

画像処理／解析の高速化処理について

東京理科大学	教授	大林成行
東京理科大学	助手	江野沢誠
東京理科大学	大学院生	○岩田道敏
東京理科大学	大学院生	橋本 学

1. はじめに

電算機を取巻く環境は急速なテンポで進歩しており、演算速度のアップ、記憶容量の拡大には目をみはるものがある。そのため、大量のデータ処理を必要とする画像処理の分野においてもその効果は目覚ましく、より大量のデータをより早いスピードで処理することができるようになってきた。しかし、従来の大型汎用計算機を中心とした画像処理／解析は、非常に高速で機能が豊富である反面、コストが高くつく、使用方法が煩雑である等の理由により必ずしもユーザの要求を満たしているとはいえない。そのため、最近では機能が飛躍的に向上し、大量のデータ処理を行うことが可能になりつつあるパーソナルコンピュータ上で画像処理／解析を行いたいという要望が強まっており、安価で処理スピードが速く、扱い易いパーソナルコンピュータを用いた画像処理／解析システムが求められている。しかし、パーソナルコンピュータの機能は飛躍的に向上したが、膨大な量の計算を必要とする画像処理／解析を行なうためには、計算時間、記憶容量等の面で未だ問題を残しており、ユーザの要求を満たす域には達していないのが現状である。

そこで本研究では、パーソナルコンピュータ上で稼働する画像処理／解析システムを開発していく上での問題点を整理するとともに、これらの問題点に対して処理速度、操作性の2つの観点から検討を加え、画像処理／解析作業の大幅な高速化を図った。同時に、検討結果を実際のシステム構築へ活かすことによって、パーソナルコンピュータを用いた高速画像処理／解析システムとして統合化を行った。

2. 画像処理／解析システムの現状と問題点

画像を対象とした処理／解析作業はデータ量が膨大であるため、大型汎用計算機を用いて行われるのが一般的であるが、前述のとおり、ユーザの間ではパーソナルコンピュータを用いたシステムも強く求められている。これらのシステムはそれぞれ特徴を持ち、利点と問題点を持っている。すなわち、大型汎用計算機を用いたシステムはハードウェア面で非常に優れており、特に処理速度や記憶容量の面では問題なく利用されている。また、長い年月にわたってシステムが利用されてきたためシステムとして完成度の高いものになっている。しかし、コストが非常に高くなることやシステムの構造の複雑さなどにより、新たに画像処理を始めようとしているユーザにとっては大型汎用計算機の利用は難しくなっている。

一方、パーソナルコンピュータを用いたシステムはハードウェア面、特に、処理速度や記憶容量等の面で十分とは言えないが、その低廉性と取り組みやすさに関しては十分に利用価値がある。また最近では、安価なパーソナルコンピュータ専用の画像処理プロセッサが開発されており、このプロセッサを利用することにより処理速度の面で大幅に性能を向上させることができるようになってきた。さらに、外部記憶装置やフレームメモリ等の周辺機器の性能も格段に向上し、価格も安価になってきたため、これらの周辺機器を有効に利用することによりパーソナルコンピュータを用いても、高機能で安価な画像処理／解析システムを構築することが可能となってきた。

このような現状を踏まえ、本研究では、実用に耐えうる画像処理／解析システムを開発していくためには、どのような点に留意すればよいかについて、ソフトウェア、ハードウェアの両面から検討を行い、「パーソナルコンピュータ用画像処理／解析システム」を開発していく上での指針となる基準を作成した。その結果を表-1に示す。

表－1 画像処理／解析システム開発上の留意点

ソフトウェア上の留意点	ハードウェア上の留意点
①対話形式で操作を進めることができる ②操作用のメニュー画面がわかりやすい ③操作が簡単である ④キー入力が少なくてすむ ⑤誤入力をしてしても訂正できる ⑥色々な形式のデータに対応できる ⑦システムの追加・更新が容易である ⑧システムが互換性を持っている ⑨画像処理を専門としていない人にも容易に利用できる ⑩ハードウェアの専門の知識を必要としない ⑪幅広い機能を備えている ⑫豊富な表示機能を備えている	①処理速度が速い ②大きなデータでも1度に扱える ③システムの値段が安い ④メンテナンスを必要としない ⑤いつでも自由に使用できる ⑥周辺装置の拡張が容易である ⑦周辺装置を用いなくても基本システムのままで使用できる ⑧一般に広く用いられているハードウェアを用いる

