

## 7-8. 衛星データの精密幾何補正、自動補正アルゴリズムの開発

## 【衛星データの精密幾何補正、自動補正アルゴリズムの開発】

### 1. はじめに

本研究は、国土管理の高度化・効率化のためのリモートセンシングデータの利活用検討のうち、様々な場面での状況把握・情報抽出を支援するための基盤となる画像データの活用、すなわち、衛星やヘリコプタなどで取得した画像データや航空写真等により、高精度な地図情報等をシステムの自動化により迅速に取得する手法の確立を最終目的としている。今年度は、平成14年度の課題を踏まえ幾何補正手法としての基準画像チップの標準化について検討するとともに、具体的なシステムの検討を行うため、災害時の状況把握を念頭においた、ヘリコプタによる映像情報の取得を対象とした。

### 2. ヘリコプタによるテストデータ取得

画像データの取得から幾何補正にいたる流れを実証的に検証するために、防災ヘリコプタでテストデータの取得試験を実施した。試験は1月16日に東北地方整備局の防災ヘリコプタ「みちのく号」にて実施した。

防災ヘリコプタ「みちのく号」はビデオカメラ（振動防止懸架装置付）とスチールカメラを装備しており、道路、河川を対象にビデオカメラとスチールカメラで垂直撮影を行った。



図2-1 防災ヘリコプター みちのく号



図2-2 撮影画像 ビデオカメラ（左） スチールカメラ（右）

### 3. 平成 14 年度業務の概要

平成 14 年度は、衛星画像の国土管理への利活用を支援することを目的に、幾何学補正の過程のうち、地上基準点（以下 GCP）の抽出に焦点を合せ、基準画像チップを用いた GCP の自動抽出手法について検討した。基準画像チップとは、座標が既知である矩形の小領域のことで、あらかじめ用意したこの小領域と、幾何補正対象画像の間でイメージマッチング処理を行うことで、GCP 対を自動抽出することを想定している（図 3-1）。

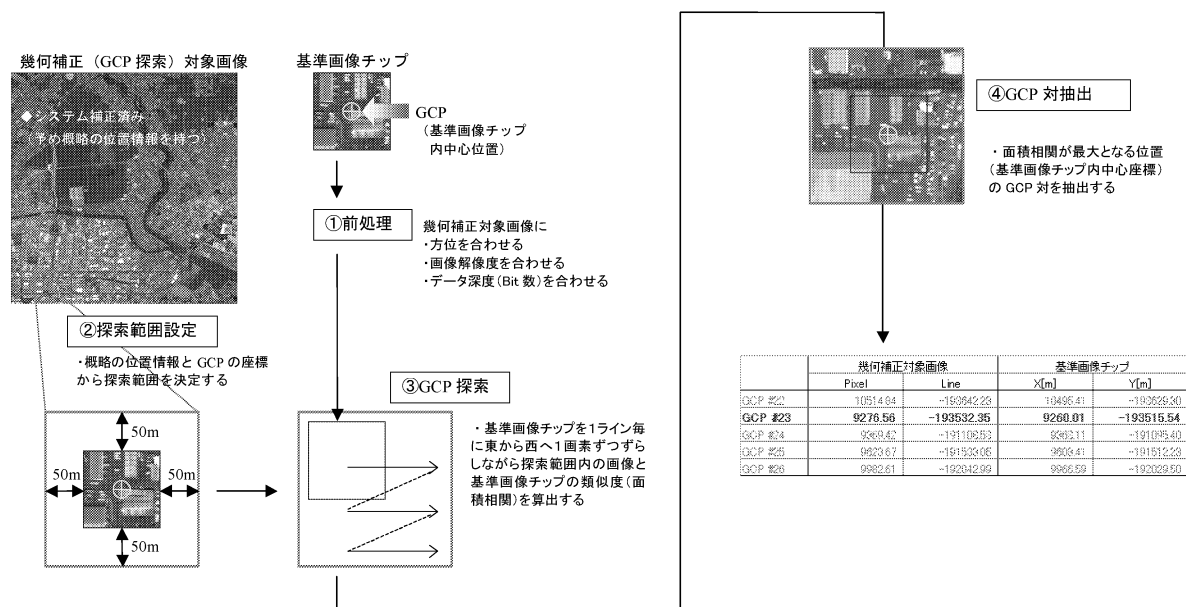


図 3-1 GCP 自動抽出フロー

マッチング方法には、面積相関法および SSSA（逐次残差法）を用いた。実験対象の衛星データは LANDSAT、ASTER、IKONOS、JERS-1 とした。基準画像チップのサイズは、25×25pix、50×50pix、100×100pix、200×200pix の 4 種類について検討した。

