ISSN 1346-7328
国総研資料 第436号
平 成 2 0 年 3 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 436 March 2008

中分解能衛星画像による緑地の変遷解析手法に関する研究

緑化生態研究室

A study on the change analysis method of urban green coverage using middle-resolution satellite data

Landscape and Ecology Division

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Tourism, Japan

国土技術政策総合研究所資料　　Technical Note of NILIM
第 436 号　　2008 年 3 月　　No.436　　March 2008

中分解能衛星による緑地の変遷解析手法に関する研究

松　江　正　彦*、影　本　信　明**

A study on the change analysis method of urban green coverage using middle-resolution satellite data

Masahiko Matsue*,　Nobuaki Kagemoto**

概要

全国規模でのデータ入手が可能な中分解能衛星データに着目し、効率的・効果的に緑地の変遷を把握する技術手法を精度、作業量を確認しながら開発・整理することを目的として研究を実施した。特に、都市域において行われている緑化等により増加した個々の樹林地の変遷が、確実に把握できるレベルまで精度を高めるための技術開発を行うことを目的として研究を実施した。その結果、精密幾何補正や影の除去による検討等により、全国ベースでも３０％以内の誤差で緑地の増加・減少を把握することが可能となった。

キーワード：LANDSAT、ASTER、ALOS、地球温暖化、京都議定書、都市の緑地

Synopsis

In this study, we developed and arranged the technique which efficiently and effectively grasped the urban green change while accuracy and workload are confirmed. For this purpose, we used middle resolution satellite data, when the data procurement in the national scale is possible. The study was carried out for the purpose of developing technology in order to raise the accuracy. As the result, it became possible that increase and decrease of urban green were grasped by detail geometric correction and removal of the shadow at the error within 30%.

Key words: LANDSAT, ASTER, ALOS, global warming, Kyoto Protocol , urban green coverage,

＊ 環境研究部　緑化生態研究室室長　　Head, Landscape and Ecology Division
**環境研究部　緑化生態研究室主任研究官　　Senior Researcher, Landscape and Ecology Division

はじめに

地球温暖化問題は現代社会が直面する最も深刻な環境問題の一つである。2005（平成 17）年 2 月 16 日には京都議定書が発効し、第一約束期間（2008 年～2012 年）に向けて各国が温室効果ガス削減に取り組んでいる。

京都議定書では森林等の吸収源（シンク）による温室効果ガスの吸収量を削減目標の達成に用いることが認められており、都市緑化等も吸収源としての期待が寄せられている。

都市緑化等は、2001 年の COP7（マラケシュ）で国際的に合意された京都議定書の運用細則において、3 条 4 項に示された「追加的人為的活動」の一つの「植生回復（revegetation）」に位置づけられると考えられている。植生回復とは、「0.05ha 以上の植生回復を行うことによって炭素蓄積量を増加させる直接人為的な活動。ただし、当該活動は、1990 年 1 月 1 日以降に開始され、新規植林、再植林の定義に当てはまらないもののみに限定される。」と定義されている。

また、第一約束期間に提出する温室効果ガス排出・吸収目録（以下、「インベントリ」）を作成するためには、IPCC ガイドライン及び「土地利用、土地利用変化及び林業に係るグッドプラクティスガイダンス」（以下、「LULUCF-GPG」）で定められた方法に従う必要があり、透明で検証性のある算定方法やデータが要求されている。この LULUCF-GPG では、森林（Forest land）、農地（Cropland）、草地（Grassland）、湿地（Wetland）、開発地（Settlements）、その他の土地（other land）の 6 つの土地利用カテゴリーが定義されているが、植生回復は開発地における活動が中心とされており、都市域はこの開発地に属するとされている。

植生回復の基準年が 1990 年であること、透明で検証性のある算定方法やデータが求められていることなどを鑑みると、地球観測衛星データや各種地理情報の利用性は高いと考えられる。しかしながら、具体的な算定方法やデータの解析方法については、森林等については進んでいるが、開発地の植生回復に関しては、未だ検討段階にあり、第一約束期間あるいはそれ以降の対応に向けて早急にとりまとめていく必要がある。

そこで本研究では、全国でのデータ入手が可能な中分解能衛星データに着目し、効率的・効果的に緑地の変遷を把握する技術手法を精度、作業量を確認しながら開発・整理することを目的として実施した。

本研究の成果が、全国における樹林地の変遷把握のみならず、各自治体等の行う樹林地の変遷把握等の一助になれば幸いである。

平成 20 年 3 月

国土交通省国土技術政策総合研究所
環境研究部　緑化生態研究室長
松江　正彦

目 次

１．研究概要 ---------- 1
1.1 研究目的と研究項目---------- 1
1.2 研究対象地域 ---------- 3
1.3 使用データ ---------- 4
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---------- 5
2.1 概要 ---------- 5
2.2 空中写真判読による検証用データの作成---------- 6
2.3 前処理 ---------- 14
2.4 画像分類手法の整理と検討手法の設定---------- 22
2.5 検証エリアでの試行と検討手法の評価---------- 27
2.6 緑地、樹林地抽出---------- 66
３．異なる年の中分解能衛星データによる緑地、樹林地の変遷の解析 ---------- 85
3.1 概要 ---------- 85
3.2 緑地、樹林地の変遷の抽出手法---------- 86
3.3 緑地、樹林地の変遷解析結果 ---------- 87
3.4 抽出精度の確認 ---------- 90
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---------- 95
4.1 概要 ---------- 95
4.2 空中写真判読による検証用データの作成---------- 96
4.3 精密幾何補正の検討---------- 99
4.4 影の影響の除去に関する検討 ---------- 109
4.5 樹林地の増加面積把握手法の開発---------- 113
4.6 検証エリアにおける試行---------- 117
4.7 抽出精度の確認と評価---------- 129
５．LANDSAT と ALOS データを使った樹林地変遷の解析---------- 141
5.1 概要 ---------- 141
5.2 解析方法---------- 142
5.3 衛星データの処理解析---------- 143
5.4 検証エリアにおける試行結果---------- 151
5.5 抽出精度の確認と評価---------- 161
６．まとめ---------- 173
参考文献---------- 177
衛星データ処理マニュアル

１．研究概要

1.1 研究目的と研究項目

本研究は、京都議定書等の報告で対象となっている 1990 年以降における、特に都市域を対象とした樹林地の変遷を把握するための手法を開発・整理することを目的として実施したものである。開発を進めるに当たっては、1990 年時点のデータを有し、かつ全国でのデータ入手が可能な中分解能衛星データに着目し、このデータを用いて、一定の精度を確保しつつ、効率的・効果的に緑地の変遷を把握できるような実現性のある技術とすることを着眼点とした。

なお検討は次の 5 項目からなり、その概要は以下の通りである。

（１）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（第 2 章）

1990 年時点のデータを入手できる LANDSAT データと同時期撮影の空中写真を比較することにより、緑地及び樹林地判別の精度を分析した。

LANDSAT データによる緑地、樹林地の抽出手法は、既往文献等を基に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と、ミクセル分解から 8 種の方法を選出し、判別精度を確認しながら最も有効な手法の絞り込みを行った。

LANDSAT データと空中写真の比較は、調査対象地である神奈川県内に設けた 12 箇所の検証エリアにおいて実施した。検証エリアは、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。

ここで選定された手法を神奈川県全域に適用し、1990 年と 2004 年の LANDSAT データを用いてそれぞれの時期の緑地、樹林地を抽出した。

また、同様の手法を Terra/ASTER（以下、「ASTER」）データにも適用し、2005 年の ASTER データを用いて神奈川県全域の緑地、樹林地を抽出した。

（２）異なる年の中分解能衛星データによる緑地、樹林地の変遷解析（第 3 章）

（１）で求めた 1990 年と 2004 年の LANDSAT データ及び、1990 年の LANDSAT データと 2005 年の ASTER データに基づき、緑地、樹林地の変遷状況をそれぞれ解析した。

解析結果は、1990 年と 2004 年の空中写真判読結果から作成される検証用データを用いて、（１）と共通の検証エリアで精度比較を行った。

（３）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（第 4 章）

（２）の精度比較で確認された 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最小限に抑えるための精密幾何補正手法、影の影響を除去するための補正手

法を検討した。また（２）のように、各年においてそれぞれ別々に樹林地を抽出してからその差を求めることによって生じる「誤差の伝播」を押さえるため、衛星データを直接比較して樹林地の変遷を把握する手法等を検討した。

検討は神奈川県を対象地として実施し、検証エリアにおいてその効果を確認した。なお、検証エリアは、2 時期間で樹林地が明らかに増加した箇所を 4 箇所選定した。また、使用した中分解能衛星画像は、1990 年の LANDSAT データと 2005 年の ASTER データである。

（４）LANDSAT データと ALOS データを使った樹林地変遷の解析（第 5 章）

2006 年 1 月 24 日に打ち上げられ、2006 年 10 月 24 日よりデータの一般配布が開始された ALOS データの利用可能性を検討した。

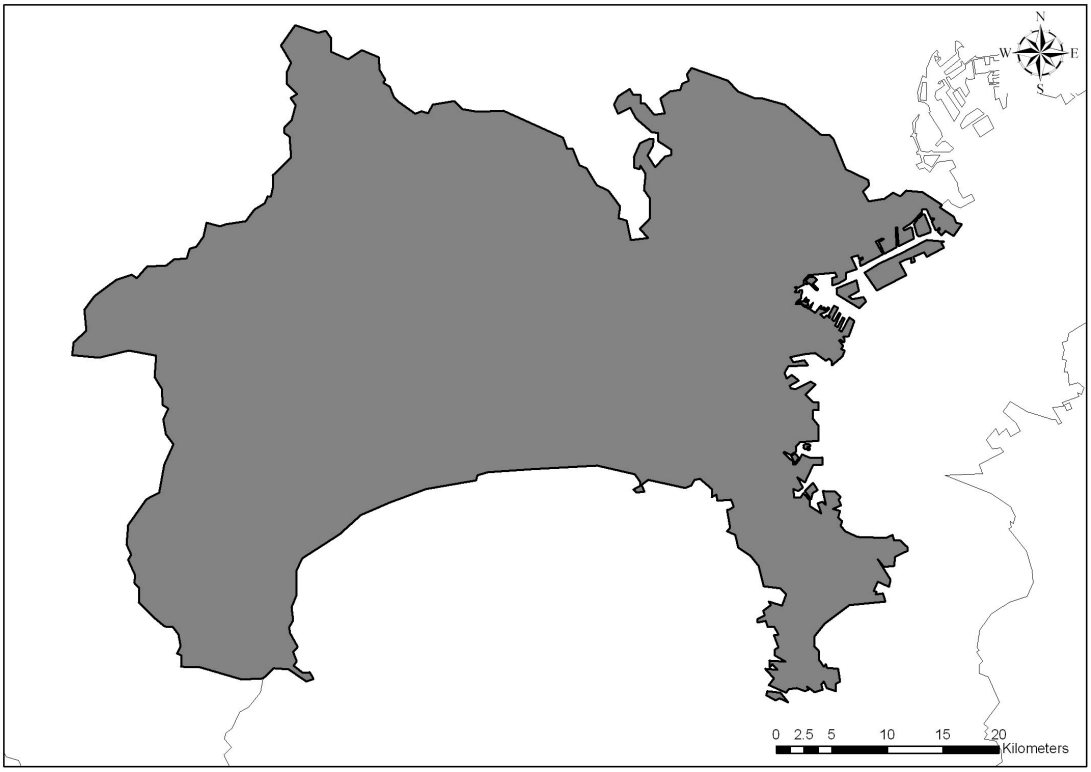
検討は神奈川県を対象地として実施し、1990 年の LANDSAT データと 2006 年の ALOS データに基づく最新の樹林地の増減抽出を、（３）と共通の検証エリア（4 箇所）における空中写真判読結果との比較によって精度確認を行った。

（５）衛星データ処理マニュアルの作成

本業務で開発した手法で全国を対象に作業を行うことを想定し、頒布可能なレベルの衛星データ処理マニュアルを作成した。

1.2 研究対象地域

本研究の対象地域は、神奈川県全域（約 2,415km^2）とした（図－1.1）。



図－1.1　調査対象範囲

1.3 使用データ

本調査で使用したデータおよび資料を表－1.1 に示す。

表－1.1　本調査で使用したデータおよび資料

<table>
<tr><th>ﾃﾞｰﾀ種別</th><th>名称</th><th>商品名</th><th>数量</th><th>観測年月日</th><th>発行元</th></tr>
<tr><td rowspan="12">中分解能
衛星ﾃﾞｰﾀ</td><td rowspan="2">LANDSAT/TM</td><td rowspan="2">Level1</td><td>2 ｼｰﾝ
（107-35）
（107-36）</td><td>1990.11.05</td><td rowspan="2">（財）ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ
技術ｾﾝﾀｰ</td></tr>
<tr><td>1 ｼｰﾝ
（107-36）
（ｼﾌﾄ-5）</td><td>2004.11.27</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Terra/ASTER</td><td>2B05(VNIR)</td><td rowspan="3">2 ｼｰﾝ</td><td rowspan="3">2005.04.28</td><td rowspan="6">（財）資源・環境観
測解析ｾﾝﾀｰ</td></tr>
<tr><td>2B05(SWIR)</td></tr>
<tr><td>3A01</td></tr>
<tr><td>2B05(VNIR)</td><td rowspan="3">2 ｼｰﾝ</td><td rowspan="3">2005.05.05</td></tr>
<tr><td>2B05(SWIR)</td></tr>
<tr><td>3A01</td></tr>
<tr><td>ALOS/PRISM</td><td rowspan="3">Level1B</td><td>2 ｼｰﾝ</td><td rowspan="2">2006.08.29</td><td rowspan="3">（財）ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ
技術ｾﾝﾀｰ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ALOS/AVNIR-2</td><td>1 ｼｰﾝ</td></tr>
<tr><td>2 ｼｰﾝ</td><td>2006.06.01</td></tr>
<tr><td>空中写真</td><td>ｶﾗｰ空中写真</td><td>密着</td><td>20 枚</td><td>1990.08～12</td><td>神奈川県県政情報
ｾﾝﾀｰ</td></tr>
<tr><td>ﾃﾞｼﾞﾀﾙ空中
写真</td><td>ﾃﾞｼﾞﾀﾙ空中写真</td><td>DMC</td><td>60 枚</td><td>2004.04～06</td><td>国際航業（株）</td></tr>
</table>

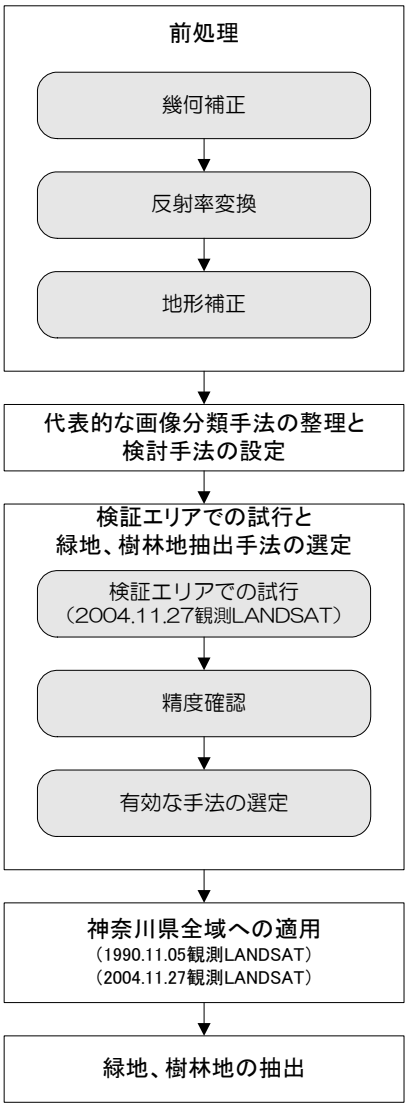
２．単一時期の中分解能衛星データによる樹林地抽出手法の検討

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

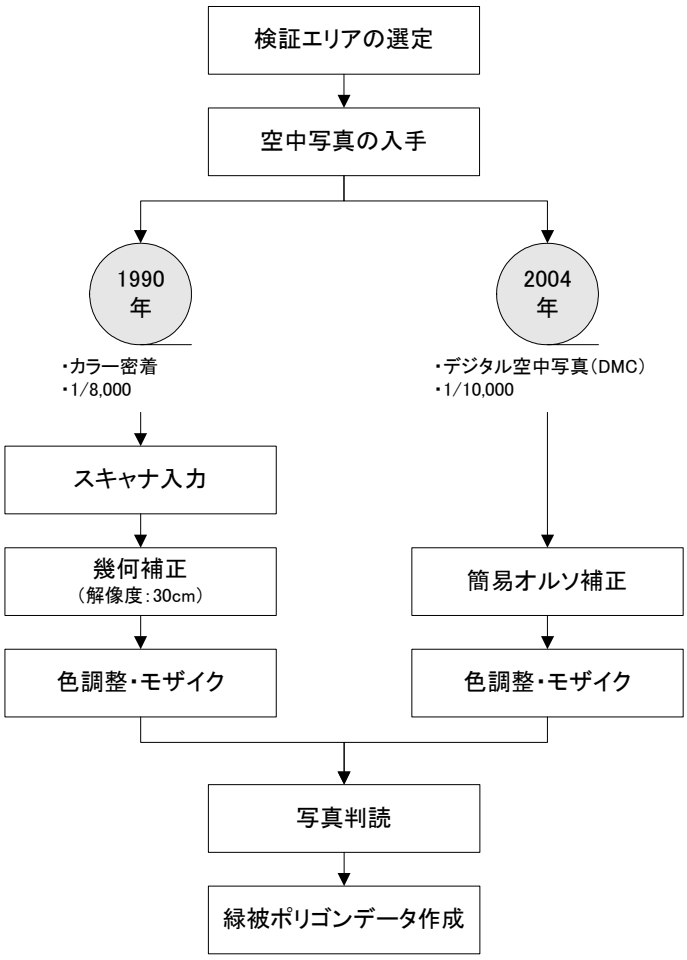
ここでは、精度確認のベースとなる空中写真判読による検証用データの作成方法と、その結果について述べる。

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[1)]」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。



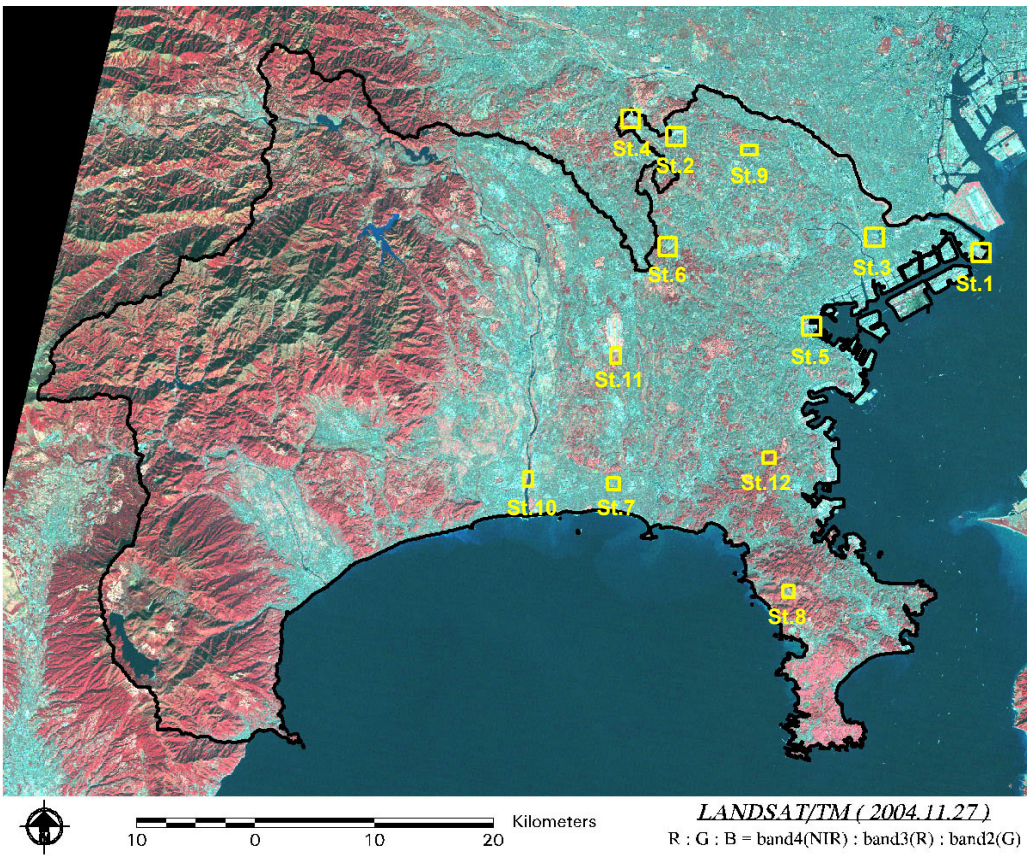
図－2.2　検証用データ作成の流れ

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

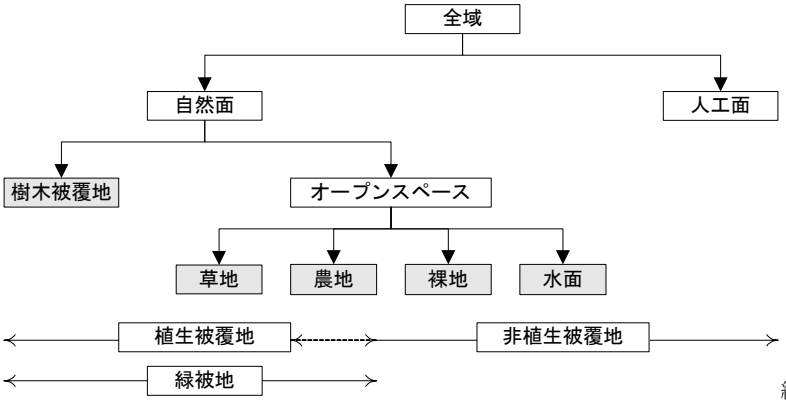
地点No.	場所	範囲	土地利用タイプ					緑の増減			考えられる増減要因
			大規模公園	緑と住宅が混在	中心市街地	埋立地工場地帯	河川	増加	減少	変化なし	
St.1	川崎市川崎区浮島町	1.5km×1.5km				●		●			埋立に伴う植栽
St.2	川崎市麻生区万福寺ほか	1.5km×1.5km		●	●				●		宅地開発
St.3	川崎市幸区柳町ほか	1.5km×1.5km			●	●		●			工場跡地の緑化
St.4	川崎市麻生区黒川	1.5km×1.5km		●					●		宅地開発
St.5	横浜市西区みなとみらい	1.5km×1.5km			●	●		●			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	横浜市磯子区氷取沢町ほか	1km×1km	●							●	
計	12地点	19.5km^2									



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[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。



網掛け：本研究における判読項目

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

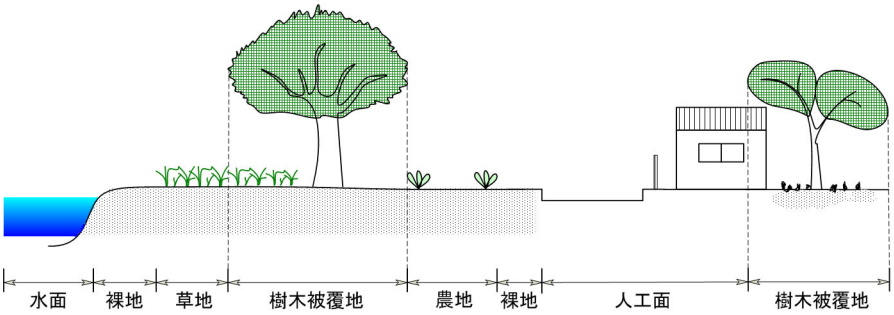
水面……河川や湖沼（プール等を含む）の水部

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

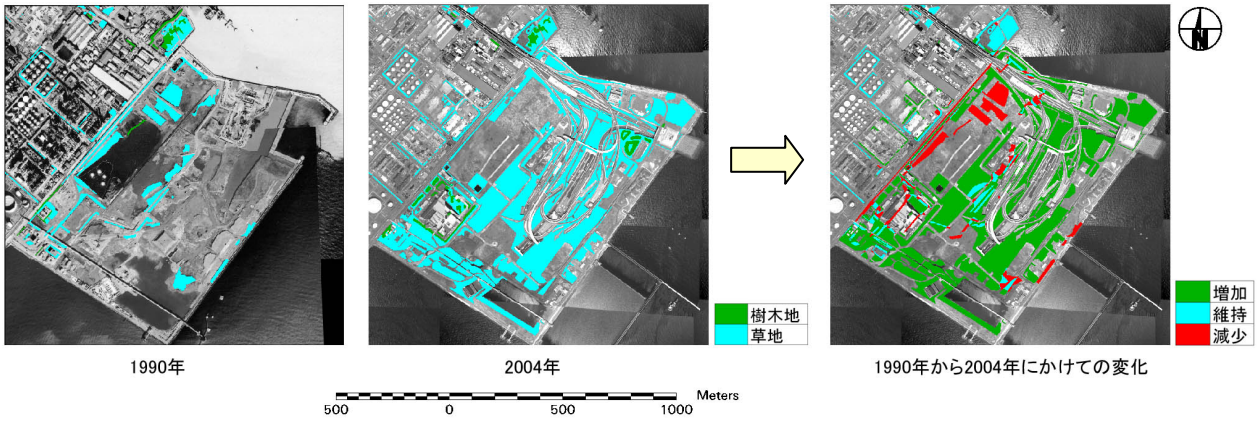
調査水準	使用する写真のスケール	最小読み取り精度	想定する調査対象
水準Ⅰ	1／2,500	1m^2	街路樹、生垣などの小さな緑被地まで計測する調査水準
水準Ⅱ	1／5,000	10m^2	大きな街路樹による緑被地程度までを計測できる調査水準
水準Ⅲ	資料図面を使用	－	山林など大規模な緑被地を中心として計測する調査水準

※本研究では水準Ⅱを採用

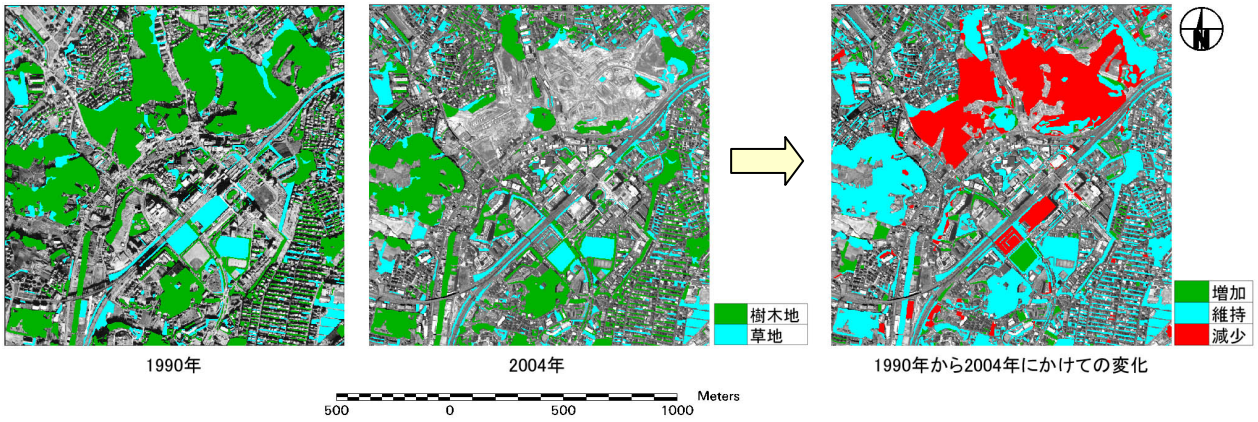


図－2.5　本研究における判読基準の概念図

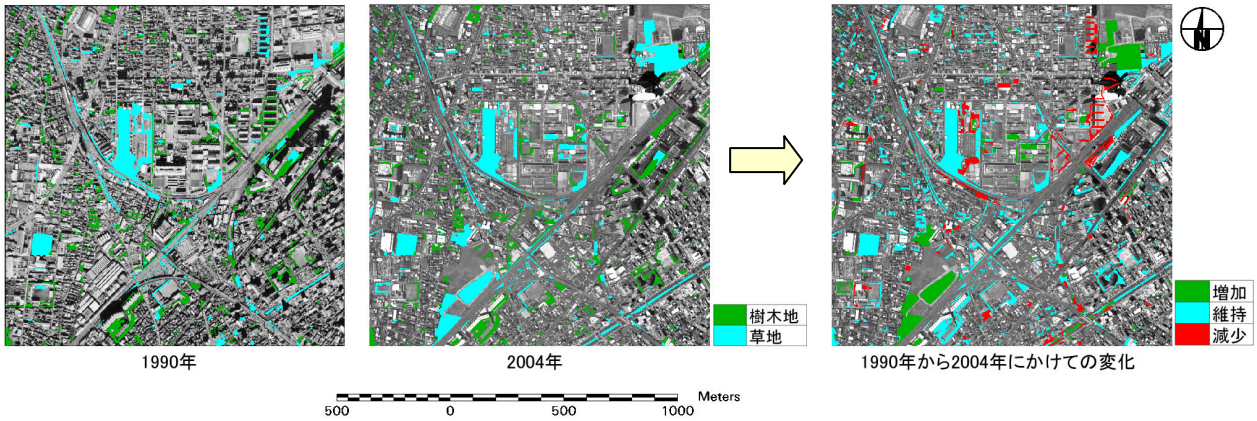
各検証エリアの写真判読結果を図－2.6～図－2.17 に示す。



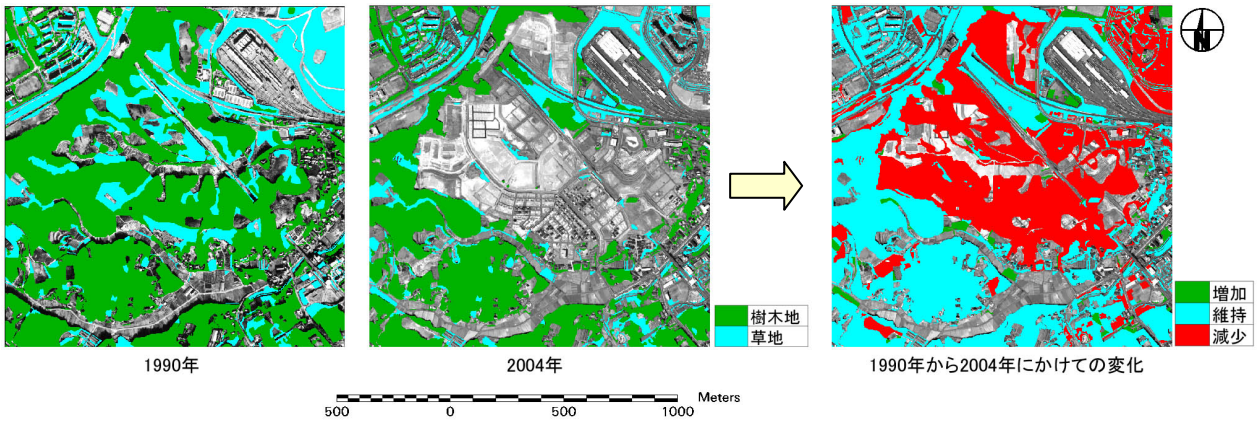
図－2.6　空中写真判読結果（St. 1）



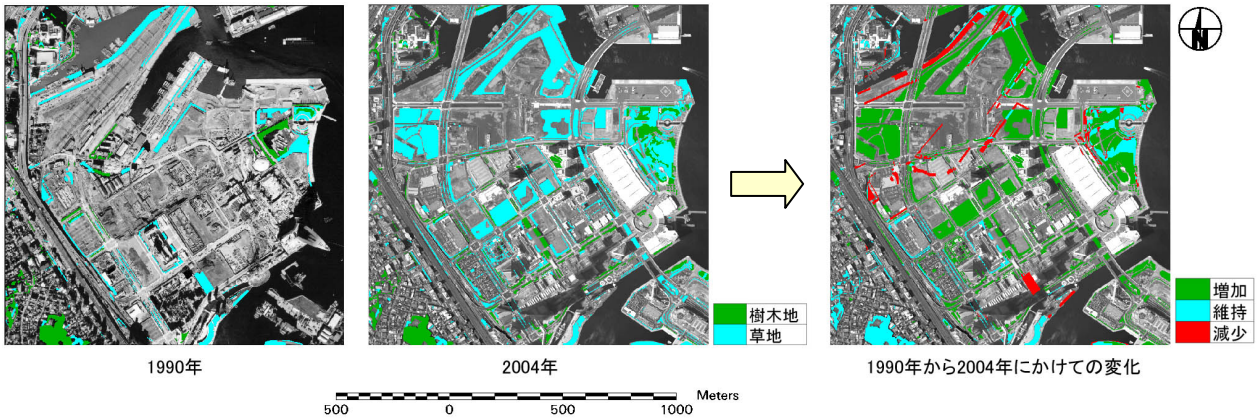
図－2.7　空中写真判読結果（St. 2）



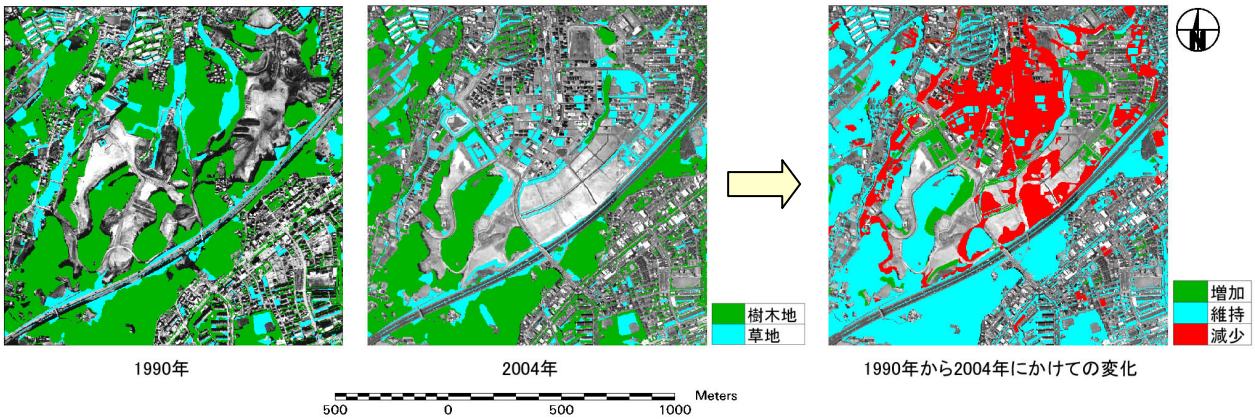
図－2.8　空中写真判読結果（St. 3）



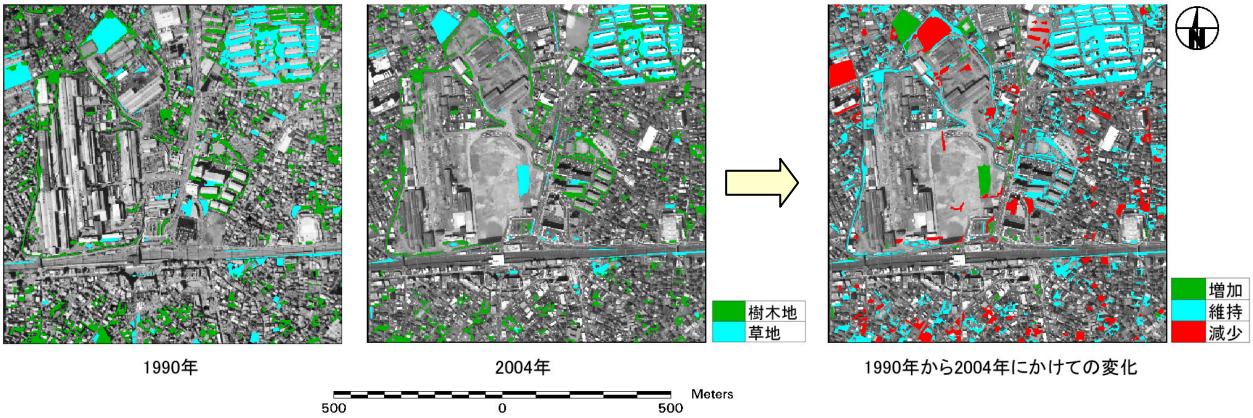
図－2.9　空中写真判読結果（St.4）



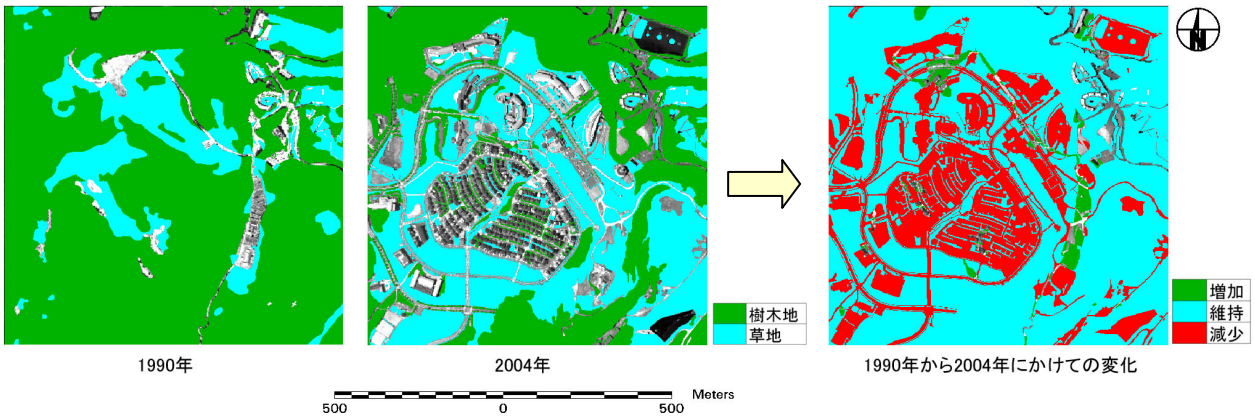
図－2.10　空中写真判読結果（St.5）



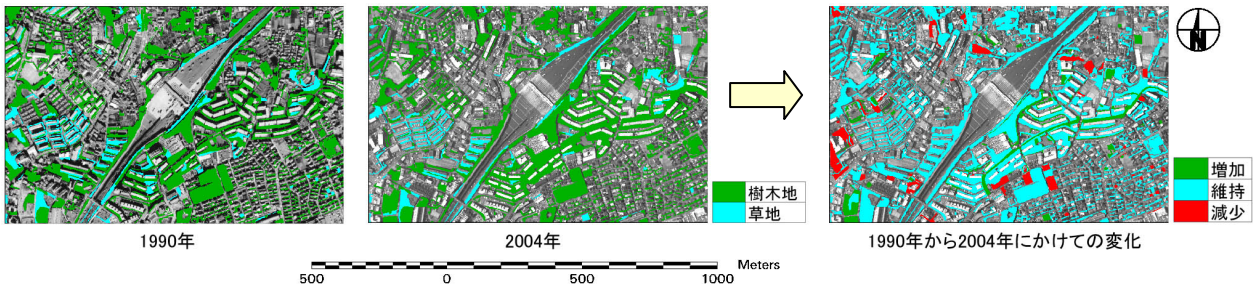
図－2.11　空中写真判読結果（St.6）



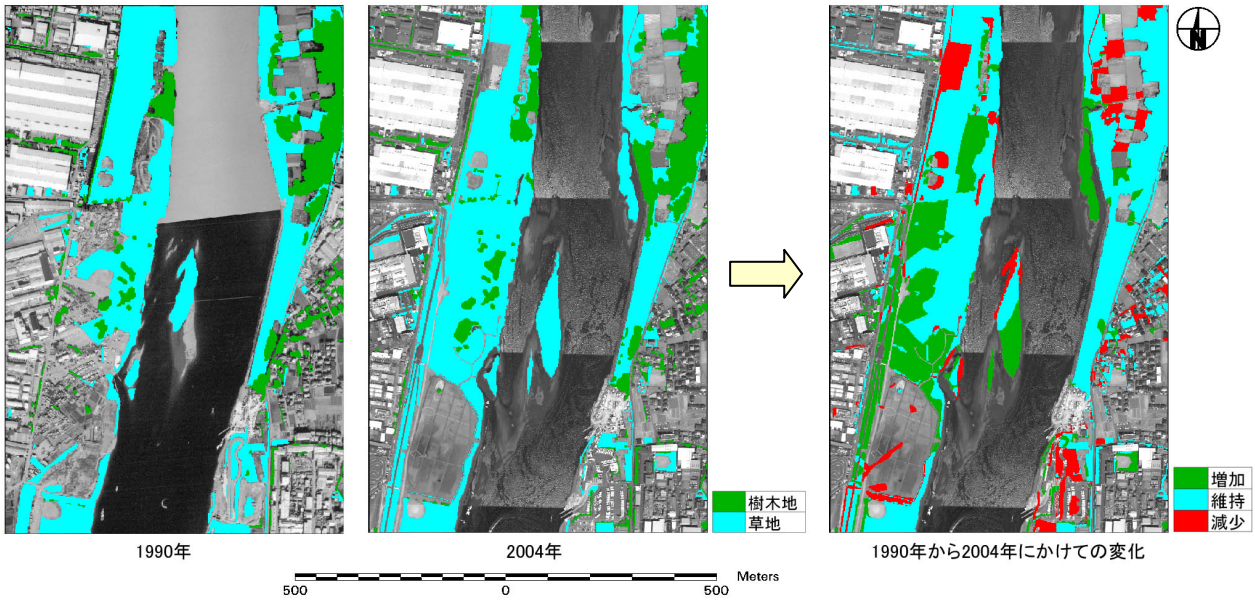
図－2.12　空中写真判読結果（St. 7）



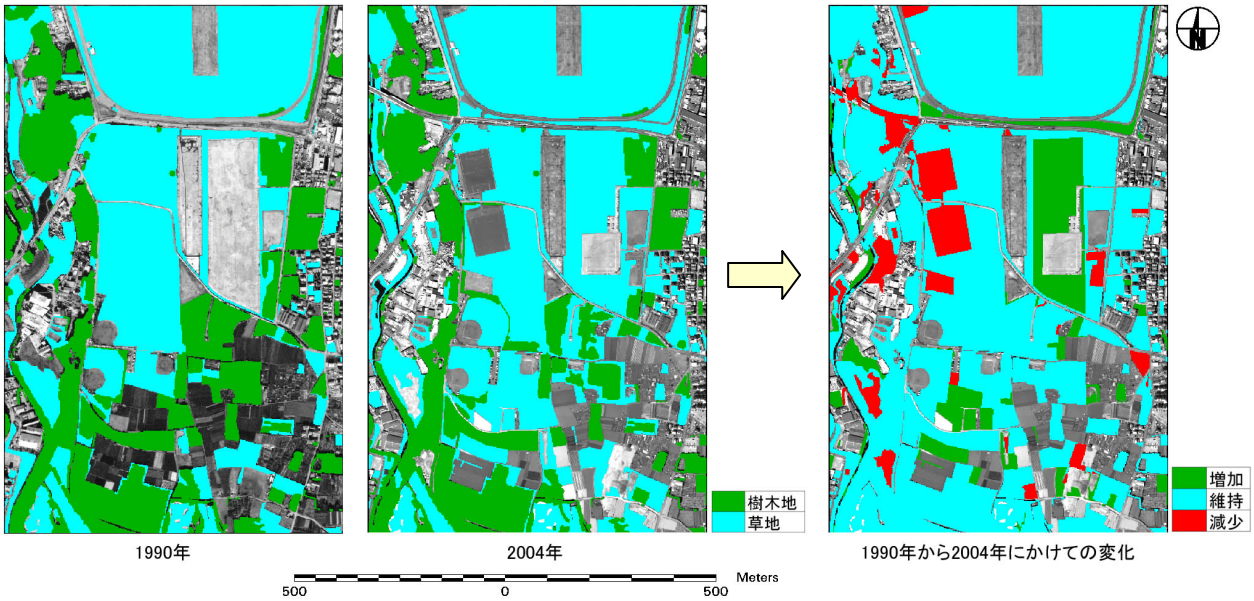
図－2.13　空中写真判読結果（St. 8）



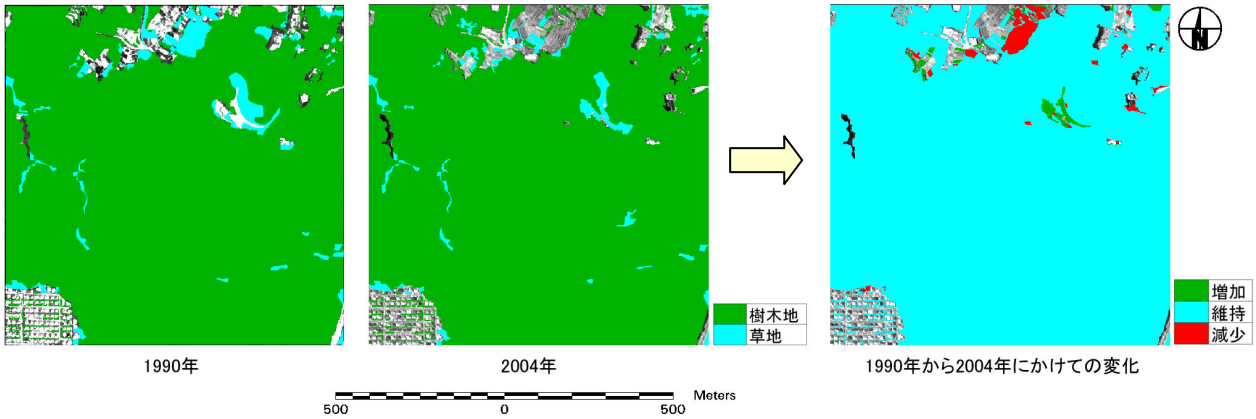
図－2.14　空中写真判読結果（St. 9）



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
		0.4	*26.9*	*4.6*	*41.9*	*1.8*	*35.5*	*3.8*	*33.8*	*9.5*	*3.0*	*10.0*	*39.2*
	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
		4.0	*8.1*	*4.0*	*18.4*	*3.6*	*8.9*	*2.3*	*7.7*	*2.2*	*7.6*	*15.9*	*1.8*
	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
		0.0	*7.4*	*0.0*	*10.6*	*0.0*	*4.7*	*0.4*	*0.3*	*3.0*	*3.5*	*4.9*	*1.3*
	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
		20.0	*8.3*	*5.7*	*8.5*	*19.9*	*19.1*	*2.0*	*0.9*	*1.7*	*3.4*	*4.9*	*0.2*
	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
		47.7	*0.1*	*0.0*	*0.1*	*23.8*	*0.2*	*0.0*	*0.0*	*0.0*	*13.6*	*0.3*	*0.1*
	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
		4.4	*35.1*	*8.6*	*60.3*	*5.4*	*44.3*	*6.1*	*41.5*	*11.7*	*10.6*	*25.9*	*41.0*
	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
		4.4	*42.5*	*8.6*	*70.9*	*5.4*	*49.0*	*6.5*	*41.8*	*14.7*	*14.1*	*30.8*	*42.3*
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
		0.8	*17.5*	*4.2*	*25.1*	*3.1*	*24.3*	*3.0*	*14.8*	*10.1*	*3.2*	*9.0*	*39.6*
	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
		14.5	*8.7*	*5.6*	*9.4*	*11.1*	*10.4*	*1.8*	*15.3*	*1.9*	*8.9*	*18.0*	*1.2*
	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
		0.0	*3.4*	*0.0*	*8.4*	*0.0*	*4.0*	*0.1*	*0.1*	*1.5*	*3.7*	*3.6*	*1.5*
	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
		17.0	*14.7*	*8.8*	*23.7*	*13.2*	*15.2*	*6.1*	*1.3*	*1.3*	*4.3*	*4.3*	*0.0*
	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
		36.8	*0.1*	*0.2*	*0.1*	*16.4*	*0.4*	*0.0*	*0.3*	*0.0*	*10.3*	*0.3*	*0.1*
	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
		15.3	*26.2*	*9.8*	*34.5*	*14.2*	*34.7*	*4.8*	*30.1*	*12.0*	*12.2*	*26.9*	*40.8*
	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
		15.3	*29.6*	*9.8*	*42.9*	*14.2*	*38.7*	*5.0*	*30.1*	*13.5*	*15.8*	*30.5*	*42.3*
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
		0.4	*-9.4*	*-0.4*	*-16.8*	*1.4*	*-11.1*	*-0.8*	*-19.0*	*0.5*	*0.2*	*-1.0*	*0.4*
	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
		10.6	*0.6*	*1.6*	*-9.0*	*7.5*	*1.5*	*-0.5*	*7.6*	*-0.2*	*1.3*	*2.1*	*-0.6*
	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
		0.0	*-4.0*	*0.0*	*-2.2*	*0.0*	*-0.7*	*-0.3*	*-0.2*	*-1.5*	*0.2*	*-1.3*	*0.2*
	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
		-3.0	*6.4*	*3.1*	*15.3*	*-6.7*	*-3.8*	*4.1*	*0.4*	*-0.4*	*0.9*	*-0.6*	*-0.1*
	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
		-11.0	*0.0*	*0.2*	*0.0*	*-7.4*	*0.1*	*0.0*	*0.3*	*0.0*	*-3.3*	*-0.1*	*0.0*
	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
		11.0	*-8.8*	*1.2*	*-25.8*	*8.8*	*-9.6*	*-1.3*	*-11.4*	*0.3*	*1.5*	*1.1*	*-0.2*
	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
		11.0	*-12.9*	*1.2*	*-28.0*	*8.8*	*-10.3*	*-1.5*	*-11.7*	*-1.2*	*1.8*	*-0.3*	*0.1*

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。通常の解析では、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手して使用した。

表－2.5　反射率変換式

放射輝度変換式[2)] （LANDSAT/TM） （1990.11.05）	$R = (L\max - L\min) \div 255 \times DN + L\min$ 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
放射輝度変換式[2)] （LANDSAT/TM） （2004.11.27）	$R = \dfrac{\{(L\max \div 254) - (L\min \div 255)\} \div DN + L\min}{W}$ 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）
放射輝度－反射率 変換式[2)]	$\rho = \dfrac{\pi \times R \times d^2}{Esun\lambda \times \cos\vartheta}$ ρ　　:反射率 R　　:放射輝度値 d　　:地球と太陽の距離 Esunλ:バンド別の太陽放射量（表－2.8参照） θ　　:衛星通過時の太陽天頂角

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

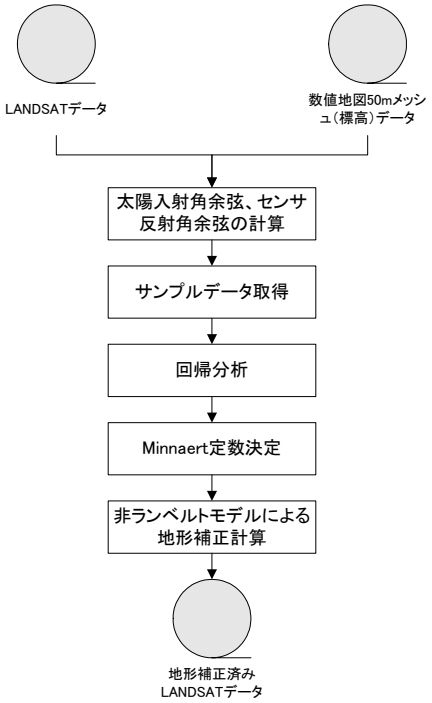
単位:W/m^2・μm

（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[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)]。幾何学的な手法は、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[6)]。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

ε：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

Φ：斜面方位

θ：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

Φ：斜面方位

Γ：センサ天頂角

ψ：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。

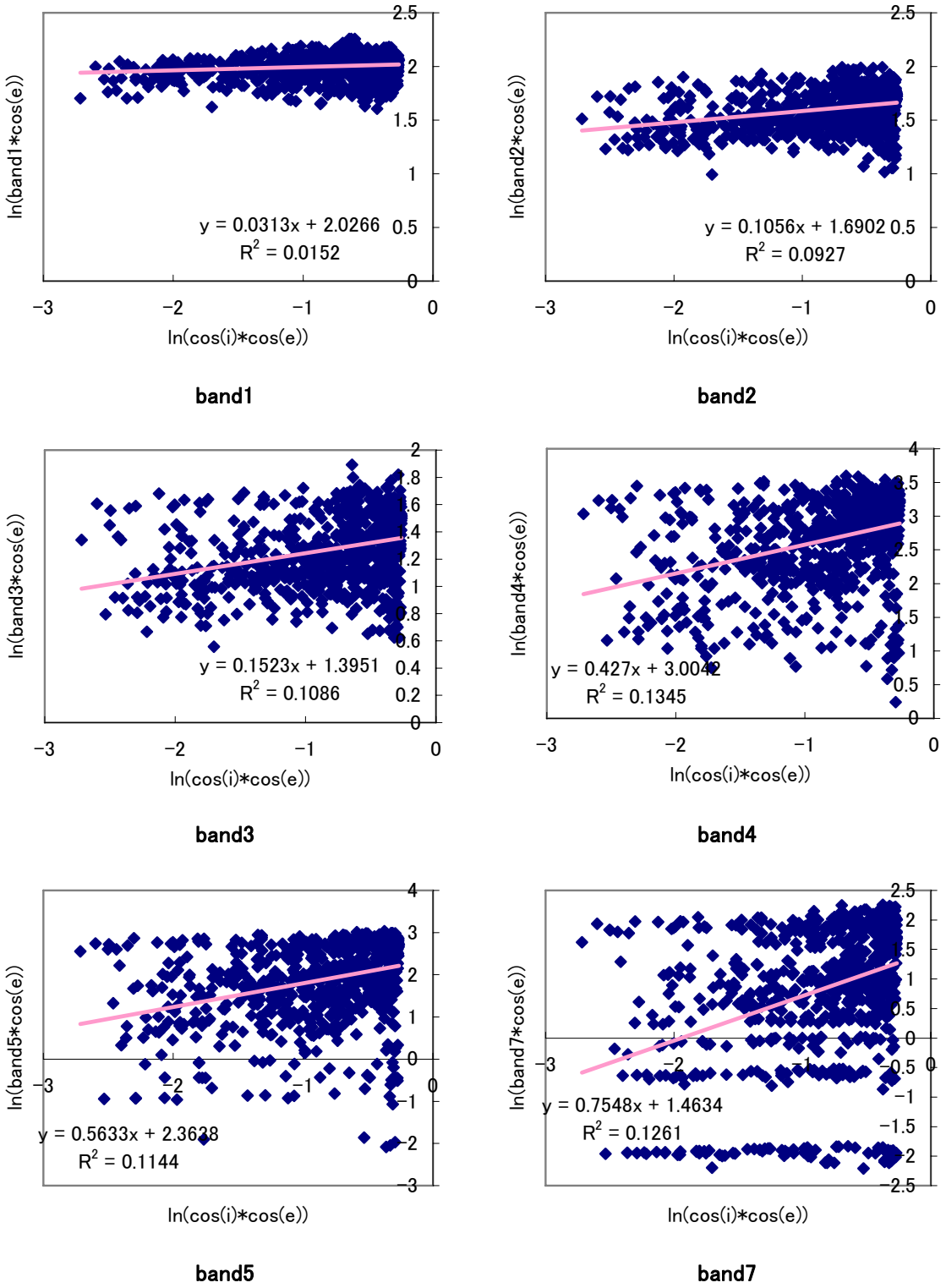
$$\ln(Do \times \cos\varepsilon) = k \times \ln(\cos i \times \cos\varepsilon) + \ln(Dc)$$

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。

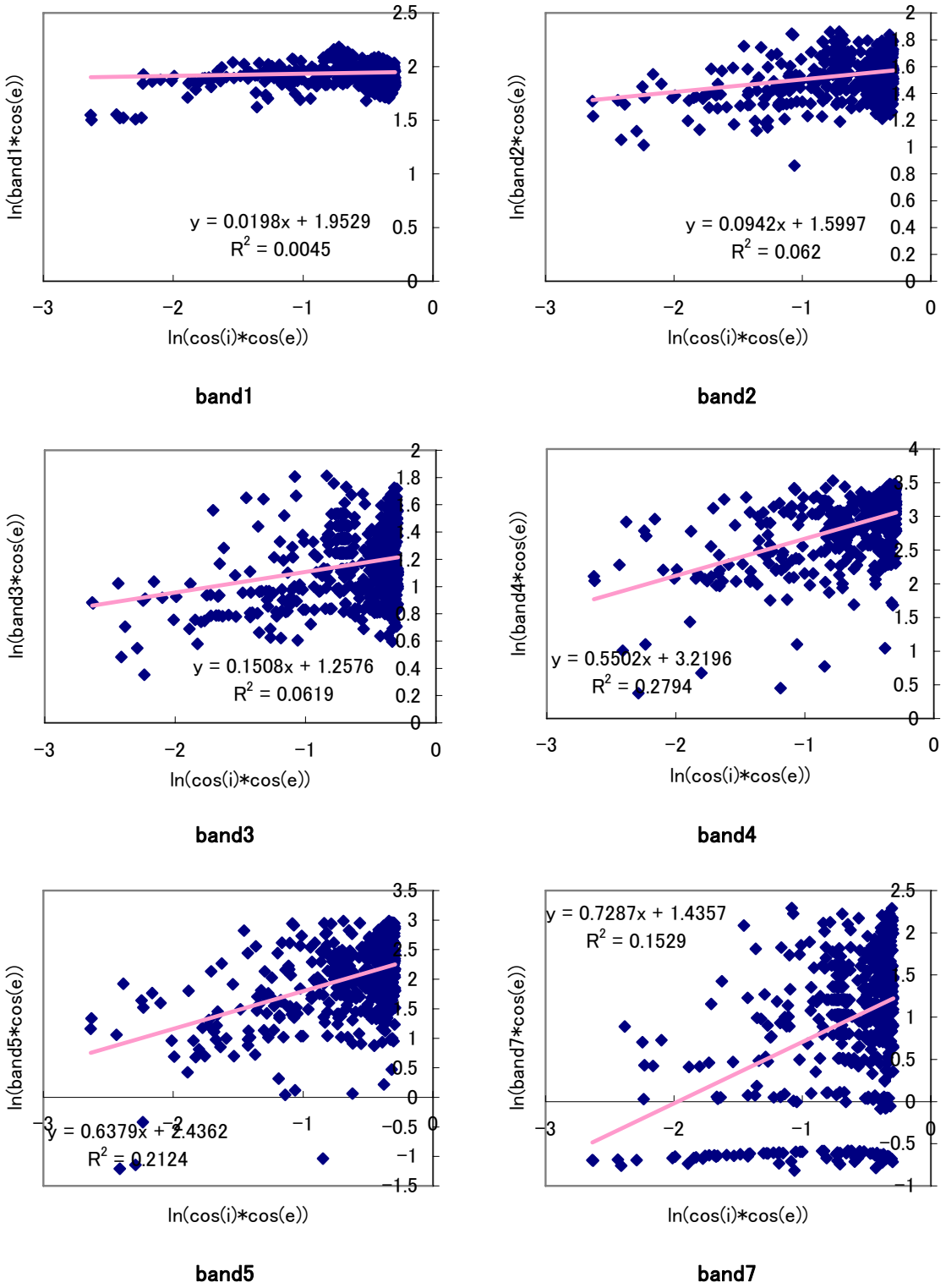
サンプルは、さまざまな地形条件を偏りなく網羅できるよう、補正前の衛星データと地形データを並べて表示し、さまざまな方位の斜面について土地被覆や樹種の違いを受けない均質なエリアを目視判読し、そこに含まれる画素をサンプルとした。なお、それぞれの LANDSAT データにおけるサンプル数は 600～1,000 となり、そのサンプルを基に求めた回帰分析結果を図－2.19～図－2.20 に示し、得られた Minnaert 定数を表－2.9 に示す。

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

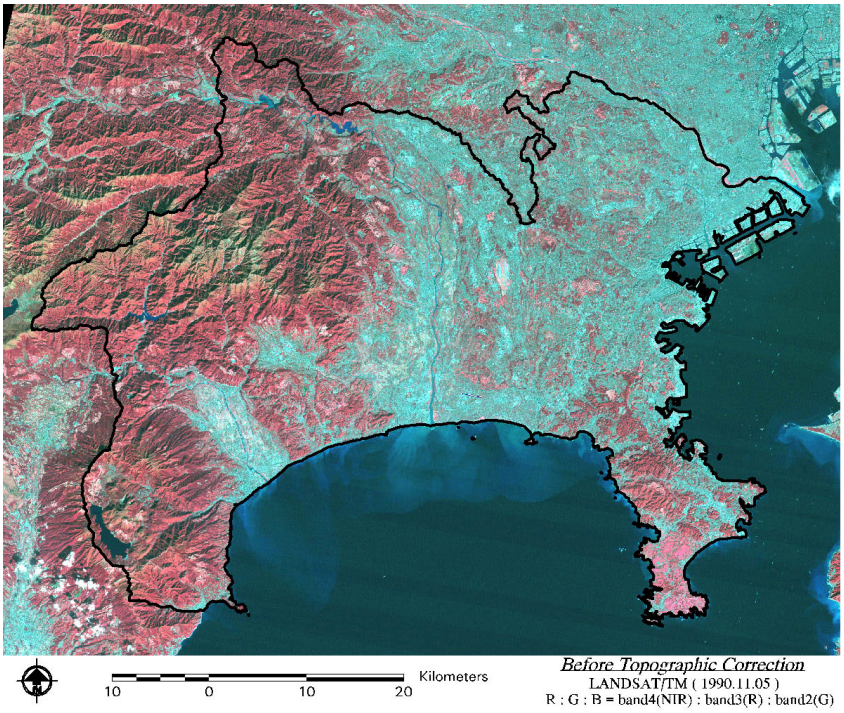


図－2.19　Minnaert 定数を求めるための回帰分析結果（1990.11.05 観測 LANDSAT）

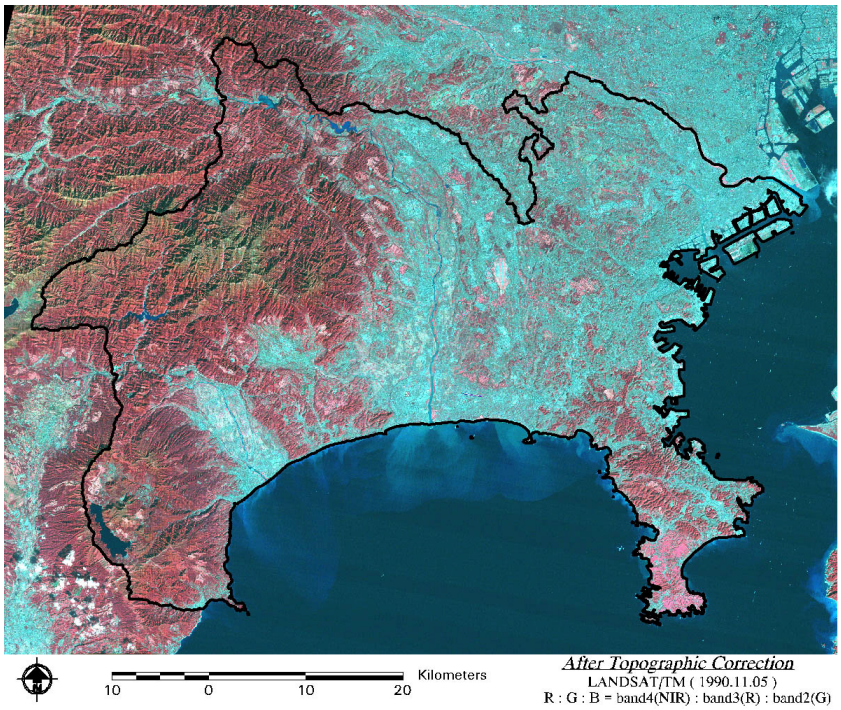


図－2.20　Minnaert 定数を求めるための回帰分析結果（2004.11.27 観測 LANDSAT）

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。

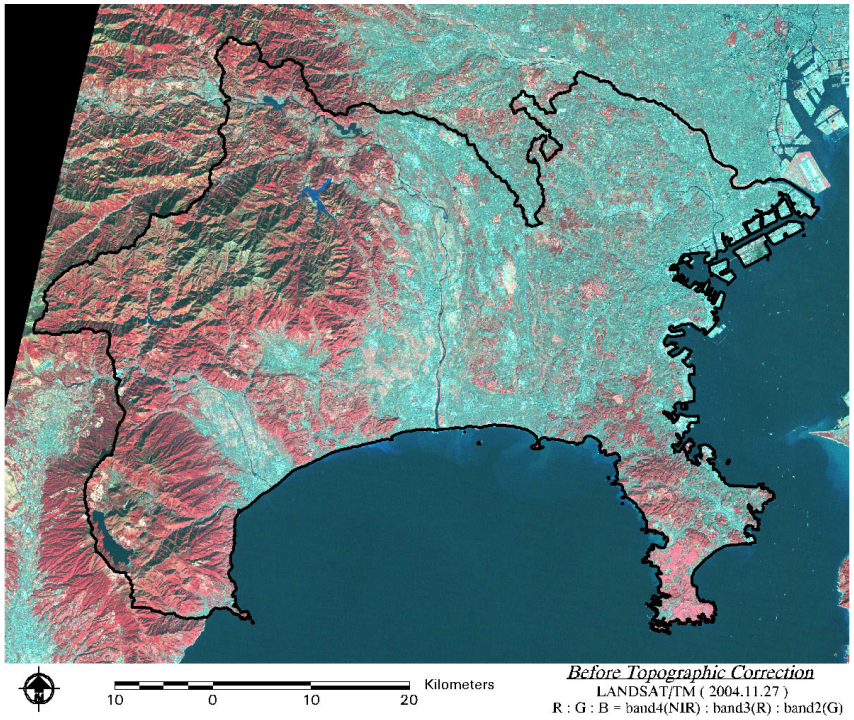


(a)　地形補正前

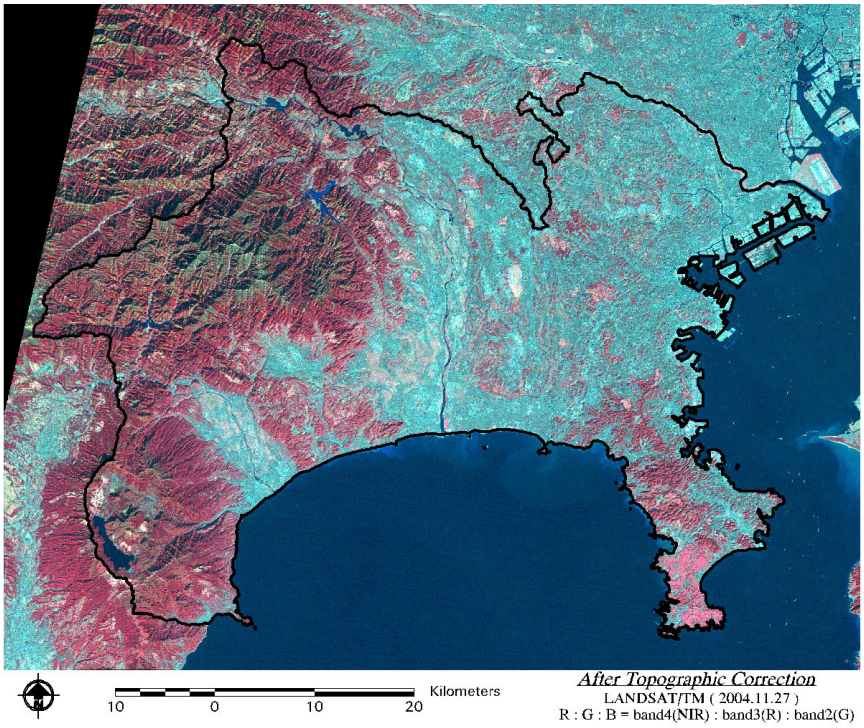


(b)　地形補正後

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

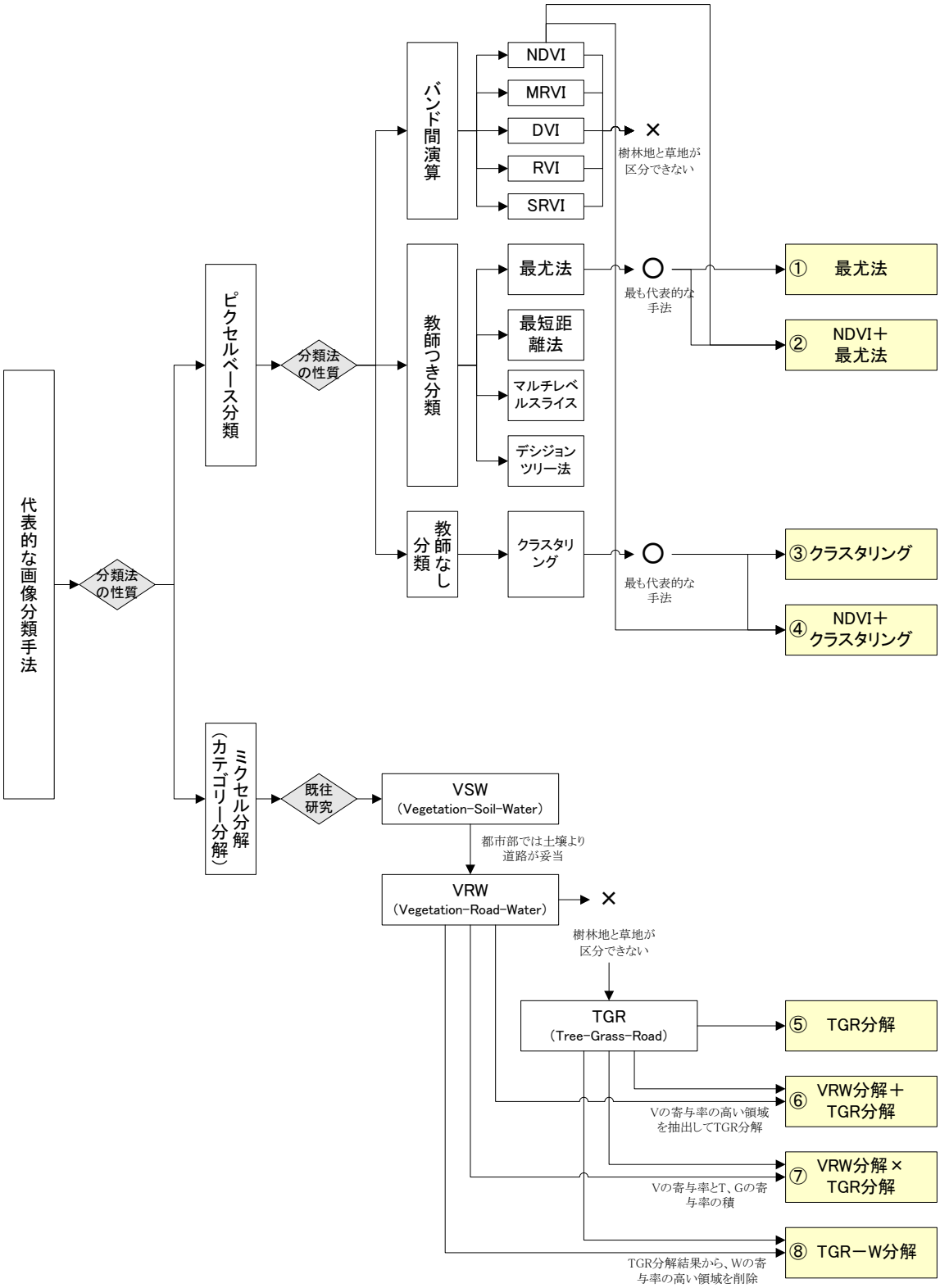
LANDSAT 等のリモートセンシングデータから緑地や樹林地といった目的とする情報を抽出するためには、画像分類手法を適用する必要がある。画像分類手法は一般的なものから研究段階にあるものまで多岐にわたっており、目的とする情報抽出に適した分類手法を見出すことが重要である。

