ノート

頭部MR画像正中矢状断からの脳梁の自動抽出と
その特徴解析によるアルツハイマー型痴呆客観的診断システムの検討金子智之・児玉直樹・歸山智治・川瀬康裕¹⁾
渋谷 眞¹⁾・福本一朗論文受付
2003年8月4日論文受理
2003年11月25日Code Nos. 535
862長岡技術科学大学大学院工学研究科
1)医療法人社団川瀬神経内科クリニック

緒言

アルツハイマー型痴呆は脳変性疾患であり、いったん発症すると回復することは望めず、早期発見によってのみ薬物投与や脳活性化訓練などで進行を遅らせることができるといわれている^{1, 2)}。そのため早期発見は非常に重要である。しかしながら、現在用いられている代表的な診断基準はICD-10, DSM-IV, NINCDS-ADRDAなどがあるが、必ずしも各診断基準は同一ではない³⁾。さらに、診断基準の内容は医師の主観や経験に依存してしまうため、MR画像を用いたアルツハ

イマー型痴呆客観的診断法の研究が近年盛んに行われている^{4~11)}。アルツハイマー型痴呆で画像から認められる特徴としては、海馬や内嗅野などの側頭葉内側部構造物の萎縮、脳室の拡大、また、それに伴う脳梁の変性が認められる。これらの特徴を用いた研究が、近年多く報告されている。Laaksoらは左右の海馬体積を測定し、アルツハイマー型痴呆患者と健常高齢者との間に有意な差が認められ、感度86.0%、特異度85.3%で、正判別率85.7%であったと報告している¹²⁾。また、Pantelらは、脳梁を手動で抽出し、脳梁全体の面

Automatic Extraction of Corpus Callosum from Midsagittal Head MR Image and Examination of Alzheimer-type Dementia Objective Diagnostic System in Feature Analysis

TOMOYUKI KANEKO, NAOKI KODAMA, TOMOHARU KAERIYAMA, YASUHIRO KAWASE,¹⁾
MAKOTO SHIBUKAWA,¹⁾ and ICHIRO FUKUMOTOGraduate School of Engineering, Nagaoka University of Technology
1)Kawase Neurology Clinic

Received Aug. 4, 2003; Revision accepted Nov. 25, 2003; Code Nos. 535, 862

Summary

We studied the objective diagnosis of Alzheimer-type dementia based on changes in the corpus callosum. We examined midsagittal head MR images of 40 Alzheimer-type dementia patients (15 men and 25 women; mean age, 75.4 ± 5.5 years) and 31 healthy elderly persons (10 men and 21 women; mean age, 73.4 ± 7.5 years), 71 subjects altogether. First, the corpus callosum was automatically extracted from midsagittal head MR images. Next, Alzheimer-type dementia was compared with the healthy elderly individuals using the features of shape factor and six features of Co-occurrence Matrix from the corpus callosum. Automatic extraction of the corpus callosum succeeded in 64 of 71 individuals, for an extraction rate of 90.1%. A statistically significant difference was found in 7 of the 9 features between Alzheimer-type dementia patients and the healthy elderly adults. Discriminant analysis using the 7 features demonstrated a sensitivity rate of 82.4%, specificity of 89.3%, and overall accuracy of 85.5%. These results indicated the possibility of an objective diagnostic system for Alzheimer-type dementia using feature analysis based on change in the corpus callosum.

Key words: Alzheimer-type dementia, Midsagittal image, MRI, Shape factor, Co-occurrence matrix

別刷資料請求先: 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1
長岡技術科学大学大学院 工学研究科 金子智之 宛

積と、脳梁を5分割したそれぞれの領域の面積を測定し、脳梁全体の面積、分割領域すべてにおいてアルツハイマー型痴呆患者は健常高齢者に比べて有意に小さく、重症度と脳梁領域の萎縮との間に相関関係があったと報告している¹³⁾。しかしながら、海馬などの側頭葉内側部構造物の自動抽出は困難であるため、すべて手作業で抽出しなければならず、診療の場で用いるには非現実的であり、診断の客観性に欠けているといえる。また、脳梁に着目した先行研究では脳梁を手動で抽出しているため、先に述べたことと同様のことがいえる。よって、医師の主観に頼ることなく容易に処理ができ、判別率の高い客観的診断法が必要とされる。さらに、現在脳ドックの試みが始まりつつあり、集団検診による診療人数が増加することから、放射線科医の負担が著しく大きくなることを考慮すると、自動的に脳梁の抽出と解析を行い、医師に解析結果を診断資料として提示する負担軽減のシステム構築が望まれると考えられる。

