

1. 調査概要

1.1 調査目的と調査項目

本調査では、人工衛星を利用した都市における緑地の調査手法を開発することを目的とし、次の5項目について検討を行った。

(1) 従来型人工衛星画像と高分解能人工衛星画像による緑地抽出と精度の検証 (第2章)

従来型人工衛星画像 (LANDSAT/TM) および高分解能人工衛星画像 (IKONOS) 利用による都市緑地抽出精度を、航空写真により抽出したものと比較することにより各リモートセンシング画像の精度等の検証を行った。

(2) 教師付き分類による都市緑地の抽出精度向上の検討 (第3章)

(1) で課題となった農地の抽出について、精度向上を目的として、教師付き分類により再度分類を試みた。さらに、IKONOS 画像からは、農地の細分化 (普通畑、果樹畑、苗木畑、芝畑) を試みた。

(3) 緑被分布図及び小樹林地分布図の作成 (第4章)

人工衛星画像の多目的利用のひとつとして、従来、航空写真判読による手作業で行われてきた緑被分布図 (植生被覆域を樹林地、草地、農地の区分で抽出した図) と小樹林地分布図 (緑地保全の対象となるまとまりのある樹林地を抽出した図) を、(2) の IKONOS 画像より抽出した都市緑地をもとに、デジタルマップとオーバーレイすることにより作成した。

(4) 常緑樹・落葉樹の区分と精度の検証 (第5章)

2時期の LANDSAT 画像及び IKONOS 画像を用いて、常緑樹・落葉樹の区分の抽出と精度の検証を行った。

(5) 都市緑地調査への適用性の検討 (第6章)

IKONOS 画像の都市緑地調査への適用可能性を、精度、コストから検討した。

1.2 調査対象地域

1.2.1 調査対象地域

調査対象地域は、東京都練馬区全域および石神井公園周辺（1km×1km）とした（図-1.1）。以後後者をケーススタディエリアと称する。緑地抽出は練馬区全域（IKONOS 2000年2月23日観測データを除く）を対象範囲として行ったが、各リモートセンシング手法の緑地抽出精度の比較は主としてケーススタディエリアを対象として行った。

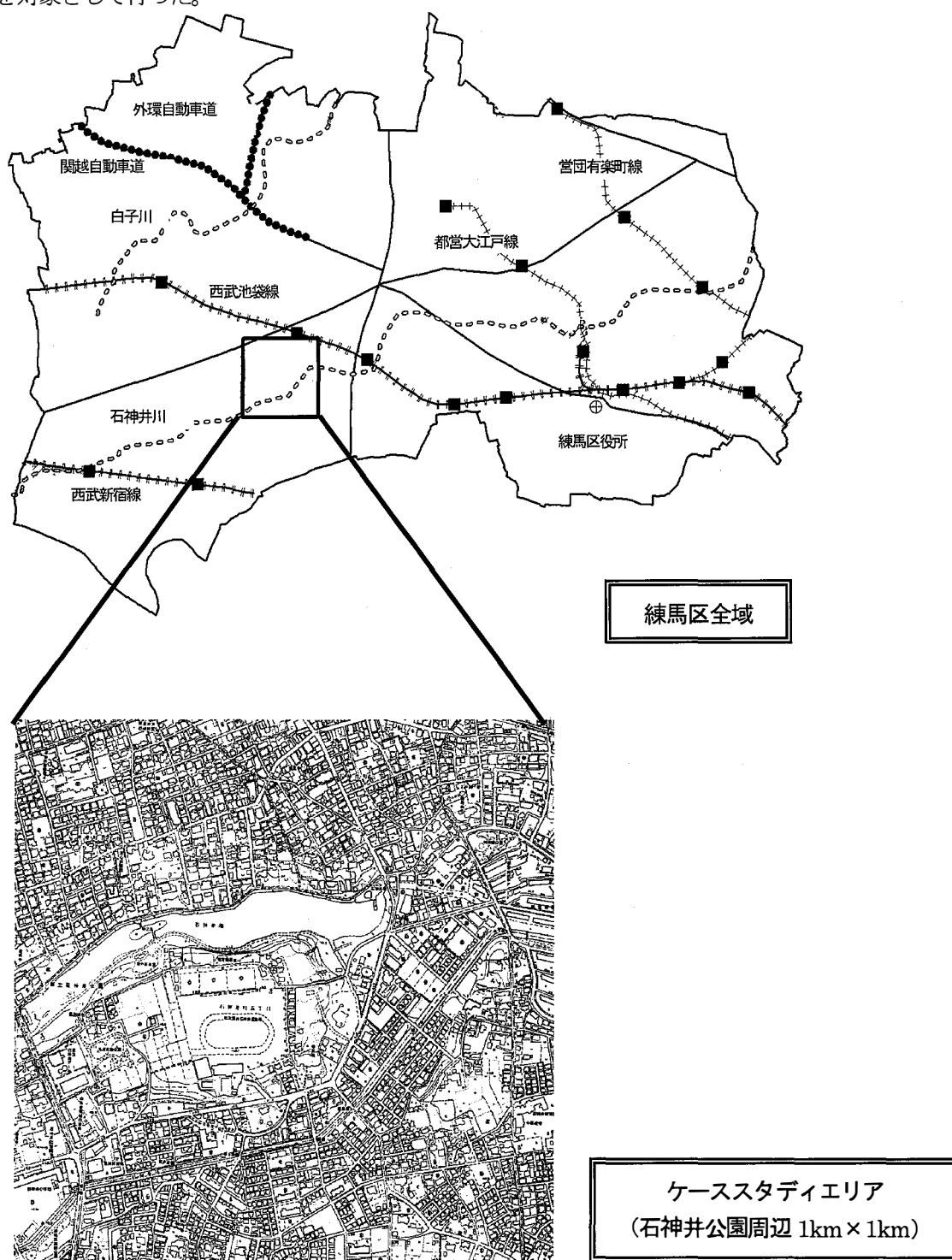


図-1.1 調査対象地域

東京都23区のうち都市と農村の境界部の特性を備えた東京都練馬区は、東京区部の北西部、都心（JR東京駅）より10kmから20kmの範囲に位置し、面積は4,816ha、区域である。

また、地形的には、武蔵野台地の北東部に位置し、東北東から北東に向かって傾斜しており、標高約30～50mの範囲にある。この傾斜に従い、石神井川が東北東方向に流れている。練馬区の住宅は、東西方向に走る私鉄各駅を中心に拡大し、都心に近い方から都市化が進んできている。

ケーススタディエリアは、練馬区内のうち石神井公園を中心とする1km四方の面積100haの範囲である。この範囲には、公園、農地、屋敷林、住宅地内の樹木、街路樹など、さまざまな形態を備えた緑地が含まれる。

1.3 各調査項目の概要

1.3.1 従来型人工衛星画像と高分解能人工衛星画像による緑地抽出と精度の検証

(1) 従来型人工衛星 LANDSAT/TM データを用いた都市緑地の抽出

ケーススタディエリア及び東京都練馬区全域において、従来型人工衛星のうち、LANDSAT/TM データを用いてクラスター分類による土地被覆分類を行い、樹林地および樹木が混在する土地被覆の抽出を行った。使用したデータは、1989年11月2日および1999年7月25日に観測されたデータである。

(2) 高分解能衛星 IKONOS データを用いた都市緑地の抽出

ケーススタディエリアにおいて、高分解能衛星 IKONOS を用いて、クラスター分類による土地被覆分類を行った。使用したデータは、2000年2月23日に観測されたデータである。

また、ここでは、デジタル・ジオ画像を用いた。本項目は、平成11年度に実施した調査であるが、IKONOS 画像は、平成11年度末より画像が供給され始めたため、デジタル・オルソ画像の準備が間に合わなかったためである。なお、IKONOS 画像の補正の違いによる位置精度の検証は、(5) (第6章)で行っている。

(3) 航空写真の利用による都市緑地の抽出

ケーススタディエリアにおいて、写真判読により、樹木、樹林に覆われた部分の抽出を行い、常緑、落葉の種類を確定、緑地面積および樹木本数の算出を行った。使用したデータは、1989年11月、1992年2月、1999年8月に撮影された航空写真である。

(4) 樹木現地調査

ケーススタディエリアにおいて30m×30mの現地調査対象地点を12ヵ所選定し、常緑樹林と落葉樹林の判別、単木の種類確定および樹木の本数、高さ、胸高直径を測定した。

(5) 都市緑地抽出手法の比較検討

緑地の面積や樹木本数の精度等について比較検討を行い、各々の手法の特徴や情報抽出のためのプロセス等を整理することで、以下の検証を行った。

①分類処理の適用性の検証

- ・クラスター分類手法の妥当性の検証

②画像解像度の違いによる緑地抽出精度の検証

- ・位置精度（幾何補正精度）の検証
- ・緑地抽出結果の定性的な比較
- ・緑地面積の比較検討

③多様な調査への適用性の検討

- ・効率性の検討
- ・ミクセルの補正による精度向上可能性の検討
- ・土地被覆分類結果と樹木現地調査結果との比較
- ・経年変化の検討（LANDSAT/TM 画像 1989年→1999年）
- ・常緑樹、落葉樹の分類可能性の検討

1.3.2 教師付き分類による都市緑地の抽出精度向上の検討

(1) 検証用画像の作成

緑地抽出精度の検証に用いる資料として、ケーススタディエリアについては航空写真（1999年8月撮影）から緑地判読画像を作成した。練馬区全域については「平成8年度練馬区みどりの実態調査」で作成した緑被分布図をデジタルモザイクした画像を作成した。

(2) IKONOS 画像による都市緑地の抽出

ケーススタディエリアおよび練馬区全域において、2000年8月8日に観測されたIKONOS デジタルオルソ・ライト画像の教師付き分類により緑地を抽出した。

(3) 緑地抽出の誤差の検討

ケーススタディエリアおよび練馬区全域について、上記の検証用画像とIKONOSによる緑地抽出画像を比較し、緑地抽出の精度を検討した。

(4) LANDSAT/TM 画像による都市緑地の抽出

1.3.1で実施したLANDSAT/TMデータのクラスター分類では、農地と緑の多い住宅地の区分が困難であった。そこで、教師付き分類による再分類を行い、農地と緑の多い住宅地の区分を試み、検証用画像と比較検討した。

1.3.3 緑被分布図、小樹林地分布図の作成

1.3.2で得られた緑地抽出結果をもとに、樹林地については、面積300m²以上と300m²未満に区分し、東京都所有の1/2,500DMデータと重ね合わせ緑被分布図と小樹林地分布図を作成した。

1.3.4 常緑樹・落葉樹の区分と精度の検証

ケーススタディエリアにおいて、LANDSATおよびIKONOSの夏季と冬季の画像を用いて、常緑樹と落葉樹の区分抽出を行い、航空写真判読による検証用画像と比較検討した。

1.3.5 都市緑地調査への適用性の検討

以上の結果を受け、分解能が低いLANDSAT/TM画像は、小規模緑地が多数混在している都市緑地の調査への適用性は低いとし、近年、画像が供給され始めたIKONOS画像の都市緑地調査への適用性について、航空写真との比較において以下の検討を行った。

(1) 精度から見た適用性の検討

(2) コストから見た適用性の検討

1.4 調査に使用した衛星画像等

本調査では、各種人工衛星データ、航空写真、デジタルマップデータのほか、いくつかの調査資料を使用した。表-1.1 に調査に使用した資料を示す。なお、調査に使用した人工衛星データと航空写真の詳細については、資料編1に示した。

表-1.1 調査に使用した資料

種類		観測/作成年月日	諸元
従来型人工衛星	LANDSAT/TM	1989年11月2日	Path107-Row35
		1999年7月25日	Path107-Row35
	LANDSAT/ETM+	2000年12月26日	Path107-Row35
高分解能衛星 IKONOS		2000年8月8日	デジタルオルソ・ライト マルチスペクトル
		2000年2月23日	デジタルジオ マルチスペクトル
航空写真		1989年11月	1/10,000
		1992年2月	1/9,000
		1999年8月	1/11,000
デジタルマップデータ			1/2,500 (東京都)
土地利用データ		1994年	国土地理院発行 細密数値情報
地形図		国土地理院発行：1/50,000 地形図 「東京西北部」「東京西南部」	
		練馬区発行：1/2,500	
既往調査資料		平成3年度 練馬区みどりの実態調査報告書 (航空写真：平成3年11月4日撮影)	
		平成8年度 練馬区みどりの実態調査報告書 (航空写真：平成8年6月5日、20日撮影)	
		緑被分布図 (練馬区みどりの実態調査1996年)	
		まとまりのある緑被分布図 (練馬区みどりの実態調査1996年)	

2. 従来型人工衛星画像と高分解能人工衛星画像による緑地抽出と精度の検証

2.1 概要

従来型人工衛星データ、高分解能衛星データ、航空写真を用いて都市緑地を抽出した。従来型人工衛星としては、広い観測幅、豊富なバンド数をもつ LANDSAT/TM データを選定した。高分解能人工衛星は、平成 11 年度後半より画像提供され始めた IKONOS データを用いた。なお、従来型人工衛星 LANDSAT/TM、高分解能人工衛星 IKONOS、航空写真の詳細な緒元は、資料編 1 に記載した。

ケーススタディエリアの緑地抽出は、2 時期の LANDSAT/TM データ、1 時期の IKONOS データ、3 時期の航空写真を用いて行った。

練馬区全域の緑地抽出は、2 時期の LANDSAT/TM データについて行った。

現地樹木調査は、LANDSAT/TM の分類結果を検証するために、ケーススタディエリア内の 12 点 (30m 四方) について行った。

各リモートセンシングデータによる緑地抽出の流れを図-2.1 にまとめた。詳細については次節以降で述べる。

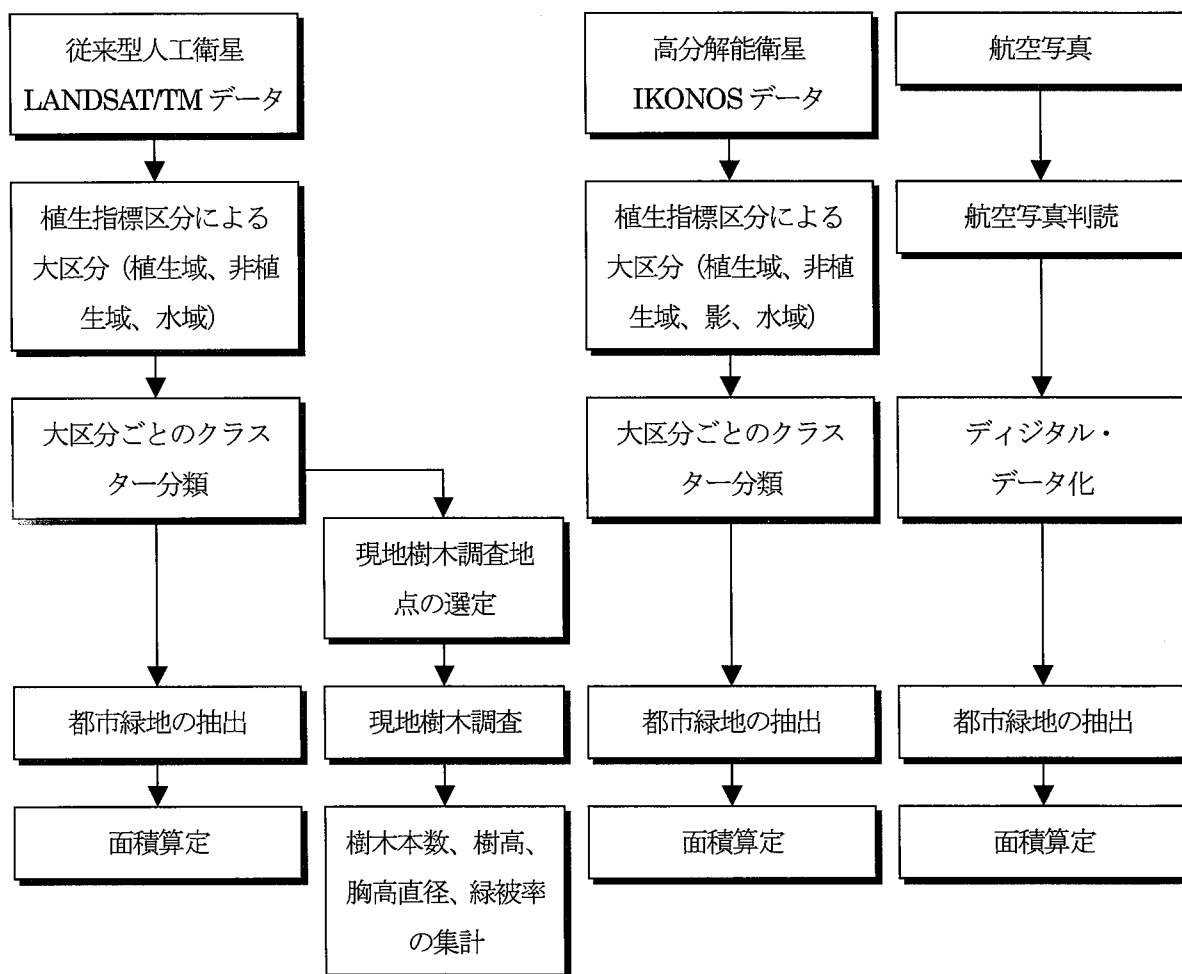


図-2.1 都市緑地の抽出の流れ

2.2 従来型人工衛星データを用いた都市緑地の抽出

ここでは、従来型人工衛星 LANDSAT/TM データを用いて都市緑地の抽出を試みた。
LANDSAT/TM データの解析の流れを図-2.2 に示し、以下に説明する。

