法政大学学術機関リポジトリ
HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-07-12

形状情報による低空間分解能画像からの高精度GCP抽出法

力丸, 厚 / Rikimaru, Atushi / 小西, 正純 / 大嶋, 太市 / Oshima, Taichi / Konishi, Masasumi

(出版者 / Publisher)
法政大学工学部
(雑誌名 / Journal or Publication Title)
法政大学工学部研究集報 / 法政大学工学部研究集報
(巻 / Volume)
26
(開始ページ / Start Page)
179
(終了ページ / End Page)
194
(発行年 / Year)
1990-02
(URL)
https://doi.org/10.15002/00003914

形状情報による低空間分解能画像からの高精度GCP抽出法

力丸　厚*・小西正純*・大嶋太市*

Coordinate Determination of Ground Control Points for Low Resolution Image Data

Atushi RIKIMARU*, Masasumi KONISHI* and Taichi OSHIMA*

Abstract

Low resolution image data such as NOAA-AVHRR are effective for global earth environmental monitoring with short interval. The topographic features of low resolution images are unclear to identify the GCP for geometric correction. This paper describes a method of extracting high accuracy GCP for geometric correction, even on low resolution images. In this method, GCP is set on the center of gravity coordinate in close polygon area. The experimental results indicate that this method can obtain high accuracy GCP.

概　要

低い空間分解能で，高い広域同時性を有するリモートセンシングデータが地球環境の監視に利用される傾向がある。しかしながら，低空間分解能データを利用する際の問題点として幾何補正用の GCP 計測の難しさがある。従来手法の目視判読では地形の特徴が，低い地上分解能のため不利である。よって，GCP 計測における誤差は大きいものと考えられる。

本論文は低空間分解能画像でも，高精度の幾何補正に対応できる GCP 抽出法についての研究報告である。対象となる幾何補正は，二つのディジタル画像間の重ね合わせについて研究されたものである。本研究の GCP 抽出法は，画像から閉領域を抽出し，抽出閉領域の重心点座標を GCP として用いる方法である。この方法によれば，目視判読の難しい先端部等の座標を求める必要はなくなった。GCP 座標は閉領域の形状にて決定される。そこで，閉領域の形状の安定抽出が，重心点による GCP の精度に影響を及ぼすこととなる。そこでセンサの分解能等が多少変化しても重心点変化が少ないものが望まれた。実験の結果，閉領域形状は上下左右が対称であるほど，重心点は変化しにくい傾向を有することが判明した。さらに高い対称性形状を有する閉領

* 土木工学科

域を抽出することにより，高い精度の GCP が得られることが確認された。誤差に関しては従来法の目視判読による場合，GCP における平均二乗誤差で約0.3画素となった。これに対し閉領域重心点による方法は約0.03画素となった。誤差は約1/10程度に減少した。このことから，閉領域重心点を GCP として選択する幾何補正方法は従来法と比較して幾何補正精度が高いことが確認された。

§1. ま え が き

一般に，理想的な GCP (Ground Control Point) の条件は次の2点である。

① 点数が多いこと。

② 画像全体に均一に分布すること。

また，GCP 座標を実数値で与えることにより補正精度が向上すると言われている[5]。

従来から多く行われている幾何補正用の GCP 座標抽出法は，大別して次の方法等がある[4~6]。

① 目視判読によるもの。

② 画像のマッチングを用いるもの。

一般に，現行の多くの場合は，GCP を画像中の目視判読可能な特徴のある地点に求めている。例えば，埋め立て地の角，岬などの先端そして河川の合流点などが典型例である。しかしながら，これらの目視判読可能な特徴ある点は，低空間分解能データでは特徴が不明瞭となり，座標決定が難しい場合が多い。また，決定できた場合でも誤差は大きいと考えられる。画像マッチングの場合でも，低い空間分解能データの場合，有利な方法とは言えない。そこで，低空間分解能画像データでの特徴物による GCP 抽出の方向を諦め，本研究では，ディジタル画像処理の立場から，より有利なアルゴリズムを考案した。具体的には，リモートセンシングデータから，独立した閉領域（以後 GCA: Ground Control Area とする）を抽出し，GCA の重心点位置を求める。得られた重心点位置座標（実数値）を GCP とする方法である。この方法の主な主な特徴は，以下の7点である。

① 空間分解能の低い画像でも GCP が容易に抽出可能となる。

② GCA が決定すれば，GCP は一意的に定まり，再現性が高い。

③ 内陸部でも，GCA が設定できれば，GCP が容易に抽出できる。

④ アルゴリズムが単純明快で，高速ディジタル画像処理に適している。

⑤ GCP の精度は，GCA に依存する。

⑥ GCP の座標値が，実数値で得られる。

⑦ GCP の精度が，高い。

本手法の問題点は，GCA の形状の安定性にあり，いかに安定した GCA を抽出するかが，実用性の鍵を握っている。そこで，GCA の形状特性として要求される要素を探るため，形状特性

の異なるGCA画像を設定し，重心点の安定性を評価した。その結果，上下左右の対称性の高い形状において重心点変動が少ないことが明らかになった。これにより対称性パラメータを用いて機械的に，安定性の高いGCAをふるい分けることが，可能となった。本手法によるGCPを用いた幾何補正の精度は，基準点の残差の平均二乗誤差で0.02～0.15画素程度であった。同一画像の目視抽出のGCPを用いた場合の平均二乗誤差は0.2～0.6画素程度であり，明らかに精度が向上したことが，認められた。本報告は，これらの研究結果について述べるものである。