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 [12)13)]

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。	・一般的に用いられている。 ・処理が簡便。	・樹林地と草地を分けることが難しい。
	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。	・一般的に用いられている。 ・樹林地と草地の区分が可能。 ・分類結果が確率統計的な意味を持つ。	・分類教師（トレーニングデータ）が必要。
		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。	・比較的一般的に用いられている。 ・樹林地と草地の区分が可能。	・分類教師（トレーニングデータ）が必要。
		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。	・処理が簡便。 ・樹林地と草地の区分が可能。	・分類教師（トレーニングデータ）が必要。 ・事前に主成分分析が必要な場合がある。
		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。	・処理が簡便。 ・樹林地と草地の区分が可能。	・事前に各分類クラスの特性を分析し、決定木を構築する必要がある。
	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。	・分類教師（トレーニングデータ）を必要としない。 ・樹林地と草地の区分が可能。	・分類後に各クラスの意味づけが必要になる。
ミクセル分解（カテゴリー分解）			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。	・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。	・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。

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）

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$ （Rouse et al.(1973)[14]）

・MRVI（Modified Ratio Vegetation Index）

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

・DVI（Difference Vegetation Index）

$$DVI = NIR + R$$ （Richardson and Everitt(1992)[16]）

・RVI（Ratio Vegetation Index）

$$RVI = \frac{NIR}{R}$$ （Jordan(1969)[17]）

・SRVI（Square Root Vegetation Index）

$$SRVI = \sqrt{\frac{NIR}{R}}$$ （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 [18][19]。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[20)]。

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。

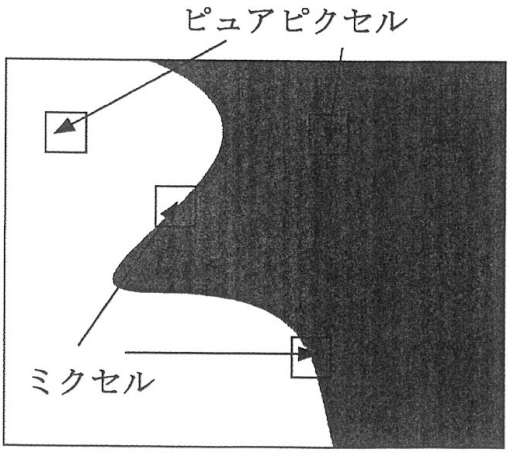
一方、ミクセルを考慮した分類手法は、「ミクセル分解（カテゴリー分解）」と総称されることが多い。ミクセル分解は 1 画素の中に複数のカテゴリが混在している画素（ミクセル）に着目した分類法で、ミクセルの画素値が、構成する各カテゴリの画素値の線形結合によって表現されるという「線形ミクセルモデル（図－2.30）」によって画素内の占有面積比率を求める手法が主流である。ミクセル分解は、事前に構成するカテゴリ（エンドメンバー）を設定し、ピュアピクセルの画素値を分析する必要がある。既往研究では、農地や森林域を対象に、VSW 指数[21)]やパターン展開法[22)]などが提唱されており、これらの手法ではエンドメンバーとして、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。

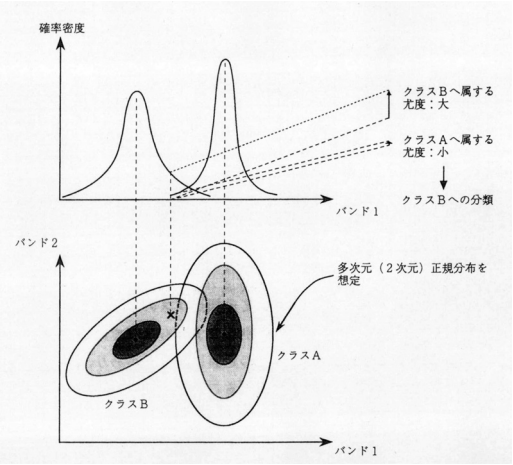
以上より、本研究で試行するミクセル分解手法として、

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）

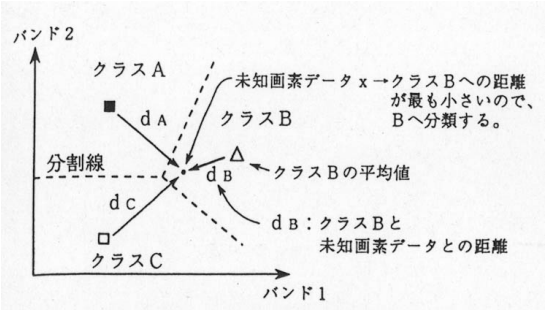
の 4 手法を設定し、適用性を検討した。



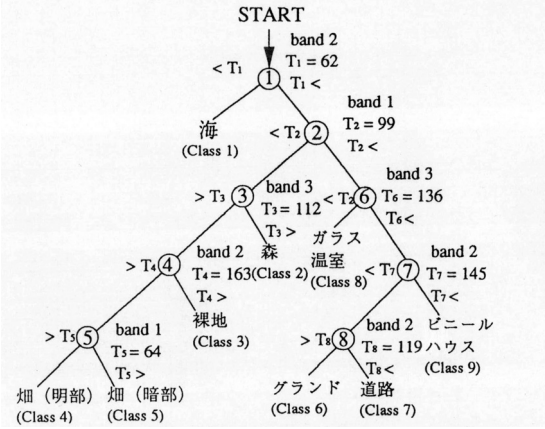
図－2.24　ピュアピクセルとミクセル [13)]



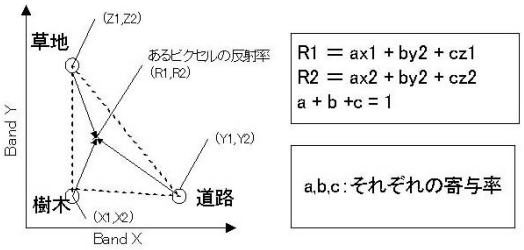
図－2.25　最尤法の概念 [12)]



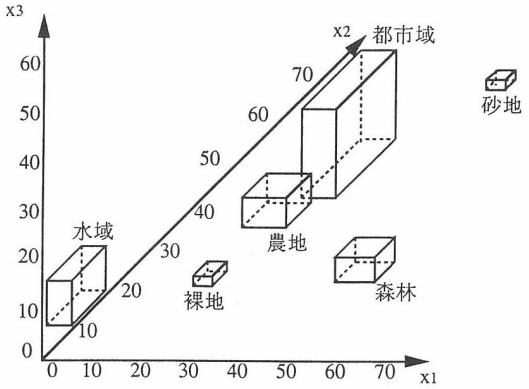
図－2.26　最短距離法の概念 [12)]



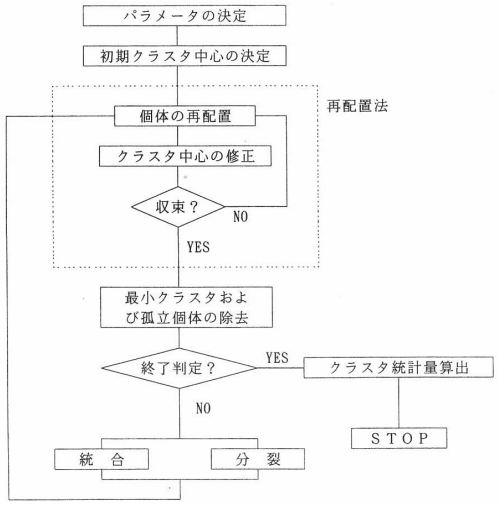
図－2.28　デシジョンツリー法の概念 [12)]



図－2.30　線形ミクセルモデルの概念



図－2.27　マルチレベルスライスの概念 [12)]



図－2.29　クラスタリングの概念 [12)]

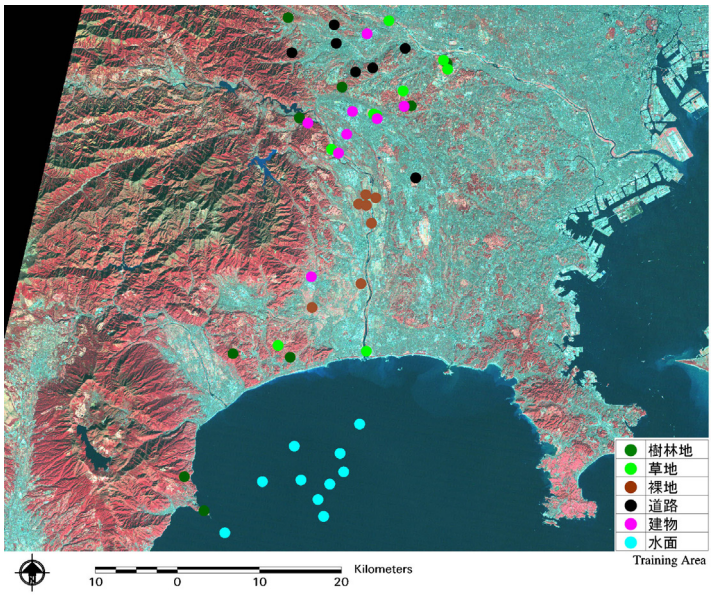
2.5 検証エリアでの試行と検討手法の評価

2.4 で選定した 8 種の手法を検証エリアで試行し、空中写真判読結果との比較によって、適用性の評価を行い、高い手法の抽出を行った。

検証エリアでの試行は、2004 年 11 月 27 日の LANDSAT データに対して行った。

（1） トレーニングデータの収集

最尤法分類に使用するトレーニングデータおよびミクセル分解のエンドメンバー値を得るために、神奈川県内から、土地被覆が明らかなピュアピクセル領域を取得した。取得したトレーニングエリアの配置を図－2.31 に、設定した項目と各項目のトレーニングデータ数を表－2.11 に示す。



図－2.31　取得したトレーニングエリアの配置

表－2.11 トレーニングデータの項目と点数

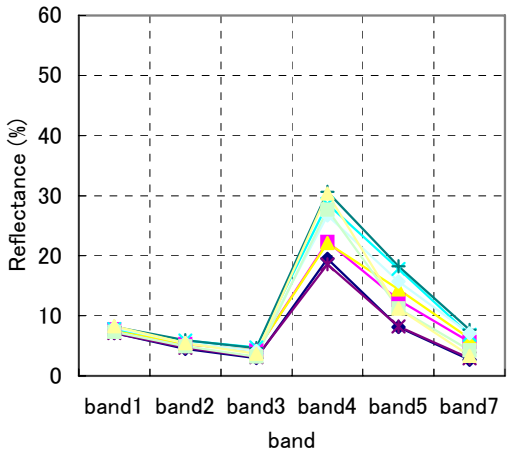
最尤法用	ミクセル分解用	地点数
樹林地	樹木(植生1)※	9
草地	草地(植生2)※	9
裸地	－	7
道路(市街地1)	道路	7
建物(市街地2)	－	8
水面	水面	10

※道路、建物は、最尤法では「市街地」として集約する。

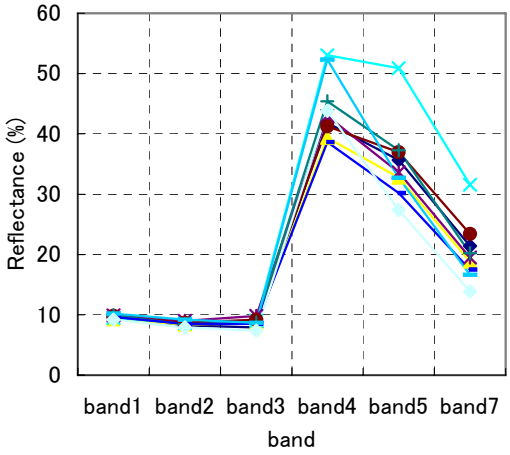
※樹木、草地は、VFW分解では「植生」として集約する。

（2） スペクトル特性の検討

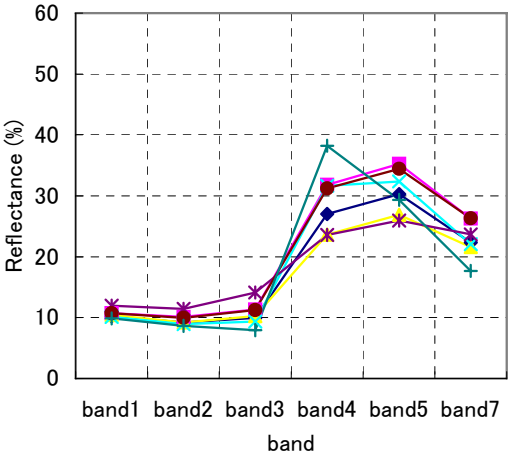
（1）で取得したトレーニングエリアのスペクトル値をサンプリングし、各項目のスペクトル特性を検討した。全トレーニングエリアのスペクトル特性を図－2.32 に、項目ごとに平均したスペクトル特性を図－2.33 に示す。



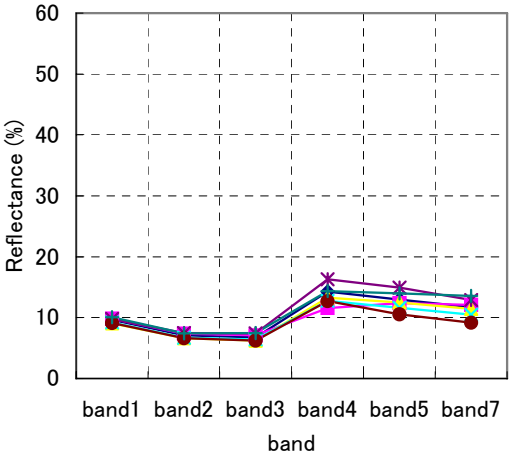
樹林地



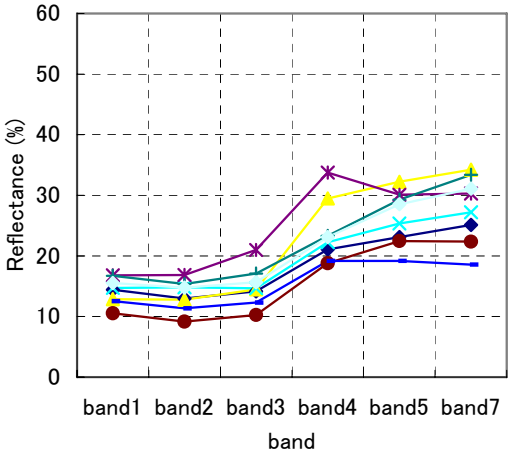
草地



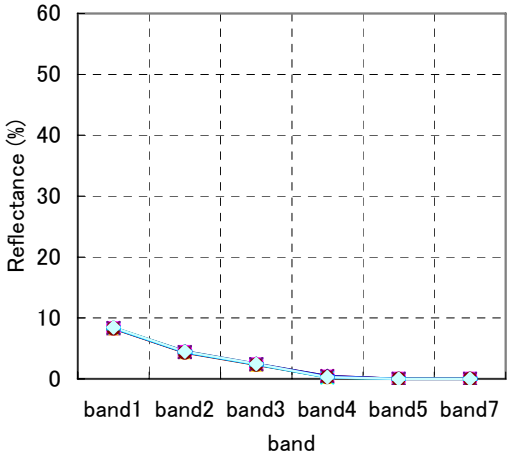
裸地



道路

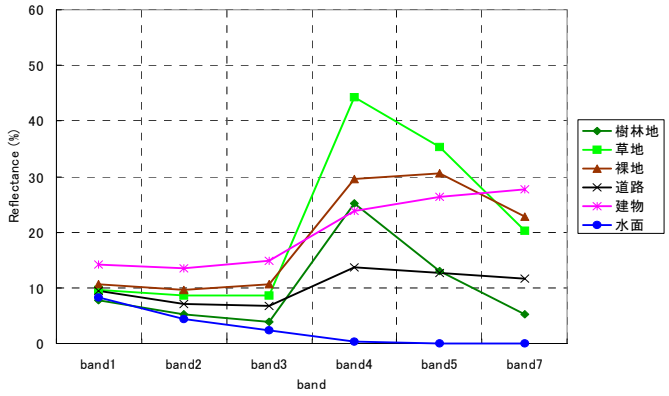


建物



水面

図－2.32 各トレーニングエリアのスペクトル特性



図－2.33　各項目のスペクトル特性

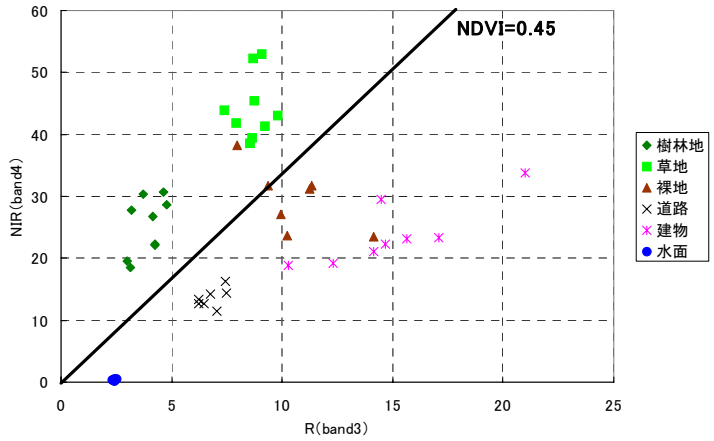
図－2.33 より各項目のスペクトル特性には、表－2.12 のような傾向が認められた。

表－2.12　各項目のスペクトル特性

項目	特徴的なスペクトル特性
樹林地	・band3からband4への変化量（Red Edge）が顕著 ・草地と比べて、band2、band3の反射率が低い ・草地と比べてband5、band7での落ち込みが顕著
草地	・band3からband4への変化量（Red Edge）が極めて顕著 ・band4の反射率が全項目中最も高い ・樹林地と比べてband5、band7での落ち込みが小さい
裸地	・band4よりband5の反射率が高い
道路	・変化パターンは建物と似ているが、全体に反射率が低い
建物	・band1～band3の反射率が全項目中最も高い ・band4よりband5の反射率が高い ・band5よりband7の反射率が高い
水面	・band1以外は全項目中最も反射率が低い ・とくにband4～band7は反射率がほとんどゼロ

（３）　NDVI 閾値の検討

図－2.31 で取得したトレーニングエリアの band3 と band4 の反射率をサンプリングし、グラフ上に展開することによって、植生被覆域（樹林地、草地）と非植生被覆域（裸地、道路、建物、水面）の NDVI 閾値を求め、その結果を図－2.34 に示す。

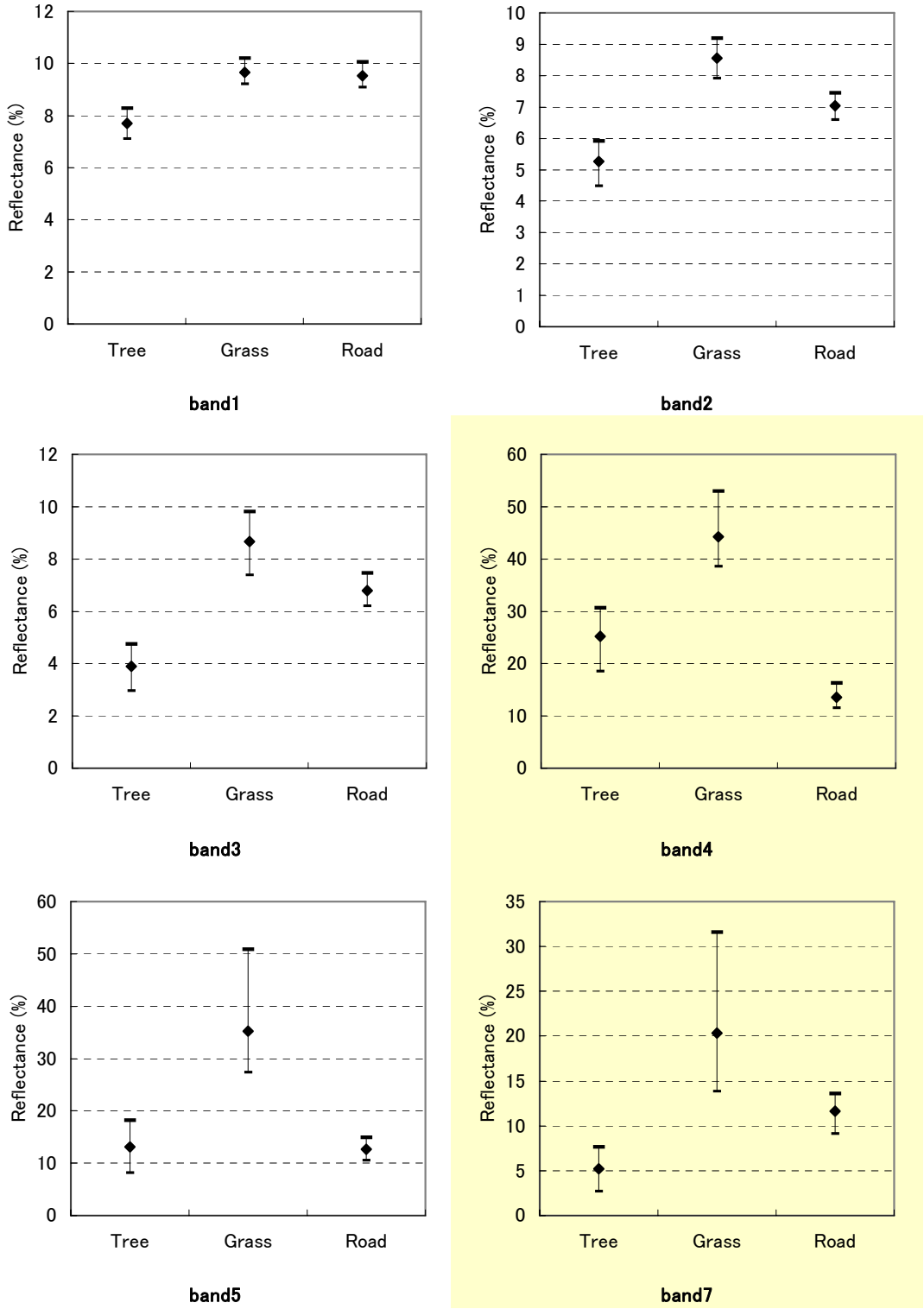


図－2.34　トレーニングエリアの band3、band4 サンプリング結果

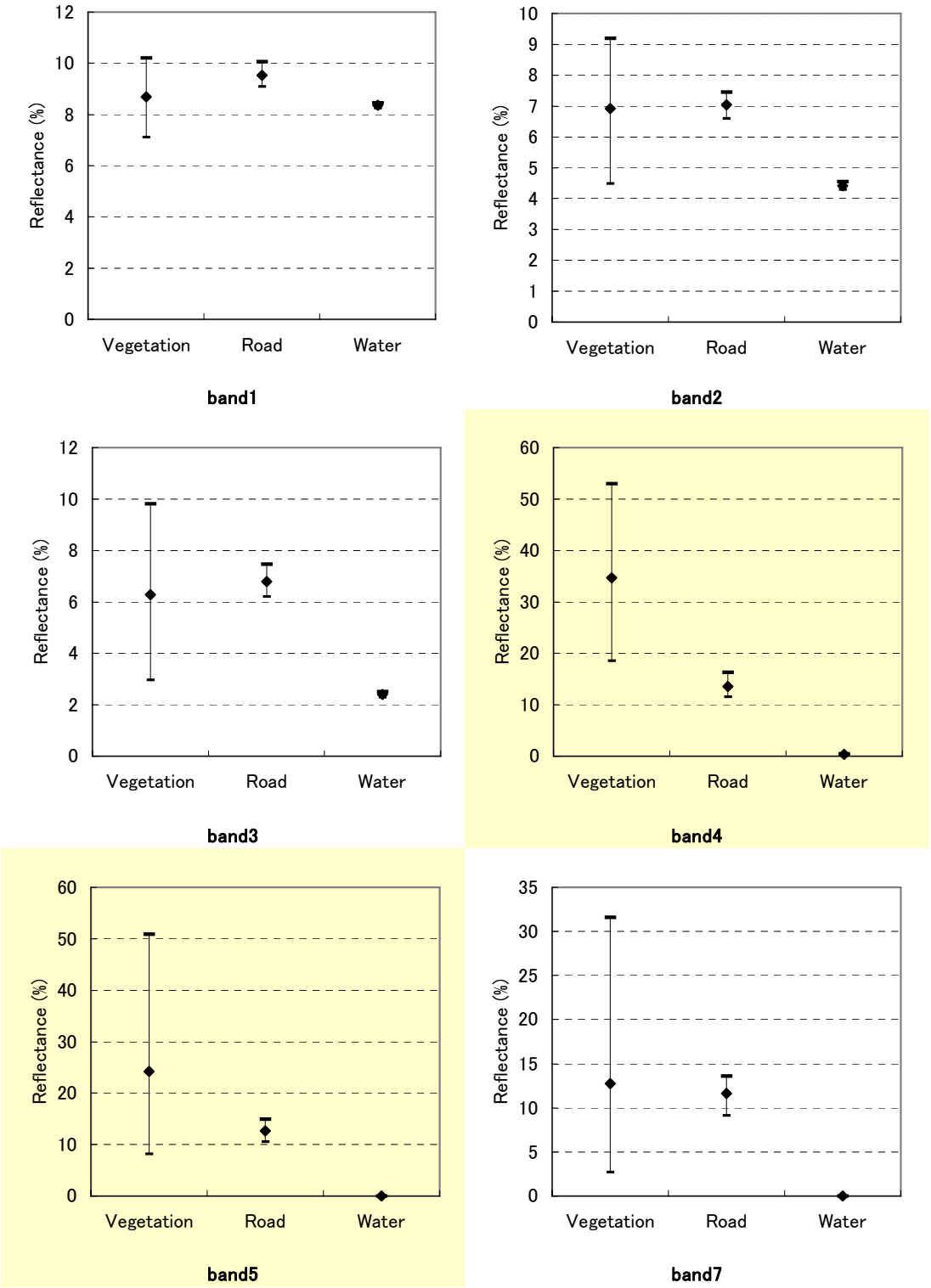
図－2.34 より、NDVI＝0.45 が閾値として妥当であると判断された。

（４） ミクセル分解におけるエンドメンバーのスペクトル特性の分析

樹木－草地－道路をエンドメンバーとした場合（TGR 分解）のピュアピクセルのスペクトル特性を図－2.35 に示し、植生－道路－水をエンドメンバーとした場合（VRW 分解）のピュアピクセルのスペクトル特性を図－2.36 に示す。

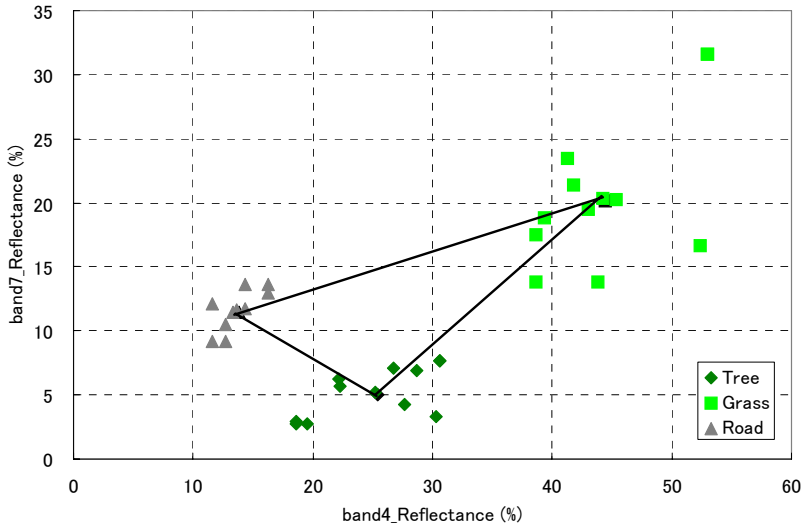


図－2.35　TGR 分解を想定した場合の各バンドのスペクトル特性

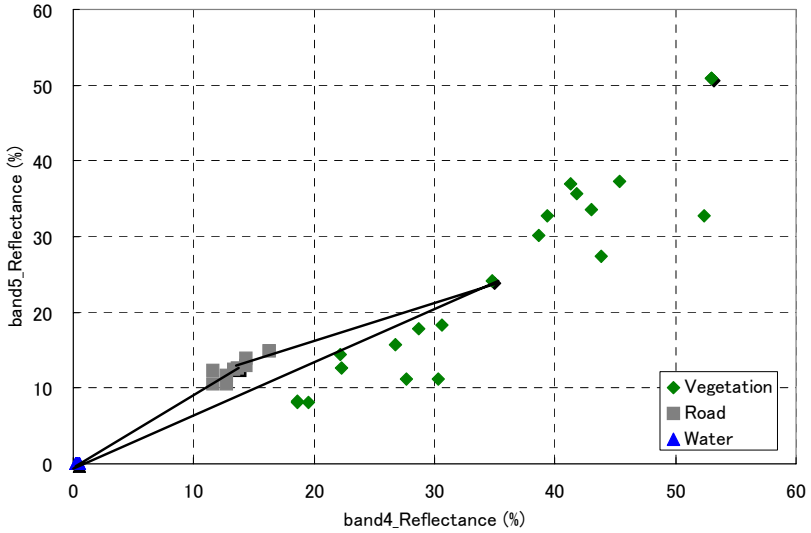


図－2.36　VRW 分解を想定した場合の各バンドのスペクトル特性

ミクセル分解に使用するバンドは、エンドメンバー間のスペクトル特性が独立していることが望ましい。したがって、図－2.35 より、TGR 分解においては band4 と band7 の組み合わせをエンドメンバー間の両軸として用いることとした（図－2.37）。また、図－2.36 より VRW 分解においては、band4 と band5 の組み合わせをエンドメンバー間の両軸として用いることとした（図－2.38）。



図－2.37　TGR 分解に使用したバンドとエンドメンバー

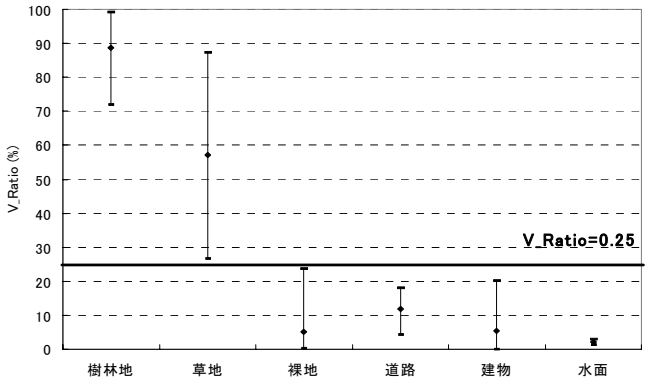


図－2.38　VRW 分解に使用したバンドとエンドメンバー

（５） VRW 分解＋TGR 分解における Vegetation 寄与率の閾値の検討

検証エリアで試行する手法のうち、⑥VRW 分解＋TGR 分解では、Vegetation 寄与率の閾値処理が発生する。そこで、図－2.38 に示すエンドメンバーで VRW 分解を実施した結果から、図－2.31 で取得したトレーニングエリアの Vegetation 寄与率をサンプリングし、

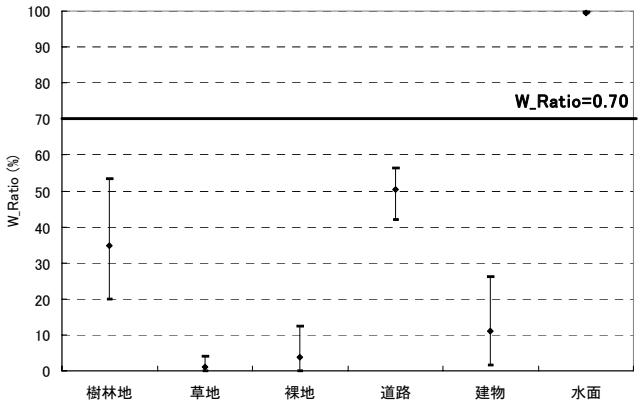
グラフ上に展開することによって、植生被覆域（樹林地、草地）と非植生被覆域（裸地、道路、建物、水面）の Vegetation 寄与率の閾値を求めると、図－2.39 に示すとおり、Vegetation 寄与率＝0.25 が閾値として妥当であると判断された。



図－2.39　トレーニングエリアの Vegetation 寄与率サンプリング結果

（６） TGR-W 分解における Water 寄与率の閾値の検討

検証エリアで試行する手法のうち、⑧TGR-W 分解では、Water 寄与率の閾値処理が発生する。そこで、図－2.38 に示すエンドメンバーで VRW 分解を実施した結果から、図－2.31 で取得したトレーニングエリアの Water 寄与率をサンプリングし、グラフ上に展開することによって、水面と水面以外の Water 寄与率の閾値を求めると、図－2.40 示すとおり、Water 寄与率＝0.70 が閾値として妥当であると判断された。



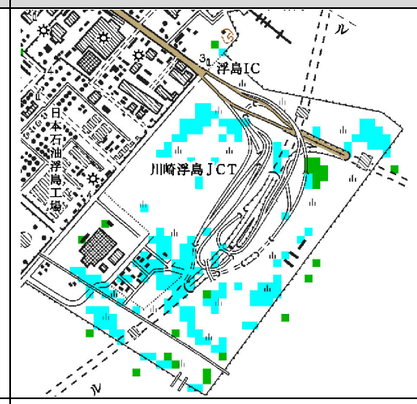
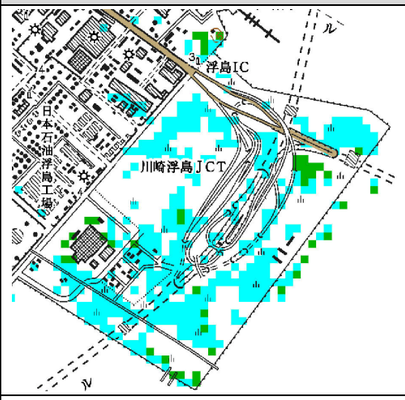
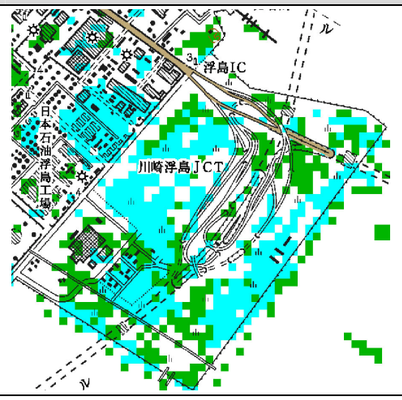
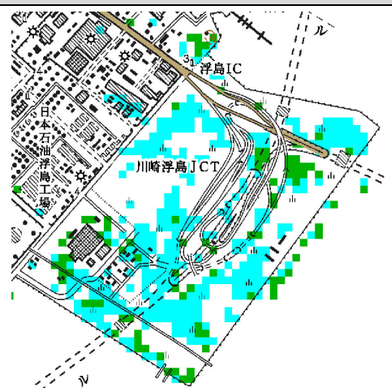
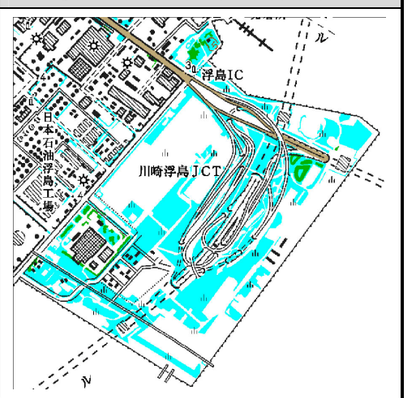
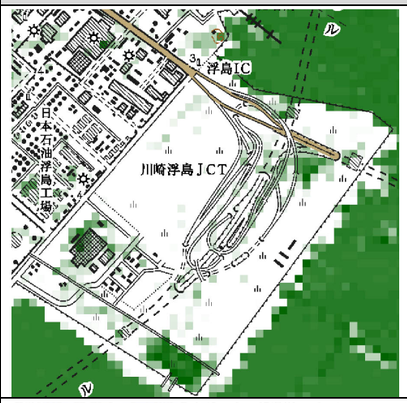
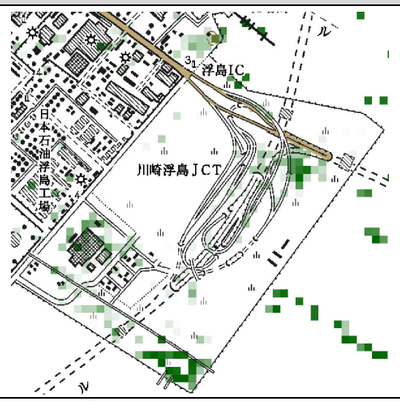
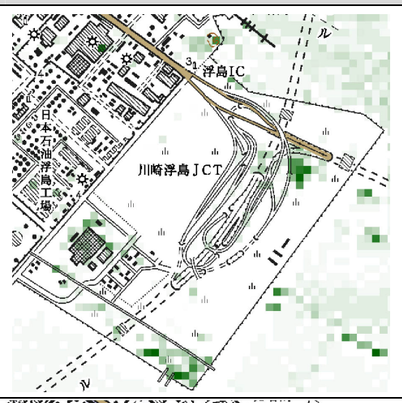
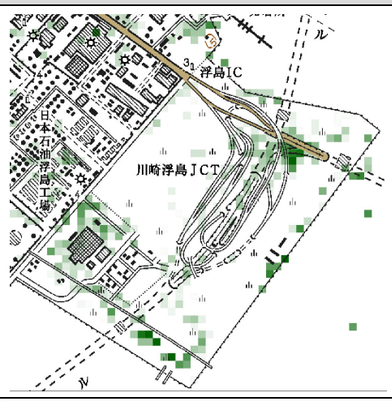
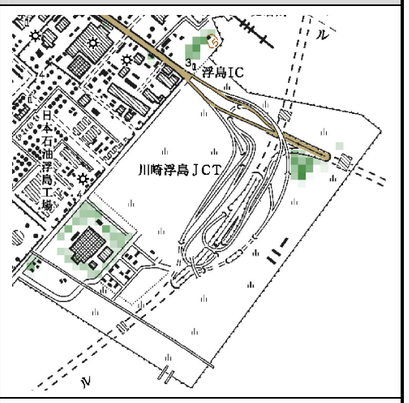
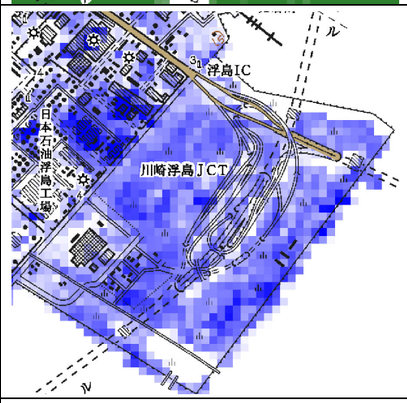
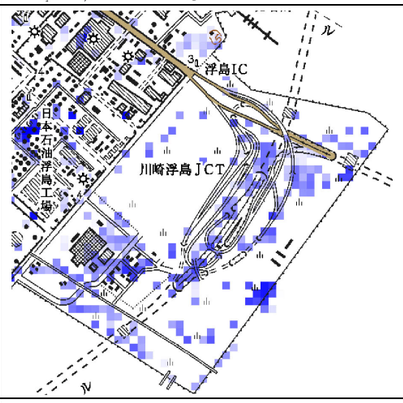
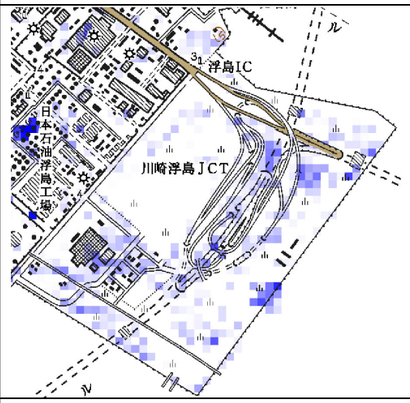
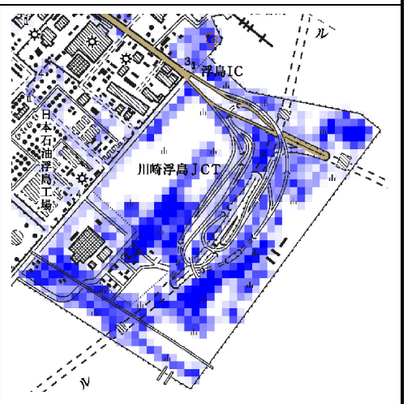
図－2.40　トレーニングエリアの Water 寄与率サンプリング結果

（７） 検証エリアにおける緑地、樹林地抽出結果と精度確認結果

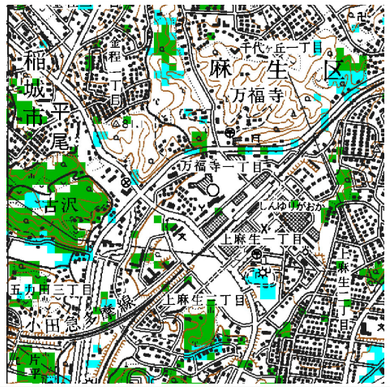
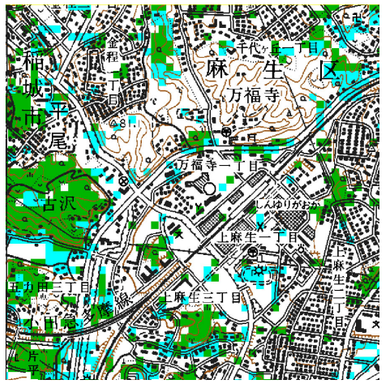
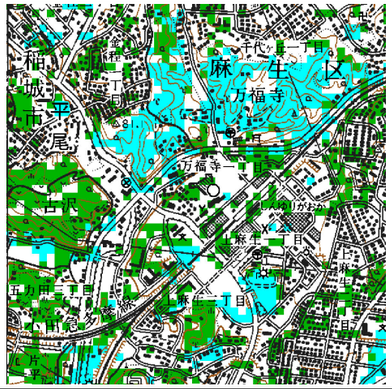
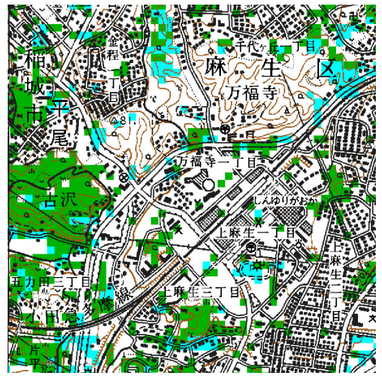
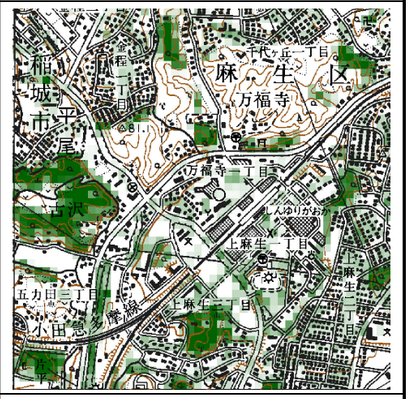
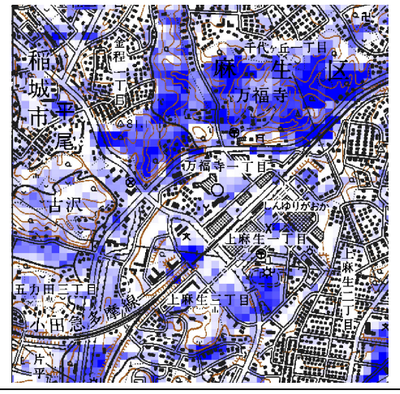
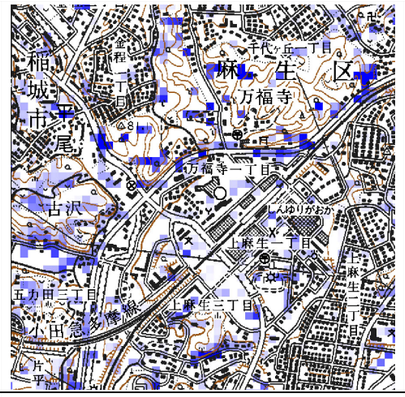
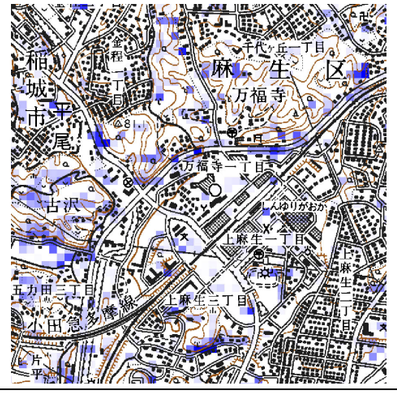
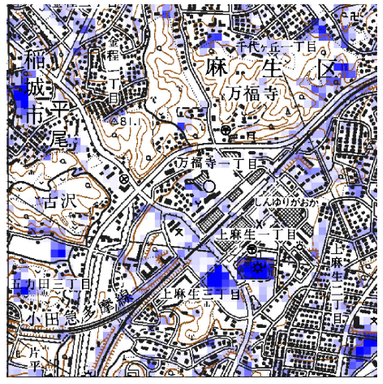
図－2.23 に示す 8 種の手法を検証エリアに適用し、緑地、樹林地の抽出を行った。それぞれの抽出結果は、空中写真判読結果と定性的、定量的に比較し、精度を確認した。

St.1～St.12 における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴を表－2.13 に示す。

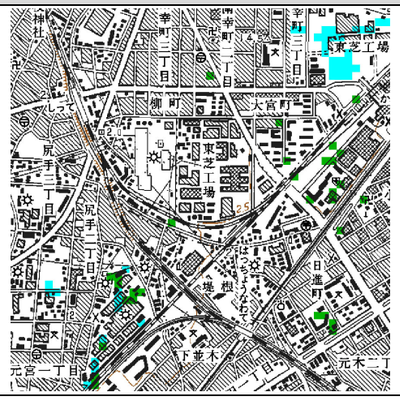
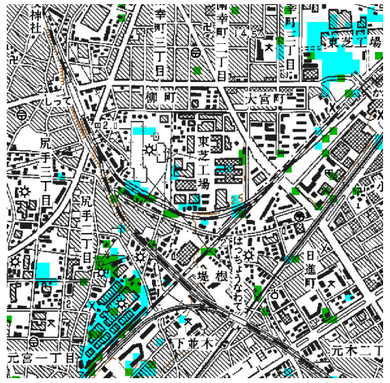
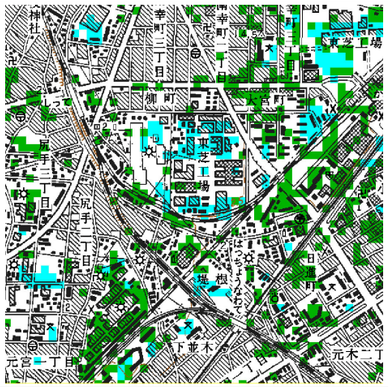
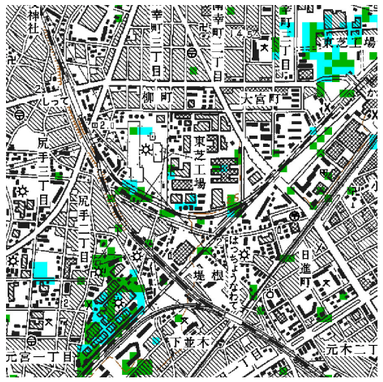
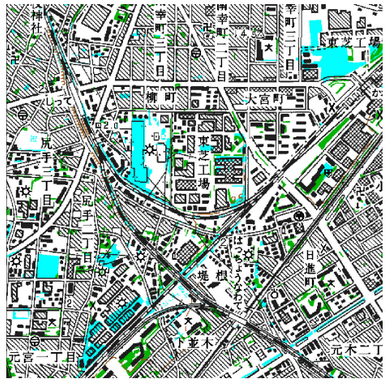
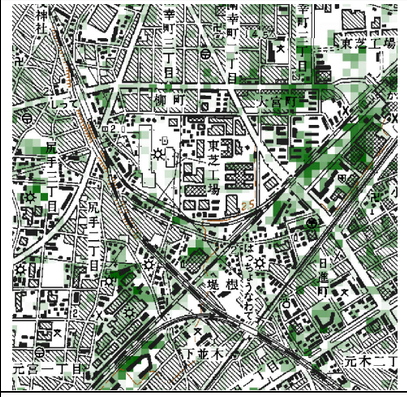
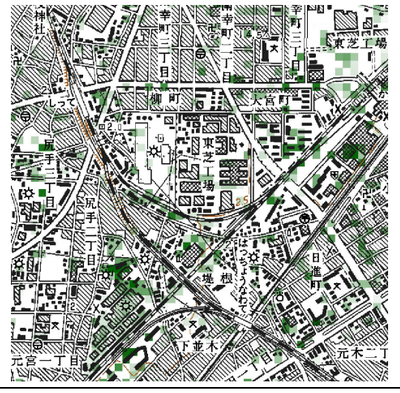
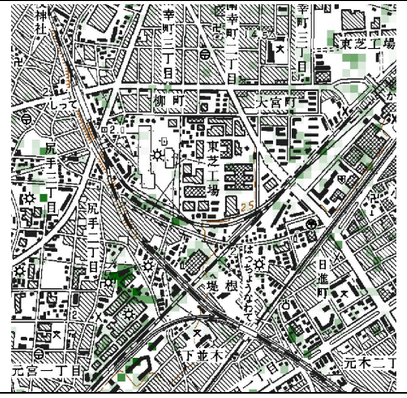
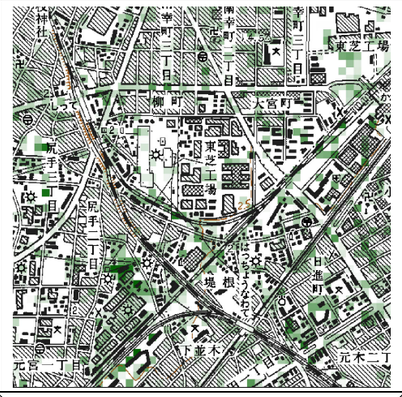
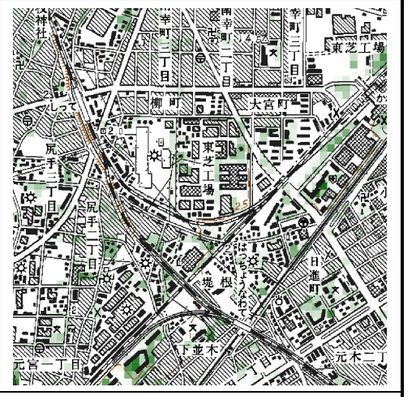
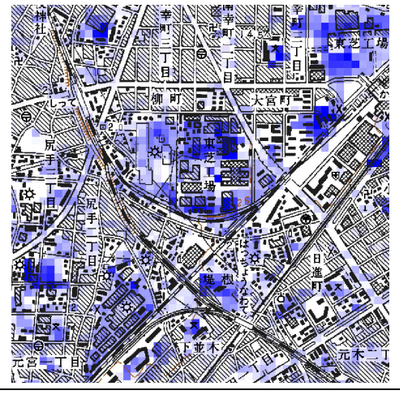
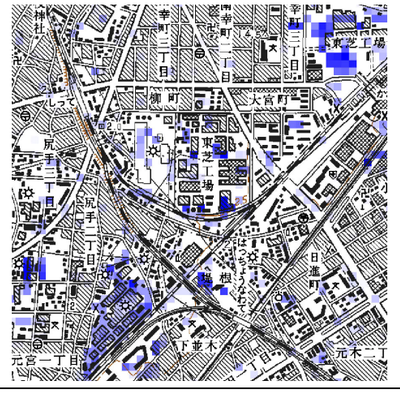
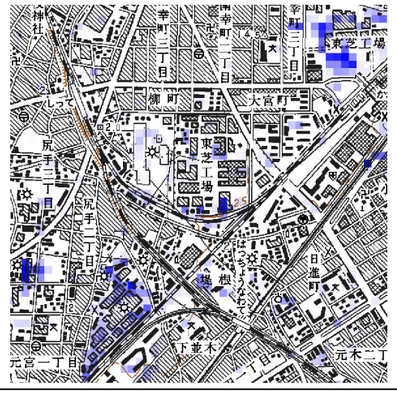
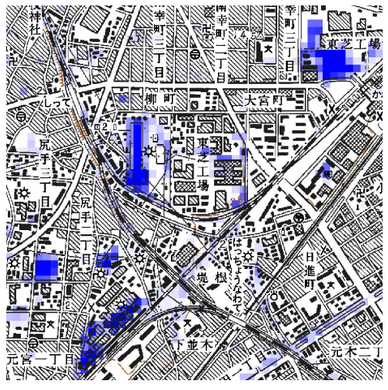
表－2.13(1)　St.1における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・草地がやや少なめ	・樹林地、草地ともやや多め	・樹林地、草地とも多め	・樹林地と草地が一部混同している	
ミクセル分解	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
	抽出結果（樹林地）					
	抽出結果（草地）					
	特徴	・ 水面を樹林地と誤判別している ・ 草地を過剰抽出	・樹林地と草地が一部混同している	・ 樹林地と草地が一部混同している ・ 草地がやや少なめ	・ 水面と樹林地を分離。樹林地の整合性が向上	

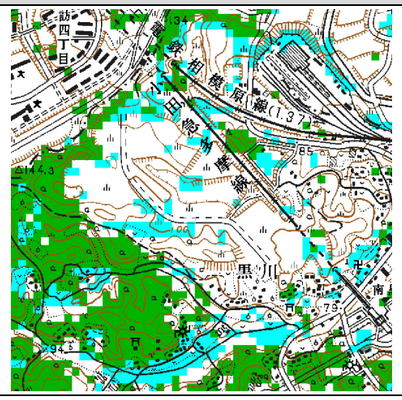
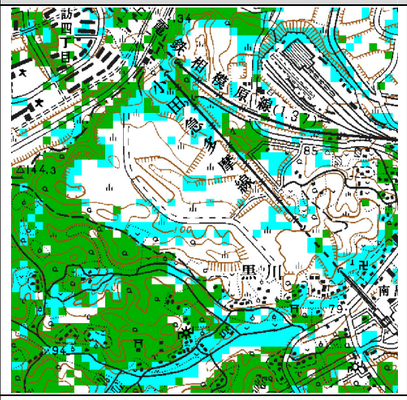
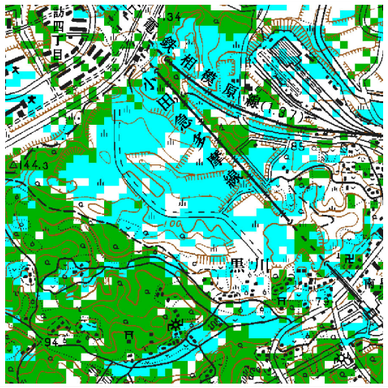
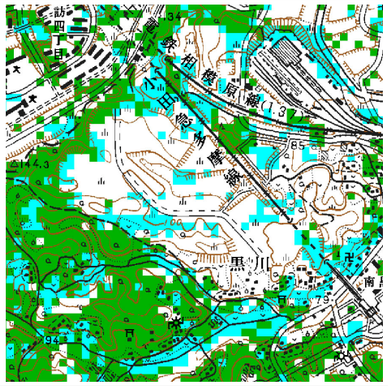
表－2.13(2)　St.2における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

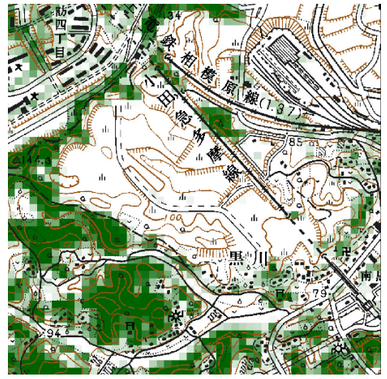
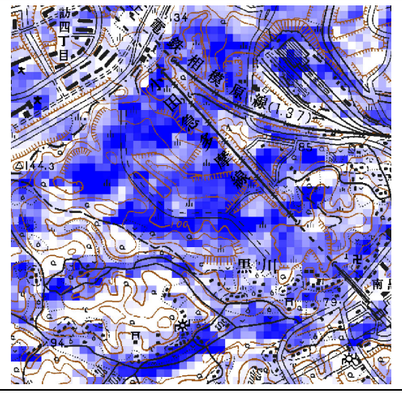
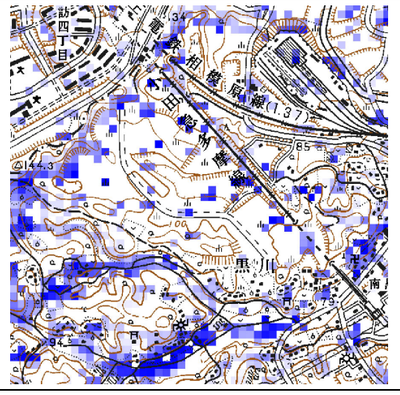
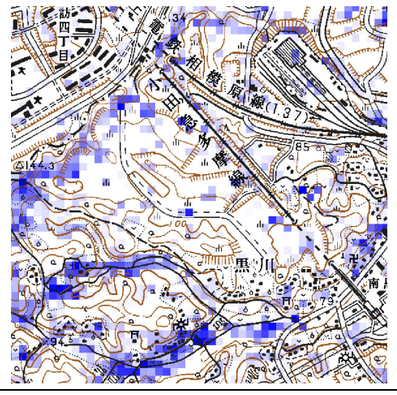
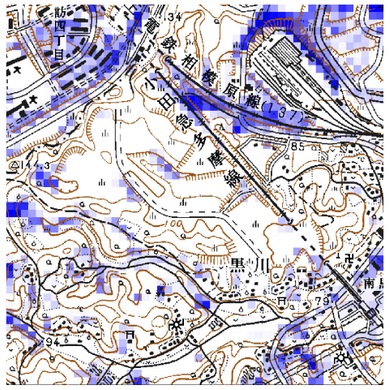
	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・樹林地と草地が一部混同している	・樹林地と草地が一部混同している	・草地を過剰抽出	・樹林地と草地が一部混同している	
ミクセル分解	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
	抽出結果（樹林地）					
	抽出結果（草地）					
	特徴	・草地を過剰抽出	・　樹林地と草地が一部混同している ・　樹林地がやや少なめ	・　樹林地と草地が一部混同している ・　樹林地がやや少なめ	・　高層建物の影と樹林地を分離。樹林地の整合性が向上	

表－2.13(3)　St.3における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

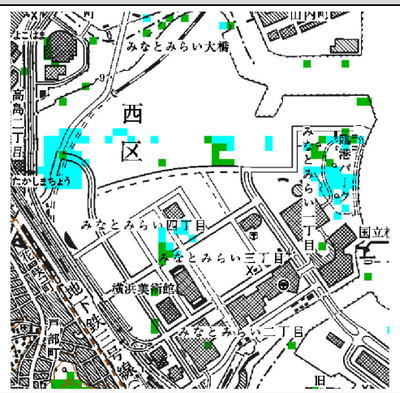
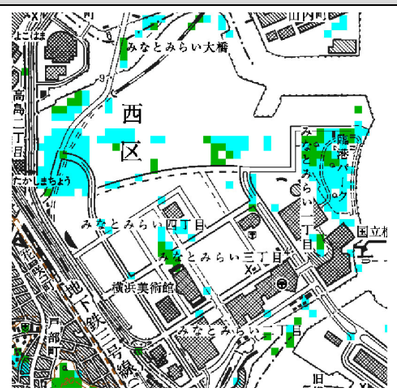
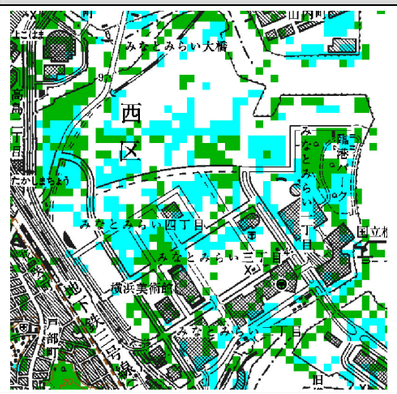
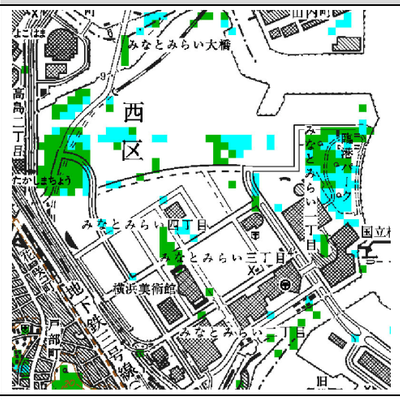
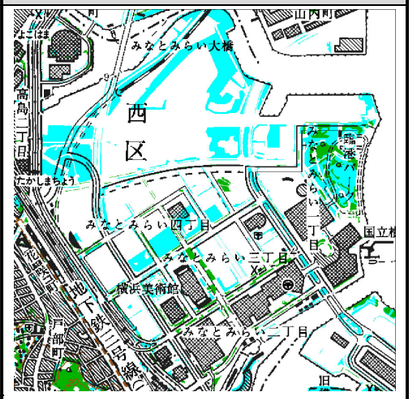
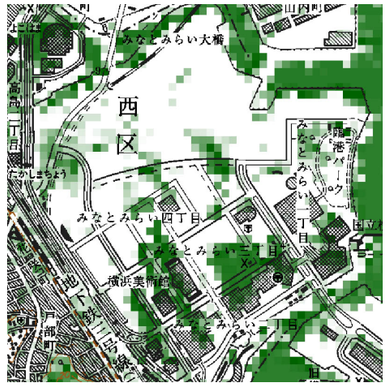
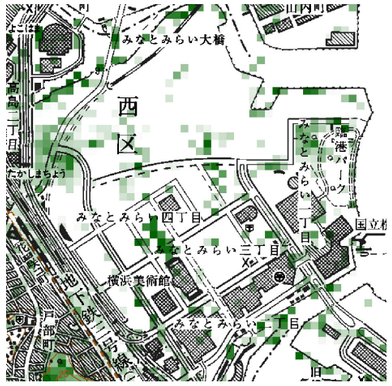
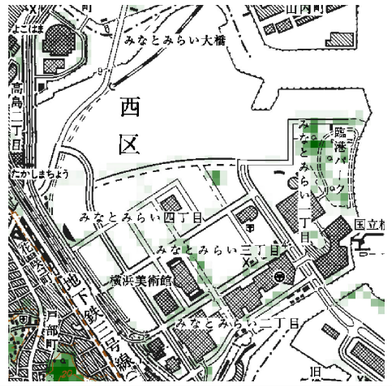
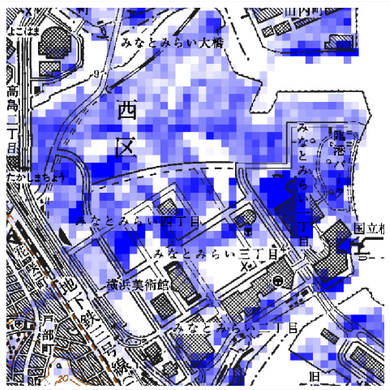
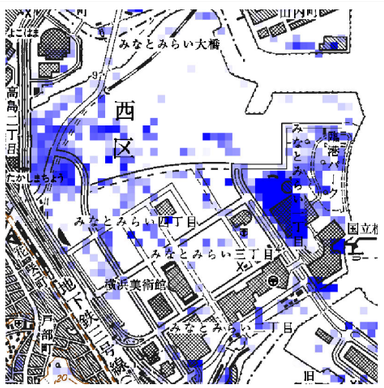
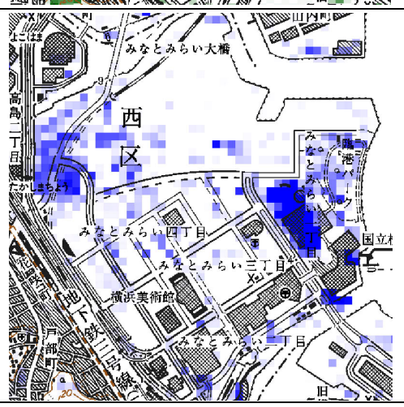
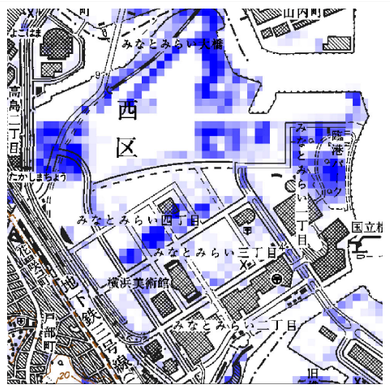
	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・樹林地、草地とも少なめ	・まとまった草地は概ね適切に抽出	・樹林地、草地とも過剰抽出	・樹林地と草地が混同している	
ミクセル分解	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
	抽出結果（樹林地）					
	抽出結果（草地）					
	特徴	・樹林地、草地とも過剰抽出	・小規模な樹林地、草地も概ね適切に抽出	・小規模な樹林地、草地も概ね適切に抽出	・　高層建物の影と樹林地を分離。樹林地の整合性が向上	

表－2.13(4)　St.4における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

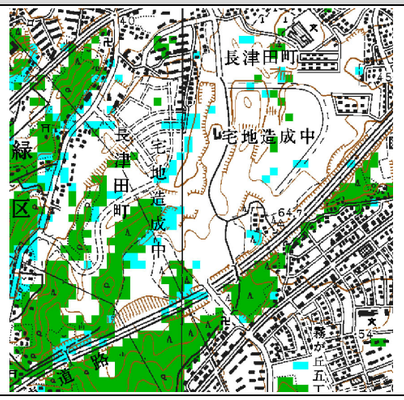
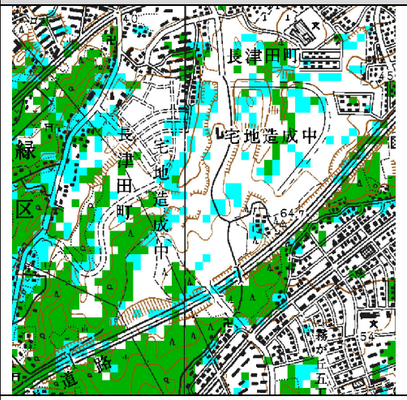
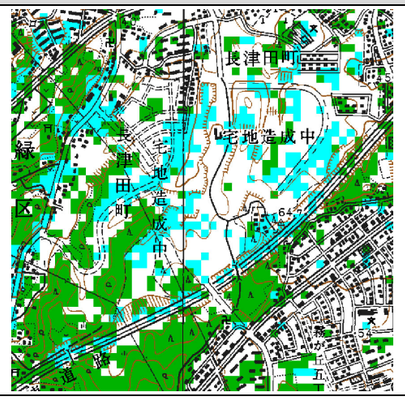
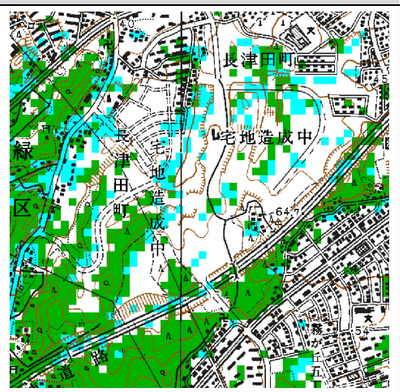
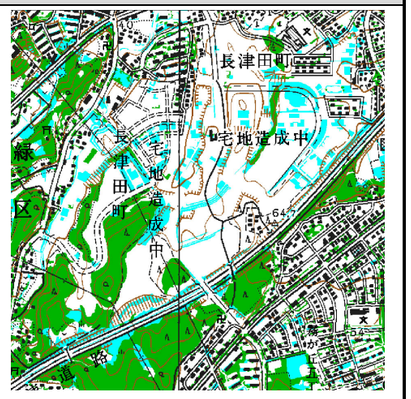
	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・農地を草地と誤判別している	・農地を草地と誤判別している	・草地を過剰抽出	・農地を草地と誤判別している	

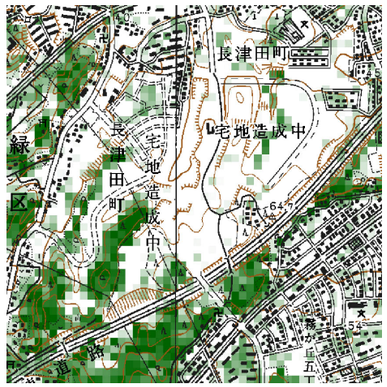
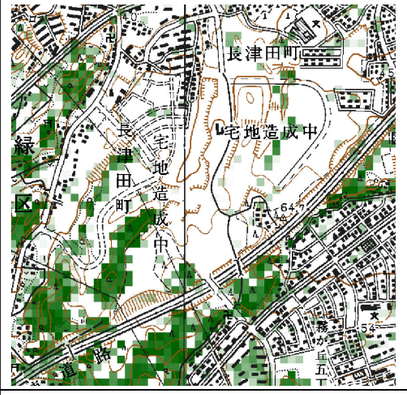
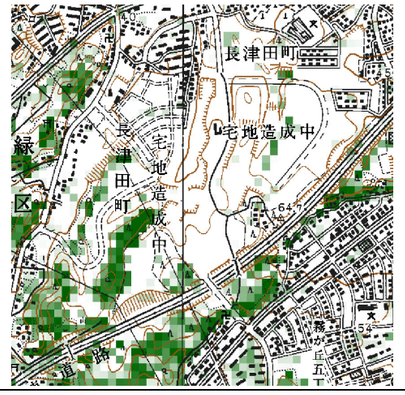
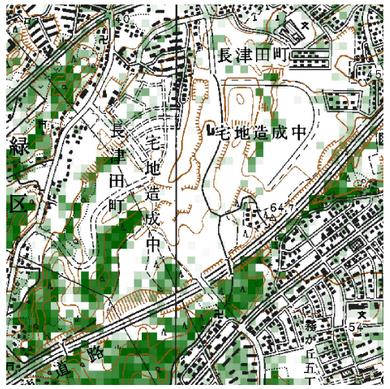
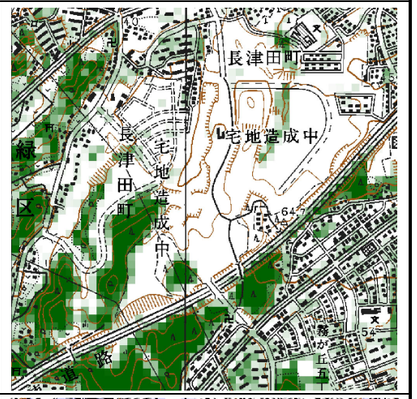
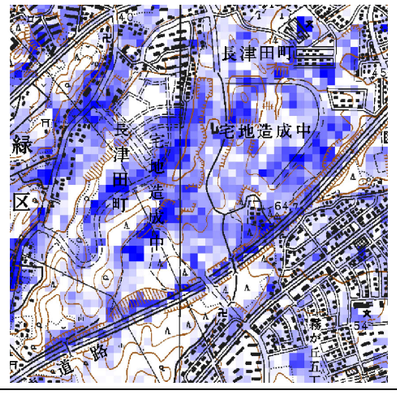
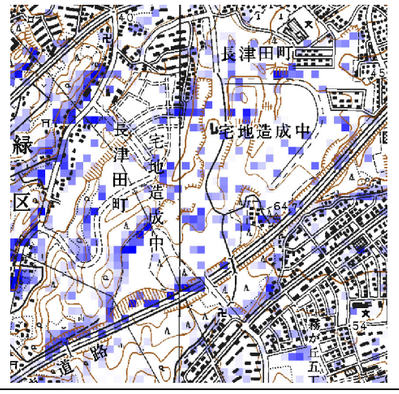
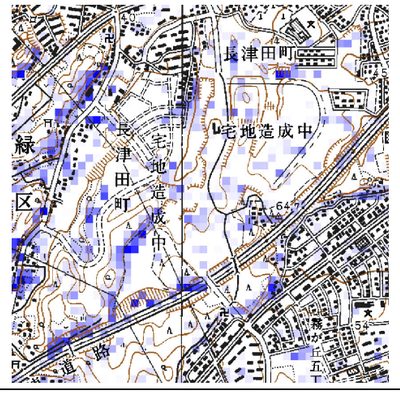
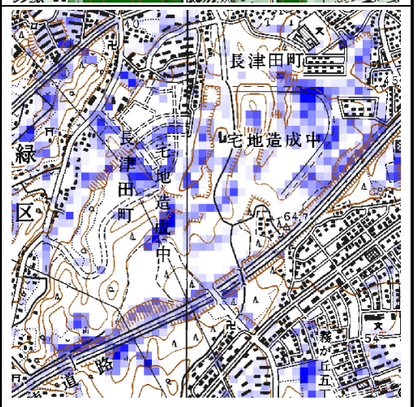
	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
ミクセル分解	抽出結果（樹林地）					
	抽出結果（草地）					
	特徴	・ 樹林地は概ね適切 ・ 草地を過剰抽出	・ 樹林地が少なめ ・ 草地がやや多め	・ 樹林地が少なめ	・ ほぼ⑤と同じ	

