

I-29 インターネット環境下で稼働する画像幾何学的歪補正システムの構築

*A web-based geometric correction system applying genetic algorithms for remotely sensed data*小島尚人¹・舘智士²

Hirohito Kojima and Satoshi Tate

抄録：本研究開発は、建設分野において利用される様々な観測画像、検査・計測画像に内在する画像幾何学的歪の補正精度と処理効率の向上を目的として、インターネット環境下で稼働する画像幾何学的歪補正システム(A web-based geometric correction system applying genetic algorithms for remotely sensed data :GCS-Web)を構築したものである。提案した画像幾何学的歪補正手法(遺伝的アルゴリズム導入)の特徴は、座標変換式の係数を決定する際に用いる「基準点セット(地上基準点と画像基準点の組)」の取捨選択を自動的に実施できるだけでなく、「基準点セット周り」と「画像全体(チェックポイントセット周り)」にわたる幾何学的歪精度を同時に向上できる点にある。開発した GCS-Web は、1)前処理、2)解析、3)精度評価、4)データセット管理といった4種類のシステム構成から成り、操作性に優れた GUI (Graphical User Interface)を備えている。さらに、補正処理に関わる情報をデータセット化し、異種画像の補正処理において、基準点セット等を再利用できるトータルシステムを実現している点も特色となっている。

Abstract: In order to improve the accuracy and processing efficiency of geometric correction for satellite remotely sensed data, a GA (Genetic algorithms)-based geometric correction algorithm (termed “GAC algorithm”) has been proposed. Through the operation of GAC algorithm, we can not only select or reject Control Points (CP) sets of “GCP (Ground Control points) vs. ICP (Image Control Points)” automatically, but also minimize root mean square errors of both control point set and check point set, simultaneously. To make processing of GAC algorithm efficiency, as an inevitable subject, we have tackled design and development of a web-based geometric correction system (termed “GCS-Web”), which consists of the following systems: i) Pre-processing-, ii) GA-based geometric correction-, iii) Accuracy evaluation- and; iv) Data set management-system. By using devised Graphical User Interface (GUI) in each system, the efficiency of processing on geometric correction is much improved. Furthermore, we can flexibly reuse the data sets of Control Points for geometric correction of different kinds of remotely sensed images under the internet environment.

Keyword: geometric correction, genetic algorithms, multi-objective optimization, internet environment

1. はじめに

インターネット環境の充実とともに、建設分野は言うまでもなく、デジタル画像の利用分野の拡大は目覚ましいものがある。土木学会においても平成 20 年度全国大会までデジタル画像の利用セッションが設けられ、数多くの研究報告が見られることもその証拠の一つと言える¹⁾。衛星や航空機に搭載される各種センサは言うまでもなく、スキャナやカメラ等で撮影された画像は、対象物の形状と相似ではなく、これを画像の幾何学的歪(以下、「幾何学的歪」と言う。この幾何学的歪を補正することは、画像データを利用する上で不可欠な「前処理」に位置付けられている。

幾何学的歪には、センサシステムに起因する内部的歪(レンズの歪曲収差、検知素子の配置ズレ等)と、対象物に起因する外部的歪(地球の曲率、地形起伏、対象物の表面形状等)がある。これらの幾何学的歪の補正には、「システム補正」、「地上基準点を用いた補正」、さらには、これらを併用した補正²⁾がある。

システム補正とは、幾何学的歪の原因に関する情報(プラットフォームの位置や姿勢情報等)を用いて、系統的に補正を実施することを言う。しかし、一般に衛星や航空機

のようなプラットフォームから得られる地球観測データや各種センサによって観測される画像データに対して、高いシステム補正精度を得ることは困難である。

この対策として、観測画像の座標系と地図座標系を対応付ける座標変換式(アフィン変換、射影変換、2次等角変換等)の係数を決定して、幾何学的歪を補正する方法が一般に利用されている^{3)~5)}。これを「精密幾何学的歪補正」と言う。座標変換式の係数は、地図座標系上の地上基準点(GCP:Ground Control Point)と画像座標系上の画像基準点(ICP:Image Control Point)を用いて(基準点セット)、最小二乗法を用いて決定される。

一般には、システム補正が施されたデータを購入し、それに対して精密幾何学的歪補正を施すが、残差を確認しながら基準点セットを取捨選択するといった試行検討が必要となり、画像処理に精通した技術者であっても目的とする幾何学的歪補正精度を得る上で、時間と労力を要するといった問題がある。さらに、基準点セット周りの補正精度が許容範囲内(通常、1.0pixel以内)であっても、画像全体の補正精度は保証されないといった問題もある。

以上の背景のもとに、本研究では、画像幾何学的歪補正精度の向上と補正作業の効率化、データセットの共有・

1 : 正会員 工博 東京理科大学 教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

2 : 学生員 東京理科大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 地球環境工学研究室

再利用支援を目的として、インターネット環境下で稼働する画像幾何学的歪補正システム(A web-based geometric correction system applying genetic algorithms for remotely sensed data:GCS-Web)の構築に着手した。

2. 既往の研究と本研究開発の特色

(1) 画像幾何学的歪の補正支援システムの構築

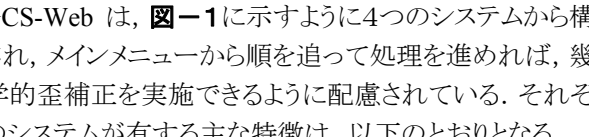
画像幾何学的歪補正では前述したとおり、残差を指標として、基準点セットの取捨選択を繰り返すといった作業を要する。この試行検討を自動化できれば、幾何学的歪補正の効率化に寄与できることは言うまでもない。筆者らは、この問題に対して、遺伝的アルゴリズムを導入した画像幾何学的歪補正方法(GAC algorithm:GA-based geometric correction algorithm)を提案し、特許申請した(知財運用については(4)節詳述)^{6),7)}。

この補正方法の特徴は、「基準点セット回りの幾何学的歪補正精度」と「画像全体にわたる幾何学的歪補正精度」を同時に高めるように基準点セットの組合せ事象を探索でき、しかも基準点セットの探索過程において座標変換式の係数も同時に推定できる点にある。既往の研究では、数値地形モデル(DTM:Digital Terrain Model)を用いて座標変換式のパラメータを最適化する手法等が提案されているが、本研究開発のように、座標変換式の係数を決定する際に用いる「基準点セット(地上基準点と画像基準点の組)」の取捨選択を自動的に実施できるだけでなく、「基準点セット周り」と「画像全体(チェックポイントセット周り)」にわたる幾何学的歪精度を同時に向上するといった多目的探索問題までに言及し、これに取り組んだ研究は、筆者の知る限り見られない^{4),5),8)}。

しかし、ここまでの検討では、幾何学的歪補正アルゴリズムを組み上げることが主眼となったことから、インターネット環境下で操作性に優れた GUI(Graphical User Interface)を設計・開発することは今後の課題として残された。幾何学的歪補正作業の効率を高める上で、避けては通れない課題となる。

本研究開発課題においても同様のことが指摘でき、システム構成や装備する機能構成はもとより、画面遷移&画面内設計、データ構造設計等、多くの検討課題がある。本研究アプローチは、技術系処理解析システムの開発戦略事例としての意義もあると考えている。

(2) GCS-Web の特徴

GCS-Web は、に示すように4つのシステムから構成され、メインメニューから順を追って処理を進めれば、幾何学的歪補正を実施できるように配慮されている。それぞれのシステムが有する主な特徴は、以下のとおりとなる。

- ①前処理システム:基準点セットとチェックポイントセット選択処理の効率化
- ②画像幾何学的歪補正システム:基準点セットの取捨

選択の自動化と幾何学的歪補正精度の向上支援

③画像幾何学的歪補正精度評価システム:補正精度評価支援(残差ベクトル図, 相対誤差評価図)

