



航空写真の解析システムと前処理*

長 尾 真** 福 永 泰*** 川 原 崎 雅 敏**

Abstract

This paper is concerned with the analysis of multispectral aerial photographs by an image processing system on a minicomputer. The system is powerful with the hardware FFT, large high speed external core memory, and interactive color image display device.

The color image display system is composed of a color/black and white display, two joysticks and several interactive buttons. Several registration algorithms are experimented and the least mean square approximation is found to be best in respect of accuracy and speed. Low pass filter is found to be very effective for the elimination of shading effects on the photographs.

1. はじめに

電子計算機の発展に伴って、パターン認識や画像処理の研究が盛んに行われるようになってきた。そして画像処理技術の進歩、発展により、扱われる画像も、モノクロームの写真やフィルムの他にカラー画像、マルチスペクトル写真など多岐にわたってきており、その分野もますます広がってきている。

こういった画像処理をコンピュータで行うには、画像データの入出力が容易にでき、柔軟な処理が可能な会話型システムを構成することが必要で、我々は特に航空写真解析を主たる目的として画像処理研究を能率よく行うことのできるシステムを作った。システムはミニコンピュータを中心にし、能力の高い会話型端末装置としてカラーイメージディスプレイ装置を開発した。そして画像処理用ソフトウェアとしては、キーボード付き文字ディスプレイ装置を用いた会話型画像処理システムを作成した。

このシステムを用いて我々はマルチスペクトル航空写真の処理を行っている。用いたマルチスペクトル航空写真は、4台のカメラにそれぞれ赤外線、赤、緑、青のバンドパスフィルタをつけて上空 750 m あるい

は 1,500 m の高度から一度に撮影された 4 枚 1 組の写真である。こういったスペクトルの異なる航空写真を利用する場合問題となるのは、

- 1) 一般の画像でもデータ量が膨大であるのにさらにその何倍もの多くのデータを扱わねばならない。
 - 2) 各画像間の位置あわせ、階調補正等の前処理が難しい。
 - 3) 分類わけの際のトレーニングエリア、テストエリアの選択が難しい。
- 等がある。本論文では特に 1), 2) に着目し 2 枚の画像の位置の補正、階調の補正、特にレンズのシェーディング等による低周波雑音除去等の研究結果について述べる。

2. 会話型画像処理システム

2.1 システム構成

最近我が国においてもかなりの数の画像処理システムが作られるようになってきた^{1,2)}。我々が作った画像処理システム³⁾もその 1 つに数えられようが、他の多くのシステムと異なった特徴は次のようなところにある。

- (1) 画像処理には特殊なオンライン端末装置や大きなメモリー容量を必要とするために、共同利用計算機で行うことは現在の段階では種々の困難をともなう。したがってミニコン程度のもので行うことが必要であるが、ミニコンのメモリ

* A system for the analysis of aerial photographs and their preprocessings by Makoto NAGAO, Masatoshi KAWARAZAKI (Faculty of Engineering, Kyoto University) and Yasushi FUKUNAGA (Hitachi Laboratory, Hitachi, Ltd.).

** 京都大学工学部

*** (株)日立製作所日立研究所

一容量は通常小さいので、それを解決するため
に高速大容量の外部磁気コア記憶装置をつけた
こと。

- (2) 画像処理では2次元フーリエ変換とフィルタ
リングを必要とすることが多いが、これを通常
のミニコンでソフトウェアで行うのには時間が
かかる。これを解決するためにFFT（高速フ
ーリエ変換）ファームウェアを導入し、外部磁
気コア記憶装置を用いて、256×256 程度の大
きさの画像の2次元フーリエ変換とフィルタリ
ングがかなりの速度で行えるようにしたこと。
- (3) 対話的に画像処理を行うために、オンライン
のカラーディスプレイ装置を開発し、ミニコン
に接続した。このカラーディスプレイ装置は単
に4,000色のカラー画像を出せるだけでなく、
2枚の白黒の濃淡画像を交互にフリッカー状に
重ね合わせて出力することのできるユニークな
もので、航空写真のレジストレーションその他
で威力を発揮すること。
- (4) 各種の画像入出力装置をそなえて、他にあ
まり類のない強力な画像処理システムとなってい
ること。

Fig. 1 は我々が会話型画像処理を目的として開
発したシステムのハードウェア構成である。64kB(キ
ロバイト)の主記憶のほかに、512kBの高速外部磁気
コア記憶装置、補助記憶装置としては2.4MBのディ
スク2台をもっている。このディスクは一方をシス
テム、画像処理サブルーチン用ディスク、他方を
画像データ用ディスクとして用いている。大きな
画像をあつかうためにはこれでも不十分である
ので最近100MBの大容量補助記憶装置を付加
した。