表－2.13(5)　St.5 における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

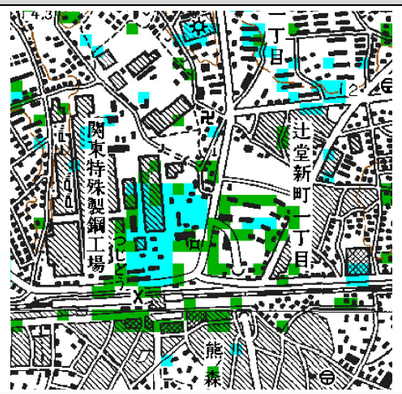
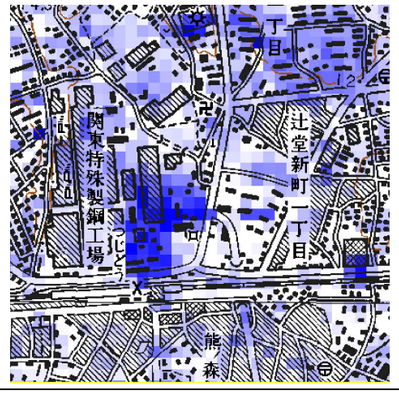
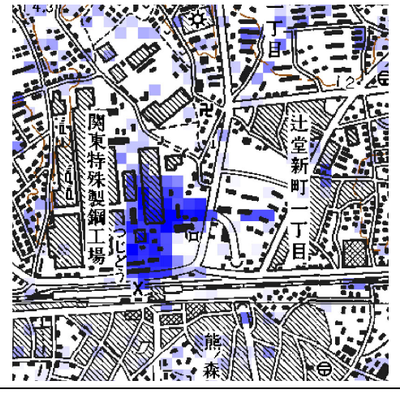
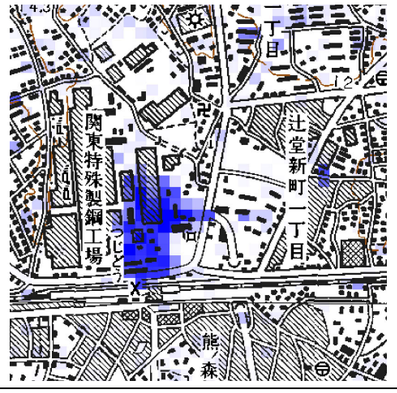
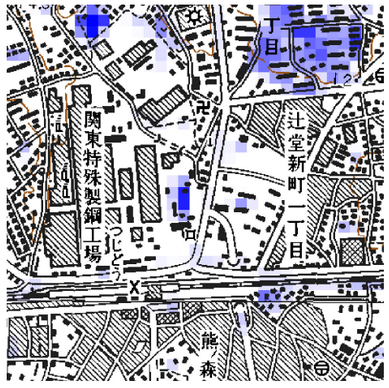
	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・まとまった草地は概ね適切に抽出	・まとまった草地は概ね適切に抽出	・樹林地、草地とも過剰抽出	・樹林地と草地が混同している	
ミクセル分解	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
	抽出結果（樹林地）					
	抽出結果（草地）					
	特徴	・樹林地、草地とも過剰抽出	・　樹林地がやや多め ・　まとまった草地は概ね適切に抽出	・　まとまった草地は概ね適切に抽出	・　高層建物の影および水面と樹林地を分離。樹林地の整合性が向上	

表－2.13(6)　St.6 における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

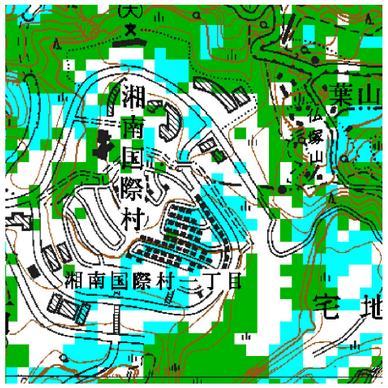
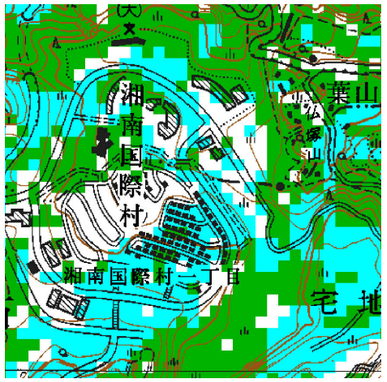
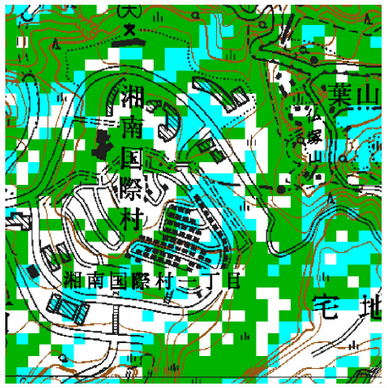
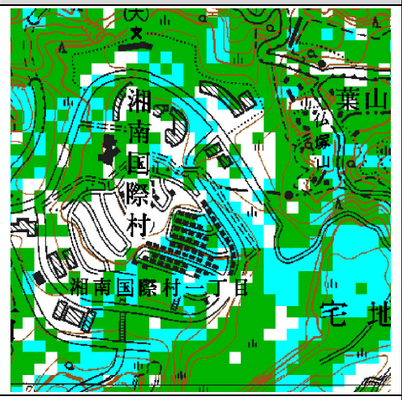
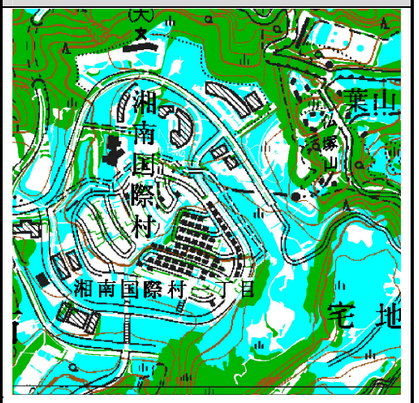
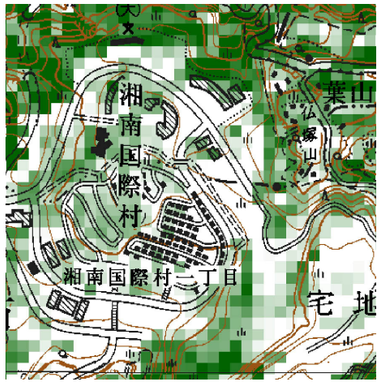
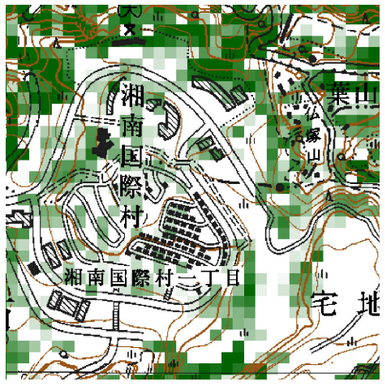
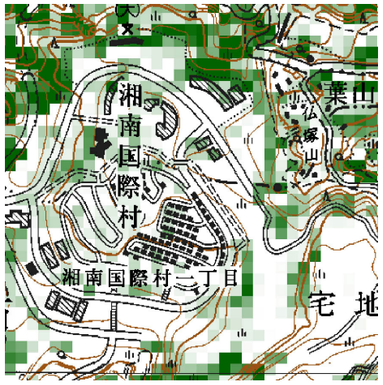
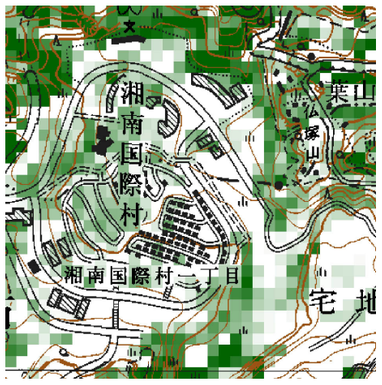
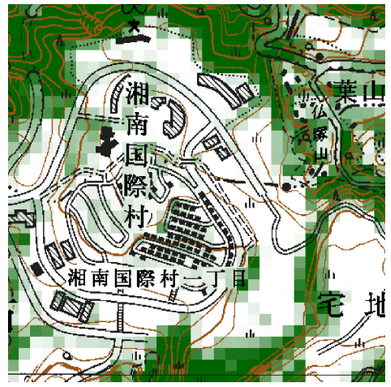
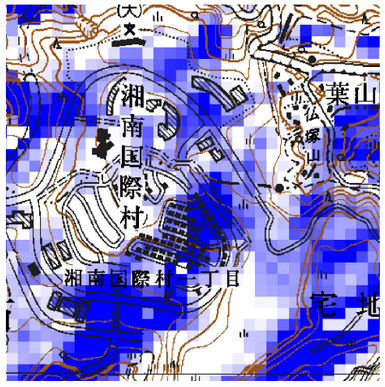
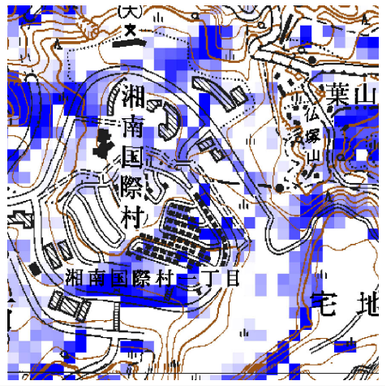
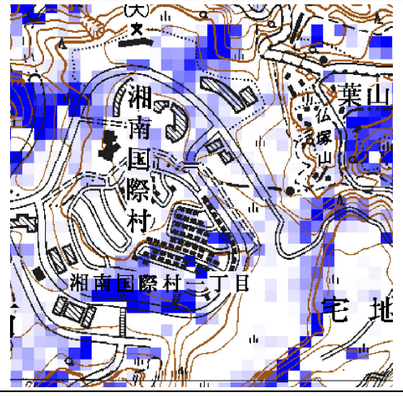
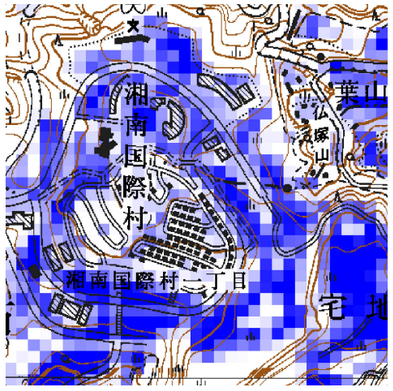
	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・樹林地、草地とも概ね適切に抽出	・樹林地、草地とも概ね適切に抽出	・草地がやや多め	・樹林地、草地とも概ね適切に抽出	

	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
ミクセル分解	抽出結果（樹林地）					
	抽出結果（草地）					
	特徴	・　樹林地は概ね適切に抽出 ・　草地を過剰抽出	・　樹林地、草地ともやや少なめ	・　樹林地、草地ともやや少なめ	・　ほぼ⑤と同じ	

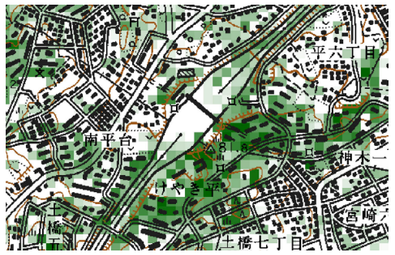
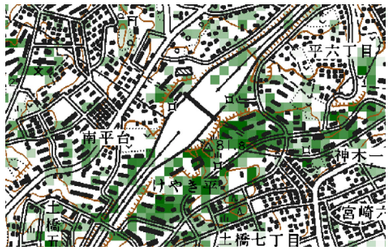
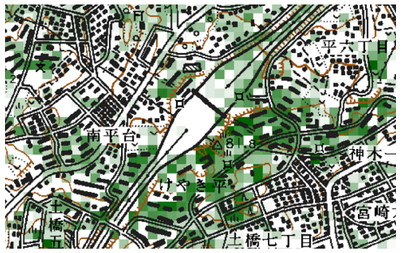
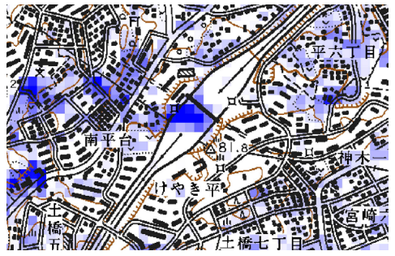
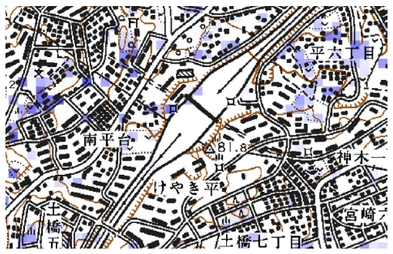
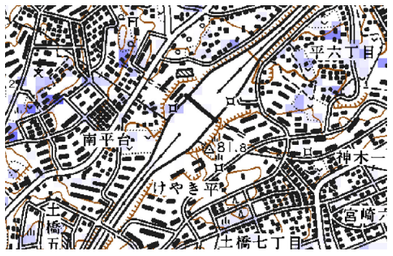
表－2.13(7)　St.7における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・小規模な草地は全く抽出されない	・草地がやや多め	・樹林地、草地とも過剰抽出	・樹林地と草地が混同している	
ミクセル分解	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
	抽出結果（樹林地）					
	抽出結果（草地）					
	特徴	・樹林地、草地とも過剰抽出	・　小規模な樹林地が一部抽出可能 ・　草地を過剰抽出	・　小規模な樹林地が一部抽出可能 ・　草地を過剰抽出	・　高層建物の影と樹林地を分離。樹林地の整合性が向上	

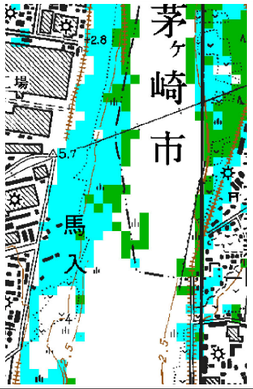
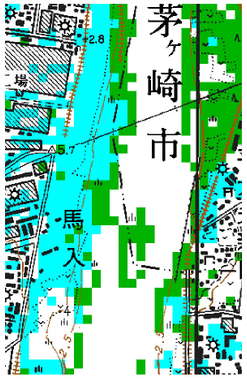
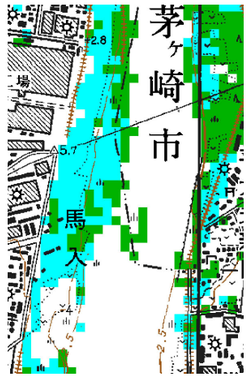
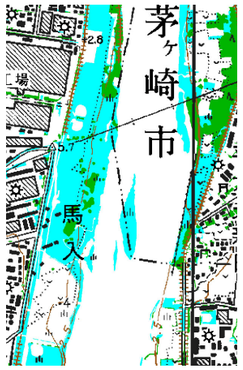
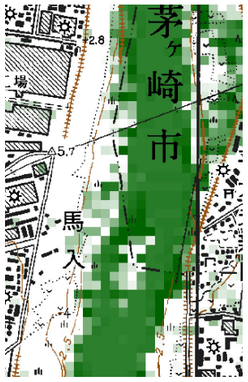
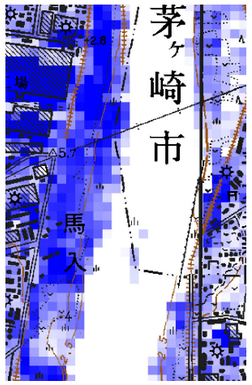
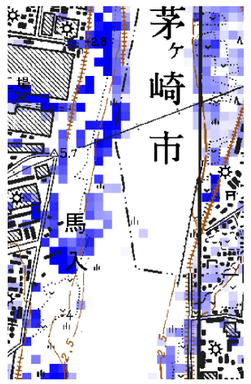
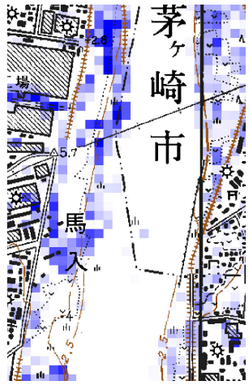
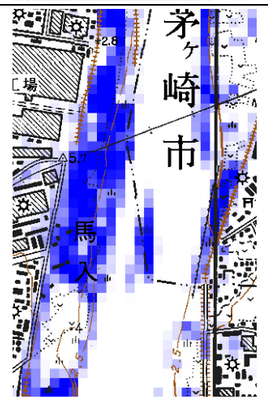
表－2.13(8)　St.8 における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・草地が少なめ	・樹林地と草地が混同している	・草地が少なめ	・樹林地と草地が混同している	
ミクセル分解	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
	抽出結果（樹林地）					
	抽出結果（草地）					
	特徴	・　樹林地、草地とも概ね適切に抽出 ・　樹林地と草地が一部混同している	・　樹林地、草地とも少なめ	・　樹林地、草地とも少なめ	・　ほぼ⑤と同じ	

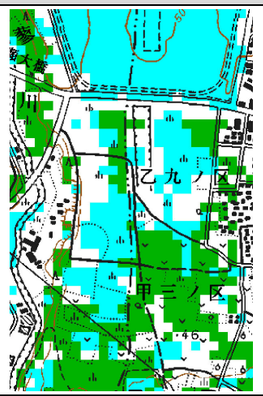
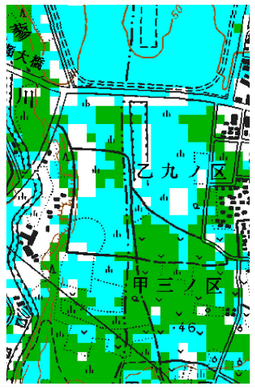
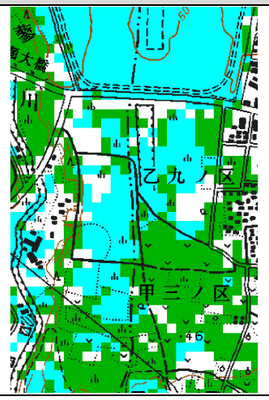
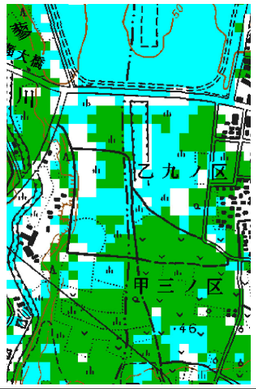
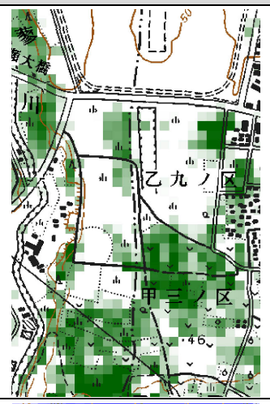
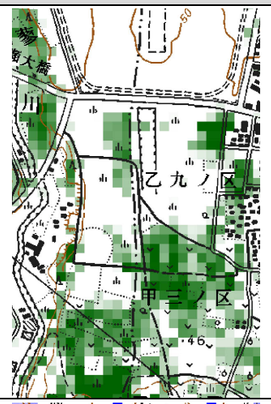
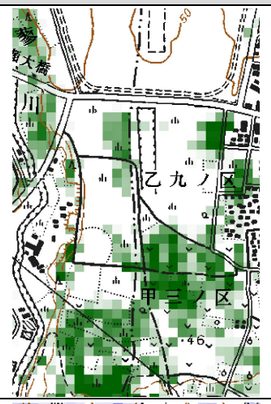
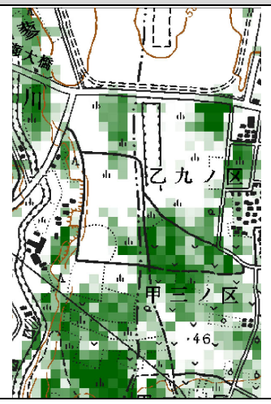
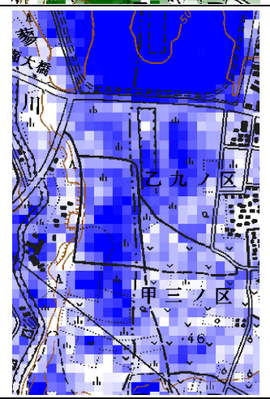
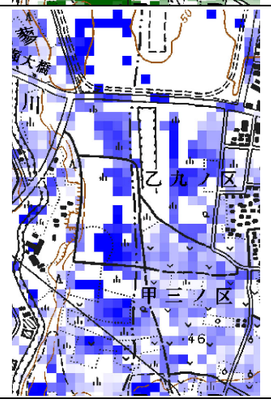
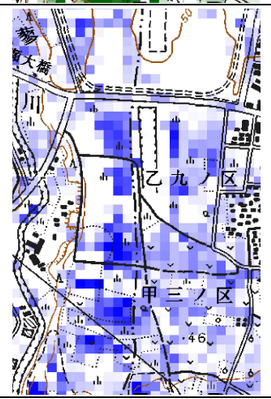
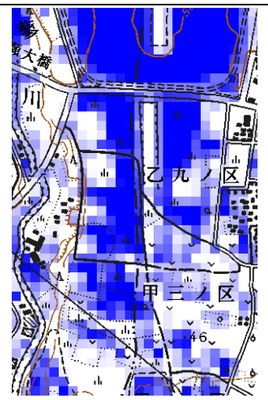
表－2.13(9)　St.9 における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・草地が少なめ	・　小規模な樹林地、草地を捉えきれていない	・樹林地、草地とも過剰抽出	・　小規模な樹林地、草地を捉えきれていない	
ミクセル分解	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
	抽出結果（樹林地）					
	抽出結果（草地）					
	特徴	・　樹林地、草地とも多め	・　樹林地は概ね適切に抽出 ・　草地はやや少なめ	・　樹林地、草地ともやや少なめ	・　ほぼ⑤と同じ	

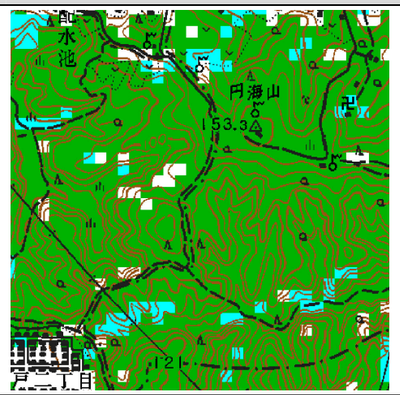
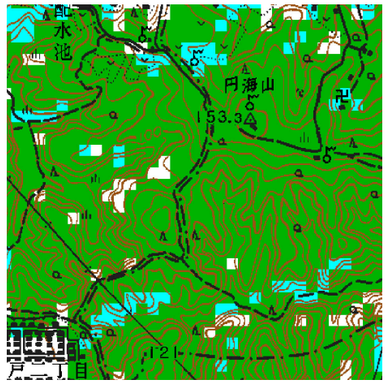
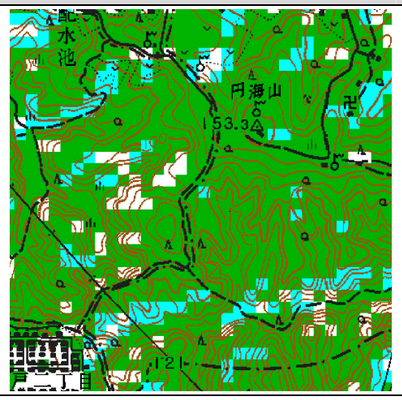
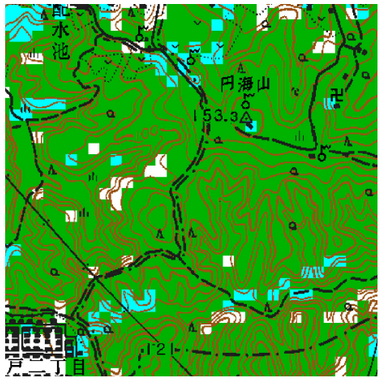
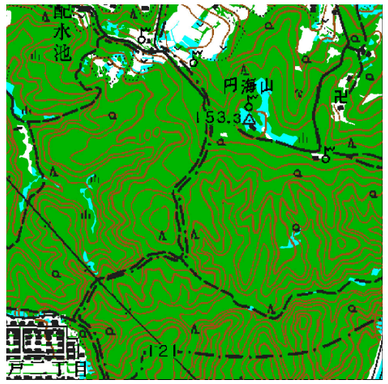
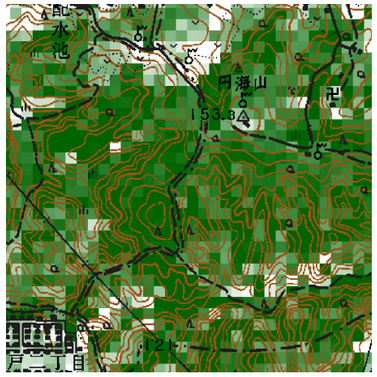
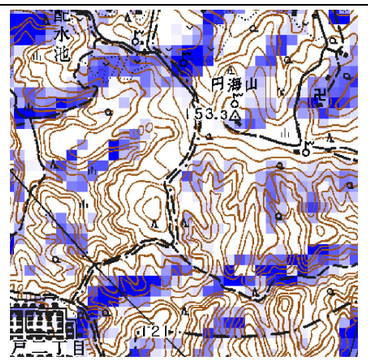
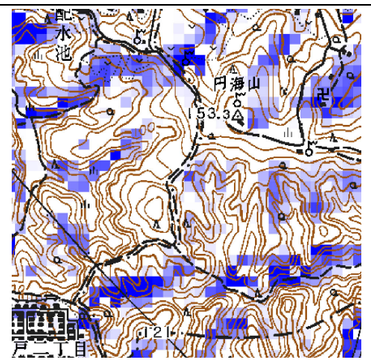
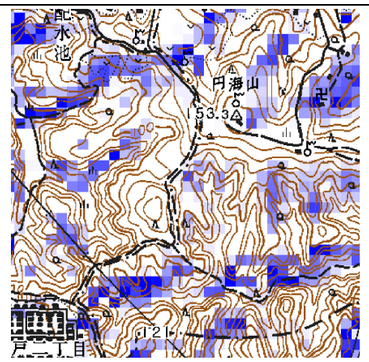
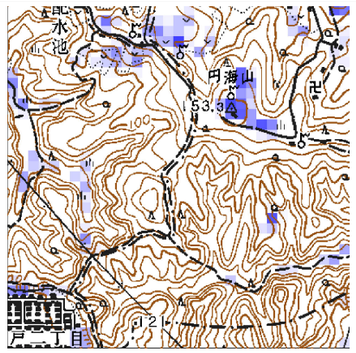
表－2.13(10)　St.10における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・樹林地、草地とも概ね適切に抽出	・農地を草地と誤判別している	・樹林地、草地ともやや多め	・樹林地と草地が一部混同している	
ミクセル分解	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
	抽出結果（樹林地）					
	抽出結果（草地）					
	特徴	・ 水面を樹林地と誤判別している ・ 草地を過剰抽出	・ 樹林地は概ね適切に抽出 ・ 草地は一部抽出漏れがある	・ 樹林地はやや少なめ ・ 草地は一部抽出漏れがある	・ 水面と樹林地を分離。樹林地の整合性が向上	

表－2.13(11)　St.11 における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・　農地を樹林地と誤判別している ・　樹林地と草地が混同している	・　農地を樹林地と誤判別している ・　樹林地と草地が混同している	・　農地を樹林地と誤判別している ・　樹林地と草地が混同している	・　農地を樹林地と誤判別している ・　樹林地と草地が混同している	
ミクセル分解	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
	抽出結果 (樹林地)					
	抽出結果 (草地)					
	特徴	・樹林地、草地とも概ね適切に抽出	・草地に一部抽出漏れがある	・草地に一部抽出漏れがある	・　ほぼ⑤と同じ	

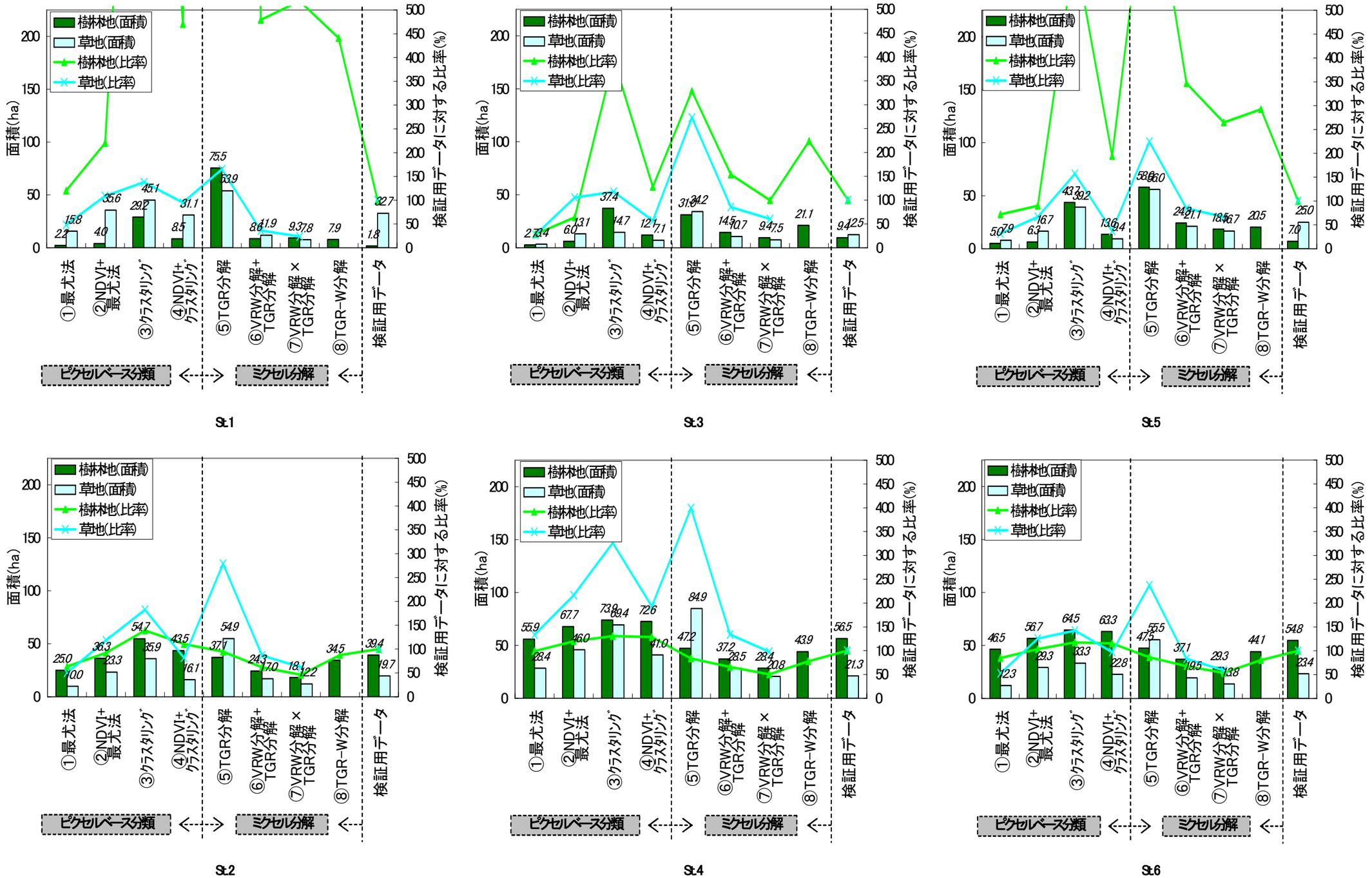
表－2.13(12)　St.12 における緑地、樹林地抽出結果と各手法の特徴

	手法	①最尤法	②NDVI＋最尤法	③クラスタリング	④NDVI＋クラスタリング	検証用画像（空中写真判読）
ピクセルベース分類	抽出結果					
	特徴	・樹林地と草地が混同している	・樹林地と草地が混同している	・樹林地と草地が混同している	・樹林地と草地が混同している	
	手法	⑤TGR 分解	⑥VRW 分解＋TGR 分解	⑦VRW 分解×TGR 分解	⑧TGR-W 分解	検証用ミクセル（空中写真判読）
ミクセル分解	抽出結果（樹林地）					
	抽出結果（草地）					
	特徴	・　樹林地と草地が混同している	・　樹林地がやや少なめ ・　樹林地と草地が混同している	・　樹林地がやや少なめ ・　樹林地と草地が混同している	・　山の陰が樹林地から除かれ、整合性がやや低下	

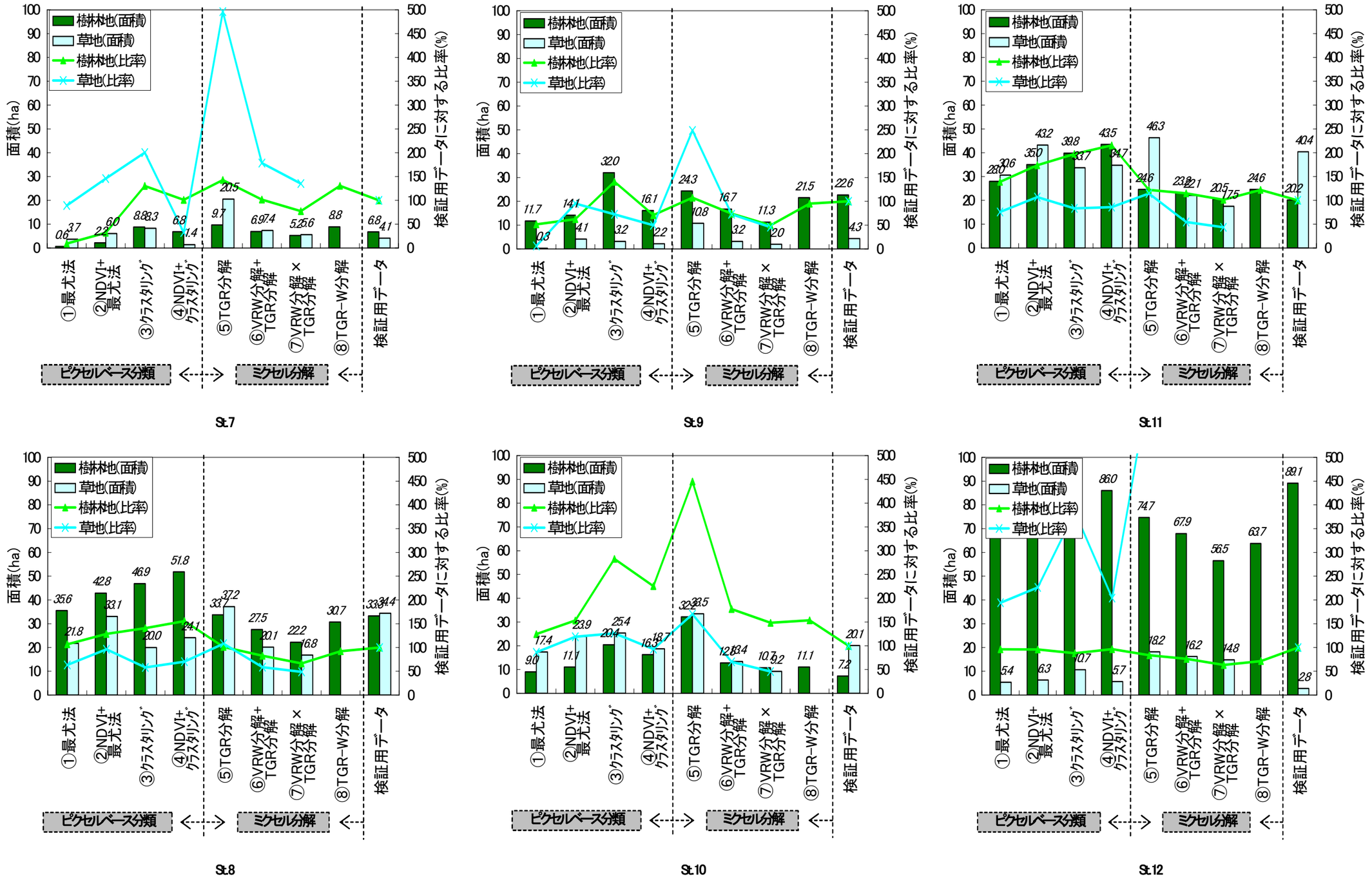
表－2.13 より推察される各手法の定性的な特徴は以下のとおりである。

- 最尤法（①）は、小規模な緑地、樹林地が多いエリア（St.1、St.3、St.7 など）では過少抽出傾向を示す。大規模な緑地、樹林地が多いエリア（St.2、St.4、St.6 など）では概ね良好に分類されているが、樹林地と草地が混同しているケースや農地を草地と誤判別しているケースが見られる。
- NDVI+最尤法（②）は、小規模な緑地、樹林地が多いエリアでは比較的まとまった樹林地、草地は概ね適切に抽出されており、①より良好な結果となっている。大規模な緑地、樹林地が多いエリアでは①と似通った分類結果を示す。
- クラスタリング（③）は、小規模な緑地、樹林地が多いエリアでは建物や道路などが誤って樹林地、草地と抽出されている箇所が多く、過剰抽出傾向を示す。大規模な緑地、樹林地が多いエリアでは、影を樹林地と誤判別しているケースや裸地を草地と誤判別しているケースが見られる。
- NDVI+クラスタリング（④）は、小規模な緑地、樹林地が多いエリアでは比較的まとまった樹林地、草地は概ね適切に抽出されているが、樹林地と草地の混同が見られる。大規模な緑地、樹林地が多いエリアでは①、②と似通った分類結果を示す。
- TGR 分解（⑤）は、樹林地は比較的検証用ミクセルに近い形で抽出されているが、水面、影が樹林地に誤判別されている。草地は建物や道路の草地率が異常に高い。
- VRW 分解+TGR 分解（⑥）は、小規模な緑地、樹林地が多いエリアでは比較的まとまった樹林地、草地に加え、小規模な樹林地、草地に対しても応答が見られる。大規模な緑地、樹林地が多いエリアでは、全体に過少抽出傾向を示しており、とくに樹林地が顕著である。また、他の手法と同様に農地を草地と誤判別しているケースが見られる。
- VRW 分解×TGR 分解（⑦）は、全体に⑥と似通った傾向を示す。小規模な緑地、樹林地が多いエリアでは比較的まとまった樹林地、草地に加え、小規模な樹林地、草地に対しても応答が見られる。大規模な緑地、樹林地が多いエリアでは、全体に過少抽出傾向を示している。また、他の手法と同様に農地を草地と誤判別しているケースが見られる。
- TGR-W 分解（⑧）は、樹林地に関して TGR 分解（⑤）の大きな欠点であった水面、影の誤判別が軽減されており、概ね良好な結果となっている。ただし、草地の誤判別は軽減されない。

次に定量的な比較を行った。検証エリア全体での面積比較を図－2.40 に示す。



図－2.41(1)　検証エリア全体での面積比較（St.1、St.2、St.3、St.4、St.5、St.6）



図－2.41(2)　検証エリア全体での面積比較（St.7、St.8、St.9、St.10、St.11、St.12）

図－2.41 は、p59 で述べた各手法の特徴を裏付ける結果となっており、面積的にみて利用性の高い手法は、ピクセルベース分類では NDVI+最尤法（②）、ミクセル分解では TGR-W 分解（⑧）であると考えられる。ただし、TGR-W 分解（⑧）は樹林地のみの利用性が高い。

（８） 全域に適用する手法の選定

検証エリアにおける定性的な特徴（表－2.13）、全体での面積比較（図－2.41）を整理すると、8 種の手法の特徴と精度は表－2.14 のようにまとめられる。

表－2.14　各手法の特徴と精度のまとめ

手法＼評価項目		定性的な特徴（表－2.13）		全体面積比較（図－2.41）	
		評価	特徴	評価	特徴
①	最尤法	△	・都心部では過少抽出 ・郊外は混同や誤判別あり	△	・都心部は過少抽出 ・郊外はやや過剰抽出
②	NDVI+ 最尤法	◎	・都心部はまずまず ・郊外は混同や誤判別あり	◎	・都心部はまずまず ・郊外はやや過剰抽出
③	クラスタリング	△	・都心部では過剰抽出 ・郊外は影や裸地を誤判別	△	・都心部、郊外とも過剰抽出
④	NDVI+ クラスタリング	○	・樹林地と草地の混同が見られる。	○	・都心部はまずまず ・郊外は過剰抽出
⑤	TGR分解	△	・水面、影を樹林地と誤判別	△	・都心部、郊外とも過剰抽出
⑥	VRW分解+ TGR分解	○	・都心部はまずまず ・郊外は過少抽出	○	・都心部はやや過剰抽出 ・郊外は過少抽出
⑦	VRW分解× TGR分解	○	・都心部はまずまず ・郊外は過少抽出	○	・都心部はやや過剰抽出 ・郊外は過少抽出
⑧	TGR-W分解	◎	・水面、影の誤判別が軽減	◎	・都心部はやや過剰抽出 ・郊外はまずまず

表－2.14 より、

・ TGR-W 分解（⑧）

が、最も適用性の高い手法であると考察された。また、ピクセルベース分類では、

・ NDVI+最尤法（②）

が、高い適用性を示していた。

そこで、本研究ではこの 2 手法を採用し、以下の第 3 章等でもこの手法を適用することとした。

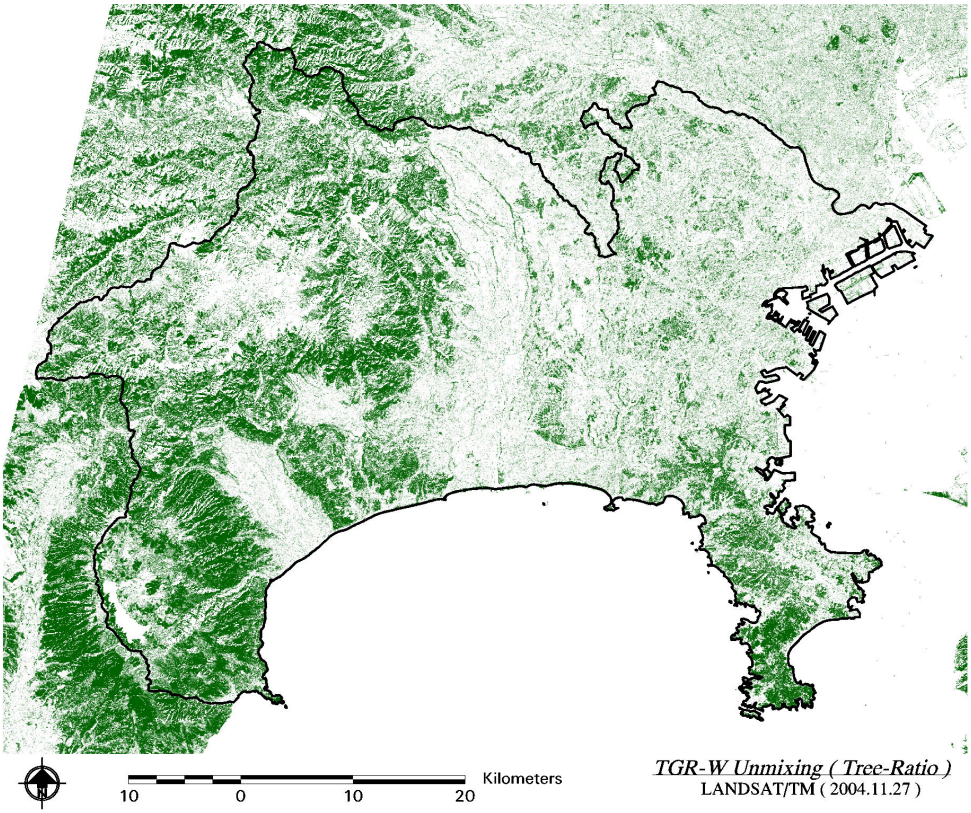
2.6　緑地、樹林地抽出

2.6.1　2004.11.27 データに基づく緑地、樹林地抽出

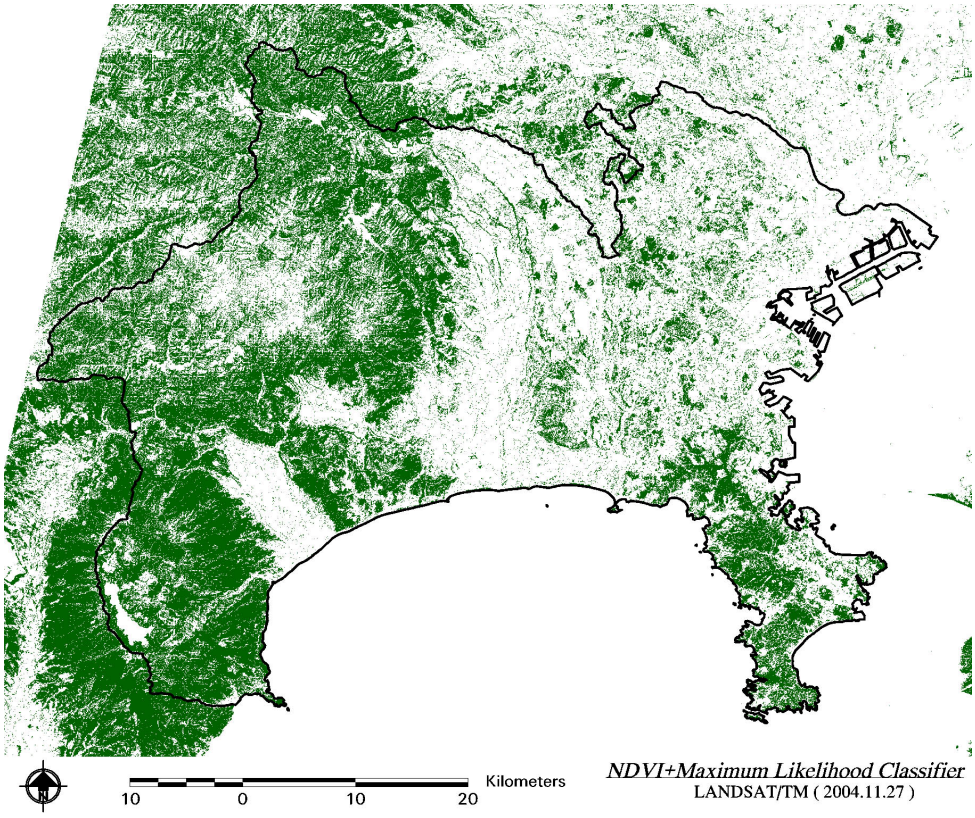
2.5 で選定された 2 とおりの手法を神奈川県全域に適用し、2004 年の樹林地、草地の抽出を行った。

TGR-W 分解によって抽出した樹林地を図－2.42 に、NDVI+最尤法によって抽出した樹林地を図－2.43 に示す。

図－2.42、図－2.43 より、大規模な公園や西部の箱根・丹沢などの特徴的な樹林は概ね適切に抽出されていることがわかる。ただし、丹沢の高標高地帯は樹林として抽出されていない傾向が見られる。これは、観測時期が 11 月下旬で高標高地帯は落葉しているためであると考えられる。



図－2.42　TGR-W 分解によって抽出した樹林地（2004.11.27LANDSAT）



図－2.43　NDVI+最尤法によって抽出した樹林地（2004.11.27LANDSAT）

2.6.2　1990.11.5 データに基づく緑地、樹林地の抽出

（１）　分類前検討

1990 年 11 月 5 日データに基づく緑地、樹林地の抽出を、先に選定したピクセルベースでは NDVI+最尤法、ミクセル分解では TGR-W 分解で行うことした。

そこでまず、NDVI+最尤法行うに当たり 2.5 の（２）（３）と同様に NDVI+最尤法の分類前検討として、スペクトル特性の分析、NDVI 閾値の検討を行った。

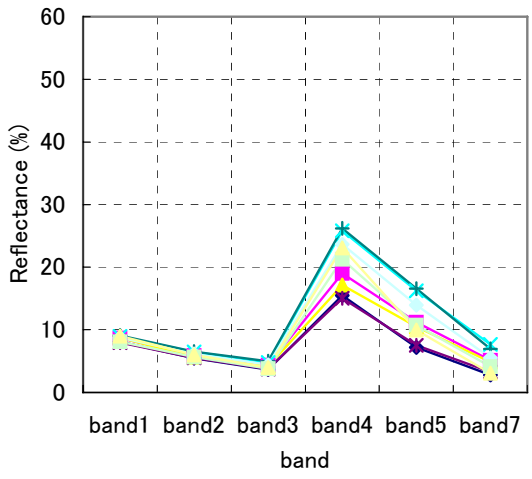
全トレーニングエリアのスペクトル特性を図－2.44 に、項目ごとに平均したスペクトル特性を図－2.45 に示す。なお、トレーニングデータ数、トレーニングエリアの配置は、図－2.31、表－2.11 と同じである。

トレーニングエリアの band3、band4 サンプリング結果は図－2.46 に示すとおりであり、これより、2004 年 11 月 27 日データと同様に NDVI＝0.45 が閾値として妥当であると判断された。

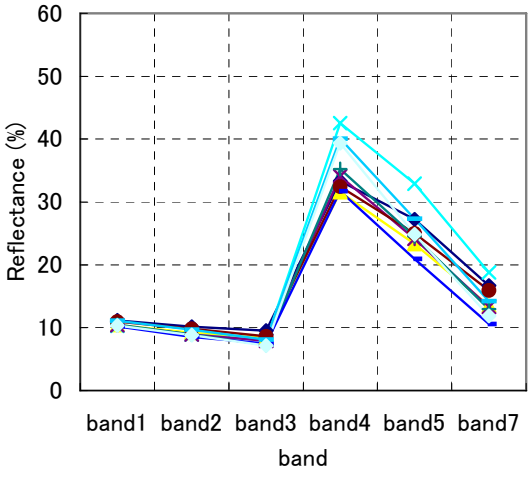
引き続き、TGR-W 分解を行うのに当たり 2.5 の（４）（６）と同様に TGR-W 分解の分類前検討として、エンドメンバーのスペクトル特性の分析、エンドメンバーの両軸ならびにスペクトル値の検討を行った。

樹木－草地－道路をエンドメンバーとした場合（TGR 分解）のピュアピクセルのスペクトル特性を図－2.47 に示し、植生－道路－水をエンドメンバーとした場合（VRW 分解）のピュアピクセルのスペクトル特性を図－2.48 に示す。

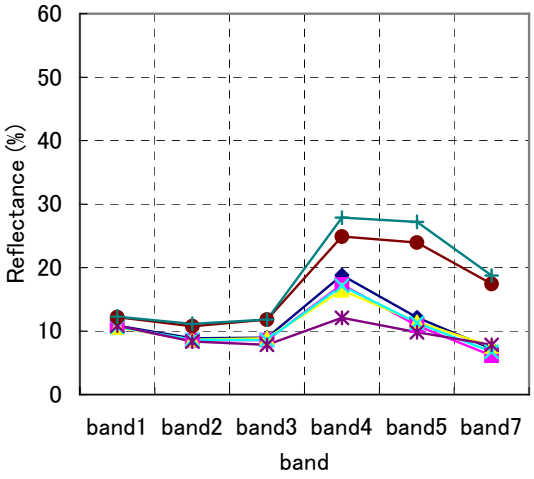
図－2.47 より、TGR 分解においては band4 と band7 の組み合わせをエンドメンバー間の両軸として用いることとした（図－2.49）。また、図－2.48 より VRW 分解においては、band4 と band5 の組み合わせをエンドメンバー間の両軸として用いることとした（図－2.50）。また、図－2.50 に示すエンドメンバーで VRW 分解を実施した結果から、図－2.31 で取得したトレーニングエリアの Water 寄与率をサンプリングし、水面と水面以外の Water 寄与率の閾値を求めたところ、Water 寄与率＝0.60 が閾値として妥当であると判断された（図－2.51）。



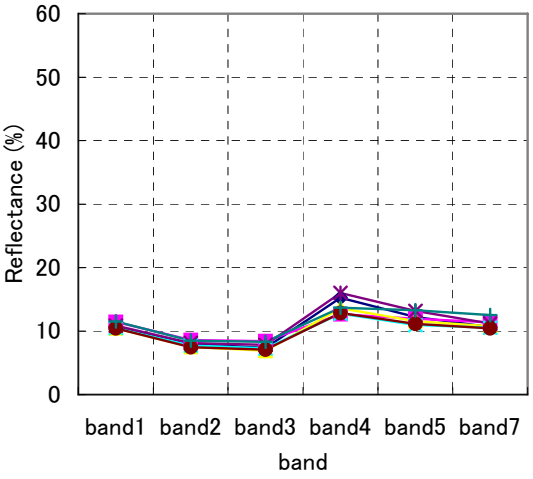
樹林地



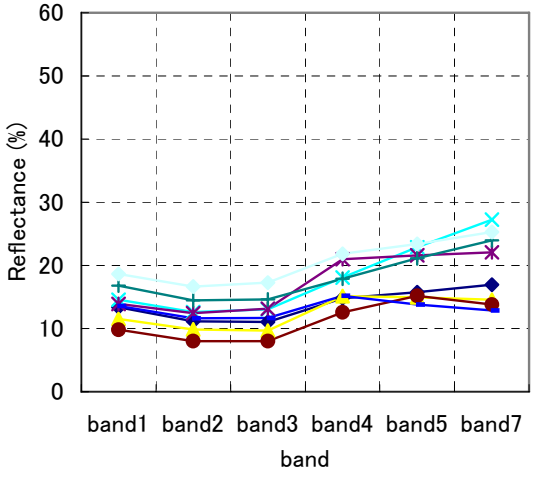
草地



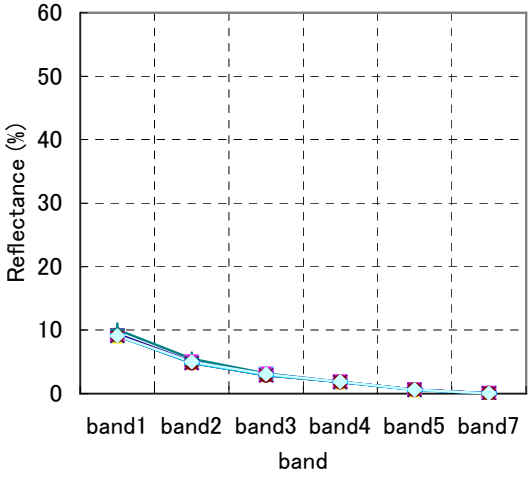
裸地



道路

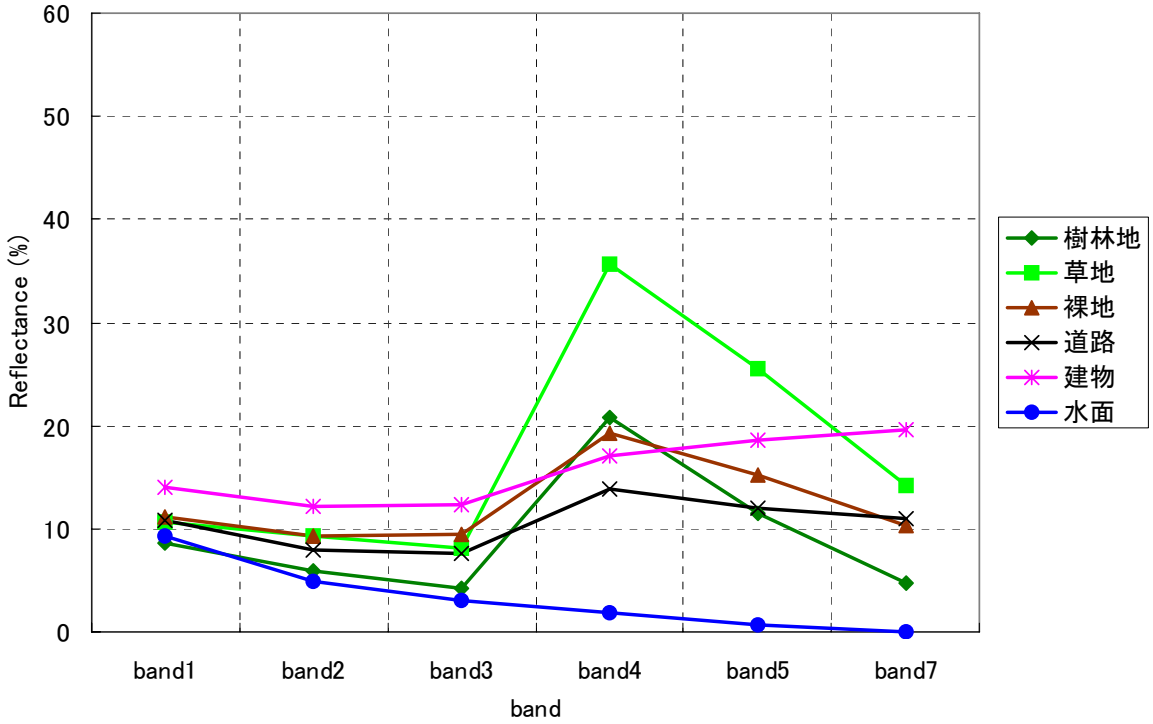


建物

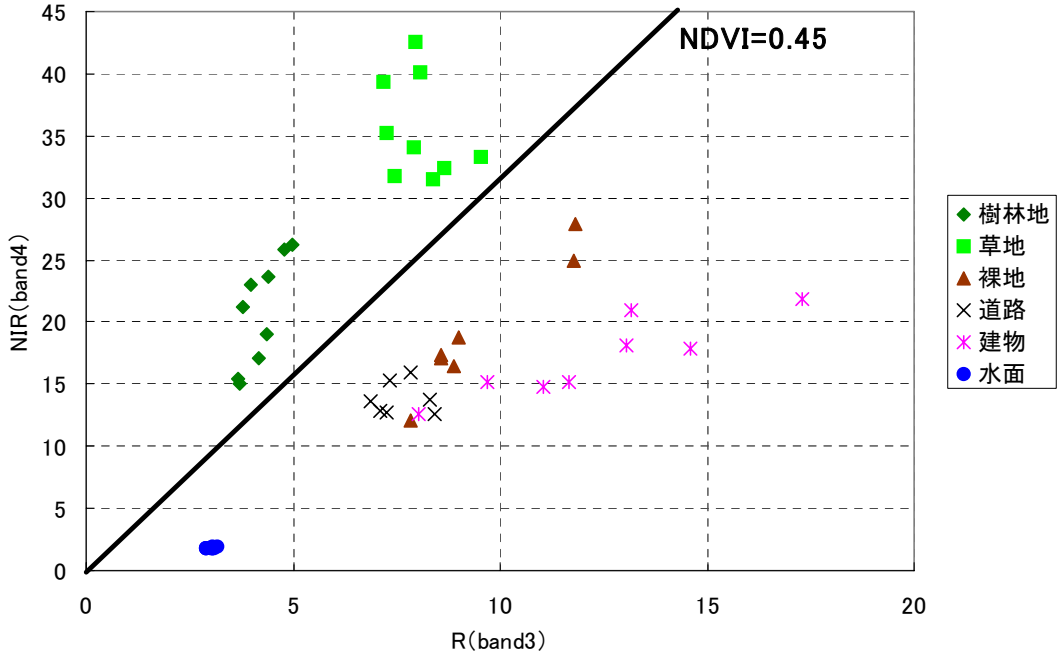


水面

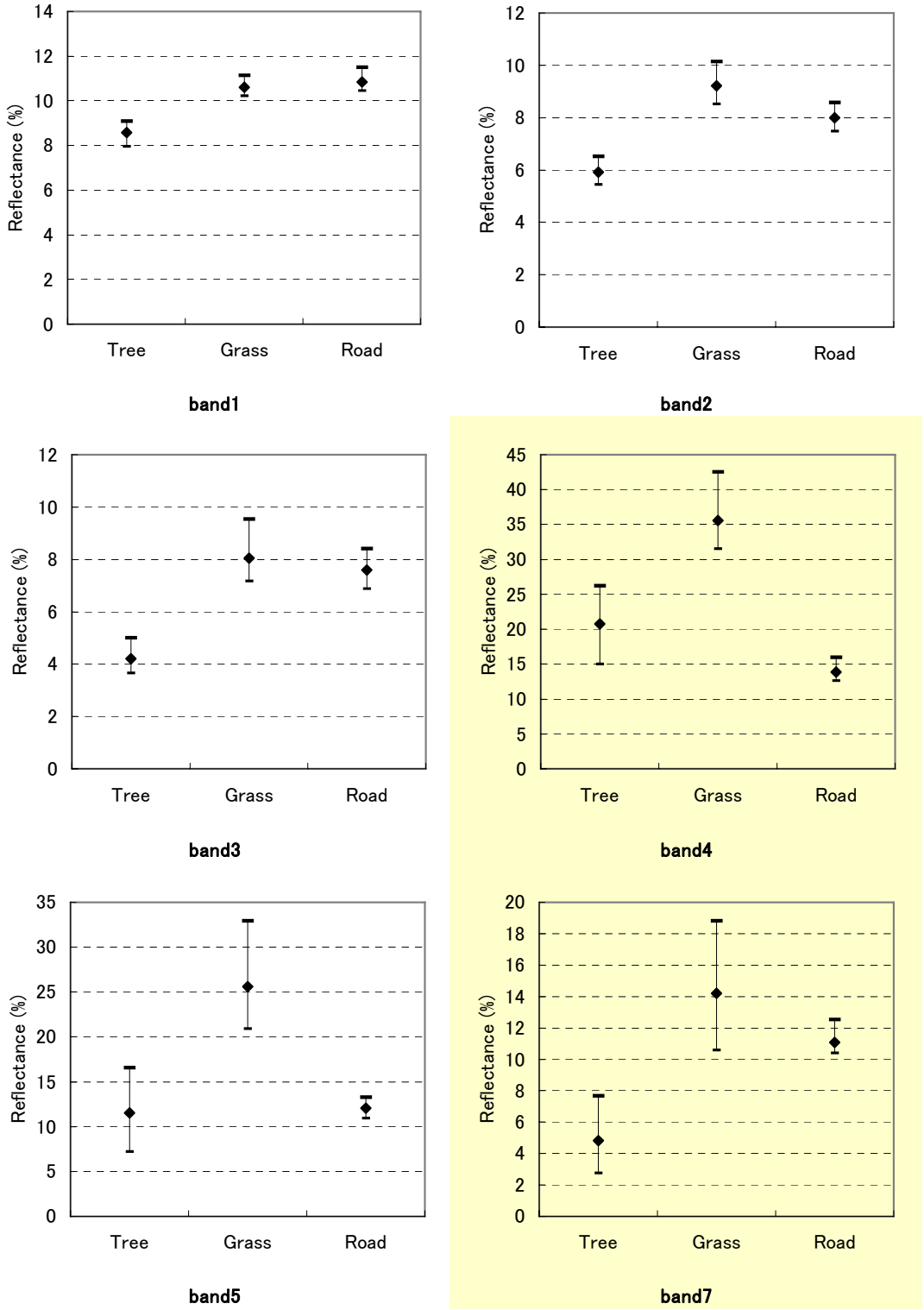
図－2.44　各トレーニングエリアのスペクトル特性（1990.11.05LANDSAT）



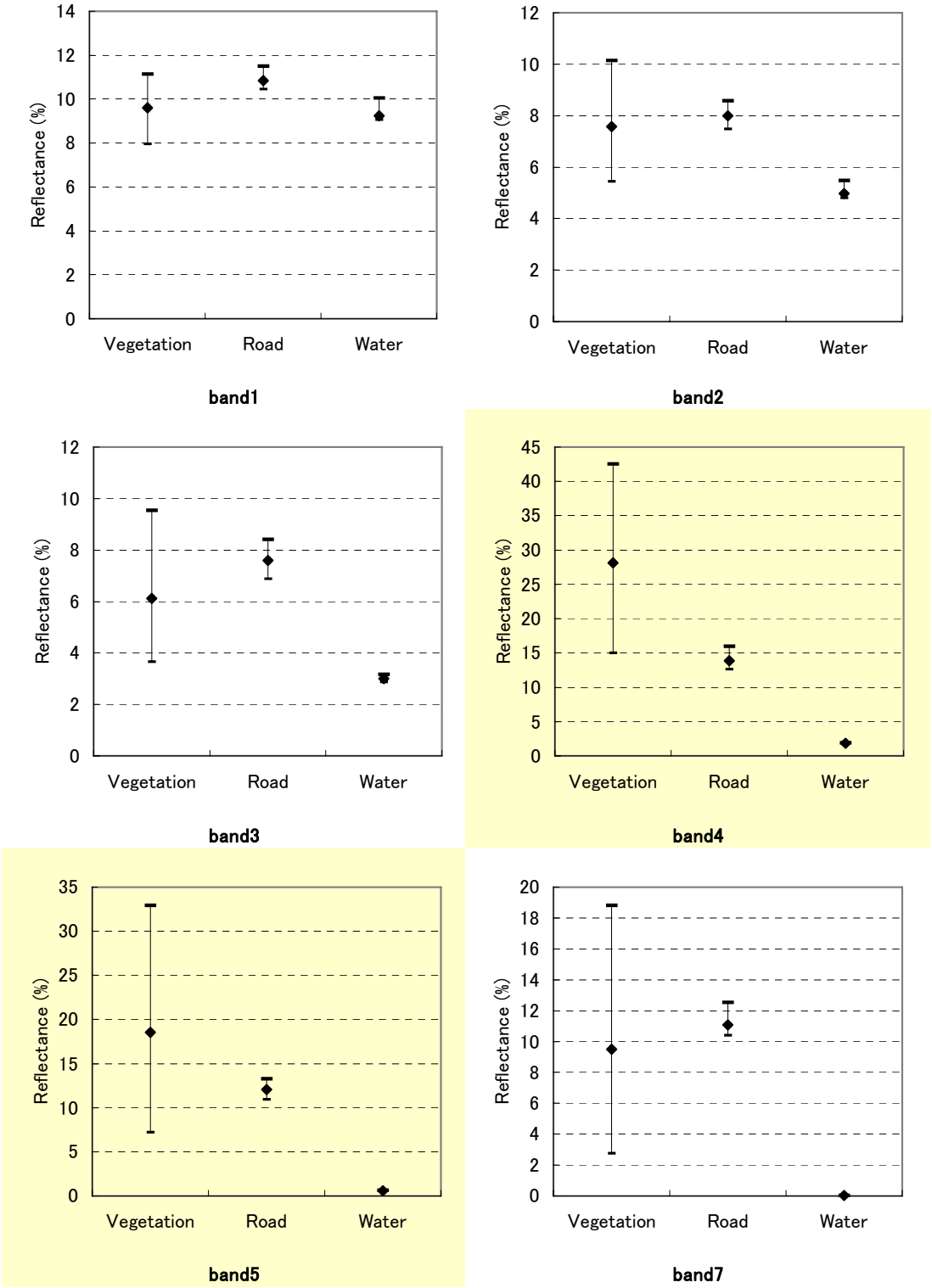
図－2.45　各項目のスペクトル特性（1990.11.05LANDSAT）



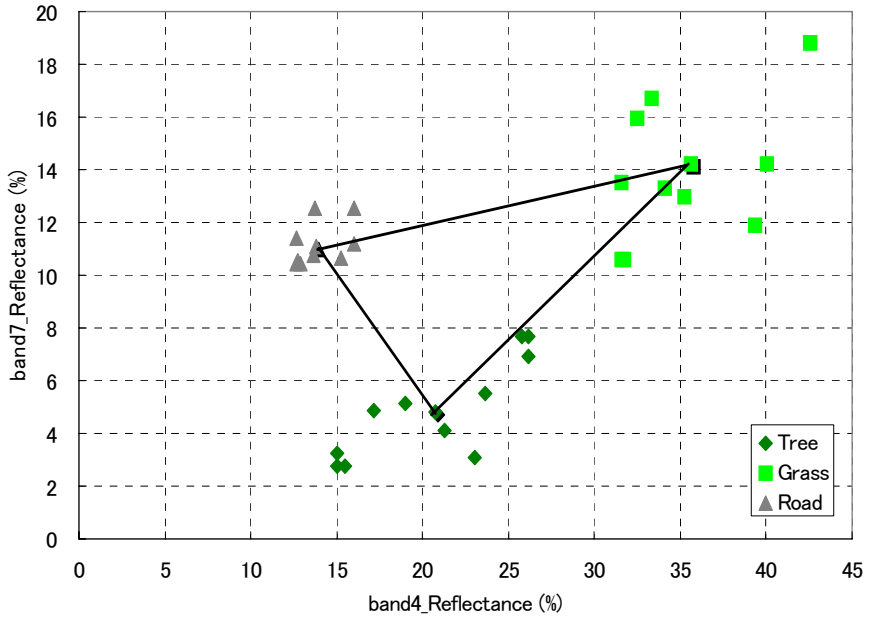
図－2.46　トレーニングエリアの band3、band4 サンプリング結果（1990.11.05LANDSAT）



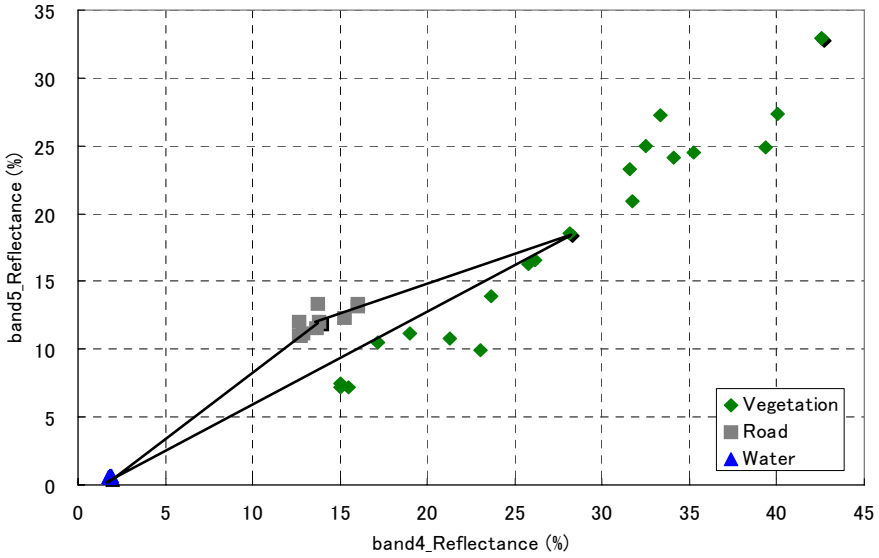
図－2.47　TGR 分解を想定した場合の各バンドのスペクトル特性（1990.11.05LANDSAT）