3. 画像処理／解析システムの効率化

本研究では、パーソナルコンピュータをベースにした画像処理／解析システムの効率化を図るために、数多くのソフトウェア面からの開発およびハードウェア面からの検討を行った。中でも、処理速度の向上と操作性の向上の2点に対しては特に留意した点であり大幅な改善が得られた。以下、この2点について具体的な検討内容と成果について述べる。

3. 1 処理速度の向上による効率化

パーソナルコンピュータを用いて画像処理／解析を行っていく上での最大の問題は処理速度である。本研究では、この処理時間をできるだけ短縮するために、以下に記述するように、パーソナルコンピュータ用に開発された周辺機器を効果的に用いることと、パーソナルコンピュータシステムの環境設定に工夫することにより大幅な処理速度の向上を実現した。

(1) データフロー型プロセッサを用いた処理速度の向上

データフロー型プロセッサは、画像処理を高速に行うために開発されたプロセッサであり、比較的安価に提供されている。機能的には、演算そのものの高速化だけでなく、画像データを一旦プロセッサ内のメモリに取り込んで処理を行うため、データの転送時間が短縮され、処理の並列化を高めることができる等の特徴を持っている。具体的な特徴をまとめると次のとおりである。

- ①データフロー方式：処理の対象となるデータ自身が処理を受けるための命令を持ってプロセッサ内に入るため、アドレス等の情報をプロセッサとメモリの間でやり取りする必要がなく、余分な転送時間がなくなり、処理能力を向上させることができる。
- ②パイプライン方式：あるデータに対して1つの処理が全て終了してから次のデータを処理する従来の逐次処理ではなく、1つの処理を複数のステップに分割し、データの処理が1ステップ進むごとに次のデータを送り込み、各ステップは次々に入ってくるデータを定められた工程だけ処理して次のステップへ送り込む方式となっている。この処理方式は、多くのデータについて同じ処理を行う画像処理に非常に適している。
- ③処理の並列化：プロセッサ内でデータを処理する場合には、他の部分で行われている演算に関係なく、処理が可能な部分から実行を進めることができるため、処理効率が非常に向上する。
- ④マルチプロセッサ構成：本研究で用いたデータフロー型プロセッサは、1個だけでも十分高速であるが、複数個用いてマルチプロセッサ構成とすることによりさらに高速化を

図ることができる。

このような特徴を持っているデータフロー型プロセッサであるが、これらの機能を効果的に発揮させるには専用言語による膨大な量のソフトウェアを開発する必要があり、一般のユーザがすぐに利用するというわけにはいかない。また、このデータフロー型プロセッサはあまり一般に普及しておらず、このプロセッサを用いた開発事例は非常に少ない。そこで本研究では、このデータフロー型プロセッサを導入して数多くのプログラムを作成することにより、ユーザがこのプロセッサを意識することなく利用できるように配慮してシステムの構築を行なった。またその効果を検証するため、クラスター分析、主成分分析、重回帰分析、幾何補正といった画像処理の分野では代表的な4種類の処理を対象として高速性の効果の検討を行った。その結果、作業時間は1/50～1/100に、キー入力やデータ転送を含まない演算時間のみでは1/100～1/800に高速化を図ることができた。この結果は、パーソナルコンピュータを用いた画像処理／解析システムとして十分に実用に耐えうるものと言える。作業時間の比較を表-2に、演算時間の比較を表-3に示す。また、本研究では、データフロー型プロセッサを2つ用いてマルチプロセッサ構成とし実際に処理を行い、演算時間が1/2になることを確認した。ここでは、クラスター分析を用いた3つの事例についてそれぞれ分類を行った。表-4はその結果である。表中、DFPはデータフロー型プロセッサを意味し、3バンド10クラスは衛星リモートセンシングデータ3バンドを用いて10クラスに分類する作業内容を示す。

表-2 作業時間の比較
(キー入力やデータ転送を含む)

	従来のパソコンシステム	データフロー型パソコンシステム
クラスター分析	57分	1分16秒
主成分分析	49分	1分07秒
重回帰分析	13分	59秒
幾何補正	2時間38分	1分20秒

表-3 演算時間の比較
(キー入力やデータ転送を含まない)