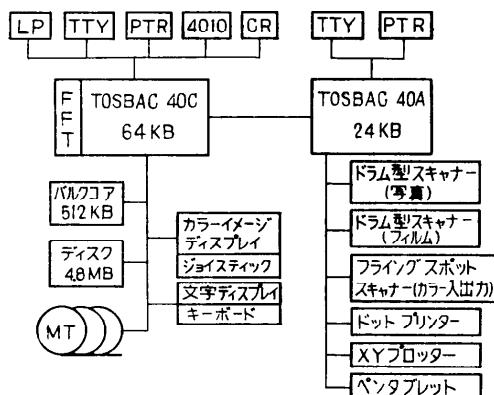


Fig. 1 An Example of Image Processing System

画像入出力機器としては次章でくわしく述べるカ
ラーイメージディスプレイ装置のほかに、4096×4096の
アドレッシングをするフライング・スポットスキャ
ナーによるカラー写真やフィルム画像の入力、および計
算機から直接カラー画像をフィルムに焼き付けること
(これは技術的にかなりのむずかしさを伴うが我々の
システムではうまく焼き付けられるようになった)、写
真、フィルムの入力のためのドラムスキャナー、濃淡
画像の簡易出力を行うためのドットプリンター、地図
作成のためのXYプロッター、その他グラフィック端
末装置が接続されていて、それぞれ専用の入出力プロ
グラムによって便利に使えるようになっている。

2.2 カラーイメージディスプレイ装置⁴⁾

画像処理の研究を行うためには適切な画像表示装置
が対話型画像処理端末として必要である。特にマルチ
スペクトル写真やカラー写真の解析にはカラーディス
プレイ装置が必要である。そこで我々は次のようなユ
ニークな機能をもつカラーディスプレイ装置を設計
し、ミニコンピュータに接続した。そのブロック図を
Fig. 2 に示す。カラーディスプレイ装置としては20
インチのテレビを用いた。

- 1) 赤、緑、青にそれぞれ4ビットを与えた。

この4ビット×3=12ビットはほぼ自然な色を出せ
る最とも経済的なビット数で、3ビットでは色が不
自然となり、5ビット以上では経済的に高くなり
たい。

- 2) テレビ画面上に320×250点の絵素を出せる
ようにした。

テレビ画面の分解能、およびジョイスティックで正
確に各点を区別してポイントできることを考えると
これ以上細かい点数は必要がないし、また経済的
でもないという判断は正しかったと考えている。記
憶素子としてはシフトレジスタによっておりテレビ
の標準走査にほぼ同期させて動かしている。

- 3) 画像データは各点12ビット(4ビット×3色)
であるが、メモリー構成を計算機からの指令によ

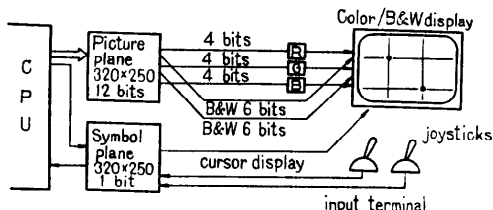


Fig. 2 Color Image Display System

り切りかえることによって6ビット 64段階の白黒濃淡画像を2枚記憶し表示することができるようにした。

この2枚の画像はスイッチを切り換えることによりそれぞれ別々にディスプレイ装置に出力できるとともに、これら2枚の画像を1秒間に15回の割合で交互にディスプレイ画面に出力することによって2枚の画像を重ね合わせて比較して見るができるようにした。この機能を用いるとマルチスペクトル写真の位置合わせが完全にできているかどうかをひとめに見ることができ、ずれや歪のあるときには、2枚の画像の対応点をジョイスティックで計算機に入力することによって簡単に画像のレジストレーションができるようにした。これは我々が始めて試みたもので非常に有効であることが明らかとなった。

- 4) 2本のジョイスティックをつけ、ディスプレイされた画面上の任意の点、2つの十字カーソルで囲まれた任意の矩形領域、またジョイスティックで描いた任意の閉曲線などの座標情報を計算機に送れるようにした。

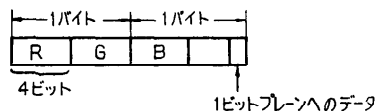
ジョイスティックの使用例を Fig. 3 に示す。また画面の上下左右へのシフト、画像の拡大・縮小、回転など、各種のオペレータの要求を計算機に伝えるための割込みボタンを多数つけた。

- 5) ジョイスティックの描く線や点を記憶したり、ディスプレイされた画像の上に線や文字、記号を重ねて表示する目的のために1bit×320×250のメモリ(1ビットプレーン)をもうけた。
- 6) 1ビットプレーンのデータはX方向9ビット、Y方向8ビットで計算機へ順次読み込むことができ、また計算機から出力することができる。
- 7) R, G, B 各軸に0から15のレベルを選べるデジタルスイッチをつけ、R, G, B 任意の組み合



