

## 2. 単一時期の中分解能衛星データによる樹林地抽出手法の検討

### 2.1 概要

本章では、単一時期の LANDSAT データ及び ASTER データによる緑地、樹林地の判別手法の検討、手法選定の手順ならびに判別結果について述べる。

判別手法の検討では、既往文献等に基づいて代表的な画像分類手法を整理した上でピクセルベースの分類手法、ミクセル分解などを試行して検討を進めた。これらの試行結果と空中写真判読結果を比較することにより、有効な手法を選定した。

LANDSAT データによる緑地、樹林地判別の流れを図-2.1 に示す。

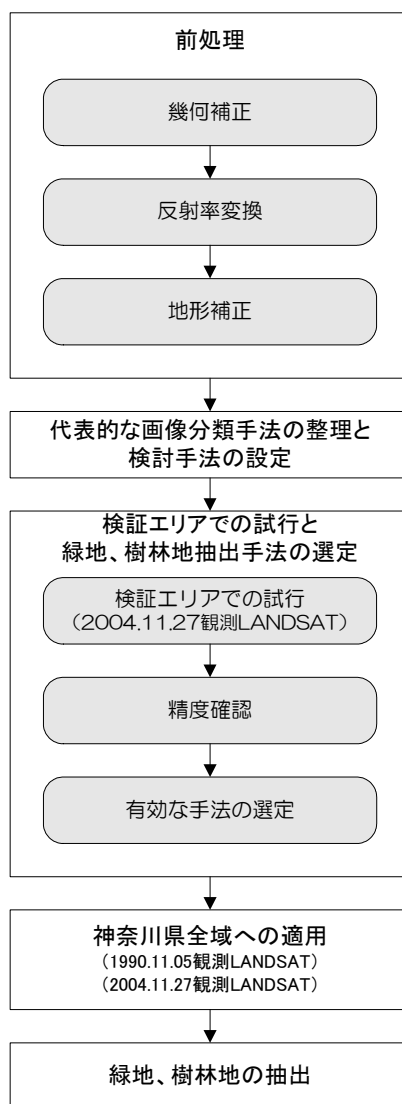


図-2.1 LANDSAT データによる緑地、樹林地判別の流れ

## 2.2 空中写真判読による検証用データの作成

ここでは、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、その結果について述べる。

検証用データは、緑地、樹林地の判別精度を確認するために、12 地点の検証エリアで作成した。検証エリアは、開発地のエリアから緑地、樹林地の一かたまりの面積や密度が異なる場所、ピュアピクセル状態の場所、ミクセル状態の場所、緑が増加した箇所、減少した箇所などが包含されるように設定した。

空中写真判読は、後の判別に必要な期初（1990 年）と最新（2004 年）それぞれについて実施した。判読項目と判読基準は、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<sup>1)</sup>」に準じて設定した。

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緑地、樹林地面積及び年次間の面積増減を整理した。

検証用データ作成の流れを図-2.2 に示す。

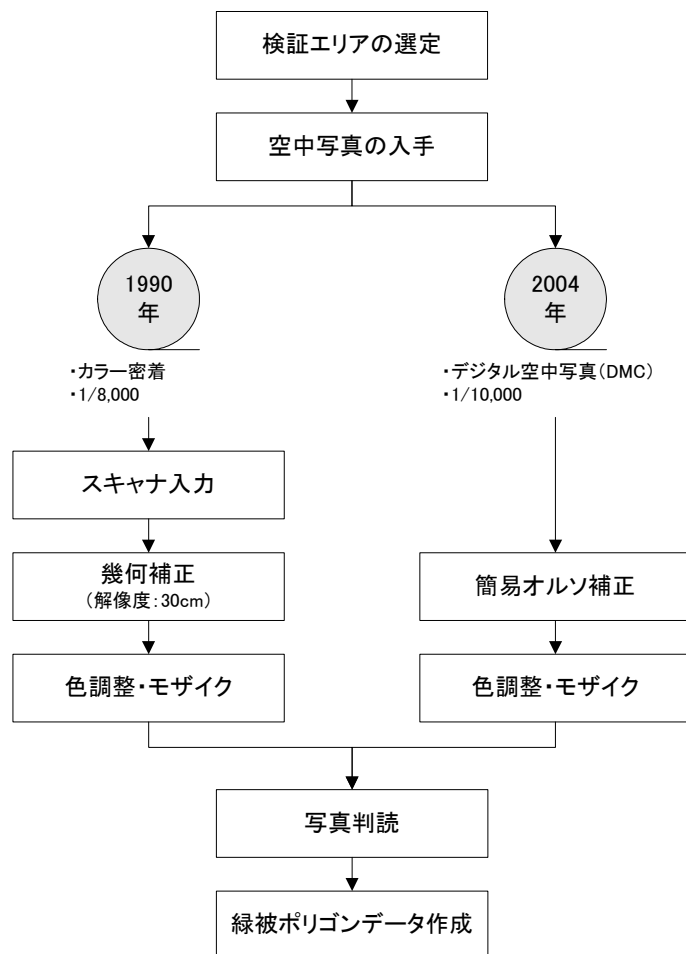


図-2.2 検証用データ作成の流れ

## 2.2.1 検証用エリアの選定

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、緑地、樹林地の一かたまりの面積や密度、ピュアピクセル状態、ミクセル状態、緑が増加した箇所、減少した箇所などを考慮し、表-2.1、図-2.3 に示す 12 地点を設定した。

表-2.1 選定された検証エリア

地点No.	場所	範囲	土地利用タイプ					緑の増減			考えられる増減要因
			大規模公園	緑と住宅が混在	中心市街地	埋立地 工場地帯	河川	増加	減少	変化なし	
St.1	川崎市川崎区浮島町	1.5km × 1.5km				●		●			埋立に伴う植栽
St.2	川崎市麻生区万福寺ほか	1.5km × 1.5km		●	●				●		宅地開発
St.3	川崎市幸区柳町ほか	1.5km × 1.5km			●	●		●			工場跡地の緑化
St.4	川崎市麻生区黒川	1.5km × 1.5km		●					●		宅地開発
St.5	横浜市西区みなとみらい	1.5km × 1.5km			●	●		●			埋立に伴う植栽
St.6	横浜市緑区長津田町	1.5km × 1.5km		●					●		宅地開発
St.7	藤沢市辻堂新町ほか	1km × 1km		●		●		●			工場跡地の緑化
St.8	横須賀市湘南国際村	1km × 1km		●					●		職住一体の拠点開発
St.9	川崎市宮前区南平台、けやき平	1.25km × 0.8km		●				●			植栽樹木の成長
St.10	平塚市馬入ほか	0.8km × 1.25km					●	●			河畔林の成長
St.11	大和市代官ほか	0.8km × 1.25km		●				●			公園整備
St.12	横浜市磯子区米取沢町ほか	1km × 1km	●							●	
計	12地点	19.5km <sup>2</sup>									

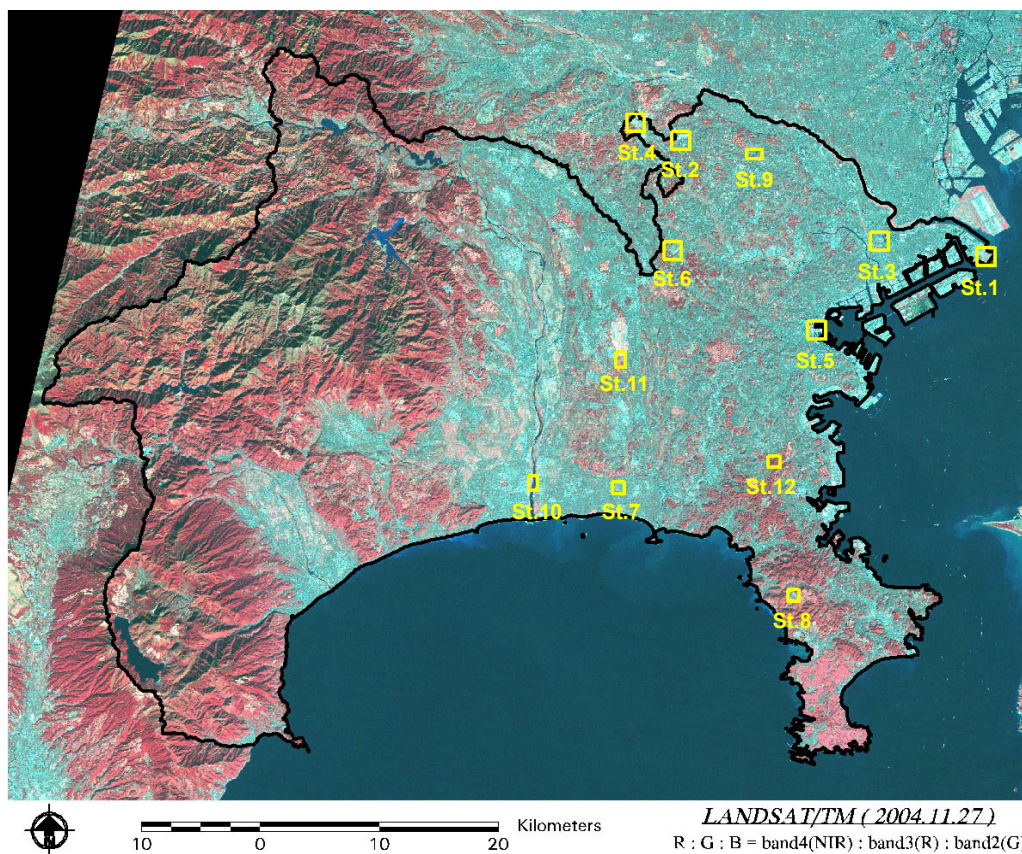
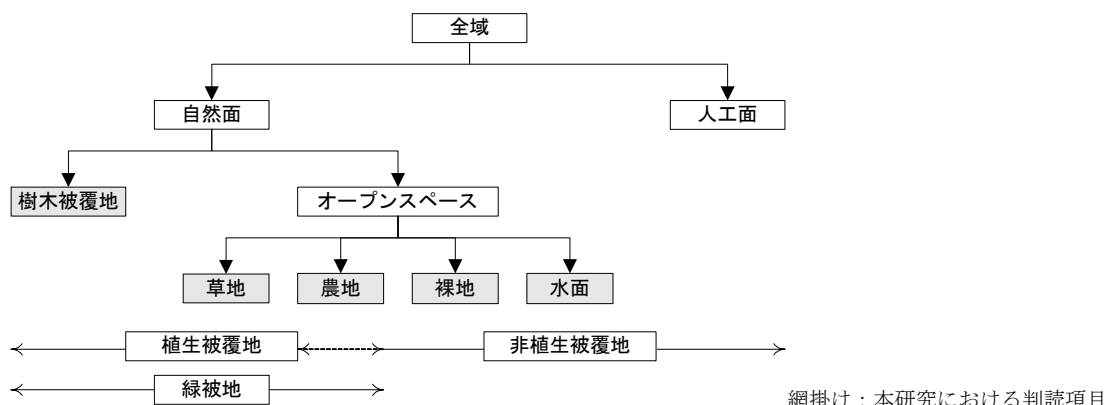