#### ○実験結果

- ・いずれの衛星データでも構造物と閉水域を含む画像チップでマッチングに成功した。
- ・IKONOS（1m 解像度）では、影の情報がマッチングに寄与し市街地で良好な結果を示した。一方、LANDSAT（30m 解像度）では、より大きな構造がマッチングを左右した。
- ・マッチングに有効な波長帯は近赤外域であった。
- ・面積相関法は、SSSA 法に比べて良好な結果が得られた。

一方、本手法の標準化に向けて、以下のような課題が残された。

- ・別のデータ、テスト地域での検証
- ・基準画像チップに用いる適正なバンドの検討
- ・基準画像チップの適正なサイズの検討

#### 4. 基準画像チップの標準化の検討

平成 14 年度業務の知見である基準画像チップの有効性を裏付けるため、新たなテスト地域において、まず、高解像度衛星画像のサンプルを用いて基準画像チップによる GCP の自動抽出アルゴリズムを検証した。具体的には、基準画像チップの地理的タイプ（土地被覆）ごとに、最適な使用バンドとチップサイズについて検討、整理した。検討内容を表 4-1 に、検討フローを図 4-1 に示す。

表 4-1 検討内容

検討内容	
基準画像チップの地理的タイプ	(1) 街区[8] (2) 道路を含む耕作地[5] (3) 閉水域[5] (4) 大型建造物を含む地区[6] (5) 橋梁・河川を含む地域[6] (6) 公園・緑地[6] ※[ ]内はサンプル数 (a) 植生を多く含むタイプ (道路を含む耕作地、公園・緑地) (b) 人工構造物を多く含むタイプ (街区、大型建造物を含む地区) (c) 水域を含むタイプ (閉水域、橋梁・河川を含む地域)
使用バンド	全バンド(青、緑、赤、近赤外) ※全バンドの中から地理的タイプ別の最適なバンドを選定
基準画像チップのサイズ	(A) 25m × 25m (B) 50m × 50m (C) 100m × 100m (D) 200m × 200m ※(A)～(D)の中から地理的タイプ別の最適なサイズを選定