§2.　形状によるGCP抽出の考え方

2.1　GCP抽出の考え方

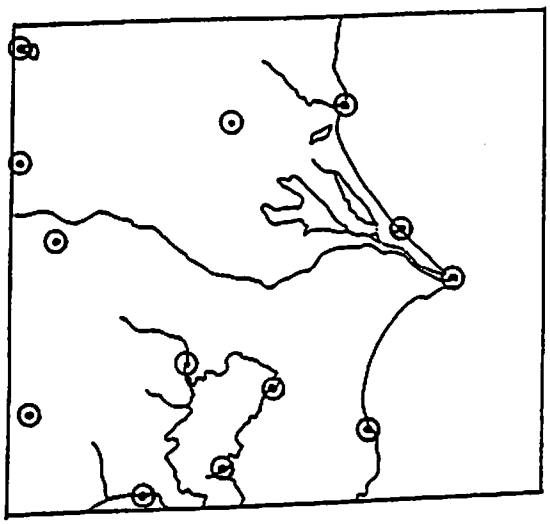
本研究では，低空間分解能画像より高精度GCP抽出を実現するために，目視によるGCP抽出に代えて，コンピュータによる自動抽出法の可能性を検討した。低空間分解能画像では岬などの先端点を抽出することは目視，コンピュータともに精度の点で容易ではないと考えられる。いっぽう，直接にGCPを抽出することにかえて，「GCP(重心点)を含むと考えられる閉領域GCA」の抽出は比較的容易である。特にディジタル画像処理によるリモートセンシングデータの土地被覆分類は，従来から行われている汎用の技術であり，この技術の活用は有望である。そこで，本研究ではGCAに着目し，GCAの重心点を目指すGCPと設定し，

①　いかにしたら安定したGCAが抽出できるか。

②　GCAの重心点をGCPとし，いかに高精度のGCPが抽出できるか。

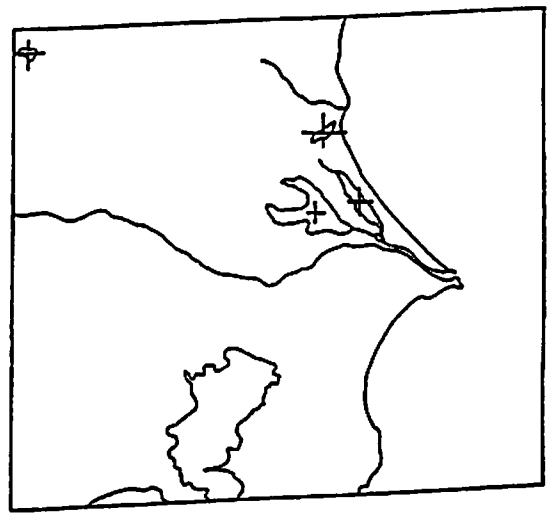
を本研究の命題とした。Fig. 1 (a), (b) は従来法とのGCP位置の違いを示す。

以後，従来のGCPと区別するため，得られたGCPを重心GCPとよぶ。また目視判読にて得られたGCPを目視GCPとする。



地図上の⊙がGCP位置を示す

Fig. 1 (a)　従来法でGCPの位置の例（文献4参照）



地図上の＋がGCP位置を示す

Fig. 1 (b)　GCAの重心点を用いたGCP位置の例

2.2 GCA と重心 GCP の安定抽出

重心 GCP の精度は，GCA の精度に依存する。そこで，GCA の安定抽出が基本的課題と考えられる。GCA には湖沼，島，緑地，大規模構造物など画像処理で抽出可能で，独立した閉領域が考えられるが，センサの分解能の違いや，画素のサンプリングされる位相等により GCA の境界付近の形状は変化する事が予想される。このため GCA の境界線付近では対応させたい画像間で整合しない領域が生じる。形状変化の少ない GCA の重心部分に GCP を求めたことで，GCP の精度に与える影響は少ないといえる。しかしながら，無視することはできない。そこで GCA に要求される条件として GCA に多少変形が起きたとしても，重心点位置変化が少ないことが求められる。

そこで本研究では，GCA の安定条件を定量化するために，GCA の形状パラメータとして，

① 画素数：A

② 円形度：R

③ 対称性：S

の三つの条件について検証をおこない，安定した GCA を判別するためのパラメータとなり得るかを，検討した。

2.2.1 画 素 数

GCA の画素数：Aが，少なければセンサによる量子化ピッチの僅かなずれで，GCA形状が変化し，重心値にも影響することが，考えられる。そこで，画素数の変化と重心の安定性について検討した。

2.2.2 円 形 度

GCA の形状が円形に近いほど，重心点の値はエッジの影響を受けにくいことが，考えられる。そこで，周囲長の二乗と面積の比率による円形度：Rを(1)式により求め，検討した。

$$\text{円形度：} R = P * P / A \qquad (1)$$

A：図形の面積（GCA 内の画素数）

P：周囲長（GCA 内画素と GCA 外画素との隣接辺の対の長さ）[1-3]

2.2.3 対 称 性

上下左右の対称性が高ければ，GCA のエッジ部分の形状変化を受けにくくなることが，考えられる。そこで対称性を示すパラメータ S を算出し重心点の安定性を，検討した。Fig. 2 に示す GCP を例とすると。

