

4. 中分解能衛星画像による樹林地変遷の把握精度向上に関する検討

4.1 概要

第2章、3章においては、期初（1990年）、最新（2004年）それぞれの時期の樹林地、草地を精度良く抽出し、抽出結果の差分から樹林地の増減を精度良く求めることを試みた。その結果、期初（1990年）、と最新（2004年）それぞれの時期の樹林地は、概ね良好な精度（95～110%程度）で抽出することができた。また、樹林地の増減についても、ネットでの増減面積は概ね良好な精度（100～120%程度）で把握できた。しかし、増加箇所はTGR-W分解が約6倍、NDVI+最尤法が約4倍の過大抽出、減少箇所はTGR-W分解、NDVI+最尤法とも約1.8倍の過大抽出となった。また、ASTERとLANDSATの間に精度面での大きな違いは認められなかった。

増加、減少それぞれの面積誤差が大きくなった要因としては、①2時期の中分解能衛星画像を重ね合わせるときに発生する位置ずれ、②建物の影の影響、③「誤差の伝播」が考えられる。このうち③の「誤差の伝播」は、2時期の樹林地抽出結果を用いて増減を求める手法の場合、それぞれの時期は概ね良好な精度であっても、衛星画像の取得日時やセンサ特性は時期によって異なるため、同じトレーニングエリアを設けたとしても解析に用いるトレーニングデータやピュアピクセル値が異なり、誤差が生じる。そのため2時期の樹林地をそれぞれ抽出し、その結果に基づいて樹林地の増減を把握する手法では、それぞれの時期の誤差が掛け合わされるため、誤差が増大し精度が低下したものと考えられる。

そこで、これらを改善するために、本章では精密幾何補正の検討、影の除去に関する検討および直接樹林地の増減を把握する新たな手法開発について検討を行った。

中分解能衛星画像による樹林地変遷の把握精度向上に関する検討の流れを図-4.1に示す。

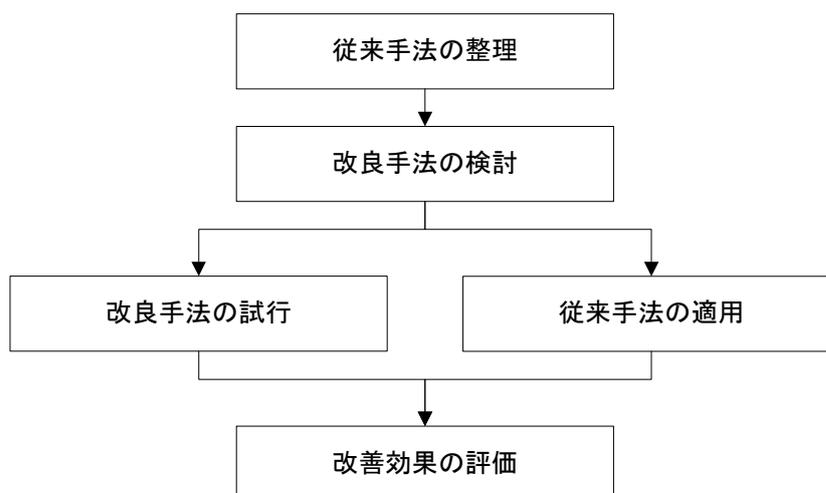


図-4.1 中分解能衛星画像による樹林地変遷の把握精度向上に関する検討の流れ

4.2 空中写真判読による検証用データの作成

ここでは、まず本章と続く第5章の精度確認のベースとなる、空中写真判読による検証用データの作成方法と結果について述べる。

検証用データは、開発地内における樹林地増加部分の把握に重点を置くため、神奈川県内の開発地のエリアから、期初（1990年前後）と最新（2005年前後）の2時期間で樹林地が明らかに増加した箇所、4地点を選定し新たに検証用データを作成した。

空中写真判読は、期初（1990年前後）と最新（2005年前後）それぞれについて実施した。

判読結果は地点毎、年次毎のポリゴンデータとしてまとめ、各ポリゴンの面積を集計することによって検証用の樹林地面積及び樹林地変化面積を整理した。さらに、ASTERの空間分解能に相当する15mメッシュと第5章で検討を行うALOS/AVNIR-2データの地上分解能に相当する10mメッシュを被せてメッシュ内の樹林地面積率、樹林地変化面積率を算出し、詳細な精度確認に資する検証用メッシュデータを作成した。

検証用データ作成の流れは第2章の図-2.2に示した流れにしたがった。

4.2.1 検証エリアの選定

検証エリアは、衛星画像、空中写真、標定図などを確認しながら、期初（1990年前後）と最新（2005年前後）の2時期間で樹林地が明らかに増加した箇所を選定した。選定した検証エリアを表-4.1に示す。

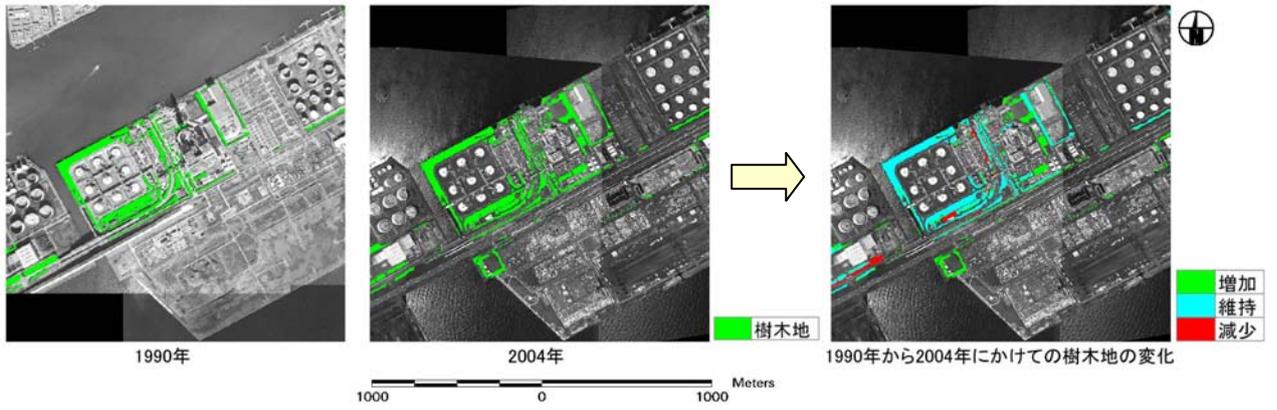
表-4.1 選定された検証エリア

都市	地点No.	場所	土地利用	範囲	考えられる樹林地増加要因
神奈川県	St.1	川崎市川崎区東扇島	工場群 (東京電力東扇島火力発電所など)	2km×2km	工場敷地内の緑化
	St.2	川崎市中原区上丸子	工場 (NEC玉川事業所)	0.5km×0.5km	工場敷地内の緑化
	St.3	横浜市金沢区八景島	公園 (横浜・八景島シーパラダイス)	1.5km×1.5km	公園整備
	St.4	藤沢市遠藤	大学 (慶応大学湘南藤沢キャンパス)	1.5km×1.5km	大学敷地内の緑化
計		4地点		8.75km ²	

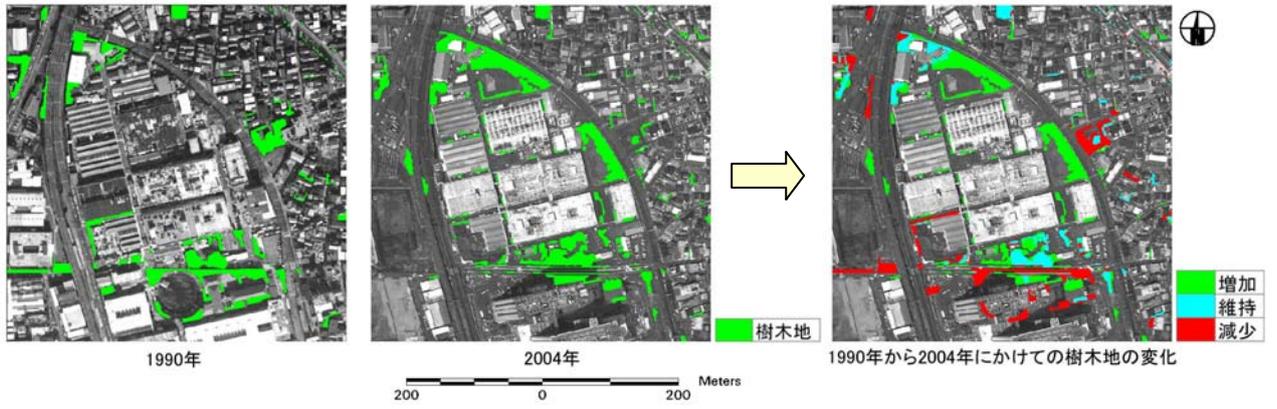
4.2.2 検証用データの作成

本研究では、第2章と同様に自治体等で実施される緑の実態調査でしばしば引用される「東京都緑被率標準調査マニュアル¹⁾」を参考にして判読項目と判読基準を設定した。設定した判読項目は図-2.4、判読基準は表-2.2、図-2.5に示すとおりである。

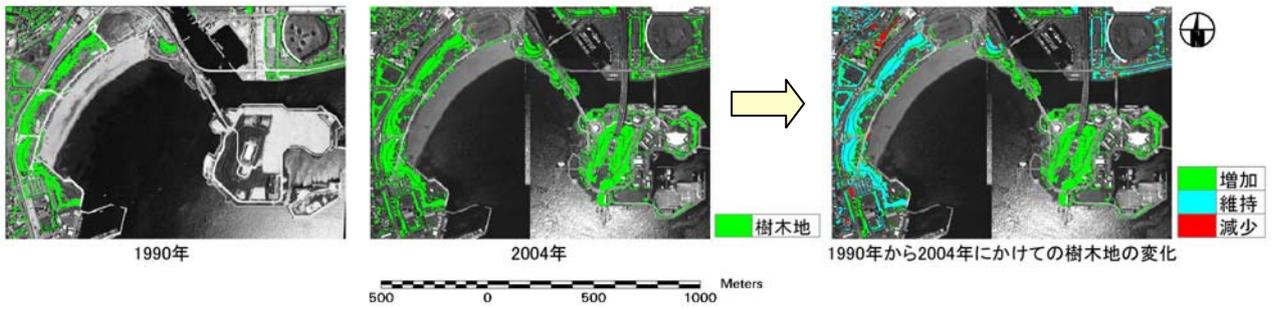
各検証エリアの写真判読結果を図-4.2に示す。



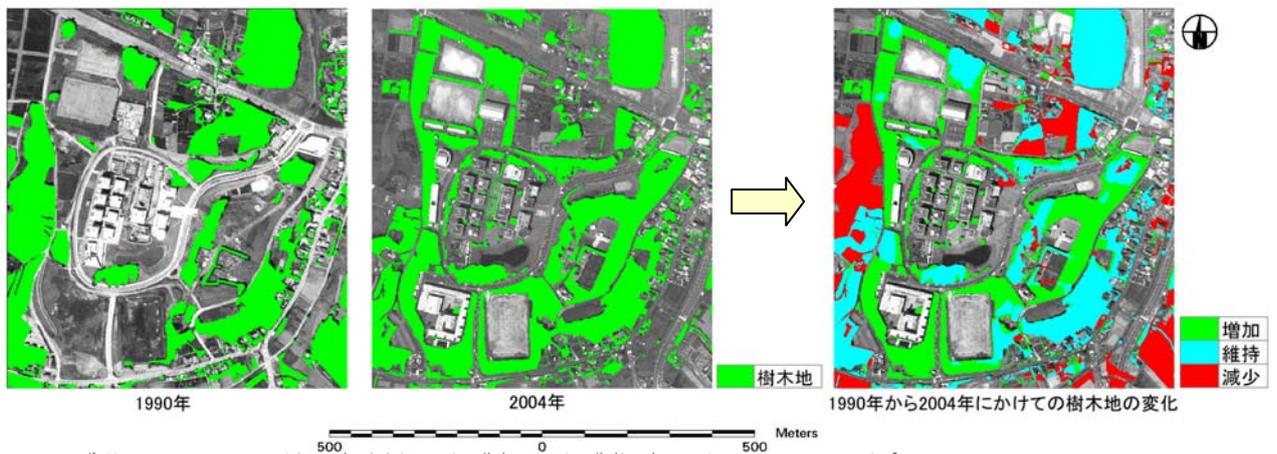
(1) St. 1



(2) St. 2



(3) St. 3



(4) St. 4

図-4.2 空中写真判読結果（神奈川県）

表-4.2 検証エリアの面積集計結果

項目	期初				最新				項目	樹林地の増減			
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.1	St.2	St.3	St.4		St.1	St.2	St.3	St.4
樹木地	12.7	1.3	9.1	18.4	16.3	1.7	19.2	22.9	増加	5.3	1.1	11.1	11.1
	3.2	5.2	5.2	25.6	4.1	6.6	10.9	31.8		1.3	4.4	6.3	15.4
草地	29.1	1.4	28.8	14.8	21.9	1.4	16.9	11.1	維持	11.0	0.5	8.1	11.8
	7.3	5.6	16.3	20.6	5.5	5.8	9.6	15.3		2.7	2.2	4.6	16.3
農地	0.0	0.1	0.0	7.3	0.0	0.0	0.0	6.9	減少	1.7	0.8	1.0	6.7
	0.0	0.6	0.0	10.1	0.0	0.1	0.0	9.6		0.4	3.0	0.6	9.3
裸地	85.0	0.4	19.9	10.2	30.3	2.3	8.5	3.6	ネット	3.6	0.4	10.1	4.5
	21.3	1.7	11.3	14.2	7.6	9.1	4.8	5.0		0.9	1.4	5.8	6.2
水面	137.6	0.0	79.4	0.5	126.5	0.0	77.8	0.4					
	34.4	0.2	45.1	0.7	31.6	0.1	44.2	0.6					
その他	135.6	21.7	38.8	20.8	204.9	19.6	53.6	27.1					
	33.9	86.7	22.1	28.9	51.2	78.3	30.4	37.7					
緑地計 (樹+草)	41.8	2.7	37.9	33.2	38.2	3.1	36.1	33.9					
	10.4	10.8	21.5	46.2	9.6	12.4	20.5	47.1					
緑被計 (樹+草+農)	41.8	2.8	37.9	40.5	38.2	3.1	36.1	40.8					
	10.4	11.4	21.5	56.3	9.6	12.5	20.5	56.7					

上段:面積(ha)
下段:面積率(%)