図-2.3 検証エリア位置図（背景：2004年11月27日のLANDSAT画像）

## 2.2.2 検証用データの作成

本研究では、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<sup>1)</sup>」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。



樹木被覆地……………樹木、樹林に覆われた土地

草地……………草本類に覆われた土地（農地を除く）

農地……………田、畑、果樹園、苗圃等の土地

裸地……………人工構造物や樹木等で被覆されておらず、土壌が露出している土地

水面……………河川や湖沼（プール等を含む）の水部

図-2.4 本研究における判読項目とその定義

表-2.2 本研究における判読基準

調査水準	使用する写真のスケール	最小読み取り精度	想定する調査対象
水準Ⅰ	1/2,500	1m <sup>2</sup>	街路樹、生垣などの小さな緑被地まで計測する調査水準
水準Ⅱ	1/5,000	10m <sup>2</sup>	大きな街路樹による緑被地程度までを計測できる調査水準
水準Ⅲ	資料図面を使用	—	山林など大規模な緑被地を中心として計測する調査水準

※本研究では水準Ⅱを採用

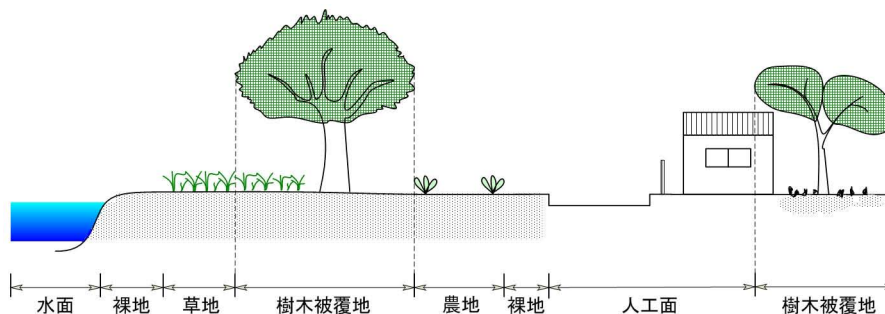


図-2.5 本研究における判読基準の概念図

各検証エリアの写真判読結果を図-2.6～図-2.17に示す。

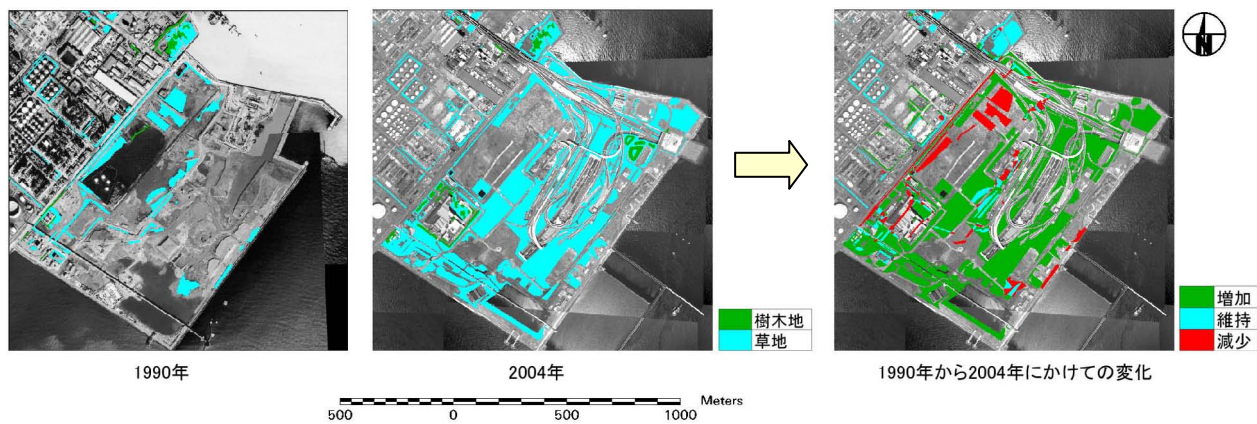


図-2.6 空中写真判読結果 (St. 1)

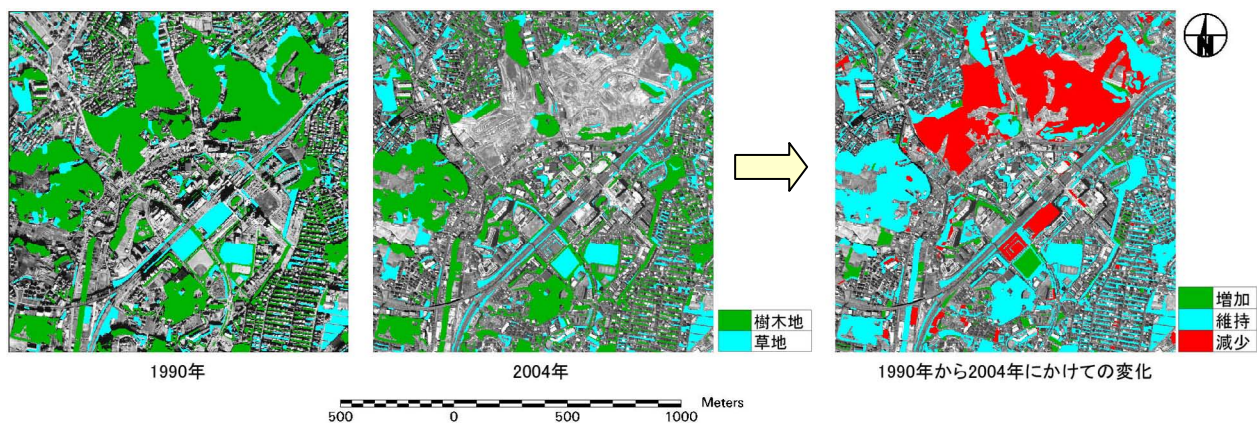


図-2.7 空中写真判読結果 (St. 2)

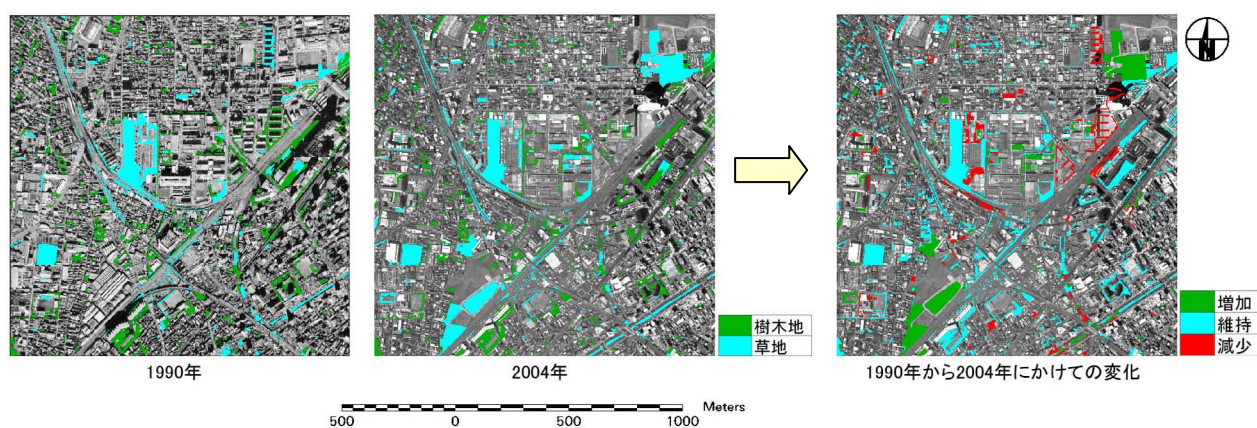


図-2.8 空中写真判読結果 (St. 3)

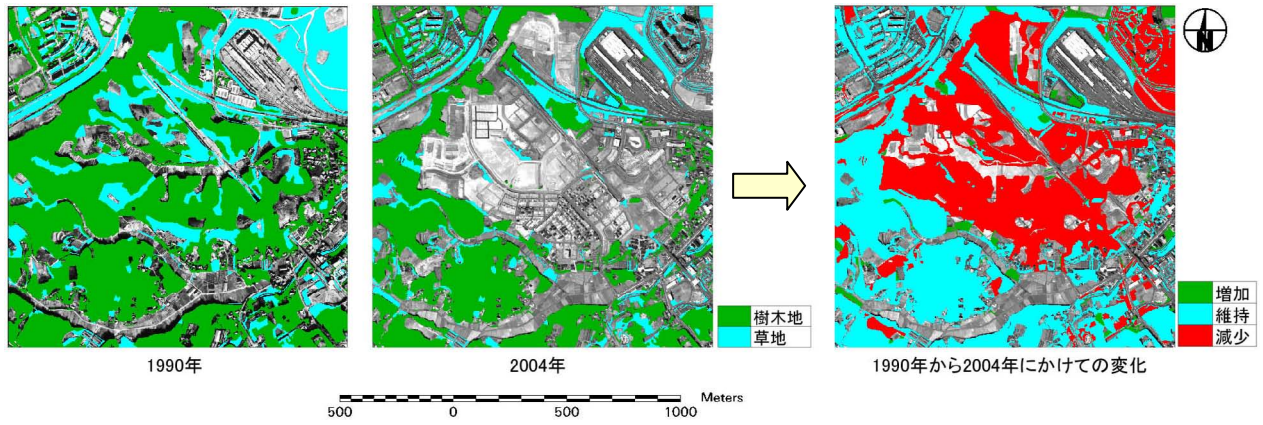


図-2.9 空中写真判読結果 (St. 4)

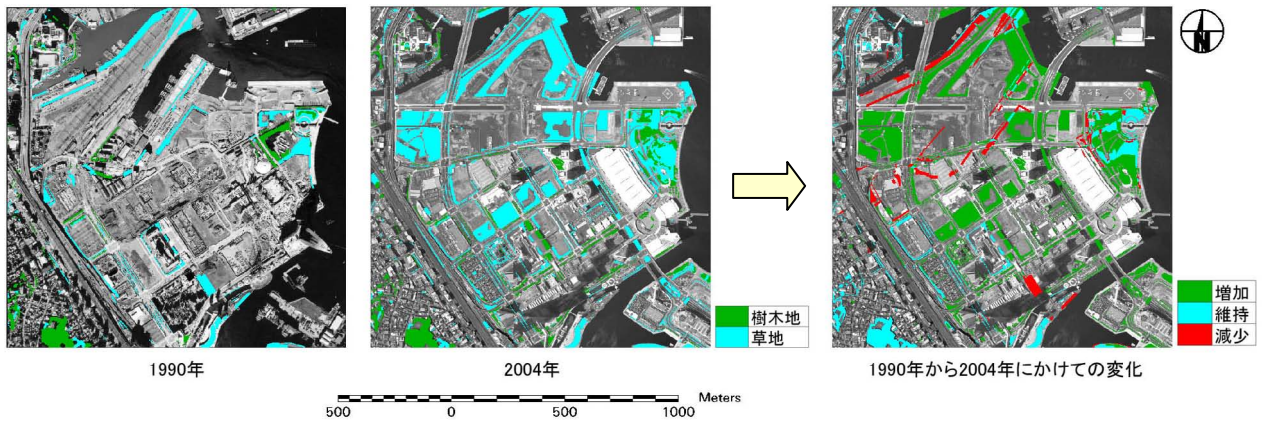


図-2.10 空中写真判読結果 (St. 5)

