

解説



スーパーコンピュータと画像解析†

飯坂 譲 二†

1. はじめに

画像処理は従来より情報量が多いことから在来のコンピュータでは処理時間が大きく比較的大規模なシステムを必要とする場合が多い。多くの画像処理は各画素ごとの濃度値をもとに画素単位ごとの処理やその近傍をとり入れた局所的な処理とグラフィックな構成をもとにして処理されるものが多い。

一方、画像は何らかの意味で、画像化する対象を適当な観測手段を用いて2次元(多次元)的に記録したものであり、その実体についての情報を反映しているものである。したがって画像解析の目的は、画像処理技術を駆使して、有用な情報を抽出するものとする。すなわち、画像化された対象の内容(物理的意味や応用上の意味)と無関係に画素値の分布やコントラスト、テクスチャといったデータの分析を行うのと少し異なった立場にたってみることにする。表題のスーパーコンピュータによる大規模画像解析システムは、画像化の対象が空間的・時間的にも大規模なものとして考えることにし、また、社会的にもニーズが高く、そのシステム化の必要性のたかい応用例から展望してみた。

2. 画像処理技術と画像の再構成

2.1 画像化手法と表現空間

画像として代表的な写真は、対象を光を観測手段とし、光学系によって、記録媒体であるフィルム上に記録したものである。写真にうつされた情報は、被写体である対象のもつ情報のうち、大きさや形状、色等を記録したものであり、対象にかかわる一部の情報にすぎない。

一般に“イメージ”とは、観測手段や記録方法にかかわらず、対象の状態をベクトル $|O\rangle$ によって表し、記録媒体上の状態を $|M\rangle$ で表すと、観測・写像の変

換 T によって $|M\rangle = T|O\rangle$ なる変換を行ったものである。実体を表現するために必要な変数の組(位置、大きさ、色、その他)を完全に定義することは実際上は不可能である。通常の画像は、画像上の位置、濃度値を観測して得られたものを用いて表現されている。すなわち、位置や濃度の観測オペレータを各々、 X, Y, Z とすると

$$\langle x, y, d | X, Y, Z | M \rangle = d(x, y) \langle x, y, d | M \rangle$$

で得られる画素値によって表現される。これらを一般化すると、位置、濃度値のオペレータと別のオペレータで表現することができる。たとえば、空間周波数の変数の組で表現すると、

$$\langle f_x, f_y, I | F_x F_y I | M \rangle = I(f_x, f_y) \langle f_x, f_y, I | M \rangle$$

ただし、 F_x, F_y は空間周波数の観測オペレータであり、 I はその強度を観測するオペレータで、 f_x, f_y, I はその観測値である。これをもとの X, Y, Z の変数の組との関係を見ると、 $|x, y, d\rangle \langle x, y, d|$ なる直交系を用いて展開して

$$\langle f_x, f_y, I | M \rangle = \langle f_x, f_y, I | xyd \rangle \langle x, y, d | M \rangle$$

なる関係が得られ、 $\langle f_x, f_y, I | x, y, d \rangle$ なる変換行列によって関係づけられる。

すなわち、イメージングを行って対象の状態を表現する場合、空間的な情報を表す観測オペレータの組と変換行列によって変換し得る変数の組があれば、その変数の組で画像を表現してもよい。

したがって、画像解析に当たってコンピュータ処理が容易な表現空間を採用したり、逆に観測しやすい表現空間によって観測し、コンピュータによって我々が理解しやすい x, y 空間における画像にひきなおすアプローチをとり得ることになる。

対象の形状分布と相似的な画像処理についてはすでに多くの文献があり、また解説されているので、個々の画像処理のアルゴリズムや、画像処理の一般的な課題については、それらを参照して戴きたい。(たとえば参考文献1)~5)

† Supercomputer and Image Analysis by Joji IISAKA (Tokyo Scientific Center, IBM Japan, Ltd.).

†† 日本アイ・ビー・エム(株)東京サイエンスフィックセンター

2.2 不可視画像の画像化

画像解析の対象は必ずしも視覚と一致した画像である必要はなく、むしろ、実用的には、処理しやすい方法で画像化したものを対象としたり、また視覚的に得られない情報を画像化し、利用し得る情報の枠を上げたものがある。たとえば、物体の表面形状のみを知りたい場合、モアレ画像がよく用いられる。これは被写体を格子パターンで照射したとき、この格子の空間周波数と少し異なったサンプル周波数とのビートによって得られた画像であり、そのずれによって表面形状についての情報が得られるものである。すなわち、表面形状を知る目的に対しては、モアレ・パターンに前処理を行い、二値化画像にし、細線化処理によってパターンの座標値を決定して、モアレ・モデルによって表面形状の情報を得ることになる。

可視光線以外の電磁波によって観測された画像も不可視画像である。赤外線、マイクロ波、超音波画像等が代表的なものである。不可視画像は必ずしもコヒーレントな波を用いるとは限らず、インコヒーレントな波による観測によっても次のような画像化一像形成が行われる⁹⁾。

物体面 S_1 上の1点 $p(x, y)$ 上からの放射強度を $I(x, y)$ とし、観測面 S_2 上の2点 $Q_1(a, b)$, $Q_2(c, d)$ 間の相互相関関数 $R(\Delta\alpha, \Delta\beta)$ との間には、ファンチッテル-ツェルニケ (Van Cittert-Zernike) の定理によって

$$R(\Delta\alpha, \Delta\beta) = \int_{S_1} \left\{ I(x, y) \exp \left[-\frac{2\pi}{\lambda z_0} (\Delta\alpha \cdot x + \Delta\beta \cdot y) \right] \right\} \cdot dx dy$$

