

ドラムスキャナーとスパイダー (SPIDER) を利用した画像処理

医療技術短期大学部 小島 一彦

10数年前、計算機が今ほどすぐれた機能をもたないころから、計算機を利用して図形画像の画質改善や特徴抽出や強調を試みる、いわゆる計算機画像処理に関する研究が行なわれてきた。しかしながら、かなり小さな画像でも、画像として取り扱う場合にはそのデータ量は多くなり、計算機への入出力や演算の複雑さのため、また、メモリー容量の不足のため、画像処理の進展が障害されてきた。さらに、研究対象とする画像の種類や処理の目的も専門分野によってまちまちで、特色ある取り扱いが必要とされた。近年、計算機のメモリー容量が増し、演算速度が高速化するとともに、ソフトウェアも充実し、処理機能が高められ大量データを扱う画像処理が一段と向上した。ここでは、一つの医用画像を例にとって計算機画像処理の手法を紹介する。

1. 医用画像

従来より、医用画像の代表的なものとして、X線写真とRI（放射性同位元素）画像があげられる。これらは現在も有用な診断画像として多く利用されている。とくに、専用のコンピュータ内蔵の画像処理装置でオンラインで処理されるシステムが用いられている。また、最近ではその他に超音波画像、NMR（核磁気共鳴）画像などの新しい原理に基づく画像も臨床医学に応用され、診断能を高める役割を果たしている。さらに、基礎的研究には臓器および組織のオートラジオグラムが重要な情報を提供する医用画像として広く利用されている。本報で用いた画像はラット脳のオートラジオグラムである。オートラジオグラムとはトレーサとして放射性標識化合物を与え、臓器や組織の切片を用いて各部の形態、機能をトレーサの放射能分布から知るため、この放射能分布をX線フィルムの黒化度すなわち、濃度分布として記録したものである。したがって、このオートラジオグラムを計算機で画像処理するには、X線フィルム上の濃度変化を高分解能な画像読取り装置でデジタル化し、画像を定量化することが必要である。この定量化した画像を原画像データとして、濃度変化をより強調したり、分布領域の大きさなどを判別することを目的とした処理を行う。なお、医用画像にはオートラジオグラムのようにフィルムに記録された画像だけではなく、医療機器から直接デジタルデータとして出力される画像データも多くある。このような場合は、むしろ医療機器からのデータ形式と計算機のデータ入力形式が一致することが重要である。

2. 計算機画像処理

どのような画像データを扱う場合でも、計算機の入力機器の進歩や新しいプログラム機能の導入、さらに出力機器の開発とともに、これらのデータ収集、処理および表示における手法に著しい進展が見られると考えられる。すなわち、計算機画像処理の過程はおもに、

- ① データ収集（画像データの計算機入力）
- ② データ処理（画像処理アルゴリズム）
- ③ データ表示（処理画像の出力）

のような3つの機能からなるといえる。とくに、濃淡画像の場合には、反射光あるいは透過光の強度をデジタル化して入力することが必要である。小さな画像でも画素数の取り方によって、大量データとなる。例えば 64×64 、 128×128 、 256×256 さらに大きくなると 512×512 と、とてもマニュアルでの入力はほぼ不可能で、直接オンラインで入力できる機器の開発が望まれていた。なかでも、簡便なデータ入力機器としてビジコンカメラがある。すなわち、画像を小型のテレビカメラ（ITV）でレンズ系を通して電気信号に変換できるため、このビデオ信号を順次コンピュータに送り込む装置があり、センターにも設置され、その使用方法についても解説がなされている¹⁾。しかし、テレビカメラの場合、試料とカメラの位置、明るさなど多くの外的条件によってデータが変動することと、分解能が良くないため、より精度の高い機器の開発と導入がまたれていた。

この度、計算機センターに高分解能画像読取り装置の特別設備費が認められ、本年3月導入のはこびとなり、画像データの入力に利用できることになった。ここに、その紹介をかねさせていただく。

