.023$ )、1/60 圧縮では全ての観察者で有意に診断能が低下した ( $P = 0.001 - 0.012$ )。1/40 と 1/60 圧縮では画像のぼけにより、血管周囲腔 (正常構造) と白質病変との区別が難しくなった。

異なるピクセルサイズにおける wavelet 圧縮の影響に関しては、画像表示が 256 x 256 マトリクスに相当する画像では、画像のぼけは、T1 強調像では 1/5 圧縮で、T2 強調像では 1/10 圧縮で認められた。512 x 512 マトリクス相当の画像では、同一圧縮率では画質劣化はより軽度であった。RMSE は圧縮率が大きくなるとともに増加した。RMSE およびその増加率は、256 x 256 マトリクス相当画像が 512 x 512 マトリクス相当の画像よりも大きく、T2 強調像が T1 強調像よりも大きかった。RMSE と視覚上の画質劣化の程度は、256 x 256 マトリクス相当画像の 1/10、1/15、1/20 圧縮が、それぞれ 512 x 512 マトリクス相当画像の 1/20、1/40、1/60 圧縮とほぼ等しかった。

「考察」本研究では、撮像条件が 1.0 x 0.5 mm 程度のピクセルサイズであれば、1/20 wavelet 圧縮では脳 MRI の診断能には影響がないことが判明した。ただし、1/20 圧縮でも画像に軽度のぼけが生じていた。人間の視覚はある程度の範囲の画質に順応できるフレキシビリティがあり、画質の低下がすぐには診断能の低下には結びつかないことを示している。それゆえ、許容できる圧縮率の検討には ROC 解析が必要である。なお、圧縮による画質劣化の評価においては、病変が検出しにくくなることのみでなく、血管周囲腔などの正常構造が異常所見に類似してくることに注意が必要である。

許容できる圧縮率は、画像の種類と対象臓器によって異なる。そのため、ある臓器を対象とした一つの画像モダリティで得られた結果を、そのまま他の臓器やモダリティに当てはめることはできない。さらに、同一臓器、同一モダリティであっても、ピクセルサイズが異なる場合には、許容できる圧縮率は異なる。アナログ画像をデジタル化したものか、本研究のように最初からデジタルデータであるかによっても、許容できる圧縮率は異なると考えられる。ROC 解析は労力と時間のかかる方法であり、全てのモダリティの全ての臓器で、かつ、種々の画像撮影パラメータを網羅する検討は困難である。そのため、RMSE をはじめ、圧縮誤差の数学的定量化が試みられてきた。しかし、視覚上の画質劣化と数学的定量化とは、臓器やモダリティ、撮像パラメータなどの条件が異なると相関は低く、許容できる圧縮率を決めることのできる“しきい値”も存在しない。ただし、これら条件が固定であれば、両者は相関すると考えられる。本研究ではマトリクスサイズのみを変化させて RMSE を計算した。256 x 256 マトリクス相当画像の 1/10、1/15、1/20 圧縮の RMSE と視覚上の画質劣化の程度は、それぞれ 512 x 512 マトリクス相当の 1/20、1/40、1/60 圧縮のそれとほぼ等しかった。512 x 512 マトリクス相当の 1/20 圧縮が許容できるため、256 x 256 マトリクス相当画像では 1/10 圧縮までは許容できると考えらる。

「結論」T1 強調像と T2 強調像の両方を用いて診断する場合、撮像時のピクセルサイズが 1.0 x 0.5 mm 程度の脳 MRI に関しては、wavelet 圧縮は圧縮率 1/20 まで許容できる。撮像時のピクセルサイズが 1.0 x 1.0 mm 程度では圧縮率 1/10 まで許容できると考えられる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 玉 木 長 良  
副 査 教 授 櫻 井 恒 太 郎  
副 査 教 授 田 代 邦 雄  
副 査 教 授 宮 坂 和 男

学 位 論 文 題 名

## Wavelet Compression on Detection of Brain Lesions with Magnetic Resonance Imaging

(磁気共鳴画像(MRI)での脳病変の検出能に及ぼす  
wavelet 圧縮の影響についての検討)