(ただし $\Delta\alpha = a - c$, $\Delta\beta = b - d$, z_0 : $S_1 - S_2$ 間の距離, λ : 波長) の関係がある。したがって $\Delta\alpha, \Delta\beta$ をかえて、相関マップを観測し逆フーリエ変換を行うことによって物体の表面の放射強度 (画像上には濃度値として表せる) 分布が得られる。物体と観測面があまり離れていない場合、上式はフレネル積分になり、相関マップからのフレネルの逆変換を行うことによって、物体の奥行き情報とともに再構成できる。

2.3 画質の向上と修復

画像は一般に観測系に起因する種々の歪をうける。観測系が線形の場合、線形フィルタを画像に応用することによってもとの画像に戻すことができる。すなわち、原画像 $f(x, y)$ が線形の拡がり関数 $h(x, y)$ によって $f(x, y) \oplus h(x, y)$ のように劣化した場合、空間

周波数空間では、 $f(x, y)$, $h(x, y)$ 各々のフーリエ変換 $F(u, v)$, $H(u, v)$ の積で表すことができる。これに対して $1/H(u, v)$ のフィルタを適用すれば原画像 $F(u, v)$ が得られる。

コンピュータでこれを実施するには、まず画像解析を行って最適なフィルタ・タイプを算出する。フーリエ面での乗算を行うにせよ十分な空間周波数帯域をカバーする必要があり、また空間領域でコンボリューションを行うにせよ、十分な大きさのウィンドを考慮する必要がある。ましてや、非線形性を考慮しなければならない画像の修復については、各画素ごとに重みが異なり、大きな処理時間を要することになる。

3. コヒーレント画像処理の応用

3.1 3次元構造画像の再構成

対象の3次元的情報を必要とする応用分野はいたるところにあるが、現実問題として3次元の観測が可能なのは少ない。たとえば、非破壊検査のように、物体の内部空洞の3次元幾何形状の測定や、生体の3次元計測、電子顕微鏡像による高分子の立体構造把握等、通常的手法では得にくいものである。

物体の射影波形から像再生を行い断層像を得る CT (コンピュータ・トモグラフィ) は、実用化された画像処理技術の1つである⁷⁾。X線を用いた CT・スキナは図-1のように被検体を中心に X線管と検出器が向いあって置かれている。細かいビームを被検体に照射し、透過強度を検出する。X線管と検出器は対になって平行移動 (回転する機器もある) を行い、1次元の透過強度を測定する。方向を逐次変化させ、各強度分布から、体軸断層像を得る。すなわち、1次元の強度分布から、2次元の断層画像を再構成する方法である。断層画像を $g(x, y)$ とし (図-2)、 x 軸と角度 θ 方向の直線 L_θ に沿って強度分布を測定したとする。

L_θ 上の強度分布は $G(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x+r\sin\theta, y-r)$

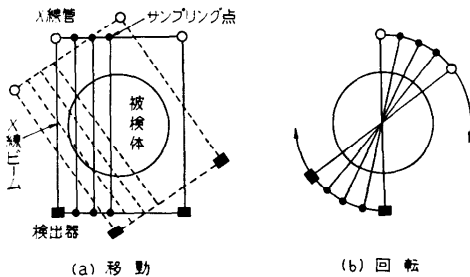


図-1 X線CTの原理

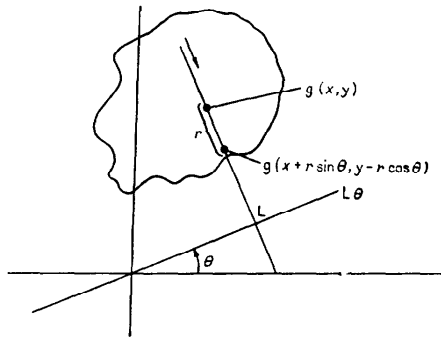


図-2 体軸断面撮影

$\cos \theta) dr$ で与えられる。 θ を $0 \sim \pi$ に変化させ θ について積分を行うと、

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\pi G(x, y) d\theta = \frac{1}{\pi} \iint g(x - \xi, y - \eta) \frac{1}{\eta^2 + \xi^2} d\eta d\xi$$

となる。(ただし、 $d\eta d\xi = r dr d\theta$, $\xi = r \sin \theta$, $\eta = -r \cos \theta$) たたみ込みの記号で上式右辺は、 $\frac{1}{\pi} [g(x, y) \oplus (x^2 + y^2)^{1/2}]$, したがって、 $(\xi^2 + \eta^2)^{-1/2} \oplus h(\xi, \eta) = \delta(\xi, \eta)$ となるフィルタ $h(\xi, \eta)$ をかけることによって $g(x, y)$ が求まる。