対称性：Sを下記のように定義した。

重心 GCP 座標を$G(x, y)$とする。

$$Hl = |(X - H_{min})|$$

$$Hr = |(X - H_{max})|$$

$Hr \geqq Hl$ のとき　　$H = Hl/Hr$

$Hr < Hl$ のとき　　$H = Hr/Hl$

H_{min}: GCA 内の画面水平方向の最小座標

H_{max}: GCA 内の画面水平方向の最大座標

Hr: GCA 内の画面重心の右側最大距離

Hl: GCA 内の画面重心の左側最大距離

$Vo = |(V - V_{min})|$

$Vu = |(V - V_{max})|$

$Vo \geqq Vu$ のとき　　$V = Vu/Vo$

$Vo < Vu$ のとき　　$V = Vo/Vu$

V_{min}: GGA 内の画面上下方向の最小座標

V_{max}: GCA 内の画面上下方向の最大座標

Vo: GCA 内の画面重心の上側最大距離

Vu: GCA 内の画面重心の下側最大距離

対称性: $S = \mathrm{SQRT}(H * V)$　　（2）

（0.0＜対称性≦1.0）

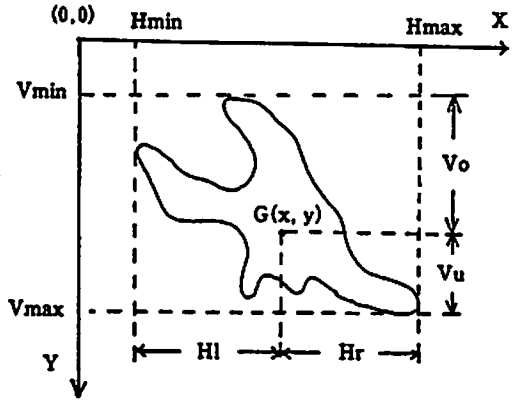


Fig. 2　GCA の重心点と対称性パラメータの模式図

2.2.4 重　心　点

GCA から求める重心点座標 (U, V) の定義は，1画素当りの重み w を，すべて $w=1$ とすると

$$U = \sum_{i=1}^{n} Xi/n \qquad (3)$$

$$V = \sum_{i=1}^{n} Yi/n \qquad (4)$$

n: GCA 内の画素数

となる。

2.2.5 座　標　系

Fig. 3 に画像の座標系を示す。

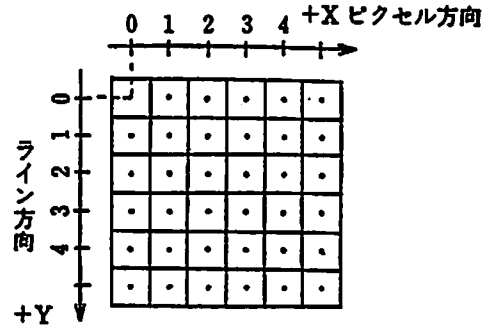


Fig. 3　画像データの座標系

左上端の面素中心点を原点とし，右方向を $+X$，下方向を $+Y$ とした。

§3.　重心 GCP の検証実験

3.1 検証実験の考え方

GCA 形状に求められる要件は，諸条件による境界部分の形状変化に対し，重心点変化が少ないことがあげられる。GCA 形状変化におよぼす主な要因は

① センサの地上分解能の違いによるもの。

② 画素のサンプリングされる位相が原因で，特にエッジが形状が変化するもの。

③ センサの観測角による形状の変化。

などが考えられる。本研究では，GCA を画像の局所から抽出することのみを想定したため，③によるセンサ観測角の影響は，取り扱っていない。

検証実験は次の3項目とする。

① GCA 形状特性と GCP 誤差の基礎実験

② 重心 GCP と目視 GCP の精度比較検証実験

③ MOS-1・MESSR データを用いた高精度の GGP 抽出法の検証実験

実験① では GCA 形状に求められる条件を明らかにする。

実験② では目視 GCP との精度の比較を行った。

実験③ ではリモートセンシングデータを使用し実用上の可能性を検討した。

3.2 低空間分解能画像の GCA 形状特性と GCP 誤差の検証実験

3.2.1 実験の考え方

本実験の目的は，空間分解の低下にともなう GCA 形状に求められる条件を，明らかにすることにある。本研究は，形状変化の要因として次の二つを考えた。

① センサ地上分解能変化

② 画素サンプリング位相変化

例として，Fig. 4 (a) に示す GCA を考える。

Fig. 5 に示す 2＊2 の平滑フィルタ（画素分解能低減フィルタ）を用い地上分解能を模擬的に低下させる。フィルタ処理により，サンプリングの位相は四通り考えられる。(Fig. 4 (b)～(e) 参照) さらに，中間的な輝度(グレイレベル)が GCA の境界上に発生する。しかしながら本研究はしきい値を用い2値化するので，エッジのグレイレベルに関しては考慮しない。よって，Fig. 4 (f)～(i)は，得られる GCA 形状を示す。GCA 原画像の重心点とフィルタ処理によって得られた GCA の重心点間の距離を測定する。このような設定条件下で GCA 形状パラメータとして，画素数A，円形度R，対称性S，の3項目に着目し，実験を実施した。

3.2.2 実験手順

Fig. 6 は実験手順を示す。

① 実験に使用した GCA (No. 1～No. 8) は，衛星リモートセンシングデータにより抽出した。
模擬画像としてデータ No. 9, No. 10 の GCA 画像を作成した。
Table 1, Image 1 は，得られた GCA の各データを示す。