※マッチング手法は面積相関法を採用

※探索範囲のサイズは基準画像チップを含む±50m × 50mの範囲に設定

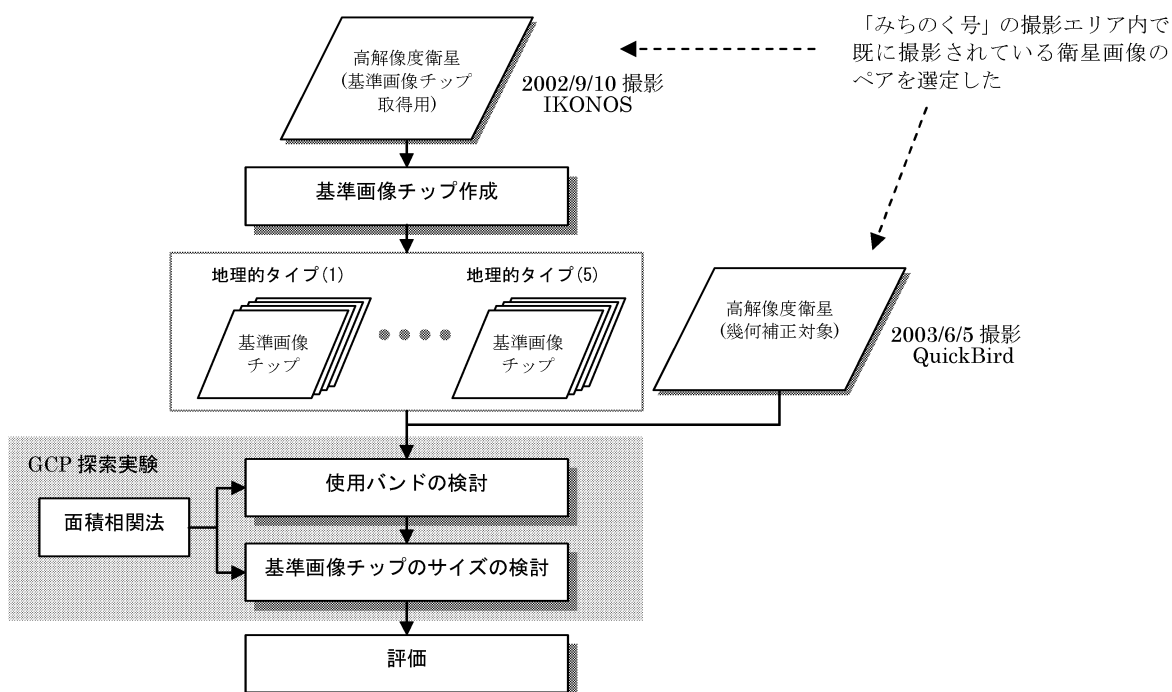


図 4-1 検討フロー

結果を表4-2にまとめた。

表4-2 基準画像チップの地理的タイプ別のマッチングの割合

地理的タイプ	分類	季節変化・経年変化への耐性	マッチングのしやすさ	マッチングの割合[%]				マッチングの割合[%] (Band1を使用)			
				Band1	Band2	Band3	Band4	25x25	50x50	100x100	200x200
(1)街区	人工構造物	○	◎	100.00 (0.598)	100.00 (0.585)	100.00 (0.577)	100.00 (0.640)	75.00 (0.617)	100.00 (0.569)	100.00 (0.598)	100.00 (0.626)
(2)道路を含む耕作地	植生	×	△	80.00 (0.572)	20.00 (0.309)	40.00 (0.586)	20.00 (0.387)	40.00 (0.660)	80.00 (0.580)	80.00 (0.572)	80.00 (0.551)
(3)閉水域	水域	○	○	80.00 (0.675)	100.00 (0.586)	100.00 (0.619)	40.00 (0.677)	40.00 (0.571)	80.00 (0.665)	80.00 (0.675)	100.00 (0.672)
(4)大型建造物を含む街区	人工構造物	○	◎	100.00 (0.733)	100.00 (0.731)	100.00 (0.721)	100.00 (0.617)	50.00 (0.763)	100.00 (0.651)	100.00 (0.733)	100.00 (0.683)
(5)橋梁・河川を含む地域	水域	○	○	83.33 (0.555)	66.67 (0.577)	83.33 (0.454)	83.33 (0.800)	0.00 -	50.00 (0.476)	83.33 (0.555)	100.00 (0.615)
(6)公園・緑地	植生	△	◎	100.00 (0.668)	100.00 (0.589)	100.00 (0.624)	100.00 (0.736)	66.67 (0.682)	83.33 (0.643)	100.00 (0.668)	83.33 (0.737)

※( )内はマッチング時の相関(絶対値)の平均値

「街区」や「大型建造物を含む街区」といった、人工構造物を多く含むタイプは全てのサンプルでマッチングした。この理由としては、季節変化の影響を受けにくい被覆であることや、自然界のものと比較して輝度の変化パターンが単純であることが特徴抽出に有効であったことが考えられる。またバンドによる違いはなく、チップサイズについては 50m×50m 以上のサイズで良好な結果が得られている。

植生を多く含むタイプのうち、「道路を含む耕作地」は今回検討したものの中で最もマッチングの割合が低い。これは、基準画像チップと単作対象画像の撮影時季が異なるため、耕作地の被覆状況が著しく異なっているためであることや、画像チップ全体に耕作地が分布しているためにマッチングのための特徴量が少なかったことが原因であると思われる。