このように射影波形から断面像再成が得られるが、この2次元の断面像再生から3次元に拡張した立体再構成が行える。蛋白質等の高分子の分子模型を論ずる上で、電子顕微鏡の処理等で用いられている⁹⁾。しかし、立体構造となると、データ量はさらに膨大なものとなるが、結晶構造には周知の通り、等軸晶系、立方格子正方、六方、斜方、単斜、三斜等と呼ばれる対称性がある。 $f(x, y, z)$ を分子集合体構造、 $S(x, y)$ を電子顕微鏡による投影像とし、 z 軸方向にビームを当てると、

$$S(x, y) = \int f(x, y, z) dz$$

なる関係がある。 $S(x, y)$ の2次元フーリエ変換 $S'(X, Y)$ は、3次元像 f のフーリエ変換 F の原点を通り、投影方向に垂直な断面と同一である。すべての方向からの投影像が得られれば、3次元像が原理的には得られるが、限られた方向の投影像しか得られない場合、 $f(x, y, z)$ の対称性、周期性から $S(x, y)$ を補間することができる。図-3 は、球対称を仮定し、1枚の投影像から、空洞のある球の3次元構成を行ったものである¹⁰⁾。

3.2 合成開口レーダ画像の再構成¹¹⁾

人工衛星や航空機から、地表や海面の状態を電磁波

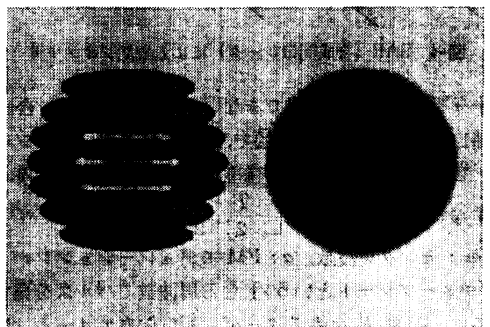
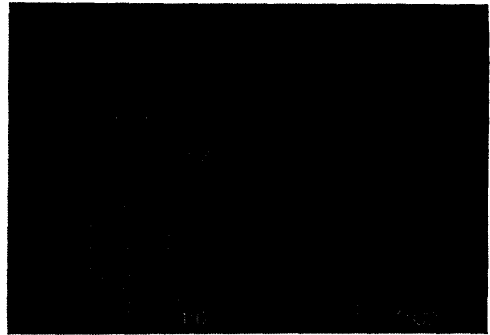


図-3 球対称を仮定した射影画像からの3次元空洞球像の再構成

の散乱、放射等の相互作用を観測し、資源や環境などの調査を行うリモート・センシングの技術がある。可視及び近赤外線を中心とする技術のほか、マイクロ波を用いて態動的に地表面を観測する方法がある。中でも、合成開口レーダ SAR (Synthetic Aperture Radar) は雲などの影響を受けにくい全天候型のセンサであり、また観測高度に依存せずに解像度のよい画像が得られるのが特長である。この画像データは、人工衛星などから進行方向と直角な方向(レンジ方向)にマイクロ波のビームを放射し、地表の目標物から反射されたエコーを逐次記録する。人工衛星の進行方向と直角な方向に、マイクロ波のパルス・ビームを放射した時、その方向の解像度は、実開口アンテナによるレーダの場合、

$$\Delta R_B = \frac{c \cdot \tau}{2} \quad (\tau: \text{パルス幅}, c: \text{光速})$$

で与えられ、パルス幅によって異なる。また、進行方向の解像度は

$$\Delta R_A = \frac{\lambda}{D} \Delta R_s \quad (\lambda: \text{波長}, D: \text{実アンテナ長},$$

ΔR_s : 目標までの距離)

で、よい解像度を得るには、短い波長と、長いアンテナを用いる必要がある。パルス幅は回路上の制約から

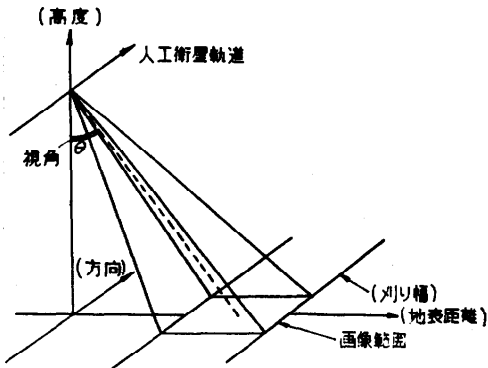


図-4 SAR (合成開口レーダ) による観測ジオメトリ



図-6 コンピュータで再構成した合成開口レーダ画像(L・バンド25cm波) 水面及び飛行場が平滑面(暗部)として、観測されている。

十分短いパルスを送信できない。これに対して、合成開口レーダでは、パルス幅で、線型FMモジュレーションを行って距離方向の解像度を上げることができる。すなわちパルス間隔 $[-\frac{T}{2}, \frac{T}{2}]$ の間で、 $e^{i\omega_0 t + (a/2)t^2}$ [ω_0 : センタ周波数, a : FMモジュレーションレート(チャープレートという)] なる周波数でパルスを送ると、距離 R にあるターゲットからのエコー e_r は、

$$e_r = A \exp \left\{ j \left(-\frac{2\omega_0 R}{c} \right) \right\} \exp \left\{ j \left[\frac{a}{2} \left(t - \frac{2R}{c} \right)^2 \right] \right\}$$

となるが、これを送信波との相互相関をとり、パルス圧縮を行って、有効パルス幅を縮め、解像度を向上させる。また、進行方向(方位方向)の解像度を向上させるために、ドップラ効果を用いる。すなわち、進行方向前方からくるエコーの周波数は、ドップラ効果を受けて高めに、また後方からくるエコーの信号は低めになる。ある対象のエコーは、ドップラ効果を受けて、周波数が広がったものになる。帯域フィルタを用いると、