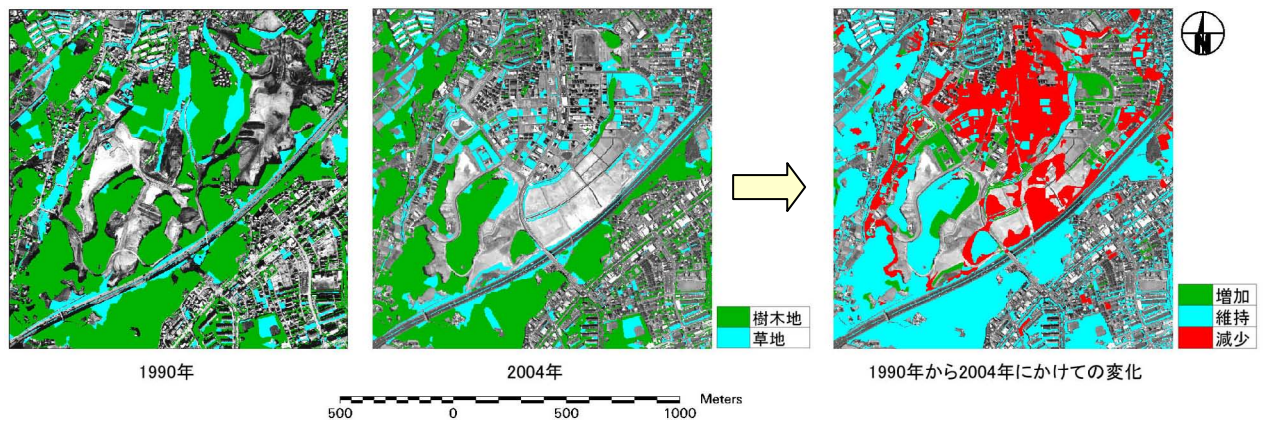


図-2.11 空中写真判読結果 (St. 6)

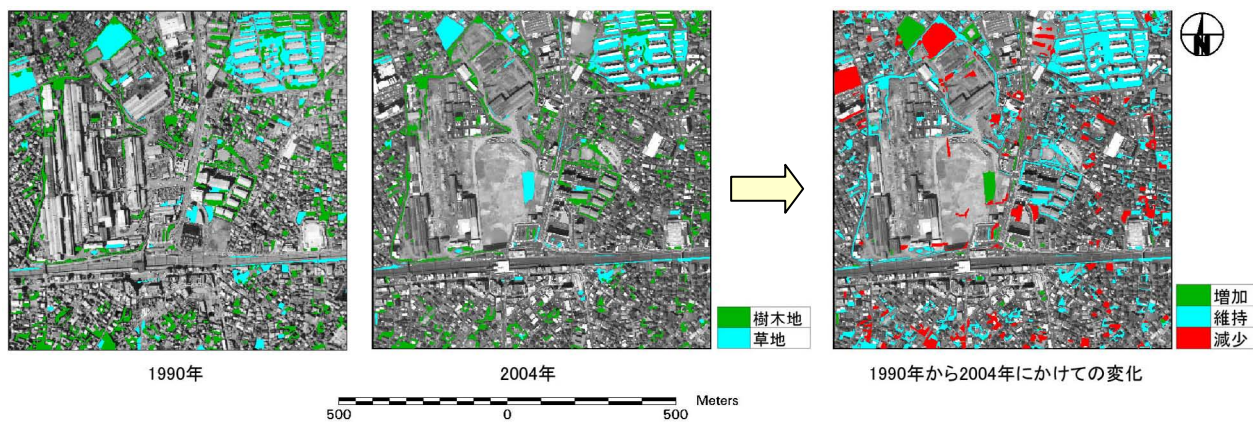


図-2.12 空中写真判読結果 (St. 7)

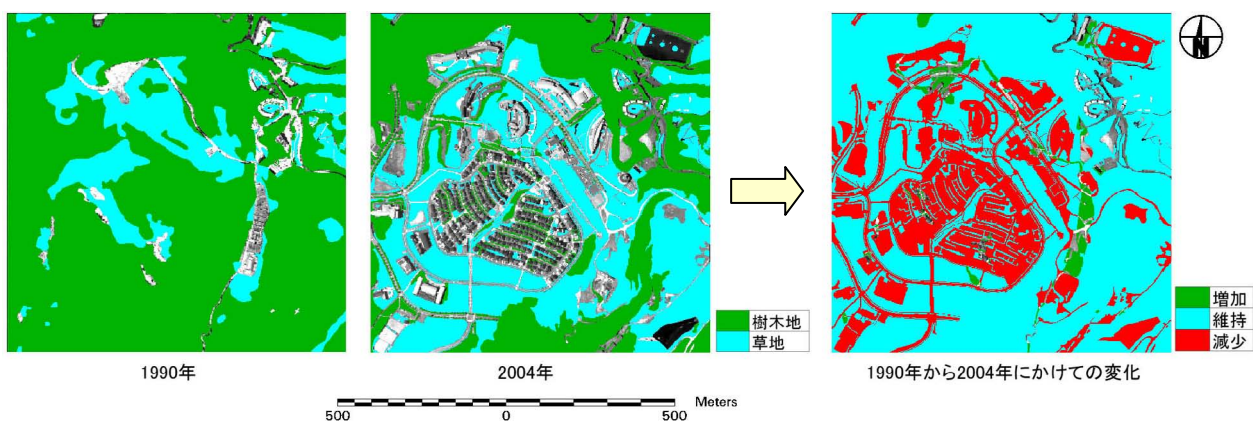


図-2.13 空中写真判読結果 (St. 8)

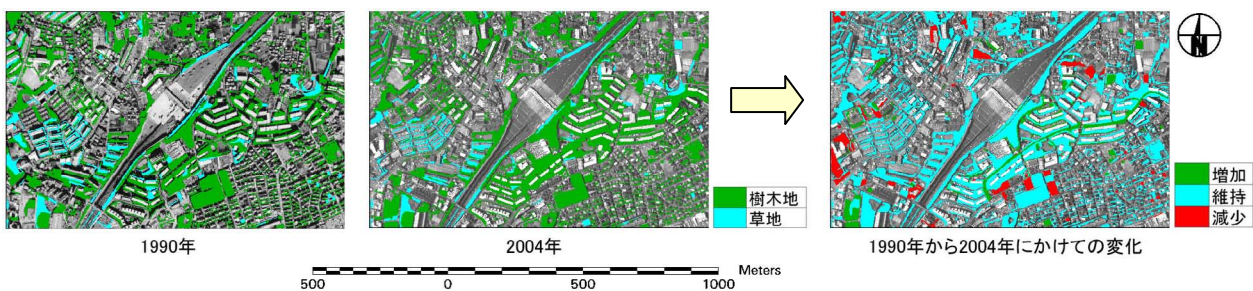


図-2.14 空中写真判読結果 (St. 9)

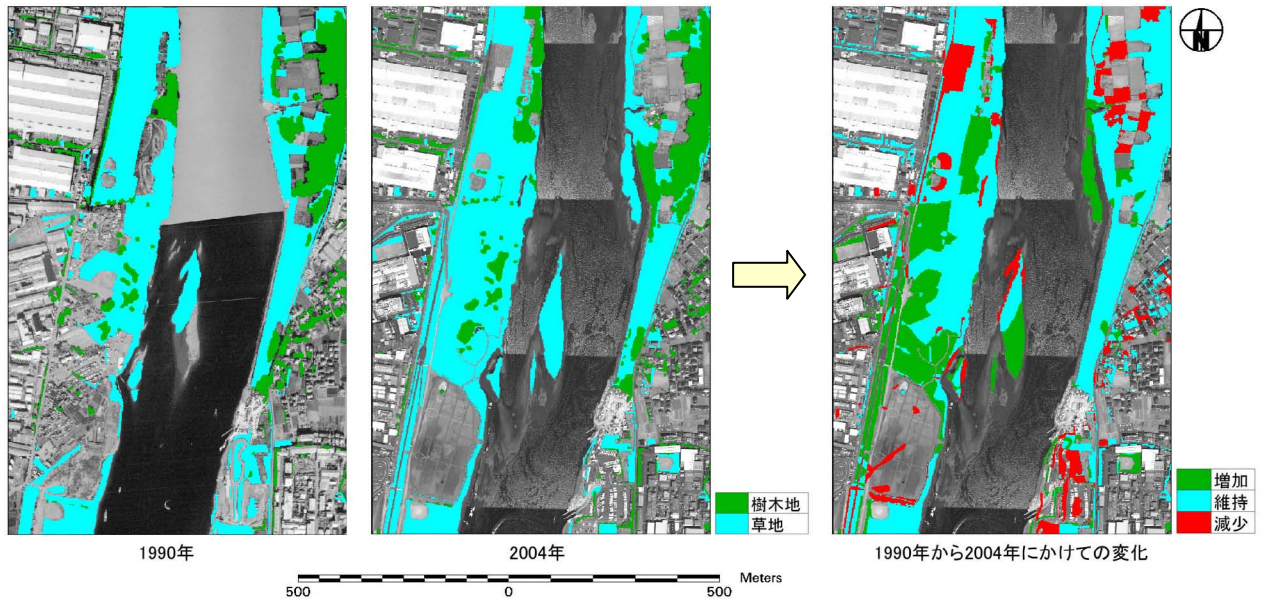


図-2.15 空中写真判読結果 (St. 10)

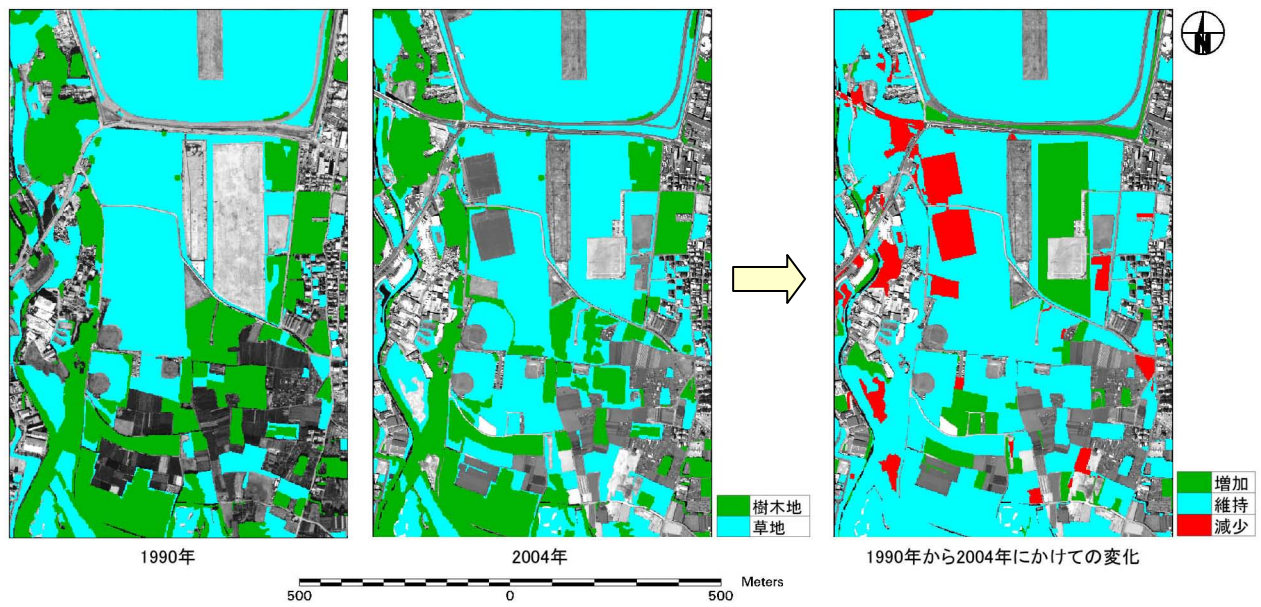


図-2.16 空中写真判読結果 (St. 11)