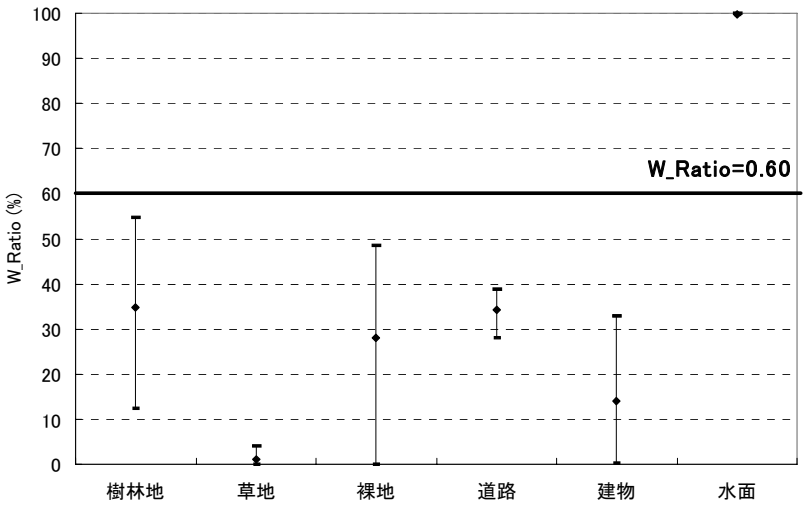
図－2.48　VRW 分解を想定した場合の各バンドのスペクトル特性（1990.11.05LANDSAT）



図－2.49 TGR 分解に使用したバンドとエンドメンバー（1990.11.05LANDSAT）



図－2.50　VRW 分解に使用したバンドとエンドメンバー（1990.11.05LANDSAT）

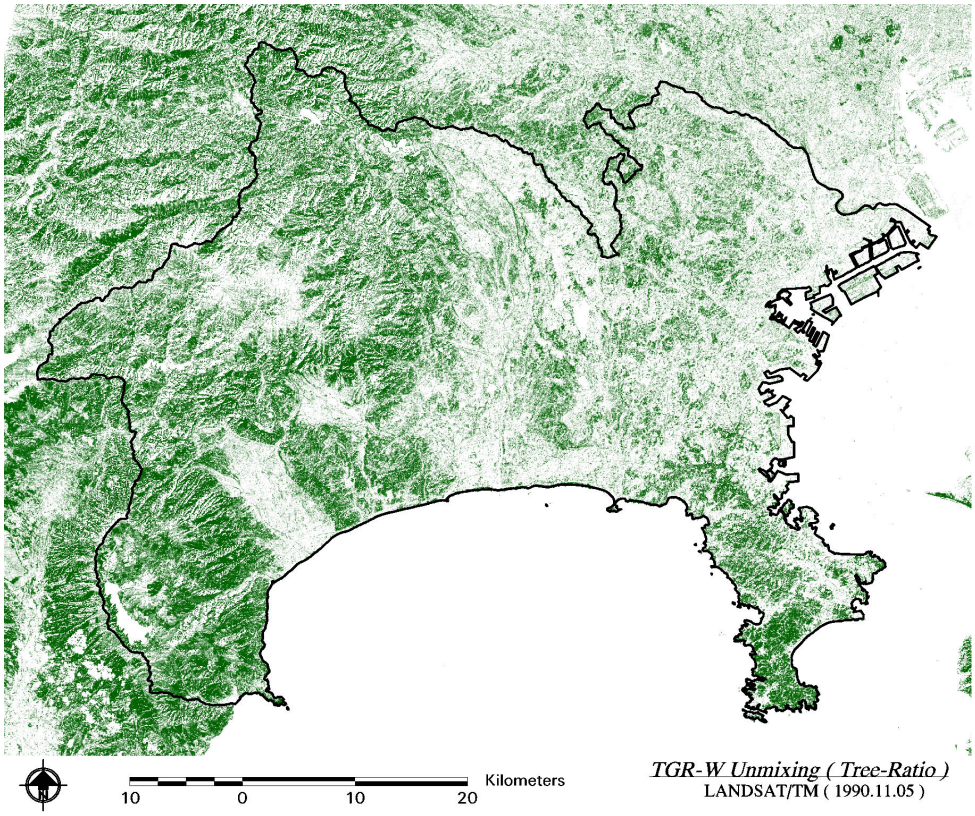


図－2.51　トレーニングエリアの Water 寄与率サンプリング結果

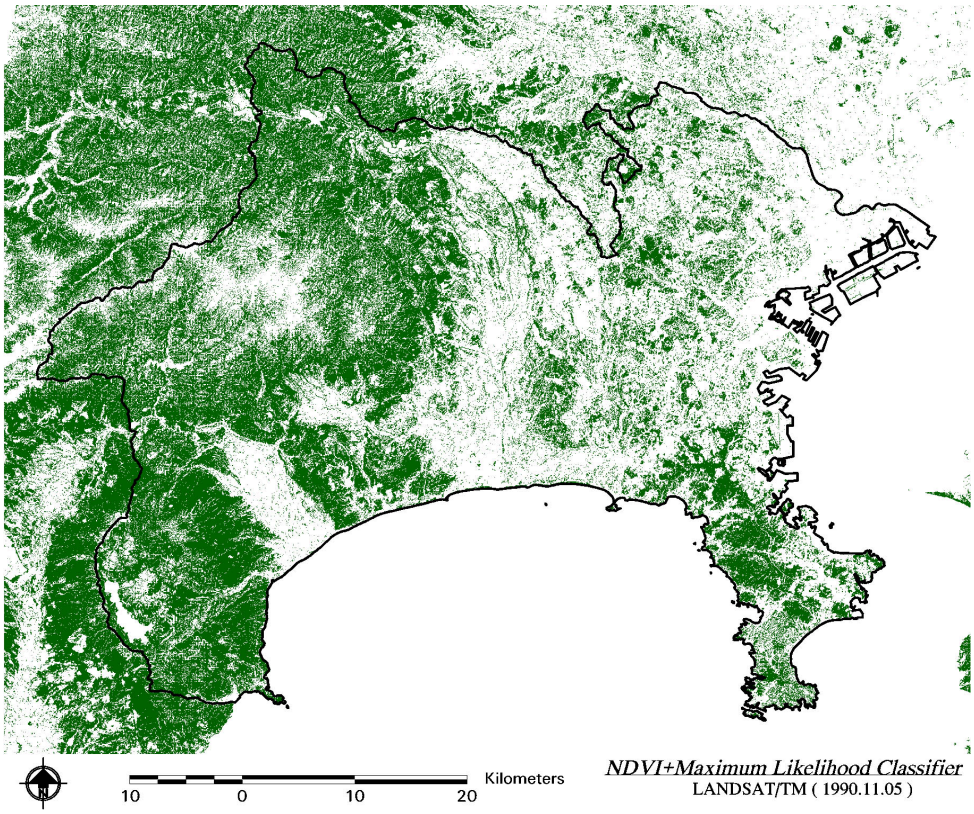
（２）　緑地、樹林地抽出結果

TGR-W 分解によって抽出した樹林地を図－2.52 に示す。また、NDVI+最尤法によって抽出した樹林地を図－2.53 に示す。

結果としては図－2.42、図－2.43 と同様の傾向を示していることがわかる。



図－2.52　TGR-W 分解によって抽出した樹林地（1990.11.05LANDSAT）



図－2.53　NDVI+最尤法によって抽出した樹林地（1990.11.05LANDSAT）

2.6.3 ASTER データに基づく緑地、樹林地抽出

（１）分類前検討

ASTER の 2005 年 4 月 28 日と 5 月 5 日データに基づく緑地、樹林地の抽出を、先に選定したピクセルベースでは NDVI+最尤法、ミクセル分解では TGR-W 分解で行うことした。

そこでまず、NDVI+最尤法行うに当たり 2.5 の（２）（３）と同様に NDVI+最尤法の分類前検討として、スペクトル特性の分析、NDVI 閾値の検討を行った。

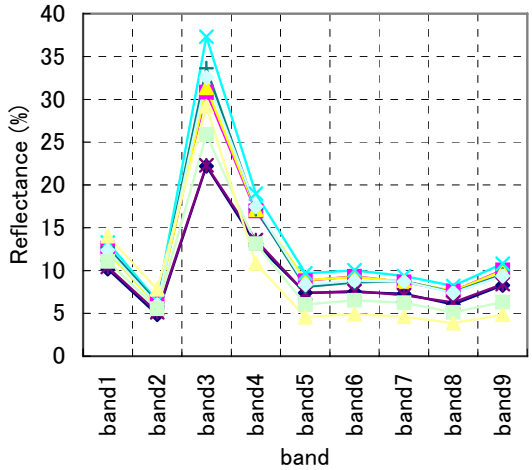
全トレーニングエリアのスペクトル特性を図－2.54 に、項目ごとに平均したスペクトル特性を図－2.55 に示す。なお、トレーニングデータ数、トレーニングエリアの配置は、図－2.31、表－2.11 と同じである。

トレーニングエリアの band2、band3 サンプリング結果は図－2.56 に示すとおりであり、これより、NDVI＝0.40 が閾値として妥当であると判断された。

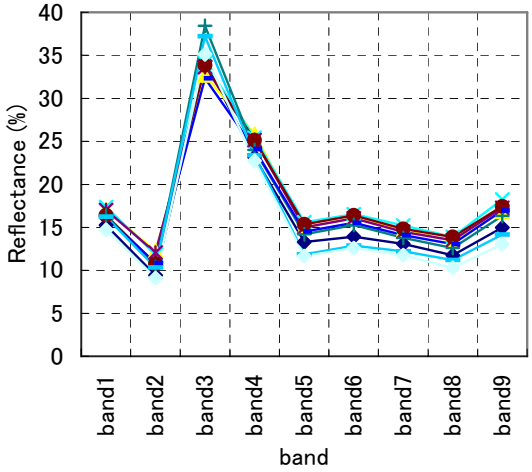
引き続き、TGR-W 分解の分類前検討として、エンドメンバーのスペクトル特性の分析、エンドメンバーの両軸ならびにスペクトル値の検討を行った。

樹木－草地－道路をエンドメンバーとした場合（TGR 分解）のピュアピクセルのスペクトル特性を図－2.57 に示し、植生－道路－水をエンドメンバーとした場合（VRW 分解）のピュアピクセルのスペクトル特性を図－2.57 に示す。

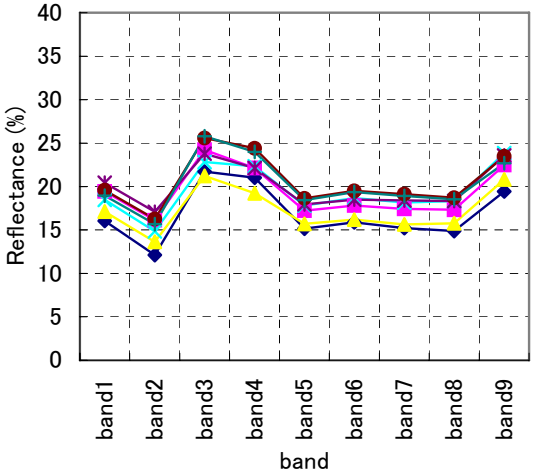
図－2.57 より、TGR 分解においては band2 と band4 の組み合わせをエンドメンバー間の両軸として用いることとした（図－2.59）。また、図－2.58 より VRW 分解においては、band2 と band3 の組み合わせをエンドメンバー間の両軸として用いることとした（図－2.60）。また、図－2.60 に示すエンドメンバーで VRW 分解を実施した結果から、図－2.31 で取得したトレーニングエリアの Water 寄与率をサンプリングし、水面と水面以外の Water 寄与率の閾値を求めたところ、Water 寄与率＝0.80 が閾値として妥当であると判断された（図－2.61）。



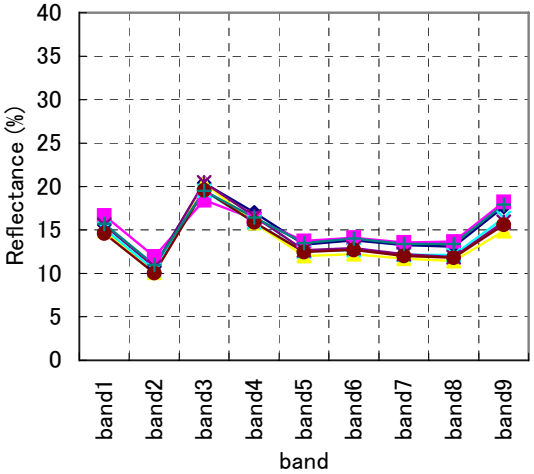
樹林地



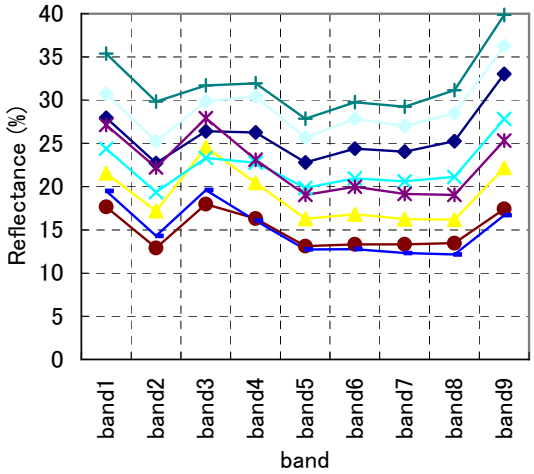
草地



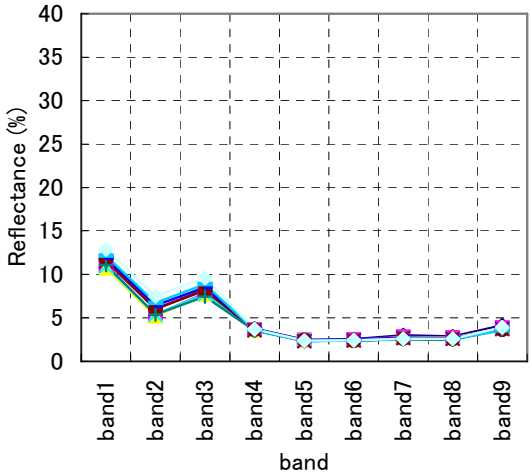
裸地



道路

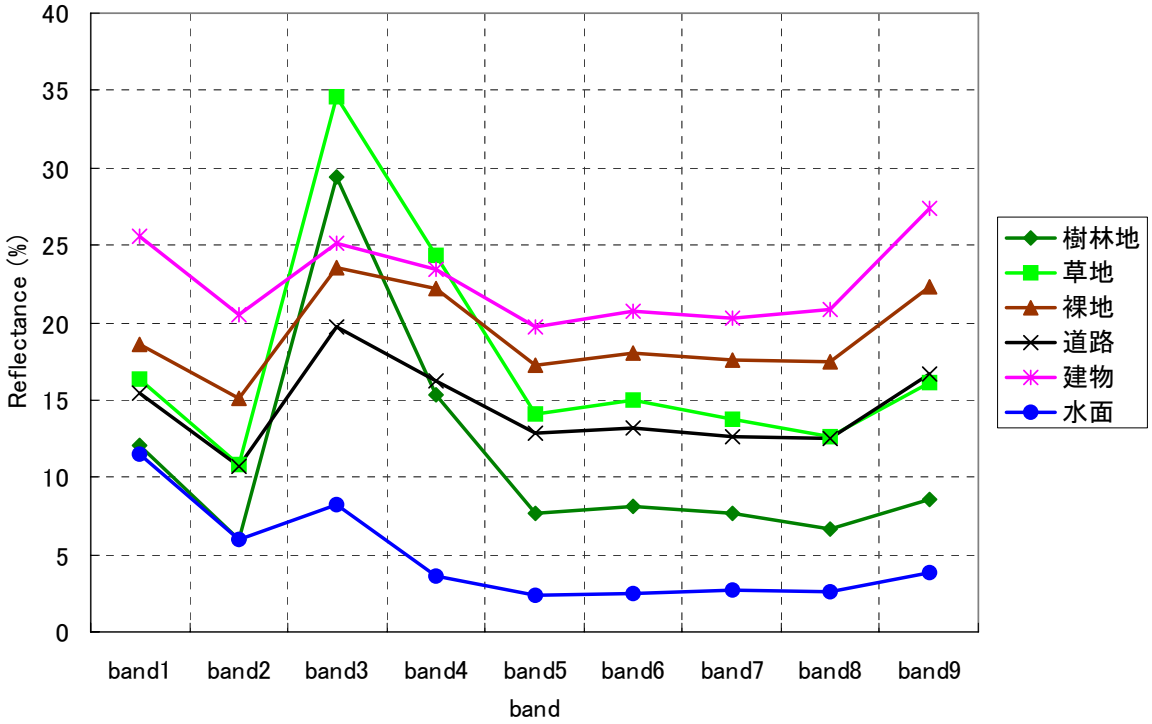


建物

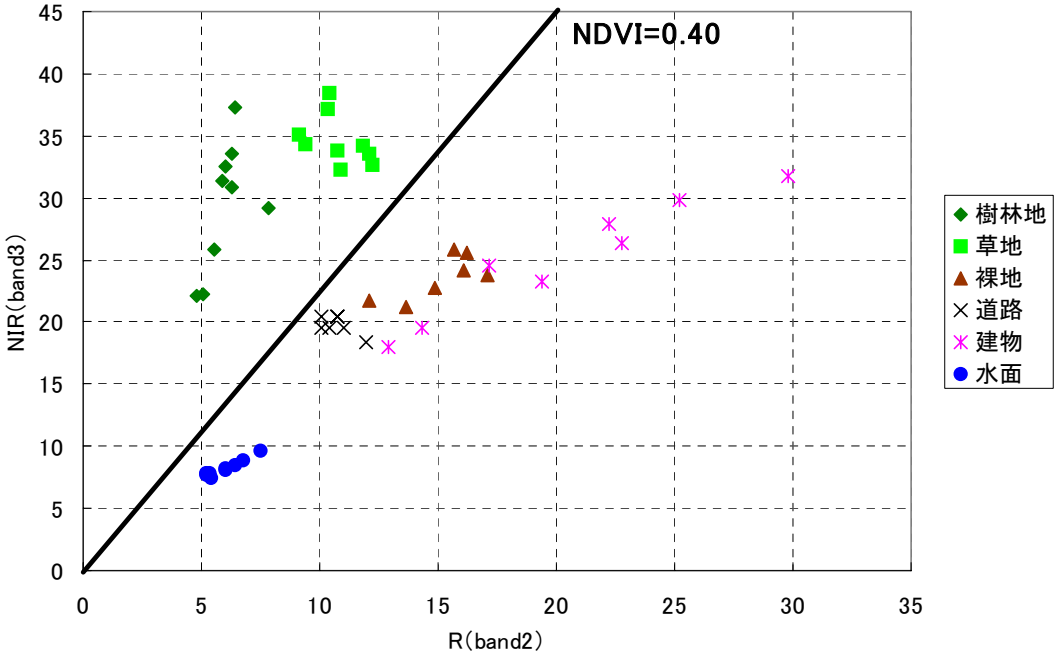


水面

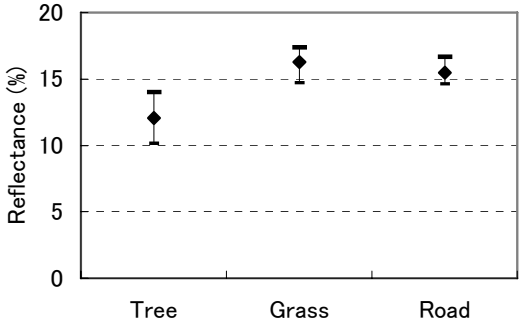
図－2.54　各トレーニングエリアのスペクトル特性（ASTER）



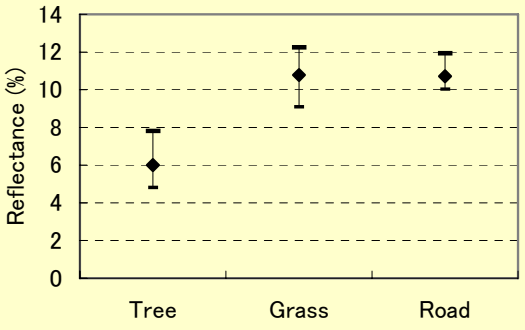
図－2.55　各項目のスペクトル特性（ASTER）



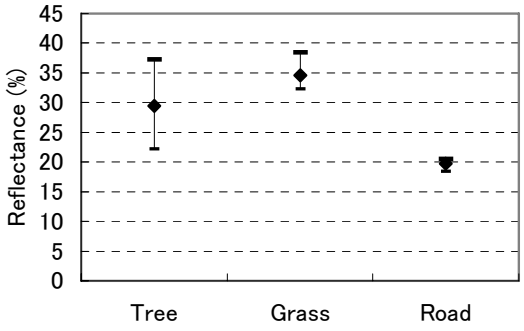
図－2.56　トレーニングエリアの band2、band3 サンプリング結果（ASTER）



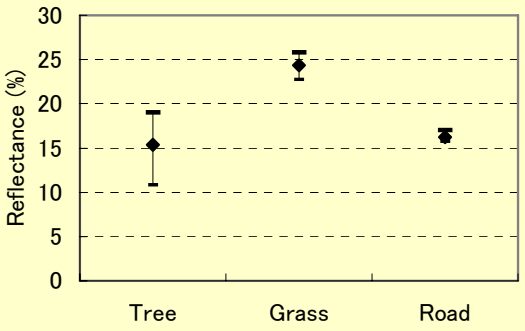
band1



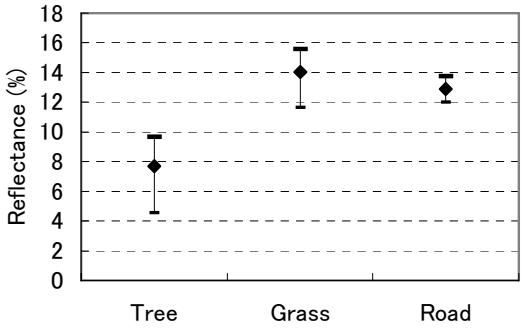
band2



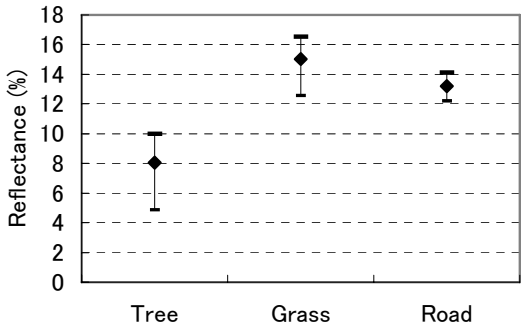
band3



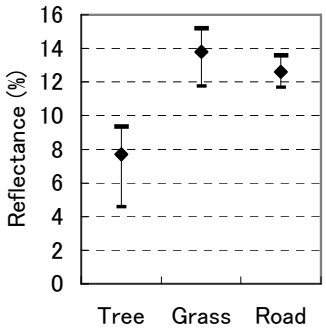
band4



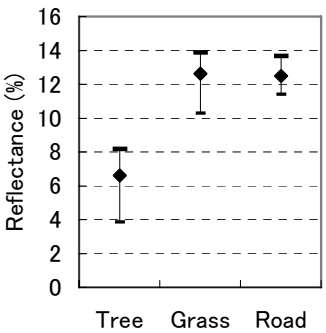
band5



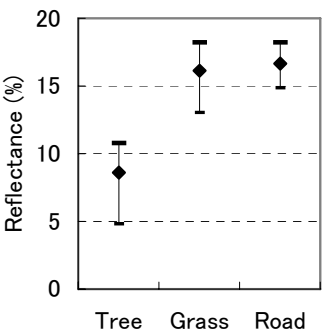
band6



band7

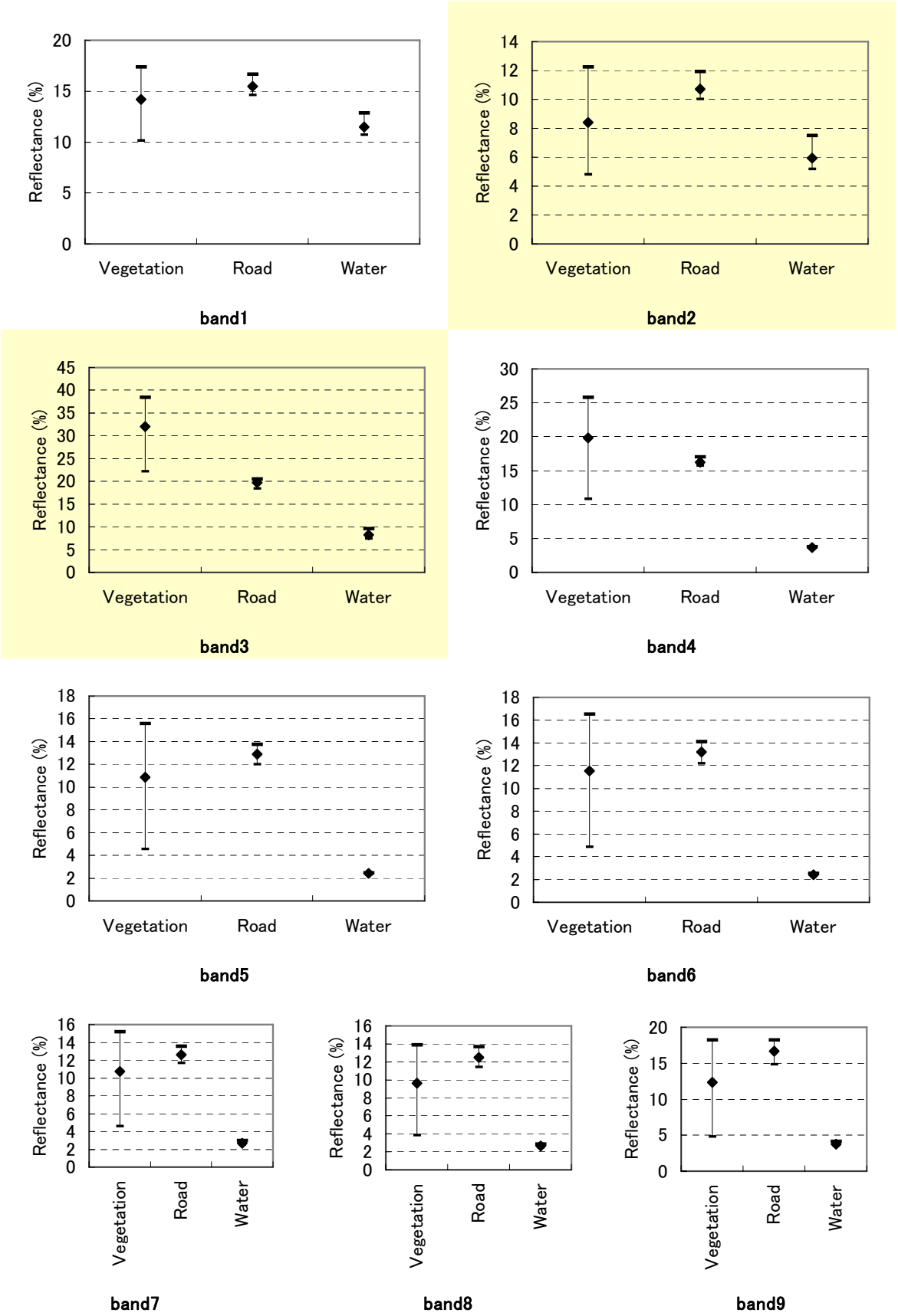


band8

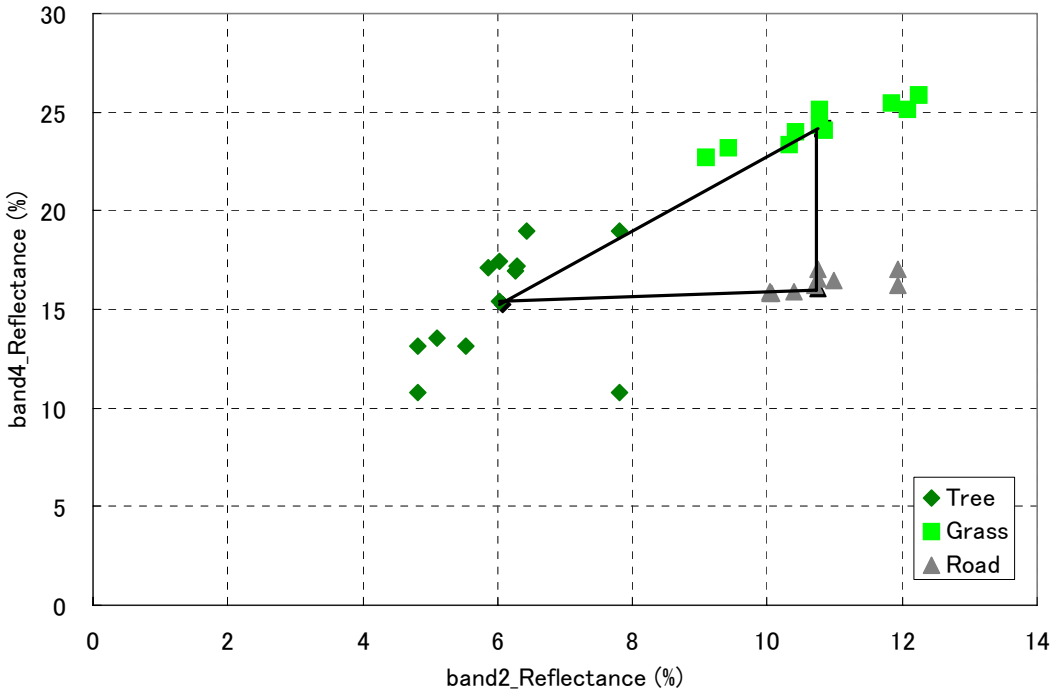


band9

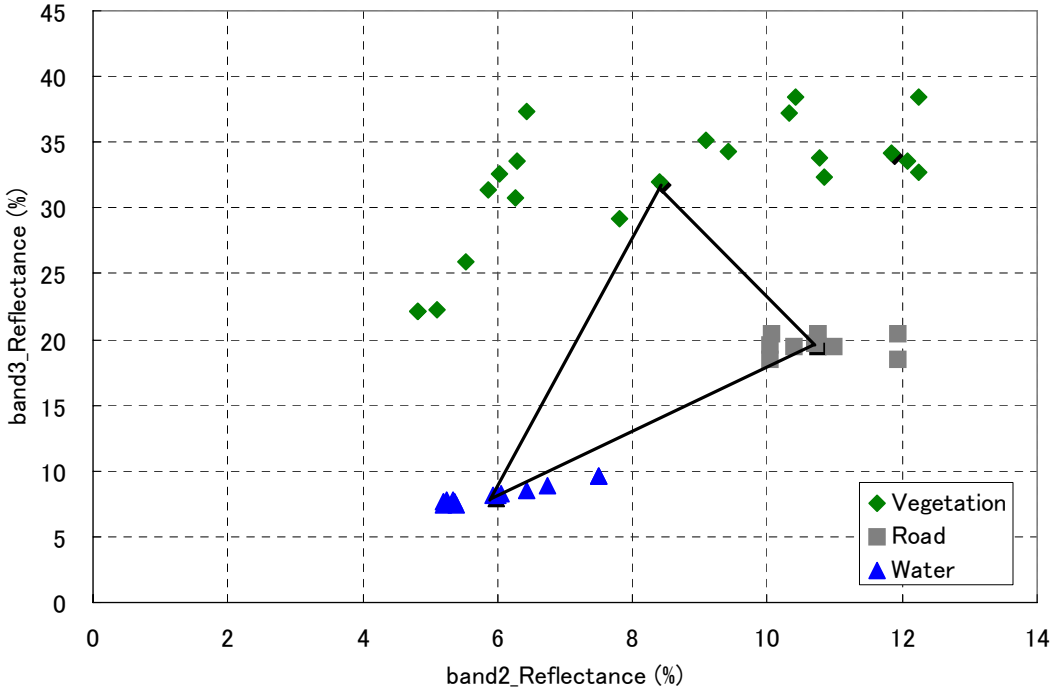
図－2.57　TGR 分解を想定した場合の各バンドのスペクトル特性（ASTER）



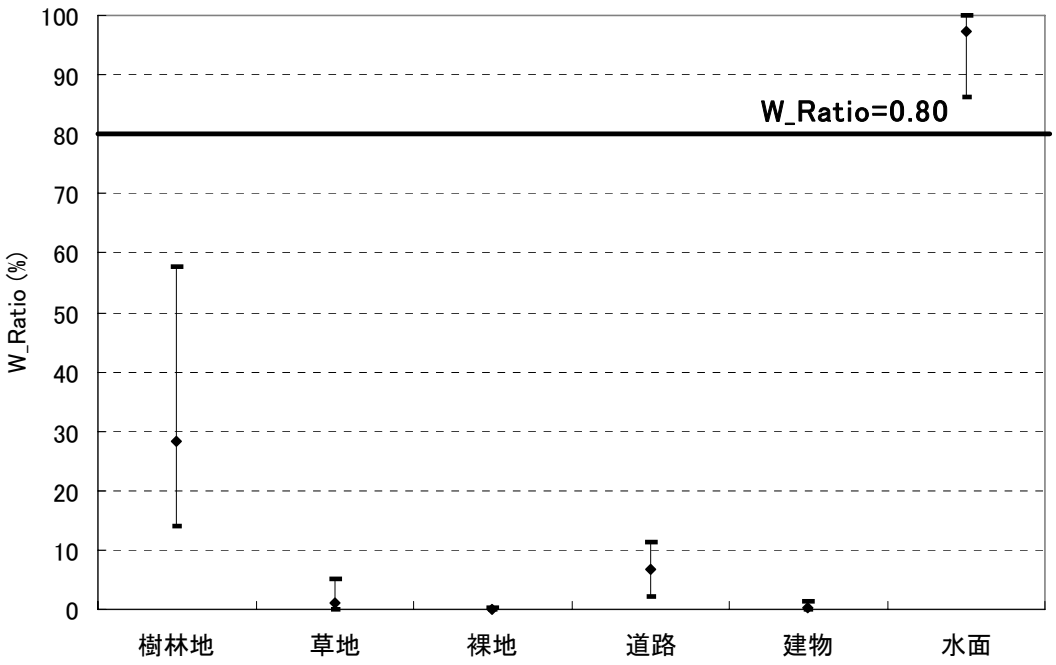
図－2.58　VRW 分解を想定した場合の各バンドのスペクトル特性（ASTER）



図－2.59　TGR 分解に使用したバンドとエンドメンバー（ASTER）



図－2.60　VRW 分解に使用したバンドとエンドメンバー（ASTER）

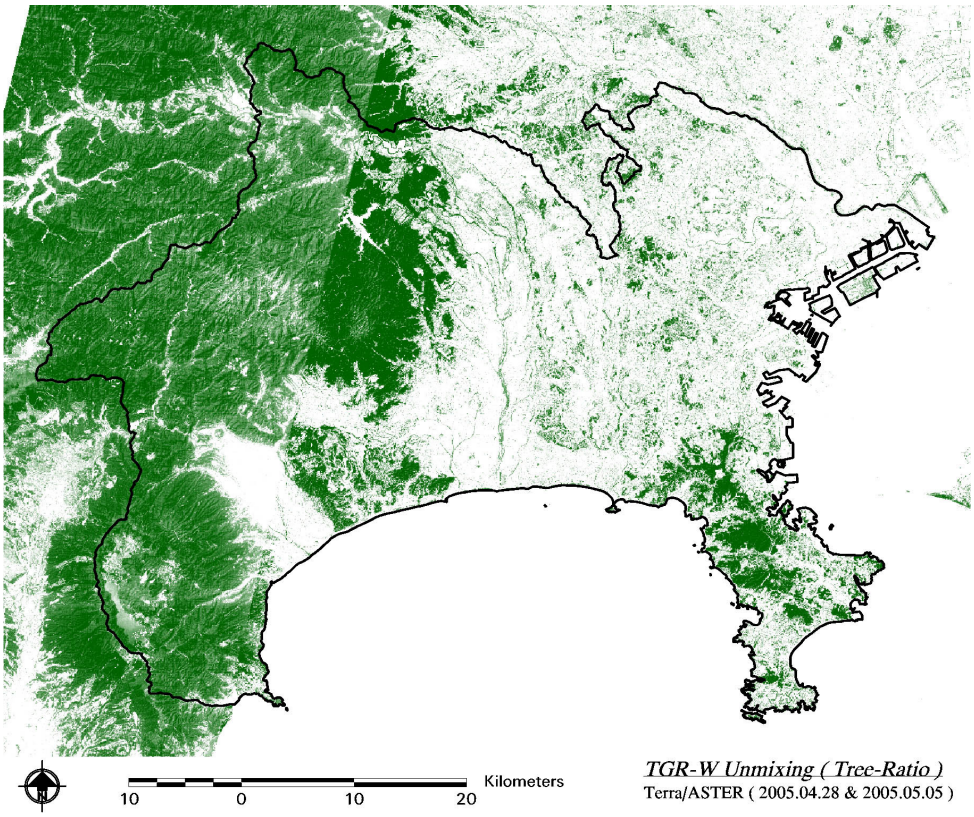


図－2.61　トレーニングエリアの Water 寄与率サンプリング結果

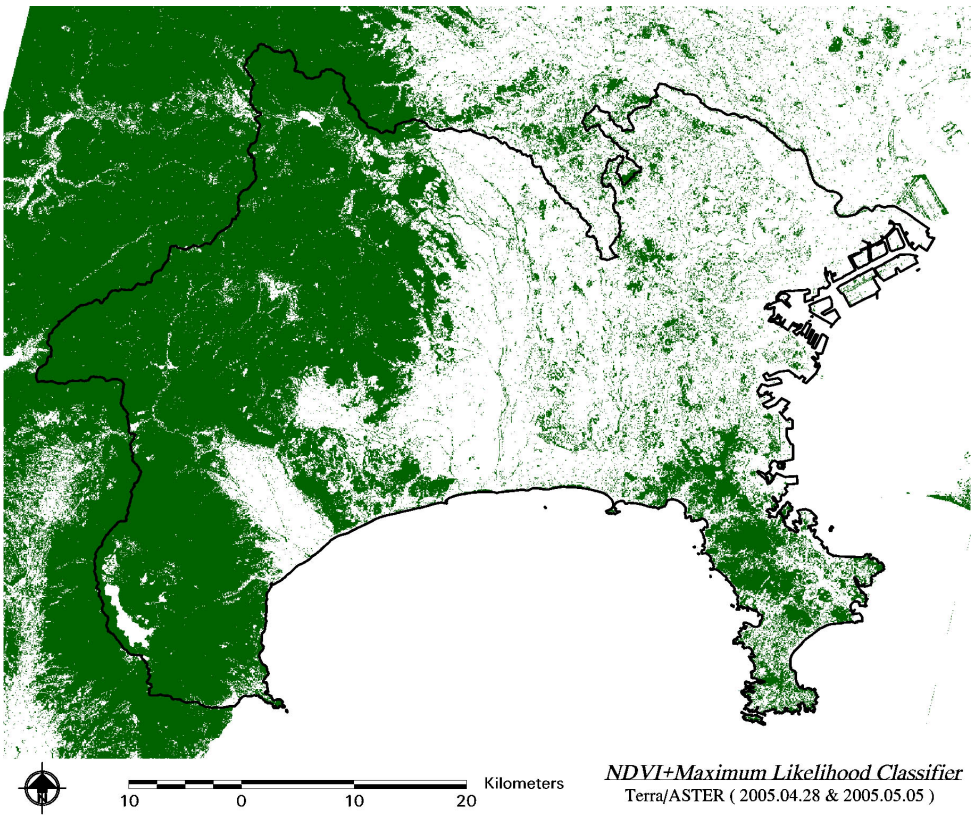
（２）緑地、樹林地抽出結果

TGR-W 分解によって抽出した樹林地を図－2.62 に示す。また、NDVI+最尤法によって抽出した樹林地を図－2.63 に示す。

図－2.62、図－2.63 より、大規模な公園や西部の箱根・丹沢などの特徴的な樹林は概ね適切に抽出されていることがわかる。ただし、丹沢の高標高地帯は樹林として抽出されていない箇所が見られる。これは、観測時期が 4 月下旬と 5 月上旬で高標高地帯はまだ芽吹いていないことによるものと考えられる。



図－2.62　TGR-W 分解によって抽出した樹林地（ASTER）



図－2.63　NDVI+最尤法によって抽出した樹林地（ASTER）

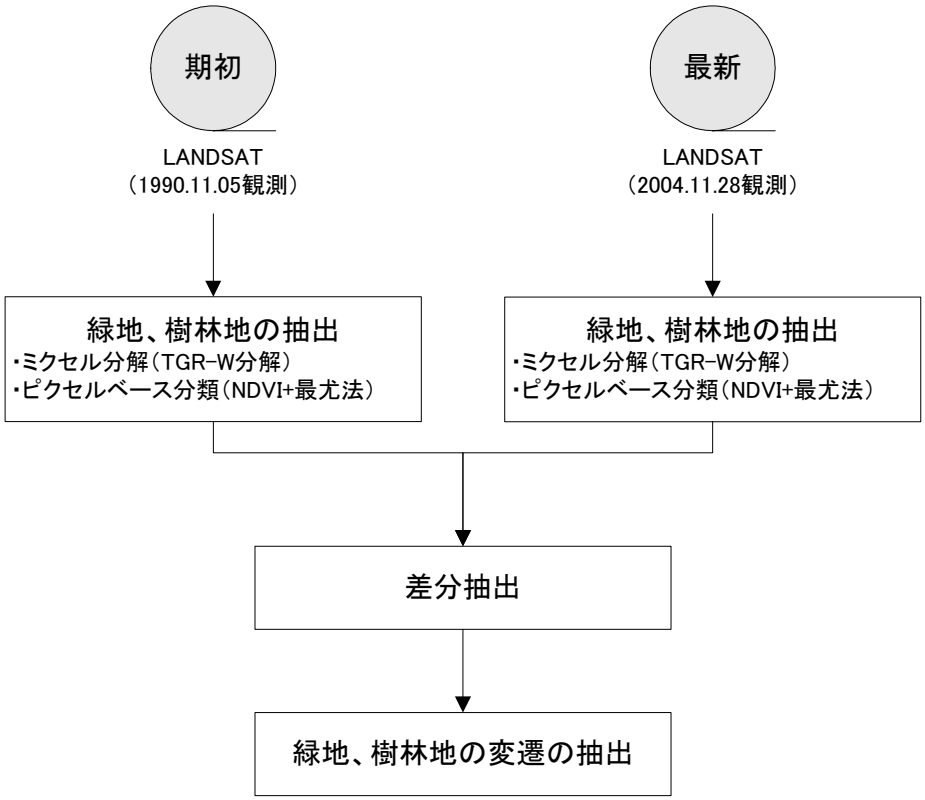
３．異なる年の中分解能衛星データによる緑地、樹林地の変遷の解析

3.1 概要

本章では、異なる年の中分解能衛星データによる緑地、樹林地の変遷解析手法と解析結果について述べる。

変遷解析手法は、第２章で設定した 2 とおりの緑地、樹林地抽出手法（ミクセル分解：TGR-W 分解、ピクセルベース分類：NDVI+最尤法）を用いて抽出した、期初の LANDSAT データ（1990 年）と最新の LANDSAT データ（2004 年）または最新の ASTER データ（2005 年）の緑地、樹林地を用い、両時期の差分を求めることによってそれぞれの変遷を抽出した。

この内、異なる年の LANDSAT データによる緑地、樹林地の変遷解析の流れを図－3.1 に示す。(ASTER データの場合も同様の流れ)



図－3.1　異なる年の中分解能衛星データによる緑地、樹林地の変遷解析の流れ
(LANDSAT データ間の比較)

3.2 緑地、樹林地の変遷の抽出手法

期初（1990 年）と最新（2004 年）の緑地、樹林地を抽出し、両者の差分から変遷を求める場合、2 とおりの緑地、樹林地抽出手法（ミクセル分解：TGR-W 分解、ピクセルベース分類：NDVI+最尤法）では、表－3.1 のように表現される。

表－3.1　緑地、樹林地抽出手法別の変遷表現

ミクセル分解（TGR-W分解）				
期初（1990.11.05）	×	最新（2004.11.27）	→	変遷
画素内樹林地率	×	画素内樹林地率	→	画素内樹林地率：増
				画素内樹林地率：減
ピクセルベース分類（NDVI+最尤法）				
期初（1990.11.05）	×	最新（2004.11.27）	→	変遷
樹林地	×	樹林地	→	樹林地→樹林地
				樹林地→草地
				樹林地→その他
草地		草地		草地→樹林地
				草地→草地
				草地→その他
その他		その他		その他→樹林地
				その他→草地
				その他→その他

ミクセル分解（TGR-W 分解）が画素内樹林地率の増減で表現されるのに対し、ピクセルベース分類（NDVI+最尤法）では 2 時期の分類項目のマトリックスによって 9 項目で表現される。

両者の統一を図るために、ピクセルベース分類で表現される 9 項目を樹林地の変化パターンに読み替え、ミクセル分解と同様の表現になるように整理した（表－3.2）。

表－3.2　ピクセルベース分類の緑地、樹林地変遷表現の読み替え

変遷	樹林地に着目した変化パターン	読替結果
樹林地→樹林地	変化なし	－
樹林地→草地	減少	樹林地：減
樹林地→その他	減少	樹林地：減
草地→樹林地	増加	樹林地：増
草地→草地	－	－
草地→その他	－	－
その他→樹林地	増加	樹林地：増
その他→草地	－	－
その他→その他	－	－

3.3 緑地、樹林地の変遷解析結果

（１） 2 時期の LANDSAT データを用いた解析

3.2 の考え方に基づき、樹林地の変化抽出を行った。

TGR-W 分解によって抽出した樹林地の変遷を図－3.2 に示し、NDVI+最尤法によって抽出した樹林地の変遷を図－3.3 に示す。

図－3.2、図－3.3 より、いずれの手法でも多摩や厚木といった内陸部、三浦半島に大規模な樹林地の減少が認められる。横浜の内陸に認められる樹林地の増加領域も、いずれの手法でも捉えられている。一方、都市部において、TGR-W 分解では細かな増減が抽出されているが、NDVI+最尤法では大半が増減に関係ない領域として識別されている。また、三浦半島先端では、TGR-W 分解では特筆すべき特徴がないが、NDVI+最尤法では樹林地の増加域として抽出されている。

（２）LANDSAT データと ASTER データを用いた解析

ここでは、期初（LANDSAT）と最新（ASTER）で分解能の異なるデータに基づく緑地、樹林地抽出結果から変遷を解析するため、両者の分解能を整合させる必要がある。

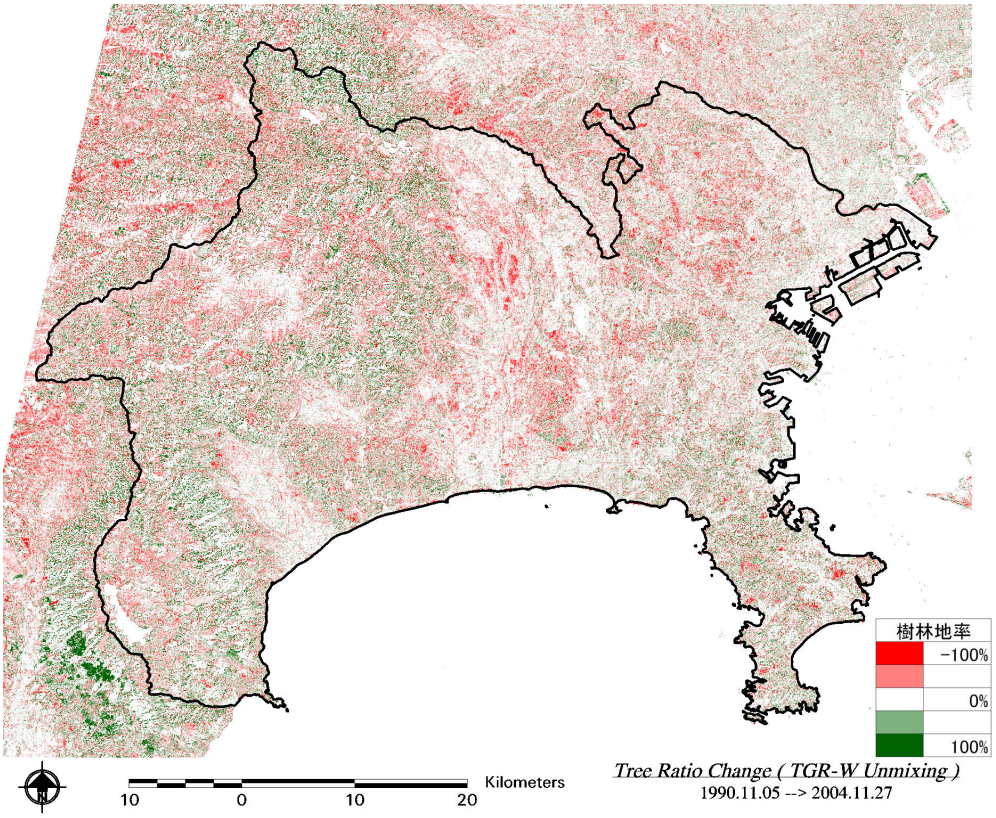
ASTER の分解能を LANDSAT の分解能にそろえることは、ASTER の 4 ピクセルを 1 ピクセルとしてまとめていく方法がある。しかし、その場合、ASTER の高い分解能を生かせないことになり、内挿誤差も発生する。

そこで逆に、LANDSAT の 1 ピクセルを 4 つに分割することで、ASTER の分解能と合わせることを考える。この場合、分割後の近傍 4 ピクセルが同じ値を持つことになるが、値は保存される。加えて、ASTER の高い分解能も生かすことができる。

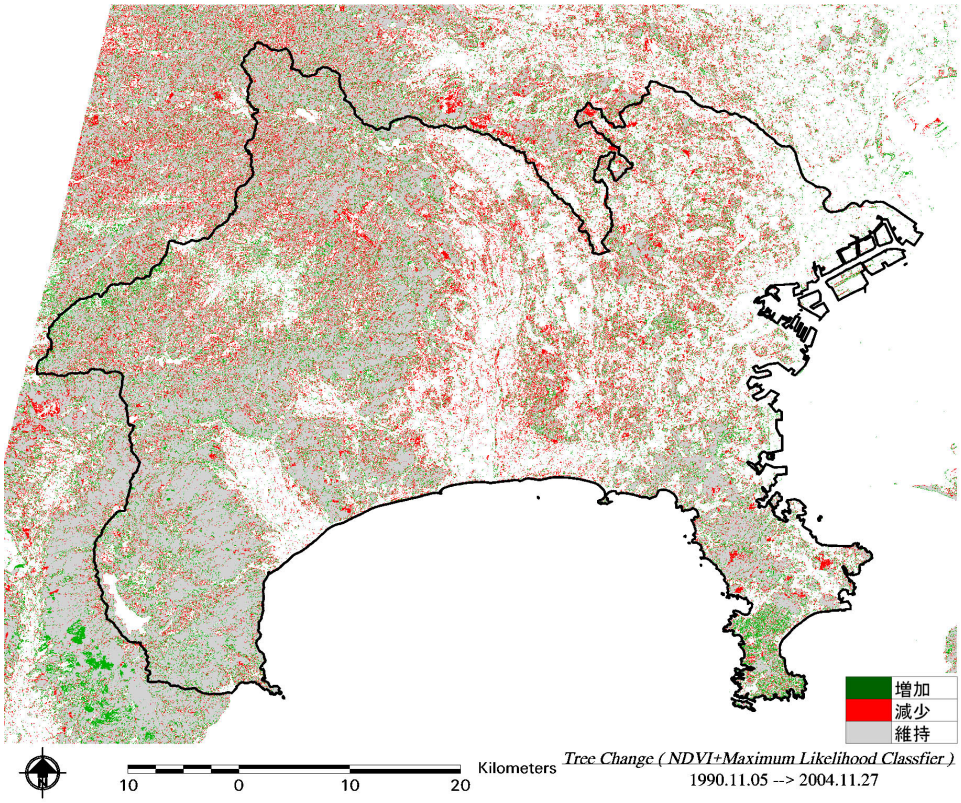
そこで、本調査では、期初（1990 年）の LANDSAT データによる緑地、樹林地抽出結果を分割して、それを最新の ASTER データの分解能に合わせ、両者の差分から緑地、樹林地の変遷抽出を試みた。

TGR-W 分解によって抽出した樹林地の変遷を図－3.4 に示し、NDVI+最尤法によって抽出した樹林地の変遷を図－3.5 に示す。

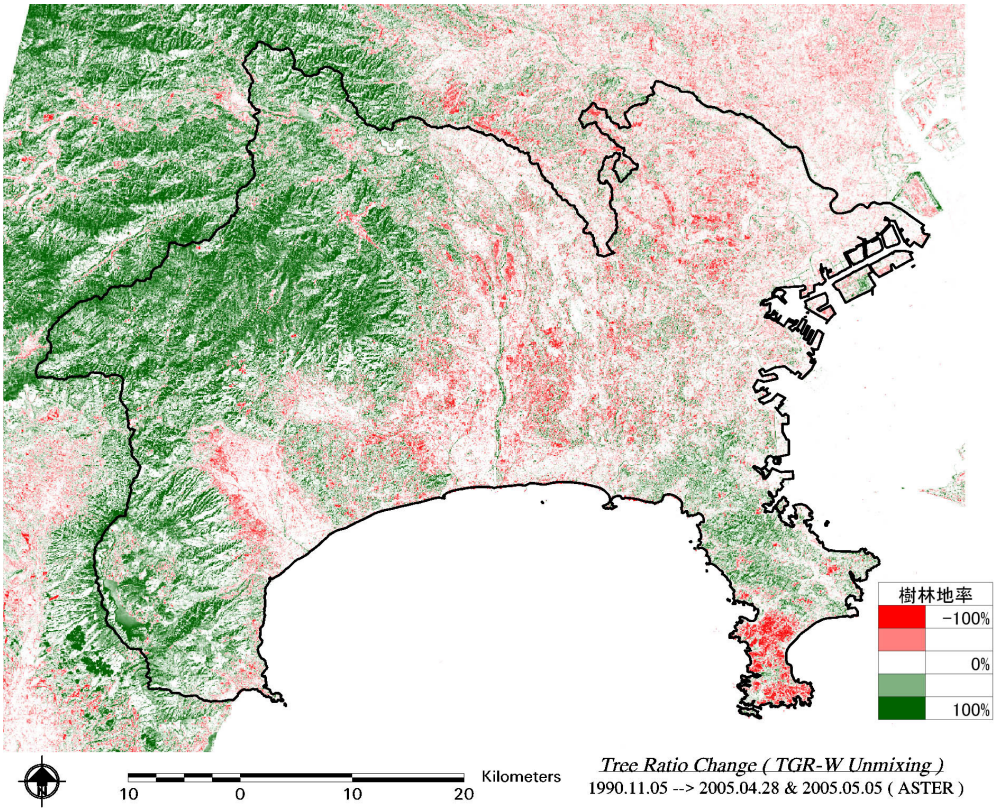
図－3.4、図－3.5 より、いずれの手法でも多摩や厚木といった内陸部、三浦半島に大規模な樹林地の減少が認められる。樹林地の増加は、埋立地や郊外で認められ、中でも丹沢山地で顕著である。一方、都市部においては、TGR-W 分解では細かな増減が抽出されているが、NDVI+最尤法では大半が増減に関係ない領域として識別されている。



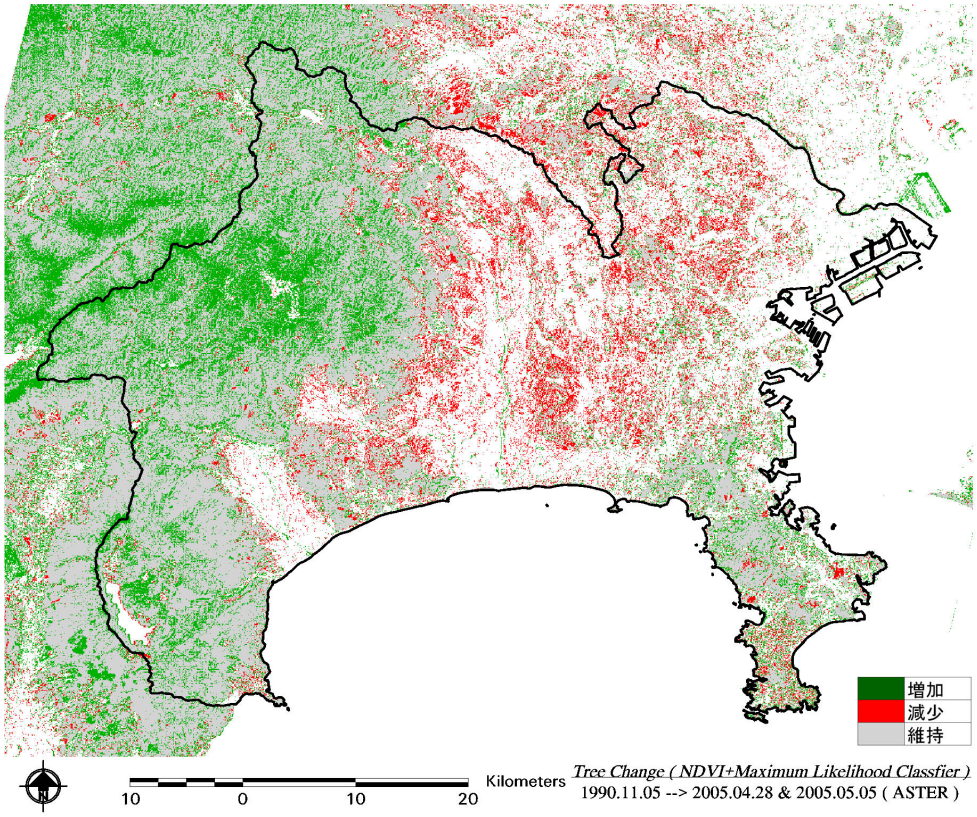
図－3.2　TGR-W 分解に基づく樹林地の変遷解析結果



図－3.3　NDVI+最尤法に基づく樹林地の変遷解析結果



図－3.4　TGR-W 分解に基づく樹林地の変遷解析結果



図－3.5　NDVI+最尤法に基づく樹林地の変遷解析結果

3.4 抽出精度の確認

（１）2 時期の LANDSAT データを用いた解析

12 地点の検証エリア全てにおける面積比較により、1990 年時点の樹林地抽出精度の確認と、樹林地の変遷抽出精度の確認を行った。結果を図－3.6、図－3.7 に示す。

単時期の樹林地抽出精度（図－3.6）は、1990 年の LANDSAT データでは TGR-W 分解が 97.6%、NDVI+最尤法が 110.9%となった。2004 年の LANDSAT データでは TGR-W 分解が 95.5%、NDVI+最尤法が 105.6%となり、両年の間に精度面での差異はほとんどないといえる。また、手法間を比較すると TGR-W 分解はやや少なめ、NDVI+最尤法はやや多めに樹林地を抽出する傾向が認められた。

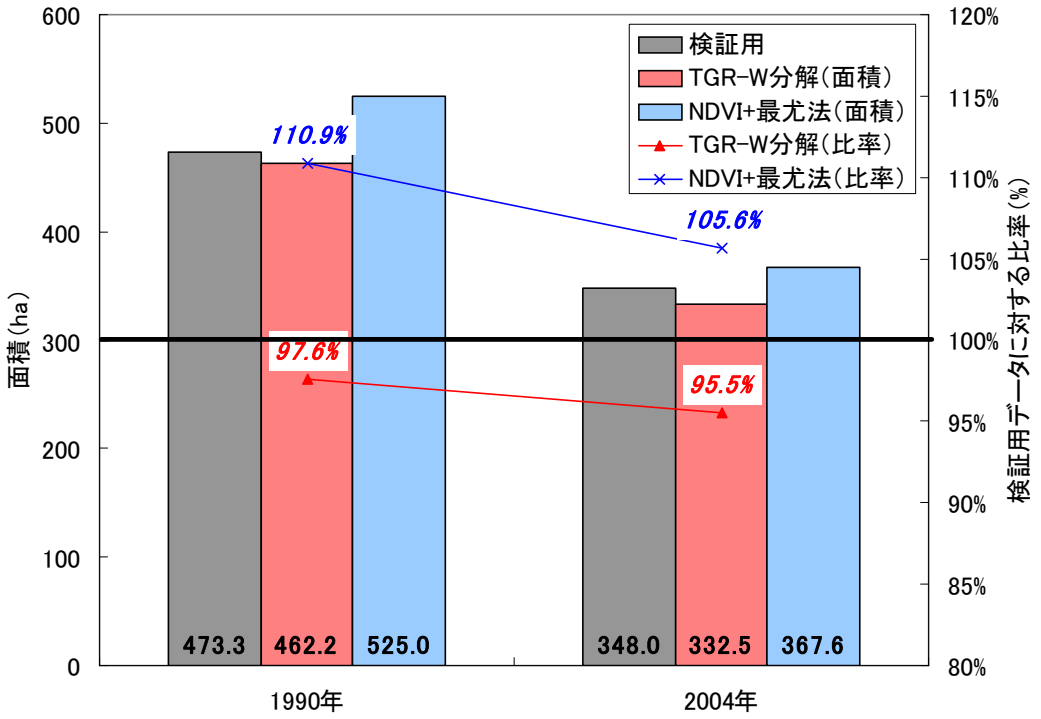
一方、2 時期の変遷の抽出精度（図－3.7）は、増加箇所については TGR-W 分解が約 6 倍、NDVI+最尤法が約 4 倍の過大抽出であった。減少箇所については TGR-W 分解、NDVI+最尤法とも約 1.8 倍の過大抽出であった。増加と減少を差し引きした総量（ネット）については、TGR-W 分解が 101.7%、NDVI+最尤法が 123.3%となった。これより、2 時期の変遷の抽出精度は、TGR-W 分解、NDVI+最尤法ともに増加、減少それぞれについては過大に抽出する傾向があるが、総量（ネット）では概ね良好な精度であると考えられた。

（２）LANDSAT データと ASTER データを用いた解析

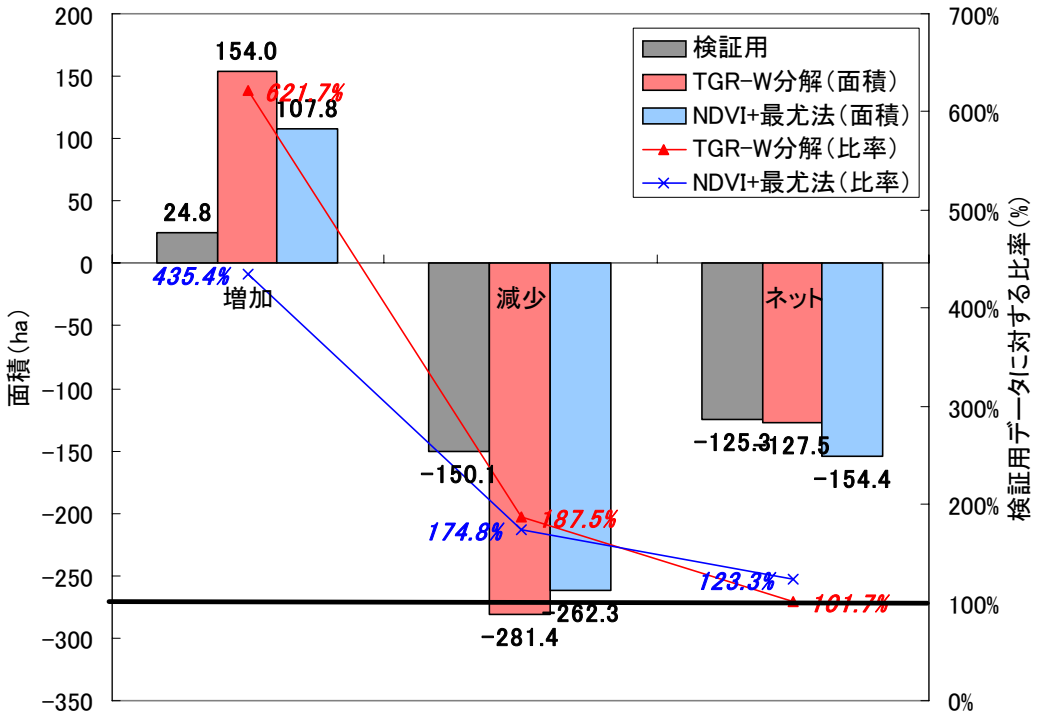
12 地点の検証エリア全てにおける面積比較により、2005 年時点の樹林地抽出精度の確認と、樹林地の変遷抽出精度の確認を行った。結果を図－3.8、図－3.9 に示す。

単時期の樹林地抽出精度（図－3.8）は、2005 年の ASTER データでは TGR-W 分解が 111.3%、NDVI+最尤法が 96.7%となった。一方、1990 年の LANDSAT データでは TGR-W 分解が 97.6%、NDVI+最尤法が 110.9%であり、2 手法の大小関係が逆転していた。ただし、検証用データとの乖離幅に大きな違いはなく、精度面での大きな違いはないといえる。

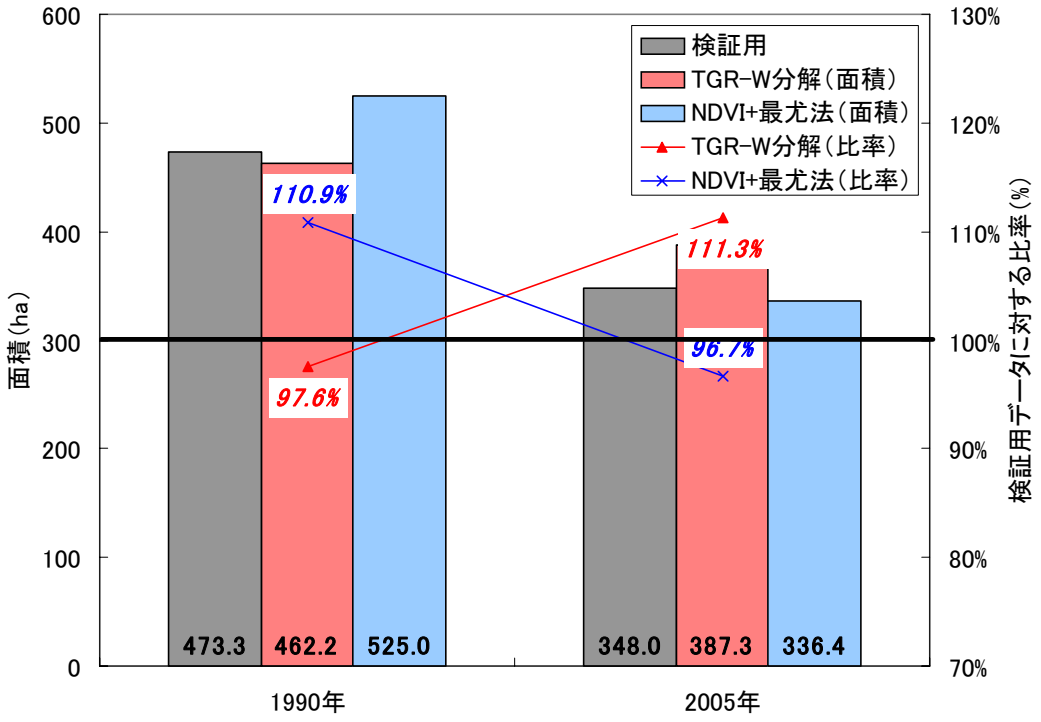
2 時期の変遷の抽出精度(図－3.9)は、増加箇所については TGR-W 分解が約 8 倍、NDVI+最尤法が約 3.5 倍の過大抽出であった。減少箇所については TGR-W 分解、NDVI+最尤法とも約 1.8 倍の過大抽出であった。増加と減少を差し引きした総量（ネット）については、TGR-W 分解が 56.1%、NDVI+最尤法が 146.3%となった。これより、2 時期の変遷の抽出精度は、TGR-W 分解、NDVI+最尤法ともに増加、減少それぞれについては過大に抽出する傾向が認められた。これは、LANDSAT 同士のケースと同様の傾向である。総量（ネット）については TGR-W 分解が過少抽出、NDVI+最尤法が過大抽出で、LANDSAT 同士のケースより検証用データとの乖離が大きい結果となった。



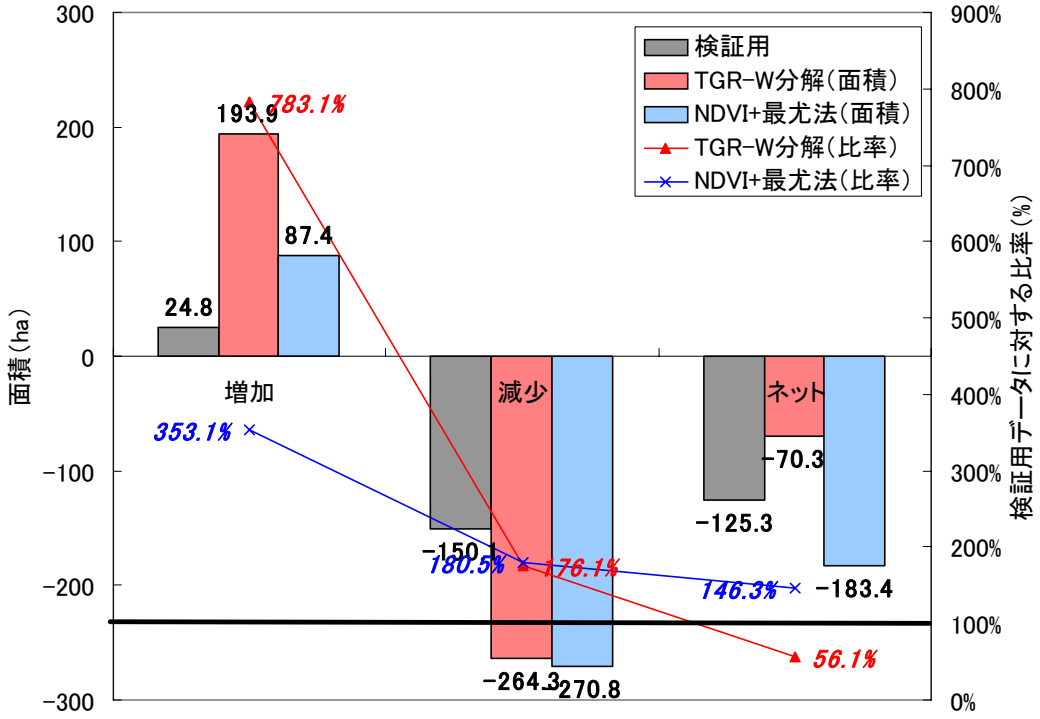
図－3.6　樹林地抽出精度確認結果（単時期）



図－3.7　樹林地抽出精度確認結果（変遷）



図－3.8　樹林地抽出精度確認結果（単時期）



図－3.9　樹林地抽出精度確認結果（変遷）

（３）誤差の生じた要因

2 時期の変遷の抽出において大きな誤差が生じた要因としては以下のことが考えられる。

① 位置ずれの問題

本研究では、LANDSAT および ASTER 画像の地理的な歪みを除去するため、幾何補正処理を行っており、補正後の誤差が 1.0 画素未満になるように実施しているが 1.0 画素未満という誤差は、通常の中分解能衛星データの処理の限界であり、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、1.0 画素のずれは 30m（ASTER の場合 15m）となり、その影響は大きい。また、2 時期の衛星画像の各画素の四隅の位置が完全に一致することはないため、対応する画素においても観測している範囲が異なることによるものである。