Fig. 3 Use of Joystick to Encircle Arbitrary Region

- カラー 1点



- 白黒 1点



- ラインデータ

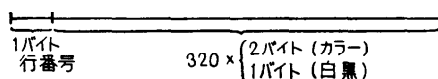


Fig. 4 Bit Structure of Display Data

わせの色を黒く抜くことができるようにし、画面の性質を簡単に手操作で調べることができるようにした。

- 8) ディスプレイデータは Fig. 4 に示されるようなビット構造で任意の横1ラインをDMAモードで送ることができる。また1ビットプレーンの書きかえも行うことができる。1画面のディスプレイ速度はカラーで約10秒であるが、これには画像データのディスクからコアへの転送時間が約6秒含まれている。

2.3 画像処理のためのソフトウェア

画像処理のためのソフトウェアとしては次のような考え方でシステムを構成した。

- (1) 画像の登録、削除、画像処理サブルーチンの登録、削除、画像データの入出力管理、画像処理の実行等をするためのモニタ。このモニタは種々のコマンドによりモードを選んで仕事をすることができる。
- (2) このモニタは画像の部分的な入出力、画素のアドレッシングについての管理を行い、処理プログラムの方では、その画素が主記憶上にあるかないかについて考える必要がない。
- (3) 画像処理プログラムはアセンブラ言語でかく。FORTRAN で画像処理プログラムをミニコン上で書くことは処理速度、その他の点から採用しなかった。
- (4) 扱う画像の大きさは任意である(4,000×4,000あるいはそれ以上)という前提にすべてのプログラムを書いている。同時に扱える画像は主記

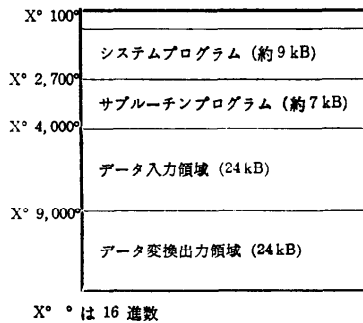


Fig. 5 Core Map

憶の容量に制限されて現在のところ9枚が最大である。

このシステムのコアマップは Fig. 5 で示されるようになっており、システムプログラム部分を除いてはすべてオーバーレイ構造が用いられている。画像データのための 48kB は通常入力画像に 24kB、出力画像に 24kB を用いるが、 n 枚の画像を処理する時は処理結果を入れる部分を含んで $(n+1)$ 等分して画像を入れるようにしている。一般に画像データは主記憶の容量よりも大きいので部分的に主記憶に移して処理を行わねばならない。そのために画像データを Fig. 6 に示すような板状のブロックにわけ、入出力を行っている。ブロックの大きさはあらかじめ決められているのではなく、サブルーチンによって主記憶上で1枚の画像に対してわりあてられた領域の大きさを単位として入出力される。画像処理サブルーチン作成者の負担を軽減するために仮想記憶の概念をとり入れて、データ入出力はシステムが管理しているので、サブルーチン内で N 枚目 ($N=1\sim9$) の画像の点 (I, J) を指定すれば自動的にデータの入出力が行われる。このようにアドレスをシステムが管理するようにしたため、画像の入出力をサブルーチンの中で行っている場合にくらべて計算時間は約2倍となったが、画像処理プログ

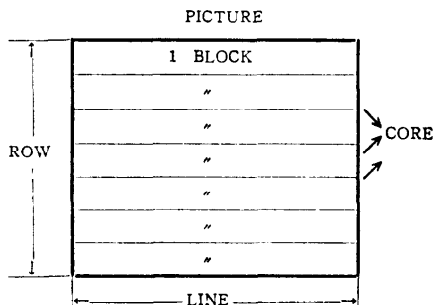


Fig. 6 Block Transfer of Picture Data

ラムを作るための労力と時間が非常に減少し、デバッグも容易でその効果は大きかった。

システムは現在総数にして約350個のサブルーチンをもっている。これらはその機能から次のように分類される。

- 1) システムプログラム
- 2) 入出力プログラム
- 3) 基本処理プログラム
- 4) 幾何学的変換プログラム
- 5) 量測定プログラム
- 6) 画像どうしの演算プログラム
- 7) フーリエ変換、フィルタリング、コンボリューションプログラム

Fig. 7 はこれらのプログラムのうち主なものの処理時間を示している。この表における画像の大きさは特にことわらない限り 256×256 で時間測定を行い、2値化のプログラム、1次微分のプログラムを除いては、主記憶と補助記憶との間の画像入出力はサブルーチンが管理している。画像のアドレッシングをシステム管理に移すと約2倍の時間がかかる。