4.3 精密幾何補正の検討

(1) 従来手法の整理

中分解能衛星画像には、下記の4つの要因によって幾何学的歪みが生じる¹²⁾。

- ① センサの内部歪み：センサの機構に起因する歪み。
- ② センサの外部歪み：画像の投影方式の幾何学に起因する歪み。これは、プラットフォームに起因する歪み、対象物（地球の自転など）に起因する歪みに分けられる。
- ③ 画像投影面の取り方に起因する歪み：画像投影面の取り方（画像座標系の定義の仕方）によって幾何学的な歪みの表現が異なる。
- ④ 地図投影法の幾何学に起因する歪み：利用する地図投影法によって幾何学的歪みの表現が異なる。

幾何補正 (geometric correction) とは、これらの幾何学的歪みを除去することであり、画像上のピクセルの座標 (画像座標) と対象物の地理座標 (地図座標など) との対応関係 (座標変換式) を定量的に明確化することである。

幾何補正は、図-4.3 に示す手順によって行われる。

このうち、補正方法、補正式の決定については、下記の3とおりの方法がある。

- a) 系統的補正：画像の幾何学的歪みを除去するための理論的補正式がわかっている場合に、その式に含まれるキャリブレーションデータ (焦点距離など) やセンサの位置や姿勢などの計測値を理論的な補正式に与え、幾何補正を行うもの。センサの内部歪みの多くはこの方法が有効であるが、センサ位置や姿勢の計測精度は十分でないことが多く、外部歪みの補正精度は高くない。
- b) 非系統的補正：与えられた画像座標系と出力すべき地図座標系との座標変換式を、基準点における画像座標と地図座標の対応関係を用いて近似的に決定する方法。座標変換式は高次多項式がよく用いられる。座標変換式の係数は、基準点の画像座標値と地図座標値から最小二乗法によって求められる。
- c) 併用補正：理論的補正式と基準点を用いて決定する補正式とを組み合わせる幾何補正。

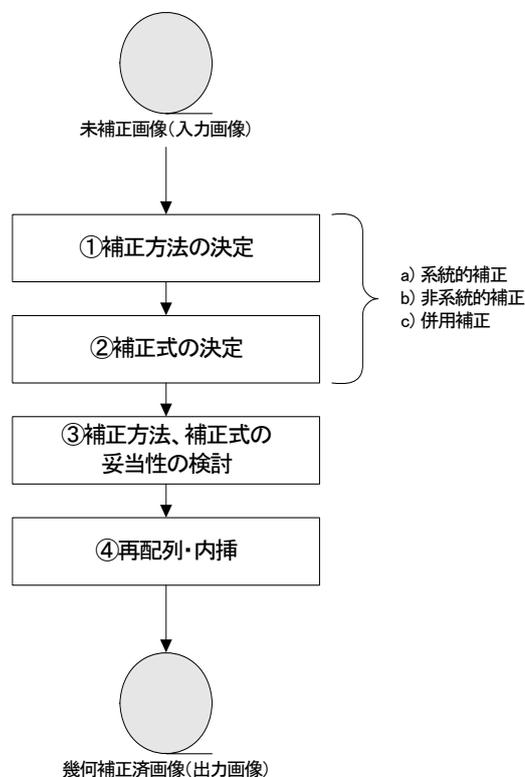


図-4.3 幾何補正の手順¹²⁾

航空機搭載センサや高分解能衛星画像の場合、系統的補正のみで十分な幾何補正精度が得られることもあるが、中分解能衛星画像の場合、センサ位置や姿勢の計測精度が十分高くないため、通常は基準点（GCP：Ground Control Point）を取得して座標変換式を求める非系統的補正を行う。

GCP を用いる従来の幾何補正手順を図-4.4 に示す。

画像座標から地図座標への変換式を構築するための参照画像（幾何補正済み画像）は、地図画像を用いることが多い。GCP は、画像全体から均質に 20 点以上取得することが一つの目安とされ、季節変化や経年変化が無視でき、衛星画像と地図画像で特定可能な点（橋梁、埠頭、交差点など）を取得する。幾何補正精度は GCP の RMSE*1.0 画素未満が一つの目安となる²³⁾。この精度は、複数の画像を重ね合わせたり他の地図データを重ね合わせたりする際に、特徴画素が二重に表れることがないことを意味している。

第 3 章では、これらの従来手法の原則に則り、LANDSAT および ASTER の RMSE が 1.0 画素未満になるように実施した。この誤差は、通常の中分解能衛星データ処理においては許容される誤差であるが、都市の樹林地の増減を考えた場合、1 画素のずれは LANDSAT で 30m、ASTER で 15m となり、増加、減少それぞれの面積誤差に大きく影響しているものと考えられた。

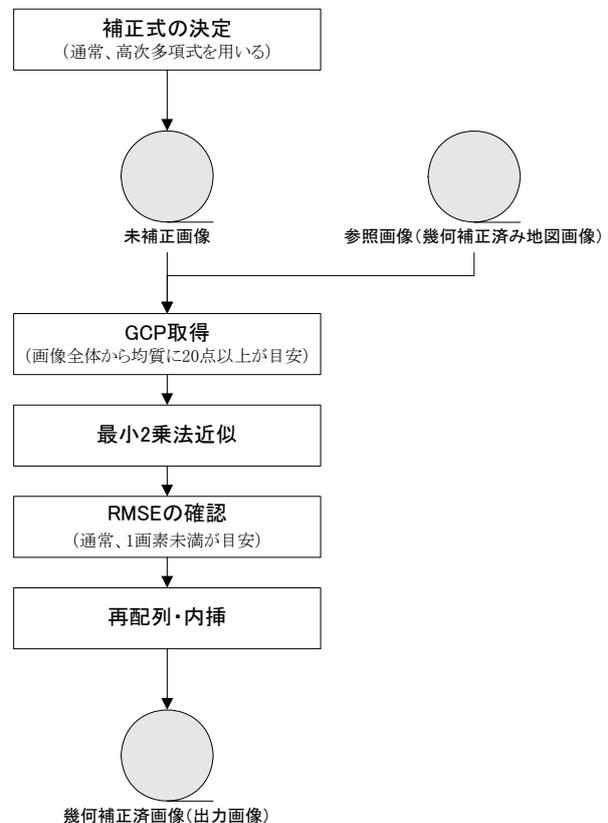


図-4.4 従来の幾何補正の手順

*RMSE (Root Mean Square Error : RMS 誤差)

真値を x_0 、 n 回の観測値を x_i ($i=1\sim n$) とするとき、RMSE は次式で与えられる。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_0)^2}$$

すなわち、RMSE は平均 2 乗誤差の正の平方根に等しい。単に RMS といえば、これは上の定義式中の真値 x_0 の代わりにある基準となる値 a を考えたものである。この基準値 a として N 回の観測値の平均値を考えると、このときの RMS は標準偏差に一致する。

(2) 改良手法の検討

従来の幾何補正精度を超えるためには、対象地物の画素内の位置まで踏み込んだサブピクセルレベルの幾何補正が必要となる。そこで本研究では、以下の2点に着目し、図-4.5に示す精密幾何補正手法を考案した。

- ① 参照画像に空間分解能の高い衛星画像（ASTERもしくはALOS）を用い、衛星画像を個々に地図画像に合わせることで発生する誤差の伝播を軽減する。
- ② コントラストの明瞭な地物をGCPとして、近傍画素との色調差から地物の位置をサブピクセルレベルで推定し、誤差を最小限に抑える。

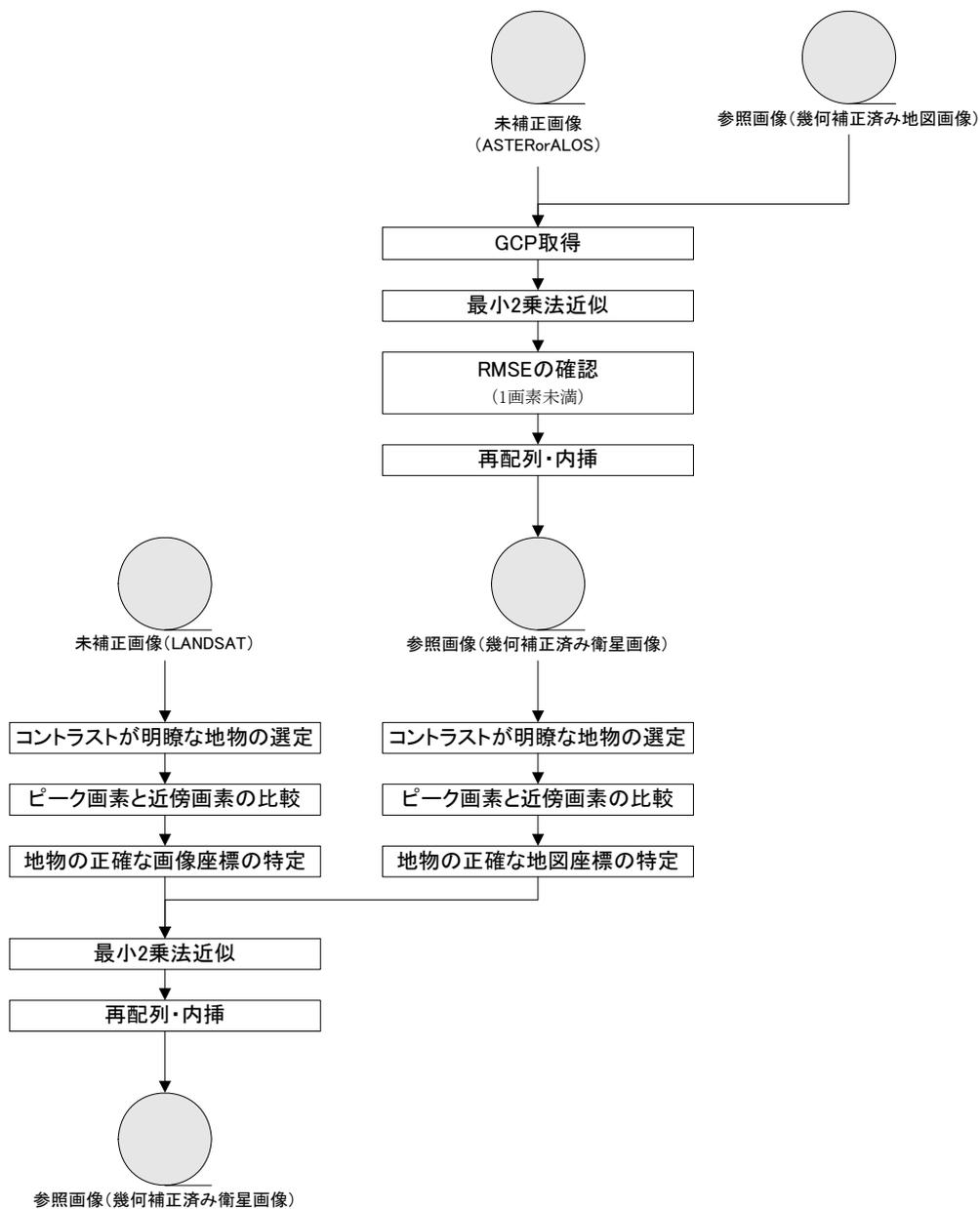
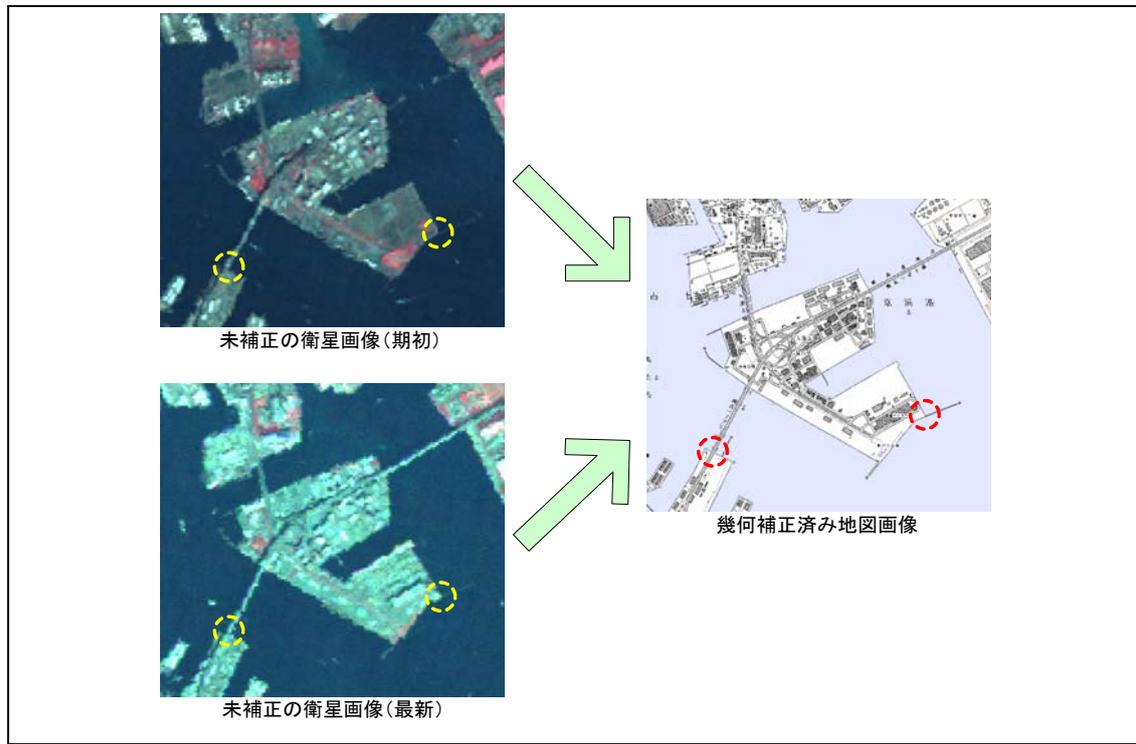