以上のような「位置ずれの問題」は、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る。

② 建物の影の影響

本研究では、Minnaert 法によって地形効果の補正を行ったが、DEM を用いた補正であるため、建物の影響は除去されていない。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、みなとみらい地区（St.5）のような高層建物の影は画素値に影響を及ぼしている。以上のような「建物の影の影響」は、増加、減少それぞれの面積誤差に少なからず影響しているものと考えられる。

③ 誤差の伝播

本調査では、2 時期の樹林地抽出結果を用いて増減を求めた。それぞれの時期の樹林地抽出結果は概ね良好な精度ではあったが、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は異なり、誤差が生じる。樹林地の増減は、これらの誤差を含んだ樹林地抽出結果に基づいたため、「誤差の伝播」が生じ、増加、減少それぞれの面積誤差に影響したものと考えられる。

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

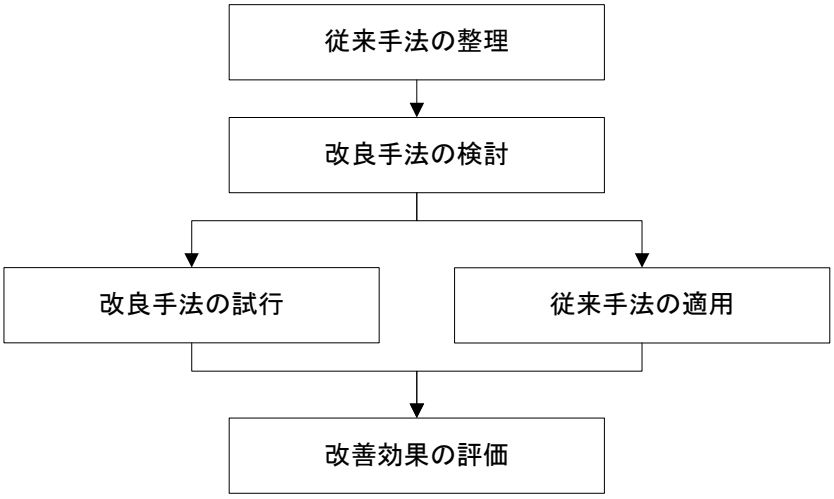
4.1 概要

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。

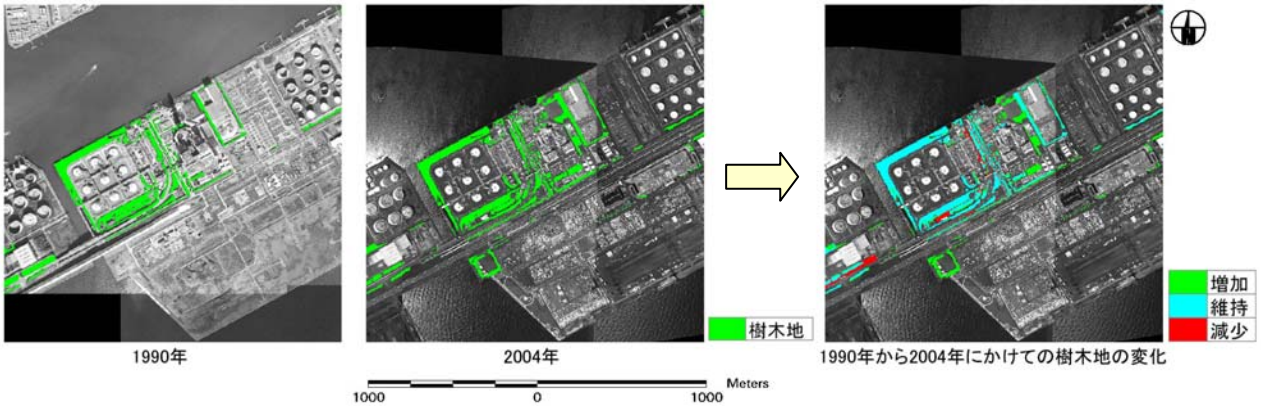
表－4.1　選定された検証エリア

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	

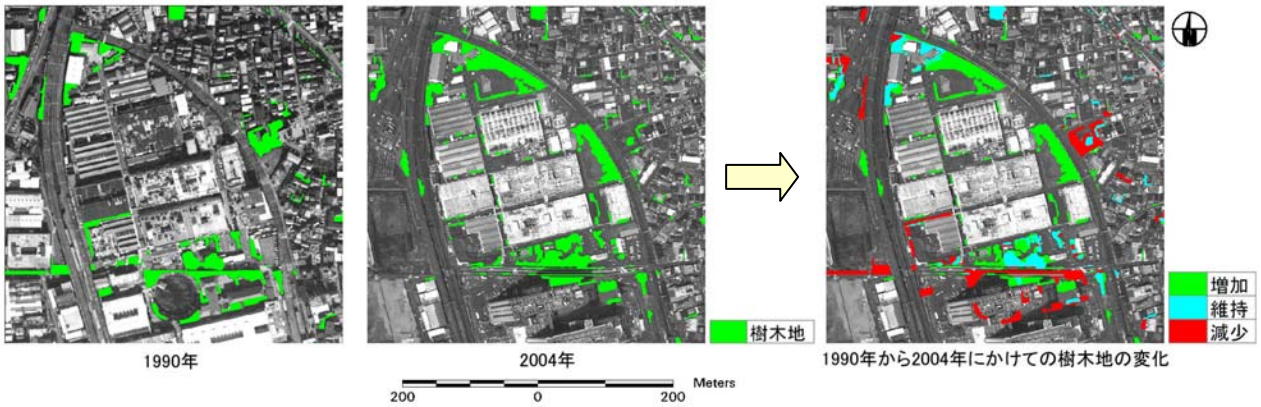
4.2.2 検証用データの作成

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。

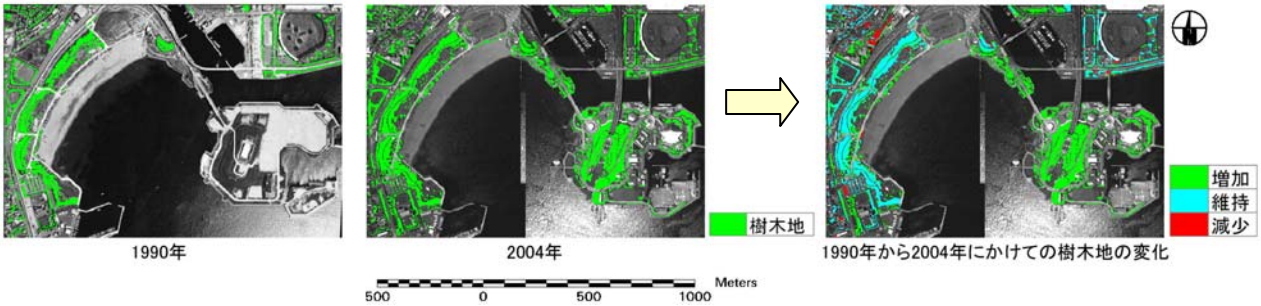
各検証エリアの写真判読結果を図－4.2 に示す。



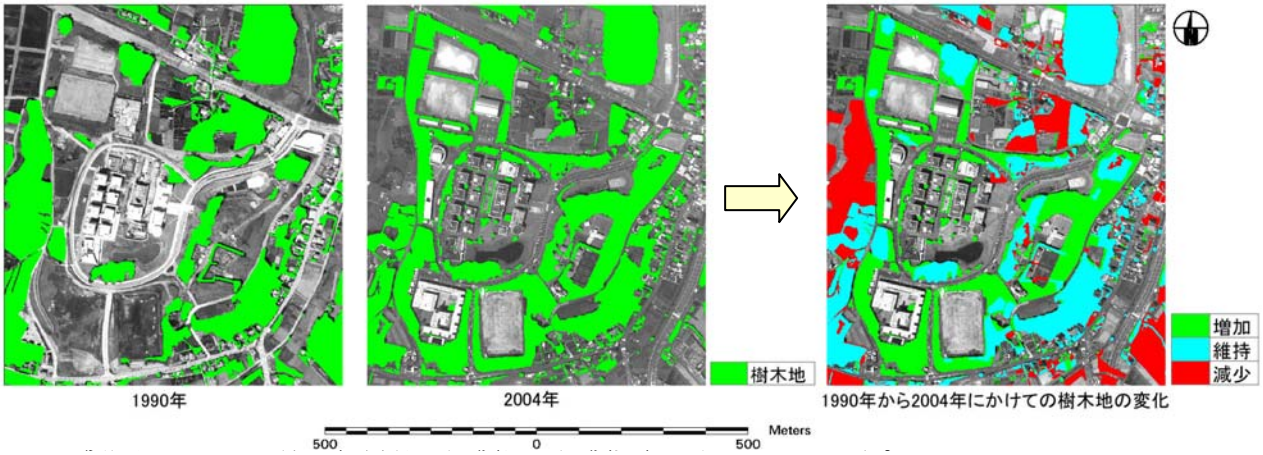
(1) St. 1



(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			
	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
	3.2	***5.2***	***5.2***	***25.6***	***4.1***	***6.6***	***10.9***	***31.8***
草地	29.1	1.4	28.8	14.8	21.9	1.4	16.9	11.1
	7.3	***5.6***	***16.3***	***20.6***	***5.5***	***5.8***	***9.6***	***15.3***
農地	0.0	0.1	0.0	7.3	0.0	0.0	0.0	6.9
	0.0	***0.6***	***0.0***	***10.1***	***0.0***	***0.1***	***0.0***	***9.6***
裸地	85.0	0.4	19.9	10.2	30.3	2.3	8.5	3.6
	21.3	***1.7***	***11.3***	***14.2***	***7.6***	***9.1***	***4.8***	***5.0***
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***

項目	樹林地の増減			
	St.1	St.2	St.3	St.4
増加	5.3	1.1	11.1	11.1
	1.3	***4.4***	***6.3***	***15.4***
維持	11.0	0.5	8.1	11.8
	2.7	***2.2***	***4.6***	***16.3***
減少	1.7	0.8	1.0	6.7
	0.4	***3.0***	***0.6***	***9.3***
ネット	3.6	0.4	10.1	4.5
	0.9	***1.4***	***5.8***	***6.2***

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。

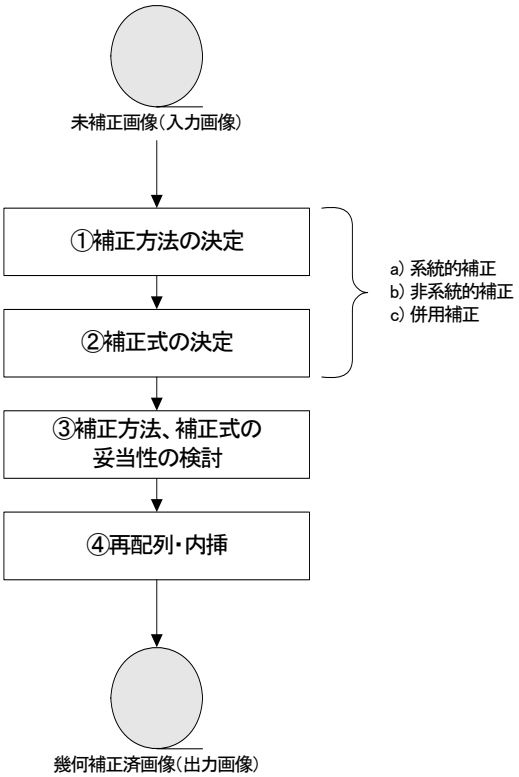
幾何補正（geometric correction）とは、これらの幾何学的歪みを除去することであり、画像上のピクセルの座標（画像座標）と対象物の地理座標（地図座標など）との対応関係（座標変換式）を定量的に明確化することである。

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の間の座標変換式を、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。

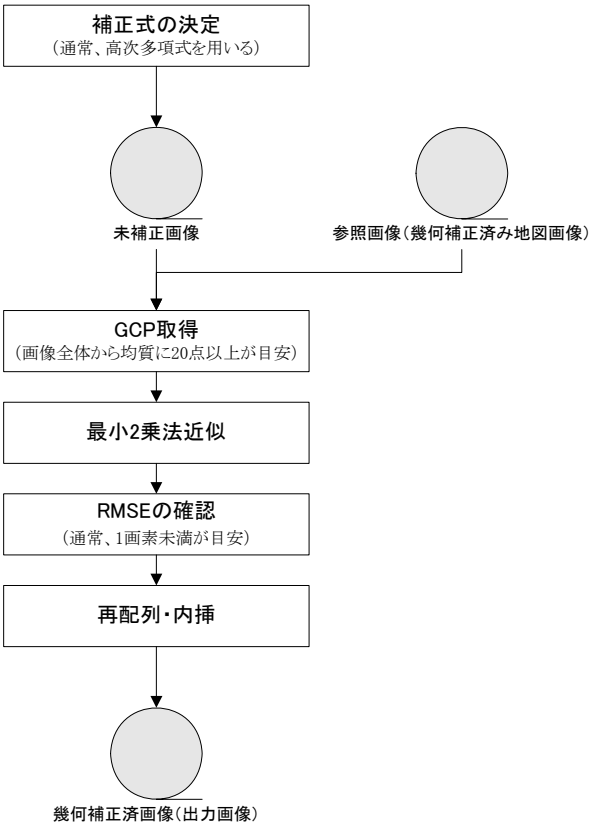


図－4.3　幾何補正の手順[12)]

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。



図－4.4　従来の幾何補正の手順

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。

---

*RMSE（Root Mean Square Error：RMS 誤差）

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

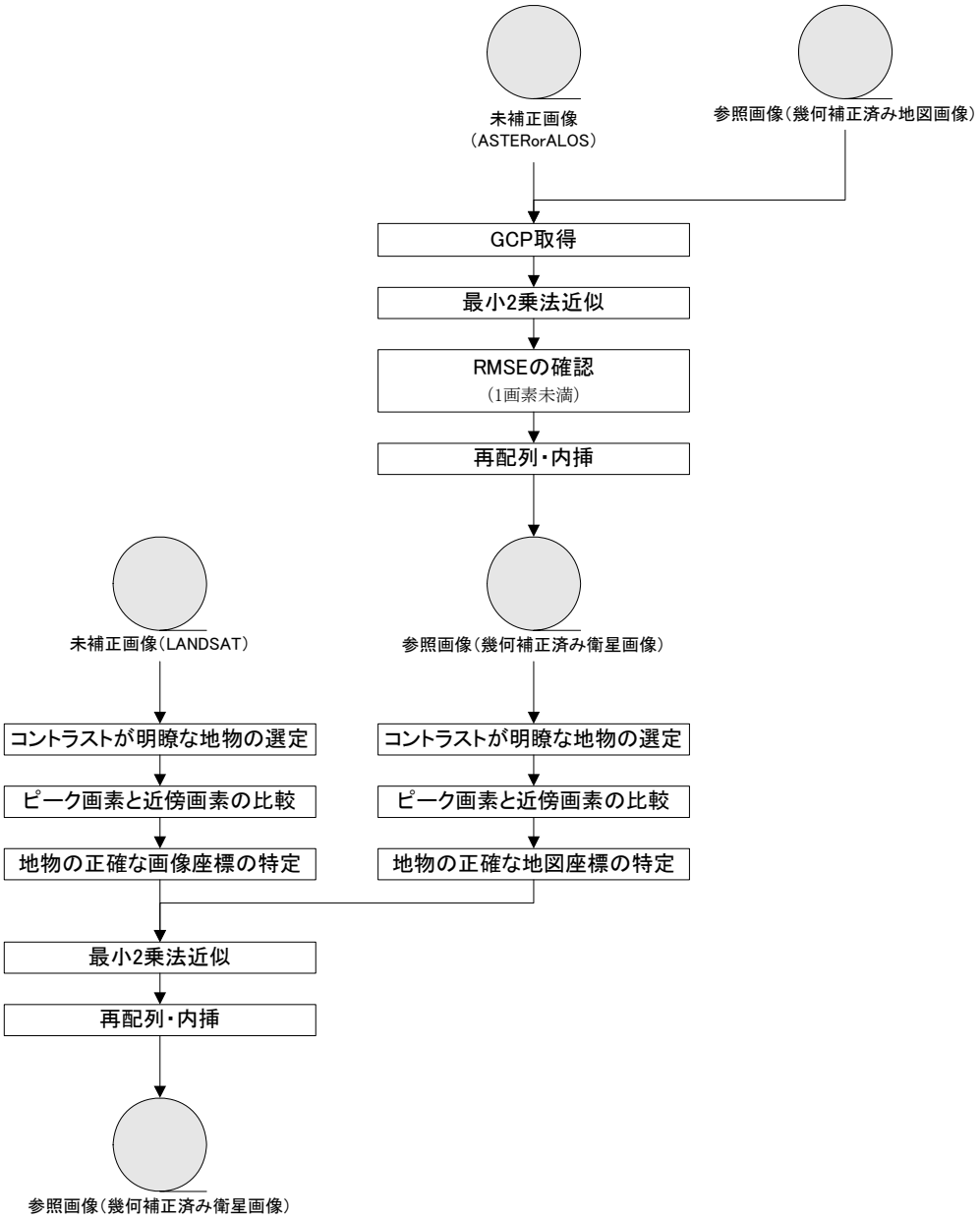
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - x_0)^2}$$

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。

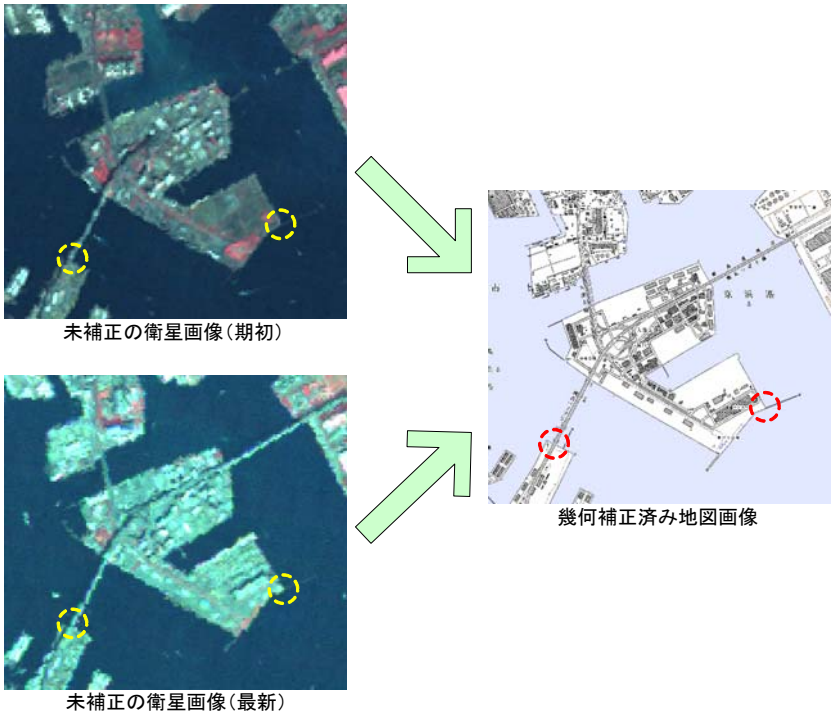
① 参照画像に空間分解能の高い衛星画像（ASTER もしくは ALOS）を用い、衛星画像を個々に地図画像に合わせることによって発生する誤差の伝播を軽減する。
② コントラストの明瞭な地物を GCP として、近傍画素との色調差から地物の位置をサブピクセルレベルで推定し、誤差を最小限に抑える。



図－4.5　本研究で考案した精密幾何補正の手順

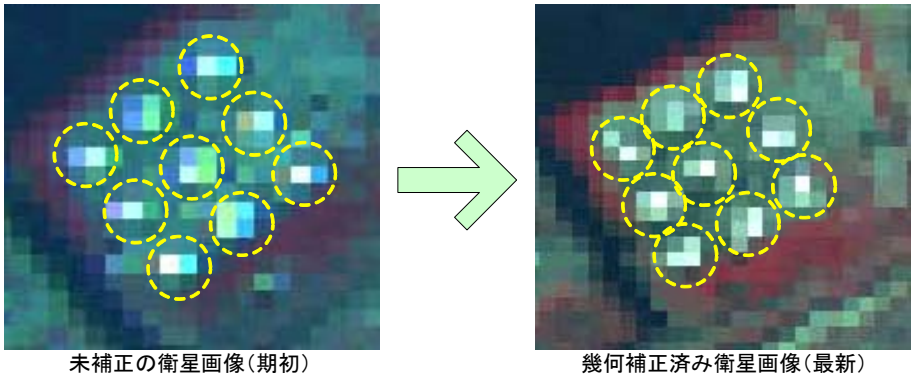
従来の幾何補正手法と精密幾何補正手法の比較を図－4.6 に示す。

【従来の幾何補正手法】



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。

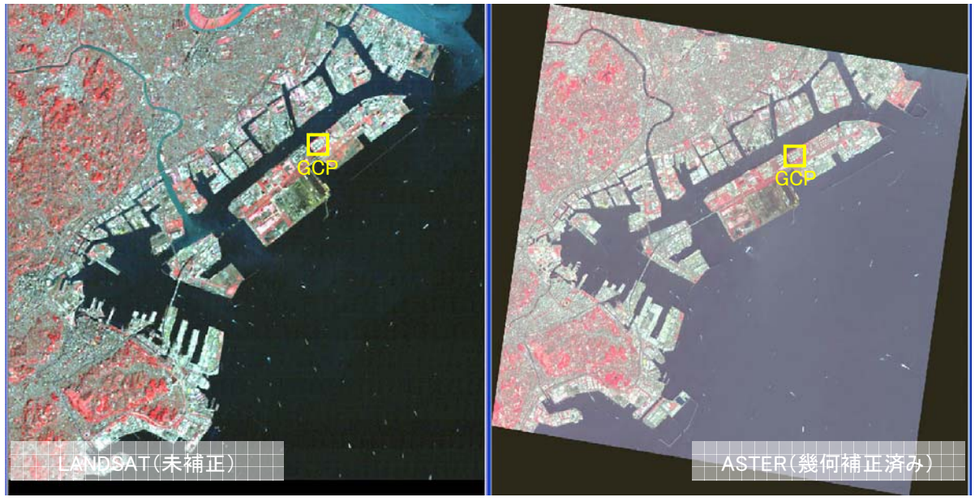
【精密幾何補正手法】



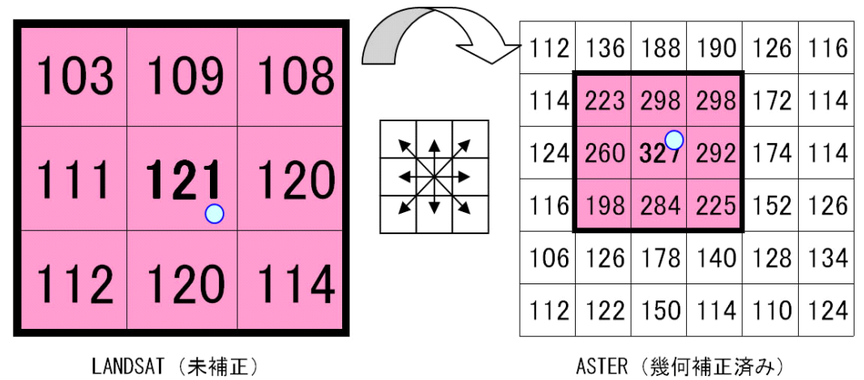
石油タンクのような小さくて周辺とのコントラストが明瞭な地物（丸印）を GCP として、未補正の衛星画像を補正済みの衛星画像に対して合わせていく。その際、近傍画素との色調差から地物の位置をサブピクセルレベルで推定し、誤差を最小限に抑える。

図－4.6　従来の幾何補正手法と精密幾何補正手法の比較

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する方法を、神奈川県を事例に図－4.7 に示す。

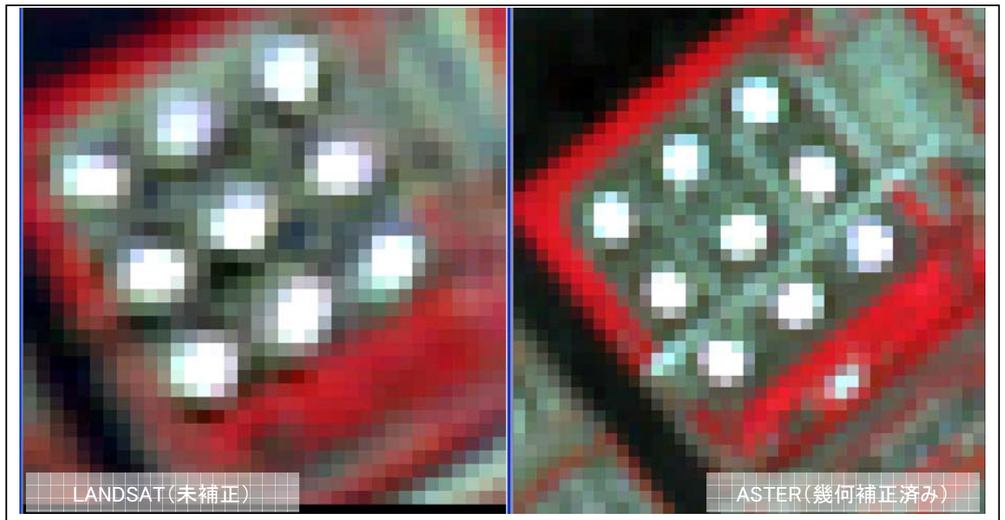


(1) 対象画像（LANDSAT と ASTER）

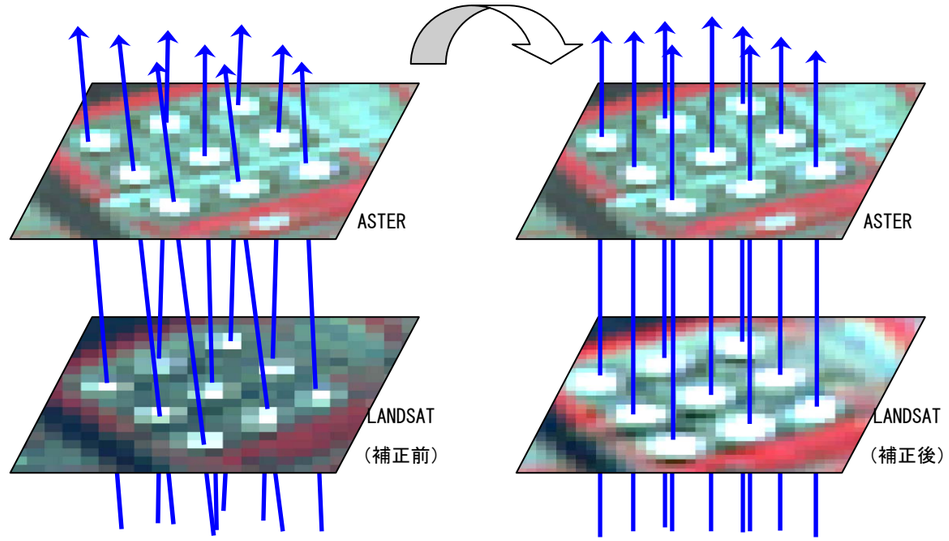


① 最も画素値の高い画素（ピーク画素）を中心とした３×３の領域を設定する。
② 近傍８画素の画素値との差を計算する。
③ ベクトル計算によってＸ方向、Ｙ方向のシフト量を求め、”真の中心座標”を推定する。

(3) 地物の正確な位置の推定



(2) コントラストが明瞭な地物（黄枠「GCP」周辺）



(4) 地物位置の推定結果を用いた精密幾何補正法

図－4.7　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する方法

（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。

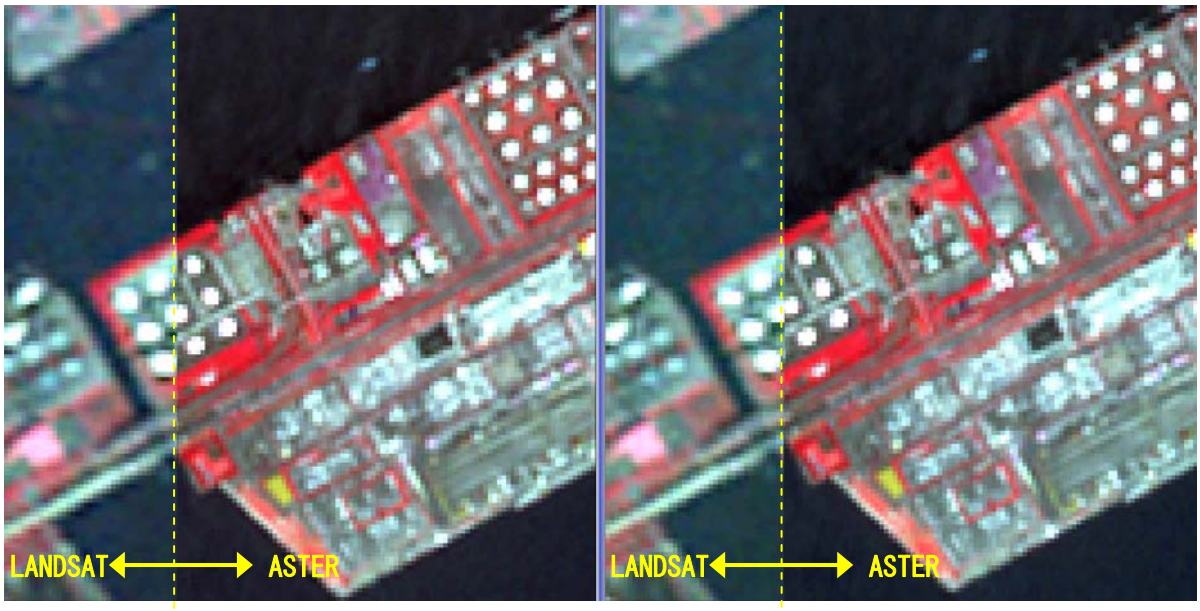
以上より、精密幾何補正によって LANDSAT と ASTER の位置が良く対応していることが確認された。

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。

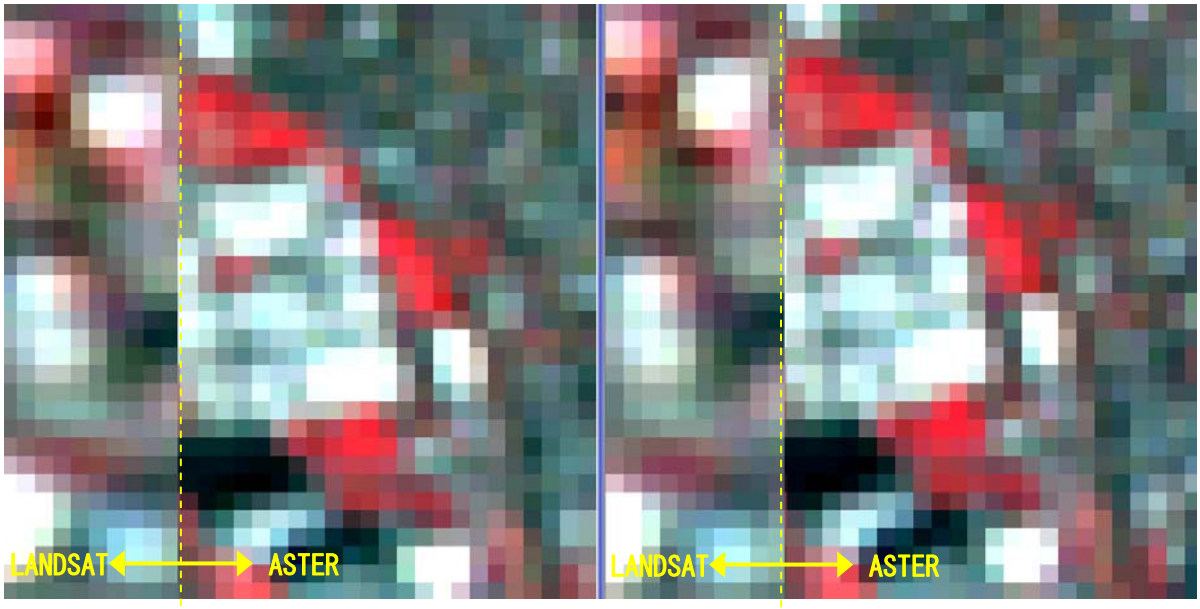
一方、精密幾何補正では、幾何補正済みの ASTER に対する LANDSAT の RMSE は 0.402 画素である。精密幾何補正では、幾何補正済みの ASTER 画像を参照画像とするため、LANDSAT と ASTER を重ね合わせる際に想定される最大誤差は LANDSAT の RMSE のみである。したがって、想定される最大誤差は 6.03m となり従来の幾何補正の約 1/3 に抑えることができる。

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）

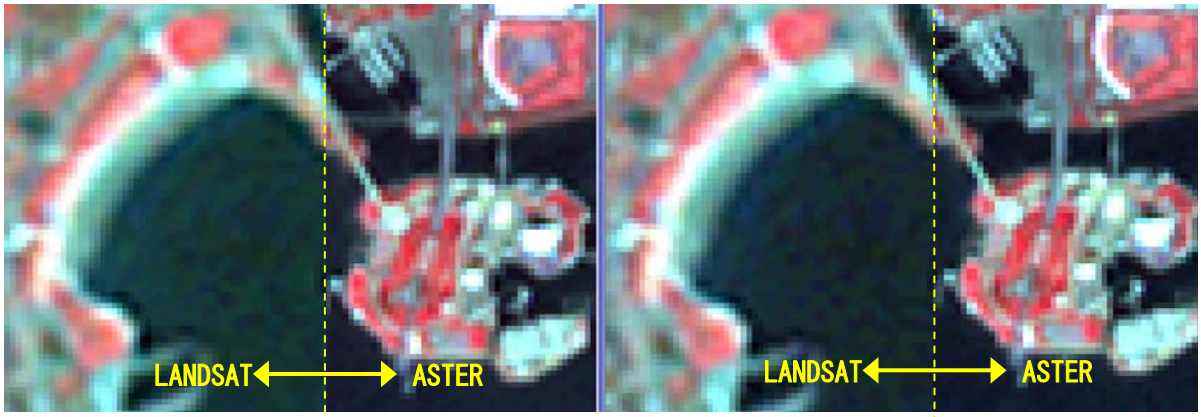
(1) St.1



（精密幾何補正）　　（従来の幾何補正）

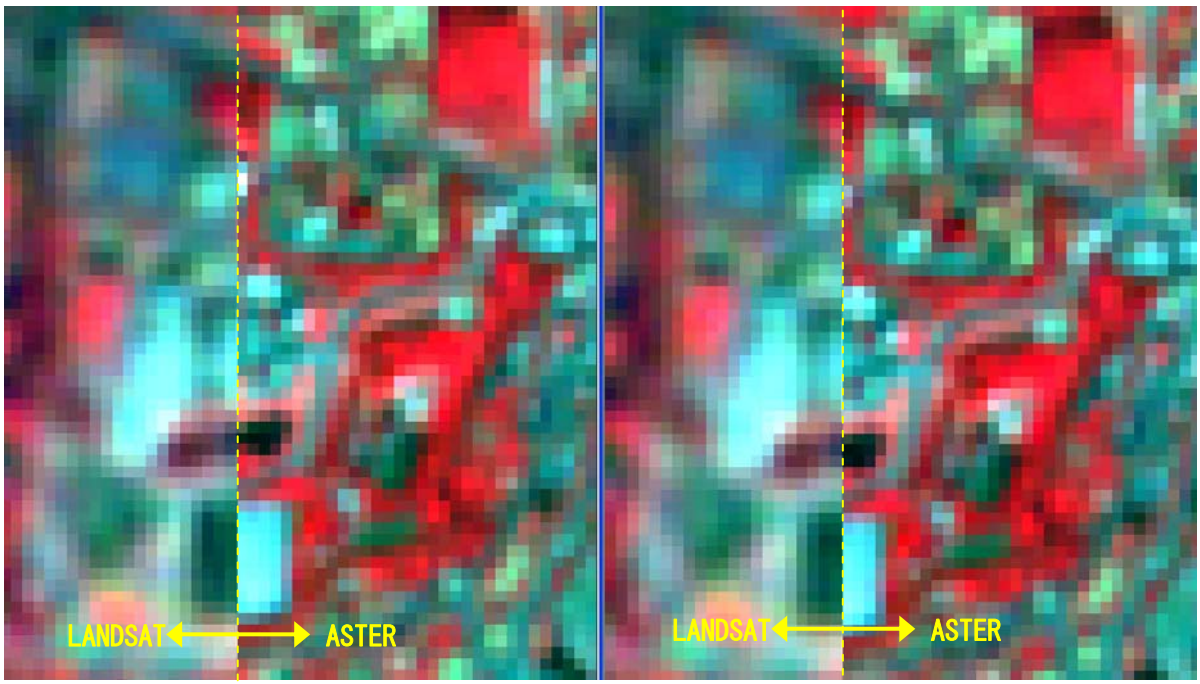
(2) St.2

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

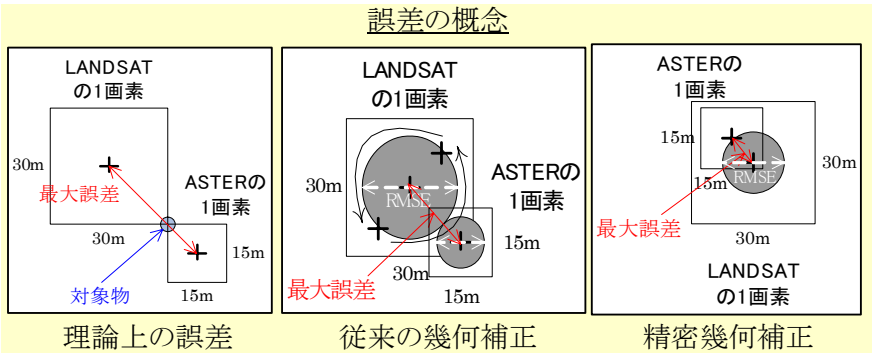
図－4.8(2)　精密幾何補正処理結果と従来の幾何補正処理結果の比較

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

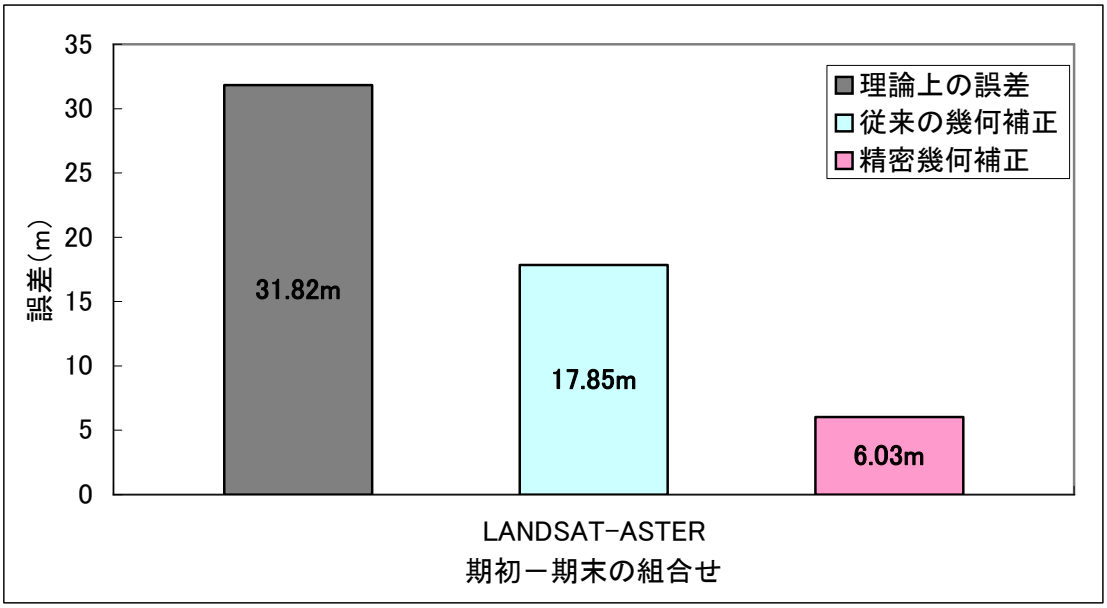
精密幾何補正

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		従来の幾何補正		精密幾何補正	
	（単位：m）	計算式	（単位：m）	計算式	（単位：m）	計算式
LANDSAT-ASTER	31.820	(30÷2×√2) + (15÷2×√2)	17.845	(30÷2×0.8385) + (15÷2×0.7023)	6.030	30÷2×0.402



図ー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。

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

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

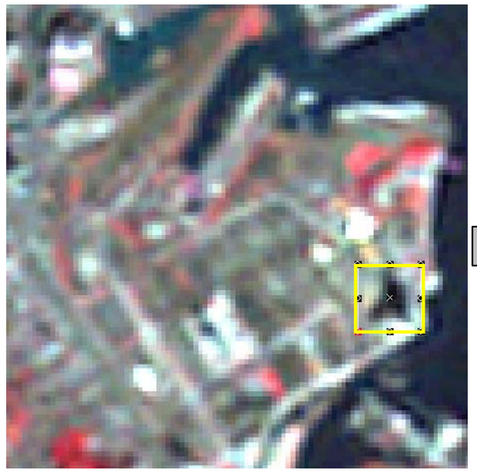
（３）処理結果と改善効果

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。

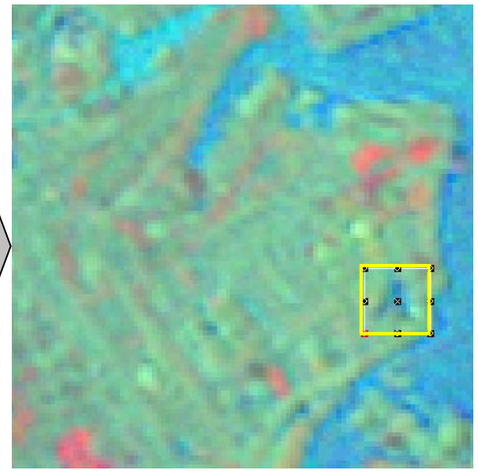
未補正の LANDSAT 画像には高層建物の影が確認できる（黄枠）。未補正の状態では全てのバンドにおいて低い画素値を示す凹みが存在しており、影の影響を受けていると考えられる。一方、正規化法適用画像では、band2～band7 で高層建物の影周辺の画素値が平滑化され凹みが解消されており、影の影響が軽減されていると考察される。ただし、band1 については、影の中が高い画素値を示しており、過剰に補正されていると解釈される。これは、影の中では band2～band7 まで一様に低い画素値を示すのに対して band1 が相対的に高い画素値を示すために、正規化によってその特徴が際だったことによると考えら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

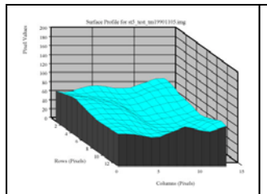
【LANDSAT（1990.11.05）】



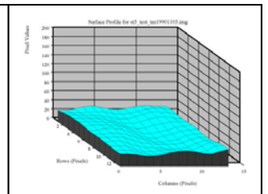
（正規化前）



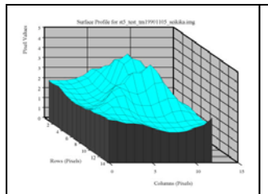
（正規化後）



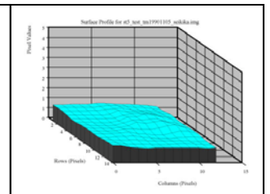
（band1・青）



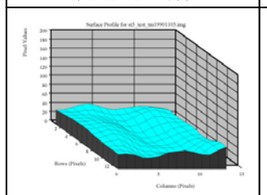
（band2・緑）



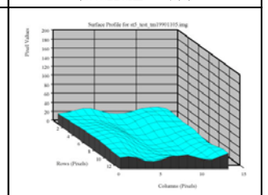
（band1・青）



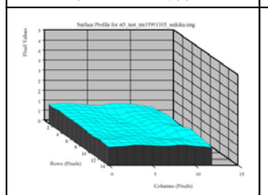
（band2・緑）



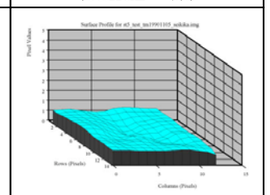
（band3・赤）



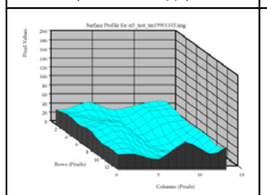
（band4・近赤外）



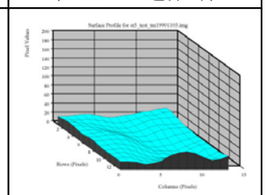
（band3・赤）



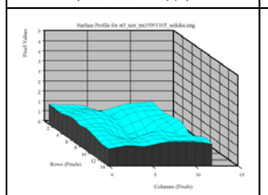
（band4・近赤外）



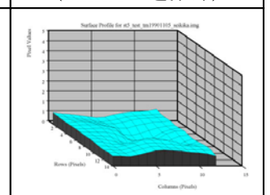
（band5・短波長赤外）



（band7・短波長赤外）



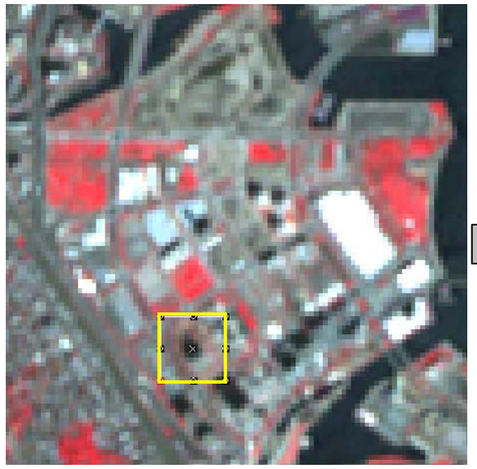
（band5・短波長赤外）



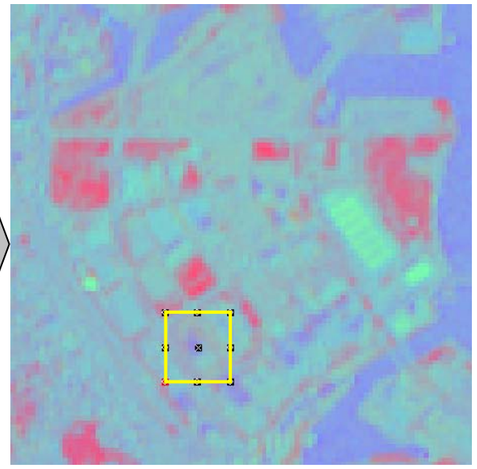
（band7・短波長赤外）

➢　band2～7 では高層建物の影と思われる凹みが軽減されている。band1 は過剰に補正されている。

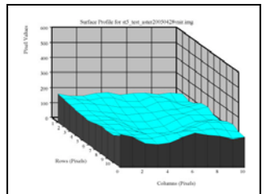
【ASTER（2005.04.28）】



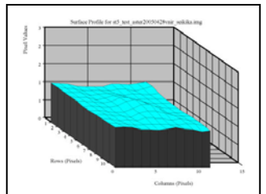
（正規化前）



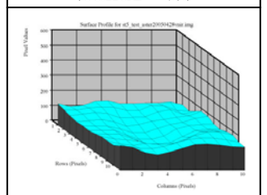
（正規化後）



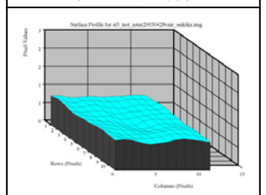
（band1・緑）



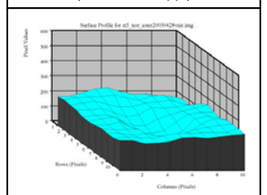
（band1・緑）



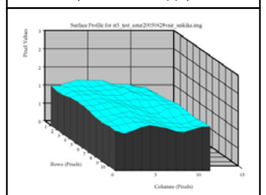
（band2・赤）



（band2・赤）



（band3・近赤外）



（band3・近赤外）

➢　各バンドで高層建物の影と思われる凹みが軽減されている。

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

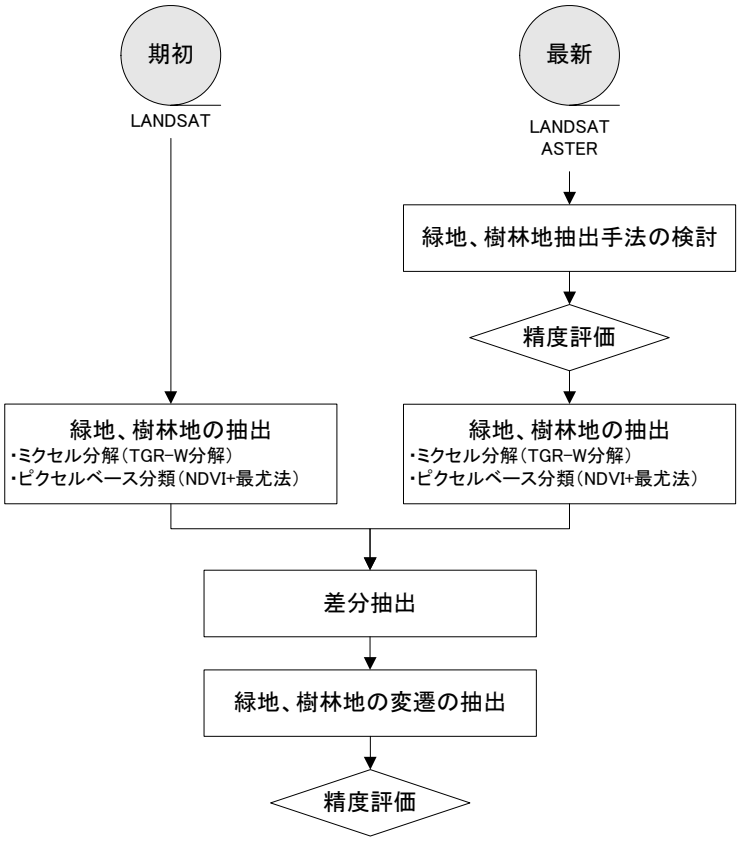
（１）従来手法の整理

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 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）。



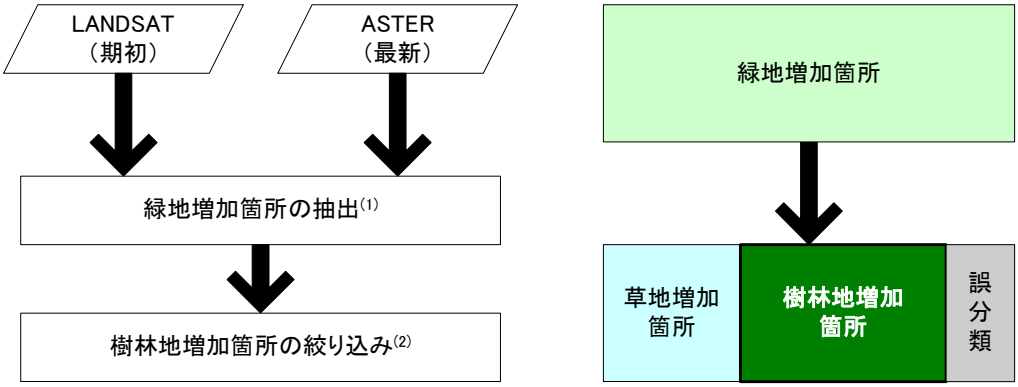
図－4.11　第 2 章、3 章における樹林地増減把握の流れ

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。

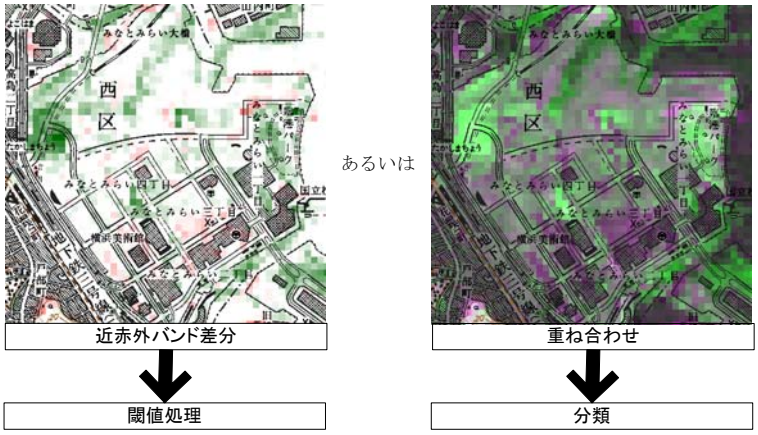
（２）改良手法の検討

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た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。

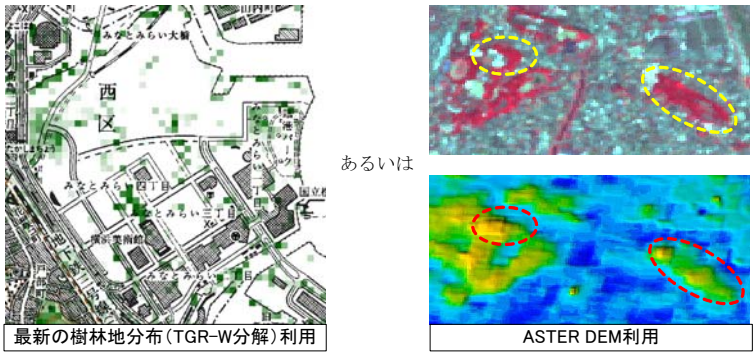
①2 時期の衛星画像から直接、緑地増加箇所を求め、その中から樹林地増加箇所を絞り込むアプローチで誤差の伝播を軽減する。
②樹林地増加箇所を絞り込む際に、高さ情報の利用可能性を検討する。



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。

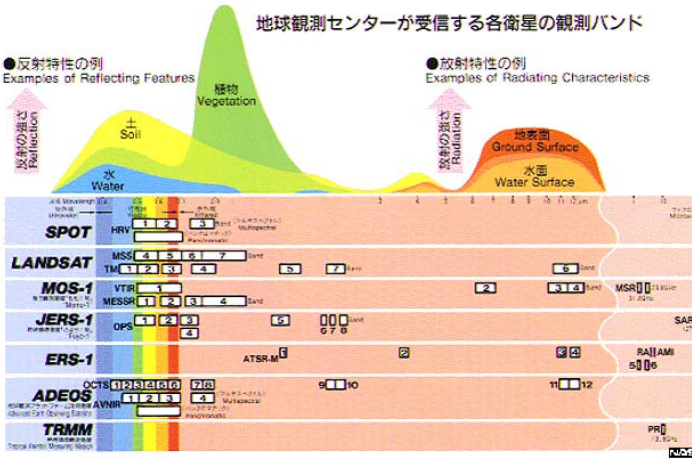
(1) 緑地増加箇所の抽出方法

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

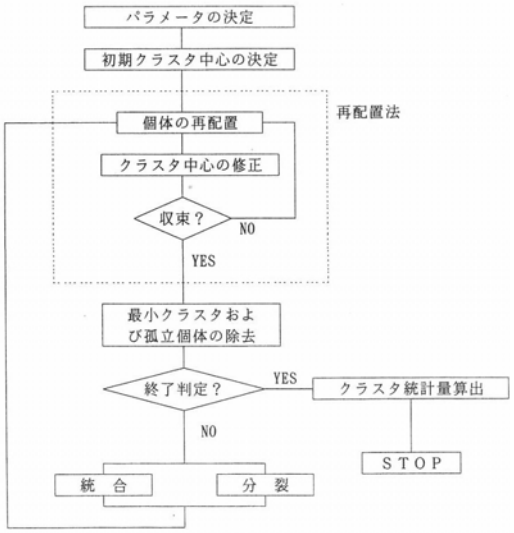
出典：（独）宇宙航空研究開発機構（JAXA）ホームページ：
http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/observation/image/remote_g.jpg

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

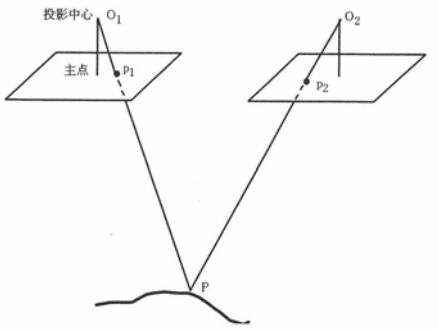
(1)で抽出された緑地増加箇所は、樹林地が増えた箇所と草地が増えた箇所が混在して

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。

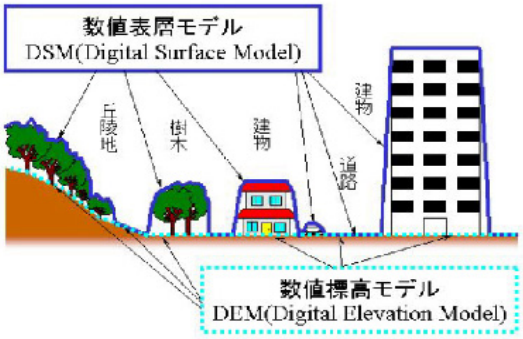


図－4.15　ステレオ画像による三次元計測原理 [29)]

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

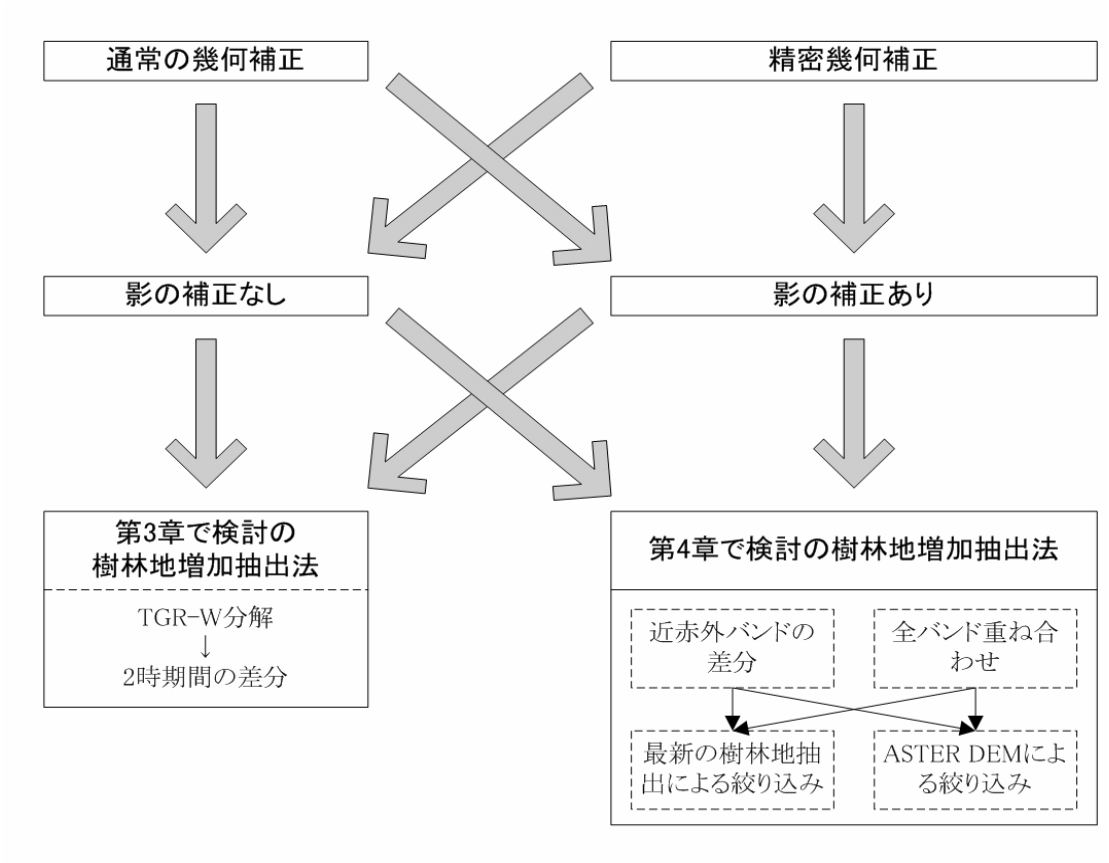
本研究で実施する樹林地増加面積の把握精度を高めるための手法改良は、

- 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）

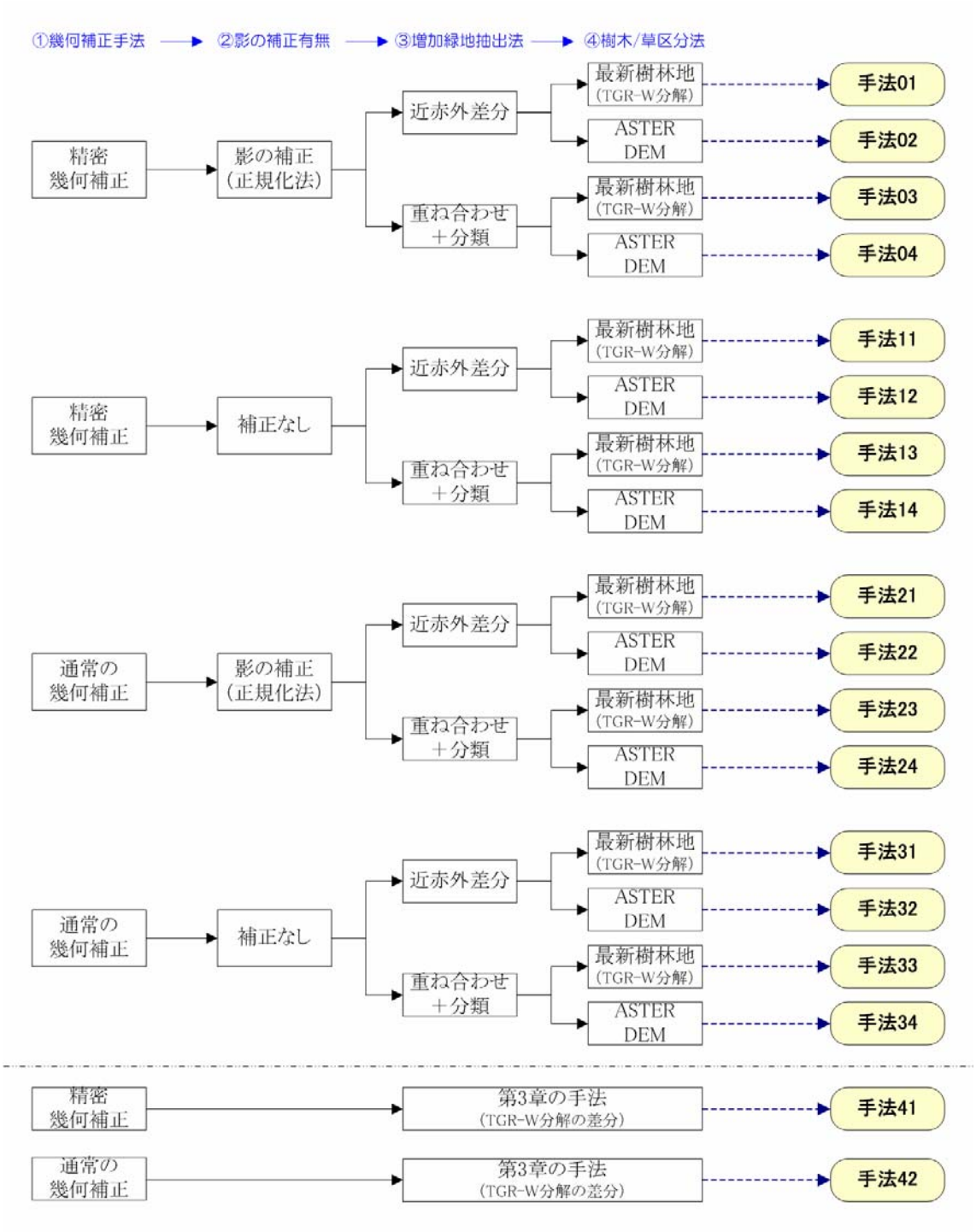
の３段階の改良でどの程度誤差を軽減することができるか､総合的に評価する必要がある。

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

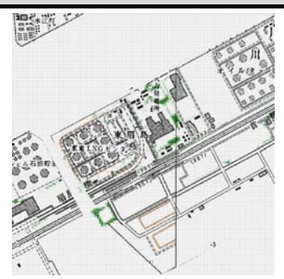
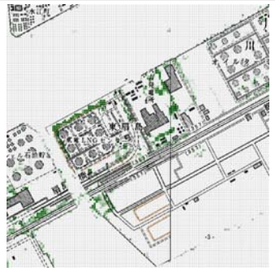
- 精密幾何補正：大きな違いは見受けられない。
- 影の補正：影の補正を行っていない手法は、樹林地が維持されてきた場所を抽出ミスしているケースがある（手法 11～手法 14、手法 31～手法 34）。
- 樹林地増加抽出手法：抽出結果のパターンに大きな違いはないが、最新樹林地（TGR-W）を使用する手法はやや過少抽出。
- 第 3 章の手法との比較：第 3 章の手法は、樹林地が維持されてきた場所を抽出ミスしているケースがあり、全体に過大抽出傾向。

・ 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。

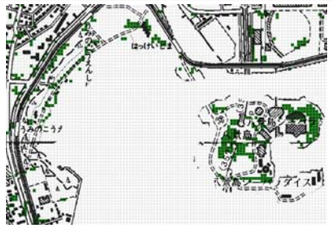
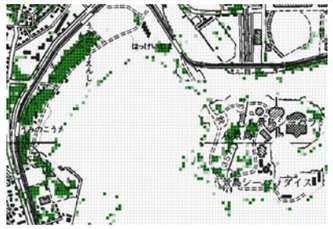
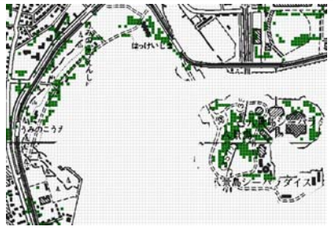
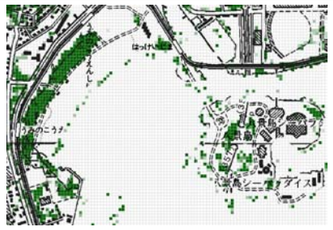
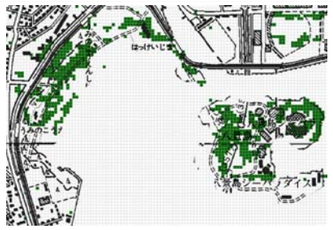
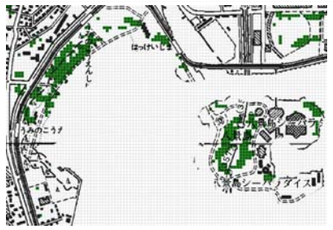
表－4.3(1)　St.1における樹林地増加抽出結果

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）		 （50%を閾値に二値化）
精密補正：× 正規化法：○	 （手法 21）	 （手法 22）	 （手法 23）	 （手法 24）	 （手法 42）	
精密補正：× 正規化法：×	 （手法 31）	 （手法 32）	 （手法 33）	 （手法 34）		

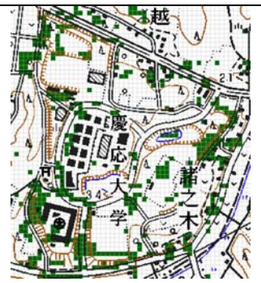
表－4.3(2)　St.2における樹林地増加抽出結果

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：× 正規化法：○	 （手法 21）	 （手法 22）	 （手法 23）	 （手法 24）	 （手法 42）	
精密補正：× 正規化法：×	 （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）		 （50%を閾値に二値化）
精密補正：× 正規化法：○	 （手法 21）	 （手法 22）	 （手法 23）	 （手法 24）	 （手法 42）	
精密補正：× 正規化法：×	 （手法 31）	 （手法 32）	 （手法 33）	 （手法 34）		

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：× 正規化法：○	 （手法 21）	 （手法 22）	 （手法 23）	 （手法 24）	 （手法 42）	
精密補正：× 正規化法：×	 （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

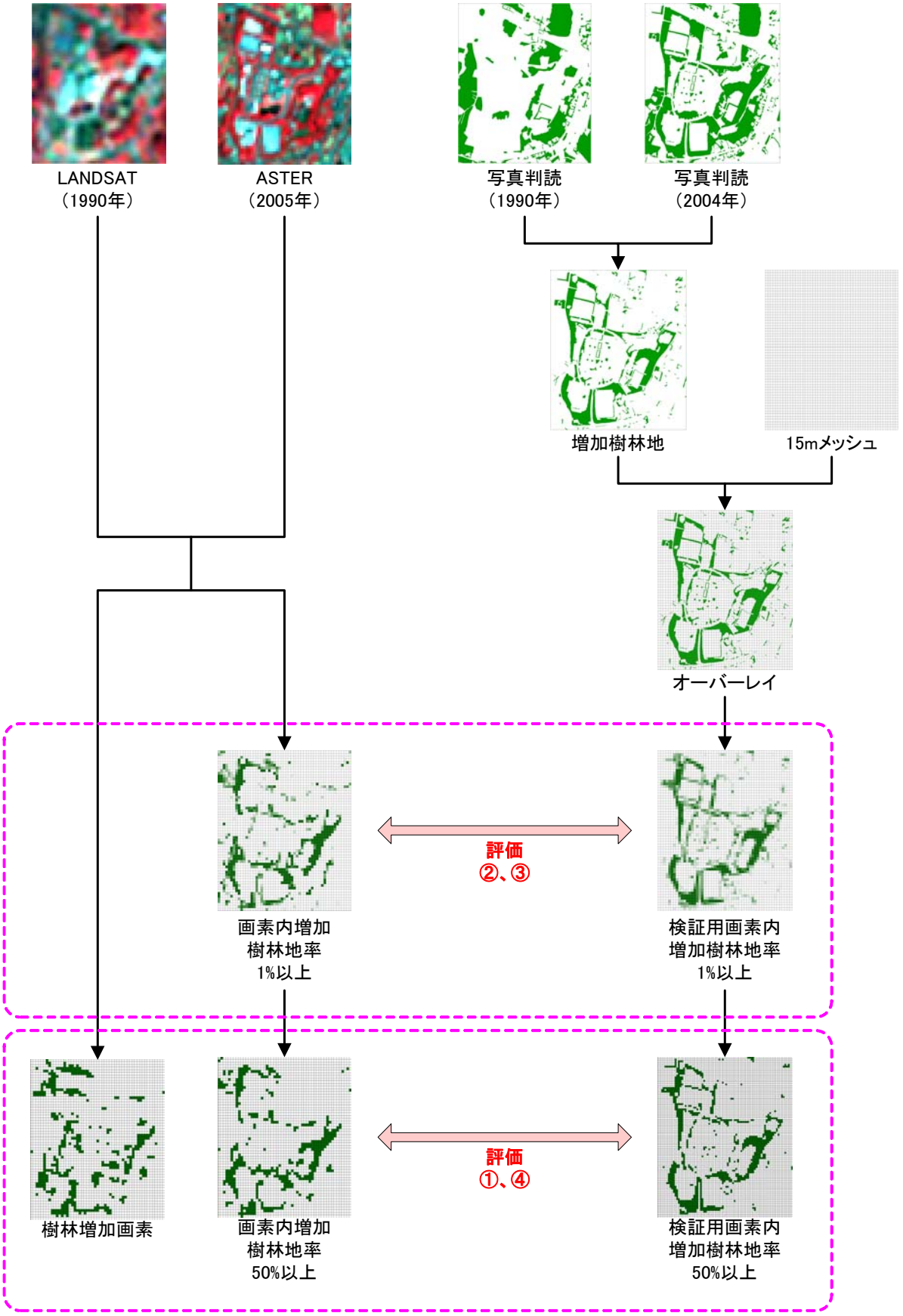
A 群と B 群を並べて評価する際には、50%以上の画素内増加樹林地率を示す画素を抽出して判別精度の評価を行った。