	従来のパソコンシステム	データフロー型パソコンシステム
クラスター分析	55分	44秒
主成分分析	45分	39秒
重回帰分析	12分	4秒
幾何補正	2時間36分	12秒

表-4 データフロー型プロセッサの個数による演算時間の比較(クラスター分析)

	3バンド10クラス	3バンド16クラス	4バンド16クラス
DFP なし	55分	67分	81分
DFP 1個	44秒	1分08秒	1分15秒
DFP 2個	22秒	35秒	38秒

注) DFPはデータフロー型プロセッサを示す。

(2) ハードウェアの拡張による処理速度の向上

パーソナルコンピュータの周辺機器の中には、RAMボード、ハードディスク、数値演算プロセッサ、データフロー型プロセッサ等、利用することによって処理速度の向上を図ることができる周辺機器がある。本研究では、これらのハードウェアをシステムに組み込むことによって実際に画像処理を行い、処理速度が向上がするかどうかの検証実験を行った。具体的には、最も高速化の効果があると考えられるディスクの入出力に着目し、入出力先をフロッピーディスク、RAMディスク、ハードディスクの3種類のディスク装置の組合せとして種々の処理を行い、作業時間の比較を行った。また、比較の対象として、大型汎用計算機を用いた場合の作業時間との比較も併せて行った。その結果、RAMディスクやハードディスクといった高速のディスク装置を用いることによって、作業時間の短縮が図れることが判った。また、データフロー型プロセッサの効果は絶大であり、大型汎用計算機の能力に匹敵することが確認できた。(表-5) これらの結果は、今後、パーソナルコンピュータをベースにした画像処理／解析システムを導入するユーザにとって極めて有効な資料となる。

表-5 入出力装置の違いによる作業時間の比較

	大型汎用	パーソナルコンピュータ					データロー型
		フロッピー	RAM ディスク	RAM ディスク	ハード ディスク	ハード ディスク	ハード ディスク
入 力		フロッピー	RAM ディスク	RAM ディスク	ハード ディスク	ハード ディスク	ハード ディスク
出 力		フロッピー	フロッピー	ハード ディスク	ハード ディスク	ハード ディスク	ハード ディスク
画像切り出し	13秒	9分28秒	8分23秒	7分49秒	7分59秒		
幾何補正	2分	489分	152分	138分	120分	2分	
主成分分析	7分	55分	50分	49分	49分	1分07秒	
クラスター分析	8分	80分	76分	75分	76分	1分16秒	
スライス編集	2分00秒	9分00秒	7分25秒	7分29秒	7分45秒		
合成カラー表示	1分21秒	1分54秒	1分09秒	1分09秒	1分17秒		

(3) システムの環境設定による処理速度の向上

現在、パーソナルコンピュータのオペレーティングシステムとして最も広く普及しているものは、MS-DOSである。このオペレーティングシステムは、作業エリアの大きさにより、処理を行う場合の速度に差が出てくることが知られている。そこで本研究では、MS-DOS上での作業エリアの大きさを決めるバッファの大きさを20とすることにより、無駄なディスクアクセスを省き、標準の場合（バッファの大きさは2）との処理速度の比較を行った。その結果、表-6に示すとおりクラスター分析プログラムのコンパイル作業では、作業時間を約80%に、RAMディスクを併用することにより約50%に短縮することができ、バッファの設定を変更するだけで処理速度を上げることが可能であることが判った。このバッファの設定は装置の拡張を必要とせず、オペレーティングシステムの初期設定の変更だけで効果が得られるため、上述した外部拡張装置の導入が困難なユーザにも効果が得られるものである。また本研究では、コンパイラ位置をフロッピーディスクから他の高速ディスクへ変更することにより、高速化を図ることができることを確認した。表-7に示すように、コンパイラをフロッピーディスクからハードディスクへ変更するだけで、作業時間を3/4に短縮することができた。

表-6 クラスター分析のコンパイル時間

バッファの数	2	20
フロッピーディスク	1分56秒	1分36秒
ハードディスク	1分10秒	1分03秒
RAM ディスク	1分02秒	58秒

表-7 コンパイラの位置によるコンパイル時間

外部記憶装置	フロッピー	ハードディスク
フロッピーディスク	1分56秒	1分29秒
ハードディスク	1分10秒	53秒
RAM ディスク	1分02秒	49秒
コンパイラの位置		