図-4.5 本研究で考案した精密幾何補正の手順

従来の幾何補正手法と精密幾何補正手法の比較を図-4.6 に示す。

【従来の幾何補正手法】



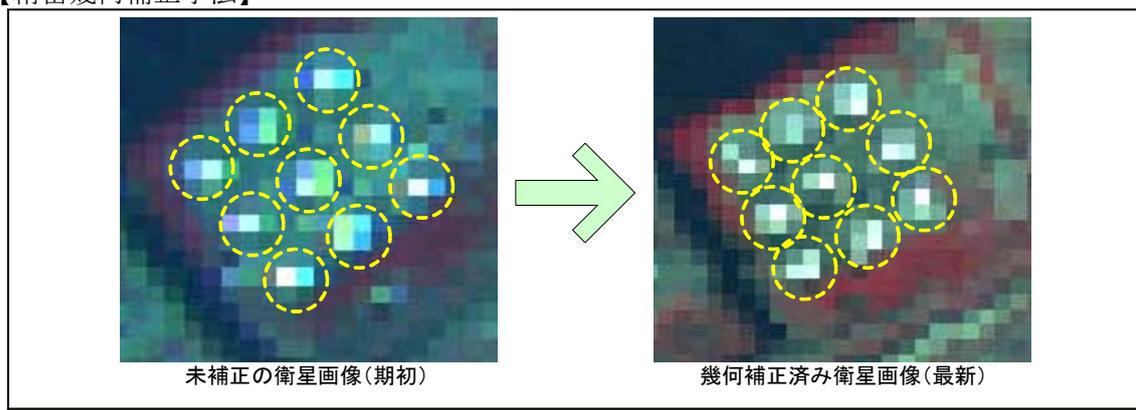
未補正の衛星画像(期初)

未補正の衛星画像(最新)

幾何補正済み地図画像

堤防や橋梁などの端点（丸印）を GCP（Ground Control Point）として、各時期の未補正衛星画像を補正済みの地図画像に対して合わせていく。1 画素未満の RMSE（LANDSAT の場合 30m 未満）が適切な幾何補正の目安とされるが、それぞれの時期の衛星画像が 1 画素未満の誤差を含有する。

【精密幾何補正手法】



未補正の衛星画像(期初)

幾何補正済み衛星画像(最新)

石油タンクのような小さくて周辺とのコントラストが明瞭な地物（丸印）を GCP として、未補正の衛星画像を補正済みの衛星画像に対して合わせていく。その際、近傍画素との色調差から地物の位置をサブピクセルレベルで推定し、誤差を最小限に抑える。

図-4.6 従来の幾何補正手法と精密幾何補正手法の比較

(3) 処理結果と改善効果

検証エリア St.1～St.4 における精密幾何補正処理結果と従来の幾何補正処理結果の比較を図-4.8 に示す。

図-4.8 の St.1 では、従来の幾何補正では石油タンクの最も画素値の高いポイントが LANDSAT と ASTER で 1 画素程度ずれているのに対し、精密幾何補正では両者が連続的につながっていることがわかる。St.3 においても、従来の幾何補正では汀線が LANDSAT と ASTER で 1 画素程度ずれているのに対し、精密幾何補正では両者が連続的につながっていることがわかる。

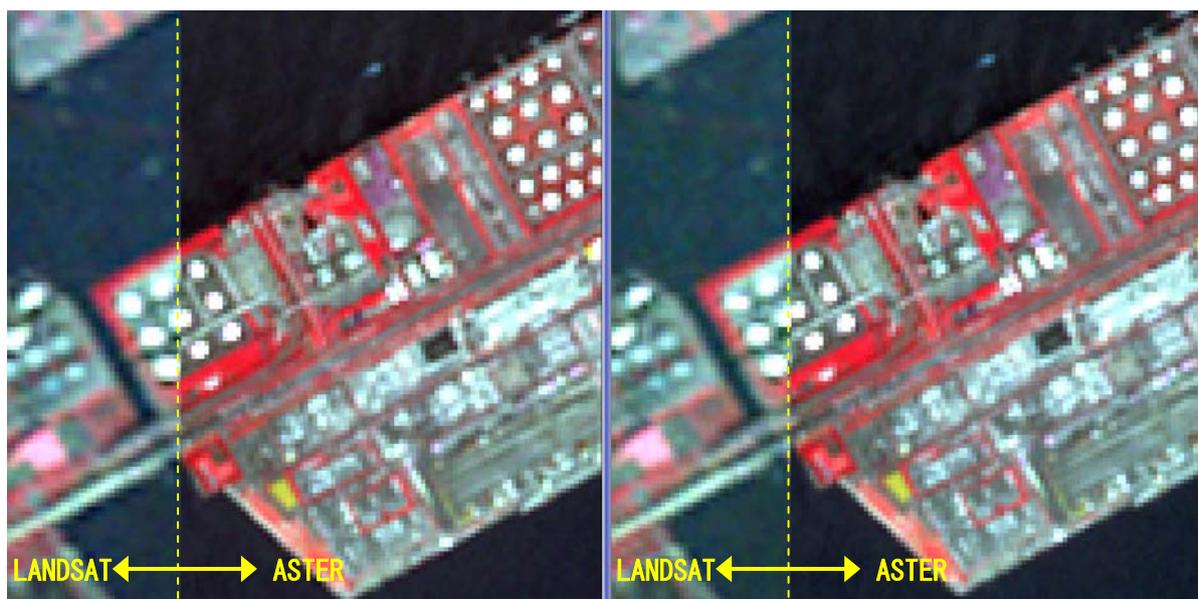
以上より、精密幾何補正によって LANDSAT と ASTER の位置が良く対応していることが確認された。

精密幾何補正による理論上の誤差と実際の誤差の比較を図-4.9 に示す。

ある地物を含む LANDSAT と ASTER の画素において真位置が画素の対局の位置関係にある場合、LANDSAT と ASTER の相対的なズレは最大 31.8m となる（理論上の誤差）。これに対し、従来の幾何補正では参照画像（幾何補正済み地図画像）に対する RMSE が LANDSAT で 0.8385 画素、ASTER で 0.7023 画素であった。LANDSAT と ASTER を重ね合わせる際に、これらの理論上の誤差が逆方向に働いた場合、想定される最大誤差は 17.85m となり ASTER の 1 画素を超えてしまう。

一方、精密幾何補正では、幾何補正済みの ASTER に対する LANDSAT の RMSE は 0.402 画素である。精密幾何補正では、幾何補正済みの ASTER 画像を参照画像とするため、LANDSAT と ASTER を重ね合わせる際に想定される最大誤差は LANDSAT の RMSE のみである。したがって、想定される最大誤差は 6.03m となり 従来の幾何補正の約 1/3 に抑えることができる。

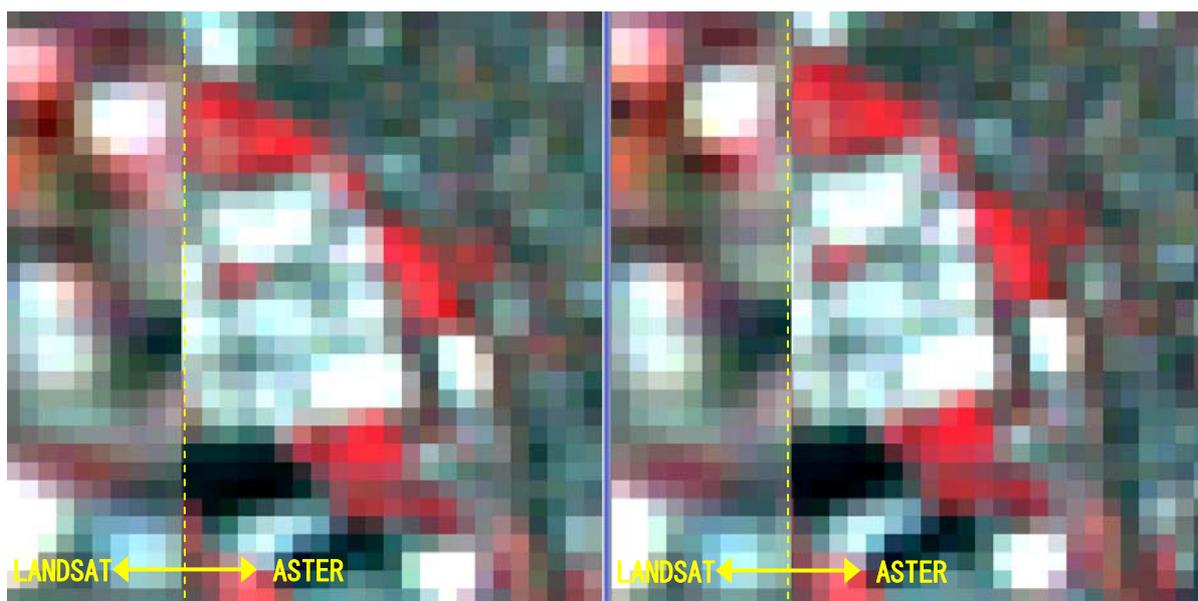
以上より、本研究で考案した精密幾何補正手法により、2 時期の中分解能衛星画像を重ね合わせるときに発生する位置ずれを軽減させることが可能となった。



(精密幾何補正)

(従来の幾何補正)

(1) St.1

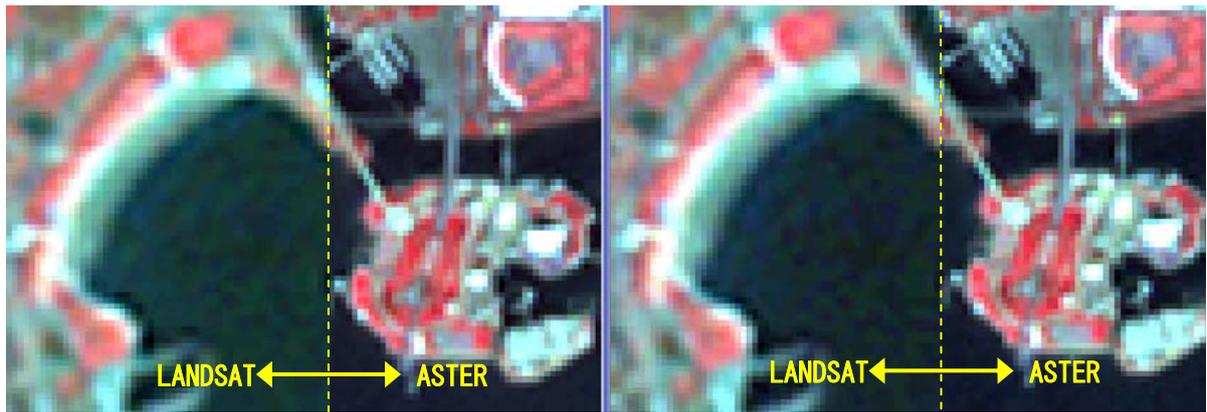


(精密幾何補正)

(従来の幾何補正)

(2) St.2

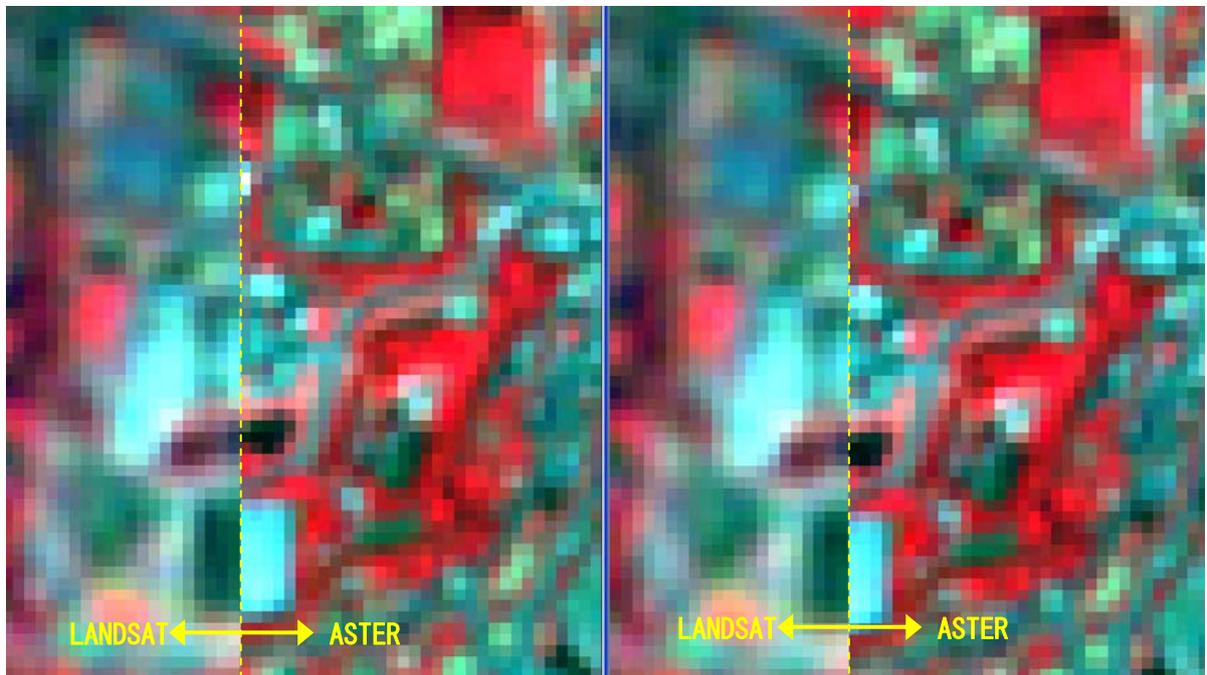
図-4.8(1) 精密幾何補正処理結果と従来の幾何補正処理結果の比較



(精密幾何補正)

(従来の幾何補正)

(3) St.3



(精密幾何補正)

(従来の幾何補正)

(4) St.4

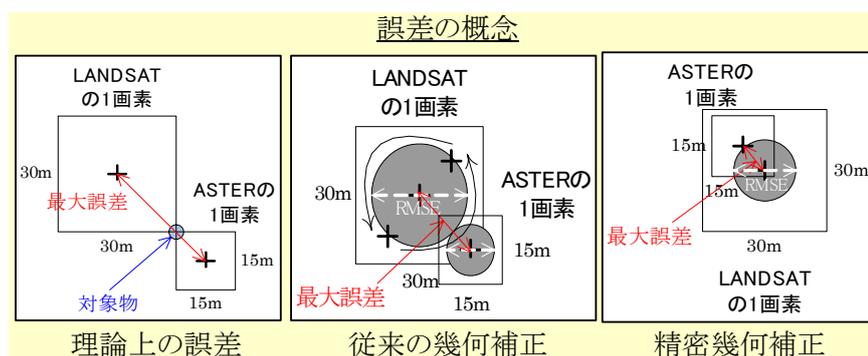
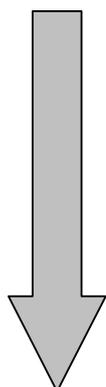
図-4.8(2) 精密幾何補正処理結果と従来の幾何補正処理結果の比較