3. マルチスペクトル航空写真の

幾何学的補正

3.1 航空写真の補正^{5,6)}

マルチスペクトル航空写真の解析において、特徴抽出、分類等の普遍的に有効なアルゴリズムを開発する

1. システムプログラム		
TO-MT	8秒	DISK→MT 転送
DFILE	295秒	画像消去、消去画像の後に12画像残っているとき
2. 入出力プログラム		
ICOUT	10秒	カラーディスプレイ出力 320×250
TEXO	30秒	蓄積型 CRT 出力 256×195
ILINE	300秒	ラインプリンタ出力
DREAD	100秒	ドラムスキャナ入力 500×500
3. 基本処理プログラム		
BIBUN	30秒	1次微分
LAPLAC	16秒	2次微分
SMOOTH	30秒	3×3 の平滑化
NICHI	10秒	2値化
FTBLK	40秒	高速フーリエ変換
4. 幾何学的変換プログラム		
ROTATI	36秒	回転 15°
SKUSHO	12秒	25%縮小
XYSIFT	4秒	平行移動
5. 量測定プログラム		
HISTO	4秒	ヒストグラム
6. 画像どうしの演算プログラム		
AND	8秒	2枚の画像の AND
PLUS	8秒	2枚の画像のたし算

Fig. 7 Processing Time of Typical Subroutines
(Time is for 256×256 point pictures)

ためには、まず画像の前処理をきっちりとしておかなければならない。マルチスペクトル画像の前処理としてはいろいろな場合と条件を考えなければならないが、我々はこれらのうちまず行わねばならないものとして、幾何学的補正（レジストレーションも含めて）と階調補正をとりあげた。ここでは幾何学的補正を説明し、後者については 4. で述べる。

解析の対象としたマルチスペクトル航空写真は、赤外、赤、緑、青の 4 バンドからなる 4 枚 1 組の写真で、幾何学的なひずみの原因としては次のようなものがあげられる。

- 1) レンズ収差
- 2) 写真からデータサンプリングを行うとき、ドラムスキャナへの写真のはり方によるゆがみ
- 3) 現像、焼き付け時のゆがみ
- 4) カメラの高度、姿勢

等がある。こうしたことから特徴抽出や分類を行うためには少なくとも各バンド間における位置補正が必要となる。この位置補正として我々はあるバンドの画像（通常は赤外フィルターの写真）を基準として他のバンドの画像をこの画像にあわせるという方法をとった。

処理順序に従ってこれは次の 3 段階に分かれる。

- 1) 2 つの画像から対応する特徴点を抽出し、おのおのの画像における座標を求める。
- 2) 1) で求めた特徴点の対の何組かをを用いて、一方の画像を他方の画像に移す変換のための多項式を求める。
- 3) 2) で求めた多項式から補正された新画像を再生する。

以下で各段階の方法とその結果を示す。

3.2 特徴点の抽出

特徴点の抽出方法として、(1) カラーディスプレイ装置に 2 枚の画像をフリッカーモードで重ねて出力し、ジョイスティックを用いて容易に指示できる顕著な点をマニュアルで指示して対応点を求める方法、(2) SSDA (sequential similarity detection algorithm) による方法⁵⁾、(3) 相関係数を用いる方法の 3 種類を試みた。

マニュアルによる方法は正確であり結果がすぐわかり、また人が満足のゆくまで繰り返すことができるが、手間がかかる。用いるプログラムは拡大、縮小、回転が主であるが多項式による変換も使える。この方法は研究を行っている段階では良いが、大量の写真に対してマニュアルで行うことは困難である。

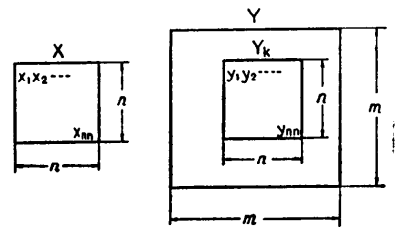


Fig. 8 Registration by Correlation

SSDA は雲の移動量を調べるといった同質の画像に対しては良いが、異なったフィルターによる異なった画質の写真には適さない。そこでこれらの画像をいったん微分し、エッジを出した画像に対して行えばよい結果が得られると思われたが、必ずしもそうではなかった。次に述べる相関関数法にくらべ 2 点以上ずれている。SSDA はミスマッチのとき、途中で計算を打ち切るが、そのためのパラメータの選び方が結果に影響を与える。SSDA の利点はミスマッチの場合に計算をなるべく早く途中で打ち切るので計算時間が非常に短くてすむという利点をもつが、そのかわりに結果の正確さが犠牲にされるということができる。

相関係数による方法は Fig. 8 に示されるような 2 つの画像 X, Y のどのポイント（または領域）が対応するかを相関係数を尺度として測る方法である。X と Y_k の相関係数 ρ は X, Y_k の各点を Fig. 8 に示されるように順序づけると

$$\rho = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\bar{x}, \bar{y} \text{ は平均})$$