2-1 ドラムスキャンデンシトメータ（高分解能画像読取り装置） による画像読取り

本装置は阿部設計製のModel 2605のドラムスキャナー方式（回転走査）すなわち、ドラム回転型の画像読取り装置である。試料を回転ドラムに固定し、回転させながら試料の各部の濃度を測定、その測定値をデジタル化し、直結の専用磁気テープ装置に送り、一定のフォーマットで磁気テープに記録させる方式をとっている。Fig. 1にこの装置の外観を、Fig. 2に大型計算機との接続システムをそして、Table. 1に仕様の一部を示した。なかでも、試料サイズは $345 \times 430\text{mm}$ （A3版）まで取付けられ、透過濃度、反射濃度の測定、および3色カラー濃度測定も同時にできる特長をもっている。したがって、フィルム、印画紙いつれの試料でも測定可能である。測定精度は測定アパーチャ（開口）と測定のサンプリングピッチによると考えられる。測定アパーチャは $25 \mu\text{m} \sim 1000 \mu\text{m}$ の正方形で連続可変でき、サンプリングピッチも $25 \mu\text{m} \sim 1000 \mu\text{m}$ の間6段階選択可能である。

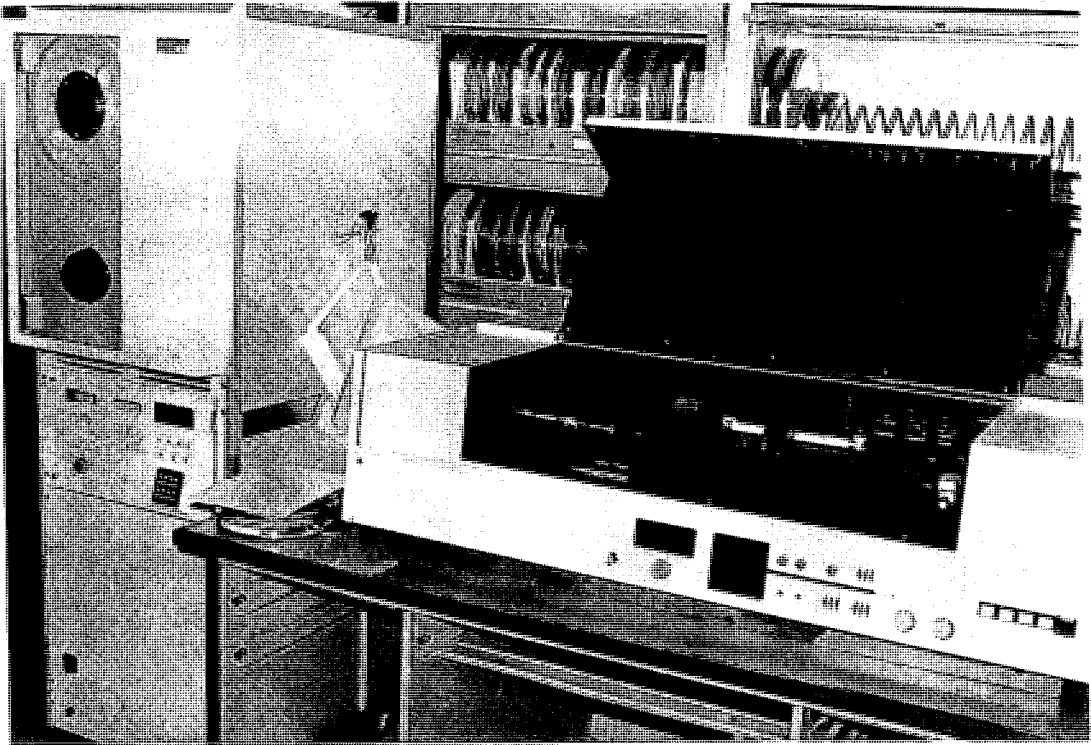


Fig.1 ドラムスキャンデンシトメータ (画像読取り装置) 2605 型

Table.1 ドラムスキャナー (画像読取り装置) 2605 型の仕様

測定対象	白黒・カラーの透過および反射濃度
濃度範囲	0.0 ~ 4.0D
試料サイズ	345 × 430mm
測定アパーチャ	25 × 25 μm ~ 1000 × 1000 μm 連続可変
サンプリングピッチ	25, 50, 100, 200, 500, 1000 μm 6 段階
濃度出力	アナログ電圧 0.0 ~ 4.0V 1V/D デジタル出力 8ビット (256 階調) 白黒、赤、緑、青 4チャンネル出力
ドラムスピード	1, 2, 5, 10 rps 4 段階
磁気テープ記録形式 (1304型)	1600/800BPI 8ビット (画素当り) ラベル付き/ラベルなし