④画像幾何学的歪補正情報管理システム:基準点セット等を含めた幾何学的歪補正情報の再利用支援

さらに、画像幾何学的歪補正は「前処理」に位置付けられるが、この処理を担う GCS-Web がインターネット環境下で稼働する利点をあげると以下のとおりとなる。

①インターネット環境下(イントラネット環境:部署間含む)で GCS-Web を共有でき、Web ブラウザを介して、必要なときに即時、画像の幾何学的歪を補正できる。画像の前処理を効率的に実施できることは実務において朗報となる。

②画像幾何学的歪補正に関わる情報をデータセット化して保管し、参照・再利用するといった一連の作業を効率的に実施できる。

③高価なりリモートセンシングデータの処理解析ソフトと、それに付随する利用頻度の少ないその他の処理機能を購入する必要もなく、システム導入時に要する手間や煩わしさもない。

(3) 画像幾何学的歪補正情報のデータセット化と再利用支援

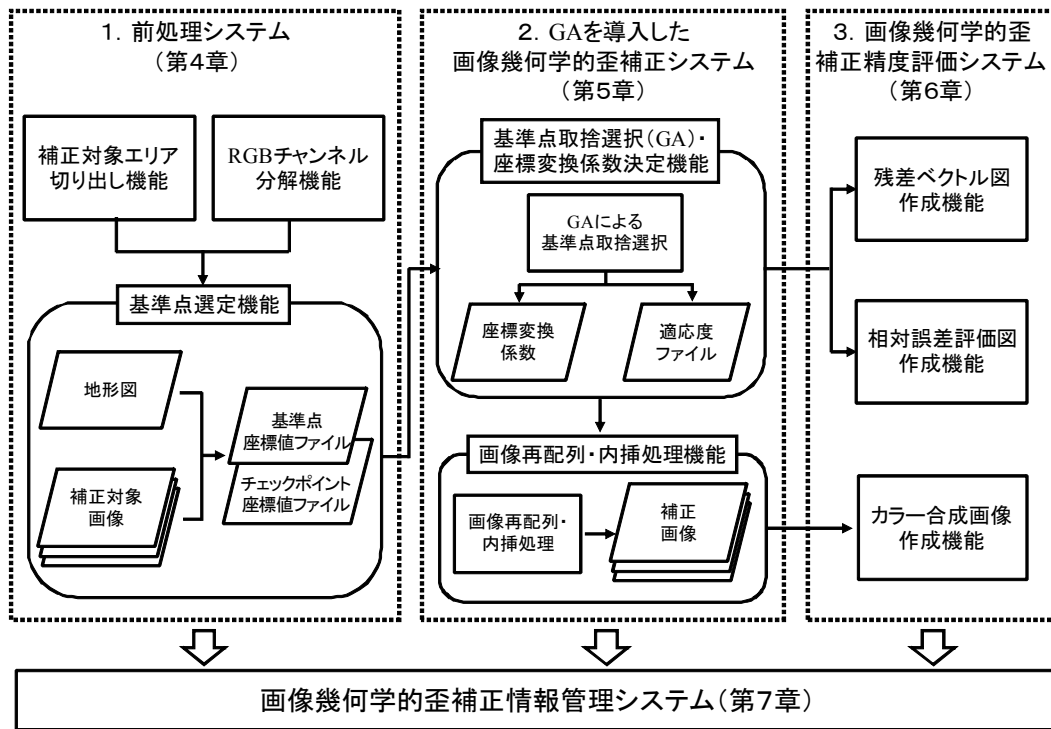
最近では、災害状況のモニタリングや地表面の環境監視等、同じ領域に対する異種衛星画像を利用することが多くなっている。幾何学的歪補正は、データ利用者が個別に実施することから、GCP や ICP 等は、共有・再利用されることはほとんどない。GCS-Web では、インターネット環境下で GCP、ICP 等の各種幾何学的歪補正情報が発生する毎に、適宜、地理領域単位&JOB 単位でデータセットとして一元管理し、共有&再利用できるデータセット管理システムを実現している。このことは、幾何学的歪補正に関わる実務支援策として朗報となり、本研究開発のもう一つの特徴でもある。

(4) 情報利用技術分野における知財運用への問題提起

我が国では、企業、行政機関、研究・教育機関とも、諸外国の企業によって開発されたいくつかのリモートセンシング解析ソフトを購入して利用することが一般的になっている。しかし、処理内容がブラックボックスであったり、使用頻度の少ない機能については、システム導入する上で費用対効果の問題が指摘されていることも事実である。

ソフトウェアが知的財産として特許申請、保護されるようになって久しいが、研究開発を通して、提案される新たな画像処理アルゴリズムを特許申請し、さらにシステム化した上で市場へ展開するといったアプローチは、リモートセンシングの分野に関する限り、諸外国に比べて我が国は立ち遅れていると言っても過言ではない。

筆者らは、既に情報利用技術分野における知財運用のあり方について一つの方向性について検討、報告しているが⁹⁾、特許と論文の位置付けと公開のあり方(知財運用)について議論し、具体的な取り組み事例と問題点を提示しない限り、情報利用技術分野における研究の継続・拡



注) GCS-Web: Web-based Geometric Correction System for remotely sensed data applying genetic algorithms

図-1 画像幾何学的歪補正システム(GCS-Web)の全体構成図

張と発展的展開は期待できない。

各種画像処理アルゴリズムに関わる特許申請を経て、さらに、システムの全体・詳細設計と開発に至る本研究の一連のプロセスは、インターネット環境下で稼働する専門性の高い各種画像処理・解析システムの開発・運用に関する問題提起の一つになるものと考えている。

3. GCS-Web の全体設計

(1) GCS-Web の運用環境

GCS-Web の運用環境を図-2に示す。GCS-Web は、インターネット上に接続された PC においてブラウザベースで稼働し、時間と場所の制約なく常時利用できるようになっている。特別な稼働環境の整備も必要なく、即時導入稼働できる。

a) システム利用者 (クライアント側)

本システムは Java アプレットをクライアント側にダウンロードして、ユーザの手元で処理を実施する運用形態とする。自分の手元に用意した画像 (衛星画像と地形図) を用いて画像幾何学的歪補正を実施する。

b) システム管理者 (サーバ側)

システム管理者側では、ユーザマニュアル、実行形式ファイル、プログラムソースを管理する。利用者との間でシステム使用契約を結んだ後に、パスワードを配布、GCS-Web の継続的な運用・管理体制を敷く。さらに、利用者が許可するデータセットを受信・登録し、画像幾何学的歪補正情報管理システムで情報の管理・再利用支援を担う。

表-1 GCS-Web の機能一覧

システム構成区分	処理機能	主な特色
前処理システム	補正対象エリア切り出し機能	基準点セットとチェックポイントセット選択処理の効率化
	RGBチャンネル分解機能	
	基準点選定機能	
GAを導入した画像幾何学歪補正システム	基準点取捨選択・座標変換係数決定機能	基準点セットの取捨選択の自動化と幾何学的歪補正精度の向上支援
	画像再配列・内挿処理機能	
画像幾何学的歪補正精度評価システム	残差ベクトル図作成機能	残差ベクトル図と相対誤差評価図による誤差評価支援
	相対誤差評価図作成機能	
	カラー合成画像作成機能	
画像幾何学的歪補正情報管理システム	データセットの選択	基準点セット等を含めた画像幾何学的歪補正情報の再利用支援
	データセットの参照	
	データセットの再利用	

(2) GCS-Web のシステム構成

GCS-Web のシステム構成は、図-1に示すように「前処理、GA を導入した画像幾何学的歪補正、画像幾何学的歪補正精度評価、画像幾何学的歪補正情報管理」といった4つのサブシステムから成る。各サブシステムの機能は全て Java 言語を用いて開発した。

これらのシステムに対応付けて、GCS-Web のメインメニューを設計(図-3)した点も特徴となる。前処理システムから順を追って、操作していけば、幾何学的歪補正処理を効率的に実施できるようになっている。さらに、各システ