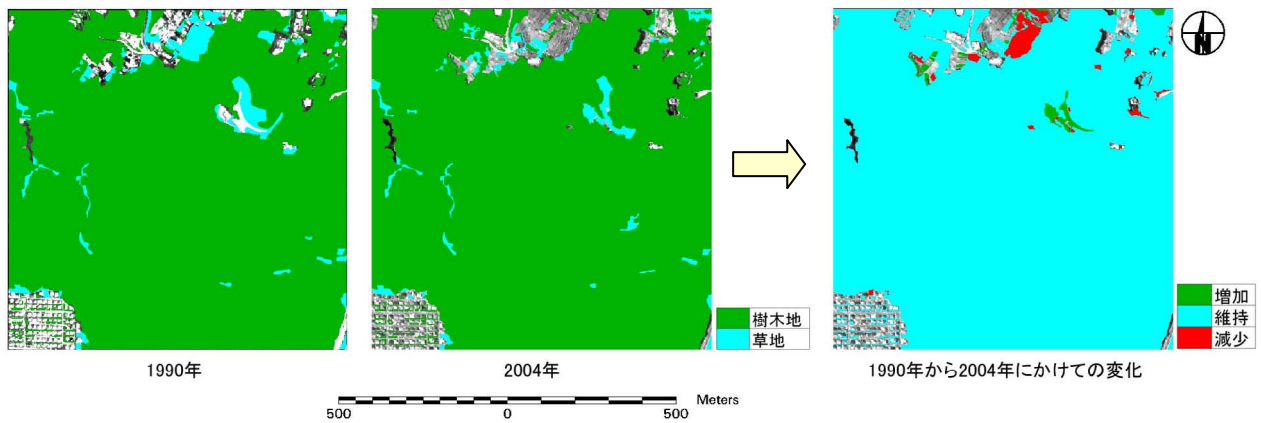


図-2.17 空中写真判読結果 (St. 12)



検証用データの緑地、樹林地面積及び面積変化を表-2.3、に示す。

表-2.3 検証エリアの面積集計結果

年	項目	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9	St.10	St.11	St.12
1990年	樹木地	0.9	60.6	10.4	94.3	3.9	79.8	8.6	76.1	21.5	6.7	22.4	88.2
		<i>0.4</i>	<i>26.9</i>	<i>4.6</i>	<i>41.9</i>	<i>1.8</i>	<i>35.5</i>	<i>3.8</i>	<i>33.8</i>	<i>9.5</i>	<i>3.0</i>	<i>10.0</i>	<i>39.2</i>
	草地	8.9	18.3	8.9	41.4	8.2	20.0	5.2	17.3	4.9	17.2	35.8	4.2
		<i>4.0</i>	<i>8.1</i>	<i>4.0</i>	<i>18.4</i>	<i>3.6</i>	<i>8.9</i>	<i>2.3</i>	<i>7.7</i>	<i>2.2</i>	<i>7.6</i>	<i>15.9</i>	<i>1.8</i>
	農地	0.0	16.7	0.0	23.8	0.0	10.5	0.9	0.7	6.8	7.8	11.1	2.8
		<i>0.0</i>	<i>7.4</i>	<i>0.0</i>	<i>10.6</i>	<i>0.0</i>	<i>4.7</i>	<i>0.4</i>	<i>0.3</i>	<i>3.0</i>	<i>3.5</i>	<i>4.9</i>	<i>1.3</i>
	裸地	44.9	18.7	12.8	19.0	44.8	42.9	4.5	2.1	3.8	7.6	11.1	0.4
		<i>20.0</i>	<i>8.3</i>	<i>5.7</i>	<i>8.5</i>	<i>19.9</i>	<i>19.1</i>	<i>2.0</i>	<i>0.9</i>	<i>1.7</i>	<i>3.4</i>	<i>4.9</i>	<i>0.2</i>
水面	107.4	0.3	0.0	0.2	53.6	0.5	0.1	0.0	0.1	30.6	0.7	0.2	
	<i>47.7</i>	<i>0.1</i>	<i>0.0</i>	<i>0.1</i>	<i>23.8</i>	<i>0.2</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>	<i>13.6</i>	<i>0.3</i>	<i>0.1</i>	
緑地計 (樹+草)	9.8	78.9	19.3	135.7	12.1	99.7	13.8	93.4	26.3	23.9	58.2	92.3	
	<i>4.4</i>	<i>35.1</i>	<i>8.6</i>	<i>60.3</i>	<i>5.4</i>	<i>44.3</i>	<i>6.1</i>	<i>41.5</i>	<i>11.7</i>	<i>10.6</i>	<i>25.9</i>	<i>41.0</i>	
緑被計 (樹+草+農)	9.8	95.7	19.3	159.5	12.1	110.2	14.7	94.0	33.1	31.7	69.3	95.2	
	<i>4.4</i>	<i>42.5</i>	<i>8.6</i>	<i>70.9</i>	<i>5.4</i>	<i>49.0</i>	<i>6.5</i>	<i>41.8</i>	<i>14.7</i>	<i>14.1</i>	<i>30.8</i>	<i>42.3</i>	
2004年	樹木地	1.8	39.4	9.4	56.5	7.0	54.8	6.8	33.3	22.6	7.2	20.2	89.1
		<i>0.8</i>	<i>17.5</i>	<i>4.2</i>	<i>25.1</i>	<i>3.1</i>	<i>24.3</i>	<i>3.0</i>	<i>14.8</i>	<i>10.1</i>	<i>3.2</i>	<i>9.0</i>	<i>39.6</i>
	草地	32.7	19.7	12.5	21.3	25.0	23.4	4.1	34.4	4.3	20.1	40.4	2.8
		<i>14.5</i>	<i>8.7</i>	<i>5.6</i>	<i>9.4</i>	<i>11.1</i>	<i>10.4</i>	<i>1.8</i>	<i>15.3</i>	<i>1.9</i>	<i>8.9</i>	<i>18.0</i>	<i>1.2</i>
	農地	0.0	7.7	0.0	18.9	0.0	8.9	0.3	0.1	3.4	8.3	8.1	3.4
		<i>0.0</i>	<i>3.4</i>	<i>0.0</i>	<i>8.4</i>	<i>0.0</i>	<i>4.0</i>	<i>0.1</i>	<i>0.1</i>	<i>1.5</i>	<i>3.7</i>	<i>3.6</i>	<i>1.5</i>
	裸地	38.3	33.2	19.8	53.4	29.7	34.3	13.8	3.0	2.9	9.6	9.6	0.1
		<i>17.0</i>	<i>14.7</i>	<i>8.8</i>	<i>23.7</i>	<i>13.2</i>	<i>15.2</i>	<i>6.1</i>	<i>1.3</i>	<i>1.3</i>	<i>4.3</i>	<i>4.3</i>	<i>0.0</i>
水面	82.7	0.3	0.4	0.2	36.9	0.8	0.1	0.7	0.1	23.2	0.6	0.2	
	<i>36.8</i>	<i>0.1</i>	<i>0.2</i>	<i>0.1</i>	<i>16.4</i>	<i>0.4</i>	<i>0.0</i>	<i>0.3</i>	<i>0.0</i>	<i>10.3</i>	<i>0.3</i>	<i>0.1</i>	
緑地計 (樹+草)	34.5	59.0	21.9	77.7	32.0	78.2	10.9	67.7	27.0	27.4	60.6	91.9	
	<i>15.3</i>	<i>26.2</i>	<i>9.8</i>	<i>34.5</i>	<i>14.2</i>	<i>34.7</i>	<i>4.8</i>	<i>30.1</i>	<i>12.0</i>	<i>12.2</i>	<i>26.9</i>	<i>40.8</i>	
緑被計 (樹+草+農)	34.5	66.7	21.9	96.6	32.0	87.1	11.2	67.8	30.4	35.7	68.7	95.3	
	<i>15.3</i>	<i>29.6</i>	<i>9.8</i>	<i>42.9</i>	<i>14.2</i>	<i>38.7</i>	<i>5.0</i>	<i>30.1</i>	<i>13.5</i>	<i>15.8</i>	<i>30.5</i>	<i>42.3</i>	
増減	樹木地	0.9	-21.2	-1.0	-37.8	3.0	-25.0	-1.8	-42.8	1.2	0.6	-2.3	0.9
		<i>0.4</i>	<i>-9.4</i>	<i>-0.4</i>	<i>-16.8</i>	<i>1.4</i>	<i>-11.1</i>	<i>-0.8</i>	<i>-19.0</i>	<i>0.5</i>	<i>0.2</i>	<i>-1.0</i>	<i>0.4</i>
	草地	23.8	1.3	3.6	-20.1	16.8	3.4	-1.0	17.1	-0.5	2.9	4.6	-1.4
		<i>10.6</i>	<i>0.6</i>	<i>1.6</i>	<i>-9.0</i>	<i>7.5</i>	<i>1.5</i>	<i>-0.5</i>	<i>7.6</i>	<i>-0.2</i>	<i>1.3</i>	<i>2.1</i>	<i>-0.6</i>
	農地	0.0	-9.1	0.0	-5.0	0.0	-1.6	-0.6	-0.6	-3.4	0.5	-3.0	0.6
		<i>0.0</i>	<i>-4.0</i>	<i>0.0</i>	<i>-2.2</i>	<i>0.0</i>	<i>-0.7</i>	<i>-0.3</i>	<i>-0.2</i>	<i>-1.5</i>	<i>0.2</i>	<i>-1.3</i>	<i>0.2</i>
	裸地	-6.7	14.5	7.0	34.4	-15.1	-8.7	9.3	0.9	-0.9	2.0	-1.5	-0.3
		<i>-3.0</i>	<i>6.4</i>	<i>3.1</i>	<i>15.3</i>	<i>-6.7</i>	<i>-3.8</i>	<i>4.1</i>	<i>0.4</i>	<i>-0.4</i>	<i>0.9</i>	<i>-0.6</i>	<i>-0.1</i>
水面	-24.7	0.0	0.4	0.0	-16.7	0.3	0.0	0.6	0.0	-7.4	-0.1	0.0	
	<i>-11.0</i>	<i>0.0</i>	<i>0.2</i>	<i>0.0</i>	<i>-7.4</i>	<i>0.1</i>	<i>0.0</i>	<i>0.3</i>	<i>0.0</i>	<i>-3.3</i>	<i>-0.1</i>	<i>0.0</i>	
緑地計 (樹+草)	24.7	-19.9	2.7	-58.0	19.8	-21.6	-2.8	-25.7	0.6	3.5	2.4	-0.4	
	<i>11.0</i>	<i>-8.8</i>	<i>1.2</i>	<i>-25.8</i>	<i>8.8</i>	<i>-9.6</i>	<i>-1.3</i>	<i>-11.4</i>	<i>0.3</i>	<i>1.5</i>	<i>1.1</i>	<i>-0.2</i>	
緑被計 (樹+草+農)	24.7	-29.0	2.7	-62.9	19.8	-23.2	-3.4	-26.2	-2.7	4.0	-0.6	0.1	
	<i>11.0</i>	<i>-12.9</i>	<i>1.2</i>	<i>-28.0</i>	<i>8.8</i>	<i>-10.3</i>	<i>-1.5</i>	<i>-11.7</i>	<i>-1.2</i>	<i>1.8</i>	<i>-0.3</i>	<i>0.1</i>	