今回、実験に用いたラット脳の³H-QNBによる受容体オートラジオグラムの試料は六つ切のX線フィルムにそれぞれ2.5 × 2.5cm²程度のオートラジオグラムが多く記録されている。Fig.3にラットの切片断面の位置とドラムスキャナーで読取りデジタル化された画像を示す。

この装置を用いて、画像を読取る操作手順は、中野康英著の操作手順²⁾に従って実施した。まず、

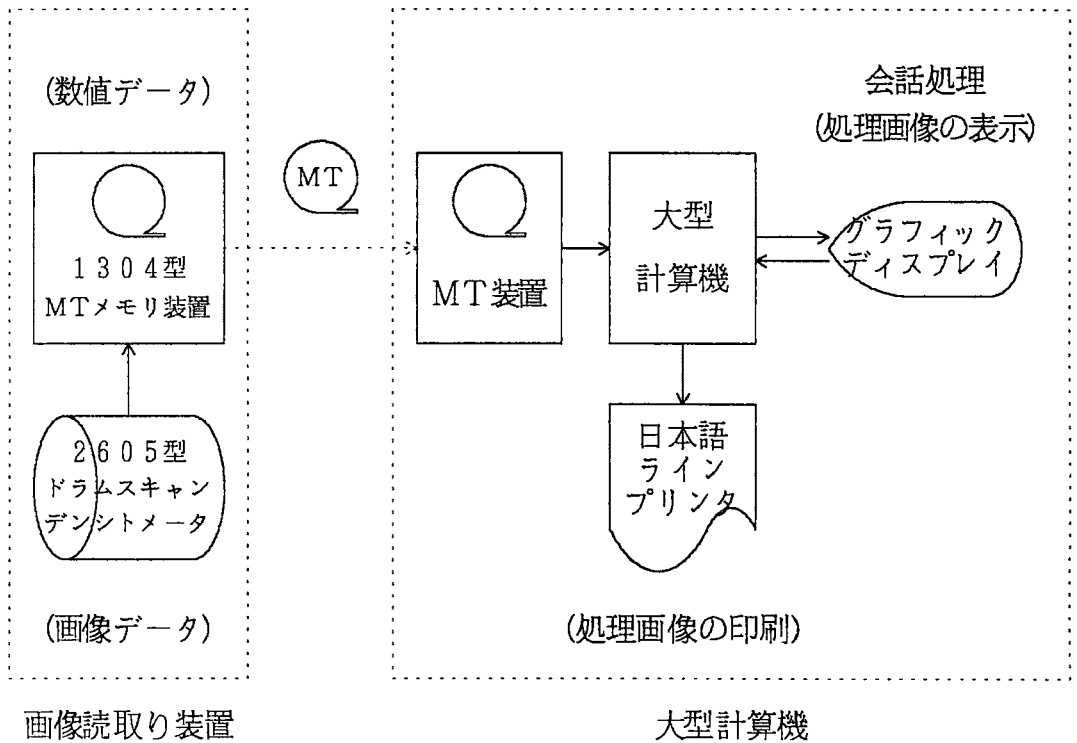
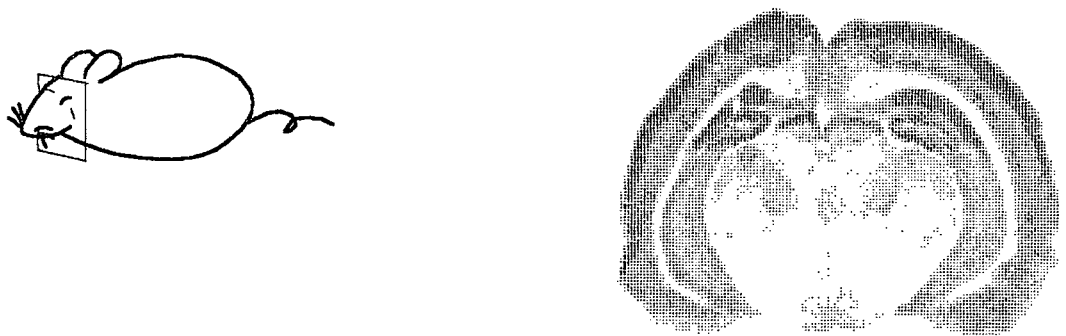