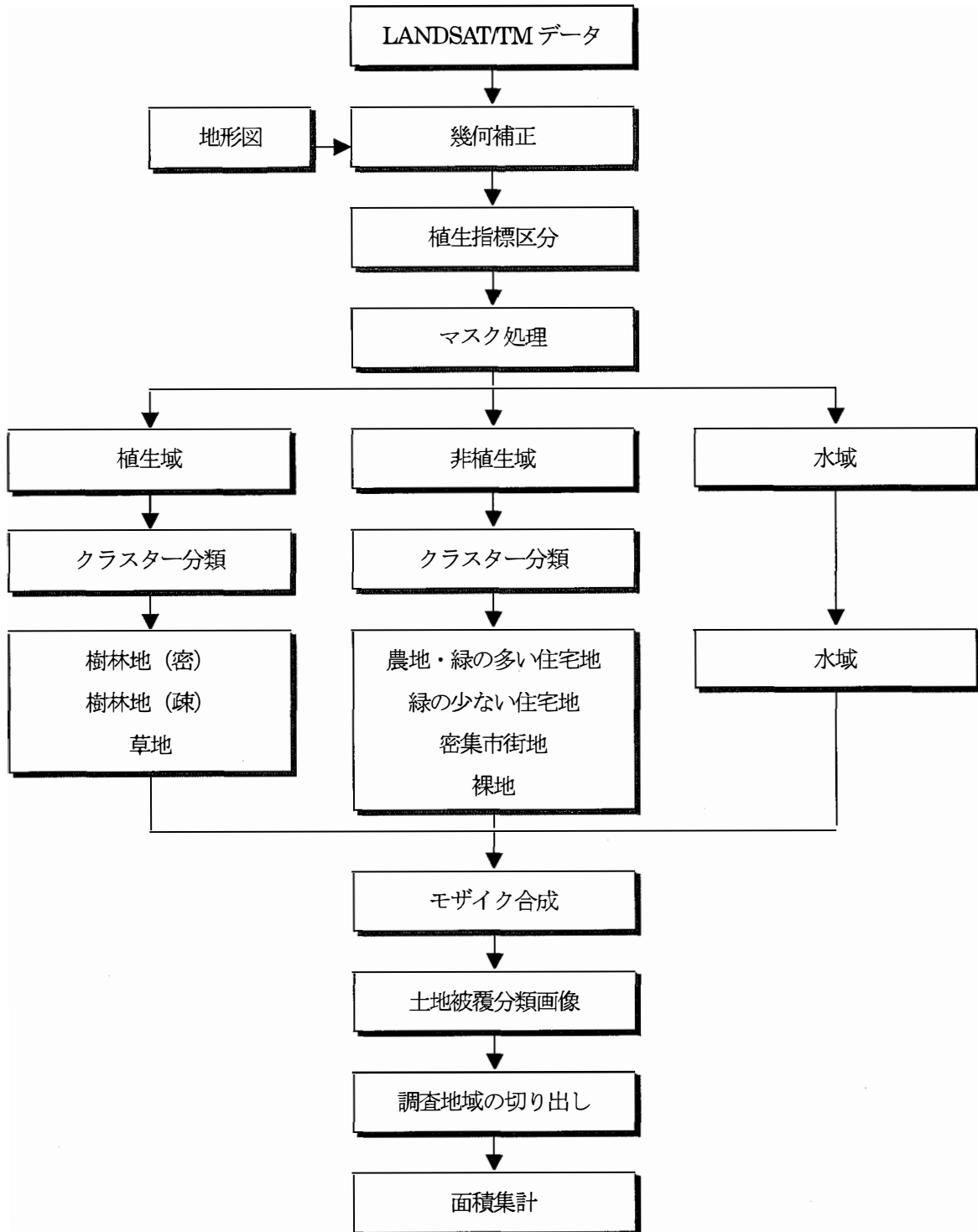


図-2.2 従来型人工衛星データによる都市緑地抽出の流れ

(1) 植生指標区分

幾何補正後の画像を用いて植生指標を求め、植生域、非植生域、水域に区分する。植生指標とは、植生の有無、多少、活性度を示す指標であり、複数のバンドを使用して算出する。これは、植物に含まれるクロロフィルが赤や青の波長の光を吸収し、近赤外域の波長の長い部分で強く反射する(図-2.3)性質を利用したものである。ここでは代表的な指標であるNDVI(Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指標)を求めた。NDVIは、植物の量に対応するとされ、NDVI値が高いほど植生が多いといえる。LANDSAT/TMの場合、バンド3とバンド4を用いて以下の式でNDVIの値が求められる。

$$NDVI = (band4 - band3) / (band4 + band3) \dots \dots \dots \text{式 (2)}$$

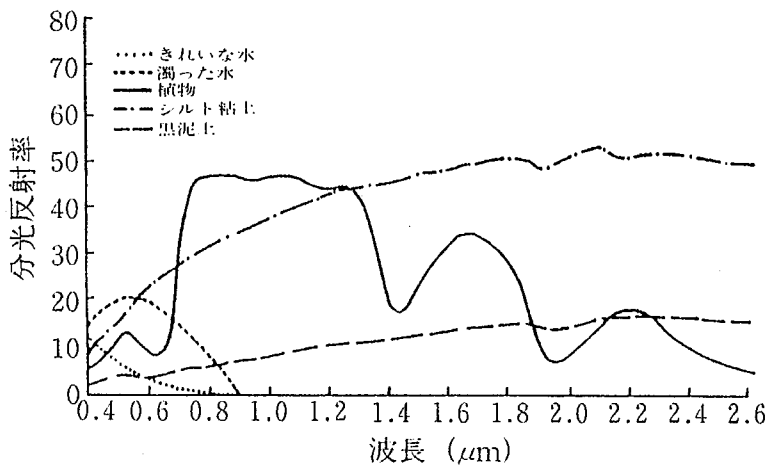


図-2.3 植物の分光反射特性¹⁾

NDVIは-1~1の値をとるため、画像データとして取り扱うには0~255の値になるように線形変換する必要がある。線形変換には以下の式を用いた。

$$NDVI_{8bit} = (NDVI \times 100) + 128$$

NDVI_{8bit} : 8bit (0~255) に納まる植生指標

このようにして作成した植生指標画像を図-2.4~図-2.7に示す。



図-2.4 植生指標画像（練馬区全域：1989年11月2日観測）



図-2.5 植生指標画像（練馬区全域：1999年7月25日観測）

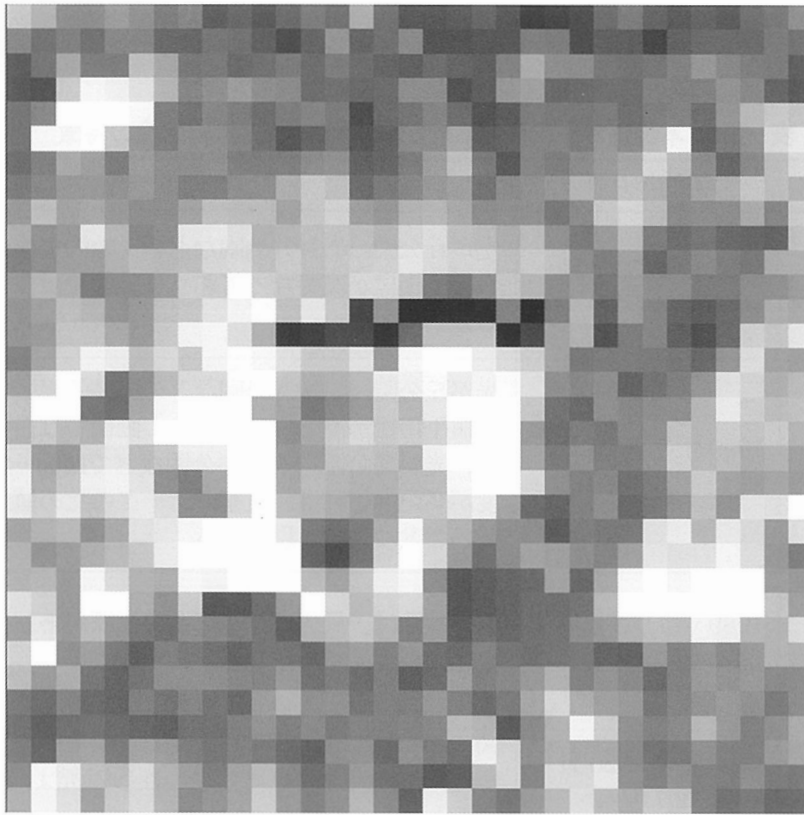


図-2.6 植生指標画像 (ケーススタディエリア : 1989年11月2日観測)

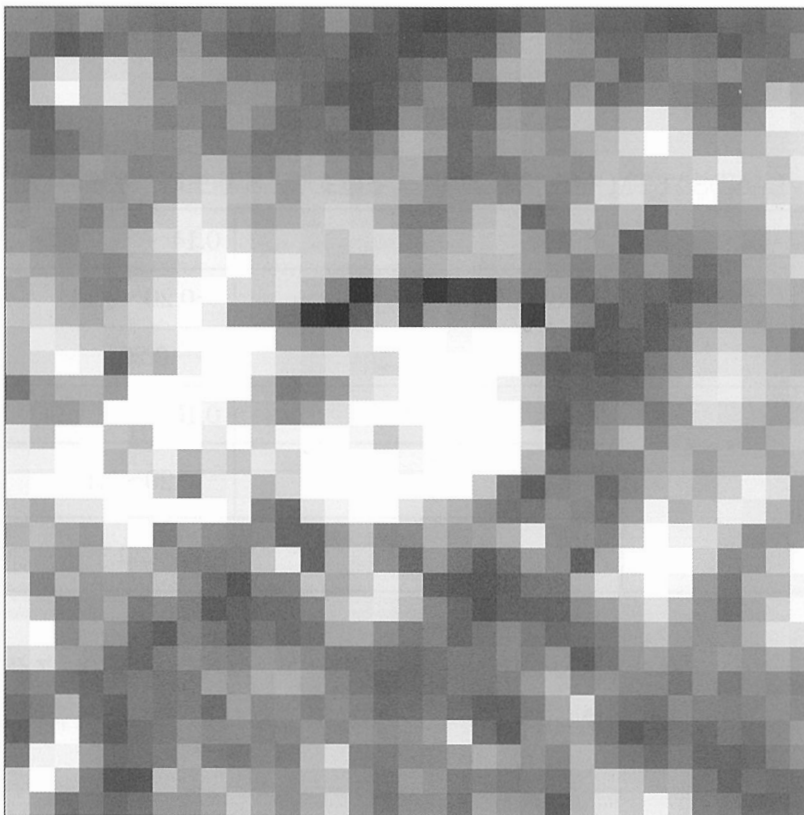


図-2.7 植生指標画像 (ケーススタディエリア : 1999年7月25日観測)

図-2.4～図-2.7の植生指標画像の特徴を表-2.1にまとめた。

表-2.1 本調査で作成したLANDSAT/TM 植生指標画像の特徴

観測対象	観測年月日	特徴
練馬区全域	1989年11月2日 (図-2.4 参照)	光が丘公園、石神井公園などの比較的規模の大きい公園の植生指標が高くなっており、画像では白く発色している。
	1999年7月25日 (図-2.5 参照)	光が丘公園、石神井公園などの比較的規模の大きい公園の植生指標が高くなっており、画像では白く発色している。光が丘公園、石神井公園などでは図-2.4 と比べ輝度が高い。これは、夏季のデータのため植生の活性度が高いことによると思われる。
ケーススタディ エリア (1km× 1km)	1989年11月2日 (図-2.6 参照)	石神井池は、周辺に比べて植生指標が著しく低く、水域の区分が容易であることがわかる。
	1999年7月25日 (図-2.7 参照)	図-2.6 と比べ、石神井池周辺の植生指標値が高い。また、画像中央部の草地と思われる個所は、図-2.6 と比べると著しく輝度が高い。

次に、作成した植生指標画像をフォールスカラー画像（資料編1、図-1.3、図-1.4）の上にオーバーレイし、植生域、非植生域、水域のしきい値を求めた。その結果を表-2.2に示す。

表-2.2 LANDSAT/TM 植生指標画像による植生域、非植生域、水域のしきい値

1989年11月2日	植生域	0.14～
	非植生域	-0.20～0.14
	水域	～-0.20
1999年7月25日	植生域	0.15～
	非植生域	-0.20～0.15
	水域	～-0.20

求めたしきい値を用いてマスク処理を行ない、植生域、非植生域、水域の3種のマスク画像を作成した。マスク処理を行うことにより、分類対象画像の画素値の分散が小さくなり、誤分類を軽減し分類精度を向上させることができる。

(2) クラスター分類

(1) で作成した3種のマスク画像に対し、クラスター分類によって土地被覆分類を行なった。クラスター分類は、特徴の類似したデータを「似たものどうし」としてグループ(クラスター)化する手法であり、トレーニングデータを用いない「教師無し分類」の代表的な手法である。一般に分類精度はトレーニングデータを用いた「教師つき分類」のほうが精度が高いとされているが、多数のトレーニングデータを必要とするため作業効率が低下する。本調査は、広域緑地調査への適用性も念頭においているため、トレーニングデータを取得できない状況での精度検証を実施することをテーマに、クラスター分類を実施することにした。

クラスター分類を実施する際、土地被覆分類項目数に応じてクラスター数を設定する必要がある。そのため、あらかじめ土地被覆分類項目を設定した。土地被覆分類項目の設定は、表-2.3を参考にした。これによるとレベルⅠからレベルⅢまでの土地被覆分類項目が存在するが、本調査の対象は都市緑地であるため同一の地被状態が広域にわたっておらずミクセル(複数の土地被覆が混在しているピクセル)が多数存在することを考慮すると、高レベルの分類は困難であると思われる。そのため、レベルⅠを基に表-2.4の土地被覆分類項目を設定した。

表一-2.3 土地被覆分類項目の設定基準²⁾

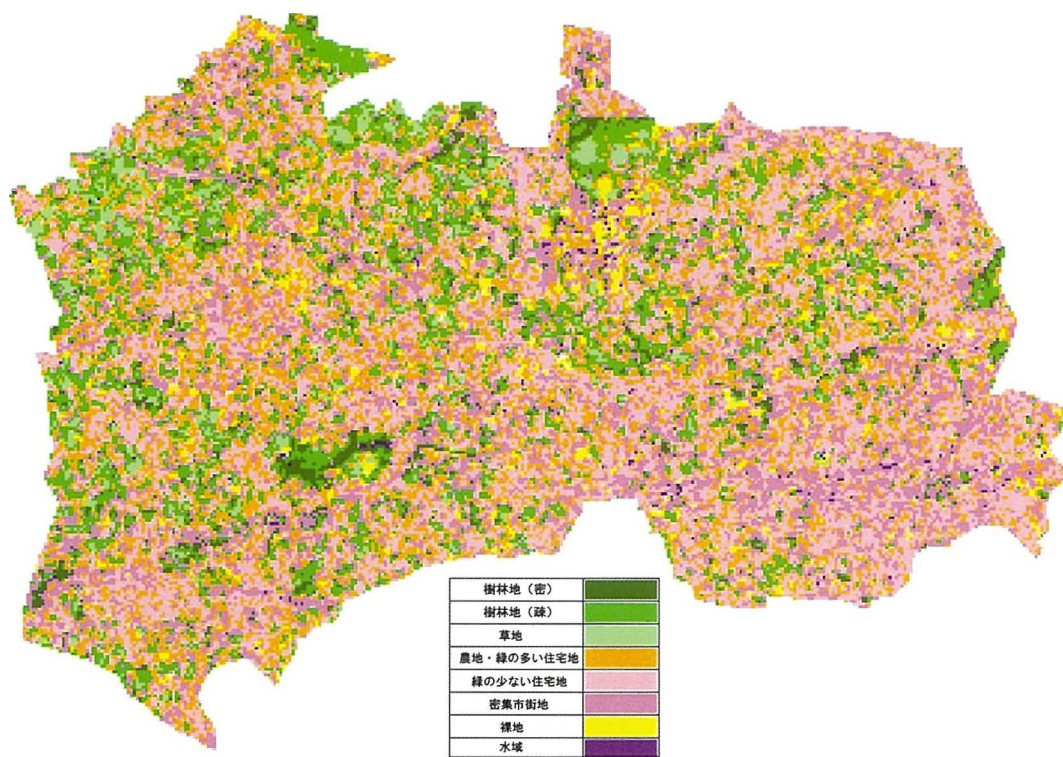
レベルI	レベルII	レベルIII	定義
1.都市・集落 (人工構造物)	11.居住地 12.工場 13.特殊施設 14.道路	111.高密度市街地 112.低層市街地 113.大規模住宅団地 114.集落 115.その他 121.工場 131.屋外運動競技施設 132.運輸流通施設 133.その他の施設 141.自動車専用道路 142.幹線道路 143.その他の道路	中高層建築物が密集している市街地 住宅を主とする低層の市街地 中高層の住宅団地 市街を形成しない農村集落等 学校、兵舎等上記以外の居住地 大規模な工場と施設 総合運動場、競技場、野球場等の施設でフィールドを持つもの 空港、駅、港湾施設、倉庫等の運輸流通業務を行うための施設 タンク、温室等の上記以外の施設 高速道路、有料道路等の自動車専用道路 幅の広い幹線道路 その他判断可能な道路
2.農草地	21.水田 22.畑 23.草地	211.水田 221.普通畑 222.その他の畑 231.牧草地 232.芝地 233.野草地 234.かん木・やぶ 235.湿性草地	水稲、い草、蓮等が栽培されている水田 麦、陸稲、野菜等が栽培されている土地 茶畑、桑畑、樹木畑 牧草が栽培されている土地 ゴルフ場等の芝地 自然の草で覆われている土地 主としてかん木・やぶで覆われている土地、はい松地を含む 自然の草で覆われている湿地
3.林地	31.針葉樹林 32.広葉樹林 33.混交林 34.その他の林地	311.植栽林 312.その他の針葉樹林 321.常緑広葉樹林 322.落葉広葉樹林 331.混交林 341.果樹園 342.その他の樹林	規制的に植林されている針葉樹林 植栽林以外の針葉樹林 常緑広葉樹を主とする林地 落葉広葉樹を主とする林地 針葉樹、広葉樹等が混在する林地 果樹が栽培されている土地 上記以外の竹、しゅろ科樹木等の林地
4.裸地	41.露岩 42.砂礫 43.土 44.その他	411.溶岩 412.採石場 413.その他の露岩 421.火山性砂礫地 422.砂浜・礫浜 423.その他の砂礫地 431.埋立地 432.造成地 433.空地・その他 441.枯草地 442.湿地	溶岩からなる露岩 採石のための人工的に造られた露岩 溶岩、採石場以外の露岩 火山性砂礫からなる土地 砂または礫からなる浜、砂州等 河原等上記以外の砂礫地 埋立地の裸地 造成中の裸地 空地、グラウンド等土で覆われた裸地 枯草で覆われた裸地 干潟、干拓地等で植生のない湿性の裸地
5.水域	51.河川・水路 52.湖沼 53.海部	511.河川・水路 521.湖沼 522.貯水池・池 531.海部	河川、水路 湖、沼 貯水池、池 海
6.雪・氷	61.雪 62.氷	611.雪 621.氷	雪で覆われた土地 氷で覆われた土地
[雲] [影]			

表-2.4 LANDSAT/TM による土地被覆分類で設定した分類項目

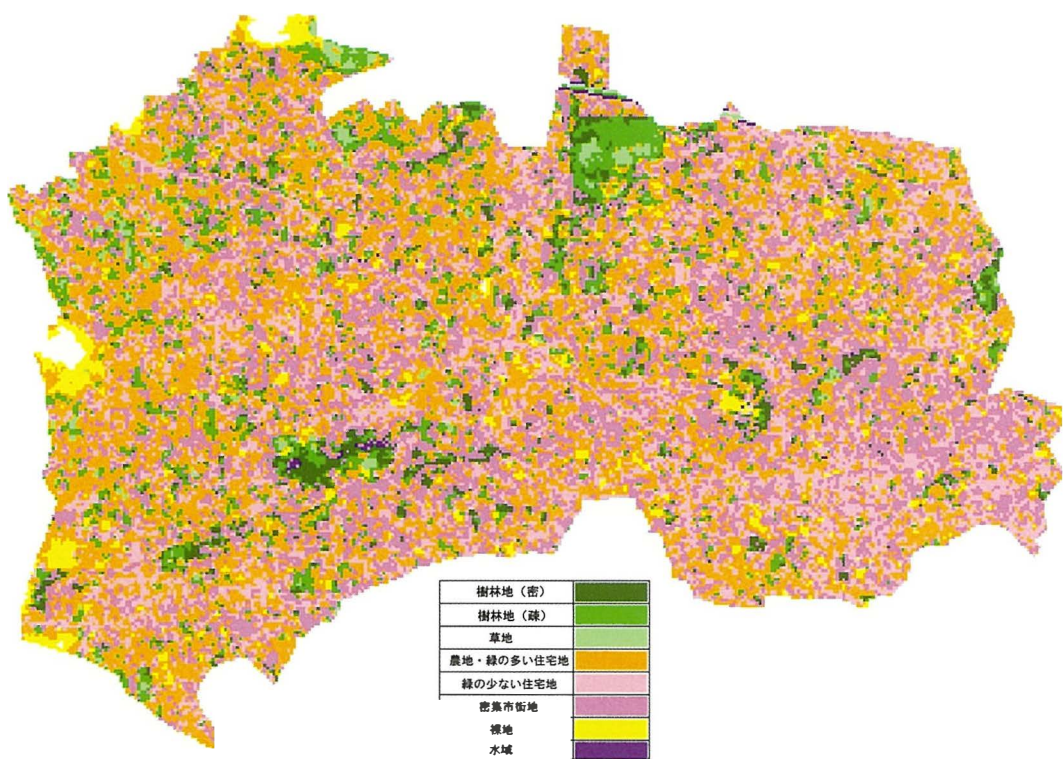
分類項目	説明
樹林地 (密)	密集した樹林地
樹林地 (疎)	樹間密度の低い樹林地
草地	雑草地、芝地
農地・緑の多い住宅地	水田・畑などの農地、緑の多い低層市街地
緑の少ない住宅地	緑の少ない低層市街地
密集市街地	中高層建築物が密集した市街地
裸地	砂地、空地、造成地など
水域	河川、湖沼

この分類項目を (1) で作成したマスク画像にあてはめると、植生域画像からは「樹林地 (密)」「樹林地 (疎)」「草地」を抽出し、非植生域画像からは「農地・緑の多い住宅地」「緑の少ない住宅地」「密集市街地」「裸地」を抽出することとなる。1項目あたり 10 クラスタ程度の設定とするため、ここでは各マスク画像につき 30 クラスタ、合計 60 クラスタを設定した。なお、クラスタに用いたバンド数は、熱赤外域データ (バンド6) を除く 6 バンドである。