一方「公園・緑地」のタイプは全てのサンプルでマッチングしたが、これは、サンプル内の被覆状況が「道路を含む耕作地」と正反対（季節変化の影響が少ない場所であったこと、グラウンドや建物などの特徴量を増加させる対象物が含まれていたこと）の状況であったことが影響していると考えられる。これらのことから、基準画像チップを作成する場合にはなるべく季節変化の大きい被覆を含まないことが望ましいが、代替の画像チップがない場合にはこの点に充分注意する必要がある。使用するバンドについては、「公園・緑地」についてはいずれのバンドでも問題ないが、「道路を含む耕作地」はバンド1（青）に特定されるべきである。また、画像チップのサイズはどちらのタイプも 50m×50m 以上のサイズで良好な結果が得られているが、特に「公園・緑地」のタイプは 100m×100m のサイズが適していると言える。

「閉水域」「橋梁・河川を含む地域」といった、水域を含むタイプは全バンドのマッチングの割合が平均 80%と高い値を示した。これは、水域は周囲の土地被覆と比べて一般に輝度値が小さく特徴量の算出に有効であったためと考えられる。使用するバンドについては「閉水域」がバンド2（緑）、3（赤）が最も高く、次いでバンド1となっており、「河川・橋梁を含む地域」の場合バンド1、3、4（近赤外）が高い。また、画像チップのサイズはバンド3を使用した場合「閉水域」は 100m×100m 以上のサイズが適しており、「橋梁・河川を含む地域」は 100m×100m のサイズが適している（表 参照）。ただし、閉水域のタイプにおいてマッチングの割合が 2 番目に高いバンド1を使用した場合、両タイプとも 200m×200m のサイズがマッチング 100%となる。

表 4-3 水域を含むタイプにおけるバンド1とバンド3を使用したマッチング状況の比較

地理的タイプ	分類	マッチングの割合[%] (Band1を使用)				マッチングの割合[%] (Band3を使用)			
		25x25	50x50	100x100	200x200	25x25	50x50	100x100	200x200
(3)閉水域	水域	40.00 (0.571)	80.00 (0.665)	80.00 (0.675)	100.00 (0.672)	40.00 (0.707)	60.00 (0.606)	100.00 (0.619)	100.00 (0.684)
(5)橋梁・河川を含む地域	水域	0.00 —	50.00 (0.476)	83.33 (0.555)	100.00 (0.615)	0.00 —	33.33 (0.501)	83.33 (0.454)	66.67 (0.602)

※( )内はマッチング時の相関(絶対値)の平均値

以上のことより、基準画像チップの条件は、表 4-4 のようにまとめられる。

表 4-4 基準画像チップの条件

分類	GCP探索における条件			基準画像チップ作成時の注意
	使用バンド	画像チップサイズ	画像チップの選定	
植生	Band1	100m × 100m	同じ季節の基準画像チップを使用する	なるべく季節変化が大きい植生を含まないようにする
人工構造物	Band1～4のいずれでも可	50m × 50m以上		基準画像チップ内のGCPはなるべく高さを持たない平地を選定する
水域	Band1	200m × 200m	基準画像チップ内に植生を含む場合、同じ季節の基準画像チップを使用する	なるべく季節変化が大きい植生を含まないようにする

このように、改めて基準画像チップの有効性が確認されたとともに、平成 14 年度業務で課題として挙げられた、基準画像チップの適正サイズや、適正なバンドの選択についても、明確にすることができた。

## 5. ヘリコプタより取得した画像の幾何補正手法の検討

前項の成果に基づき、防災ヘリコプタ「みちのく号」によるテスト撮影画像に対する基準画像チップの適用実験を実施した。

ビデオ画像については、画像チップを 62 カ所設定し、それぞれについて動画をキャプチャし作成した静止画を対象とした。スチールカメラについては 15 カ所を対象とした。



地区① 宮城野区

地区② 築館町

地区③ 亶理町

図 5-1 ビデオ画像の画像チップサンプル (黄色および緑色のマーク箇所)

GCP 抽出フローは図1に示したとおり基本的には衛星画像と同様であるが、ヘリコプタによるテスト画像は概略の位置情報を持たないため、マッチングによる GCP 探索を行う前に、これらの画像に対し、幾何補正済みの衛星画像を使用して概略の位置情報を与えるとともに画像を回転させ方位を合わせた。