上段:面積(ha)  
下段:面積率(%)

## 2.3 前処理

### (1) 幾何補正

LANDSAT や ASTER などの中分解能衛星のオリジナルデータは、地理的な歪みを生じているため、幾何補正処理により歪みを除去した。

ここでは、画像上で取得した GCP (Ground Control Point : 地上基準点) における画像座標と地図座標の対応関係から、最小二乗法によって近似的に座標変換式を決定する非系統的補正方法を用いた。補正には、国土地理院発行の数値地図 25000 (地図画像) を参照し、幾何補正に伴う画像の誤差が 1.0 画素未満になるように調整した。

次に、GCP の画像座標値と地図座標値から求めた座標変換式を用いて、画素の再配列を行った。画素の再配列法は、分類処理による緑地、樹林地の抽出を試みるため、元の画素値を保持する最近隣内挿法 (Nearest Neighbor) を適用した。なお、再配列後のピクセルサイズは 30m×30m とした。

幾何補正に関するパラメータを表-2.4 に示す。

表-2.4 幾何補正パラメータ

	LANDSAT/TM (1990.11.05) (107-35)	LANDSAT/TM (1990.11.05) (107-36)	LANDSAT/TM (2004.11.27)	ASTER (2005.04.28)
GCP 数	34	27	28	22
RMSE	0.839	0.752	0.494	0.702
内挿法	最近隣内挿法 (Nearest Neighbor Method)			
ピクセルサイズ	30m × 30m			15m × 15m
座標系	公共座標系第IX系 (日本測地系)			

### (2) 反射率変換

LANDSAT データに記録されている DN 値 (Digital Number) には、観測時期によって異なるセンサの感受特性が含まれている。通常解析では、観測された DN 値をそのまま使い、相対的なスペクトル特性から分類処理や回帰分析を行うことが多いが、経年比較や異なるセンサ間での比較を行う場合には、センサの感受特性を補正する必要がある。

そこで、入手した全ての LANDSAT データに対し、DN 値から放射輝度 (Radiance) を計算し、さらに反射率 (Reflectance) に変換する処理を行った。

各データの反射率変換式及びパラメータを表-2.5~表-2.8 に示す。

なお、2.6.3 で用いる ASTER データは反射率変換補正の行われているデータを入力して使用した。

表-2.5 反射率変換式

放射輝度変換式 <sup>2)</sup> (LANDSAT/TM) (1990.11.05)	$R = (L \max - L \min) \div 255 \times DN + L \min$ <p>R : 放射輝度値 Lmax : バンド別の最大放射輝度(表-2.6参照) Lmin : バンド別の最小放射輝度(表-2.6参照) DN : DN値</p>
放射輝度変換式 <sup>2)</sup> (LANDSAT/TM) (2004.11.27)	$R = \frac{\{(L \max \div 254) - (L \min \div 255)\} \div DN + L \min}{W}$ <p>R : 放射輝度値 Lmax : バンド別の最大放射輝度(表-2.7参照) Lmin : バンド別の最小放射輝度(表-2.7参照) DN : DN値 W : バンド幅(表-2.7参照)</p>
放射輝度-反射率 変換式 <sup>2)</sup>	$\rho = \frac{\pi \times R \times d^2}{E_{sun} \lambda \times \cos \theta}$ <p><math>\rho</math> : 反射率 R : 放射輝度値 d : 地球と太陽の距離 <math>E_{sun} \lambda</math> : バンド別の太陽放射量(表-2.8参照) <math>\theta</math> : 衛星通過時の太陽天頂角</p>

表-2.6 各バンドの Lmax、Lmin の値  
(1990. 11. 05 観測 LANDSAT)

バンド	Lmin	Lmax
TM1	-0.150	15.210
TM2	-0.280	29.680
TM3	-0.120	20.430
TM4	-0.150	20.620
TM5	-0.037	2.719
TM6	-0.1238	1.560
TM7	-0.015	1.438

表-2.7 各バンドの Lmax、Lmin、W の値  
(2004. 11. 27 観測 LANDSAT)

バンド	Lmin	Lmax	W
TM1	-0.016946	1.059476	0.066
TM2	-0.041805	2.611919	0.082
TM3	-0.026226	1.639662	0.067
TM4	-0.059251	2.949823	0.128
TM5	-0.016548	0.683888	0.217
TM6	0.12378	1.52431	1.000
TM7	-0.008528	0.424707	0.252

表-2.8 各バンドの太陽放射量

バンド	LANDSAT-5/TM
1	1957.00
2	1829.00
3	1557.00
4	1047.00
5	219.30
7	74.52

単位:  $W/m^2 \cdot \mu m$

### (3) 地形補正

LANDSAT 等の受動型光学センサで観測されたデータは、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。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。

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。バンド間演算は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<sup>3)4)</sup>。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、幾何学的手法と比較して補正効果が低いとされている<sup>5)</sup>。幾何学的手法は、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<sup>6)</sup>。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<sup>7)</sup>。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<sup>8)9)10)</sup>。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<sup>11)</sup>。

そこで、第 2 章及び第 3 章では、Minnaert 法を適用して地形補正を行った。地形補正の流れを図-2.18 に示す。

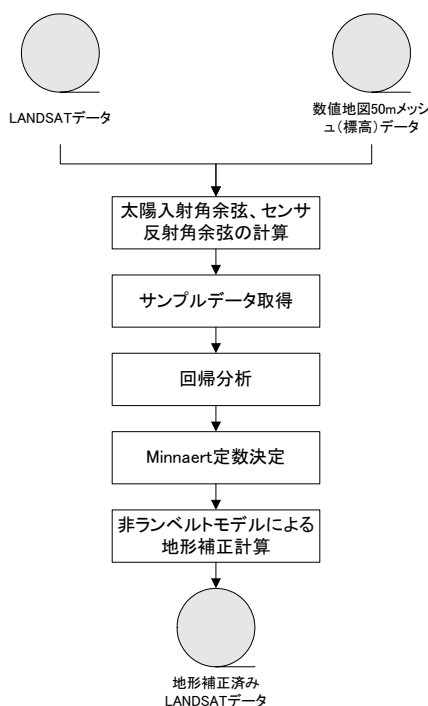


図-2.18 地形補正の流れ

Minnaert 法は以下のモデル式で表現されている。

$$Dc = \frac{Do \times \cos \varepsilon}{(\cos i \times \cos \varepsilon)^k}$$

Dc : 補正後のデータ値

Do : 補正前のデータ値

i : 太陽入射角

$\varepsilon$  : センサ反射角

k : Minnaert 定数

太陽入射角は以下の式で求められる。

$$\cos i = \cos \theta \times \cos e + \sin \theta \times \sin e \times \cos(\Phi - A)$$

e : 斜面傾斜角

$\Phi$  : 斜面方位

$\theta$  : 太陽天頂角

A : 太陽方位角

センサ反射角は以下の式で求められる。

$$\cos \varepsilon = \cos \Gamma \times \cos e + \sin \Gamma \times \sin e \times \cos(\Phi - \psi)$$

e : 斜面傾斜角

$\Phi$  : 斜面方位

$\Gamma$  : センサ天頂角

$\psi$  : センサ方位角

Minnaert 定数は、以下のように両辺対数変換することにより、直線回帰式の傾きとして求められる。

$$\ln(Do \times \cos \varepsilon) = k \times \ln(\cos i \times \cos \varepsilon) + \ln(Dc)$$

したがって、Minnaert 定数 k を決定するために、補正前の LANDSAT データの反射率、太陽入射角の余弦、センサ反射角の余弦をサンプリングし、回帰分析を行った。

サンプルは、さまざまな地形条件を偏りなく網羅できるように、補正前の衛星データと地形データを並べて表示し、さまざまな方位の斜面について土地被覆や樹種の違いを受けない均質なエリアを目視判読し、そこに含まれる画素をサンプルとした。なお、それぞれの LANDSAT データにおけるサンプル数は 600~1,000 となり、そのサンプルを基に求めた回帰分析結果を図-2.19~図-2.20 に示し、得られた Minnaert 定数を表-2.9 に示す。

表-2.9 Minnaert 定数

バンド	LANDSAT-5/TM (1990.11.05)	LANDSAT-5/TM (2004.11.27)
1	0.0313	0.0198
2	0.1056	0.0942
3	0.1523	0.1508
4	0.427	0.5502
5	0.5633	0.6379
7	0.7548	0.7207