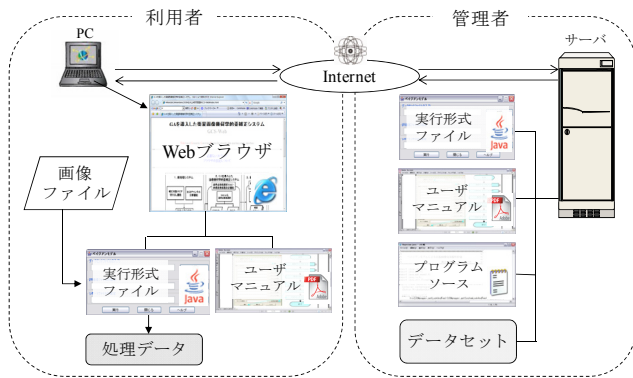


図-2 GCS-Web の運用環境

に装備した機能の一覧を表-1に示す。順を追って、以下、システムの特徴を述べる。

a) 前処理システム

前処理システムには、画像幾何学的歪補正に必要な補正対象画像や基準点座標値ファイルとチェックポイント座標値ファイルを作成できる機能を整備した。「補正対象エリア切り出し」、「RGB チャンネル分解」、「基準点選定」を1つのサブシステムで処理できるため、複数の汎用ソフトウェアを用いるよりも効率的に前処理を実施できる。

b) GA を導入した画像幾何学的歪補正システム

前処理システムで選定した基準点座標値ファイル、チェックポイント座標値ファイルから「座標変換係数」、「適応度ファイル」を作成し、作成した座標変換係数ファイルを用いて補正対象画像の再配列・内挿処理を実施する画像幾何学的歪補正機能を開発した。

このサブシステムに装備した GAC アルゴリズムの特徴は、従来では繰り返し処理であった基準点セットの取捨選択プロセスに遺伝的アルゴリズム(GA)を導入にした点にある。「基準点取捨選択(GA)・座標変換係数決定機能」は、基準点取捨選択の自動化だけでなく、幾何学的歪補正精度の向上にも寄与できる。

c) 画像幾何学的歪補正精度評価システム

GA を導入した画像幾何学的歪補正システムでは、幾何学的歪補正精度を評価するために必要な「残差ベクトル図」、「相対誤差画像評価図」を作成する機能だけでなく、最終成果物としてカラー合成画像を作成する機能を備える。

このサブシステムでは、汎用ソフトウェアを用いずに「残差ベクトル図」、「相対誤差評価図」を作成できる。特に、「相対誤差評価図」は本研究で新しく提案する評価指標であり、様々な手法間の比較に利用できる。

d) 画像幾何学的歪補正情報管理システム

このシステムでは、前処理、GA を導入した画像幾何学的歪補正、画像幾何学的歪補正精度評価システムから作成される画像幾何学的歪補正情報を「地理領域単位 & JOB 単位」でデータセットとして共有・管理できるようになっている。さらに、インターネット環境下で情報の検索・参照・再利用ができるようなシステムとした。このサブシ

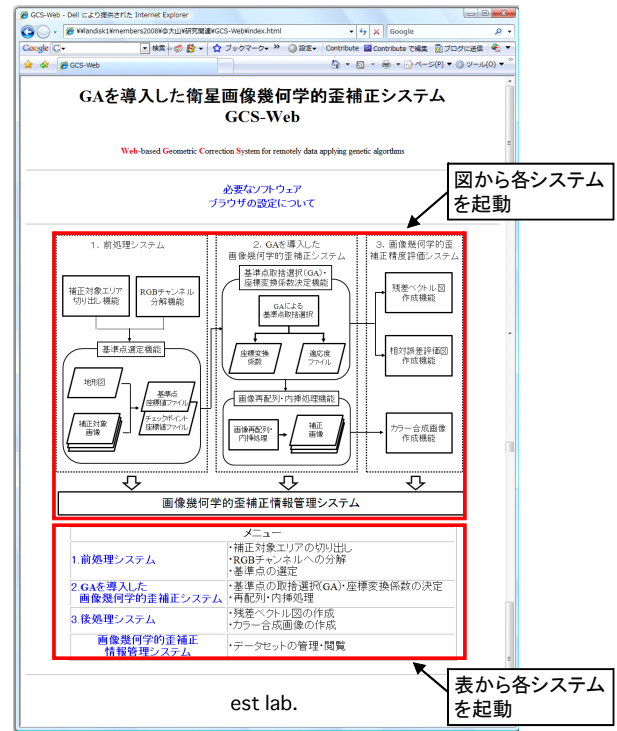


図-3 GCS-Web のメインメニュー

テムは、基準点セット等の画像幾何学的歪補正情報の蓄積・再利用を担い、従来の研究開発には見られない特色となる。

(3) 処理効率の向上

以上のようなシステム構成によって、市販の各種画像処理システムを使用する従来の補正処理と比べて処理効率が向上している。

具体的には、前処理システム内の処理時間(入力データの作成～補正画像作成)を例にとると、従来のスタンドアロンシステムの場合、取り扱う処理が複雑であり、処理の過程で多くの中間ファイルを作成しなければならないため、処理から補正画像を得るまでの処理時間(ターンアラウンドタイム)を計測すると、操作に慣れた技術者であっても約40分程度の時間を要する。特に基準点の選定とファイルとして整備する上で、多くの時間を要する。

一方、GCS-Web の場合、一連の処理をメニューの誘導にしたがって実施できるようになっており、基準点セットの選定含めて、画面遷移設計、画面内設計の工夫によって(後述)、ターンアラウンドタイムは、約10分程度までに短縮できている。並行して多くのJOBをこなしている建設コンサルタンツの実務者にとって、画像幾何学的歪補正を効率的に実施できることは朗報になると言える。

(4) データセット構造

図-4にデータセットの基本構造を示す。画像幾何学的歪補正における一連の処理では、補正対象画像や補正画像のような画像ファイル、画像幾何学的歪補正に用いる基準点座標値ファイルやチェックポイント座標値ファイル、座標変換係数ファイル等、中間ファイルを含めて種々

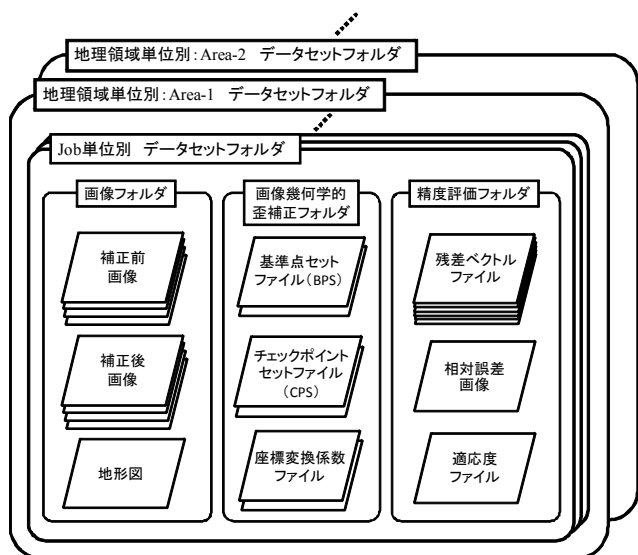


図-4 データセット構造:地理領域単位&JOB単位管理

の処理情報がある。

これらの情報は、「地理領域単位&JOB単位」でデータセット化して一元管理される。他地域のデータセットを意識することなく、目的とする領域のデータセットのみを参照・再利用できる。また、処理が実施されるたびに、生成されるファイル群を登録し、他の処理でも再利用することができる。

画像幾何学的歪補正情報を散逸させることなく、効率的かつ継続的な管理・運用を実現している点は、画像幾何学的歪補正問題に関わる従来の研究には見られない特色となる。

(5) GCS-Web メインメニューの工夫

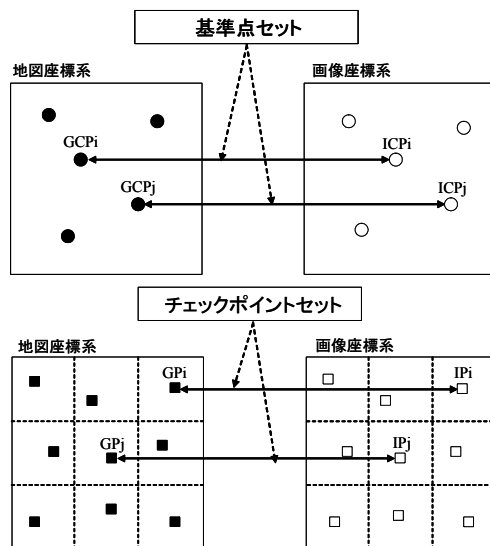
ユーザが Web ブラウザによって本システムを起動させると、図-3に示す GCS-Web のメインメニューが表示される。メインメニューは前述した4つのサブシステム(前処理, 画像幾何学的歪補正, 画像幾何学的歪補正精度評価, 画像幾何学的歪補正情報管理)から構成されている。メニューの番号順に操作することにより、画像幾何学的歪補正に関する一連の処理を実施できる。