検討内容を表5-1に示す。

表5-1 検討内容

	検討内容	
	ビデオ画像	スチールカメラ画像
基準画像チップの地理的タイプ	(1)街区[13] (2)道路・道路を含む耕作地[20] (3)閉水域[4] (4)大型建造物を含む地区[10] (5)橋梁・河川を含む地域[9] (6)公園・緑地(耕作地)[5]  ※[ ]内はサンプル数	(1)街区[13] (2)道路・道路を含む耕作地[17] (3)閉水域[4] (4)大型建造物を含む地区[9] (5)橋梁・河川を含む地域[8] (6)公園・緑地(耕作地)[5]  ※[ ]内はサンプル数
使用バンド	青、赤  ※地理的タイプ別の最適なバンドを選定	青
基準画像チップのサイズ	(A) 25m×25m (B) 50m×50m (C) 100m×100m (D) 200m×200m	(A) 25m×25m (B) 50m×50m (C) 100m×100m

※マッチング手法は面積相関法を採用

※探索範囲のサイズは基準画像チップを含む±50m×50mの範囲に設定

※高解像度衛星の同様に、各地理的タイプを(a)植生を多く含むタイプ、(b)人工構造物を多く含むタイプ、(c)水域を含むタイプに分類

※地理的タイプ別の最適なサイズを(A)~(D)(スチールカメラ画像は(A)~(C))の中から選定

結果を表5-2に示す。ビデオ画像、スチールカメラ画像とも、高解像度衛星の場合と比較してマッチングする割合は全体的にかなり低下した。これは、ヘリコプタによる画像の中に積雪域が残っている箇所があり、基準画像チップとの被覆の差異が大きかったことが原因として考えられるが、それ以外の要因ついて以下に考察した。

表5-2 基準画像チップの地理的タイプ別のマッチングの割合

地理的タイプ	分類	マッチングのしやすさ	ビデオ画像				マッチングのしやすさ	スチールカメラ画像		
			マッチングの割合[%] (Band1を使用)					マッチングの割合[%] (Band1を使用)		
			25x25	50x50	100x100	200x200		25x25	50x50	100x100
(1)街区	人工構造物	△	15.38 (0.703)	38.46 (0.570)	38.46 (0.397)	23.08 (0.403)	○	46.15 (0.666)	61.54 (0.545)	61.54 (0.422)
(2)道路・道路を含む耕作地	植生	×	0.00 —	10.00 —	10.00 (0.328)	10.00 (0.303)	×	5.88 (0.405)	0.00 (0.210)	5.88 —
(3)閉水域	水域	×	25.00 (0.507)	25.00 (0.349)	0.00 (0.294)	0.00 —	○	25.00 (0.497)	75.00 (0.370)	75.00 (0.460)
(4)大型建造物を含む街区	人工構造物	△	20.00 (0.660)	50.00 (0.612)	40.00 (0.364)	0.00 (0.199)	△	22.22 (0.646)	44.44 (0.632)	33.33 (0.465)
(5)橋梁・河川を含む地域	水域	×	22.22 (0.677)	44.44 (0.426)	44.44 (0.331)	22.22 (0.213)	△	50.00 (0.572)	62.50 (0.506)	50.00 (0.431)
(6)公園・緑地(耕作地)	植生	○	40.00 (0.601)	40.00 (0.477)	60.00 (0.391)	20.00 (0.288)	○	40.00 (0.422)	20.00 (0.328)	60.00 (0.324)

※( )内はマッチング時の相関(絶対値)の平均値

※塗り潰したセルは高解像度衛星を使用した基準画像チップの標準化の検討結果を採用した条件

人工構造物を多く含むタイプには街区（全て地区③のサンプル）と大型建造物（ほぼ地区③のサンプル）が含まれる。これらのタイプは高解像度衛星画像を使用した場合と異なり、マッチングの割合が低い傾向を示した。街区のタイプについてはビデオ画像のバンド1を使用したサイズの検討において最大約38%、スチールカメラ画像を使用した検討において最大約62%であった。また、大型建造物のタイプについてはビデオ画像の場合最大50%、スチールカメラ画像の場合最大約44%であった。これらのタイプのマッチングの割合が低い最大の理由は工事による経年変化と考えられるが、その他にもヘリコプタ画像に含まれる歪みの問題が考えられる。高高度から撮影される高解像度衛星画像よりも歪みが大きいいため、探索対象画像と基準画像チップとの解像度や方向の違いがマッチング処理へ大きく影響すると考えられる。特に建物などの影を多く含むこのタイプでは輝度値の変化が大きいためマッチング処理への影響はさらに大きいと予想され、マッチングの割合が低くなった原因と考えられる。