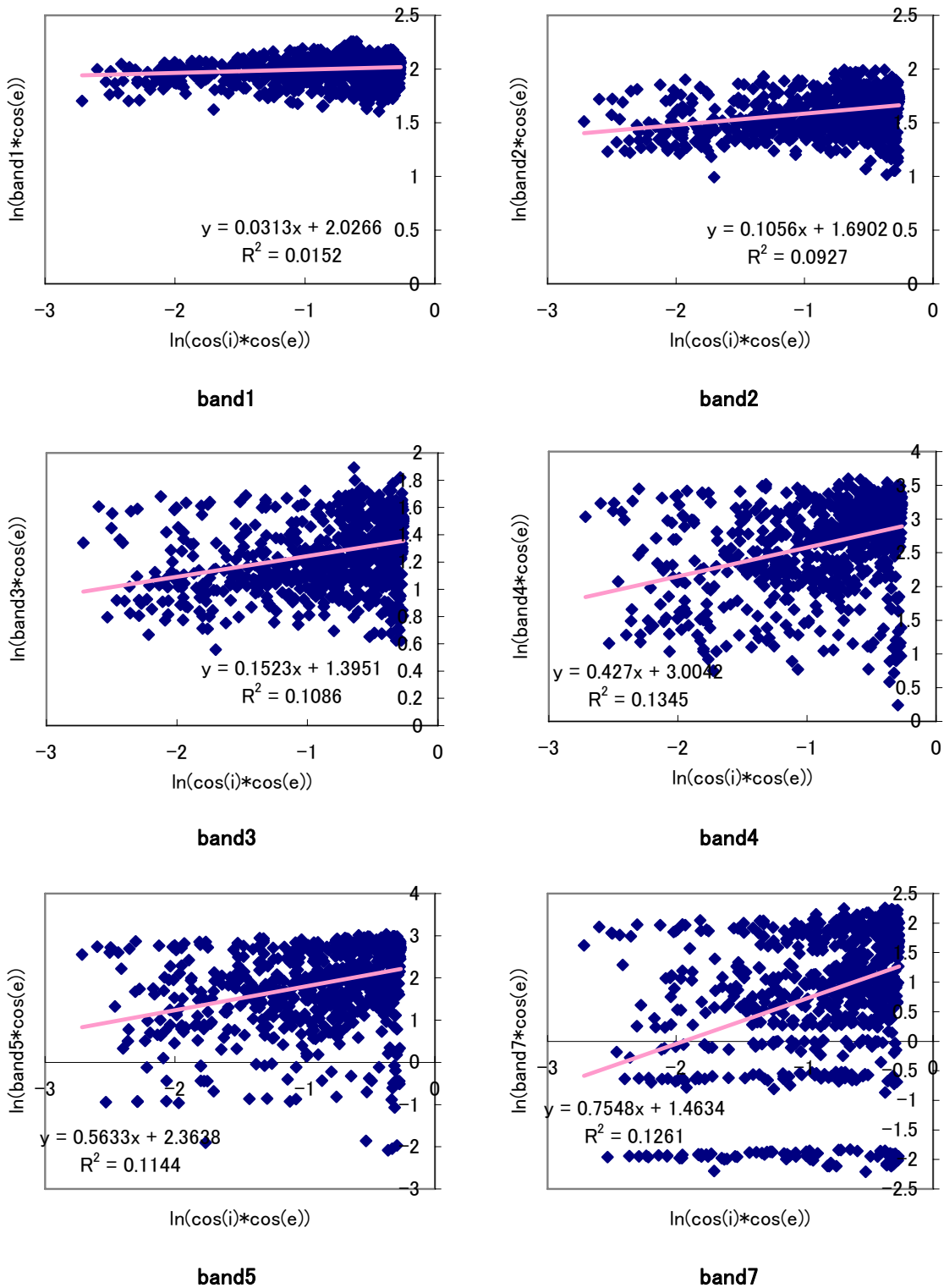


図-2.19 Minnaert 定数を求めるための回帰分析結果 (1990. 11. 05 観測 LANDSAT)

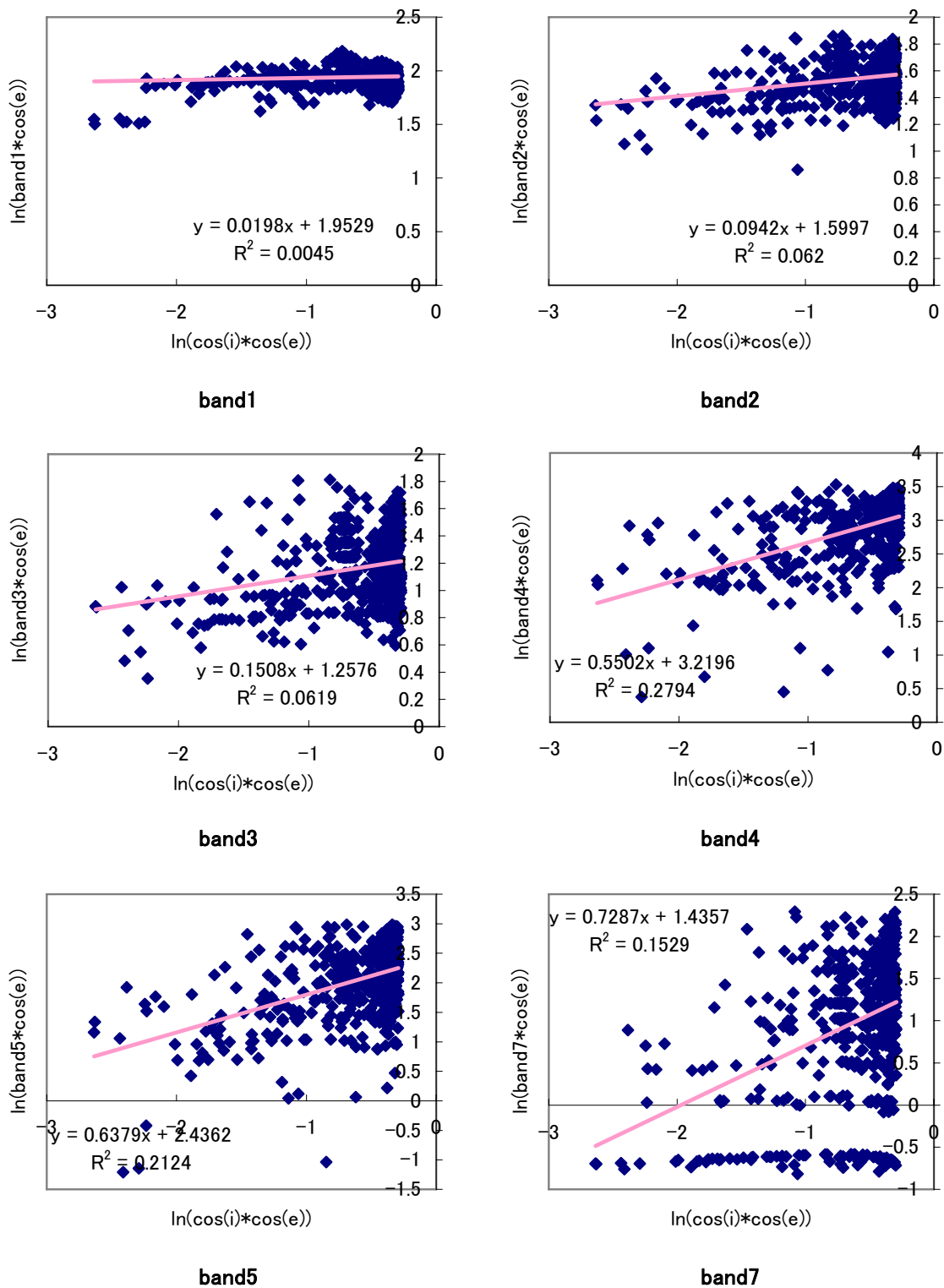
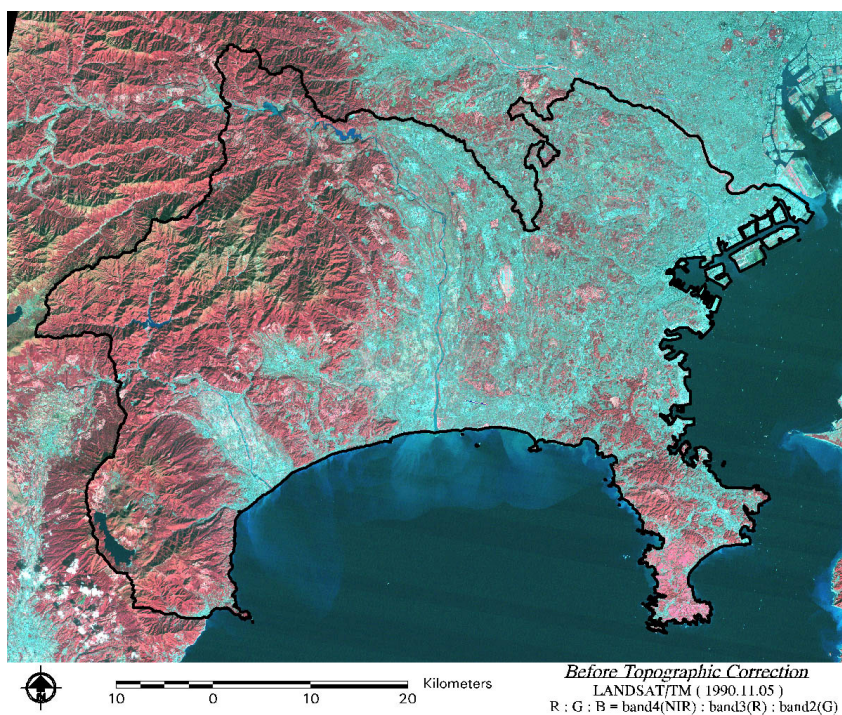
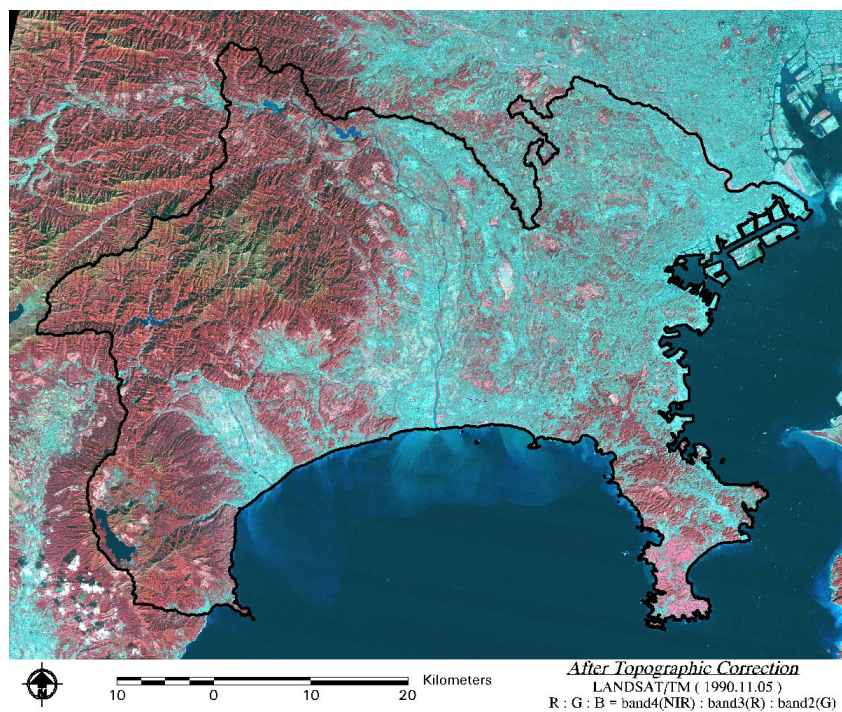


図-2.20 Minnaert 定数を求めるための回帰分析結果 (2004. 11. 27 観測 LANDSAT)

地形補正前後の LANDSAT 画像(1990.11.05)を図-2.21 に同(2004.11.27)を図-2.22 に示す。この図より、地形補正による陰影の平滑化に一定の効果があることがわかる。