以上により作成した土地被覆分類画像を図-2.8～図-2.11 に示す。



図一2.8 土地被覆分類画像（練馬区全域・1989年11月2日観測）



図一2.9 土地被覆分類画像（練馬区全域：1999年7月25日観測）

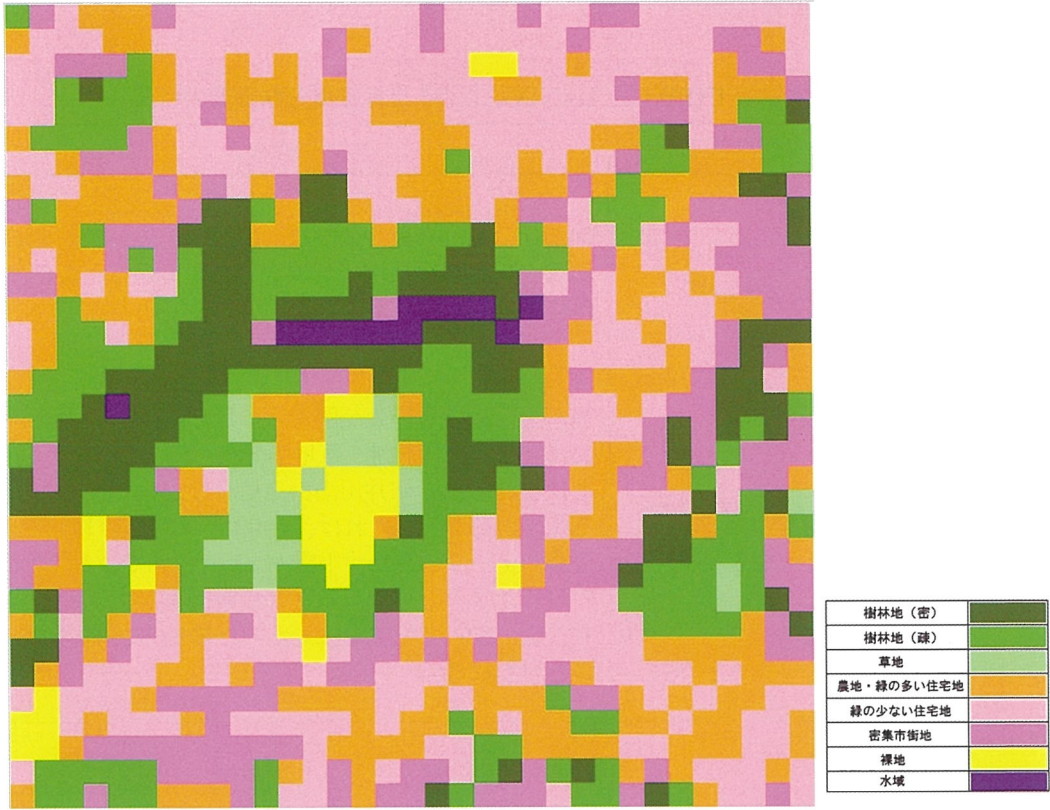


図-2.10 土地被覆分類画像 (ケーススタディエリア : 1989年11月2日観測)

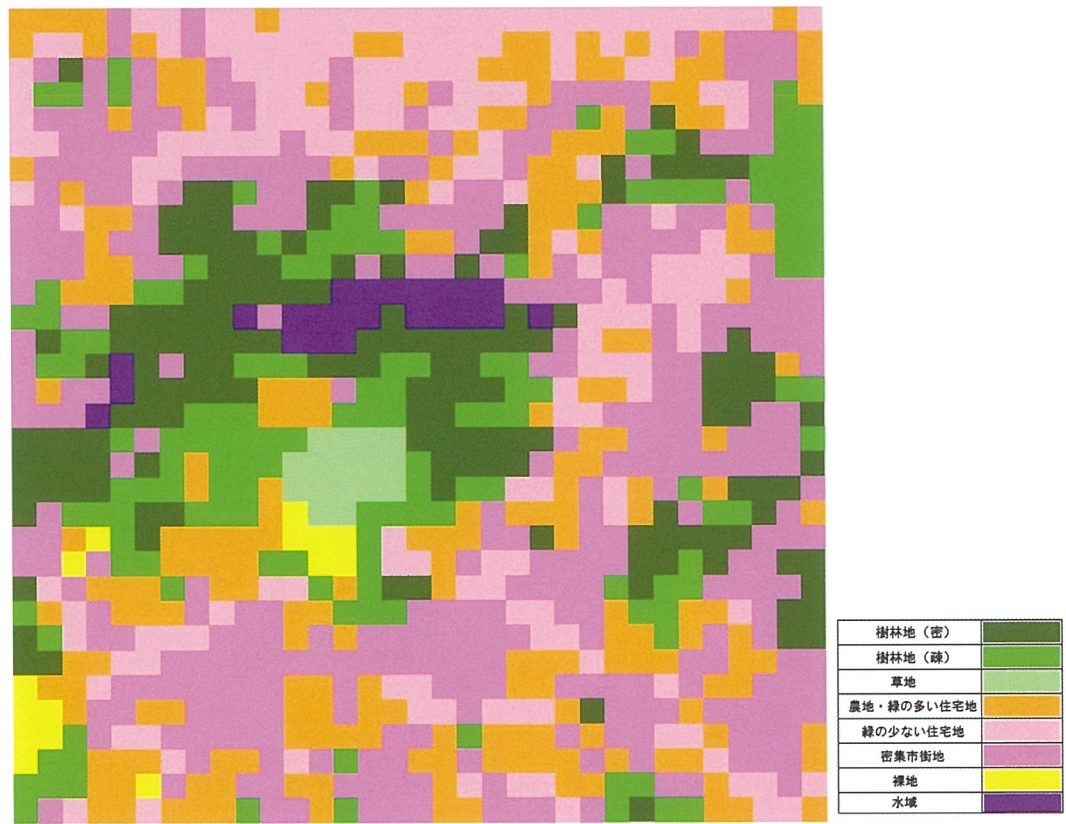


図-2.11 土地被覆分類画像 (ケーススタディエリア : 1999年7月25日観測)

図-2.8～図-2.11の土地被覆分類画像の特徴を表-2.5にまとめた。

表-2.5 本調査で作成したLANDSAT/TM 土地被覆分類画像の特徴

観測対象	観測年月日	特徴
練馬区全域	1989年11月2日 (図-2.9 参照)	光が丘公園、石神井公園などの比較的規模の大きい公園にまとまった樹林地、草地在り分布している。また、区西部に小規模な樹林地や草地在り分布している。
	1999年7月25日 (図-2.10 参照)	光が丘公園、石神井公園などの比較的規模の大きい公園にまとまった樹林地、草地在り分布している。また図-2.9と比べると、石神井川沿いに樹林地が列状に分布している様子が分かる。これは、1999年7月25日のデータが夏季のデータのため、川沿いに植樹されている落葉樹(おそらくサクラと思われる)の樹冠面積が大きいことにより、図-2.9で見出しにくかった樹林地帯が抽出されたものと思われる。
ケーススタディ エリア (1km× 1km)	1989年11月2日 (図-2.11 参照)	石神井池周辺にまとまった樹林地が分布している。時期的に落葉の可能性があるため、図-2.12と比べて樹林地(疎)が多く分布している。また、画像中央部の草地と思われる個所、は芝枯れのため裸地に分類されている。
	1999年7月25日 (図-2.12 参照)	石神井池周辺にまとまった樹林地が分布している。夏季のデータのため、図-2.11と比べて樹林地(密)が多く分布している。画像中央部の草地と思われる個所は、明瞭に草地に分類されている。

2.3 高分解能衛星データを用いた都市緑地の抽出

ここでは、高分解能衛星 IKONOS データを用いて都市緑地の抽出を試みた。
IKONOS データの解析の流れを図-2.12 に示し、以下に説明する。

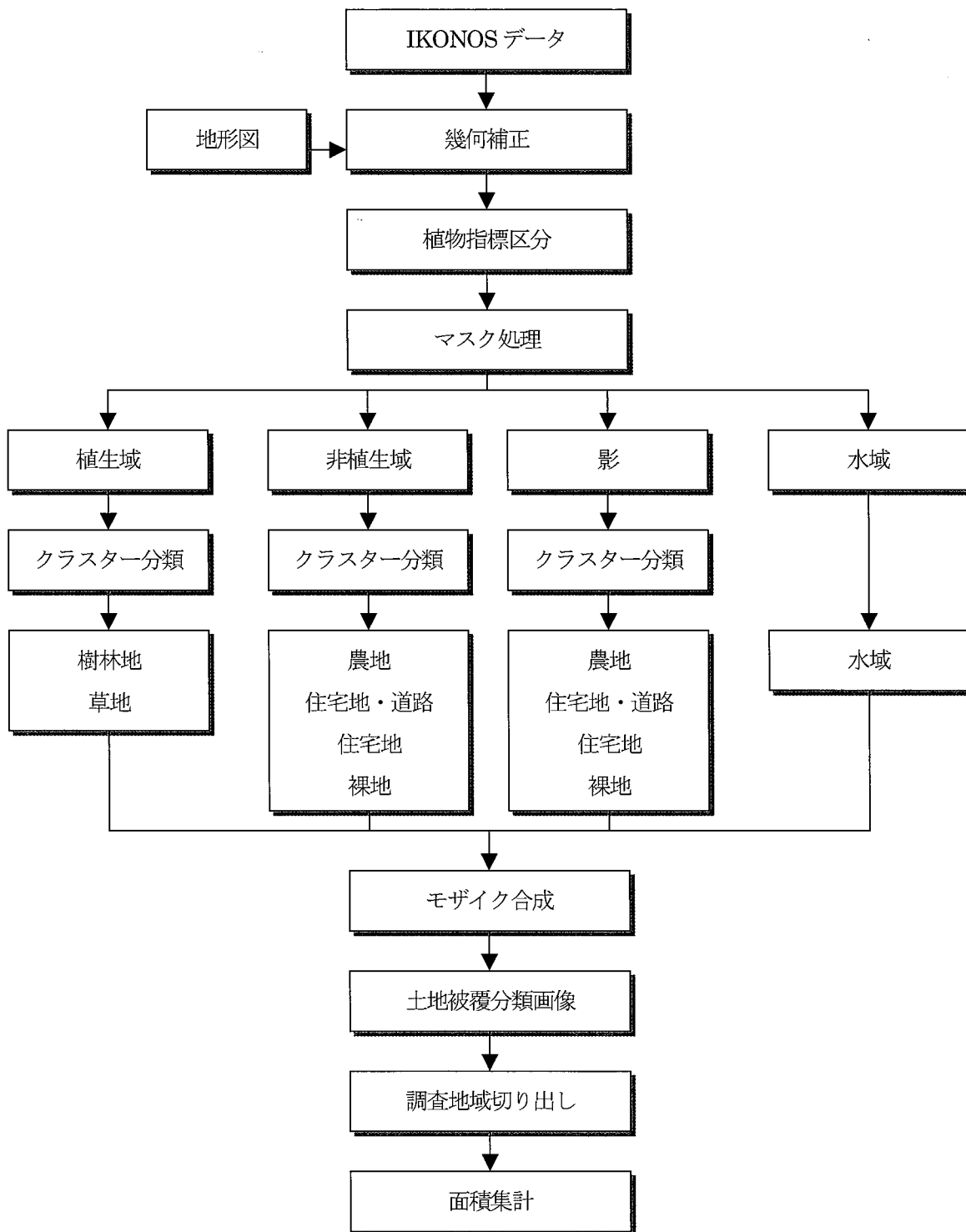


図-2.12 IKONOS データの解析の流れ

(1) 植生指標区分

LANDSAT/TM の場合と同様に植生指標を求めた。作成した植生指標画像を図-2.13 に示す。

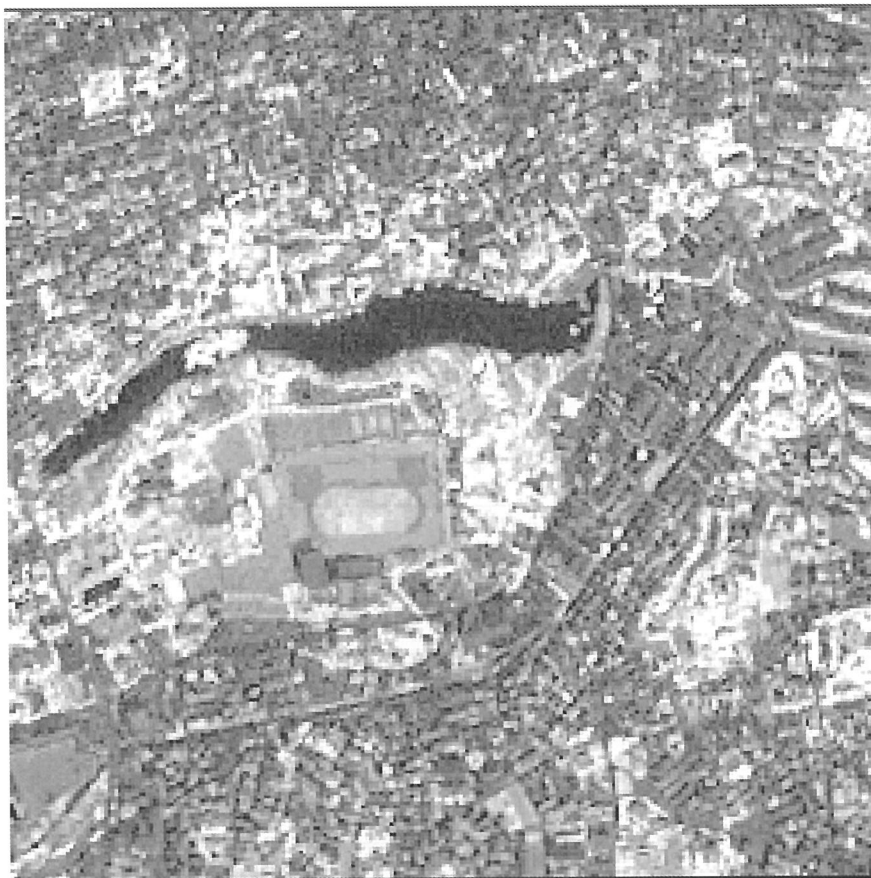


図-2.13 植生指標画像（ケーススタディエリア：2000年2月23日観測）

図-2.13 を見ると水域と影の輝度値がきわめて低いことがわかる。LANDSAT/TM では分解能が低いため建物の影の存在は無視することができたが、IKONOS では影の存在を無視することはできないと思われる。そこで、マスク処理には影を加えることとした。植生指標画像をフォールスカラー画像（資料編1 図-1.13）の上にオーバーレイし、植生域、非植生域、水域、影のしきい値を求めた結果を表-2.6 に示す。

表-2.6 IKONOS 植生指標画像による植生域、非植生域、水域、影のしきい値

2000年2月23日	植生域	0.08～
	非植生域	-0.10～0.08
	影	-0.20～-0.10
	水域	～-0.20

求めたしきい値を用いてマスク処理を行ない、植生域、非植生域、水域、影の4種のマスク画像を作成した。

(2) クラスタ分類

(1) で作成した4種のマスク画像に対し、LANDSAT/TMと同様にクラスタ分類によって土地被覆分類を行なった。

LANDSAT/TMと同様、クラスタ分類に際し、分類項目の設定を行なった。LANDSAT/TMとIKONOSは分解能が大きく異なるため、衛星画像の示す情報が異なるものと考えられる。そこでIKONOSの分類項目は表-2.7のように設定した。

表-2.7 IKONOSによる土地被覆分類で設定した分類項目

分類項目	説明
樹林地	樹林地
草地	雑草地、芝地
農地	水田・畑などの農地
住宅地	住宅（フォールスカラー画像上で輝度が高い屋根を有する）
住宅地・道路	住宅、道路など
裸地	砂地、空地、造成地など
水域	河川、湖沼

この分類項目を(1)で作成したマスク画像にあてはめると、植生域画像からは「樹林地」「草地」を抽出し、非植生域画像からは「農地」「住宅地」「住宅地・道路」「裸地」を抽出することとなる。また影画像からは、微妙な色調差から「樹林地」「草地」「農地」「住宅地」「住宅地・道路」などを抽出することが期待される。これらを考慮し、ここでは各マスク画像につき30クラスタ、合計90クラスタを設定した。なお、クラスタ分類に用いたバンド数は、可視光域から近赤外域の4バンドである。

以上により作成した土地被覆分類画像を図-2.14に示す。

図-2.14のIKONOSの土地被覆分類画像の特徴を以下に列記する。

- ・石神井池周辺がまとまった樹林地として抽出され、LANDSAT/TMによる図-2.10、図-2.11と比べると樹林地の中に住宅地が点在している様子が分かる。これは、分解能が高いため、樹林地内の家屋が住宅地として抽出されていることによる。また、樹林地内に点在する裸地は、落葉樹の葉が落ち、地肌が露出している個所と思われる。
- ・住宅地内に樹林地が点在している。これは、街路樹や屋敷林を示すと思われる。
- ・非植生域の住宅地、住宅地・道路・裸地は、地物の反射輝度によって分けられており、地物との対応が不明瞭である。例えば、家屋の場合、屋根の反射輝度が高い場合は裸地になり、低い場合は住宅地・道路になっている。
- ・影画像からは、NDVI、クラスタ分類いずれの手法においても、影の中の樹林地や草地の抽出は困難であった。そのためここでは、影の分類結果を「農地」「住宅地」「住宅地・道路」「裸地」の4項目に振り分けた。



図-2.14 土地被覆分類画像（ケーススタディエリア，2000年2月23日観測）

2.4 航空写真による都市緑地の抽出結果

航空写真判読は、従来の都市緑地調査で最もよく用いられている手法であり、高精度で緑地抽出を行なうことができると考えられる。本調査では、各リモートセンシング手法の検証資料とするため、航空写真判読を行なった。

航空写真判読の流れを図-2.15 に示し、以下に説明する。

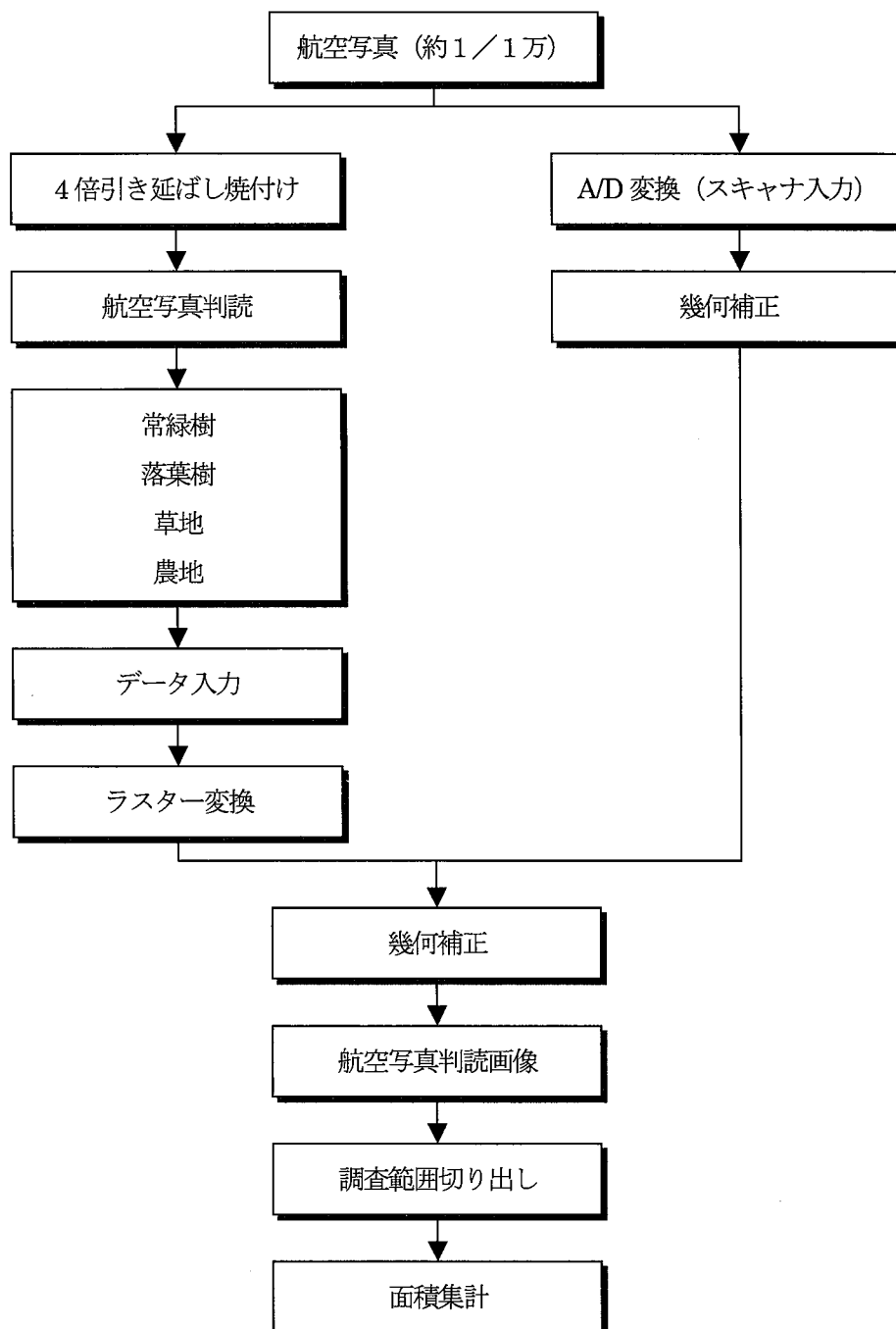


図-2.15 航空写真判読の流れ

航空写真は、航空機に取り付けた測量用カメラで撮影された写真である。このため、レンズを中心とした中心投影であり、地形図の正射投影と比較して、一定の歪みを持っている。このため、航空写真より緑地を抽出するために、目視判読を行い、航空写真上のマイラーに移写していく作業を行った。判読の最小単位は、5m×5m（図上2mm）とした。