頭部MR画像正中矢状断は撮像時に位置決め用いられる画像である。そのため、冠状断、水平断などに比べて撮像条件に依存することが比較的少ないといえる。この画像を用いてアルツハイマー型痴呆の客観性に優れた診断やスクリーニングが可能であれば、脳ドックによる診療人数の増加による放射線科医の負担を軽減できると考えられる。

そこで本研究では、頭部MR画像正中矢状断を用いて脳梁の自動抽出を行い、抽出した脳梁を形状係数と同時生起行列を用いて定量的に評価することにより、健常高齢者とアルツハイマー型痴呆の判別が可能であるかを検討した。

1. 対象と方法

1-1 対象

(医)川瀬神経内科クリニックを受診した71名を対象にMRIを撮像した。なお71名のうち、健常高齢者31名(男性10名、女性21名、平均年齢73.4±7.5歳)、アルツハイマー型痴呆患者40名(男性15名、女性25名、平均年齢75.4±5.5歳)であった(Table 1)。アルツハイマー型痴呆患者は神経内科医によりNINCDS-ADRDA基準¹⁴⁾でprobable ADと診断され、脳血管性痴呆や前頭葉型痴呆などの他の痴呆疾患の疑いがなく、パーキンソン病やその他の神経疾患を合併していない患者を対象とした。健常高齢者は脳疾患の既往歴がなく、さらにMRIによる画像所見からも脳病変の疑いが認められない高齢者を対象とした。なお、年齢、性別において統計学的な有意差は認められなかった。

Table 1 Study subjects.

Dementia	No. of subjects	Age	Male/Female
Alzheimer-type	40	75.4±5.5	15/25
Control	31	73.4±7.5	10/21
Mean±S.D.			

Fig. 1 Original image.

1-2 撮像方法

MRIは、Siemens社製Magnetom P8 plus(0.2T)で行い、T₁強調(3D法、TR50ms/TE12ms、Flip angle 40°)矢状断画は正中矢状断を用い、3mm厚で撮像した。また、MR画はスキャナで取り込み、ビットマップ形式で240×240 pixel、256階調でデジタル化した。

1-3 脳梁抽出

本研究ではまず入力画像の正中矢状断画像から脳梁の抽出を行った。抽出の手順は原画像(Fig. 1)に対し、(1)式のような線形濃度変換処理を行った。線形濃度変換処理とは、画像の許容濃度値域の一部分にしか分布していない場合、濃度値域を許容濃度値域全体に線形拡大し、コントラストを改善する手法である。ここで画像の濃度値域を $[x_{\min}, x_{\max}]$ 、画像出力の許容濃度値域を $[y_{\min}, y_{\max}]$ とした¹⁵⁾。

$$y = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot (x - x_{\min}) + y_{\min} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式(1)によって得られた画像は、明るい濃度値を有する画素はさらに明るく、暗い濃度値を有する画素はさらに暗くなる。そこで、今後の処理を容易にするた

Fig. 2 Sector template.

めに、(1)式により得られた処理画像の濃度値から原画像の平均濃度値を差分することで低周波成分除去を行った。差分画像に対し、作成した扇形テンプレート(Fig. 2)を用いてテンプレートマッチングを行い、テンプレート内の濃度値が最大となる領域を検索し、テンプレートのサイズで切り出しを行った。テンプレートの扇形領域は、外径円の半径94pixel、内径円の半径67pixel、開始角43°、終了角137°として作成し、テンプレートサイズは100×150 pixelとした。

切り出した画像に対し、平均値を閾値として2値化処理を行った。その後、2値化画像に対して4近傍収縮処理を以下の条件式に従い行った。ここで、1は画像上で白を、0は画像上で黒を示し、 g_{ij} は出力画像の濃度値、 f_{ij} は入力画像の濃度値である¹⁵⁾。

$$g_{ij} = \begin{cases} 0: f_{ij} \text{ または } 4 \text{ 近傍のいずれかが } 0 \\ 1: \text{その他の場合} \end{cases} \quad (2)$$