Fig.2 ドラムスキャナと大型計算機の接続システム



A ラットの脳断面の位置 B 脳断面のオートラジオグラムのNLP出力

Fig.3 ラット脳の³H-QNBによる受容体オートラジオグラム

回転ドラムへの試料のはり付けから始めた。注意事項ともなっている回転ドラムの濃度校正のため

の参照部以外の場所に試料をテープで固定した。X線フィルムに記録されている1つのオートラジオグラムの大きさは2.5cm×2.5cm内におさまっているので、この領域を測定アパーチャ50 μmで画素数512×512でデータ変換するようにした。

開口の焦点調整は横窓よりビームを見て調整しなければならないことと、試料の位置にビームをもってきて、スキャン開始点を決めることが重要である。とくに、スキャン領域が関心領域を含んでいるかどうかの確認をする必要がある。測定点の位置座標はデジタル表示されるため、位置決定には便利であるが、正確な位置調整となると慎重にならなければならない。

さらに、試料の添付、位置の確認が終り、画像の読取りを開始するとき、濃淡レベルのデジタル化を試料の濃度分布を見て、濃度0～4Dを256等分するか、または、0～2Dを256等分するかを決める必要がある。すなわち、濃度分布が広範囲にわたっているときは0～4Dを選択した方が良く、もし、濃度がうすいところに注目する必要があるれば0～2Dを選んだ方がよい。なお、濃度0Dは参照部の値を基準にデジタル化しているため、基準値の調整をわすれないことが重要である。

この装置では、専用の磁気テープ装置にデータを書き込む方式をとっている。データのヘッダーにデータ数などが記録できるため、メモとなり便利である。これらの準備が終了したのち、ドラムスキャナーの実行スイッチ（RUN）をONにすることにより、自動的に画像読取りを開始する。

データが収録された磁気テープをオフラインで計算機に導入する手順も操作手順書に示されているように、KPFDによって磁気テープデータをデータセットにおさめるようにする。なお、画像データはいづれにしても大量データであるため、収納データセットの領域の確認が必要である。

2 - 2 画像処理へのスパイダーの応用

1) スパイダー (SPIDER) とは

これまで、各分野でそれぞれの目的のために研究開発された画像処理アルゴリズムをサブルーチン・プログラム・パッケージとしてまとめ、広く流通させることを目的に開発されたプログラム群で、スパイダー (SPIDER: Subroutine Package for Image Data Enhancement and Recognition) と呼んでいる。このプログラム・パッケージはいろいろの画像処理プログラムをどの計算機でも利用できるように、共通性の高いFORTRAN言語で公開し、しかも、画像処理部分のみをサブルーチン化したものである。なぜなら、画像の入出力を扱うと計算機システムの構成によっては利用できない場合が生じるからである。したがって、画像処理のみとし、画像データの準備と結果の処置はユーザプログラムの責任としている点に制約がある。

このスパイダー・プログラム・パッケージの基本方針は画像処理ソフトウェアの財産としての蓄積・交換を目的としており、今後の画像処理の充実発展のため、すべてのアルゴリズムを公開している。このことは同一処理でもことなるアルゴリズムがあり、プログラム手法も読取れるため、ユーザ側において、特色のある利用法や改良がこの公開プログラムを参照して可能である。画像処理の研究にと

って非常に有意義である。Table.2 にプログラムの種類を示す。

Table.2 SPIDER画像処理プログラムの内容

直交変換 (1次元および2次元, 順変換および逆変換)

FFT (基数…2, 混合, 任意), WHT, Haar 変換, Slant変換, 離散的Cosine変換 (バタフライ形式, FFT形式) 関連ルーチン…フーリエスペクトル計算, WHT スペクトル計算 (2種), たたみこみ (直接法, FFT法), 相関 (直接法, FFT法), パワースペクトル面での分布計算 (半径方向, 角度方向) と窓処理 (矩形, ガウス, ハミング, ハニング), 周波数領域での微分フィルタ (gradient, Laplacian), その他。