メニュー画面の下部には、GCS-Web の全体構成図を配置した。この全体構成図からも各サブシステムを起動することができる。ユーザは上部の表もしくは下部の図から直感的に目的のシステムを選択できることから、画面上における処理の流れに対応して実施したい処理を効率的に進めることができる。

4. 前処理システム

(1) 前処理の流れ

画像幾何学的歪補正を実施するには、地形図や補正対象画像とともに、基準点座標値ファイル、チェックポイント座標値ファイルが必要となる。



	本研究における定義
地上基準点 (GCP: Ground Control Point)	座標変換式の未知係数を決定するために設定する地図上の基準点
画像基準点 (ICP: Image Control Point)	座標変換式の未知係数を決定するために設定する画像上の基準点
基準点セット (BPS: Base Point Set)	相互に対応しているGCPとICPの組
地上チェックポイント (GP)	画像全体の座標変換精度を検証するために設定する地図上の基準点
画像チェックポイント (IP)	画像全体の座標変換精度を検証するために設定する画像上の基準点
チェックポイントセット (CPS: Check Point Set)	相互に対応しているGPとIPの組

図-5 各種基準点の定義

GCS-Web の前処理システムでは、補正対象画像を作成する機能だけでなく、基準点を選定する機能を整備する。具体的には、以下の処理を実施する(図-1参照)。

- ①補正対象エリアの切り出し
- ②RGBチャンネルへの分解(バンド別観測データ以外)
- ③基準点の選定

(2) 各種基準点の定義

一般に、「基準点を用いた精密幾何学的歪補正」は図-5に示すように複数個設定した地図上の既知点(地上基準点:GCP:Ground Control Point)と、それに対応する画像上の点(画像基準点:ICP:Image Control Point)の組み合わせ(基準点セット:BPS:Base Point Set)から、予め設定した座標変換式の未知係数を決定し、その座標変換式を適用して画像データを再配列するものである¹⁰⁾。

本研究では、評価対象領域を9ブロックに分割し、各ブロックに3点の基準点セットと1点のチェックポイントセット(CPS:Check Point Set)を選定する。これにより、画像全体の幾何学的歪補正精度を検証すると同時に、各ブロックの幾何学的歪補正精度を検証する。

(3) 基準点選定機能

画像幾何学的歪補正に用いる座標変換式の係数決定に必要な基準点を選定する。図-6に基準点選定機能のコントロールパネルを示す。画面上部左側に基準画像、右側に補正対象画像が表示され、画面に表示されている

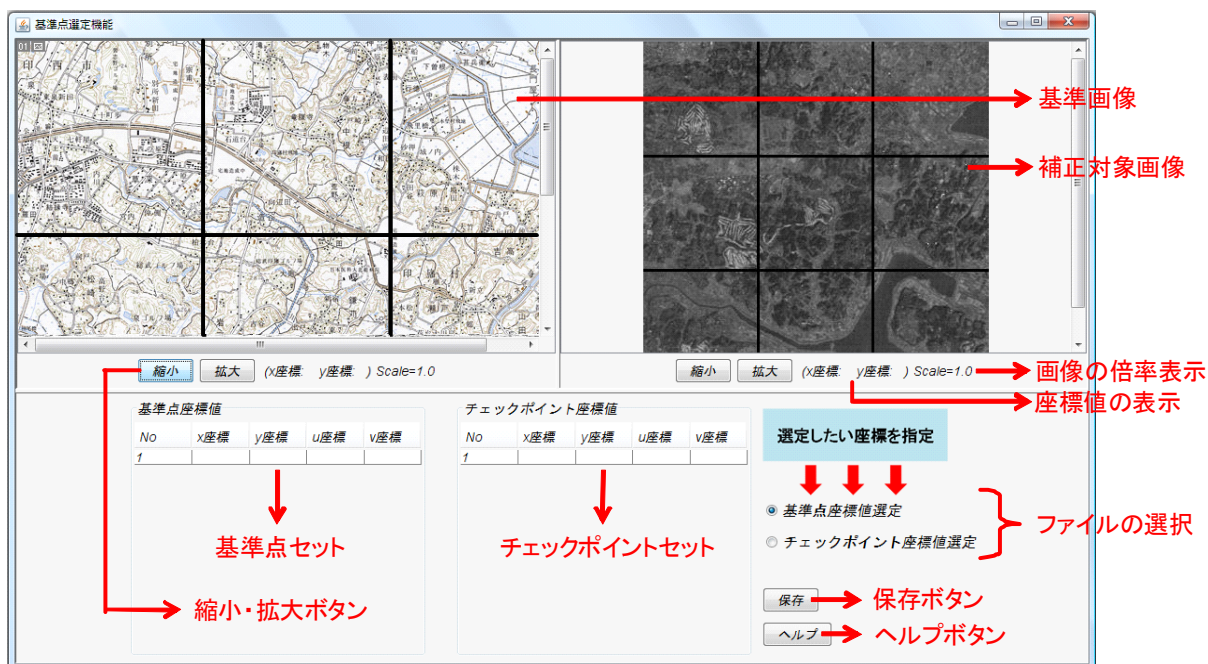
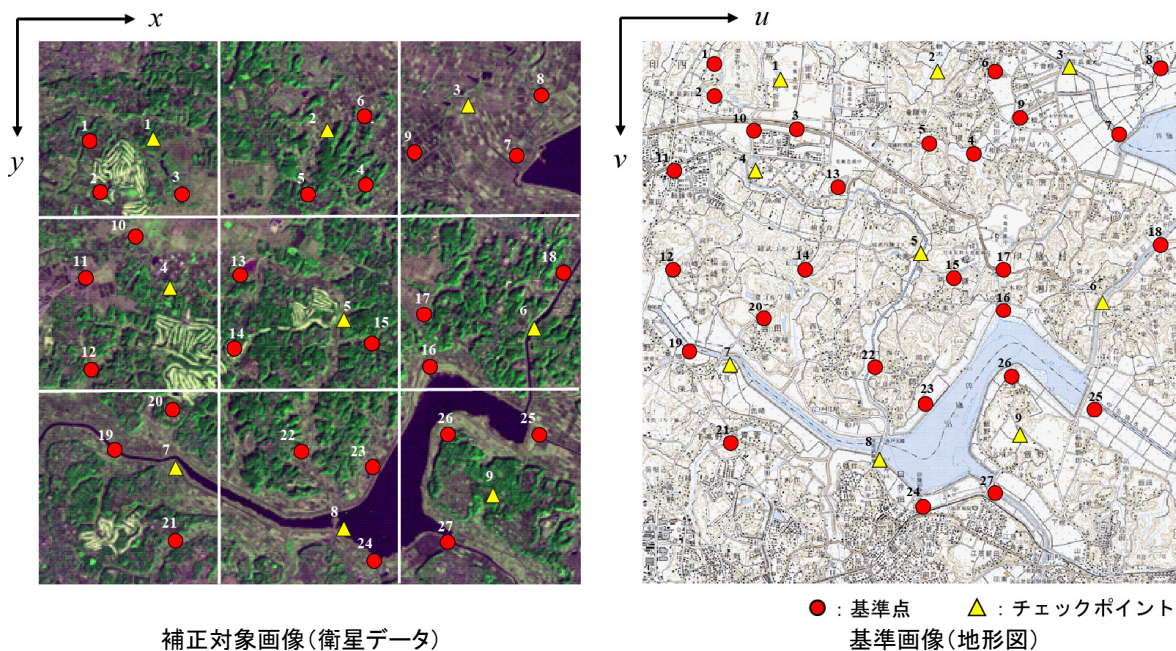