作成した収縮画像内にはいくつかの図形が存在するため、ラベリング処理により同じ連結成分に属するすべての画素に同じラベルの割り当てを行った。その後、ラベリング処理を行った画像内で面積が最大である図形を抽出し、4近傍膨張処理を4近傍収縮処理条件と逆の条件で行った。

膨張処理を行った後、膨張処理画像と原画像を乗算することで脳梁画像を作成した(Fig. 3)。なお、抽出した脳梁画像の確認は神経内科医によって行われた。

1-4 形状係数

脳梁は左右の大腦半球の情報を交換する交連線維の集まりである。アルツハイマー型痴呆において脳梁は灰白質の萎縮、すなわち、側頭葉内側部構造物である海馬などの萎縮や大腦皮質のびまん性萎縮に伴い交連線維が減少することにより形状が変化すると考えられている¹⁶⁾。そこで、脳梁形状の指標として形状係数を用いて特徴量を算出した。形状係数として用いた特徴量は、対象物の輪郭形状が円形近似しているほど値が

Fig. 3 Example of extracted image.

大きくなる円形度(SF1)、対象物の輪郭形状が円形近似していないほど大きな値をとる不整度(SF2)と、対象物の輪郭形状が細長くなっているほど大きな値をとる針状度(SF3)とし、それぞれ(3)、(4)、(5)式に基づいて算出した。

$$SF1 = \frac{(MXLNG)^2}{AREA} \times \frac{\pi}{4} \quad (3)$$

$$SF2 = \frac{(PERI)^2}{AREA} \times \frac{1}{4\pi} \quad (4)$$

$$SF3 = \frac{MXLNG}{BR'DTH} \quad (5)$$

ただし、AREAは面積、MXLNGは絶対最大長、PERIは周囲長、BR'DTHは幅とする。なお、幅は絶対最大長に平行かつ脳梁輪郭の任意の1点に接する2本の直線で画像をはさんだときの2直線間の最短距離とした¹⁵⁾。

1-5 同時生起行列

アルツハイマー型痴呆における脳実質は局所的に濃度値が変化すると報告されている¹⁷⁾。アルツハイマー型痴呆では脳梁においても脳梁内部の濃度値に変化が現れると考えられる。そこで本研究では、アルツハイマー型痴呆と健常高齢者の脳梁内部の濃度値を比較するためにテクスチャ特徴量の一つである同時生起行列を用いた。

同時生起行列とは、画像の濃度*i*の点から一定の変位 $\delta=(r, \theta)$ だけ離れた点の濃度が*j*である確率 $P_{\delta}=(i, j)$ を要素とする同時生起行列を求め、その行列から14種類の特徴量を算出し、それらの値によってテクスチャを特徴づける手法である。同時生起行列は単に数学的に計算できる特徴量であって何を表しているのか定かではないため、テクスチャ特徴としてはASM(angular

second moment), *CON*(contrast), *COR*(correlation), *VAR*(variance), *IDM*(inverse difference moment)の5種類と*ENT*(entropy)を用いるのが一般的であるため^{17~19)}, 本研究においても, *ASM*, *CON*, *COR*, *VAR*, *IDM*, *ENT*の6種類を用いた. θ の値については, 先行研究の結果において, すべての角度において同程度の有意な差が認められたと報告されているため, 本研究も先行研究同様に $\theta=0^\circ$ のときの特徴量をそれぞれ(6)~(16)式に基づいて算出した¹⁷⁾. なお, 本研究では, 演算処理量を減らすために, 256階調から64階調に変換して特徴量を算出した^{15, 17~19)}.

$$ASM = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \{P_{\delta}(i, j)\}^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$CON = \sum_{k=0}^{n-1} k^2 \cdot P_{x-y}(k) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$COR = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} i \cdot j \cdot P_{\delta}(i, j) - \mu_x \mu_y}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$VAR = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} (i - \mu_x)^2 P_{\delta}(i, j) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$IDM = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \frac{1}{1 + (i - j)^2} \cdot P_{\delta}(i, j) \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$ENT = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} P_{\delta}(i, j) \cdot \log\{P_{x+y}(k)\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