位置合わせ

相関法 (粗サーチ, 精サーチ), SSDA 法 (固定又は傾斜しきい値, しきい値の指定又は自動決定, 粗サーチ又は精サーチ), アフィン変換 (4点線形補間, 9点2次補間, 補間なし) とパラメータ決定 (回転角, 参照点), 一般2次変換 (アフィン変換と同じ3種)。

強調と平滑化

ヒストグラム変換 (平坦化, 双曲線化, 一般), 反復による強調とノイズ除去 (2種), ヒステリシス平滑化 (標準型, 対称型), E-フィルタ, 高速メディアン・フィルタ, エッジ保存平滑化。

復元

逆フィルタ (4種), ウィーナ・フィルタ, 制限つき最小2乗フィルタ, SVD による擬似逆変換 (3種)。

エッジと線の検出

差分型 (差分, gradient, Laplacian, Roberts, Sobel, Prewitt), テンプレート・マッチング型 (Prewitt, Kirsch, Robinson, Frei & Chen), Hueckelオペレータ (Hueckel, Mero & Vassy), 反復型 (Kasvand), Hough変換 (Duda & Hart, Perkinson & Binford), ヒューリスティック探索法, その他。

弛緩法の応用

基本ルーチン群, 線の強調 (係数の指定又は自動決定2種), エッジの強調, ノイズ除去。

テクスチャー解析

Cooccurrence 行列, 差分統計量, 局所的極値, ランレンジス, 自己回帰モデル, 自己相関, フーリエ特徴, テクスチャーエッジ検出, テクスチャーエッジ保存平滑化。

領域分割

KS 検出法, ヒューリスティック法, 反復合併法, 反復しきい値処理法, Split and Merge法, その他。

幾何学的特徴の処理

連結成分の処理 (ラベル付け, ラベルの通し番号化, 取捨選択), 境界線抽出, 膨張と収縮, 細線価 (4種), 縮退化 (5種), WPM 法, 距離変換とスケルトン, 境界線の記述 (チェーン符号, 傾き, 曲率, フーリエ記述), 形状的特徴 (始点, 重心, 外接長方形, 面積, 周囲長, サイズ, 伸長度, モーメント, フーリエ記述)。

基本的処理

線形フィルタ, 正規化, ヒストグラム作成, 断面・投影の計算, しきい値処理 (各種) としきい値選択 (4種), 基本統計量, 形変換, 画像定数間, 画像間演算, 量子化, 代入, データ転送。

その他

図形 (テストパターン) の発生, LP への画像出力。サービスプログラム (3種)。

2) スパイダー (SPIDER) の仕様

FORTTRAN 言語のレベルは現在の国産の計算機の大部分の機種に適合するものであるが、おもな

注意点をTable.3に示した。

金沢大学計算機センターのFORTRAN77では十分カバーしている。スパイダー・パッケージに含まれるプログラムはすべてサブルーチン形式になっている。これらのサブルーチンではFig.4に示すように入力画像を2次元配列IP (I, J), 出力画像をJP (I, J)で示し、(I, J)はそれぞれの画像の画素あるいは単に点を示すこととしている。また、2次元配列の方式は水平方向をI、垂直方向をJにとっている。これは、単に入力画像を出力画像にわたすだけの時は問題にならないが、入力装置や出力装置のスキャン方向がことなる場合には注意が必要である。

このプログラム・パッケージにおさめられているサブルーチンにはそれぞれサブルーチン名がつけられており、さらに引数の有無も明記されているので、FORTRAN言語で書かれたプログラム中でこれらの処理サブルーチンを使用する際には、普通のサブルーチンを呼ぶ場合と同様に、CALL文でサブルーチン名をよべばよい。