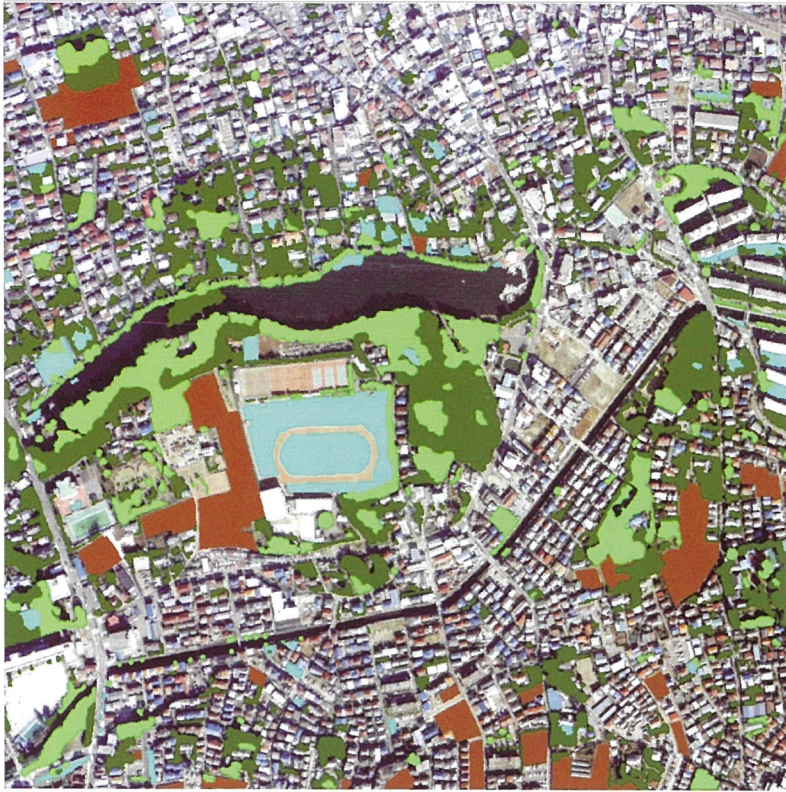
写真を判読する際、対象物の決め手となるものを判読のキーと呼ぶ。とくに判読の結果は、判読者の経験や知識に依存するところが大きく、熟練度によって判読結果に差が生じるという欠点がある。そこで、森林判読、植生判読、地質判読などといった定型的な判読作業においては、判読者による誤差を少なくするため、あらかじめ判読のキーを用意するのが望ましい。本調査では、既存の緑地分布図を参考として、判読を進めた。航空写真による緑地分布の判読項目は、表-2.8 に示す①常緑樹、②落葉樹、③草地、④農地の4項目とした。

表-2.8 航空写真の判読項目

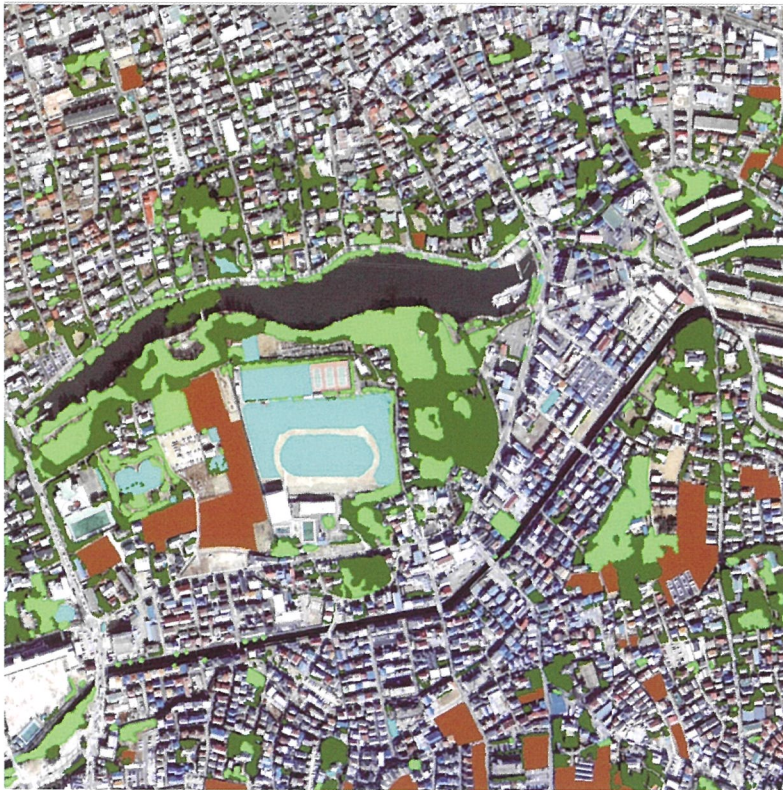
判読項目	説明
常緑樹	マツ、カシなどの常緑樹林
落葉樹	サクラ、カエデなどの落葉樹林
草地	雑草地、芝地
農地	水田、畑などの農地

判読は、引き延ばした写真上で行ない、基図を作成した。基図をもとに、ディジタイザによりデータ入力を行ない、ベクターデータを作成し、さらに、ラスター変換を施した。ピクセルサイズは0.25mとした。

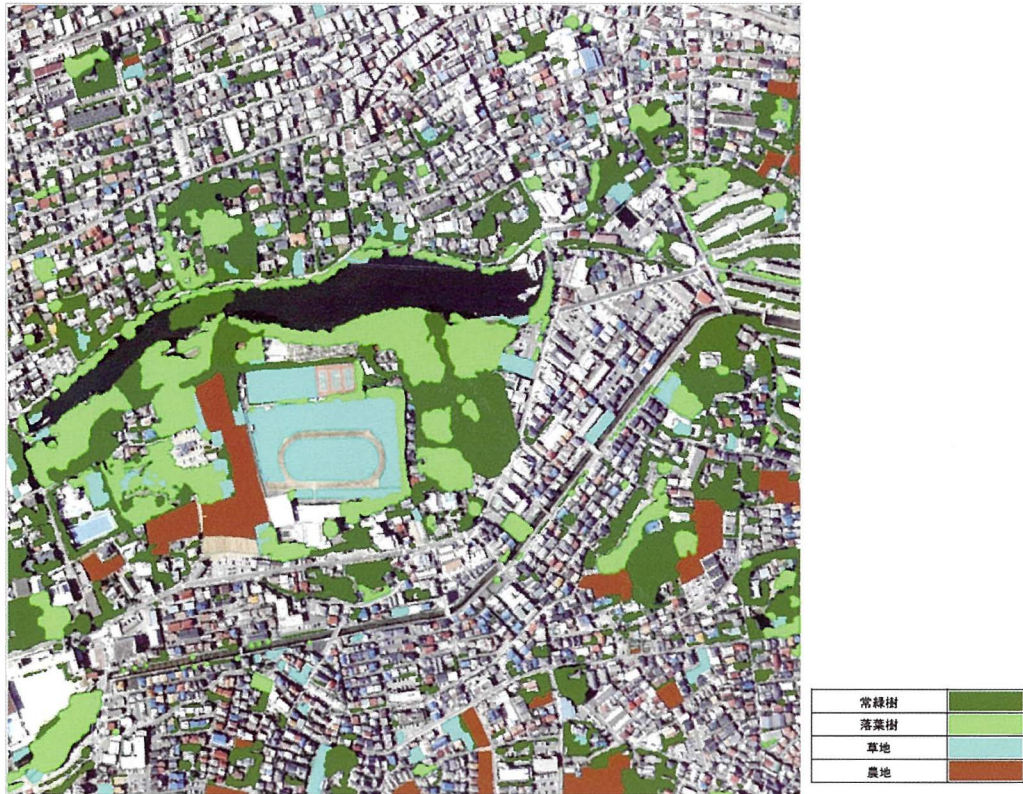
以上の判読データに幾何補正を行ない、航空写真判読画像を作成した（図-2.16）。



(1) 1989年11月



(2) 1992年2月



(3) 1999年8月

図-2.16 航空写真判読画像（ケーススタディエリア） 前ページの続き

図-2.16 の航空写真判読画像の特徴を表-2.9 にまとめた。

表-2.9 本調査で作成した航空写真判読画像の特徴

観測対象	撮影年月	特徴
ケーススタディ エリア（1km × 1km）	1989年11月 （図-2.17(1) 参照）	3 時期の中で最も農地が多く分布している。図-2.17(2)、 図-2.17(3)と比較すると、ケーススタディエリアの北西 端の農地は高層住宅地になっており、ケーススタディ エリアの南部の農地は駐車場になっていると思われる。
	1992年2月 （図-2.17(2) 参照）	冬季の写真を用いているため、3 時期の中で最も緑量が 少なく判読されている。とくに、池淵史跡公園内の樹林 地はおおむね落葉樹であるため、冬季の写真の判読では、 草地として認識されている。
	1999年8月 （図-2.17(3) 参照）	夏季の写真を用いているため、3 時期の中で最も緑量が 多く判読されている。

2.5 樹木現地調査

本調査では、各リモートセンシング手法による緑地抽出結果と実際の緑被状況を比較検討するために現地調査を実施した。衛星データ、航空写真はいずれも樹冠を観測あるいは撮影するため、緑地面積を求めることはできるが、樹木本数、樹種、樹高、胸高直径等を求めるのは困難であると言える。

しかし、樹木の疎密は衛星データの輝度値や航空写真のきめに反映するため、両者の関連性を調べることによってリモートセンシングデータから樹木本数等が推定できる可能性がある。そこで、現地調査では、LANDSAT/TM のピクセルサイズに相当する 30m×30m の現地調査地点を 12 点設置し、樹種、樹高、胸高直径、枝張りの毎木調査と樹木本数の調査を行なった。

樹木現地調査の流れを図-2.17 に示し、以下に説明する。

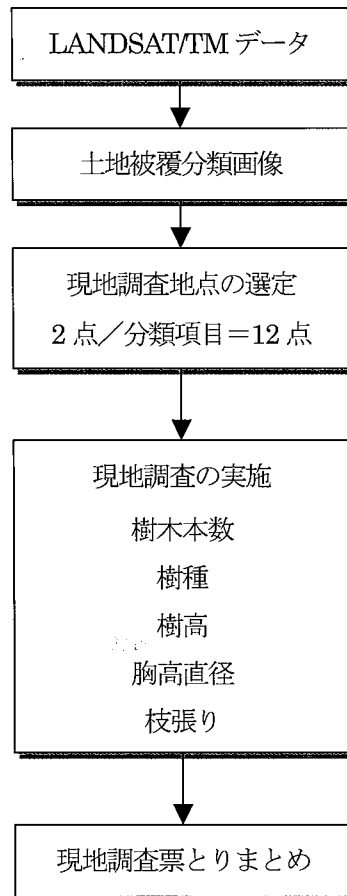


図-2.17 現地樹木調査の流れ

(1) 現地調査地点の選定

現地調査はリモートセンシング解析結果との関連性検討が目的であるため、現地調査地点はリモートセンシング解析結果を参照して選定した。選定に使用した解析結果は、1999年7月25日観測のLANDSAT/TMの土地被覆分類結果である。各分類項目を代表する樹木本数、樹種、樹高、胸高直径等を抽出するため、分類項目につき2点(裸地、水域は除く)、合計12点の現地調査地点を選定した。これにより、LANDSAT/TMの各分類項目を代表する樹木本数、樹種、樹高、胸高直径等が得られ、各分類項目の面積を乗じることによ

りケーススタディエリア（1km×1km）全体の樹木本数、樹種、樹高、胸高直径等、ひいては練馬区全体の樹木本数、樹種、樹高、胸高直径等の推定が期待される。また、選定にあたっては、衛星データの幾何学的歪みを考慮し、2×2=4ピクセルが同一の項目に分類されている個所から中間の30m×30mを選定した。選定の概念図を図-2.18に示す。

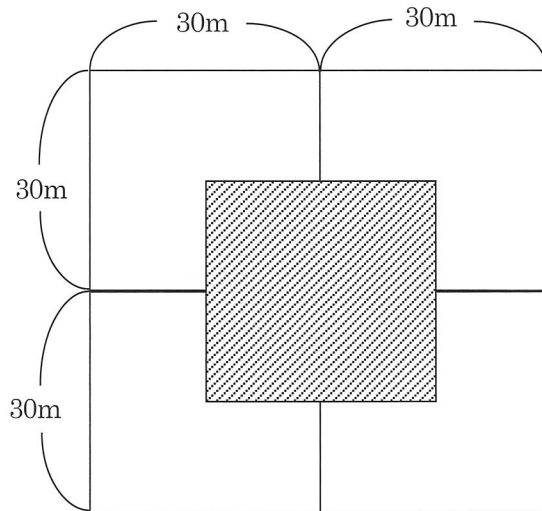


図-2.18 現地調査地点選定の概念図

このようにして選定された現地調査地点を図-2.19に示し、各地点の概要を表-2.10に示す。

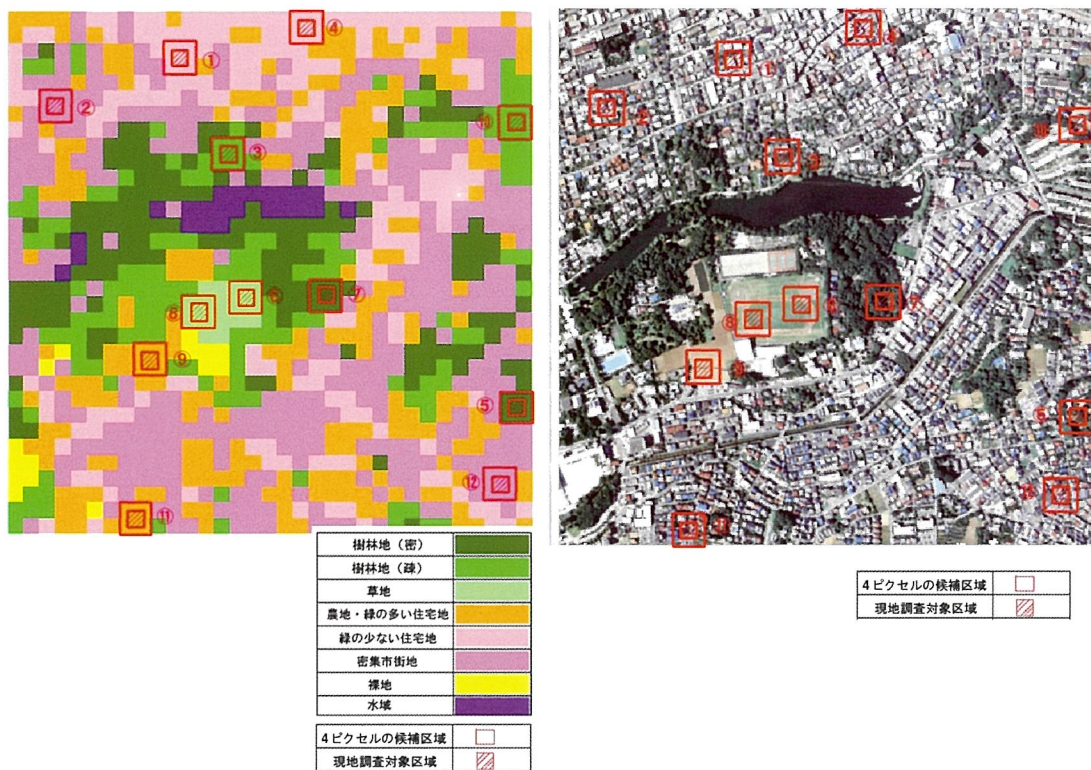


図-2.19 現地調査地点位置図

表-2.10 選定した現地調査地点の概要

地点No.	LANDSAT/TM の 分類項目	場所
1	緑の少ない住宅地	石神井町6丁目・東京ガス石神井営業所の南
2	密集市街地	石神井町6丁目・石神井警察署の南
3	樹林地（疎）	石神井町6丁目・石神井池北側の住宅地
4	緑の少ない住宅地	石神井町3丁目・順正寺の東
5	樹林地（密）	南田中5丁目・善戒寺の敷地内
6	草地	石神井町5丁目・住友銀行石神井運動場内
7	樹林地（密）	石神井町5丁目・石神井公園内
8	草地	石神井町5丁目・住友銀行石神井運動場内
9	農地・緑の多い住宅地	石神井町5丁目・住友銀行石神井運動場の西
10	樹林地（疎）	南田中5丁目・都営南田中アパートの北
11	農地・緑の多い住宅地	下石神井6丁目・下石神井地区区民館の西
12	密集市街地	下石神井3丁目・善戒寺の南

(2) 現地調査の実施

各調査項目の調査手法は表-2.11 のとおりである。

なお、調査地点が私有地の場合は、敷地内に立ち入ることはせず、側道から目視により調査を行なった。

表-2.11 現地樹木調査の調査手法

調査項目	調査手法	
樹木本数	実測	私有地の場合は、すべて目測
樹種	実測	
樹高	目測	
胸高直径	実測	
枝張り	歩測	

(3) 現地調査票とりまとめ

調査結果は、現地調査票にとりまとめた。現地調査票は、調査地点全体の状況（樹木本数、地形、緑被率、樹木種別、主要構成樹種、平均樹高、平均胸高直径）と毎木の状況（樹木種別、樹種、樹高、胸高直径、枝張り）に分けて記述し、樹木分布図および現地写真を貼付した。各現地調査地点の現地調査票は資料編2に示す。

2.6 都市緑地面積の集計

2.2 から 2.4 で述べた各リモートセンシング手法(従来型人工衛星 LANDSAT/TM、高分解能衛星 IKONOS、航空写真)により抽出した都市緑地の面積を集計した。各リモートセンシング手法による抽出結果は、すべてラスターデータ化されているため、ピクセル数を集計しピクセルサイズを乗じることによって、緑地面積が求まる。面積の集計は、ケーススタディエリアと練馬区全域に対して行い、練馬区全域については既往調査資料(練馬区みどりの実態調査)から抽出した緑地面積も併せて整理した。

集計した都市緑地面積の一覧表を表-2.12 に示す。

表-2.12 各リモートセンシング手法による都市緑地面積一覧表

(1) 調査対象範囲(1km×1km)