ただし,

$$P_x(i) = \sum_{j=0}^{n-1} P_{\delta}(i, j), \quad P_y(j) = \sum_{i=0}^{n-1} P_{\delta}(i, j), \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$P_{x-y}(k) = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} P_{\delta}(i, j) \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$|i - j| = k$$

$$\mu_x = \sum_{i=0}^{n-1} i P_x(i), \quad \mu_y = \sum_{j=0}^{n-1} j \cdot P_y(j) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=0}^{n-1} (i - \mu_x)^2 P_x(i) \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{j=0}^{n-1} (j - \mu_y)^2 P_y(j) \quad \dots\dots\dots (16)$$

1-6 統計学的検討

SF1, *SF2*, *SF3*, *ASM*, *CON*, *COR*, *VAR*, *IDM*, *ENT*の統計学的検討は, Mann-WhitneyのU検定で行った. データは平均値±標準偏差で示した. また, 判別分析はマハラノビスの汎距離を用いて行った. なお, 有意水準は5%とした.

2. 結果

本研究ではまず頭部MR画像正中矢状断から脳梁の抽出を行った. その結果, 71例中64例(90.1%)の抽出

Table 2 Results of shape factor.

	Alzheimer-type	Control	p-value
SF1	7.761±1.077	6.862±0.815	<0.001
SF2	5.356±0.792	4.581±0.568	<0.001
SF3	19.80±4.76	17.79±4.230	n.s.

Mean±S.D.
n.s.=not significant

Table 3 Results of co-occurrence matrix.

	Alzheimer-type	Control	p-value
ASM	0.958±0.006	0.952±0.007	<0.001
CON	4.021±0.523	4.547±0.763	0.0059
COR	0.026±0.002	0.026±0.004	n.s.
VAR	25.97±3.91	29.93±4.68	<0.001
IDM	0.981±0.003	0.978±0.003	0.0012
ENT	0.245±0.034	1.432±0.226	<0.001

Mean±S.D.
n.s.=not significant

Table 4 Results of discriminant analysis.

		Result of discriminant analysis	
		Alzheimer-type	Control
Real group	Alzheimer-type	28	6
	Control	3	25

に成功し, そのうちアルツハイマー型痴呆は36例(90.0%), 健常高齢者28例(90.3%)であった.

抽出した脳梁に対し, 形状係数, 同時生起行列の特徴量を算出した. 形状係数の結果をTable 2に示し, 同時生起行列の結果をTable 3に示す. 求めた特徴量のうち, 健常高齢者群とアルツハイマー型痴呆群の間で, 統計学的有意な差が認められたものは, 形状係数では*SF1*, *SF2*であり, 同時生起行列では*ASM*, *CON*, *VAR*, *IDM*, *ENT*であった. なお, 脳梁を抽出できた64症例においても, 年齢, 性別において統計学的に有意な差は認められなかった. 有意な差が認められた7種類の特徴量を用いて判別分析を行った結果, 感度82.4%, 特異度89.3%, 正判別率85.5%であった(Table 4).

3. 考 察

先行研究において, 脳梁の変性と側頭葉内側部構造物である海馬, 海馬傍回の萎縮に高い相関があったと報告されている¹³⁾. また, 脳梁の変性とアルツハイマー型痴呆の重症度に高い相関があったとも報告されている¹³⁾. このことから脳梁の変性とアルツハイマー型痴呆には密接な関係があると考えられる.

今回われわれは, MRIで位置決めに用いられる頭部MR画像正中矢状断を用いて, 画像中の脳梁の自動抽

出を試みた。その後、形状係数、同時生起行列から算出される特徴量を用いてアルツハイマー型痴呆の客観的診断を試みることで、放射線科医の負担を軽減し、診療の場で用いることができる判別率の高い客観的診断法の確立の可能性を検討した。その結果、71例中64例(90.1%)の抽出に成功した。しかしながら、脳梁抽出に用いた手法では最初の試みとしては良好ではあったが、臨床の場で用いるためには更なる抽出精度向上の必要性があると考えられる。脳梁の抽出が不可能であった症例の原画像をFig. 4、出力結果をFig. 5に示す。脳梁の抽出ができなかった画像の特徴としてはまず、脳梁の変性が著しく、形状が細くなっていることが考えられる。この画像から脳梁を抽出する際、収縮処理で脳梁が切れてしまう傾向があると考えられる。また、その他の特徴として、脳梁と大脳皮質間で輝度の差が著しく小さいためにつながっていることが考えられる。このような脳梁を抽出するためには、微細な濃度値の変化を捉えられる手法、膨張、収縮処理を必要としない手法を検討する必要性があると考えられる。