解像度は $\Delta R_0 = \frac{D}{2}$ までの理論的解像度が得られる。

SARのデータは一般に、レンジ方向のデータ列とパルス列に対応する進行方向の2次元データである。ある点のエコーが、レンジ方向と方位方向の両方に広がっているため、そのままを表示しても、視覚と一致した画像とはならない。そこで、コンピュータで圧縮処理を行う。コンピュータ処理は、次の手順をとる^{12), 13)}。

1) レンジ圧縮

レンジ方向のデータを参照波との相互相関計算を行う。

2) コーナ・ターン

レンジ方向と方位方向のデータ配列を並べかえて、方位方向の処理をはやくする。

3) レンジ・データ・マイグレーション

レンジ方向のデータ列にそろえる。

4) 方位方向圧縮

ドップラ効果によって広がったデータと参照波との相関を計算する。

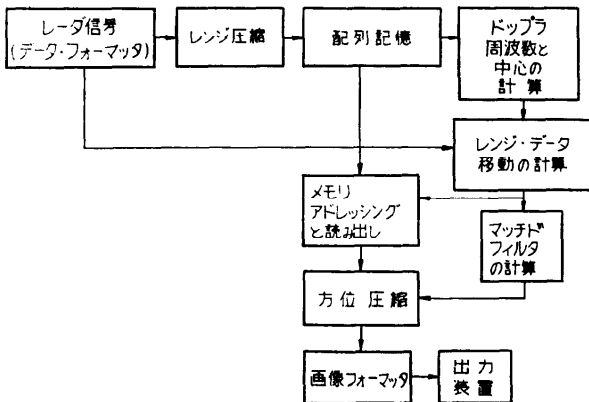


図-5 合成開口レーダのデータ処理のフロー

このような手順によって画像が構成されるが、その処理時間は表-1の示した通りで、現存のコンピュータでは、1枚の画像(例100km×100km)の再構成は、数時間から数十時間にわたる。したがって、SARデータの有効性がとえられてからも、実用化に向かってデータ処理のネックがあり改善する必要のある課題の1つである。そこで、このような画像再構成処理を実時間で、人工衛星や航空機上で行おうとする試みがある。SARのデジタル処理のハードウェア化をはかる基本的なモジュールは、1)レンジ方向、及び、方位方向のデータ圧縮をハード化した相関器

表-1 最大解像度を得るための SAR デジタルプロセッサの必要条件

Element	Dynamic range bits/sample	Input rate for 1:1 input-output	Data number of elements MIG, bits	Number of operations per sec
Formatter	5	1.1×10^6 /sec	6.69×10^4	2.2×10^7
Range compression	(5 in) ≥ 6 out	1.1×10^6 bits	8×10^4	$3.29 \times 10^4 - 16$ KFFT $1.65 \times 10^4 - \times$ $8.2 \times 10^2 - +$
Signal array	≥ 6	234 M bits	4.68×10^6	2.34×10^6 replace
Memory addressing	31			$6.39 \times 10^8 \times$ fers
Spectral analysis	6	1.98×10^6 bits	4.8×10^4	100-4 KFFT $2.4 \times 10^6 - \times$ $1.2 \times 10^4 - +$
Range-migration correction	31	...	1.2×10^6	3.88×10^7 transfers
Matched filter computation	5	3.88×10^6	3.88×10^6	3.88×10^7 look ups
Asimuth compression	11	7.66×10^{11}	1.3×10^6	$2.56 \times 10^{11} - \times$ $1.28 \times 10^{11} - +$
Image formatting	11	2.13×10^6	5.2×10^6	$7.76 \times 10^7 - \times$ $3.88 \times 10^7 - +$

を用いて行う。2)データの並べ換えを行うコーナ・ターニング・メモリ、3)データ・リサンブラ、デジタル・データ間のリサンプリングを行い、内そうデータを推定したり、レンジセル・マイグレーションを行う。以上の3機能が基本となっている。最近急速に技術進歩のある CCD (Charged Coupled Devices) を SAR のバルクメモリや、データ圧縮のためのレンジライン・アキュムレータに用いたり SAW (Surface Acoustic Wave devices) で相関やコンボリューション処理に用いる^{12), 13)}。

4. 多重画像処理

諸現象のダイナミックスに関する知識は、時系列的

な画像の解析によって得られることが多い。また、画像化の手法が異なった画像を重ね合わせることによって、画像情報から、より深い知見が得られる。ランドサット・データのマルチ・スペクトル・データがよい例である。このように画像解析の対象として多数の画像を同時に扱うようになっている。

4.1 画像の類似性

“パターン認識”は画像の類似性を扱う方法の別の表現である。パターン認識には大きく、統計的アプローチと、構造的アプローチに分けることができる。構造的アプローチ

では、パターンを基本的な構成要素に分け、その組立てによってパターンが生成されるとしている。そのパターン・プリミティブ (原要素) の選び方と、その構造の複雑さとは、関連があり、原要素が低レベルで単純な場合構造の記述は複雑になり、一般的な文法を定義することが困難となる。