3. 2 操作性の向上による効率化

先進のハードウェアを用いたシステムであっても、そのシステムを利用するための操作方法が良くなければハードウェアの特徴を活かすことはできず、実際に利用する場合の作業効率も上がらない。ましてハードウェア面での制約の多いパーソナルコンピュータを用いてシステムを開発する場合には、いかに利用しやすいシステムを開発するかに細心の注意を払わなければならない。そこで本研究では、メニュー画面による管理、エラーチェック機能、ファンクションキーの利用の3点に重点をおいて操作性を向上させ、システムの効率化を図った。

(1) メニュー画面管理による操作性の向上

画像処理／解析システムを利用して作業を行う場合には、入力する画像データのファイルや処理結果を出力するファイルを必ず指定しなければならない。しかし、作業を行う上で同じファイルを何度も扱う場合にはこのファイル定義は大変わずらわしく、入力を行う際に誤入力をしたり、ファイル名の混乱を起こす場合がある。そこで本研究では、画像処理／解析システムを利用していく上で、最も利用頻度の高い画像表示の機能にメニュー画

```

***** < D I S P L A Y M E N U > *****
IMAGE : NO. ***** 1 ***** ----- 2 ----- ----- 3 ----- ----- 4 -----
File : NAME
Size : HEAD 512 512 512 512
      : COL. 512 512 512 512
      : LINE 400 400 400 400
Column : SC 1 1 1 1
        : EC 512 512 512 512
Line : SL 1 1 1 1
      : EL 400 400 400 400
LOCat. : C.L 0. 0 0. 0 0. 0 0. 0
SLice : 0- 255 0- 255 0- 255 0- 255
FActor,INTERval 1. 1 1. 1 1. 1 1. 1
          -R- -G- -B- -R- -G- -B- -R- -G- -B- -R- -G- -B-
11. HISTGRAM 16. OVERLAY 66. IMAGE ON
12. PSUEDO COLOR 17. PROFILE GRAPH 77. CLEAR IMAGE
13. RED IMAGE 18. ADDRESS & VALUE 88. MS_DOS
14. GREEN IMAGE 19. RIGHT SPASE 99. END (MAIN MENU)
15. BLUE IMAGE 20. SAVE IMAGE

>>>

FILE SIZE COL LINE LOC SL FAC INT IMAGE MS_DOS

```

図-1 画像表示機能のメニュー画面

面管理方式を採用し、ファイル定義、画像表示条件、各種コマンド等を1つの画面に表示し操作性の向上を図った。図-1にメニュー画面の例を示す。このメニュー画面の特徴を以下に示す。

- ① コマンドの入力：メニュー画面上にはシステムを操作するためのコマンドが全て表示されており、これらのコマンドをコマンドラインから入力することによって各種の機能を利用することができる。
- ② ファイル定義：画像表示を行うファイルをメニュー画面上に4つまで予め登録することができ、必要に応じて利用するファイルの表示の設定を行うことができる。また1度設定したファイル定義はシステム全体が終了するまで保存されており、一旦他の機能で処理を行い、再び画像表示を行う場合でも前に設定したファイルを再度利用することができる。
- ③ 表示の条件の設定：画像表示を行う場合には、画像データのファイル名の他に画像データの大きさ、表示を行う画像上の範囲、画面上の出力位置、拡大縮小率等の設定を行わなければならない。本システムでは、これらの設定を任意の順序で行うことができ、また、一旦画像表示をした後に設定の1部だけを変更して再表示を行うことも可能である。そして、これらの設定は常に画面上に表示されており、表示されている画像の設定条件をいつでも知ることができる。上記の特徴を持つメニュー画面を用いて画像表示を行うことにより、従来非常に煩雑であった画像表示処理を効率よく行うことができるようになった。

(2) エラーチェック機能による操作性の向上

画像処理／解析システムを利用する場合には、一般にキーボードを用いてコマンドを入力することが多い。そのため、作業を行っていく上での誤入力は避けられず、その度に処理が中断してしまつては非常に効率が悪い。そこで本研究では、入力時のエラーに対して以下に列挙するようなエラーチェック機能を設け、誤入力の際のトラブルが最小限となるようにした。

- ① 入力ファイル名のエラーチェック：ユーザが指定したファイルが存在しない場合、システムは警告音とメッセージをユーザに返し、ファイル名の再入力を促す。この機能によ