② 画素数A，円形度R，対称性Sの算出。

③ 原画像 GCA の重心点座標 $G0(X, Y)$ を計算。

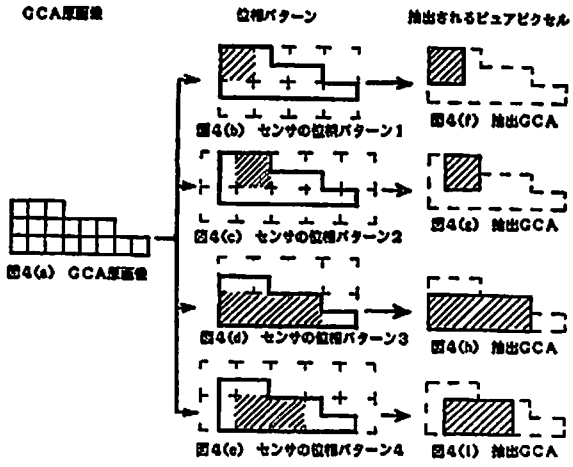


Fig. 4　GCA とサンプリーグの位相との関係

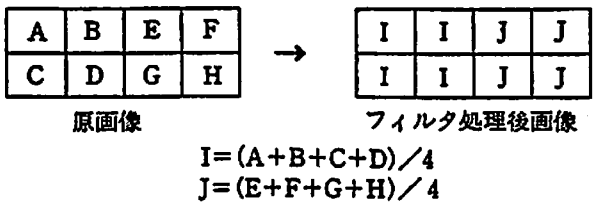


Fig. 5　画素分解能低減フィルタの模式図

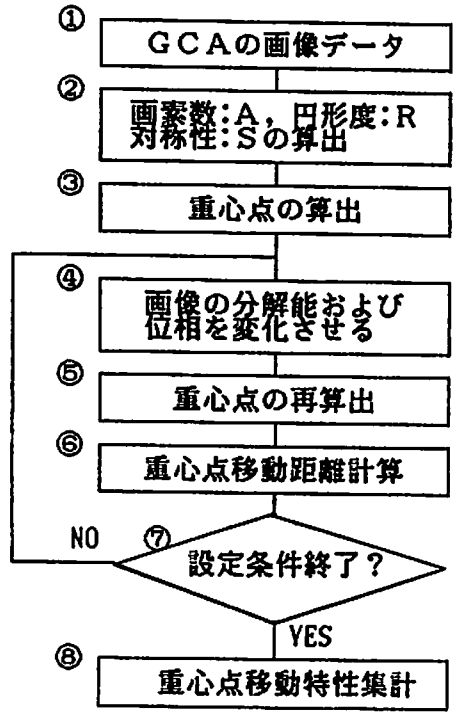
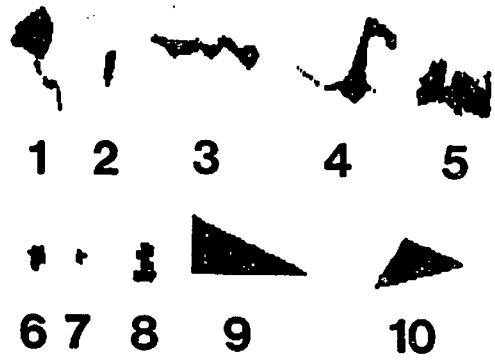


Fig. 6　GCA の安定性検証実験の手順



画像 1　実験に用いた各 GCA 形状
（番号は表 1, 2 の No. と対応）

④　画素分解能低減フィルタにて仮想低分解能画像を作成した。

⑤　仮想低分解画像での GCA 重心点 $G1(X1, Y1)$ を算出した。

⑥　原画像の重心点 $G0$，$G1$ 間の距離を重心点移動距離 $L1$ とした。

⑦　処理④⑤⑥を画素分解能低減フィルタの位相を変化させて実施した。
原画像の重心点 $G0$ と仮想低分解能画像の重心点間の移動距離 $L2$～$L4$ を得る。

⑧　$L1$～$L4$ の平均値を重心点移動距離 L とした。

3.2.3　結　果

Table 2 は，各形状パラメータと重心移動距離 L の関係を示す。Fig. 7 (a), (b), (c) は，グラフ化したものを示す。また，Table 3 は，各パラメータの重心点移動距離 L に対する相関係数 r を示す。Fig. 7 (c), Table 3 より，安定 GCA 抽出パラメータには対称性 S が画素数 A，円形度 R より有利であると考えられた。

Table 1　実験用GCAデータ

No.	名　称	使用データ仕様
1	北印旛沼	MOS-1 MESSRデータ 1987 10/13 ch4
2	霞ケ浦の一部	同　上
3	手賀沼	同　上
4	南印旛沼	同　上
5	習志野市の緑地	同　上
6	十和田湖	NOAA AVHRRデータ 1984 4/26 ch2
7	田沢湖	同　上
8	小川原湖	同　上
9	直角三角形	2値化模擬画像
10	鋭角三角形	同　上

Table 2　GCA形状パラメータと重心点移動距離

No.	画素数：A	円形度：R	対称性：S	重心点移動距離：L
1	372	77.7	0.668	1.92
2	49	36.0	0.819	0.51
3	292	139.7	0.750	1.06
4	389	140.8	0.663	1.18
5	577	106.6	0.850	0.35
6	58	36.5	0.965	0.27
7	19	25.5	0.872	0.50
8	67	46.8	0.907	0.28
9	900	41.0	0.505	0.94
10	561	47.9	0.884	0.53