LANDSAT/TM(30m)					IKONOS(4m)			航空写真判読(0.25m)						
凡例	1989年11月2日		1999年7月25日		凡例	2000年2月23日		凡例	1989年11月		1992年2月		1999年8月	
	面積(m ²)	面積率(%)	面積(m ²)	面積率(%)		面積(m ²)	面積率(%)		面積(m ²)	面積率(%)	面積(m ²)	面積率(%)	面積(m ²)	面積率(%)
樹林地(密)	111,600	11.4	138,600	14.1	樹林地	246,272	24.6	常緑樹	134,022	13.4	111,221	11.1	147,568	14.8
樹林地(疎)	174,600	17.8	130,500	13.3				落葉樹	70,791	7.1	63,392	6.3	83,683	8.4
草地	25,200	2.6	14,400	1.5	草地	39,776	4.0	草地	27,794	2.8	23,154	2.3	35,092	3.5
農地・緑の多い住宅地	216,900	22.1	198,900	20.3	農地	84,704	8.5	農地	44,574	4.5	38,225	3.8	28,988	2.9
裸地	27,900	2.8	13,500	1.4	裸地	155,504	15.6							
水域	11,700	1.2	14,400	1.5	水域	37,104	3.7							
緑の少ない住宅地	154,800	15.8	312,300	31.9	住宅地・道路	176,096	17.6							
密集市街地	257,400	26.3	157,500	16.1	住宅地	260,544	26.1							
合計	980,100	100.0	980,100	100.0		1,000,000	100.0		1,000,000	100.0	1,000,000	100.0	1,000,000	100.0

(2) 練馬区全域

LANDSAT/TM(30m)					既往調査結果				
凡例	1989年11月2日		1999年7月25日		凡例	1991年		1996年	
	面積(ha)	面積率(%)	面積(ha)	面積率(%)		面積(ha)	面積率(%)	面積(ha)	面積率(%)
樹林地(密)	168.03	3.49	173.97	3.61	樹木被覆地	550.97	11.44	584.94	12.15
樹林地(疎)	822.51	17.08	445.50	9.25					
草地	162.09	3.37	67.59	1.40	雑草地	93.18	1.93	123.09	2.56
農地・緑の多い住宅地	1,085.58	22.54	1,847.61	38.36	普通畑	355.78	7.39	246.36	5.12
					果樹畑	51.87	1.08	35.42	0.74
					苗木畑	91.37	1.90	58.86	1.22
					芝畑	64.91	1.35	40.47	0.84
裸地	112.86	2.34	135.27	2.81	裸地	267.40	5.55	301.38	6.26
水域	15.39	0.32	6.75	0.14	水域	27.56	0.57	25.10	0.52
緑の少ない住宅地	812.52	16.87	970.92	20.16					
密集市街地	1,635.57	33.96	1,151.28	23.91					
雲	1.44	0.03	17.10	0.36					
合計	4,815.99	100.00	4,815.99	100.00	合計	4,816.00	100.00	4,816.00	100.00

2.7 都市緑地抽出手法の比較検討

ここでは、各リモートセンシングによる緑地抽出結果に基づき、①分類処理の適用性、②解像度の違いによる緑地抽出精度、③広域調査への適用性 の3つのテーマについて、比較検討した。

これらのテーマで検討する内容を表-2.13 に示す。

表-2.13 都市緑地抽出手法の比較検討内容

検証テーマ	検証内容
2.7.1 分類処理の適用性の検証	(1) クラスタ分類の妥当性の検証
2.7.2 画像解像度の違いによる緑地抽出精度の検証	(1) 位置精度（幾何補正精度）の検証
	(2) 緑地抽出結果の定性的な比較
	(3) 緑地面積の比較検討
2.7.3 多様な調査への適用性の検討	(1) 効率性の検討
	(2) ミクセルの補正による精度向上可能性の検討
	(3) 土地被覆分類結果と樹木現地調査結果との比較
	(4) 経年変化の検討
	(5) 常緑樹、落葉樹の分類可能性の検討

2.7.1 分類処理の適用性の検証

(1) クラスタ分類の妥当性検証

本調査は、人工衛星技術の広域な緑地調査への適用も念頭においているため、調査対象地域の現地情報を取得できない状況での精度検証を行うという観点から、リモートセンシングデータの解析にはトレーニングデータを必要としないクラスタ分類を用いた。分類結果には現地調査の情報が反映されていないため、整合性を検証する必要がある。

ここでは、各リモートセンシングによる緑地抽出結果、および既知のデータを用いて、クラスタ分類の妥当性を検証した。

検証は、各クラスターの平均輝度値を求め、検証用に設定したトレーニングエリアの輝度値と比較した。

トレーニングエリアの設定には1994年の細密数値情報を使用した。細密数値情報は、国土地理院から発行されている10mメッシュの土地利用情報である。このデータは宅地利用動向調査から作成されており、三大都市圏（首都圏、中部圏、近畿圏）について整備されている。このうち首都圏については、1974年以降5年おきに発行されており、最新のデータは1994年のデータである。練馬区全域の細密数値情報画像を図-2.20に、ケーススタディエリアの細密数値情報画像を図-2.21に示す。さらに面積集計結果を表-2.14

に示す。

トレーニングエリアは、クラスター分類項目に相当する細密数値情報の土地利用項目からランダムに抽出したエリアを設定した。ここで用いた分類項目と土地利用項目の関係を表-2.15 に示し、選定したトレーニングエリアを図-2.22 に示す。

このエリアを LANDSAT/TM のフォーンスカラー画像上に開いて、エリア内の各バンドの輝度値を調べた。トレーニングエリアは細密数値情報によって土地利用状況が確認された個所なので、トレーニングエリアの輝度値の位置づけは、「検証用の輝度値」となる。一方、クラスターの平均輝度値は、分類の際に使用したクラスターの輝度値で、分類項目の輝度値と言い換えることができる。ただし、これはあくまで画像処理時に用いた輝度値なので「テスト用の輝度値」という位置づけになる。

この両者を比較することによって画像分類の妥当性が得られる。すなわち、両者の輝度値分布が一致していれば、分類が適切に（既知の土地利用状況と類似した）行われたといえる。逆に両者が不一致であれば、分類が不適切に（既知の土地利用状況とかけはなれた）行われたといえる。

以上の観点から、クラスター分類の妥当性を検証した。また、ここで使用したデータは次のとおりである。

- ①LANDSAT/TM データ（1999年7月25日観測）
- ②LANDSAT/TM 分類画像（1999年7月25日観測）
- ③細密数値情報（1994年）

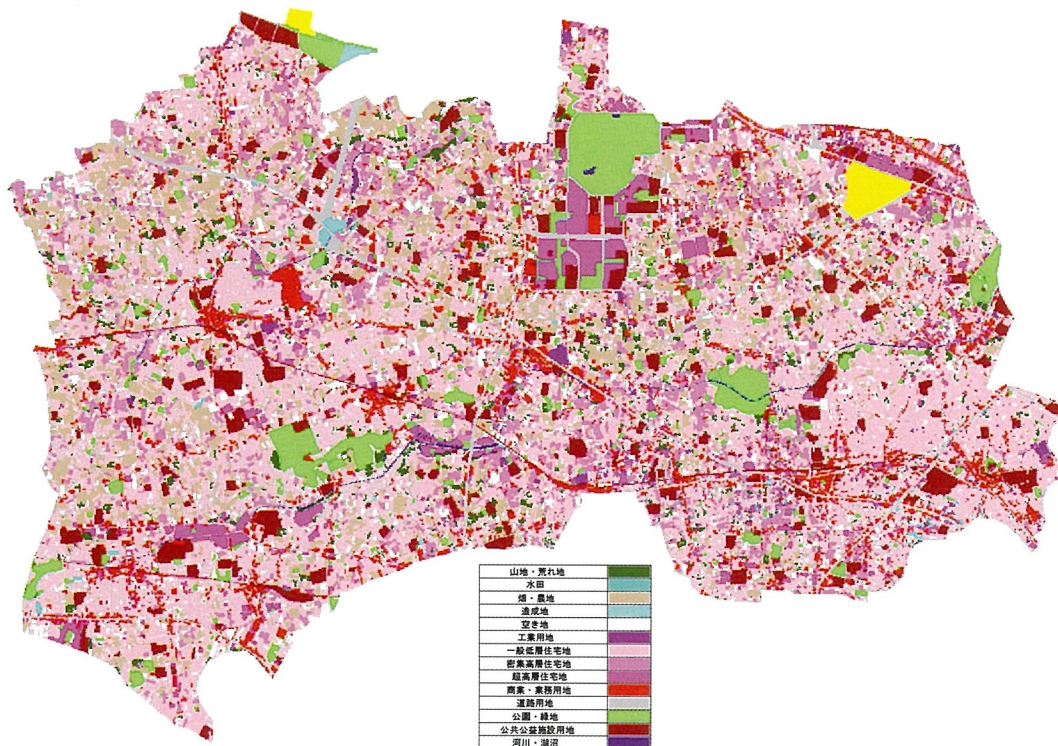


図-2.20 細密数値情報画像（練馬区全域：1994年）

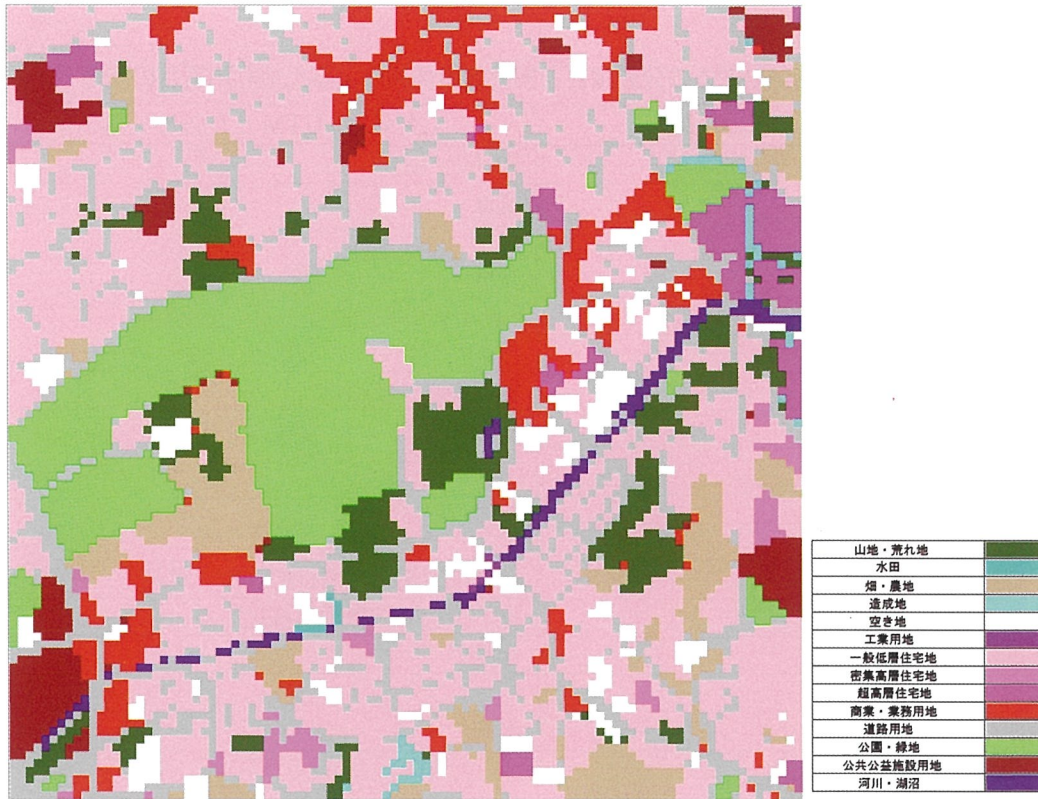


図-2.21 細密数値情報画像（ケーススタディエリア：1994年）

表-2.14 細密数値情報（1994年）による土地利用面積集計結果

	ケーススタディエリア		練馬区全域	
	面積 (m ²)	面積率 (%)	面積 (ha)	面積率 (%)
山林・荒地等	63300	6.3	98.07	2.03
水田	800	0.1	0.1	0.00
畑・その他の農地	64200	6.4	600.66	12.45
造成中地	4600	0.5	19.34	0.40
空地	43300	4.3	305.29	6.33
工業用地	500	0.1	38.14	0.79
一般低層住宅地	378500	37.9	1590.08	32.95
密集低層住宅地	11400	1.1	381.16	7.90
中高層住宅地	24600	2.5	191.22	3.96
商業・業務用地	64500	6.5	345.97	7.17
道路用地	157200	15.7	625.53	12.96
公園・緑地等	143300	14.3	256.24	5.31
その他の公共公益施設用地	32400	3.2	334.09	6.92
河川・湖沼等	11400	1.1	11.87	0.25
その他	0	0.0	28.09	0.58
海	0	0.0	0	0.00

表-2.15 LANDSAT/TM の分類項目と細密数値情報による土地利用項目の関係

細密数値情報（土地利用凡例）	LANDSAT/TM 土地被覆分類項目
山林・荒地等	樹林地（密）
水田	農地
畑・その他の農地	
造成中地	
空地	裸地
工業用地	
一般低層住宅地	
密集低層住宅地	
中高層住宅地	
商業・業務用地	緑の少ない住宅地
道路用地	
公園・緑地等	
その他の公共公益施設用地	
河川・湖沼等	水域
その他	
海	水域

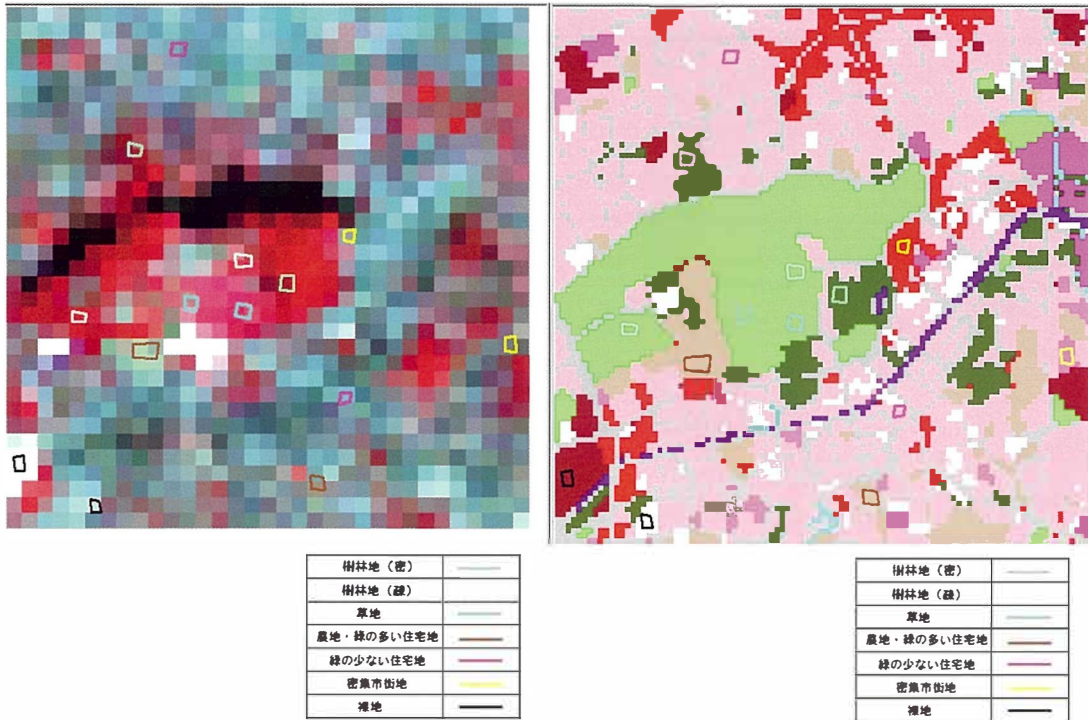


図-2.22 選定したトレーニングエリア

各クラスターの平均輝度値とトレーニングエリアの輝度値の比較結果を図-2.23に示す。

これらより、各分類項目ともトレーニングエリアの輝度値とクラスターの輝度値は、ほぼ同じ値をとっており、クラスター分類でも十分妥当な結果を得ることができると考えられる。

また、図-2.23より、各分類項目のスペクトルパターンを見ると、樹林地（密）、樹林地（疎）、草地はバンド4、バンド5の値が高くなっており、植生域特有のパターンを示している。これらの中では、樹林地（密）、樹林地（疎）、草地の順に各バンドの輝度値が高くなっていることがわかる。

農地・緑の多い住宅地、緑の少ない住宅地、密集市街地、裸地の中では、裸地の輝度値が各バンドともきわめて高く、明瞭に区別できる。農地・緑の多い住宅地は、非植生域の中では唯一バンド4の値がバンド3よりも高い。緑の少ない住宅地、密集市街地はきわめて似通ったスペクトルパターンを示しているが、密集市街地のほうが全体に各バンドの輝度値が低い。

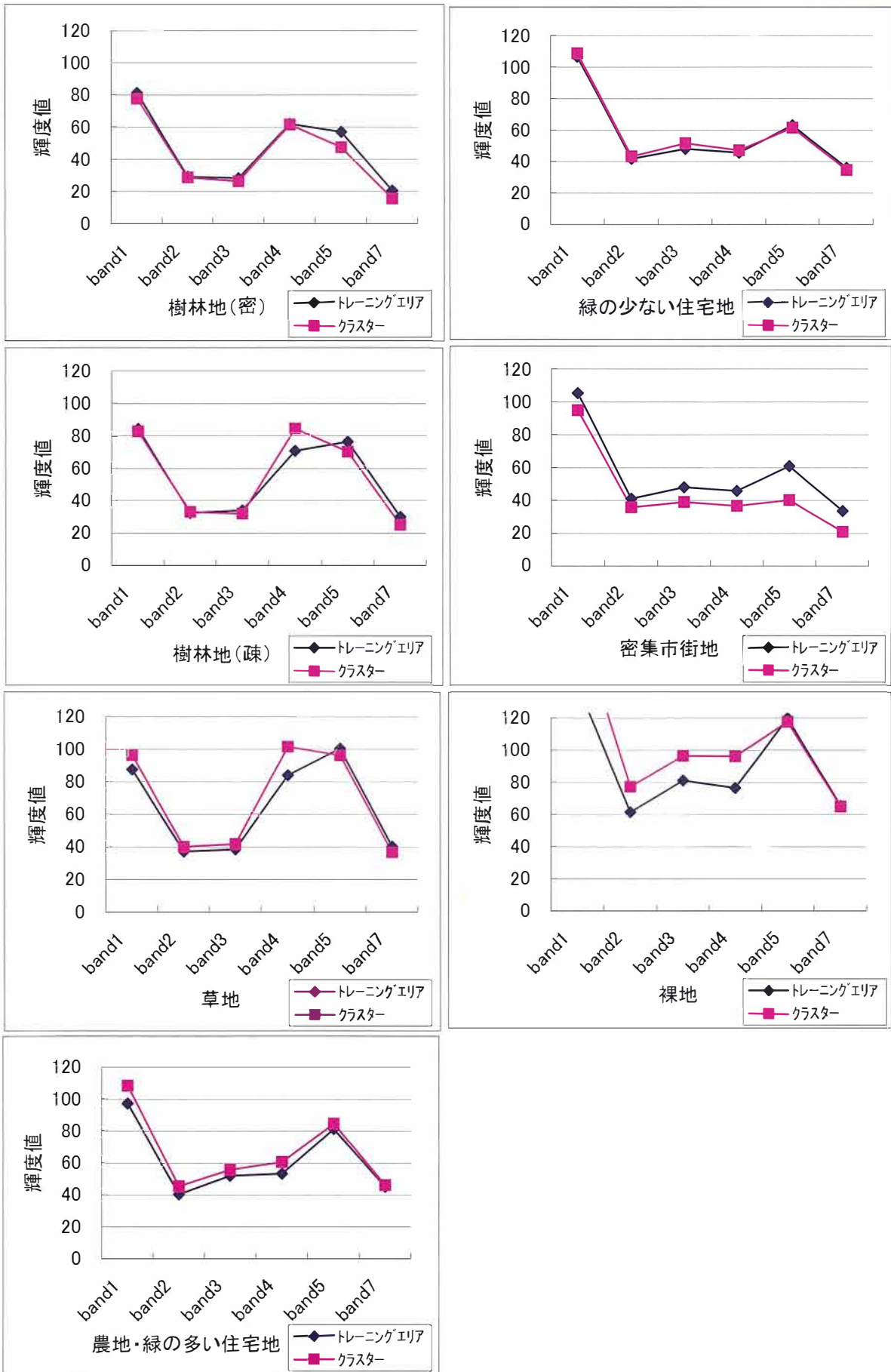


図-2.23 各クラスターの平均輝度値とトレーニングエリアの輝度値の比較結果

2.7.2 画像解像度の違いによる緑地抽出精度の検証

今回使用した LANDSAT/TM、IKONOS、航空写真はそれぞれ空間分解能が大きく異なる。そこで、ここでは空間分解能に応じて、緑地抽出精度がどのように変化するか、検証を試みた。