このタイプのマッチングに使用するバンドは植生のタイプと同様の理由からバンド1（青）が望ましい。画像チップのサイズについては、街区の場合ビデオ画像とスチールカメラ画像の両者とも50m×50m、100m×100mのサイズが適しており、大型建造物の場合50m×50mのサイズが適している。そのため、人工構造物を多く含むタイプは50m×50mのサイズを使用することが望ましいと言える。

植生を多く含むタイプには道路を含む耕作地（ほぼ地区①のサンプル）、公園・緑地（耕作地）（全て地区②のサンプル）などが含まれる。このうち地区①（宮城野区）から取得したサンプルは季節変化だけでなく工事による経年変化も起こっており、マッチングの割合が他のタイプと比較して極めて低い結果であった（ビデオ画像のバンド1を使用したサイズの検討において最大10%、スチールカメラ画像を使用した検討において最大約6%）。これに対して地区②から取得したサンプルは経年変化があまり起こっていない上に、特徴量を増加させると考えられる変化に富んだ地物（樹木、建物）を含んでおり、マッチングの割合が他のタイプと比較して高い結果であった（ビデオ・スチールカメラ両方とも最大60%のマッチング率）。

基準画像チップと探索対象の季節の違いは植生を含むタイプのマッチング処理において不利な条件であるにも関わらず、今回のサンプルに関しては、公園・緑地（耕作地）のタイプについてはマッチングの割合が高くこうした影響は少なかったと言える。このことから、植生を含むタイプの基準画像チップを作成する際は画像チップ内に輝度値の変化をもたらすような特徴的な地物を含むように領域を設定することが望ましいと考えられる。

使用するバンドについては、高解像度衛星画像とビデオ画像を使用したそれぞれの検討結果よりマッチングの割合が高いバンド1（青）が望ましい。また、画像チップのサイズについてはビデオ画像とスチールカメラ画像の両者とも100m×100mのサイズを使用したときにマッチングの割合が最大となるため、植生を多く含むタイプは100m×100mのサイズを使用することが望ましいと言える。

水域を含むタイプには閉水域（全て地区②のサンプル）と橋梁・河川を含む地域（地区②と地区③のサンプル）が含まれる。閉水域のマッチングの割合は、ビデオ画像のバンド1を使用したサイズの検討において最大で25%、スチールカメラ画像を使用した場合で最大75%であった。橋梁・河川を含む地域のマッチングの割合はビデオ画像の場合最大約44%、スチールカメラ画像の場合最大約63%であり、両タイプともスチールカメラ画像を使用した場合の方がマッチングの割合が高いという結果であった。これまでのタイプと同様に基準画像チップ内には探索対象との季節の違いが見られるが、特にスチールカメラ画像において他の地理的タイプよりもマッチングの割合が高い傾向を示した。これは公園・緑地（耕作地）のタイプと同様に画像チップ内に特徴的な地物（河川、橋梁、建物など）を含むためと考えられる。

このタイプのマッチングに使用するバンドはこれまでのタイプと同様、バンド1（青）が



望ましい。画像チップのサイズについてビデオ画像とスチールカメラ画像の両者に適したサイズは、閉水域の場合 50m×50m であり、橋梁・河川を含む地域の場合も同様に 50m×50m である。以上より、水域を含むタイプは 50m×50m のサイズを使用することが望ましいと言える。