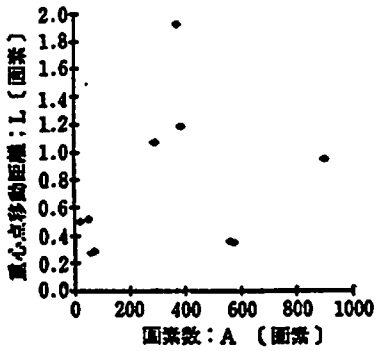


Fig. 7 (a)　重心点移動距離：Lと画素数：Aの関係

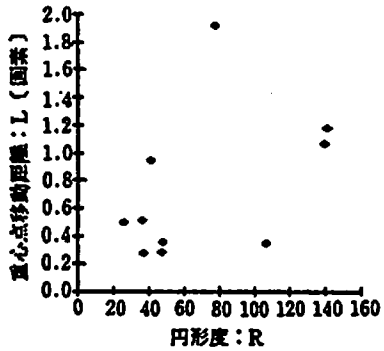


Fig. 7 (b)　重心点移動距離：Lと円形度：Rの関係

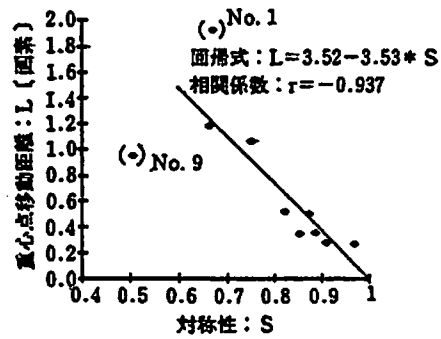


Fig. 7 (c)　重心点移動距離：Lと対称性：Sの関係

Table 3　GCA形状パラメータと重心点移動距離の相関係数

形状パラメータ	相関係数 r
画素数：A	0.273
円形度：R	0.454
対称性：S	−0.728
	−0.937*

* GCAデータNo. 1および9を除いた。

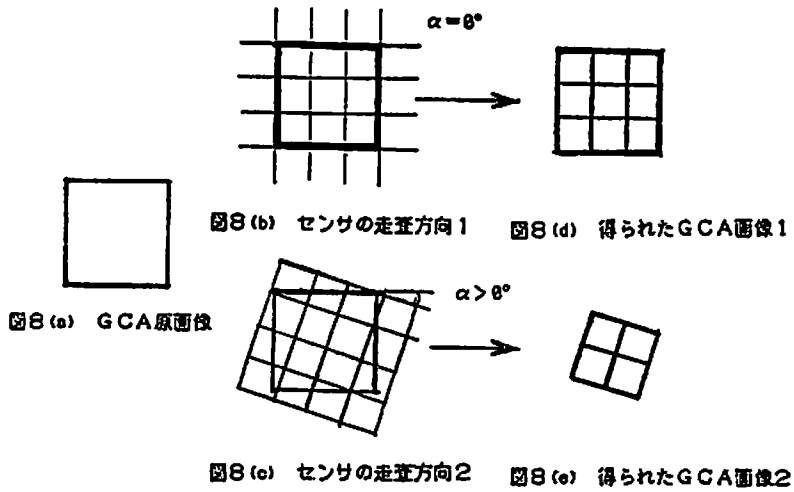


図8(a)　GCA原画像
図8(b)　センサの走査方向1
図8(d)　得られたGCA画像1
図8(c)　センサの走査方向2
図8(e)　得られたGCA画像2

Fig. 8　センサの走査方向変化によるGCA形状変化の模式図

3.3　センサの走査方向の変動に対する重心 GCP と目視 GCP の精度比較実験

3.3.1　実験の考え方

本実験の目的はセンサの走査方向を変化させた場合の重心の安定性を検証することにある。これは，衛星が回帰した時のわずかな軌道のずれによる GCA のエッジの変化を想定している。Fig. 8 は GCA エッジ変化の模式図を示す。Fig. 8 (d)(e) は，GCA 原画像を走査方向を変化することにより得形状の例である。本実験は，以上のことをスキャナーの読み取り位置を変化させる事により模擬実験をおこなった。

3.3.2　実験手順

① スキャナーを用い実験用画像を入力した。スキャン幅は200ドット/インチである。
Image 2, Image 3 は入力した実験用画像を示す。

② 重心 GCP，目視 GCP を求める。重心 GCP は GCP カウント値 200 以上の閉領域の重心点を算出した。目視 GCP は画像を CRT に表示し，カーソルを用いて目標点を目視判読で選定し，データ座標を抽出した。（ただし，Image 2 (b)，Image 3 (b) は重心 GCP のみの測定）

③ アフィン変換式（5），（6）で Image 3 (a), (b) をそれぞれ Image 2 (a), (b) に重ね合わせを試みた。係数 A～F の決定は最小二乗法を用いる。

$$U=A*X+B*Y+C \qquad (5)$$

$$V=D*X+E*Y+F \qquad (6)$$

U：リサンプリングを受ける画像のピクセル方向の座標

V：リセンプリングを受ける画像のライン方向の座標

X：基準とする画像のピクセル方向の座標

Y：基準とする画像のライン方向の座標

④ GCP 精度の検討はリサンプリングを受ける画像の基準点の座標 $\hat{U}*$ 及び $\hat{V}*$ と推定した座標値 U 及び V とのおのおのの残差の平均二乗誤差，最大誤差で実施した。

使用した実験システム

CPU	NEC	PC9801VX21
スキャナー	SHARP	JX-200

3.3.3　実験結果

Table 4 は実験によって得られたデータを示す。

GCA の重心点を GCP とした時の平均二乗誤差は目視による GCP を用いた時に比べ約 1/6 から約1/10程度減少した。また，対称性 S の有利な形状である円形を GCA とした場合は平均二乗誤差は約0.02から0.04画素となった。

Table 4　重心GCPと目視GCPの幾何変換精度時の平均二乗誤差と最大誤差

GCP抽出法	画像パターン	基準点数	ピクセル方向		ライン方向	
			平均二乗誤差	最大誤差	平均二乗誤差	最大誤差
目視GCP	1	18	0.557041	0.897751	0.879170	1.609846
目視GCP	1	8	0.516220	0.739208	0.398256	0.651979
重心GCP	1	8	0.163305	0.244104	0.065006	0.116930
重心GCP	2	8	0.043185	0.073843	0.020903	0.041538