(1) 位置精度（幾何補正精度）の検証

本調査で使用した各リモートセンシングデータは幾何補正を行い地理座標を与えている。幾何補正の精度は空間分解能と密接な関わりがあるので、ここでは、各リモートセンシングデータの位置精度（幾何補正精度）の検証を行った。

本調査で使用したリモートセンシングデータは、多数点の GCP（Ground Control Point：地上基準点）を取得した後、アフィン変換により次の座標系に統一している。

- ・投影法：ユニバーサル横メルカトル図法（UTM） 第 54 帯
- ・座標単位：メートル
- ・楕円帯：Bessel

アフィン変換は、取得した GCP をもとに線形式を導き出し、座標変換する手法である。GCP が線形式からどれくらい分離しているかを示す指標を RMS 残差といい、値が大きいほど誤差が大きいことを意味する。各データの GCP 数と RMS 残差を表-2.16 にまとめた。

表-2.16 各リモートセンシングデータの GCP 数と RMS 残差

	GCP 数	RMS 残差	ピクセルサイズ	推定誤差
LANDSAT/TM(1989年11月2日観測)	24	0.68	30m	20.4m
LANDSAT/TM(1999年7月25日観測)	35	0.84	30m	25.2m
IKONOS (2000年2月23日観測)	30	2.82	4m	11.3m
航空写真 (1989年11月撮影)	64	4.97	0.25m	1.2m
航空写真 (1992年2月撮影)	108	4.26	0.25m	1.1m
航空写真 (1999年8月撮影)	59	4.29	0.25m	1.1m

表-2.16 より以下の特徴が考えられる。

- ・LANDSAT/TM は、GCP は比較的少ないが、RMS 残差は 1 ピクセル以下で高い精度を示す。広域での GCP が取得しやすく、衛星の姿勢が比較的安定しているために高精度の幾何補正を行うことができた。
- ・航空写真は RMS 残差は 4 以上と大きいものの、ピクセルサイズを小さくすることによって推定誤差を 1m 程度におさえることができた。高解像度のスキヤニングを行うことにより、地物が明確になり GCP が取得しやすくなるため、比較的高精度の幾何補正を行うことができる。
- ・IKONOS は RMS 残差 2.82 ピクセル、推定誤差 11.3m と比較的誤差が大きい。IKONOS や航空写真の

場合、家屋や交差点の角に GCP を取得するが、IKONOS は航空写真と比べて地物の細部が不明瞭であるため、正確な GCP の取得が難しいと思われる。また、IKONOS はポインティング機能を有するため、衛星から地面に対する入射角が一定でない。したがって衛星の姿勢が LANDSAT/TM と比べて安定していないことも誤差を大きくする要因になっていると考えられる。

(2) 緑地抽出結果の定性的な比較

ここでは、各リモートセンシング手法による緑地抽出結果を重ね合わせ、定性的な比較を行なった。LANDSAT/TM の分類結果の上に航空写真判読による緑地抽出結果を重ねた画像を図-2.24 に、IKONOS の分類結果の上に航空写真判読による緑地抽出結果を重ねた画像を図-2.25 に示す。また、ここで使用したデータは次のとおりである。

- ①LANDSAT/TM 分類画像 (1999 年 7 月 25 日観測)
- ②IKONOS 分類画像 (2000 年 2 月 23 日観測)
- ③航空写真判読画像 (1999 年 8 月の写真の判読結果)

図-2.24、図-2.25 よりそれぞれの特徴を以下に述べる。

- ・石神井公園などまとまりのある緑地では航空写真判読で抽出された緑地に対応して LANDSAT/TM 分類画像でも樹林地や草地として分類されており、両者の整合性が高いことがわかる。
- ・街路樹や住宅地内の単木は LANDSAT/TM 分類画像では「密集市街地」や「緑の少ない住宅地」などに分類されており、緑地として抽出されていない。これは、街路樹や住宅地内の単木のまとまりが小さいことによると考えられ、LANDSAT/TM の解像度の限界と思われる。
- ・全体的に写真判読結果と IKONOS 分類結果の整合性は高い。街路樹や住宅地内の単木も IKONOS で比較的高精度に抽出されている。
- ・落葉樹林あるいは林立する樹木の影と思われる個所が IKONOS で正確に抽出できていないケースがある (図-2.25 中 A)。
- ・団地の影にあたる個所が IKONOS で正確に抽出できていないケースがある (図-2.25 中 B)。

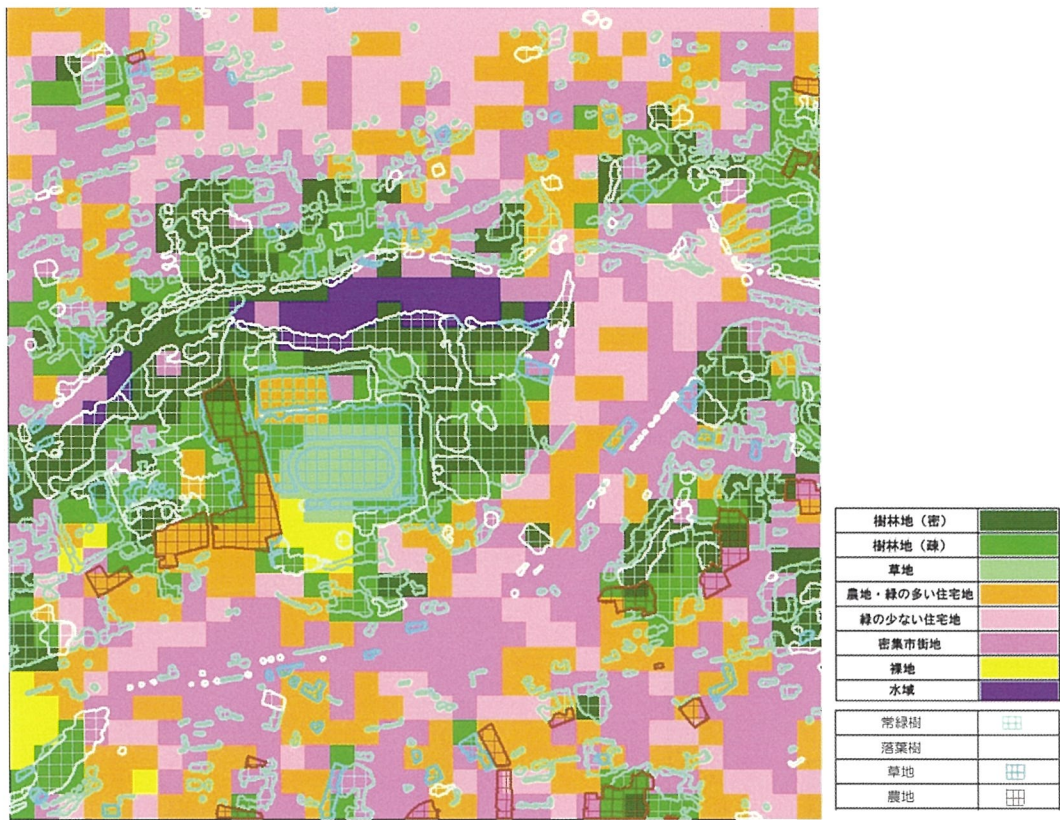


図-2.24 緑地抽出精度の比較 (LANDSAT/TM 分類画像と航空写真判読)

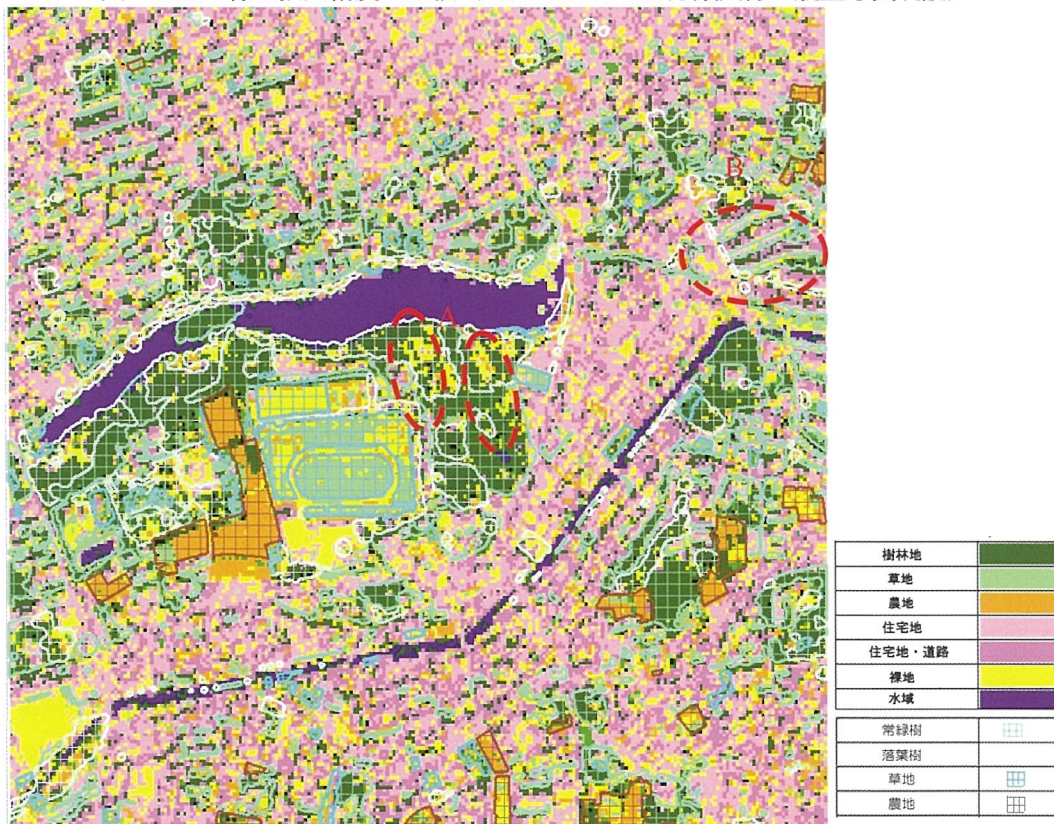


図-2.25 緑地抽出精度の比較 (IKONOS 分類画像と航空写真判読)

(3) 緑地面積の比較検討

ここでは、表-2.12 にまとめた各リモートセンシング手法による緑地面積の比較を行なった。

表-2.12 より、ケーススタディエリア (1km×1km) の樹林地、草地、農地の面積率を抽出し、各リモートセンシング手法の比較を行った。その結果を図-2.26 に示す。また、ここで使用したデータは次のとおりである。

①LANDSAT/TM 分類画像 (1999年7月25日観測)

②IKONOS 分類画像 (2000年2月23日観測)

③航空写真判読画像 (1999年8月の写真の判読結果)

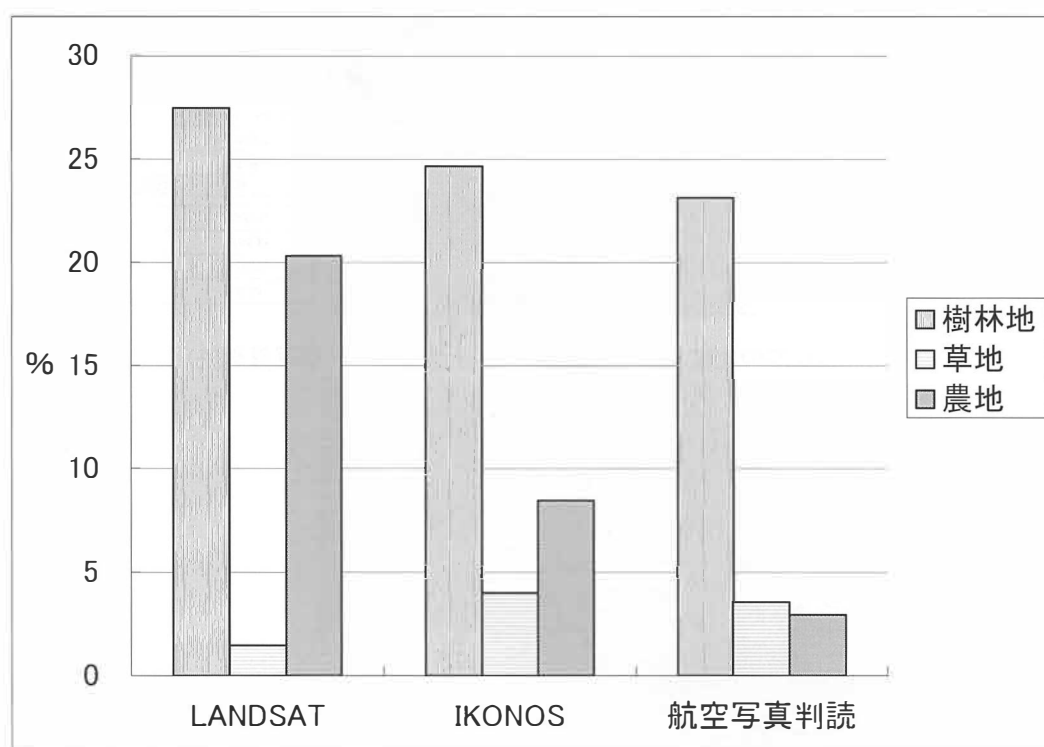


図-2.26 ケーススタディエリアにおける樹林地、草地、農地の面積率の比較

※LANDSAT/TMは1999年7月25日、IKONOSは2000年2月23日、

航空写真判読は1999年8月のデータを使用

図-2.26よりケーススタディエリア (1km×1km) における各リモートセンシング手法の特徴を、以下に列記する。

- ・ 樹林地の面積率は、航空写真判読、IKONOS、LANDSAT/TM の順に高くなっている。これは解像度の小さい順に対応している。樹林地は、草地や農地と比べ、まとまりをもった分布をしているので、解像度の大きいデータでは境界部を多めに樹林地とみなしてしまう傾向が強いものと思われる。
- ・ 草地の面積率は、IKONOS と航空写真判読は同程度であるが、LANDSAT/TM は値が小さい。草地は、

樹林地や農地と比べ最も小規模な分布形態を取っており、解像度の小さいLANDSAT/TM データでは、樹林地と逆に少なめに把握する傾向があると思われる。

- ・農地の面積率は、航空写真判読、IKONOS、LANDSAT/TM の順に高くなっている。農地は小規模な分布形態を取っているため、解像度の小さいデータでは他の分類項目と混ざってしまうことが考えられる。さらに農地のスペクトル特性は、樹林地や草地と比べて不明瞭であるため、住宅地等を農地と誤分類することが多く、面積率の精度を落としていると考えられる。

次に、表-2.12 に示すとおり、LANDSAT/TM データに関しては、練馬区全域の緑地面積の集計を行ったので、既往調査資料（練馬区みどりの実態調査）と比較を行なった。練馬区みどりの実態調査では、航空写真判読により緑地の抽出を行っており、その手法は東京都環境保全局「緑被率標準調査マニュアル」に準拠している（詳細は資料編3を参照）。使用している航空写真は 1/5000 の航空写真であり、判読結果は 1/2500 の図面に移写している。練馬区全域における樹林地、草地、農地の面積率の比較を図-2.27 に示す。また、ここで使用したデータは次のとおりである。

①LANDSAT/TM 分類画像（1999年7月25日観測）

②練馬区みどりの実態調査（1996年）

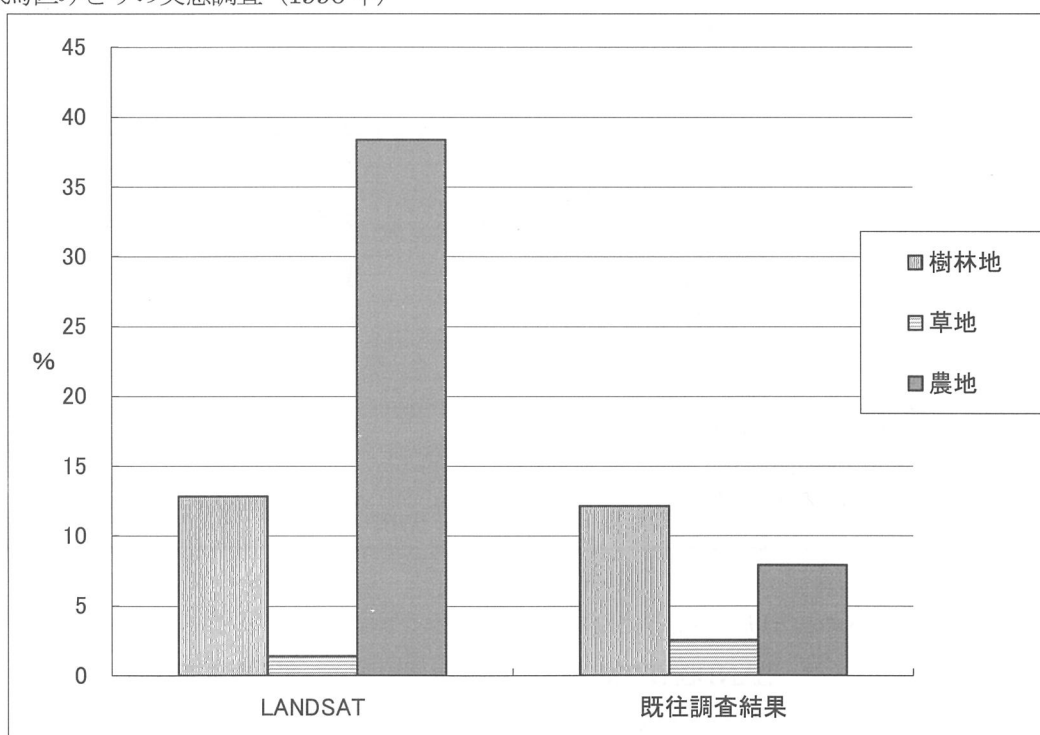


図-2.27 練馬区全域における樹林地、草地、農地の面積率の比較

※LANDSAT/TM は 1999年7月25日、既往調査資料は「1996年 練馬区みどりの実態調査」を使用

図-2.27 より練馬区全域における LANDSAT/TM 分類手法の特徴を、以下に列記する。

- ・樹林地の面積率は既往調査結果と近い値を示し、精度差が小さい。LANDSAT/TM データの場合、対象が広域になると誤差が誤差を相殺し、比較的高精度に樹林地面積を把握できるものと考えられる。
- ・草地の面積率は、ケーススタディエリア（図-2.26）の場合と同様、LANDSAT/TM は少なめに算定して

いる。

- ・一方、農地の値は大きく異なる。図-2.8 同様、農地は住宅地との誤分類が多いため多めに抽出されている。

2.7.3 多様な調査への適用性の検討

(1) 効率性の検討

ここでは、広域の緑地調査に対する適用性を検討するために、データ処理に要する時間を比較することにより、効率性を検討した。図-2.2、図-2.12、図-2.15 に示す LANDSAT/TM、IKONOS、航空写真判読の各工程に要した時間を表-2.17 に整理した。

表-2.17 各リモートセンシング手法のデータ処理に要する時間

LANDSAT/TM		IKONOS		航空写真判読	
工程	所要時間	工程	所要時間	工程	所要時間
幾何補正	2 日	幾何補正	4 日	A/D 変換	0.5 日
植生指標算出	1 日	植生指標算出	1 日	幾何補正	3 日
マスク処理		マスク処理		4 倍引き伸ばし	1 日
クラスター分類	2 日	クラスター分類	2 日	写真判読	2 日
モザイク		モザイク		データ入力	3 日
調査範囲の切り出し	0.5 日	調査範囲の切り出し	1 日	ラスタ変換	1 日
面積集計		面積集計		幾何補正	2 日
					調査範囲の切り出し
			面積集計		
合計所要時間	5.5 日	合計所要時間	8 日	合計所要時間	13 日
適用可能範囲	1 シーン (180km 四方)	適用可能範囲	1 シーン (11km 四方)	適用可能範囲	1km × 1km

表-2.17 より効率性を考察すると以下ようになる。

- ・最も効率的な調査が可能なのは、LANDSAT/TM を用いたケースであり、データ入手後数日で 1 シーン (180km 四方) の解析を行なうことができる。
- ・IKONOS の処理に要する時間は LANDSAT/TM と同程度であるが、解像度が高いため高精度の幾何補正が必要とされる。解析については、今回 LANDSAT/TM と同様の手法をとったが、影の問題、家屋の屋根の影響など LANDSAT/TM とは別次元の問題点もあり、これらの解決を試みる場合、解析にかかる時間が増加する。
- ・航空写真判読は、緑地抽出精度は最も高いが、処理に時間を必要とする。対象が広域である場合、効率的な調査は困難であるといえよう。