従来の幾何補正

対象画像	点数	RMSE (単位:画素)
ASTER(20050428)	22	0.7023
LANDSAT/TM(19901105)	34	0.8385

精密幾何補正

対象画像	点数	RMSE (単位:画素)
ASTER(20050428)	基準画像	
LANDSAT/TM(19901105)	25	0.402



理論上の最大誤差と実際の誤差

期初-最新の組合せ	理論上の誤差 (単位:m)		従来の幾何補正 (単位:m)		精密幾何補正 (単位:m)	
	値	計算式	値	計算式	値	計算式
LANDSAT-ASTER	31.820	$(30 \div 2 \times \sqrt{2}) + (15 \div 2 \times \sqrt{2})$	17.845	$(30 \div 2 \times 0.8385) + (15 \div 2 \times 0.7023)$	6.030	$30 \div 2 \times 0.402$

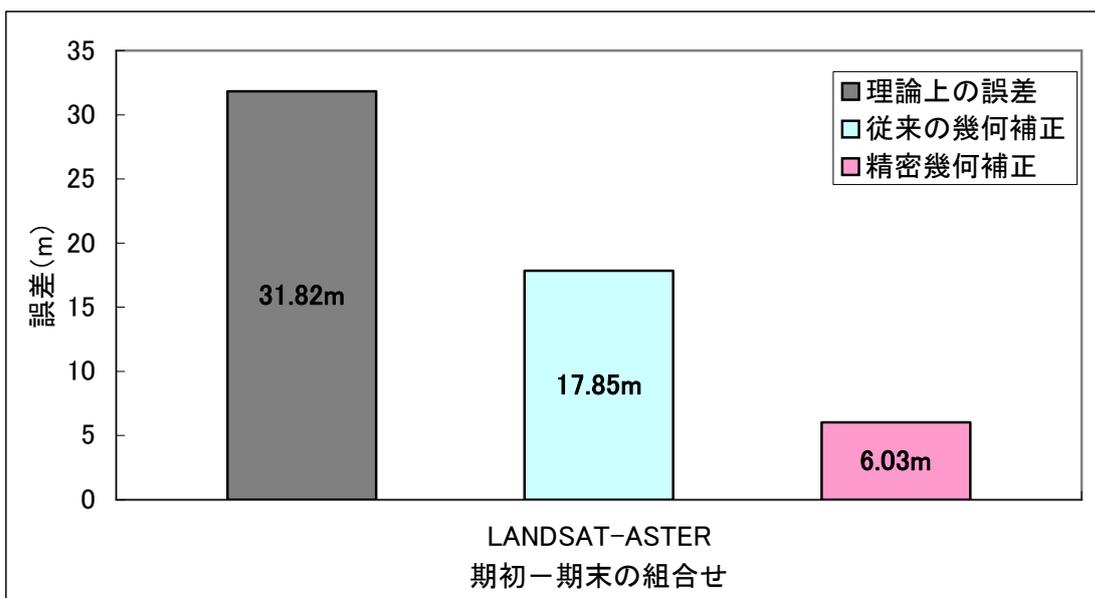


図-4.9 精密幾何補正による理論上の誤差の改善効果

4.4 影の影響の除去に関する検討

(1) 従来手法の整理

中分解能衛星画像に生じる影の影響のうち、地形的な影の補正についてはさまざまな手法が提唱されている。

地形的な影は、対象物の斜面（傾斜角、斜面方位）と太陽（太陽高度、太陽方位）との相対的な位置関係に応じて変動するものであり、LANDSAT 等の受動型光学センサで観測されたデータに必ず生じる問題である。このような斜面と太陽の位置関係に由来する観測値のばらつきは「地形効果」と言われ、多時期の衛星データを用いた解析を行う場合には地形効果を補正することが望ましいとされている。

地形効果の補正は、バンド間演算による非幾何学的手法と太陽－地表面－センサの位置関係を考慮した幾何学的手法に大別される。

- a) **非幾何学的手法**：隣接する波長帯の比をとることで観測値に与えられた地形効果を相対化して除去しようとするもので、代表的なものとして正規化植生指数（NDVI：Normalized Defferencial Vegetation Index）があげられる³⁾⁴⁾。この手法は DEM（Digital Elevation Model）などの追加データを必要としないことや処理が簡便であることが長所であるが、幾何学的な手法と比較して補正効果が低いとされている⁵⁾。
- b) **幾何学的手法**：ランベルトモデルと非ランベルトモデルの補正法に分けられる¹⁰⁾。ランベルトモデルは地表面を完全拡散反射面と仮定し、地形の傾斜角、方位角、太陽天頂角、太陽方位角の4因子で規定するものであるが、実際の地表面が完全拡散反射面を示すことは稀で、その限界が指摘されている⁷⁾。一方、非ランベルトモデルの補正法として **Minnaert 定数**を用いたものがあげられ、多数の研究事例がある⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。Minnaert 定数は、鏡面反射と拡散反射の中間の性質を示すパラメータとされており、モデル式が比較的簡便であること、ランベルトモデルと連続していることなどから実用的な地形効果補正モデルとして評価されている¹¹⁾。

そこで、第2章、3章では、Minnaert 法を適用して地形補正を行い地形補正の結果、山岳部などの地形の急峻な場所では地形的な影の除去に一定の効果があることが認められ(図-2.21、図-2.22 参照)。しかしながら、Minnaert 法による地形補正は DEM を用いた補正であるため、建物に伴う影の影響は補正できなかった。通常の中分解能衛星データの処理では、建物の影響は無視することができるが、高層建物が多く存在する場合、建物の影は画素値に影響を及ぼしており、都市の樹林地の増加、減少それぞれの面積誤差に大きく影響しているものと考えられた。

(2) 改良手法の検討

先述した地形効果補正手法のうち、非幾何学的手法は幾何学的な手法と比較して補正効果が低いとされているが、観測値を相対化するため理論上地形的な影と建物による影を同時に

補正することができると考えられる。

非幾何学的手法の中では、正規化法による影の除去に関して多くの報告例がある(24)25)26)27)28)。正規化法は、反射率または画素値を全バンドの相加平均で正規化することで、反射スペクトルの形状は地形や建物の影によって変化せず、ほぼ相似形と見なすことができる特性を利用しており、地形効果、大気効果、影の影響を除去することができるかとされている。

そこで本研究では、正規化法を適用して建物の影の除去を試みた。

※ 正規化法

… 反射率または画素値を全バンドの相加平均で正規化すること。地形効果の補正、影の抑制に効果があると報告されている。

$$R0 = \frac{n \times R}{\sum_{i=1}^n (R1 + R2 + \dots + Rn)}$$

R0 : 正規化後の反射率

R : 補正対象バンドの正規化前反射率

R1 : band1 の正規化前反射率

R2 : band2 の正規化前反射率

Rn : bandn の正規化前反射率

(3) 処理結果と改善効果

神奈川県検証エリア St.1~St.4 における正規化法適用画像と未補正画像の比較を図-4.10 に示す。

未補正の LANDSAT 画像には高層建物の影が確認できる(黄枠)。未補正の状態では全てのバンドにおいて低い画素値を示す凹みが存在しており、影の影響を受けていると考えられる。一方、正規化法適用画像では、band2~band7 で高層建物の影周辺の画素値が平滑化され凹みが解消されており、影の影響が軽減されていると考察される。ただし、band1 については、影の中が高い画素値を示しており、過剰に補正されていると解釈される。これは、影の中では band2~band7 まで一様に低い画素値を示すのに対して band1 が相対的に高い画素値を示すために、正規化によってその特徴が際だったことによると考えられる。また、ASTER 画像では全バンドで高層建物の影が正規化によって軽減されていることがわかる。

以上より、正規化法の適用によって LANDSAT の band1 は海面および影領域で過剰補正される傾向があるものの、それ以外は建物等の影の影響が軽減されることが確認され、本手法が有効であることがわかった。

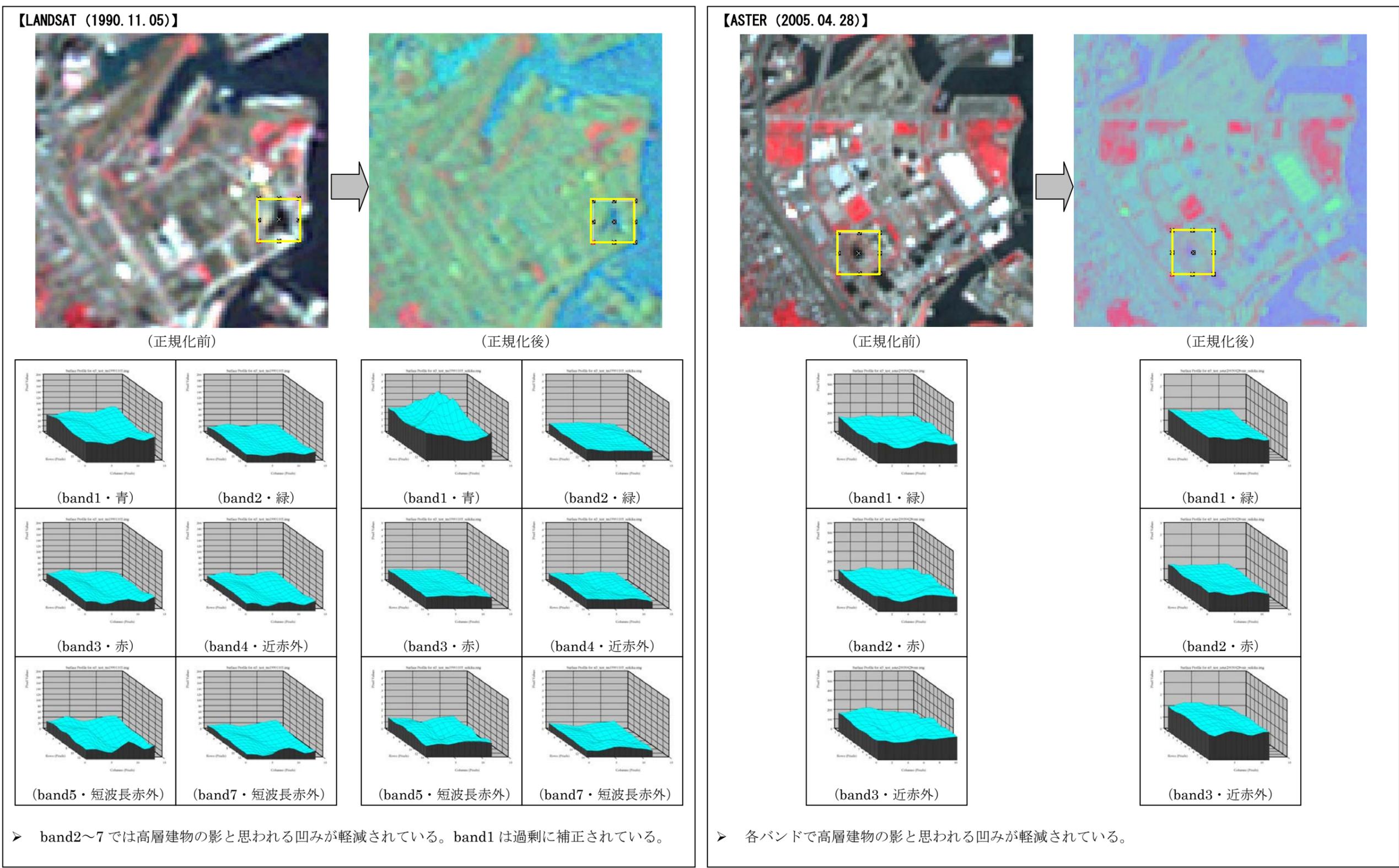


図-4.10 正規化法適用画像と未補正画像の比較

4.5 樹林地の増加面積把握手法の開発

(1) 従来手法の整理

第2章、3章では、図-4.11に示す流れに沿って樹林地の増減把握を試みた。

まず、最新のLANDSATデータを用いて、最新時期の樹林地、草地を精度良く抽出する手法を検討した。この検討に先立ち、文献、書籍等を参考に代表的な画像分類手法を精査し、樹林地、草地の抽出可能性の高い手法を選定した(図-2.23)。

次に、選定された8手法を実画像に適用し、緑地、樹林地の抽出を行った。抽出結果は12箇所の検証エリアにおける最新の空中写真判読結果と比較・照合し、精度評価を行った。

精度評価の結果、効果的な手法として、ミクセルベースの

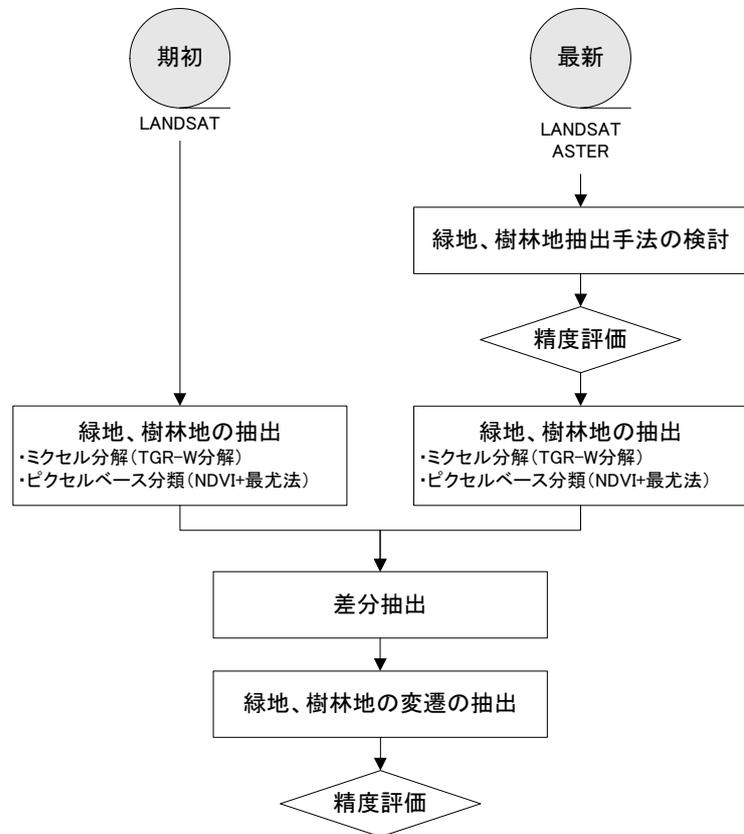


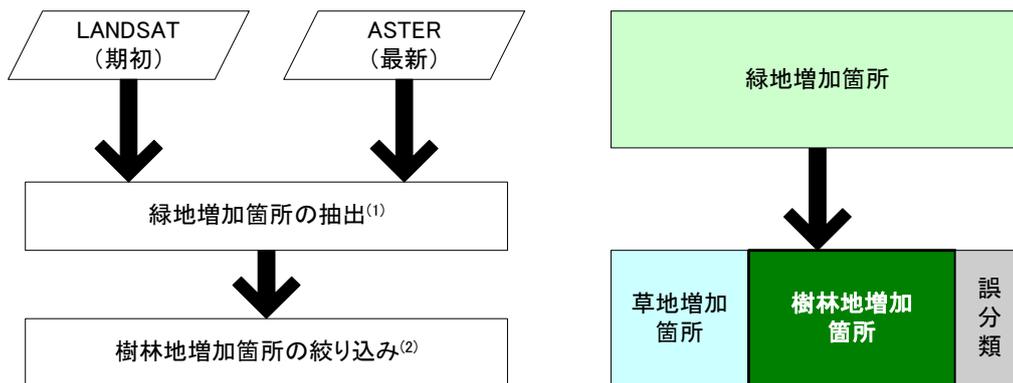
図-4.11 第2章、3章における樹林地増減把握の流れ
TGR-W分解、ピクセルベースの**NDVI+最尤法**が採用された(表-2.14)。