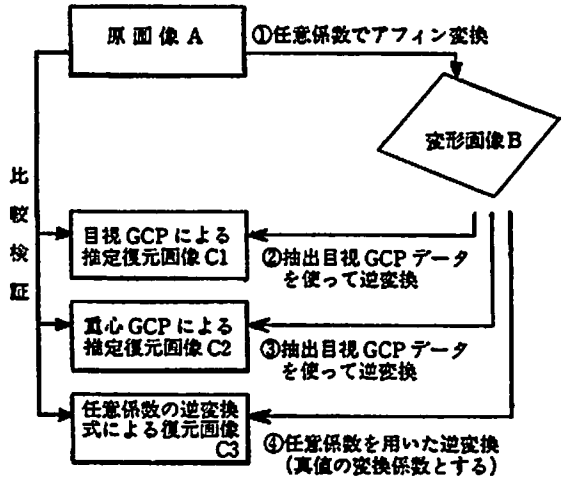


Fig. 9　GCP精度の検討実験の概要図

3.4　MOS-1・MESSRデータを用いた高精度GCP抽出法の検証

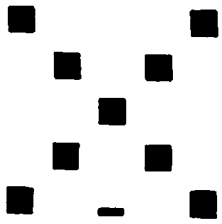
3.4.1　実験の考え方

本実験の目的は，重心GCPを衛星リモートセンシングデータから抽出しその位置補正精度を検証することである。Fig. 9は実験の概要を示す。原画像に任意係数のアフィン変換処理を加え変形画像Bを作成した。(Fig. 9①参照) 原画像A，変形画像B間の共通の重心GCP，目視GCPをそれぞれ抽出する。これらを用い変形画像Bに重ね合わせるアフィン変換処理式(5)(6)(9)を行うことにより推定復元画像$C1$, $C2$をそれぞれ作成した。(Fig. 9②③参照) リサンプリング手法処理はニアレストネーバー法によって実施した。この際，ニアレストネーバー法自身による誤差を考慮するため，初期に変形画像を作成したアフィン変換の逆係数（真値の逆変換係数とする)を用いた復元画像$C3$も作成し，リサンプリング自身による誤差成分を考慮した。(Fig. 9④参照) GCP精度の検証は次の①～③の要素で実施した。

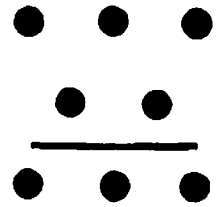
① GCPに採用した基準点の残差の平均二乗誤差，最大誤差。

② 母点と推定点との座標残差の平方和。シミュレーション（式(7)～(10)）を行うことにより求めた。

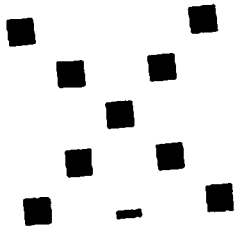
③ 推定復元画像上の画素の座標位置が原画像と一致する画素数及び復元率。(式(11))



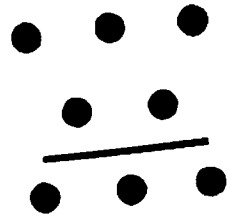
画像 2 (a)　検証実験用のテスト画像
（パターン 1 画像）



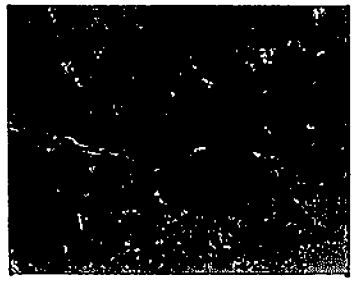
画像 2 (b)　検証実験用のテスト画像
（パターン 1 画像）



画像 3 (a)　ずらして入力したパターン 1 画像

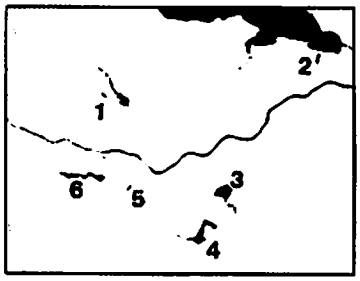


画像 3 (b)　ずらして入力したパターン 2 画像

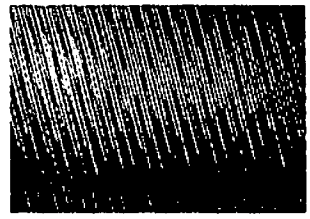


画像 4　検証実験用画像と目視 GCP 位置
（○の中心が GCP 位置）

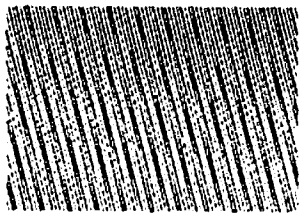
画像 6　アイフィン変換による変型画像



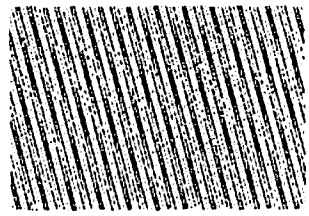
画像 5　GCP 抽出画像（1～6 はエリア番号）



画像 7 (a)　原画像と推定復元画像との
不一致画点像
（目視 GCP による場合）
＊ 黒点は不一致点を示す。



画像 7 (b)　原画像と推定復元画像との
不一致画点像
（重心 GCP による場合）



画像 7 (c)　原画像と推定復元画像との不一致点画像
（逆変換係数による場合）

$$X=a\times U+b\times V+c \tag{7}$$

$$Y=d\times U+e\times V+f \tag{8}$$

$IX=$DNINT(X)　　※1 DNINT は四捨五入関数

$IY=$DNINT(Y)　　※2 IX, IY は整数値

$$U=\text{DNINT}(A\times IX+B\times IY+C) \tag{9}$$

$$V=\text{DNINT}(D\times IX+E\times IY+F) \tag{10}$$

$$\text{復元率}\ R=(TP/AP)\times 100 \tag{11}$$

X: 変形画像のピクセル方向座標値

U: 原画像のピクセル方向座標値

Y: 変形画像のライン方向座標値

V: 原画像のライン方向座標値

U, V は推定した原画像の座標値

TP: 原画像と推定復元画像の画素が同一の画素数

AP: 変換領域内のすべての画素数

3.4.2 実験手順

Fig. 10に実験手順を示す。

① 実験に用いた衛星リモートセンシングデータは MOS-1・MESSR データ，チャンネル4 (1987年10月13日　P20-R70)（Image 4 参照）である。