以上のことより、ヘリコプタ画像における基準画像チップの条件は、表 5-3 のようにまとめられる。

表 5-3 基準画像チップの条件

分類	GCP探索における条件			基準画像チップ作成時の注意
	使用バンド	画像チップサイズ	画像チップの選定	
植生	Band1	100m×100m	同じ季節の基準画像チップを使用する	<ul style="list-style-type: none"> <li>なるべく季節変化が大きい植生を含まないようにする</li> <li>複数の特徴的な地物を含むようにする</li> </ul>
人工構造物	Band1	50m×50m		基準画像チップ内のGCPはなるべく高さを持たない平地を選定する
水域	Band1	50m×50m	基準画像チップ内に植生を含む場合、同じ季節の基準画像チップを使用する	なるべく季節変化が大きい植生を含まないようにする

4. および 5. の検討結果を受けて、基準画像チップを用いた幾何補正システムの要件定義を行い、システムの基本設計を行った。

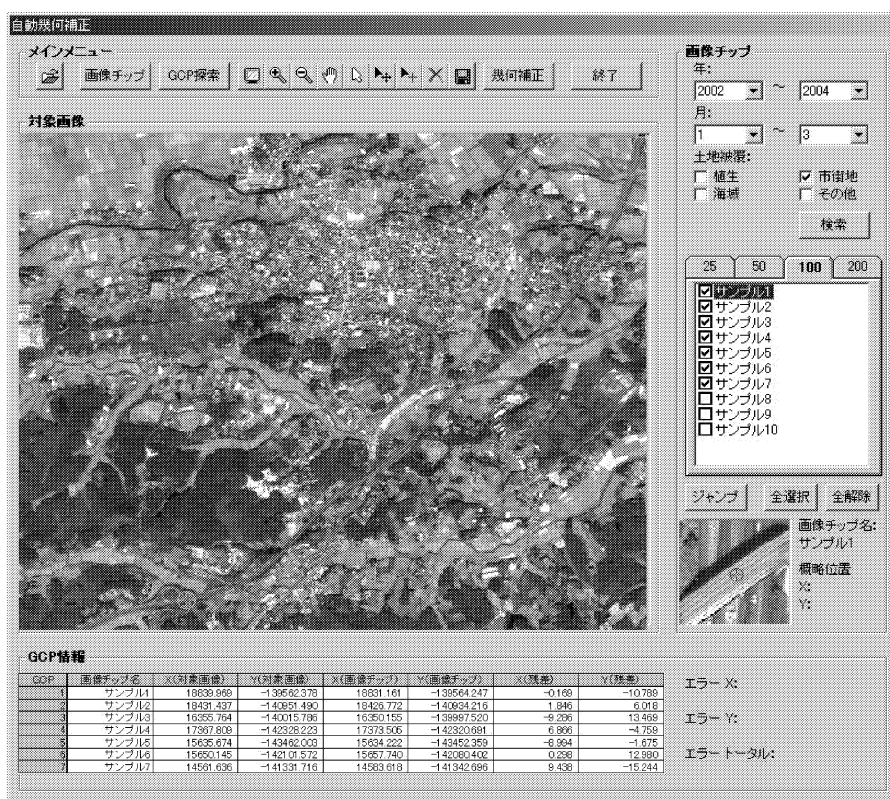


図 5-2 幾何補正システム画面イメージ (案)

## 6. ヘリコプタによる画像取得方法の検討

防災ヘリコプタの画像関連装備をまとめ、同時に画像関連の技術動向調査と標準画像チップに適した画像の取得方法の検討を行った。

ビデオカメラに関しては、編集処理の迅速化につながる HDD 記録装置が期待できる事がわかった。

スチールカメラについては、現在装備のカメラのフィルムマガジンに装着できるデジタルパック装置によるデジタル化が期待できることがわかった。特にスチールカメラはフィルムの現像処理等に通常中 5 日かかる等迅速な処理が難しく、災害時の迅速な対応を想定するとデジタル化が必要だと思われる。

基準画像チップに適した画像の取得方法としては、現在の装備を基本として、修理改造検査等を考慮しつつデジタル化をすすめ、位置情報や高度等の撮影情報を記録する事により、迅速な処理が期待できることがわかった。