Table.3 SPIDERサブルーチンの仕様の注意点

-
- (a) データの型と長さ：
 - 整数……半語長 (2 バイト) 及び倍語長 (8 バイト) は認めない。
 - 実数 倍精度 (8 バイト) までとする。
 - 複素数…単精度 (8 バイト) までとする。
 - (b) 文字型定数……' $x_1x_2\cdots x_n$ ' を許し、むしろホラリス型をさける。
 - (c) 16進型定数及びFORMAT中のZ変換 (16進) ……許す。
記法は $Zx_1x_2\cdots x_n$ とし、他の記法や8進型しか使用できないユーザは各自変更する。
 - (d) 配列の最大次元数……7 (JIS 7000 では3)
 - (e) 使用してよい文字……JIS 7000 の47文字の他に、英字として\$ (または\$)、特殊文字として&と'を追加。
 - (f) 継続行の最大行数……19。継続行の指示にはなるべく文字&を用いる。(free format用)
 - (g) 注釈行のあとの継続行……不可。
 - (h) DOの入れ子の深さ……20以下。
 - (i) DOの拡張範囲……禁止する。
 - (j) DOの最小繰り返し……初期値が終値を超えた時の実行を故意に利用する用法は使わない。
 - (k) DOの制御パラメータ……JIS 7000と同じく算術式を許さない。
 - (l) 多重代入文……不可。
 - (m) 混合演算……許すが、なるべく避ける。
 - (n) 計算型GOTO文……GO TO ($K_1K_2\cdots K_N$), iについて $i \leq 0$ 、または $i > n$ となることを禁止する。
 - (o) 配列の添字……JIS 7000と同じ制限付きの整数型の式。
 - (p) IMPLICIT宣言文……許す。
 - (q) NAMELIST文……許す。
 - (r) ENCODE及びDECODE文……不可。
 - (s) ENTRY文……許す。
-

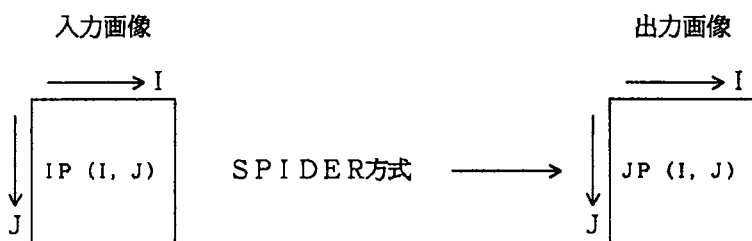
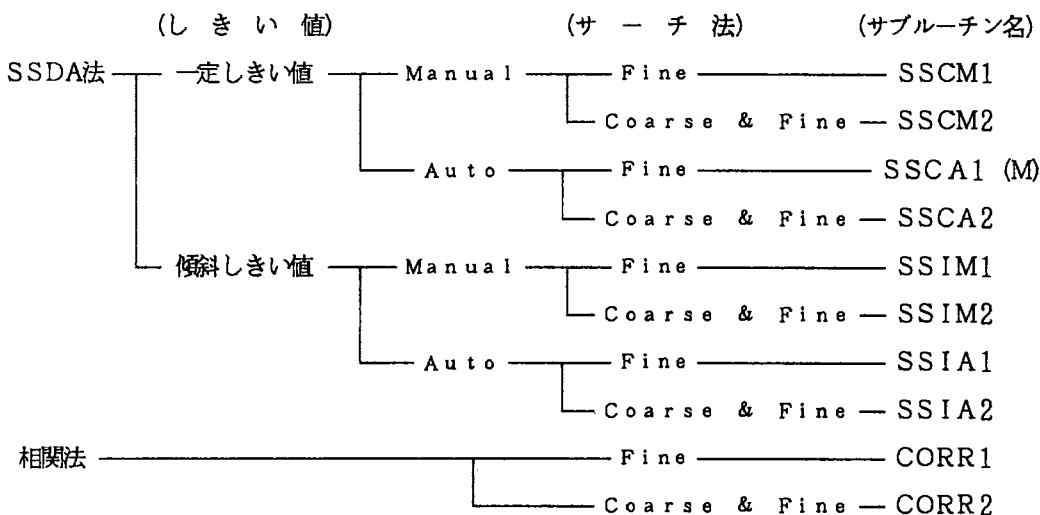


Fig.4 2次元配列の添字と画像の対応

3) おもな画像処理プログラム

スパイダー (SPIDER) ・プログラム・パッケージは、Table.2に示したように約400個のサブルーチンからなっている。大部分は単一処理として独立しているが、一部には2~3個のサブルーチンを引いて用いるものも含まれている。なお、独立サブルーチンのような場合にはメインプログラムに直接付加しても利用できる。