② GCA を水域部に求めた。水域部を抽出するにあたり，チャンネル4の CCT カウント値2以下をしきい値として領域の抽出を実施した。(Image 5 参照)

③ 目視 GCP を目視判読にて原画像より抽出した。Image 4 に目視 GCP 位置を示す。

④ Fig. 11 に示すように原画像をアフィン変換（式(5),(6)）によるリサンプリングを行い，変換画像を作成した。得られたアフィン変換式の係数を Table 5 に示す。変換画像を Image

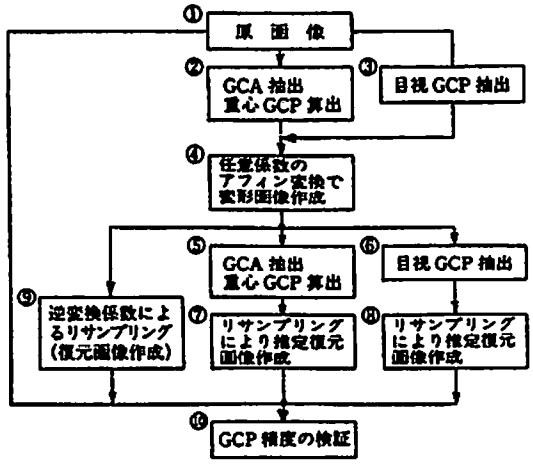


Fig. 10　GCP 精度の検証実験の手順

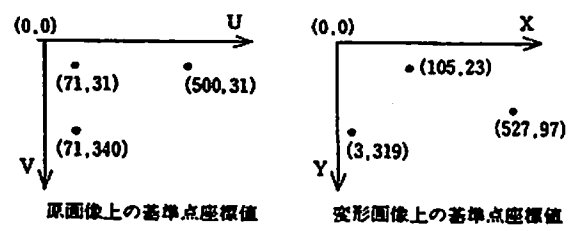


Fig. 11　変形画像作成のための基準点と座標系

Table 5　アフィン変換に用いた係数の一覧表

原画像→変形画像		変形画像→原画像			
係数	変形画像作成のための係数	係数	任意係数の逆変換係数	重心 GCP による係数	目視 GCP による係数
A	0.958659	a	0.983683	0.983605	0.983050
B	0.330379	b	−0.330097	−0.329938	−0.329409
C	−37.257240	c	45.391518	45.366736	45.025260
D	−0.172626	d	0.172494	0.172567	0.173214
E	0.984433	e	0.957929	0.957391	0.958433
F	26.483738	f	−18.942879	−18.821519	−19.153498

＊目視 GCP 数は 6 点

6 に示す。

⑤　変形画像より処理②で抽出した共通な GCA より重心 GCP を抽出した。

⑥　変形画像より処理③で選定した目視 GCP を再度選定した。

得られた a～f の係数を Table 5 に示す。

⑦　処理②，⑤で抽出した重心 GCP を用いてアフィン変換（式(7)，(8)）にて推定復元画像を作成した。Table 5 は得られた係数（a～f）を示す。

⑧　処理③，⑥で抽出した目視 GCP を用いてアフィン変換にて推定復元画像を作成した。（Table 5 参照）

⑨　変形画像作成時（処理④）に用いたアフィン変換式の逆変換式を算出した。得られた逆変換式を用いて復元画像を作成した。逆変換式の係数を Table 5 に示す。

⑩　GCP に採用した基準点の残差の平均二乗誤差，最大誤差を求めた。変換領域内の全画素の母点と推定点座標の平均二乗誤差を計算し，復元率を求めた。式(7)～(10)を用い位置ずれを起こした画素を着色した画像を作成した。(Image 7 (a)～(c) 参照)

3.4.4　結　果

Table 6 に採用した基準点での残差の平均二乗誤差を示す。Table 7 に変換領域内の全画素の残差の平均二乗誤差を示す。Table 8 に復元画像の画素の状態を示す。

GCA の重心点を GCP とする方法は，基準点での平均二乗誤差で目視判読による GCP の約 1/5～1/10 程度の残差になった。Table 7 により，ニアレストネーバー法自身の誤差は約0.2画素

Table 6　GCP に抽出した基準点での誤差

基準点	基準点数	平均二乗誤差		最大誤差	
		ピクセル方向	ライン方向	ピクセル方向	ライン方向
重心 GCP	6	0.057472	0.041981	0.075633	0.069249
目視 GCP	6	0.215478	0.231254	0.319609	−0.426119
目視 GCP	10	0.538565	0.449858	−0.884720	0.888897

Table 7　変換領域内の全画素の平均二乗誤差

基準点	基準点数	平均二乗誤差	
		ピクセル方向	ライン方向
逆係数	-	0.257	0.191
重心GCP	6	0.257	0.249
目視GCP	6	0.606	0.402
目視GCP	16	0.496	0.504

＊サンプル数は 133,300画素

Table 8　変換領域内画素の復元率

基準点種類	基準点数	一致画素	全画素	復元率%
真値	-	119,681	133,300	89.8
重心GCP	6	116,377	133,300	87.3
目視GCP	6	70.035	133,300	52.5
目視GCP	16	74,290	133.300	56.1

程度，生じた。一方，重心 GCP による誤差も約0.2画素程度であった。ニアレストネーバー法による基定的な誤差成分を差し引くと重心GCP の誤差は約0.0〜0.6画素の高精度GCP となることが確認できた。

§4.　重心 GCP の考察

4.1　GCA 形状について

本研究では，2つのディジタル画像間の重ね合わせを目的とした GCP の抽出に，GCA の重心点を用いた。この重心 GCP の再現性，または安定性は GCA の形状特性に依存するものである。本研究では GCP の精度に影響を及ぼす GCA 形状要素として，画素数，円形度，対称性の3点を実験・検証した。検証実験は，画像の空間分解能を数値上で模擬的に低下させることにより，原画像との重心点の移動距離変化を測定した。