で求められる。Y_k を Y のエリア内で動かしてそれぞれに対して ρ を求め、その最大値を与える位置を 2 つの画像の座標対応点とする。実験では X を 20 × 20 の画像、Y を 40 × 40 として ρ を求めた。また 1 枚の画像の大きさは 1,000 × 800 で、特徴点を画像全体からまんべんなく選びたいから、画像全体をたてよこそれぞれ 4 等分し 16 の部分に分け、各部分から特徴点を 1 つずつとり出した。レジストレーションの精度の比較を行うため、特徴点はマニュアルで指定した点に合わせた。これらの点を中心に 10 × 10、40 × 40 の領域をきめ、それぞれ相関値を計算した。Fig. 9 (次頁参照) はその結果の一例である。|ρ| > 0.65 以上のとき対応点になりうるとした場合 16 点のうち 9 個の対応点が見いだされ、n=10 以外ではマニュアルによる方法とはほぼ一致している。

Fig. 9 の場合では負の相関を示すものはないが、この方法によれば負の相関をもつもの（2 つの写真の間

n	(i, j)	correlation	pair(画像上での絶対アドレス)
1	—	—	—
2	(12, 11)	0.801	(517, 172) : (475, 171)
3	—	—	—
4	—	—	—
5	(10, 12)	0.702	(187, 320) : (146, 318)
6	(10, 12)	0.815	(296, 358) : (255, 356)
7	(11, 10)	0.871	(705, 412) : (663, 410)
8	—	—	—
9	—	—	—
10	(16, 10)	0.734	(397, 507) : (356, 505)
11	—	—	—
12	(10, 11)	0.700	(864, 581) : (821, 579)
13	—	—	—
14	(11, 10)	0.859	(398, 663) : (357, 661)
15	(10, 10)	0.788	(779, 744) : (737, 741)
16	(12, 10)	0.684	(912, 757) : (870, 754)

Fig. 9 16 Pairs of Points Obtained by Correlation

で濃淡の関係が逆転しているような画像)でも特徴点の対応を求められる。

このように相関係数による方法は精度という点ですぐれているが、計算時間としては、たとえばSSDAが5~10秒ですむものに対して相関係数の方法は約2~3分を必要とするという欠点をもつ。したがって計算時間の点でこの方法が用いられるかという疑問はある。しかし Bernstein らの行っているように SSDA で得たあまり正確でない対応点対に対して3次ないし5次の多項式で画像変換するのがよいか、時間がかかってもし対応点を正確に求めて、2次程度の多項式で画像変換して少しでも時間をみじかくするのがよいかは今後の検討にまつ必要があると考えられる*。

3.3 多項式

3.2 で求めた特徴点の対のいくつかを用いて、一方の画像を基準画像にあわせるように画像を変換する関数、

$$\begin{cases} x=f(X, Y) & (x, y) \text{ 旧座標} \\ y=g(X, Y) & (X, Y) \text{ 新座標} \end{cases}$$

を求める必要があるが**、ここでは正確さ、計算時間の関係から2次および3次の多項式を考えた。各係数を求める方法としては

- 1) 6対の特徴点から6元連立1次方程式をとく。
- 2) 7対以上の特徴点を用いて最小二乗法で求める。
- 3) 多項式を $\omega = x + iy$ の複素数と考え Newton 補間法によって解く。
- 4) 3) と同様に考え Lagrange 補間法によって解く。

* 最近 Bernstein らも SSDA をやめて FFT ハードウェアを用いた相関係数法によるようになっている。

** 新座標の格子点から旧座標の対応点を求める。

5) 選点直交多項式による2次、3次式近似を行って解く⁷⁾。

を代表的なものとして試みた。Fig. 9 に示した対応点に対する変換多項式としては次のような結果が得られた。

(1) 6対の特徴点から6次連立一次方程式をとく場合

$$\begin{aligned} x &= -34.583 + 0.97743X - 0.48230 \cdot 10^{-2}Y \\ &\quad + 0.15015 \cdot 10^{-4}X^2 + 0.14164 \cdot 10^{-4}XY \\ &\quad - 0.64415 \cdot 10^{-5}Y^2 \\ y &= 3.0392 - 0.91399 \cdot 10^{-2}X + 0.98932 \cdot Y \\ &\quad + 0.63943 \cdot 10^{-5}X^2 + 0.92971 \cdot 10^{-5}XY \\ &\quad - 0.43898 \cdot 10^{-6}Y^2 \end{aligned}$$

(2) 10対の点を用いた最小二乗法による場合

$$\begin{aligned} x &= -36.787 + 0.99594X - 0.13729 \cdot 10^{-1}Y \\ &\quad + 0.58677 \cdot 10^{-6}X^2 + 0.14133 \cdot 10^{-5}XY \\ &\quad + 0.12947 \cdot 10^{-4}Y^2 \\ y &= 1.4888 + 0.10412 \cdot 10^{-2}X + 0.98706Y \\ &\quad - 0.29440 \cdot 10^{-5}X^2 + 0.50924 \cdot 10^{-5}XY \\ &\quad + 0.68785 \cdot 10^{-5}Y^2 \end{aligned}$$