脳梁の定量評価の結果、形状係数から算出できる3種類のうち2種類、同時生起行列から算出できる6種類のうち5種類に有意な差が認められた。この結果から、形状係数は脳梁の輪郭形状の変化を捉えることができたと考えられる。また、同時生起行列は脳梁の局所的濃淡変化を捉えることができたと考えられる。

判別分析の結果は、感度82.4%、特異度89.3%、正判別率85.5%であった。しかしながら、自動抽出法同様に臨床の場でのアルツハイマー型痴呆客観的診断法としての実用を考えると更なる判別率向上が必要であると考えられる。また、脳ドックでのスクリーニング法としてはアルツハイマー型痴呆を見逃さない必要性、すなわち感度が非常に重要である。そのため、感度の更なる向上が必要であると考えられる。

脳梁が変性する疾患はアルツハイマー型痴呆だけでなく、水頭症などでも脳梁が変性するといわれている²⁰⁾。今回はアルツハイマー型痴呆と健常高齢者との判別について検討したが、他の痴呆疾患や脳梁が変性する疾患とアルツハイマー型痴呆との比較を行っていない。アルツハイマー型痴呆と他の痴呆疾患、脳梁が変性する疾患の区別が可能であれば、脳梁に着目したアルツハイマー型痴呆客観的診断法の確立が可能であると考えられる。

本研究では脳梁を自動抽出し、定量評価することによりアルツハイマー型痴呆客観的診断法確立の可能性を検討した。今後、脳ドックで実用可能なアルツハイマー型痴呆客観的診断システムに発展させるため、アルツハイマー型痴呆と他の痴呆疾患ならびに脳梁の変

Fig. 4 Example of non-extracted original image.

Fig. 5 Example of non-extracted image of extracted result.

性する疾患との比較、アルツハイマー型痴呆の重症度分類による判別率の検討を行わなければならないと考えられる。

4. 結 言

われわれは、頭部MR画像正中矢状断から脳梁の自動抽出を試み、脳梁を形状係数と同時生起行列を用いて定量評価し、アルツハイマー型痴呆患者と健常高齢者を比較することでアルツハイマー型痴呆客観的診断システムの構築の可能性について検討を行い、以下の結果を得た。

- 1) 形状係数でアルツハイマー型痴呆患者と健常高齢者の間で有意な差が認められたのはSF1とSF2であった。

- 2) 同時生起行列でアルツハイマー型痴呆患者と健常高齢者の間に有意な差が認められたのは *ASM*, *CON*, *VAR*, *IDM*, *ENT* であった。
- 3) 有意差の認められた 7 種類の特徴を用いて判別分析を行った結果、感度 82.4%, 特異度 89.3%, 正判別率 85.5% であった。このことから脳梁に基づく特徴量によるアルツハイマー型痴呆の客観的診断の可能

性が示唆された。

- 4) 頭部 MR 画像正中矢状断から脳梁の自動抽出を試み、抽出精度は 71 例中 64 例 (90.1%) であった。最初の試みとしては良好であるが、抽出精度の向上を試みる検討が必要である。
- 5) アルツハイマー型痴呆と他の痴呆疾患ならびに脳梁が変性する疾患との比較を行う必要性がある。