次に、採用された2手法を期初のLANDSATデータに適用して期初の樹林地、草地を抽出した。その後、第3章において、期初、最新それぞれの時期の樹林地抽出結果の差分処理によって、樹林地の増減把握を試みた。ASTERデータについても同様に、期初、最新それぞれの時期の樹林地抽出結果の差分処理によって、樹林地の増減把握を試みた。

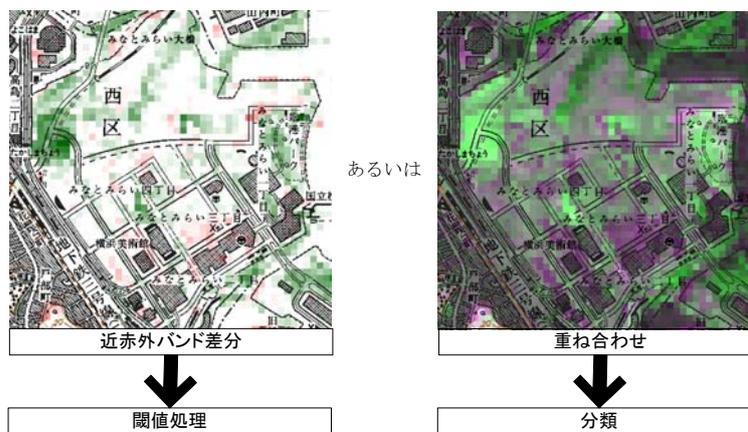
(2) 改良手法の検討

本章では、「誤差の伝播」を抑えることにより樹林地の増減の把握精度を高めることができるよう、以下の2点に着目して、図-4.12に示す樹林地増加面積の把握手法を考案した。

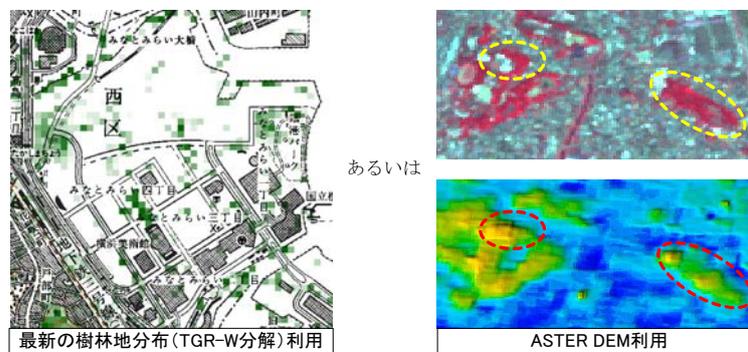
- ①2 時期の衛星画像から直接、緑地増加箇所を求め、その中から樹林地増加箇所を絞り込むアプローチで誤差の伝播を軽減する。
- ②樹林地増加箇所を絞り込む際に、高さ情報の利用可能性を検討する。



全体の流れ



(1) 緑地増加箇所の抽出方法



(2) 樹林地増加箇所の絞り込み方法

図-4.12 本研究で考案した樹林地増加面積把握手法の流れ

図-4.12 の樹林地増加面積把握手法の技術的背景を以下に記す。

(1) 緑地増加箇所の抽出方法

① 近赤外バンド差分

LANDSAT、ASTER などの光学系の中分解能衛星は、太陽から放射される電磁波の反射スペクトルを観測する。観測される反射スペクトルは、地表対象物の反射率に大き

く依存しており、これを分光反射特性と称する（図4.13）。

代表的な土地被覆である植物、土、水の分光反射特性を比較すると、植物は近赤外領域で反射が強い、土は可視域と短波長赤外域で反射が強い、水は赤外域でほとんど反射しないといった特性がある。したがって、2 時期の中分解能衛星画像の中で、植物特有の分光反射特性を有する近赤外域のデータを比較すると、植物の増減（すなわち緑地の増減）に関する情報が得られる。

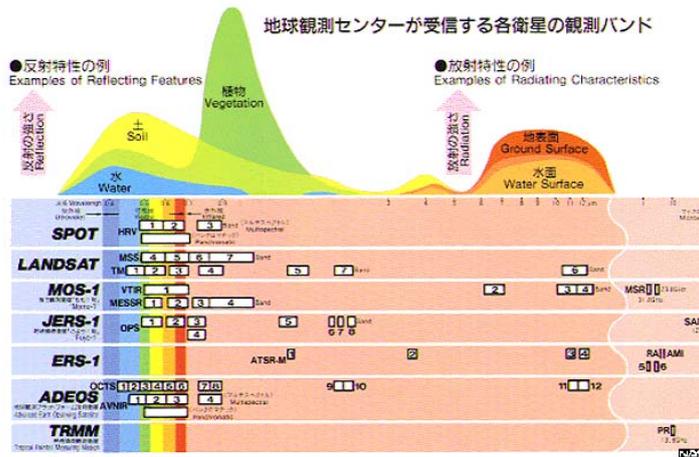


図4.13 物体の分光反射特性

出典：(独) 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) ホームページ：
http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/observation/image/remote_g.jpg

本研究で試行する「近赤外バンド差分」は、LANDSAT（期初）と ASTER（最新）から近赤外バンド（LANDSAT は band4、ASTER は band3）を抽出し、両者の差をとることによって、緑地の増減に関する情報を得ようとするものである。

② 重ね合わせ

理論的な背景は「近赤外バンド差分」と同様に、2 時期の近赤外域データの比較から植物の増減（緑地の増減）に関する情報を得ようとするものである。

ただし、「近赤外バンド差分」が近赤外域データのみを利用する 1 次元の処理手法であるのに対し、「重ね合わせ」は他の観測波長帯のデータも併用し、多次元の画像情報から緑地の増減に関する情報を得ようとするものである。その際には、分類手法が必要になるが、本研究では教師なし分類の一つである「クラスタリング（図4.14）」を用いることとした。

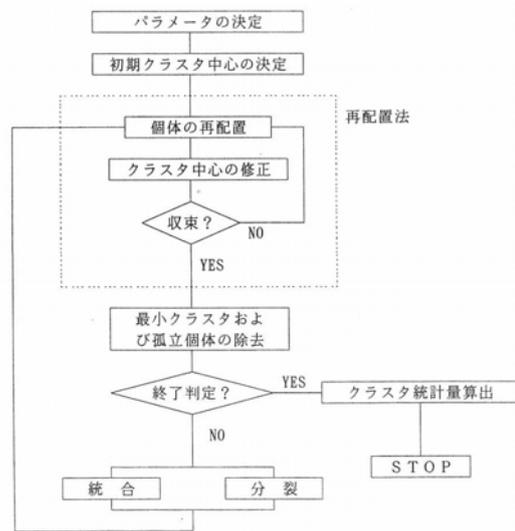


図4.14 クラスタリングの概念¹²⁾

(2) 樹林地増加箇所の絞り込み方法

① 最新の樹林地分布

(1)で抽出された緑地増加箇所は、樹林地が増えた箇所と草地が増えた箇所が混在して

おり、本研究の目的である樹林地増加面積の把握を行うためには、樹林地と草地を分離する必要がある。

本研究で試行する「最新の樹林地分布」は、樹林地と草地を分離する際に、ASTER（最新）に基づく最新の樹林地分布データを利用する手法であり、緑地が増加していて、かつ最新時期に樹林地だった場合は樹林地増加と見なすことができる。最新の樹林地分布を把握する方法は、第 2 章の検討で最も良い結果が得られたミクセル分解の一種の「**TGR-W 分解**」とした。

② ASTER DEM 利用

ASTER は、近赤外バンドにおいて、衛星直下を観測するバンド（直下視バンド：band3N）と斜め後方を観測するバンド（後方視バンド：band3B）を有しており、同一軌道からステレオ画像を得ることができる。

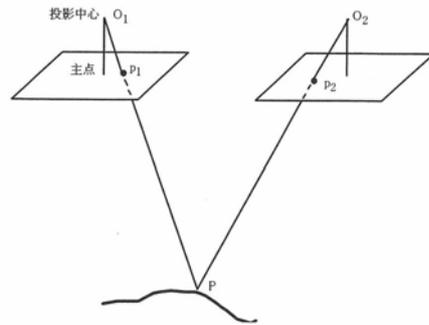


図-4.15 ステレオ画像による三次元計測原理²⁹⁾

ステレオ画像からは、図-4.15 に示

す原理により三次元計測を行うことができる。ASTER の場合、データ配布機関の（財）資源・環境観測解析センターから、直下視バンドと後方視バンドから作成された数値標高モデル（ASTER DEM）が ASTER 準標準プロダクト（3A01 および 4A01）として提供されている³⁰⁾。

ASTER DEM は、直下視バンドと後方視バンドのステレオマッチング処理により作成されるため原則的には地形形状を表すが、樹林や高層建物のような地物がある場合その影響を受けることが指摘されている³¹⁾。また、地物の影響を除去するためには、ミニマムフィルタやメディアンフィルタのような空間フィルタリングによって、ある程度の補正が可能であることも指摘されている³¹⁾。これを応用し、フィルタリング前の ASTER DEM を数値表層モデル（DSM）、フィルタリング後の ASTER DEM を数値標高モデル（DEM）と見なし両者の差をとることによって、樹林や建物などの地物領域の抽出とその高さの推定が可能と考えられる（図-4.16）。

本研究で試行する「**ASTER DEM 利用**」は、樹林は高さを持つため上記の処理で抽出されるが、草地は高さを持たないため抽出されないという原理に基づいており、緑地が増加していて、かつ ASTER DEM で地物領域として抽出された場合は樹林地増加と見なすことができる。

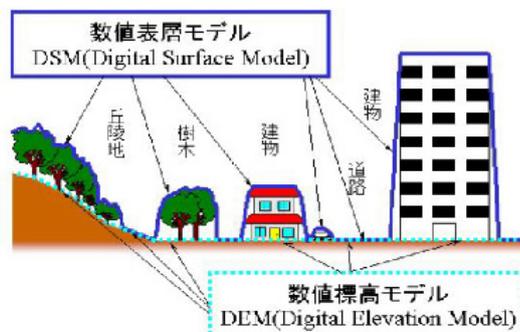


図-4.16 DSM と DEM による地物抽出イメージ

4.6 検証エリアにおける試行

(1) 検討に供する手法の設定

本研究で実施する樹林地増加面積の把握精度を高めるための手法改良は、

- ・ サブピクセルレベルの精密幾何補正 (4.3)
- ・ 正規化法による影の除去 (4.4)
- ・ 増加した樹林地の抽出に特化した手法の適用 (4.5)