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№	評価項目	検証用データ	評価指標	対象手法
①	樹林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×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）

$$\phi = \sum_{i}^{K}\sum_{j}^{K}\left(np_{ij} - np_{i\cdot}p_{\cdot j}\right)^2 / n^2 p_{i\cdot}p_{\cdot j}$$

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）

$$\varphi = p_{11}p_{22} / p_{12}p_{21}$$

③ 一致率（総合精度）

$$P_0 = \sum_{i}^{K} p_{ii}$$

④ κ係数

$$\kappa = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} = \frac{\sum_{i}^{K} p_{ii} - \sum_{i}^{K} p_{i\cdot}p_{\cdot i}}{1 - \sum_{i}^{K} p_{i\cdot}p_{\cdot i}}$$

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}	$p_{1\cdot}$
	⋮	⋮			⋮		⋮	⋮
	C_i	p_{i1}	・・	・・	p_{ij}	・・	p_{iK}	$p_{i\cdot}$
	⋮	⋮			⋮		⋮	⋮
	⋮	⋮			⋮		⋮	⋮
	C_K	p_{K1}	・・	・・	p_{Kj}	・・	p_{KK}	$p_{K\cdot}$
		$p_{\cdot 1}$	・・	・・	$p_{\cdot j}$	・・	$p_{\cdot K}$	1(n)

①χ^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。④κ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

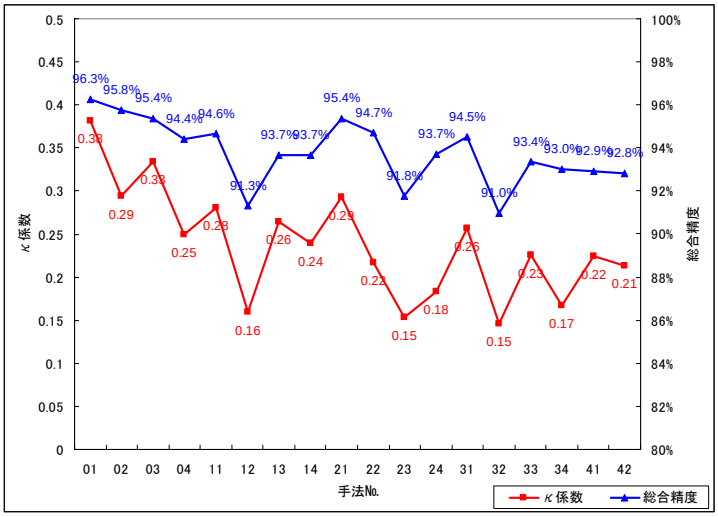
神奈川県検証エリア St.1～St.4 の総合的な判定効率表を表－4.6 に示し、総合精度およびκ係数の手法別比較図を図－4.20 に示す。

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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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 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

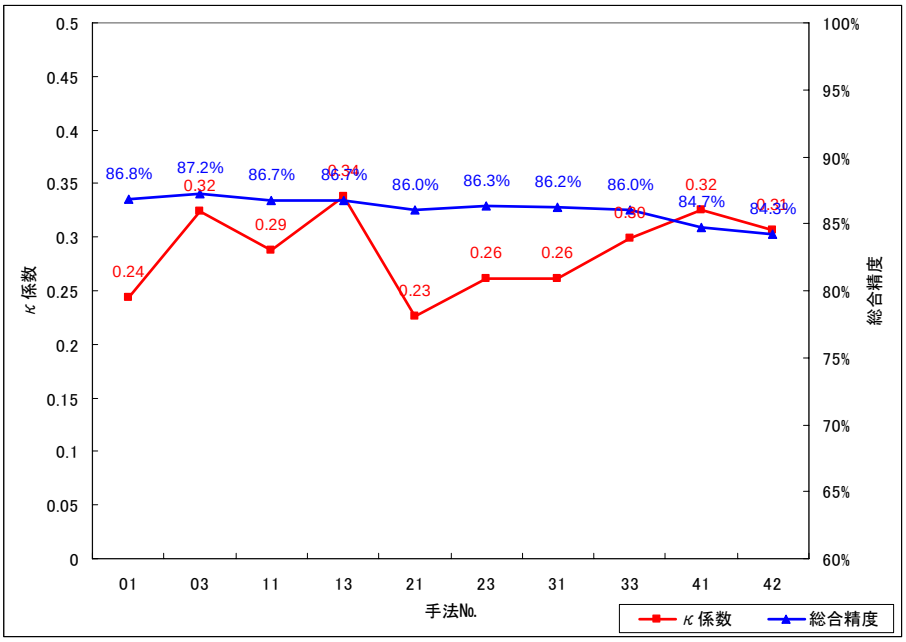
神奈川県検証エリア St.1～St.4 の総合的な判定効率表を表－4.7 に示し、総合精度およびκ係数の手法別比較図を図－4.21 に示す。

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）

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	*823*	*547*	1370	823	**19.62%**	**60.07%**	**86.81%**	**0.243**
無	*3371*	*24955*	28326	24955	97.86%	88.10%		
合計	4194	25502	29696	25778				

（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	*1188*	*788*	1976	1188	**28.33%**	**60.12%**	**87.22%**	**0.324**
無	*3006*	*24714*	27720	24714	96.91%	89.16%		
合計	4194	25502	29696	25902				

（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	*1064*	*822*	1886	1064	**25.37%**	**56.42%**	**86.69%**	**0.288**
無	*3130*	*24680*	27810	24680	96.78%	88.75%		
合計	4194	25502	29696	25744				

（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	*1362*	*1121*	2483	1362	**32.47%**	**54.85%**	**86.69%**	**0.338**
無	*2832*	*24381*	27213	24381	95.60%	89.59%		
合計	4194	25502	29696	25743				

（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	*832*	*783*	1615	832	**19.84%**	**51.52%**	**86.04%**	**0.226**
無	*3362*	*24719*	28081	24719	96.93%	88.03%		
合計	4194	25502	29696	25551				

（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	*978*	*855*	1833	978	**23.32%**	**53.36%**	**86.29%**	**0.261**
無	*3216*	*24647*	27863	24647	96.65%	88.46%		
合計	4194	25502	29696	25625				

（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	*991*	*890*	1881	991	**23.63%**	**52.68%**	**86.22%**	**0.262**
無	*3203*	*24612*	27815	24612	96.51%	88.48%		
合計	4194	25502	29696	25603				

（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	*1224*	*1178*	2402	1224	**29.18%**	**50.96%**	**86.03%**	**0.299**
無	*2970*	*24324*	27294	24324	95.38%	89.12%		
合計	4194	25502	29696	25548				

（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	*1587*	*1925*	3512	1587	**37.84%**	**45.19%**	**84.74%**	**0.325**
無	*2607*	*23577*	26184	23577	92.45%	90.04%		
合計	4194	25502	29696	25164				

（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	*1537*	*2017*	3554	1537	**36.65%**	**43.25%**	**84.26%**	**0.307**
無	*2657*	*23485*	26142	23485	92.09%	89.84%		
合計	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。

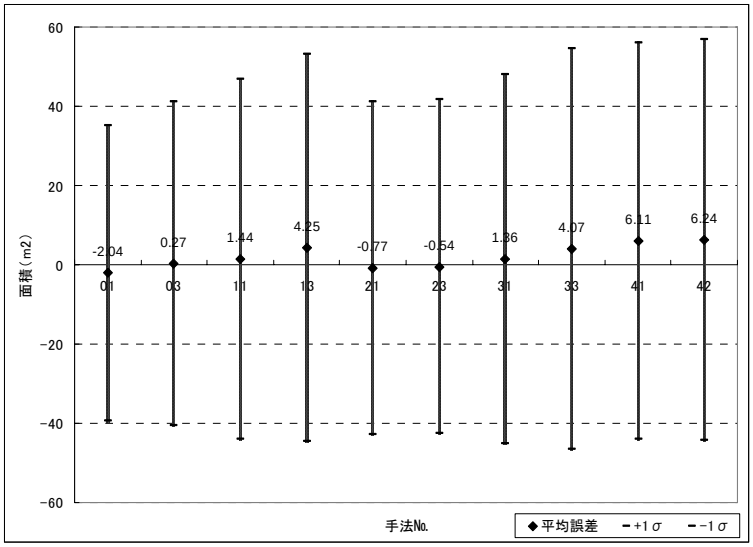
表－4.8 および図－4.22 から総合的に考察される各手法の特徴は下記のとおりである。

- 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



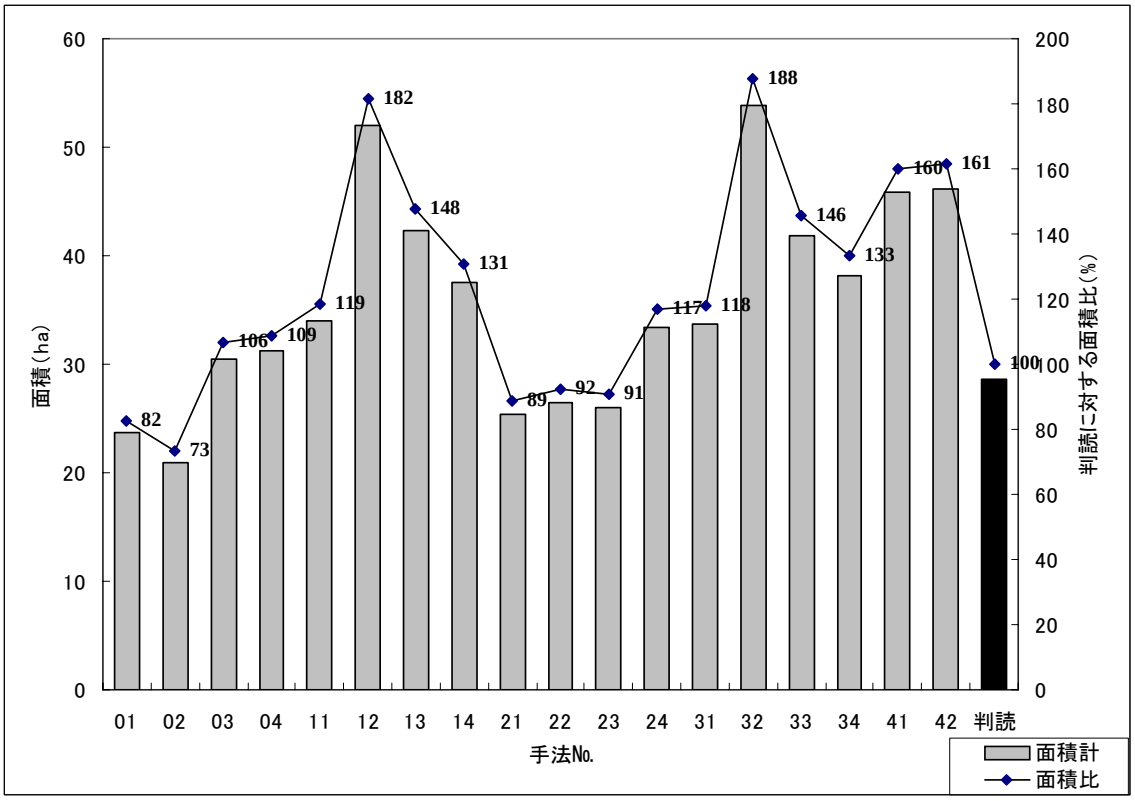
図－4.22　画素内増加樹林地率の統計的精度評価（箱髭図）

（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）		◎	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が標準偏差が最も小さい	△	やや過少推定
近赤外差分 ASTER DEM		△	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）		◎	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が平均誤差が最も小さい	◎	最も真値に近い
重ね合わせ+分類 ASTER DEM		△	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、

- <u>手法 01</u>

  （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））

- <u>手法 03</u>

  （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。

５．LANDSAT と ALOS データを使った樹林地変遷の解析

5.1 概要

本章では、第 4 章で検討を行った樹林地変遷の把握手法を踏まえ、期初のデータとして LANDSAT データを使い、最新のデータとしては、ALOS データを使って、樹林地の増減解析を試みた。

ALOS（陸域観測技術衛星「だいち」）は 2006 年 1 月 24 日に打ち上げられた世界最大級の地球観測衛星で、JERS-1（地球資源衛星「ふよう 1 号」）および ADEOS（地球観測プラットフォーム技術衛星「みどり」）による陸域観測技術をさらに高度化し、地図作成、地域観測、災害状況把握、資源探査等への貢献を図ることを目的としている。

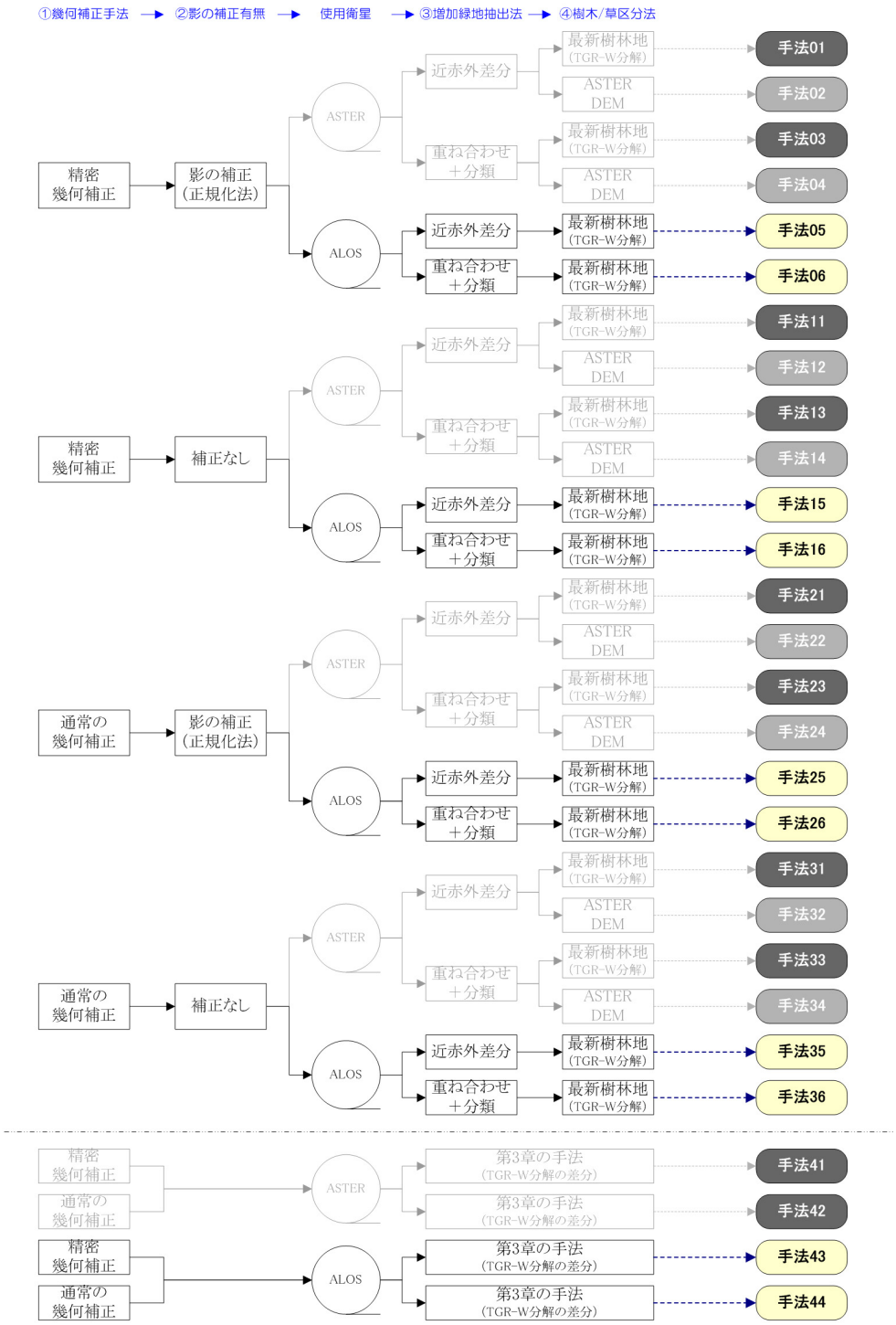
ALOS には、高精度で標高抽出を行うための PRISM（パンクロマチック立体視センサ）、および土地被覆の観測を高精度に行うための ANVIR-2（高性能可視近赤外放射計 2 型）、昼夜の別なく、また天候によらず陸域の観測が可能な PALSAR（フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ）の 3 つの地球観測センサが搭載されている。

ALOS の打ち上げが成功し、データ配信も始まったことから、本調査の目的である樹林地の増減把握に今後有効活用されることが期待される。

そこで本調査では、ALOS の実データを入手し、樹林地の増減把握に対する利用可能性や第 4 章で検討を行った ASTER データの比較を検討した。

5.2 解析方法

ALOS データの解析手法は、4.2 において設定した ASTER の解析手法に準じた。ただし、樹林地増加箇所を絞り込む際に ASTER で実施した「ASTER DEM 利用」に関しては除外した。したがって、検討に供した具体的な手法群は、図－5.1 に示す 10 手法である。



図－5.1　手法検討に供した 10 手法

5.3 衛星データの処理解析

（１）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。通常の解析では、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－5.1～表－5.3 に示す。

表－5.1　反射率変換式

放射輝度変換式[2)] （LANDSAT/TM） （1990.11.05）	$R = (L\max - L\min) \div 255 \times DN + L\min$ R　:放射輝度値 Lmax　:バンド別の最大放射輝度（表－5.2参照） Lmin　:バンド別の最小放射輝度（表－5.2参照） DN　:DN値
放射輝度変換式[33)] （ALOS/AVNIR-2） （2006.06.01）	$R = a \times DN + b$ R　:放射輝度値 a　:絶対校正係数 ゲイン（表－5.3参照） b　:絶対校正係数 オフセット（表－5.3参照） DN　:DN値
放射輝度－反射率 変換式[2)]	$\rho = \dfrac{\pi \times R \times d^2}{Esun\lambda \times \cos\vartheta}$ ρ　:反射率 R　:放射輝度値 d　:地球と太陽の距離 Esun λ :バンド別の太陽放射量 θ　:衛星通過時の太陽天頂角

表－5.2　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－5.3　各バンドの a、b の値
（2006.06.01 観測 ALOS）

バンド	a	b
AVNIR-2/b1	0.588	0.000
AVNIR-2/b2	0.573	0.000
AVNIR-2/b3	0.502	0.000
AVNIR-2/b4	0.835	0.000

（２）トレーニングデータの収集

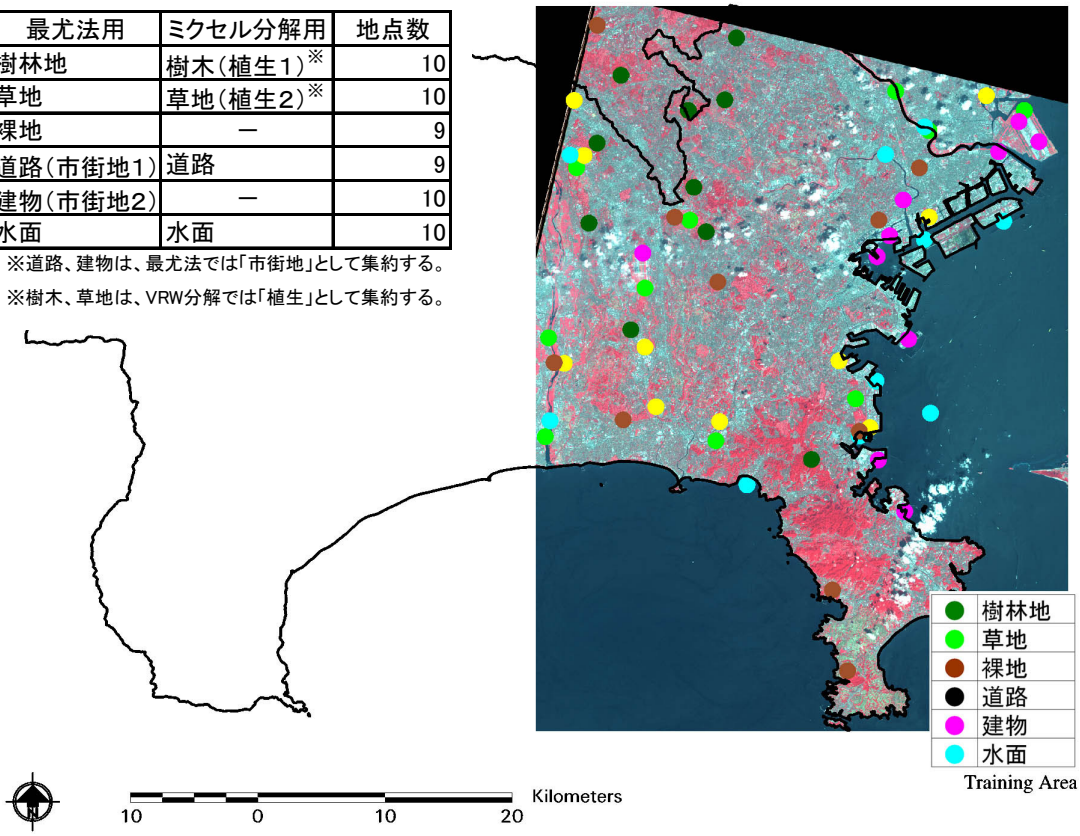
最尤法分類に使用するトレーニングデータおよびミクセル分解のエンドメンバー値を得るために、神奈川県内から、土地被覆が明らかなピュアピクセル領域を取得した。取得したトレーニングエリアの配置を図－5.2 に、設定した項目と各項目のトレーニングデータ数を表－5.4 に示す。

表－5.4　トレーニングデータの項目と点数

最尤法用	ミクセル分解用	地点数
樹林地	樹木（植生１）※	10
草地	草地（植生２）※	10
裸地	－	9
道路（市街地１）	道路	9
建物（市街地２）	－	10
水面	水面	10

※道路、建物は、最尤法では「市街地」として集約する。

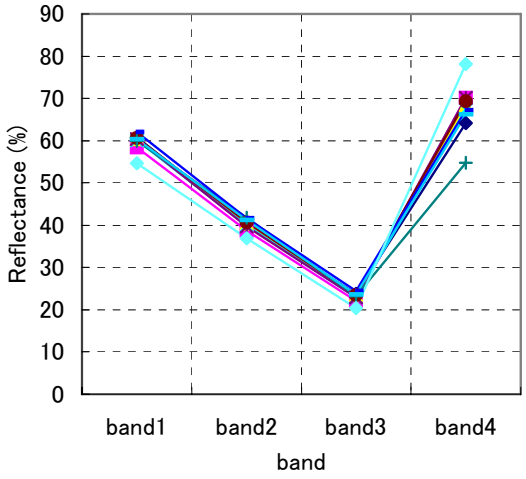
※樹木、草地は、VRW分解では「植生」として集約する。



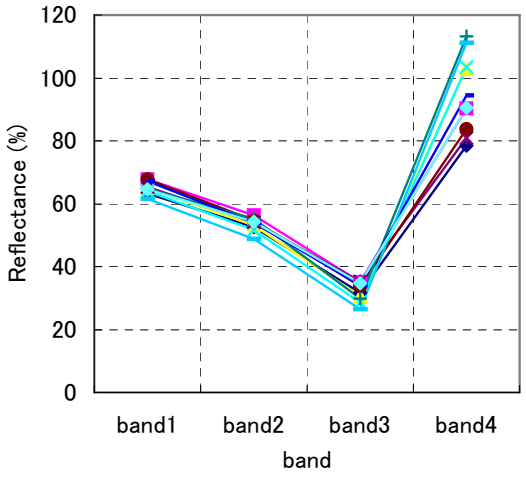
図－5.2　取得したトレーニングエリアの配置

（３）スペクトル特性の検討

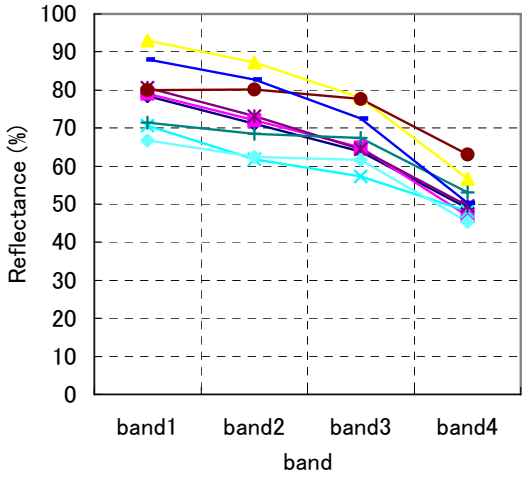
（２）で取得したトレーニングエリアのスペクトル値をサンプリングし、各項目のスペクトル特性を検討した。全トレーニングエリアのスペクトル特性を図－5.3 に、項目ごとに平均したスペクトル特性を図－5.4 に示す。



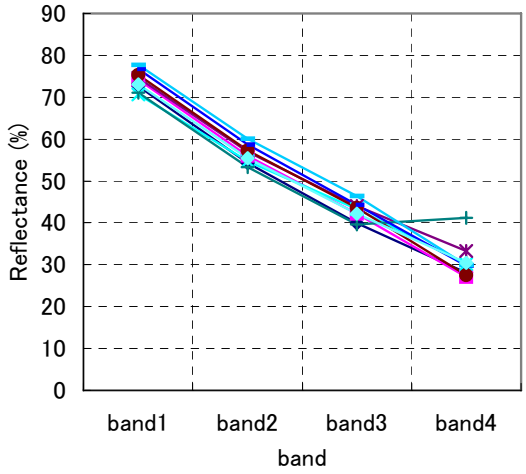
樹林地



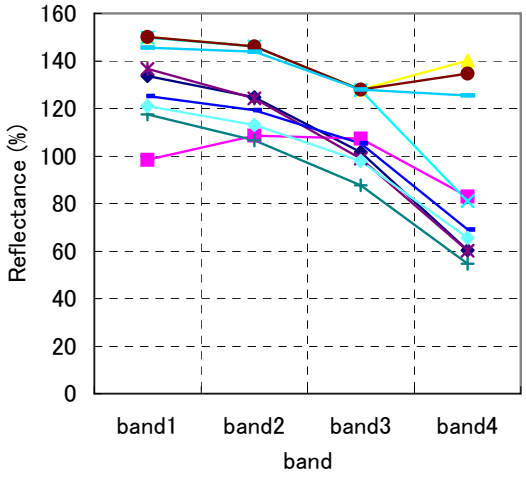
草地



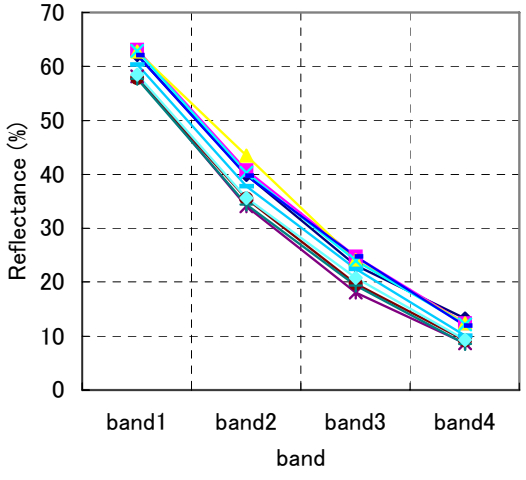
裸地



道路

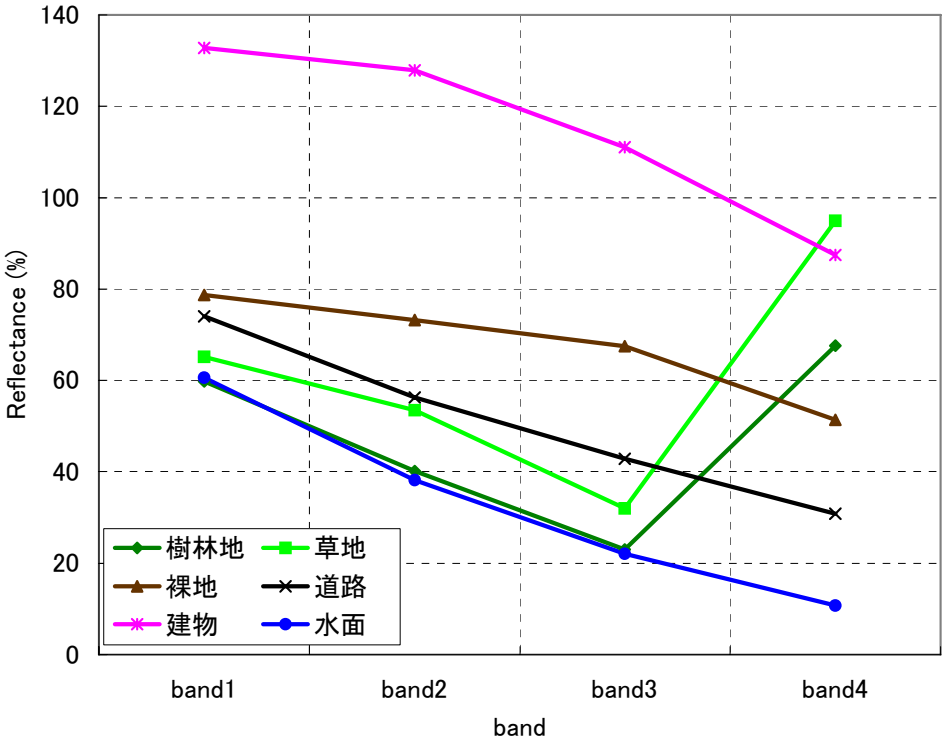


建物



水面

図－5.3　各トレーニングエリアのスペクトル特性（ALOS）



図－5.4　各項目のスペクトル特性（ALOS）

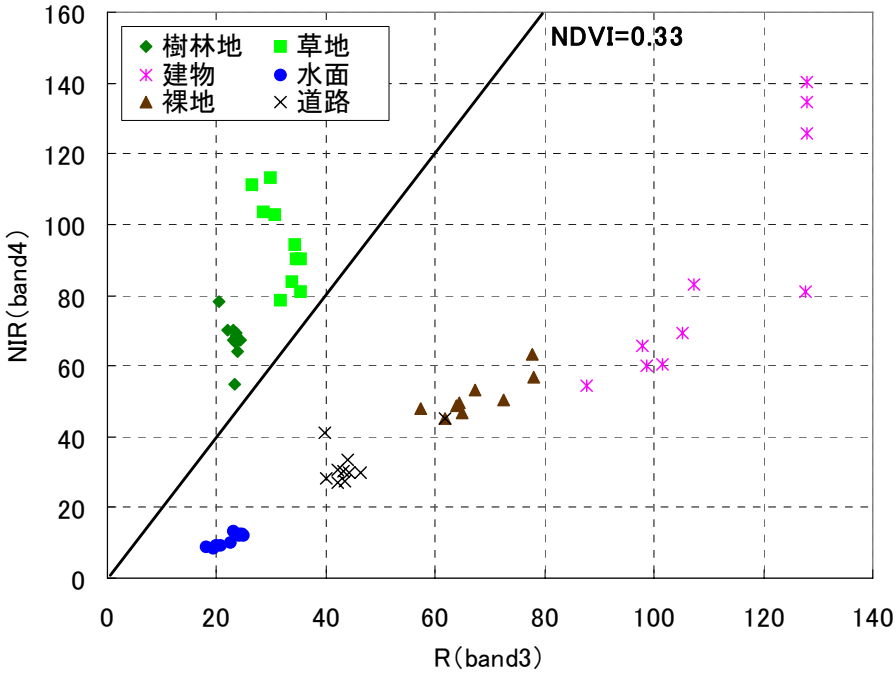
図－5.4 より各項目のスペクトル特性には、表－5.5 のような傾向が認められた。

表－5.5　各項目のスペクトル特性

項目	特徴的なスペクトル特性
樹林地	・band3からband4への変化量（Red Edge）が顕著 ・草地と比べて、band2、band3の反射率が低い
草地	・band3からband4への変化量（Red Edge）が極めて顕著 ・band4の反射率が全項目中最も高い
裸地	・変化パターンは道路、建物、水面と似ている ・道路、建物、水面と比べて、band3の反射率が相対的に高い
道路	・変化パターンは裸地、建物、水面と似ているが、全体に反射率が低い
建物	・変化パターンは裸地、道路、水面と似ている ・band1～band3の反射率が全項目中最も高い
水面	・変化パターンは裸地、道路、建物と似ている ・band1以外は全項目中最も反射率が低い

（４）NDVI 閾値の検討

図－5.2 で取得したトレーニングエリアの band3 と band4 の反射率をサンプリングし、グラフ上に展開することによって、植生被覆域（樹林地、草地）と非植生被覆域（裸地、道路、建物、水面）の NDVI 閾値を求め、その結果を図－5.5 に示す。

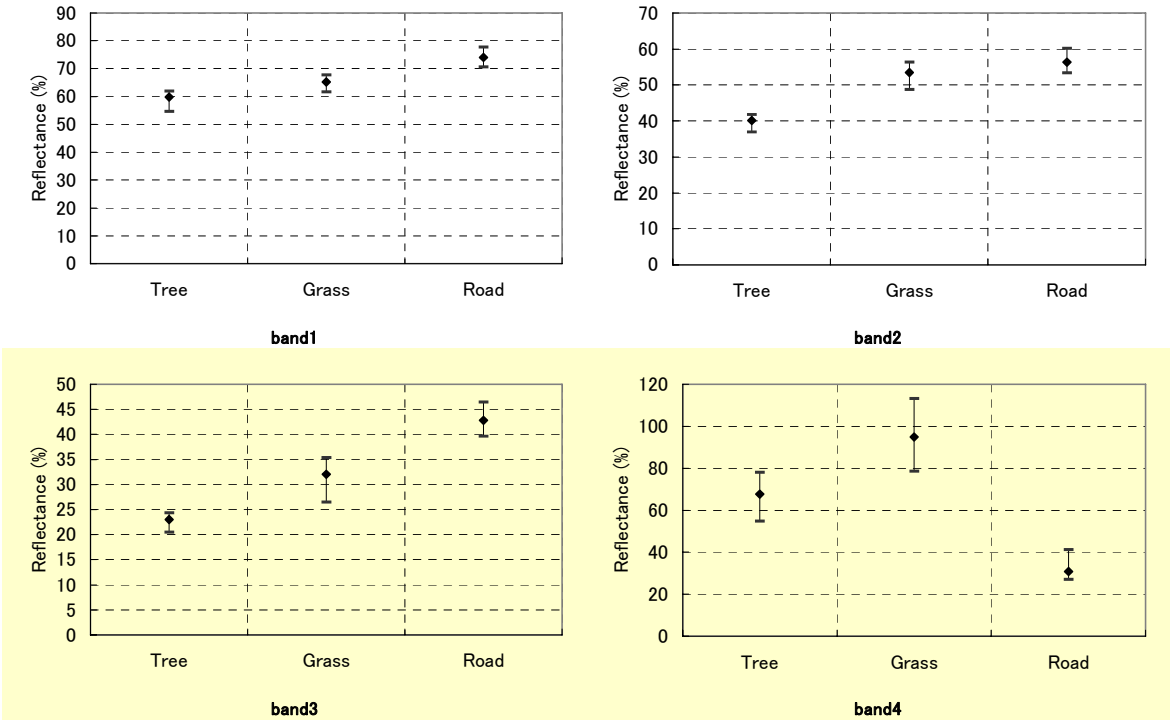


図－5.5　トレーニングエリアの band3、band4 サンプリング結果（ALOS）

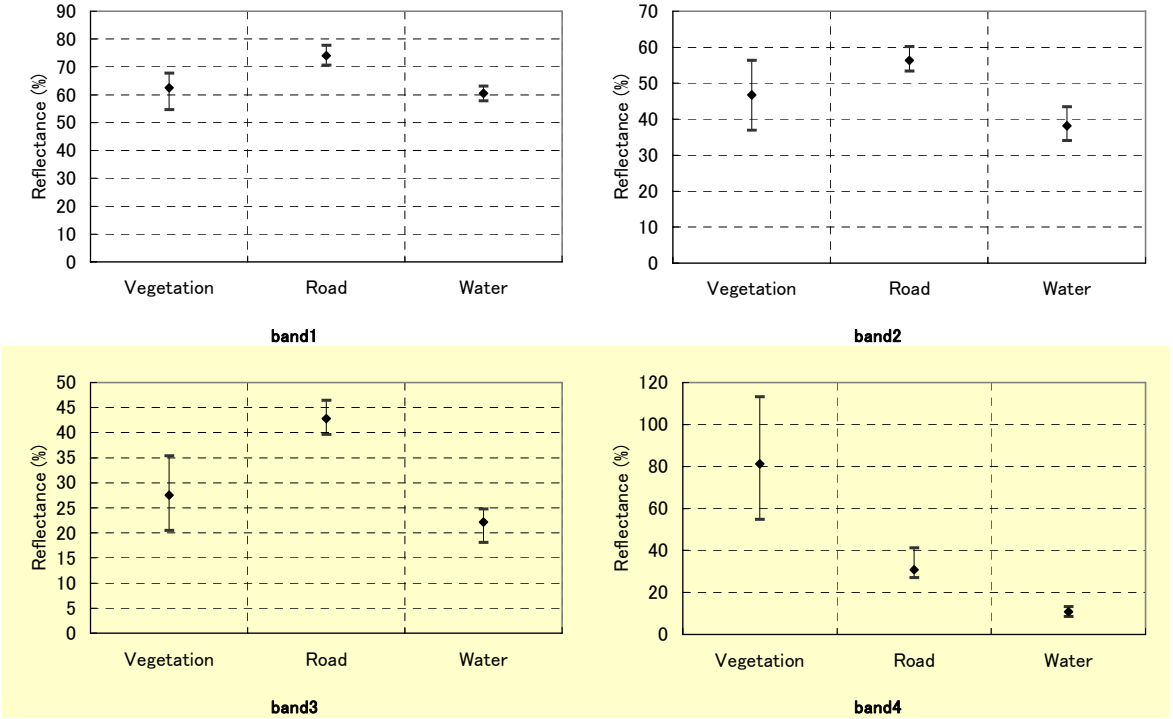
図－5.5 より、NDVI＝0.33 が閾値として妥当であると判断された。

（５）ミクセル分解におけるエンドメンバーのスペクトル特性の分析

樹木－草地－道路をエンドメンバーとした場合（TGR 分解）のピュアピクセルのスペクトル特性を図－5.6 に示し、植生－道路－水をエンドメンバーとした場合（VRW 分解）のピュアピクセルのスペクトル特性を図－5.7 に示す。

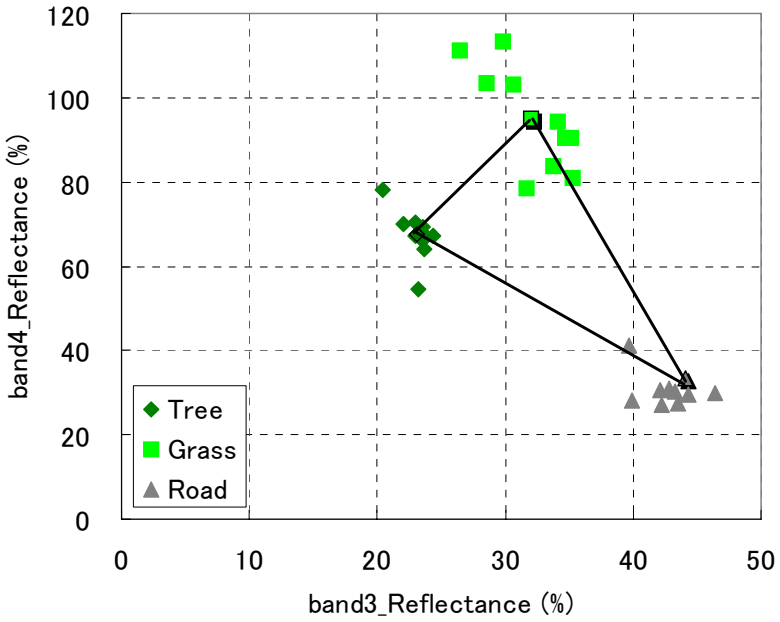


図－5.6　TGR 分解を想定した場合の各バンドのスペクトル特性（ALOS）

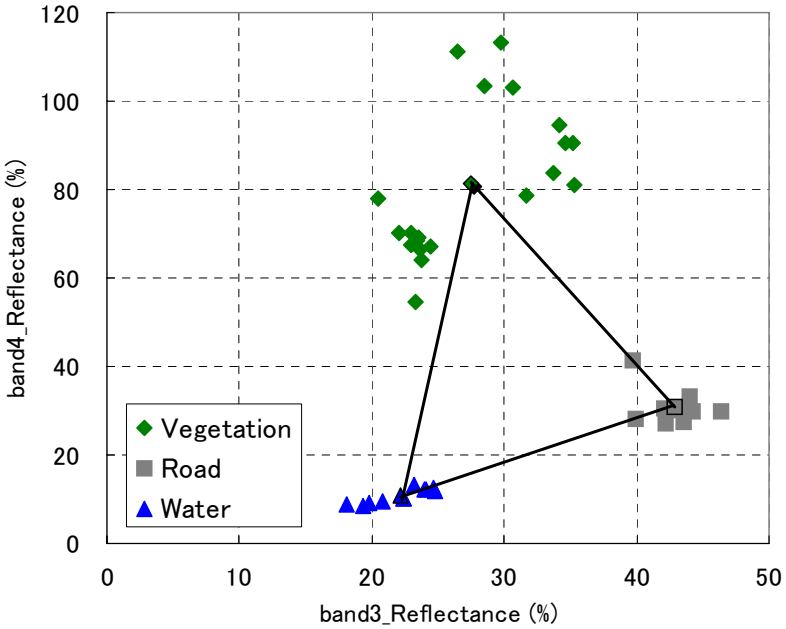


図－5.7　VRW 分解を想定した場合の各バンドのスペクトル特性（ALOS）

ミクセル分解に使用するバンドは、エンドメンバー間のスペクトル特性が独立していることが望ましい。したがって、図－5.6 より、TGR 分解においては band3 と band4 の組み合わせをエンドメンバー間の両軸として用いることとした（図－5.8）。また、図－5.7 より、VRW 分解においても、band3 と band4 の組み合わせをエンドメンバー間の両軸として用いることとした（図－5.9）。



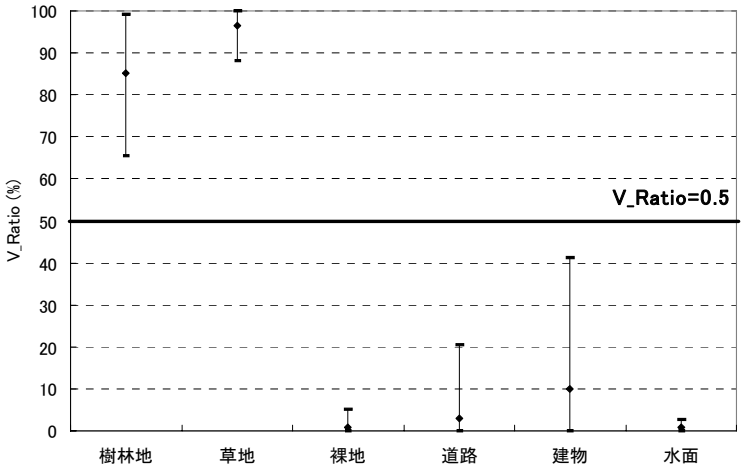
図－5.8　TGR 分解に使用したバンドとエンドメンバー（ALOS）



図－5.9　VRW 分解に使用したバンドとエンドメンバー（ALOS）

（６）VRW 分解＋TGR 分解における Vegetation 寄与率の閾値の検討

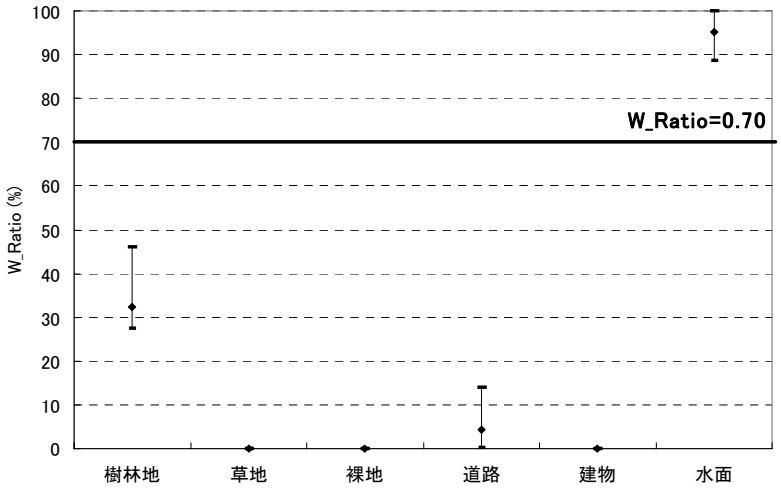
検証エリアで試行する手法のうち、⑥VRW 分解＋TGR 分解では、Vegetation 寄与率の閾値処理が発生する。そこで、図－5.9 に示すエンドメンバーで VRW 分解を実施した結果から、図－5.2 で取得したトレーニングエリアの Vegetation 寄与率をサンプリングし、グラフ上に展開することによって、植生被覆域（樹林地、草地）と非植生被覆域（裸地、道路、建物、水面）の Vegetation 寄与率の閾値を求めると、図－5.10 に示すとおり、Vegetation 寄与率＝0.5 が閾値として妥当であると判断された。



図－5.10　トレーニングエリアの Vegetation 寄与率サンプリング結果

（７）TGR-W 分解における Water 寄与率の閾値の検討

検証エリアで試行する手法のうち、⑧TGR-W 分解では、Water 寄与率の閾値処理が発生する。そこで、図－5.9 に示すエンドメンバーで VRW 分解を実施した結果から、図－5.2 で取得したトレーニングエリアの Water 寄与率をサンプリングし、グラフ上に展開することによって、水面と水面以外の Water 寄与率の閾値を求めると、図－5.11 に示すとおり、Water 寄与率＝0.70 が閾値として妥当であると判断された。



図－5.11　トレーニングエリアの Water 寄与率サンプリング結果

5.4　検証エリアにおける試行結果

図－5.1 に示す 10 手法を第 4 章と同じ神奈川県内の St.1～St.4 検証エリアに適用し、樹林地増加抽出解析を行った結果を表－5.6 に示す。

表－5.6 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。
- 比較のための参考手法として、ASTER データを使用した場合の結果を示す。
- 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は影響するが、影の除去は関係しない。
- 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 の検証用として 15m メッシュで換算したものと、ALOS の検証用として 10m メッシュで換算したものの 2 種類を示した。
- 全ての画像は、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。
- 各種結果画像の下に記載した手法ナンバーは、図－5.1 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：ALOS の場合も ASTER と同様に、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（手法 25、手法 26）。
  - 影の補正：ASTER のケースほど明瞭ではないが、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 15、手法 16）。
  - 樹林地増加抽出手法：ALOS の場合、いずれも最新樹林地（TGR-W）を併用しており、近赤外差分と重ね合わせ+分類の間に明確な差異は認められない。
  - 第 3 章の 7 手法との比較：ALOS の場合も ASTER と同様に、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る。
- St.2
  - 精密幾何補正：精密幾何補正を行っていない手法は、位置ずれが見られる（手法 25、手法 26、手法 35、手法 36）。
  - 影の補正：大きな違いは見受けられない。
  - 樹林地増加抽出手法：ALOS の場合、いずれも最新樹林地（TGR-W）を併用し

ており、近赤外差分と重ね合わせ+分類の間に明確な差異は認められない。

- 第 3 章の手法との比較：樹林地と関係ない場所を抽出ミスしているケースがある。

・ St.3

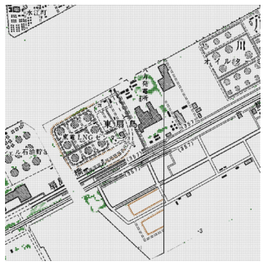
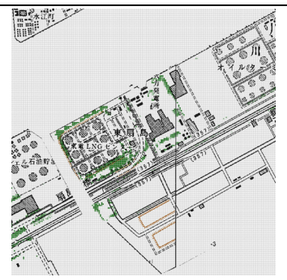
- 精密幾何補正：大きな違いは見受けられない。
- 影の補正：大きな違いは見受けられない。
- 樹林地増加抽出手法：ALOS の場合、いずれも最新樹林地（TGR-W）を併用しており、近赤外差分と重ね合わせ+分類の間に明確な差異は認められない。
- 第 3 章の 7 手法との比較：ALOS の場合も ASTER と同様に、第 3 章の手法は、樹林地が維持されてきた場所を抽出ミスしているケースがある。

・ St.4

- 精密幾何補正：ALOS の場合も ASTER と同様に、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 25、手法 35）。
- 影の補正：ASTER のケースと同様に、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 15、手法 16、手法 35、手法 36）。
- 樹林地増加抽出手法：ALOS の場合、いずれも最新樹林地（TGR-W）を併用しており、近赤外差分と重ね合わせ+分類の間に明確な差異は認められない。
- 第 3 章の手法との比較：ALOS の場合も ASTER と同様に、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る。

以上より、ALOS を用いた試行結果は、ASTER を用いるケースと概ね一致する結果となった。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 ASTER ほど影響が大きくなかった。

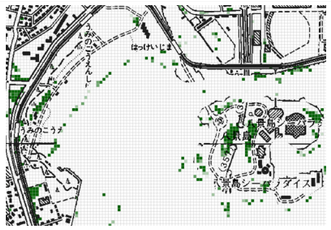
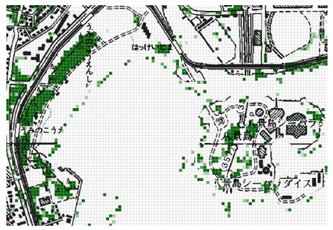
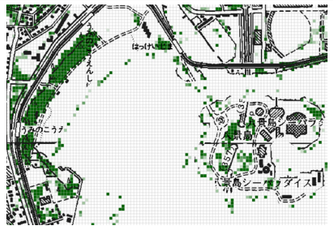
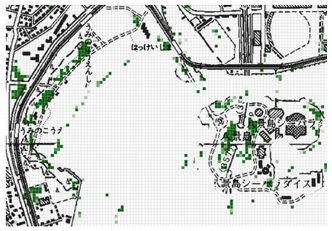
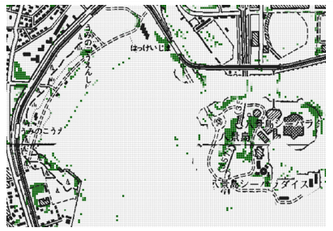
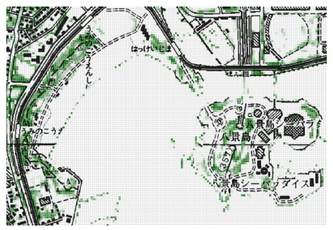
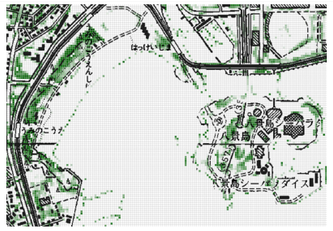
表－5.6(1)　ALOS による樹林地増加抽出結果（St.1）

分類	ASTER 使用		ALOS 使用		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)	重ね合わせ＋分類 最新樹林地(TGR-W)	近赤外差分 最新樹林地(TGR-W)	重ね合わせ＋分類 最新樹林地(TGR-W)	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 03）	 （手法 05）	 （手法 06）	 （手法 41）	 （画素内増加樹林地率(15m)）
精密補正：○ 正規化法：×	 （手法 11）	 （手法 13）	 （手法 15）	 （手法 16）	 （手法 42）	
精密補正：× 正規化法：○	 （手法 21）	 （手法 23）	 （手法 25）	 （手法 26）	 （手法 43）	 （画素内増加樹林地率(10m)）
精密補正：× 正規化法：×	 （手法 31）	 （手法 33）	 （手法 35）	 （手法 36）	 （手法 44）	

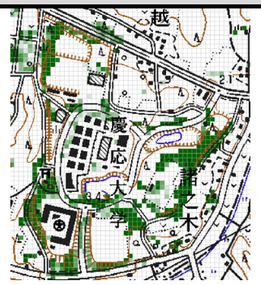
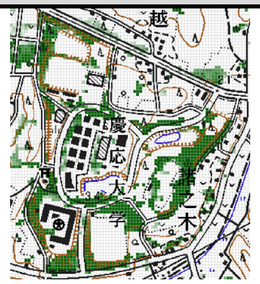
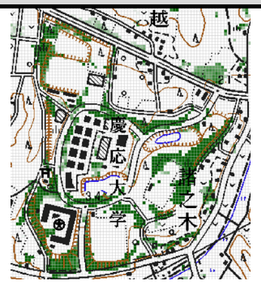
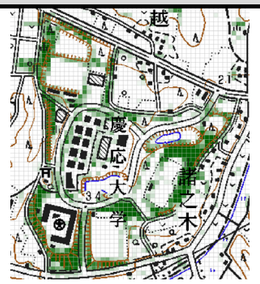
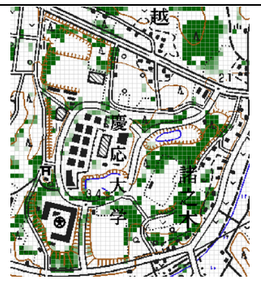
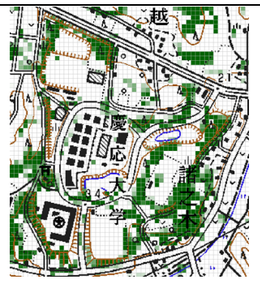
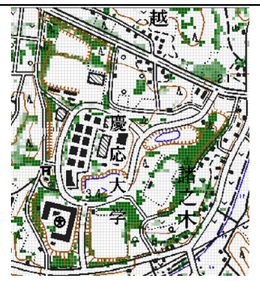
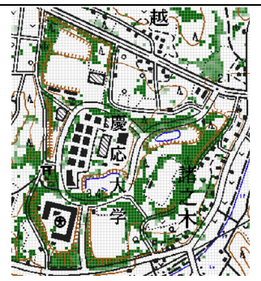
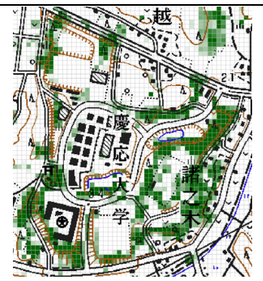
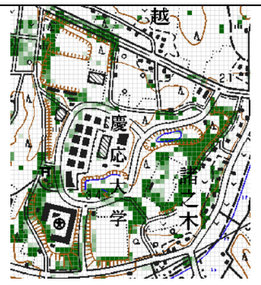
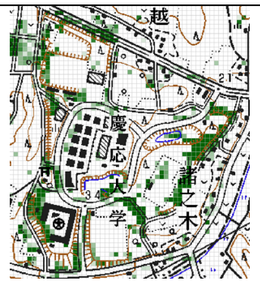
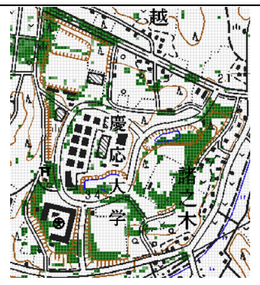
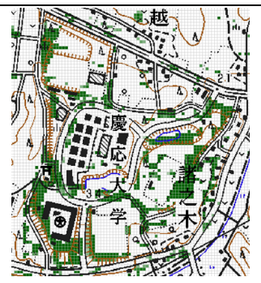
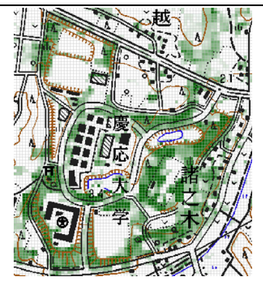
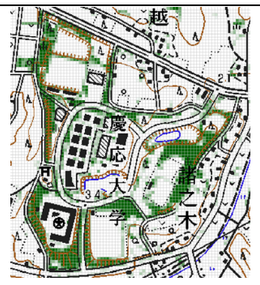
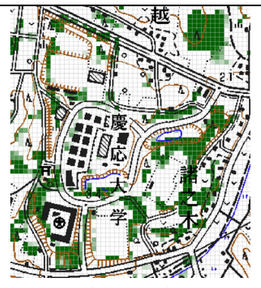
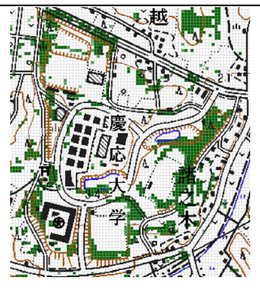
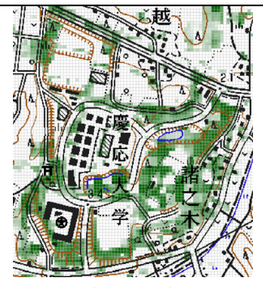
表－5.6(2)　ALOS による樹林地増加抽出結果（St.2）

分類	ASTER 使用		ALOS 使用		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)	重ね合わせ＋分類 最新樹林地(TGR-W)	近赤外差分 最新樹林地(TGR-W)	重ね合わせ＋分類 最新樹林地(TGR-W)	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 03）	 （手法 05）	 （手法 06）	 （手法 41）	 （画素内増加樹林地率(15m)）
精密補正：○ 正規化法：×	 （手法 11）	 （手法 13）	 （手法 15）	 （手法 16）	 （手法 42）	
精密補正：× 正規化法：○	 （手法 21）	 （手法 23）	 （手法 25）	 （手法 26）	 （手法 43）	 （画素内増加樹林地率(10m)）
精密補正：× 正規化法：×	 （手法 31）	 （手法 33）	 （手法 35）	 （手法 36）	 （手法 44）	

表－5.6(3)　ALOS による樹林地増加抽出結果（St.3）

分類	ASTER 使用		ALOS 使用		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)	重ね合わせ＋分類 最新樹林地(TGR-W)	近赤外差分 最新樹林地(TGR-W)	重ね合わせ＋分類 最新樹林地(TGR-W)	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 03）	 （手法 05）	 （手法 06）	 （手法 41）	 （画素内増加樹林地率(15m)）
精密補正：○ 正規化法：×	 （手法 11）	 （手法 13）	 （手法 15）	 （手法 16）	 （手法 42）	
精密補正：× 正規化法：○	 （手法 21）	 （手法 23）	 （手法 25）	 （手法 26）	 （手法 43）	 （画素内増加樹林地率(10m)）
精密補正：× 正規化法：×	 （手法 31）	 （手法 33）	 （手法 35）	 （手法 36）	 （手法 44）	

表－5.6(4)　ALOS による樹林地増加抽出結果（St.4）

分類	ASTER 使用		ALOS 使用		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)	重ね合わせ＋分類 最新樹林地(TGR-W)	近赤外差分 最新樹林地(TGR-W)	重ね合わせ＋分類 最新樹林地(TGR-W)	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 03）	 （手法 05）	 （手法 06）	 （手法 41）	 （画素内増加樹林地率(15m)）
精密補正：○ 正規化法：×	 （手法 11）	 （手法 13）	 （手法 15）	 （手法 16）	 （手法 42）	
精密補正：× 正規化法：○	 （手法 21）	 （手法 23）	 （手法 25）	 （手法 26）	 （手法 43）	 （画素内増加樹林地率(10m)）
精密補正：× 正規化法：×	 （手法 31）	 （手法 33）	 （手法 35）	 （手法 36）	 （手法 44）	

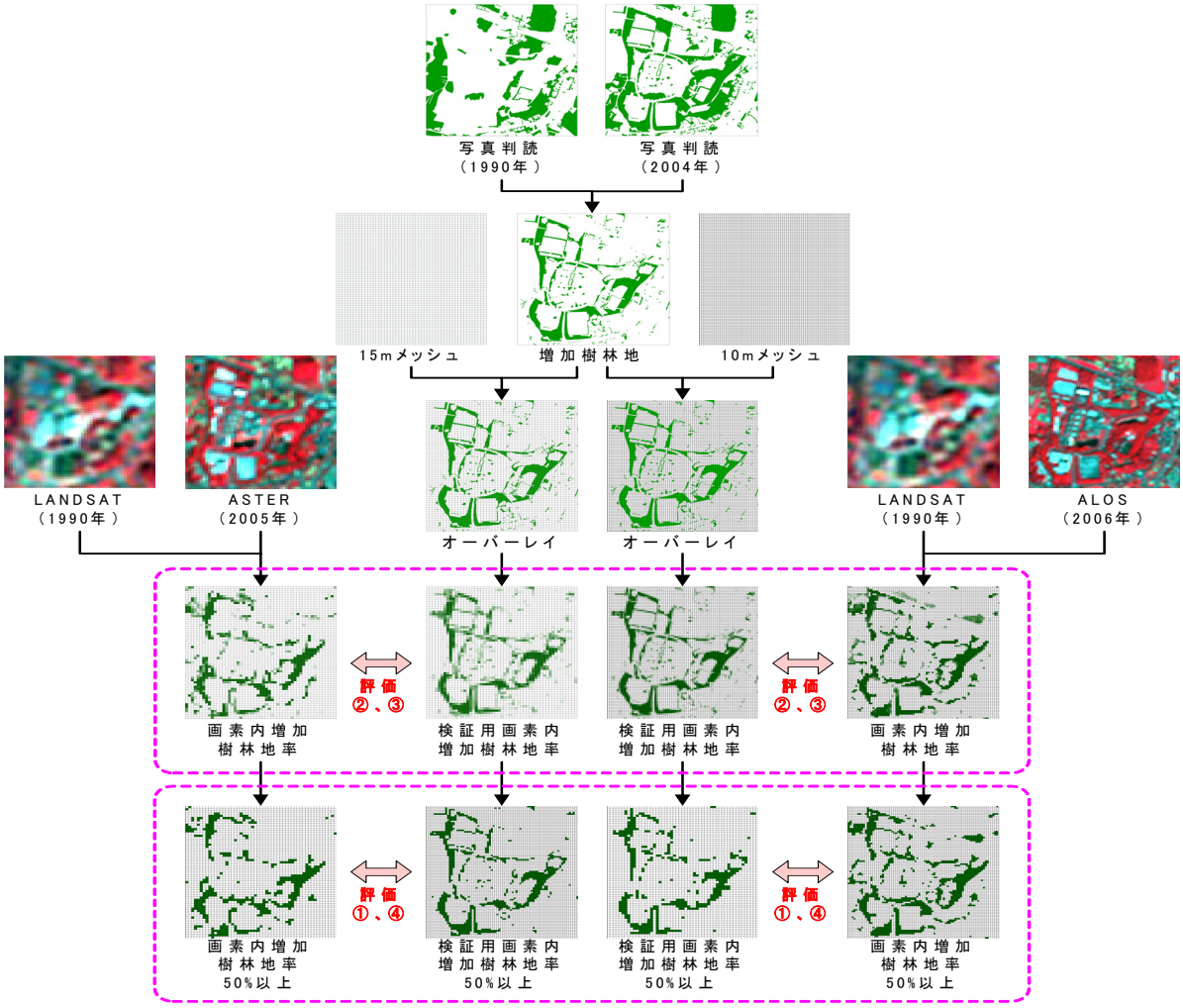
5.5 抽出精度の確認と評価

ALOS データを用いた場合の精度評価手法は、4.7 において設定した ASTER の精度評価手法に準じ、判別精度、統計的精度、面積精度の 3 とおりによって実施した。各精度評価で算出された指標値は、ASTER データを用いた場合の値と比較し、ALOS の利用可能性を考察した。

なお、検討に供した 10 手法（図－5.1）は、全て画素内増加樹林地率として表現される。したがって、比較のための ASTER データを使用した手法も画素内増加樹林地率として表現されるものに限定した。これを整理すると下記のようになる。

- 検討手法（ALOS）　… 手法 05,06,15,16,25,26,35,36,43,44
- 参考手法（ASTER）　… 手法 01,03,11,13,21,23,31,33,41,42

精度評価の流れを、図－5.12 に示す。



図－5.12　ALOS データの利用可能性検討における精度評価の流れ

（１）樹林増加画素の判別精度

ALOS データを使用した場合の神奈川県検証エリア St.1～St.4 における総合的な判定効率表を表－5.7 に示し、総合精度およびκ係数の手法別比較図を図－5.13 に示す。なお、図－5.13 には、比較のために ASTER データを使用した場合の総合精度およびκ係数を併せて示した。

表－5.7 および図－5.13 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 05 の 0.41、最も低いのは手法 44 の 0.14 であった。
- 総合精度が最も高いのは ASTER データを使用する手法 01 の 96.3%、ALOS データを使用する中では手法 05 および手法 15 の 95.9%であり、最も低いのは手法 44 の 91.5%であった。
- したがって、ALOS データを使用する中で樹林増加画素の判別精度が最も高いのは手法 05 で、手法 06 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 05）＞精密幾何補正なし（手法 25）
  - 総合精度：精密幾何補正あり（手法 05）＞精密幾何補正なし（手法 25）
  - ASTER データを使用した場合と比較すると、精密幾何補正の有無による違いが ALOS データを使用した場合の方が大きかった。
- 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 05）＞影の補正なし（手法 15）
  - 総合精度：影の補正あり（手法 05）＝影の補正なし（手法 15）
  - ASTER データを使用した場合と比較すると、影の補正の有無による違いが ALOS データを使用した場合の方が小さかった。
- 樹林地抽出手法と判別精度の関係
  - κ係数：手法 05＞手法 06＞手法 01＞手法 03
  - 総合精度：手法 01＞手法 05＞手法 06＞手法 03
  - 増加緑地を近赤外バンドの差分によって抽出する手法（手法 01、手法 05）が、重ね合わせ＋分類による手法（手法 03、手法 06）を上回る結果となった。
  - κ係数を優先して評価した場合、ALOS データを使用した場合の方が ASTER データを使用した場合を上回る結果となった。

表－5.7　ALOS データを使用した場合の樹林増加画素の判別精度評価（判定効率表）

（手法 05）

手法05	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	*1065*	*1577*	2642	1065	**46.73%**	**40.31%**	**95.85%**	**0.411**
無	*1214*	*63444*	64658	63444	97.57%	98.12%		
合計	2279	65021	67300	64509				

（手法 06）

手法06	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	*1005*	*1630*	2635	1005	**44.10%**	**38.14%**	**95.68%**	**0.387**
無	*1274*	*63391*	64665	63391	97.49%	98.03%		
合計	2279	65021	67300	64396				

（手法 15）

手法15	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	*757*	*1225*	1982	757	**33.22%**	**38.19%**	**95.92%**	**0.334**
無	*1522*	*63796*	65318	63796	98.12%	97.67%		
合計	2279	65021	67300	64553				

（手法 16）

手法16	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	*1045*	*2450*	3495	1045	**45.85%**	**29.90%**	**94.53%**	**0.335**
無	*1234*	*62571*	63805	62571	96.23%	98.07%		
合計	2279	65021	67300	63616				

（手法 25）

手法25	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	*622*	*2409*	3031	622	**27.29%**	**20.52%**	**93.96%**	**0.203**
無	*1657*	*62612*	64269	62612	96.30%	97.42%		
合計	2279	65021	67300	63234				

（手法 26）

手法26	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	*599*	*2444*	3043	599	**26.28%**	**19.68%**	**93.87%**	**0.194**
無	*1680*	*62577*	64257	62577	96.24%	97.39%		
合計	2279	65021	67300	63176				

（手法 35）

手法35	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	*497*	*1789*	2286	497	**21.81%**	**21.74%**	**94.69%**	**0.190**
無	*1782*	*63232*	65014	63232	97.25%	97.26%		
合計	2279	65021	67300	63729				

（手法 36）

手法36	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	*662*	*2339*	3001	662	**29.05%**	**22.06%**	**94.12%**	**0.221**
無	*1617*	*62682*	64299	62682	96.40%	97.49%		
合計	2279	65021	67300	63344				

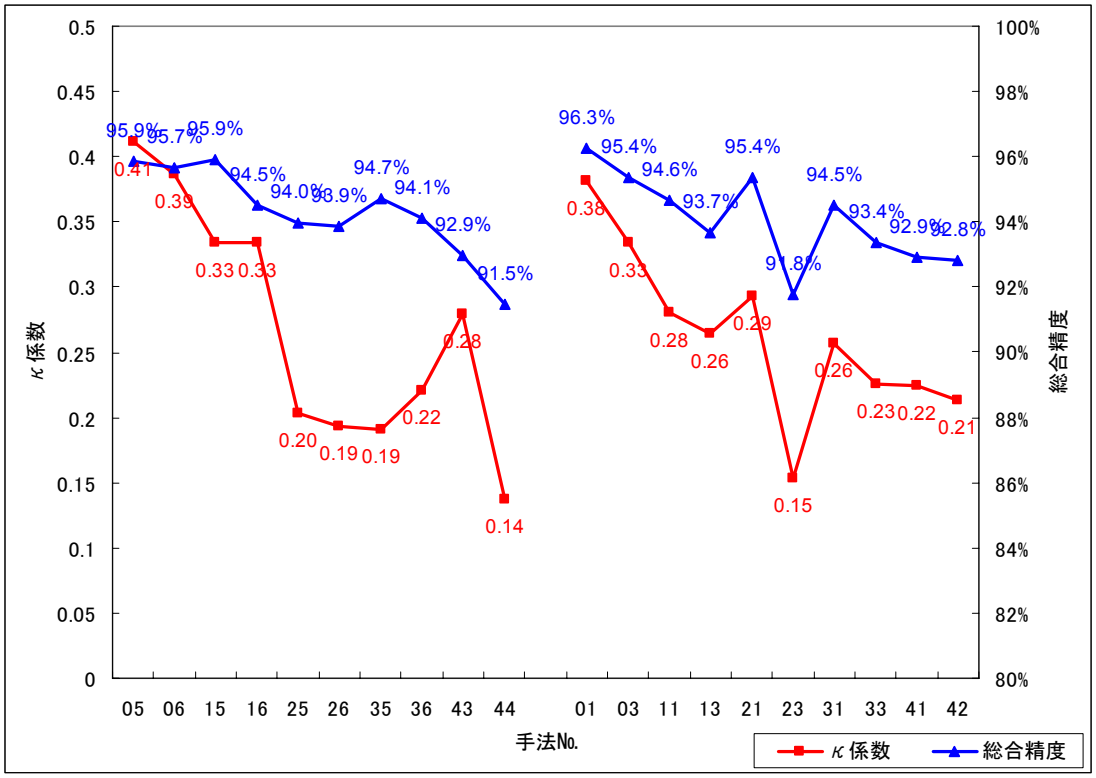
（手法 43）

手法43	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	*1079*	*3548*	4627	1079	**47.35%**	**23.32%**	**92.95%**	**0.280**
無	*1200*	*61473*	62673	61473	94.54%	98.09%		
合計	2279	65021	67300	62552				

（手法 44）

手法44	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	*616*	*4081*	4697	616	**27.03%**	**13.11%**	**91.47%**	**0.137**
無	*1663*	*60940*	62603	60940	93.72%	97.34%		
合計	2279	65021	67300	61556				

p 精度：プロデューサ精度、u 精度：ユーザ精度



図－5.13　総合精度及びκ係数の手法別比較図

（２）画素内増加樹林地率の判別精度

ALOS データを使用した場合の神奈川県検証エリア St.1～St.4 における総合的な判定効率表を表－5.8 に示し、総合精度およびκ係数の手法別比較図を図－5.14 に示す。なお、図－5.14 には、比較のために ASTER データを使用した場合の総合精度およびκ係数を併せて示した。