り、ユーザは誤入力をした場合でも処理を中断することなく再入力を行い、処理を続行することができる。

- ②出力ファイルのエラーチェック：ユーザが指定したファイルが既に存在する場合、システムはファイルをオーバーライトしても良いかどうか確認を行う。この機能によって誤入力により不用意に必要なファイルを消去してしまうというミスを防ぐことができる。
- ③入力内容の確認：システムは処理を実行するまえに、一旦画面上にユーザが入力した内容を表示して、ユーザに入力内容の確認を促す。この機能により、誤ったままでの実行を防ぐことができ、処理効率を向上させることができる。
- ④機能の中止：システムは処理を途中で中止させる機能を持っており、この機能を用いることによりユーザは、システムそのものを中止させることなく、コマンドのみを中止させることができる。

これら4つの機能は、システムを構築して行く上で最低限必要な機能ではあるが、パーソナルコンピュータシステム等小型簡易システムでは見落とされる場合が多い。

(3) ファンクションキーの利用による効率化

本研究では、使用頻度の高いコマンドをファンクションキー、ストップキー、エスケープキーに割当て、入力作業を円滑に行えるようにした。この機能により、ユーザはコマンドをタイプインしなくても、ファンクションキーを押すことによりコマンドを実行することができ、また、誤入力も防ぐことができる。

4. パーソナルコンピュータを用いた高速画像処理／解析システム

本研究では、前章までの開発・整備の結果を実際のシステムにフィードバックを行い、パーソナルコンピュータを用いた高速画像処理／解析システムの開発を行った。本研究で開発を行ったシステムのハードウェア仕様を表-8に、ソフトウェアの仕様を表-9に示す。

表-8 ハードウェア仕様

装 置		基 本 仕 様
基本システム	ホストコンピュータ	・16ビットデスクトップ型パーソナルコンピュータ ・標準実装RAM 640Kバイト ・クロックサイクル 10MHz
	キーボード	・JIS配列 標準キーボード
	カラーグラフィックディスプレイ装置	・画面サイズ 14インチ ・ドットピッチ 0.31mm ・表示可能エリア グラフィック 640*400 ドット テキスト 80字*25行
	フロッピーディスクユニット	・ディスクサイズ 5インチ ・フロッピーディスク容量 1Mバイトタイプ ・ドライブ数 2ドライブ
	プリンタ	・ドットインパクト方式 ・印字可能範囲紙幅 16インチ
拡張システム	フレームメモリ	・赤, 緑, 青 各 256階調表示可能
	RAMボード	・実装容量 2Mバイト
	ハードディスクユニット	・実装容量 40M バイト
	データフロー型プロセッサ	・データ・フロー・アーキテクチャ ・可変パイプライン・アーキテクチャ ・符号付 16*16ビット高速乗算機内蔵 (200nm) ・データ形式 サイン+16ビット ・パイプライン・サイクル 200ns/パイプライン
	数値演算プロセッサ	・クロックサイクル 10MHz ・適応演算 SIN, COS, TAN, ATAN, SQR, LOG, EXP, べき乗

表－9 画像処理／解析システムの機能

フォーマット変換機能	・BIL フォーマットからBSQ フォーマットへの変換 ・ヘッダの取り付け ・ヘッダの書き込み
前処理機能	・画像の切り出し ・幾何補正
画像処理機能	・トレーニングエリアの選定 ・クラスター分析 ・主成分分析 ・重回帰分析
後処理機能	・スライス処理によるクラスの統一 ・画像データセーブ ・マスキング
画像表示機能	・メニュー画面の表示 ・ヒストグラムの表示 ・シュードカラー画像表示 ・赤、緑、青の画像表示 ・画像のオーバーレイ ・文字のオーバーレイ ・図形のオーバーレイ ・プロファイルグラフの表示 ・アドレス画素値表示 ・情報表示用スペースの利用 ・テキスト画面－グラフィック画面切替え ・グラフィック画面の消去 ・画像データ上の表示エリアの変更 ・ディスプレイ装置上の画像表示位置変更 ・スライスの設定 ・拡大・縮小表示