検証実験の結果により（Table 2, Table 3 および Fig. 7 (c)参照）対称性と重心点の移動距離変化の間に，相関係数-0.95という負の相関関係が認められた。この回帰式によれば，重心GCPの変動量0.5ピクセル以内に納めるためには対称性パラメータ S は，0.85以上であることが望まれることが明かとなった。

4.2　GCA 重心点位置移動の原因について

低空間分解能画像の1画素中には高分解能画像の1画素よりも混在情報が多く含まれていると考えられる。よって岬の先端などは低空間分解能画像では判別不可能となる。これに対し，閉領域の重心点位置はエッジ部分の形状変化の影響を受けにくい。しかし，ライン方向もしくはピクセル方向に平行なエッジを持つ形状はセンサーのデータサンプリング時の位相の影響を受ける。

このため，たまたまサンプリングの周期がエッジ位置にぴたりと合致した場合とそうでない場合とでは，GCP 精度と大きく変化する。今回検討した円形度Rにおいて，重心点の移動距離との相関が，低くなった。この原因として考えられるものに，ピクセル，ライン方向に平行なエッジを有する GCA の存在が挙げられる。ピクセル，ラインに平行な直角三角形の場合，他の形状に比べ円形度Rが低い（円に近い）にも関わらず，変動誤差が大きいという結果になっている。

4.3 対称性の限界

本研究の結果，GCA の対称性で重心 GCP の精度を判定する事が可能であることが，明かとなった。しかしながら，高い対称性を示す GCA であっても次のようを形状の GCA では，重心点は不安定である。

① ライン方向もしくはピクセル方向に平行なエッジを有する GCA。

② GCA 内部に穴があいているもの。

③ 低空間分解能画像で GCA 形状が分裂するもの。

これらの性質を有する GCA を判別するには2つのディジタル画像間で GCA 形状特性を照合する必要がある。

4.4 画像間の空間分解能の差と GCP 精度

実験②，③より，画像間の画素スケールがほぼ等しい場合は，GCAの対称性Sに対する要求度はやや低下し，$S=0.6$ 以上であれば，平均二乗誤差0.03画素以内を確保できる。いっぽう，画素間のスケールが異なり，幾何変換時に拡大，縮小の要素が多く入る場合は GCA 形状の変形が大きい。このため GCA の対称性Sは，特に高いものが求められる。この場合，S＝約0.85以上の GCA 形状が望まれる。

4.5 重心 GCP と目視 GCP あ比較実験

Table 4 の結果より基準点における精度は重心 GCP を用いる方が高い。これは重心 GCP 抽出時に目視判定をやめたこと。また重心 GCP 座標に実数値を与えたことにより目視 GCP よりも精度の高い幾何変換式を得られたことによる。

4.6 MOS-1 データでの重心 GCP 精度の検証

実験③で次のことが検証された。

① GCA 抽出は MSS(MESSR) データにおいて土地被覆分類画像より抽出可能である。

② 重心 GCP によるディジタル画像の重ね合わせは目視 GCP の誤差の約 1/5〜約 1/10に改善された。（Table 6 参照）

③ GCP を内陸部でも容易に抽出できた。

§5. むすび

本研究による成果についてまとめると，以下のようになる。

① GCP を独立した閉領域の重心点に求めることにより，GCP 座標の高精度抽出が可能となった。

② GCP を内陸部に求めることが容易になった。従来法では，画像中に海岸線等の明瞭な境界線がない場合の GCP 抽出は，容易ではなかった。

③ GCP に実数値を与えることが，従来法よりも容易となり，GCP 精度も向上させることができた。

④ GCP 精度を向上させるためには，安定性の高い GCA を選定する必要がある。このための判定パラメータとして，対称性：Sの有効性を確認することができた。

リモートセンシングデータ解析において，気象衛星データのような短周期観測で，しかも広域観測データの需要は，今後増大することが予想される。このようなデータは，空間分解能が低いにも関わらず，画像を時系列に精密に重ね合わせる要求も多い。本研究成果が，このような問題の解決策の基礎となり，広く利用されることを期待する。

参 考 文 献

1) 大嶋，力丸，福田，和内：ランドサット TM データによる都市緑地の配置形状特性を考慮した定量的評価手法の検討．日本写真測量学会，年次学術講演会資料，1986，5.
2) 大嶋，力丸，池谷，松永：ランドサットデータによる都市緑地の配置形状特性を考慮した定量的評価手法の検討<その2>，日本写真測量学会，年次学術講演会資料，1987，5.
3) 野上，杉浦：パソコンによる数理地理学演習，古今書院.
4) 向井，竹内：画像の自動マッチングを利用した2段階リサンプリング法によるディジタル画像の重ね合わせ，写真測量とリモートセンシング，Vol. 25，No. 2，1986，pp. 4-12.
5) 吉野，山路，荒木：ランドサットデータにおける地上基準点の精密な位置決定に関する基礎的研究日本写真測量学会．年次学術講演会講演集，1987，4，12.
6) K. Yoshino, E. Yamaji: Determination of GCP Location to Subpixel Values in Landsat Imagery. *27th ISPRS*, Vol. 3, July 1988, pp. 850-856.
7) Mitchell, O.R., Tabatabai, A.J.: Edge Location to Subpixel Values in Digital Imagery. *IEEE Trans*, Vol. **PAMI-6**, No. 2, March 1984, pp. 188-201.
8) Welch. R., Jordan, T.R., Ehlers, M.: Comparative Evaluations of the Geodetic Accuracy and Cartographic Potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper Image Data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 51, No. 11, November 1985, pp. 1799-1812.