参考文献

- 1) 田中由利子, 羽生春夫, 櫻井博文, 他: アルツハイマー病患者の塩酸ドネペジル治療による responder の検出—MRI による検討。日本老年医学会雑誌, 40(3), 261-266, (2003)。
- 2) 成田耕介, 小野寿之, 玉井 顯, 他: デイケア通所地方患者における認知機能の縦断的検討。老年精神医学雑誌, 12(2), 155-162, (2001)。
- 3) 日本老年精神医学会: アルツハイマー型痴呆の診断・治療マニュアル。ワールドプランニング, (2001)。
- 4) Visser PJ, Verhey FRJ, Hofman PAM, et al.: Medial temporal lobe atrophy predicts Alzheimer's disease in patients with minor cognitive impairment. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 72, 491-497, (2002)。
- 5) 歸山智治, 児玉直樹, 島田哲雄, 他: アルツハイマー型痴呆の MRI 画像に対するランレングス行列の応用。日放技学誌, 58(11), 1502-1508, (2002)。
- 6) Killiany RJ, Hyman BT, Gomez-Isla T, et al.: MRI measures of entorhinal cortex vs hippocampus in preclinical AD. *Neurology*, 58, 1188-1196, (2002)。
- 7) Mizuno K, Wakai M, Takeda A, et al.: Medial temporal atrophy and memory impairment in early stage of Alzheimer's disease: an MRI volumetric and memory assessment study. *Journal of Neurological Sciences*, 173, 18-24, (2000)。
- 8) Wolf H, Grunwald M, Kruggel F, et al.: Hippocampal volume discriminates between normal cognition; questionable and mild dementia in the elderly. *Neurobiology of Aging*, 22, 177-186, (2001)。
- 9) Goncharova II, Dickerson BC, Stoub TR, et al.: MRI of human entorhinal cortex: a reliable protocol for volumetric measurement. *Neurobiology of Aging*, 22, 737-745, (2001)。
- 10) Teipel SJ, Bayer W, Alexander GE, et al.: Regional pattern of hippocampus and corpus callosum atrophy in Alzheimer's disease in relation to dementia severity: evidence for early neocortical degeneration. *Neurobiology of Aging*, 24, 85-94, (2003)。
- 11) Hanyu H, Asano T, Sakurai H, et al.: Diffusion-weighted and magnetization transfer imaging of the corpus callosum in Alzheimer's disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 167, 37-44, (1999)。
- 12) Laakso MP, Hallikainen M, Hanninen T, et al.: Diagnosis of Alzheimer's disease: MRI of the hippocampus vs delayed recall. *Neuropsychologia*, 38, 579-584, (2000)。
- 13) Pantel J, Schroder J, Jauss M, et al.: Topography of callosal atrophy reflects distribution of regional cerebral volume reduction in Alzheimer's disease. *Psychiatry Research: Neuroimaging Section*, 90, 181-192, (1999)。
- 14) McKhann G, Drachman D, Folstein M, et al.: Clinical diagnosis of Alzheimer's disease: Report of the NINCDS-ADRDA Work Group under the auspices of Department of Health and Human Services Task Force on Alzheimer's disease. *Neurology*, 34, 939-944, (1984)。
- 15) 高木幹雄, 下田陽久: 画像解析ハンドブック。東京大学出版会, (1991)。
- 16) Kodama N, Shimada T, Kobayashi Y, et al.: The possibility of Magnetic Resonance Imaging-Based Diagnosis of Alzheimer-type Dementia. *IEICE TRANSACTIONS of Information and Systems*, E85-D(3), 592-596, (2003)。
- 17) 児玉直樹, 島田哲雄, 歸山智治, 他: 軽度アルツハイマー型痴呆における客観的診断の可能性。Med Imag Tech, 21(4), 281-285, (2003)。
- 18) 画像処理標準テキストブック編集委員会: 画像処理標準テキストブック。画像情報教育振興協会, (1999)。
- 19) 児玉直樹, 島田哲雄, 歸山智治, 他: テクスチャ特徴量によるアルツハイマー型痴呆客観的診断への応用。Med Imag Tech, 21(1), 41-48, (2003)。
- 20) Sener RN: Callosal changes in obstructive hydrocephalus: observation with FLAIR imaging, and diffusion MRI. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 26, 333-337, (2002)。

図表の説明

- Fig. 1 原画像の例
 Fig. 2 扇形テンプレート
 Fig. 3 抽出した脳梁画像の例
 Fig. 4 脳梁を抽出できなかった原画像の例
 Fig. 5 脳梁を抽出できなかった画像の抽出結果

- Table 1 被験者
 Table 2 形状係数の結果
 Table 3 同時生起行列の結果
 Table 4 判別分析の結果