表－5.8 および図－5.14 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 43 の 0.38、最も低いのは手法 35 の 0.16 であった。
- 総合精度が最も高いのは手法 06 の 89.7%、最も低いのは手法 42 の 84.3%であった。
- κ係数はばらつきがあるものの、総合精度は概ね手法No.の若い手法（前処理を精密実施している手法）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 05）＞精密幾何補正なし（手法 25）
- 総合精度：精密幾何補正あり（手法 05）＞精密幾何補正なし（手法 25）

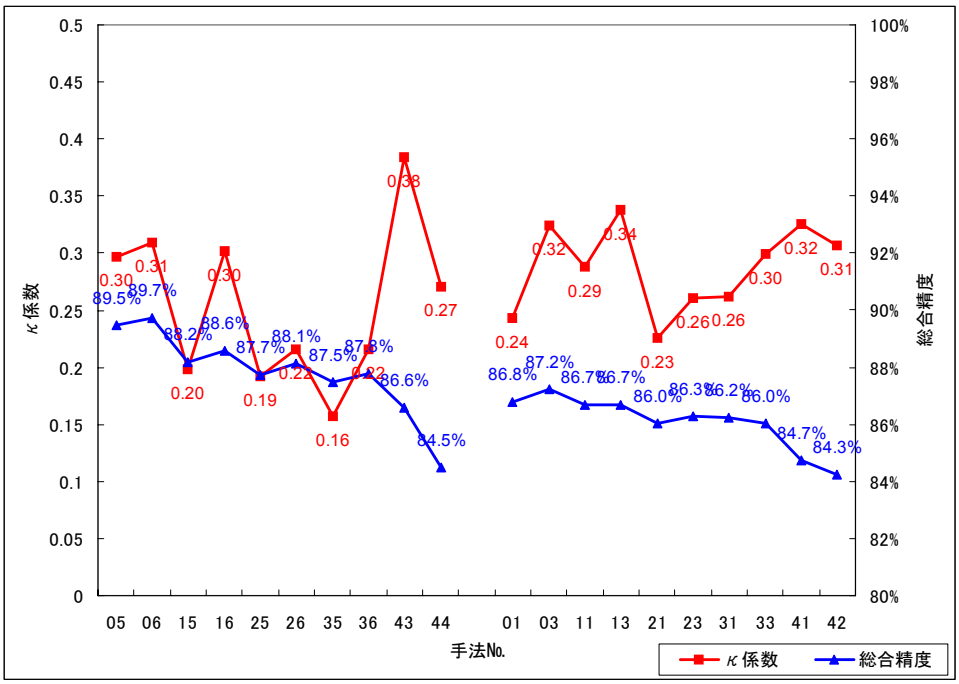
- したがって、精密幾何補正は総合精度で 1%弱の精度向上に寄与することが確認された。
- ASTER データを使用した場合と比較すると、精密幾何補正の有無による違いが ALOS データを使用した場合の方が大きかった。

・ 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 05）＞影の補正なし（手法 15）
- 総合精度：影の補正あり（手法 05）＞影の補正なし（手法 15）
- ASTER データを使用した場合と比較すると、影の補正の有無による違いが ALOS データを使用した場合の方が大きかった。

・ 樹林地抽出手法と判別精度の関係

- κ 係数は手法 01 を除いてほぼ同じくらいであった。
- 総合精度：手法 05＝手法 06＞手法 01＞手法 02
- 総合精度の違いで評価すると、ALOS データを使用した場合の方が ASTER データを使用した場合を上回る結果となった。



図－5.14　総合精度及びκ係数の手法別比較図

表－5.8　ALOS データを使用した場合の画素内増加樹林地率の判別精度評価（判定効率表）

（手法 05）

手法05	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	*1846*	*1253*	3099	1846	**24.03%**	**59.57%**	**89.47%**	**0.296**
無	*5837*	*58364*	64201	58364	97.90%	90.91%		
合計	7683	59617	67300	60210				

（手法 06）

手法06	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	*1885*	*1114*	2999	1885	**24.53%**	**62.85%**	**89.73%**	**0.309**
無	*5798*	*58503*	64301	58503	98.13%	90.98%		
合計	7683	59617	67300	60388				

（手法 15）

手法15	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	*1311*	*1579*	2890	1311	**17.06%**	**45.36%**	**88.19%**	**0.198**
無	*6372*	*58038*	64410	58038	97.35%	90.11%		
合計	7683	59617	67300	59349				

（手法 16）

手法16	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	*2153*	*2143*	4296	2153	**28.02%**	**50.12%**	**88.60%**	**0.302**
無	*5530*	*57474*	63004	57474	96.41%	91.22%		
合計	7683	59617	67300	59627				

（手法 25）

手法25	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	*1351*	*1913*	3264	1351	**17.58%**	**41.39%**	**87.75%**	**0.192**
無	*6332*	*57704*	64036	57704	96.79%	90.11%		
合計	7683	59617	67300	59055				

（手法 26）

手法26	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	*1468*	*1784*	3252	1468	**19.11%**	**45.14%**	**88.11%**	**0.215**
無	*6215*	*57833*	64048	57833	97.01%	90.30%		
合計	7683	59617	67300	59301				

（手法 35）

手法35	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	*1124*	*1855*	2979	1124	**14.63%**	**37.73%**	**87.50%**	**0.157**
無	*6559*	*57762*	64321	57762	96.89%	89.80%		
合計	7683	59617	67300	58886				

（手法 36）

手法36	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	*1547*	*2084*	3631	1547	**20.14%**	**42.61%**	**87.79%**	**0.216**
無	*6136*	*57533*	63669	57533	96.50%	90.36%		
合計	7683	59617	67300	59080				

（手法 43）

手法43	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	*3849*	*5186*	9035	3849	**50.10%**	**42.60%**	**86.60%**	**0.385**
無	*3834*	*54431*	58265	54431	91.30%	93.42%		
合計	7683	59617	67300	58280				

（手法 44）

手法44	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	*2917*	*5684*	8601	2917	**37.97%**	**33.91%**	**84.47%**	**0.270**
無	*4766*	*53933*	58699	53933	90.47%	91.88%		
合計	7683	59617	67300	56850				

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

ALOS データを使用した場合の神奈川県検証エリア St.1～St.4 における統計的精度を表－5.9 に示し、平均誤差と標準偏差をプロットした箱髭図を図－5.15 に示す。なお、図－5.15 には、比較のために ASTER データを使用した場合の平均誤差および標準偏差を併せて示した。

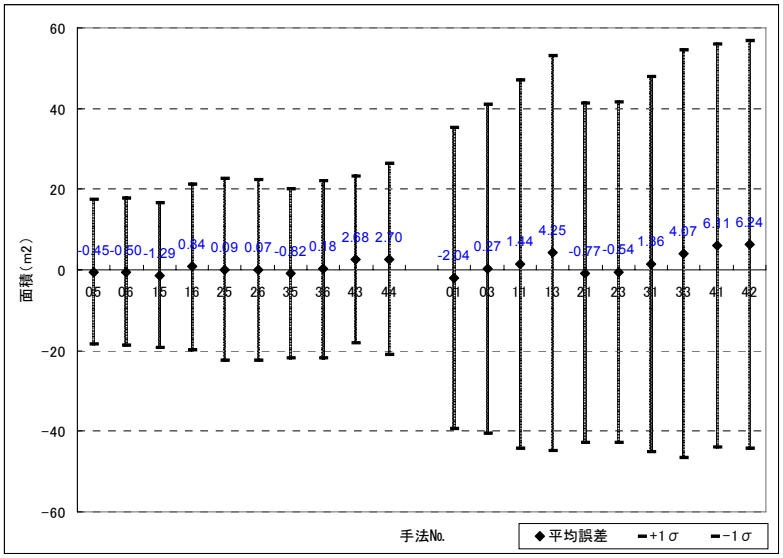
表－5.9 および図－5.15 から総合的に考察される各手法の特徴は下記のとおりである。

- ALOS データを使用した場合の方が、ASTER データを使用した場合より、平均誤差が小さくなる傾向が認められた。また、画素サイズが小さいため標準偏差も小さくなった。
- 手法間の特徴は、ALOS データと ASTER データで大きな違いは認められなかった。
- 総合的に見て、手法 05、手法 06 が良好な精度であると考察された。

表－5.9　ALOS データを使用した場合の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05	平均誤差	0.03	-0.28	-2.57	2.22	-0.45
	標準偏差	*10.37*	*16.19*	*21.38*	*31.89*	*17.95*
手法06	平均誤差	0.32	0.10	-2.48	-0.16	-0.50
	標準偏差	*11.70*	*16.10*	*21.09*	*31.15*	*18.19*
手法15	平均誤差	-0.01	-2.10	-4.38	0.07	-1.29
	標準偏差	*10.11*	*13.54*	*19.52*	*34.95*	*17.86*
手法16	平均誤差	0.70	0.83	-1.08	5.90	0.84
	標準偏差	*12.90*	*18.31*	*22.87*	*37.00*	*20.53*
手法25	平均誤差	0.58	-0.72	-1.21	0.83	0.09
	標準偏差	*14.79*	*21.99*	*25.36*	*38.59*	*22.45*
手法26	平均誤差	1.37	0.28	-2.69	-0.49	0.07
	標準偏差	*16.76*	*23.15*	*22.94*	*37.17*	*22.43*
手法35	平均誤差	0.38	-1.99	-3.54	-0.05	-0.82
	標準偏差	*13.09*	*19.59*	*21.82*	*40.30*	*21.02*
手法36	平均誤差	0.26	0.10	-2.78	6.92	0.18
	標準偏差	*12.80*	*23.18*	*22.68*	*43.07*	*22.01*
手法43	平均誤差	1.71	1.36	2.90	6.66	2.68
	標準偏差	*15.39*	*15.96*	*23.05*	*32.54*	*20.69*
手法44	平均誤差	1.69	1.26	3.29	5.97	2.70
	標準偏差	*17.17*	*20.09*	*26.43*	*37.61*	*23.59*

単位：m^2



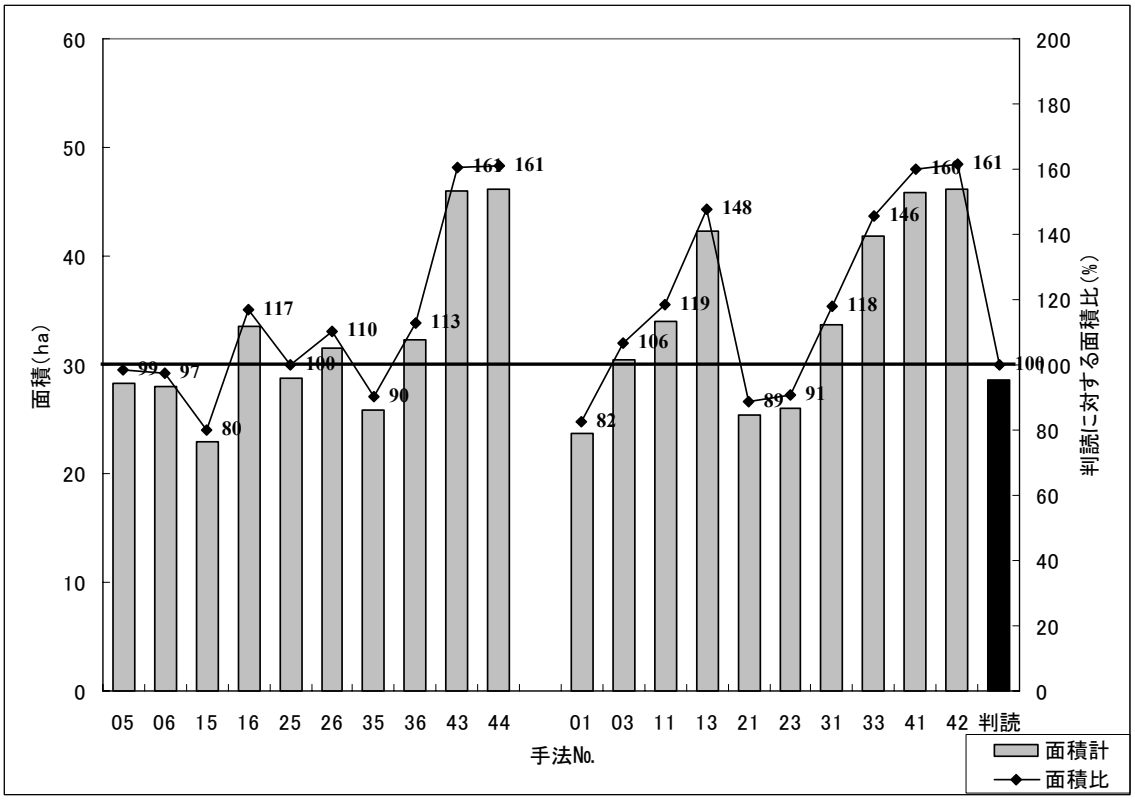
図－5.15　ALOS データを使用した場合の画素内増加樹林地率の統計的精度評価（箱髭図）

（４）検証エリアの面積精度

ALOS データを使用した場合の神奈川県検証エリア St.1～St.4 における面積精度を図－5.16 に示す。なお、図－5.16 には、比較のために ASTER データを使用した場合の面積精度を併せて示した。

図－5.16 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。

- ALOS の方が ASTER より手法間のばらつきが小さかった。
- 精密幾何補正、影の補正を行った手法（手法 05、手法 06、手法 01、手法 02）では、ALOS の方が ASTER より良好な結果となった。
- 参考手法である第 3 章の手法(手法 41、手法 42、手法 43、手法 44）は、ALOS も ASTER もほぼ同程度の過大推定（約 1.6 倍）となった。



図－5.16　ALOS データを使用した場合の検証エリアの面積精度評価

（５）総合評価

ALOS データを使用した場合の検証エリアにおける定性的な特徴（表－5.6）、樹林増加画素の判別精度（図－5.13）、画素内増加樹林地率の判別精度（図－5.14）、画素内増加樹林地率の統計的精度（図－5.15）、検証エリアの面積精度（図－5.16）を整理すると、ALOS データを使用する全 10 手法と各ステップの特徴と精度は表－5.10 のようにまとめられる。

表－5.10　各手法の特徴と精度のまとめ（ALOS）

評価項目 / 手法		定性的な特徴（表－5.6）		樹林増加画素の判別精度（図－5.13）		画素内増加樹林地率の判別精度（図－5.14）		画素内増加樹林地率の統計的精度（図－5.15）		検証エリアの面積精度（図－5.16）	
		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）		◎	概ね良好	◎	κ係数、総合精度とも最も良好	○	κ係数、総合精度とも概ね良好	◎	平均誤差、標準偏差とも小さく、概ね良好	◎	真値に近く、概ね良好
重ね合わせ+分類 最新樹林地（TGR-W）		◎	概ね良好	○	κ係数、総合精度とも概ね良好	◎	κ係数、総合精度とも最も良好	◎	平均誤差、標準偏差とも小さく、概ね良好	◎	真値に近く、概ね良好
精密幾何補正の影響	あり	◎	概ね良好	◎	総合精度で2%程度の精度向上に寄与	◎	総合精度で1.5%程度の精度向上に寄与	◎	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	△	影の補正より影響大きい	△	影の補正より影響大きい	△	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	◎	総合精度で1%程度の精度向上に寄与	◎	ばらつきが抑えられる	◎	補正なしに比べてばらつきが小さい
	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小さい	○	精密幾何補正より影響小さい	○	精密幾何補正より影響小さい	△	精密幾何補正より影響大きい

表－5.10 より、

- 手法 05

  （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 06

  （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、ASTER データを使用した検討と同じ結果を得た。

さらに、ASTER データを使用した場合の精度評価結果（表－4.9）と合わせ、ASTER と ALOS の比較を考慮すると、総合評価は表－5.11 のようにまとめられる。

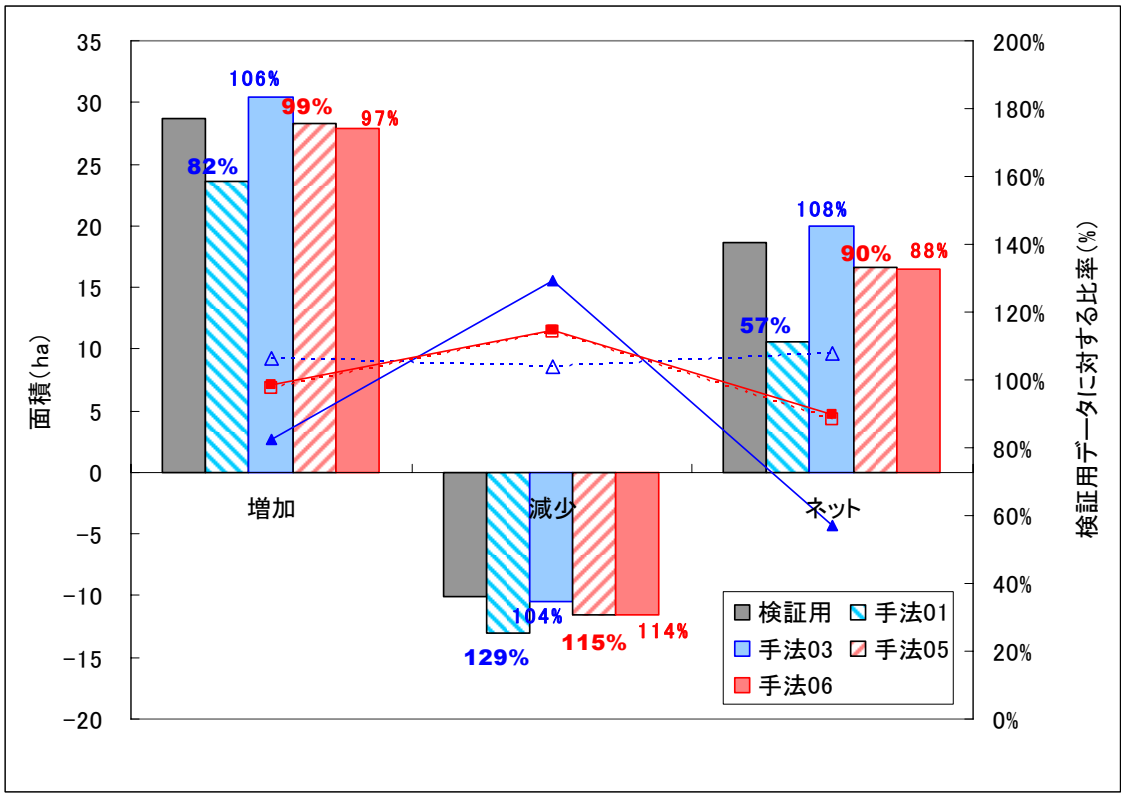
表－5.11　各手法の特徴と精度のまとめ（最終評価）

手法＼評価項目		定性的な特徴		樹林増加画素の判別精度		画素内増加樹林地率の判別精度		画素内増加樹林地率の統計的精度		検証エリアの面積精度	
		評価	特徴	評価	特徴	評価	特徴	評価	特徴	評価	特徴
精密幾何補正の効果		◎	水際線付近での抽出ミスを軽減	◎	総合精度で1～2%程度の精度向上効果	◎	総合精度で1%程度の精度向上効果	◎	ばらつきが抑えられる	△	あまり精度向上効果は認められない
影の補正の効果		◎	維持されてきた樹林の抽出ミスを軽減	◎	総合精度で1.5%程度の精度向上効果	○	精度向上に寄与するが、一定の結果は得られず	◎	ばらつきが抑えられる	◎	真値に近づけることができる
増加緑地の抽出手法	近赤外差分	○	概ね良好	◎	κ係数、総合精度が最もよい	○	概ね良好だが、やや不安定	○	平均誤差、標準偏差とも小さく概ね良好	○	やや不安定
	重ね合わせ+分類	○	概ね良好	○	概ね良好	◎	κ係数、総合精度が最もよい	○	平均誤差、標準偏差とも小さく概ね良好	◎	真値に近く、概ね良好
樹林地の絞り込み手法	最新樹林地（TGR-W）	○	概ね良好	○	概ね良好	○	概ね良好	○	概ね良好	○	概ね良好
	ASTER DEM	△	漏れ、過剰等の抽出ミスあり	△	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
ASTERとALOSの比較	ASTER	○	ALOSと比べて細かい形状は出ない	○	κ係数はALOSより劣るが総合精度はやや高い	△	κ係数はALOSと同等だが総合精度がやや劣る	△	平均誤差の手法間のばらつき、標準偏差が大きい	△	最適手法での誤差は±20%程度
	ALOS	○	ASTERより細かい形状が出るが、反面抽出ミスもある	○	κ係数はASTERより勝るが総合精度はやや低い	◎	κ係数はASTERと同等だが総合精度がやや勝る	◎	平均誤差の手法間のばらつき、標準偏差が小さい	◎	最適手法での誤差は5%以内

表－5.11 より、以下のように結論づけることができる。

- 精密幾何補正は明確な精度向上効果がある。
- 影の補正は明確な精度向上効果がある。
- 増加緑地の抽出手法は同程度の精度。
- 樹林地の絞り込み方法は最新樹林地（TGR-W 分解）の併用が最適。
- ASTER と ALOS は同じように扱うことができる。両者の間はやや ALOS の方が高精度である。
- 以上を総合して、第 2 章、3 章の検討手法から一定の改善効果が得られた。

また、表－4.9 により選定された手法 01、手法 03 と合わせた 4 手法を基に図－3.7 及び図－3.9、と同様に検証エリアにおける樹林地抽出精度を確認すると図－5.17 に示すように、ネットのみならず、増加や減少分についても高精度で抽出していることがわかった。



図－5.17　樹林地増加・減少・総量(ネット)の精度比較

- 手法 01
  (ASTER、精密幾何補正、影の補正、近赤外差分+最新樹林地 (TGR-W 分解))
- 手法 03
  (ASTER、精密幾何補正、影の補正、重ね合わせ+最新樹林地 (TGR-W 分解))
- 手法 05
  (ALOS、精密幾何補正、影の補正、近赤外差分+最新樹林地 (TGR-W 分解))
- 手法 06
  (ALOS、精密幾何補正、影の補正、重ね合わせ+最新樹林地 (TGR-W 分解))

６．まとめ

(1)　全国でのデータ入手が可能な中分解能衛星データ（LANDSAT、Terra/ASTER）を用いて、神奈川県を対象に以下の流れで緑地、樹林地の判別を実施した。

① 前処理（幾何補正、反射率変換、地形補正）
② 代表的な画像分類手法の整理と検討手法の設定
③ 検証エリアでの試行と緑地、樹林地抽出手法の選定
④ 神奈川県全域への適用
⑤ 緑地、樹林地の抽出

(2)　(1)の①に示す前処理は以下の内容で行った。

① 幾何補正では、国土地理院発行の数値地図 25000（地図画像）を参照して GCP を取得し、RMSE が 1 画素以内になるように GCP を調整したうえで、最近隣内挿法により画素の再配列を行った。
② 反射率変換は、使用する衛星データの受信局、観測時期に応じた変換式を用いて、DN 値から放射輝度値への変換、さらには反射率への変換を行った。
③ 地形補正は、Minnaert 定数を用いた非ランベルトモデルの地形補正を行い、陰などの地形効果を補正した。

(3)　(1)の②に示す代表的な画像分類手法の整理の結果、緑地、樹林地抽出のための画像処理手法として下記の 8 種を設定した。

① 最尤法（ピクセルベース分類）
② NDVI+最尤法（ピクセルベース分類）
③ クラスタリング（ピクセルベース分類）
④ NDVI+クラスタリング（ピクセルベース分類）
⑤ TGR 分解（ミクセル分解）
⑥ VRW 分解+TGR 分解（ミクセル分解）
⑦ VRW 分解×TGR 分解（ミクセル分解）
⑧ TGR-W 分解（ミクセル分解）

(4)　LANDSAT データ（2004 年 11 月 27 日）に対して(3)の 8 手法を適用して緑地、樹林地抽出を行い、それぞれの定性的、定量的な判別精度を比較検討した。その結果ミクセル分解では TGR-W 分解（ただし樹林地のみ）、ピクセルベース分類では NDVI+最尤法が良好な手法として選定された。

なお、中分解能衛星データによる緑地、樹林地の判別の検証用に、神奈川県内に 12 箇所の検証エリアを設定し、空中写真判読により検証用データを作成し使用した。

(5)　異なる年の LANDSAT データによる緑地、樹林地の変遷の解析として、1990 年の LANDSAT データと 2004 年の LANDSAT データを用い、それぞれについて(4)で選定された TGR-W 分解（ミクセルベース分類）と NDVI+最尤法（ピクセルベース分類）の 2 種で緑地、樹林地を抽出し、その後両者の差分による緑地、樹林地の変遷の抽出を実施した。

(6)　単時期の樹林地抽出精度は、1990 年の LANDSAT では TGR-W 分解が 97.6%、NDVI+最尤法が 110.9%となった。2004 年の LANDSAT では TGR-W 分解が 95.5%、NDVI+最尤法が 105.6%となり、両年の間に精度面での差異はほとんどなかった。また、TGR-W 分解はやや少なめ、NDVI+最尤法はやや多めに樹林地を抽出する傾向が認められた。

また、2 時期の変遷の抽出精度は、増加箇所については TGR-W 分解が約 6 倍、NDVI+最尤法が約 4 倍の過大抽出となった。減少箇所については TGR-W 分解、NDVI+最尤法とも約 1.8 倍の過大抽出となった。増加と減少を差し引きした総量（ネット）については、TGR-W 分解が 101.7%、NDVI+最尤法が 123.3%となった。これより、2 時期の変遷の抽出精度は、総量（ネット）では概ね良好な精度であるが、TGR-W 分解、NDVI+最尤法ともに増加、減少それぞれについては過大に抽出する傾向があると考察された。

(7)　最新データとして LANDSAT データの替わりに ASTER データを用いて、緑地、樹林地の抽出を行い、期初の LANDSAT データによる 1990 年時点の緑地、樹林地との差分による緑地、樹林地の変遷の解析を実施した。なお、緑地、樹林地の抽出は(4)で選定した TGR-W 分解（ミクセルベース分類）と NDVI+最尤法（ピクセルベース分類）の 2 種で行った。

(8)　単時期の樹林地抽出精度は、2005 年の ASTER では TGR-W 分解が 111.3%、NDVI+最尤法が 96.7%となった。一方、1990 年の LANDSAT では TGR-W 分解が 97.6%、NDVI+最尤法が 110.9%であり、2 手法の大小関係が逆転していた。ただし、検証用データとの乖離幅に大きな違いはなく、精度面での大きな違いはないと考察された。

2 時期の変遷の抽出精度は、増加箇所については TGR-W 分解が約 8 倍、NDVI+最尤法が約 3.5 倍の過大抽出であった。減少箇所については TGR-W 分解、NDVI+最尤法とも約 1.8 倍の過大抽出であった。増加と減少を差し引きした総量（ネット）については、TGR-W 分解が 56.1%、NDVI+最尤法が 146.3%となった。これより、2 時期の変遷の抽出精度は、TGR-W 分解、NDVI+最尤法ともに増加、減少それぞれについては過大に抽出する傾向が認められた。総量（ネット）については TGR-W 分解が過少抽出、NDVI+最尤法が過大抽出で、LANDSAT 同士のケースより検証用データとの乖離が大きい結果となった。

(9)　(6)、(8)に示される 2 時期の変遷において生じた誤差の要因として、まず２つのデータの重ね合わせる時に生じる位置ずれと、建物の影の影響が考えられた。そこでそれらによる誤差を軽減するために、精密幾何補正と影の補正方法をそれぞれ検討し、それを試行することによりその効果を検証した。

精密幾何補正は、コントラストの明瞭な地物を GCP とし、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することにより誤差を抑えようとする手法として考案した。その結果、理論上想定される最大誤差を従来の幾何補正の約 1/3 にまで抑えることができた。

建物の影の影響に対しては、正規化法を適用することにより補正を試みた。その結果、影領域の画素値が補正され、その影響が軽減されることがわかった。ただし、LANDSAT の band1（青バンド）は海面および影領域で過剰補正される傾向が認められた。

(10) 2 時期の変遷において生じた誤差のもう一つの大きな要因として、それぞれの時期のデータから別々に樹林地を抽出し、その結果を比較したために、それぞれの時期の誤差が掛け合わされることによって精度が低下したことが考えられた。そこで個々に樹林地を抽出するのではなく、2 時期のデータから、樹林地の増加部分を直接把握する手法の検討を行った。

手法開発にあたっては、以下の 2 点に着目し、精度向上を図った。

① 最初に緑地増加箇所を求め（近赤外バンドの差分＆閾値処理、と重ね合わせ＆分類処理の 2 手法）てから樹林地増加箇所を絞り込むことにより、アプローチで誤差の伝播を軽減する。

② 樹林地増加箇所の絞り込みには、ミクセル分解（TGR-W 分解）による最新の樹林地分布を併用する方法と、ASTER DEM による高さの情報を活用する 2 方法で比較検討する。

(11)　(9)、(10)の各手法の組み合わせた“総当たり法”によって、神奈川県内に設定した 4 箇所の検証エリアで、樹林地変遷把握の試行を行い、各種法の精度評価を、判別精度、統計的精度、面積精度の 3 とおりの考え方に則って実施した。

その結果、以下のことが確認された。

① 精密幾何補正は精度向上に寄与すること。

② 影の補正は精度向上に寄与すること。

③ 樹林地増加箇所の絞り込みに最新樹林地（TGR-W 分解）を使用する手法が良好な結果を示すこと。

(12) ALOS データの利用可能性を検討するため、ALOS/AVNIR-2 を使用した場合の樹林地増加面積把握精度を確認し、以下のことが示唆された。

① 精密幾何補正はALOSにおいても明確な精度向上効果がある。
② 影の補正はALOSにおいても明確な精度向上効果がある。
③ 増加緑地の抽出手法（近赤外差分、重ね合わせ）は同程度の精度である。
④ 樹林地の絞り込み方法は最新樹林地（TGR-W分解）の併用が最適である。
⑤ ASTERとALOSの比較ではややALOSの方が高精度である。

(13) 本研究で最適と判断された手法を適用して、樹林地の増加、減少、総量（ネット）面積を求め、(6)、(8)の結果と比較したところ、総量（ネット）では(6)、(8)とほぼ同程度であるが、増加、減少のそれぞれについては(6)、(8)では過大推定するのに対し、本調査での手法は±20%程度の誤差範囲に収まっており、大きく改善することが確認された。

(14) 本研究で最適と判断された手法で全国を対象に作業を行うことを目的に、頒布可能なレベルの衛星データ処理マニュアルを作成した。

参考文献

1) 東京都環境保全局：緑被率標準調査マニュアル、p35、1988
2) 岐阜大学秋山研究室ホームページ："DN から放射輝度(Radiance)を求める方法（Landsat-5 TM)"、http://www.geocities.jp/kensuke_kawamura/Others/LandsatCalibration/DNtoRad_L5.html （accessed 18 Jan. 2006）
3) Holben,B., and Justice, C. : An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data, International Journal of Remote Sensing, Vol.2, pp.115-133, 1981
4) 妹尾俊夫、岩浪英二、田中聰太郎、杉村俊郎：比演算を施した 2 季節のランドサット MSS データによる広域山地の林相区分、日本リモートセンシング学会誌、Vol.3、pp.55-65、1983
5) Colby, J.D. : Topographic normalization in rugged terrain, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.57, pp.531-537, 1991
6) Smith, J.A., Lin, T.L., and Ranson, K.J. : The Lambertian assumption and Landsat data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.46, pp.1183-1189, 1980
7) Meyer, P., Itten, K.I., Kellenberger, T., Sandmeier, S., and Sandmeier, R. : Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.48, pp.17-28, 1993
8) 渡辺誠、川田剛之：大気・地形効果を考慮した TM 画像データに基づく白山地域植生の反射スペクトル特性について、日本リモートセンシング学会第 25 回学術講演会論文集、pp.269-270、1998
9) 村上拓彦、齋藤元也：森林タイプ別にみた Minnaert 定数の季節変動、日本リモートセンシング学会第 30 回学術講演会論文集、pp.125-126、2000
10) 角田里美、三谷琢司、中澤明寛、粟屋善雄：Minnaert 法を用いた地形効果補正の検討、日本写真測量学会年次学術講演会論文集、pp.185-186、2005
11) 村上拓彦：SPOT/HRV データから森林タイプ別に求めた Minnaert 定数、写真測量とリモートセンシング、Vol.41、№1、pp.47-55、2002
12) 日本リモートセンシング研究会 編：改訂版 図解リモートセンシング、（社）日本測量協会、p325、2001
13) （財）資源・環境観測解析センター 編：資源・環境リモートセンシング実用シリーズ③ －地球観測データからの情報抽出－ 、（財）資源・環境観測解析センター、p306、2003

14) Rouse,J.W., Haas,R.H., Schell,J.A., Deering,D.W., and Harlan,J.C. : Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, in Third Earth Resources Technology Satellite-I Symposium, NASA SP-351, Vol.1, pp.309-317, 1973
15) 尹敦奎、梅干野晃：都市域における画素内緑被率推定のための指標、日本リモートセンシング学会誌、Vol.18、№3、pp.4-16、1998
16) Richardson,A.J. and Everitt,J.H. : Using spectral vegetation indices to estimate rangeland productivity, Geocarto International, Vol.1, pp.63-69, 1992
17) Jordan,C.F. : Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor, Ecology, Vol.50, pp.663-666, 1969
18) 斉籐郁雄、石原修：ランドサット TM データによる緑被変化の抽出に関する研究、日本リモートセンシング学会 第 22 回学術講演会論文集、pp.117-118、1997
19) 桑原祐史、小柳武和、志摩邦雄：茨城県日立市周辺を対象とした植生経年変化の解析－LANDSAT データを用いて－、環境情報科学論文集、Vol.16、pp.187-192、2002
20) 藤原宣夫、山岸裕：都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する調査、国土技術政策総合研究所資料　第 68 号、2003
21) 村上拓彦、斎藤元也、小川進、石塚直樹：VSW 指数を応用した水稲作付面積推定、日本リモートセンシング学会誌、Vol.21、№4、pp.330-341、2001
22) 中園悦子、沢田治雄：パターン展開法による熱帯林の常緑樹混交率の推定、日本写真測量学会 平成 11 年度年次学術講演会発表論文集、pp.59-60、1999
23) （財）資源・環境観測解析センター 編：資源・環境リモートセンシング実用シリーズ② －地球観測データの処理－ 、（財）資源・環境観測解析センター、p252、2002
24) 小野朗子、藤原昇、小野厚夫：スペクトル値の規格化による地形と大気効果の抑制、日本リモートセンシング学会第 30 回学術講演会論文集、pp.13-14、2001
25) 小野朗子、小野厚夫：LANDSAT/TM データを用いたバンド和によるスペクトルの正規化、日本リモートセンシング学会第 33 回学術講演会論文集、pp.35-36、2002
26) 小野朗子、梶原康司、本多嘉明：バンド和によるスペクトルの正規化法とその応用、日本写真測量学会年次学術講演会論文集、pp.73-74、2003
27) 小野朗子、梶原康司、本多嘉明：バンド和で正規化したスペクトルを用いた植生解析、日本写真測量学会年次学術講演会論文集、pp.209-210、2004
28) 澤田誠一：相加平均・回帰式を用いた植生分類について、日本写真測量学会年次学術講演会論文集、pp.219-220、2004
29) （財）資源・環境観測解析センター 編：資源・環境リモートセンシング実用シリーズ① －宇宙からの地球観測－ 、（財）資源・環境観測解析センター、p275、2001
30) （財）資源・環境観測解析センター（ERSDAC）ホームページ：「ASTER プロダクツとは」
http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/exhibition_j/a_products_j/set_a_pro

du_j.html
（accessed 23 Feb. 2007）
31) 船橋学、瀬戸島政博、岡崎亮太、今井靖晃、山本和広：ASTER データを用いた都市内樹林の樹高把握に関する検討、日本リモートセンシング学会第 35 回学術講演会論文集、pp.199-200、2003
32) 鎌形哲稔、原慶太郎、森大、赤松幸生、李雲慶、星野義延：高分解能衛星データのオブジェクト指向分類による植生図作成手法の提案、写真測量とリモートセンシング、Vol.45、№1、pp.43-49、2006
33) 宇宙航空研究開発機構　地球観測利用推進センター：ALOS 処理プロダクトフォーマット説明書（AVNIR-2 編）G 改訂版、2005 年 8 月

衛星データ処理マニュアル

衛星データ処理マニュアル

目　次

総　則

１．目　的 …… 2
２．構　成 …… 2

解説編

１章　リモートセンシング技術の解説 …… 3
１．１　プラットフォームとセンサについて …… 3
１．１．１　リモートセンシング技術の概要 …… 3
１．１．２　プラットフォームとセンサの種類 …… 4
１．１．３　プラットフォームおよびセンサの特徴比較 …… 7
１．１．４　センサとプラットフォームの組み合わせ …… 11
１．２　データ取得から入手に至るまでの留意点 …… 12
１．２．１　データ取得要求から入手に至るまでの時間的制限 …… 12
１．２．２　データ取得に関する天候および時間的制限（昼／夜） …… 16
１．２．３　プラットフォームから運用機関へのデータ伝送方法 …… 21
１．２．４　ユーザへの配信方法、所要時間 …… 23

２章　都市緑地の変遷調査に適したリモートセンシング技術の解説 …… 24
２．１　センサ・プラットフォームの選択 …… 24
２．１．１　都市緑地の変遷調査に有用なセンサ・プラットフォームとは …… 24
２．１．２　代表的なリモートセンシング衛星 …… 26
２．１．２．１　LANDSAT 衛星 …… 26
２．１．２．２　Terra 衛星 …… 28
２．１．２．３　ALOS 衛星 …… 30
２．２　データ入手について …… 32

３章　画像処理手法による都市緑地の変遷抽出に関する技術 …… 33
３．１　データ処理全体の流れ …… 33
３．２　前処理 …… 34
３．３　都市緑地の変遷抽出のための画像処理 …… 35
３．４　都市緑地の変遷抽出に関する現状と課題 …… 38

巻末資料

○　都市緑地変遷抽出の事例 …… 39

総　則

１．目　的

京都議定書への対応として、我が国はIPCC ガイドライン及び「土地利用、土地利用変化及び林業に係るグッドプラクティスガイダンス（LULUCF-GPG)」で定められた方法に従って、第一約束期間内に温室効果ガス排出・吸収目録を作成し、提出する必要がある。このうち都市緑地は、3 条 4 項「追加的人為的活動」の一つ「植生回復（revegetation)」に関連して、温室効果ガス吸収量を算定することになる。植生回復の基準年が 1990 年であること、透明で検証性のある算定方法やデータが求められていることなどを鑑みると、地球観測衛星データや各種地理情報の利用性は高い。

しかしながら、地球観測衛星データの入手、処理は煩雑で専門性が高いため、一般に広く普及しているとは言い難い状況である。

本マニュアルは、リモートセンシング技術を活用して迅速に都市緑地の増減を把握するための仕組みを解説することを目的としてまとめたものである。

２．構　成

本マニュアルは、リモートセンシング技術についての全般的な解説（第 1 章)、都市緑地の変遷調査に適したリモートセンシング技術の解説（第 2 章)、都市緑地の変遷抽出技術に関する画像処理手法の解説（第 3 章）によって構成される。また、実際に都市緑地の変遷を抽出した事例を巻末資料で紹介した。

図 1 に本マニュアルの構成を示す。

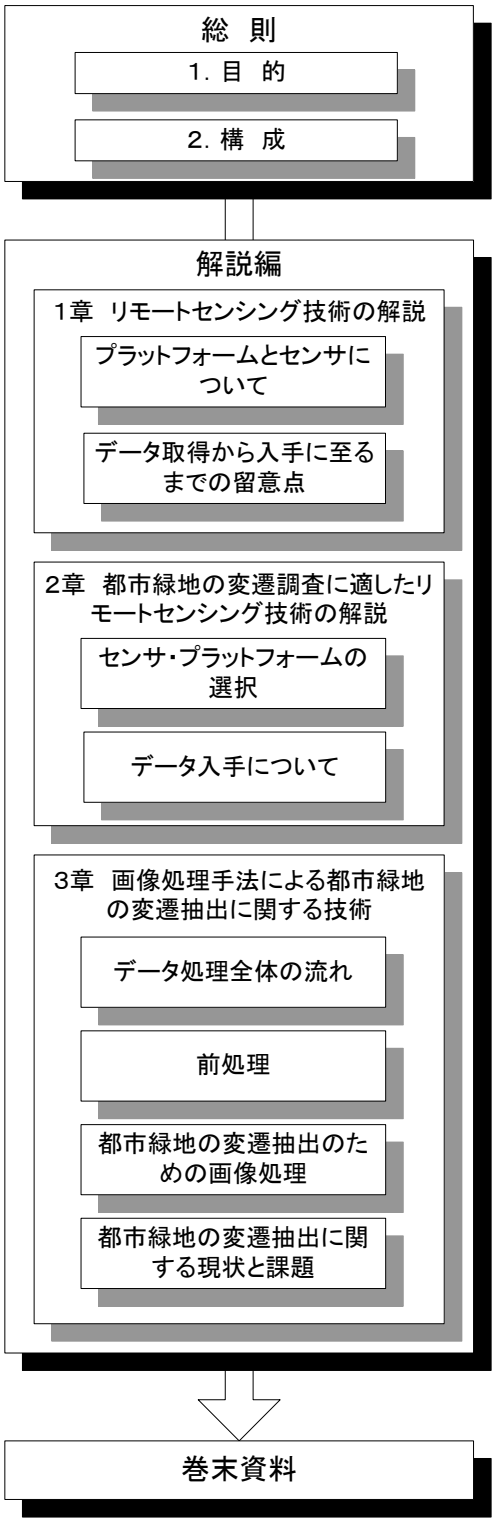


図１　本書の構成

解　説　編

１章　リモートセンシング技術の解説

１．１　プラットフォームとセンサについて

１．１．１　リモートセンシング技術の概要

> リモートセンシングとは、対象物に触れずに調査する技術である。これにより、上空から地球上を観測し、地表面の地物の性状や変化を解析することができる。
>
> リモートセンシングは、対象物から電磁波等を受ける装置（センサ）と、センサを搭載する移動体（プラットフォーム）によって行われる。観測に利用されるセンサには、受動方式と能動方式がある。

［解説］

（１）　リモートセンシングとは

リモートセンシングとは、直接物体に触れずに、物体の大きさや性質を調べる技術であり、「遠隔探査」とも呼ばれている。リモートセンシングでは、我々がいつも見ている可視光線のほか、赤外線やマイクロ波といったいろいろな電磁波が利用されている。リモートセンシングの代表的な例としては、航空機、ヘリコプタおよび人工衛星などによる観測があげられる。

なお、このほかに音波や重力などを利用したリモートセンシング技術があり、広義にはこれらも含めてリモートセンシングと称する。

（２）　プラットフォームとセンサ

リモートセンシングでは、カメラやスキャナなど電磁波を受ける装置をリモートセンサあるいは単にセンサといい、センサを搭載する航空機や人工衛星、さらに飛行船やUAV（無人飛行機）をプラットフォームと呼んでいる。

人工衛星の代表例としてはLANDSAT、Terra、SPOT、ALOS、IKONOSといった地球観測衛星があげられる。とくに衛星リモートセンシングは「周期性」、「同時性」、「広域性」といった特徴を生かし、従来からさまざまな観測に用いられている。

１．１．２　プラットフォームとセンサの種類

プラットフォームには多くの種類があり、さまざまな特徴を持ったセンサを搭載している。
（１）プラットフォームの種類には、人工衛星、飛行船(成層圏プラットフォーム*)、航空機、ヘリコプタ、UAV（無人飛行機）などがある。
（２）センサの種類は、光学センサ、マイクロ波センサ、レーザセンサに分類される。
プラットフォームは、データの撮影のタイミングを、センサは画像の地上分解能や画質を決める要素といえる。

［解説］

（１）プラットフォームの種類

リモートセンシングで主に利用されているプラットフォームは、表 1-1-1 に示す種類がある。LANDSAT、Terra、SPOT、ALOS 等の中分解能人工衛星は、円軌道衛星と呼ばれ、飛行高度は、上空 500～1,000km である。IKONOS、QuickBard 等の高分解能人工衛星の飛行高度は上空約 500km である。熱圏から成層圏までの範囲では、スペースシャトル、気球、飛行船、ジェット機が用いられ、対流圏以下では、航空機やヘリコプタ、UAV が主に使用される。

表 1-1-1　プラットフォームの種類（参考例）

<table>
<tr><th colspan="2">プラットフォーム</th><th colspan="2">飛行高度</th><th>利用例</th></tr>
<tr><td>人工衛星</td><td>円軌道衛星</td><td rowspan="2">外気圏</td><td>500km～1,000km</td><td>Landsat(米),Terra(米),
SPOT(仏)
RADARSAT(加),
ALOS（日）,
IKONOS(米),
QuickBard(米)等</td></tr>
<tr><td colspan="2">スペースシャトル</td><td>240km～350km</td><td>SIR(米)</td></tr>
<tr><td colspan="2">気球・飛行船</td><td rowspan="3">熱圏―成層圏</td><td>100m～100km</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">航空機</td><td>高高度ジェット機</td><td>10,000m～12,000m</td><td></td></tr>
<tr><td>低中高度飛行機</td><td rowspan="4">対流圏</td><td>300m～8,000m</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">ヘリコプタ</td><td>100m～2,000m</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">ラジコン機</td><td>500m 以下</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">UAV</td><td>150m 以下</td><td>固定翼(グライダー)
固定翼（ヘリコプタ）など</td></tr>
</table>

（２）センサの分類

物質には電磁波を受けると、物質の種類や状態に応じて電磁波を反射したり吸収したりする性質と、熱を帯びると特有の電磁波を放射する性質がある。センサはこのように物質から反射あるいは放射される電磁波を測定することにより対象物を識別するものである。

センサは、受動方式のセンサと能動方式のセンサに大別することができる。

受動方式のセンサとは、対象物が反射、または放射している電磁波エネルギーを受動的に検知するタイプのセンサである。

人間が目にする植物、土、水といった物体は、太陽などの光源から発した光を受け、それぞれ物体によって電磁波長ごとに固有の反射をしている。これを物体からの分光反射特性という。植物は近赤外の領域で強い反射を示し、土は可視域から赤外域へと波長が長くなるほど反射が強くなる。水は逆に短波長域で強い反射を示し、赤外域では反射しない。この分光反射特性を利用することで対象物を判別することができる。センサは波長帯ごとに細かく分けられ目的とする波長帯のセンサを用いて観測が行われる。中分解能人工衛星*LANDSAT では７つの波長帯、ALOS/AVNIR-2 では４つの波長帯、高分解能人工衛星**IKONOS では４つの波長帯に分けられ観測されている（図 1-1-1 参照）。

能動方式のセンサとは、センサから対象に向けて電磁波（近赤外・マイクロ波など）を発射し、その反射波（後方反射強度）を収集するタイプのセンサである。代表的なものに RADARSAT 衛星から得られる SAR 画像***がある。マイクロ波は、雲を透過するため、天候の制約を受けることなく観測できることや昼夜の別なく観測できることが大きな特徴である。

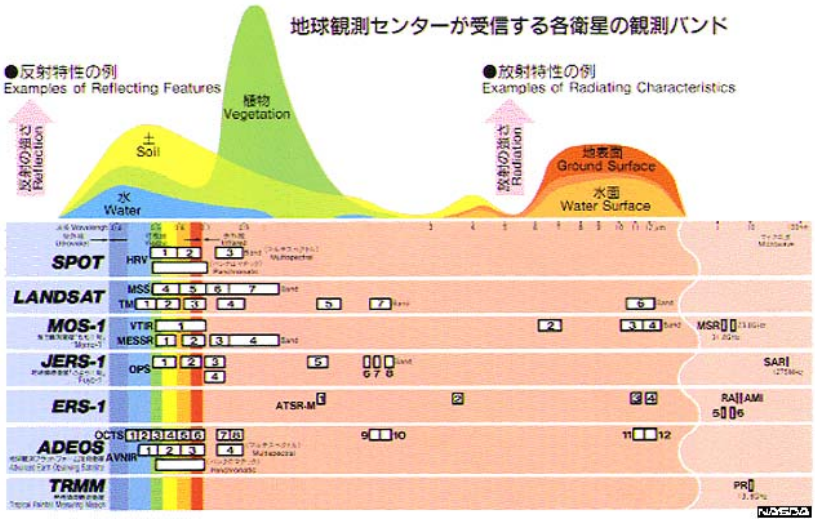


図 1-1-1　分光反射パターンとセンサ取得帯

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

---

***中分解能人工衛星**：LANDSAT、Terra/ASTER、RADARSAT などの分解能数 m～数百 m 程度の人工衛星。この他、分解能が 1m程度の高分解能人工衛星（IKONOS、QuickBird など）、分解能が数百m以上の低分解能人工衛星（NOAA、ADEOS-Ⅱなど）と呼ばれる人工衛星がある。

***高分解能人工衛星**：IKONOS、QuickBard に代表される分解能１m 以下の人工衛星。この他、分解能が数m～数百mである中分解能人工衛星（LANDSAT、Terra/ASTER、RADARSAT など）、分解能が数百m以上の低分解能人工衛星（NOAA、ADEOS-Ⅱなど）と呼ばれる人工衛星がある。

****SAR（合成開口）画像：**　表 1-1-2 参照

受動方式及び能動方式センサは、それぞれ使用する電磁波の波長帯域によって光学センサ、マイクロ波センサ及びレーザセンサに分類される。可視から赤外に至る領域のセンサを総称して光学センサと呼び、マイクロ波領域のセンサを総称してマイクロ波センサと呼ぶ。また、最近開発されたレーザセンサは近赤外等が利用されている（表 1-1-2)。

表 1-1-2　センサの種類

<table>
<tr><th>収集方式</th><th>区分</th><th colspan="2">センサ</th><th>波長帯域</th><th>ｱﾅﾛｸﾞ／ﾃﾞｼﾞﾀﾙ</th><th>撮像原理</th></tr>
<tr><td rowspan="7">受動方式</td><td rowspan="7">光学センサ</td><td colspan="2">カメラ</td><td>可視～赤外</td><td>ｱﾅﾛｸﾞ／ﾃﾞｼﾞﾀﾙ</td><td rowspan="4">カメラレンズによる集光後、以下の方法で画像を取得する。反応する波長帯により、カメラの種類が分けられる。
アナログ方式：感光フィルム、 磁気テープ
デジタル方式：CCD、 CMOS</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ビデオカメラ</td><td>TV カメラ</td><td>可視～赤外</td><td>ｱﾅﾛｸﾞ／ﾃﾞｼﾞﾀﾙ</td></tr>
<tr><td>超高感度カメラ</td><td>可視～赤外</td><td>ｱﾅﾛｸﾞ／ﾃﾞｼﾞﾀﾙ</td></tr>
<tr><td>赤外カメラ</td><td>赤外</td><td>ｱﾅﾛｸﾞ／ﾃﾞｼﾞﾀﾙ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">スキャナ</td><td>ｵﾌﾟﾃｨｶﾙ ﾒｶﾆｶﾙｽｷｬﾅ</td><td>可視～赤外</td><td rowspan="2">ﾃﾞｼﾞﾀﾙ</td><td>回転鏡により地表からの放射を分光して観測を行う機械走査型放射計。スキャナをプラットフォームに搭載し、スキャナの走査方向と直交する方向に移動することで１画素ずつ２次元の情報を得る。
例. Landsat</td></tr>
<tr><td>ﾌﾟｯｼｭﾌﾞﾙｰﾑｽｷｬﾅ</td><td>可視～赤外</td><td>固体光電子変換素子が１列に並んだ構造の検知器（リニアアレイセンサ）を用いる。スキャナをプラットフォームに搭載し、スキャナの走査方向と直交する方向に移動することで１ラインずつ２次元の情報を得る。
例. ALOS、SPOT</td></tr>
<tr><td rowspan="2">能動方式</td><td>マイクロ波センサ</td><td colspan="2">合成開口レーダ (SAR)</td><td>マイクロ波</td><td>ﾃﾞｼﾞﾀﾙ</td><td>プラットフォームから進行方向にマイクロ波を照射し、観測対象物から戻ってくる後方散乱波を画像の形で記録する。合成開口処理により進行方向の分解能を改善したものを合成開口レーダという。
プラットフォームの進行方向に対し直角方向に走査を行い２次元画像を得る。</td></tr>
<tr><td>レーザ</td><td colspan="2">レーザスキャナ</td><td>近赤外等</td><td>ﾃﾞｼﾞﾀﾙ</td><td>レーザ光を発射して、その散乱・反射光の戻る時間や強度、周波数偏移、偏光状態の変化等から、測定対象の距離、濃度、速度、形状などの物理的性質を測定する。</td></tr>
</table>

CCD ：電荷結合素子. 表面に光を電荷に変えるフォトダイオードが並んでいる.
CMOS：2 種類のトランジスタ素子を半導体基板上に形成した回路.

１．１．３　プラットフォームおよびセンサの特徴比較

プラットフォームおよびセンサにはそれぞれ長所・短所があり、目的に応じた組み合わせが必要である。
（１）プラットフォームには、人工衛星のように常に決められた軌道上を飛行し、撮影時刻がほぼ決まっているものや、航空機・ヘリコプタのように任意の場所、時刻で撮影が可能なものがある。
（２）センサには、種類によって、データ取得時の天候や時間帯などによる制限を受けるものがある。

[解説]

（１）プラットフォームの特徴比較

人工衛星や飛行船は常時上空にあるため、航空機やヘリコプタと違って機体運用を必要としない。

表 1-1-3 にプラットフォームの運用面での特徴比較結果を示す。また、飛行高度別のプラットフォームを図 1-1-2 に示す。

表 1-1-3　プラットフォームの特徴比較

項目	人工衛星	飛行船	航空機	ヘリコプタ	UAV
機体運用	○　不要	○　不要	×　必要	×　必要	×　必要
撮影までの迅速性	○　2 時間～	○　ﾘｱﾙﾀｲﾑ	○　数時間～	○　30 分～	○ 数時間～
軌道の融通性	×　固定軌道	×　定位置	○　有り	○　有り	○　有り
データ更新性	○　定期観測	○　常時観測	×　困難	×　困難	×　困難
天候の影響	○　無し	○　無し	△　有り	△　有り	○　無し
夜間運用	○　可能	○　可能	△　可能	○　可能	○　可能
カバーエリア	○　大	○　大	△　中～大	△　中	△　小～中

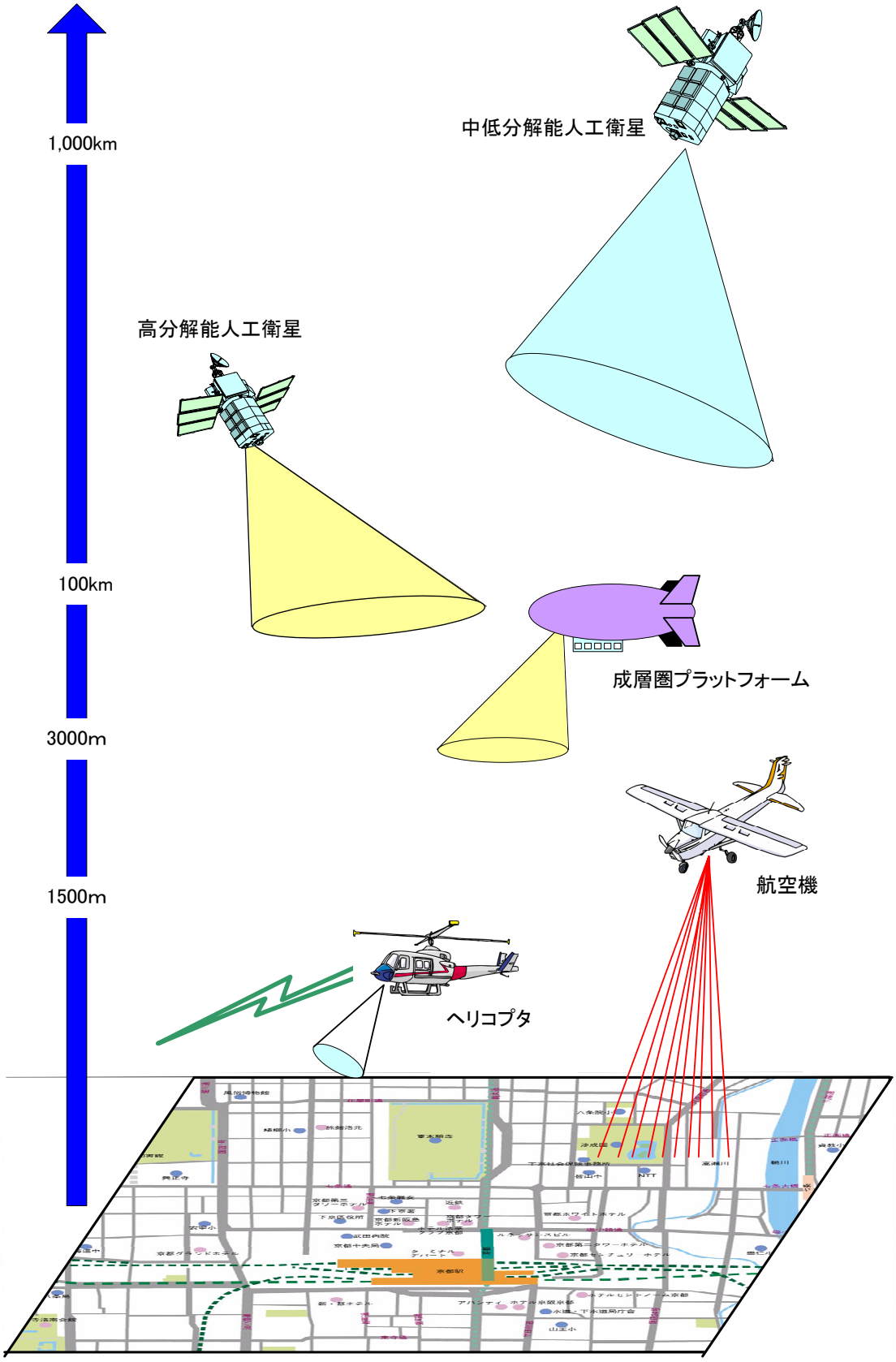


図 1-1-2　飛行高度別のプラットフォーム

（２）センサの特徴比較

表 1-1-4 に示したとおり、撮影の可否に大きく影響する天候条件や時間的制限（昼夜）の影響を受けにくいセンサは SAR、また時間的制限（昼夜）を受けにくいセンサは超高感度・赤外ビデオカメラ、レーザスキャナである（1.2.2 を参照）。

三次元位置情報の取得が可能なレーザスキャナは、デジタルでデータを取得するため、撮影後の処理が容易である。

アナログセンサで取得したデータに関しては前処理としてデジタル化が必須となり、適用する画像処理手法に応じて、オルソ化*・モザイク処理**等も必要になる。また、デジタルセンサで取得したデータに関しては、デジタル化の必要は無いが、適用する画像処理手法に応じて、オルソ化*・モザイク処理**等の前処理が必要となる（3.2 前処理を参照）。

表 1-1-4　センサの特徴

項目	カメラ	ビデオカメラ	スキャナ	SAR	レーザ スキャナ
天候による影響	有り	TV　　：有り 超高感度：有り 赤外　　：有り	有り	無し	有り
夜間撮影の可能性	不可能	TV　　：不可能 超高感度：　可能 赤外　　：　可能	不可能	可能	可能
地上分解能	数 cm～	計測誤差 数十 cm～	1m～	1.5m～	測点間隔 約 1m～

（３）地上分解能

地上分解能とは、センサによって得られる地上画像において、識別可能な最小領域を地上における距離または対象物の大きさで表現したものをいう。

リモートセンシング画像の地上分解能は、センサの性能とプラットフォームの飛行高度により決まる。プラットフォーム・センサ別に得られる地上分解能を表 1-1-5 に示す。

センサの特性をみると、分解能の精細さではカメラが数十 cm と最も高く、その他は 1m～数 m 程度である。分解能の可変性ではレーザスキャナが測点間隔を任意に設定でき、ビデオカメラにはズーム機能がある。

プラットフォーム別には、航空機、ヘリコプタ及び UAV をプラットフォームとする場合、飛行高度を調整することにより、地上分解能を任意に調整することができる。人工衛星の場合、飛行高度を調整することはできないが、それぞれの人工衛星によって飛行高度が異なるために地上分解能が異なる。

***オルソ化：**中心投影である写真・画像を正射変換して平行投影像にすること。カメラの傾きや地形および建物などの起伏による影響を補正して全ての点を鉛直方向から見たように等縮尺の写真図に直すこと。

****モザイク処理：**部分的に撮影された写真や画像を、多数枚つなぎ合わせて広い地域の写真図や画像にすること。

表 1-1-5　地上分解能

ﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ	センサ	ﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ高度	センサの融通性	地上分解能
中分解能人工衛星(LANDSAT)	スキャナ	固定	固定	可視～短波長赤外：30m 熱赤外　　：120m
中分解能人工衛星(ASTER)	スキャナ	固定	固定	可視～近赤外：15m 短波長赤外　：30m 熱赤外　　：90m
中分解能人工衛星(ALOS)	スキャナ	固定	固定	パンクロマティック：2.5m 可視～近赤外　　：10m
高分解能人工衛星(IKONOS)	スキャナ	固定	固定	白黒画像 1m ・衛星直下で 0.82m ・衛星直下からの距離が 350km 以内で 1m ・衛星直下からの距離が 750km 以内で 1.5m カラー画像 4m
飛行船	ﾋﾞﾃﾞｵｶﾒﾗ	固定	未定	未定
	スキャナ	固定	未定	未定
	SAR	固定	未定	未定
航空機	カメラ	可変	固定	飛行高度に依存 対象に応じた分解能を設定できる 例）写真縮尺　1/8,000：0.16m 1/20,000：0.4m
	SAR	可変	固定	飛行高度に依存 例）飛行高度 12,000m の場合 X-band SAR：1.5/3m（可変） L-band SAR：3/5/10/20m（可変）
	レーザスキャナ	可変	可変	対象に応じた測点間隔を設定できる 例）飛行高度 400m ｽｷｬﾝ角 20° ｽｷｬﾅ走査頻度 17Hz 分解能 約 1.5m *)4.4 参照
ヘリコプタ	カメラ	可変	固定	飛行高度に依存
	ﾋﾞﾃﾞｵｶﾒﾗ	可変	ズーム可能	飛行高度、撮影時の倍率に依存
	レーザスキャナ	可変	可変	対象に応じた測点間隔を設定できる
UAV	カメラ	可変	固定	飛行高度に依存
	ﾋﾞﾃﾞｵｶﾒﾗ	可変	ズーム可能	飛行高度、撮影時の倍率に依存
	レーザスキャナ	可変	可変	対象に応じた測点間隔を設定できる

１．１．４　センサとプラットフォームの組み合わせ

プラットフォーム、センサともにそれぞれ特徴があり、利用目的に適した組み合わせを選択する必要がある。ただし、現時点では、センサとプラットフォームの組み合わせには制限がある。

［解説］

リモートセンシング技術による画像取得手法として、次表のようなセンサとプラットフォームの組み合わせがある。利用者は、目的に適したプラットフォームとセンサをそれぞれ選択することになる（表 1-1-6 参照）。

表 1-1-6　センサとプラットフォームの組み合わせ（代表例）

センサ ＼ プラットフォーム	カメラ	ビデオカメラ	スキャナ	合成開口レーダ	レーザスキャナ
人工衛星	－	－	○ Landsat, Terra, ALOS, SPOT, IKONOS, QuickBard 等	○ RADARSAT 等	－
スペースシャトル	－	－	－	○ SIR、SRL(米)等	－
気球・飛行船	○	(○)	(○)	(○)	－
航空機	○ 航空写真	○	○ 航空機 MSS	○ PI-SAR(日)等	○
ヘリコプタ	○ 国土交通省所管ヘリ等	○ 同左	－	－	○
UAV	○	○	－	－	○

○　：現時適用されている組み合わせ
(○)　：将来適用可能な組み合わせ

１．２　データ取得から入手に至るまでの留意点

１．２．１　データ取得要求から入手に至るまでの時間的制限

リモートセンシングにより取得した画像データを使用するためには、人工衛星や航空機等の運用機関へデータ注文を行う必要がある。また、データを手元に入手するには、データを地上へおろした後に各種画像処理を施した上で何らかの方法により伝送してもらう必要がある。この一連の流れの中で時間的制約についてプラットフォーム別に示す。

（１）中分解能人工衛星は、撮影時間が午前 10 時 30 分頃とほぼ固定されている。また、ユーザからの撮影要求は受け付けていないケースが多い。

（２）高分解能人工衛星は、撮影時間が午前 10 時 30 分頃とほぼ固定されており、また、ユーザからの撮影要求は受け付けているものの、撮影時刻直前の数時間は新たな撮影依頼を運用会社が受け付けない（図 1-2-1 参照）。

（３）航空機・ヘリコプタ（航空写真撮影・レーザスキャナ計測）では、撮影計画を策定して撮影の諸元とコース図の作成を行い、同時に撮影地域が航空交通管制範囲にかかる場合には飛行許可申請を行う必要がある（1.2.2 参照）。天候を確認した後、撮影地への飛行移動、撮影及び帰着という手順で撮影が行われる。写真を撮影した場合には、着陸後、フィルム等が人によって運ばれ、現像などの工程を経てユーザに画像が届く。レーザ計測の場合は、着陸後、データが人によってコンピュータルームに運ばれ、処理を行った後データがユーザに届く（図 1-2-1 参照）。

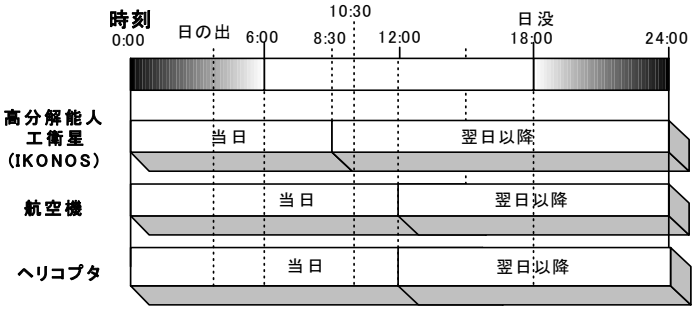


図 1-2-1　データが手元に届くまでの時間

[解説]

人工衛星や航空機、ヘリコプタなどによってデータを手元に入手するまでの手順をプラットフォーム別に表 1-2-1～2 に示す。

（１）　中分解能人工衛星

中分解能人工衛星は常時上空を周回しており、定期的に撮影を行っている。その運用は政府系機関が行っており、撮影の指示（タスキング）は運用機関が対応している。

中分解能人工衛星による画像取得のタイミングは、人工衛星が軌道上のどの場所を移動しているのかで決まる。さらに撮影範囲は、撮影時における人工衛星の軌道位置と撮影可能なポインティング角度により決定される。

現在運用されている中分解能人工衛星（LANDSAT、Terra/ASTER、ALOS など）の撮影時間帯は午前 10 時 30 分頃に集中しており、運用機関があげる撮影指示に応じて撮影が行われる。しかし、LANDSAT、Terra/ASTER、ALOS などの光学系のセンサの場合、天候の影響による観測の可否の問題が起こりうる。撮影後は、データの転送（ダウンリンク）、処理、配信などのプロセスを経て、ユーザが入手できる状態になる。

（２） 高分解能人工衛星

高分解能人工衛星も常時上空を周回している。

高分解能人工衛星(IKONOS)の場合、撮影要求は運用会社へ直接行うことになる。撮影範囲の指示以降は運用会社が対応する。

表 1-2-1　高分解能人工衛星（IKONOS）による撮影から配信までの手順と所要時間

運用会社が行う手順	通常時		緊急時の特例（主に災害時のみ）	
	内　容	時刻・所要時間	特例の内容	時刻・所要時間
①撮影申請の受付	新規撮影の画像注文シートが運用会社に FAX または郵送で届けられる。	通常 48 時間前まで受け付ける。	・運用会社による自主的な撮影の検討が行われている。 ・現時点では、撮影時刻の 2 時間前に申請すれば撮影申請を受け付けるとのこと。	実現すれば 0 時間。
②撮影	撮影指示（国内）	AM9:30 頃		
	撮影	AM10:30 頃		
③データ転送・画像処理	転送	数分		
	画像処理	数日（処理内容により異なる）	運用会社の自主的な判断による優先処理。	数時間
④配信	ユーザへ配信	数時間（配信先により異なる）		実現すれば高速回線で数分。

高分解能人工衛星による画像取得のタイミングは、撮影要求時の衛星軌道と人工衛星が軌道上のどの場所を移動しているのかで決まる。さらに撮影範囲は、撮影時における人工衛星の軌道位置と撮影可能なポインティング角度により決定される。

現在運用されている高分解能人工衛星（IKONOS、QuickBird など）の撮影時間帯は、午前 10 時 30 分頃に集中している。高分解能人工衛星(IKONOS)は、観測時刻の数時間前までであれば最短で当日の夕方には画像データの配信が可能である。しかしこれ以降の場合には最短でも 24 時間データ取得が行えない可能性がある（IKONOS の軌道は 11 日周期でほぼ元の位置に戻る。日本の上空を通過するのは 11 日間で 6 日～7 日になる）。

高分解能人工衛星のほとんどは可視～近赤外波長帯による観測であるため、天候の影響による観測の可否の問題が起こりうる。

データを手元に入手するまでの時間はプラットフォームにより異なる。

（３） 航空機、ヘリコプタなど

通常、航空機やヘリコプタなどを利用する場合は、機体運用（待機基地と撮影エリア上空との間の移動）と撮影の行程を経て行われる。具体的には、撮影計画の作成（撮影縮尺、飛行高度の設定、コース図の作成）を行い、同時に撮影地域が航空交通管制範囲にかかる場合には飛行許可申請を行う必要がある。撮影計画の作成、飛行許可申請は、運用会社へ撮影エリアを伝えることにより作成してもらえる。天候をチェックした後、撮影地への飛行移動、撮影及び帰着という手順で撮影が行われる。UAV による撮影手順には、車両による離発着可能な場所への機体運搬が必要である。

表 1-2-2　プラットフォーム別撮影手順と所要時間(航空機、ヘリコプタ、UAV)