図-6 基準点選定機能



補正対象画像(衛星データ)

● : 基準点 ▲ : チェックポイント
基準画像(地形図)

図-7 各基準点セットの選定状況

画像をダブルクリックすることにより、画面下部のセル表に座標値が入力される。

セル表は左側が基準点セット、右側がチェックポイントセットの座標値であり、画面右下のラジオボタンを選択することによって、いずれかを入力するか選択できる。画面中部には縮小・拡大ボタンを配置し、画像を縮小・拡大することにより高精度な基準点選定を実施できるように配慮した。

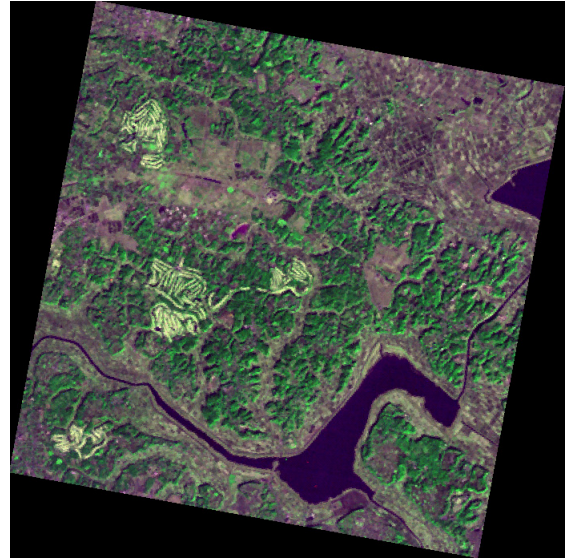
本機能における各基準点の初期選定結果を図-7に示す。「基準点選定機能」を装備することによって、汎用画像編集ソフトウェアを保有していないユーザでも、基準点選定をインターネット環境下で効率的に実施できる。

5. GA を導入した画像幾何学的歪補正システム

(1) GA を導入した画像幾何学的歪補正システムの流れ

GA を導入した画像幾何学的歪補正システムでは、前処理システムにおいて作成した「補正対象画像」、「基準点座標値ファイル」、「チェックポイント座標値ファイル」から「補正画像」を作成するまでの一連の処理を実施する(図-8)。本システムは以下の2つの機能から構成されており、順に処理を実施することによって、効率的に画像幾何学的歪補正を実施できる。

- ① 基準点取捨選択(GA)・座標変換係数決定機能
- ② 画像再配列・内挿処理機能



補正前

補正後

図-8 画像幾何学的歪補正

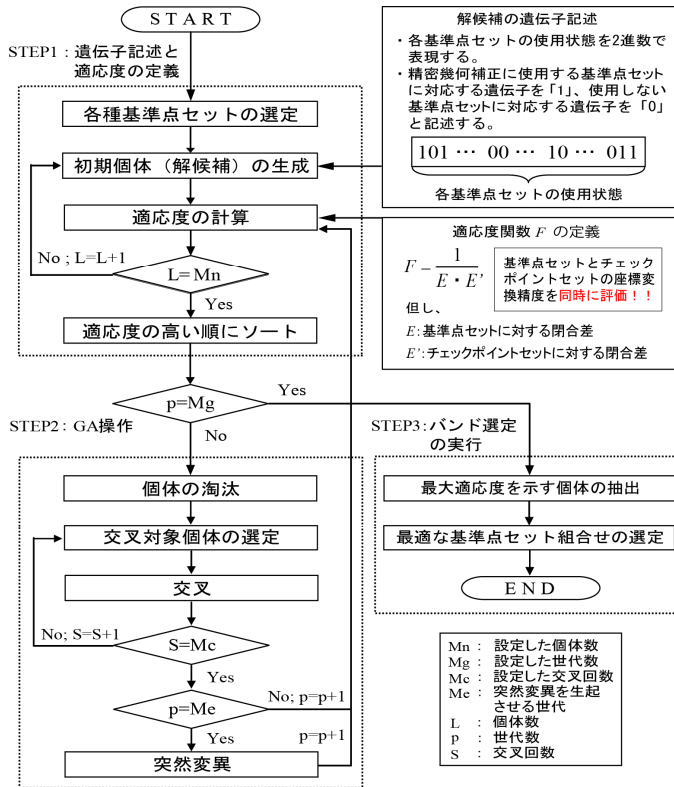


図-9 GA の処理プロセス

(2) 解候補の遺伝子記述

基準点取捨選択 (GA)・座標変換係数決定機能における GA の遺伝子記述について説明する。図-9に示すように、GA の解候補となる初期個体の生成には、遺伝子記述が重要となる。本研究における遺伝子型は、「精密幾何学的歪補正処理に使用するか否か」といった各基準点セットの状態を表している。

各基準点セットの使用状態を表現するために、遺伝子のビット長は基準点の数に応じて変化させ、精密幾何学的歪補正に使用する基準点の遺伝子を「1」、使用しない基準点の遺伝子を「0」とする。図-7の例では、地上基準点の数が27点であることから、27ビット長の遺伝子型を用意することになる。

精密幾何学的歪補正に使用する基準点セットを用いて、最小二乗法により座標変換係数を推定する。

(3) 適応度関数の定義

図-9に示した GA における処理プロセスの中で、取捨選択された基準点セットから求まる座標変換係数の推定精度を評価する指標が必要であり、そのための評価指標を適応度関数と呼ぶ。

本研究では基準点セットとチェックポイントセットの幾何学的歪補正精度を同時に向上させるために、式(1)～(3)から成る適応度関数 F を採用した。

$$F = \frac{1}{E \cdot E'} \quad (1)$$

但し、 E : 基準点セットの閉合差
 E' : チェックポイントセットの閉合差

$$E \text{ or } E' = \sqrt{RMS_1^2 + RMS_2^2} \quad (2)$$

但し、 RMS_1 : カラム方向の RMS 誤差
 RMS_2 : ライン方向の RMS 誤差

$$RMS_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{im} - V_{im})^2}{n}} \quad (3)$$

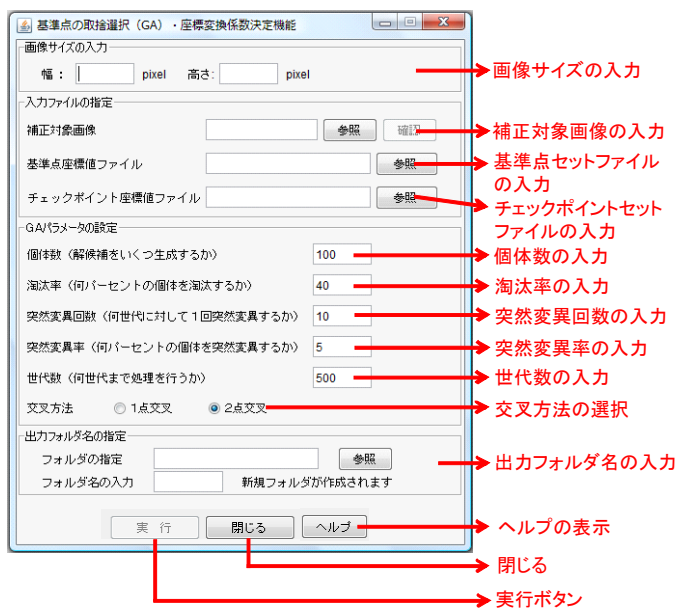


図-10 基準点取捨選択(GA)・座標変換係数決定機能

但し, $m=1$: カラム方向
 $m=2$: ライン方向
 U_{im} : 座標変換後の ICP の座標値
 V_{im} : GCP の座標値
 n : 基準点セットの数

取捨選択された基準点セットより, 最小二乗法を用いて座標変換係数を推定する. 推定された座標変換係数から RMS 誤差, 閉合差を計算し, 適応度を求める. なお, 閉合差の許容範囲は 1.0pixel 以内とする.