の3段階の改良でどの程度誤差を軽減することができるか、総合的に評価する必要がある。

そこで、各種改良手法の効果を整理して最適な手法を選定するために、図-4.17 に示す“総当たり法”によって、手法検討を実施した。

検討に供した具体的な手法群は、図-4.18 に示す 18 手法である。

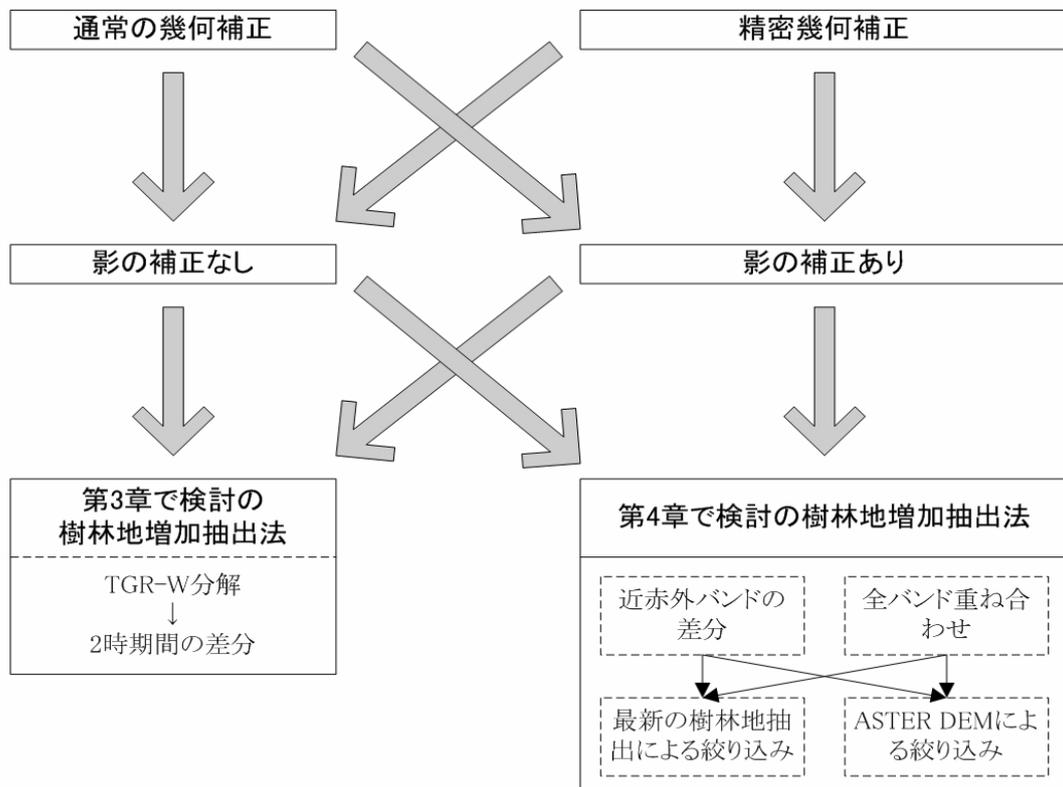


図-4.17 手法検討の考え方

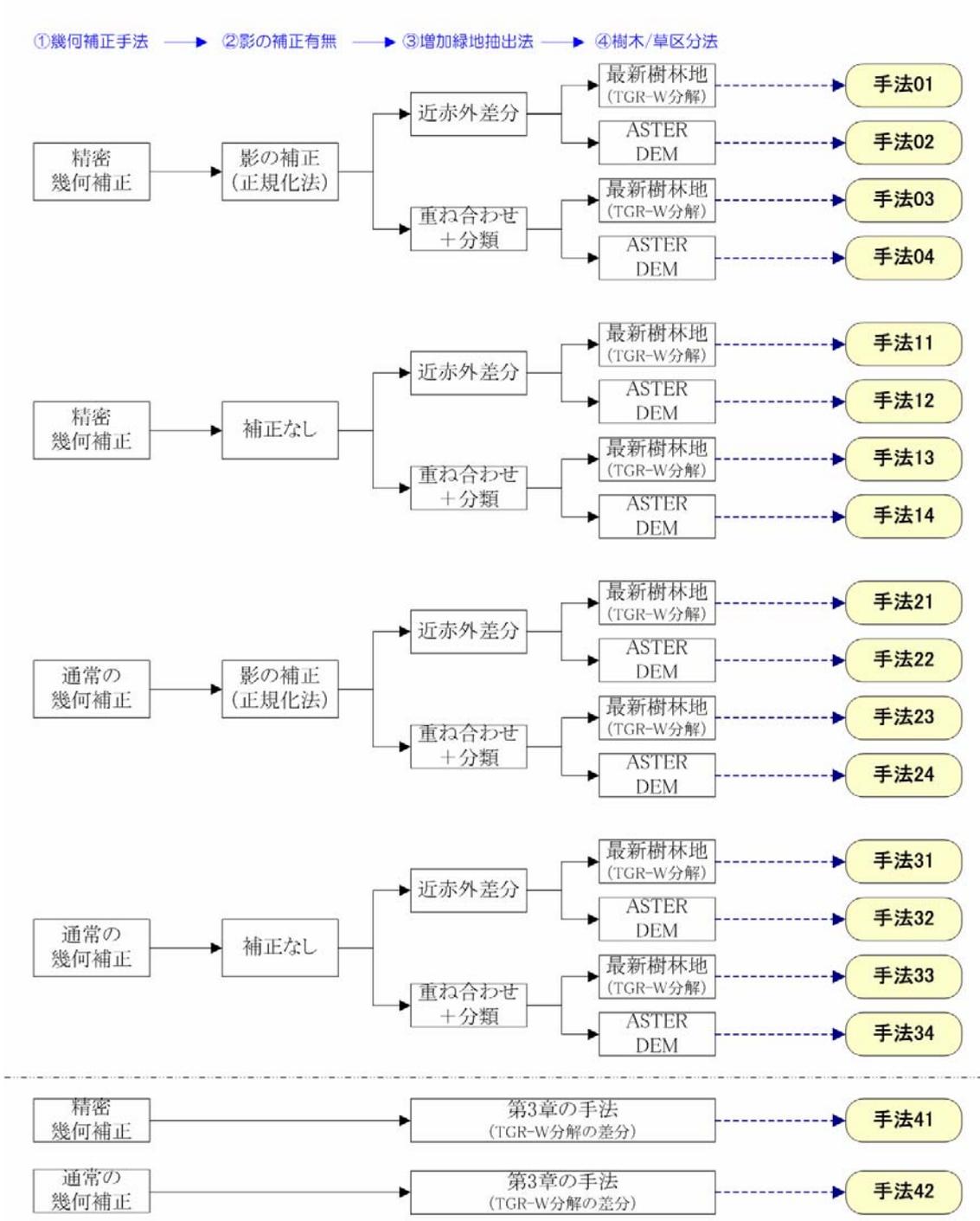


図-4.18 手法検討に供した 18 手法

(2) 検証エリアにおける試行結果

神奈川県検証エリア St.1～St.4 における 18 手法 (図-4.18) の樹林地増加抽出結果を表-4.3 に示す。

表-4.3 における各画像の見方は下記のとおりである。

- ・ 行方向は前処理 (精密幾何補正、影の補正) の有無による結果の違いを示す。
- ・ 列方向は緑地増加抽出手法と樹林地増加抽出手法の組み合わせによる結果の違いを示す。
- ・ 第 3 章の手法は比較のための参考手法である。精密幾何補正の有無による結果の違いは示すが、影の除去の違いは確認していない。
- ・ 最右列は空中写真判読による検証用データで、画素内増加樹林地率に換算されている。ASTER DEM を利用する手法は画素単位での判定になるため、二値化した検証用データ (画素内増加樹林地率 50%以上を樹林地増加画素と見なした) も示した。
- ・ 最新樹林地 (TGR-W) を使用する手法および第 3 章の手法の結果画像は、緑色が増加した樹林地分布を示しており、色が濃いほど画素内比率が高い。ASTER DEM を使用する手法の結果画像は、増加した樹林地が画素単位で表現されるため、緑色が樹林地増加と判定された画素を示す。
- ・ 各種結果画像の下に記載した手法ナンバーは、図-4.18 の手法ナンバーに対応する。

各検証エリアの特徴は下記のとおりである。

- ・ St.1
 - 精密幾何補正: 精密幾何補正を行っていない手法は、水際線付近で位置ずれに起因すると思われる抽出ミスが生じているケースがある (手法 31、手法 33 など)。
 - 影の補正: 影の補正を行っていない手法は、樹林地が維持されてきた場所を抽出ミスしているケースがある (手法 11～手法 14、手法 31～手法 34)。
 - 樹林地増加抽出手法: 最新樹林地 (TGR-W) を使用する手法は概ね良好。ASTER DEM を利用する手法は、まとまった増加樹林地の抽出ミスが認められる (手法 02、手法 04 など)。
 - 第 3 章の手法との比較: 第 3 章の手法は、樹林地が維持されてきた場所を抽出ミスしているケースがあり、全体に過大抽出傾向。

St.2

- 精密幾何補正: 大きな違いは見受けられない。
- 影の補正: 樹林地増加抽出手法によって影響に違いがある。最新樹林地 (TGR-W) を使用する手法は大きな影響はない。ASTER DEM を使用する手法は建物を抽出ミスしているケースがある (手法 12、手法 14 など)。

- 樹林地増加抽出手法：影の補正状況によって違いがある。影の補正を実施した場合は、大きな違いはない。影の補正を実施しなかった場合は、ASTER DEM を使用する手法で抽出ミスが多い（手法 12、手法 14 など）。
 - 第 3 章の手法との比較：第 3 章の手法は、樹林地が維持されてきた場所を抽出ミスしているケースがあり、やや過大抽出傾向。
- St.3
 - 精密幾何補正：大きな違いは見受けられない。
 - 影の補正：影の補正を行っていない手法は、樹林地が維持されてきた場所を抽出ミスしているケースがある（手法 11～手法 14、手法 31～手法 34）。
 - 樹林地増加抽出手法：抽出結果のパターンに大きな違いはないが、最新樹林地（TGR-W）を使用する手法はやや過少抽出。
 - 第 3 章の手法との比較：第 3 章の手法は、樹林地が維持されてきた場所を抽出ミスしているケースがあり、全体に過大抽出傾向。
- St.4
 - 精密幾何補正：精密幾何補正を行っていない手法は、道路上に増加樹林地が抽出されるなど、位置ずれに起因すると思われる抽出ミスが生じているケースがある（手法 31、手法 33 など）。
 - 影の補正：影の補正を行っていない手法は、樹林地が維持されてきた場所を抽出ミスしているケースがある（手法 11、手法 12、手法 31、手法 32）。
 - 樹林地増加抽出手法：抽出結果のパターンに大きな違いはないが、ASTER DEM を使用する手法は、漏れ、過剰等の抽出ミスがある（手法 02、手法 04 など）。
 - 第 3 章の手法との比較：第 3 章の手法は、樹林地が維持されてきた場所を抽出ミスしているケースがあり、全体に過大抽出傾向。

以上より、精密幾何補正の有無は、場所によって程度に差があるが、臨海部では水際線付近で抽出ミスが生じる等の影響があった。影の補正の有無は影響が大きく、樹林地が維持されてきた場所の抽出ミスが目立った。樹林地増加抽出手法による違いについては、ASTER DEM を使用する手法の漏れ、過剰等の抽出ミスが目立った。第 3 章の手法との比較では、第 3 章の手法は樹林地が維持されてきた場所の抽出ミスが目立ち、過大抽出傾向にあることが再確認された。

表-4.3(1) St.1における樹林地増加抽出結果

分類	第4章における新たな検討手法				第3章の手法	空中写真判読
処理 前処理	近赤外差分 最新樹林地(TGR-W)	近赤外差分 ASTER DEM	重ね合わせ+分類 最新樹林地(TGR-W)	重ね合わせ+分類 ASTER DEM	各時期で TGR-W 分解 差分	検証用データ
精密補正：○ 正規化法：○	 (手法 01)	 (手法 02)	 (手法 03)	 (手法 04)	 (手法 41)	 (画素内増加樹林地率)
精密補正：○ 正規化法：×	 (手法 11)	 (手法 12)	 (手法 13)	 (手法 14)	X	 (50%を閾値に二値化)
精密補正：×	 (手法 21)	 (手法 22)	 (手法 23)	 (手法 24)	 (手法 42)	X
精密補正：×	 (手法 31)	 (手法 32)	 (手法 33)	 (手法 34)	X	X

表-4.3(2) St.2における樹林地増加抽出結果

分類	第4章における新たな検討手法				第3章の手法	空中写真判読
処理 前処理	近赤外差分 最新樹林地(TGR-W)	近赤外差分 ASTER DEM	重ね合わせ+分類 最新樹林地(TGR-W)	重ね合わせ+分類 ASTER DEM	各時期で TGR-W 分解 差分	検証用データ
精密補正：○ 正規化法：○	 (手法 01)	 (手法 02)	 (手法 03)	 (手法 04)	 (手法 41)	 (画素内増加樹林地率)
精密補正：○ 正規化法：×	 (手法 11)	 (手法 12)	 (手法 13)	 (手法 14)		 (50%を閾値に二値化)
精密補正：×	 (手法 21)	 (手法 22)	 (手法 23)	 (手法 24)	 (手法 42)	
精密補正：×	 (手法 31)	 (手法 32)	 (手法 33)	 (手法 34)		

表-4.3(3) St.3における樹林地増加抽出結果

分類	第4章における新たな検討手法				第3章の手法	空中写真判読
処理 前処理	近赤外差分 最新樹林地(TGR-W)	近赤外差分 ASTER DEM	重ね合わせ+分類 最新樹林地(TGR-W)	重ね合わせ+分類 ASTER DEM	各時期で TGR-W 分解 差分	検証用データ
精密補正：○ 正規化法：○	 (手法 01)	 (手法 02)	 (手法 03)	 (手法 04)	 (手法 41)	 (画素内増加樹林地率)
精密補正：○ 正規化法：×	 (手法 11)	 (手法 12)	 (手法 13)	 (手法 14)	X	 (50%を閾値に二値化)
精密補正：×	 (手法 21)	 (手法 22)	 (手法 23)	 (手法 24)	 (手法 42)	X
精密補正：×	 (手法 31)	 (手法 32)	 (手法 33)	 (手法 34)	X	X

表-4.3(4) St.4における樹林地増加抽出結果

分類	第4章における新たな検討手法				第3章の手法	空中写真判読
処理 前処理	近赤外差分 最新樹林地(TGR-W)	近赤外差分 ASTER DEM	重ね合わせ+分類 最新樹林地(TGR-W)	重ね合わせ+分類 ASTER DEM	各時期で TGR-W 分解 差分	検証用データ
精密補正：○ 正規化法：○	 (手法 01)	 (手法 02)	 (手法 03)	 (手法 04)	 (手法 41)	 (画素内増加樹林地率)
精密補正：○ 正規化法：×	 (手法 11)	 (手法 12)	 (手法 13)	 (手法 14)		 (50%を閾値に二値化)
精密補正：×	 (手法 21)	 (手法 22)	 (手法 23)	 (手法 24)	 (手法 42)	
精密補正：×	 (手法 31)	 (手法 32)	 (手法 33)	 (手法 34)		

4.7 抽出精度の確認と評価

手法検討に供した 18 手法 (図-4.18) の精度評価は、以下の 3 とおりによって実施した。

- ・ **判別精度** … 画素単位で正しく樹林地増加が判別されたか否かの評価。
画像分類の精度評価で一般的に用いられる手法³²⁾。
判定効率表、総合精度、 κ 係数*を指標とした。
- ・ **統計的精度** … 画素単位でどの程度乖離しているかの統計的な評価。
平均誤差、標準偏差を指標とした。
- ・ **面積精度** … 検証エリア全体での面積がどの程度乖離しているかの評価
面積率を指標とした。

18 手法は、画素内増加樹林地率として表現されるもの (A 群) と樹林地増加画素として表現されるもの (B 群) に分けられる。

- ・ A 群 (10 手法) … 手法 01,03,11,13,21,23,31,33,41,42
- ・ B 群 (8 手法) … 手法 02,04,12,14,22,24,32,34

A 群と B 群を並べて評価する際には、50%以上の画素内増加樹林地率を示す画素を抽出して判別精度の評価を行った。

また、統計的精度については、A 群のみを対象として実施した。

これらの精度評価の考え方を表-4.4 に示し、精度評価の流れを図-4.19 に示す。

表-4.4 精度評価の考え方

評価法No.	評価項目	検証用データ	評価指標	対象手法
①	樹林地増加画素の判別精度	検証用画素内増加樹林地率が50%以上の画素	判定効率表 総合精度 κ 係数	全手法
②	画素内増加樹林地率の判別精度	検証用画素内増加樹林地率が1%以上の画素	判定効率表 総合精度 κ 係数	画素内比率として表現される手法 (01,03,11,13,21,23,31,33,41,42)
③	画素内増加樹林地率の統計的精度	検証用画素内増加樹林地率(0~100%)	平均誤差 標準偏差	画素内比率として表現される手法 (01,03,11,13,21,23,31,33,41,42)
④	検証エリアの面積精度	検証用データの面積値	面積率	全手法