(3) 10対の点を用いた3次式近似

$$\begin{aligned} x &= -31.819 + 0.95957X - 0.22287 \cdot 10^{-1}Y \\ &\quad + 0.58377 \cdot 10^{-4}X^2 + 0.38623 \cdot 10^{-4}XY \\ &\quad + 0.35897Y^2 - 0.24179 \cdot 10^{-7}X^3 \\ &\quad - 0.51523 \cdot 10^{-7}X^2Y + 0.22988 \cdot 10^{-7}XY^2 \\ &\quad - 0.36429 \cdot 10^{-7}Y^3 \\ y &= 3.0724 + 0.40413 \cdot 10^{-2}X + 0.96390Y \\ &\quad - 0.22375 \cdot 10^{-4}X^2 + 0.36479 \cdot 10^{-4}XY \\ &\quad + 0.53823 \cdot 10^{-4}Y^2 + 0.16737 \cdot 10^{-7}X^3 \\ &\quad - 0.13303 \cdot 10^{-7}X^2Y - 0.24261 \cdot 10^{-7}XY^2 \\ &\quad - 0.27103 \cdot 10^{-7}Y^3 \end{aligned}$$

(4) 5次式の Newton 補間 (Lagrange 補間)

$$\begin{aligned} f(z) &= c_0 + c_1(z-z_1) + c_2(z-z_1)(z-z_2) \\ &\quad + c_3(z-z_1)(z-z_2)(z-z_3) \\ &\quad + c_4(z-z_1)(z-z_2)(z-z_3)(z-z_4) \\ &\quad + c_5(z-z_1)(z-z_2)(z-z_3)(z-z_4)(z-z_5) \\ c_0 &: (0.11800 \cdot 10^3, 0.84000 \cdot 10^2) \\ c_1 &: (0.98827 \cdot 10^0, -0.26475 \cdot 10^{-2}) \\ c_2 &: (0.18936 \cdot 10^{-4}, -0.15288 \cdot 10^{-4}) \\ c_3 &: (-0.12042 \cdot 10^{-7}, 0.23046 \cdot 10^{-7}) \\ c_4 &: (-0.50739 \cdot 10^{-10}, -0.20603 \cdot 10^{-10}) \\ c_5 &: (0.75509 \cdot 10^{-13}, -0.12927 \cdot 10^{-13}) \end{aligned}$$

(5) 選点直交多項式による方法は式が回帰的に表現されており、表現形式が少しちがうのでこ

には記さない。

以上の諸方法について7次, 9次等の次数の高い式までも求めてみたが, 結果はしばしば振動的な傾向をみせ, また高次の項における計算誤差などが全体に大きな影響を与えるので, 実際の変換においては高次の式はかならずしも良い結果を与えないことがわかった。Bernstein⁹⁾は3~5次の多項式を用いているが, 精度からはこの程度の次数が限度と思われる。結局, 汎用性, および特徴点对を求める際におけるエラーの影響が比較的少ないことから, 選点直交多項式の2次, 3次式近似が比較的良い結果を与えることがわかった。しかし計算の手数など総合的に考えると結局最小二乗法がよいという結論となった。

こうして求められた多項式を用いて画像の再生を行わねばならない。こういった座標変換を行う際に問題となるのは, 変換関数 f, g によって求められた (x, y) は, 係数が実数値であるため, 整数になることはほとんどない。画像データは離散的であることから補間を行わねばならない。近似の方法としては画像データが膨大である(実験データでは50 μ 間隔)ことから, なるべく計算時間の短い簡単な方法が必要であり, 求められた (x, y) に一番近い格子点の濃淡値を新しい座標点 (X, Y) の濃淡値とする方法をとった。上記の種々の変換式での変換はいずれも画面全体で最大1, 2点のずれ以内でおさまリ, 再生画像をディスプレイ装置に出力してみても目で見るとほとんど区別がつかない結果を与えた。

4. マルチスペクトル航空写真の階調補正

4.1 シェーディング除去

デジタル化された画像データに加わった階調の位置的なひずみとしては次にあげるようなものが考えられる。

- 1) レンズによるシェーディング
- 2) フィルムやフィルタの特性
- 3) 現像, 焼き付けのときのむら
- 4) 写真機 の特性
- 5) ドラムスキャナ の特性
- 6) 日射, 大気伝播, 拡散

等がある。そしてこれらのノイズの除去が前処理の重要な部分を占める。その中でも特に影響の大きいと考えられるのは, レンズの影響等によって画像の周辺部分が暗くなる, いわゆるシェーディングである。これは非常に周波数の低い明るさの変化でありこれを取り

除くことを考えた。この種のシェーディングはレンズの軸に対してほぼ点対称に現れる。

レンズとしぼり値が一定な状態では変化しないようなこの種のシェーディングを取り出す方法としては, 同じ条件のもとでとられた写真を十分な枚数 N だけ平均することによって, 写真がかわれば濃淡値が変化するような成分はほとんどすべて平均化され直流成分におちて, 対象によっては変化しない成分のみを取り出すことができると考えることができる。