本研究で開発を行ったシステムの特徴を示すと以下のとおりである。

- ①幅広いユーザ層の利用を考えて、安価で手軽に入手可能なパーソナルコンピュータをベースにしたシステム構成を行った。
- ②データフロー型プロセッサ、RAMディスク、ハードディスクを用いることにより、処理の大幅な高速化を図った。
- ③メニュー画面管理方式、エラーチェック機能等を採用することにより、操作性の効率化を図った。
- ④従来型システムとの互換性を考慮してMS-DOSを用いて開発を行った。
- ⑤必要に応じて、大型汎用計算機との間でデータ交換が行えるように配慮した。
- ⑥画像処理／解析の対象をリモートセンシングデータとし、リモートセンシングデータの処理／解析に必要な機能を満たすように開発を行うとともに、一般の画像データにも応用できるように配慮した。
- ⑦ソフトウェアの構成は表－9で示したように、画像処理／解析におけるデータの流れに沿って、フォーマット変換、前処理、画像解析、前処理、画像表示の5つのサブシステムで構成した。これによって、システムの利用者にとって利用しやすい構成となった。

ここで、本研究で開発を行った画像処理／解析システムの開発事例を、表－9に示した前処理の画像の切り出しを例にして、図－2(a)～図－2(f)に示す。

```

**** 画像処理／解析システム ****

○ フォーマット変換システム
■ 前 処 理 システム
○ 画 像 解 析 システム
○ 後 処 理 システム
○ 画 像 表 示 システム
○ 終 了

矢印←で機能を選択し改行←を押下

```

図－2 (a) 前処理サブシステムの起動

```

***** 前処理 システム *****

■ 画像の切り出し
○ 幾何補正の精度
○ 幾何補正の係数
○ 内挿
○ MS-DOS
○ メイン・メニュー画面

矢印←で機能を選択し改行←を押下

```

図－2 (b) 画像の切り出しの起動

```

入力するファイル ? : b:tukubatm.af1
b:tukubatm.af1を読み込みます
入力する画像のカラム数 ? : 1100
入力する画像のライン数 ? : 1100
入力する画像のヘッダのバイト数 ? : 512
出力するファイル ? : b:tukubatm.k1
b:tukubatm.k1 を書き込みます
出力する画像のヘッダのバイト数 ? : 512

```

図－2 (c) 画像切り出しの入力例

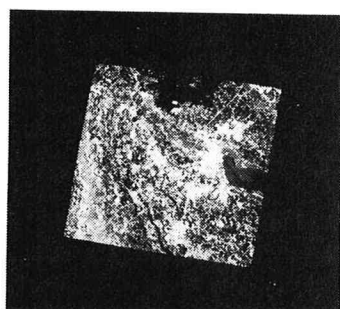
```

出力する画像の左上のX座標 ? : 310
出力する画像の左上のY座標 ? : 345
出力する画像の右下のX座標 ? : 821
出力する画像の右下のY座標 ? : 744
出力する画像のインターバル ? : 1
出力画像は 512カラム X 400ライン です

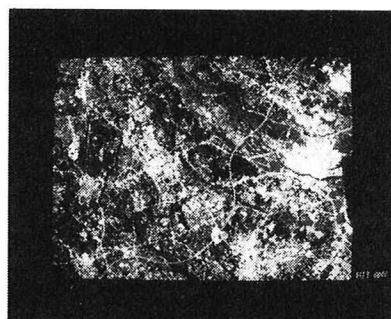
***** 計 算 中 *****

```

図－2 (d) 画像切り出しの入力例



図－2 (e) 切り出し前の画像 (1/3 倍)



図－2 (f) 切り出し後の画像 (1/1 倍)

5. 結論

本研究では、従来の画像処理／解析システムが抱えている問題点を整理し、処理速度と操作性の2つの観点から検討を加えることにより、画像処理／解析作業の大幅な高速化を図った。その結果、処理速度および記憶容量の面で画像処理／解析には不向きとされていたパーソナルコンピュータをベースにしたシステム構成でも、適切な周辺機器を整備し、操作性の優れたシステム構築を行うことにより、十分使用に耐えうるシステムを作成することができることが確認できた。最後に、研究を進めていく上で、多くの御助力をいただいた関係各位に対し、記して感謝の意を表します。特に、平野暁彦氏（元助手）、宮川司氏（元大学院生）の労力に負うところが大きい。

参考文献：1)大林成行，他4人；パーソナルコンピュータを用いた画像処理／解析システムの基本設計とモデル構築，土木学会 第43回年次学術講演会論文概要集，1988