(2) ミクセルの補正による LANDSAT/TM の緑地抽出精度向上可能性の検討

前述したように LANDSAT/TM データによる緑地抽出精度は IKONOS、航空写真判読に比べ誤差が大きい。この理由として、対象地域の土地被覆は一様ではなく、多数のミクセル（複数の土地被覆が混在しているピクセル）が存在していることが考えられる。

一方、都市緑地はひとつの緑のまとまりが小規模であるため、ピクセルの中に点在するケースが多い。そのため、LANDSAT/TM データを都市緑地調査に利用する場合、ミクセルによる誤差を補正し、抽出精度を向上させる必要がある。

ここでは、このような観点から、LANDSAT/TM のピクセルサイズである 30m メッシュ内の地被状態が一様でないとき、30m メッシュ内の土地被覆状況が LANDSAT/TM の分類結果に及ぼす影響を検証した。

検証の概念図を図-2.28 に示す。

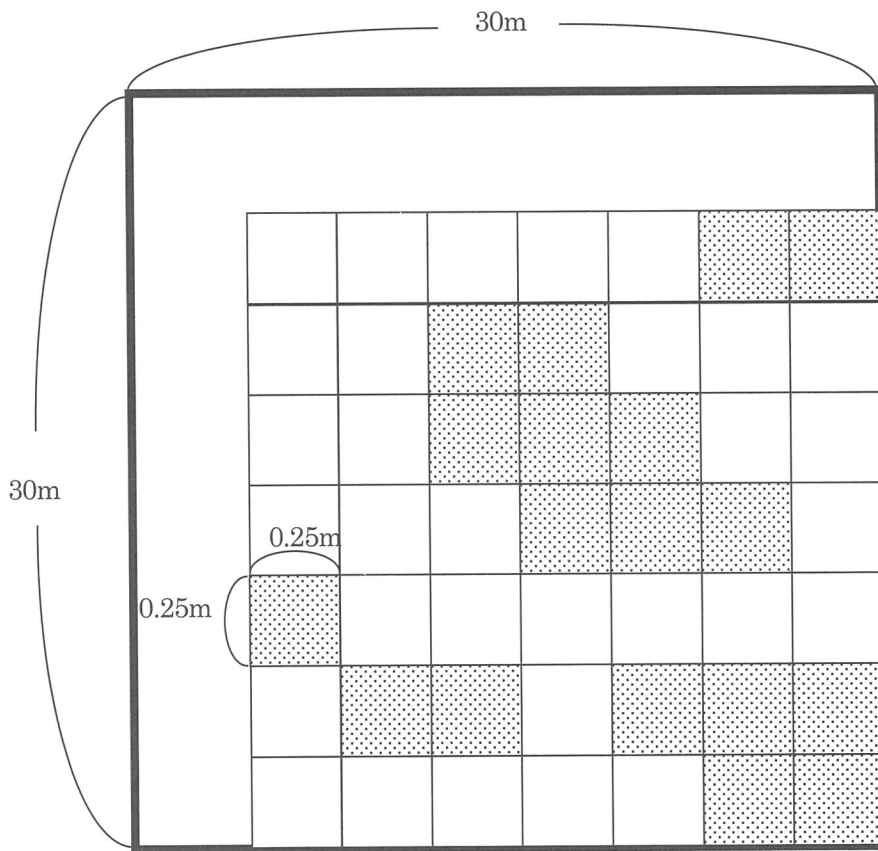


図-2.28 ミクセルの補正検証の概念図

たとえば、図-2.28 のような場合、30m メッシュ内の樹林地率は、

①写真判読結果を 0.25m メッシュにラスタライズした

30m メッシュ内の樹林地画素数

$$\rightarrow \Sigma \begin{array}{|c|} \hline \text{stippled cell} \\ \hline \end{array} = 18$$

②30m メッシュ内の総写真判読結果画素数

$$\rightarrow \Sigma \begin{array}{|c|} \hline \text{empty cell} \\ \hline \end{array} = (30/0.25)^2 = 14400$$

よって、(樹林地画素数/総画素数) × 100 = (①/②) × 100 = (18/14400) × 100 = 1.25% となる。
これを、対象地域内 (1km × 1km) の全 30m メッシュ (33 × 33 = 1089 メッシュ) について調べた。

この結果を LANDSAT/TM の分類項目ごとに整理した。これにより、LANDSAT/TM の分類結果と各土地被覆分類毎のピクセル内緑地率 (樹林地、草地、農地) の平均との因果関係を考察することができる。

整理した結果を表-2.18 および図-2.29 に示し、その特徴を以下に述べる。また、ここで使用したデータは次のとおりである。

①LANDSAT/TM 分類画像 (1999年7月25日観測)

②航空写真判読画像 (1999年8月の写真の判読結果)

表-2.18 LANDSAT/TM 分類結果とピクセル内緑地率の関係

	ピクセル数	樹林地面積率	草地面積率	農地面積率	その他	計
樹林地(密)	154	62.5%	1.5%	2.6%	33.4%	100%
樹林地(疎)	145	43.3	8.5	7.0	41.2	100
草地	16	0.3	65.8	0.0	33.9	100
農地・緑の多い住宅地	221	11.0	4.1	5.0	79.9	100
緑の少ない住宅地	175	6.5	0.1	0.2	93.2	100
密集住宅地	347	15.5	1.3	1.3	81.9	100
裸地	15	12.5	0.3	0.1	87.1	100
水域	16	26.2	0.0	0.0	73.8	100
計	1089					

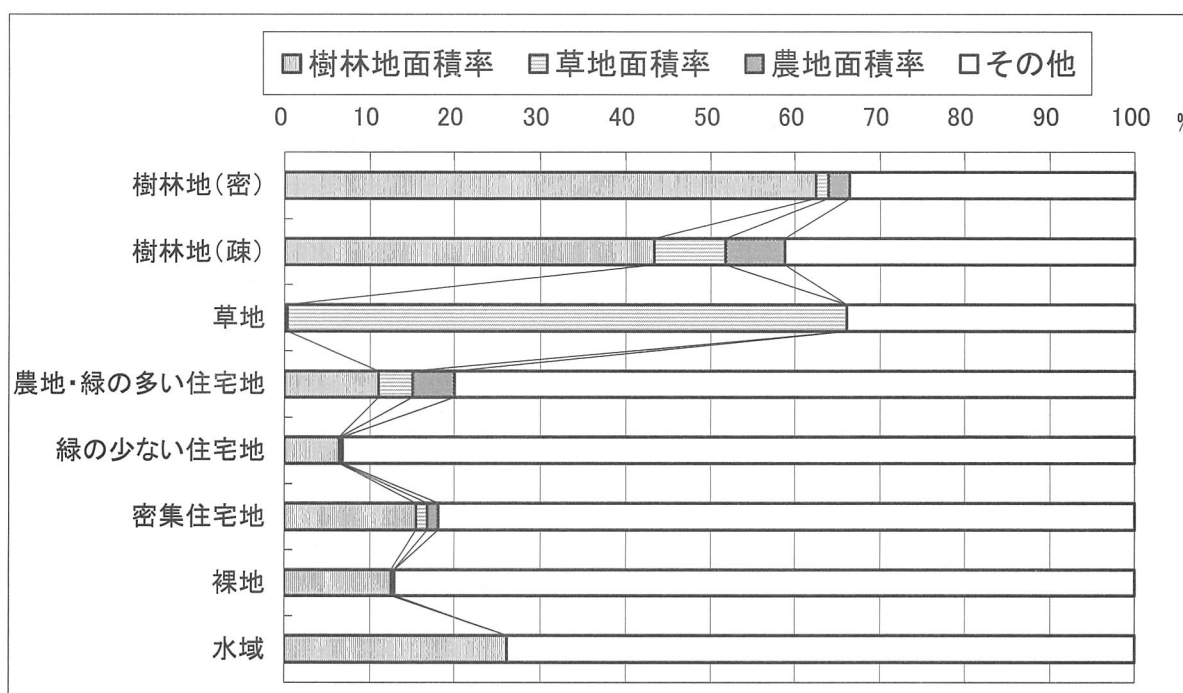


図-2.29 LANDSAT/TM 分類結果とピクセル内緑地率の関係

図-2.29 より、LANDSAT/TM の分類結果と各土地被覆分類毎のピクセル内緑地率（樹林地、草地、農地）の平均との因果関係は次のように考察される。

- ・ 30m メッシュ内の樹林地面積率がおおむね 60%以上であれば、そのメッシュは樹林地（密）と認識される。
- ・ 樹林地（疎）は、40%程度で認識され、樹林地（密）よりは樹木密度が疎であることがこの数字に反映されている。
- ・ 草地は、LANDSAT/TM 分類結果と航空写真判読結果の整合性が高く、LANDSAT/TM で草地と分類された個所はおおむね草地であるといえる。
- ・ 農地・緑の多い住宅地には、農地に加え街路樹、屋敷林等の小規模な樹林地が含まれるため、樹林地面積率が 11%を占める。
- ・ 緑の少ない住宅地、密集市街地には、街路樹、屋敷林等の小規模な樹林地が含まれるため、樹林地面積率が 5～20%を占めている。
- ・ 裸地、水域はピクセル数が少ないため、図-2.29 の数字の信頼度がやや欠けるが、樹林地面積率が 10～25%程度を占め、街路樹、屋敷林等の小規模な樹林地が含まれることを示唆している。
- ・ なお LANDSAT/TM の分類結果と各土地被覆分類毎のピクセル内緑地率（平均）との関係検討は、1km×1km 全体の分類結果を用いて実施している。そのため位置精度の誤差は相殺されるものと考えられる。

表-2.18、図-2.29 の結果を表-2.12 の面積集計結果にフィードバックして面積の補正を試みた。ケーススタディエリア（1km×1km）の補正結果を表-2.19、図-2.30 に示す。

表-2.19 ピクセル内緑地率を用いて補正した緑地面積（ケーススタディエリア）

	LANDSAT/TM (補正前)	ミクセル補正	IKONOS	航空写真
樹林地面積(m ²)	269100	215108	246272	231251
樹林地面積率(%)	27.5	21.9	25.1	23.6
草地面積(m ²)	14400	33123	39776	35092
草地面積率(%)	1.5	3.4	4.1	3.6
農地面積(m ²)	198900	25566	84704	28988
農地面積率(%)	20.3	2.6	8.6	3.0

図-2.30 より、以下の効果が考察される。

- ・ 補正前には 27.5%と 4%ほど多めに算出していた樹林地は、21.9%に補正され航空写真判読結果との差が 1.5%ほどにまで改善されている。
- ・ 補正前には 1.5%と 2%ほど少な目に算出していた草地は、3.4%に補正され航空写真判読結果との差が 0.2%にまで改善されている。
- ・ 補正前には 20.3%と航空写真判読結果の 7 倍近い過大評価をしていた農地は、2.6%に補正され、航空写

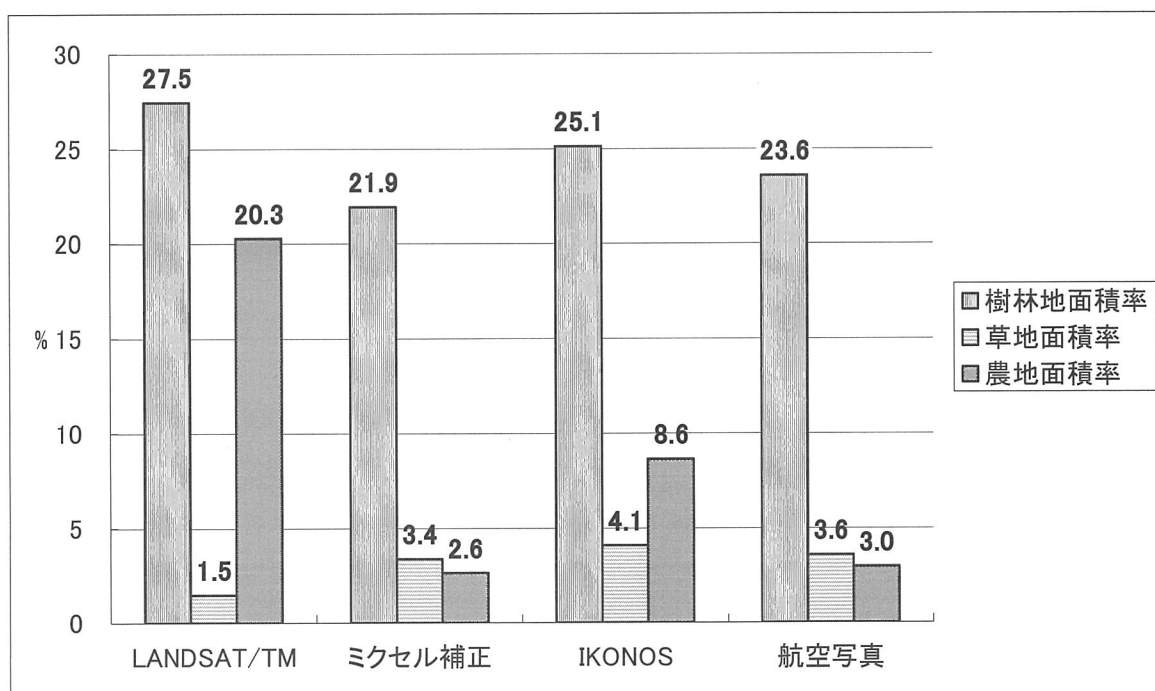


図-2.30 ピクセル内緑地率を用いて補正した緑地率 (ケーススタディエリア)

真判読結果との差が0.4%と大幅に改善されている。

次に、練馬区全体の補正結果を表-2.20、図-2.31に示す。

表-2.20 ピクセル内緑地率を用いて補正した緑地面積 (練馬区全域)

	LANDSAT/TM (補正前)	ミクセル補正	既往調査
樹林地面積(ha)	619.47	765.56	584.94
樹林地面積率(%)	12.9	16.0	12.2
草地面積(ha)	67.59	176.46	123.09
草地面積率(%)	1.4	3.7	2.6
農地面積(ha)	1847.61	146.03	381.11
農地面積率(%)	38.5	3.0	7.9

図-2.31 より、以下の効果が考察される。

- ・補正前には12.9%と0.7%ほど多めに算出していた樹林地は、16.0%に補正され既往調査との差が4%ほどに拡大されている。図-2.30に記したように対象が広域になると誤差が誤差を相殺して比較的高精度に樹林地面積を把握できるのに対し、狭域(1km×1km)で求めた補正係数を用いて広域を補正したために、誤差が拡大したと思われる。
- ・補正前には1.4%と1.2%ほど少なめに算出していた草地は、3.7%に補正され既往調査との差が1.1%に改