Table.4 SSDA法及び相関法による重ね合わせのサブルーチン



(a) 位置合わせ：画像を比較するとき、位置を変えたり、拡大することが必要である。このパッケージに SSDA (Sequential Similarity Detection Algorithm: 残差逐次検定法) が取入れられ、従来からの相関法にかわって使われる。Table.4 にそれらの種類と特長を示す。なお、画像の補正としてアフィン変換のいくつかのアルゴリズムによるサブルーチンの種類を Table.5 に示す。

Table.5 画像の歪補正のためのサブルーチン名

AFIN1	アフィン変換	4点線形補間
AFIN2	アフィン変換	9点2次補間
AFIN3	アフィン変換	補間なし (最近傍点, 近傍4点の最大値, 最小値)
NOLN1	一般2次変換	4点線形補間
NOLN2	一般2次変換	9点2次補間
NOLN3	一般2次変換	補間なし (最近傍点, 近傍4点の最大値, 最小値)
TRMT	回転角からアフィン変換の係数を計算する。	
ACOE	2枚の画像上のいくつかの参照点が重なるようなアフィン変換の係数を計算する。	

(b) エッジ検出：輪郭抽出、強調は画像処理でよく利用されるプログラムの一つである。エッジ検出法といっても、その手法は多く、古くより一次微分、二次微分の利用、さらにテンプレートを用いるもの、または、Hueckelの方法など、Table.6 に示すように多く含まれているので、用途に応じて、アルゴリズムを選択できる。

3. スパイダーを用いてのプログラム

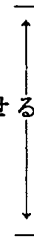
TSS を用いて、医用画像としてのオートラジオグラムを画像処理するのに、スパイダーを用いて CALL 文で画像処理サブルーチンを利用するプログラム例を Fig.5 に示した。なお、ドラムスキャナーで読取った 512×512 のデータは KPFD を用いてデータセット SCAN1.DATA (K1) に、またメインプログラムで読取った原データを SCAN2.DATA (K1) に、画像処理された画像データは SCAN3.DATA (K1) にそれぞれ入れるように実行した。スパイダーは現在 'CENT.SPIDER.LOAD' の名称で収納されているので、利用の時に呼び出せばよい。CALL 文は普通のサブルーチンの利用と全く同じである。なお、NLP 出力には KING³⁾ を参照し、中野康英氏の NLP 出力プログラムを利用したさせていただいた。Fig.6 はラット脳のオートラジオグラムの原データとエッジ強調の図を示した。

```

DIMENSION L1(512,512),L2(512),IP(256,256),JP(256,256)
1,T(2,3),KP(256,256)
CHARACTER L2*1,KP*1
INTEGER L1
WRITE(6,10)
10 FORMAT(1H,'FLAME NO.?',)
READ(5,*) M
DO 3 Z=1,M
READ(25,'(80A1)')(L2(I),I=1,80)
DO 33 J=1,512
33 READ(25,'(12I6)')(L1(I,J),I=1,512)
3 CONTINUE
JJ=1
DO 4 J=1,512,2
II=1
DO 5 I=1,512,2
IP(II,JJ)=L1(I,J)
II=II+1
5 CONTINUE
JJ=JJ+1
4 CONTINUE
WRITE(6,'(1H,38A1)')(L2(I),I=1,38)
WRITE(6,'(1H,12I6)')(L1(I,J),I=1,512),J=1,2)
WRITE(6,'(1H0,10H ORIG.DATA)')
DO 21 J=1,256
21 WRITE(26,20)(IP(I,J),I=1,256)
WRITE(6,'(1H0,10H PROC.DATA)')
C ISX1=256
C ISY1=256
C ISX2=256
C ISY2=256
C X0=(ISX1+1)/2
C Y0=(ISY1+1)/2
C RAD=3.1415/4
C ISW=1
C CALL TRMT(T,X0,Y0,RAD,ISW)
C CALL AFINI(IP,JP,ISX1,ISY1,ISX2,ISY2,T,ISW,KERR)
C CALL EGLP(IP,JP,256,256,2) .....エッジ強調の例
DO 31 J = 1, 256
31 WRITE(36,20) (JP(I,J),I=1,256)
20 FORMAT(12I6)
END