(4) 基準点取捨選択(GA)・座標変換係数決定機能

基準点取捨選択(GA)・座標変換係数決定機能のコントロールパネルを図-10に示す. 前処理システムで作成した「基準点座標値ファイル」と「チェックポイント座標値ファイル」を入力データとし, GAを用いて基準点を取捨選択することにより座標変換係数を決定する. GA パラメータ(個体数, 淘汰率, 突然変異回数, 突然変異率, 世代数, 交叉方法)の入力項目には, デフォルト値として GAC アルゴリズムの推奨パラメータ⁷⁾が設定されている. また, GA について知識の乏しいユーザを想定して, コントロールパネルのヘルプ内において, GA パラメータの説明を参照できるように配慮した. 入力データの設定後, 「実行ボタン」を選択すると, GA 操作における適応度の推移を示す「適応度ファイル」と画像幾何学的歪補正に必要な「座標変換係数ファイル」が出力される.

この機能によって出力された「適応度ファイル」をグラフ化した例を図-11に示す. この図は適応度が 0 から 1 までに正規化されており, 世代数の増加とともに高まっていることが判る. 125 世代目から 150 世代目まで最大適応度に変化が見られないことから, 125 世代目で収束していると判断できる.

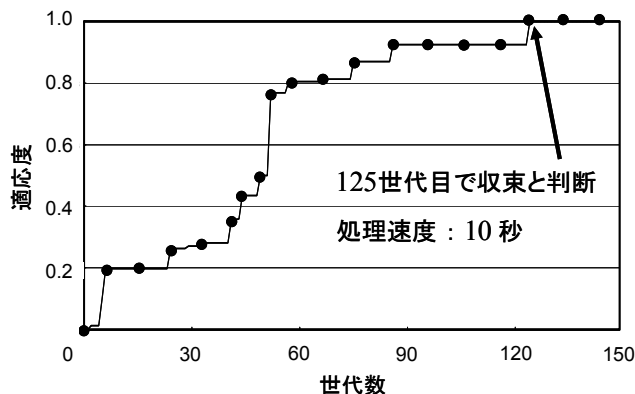


図-11 適応度の推移

但し, 初期の基準点セット数や配置が異なれば, GAによる探索解は異なることは言うまでもない. 初期基準点セットの数や配置の違いに伴う幾何学的歪補正精度に関する検討においても GCS-Web が役立つと言える.

6. 画像幾何学的歪補正精度評価システム

(1) 幾何学的歪補正精度評価の流れ

「GA を導入した画像幾何学的歪補正システム」で実施した幾何学的歪補正の精度評価には, 「閉合差」に加えて, 「残差ベクトル図」³⁾と「相対誤差評価図」を用いる. 「相対誤差評価図」は本研究で新たに提案したものである(6. (3)節で詳述).

画像幾何学的歪補正精度評価システムでは, 「残差ベクトル図」や「相対誤差評価図」, 「カラー合成画像」を最終成果物として作成する機能を備える. 具体的には, 以下の処理を実施する(図-1参照).

- ①残差ベクトル図作成機能
- ②相対誤差評価図作成機能
- ③カラー合成画像作成機能

(2) 残差ベクトル図による誤差評価支援

a) 残差ベクトルの定義

残差とは座標変換式により再配列された ICP の座標値と, GCP の座標値とのずれを pixel 単位で表した評価指標である. GCS-Web では GCP を始点, 座標変換後の ICP を終点としてベクトル表示したものを残差ベクトルと定義する.

b) 基準点選定効果の推移

GCS-Web における基準点セットとチェックポイントセットの基準点選定効果の推移を残差ベクトル図にしたものを図-12に示す. 世代数の増加に伴って適応度が増加し, 基準点が取捨選択されていることが判る. 基準点の取捨選択が進むと同時に各基準点の残差や閉合差も小さくなり, 最終的に全ての基準点の残差が 1.0pixel 以内に収まっている.

残差ベクトル図作成機能により, 世代毎の残差ベクトル図が効率的に作成でき, 既往の研究には見られない誤差評価支援を実現した.

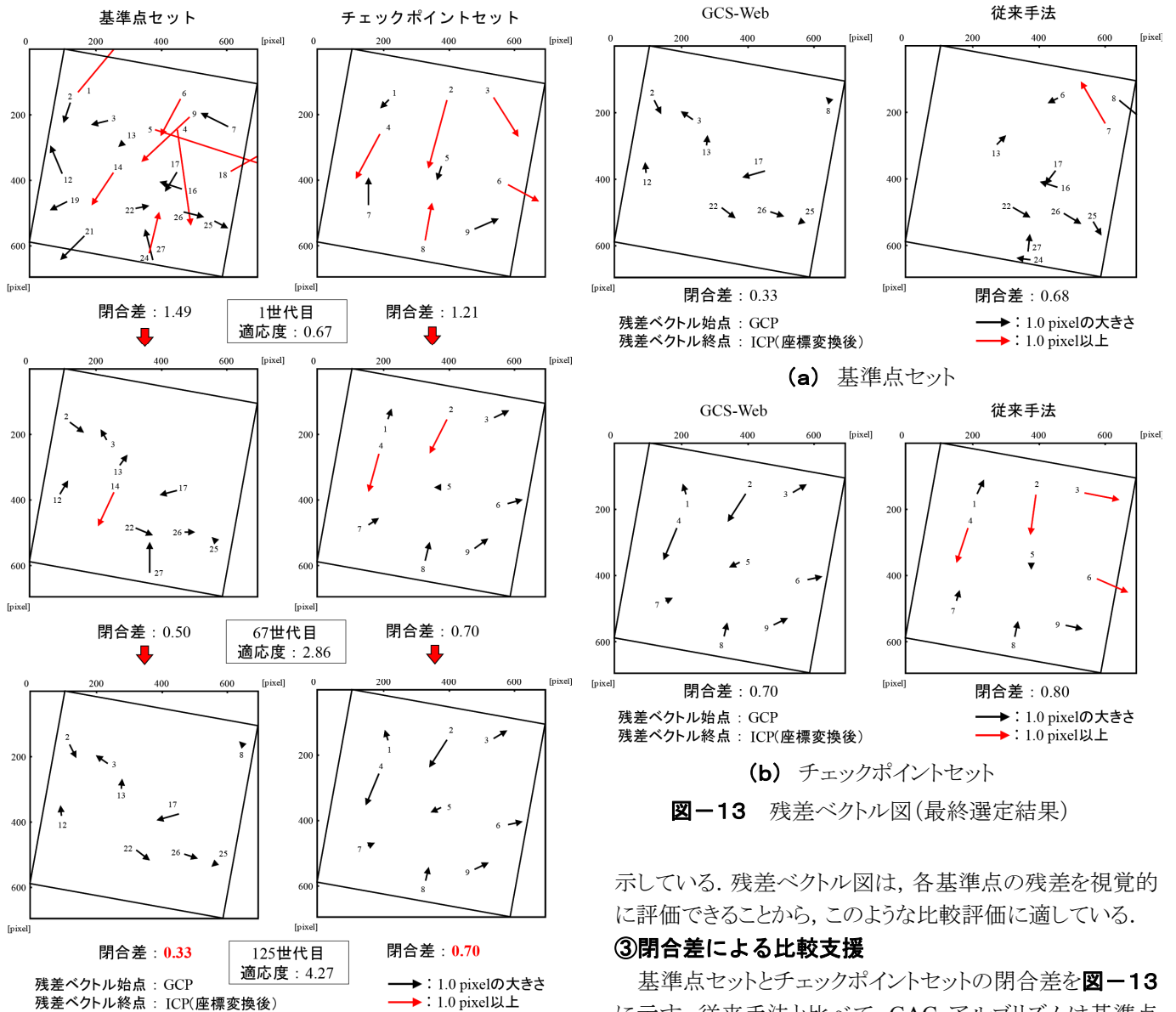


図-13 残差ベクトル図(最終選定結果)