図 6-1 に装備のデジタル化と撮影情報の記録のイメージを示す。

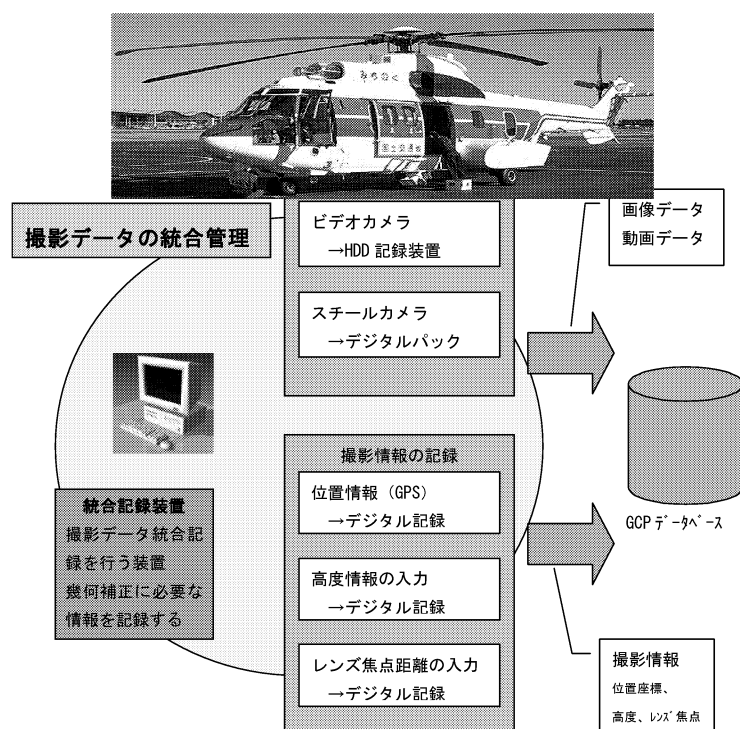


図 6-1 装備のデジタル化と撮影情報の記録のイメージ

現在の装備をデジタル化することで、情報入手から幾何補正に要する平均時間が大幅に短縮できると思われる。表6-1に、現在、および将来（本業務で想定しうる理想的な条件下）における、情報入手から幾何補正までの平均的な所用時間を示した。

表6-1 情報入手から幾何補正に要する平均的時間（各工程の受け渡し部分は除く）

	撮影	→ 場所の特定	→ 現像	→ A/D変換	→ 幾何補正	合計(h)
現在	ビデオカメラ <sup>*1</sup>	1	1 <sup>*2</sup>	1	5.0 <sup>*8</sup>	8.0
	スチルカメラ (アナログ) <sup>*1</sup>	0.5	120 <sup>*3</sup>	2	5.0 <sup>*8</sup>	127.5
将来	ビデオカメラ <sup>*4</sup>	0.5	0.3 <sup>*6</sup>	0	3.0 <sup>*9</sup>	3.8
	スチルカメラ (デジタル) <sup>*5</sup>	0.5	0.5 <sup>*7</sup>	0	3.0 <sup>*9</sup>	4.0

\*1 ビデオの撮影は1時間、カメラは20枚とする（ビデオについては1時間の映像から20枚の画像を抽出し幾何補正）

\*2 作業用テープのダビングを想定

\*3 通常の現像処理とプリント中5日を想定

\*4 HDD記録装置の導入を想定

\*5 デジタルバックシステムの導入を想定

\*6 作業データのコピーを想定

\*7 RAWファイルからの変換と画像調整を想定

\*8 従来手法による幾何補正

\*9 基準画像チップによる幾何補正（CPU:pentium4 2.8GHzの場合。スペックが向上すれば時間も短縮すると思われる。）

## 7. 今後の課題

情報収集の迅速化、効率化を図るためには、まずヘリコプタによる画像収集手法を改良する必要がある。現状の装備を活かし、改善修理改造検査に対応しつつ対応すべき項目は以下のとおりである。

### ○装備のデジタル化

HDD記録装置の導入

スチールカメラのデジタル化

### ○撮影情報の記録

統合記録装置

位置情報の記録

高度情報の入力

レンズ焦点距離の入力

### ○撮影情報の管理

取得した情報の一元管理

また、幾何補正システムについては、基準画像チップを補完するための、GPSや電波高度計といった付加情報の活用やオペレータによるGCP入力支援等、より実運用を想定した柔軟なシステムとして検討、構築されるべきと考える。