```

画像を中心に回転させる場合の例



```

F CL A(A1) F(25/26/36) L(''CENT.SPIDER.LOAD'')
FORT7CLG STARTED TIME= 17:30:06
LOGICAL UNIT NO. 25 : ENTER DATA SET(PS) NAME
SCAN.DATA(K2)
LOGICAL UNIT NO. 26 : ENTER DATA SET(PS) NAME
SCAN2.DATA(K2)
LOGICAL UNIT NO. 36 : ENTER DATA SET(PS) NAME
SCAN3.DATA(K2)

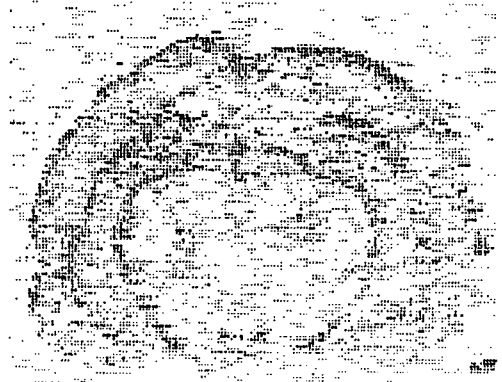
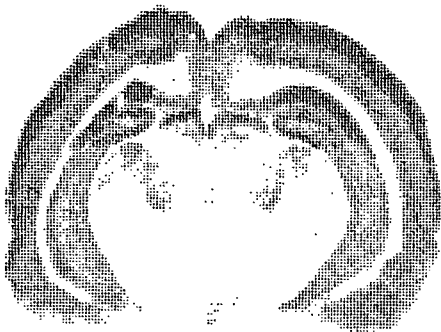
```

実行法

Fig.5 画像処理プログラム

Table.6 エッジ検出のサブルーチン名

サブルーチン名	内 容	出 力		備 考
		エッジ強度	エッジ方向	
EGRB	Robertsオペレータ	○		
EGSB1 EGSB2	Sobelオペレータ	○ ○	○	
EGPW1 EGPW2	Prewittオペレータ	○ ○	○	x, y方向差分型
EGPW3 EGPW4	Prewittオペレータ	○ ○	○	テンプレート型
EGKS1 EGKS2	Kirschオペレータ	○ ○	○	
EGRS1 EGRS2 EGRS3	Robinsonオペレータ	○ ○ ○	○ ○	EGRS3はlocal connectivityのcheck付き
EGLP	Laplacian	○		
EGFC	Frei & Chenの方法	○		
EGHU0 EGHU1 EGHU2	Hueckelの方法	○ ○ ○	○ ○	EGHU0は1つの局所領域にオペレータをかけるルーチン
EGMV	Mero & Vassyの方法	○		



A NLP出力の表示レベル設定

B エッジ検出サブルーチンEGLPでの処理結果

Fig.6 ラット脳の³H-QNBによる受容体オートラジオグラムの画像処理のNLP出力

4. まとめ

計算機画像処理にとって、データ収集、処理、表示の機能がそれぞれ重要であり、均衡のとれた性能が望まれる。この度、フィルム画像あるいは印画紙像を読み取りデジタル化できる高分解能画像読取り装置（ドラムスキャンデンストメータ）が利用でき、さらに画像処理プログラムとして、サブルーチン形式のスパイダー（SPIDER）を利用することができたので、ここにその利用方法についてのべた。なお、スパイダーは多くのアルゴリズムからなるサブルーチンが含まれており、画像処理の目的に応じて選択して利用されれば利点があるのではと考えます。すべて、FORTRAN 言語で公開されているので、アルゴリズムはもとより、プログラミング手法についても役立つものと思います。

おわりにあたり、オートラジオグラムを使用させていただいた、医学部アイソトープセンター 森厚文助教授、およびプログラムに御助言いただいた工学部中野康英先生、計算機センター車古正樹先生およびセンター教職員の皆様に厚く感謝いたします。

文 献

- 1) 山下邦弘著「利用の手引き A/D データおよび画像データ入力」、金沢大学計算機センター広報, 6(3), 67-96, 1983
- 2) 中野康英著「利用の手引き 画像読取装置操作手順」—金沢大学計算機センター—
- 3) SPIDER 作業グループ編「画像処理サブルーチン・パッケージ SPIDER USER'S MANUAL」, 協同システム開発株式会社
- 4) 車古正樹著「利用の手引き 日本語ラインプリンタ紹介」, 金沢大学計算機センター広報, 6(3), 41-65, 1983