この論文は、磁気共鳴画像(MRI)での脳病変の検出能について、臨床的に許容できる wavelet 圧縮率について検討したものである。脳 MRI 上での病変 50 カ所と正常 59 カ所を対象として、3名の放射線診断医による ROC 解析、および圧縮誤差の定量解析、差分画像の視覚評価を行った。対象画像は 256 x 512 マトリックス撮像相当 (ピクセルサイズ約 1.0 x 0.5 mm)。視覚上は 1/20 圧縮で画像に軽度のぼけが認められたが、ROC 解析では原画像と比べて 1/20 圧縮では診断能に有意差を認めなかった。1/40 圧縮では 1名の観察者で有意に診断能が低下し ( $P = 0.023$ )、1/60 圧縮では全ての観察者で有意に診断能が低下した ( $P = 0.001 - 0.012$ )。圧縮誤差の定量には root mean squared error (RMSE)を用いた。RMSE は、256 x 256 マトリックス画像が 256 x 512 マトリックス撮像相当画像よりも大きく、T2 強調像が T1 強調像よりも大きかった。RMSE と視覚上の画質劣化の程度は、256 x 256 マトリックス画像の 1/10、1/15、1/20 圧縮が、256 x 512 マトリックス撮像相当画像の 1/20、1/40、1/60 圧縮とそれぞれほぼ等しかった。差分画像でも、同一圧縮率では 256 x 256 マトリックス画像の方が圧縮誤差が目立った。T1 強調像と T2 強調像の両方を用いて診断する場合、256 x 512 マトリックス撮像相当画像の脳 MRI に関しては、wavelet 圧縮率は 1/20 まで許容できる。撮像時のピクセルサイズが 1.0 x 1.0 mm 程度では、圧縮率 1/10 まで許容できると考えられる。

公開発表では、副査の櫻井教授より wavelet 圧縮の将来性、JPEG 圧縮との比較、観察者3名の ROC 曲線の差異、ROC 曲線作成と統計解析のプログラムについての質問があった。副査の田代教授より観

察者の経験年数と ROC 曲線の差異との関係、病変選択の基準と病変の種類、他の撮像法での評価や脊髄での評価についての質問があった。副査の宮坂教授より圧縮率によっては原画像より画質が良くなる場合があるか、物理的な画質劣化と視覚的な画質劣化との相関性の低さ、画像の種類と画像保管の方法についての質問があった。主査の玉木教授より、評定実験の際の読み取り順序効果の影響、医用画像における画像圧縮の将来展望についての質問があった。申請者は、wavelet 圧縮は静止画像に関しては今後世界の標準的な圧縮方法になっていくであろうことを JPEG Committee の報告を引用して解答した。ROC 曲線作成と統計解析のプログラムについては、Metz らの報告を引用して解答した。また、JPEG 圧縮との比較、画像によって圧縮率を変える必要があることや低圧縮率では雑音低減効果により画質がよくなることを Erickson らの論文を引用して解答した。物理的な画質劣化と視覚的な画質劣化との相関性の低さについては、画像全体の圧縮誤差よりも原画像に含まれる低周波成分の割合の影響が大きいのではないか、ROC 曲線については観察者の脳病変の診断における経験年数の影響ではないかと推測した。病変選択の基準と病変の種類、読み取り順序効果はほとんど無視できる研究方法であったこと、他の撮像法や他の対象臓器では圧縮率は個々に決めなければならないことを述べた。将来展望については、医用画像にも wavelet 圧縮が取り入れられていくであろうこと、大きな圧縮率を達成するためには ROC 解析が必要であるが、一方でコンピューター技術の進歩による画像データ保管・伝送の能力と医用画像の増加の速度とのバランスも重要であることが述べられた。

医用画像の発生データ量は年々増加しており、発生データの圧縮が必要である。それゆえ、画像圧縮での許容できる圧縮率についての検討は重要である。この目的には ROC 解析が最適である。ROC 解析は労力と時間のかかる方法であるが、審査委員は申請者が ROC 解析を綿密に計画し実行していることを評価する。また、異なるマトリックスサイズの画像についての圧縮率が数学的圧縮誤差解析で予測できることを明らかにした点も注目値する。公開発表では、申告者は論文の内容を理路整然と発表した。質疑応答では、適宜文献を引用し論理的に解答した。

この論文は、注意深く行われた ROC 解析に基づいて臨床的に許容できる画像圧縮率を明らかにした点で高く評価される。今後 wavelet 圧縮が広く用いられると予測されること、PACS や teleradiology が普及しつつあることから、本研究の結果が広く臨床に応用されると期待される。

審査員一同は、これら成果を高く評価し、研究過程における研鑽なども併せ申請者が博士（医学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。