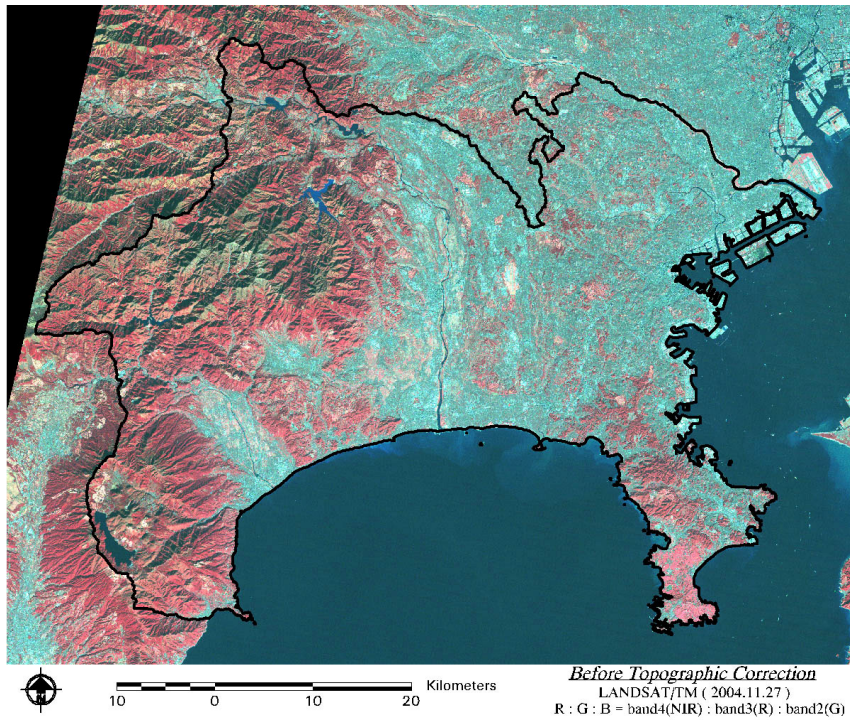
(a) 地形補正前



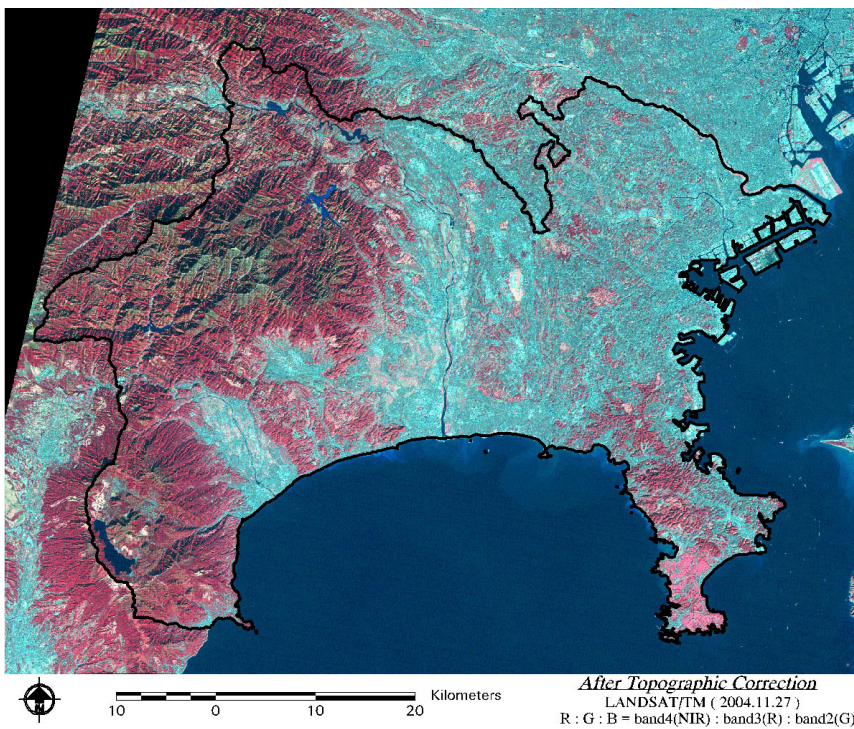
(b) 地形補正後

図-2.21 地形補正前後の LANDSAT 画像 (1990.11.05 観測)





(c) 地形補正前



(d) 地形補正後

図-2.22 地形補正前後の LANDSAT 画像 (2004. 11. 27 観測)

## 2.4 画像分類手法の整理と検討手法の設定

LANDSAT 等のリモートセンシングデータから緑地や樹林地といった目的とする情報を抽出するためには、画像分類手法を適用する必要がある。画像分類手法は一般的なものから研究段階にあるものまで多岐にわたっており、目的とする情報抽出に適した分類手法を見出すことが重要である。

効果的な分類手法を選択するためには、代表的な画像分類手法を整理する必要がある。そこで、緑地や樹林地の抽出を念頭におき、文献、書籍等を参考にして代表的な画像分類手法をまとめ、その特徴を整理した。結果を表-2.10 に示す。

表-2.10 代表的な画像分類手法<sup>12)13)</sup>

処理手法		処理内容	メリット	デメリット	
ピクセルベース分類	バンド間演算	植生指標 近赤外域データを含むバンド間演算処理。最も代表的な植生指標は、近赤外域と赤色域の比演算によるNDVI(正規化植生指標)。植生の活性度や緑被率と関連性があるといわれている。	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般的に用いられている。</li> <li>処理が簡便。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>樹林地と草地を分けることが難しい。</li> </ul>	
	教師つき分類	最尤法	各クラスに対する画素データの尤度を求め、尤度最大のクラスにその画素を分類する方法。	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般的に用いられている。</li> <li>樹林地と草地の区分が可能。</li> <li>分類結果が確率統計的な意味を持つ。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>分類教師(トレーニングデータ)が必要。</li> </ul>
		最短距離法	画素データと分類クラスの特徴との類似度を特徴空間における距離で表し、距離の最も短いクラスに画素データを分類する手法。	<ul style="list-style-type: none"> <li>比較的一般的に用いられている。</li> <li>樹林地と草地の区分が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>分類教師(トレーニングデータ)が必要。</li> </ul>
		マルチレベルスライス	多次元の特徴空間(バンド)を各軸上に設定された値域によって分割することで分類する方法。閾値の設定はサンプリングによる方法と経験的な方法がある。分割によって得られた多次元直方体が各分類クラスに対応する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>処理が簡便。</li> <li>樹林地と草地の区分が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>分類教師(トレーニングデータ)が必要。</li> <li>事前に主成分分析が必要な場合がある。</li> </ul>
		デシジョンツリー法	各画素の特徴値を設定された基準値と、階層的に次々と比較することで分類する手法。	<ul style="list-style-type: none"> <li>処理が簡便。</li> <li>樹林地と草地の区分が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事前に各分類クラスの特徴を分析し、決定木を構築する必要がある。</li> </ul>
	教師なし分類	クラスタリング	特徴の類似したデータを"似たもの同士"としてグループ(クラスタ)化する手法。	<ul style="list-style-type: none"> <li>分類教師(トレーニングデータ)を必要としない。</li> <li>樹林地と草地の区分が可能。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>分類後に各クラスの意味づけが必要になる。</li> </ul>
ミクセル分解(カテゴリ分解)		1画素の中に複数のカテゴリが混在している画素(ミクセル)に着目した分類法。ミクセルの画素値が、構成する各カテゴリの画素値の線形結合によって表現されるという「線形ミクセルモデル」によって画素内の占有面積比率を求める手法が主流。	<ul style="list-style-type: none"> <li>原理的に、1画素より小さいスケールの対象物を捉えられる可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>事前に構成するカテゴリ(エンドメンバー)を設定し、ピュアピクセルの画素値を分析する必要がある。</li> </ul>	

表-2.10 に基づき、本研究の目的である樹林地と草地を判別する可能性のある手法の選定を行った。選定の流れを図-2.23 に示す。

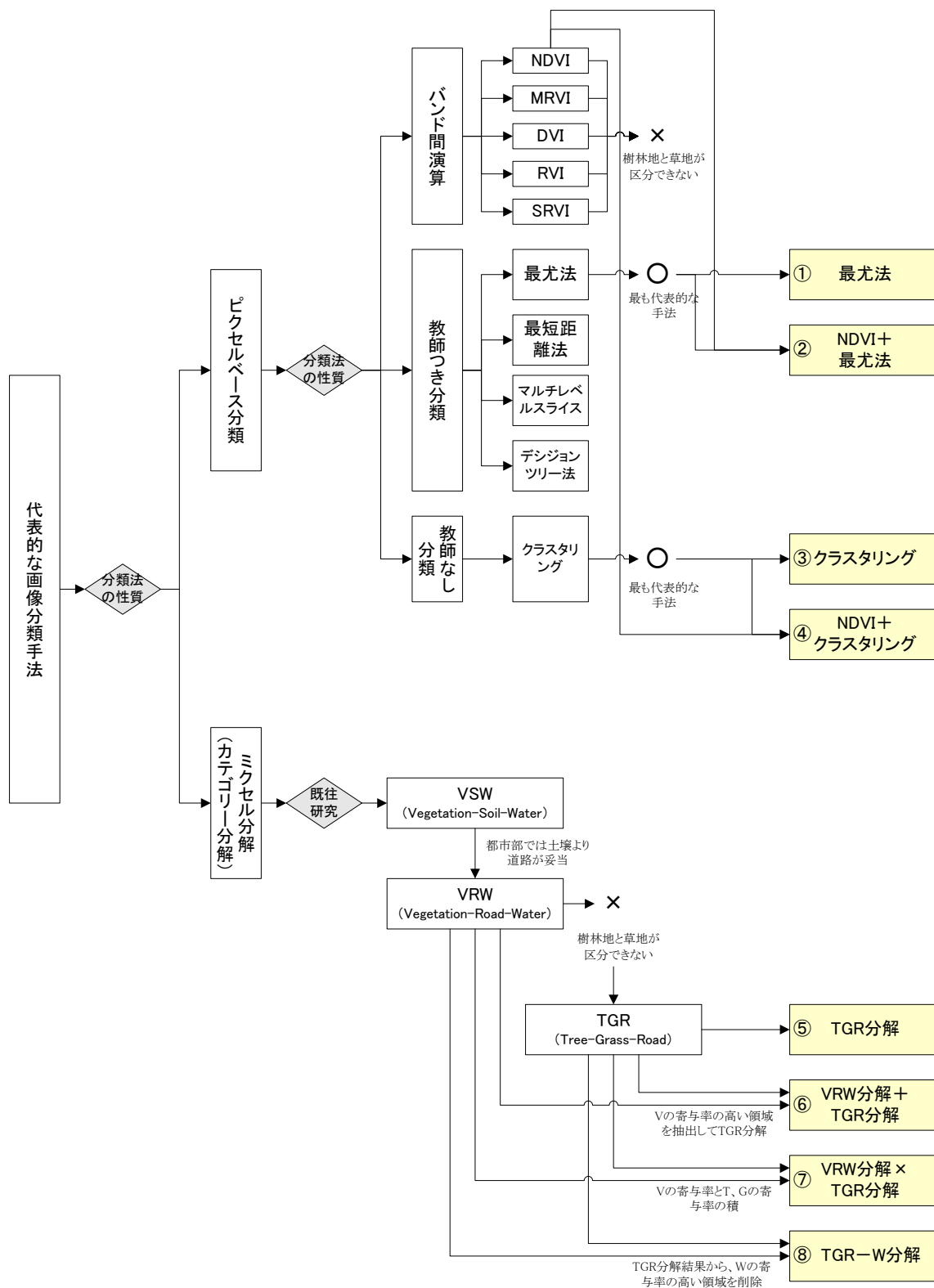


図-2.23 検討手法選定の流れ

画像分類手法は、ピクセルベースの分類手法とミクセル (図-2.24) を考慮した分類手法に大別される。ピクセルベースの分類手法は、各画素を対象物に該当するか否かに区分する手法で、分類の最小単位は1画素の大きさとなる。