実用上、ある画像の中に、特定のパターンに類似したものが含まれているかを検索する応用場面はいたるところにある。類似性の尺度として、統計的なアプローチでは、特徴ベクトル空間内での距離 (ユークリッド距離、マハラノビス距離等) を用いている。すなわち、未知パターン X と n 個の既知パターン $X_i (i=1 \sim n)$ との距離 $(X - X_i)$ を求め、距離が最小となるパ

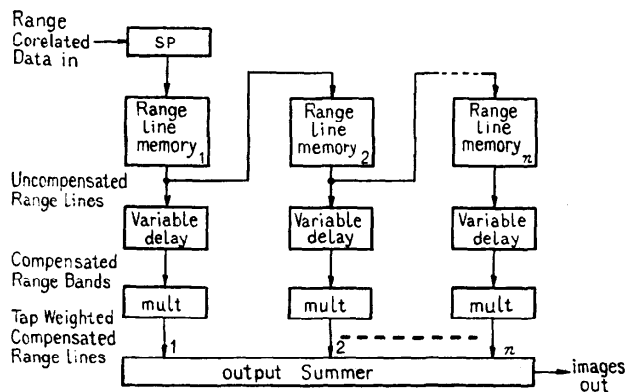


図-7 時間領域の方位方向相関器

ターン i を類似性が大として、未知パターンがパターン i に属すると判別する。この場合、既知パターンの数や距離のメトリックや特徴ベクトルの次元によって計算量は膨大なものとなるのであらかじめ有効次元の選択等が行われる。

既知パターンが比較的簡単な記号の場合、テンプレート・マッチングを行い、相関の大ききで類似性を表すこともできる。計算時間短縮のため、相関をフーリエ面で行う方法がよく用いられる。

構造的なアプローチにおいても、距離の概念が導入され¹⁶⁾、シンタクティカルな認識においても類似性が用いられる。一般に画像は、雑音や歪を含む、したがってシンタクティカルな解析を行った結果も、画像の原要素の取り違い等によって、雑音を含む文となる。そこで、画像の生成規則に、起り得る誤りを取り込んだ文法を導入する。代入、削除、挿入がその例である。原要素の取り違いは、代入の誤りである。パターンを記述する2つの文字列の距離は、一方から他方に、何回のエラー交換を行って得られるか、その回数によって定義できる。

たとえば、2つの文字列 $x, y(\in \Sigma^*)$ に対して、エラー変換を次のように定義する。

- 1) 代入エラー変換 T_s
 $\omega_1 a \omega_2 \rightarrow \omega_1 b \omega_2$
- 2) 削除エラー変換 T_d
 $\omega_1 a \omega_2 \rightarrow \omega_1 \omega_2$
- 3) 挿入エラー変換 T_i
 $\omega_1 \omega_2 \rightarrow \omega_1 a \omega_2$

このとき、 $x = cbabd\delta b$ と $y = cbb\delta b\delta b$ の間の距離、 $d(x, y)$ は

$$X = cbabd\delta b \xrightarrow{T_s} cbab\delta\delta b \xrightarrow{T_s} cbab\delta\delta\delta b = y$$

から $d(x, y) = 3$ となる。

このように構造的アプローチについても、パターンの距離概念が導入でき、画像の類似性についての定量化が得られる。

画像の類似性検出の応用に当っては、統計的アプローチ、構造的アプローチのどちらかで十分なものはならず、パターンのどのような属性について着目し、

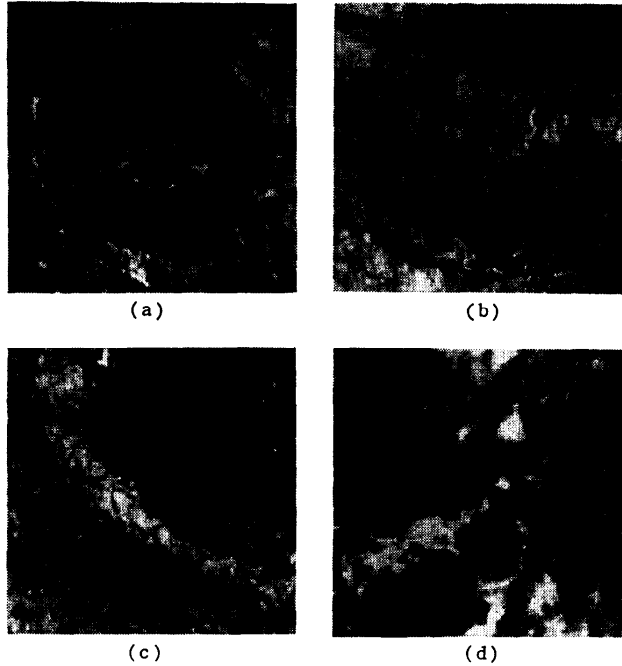


図-8 ランドサットデータから抽出した地形パターン

その値の範囲を抑えるか属性のセットが明確化されていないのが現状である。また、その属性も空間的な情報以外のもの(例、スペクトル情報)も用いられ、その種類も多いので、最適な属性の選択が現実の問題である。図-8は、地質地形の異なった部分のパターンである¹⁵⁾。特に図8-aは、鮎物資源を産する地形である。これと同じパターンが存在する地域がほかにあるか? といった応用例を考えてみる。これらのパターンの方向性、スケールを無視して、類似パターンの存在を探す必要があり、通常空間的な濃度分布や、エッジ分布、テクスチャ解析を応用するのは困難である。各パターンの基本的なスケルトンも抽出しにくい。このようなパターンをエッジを強調した後の空間周波数面での分布は図-9のようになる。空間周波数面での分布パターンは比較的、原画像に比べて単純で、空間周波数面でのパターンの比較が単純に行える。そこで、空間周波数面でのパターンの差を表現するために、分布の高次モーメントをとると図-10のようになり、2次モーメントで正規化することによって、1つのパターンが判別し得ることがわかる。