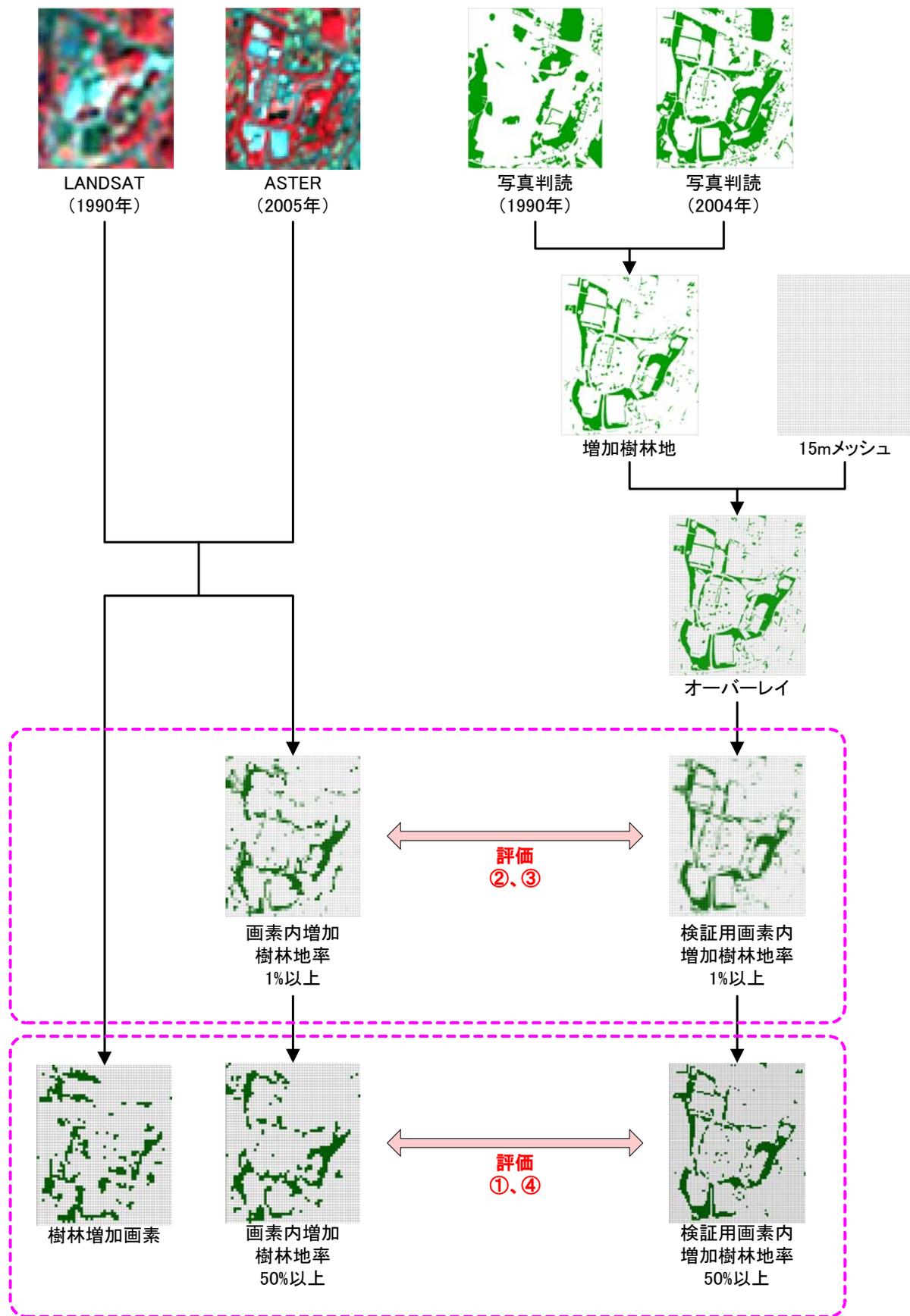


図-4.19 精度評価の流れ

*判定効率表、総合精度、 κ 係数

試験手法 A と検証手法 B が同一の対象を K カテゴリーの分類項目で区分した場合、そのデータは $K \times K$ のクロス表形式 (**判定効率表**) で表現することができる (表-4.5)。このとき、試験手法 A による分類結果の関連性 (信頼性) を評価する代表的な指標には、次のものがある。

① χ^2 系の評価指標 (χ^2 検定)

$$\phi = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (np_{ij} - np_{i \cdot} p_{\cdot j})^2 / n^2 p_{i \cdot} p_{\cdot j}}{1}}$$

を基本的な構造としてもつ関連性評価指標。Cramer's V、Pearson's C などがある。

② オッズ比 (2×2 分割表の場合)

$$\phi = \frac{p_{11} p_{22}}{p_{12} p_{21}}$$

③ 一致率 (**総合精度**)

$$P_0 = \sum_i p_{ii}$$

④ κ 係数

$$\kappa = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} = \frac{\sum_i p_{ii} - \sum_i p_{i \cdot} p_{\cdot i}}{1 - \sum_i p_{i \cdot} p_{\cdot i}}$$

表-4.5 K×K クロス表における各セルの発現割合

		検証手法B						
		C ₁	..	..	C _j	..	C _K	
試験手法A	C ₁	p ₁₁	..	..	p _{1j}	..	p _{1K}	p _{1·}
	⋮	⋮			⋮		⋮	⋮
	C _i	p _{i1}	..	..	p _{ij}	..	p _{iK}	p _{i·}
	⋮	⋮			⋮		⋮	⋮
	⋮	⋮			⋮		⋮	⋮
	C _K	p _{K1}	..	..	p _{Kj}	..	p _{KK}	p _{K·}
		p _{·1}	..	..	p _{·j}	..	p _{·K}	1(n)

① χ^2 系の評価指標は、期待値からのズレを評価する指標であり、必ずしも一致性を評価している指標ではない。②オッズ比、③一致率 (総合精度) はともに一致度が高くなれば、指標値も高くなるため、信頼性評価指標となりうる。④ κ 係数も一致度が高くなれば指標値も高くなる傾向を示すが、更に偶然による一致度も考慮しているという点で、②オッズ比、③一致率 (総合精度) よりも望ましい指標である。

また、試験手法 A の結果の中にどの程度正しく分類された結果を含むかを表す指標を **ユーザ精度 (正答率)**、検証手法 B の中にどの程度試験手法 A で正しく分類された結果を含むかを表す指標を **プロデューサ精度 (抽出率)** と呼び、次のように表される。

⑤ ユーザ精度

$$P_u = \frac{p_{ii}}{p_{i \cdot}}$$

⑥ プロデューサ精度

$$P_p = \frac{p_{ii}}{p_{\cdot j}}$$

(1) 樹林増加画素の判別精度

神奈川県検証エリア St.1～St.4 の総合的な判定効率表を表-4.6 に示し、総合精度および κ 係数の手法別比較図を図-4.20 に示す。

表-4.6 および図-4.20 から総合的に考察される各手法の特徴は下記のとおりである。

- ・ κ 係数が最も高いのは手法 01 の 0.38、次に高いのは手法 03 の 0.32 であった。
- ・ 総合精度が最も高いのは手法 01 の 96.3%、次に高いのは手法 02 の 95.8%でその次が手法 03 の 95.4%であった。
- ・ 樹林増加画素の判別精度は手法 01 が最も高く、手法 03 がそれに次ぐと考察された。

次に、精密幾何補正の有無と判別精度の関係、影の補正の有無と判別精度の関係、樹林地抽出手法と判別精度の関係を整理した。

- ・ 精密幾何補正の有無と判別精度の関係
 - κ 係数：精密幾何補正あり（手法 01） > 精密幾何補正なし（手法 21）
 - 総合精度：精密幾何補正あり（手法 01） > 精密幾何補正なし（手法 21）
 - 精密幾何補正は総合精度で 1%程度の精度向上に寄与する。
- ・ 影の補正の有無と判別精度の関係
 - κ 係数：影の補正あり（手法 01） > 影の補正なし（手法 11）
 - 総合精度：影の補正あり（手法 01） > 影の補正なし（手法 11）
 - 影の補正は総合精度で 1.5%程度の精度向上に寄与する。
- ・ 樹林地抽出手法と判別精度の関係
 - κ 係数：手法 01 > 手法 03 > 手法 02 > 手法 04
 - 総合精度：手法 01 > 手法 02 > 手法 03 > 手法 04
 - κ 係数を優先して評価した場合、最新樹林地（TGR-W 分解）を使用する手法（手法 01、手法 03）が ASTER DEM を使用する手法（手法 02、手法 04）を上回る結果となった。

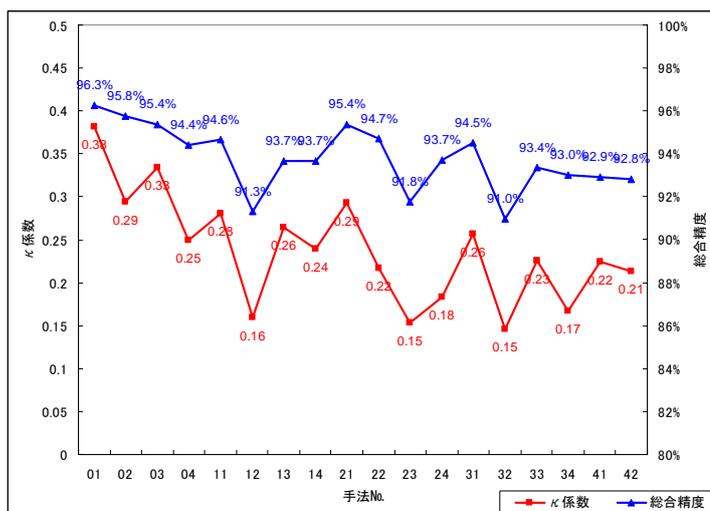


図-4.20 総合精度及び κ 係数の手法別比較図

表-4.6 樹林増加画素の判別精度評価（判定効率表）

(手法 01)

手法01	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	371	580	951	371	41.27%	39.01%	96.27%	0.382
無	528	28217	28745	28217	97.99%	98.16%		
合計	899	28797	29696	28588				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 04)

手法04	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	316	1070	1386	316	35.15%	22.80%	94.43%	0.249
無	583	27727	28310	27727	96.28%	97.94%		
合計	899	28797	29696	28043				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 13)

手法13	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	392	1374	1766	392	43.60%	22.20%	93.67%	0.265
無	507	27423	27930	27423	95.23%	98.18%		
合計	899	28797	29696	27815				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 22)

手法22	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	252	921	1173	252	28.03%	21.48%	94.72%	0.216
無	647	27876	28523	27876	96.80%	97.73%		
合計	899	28797	29696	28128				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 31)

手法31	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	325	1059	1384	325	36.15%	23.48%	94.50%	0.257
無	574	27738	28312	27738	96.32%	97.97%		
合計	899	28797	29696	28063				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 34)

手法34	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	260	1438	1698	260	28.92%	15.31%	93.01%	0.167
無	639	27359	27998	27359	95.01%	97.72%		
合計	899	28797	29696	27619				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 02)

手法02	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	289	644	933	289	32.15%	30.98%	95.78%	0.294
無	610	28153	28763	28153	97.76%	97.88%		
合計	899	28797	29696	28442				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 11)

手法11	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	352	1042	1394	352	39.15%	25.25%	94.65%	0.281
無	547	27755	28302	27755	96.38%	98.07%		
合計	899	28797	29696	28107				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 14)

手法14	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	345	1322	1667	345	38.38%	20.70%	93.68%	0.239
無	554	27475	28029	27475	95.41%	98.02%		
合計	899	28797	29696	27820				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 23)

手法23	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	286	1833	2119	286	31.81%	13.50%	91.76%	0.154
無	613	26964	27577	26964	93.63%	97.78%		
合計	899	28797	29696	27250				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 32)

手法32	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	302	2088	2390	302	33.59%	12.64%	90.96%	0.146
無	597	26709	27306	26709	92.75%	97.81%		
合計	899	28797	29696	27011				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 41)

手法41	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	363	1571	1934	363	40.38%	18.77%	92.90%	0.224
無	536	27226	27762	27226	94.54%	98.07%		
合計	899	28797	29696	27589				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 03)

手法03	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	381	855	1236	381	42.38%	30.83%	95.38%	0.334
無	518	27942	28460	27942	97.03%	98.18%		
合計	899	28797	29696	28323				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 12)

手法12	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	316	1997	2313	316	35.15%	13.66%	91.31%	0.160
無	583	26800	27383	26800	93.07%	97.87%		
合計	899	28797	29696	27116				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 21)

手法21	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	319	793	1112	319	35.48%	28.69%	95.38%	0.294
無	580	28004	28584	28004	97.25%	97.97%		
合計	899	28797	29696	28323				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 24)

手法24	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	256	1230	1486	256	28.48%	17.23%	93.69%	0.184
無	643	27567	28210	27567	95.73%	97.72%		
合計	899	28797	29696	27823				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 33)

手法33	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	340	1406	1746	340	37.82%	19.47%	93.38%	0.226
無	559	27391	27950	27391	95.12%	98.00%		
合計	899	28797	29696	27731				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(手法 42)

手法42	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ係数
有	347	1585	1932	347	38.60%	17.96%	92.80%	0.213
無	552	27212	27764	27212	94.50%	98.01%		
合計	899	28797	29696	27559				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(2) 画素内増加樹林地率の判別精度

神奈川県検証エリア St.1～St.4 の総合的な判定効率表を表-4.7 に示し、総合精度および κ 係数の手法別比較図を図-4.21 に示す。

表-4.7 および図-4.21 から総合的に考察される各手法の特徴は下記のとおりである。

- ・ κ 係数が最も高いのは手法 13 の 0.34、次いで高いのは手法 03 の 0.32 であった。
- ・ 総合精度が最も高いのは手法 03 の 87.2%、次いで高いのは手法 01 の 86.8% であった。
- ・ κ 係数による評価と総合精度による評価が一致しない結果となったが、手法 03、手法 13 が良好な精度であると考察された。

次に、精密幾何補正の有無と判別精度の関係、影の補正の有無と判別精度の関係、樹林地抽出手法と判別精度の関係を整理した。

- ・ 精密幾何補正の有無と判別精度の関係
 - κ 係数：精密幾何補正あり（手法 01）>精密幾何補正なし（手法 21）
 - 総合精度：精密幾何補正あり（手法 01）>精密幾何補正なし（手法 21）
 - 精密幾何補正は総合精度で 1%弱の精度向上に寄与する。
- ・ 影の補正の有無と判別精度の関係
 - κ 係数：影の補正あり（手法 01）<影の補正なし（手法 11）
 - 総合精度：影の補正あり（手法 01）>影の補正なし（手法 11）
 - κ 係数による評価と総合精度による評価が一致しない結果となり、評価は困難であった。
- ・ 樹林地抽出手法と判別精度の関係
 - κ 係数：手法 03>手法 01
 - 総合精度：手法 03>手法 01
 - 増加緑地を重ね合わせ+分類によって抽出する手法（手法 03）が近赤外バンドの差分による手法（手法 01）を上回る結果となった。