示している。残差ベクトル図は、各基準点の残差を視覚的に評価できることから、このような比較評価に適している。

③閉合差による比較支援

基準点セットとチェックポイントセットの閉合差を図-13に示す。従来手法と比べて、GAC アルゴリズムは基準点セットとチェックポイントセットともに閉合差が小さくなっている。このことは、基準点セットとチェックポイントセットの閉合差を同時に評価する適応度関数を通したGA操作が適切に働いていることを示している。

(3) 相対誤差評価図による手法間比較

a) 相対誤差の定義

相対誤差とはGCS-Webで新しく定義する評価指標である。GCS-Webと従来手法では、求まる座標変換係数が異なり、座標変換結果に差が生じることは言うまでもない(図-14)。このGCS-Webと従来手法の座標変換後の座標値の相対的な「ずれ」を相対誤差と定義する(付録参照)。

b) 相対誤差評価図(従来手法との手法間比較)

図-15より、相対誤差評価図上の中央下部の相対誤差が小さく、左下部や右上部の相対誤差が大きいことが読み取れる。

相対誤差評価図と残差ベクトル図を対比することにより、以下の3点が判る(図-13)。

c) 従来手法との比較

①基準点セットの選定結果

GCS-Webの基準点セットの選定結果は、図-13(a)に示すように画像全体から均一に選定されている。一方、従来手法は河川、橋梁、道路等、基準点セットの選定が容易な対象物が多く存在する右側の領域のみが選定されている。GCS-Webによりユーザの判断に基づく基準点セット選定の偏在化といった問題に対応できることが判る。

②残差による比較支援

基準点セットにおける残差を図-13(a)に示す。従来手法と比べて、GCS-Webで選定された基準点セットの残差は小さく、全て1.0 pixel以内であることが判る。また、チェックポイントセットにおける残差を図-13(b)に示す。GCS-Webのチェックポイントセットと比べると、従来手法のチェックポイントセットは右側の領域において大きな残差を

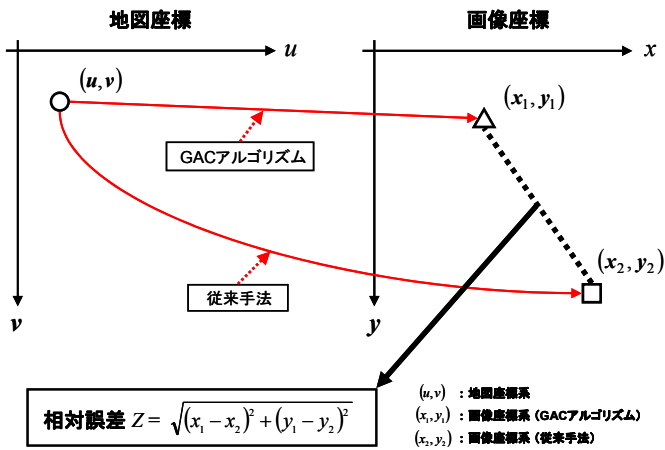


図-14 相対誤差の定義

①相対誤差の小さい中央下部は、湖、橋梁、道路等、基準点セットの選定が容易な対象物が多く存在することが読み取れる(図-8)。この領域は GCS-Web, 従来手法, いずれの手法においても基準点が多数選定されており、残差も小さいため相対誤差が小さくなったと考えられる。

②相対誤差の大きい右上部は、GCS-Web において基準点が 1 点しか選定されていないため、GCS-Web による幾何学的歪補正精度の向上が十分に保証されない。

③相対誤差の大きい左下部は、GCS-Web, 従来手法, いずれの手法においても基準点が選定されていないため、幾何学的歪補正精度が全く保証されない。

したがって、この相対誤差画像上で相対誤差の大きい領域は、GCS-Web を用いたとしても幾何学的歪補正精度の向上が保証されず、新たに基準点を選定する必要があることを意味する。

7. 画像幾何学的歪補正情報管理システム

(1) データセット参照の流れ

画像幾何学的歪補正情報管理システムは、一連の処理を通して作成されたデータや成果品、関連文献といった画像幾何学的歪補正に関わる情報を「地理領域単位&JOB 単位」でデータセットとして一元管理する。さらに、インターネット環境下で画像幾何学的歪補正情報の蓄積・検索参照・再利用ができるようなシステムとする。

個別に作成・利用した画像幾何学的歪補正情報は、個別フォルダに保管され、共有・再利用されることがほとんどなかった。画像幾何学的歪補正情報は、インターネットや社内イントラネット内において蓄積・共有すべき情報資源であるが、それらをデータセットとして管理することは今まで見逃されてきたと言える。画像幾何学的歪補正情報のデータセット化・再利用によって、画像幾何学的歪補正の作業効率向上が期待できる。

図-16に情報提供・管理システムの情報参照例を示す。検索の流れは以下の4つのステップから成る。

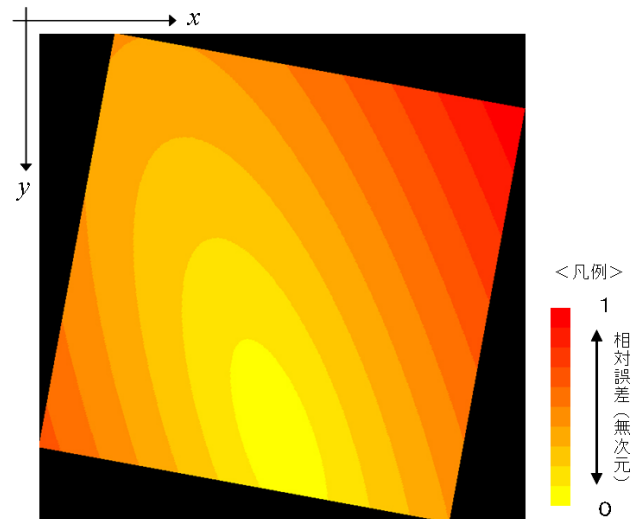


図-15 相対誤差評価図

- ①データセットのマップ媒体検索 (STEP1)
- ②データセットの選択 (STEP2)
- ③データセットの参照 (STEP3)
- ④データセットの再利用 (STEP4) → 前処理システムへ

a) データセットのマップ媒体検索 (STEP1)

図-16(a)に示す画像幾何学的歪補正情報管理システムのメインメニューは、データセットを効率的に参照できるように日本地図を表示し、都道府県別に選択できる。参照したいデータセットが存在する都道府県を選択すると、選択した都道府県毎のデータセットリストが表示される。

b) データセットの選択 (STEP2)

図-16(b)に示したデータセットの選択画面は、データセットの一覧が地区毎にリスト形式で表示されている。ユーザが目的のデータセット名を選択することにより、データセット諸元情報が参照できる。

c) データセットの参照 (STEP3)

図-16(c)に示したデータセットの参照画面は、前画面(STEP2)で選択した地区のデータセットの諸元情報が表示される。メニュー画面のリンクを辿ることにより、データセットに含まれる補正前画像、補正後画像、基準点セットファイル、座標変換係数ファイル、残差ベクトル図等を参照できる。

(2) データセットの再利用支援

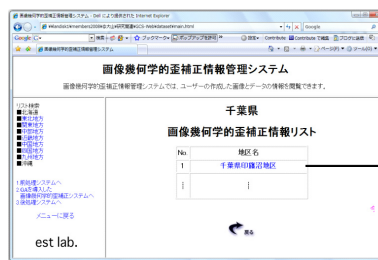
画像幾何学的歪補正情報のうち、各種画像データ、基準点セットファイルはダウンロードして再利用できる。既往の研究開発においても画像幾何学的歪補正情報の再利用は検討されていたが、「GCPとICPの組合せ(基準点セット)」のみをデータセット化したものであり、異種衛星画像の幾何学的歪補正には使用できないといった問題があった¹¹⁾。本研究開発では、衛星画像の幾何学的歪補正において地形図とGCPを再利用することにより、ICPの選定だけで基準点セットファイル、チェックポイントセットファイルを作成できる。同様に、衛星画像間の幾何学的歪補正では、衛星画像とICPを再利用できるように設計した。ま