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">運用会社が行う手順</th><th colspan="2">通常時</th><th colspan="2">緊急時の特例</th></tr>
<tr><th>作業内容</th><th>所要時間</th><th>特例の内容</th><th>所要時間</th></tr>
<tr><td rowspan="3">①撮影計画作成</td><td>航空機</td><td>撮影縮尺の設定
撮影高度の設定
コース図の作成</td><td rowspan="2">③を含めて
数時間～2 日
※撮影範囲による</td><td>無し
緊急に実施する</td><td>数十分～数時間
※撮影範囲による</td></tr>
<tr><td>ヘリコプタ</td><td>撮影縮尺の設定
撮影高度の設定
撮影方法の検討
コース図の作成</td><td>無し
緊急に実施する</td><td>数十分～数時間
※撮影範囲による</td></tr>
<tr><td>UAV</td><td>撮影コースの検討</td><td>⑤を含めて数時間～</td><td>無し</td><td>無し</td></tr>
<tr><td rowspan="2">②飛行許可申請</td><td>航空機、ヘリコプタ</td><td rowspan="2">申請書作成提出</td><td>3～4 日（郵送）、FAX で済む空港は数時間内</td><td>事務所と直接交渉により FAX 等で済ませる</td><td>数時間</td></tr>
<tr><td>UAV</td><td>3～4 日（郵送）</td><td>無し</td><td>無し</td></tr>
<tr><td rowspan="3">③飛行前準備</td><td rowspan="2">航空機、ヘリコプタ</td><td>飛行プログラム入力
撮影計画の最終確認</td><td rowspan="3">1 日</td><td rowspan="3">無し</td><td rowspan="3">無し</td></tr>
<tr><td>地上基準点の設置
（ﾚｰｻﾞｽｷｬﾅのみ）</td></tr>
<tr><td>UAV</td><td>飛行プログラミング</td></tr>
<tr><td>④機体運搬</td><td>UAV</td><td>離発着可能な地点へ車両による移動</td><td>―
（地域による）</td><td>無し</td><td>無し</td></tr>
<tr><td rowspan="2">⑤機体準備</td><td>航空機、ヘリコプタ</td><td rowspan="2">機体点検</td><td>30～40 分</td><td>無し
※③と同時期に行う</td><td rowspan="2">無し</td></tr>
<tr><td>UAV</td><td>15～30 分</td><td>無し</td></tr>
<tr><td>⑥離陸</td><td>航空機</td><td></td><td>10 分</td><td>無し</td><td>無し</td></tr>
<tr><td colspan="2">⑦移動</td><td>撮影地域への移動</td><td rowspan="3">飛行速度による</td><td>無し</td><td>無し</td></tr>
<tr><td colspan="2">⑧撮影</td><td>撮影</td><td>無し</td><td>無し</td></tr>
<tr><td colspan="2">⑨移動</td><td>撮影地域からの帰還</td><td>無し</td><td>無し</td></tr>
<tr><td>⑩着陸</td><td>航空機</td><td></td><td>10～15 分</td><td>無し</td><td>無し</td></tr>
<tr><td colspan="2">⑪機体回収</td><td>機体の格納</td><td>15～30 分</td><td>無し</td><td>無し</td></tr>
<tr><td colspan="2">⑫機体運搬</td><td>車両による移動</td><td>―
（地域による）</td><td>無し</td><td>無し</td></tr>
</table>

航空機、ヘリコプタ、UAV ともに、写真を撮影した場合には、現像などの時間をさらに要する。航空写真や航空機・ヘリコプタによるレーザスキャナは、天候や時刻(特に日没後)に左右されるものの、昼間に撮影できれば当日ないしは翌日に画像データの入手が可能である。

１．２．２　データ取得に関する天候および時間的制限（昼／夜）

天候の状態や撮影時刻（昼/夜）により撮影ができない等のケースが発生する。
（１）天候の影響について。人工衛星は飛行高度が高いため天候の影響を受けない。航空機及びヘリコプタでは、航空法が定める気象状態に応じて 2 通りの飛行方式（有視界飛行方式／計器飛行方式）が規定されている。ヘリコプタの場合は、計器飛行用装備が一般的には備わっていないため、原則として有視界飛行方式によって、有視界気象状態でのみ飛行ができる。
（２）夜間の撮影について。LANDSAT、Terra/ASTER、ALOS などのうち、光学系のセンサについては、夜間の撮影は行われない。熱赤外センサについては夜間の撮影も行っており、太陽光の影響を受けない地表の放射熱を観測することができる。

[解説]

（１）天候による影響

発生時の天候は様々な状況が考えられる。撮影時における天候条件の影響を、センサとプラットフォームによる要因とに分けて整理する。

１）プラットフォーム別のデータ取得条件

人工衛星は飛行高度が高々度であるため天候の影響を受けない。しかし、航空機及びヘリコプタの場合は天候の影響を受ける。天候と飛行条件との関係は、表 1-2-3 のように整理される。航空機及びヘリコプタは航空法上の航空機（航空法第 2 条）に該当するため、航空法が定める気象状態（有視界気象状態／計器気象状態*）に応じて表 1-2-4 のように 2 通りの飛行方式（有視界飛行方式／計器飛行方式）が規定されている（航空法施行規則第 5 条）。

表 1-2-3　プラットフォーム別の天候と飛行条件の関係

ﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ	天候と飛行条件
人工衛星	天候の影響はない
飛行船	天候の影響はない
航空機	1)有視界気象状態　→有視界飛行方式、又は計器飛行方式 2)計器気象状態　→計器飛行方式
ヘリコプタ	
UAV	強風、降雨時の運用は制限される

*計器気象状態(IMC:instrument meteorological condition)：計器飛行を行わなければならないような天候状態。視程及び雲の状況を考慮して国土交通省令で定める視界上不良な気象状態をいう。有視界気象状態に定めた気象条件の限界より悪化した場合は、計器飛行方式によることが義務づけられている。

表 1-2-4 気象状態と飛行方式

気象状態区分	気象状態	飛行方式	備考
1)有視界気象状態	図 1-2-2 参照	有視界飛行方式、または計器飛行方式	航空法で規定
2)計器気象状態	視界上不良な気象状態（ 1）以外)	計器飛行方式	

UAV は前述の航空機に該当しないため、航空法で定められた気象状態に応じた飛行方式の適用を受けない。よって、基本的に全天候で飛行可能であるが、機体が軽いため強風などの悪天候下における運用は制限される。

２）センサ別のデータ取得条件

センサは、観測する波長帯によって天候の影響の受け方が異なる。カメラやスキャナ等の光学系センサの場合、太陽光に依存するため雨天及び曇天では良好なデータが得られず撮影は困難である。これに対し、SAR は雲を透過するマイクロ波を用いているため、太陽光が照射しない季節、晴天率の低い地域での観測が可能である。

レーザは下方に雨・雪・雲がある場合、乱反射を起こすため撮影はできない。但し、曇天でも、センサ（機体）の下方に雲が無ければ雲の影響の無いデータを取得できる（表 1-2-5 参照)。

表 1-2-5　センサへの天候による影響

センサ		天候の影響
カメラ		太陽光が少ない場合、またはセンサの下方に雨・雲がある場合は、良好なデータが得られない。
ビデオカメラ	TV カメラ	太陽光が少ない場合、またはセンサの下方に雨・雲がある場合は、良好なデータが得られない。
	超高感度カメラ	センサの下方に雨・雲がある場合は、良好なデータが得られない。
	赤外カメラ	センサの下方に雨・雲がある場合は、良好なデータが得られない。
スキャナ		太陽光が少ない場合、またはセンサの下方に雨・雲がある場合は、良好なデータが得られない。（熱赤外は天候の影響が小さい）
SAR		天候の影響はない。
レーザスキャナ		センサの下方に雨・雲があると良好なデータは得られない。

（２）夜間撮影の可能性

夜間撮影の可能性はセンサとプラットフォームによる要因とに分けて次のように整理される。

１）プラットフォーム別のデータ取得条件

プラットフォーム別にみると、人工衛星や飛行船は常時上空にあるため時間帯を問わず運用可能である。

航空機及びヘリコプタの場合、夜間飛行の可能性は飛行条件と離発着の条件に左右される。

飛行条件については、夜間運用に関しても昼間と同一の気象状態（航空法で定める気象状態：有視界気象状態、計器気象状態）に応じた飛行方式が適用される。

離発着条件については、離発着に利用する施設の夜間照明設備の保持が必要な条件である。平常時は、夜間照明の条件の他に周辺地域への環境問題（騒音）から、各空港で定める夜間運営時間によって離発着が制限されていることもある。羽田空港、成田空港、関西空港のように24時間オープンしている民間空港や自衛隊所管の空港では夜間の離発着を許可しているところもある。(表 1-2-6 参照)。

UAV は航空法による航空機の扱いから除外されるため、夜間も昼間と同様に全天候下で使用が可能である。離発着場も機体が小さいことから空き地等のオープンスペースを利用しやすい。

表 1-2-6　プラットフォーム別の夜間飛行の可能性

ﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ	夜間飛行の可能性
人工衛星 （高・中・低分解能）	昼夜関係なく常時上空軌道上を移動。
飛行船 （成層圏ﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ）	人工衛星に同じ。
航空機	飛行　：昼間と同一の条件下で可能。 離発着：夜間照明があれば基本的には可能。但し各空港の夜間運営時間により制限あり。
ヘリコプタ	飛行　：航空機に同じ。 離発着：航空機に同じ。
UAV	制約を受ける法が整備されていないので可能。

２）センサ別のデータ取得条件

センサに関しては、光学系センサの場合、太陽光のない夜間の撮影は困難である。一方、ビデオカメラ（超高感度、赤外）、SAR、レーザスキャナは太陽光を必要としないため、夜間撮影は可能である（表 1-2-7 参照）。

表 1-2-7　センサ別による夜間撮影の有無

センサ		夜間撮影可能性
カメラ		太陽光に依存するため撮影不可能
ビデオカメラ	TV カメラ	太陽光に依存するため撮影不可能
	超高感度カメラ	夜間でも撮影可能
	赤外カメラ	夜間でも撮影可能
スキャナ		太陽光に依存するため撮影不可能
SAR		夜間でも撮影可能
レーザスキャナ		夜間でも撮影可能

（３）天候条件/時間帯による画像の取得手法

前述までの天候条件と時間帯による上空映像・画像の撮影可能性からプラットフォーム・センサの適否をまとめた。晴天の場合はいずれのプラットフォームも撮影可能であるが、雲が厚く低い場合や雨天の場合は反対にどのプラットフォームも困難である。曇天の場合、ヘリコプタは雲の切れ間や低空での飛行が可能であり撮影の機会はある。一方センサに関しては、天候及び時間帯により利用できるセンサが異なる。夜間の場合、超高感度/熱赤外のビデオカメラや SAR といったセンサを用いた撮影が主体となる。

これらプラットフォームやセンサについて天候条件による制限を考慮した場合の、利用可能な画像取得方法について表 1-2-8 に示す。

表 1-2-8　　天候条件/時間帯によるプラットフォーム・センサの適否

天候＼時間帯	適否	昼間	適否	夜間
晴天	◎ ◎ ◎	衛星カメラ 衛星スキャナ 衛星 SAR	○ ◎	衛星スキャナ(熱赤外) 衛星 SAR
	◎ ◎ ◎ ◎	飛行船カメラ 飛行船ビデオカメラ 飛行船スキャナ 飛行船 SAR	○ ◎	飛行船ビデオカメラ (熱赤外) 飛行船 SAR
	◎ ◎ ◎ ◎ ◎	航空機カメラ 航空機ビデオカメラ 航空機スキャナ 航空機 SAR 航空機レーザスキャナ	○ ◎ ◎	航空機ビデオカメラ (熱赤外) 航空機 SAR 航空機レーザスキャナ
	◎ ◎ ◎	ヘリカメラ ヘリビデオカメラ ヘリレーザスキャナ	○ ◎	ヘリビデオカメラ (超高感度/熱赤外) ヘリレーザスキャナ
	◎ ◎ ◎	UAV カメラ UAV ビデオカメラ UAV レーザスキャナ	○ ◎	UAV ビデオカメラ (超高感度/熱赤外) UAV レーザスキャナ
曇天	△ △ ◎	衛星カメラ 衛星スキャナ 衛星 SAR	○ ◎	衛星スキャナ(熱赤外) 衛星 SAR
	△ △ ◎	飛行船ビデオカメラ 飛行船スキャナ 飛行船 SAR	△ ◎	飛行船ビデオカメラ (熱赤外) 飛行船 SAR
	△ △ △ ◎ △	航空機カメラ 航空機ビデオカメラ 航空機スキャナ 航空機 SAR 航空機レーザスキャナ	△ ◎ △	航空機ビデオカメラ (熱赤外) 航空機 SAR 航空機レーザスキャナ
	○ ○ △	ヘリカメラ ヘリビデオカメラ ヘリレーザスキャナ	○ △	ヘリビデオカメラ (超高感度/熱赤外) ヘリレーザスキャナ
	○ ○ ○	UAV カメラ UAV ビデオカメラ UAV レーザスキャナ	△ △ △	UAV カメラ UAV ビデオカメラ (超高感度/熱赤外) UAV レーザスキャナ
雨天	◎	衛星 SAR	◎	衛星 SAR
	◎	飛行船 SAR	◎	飛行船 SAR
	◎	航空機 SAR	◎	航空機 SAR
	○ ○	ヘリカメラ ヘリビデオカメラ	△ △	ヘリビデオカメラ (超高感度/熱赤外)

◎：良好な画像が取得可能　○：画像の取得が可能　△：機体運用の条件がよければ画像取得が可能
□は国土交通省所有

１．２．３　プラットフォームから運用機関へのデータ伝送方法

プラットフォーム上で取得されたデータの伝送方法は、リアルタイムに地上へ伝送する方式とプラットフォームが着陸した後で伝送される方式がある。より早くデータをユーザへ届けるためには、リアルタイム伝送の技術開発が必要である。

[解説]

上空のプラットフォームから運用機関への画像受信の伝送方法を示す（表 1-2-9 参照）。

（１）　人工衛星

国内で受信が行われている高分解能人工衛星の代表例として IKONOS があげられる。IKONOS では、衛星からの信号の受信基地が神奈川県藤沢市にある。衛星が撮影した画像データは受信基地へ衛星から伝送（ダウンリンク）される。その後、東京・丸の内のデータ処理施設にブロードバンド回線を通じオンラインで送信される。

人工衛星から地上局へ送られてくる画像データは、一般的にデジタル形式で伝送される。この伝送されるデータ量は非常に膨大なため、大容量の通信回線を実現するために通信電波として数 GHz から数十 GHz の高周波数帯が使用されている。

（２）　飛行船（成層圏プラットフォーム）

現在、研究開発計画中であり、次世代移動通信システム、デジタル映像伝送システム、高速無線アクセスシステム(数 10Mbps)が試験される予定である。主な特徴として、見通しのよい上空にあるため画像データ受信に対して障害がなく、高仰角が可能なため広範囲な受信が可能で、伝播遅延がない等があげられる。

（３）　航空機

現在、航空機での画像取得の多くは航空写真からによるものである。航空写真の場合は、機体着陸後に撮影ネガフィルムを現像センターに輸送し、写真処理(ネガフィルムの現像および焼付け)を行う作業を必要とする。このため手元に届くまでに 1～2 日を要する。また、航空機によるレーザスキャナ計測では、機体着陸後、取得データをコンピュータルームへ搬送し、そこで一次処理を行う必要がある。このため、手元に届くまでには、航空写真と同等な時間を要する。

（４）　ヘリコプタ

ヘリコプタからの画像伝送システムは、機上設備、画像受信基地局、デジタルマイクロ回線網からなる。ヘリからの画像は地上の固定又は可搬型の受信基地局に伝送され、ここでデジタル信号に変換されて、マイクロ回線網や衛星通信回線を経由し、必要な箇所に送信される。

現在利用されているヘリテレなどの VTR 画像は、アナログ伝送方式（14GHz 帯）を用いており、受信基地局のサービスエリアは、固定型で半径 60km、可搬型で半径 25～30km である。また、レーザスキャナ計測に関するデータ取得後の処理工程や所要時間等は、

航空機の場合と同じである。

（５） UAV

UAV と地上基地との間の通信には、機体をリモートコントロールするための通信と、画像の伝送がある。UAV によるビデオ画像取得に関しては現在リアルタイムで地上のリモートコントロール者へ伝送されるシステムがある。写真撮影に関しては、着陸後の処理となっている。UAV はコンパクトであるため車両に搭載して目的地まで移動できる利点があるが、ヘリコプタと比べて飛行高度が低いことから、地形などによって通信範囲が制限されやすく撮影範囲も限られるのが課題である。

表 1-2-9　プラットフォームから運用会社へのデータ伝送の現状

プラットフォーム	画像種別	伝送方法
人工衛星		人工衛星から地上へ送られる画像データは、一般的にデジタル信号で伝送され地上受信局で収集する。ノイズに強く、低電力、帯域幅が狭い等の利点がある。高分解能人工衛星 IKONOS では、リアルタイムに処理を行っている。
飛行船（成層圏ﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ）		中継固定通信、移動体通信及び放送の 3 システムが検討されている。見通しのよい上空との通信、高仰角が可能、伝播遅延がほとんどなく、無線回線の耐災害性、柔軟性などが特徴である。リアルタイムに伝送される方法の採用が想定される。
航空機	航空写真等のアナログ画像	着陸後ネガフィルムを宅配便等によって輸送し、写真処理（ネガフィルムの現像及び焼付）を行う。
	レーザスキャナデータ等のデジタル画像	現状では、上空で一旦機内に撮影データを蓄積し、着陸後宅配便等によってデータ処理施設へ搬送している。
ヘリコプタ	ヘリテレによるアナログ画像	現状では、リアルタイムにアナログ画像データを伝送するアナログ伝送方式がとられている。アナログ画像伝送方式は、地上基地局周辺の建物などによる電波の反射障害による画像の乱れが発生や降雨による電波の減衰が問題となっている。将来的にはデジタル化したデータを 伝送するデジタル伝送方式に移行すると考えられる。
	レーザスキャナデータなどのデジタル画像	航空機でレーザスキャナデータを取得する場合に同じ。
UAV		UAV によるビデオ画像取得に関しては現在リアルタイムで地上のリモートコントロール者へ伝送されるシステムがある。写真撮影に関しては、着陸後、宅配便等によってフィルム等を搬送し、写真処理（ネガフィルムの現像及び焼付）を行っている。

１．２．４　ユーザへの配信方法、所要時間

ヘリテレはリアルタイムで画像データがユーザに伝送され最も高速である。衛星画像などのデジタルデータとして取得されたデータは、画像処理された後、電子媒体に一旦画像を出力・保存してからユーザに送付されている。これ以外のデータに関しても、紙媒体あるいは電子媒体に一旦画像を出力・保存してからユーザへ送付する手段が取られている。

[解説]

地上受信局で受信した後のユーザまでの配信方法（地上画像伝送）は、現状では、ヘリテレで撮影された映像のみ、地上受信局からユーザへの伝送が実現されており、ユーザはほぼリアルタイムで撮影された画像を見ることができる。この他の画像は、紙媒体あるいは電子媒体に一旦画像を出力・保存してからユーザ宛に配送する手段が取られている。

ユーザへの配信方法と所要時間についてのまとめを表 1-2-10 に示した。

表 1-2-10　ユーザへの配信方法と所要時間

画像の種類	保存媒体	配信方法	運用会社からユーザへ配信されるまでの所要時間
航空写真、衛星写真（紙）	写真	宅配便等による送付	数時間～1 日
衛星画像など	デジタルデータ	宅配便等による送付	数時間～1 日
画像データ（ビデオ映像：ﾍﾘﾃﾚ）	アナログデータ	伝送	リアルタイム
画像データ（その他）	CD-ROM 等	宅配便等による送付	数時間～1 日

２章　都市緑地の変遷調査に適したリモートセンシング技術の解説

リモートセンシング技術には、さまざまなセンサとプラットフォームの組み合わせが考えられる。実際にリモートセンシング技術を活用する際には、目的に適したセンサやプラットフォームを選択することが必要である。ここでは、都市緑地の変遷調査に適したリモートセンシング技術について概説する。

２．１　センサ・プラットフォームの選択

２．１．１　都市緑地の変遷調査に有用なセンサ・プラットフォームとは

都市緑地の調査には植物の分光反射特性の活用が適しており、有用なセンサは可視域～赤外域をカバーした光学センサである。

都市緑地は街路樹や住宅地の緑など小さな緑の集合体である。したがって、空間分解能の高いデータを取得できる航空機や高分解能人工衛星が有用なプラットフォームである。ただし、対象が広域の場合、航空機や高分解能人工衛星では均質な画像が得られないため、中分解能人工衛星によるマクロな調査も有用である。

［解説］

都市緑地の調査を行うためには、建物や道路などの人工構造物と緑地を分離することが重要である。そのためには、植物の分光反射特性（図 1-1-2 参照）の活用が適している。植物は近赤外の領域で強い反射を示し、土は可視域から赤外域へと波長が長くなるほど反射が強くなる。水は逆に短波長域で強い反射を示し、赤外域では反射しない。したがって、可視域～赤外域をカバーした光学センサが最も適したセンサであるといえる。

また、都市緑地は公園のように一定規模のまとまった緑地もあるが、大多数が街路樹や住宅地の緑などの小さな緑の集合体である。これを適切に把握するためには、空間分解能の高いデータを取得できる航空機や高分解能人工衛星が有効である。しかしながら、対象が広範囲の都市である場合、撮像範囲が狭い航空機や高分解能人工衛星では均質な画像が得られないため、撮像範囲の広い中分解能人工衛星によるマクロな調査も有効である（表 2-1-1）。

表 2-1-1　都市緑地の変遷調査に有用なセンサ・プラットフォーム

センサ / プラットフォーム	カメラ	ビデオカメラ	スキャナ	合成開口レーダ	レーザスキャナ
中分解能人工衛星	－	－	○ Landsat, Terra, ALOS, SPOT 等	× RADARSAT 等	－
高分解能人工衛星	－	－	○ IKONOS, QuickBard 等	× TerraSAR 等	－
スペースシャトル	－	－	－	× SIR、SRL(米)等	－
気球・飛行船	△	－	－	－	－
航空機	△ 航空写真	×	○ 航空機 MSS	× PI-SAR(日)等	△
ヘリコプタ	△ 国土交通省所管ヘリ等	× 同左	－	－	△
UAV	△	×	－	－	△

○　：調査に適しているセンサ・プラットフォーム
△　：条件次第では有用なセンサ・プラットフォーム
×　：調査に不向きなセンサ・プラットフォーム

２．１．２　代表的なリモートセンシング衛星

２．１．２．１　LANDSAT 衛星

LANDSAT は、アメリカが 1972 年に世界で初めて打ち上げた本格的な地球観測衛星であり、5 号と 7 号は現在も運用されている。データが豊富に蓄積されていることから、過去の都市緑地を調査する上で有用である。

[解説]

LANDSAT は、アメリカが 1972 年に世界で初めて打ち上げた本格的な地球観測衛星であり、その優れた観測能力から人工衛星によるリモートセンシングの飛躍的な発展のきっかけを作った。LANDSAT は 1 号から 7 号まで打ち上げられている。このうち、1982 年～2001 年まで運用された 4 号と 1984 年の打ち上げ以降現在も運用されている 5 号のデータが豊富に蓄積されており、過去の都市緑地を調査する上で有用である。また、1999 年に打ち上げられた 7 号も未だに運用されているが、2003 年にスキャンラインコレクター（SLC）が故障したため、現在は画像が縞状に欠落した画像が配信されている。

LANDSAT-4 号と 5 号は、飛行高度 705km、軌道傾斜角 98°の太陽同期準回帰軌道をとり、通過時刻は地方平均時 9:39AM である。16 日間で全地球の観測を終了し、17 日目に同じ地点の上空に戻る（16 日回帰）。搭載しているセンサは、MSS（Multispectral Scanner System）と TM（Thematic Mapper）の 2 種で、TM が多く用いられている。LANDSAT/TM の観測波長域は可視～熱赤外の 7 バンド、空間分解能は可視～中間赤外の 6 バンドが 30m、熱赤外バンドが 120m である。

LANDSAT-7 号は、飛行高度 705km、軌道傾斜角 98°の太陽同期準回帰軌道をとり、通過時刻は地方平均時 10:00～10:15AM である。16 日間で全地球の観測を終了し、17 日目に同じ地点の上空に戻る（16 日回帰）。搭載しているセンサは ETM+（the Enhanced Thematic Mapper Plus）で、空間分解能 15m のパンクロマチックバンドが追加された（表 2-1-2）。

表 2-1-2　LANDSAT 衛星の主な諸元

衛星	LANDSAT		
国	アメリカ		
打ち上げ年	1：1972 年 7 月 23 日　2：1975 年 1 月 22 日　3：1978 年 5 月 5 日 4：1982 年 7 月 16 日　5：1984 年 5 月 1 日　7：1999 年 4 月 5 日		
観測期間	1：1972～1978　2：1975～1983　3：1978～1983 4：1982～2001　5：1984～　7：1999～		
軌道	太陽同期軌道		
衛星高度	1～3：915km 4～7：705km		
回帰日数	1～3：18 日 4～7：16 日		
通過時刻	1～5：9：39 頃 7：10:00～10:15		
主なセンサ	MSS	TM	ETM+
センサタイプ	光学センサ	光学センサ	光学センサ
観測範囲	約 185km×170km	約 185km×170km	約 185km×170km
分解能	83m	30m(可視～短波長赤外) 120m(熱赤外)	15m(ﾊﾟﾝｸﾛ) 30m(可視～短波長赤外) 60m(熱赤外)
観測波長帯 (μm)	0.495～0.605 緑 0.603～0.698 赤 0.701～0.813 近赤外 0.808～1.023 近赤外	0.45～0.52 青 0.52～0.60 緑 0.63～0.69 赤 0.76～0.90 近赤外 1.55～1.75 短波長赤外 10.4～12.5 熱赤外 2.08～2.35 短波長赤外	0.450～0.515 青 0.525～0.605 緑 0.603～0.690 赤 0.75～0.90 近赤外 1.55～1.75 短波長赤外 10.4～12.5 熱赤外 2.09～2.35 短波長赤外 0.52～0.90 緑～近赤外 (Pan)
ﾃﾞｰﾀ提供機関	(財)ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ技術ｾﾝﾀｰ	(財)ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ技術ｾﾝﾀｰ	(財)ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ技術ｾﾝﾀｰ

２．１．２．２　Terra 衛星

Terra は、アメリカが 1999 年に打ち上げた地球観測衛星で、5 つのセンサを搭載している。この中の ASTER センサは、現状の都市緑地を調査する上で有用である。

[解説]

Terra は、NASA(米国宇宙局)が推進する大規模な地球観測計画の初号機として、1999 年に打ち上げられた地球観測衛星で、ミッション期間は６年である。

Terra には、ASTER(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer)、CERES (Clouds and the Earth Radiant Energy System)、MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer)、MISR (Multi-angle Imaging Spectro Radiometer)、MOPITT (Merements of Pollution In the Troposphere)の 5 種類のセンサが搭載されている。このうち、衛星本体と CERES、MODIS、MISR は NASA、ASTER は日本、MOPITT はカナダが提供している。

Terra は、LANDSAT と同じ飛行高度 705km、軌道傾斜角 98° の太陽同期準回帰軌道をとり、通過時刻は地方平均時 10:30AM である。16 日間で全地球の観測を終了し、17 日目に同じ地点の上空に戻る（16 日回帰)。ただし、ポインティング機能を有するため、観測周期は回帰日数より短い。搭載している 5 種類のセンサのうち、ASTER は、可視～近赤外域 4 バンド（VNIR)、短波長赤外域 6 バンド（SWIR)、熱赤外域 5 バンド（TIR）の計 15 バンドを観測しており、LANDSAT の代替あるいは併用する形で多く用いられている。空間分解能は VNIR、SWIR、TIR それぞれ 15m、30m、90m である（表 2-1-3)。

設計寿命を超過しているものの、Terra/ASTER は LANDSAT と似通った軌道、バンド構成であり、現状の都市緑地を調査する上で有用である。

表 2-1-3　Terra 衛星の主な諸元

衛星	Terra	
国	アメリカ	
打ち上げ年	1999 年 12 月 18 日	
観測期間	1999～	
軌道	太陽同期準回帰軌道	
衛星高度	705km	
回帰日数	16 日	
通過時刻	10：30 頃	
主なセンサ	ASTER	MODIS
センサタイプ	光学センサ	光学センサ
観測範囲	60km×60km	2,330km
分解能	15m（可視～近赤外） 30m（短波長赤外） 90m（熱赤外）	250m(可視～近赤外) 500m(可視～短波長赤外) 1,000m(可視～熱赤外)
観測波長帯 （μm）	0.52～0.60 緑 0.63～0.69 赤 0.76～0.86 近赤外 0.76～0.86 近赤外(後方視) 1.600～1.700 短波長赤外 2.145～2.185 短波長赤外 2.185～2.225 短波長赤外 2.235～2.285 短波長赤外 2.295～2.365 短波長赤外 2.360～2.430 短波長赤外 8.125～8.475 熱赤外 8.475～8.825 熱赤外 8.925～9.275 熱赤外 10.25～10.95 熱赤外 10.95～11.65 熱赤外	可視～熱赤外 36ﾊﾞﾝﾄﾞ
ﾃﾞｰﾀ提供機関	(財)資源・環境観測解析ｾﾝﾀｰ	東京大学など

２．１．２．３　ALOS 衛星

ALOS は、我が国が 2006 年に打ち上げた陸域観測技術衛星であり、3 つのセンサを搭載している。この中の AVNIR-2 センサは、現状の都市緑地を調査する上で有用である。

[解説]

ALOS（だいち）は、我が国が 2006 年に打ち上げた陸域観測技術衛星である。ALOS は、地球資源衛星 1 号「JERS-1（ふよう)」および地球観測プラットフォーム技術衛星「ADEOS（みどり)」で開発してきた陸域観測技術をさらに高度化し、高分解能の陸域観測データを全地球的規模で収集することを目的としている。

ALOS は、飛行高度 691.65km、軌道傾斜角 98.16°の太陽同期準回帰軌道をとる。回帰日数は 46 日である。搭載しているセンサは、PRISM(パンクロマチック立体視センサ)、AVNIR-2（高性能可視近赤外放射計 2 型)、PALSAR(フェーズドアレイ方式 L バンド合成開口レーダ)の 3 種である。

PRISM は可視域を観測する光学センサで、空間分解能は 2.5m である。衛星の進行方向に対して前方、直下、後方の 3 方向を同時に観測することができるため、高精度の地形データを取得することができる。

AVNIR-2 は可視・近赤外域を 4 バンドで観測する光学センサで、空間分解能は 10m である。±44°のポインティング機能を有しているため、回帰日数より短い間隔で観測することができる。

PALSAR は L バンドの能動型マイクロ波センサで、天候や昼夜に影響されない観測が可能である。分解能 10m の高分解能観測モードと 100m の広観測域モード（ScanSAR）がある。（表 2-1-4)。

3 種のセンサのうち、AVNIR-2 は Terra/ASTER や LANDSAT と似通ったバンド構成であり、現状の都市緑地を調査する上で有用である。

表 2-1-4　ALOS 衛星の主な諸元

衛星	ALOS		
国	日本		
打ち上げ年	2006 年 1 月 24 日		
観測期間	2006～		
軌道	太陽同期準回帰軌道		
衛星高度	691.65km		
回帰日数	46 日		
通過時刻			
主なセンサ	PRISM	AVNIR-Ⅱ	PALSAR
センサタイプ	光学センサ	光学センサ	マイクロ波センサ
観測範囲	70km（直下視） 35km（3 方向視）	70km	40～70km （高分解能ﾓｰﾄﾞ） 250～350km （広観測幅ﾓｰﾄﾞ）
分解能	2.5m	10m	7～88m(高分解能ﾓｰﾄﾞ) 100m(広観測幅ﾓｰﾄﾞ)
観測波長帯 （μm）	0.52～0.77 緑～近赤外	0.42～0.50 青 0.52～0.60 緑 0.61～0.69 赤 0.76～0.89 近赤外	L-band、HH,HV,VH,VV
ﾃﾞｰﾀ提供機関	(財)ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ技術ｾﾝﾀｰ	(財)ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ技術ｾﾝﾀｰ	(財)ﾘﾓｰﾄｾﾝｼﾝｸﾞ技術ｾﾝﾀｰ (財)資源・環境観測解析ｾﾝﾀｰ

２．２　データ入手について

都市緑地の変遷調査に有用なリモートセンシングデータの代表的な入手方法は以下のとおりである。

- 中分解能人工衛星は政府系衛星であるため、データ配布を行っている財団からデータを入手する。
- 高分解能人工衛星は商業衛星であるため、民間の運用機関からデータを入手する。
- 航空写真・航空機センサは、民間の航測会社からデータを入手する。
  （航空写真は、国土地理院や林野庁が撮影を行っており、それぞれデータ配布を行っている機関からも入手できる）

[解説]

都市緑地の変遷調査に有用なセンサ・プラットフォーム（表 2-1-1）のデータ入手方法や価格は、選択したデータによってまちまちであるため事前に精査する必要があるが、大まかに区分すると、中分解能人工衛星、高分解能人工衛星、航空写真・航空機センサに分けることができる。

中分解能人工衛星（LANDSAT、Terra/ASTER、ALOS など）は政府系の衛星であるため、データ配布を行っている財団からデータを入手する。LANDSAT、ALOS は（財）リモートセンシング技術センター（RESTEC）*、Terra/ASTER は（財）資源・環境観測解析センター（ERSDAC）*から取得済みデータを入手することができる。RESTEC の場合、地球観測衛星画像オンライン検索・注文システム「CROSS」から取得済みデータの検索や購入手続きを行うことができる。ERSDAC の場合、ASTER 地上データシステム「ASTER GDS」から取得済みデータの検索や購入手続きを行うことができる。なお、価格は 1 シーンあたり 1 万円～10 万円程度である。

高分解能人工衛星（IKONOS、QuickBird など）は商業衛星であるため、民間の運用機関からデータを入手する。我が国では、IKONOS は日本スペースイメージング株式会社*が運用しており、QuickBird は日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社*が運用している。価格は 1km2 あたり 5,000 円～2 万円程度で、中分解能人工衛星と比べると高めに設定されている。

航空写真・航空機センサは、民間の航測会社に撮影を依頼する。また、航空写真は国土地理院や林野庁が撮影を行っており、国土地理院撮影については（財）日本地図センター*、林野庁撮影については（社）日本森林技術協会*から撮影済み写真（データ）を入手することができる。民間の航測会社が独自に販売しているケースもある。

***都市緑地の変遷調査に有用なリモートセンシングデータの配布機関**

- (財)リモートセンシング技術センター(RESTEC)　http://www.restec.or.jp/
- (財)資源・環境観測解析センター(ERSDAC)　http://www.ersdac.or.jp/
- (財)日本地図センター　http://www.jmc.or.jp/
- (社)日本森林技術協会　http://www.jafta.or.jp/index-j.html

３章　画像処理手法による都市緑地の変遷抽出に関する技術

人工衛星や航空機などで取得された画像データを用いて都市緑地の変遷を抽出するには、画像データを目視し読み取る方法の他に、目視作業を軽減するためにコンピュータソフトウェアを用い画像を処理する方法（画像処理）がある。ここでは、画像処理により必要な情報を画像データから抽出する手法について概説する。

３．１　データ処理全体の流れ

人工衛星や航空機などのプラットフォームに搭載されたセンサで得られた画像データは、前処理（大気補正や幾何補正などの前処理）を経た後、抽出したい情報に応じて適切な画像処理を行い、その他の処理を経て結果を出力する。

［解説］

画像データ処理の流れを図 3-1-1 に示す。また、データ処理に関する特徴を表 3-1-1 に示す。

人工衛星、航空機およびヘリコプタから得られた最初の段階の画像データは、大気による影響や撮影時の幾何学的歪みがある。そこで画像処理を行う前に、前処理（放射量補正、幾何補正、地形補正など）が行われる。

続いて行われる画像処理には様々な手法がある。都市緑地の変遷を抽出するためには、緑地の特徴を考慮して手法を選定する必要がある。

画像処理によって緑地の変遷を抽出した後、必要に応じて画像間のモザイク、3 次元化およびＧＩＳへの取り込みなどを行い、目的とする処理結果を出力する。

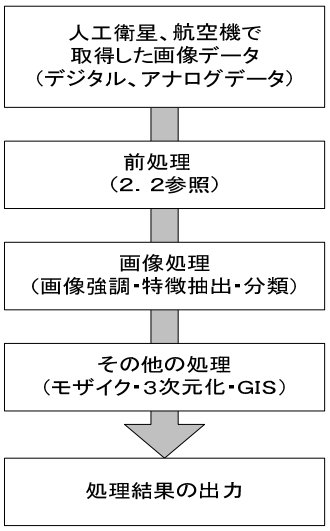


図 3-1-1　画像処理全体の流れ

表 3-1-1　画像データ処理に関する特徴

プラットフォーム	センサ	データの種類	地上分解能	特徴
人工衛星	スキャナ	デジタル画像	１m～	幾何補正、正射投影補正済みの商品がある
航空機	カメラ	アナログ（垂直写真）画像、	数十センチ	幾何補正、モザイクに時間を要する 画像間の色調などに違いがある
	レーザ	デジタル画像	数十センチ	データ処理に時間を要する
ヘリコプタ	カメラ ビデオ	アナログ（斜め写真）画像 リアルタイム画像、VTR、	数センチ～数十センチ	正確な位置情報が得られにくい 画像の幾何補正が難しい 地図上(GIS)への展開が難しい 画質が粗い
		デジタルビデオ	数センチ～数十センチ	写真やビデオなどの管理と変換作業が煩雑

３．２　前処理

都市緑地の変遷抽出のための画像処理を行う前に前処理が行われる。緊急時の場合必ずしも行う必要はないが、正確な出力画像を得る場合には必要とされる。

[解説]

前処理の流れを図 3-2-1 に示す。

人工衛星あるいは航空機から得られたデータは、写真などのアナログデータの場合、まずスキャナでデジタル変換（A/D 変換）される。この段階でのオリジナルデジタル画像は大気による影響や撮影時の幾何学的な歪みを持った画像になっている。そこで大気の影響を取り除く放射量補正や幾何補正が行われる。

データの前処理についてはデータ配布機関によってすでに補正処理されたデータを配布しているケースがあるので、それを利用することも可能である。

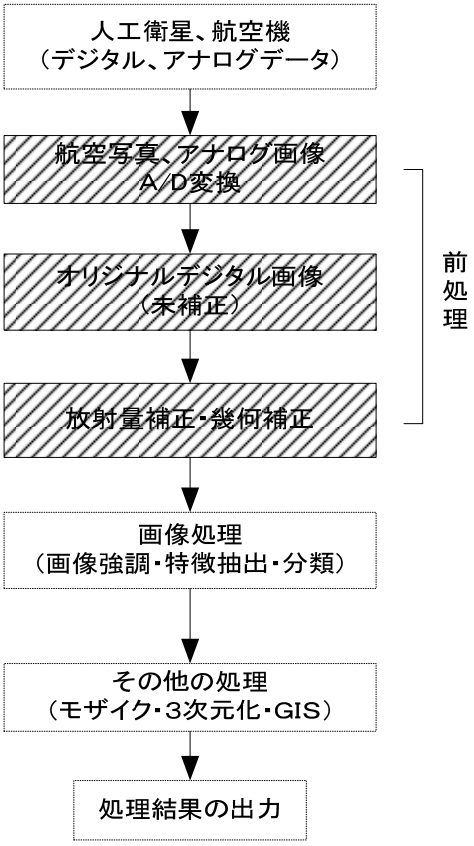


図 3-2-1　前処理の流れ（ハッチ部分）

３．３　都市緑地の変遷抽出のための画像処理

画像処理は、目的とする情報を抽出するための一手法である。処理手法によっては時間や抽出される情報の精度が大きく変化するため、目的に合った適切な処理方法を選定する必要がある。

［解説］

画像処理は、処理目的によっておもに画像強調、特徴抽出および分類処理に区分される。

表 3-3-1 に主な画像処理手法をまとめた。

画像強調は画像のイメージを損なわず、画像にコントラストをつけたりノイズを除去したりすることにより判読しやすい画像を得るための処理である。線構造・断線の有無や領域の広がりなどを知る場合に用いる。おもな手法にはカラー合成、濃度変換、フィルタリングによるエッジ強調などがある。

特徴抽出は画像の中から特徴ある線や異なる濃度の境や領域を抽出する画像処理である。処理により画像中の線や領域が強調されるため判読性が高まる。線構造の抽出には幾何学的特徴抽出、領域の抽出にはスペクトル抽出、テクスチャ特徴抽出が主として用いられる。おもな手法にフィルタリングによるエッジ抽出、画像間演算、テクスチャ解析がある。

分類処理は、画像全体を共通的な特徴を持つ領域に分類（グループ化）する処理であり、類似する地域を抽出するのに用いることができる。既知のサンプル領域をもとに分類する処理と画像の統計的な特徴から自動的に分類する処理がある。おもな画像処理手法にはマルチレベルスライス、クラスタリングなどがある。

これらのうち、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、目的に適した分類手法を見出すことが重要である。

代表的な画像分類手法を表 3-3-2 にまとめた。

表 3-3-1　主な画像処理手法

処理方法		解説
濃度変換		色調補正によりコントラストを協調。
カラー合成		異なる時期の画像をカラー合成することにより、変化域の色調の違いを抽出する。
フィルタリング	平滑化	ノイズを弱め画像全体を滑らかにする。
	エッジ強調	画像の劣化などによる不鮮明な線や縁を強調させる。
	エッジ抽出	画像の濃淡急変部および線状物体を強調させる。線状構造の抽出に有効である。
画像間演算	比演算	異なる画像の輝度値の差をもとにした演算処理で、輝度値に変化のある場合に有効である。
	差分解析	異なる時期に取得された画像間の差を利用して変化を抽出する。輝度値に変化のある場合に有効である。
テクスチャ解析		ヒストグラムの平均、分散、歪度、尖度などの特徴量と計算し、きめを数値で表示する。
分類	マルチレベルスライス	多次元の特徴空間で濃度に任意の閾値を設け、その閾値で区分する。画像の色調が明瞭なとき有効である。
	クラスタリング	類似した特徴をグループ化する方法。迅速な分類が可能である。
３次元化		３次元的な変状判読をする。 高さ情報の抽出に有効である。
地理情報の併用		DEM や他の地理情報と組み合わせた抽出処理。

表 3-3-2　代表的な画像分類手法

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。	・一般的に用いられている。 ・処理が簡便。	・樹林地と草地を分けることが難しい。
	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。	・一般的に用いられている。 ・樹林地と草地の区分が可能。 ・分類結果が確率統計的な意味を持つ。	・分類教師（トレーニングデータ）が必要。
		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。	・比較的一般的に用いられている。 ・樹林地と草地の区分が可能。	・分類教師（トレーニングデータ）が必要。
		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。	・処理が簡便。 ・樹林地と草地の区分が可能。	・分類教師（トレーニングデータ）が必要。 ・事前に主成分分析が必要な場合がある。
		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。	・処理が簡便。 ・樹林地と草地の区分が可能。	・事前に各分類クラスの特性を分析し、決定木を構築する必要がある。
	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。	・分類教師（トレーニングデータ）を必要としない。 ・樹林地と草地の区分が可能。	・分類後に各クラスの意味づけが必要になる。
ミクセル分解（カテゴリー分解）			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。	・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。	・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。

３．４　都市緑地の変遷抽出に関する現状と課題

（１）雲などの障害がある画像については、目的とする都市緑地の変遷抽出が困難である。
（２）撮影季節・時刻や天候によって画像状態（画質）が異なることが多く、処理結果に影響する場合がある。
（３）都市緑地の変遷抽出に中分解能衛星画像を用いる場合、対象物に対して衛星の解像力が粗いので、抽出の正確性に一定の誤差が生じる。

[解説]

都市緑地の変遷抽出に関する現状と課題を次にまとめた。

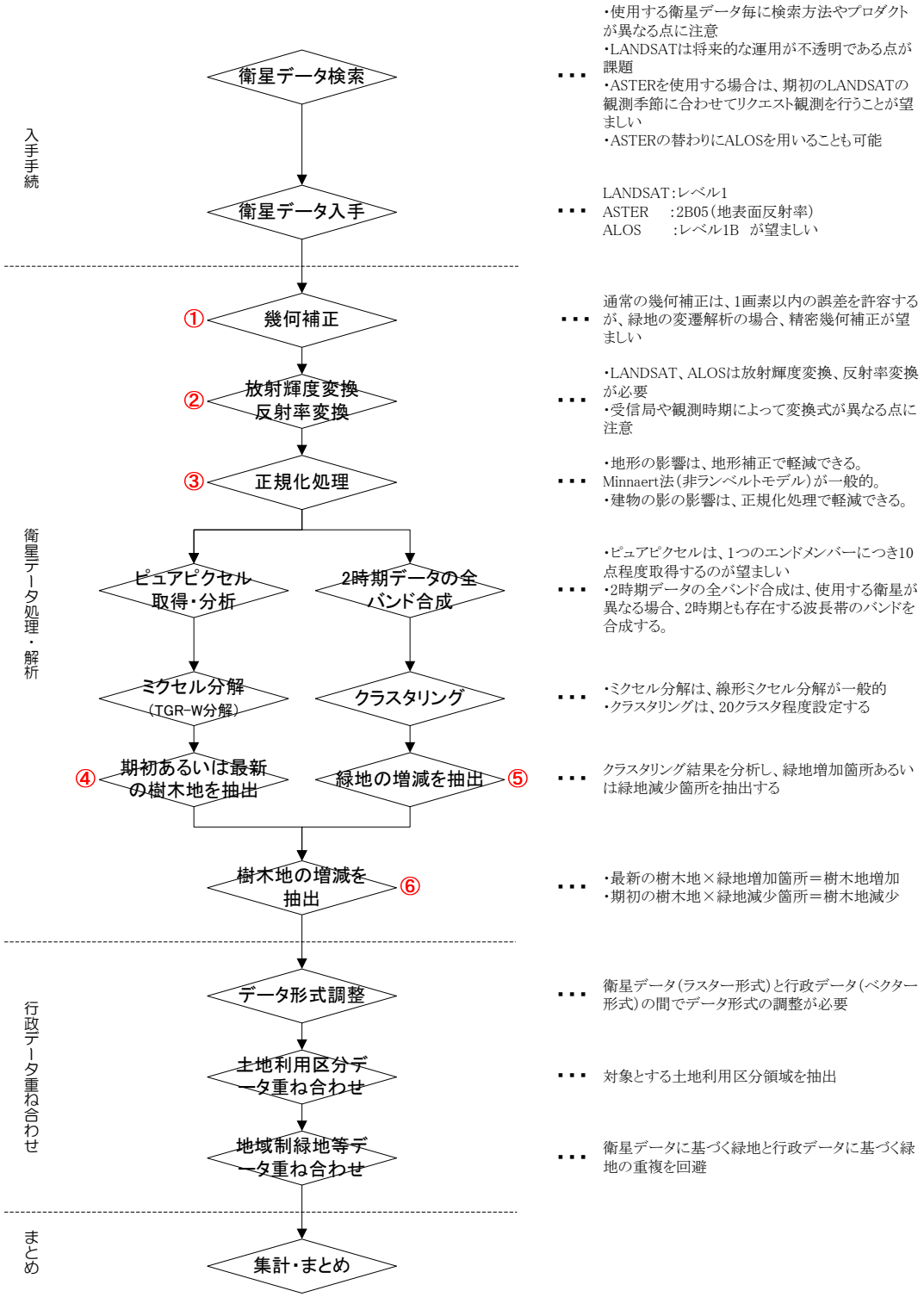
１）　光学系センサで得られた画像データから、画像処理手法によって雲を取り除くことは困難である。したがって、雲が緑地にかかっている場合は、緑地の変遷抽出は難しい。薄い雲や煙がかかっている場合は、対象物の目視による判別は可能だが画像処理による抽出は精度が低下する。

２）光学系センサで得られた画像データは、撮影季節・時刻や天候によって画像状態（画質）が異なることが多く、処理結果に影響することがある。例えば、街路樹の葉が茂った夏に取得した画像と落葉後の冬に取得した画像を比較すると葉が無くなった箇所があたかも樹木が減少した箇所として抽出されることがある。また、プラットフォームからの撮影角度や方向および時刻の違いで、影の付き方が２時期で異なると、異なった影の付き方が緑地の変化箇所として判断されることがある。

３）都市緑地の変遷を大局的に見ると、高度経済成長期に都市への人口集中が起こり大幅に緑地の減少が生じ、その後減少ペースは緩やかになっている。我が国の都市は人口過密状態にあることから、緑化等によって緑が増加した箇所は小さな面積の積み重ねであることが多い。したがって、都市緑地の変遷抽出に中分解能衛星画像を用いる場合、対象物に対して衛星の解像力が粗いので、抽出の正確性に一定の誤差が生じることを理解する必要がある。しかし、目視によって緑地の変化を見つけることは膨大な時間と労力を要する。画像処理による都市緑地の変遷抽出は、多少の誤差は生じるものの、広範囲の状況を迅速に推定できることがメリットであり、正確性を高めるためには、画像処理によって大まかに抽出された箇所を目視し、変化の有無を判断するといった位置付けを画像処理手法に与えることが適当である。

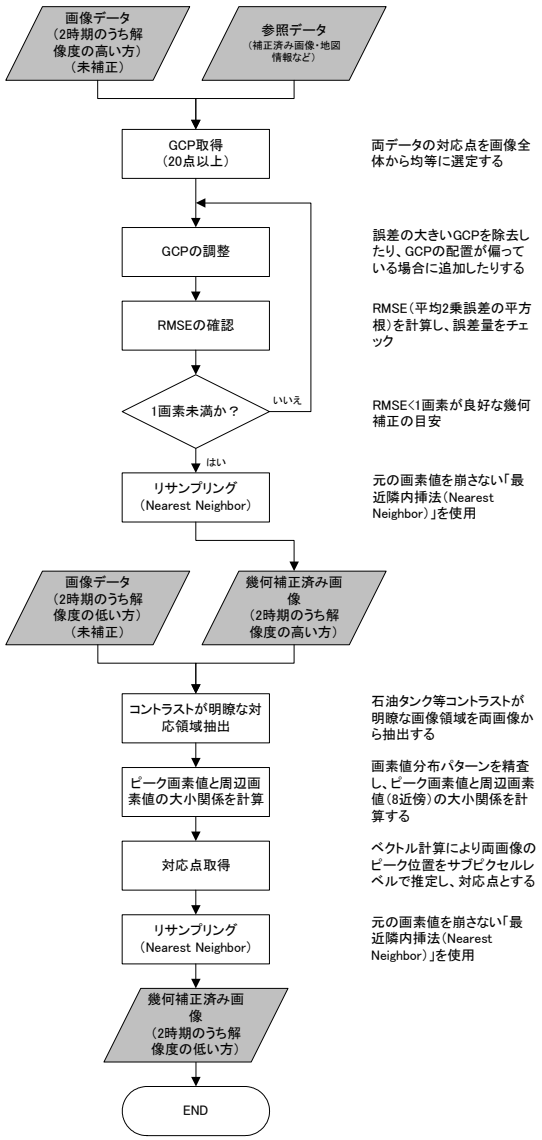
巻末資料

都市緑地変遷抽出の事例



付図１　都市緑地の変遷抽出のための画像処理手法

①幾何補正



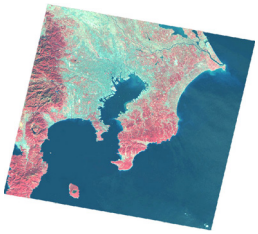
フロー図

処理手順

1） 衛星データと同じ範囲がカバーされた参照データ（地図画像など）を用意する。
2） 未補正の衛星データ（2 時期のうち解像度の高い方）と参照データの対応点（GCP）を画像全体から均等に選定する。20 点以上が目安。
3） 誤差の大きい GCP を除去する、GCP の配置の偏りを軽減させるなどの調整を行う。
4） RMSE（平均 2 乗誤差の平方根）を計算し、誤差量を確認する。
5） RMSE が 1 画素（LANDSAT の場合 30m）以上であれば、GCP を再調整する。1 画素未満であれば、リサンプリング（画素の再配列）に移行する。
6） リサンプリング方法は、「最近隣内挿法（Nearest Neighbor）」「共 1 次内挿法（Bi-Linear）」「3 次たたみ込み内挿法（Cubic Convolution）」などがあるが、元の画素値を崩さない最近隣内挿法を使用する。
7） 2 時期のうち解像度の高い方の幾何補正終了
8） 未補正の衛星データ（2 時期のうち解像度の低い方）と幾何補正済み衛星データ（2 時期のうち解像度の高い方）から、コントラストが明瞭な対応領域を抽出する。
（円形のターゲットが望ましい。ガスタンク、給水塔、ゴルフ場のバンカーなど）
9） ピーク画素値と周辺画素値（8 近傍）の大小関係を計算する。
１０） ベクトル計算により両画像のピーク位置を推定し、対応点とする。
１１） 最近隣内挿法でリサンプリングする。
１２） 2 時期のうち解像度の低い方の幾何補正終了

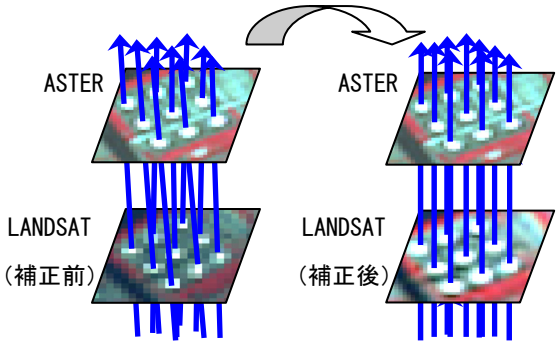
幾何補正前画像

（解像度の高い方）



幾何補正後画像

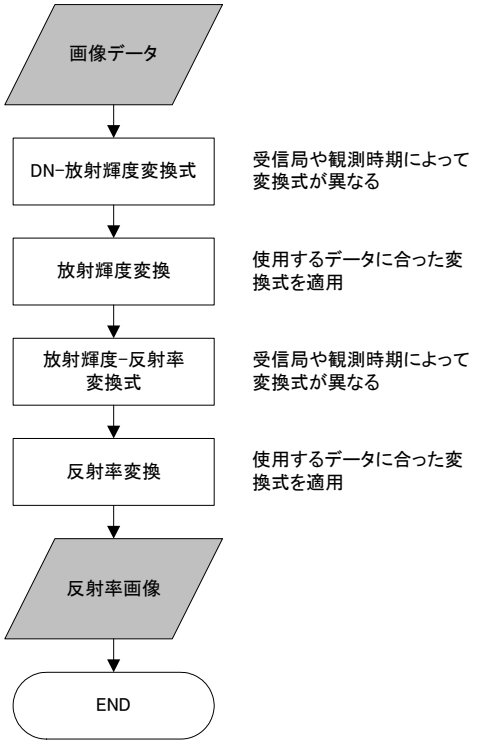
（解像度の高い方）



解像度の低い未補正画像と幾何補正済み画像の

精密幾何補正

②放射輝度変換・反射率変換



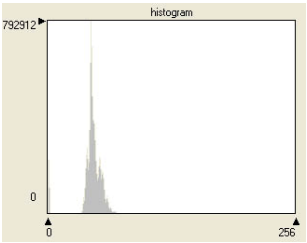
フロー図

処理手順

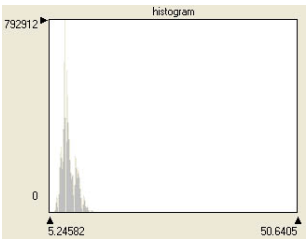
1） 画像データに記録されている DN 値から放射輝度に変換する式を調べる。変換式は受信局や観測時期によって異なるため、Read Me ファイルや配布期間や受信局の Web サイトを精査し、使用するデータに合った変換式を探索する。
2） 放射輝度変換演算
3） 放射輝度から反射率に変換する式を調べる。変換式は受信局や観測時期によって異なるため、Read Me ファイルや配布期間や受信局の Web サイトを精査し、使用するデータに合った変換式を探索する。
4） 反射率変換演算
5） 放射輝度変換・反射率変換終了

放射輝度・反射率変換前画像

放射輝度・反射率変換後画像



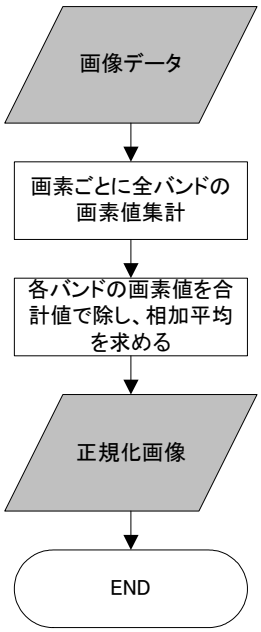
ヒストグラム



ヒストグラム

処理結果

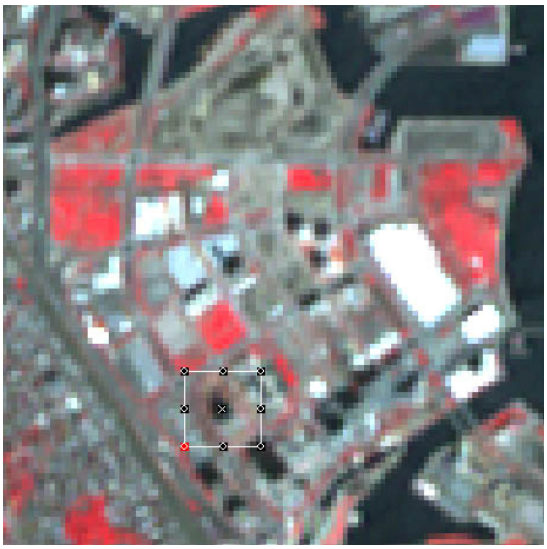
③正規化処理



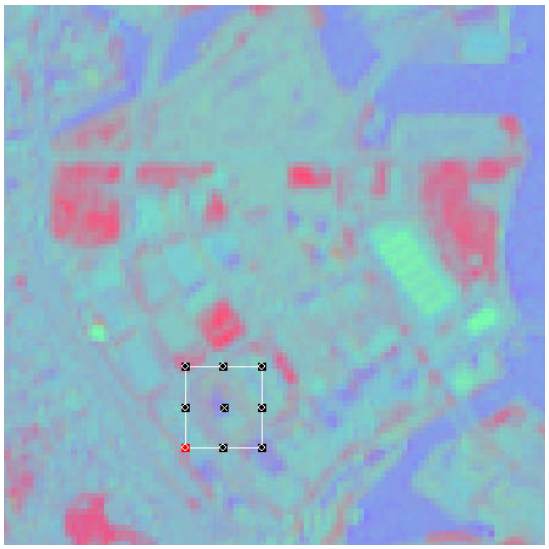
フロー図

処理手順

1） 建物の影や地形の影響を軽減するための処理である。
2） 衛星データの画素ごとに全バンドの画素値を集計し、合計値を求める。
3） 各バンドの画素値を２）の合計値で除し、相加平均を求める。
4） 全バンドを合成
5） 正規化処理終了



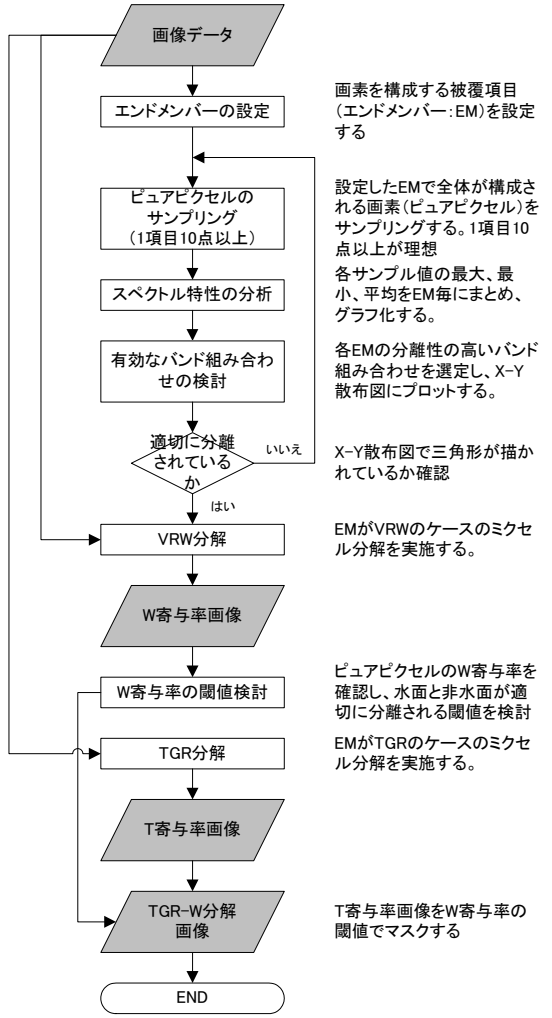
正規化処理前画像



正規化処理後画像

処理結果

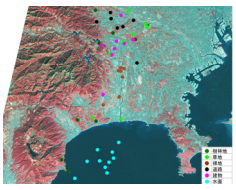
④ミクセル分解（TGR-W 分解）による期初あるいは最新の樹木地抽出



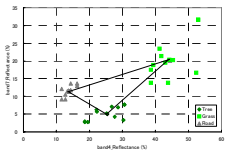
フロー図

処理手順

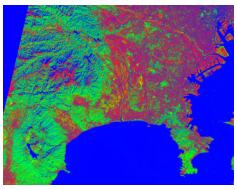
1） エンドメンバー（画素を構成する被覆項目）を設定する。
2） ピュアピクセル（設定したエンドメンバーで全体が構成されている画素）をサンプリングする。1 分類項目あたり 10 点以上が理想。
3） 各サンプルの最大、最小、平均値をエンドメンバー毎にまとめ、バンド別にグラフ化する。
4） 各エンドメンバーの分離性の高いバンド組み合わせを選定し、X-Y 散布図にプロットする。
5） X-Y 散布図で三角形が描かれ、分離性が認められるか確認する。分離性が悪い場合は、ピュアピクセルを再選定し、分析を繰り返す。
6） 線形ミクセルモデルにより、VRW 分解を実施する。
7） W の寄与率画像を作成する。
8） ピュアピクセルの W 寄与率を確認し、水面と非水面が適切に分離される閾値を検討する。
9） 線形ミクセルモデルにより、TGR 分解を実施する。
10） T の寄与率画像を作成する。
11） T の寄与率画像を閾値処理した W 寄与率画像でマスクし、T 寄与率のノイズを除去する。
12） ミクセル分解（TGR-W 分解）終了



ﾋﾟｭｱﾋﾟｸｾﾙｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ

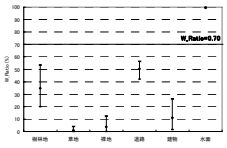


有効なﾊﾞﾝﾄﾞ組合せ

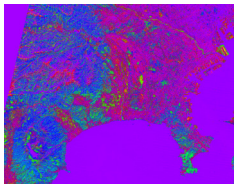


VRW 分解結果

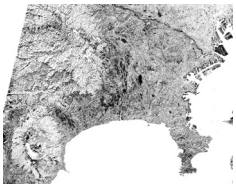
W 寄与率画像



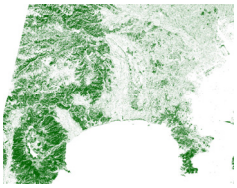
W 寄与率の閾値検討



TGR 分解結果



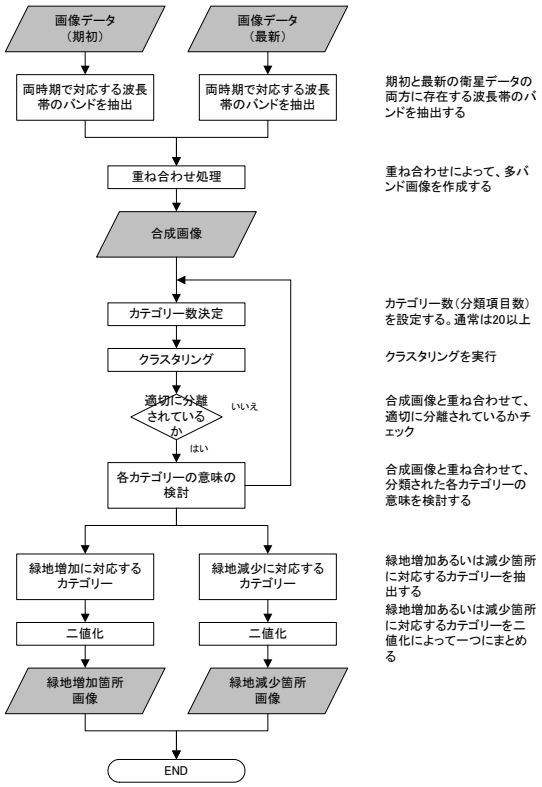
T 寄与率画像



TGR-W 分解画像

処理結果

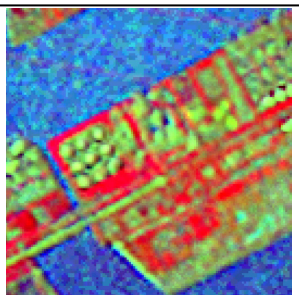
⑤2 時期データの全バンド合成とクラスタリングによる緑地変化抽出



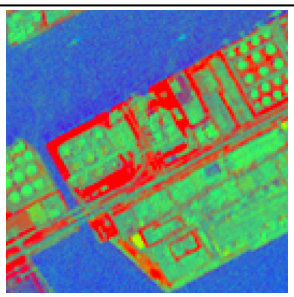
フロー図

処理手順

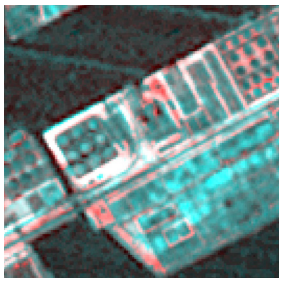
1） ①～③の前処理済みの期初の衛星データと最新の衛星データを準備する。
2） 2 時期の衛星データの両方に存在する波長帯のバンドを抽出する。(LANDSAT と ASTER の場合、LANDSAT の band2～4、ASTER の band1～3 の合計 6 バンド。LANDSAT と ALOS の場合、LANDSAT の band1～4、ALOS の band1～4 の合計 8 バンド)
3） 重ね合わせ処理により、多バンド画像を作成する。
4） カテゴリー数（分類項目数）を設定する。通常は 20 以上。
5） クラスタリング処理を行う。
6） クラスタリング結果を合成画像に重ね合わせ、適切に分類されているか確認する。
7） クラスタリング結果の各カテゴリーが何に対応するか、合成画像と重ね合わせて目視で検討する。
8） 緑地増加あるいは減少箇所に対応するカテゴリーを抽出する。
9） 二値化によって緑地増加あるいは減少箇所に対応するカテゴリーを一つにまとめる。
１０） 緑地変化抽出処理終了



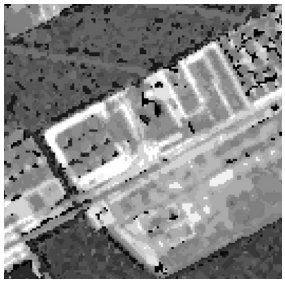
期初画像



最新画像

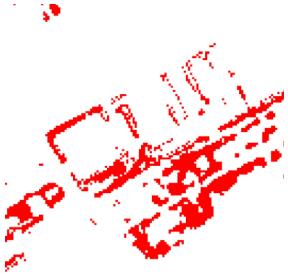


合成画像



クラスタリング結果

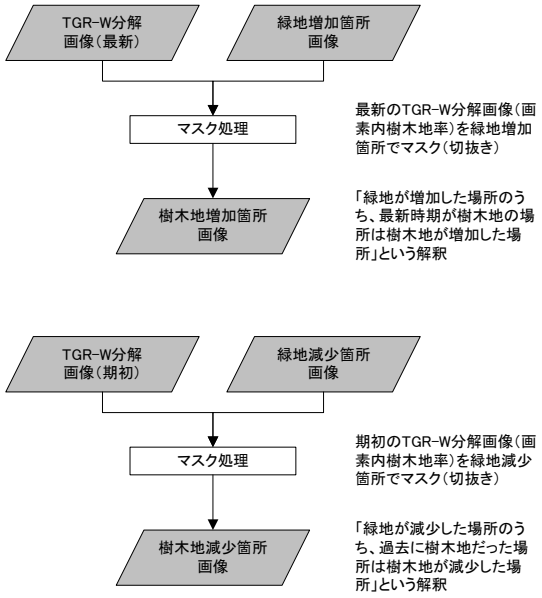
緑地増加箇所画像



緑地減少箇所画像

処理結果

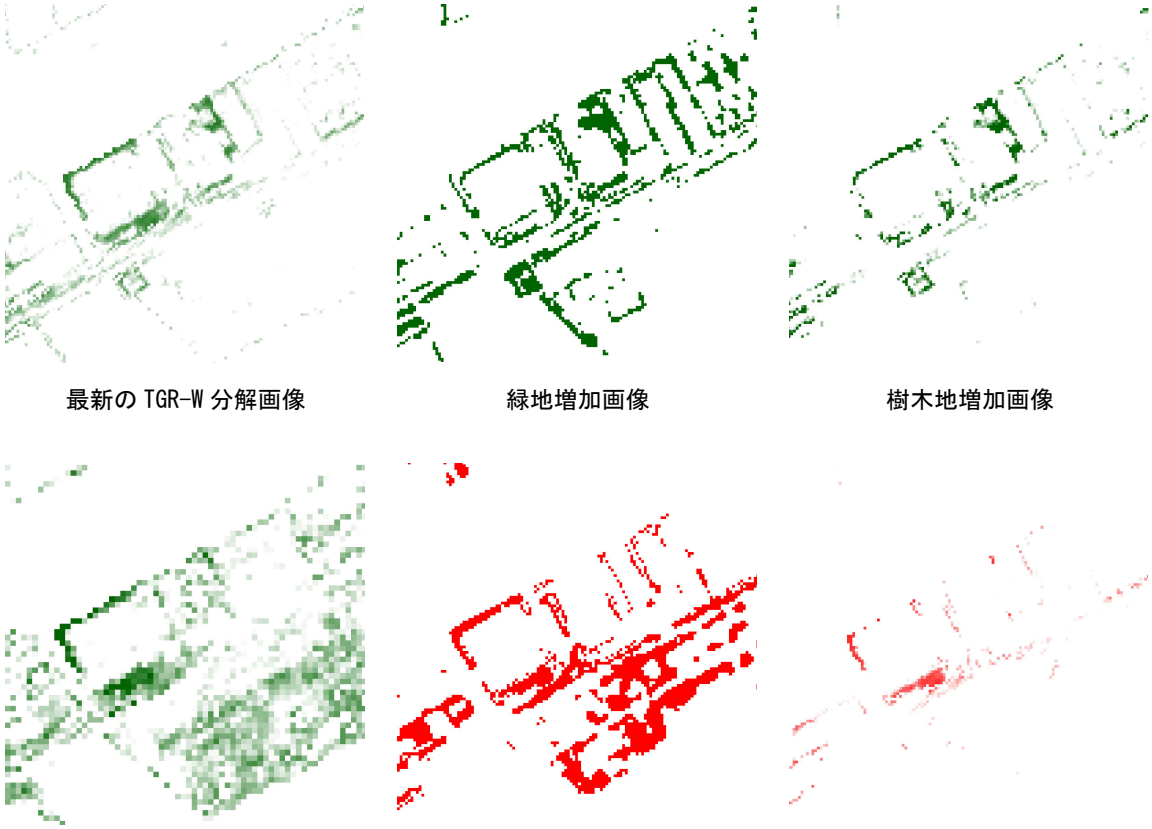
⑥期初あるいは最新の樹木地と緑地変化の併用による樹木地変化抽出



フロー図

処理手順

1） ④による最新時期の TGR-W 分解画像（画素内樹木地率）と⑤による緑地増加画像を準備する。
2） TGR-W 分解画像を緑地増加画像でマスク（切抜き）する。
3） 「緑地が増加した場所のうち最新時期が樹木地の場所は、樹木地が増加した場所」となり、樹木地増加画像が完成する。
4） ④による期初の TGR-W 分解画像（画素内樹木地率）と⑤による緑地減少画像を準備する。
5） TGR-W 分解画像を緑地減少画像でマスク（切抜き）する。
6） 「緑地が減少した場所のうち過去が樹木地だった場所は、樹木地が減少した場所」となり、樹木地減少画像が完成する。
7） 樹木地変化抽出処理終了



処理結果

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
No.436　　March 2008

編集・発行　©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
〒305-0804 茨城県つくば市旭１番地
企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675