4.2 時系列画像と動態解析

時系列画像の解析によって、種々の現象のダイナミックスの情報得られる。実用化されている例とし

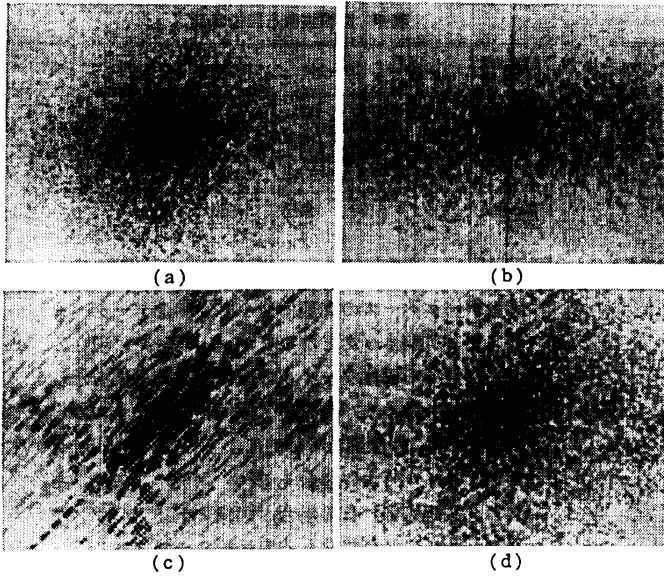


図-9 図-8の地形パターンごとのパワー・スペクトル

て、気象衛星の画像から雲の動きを解析する手法がある。ある時刻 t における雲の位置が Δt 後間に移動した量を雲の形の類似性から算出する。

ロボットの動きや、流線の動態画像のように、運動や拡散についての知識が得られる場合は、予測された移動範囲の中でサーチを行えばよい。一般には流線の乱れ等で対応点の検出が困難となる。海流フロントのように複雑な流れによる変化をうけている場合、対応点を局所的なサブ・イメージの相関では決定し難く、

凹凸部等の特徴をもつサブパターンの配列をもとに対応点を見出すことになる。

空洞実験のように、人工的に流れの可視化が行われている場合、定常状態、乱流部、方向等の決定に、流線のテクスチャ解析が応用されている¹⁹⁾。テクスチャを表す量として、パワー・スペクトルや、階調生起確率等が提案されているが、現存のコンピュータでは、処理時間を要し、実用化には至っていない。

5. 画像データベースと画の記述

画像解析は一枚の画像についてインテンシブに解析を行う場面より、多くの画像に対し相互関係を解析する場面が多い。天文・気象・海象・陸域等に関する画像も刻々とその枚数をふやし、医用画像、生物体の画像、産業用画像数もまた膨大なものである。画像を単にメディア単位やデータ収集のログによって管理するばかりではなく、その内容に至ってインデキシングが可能な形でのデータベースが必要となっている。一方、画像の判読は、これまでなされていたように、経験による場合は比較的、人間の知識との重ね合わせを伝えることができるが、コンピュータで同一の新しい画像が得られた時は、その物理的解釈から知見を眺めておく必要がある。このような場合過去の画像との対比の上になって情報抽出を行おうとする場合が多くなり、したがって画像を内容に応じたインデックスの