しかしながらこの方法を実際に用いようとするとき N は相当大きくする必要があり, またしぼり値を変化させれば同じ操作を再び繰り返さねばならず大変な仕事となる。

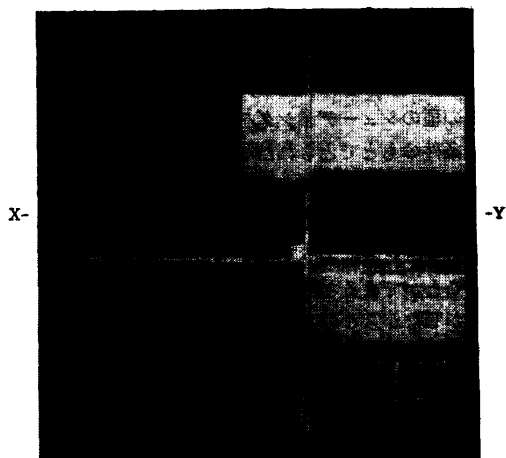
我々はこの種のシェーディングは非常にひくい周波数成分によるものであると考え, これをフィルタによって取り除くことを考えた。即ち2次元FFTを用いてまずシェーディング関数を抽出する方法を試みた⁹⁾。

シェーディングはレンズの軸を中心として周辺部分に近づくにつれて増加する低周波成分を多く含む関数であり, 一方信号成分は画像にもよるが, 一般には高周波成分をも多く含む関数と考えられる。そこで最も簡単にはフィルタとしてローパスフィルタをかければ, シェーディングの成分と信号成分のうち低周波成分が加わったものがとり出せる。信号成分は画像によって異なるから, 先に述べたように何枚かのたし算によって直流成分にまでおとすことができ, その結果シェーディング関数だけをとり出すことができると考えられる。そしてこのたし算の枚数は十分少なくすむと思われる。

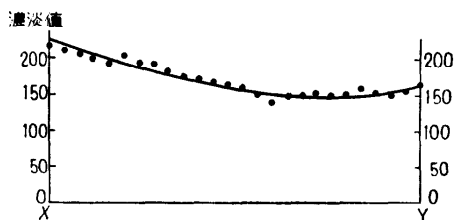
4.2 実験結果

4.1 で述べたことを実際の画像に対して行うと次のようになった。Fig. 10 (a) (次頁参照) は緑色フィルタによる画像のうちの1枚で Fig. 10 (b) のグラフはXY線にそった方向の濃淡値を示す。このグラフを見ればわかるように中心付近にくらべて周辺部分の濃度が大きくなっていることがわかる。そして Fig. 11 (次頁参照) はこの画像に対して直流成分と1サイクルの周波数成分のみを通過させるローパスフィルタをかけた結果で, シェーディングの影響がよく現れている。同じ条件の下でとられた3枚の画像に対し同じ操作を行い, それを平均したものが Fig. 12 (次頁参照) である。

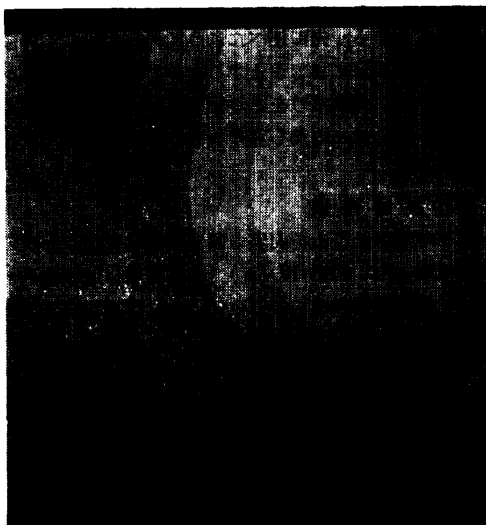
シェーディングの中心が画像の中央になく, ずれているのは太陽光, いわゆるサンスポットの影響による