STEP1: データセットのマップ媒体検索



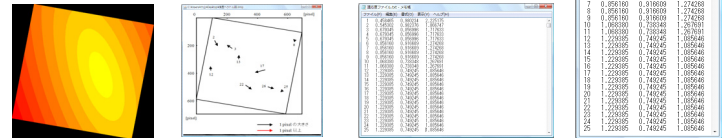
(a) メインメニュー
＜地理領域表示＞

STEP2: データセットの選択



(b) データセット選択画面
＜地理領域単位&JOB単位での一元管理＞

STEP3: データセットの参照



(c) データセット参照画面
＜画像幾何学的歪補正情報の再利用支援＞

図-16 画像幾何学的歪補正情報管理システム

た、ダウンロードしたデータセットは、GCS-Web のみならず様々な汎用ソフトウェアでも利用できるように配慮した。

インターネットや社内イントラネットを用いた運用によって実務上の要求に対応できるデータセットの再利用支援を実現したことは言うまでもなく、インターネット環境下で画像幾何学的歪補正を効率的に実施できるトータルシステムを実現している。

8. まとめ

本研究開発は、建設分野において利用される様々な観測画像、検査・計測画像の幾何学的歪補正支援を目的として、インターネット環境下で稼働する画像幾何学的歪補正システム(GCS-Web)を構築したものである。

a) 画像幾何学的歪補正作業の効率化

画像の幾何学的歪補正は、前処理として不可欠な作業であり、処理の効率化と幾何学的歪補正情報の共有・再利用に関わる支援策に関する検討は、意外にも見逃されていることを指摘した上で、GCS-Web の全体設計から詳細設計へと展開した。前処理システムでは、基準点セットとチェックポイントセット選択処理の効率化を実現し、解析システムでは、基準点セットの取捨選択の自動化と幾何学的歪補正精度を向上できる機能を装備した。

後処理システムでは、誤差評価支援(残差ベクトル図の作成)、データセット管理システムでは、基準点セット等を含

めた幾何学的歪補正情報の再利用支援を具現化した。

b) 幾何学的歪補正情報のデータセット化と再利用支援

さらに、画像幾何学的歪補正情報のデータセット化と再利用支援を目的として、操作性に優れた GUI(Graphical User Interface)を備えたデータセット管理システム(DSMS: Data Set Management System)を開発した。これにより、インターネット環境下で GCP, ICP 等の各種幾何学的歪補正情報が発生する毎に、適宜、「地理領域単位&JOB 単位」でデータセットとして一元管理し、共有&再利用できる体制を敷くことができる。

c) 情報利用技術分野における知財運用への問題提起

情報利用技術分野における知財運用のあり方についても言及し、インターネット環境下で稼働する専門性の高い各種画像処理・解析システム開発時の指針の一つとして提示した(2章)。

今後の課題として、GCS-Web の利用に伴って、JOB 単位で逐次作成される幾何学的歪補正情報を蓄積し、データセットとして拡充していく予定にある。

デジタル画像の種類が益々多様化する状況にあって、画像幾何学的歪補正精度の向上と補正作業の効率化の問題は、建設分野のみならず画像を利用する技術分野において、今後も避けては通れない検討課題になるはずである。本研究の内容が、この点に関する一つの対策として、さらには、インターネット環境下で稼働する専門性の高い各種画像処理・解析システムの開発・運用の参考の一つ

にでもなれば幸いである。

付録：相対誤差評価図（手法間比較）

相対誤差とは GCS-Web で提案する新しい評価指標である。GCS-Web の基準点取捨選択 (GA)・座標変換係数決定機能と従来手法で選定される基準点セットは異なる可能性があり、選定される基準点セットが異なると、求まる座標変換係数も異なる。したがって、座標変換後の画像座標にも違いが生じる。その相対的な座標の違いを相対誤差 Z と定義する。

$$Z = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

但し、 (x_1, y_1) : 画像座標系 (GCS-Web)
 (x_2, y_2) : 画像座標系 (従来手法)

式 (1) の (x_1, y_1) と (x_2, y_2) は、 (u, v) とそれぞれのアフィン係数からアフィン逆変換することで計算できる。したがって、 (x_1, y_1) と (x_2, y_2) は以下の式となる。

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 \\ d_1 & e_1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} u - c_1 \\ v - f_1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_2 & b_2 \\ d_2 & e_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} u - c_2 \\ v - f_2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

但し、 $a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1$: アフィン係数 (GCS-Web)
 $a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, f_2$: アフィン係数 (従来手法)
 (u, v) : 地図座標系

式 (2), (3) より、カラム、ライン方向別に相対誤差を求めると式 (4), (5) が得られる。

$$x_1 - x_2 = \frac{1}{a_2 e_2 - d_2 b_2} \{ (a_2 e_2 + b_2 d_1 - a_1 e_2 - b_2 d_2) x_1 + (b_2 e_1 - b_1 e_2) y_1 + b_2 (f_1 - f_2) - e_2 (c_1 - c_2) \} \quad (4)$$

$$y_1 - y_2 = \frac{1}{a_2 e_2 - d_2 b_2} \{ (a_2 e_2 + b_2 d_1 - a_1 e_2 - b_2 d_2) y_1 + (a_1 d_2 - a_2 d_1) x_1 + d_2 (c_1 - c_2) - a_2 (f_1 - f_2) \} \quad (5)$$

式 (4), (5) を式 (1) に代入することにより、以下の式が得られる。

$$Z = \frac{1}{a_2 e_2 - d_2 b_2} \left[\{ (a_2 e_2 + b_2 d_1 - a_1 e_2 - b_2 d_2) x + (b_2 e_1 - b_1 e_2) y + b_2 (f_1 - f_2) - e_2 (c_1 - c_2) \}^2 + \{ (a_1 d_2 - a_2 d_1) x + (a_2 e_2 + b_1 d_2 - a_2 e_1 - b_2 d_2) y + d_2 (c_1 - c_2) - a_2 (f_1 - f_2) \}^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

式 (6) より、画像座標毎の相対誤差を求めることができる。この式を用いて、相対誤差評価図を作成することにより領域全体の相対誤差を評価する。

参考文献

- 1) 酒井理哉, 山崎健一: 画像計測を用いた RC 構造物の損傷診断について, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, CS11, pp.387~388, 2006 年 9 月.
- 2) 高木幹雄, 下田陽久 監修: 新編 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, pp.1073~1085, 2004.
- 3) Kojima, H., and Obayashi, S.: Evaluation of accuracy of geometric correction for three different high resolution sensor data (HRV, TM and MESSR), Adv. Space Res., Vol.12, No.7, pp.379~388, 1992.
- 4) Huseby, R.B., Halck, O.M., and Solberg, R.: A model-based approach for geometrical correction of optical satellite images, International Journal of Remote Sensing, Vol.26, No.15, pp.3205~3223, 2005.
- 5) Tutker, M., and Gacemer, A.O.: Geometric correction accuracy of IRS-1D PAN imagery using topographic map versus GPS control points, International Journal of Remote Sensing, Vol.25, No.6, pp.1095~1104, 2004.
- 6) 小島尚人: 画像幾何学的歪補正方法, プログラム, 及び画像幾何学的歪補正装置, 特開 2009-075825, 2009 年 4 月.
- 7) 小島尚人, 舘智士, 藤田光裕: 遺伝的アルゴリズムを導入した画像幾何学的歪補正手法における推奨パラメータ, 日本リモートセンシング学会第 44 回学術講演会論文集, pp.153~154, 2008 年 5 月.
- 8) 飯倉善和: 数値標高モデルを用いたランドサット TM 画像の幾何補正の最適化, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.22, No.2, pp.189~195, 2002 年 6 月.
- 9) 小島尚人, 新井大貴, 山崎将志: インターネット環境下で稼働する画像判読支援動画作成システムの構築, 土木情報利用技術論文集, Vol.16, pp.43~52, 2007 年 10 月.
- 10) 大林成行, 小島尚人: 最新・実務者のためのリモートセンシング, フジ・テクノシステム, pp.122~132, 2002.
- 11) 大林成行, 江野沢誠, 小島尚人, 金井利郎: EWS をベースにした GCP データベースシステムの構築と運用, 東京理科大学リモートセンシング研究所, 全 272 頁, 1990.