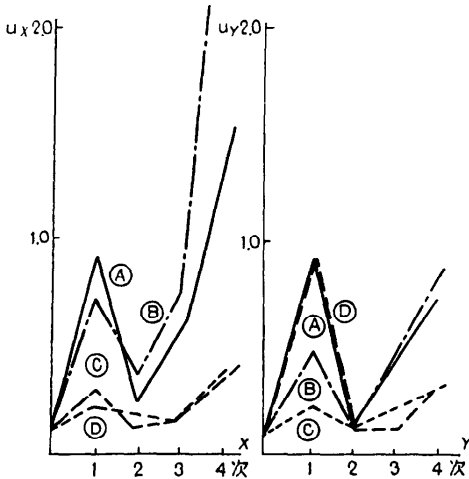


図-10 図-8、図-9の地形パターンごとのフーリエ面でのモーメント

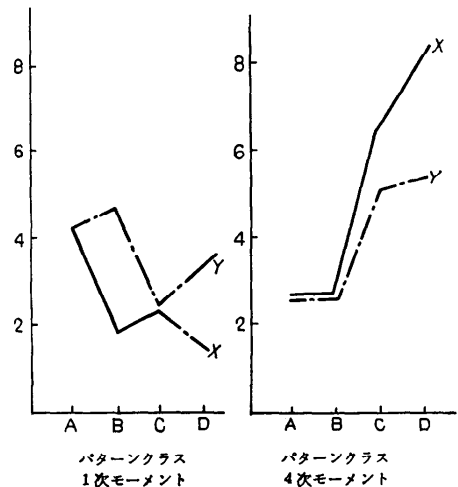


図-11 正規化したフーリエ面でのモーメント

表-2 画像記述のカテゴリの例

管理カテゴリ			
主体、対象	海	空	
	川	森	土壌
	谷	陸	草
	道路	岩	
	ガン細胞、白血球、染色体		
	心臓 肺		
	箱 ねじ...		
行動行為	現れる	目立っている	占める 置く
	～にもたれる	ある	作られる 通りすぎる
	見られる		交差する
	つつく		
位置	東側	右上方	衣の中心に
	南側	左側へ	中心ちかく...
	西側	右側に	
カテゴリ補助			
主体・対象の属性			
	赤色の	暗い	でこぼこの
	むき出しの	短い、長い	違い、低い
	大きい	真直な	
行為/行動	ほとんど～		
	やや		
位置	内側の	外側の端	
	の近傍	離れて	

ダイナミックな生成機能が必要となる。たとえば“1万頭の牛が放牧できる草地があり、川が中央に流れている航空写真は？”との問いに対し的確な応答ができるには、従来のコンピュータには荷が重すぎよう。

このようなことができるには、画像が、内容に応じたよい記述がなされている必要がある。画像の記述として、管理対象主体（何が写っているか）と、その行動行為、及び、位置が明確になっていることが条件となる。また必要に応じて修飾語を用いて属性が与えられていることも必要である。表-2 にその例を示した。

画像解析は、得られた画像からこのようなカテゴリの情報をどう抽出して値を与えていくかといった問題としてとらえることもできる。一方、画像解析を行って内容を理解しようとするとき、逆に、各々の主体と対象に関する知識を逆に利用することもある。たとえば“橋は河と交差している”という知識をもとに、川と交差している線型要素を橋として解析する。このような辞書を多くもつことによって自動的画像解析機能が強化される。

最近、画像データベースの管理に関する関心が高まってきており、多くのものは、関係形式のデータベースを採用している^{16),17)}。当分の間は画像の構造的な情報を表すために関係形式の構造が、シンタクティカルな解析で用いられる。意味的情報をもつパターンの記述には、属性のリレーショナル・グラフが提案されている。

表-3 記憶装置と記憶容量

記憶容量 (ビット)	～10 ⁶	10 ⁶ ～10 ⁸	10 ⁸	10 ¹⁰
書き換え可		磁気テープ (2400 ft) 磁気ディスク IBM 3330 (スピンドル)	MSS -磁気カートリッジ -VTR -高密度磁気テープ	
書き換え不可	マイクロフィルム	集団 マイクロフィルム	光ディスク ホログラム シート	

画像データベースの実施に当って、画像データベースのメディアがネックとなっている。表-3 に現在のテクノロジーでの画像ファイルの記憶容量の概要を示した。実用化に当って、高密度・低価格のファイルの出現が望まれる。画像解析の目的によっては、Read onlyの画像ファイルでよい場合も多い。(例、リモートセンシング観測画像) この場合、画像メディアのマスタプロダクションの低価格化も内容目標の一つである。ビデオディスクの利用もこの面で考慮する必要がある。

6. スーパーコンピュータによる大規模画像解析システム

大規模な画像解析を必要とする分野は、気象、海象等、刻々と変化する情報を抽出したり、また、食糧資源、水資源等、再生産可能な資源の管理等に用いられる画像解析等があり、'80年代後半には、実用化運用化をはからなければならない。コード化された情報に比べて、圧倒的に情報源の多い画像情報を入力し、必要な情報を抽出するための画像解析システムへの期待は大きい。

画像解析に当って、

- 1) データ処理が本質的に多次元データ処理であること。
- 2) 処理機能が低レベル処理やローカルな処理から、高度な処理、グローバルな処理へと階層的な機能を要すること。
- 3) 処理の過程は逐次的でなく必要に応じてあいまいさをのこし、前段階の過程に戻りながらフィード・バック・プロセスをとる。
- 4) データの表現方式が多様でユニークな表現がとりにくい。
- 5) データ量が多いので大容量ファイルが必要なこと。またデータの転送の速度もはやいこと。
- 6) 情報の発生源と処理を行う場所、その結果を応用する場所や範囲が地球レベルの広さにあり、画像通信と合わせ、大規模なシステムが必要とされ、か

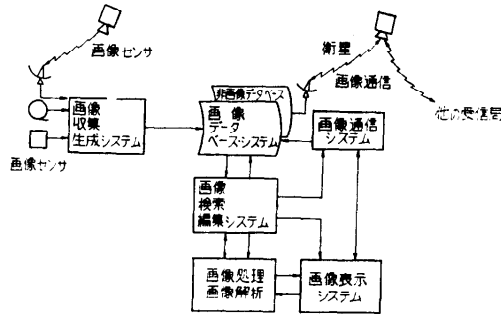


図-12 大規模画像解システム

つ、社会的意義が大きい、等々、在来のシステムの高
 速化のほか、スーパーコンピュータの実現の要求はこの
 面からも高い。先に述べたように、画像化技術もバラ
 エティに富んできており、画像自体を得るためにも大
 規模コンピュータ・システムが必要とされている。