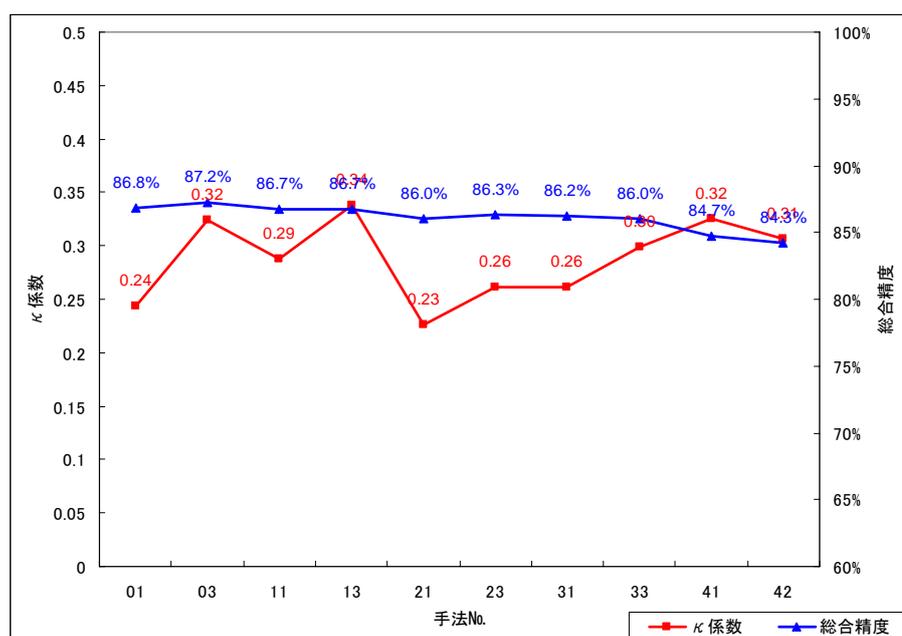


図-4.21 総合精度及び κ 係数の手法別比較図

表-4.7 画素内増加樹林地率の判別精度評価 (判定効率表)

(手法 01)	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ 係数
	823	547	1370	823	19.62%	60.07%	86.81%	0.243
	3371	24955	28326	24955	97.86%	88.10%		
	4194	25502	29696	25778				

(手法 03)	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ 係数
	1188	788	1976	1188	28.33%	60.12%	87.22%	0.324
	3006	24714	27720	24714	96.91%	89.16%		
	4194	25502	29696	25902				

(手法 11)	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ 係数
	1064	822	1886	1064	25.37%	56.42%	86.69%	0.288
	3130	24680	27810	24680	96.78%	88.75%		
	4194	25502	29696	25744				

(手法 13)	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ 係数
	1362	1121	2483	1362	32.47%	54.85%	86.69%	0.338
	2832	24381	27213	24381	95.60%	89.59%		
	4194	25502	29696	25743				

(手法 21)	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ 係数
	832	783	1615	832	19.84%	51.52%	86.04%	0.226
	3362	24719	28081	24719	96.93%	88.03%		
	4194	25502	29696	25551				

(手法 23)	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ 係数
	978	855	1833	978	23.32%	53.36%	86.29%	0.261
	3216	24647	27863	24647	96.65%	88.46%		
	4194	25502	29696	25625				

(手法 31)	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ 係数
	991	890	1881	991	23.63%	52.68%	86.22%	0.262
	3203	24612	27815	24612	96.51%	88.48%		
	4194	25502	29696	25603				

(手法 33)	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ 係数
	1224	1178	2402	1224	29.18%	50.96%	86.03%	0.299
	2970	24324	27294	24324	95.38%	89.12%		
	4194	25502	29696	25548				

(手法 41)	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ 係数
	1587	1925	3512	1587	37.84%	45.19%	84.74%	0.325
	2607	23577	26184	23577	92.45%	90.04%		
	4194	25502	29696	25164				

(手法 42)	判読			判別精度				
	有	無	合計	一致数	p精度	u精度	総合精度	κ 係数
	1537	2017	3554	1537	36.65%	43.25%	84.26%	0.307
	2657	23485	26142	23485	92.09%	89.84%		
	4194	25502	29696	25022				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度

(3) 画素内増加樹林地率の統計的精度

神奈川県検証エリア St.1~St.4 の統計的精度を表-4.8 に示し、平均誤差と標準偏差をプロットした箱髭図を図-4.22 に示す。

表-4.8 および図-4.22 から総合的に考察される各手法の特徴は下記のとおりである。

- ・ 平均誤差が最も真値に近いのは手法 03 の 0.27m²、次に真値に近い手法は手法 23 の -0.54 m²であった。
- ・ 標準偏差が最も小さいのは手法 01 の 37.28 m²、次に小さいものは手法 03 の 40.73 m²であった。
- ・ 平均誤差による評価と標準偏差による評価が一致しない結果となったが、手法 01、手法 03 が良好な精度であると考察された。

表-4.8 画素内増加樹林地率の統計的精度評価

手法No.	統計値	St.1	St.2	St.3	St.4	全検証エリア
手法01	平均誤差	-0.41	-1.02	-5.50	-3.07	-2.04
	標準偏差	19.87	37.62	49.22	66.02	37.28
手法03	平均誤差	2.74	-2.21	-4.60	-0.79	0.27
	標準偏差	27.93	34.92	49.07	69.15	40.73
手法11	平均誤差	1.85	-0.53	-1.25	6.33	1.44
	標準偏差	27.61	38.58	54.57	85.70	45.56
手法13	平均誤差	4.31	-0.67	0.77	14.06	4.25
	標準偏差	32.14	37.11	56.13	91.28	48.92
手法21	平均誤差	0.42	-2.48	-4.42	2.14	-0.77
	標準偏差	26.41	28.20	50.75	77.53	42.01
手法23	平均誤差	2.60	-3.67	-4.64	-7.06	-0.54
	標準偏差	30.77	27.19	49.04	71.35	42.14
手法31	平均誤差	1.86	-1.48	-1.30	6.03	1.36
	標準偏差	30.53	29.47	53.09	88.58	46.54
手法33	平均誤差	4.26	-1.67	1.07	12.28	4.07
	標準偏差	35.00	33.62	56.70	93.66	50.59
手法41	平均誤差	4.49	4.99	8.72	9.16	6.11
	標準偏差	30.02	47.28	66.36	82.59	50.01
手法42	平均誤差	4.60	5.59	8.51	10.04	6.24
	標準偏差	31.79	44.58	65.41	83.97	50.49

単位：m²

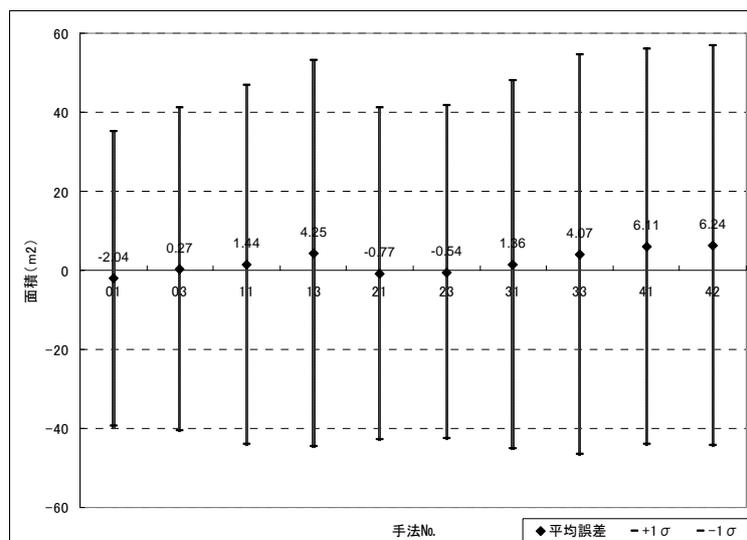


図-4.22 画素内増加樹林地率の統計的精度評価（箱髭図）

(4) 検証エリアの面積精度

神奈川県検証エリア St.1～St.4 の面積精度を図-4.23 に示す。

図-4.23 から総合的に考察される各手法の特徴は下記のとおりである。

- ・ 最も真値に近いのは手法 03 (106%)、次に真値に近いのは手法 22 (92%) であった。
- ・ 精密幾何補正、影の補正を行った手法 (手法 01～手法 04) では、増加緑地を重ね合わせ+分類によって抽出する手法 (手法 03、手法 04) が近赤外バンドの差分による手法 (手法 01、手法 02) より真値に近い結果となった。

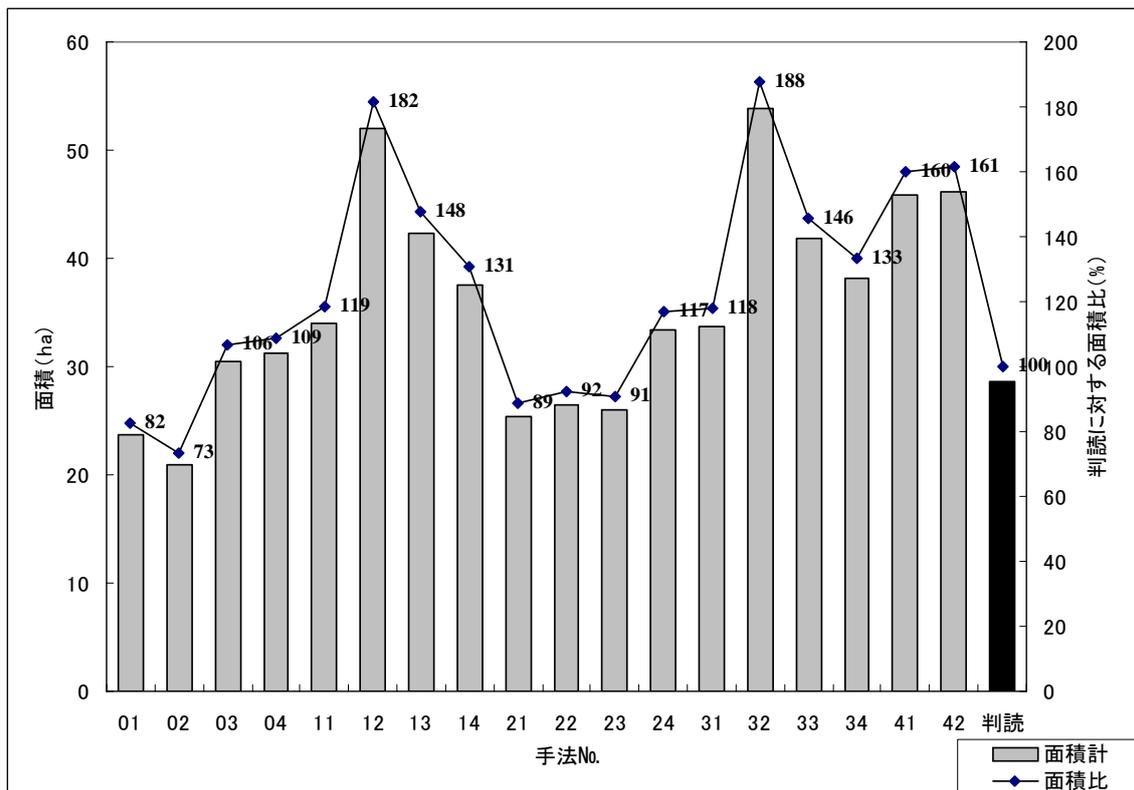


図-4.23 検証エリアの面積精度評価

(5) 総合評価

検証エリアにおける定性的な特徴（表-4.3）、樹林増加画素の判別精度（図-4.20）、画素内増加樹林地率の判別精度（図-4.21）、画素内増加樹林地率の統計的精度（図-4.22）、検証エリアの面積精度（図-4.23）を整理すると、全18手法と各ステップの特徴と精度は表-4.9のようにまとめられる。

表-4.9 各手法の特徴と精度のまとめ（ASTER）

評価項目 手法		定性的な特徴 (表-4.3)		樹林増加画素の 判別精度 (図-4.20)		画素内増加樹林地率 の判別精度 (図-4.21)		画素内増加樹林地率 の統計的精度 (図-4.22)		検証エリアの 面積精度 (図-4.23)	
		評価	特徴	評価	特徴	評価	特徴	評価	特徴	評価	特徴
近赤外差分 最新樹林地(TGR-W)	あり	◎	概ね良好	◎	κ 係数、総合精度とも最も良好	△	総合精度はまずまずだが、 κ 係数が低い	◎	平均誤差がやや大きい標準偏差が最も小さい	△	やや過少推定
	なし	△	漏れ、過剰等の抽出ミス	△	総合精度はまずまずだが、 κ 係数が低い	×	対象外	×	対象外	△	やや過少推定
重ね合わせ+分類 最新樹林地(TGR-W)	あり	◎	概ね良好	○	κ 係数、総合精度とも概ね良好	○	κ 係数、総合精度とも概ね良好	◎	標準偏差がやや大きい平均誤差が最も小さい	◎	最も真値に近い
	なし	△	漏れ、過剰等の抽出ミス	△	κ 係数、総合精度とも相対的に低い	×	対象外	×	対象外	○	概ね良好
精密幾何補正の影響	あり	◎	概ね良好	◎	総合精度で1%程度の精度向上に寄与	◎	総合精度で1%弱の精度向上に寄与	◎	ばらつきが抑えられる	○	あまり精度向上効果が認められない
	なし	○	水際線付近での抽出ミスの原因	○	影の補正より影響小さい	△	影の補正より影響大きい	○	影の補正より影響小さい	○	影の補正より影響小さい
影の補正の影響	あり	◎	概ね良好	◎	総合精度で1.5%程度の精度向上に寄与	—	評価困難	◎	ばらつきが抑えられる	◎	補正なしに比べて真値に近い
	なし	△	維持されてきた樹林地を抽出ミス	△	精密幾何補正より影響大きい	—	評価困難	△	精密幾何補正より影響大きい	△	精密幾何補正より影響大きい

表-4.9より、

・ 手法01

(精密幾何補正あり、影の補正あり、近赤外差分+最新樹林地 (TGR-W 分解))

・ 手法03

(精密幾何補正あり、影の補正あり、重ね合わせ+最新樹林地 (TGR-W 分解))

が、精度の高い手法であると考察された。