ピクセルベースの分類手法は、バンド間演算、教師つき分類、教師なし分類に分けられる。バンド間演算は、異なる波長帯域 (バンド) のデータ間で差演算や比演算、正規化を行うことによって対象物を抽出しようとする処理で、代表的なものとして植生指標があげられる。植生指標は、近赤外域データを含むバンド間演算で、植生の活性度や緑被率と関連性があると言われており、下記のような指標が提唱されている。

- NDVI (Normalized Differential Vegetation Index)

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (\text{Rouse et al. (1973)}^{14})$$

- MRVI (Modified Ratio Vegetation Index)

$$MRVI = \frac{NIR}{NIR + R + G + B} \quad (\text{尹・梅干野 (1998)}^{15})$$

- DVI (Difference Vegetation Index)

$$DVI = NIR - R \quad (\text{Richardson and Everitt (1992)}^{16})$$

- RVI (Ratio Vegetation Index)

$$RVI = \frac{NIR}{R} \quad (\text{Jordan (1969)}^{17})$$

- SRVI (Square Root Vegetation Index)

$$SRVI = \sqrt{\frac{NIR}{R}} \quad (\text{尹・梅干野 (1998)}^{15})$$

このうち、最も一般的に用いられているのが NDVI で、都市緑地に対しても多くの実用事例がある<sup>18)19)</sup>。しかし、樹林地と草地を含めた植生被覆域の抽出に限定され、NDVIのみから樹林地と草地を区分するのは困難である。

教師つき分類は、あらかじめ対象物の明らかな画像中の領域 (トレーニングエリア) からデータ (トレーニングデータ) を抽出し、母集団の特徴 (統計量) を推定してから分類処理を行う方法である。代表的なものとして最尤法 (図-2.25)、最短距離法 (図-2.26)、マルチレベルスライス (図-2.27)、デシジョンツリー法 (図-2.28) などがあげられ、最尤法が最も一般的に用いられている。また、教師つき分類は、事前に対象物として樹林地と草地を設定することにより、樹林地と草地の区分が可能である。

教師なし分類は、事前にトレーニングデータを得ずに、無作為にサンプリングされた画素データを統計的にみて比較的等質と考えられるグループに分割し、それぞれを分類クラスとする方法である。代表的なものとしてクラスタリング (図-2.29) があげられ、頻繁に用いられている。クラスタリングは分類後に各クラスの意味づけが必要になるが、樹林地

と草地の区分が可能である。

以上より、ピクセルベースの分類手法では、樹林地と草地を区分できる分類法として、教師つき分類では最尤法、教師なし分類ではクラスタリングが代表的な手法としてあげられる。また、これらは、これまでの研究により非植生被覆域を大まかに分けた上で最尤法ないしクラスタリング処理を施すことの有効性が示してきた<sup>20)</sup>。

そこで、本研究で試行するピクセルベースの分類手法として、

- ① 最尤法
- ② NDVIによる大区分+最尤法
- ③ クラスタリング
- ④ NDVIによる大区分+クラスタリング

の4手法を設定し、適用性を検討した。

一方、ミクセルを考慮した分類手法は、「ミクセル分解（カテゴリー分解）」と総称されることが多い。ミクセル分解は1画素の中に複数のカテゴリーが混在している画素（ミクセル）に着目した分類法で、ミクセルの画素値が、構成する各カテゴリーの画素値の線形結合によって表現されるという「線形ミクセルモデル（図-2.30）」によって画素内の占有面積比率を求める手法が主流である。ミクセル分解は、事前に構成するカテゴリー（エンドメンバー）を設定し、ピュアピクセルの画素値を分析する必要がある。既往研究では、農地や森林域を対象に、VSW指数<sup>21)</sup>やパターン展開法<sup>22)</sup>などが提唱されており、これらの手法ではエンドメンバーとして、植生（Vegetation）- 土壌（Soil）- 水（Water）が設定されている。植生、土壌、水は、農地や森林域においては構成比率の高い土地被覆項目であり、エンドメンバーとしての妥当性は高いが、都市部においては土壌の構成比率は低く、植生（Vegetation）- 道路（Road）- 水（Water）（以下、「VRW」）というエンドメンバーが妥当であると考えられる。

しかしながら、エンドメンバーVRWでは、樹林地と草地に区分することができない。そこで、樹木（Tree）- 草地（Grass）- 道路（Road）（以下、「TGR」）というエンドメンバーを設定し、樹林地と草地の区分が可能か検討することとした。また、ピクセルベースの分類と同様、2種のミクセル分解を組み合わせることで分類精度が向上する可能性が想定される。そこで、TGR分解とVRW分解を併用する手法も検討対象とした。

以上より、本研究で試行するミクセル分解手法として、

- ⑤ TGR分解
- ⑥ VRW分解による大区分+TGR分解（VRW分解+TGR分解）
- ⑦ VRW分解によるVの寄与率とTGR分解によるT、Gの寄与率の積（VRW分解×TGR分解）
- ⑧ TGR分解結果からVRW分解によるWの寄与率の高い領域を削除（TGR-W分解）

の4手法を設定し、適用性を検討した。

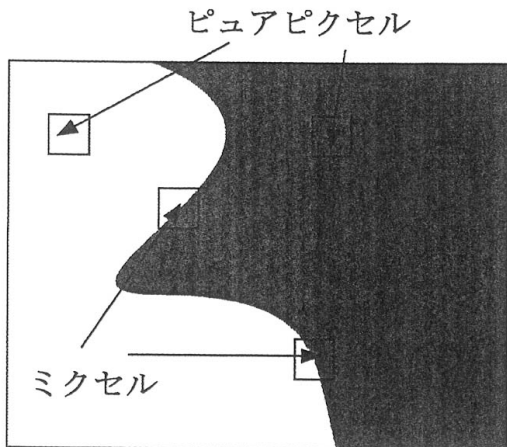


図-2.24 ピュアピクセルとミクセル<sup>13)</sup>

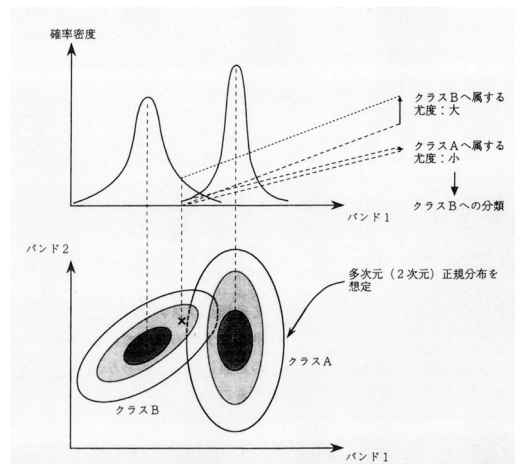


図-2.25 最尤法の概念<sup>12)</sup>

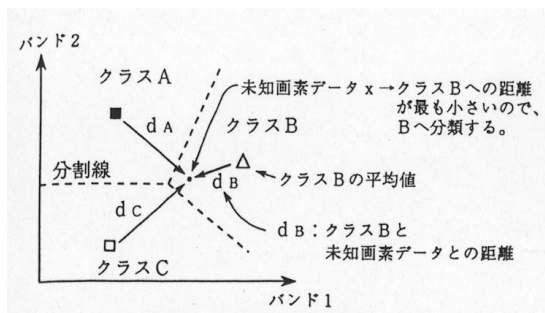


図-2.26 最短距離法の概念<sup>12)</sup>

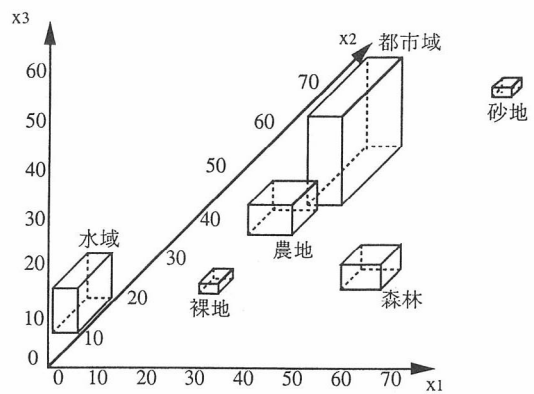


図-2.27 マルチレベルスライスの概念<sup>12)</sup>

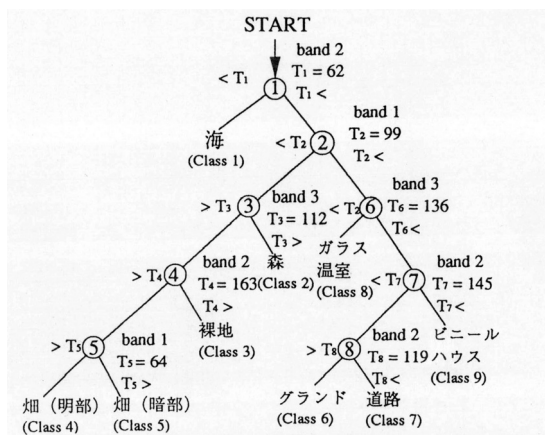


図-2.28 デジジョンツリー法の概念<sup>12)</sup>

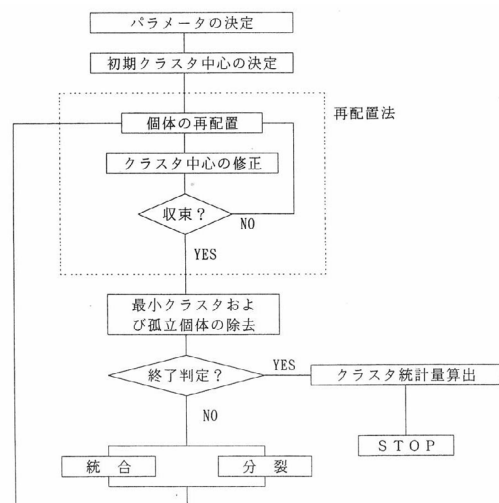


図-2.29 クラスタリングの概念<sup>12)</sup>

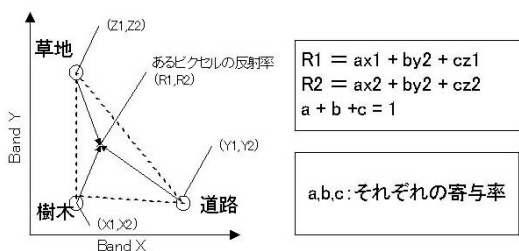


図-2.30 線形ミクセルモデルの概念