スーパーコンピュータによる画像解析システムには、
 図-12 に示したように、1) 高速の画像化、画像生成シ
 ステム、2) 画像及び非画像データのデータベース・シ
 ステム、3) 大容量の画像通信システム (全世界的な画
 像の入手・配布に必要)、4) 高速画像処理システム-応
 用目的に応じた情報抽出、5) 画像表示システム・任意
 のメディアに要求された画像を任意の形態で出力表示
 する、ように構成されよう。その機能は用途によって
 異なるが、画像解析に共通な機能面からみると、次
 のような機能のハード化・高速化が進められる。

	機 能	モジュール
画像データ操作	拡大・縮小・回転 移動・挿入 マスク 変換	・リサンプラ ・インタポレータ ・2次元アドレッシング ・コーナ・ターニング・メモリ
画像/解析	相 関 ヒストグラム フィルタ	・FFT/高速アダマール ・相関器・コンボルバ ・テーブル・トランスレータ ・ウィンド・オペレータ
分類・パターン認識		・テーブル・ルッカ ・シンタックス・アナライザ

実用上は、画像データのアクセス・ローディングが、
 時間的ネックとなる場合が多いので、画像データのバ
 ルク・転送や必要な画像データへのミニマム・アクセ
 ス等、アドレス変換方法にも新しいコンセプトが必要
 とされている。

画像データには、気象衛星やリモート・データのよ
 うに、観測したデータを保存する必要性が高いが、応
 用処理をすべてについて行う必要性の低い性格を持つ

ものと、医用データの個人ファイルのように、他人に
 にとって関連性が低い、精密な解析を必要とする性格
 をもつものとある。したがって、画像処理をセンタで
 行う方式のみならず、末端での処理が可能となるよう
 なシステムと両端の要求がある。分散処理は主とし
 て、画像の物理的処理と応用処理に重点がある。特に
 画像ファイルの持ち方で分散の度合が異なる。公共性
 が強い画像の場合、ファイルの検索配布が容易でなけ
 ればならない。また画像解析で、画像処理プログラム
 には特に関連した知見を加えながら行われなければな
 らない。したがって、一センタがすべての解析方法や
 手順をまとめているよりは、応用に応じたスペシャリ
 ティを持ち、分散処理システムのサブシステムが要求
 される時代になっているといえよう。

7. ま と め

以上、画像解析の結果を実用上、どう応用しうる
 か、推進している立場から、スーパーコンピュータへの
 期待をかけてまとめてみた。画像を判断する上で用い
 られる知識のプログラム化にはまだ十年以上を必要と
 しようが、マンマシンシステムによって実用化が期待
 できよう。それによってきたるべき時代に必要なる多
 くの情報が画像解析によって得られることであろう。

参 考 文 献

- 棟上昭男: 画像処理とソフトウェア技術, 情報処理, Vol. 22, No. 5, pp. 390-403 (1981).
- 長尾 真: 画像処理のためのソフトウェア, 電子通信学会誌, Vol. 58, No. 1, pp. 13-20 (1975).
- 特集: 画像処理アルゴリズム, 電子技術総合研究所彙報, 44 巻, 第 7, 8 号.
- Special issue on Image Processing, Proc. IEEE, Vol. 69, No. 5, pp. 497-672 (May 1981).
- Andrews, Harry C. (Ed): Digital Image Processing, IEEE Catalog, No. EHO-135-9 (1978).
- 松尾 優, 山根国義: レーダホログラフイー, 電子通信学会, 東京 (1980).
- Radon, J.: Berichle Sachsische Akad, Wissenschaft, Math Phys 69, p. 262 (1917).
- 岩井喜典編: CT スキャナー: 電子工学進歩シリーズ 9, コロナ社 (1979).
- Crowther, R. A., and Lug, A.K.: Ann. Rev. Bioch, Vol. 44, p. 161 (1975).
- 鈴木, 飯坂他: 立体構成法に関する計算機シミュレーション, 応用物理論文集 (1980).
- Jordan, R.: The Synthetic Aperture Rader System, JI. IEEE. Vol. OE-5, No. 2, pp. 154-164 (1980).
- Digital Image Formation Airbone and Satel-

- lite Results, Proc. Int. Symp. on Remote Sensing Env, p. 337 (1980).
- 13) Corr, D. G. and Hahell, A.: A Digital SAR Processor for Seasat-A, Proc. Int. Conf. on Spacecraft on board Data Management Nice 24-27 (Oct. 1978), (ESA-SP-14) (Dec. 1978).
 - 14) Aho, A. V. and Peterson, T. G.: A Minimum Distance Error Correcting Parser Context-Free Languages, SIAM Journal in Computing Vol. 4 (Dec. 1972).
 - 15) 飯坂他: Spatial Similarity Detection for Geological Feature Extraction: Proc. 2nd Asian Conf. on Remote Sensing, Beijin, D-9 (Oct. 1981).
 - 16) Chang, N. S. and Fu, F. S.: An Integrated Image Analysis and Image Data-base Management System Tech, Report TR-EE 80-20, Purdue Univ. (1980).
 - 17) Blaser, A. (Ed): Data-base techniques for Pictorial Application Springer-Verlag Press (1978).
 - 18) Lu, S. Y. and Fu, K. S.: Error correcting Tree Automate for Syntactic Pattern Recognition Trans. IEEE on Computer, Vol. C-27 (1978).
Fu, K. S.: Digital Pattern Recognition: Springer-Verlag Press (1976).
 - 19) 浅沼 強: 機械の研究, Vol. 31-11, p. 21 (1979).
(昭和 56 年 10 月 19 日受付)