(a) Shading in the original image

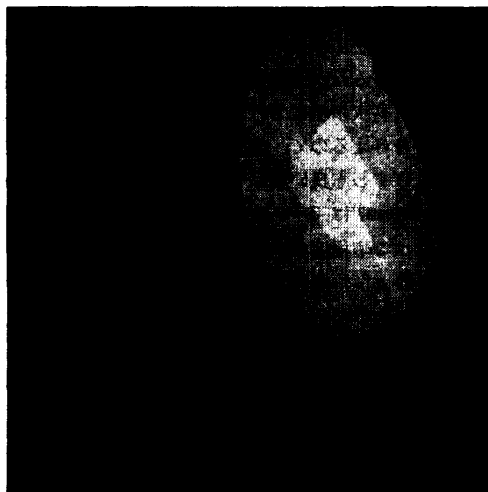
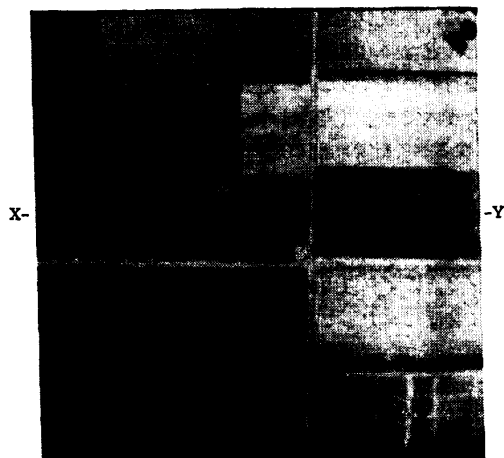
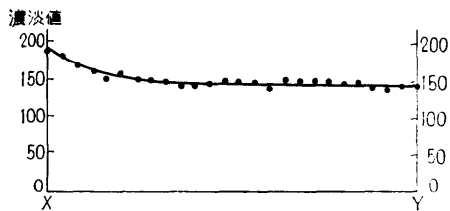


(b) Gray level change in the XY direction

Fig. 10 Shading in the original image**Fig. 11** Result of Shading Extraction

ものと推定される*。シェーディングの中心における直流成分を保存したまま、このシェーディング関数を

* これは北農試の福原道一氏に指摘していただいた。

**Fig. 12** Example of Shading(a) Image which is obtained from **Fig. 10** by the subtraction of low frequency components of **Fig. 12**

(b) Gray level change in the XY direction

Fig. 13 Image after shading correction

Fig. 10 から引くと **Fig. 13 (a)** が得られた。同図 (b) は XY 線にそった方向の濃淡値変化を示している。この図を見れば、端の部分を除いてシェーディン

グの影響がほぼ十分に除去されていることがわかる。

レンズのシェーディングを種々のしぼりに対して解析的に求めることはめんどろであり、またカメラへのレンズの取り付け方によってシェーディングの中心がかならずしも画面の中心にあるとは限らない。こういった条件においてはシェーディング関数を解析的に求めるよりはフィルタリングの考え方を導入してシェーディングを除く方がはるかに簡単であり、良い方法であると考えられる。

5. あとがき

本論文ではカラーディスプレイ装置を中心とした会話型画像処理システムと、そのシステムを用いて行ったマルチスペクトル航空写真の計算機処理のうち特に前処理について述べた。

会話型画像処理システムに関しては補助記憶装置であるディスクの容量の問題、及び処理プログラム間でのパラメータ移動の問題を残しているが、カラーイメージディスプレイ装置をはじめとする数々のハードウェアによって会話型システムとしての要求をかなりよく満たすものを作れたと考えている。

3., 4.ではマルチスペクトル航空写真の前処理について述べた。特徴抽出、分類の前に行うべき前処理としては位置の補正が重要であると考えていたが、階調の補正が分類により重要な影響を与えることがわかった。

位置の補正に関しては、計算時間の問題が残るとはいえ、大むね目的は達しているものと考えている。階調の補正としては2次元FFTを用いた低周波濾波という新しい考え方により、シェーディング除去が可能

であることを明らかにした。しかしながら階調の補正には他に高周波雑音や2枚の画像間での階調補正など残されている問題も多い。

おわりにカラーイメージディスプレイ装置製作にあたっては(株)ナック高橋正明氏、データ収集にあたっては国土地理院古賀文雄氏、三菱電機中央研究所伊藤貴康氏、福島正俊氏に御協力いただき、ここに深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) イメージプロセッシング研究委員会: イメージプロセッシング研究委員会報告, 情報処理, Vol. 16, No. 8, (1975年8月).
- 2) 坂井利之, 金出武雄, 大田友一, 柳建一郎, 蓮井秀夫: デジタル画像情報の会話型処理システム, 情報処理, Vol. 15, No. 12, (1974年12月).
- 3) 長尾 真, 増井庄一, 福永 泰: ミニコンによる画像処理のための会話型ソフトウェアシステム, 電子通信学会, PRL 73~98, (1974年3月).
- 4) 長尾 真, 福永 泰: 画像処理のためのカラーディスプレイ装置: 情報処理学会第15回全国大会, (1974年12月).
- 5) D. I. Barnea, H. F. Silverman: A Class of Algorithms for Fast Digital Image Registration, IEEE, Trans. C-21, No. 2, (Feb. 1972).
- 6) R. Bernstein: Digital Processing of Earth Observation Imagery, Information Processing 74, Stockholm.
- 7) たとえば, 森 正武: 数値解析, 共立出版(昭和48年).
- 8) 長尾 真, 江本憲文: 画像データに対するFFTとその応用, 50年度電子通信学会大会論文集S5-8, (昭和50年3月).

(昭和50年5月13日受付)

(昭和50年9月22日再受付)