善されている。

- ・補正前には 38.5%と既往調査の 5 倍近い過大評価をしていた農地は、3.0%に補正され、既往調査との差が 4.9%と大幅に改善されている。

以上より、ミクセルの補正手法は、農地の過大評価を補正するのに大きな効果が得られることがわかった。

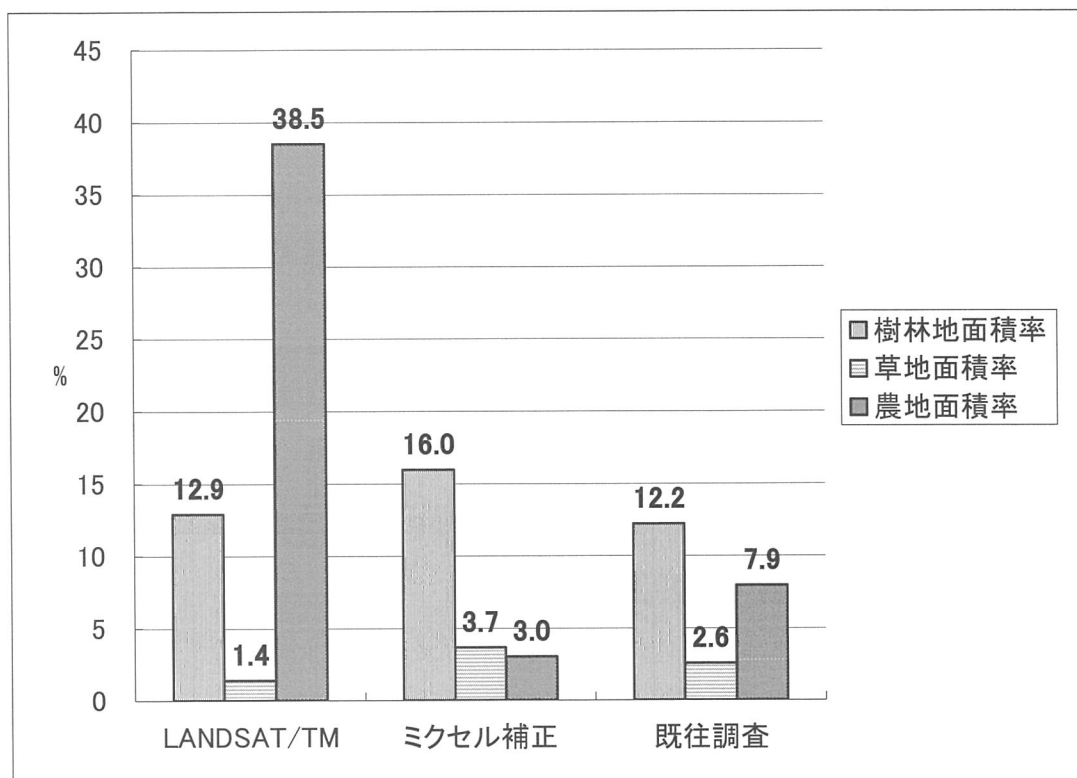


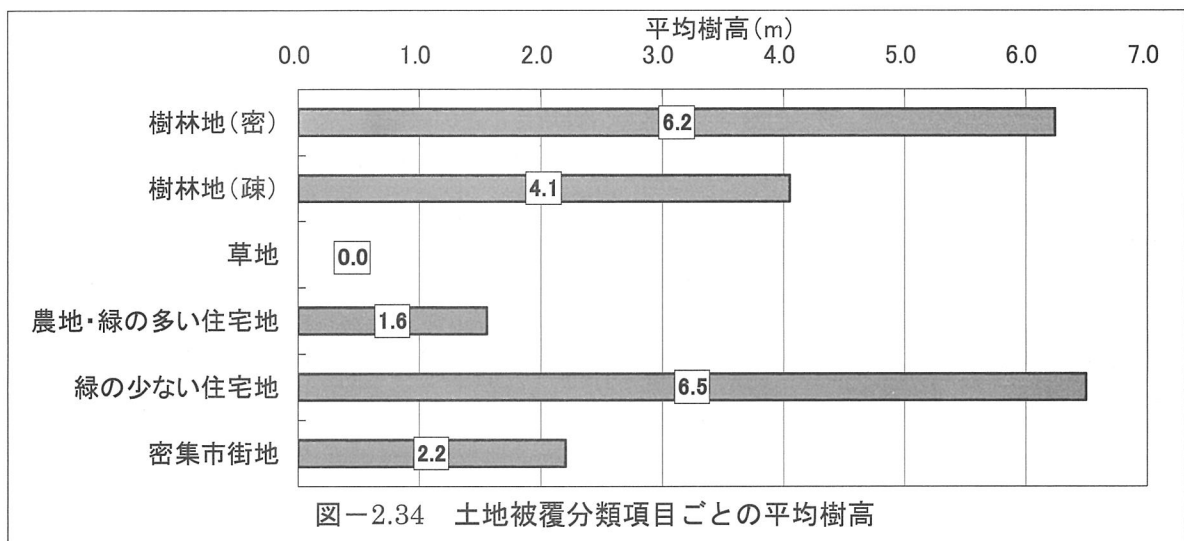
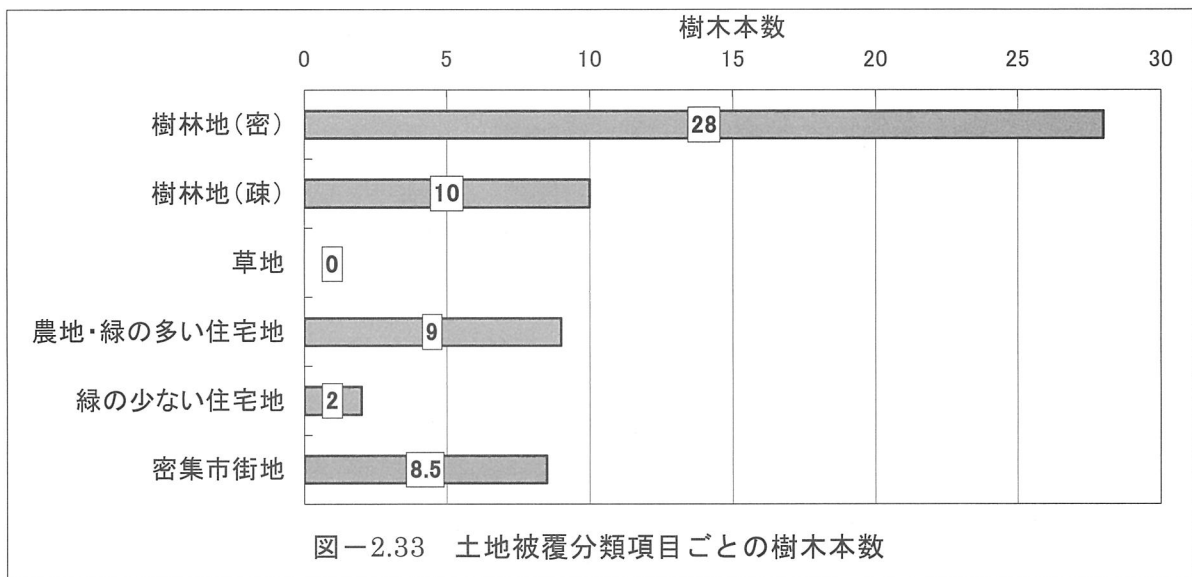
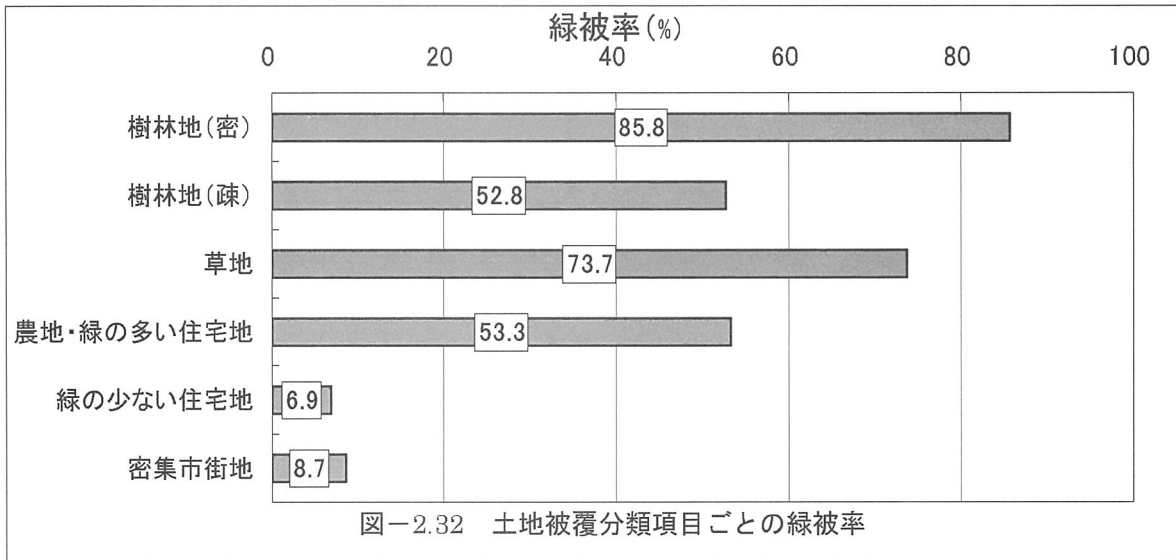
図-2.31 ピクセル内緑地率を用いて補正した緑地率（練馬区全域）

(3) 土地被覆分類結果と樹木現地調査結果との比較

前述したように、リモートセンシング手法からは、樹木本数、樹種、樹高、胸高直径等を求めるのは困難である。そのため、LANDSAT/TM の土地被覆分類結果と現地調査結果を用いて、分類項目ごとの緑量を整理した。その結果を表-2.21 および図-2.32～図-2.36 に示す。

表-2.21 土地被覆分類項目ごとの緑量

	現地調査地点 No.	緑被率(%)	平均本数 (本)	平均樹高 (m)	平均胸高直 径(cm)	平均枝張り (m)
樹林地(密)	5, 7	85.8	28	6.2	31.3	4.4
樹林地(疎)	3, 10	52.8	10	4.1	34.8	4.3
草地	6, 8	73.7	0	—	—	—
農地・緑の多い住宅地	9, 11	53.3	9	1.6	17.2	2.9
緑の少ない住宅地	1, 4	6.9	2	6.5	90.0	4.3
密集市街地	2, 12	8.7	8.5	2.2	15.9	2.6



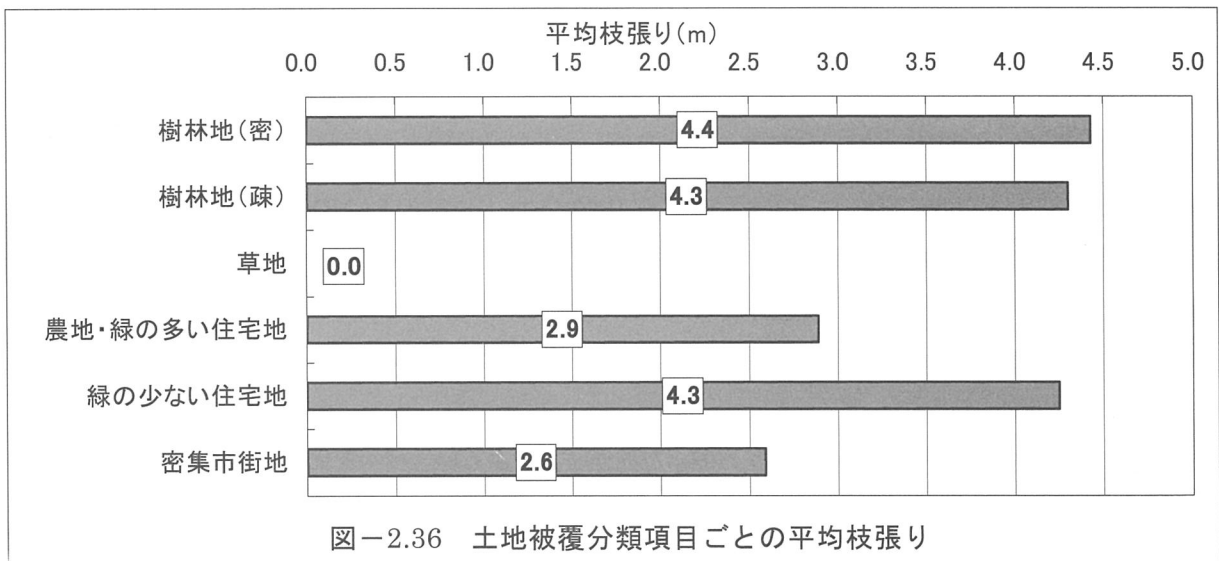
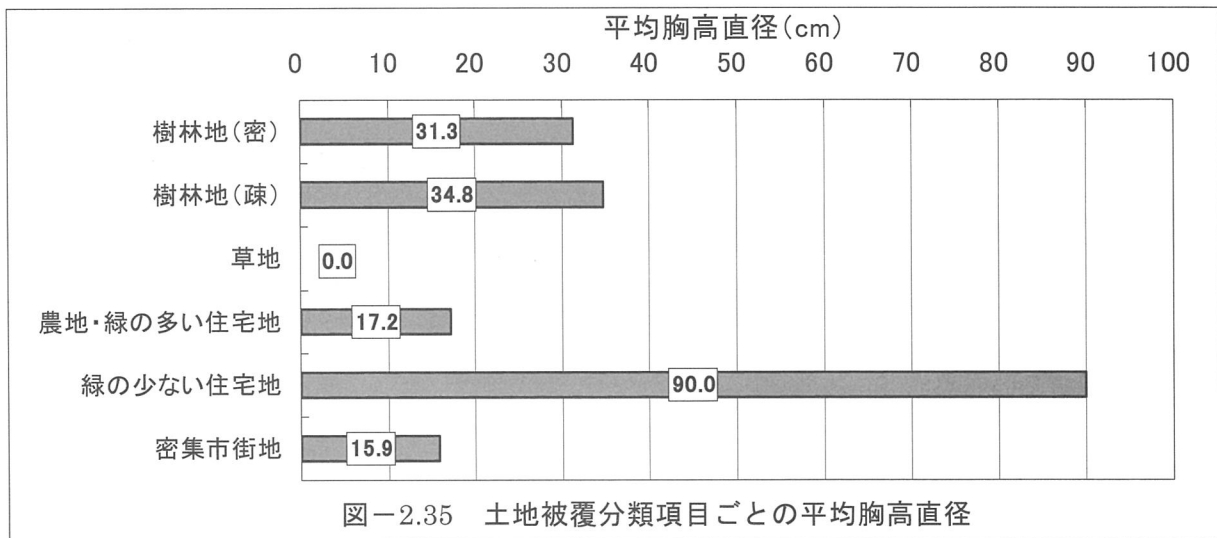


図-2.32 より、LANDSAT/TM の分類項目と現地調査による緑量との関連性を以下に記述する。

- ・緑被率は、樹林地（密）が 85.8% と最も多く、次いで草地の 73.7%、農地・緑の多い住宅地の 53.3%、樹林地（疎）の 52.8% となっている。この現地調査による緑被率の妥当性を検証するために、航空写真判読結果と比較を試みた。現地調査による緑被率は、図-2.32 の値であり、航空写真判読結果による緑被率は、図-2.29 の樹林地面積率、草地面積率、農地面積率を分類項目毎に集計した値である。その結果、図-2.37 のようになり、現地調査による緑被率算定結果と航空写真判読による緑被率算定結果の整合性がおおむね良好であることがわかる。ただし、農地・緑の多い住宅地については、農作物の生育状況に影響されるので整合性が低くなっている。

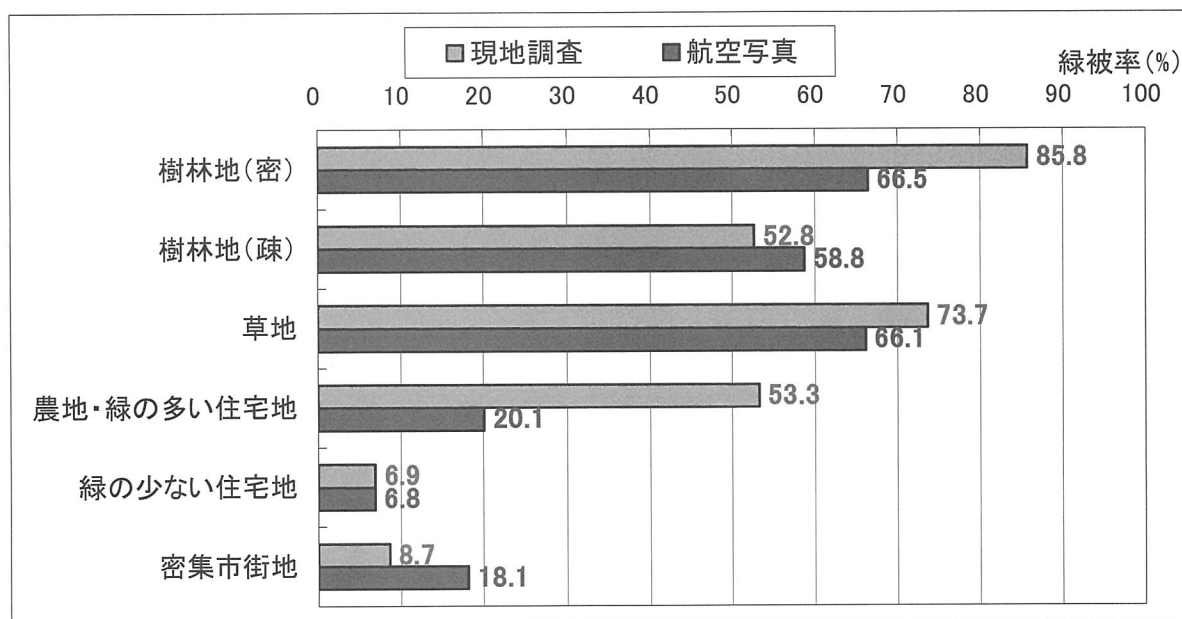


図-2.37 現地調査から求めた緑被率と航空写真判読から求めた緑被率の比較

(4) 経年変化の検討

表-2.12 および表-2.18 より、ミクセルの補正を1989年11月2日のLANDSAT/TM分類結果にも適用して、緑地の経年変化を検討した。ケーススタディエリア(1km×1km)における樹林地、草地、農地の2時期の面積率と、その変化量を表-2.22に示す。

表-2.22より作成した経年変化図を図-2.38に示し、その特徴を述べる。

表-2.22 LANDSAT/TM(ミクセル補正)および航空写真による緑地経年変化(ケーススタディエリア)

	LANDSAT/TM (1989/11/2)	LANDSAT/TM (1999/7/25)	変化量	航空写真 (1989年11月)	航空写真 (1999年8月)	変化量
樹林地	23.0	21.9	- 1.1	20.5	23.1	2.6
草地	4.6	3.4	- 1.3	2.8	3.5	0.7
農地	3.0	2.6	- 0.4	4.5	2.9	- 1.6

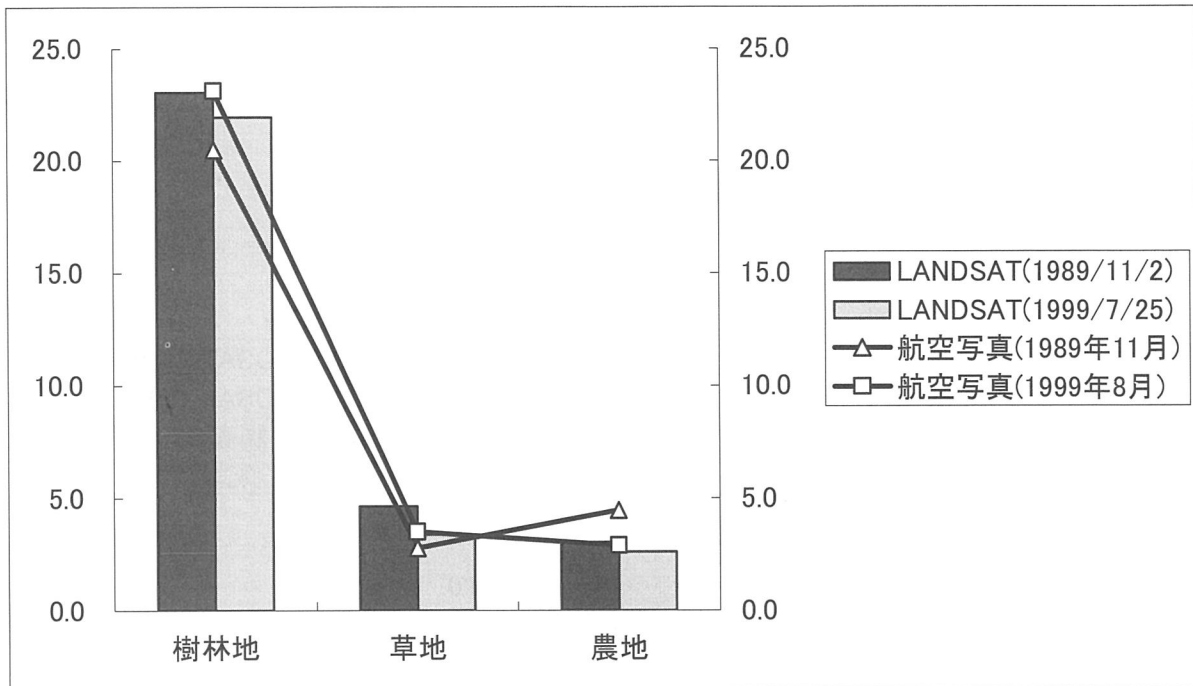


図-2.38 LANDSAT/TM（ミクセル補正）および航空写真による緑地経年変化図（ケーススタディエリア）

- ・LANDSAT/TMによる経年変化では、樹林地、草地、農地とも1989年から1999年の間に減少しており、減少量はあわせて2.8%（約28,000m²）である。
- ・航空写真判読による経年変化では、1989年から1999年にかけて樹林地、草地が増加しており、農地が減少している。変化量はあわせて+1.7%（約17,000m²の増加）である。
- ・以上のように、LANDSAT/TMと航空写真判読では、樹林地と草地の変化に異なる方向が示された。その原因は、1989年のミクセル補正を1999年のデータを用いたことが考えられるが、確認が必要とされる。

次に練馬区全域における樹林地、草地、農地の2時期の面積率と、その変化量を表-2.23に示す。

表-2.23 LANDSAT/TM（ミクセル補正）および既往調査による緑地経年変化（練馬区全域）

	LANDSAT/TM (1989/11/2)	LANDSAT/TM (1999/7/25)	変化量	既往調査 (1991年)	既往調査 (1996年)	変化量
樹林地	18.8	16.0	- 2.8	11.44	12.15	0.7
草地	5.1	3.7	- 1.4	1.93	2.56	0.6
農地	2.9	3.0	0.1	11.71	7.91	- 3.8

表-2.23 より作成した経年変化図を図-2.39 に示し、その特徴を述べる。

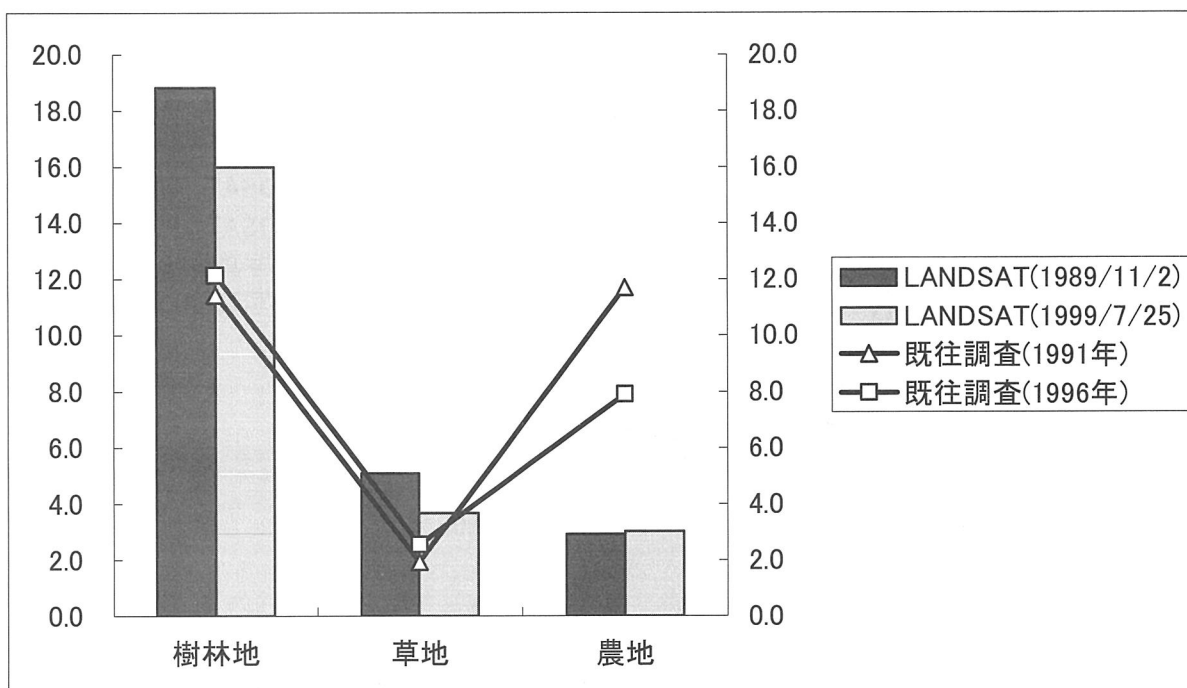


図-2.39 LANDSAT/TM（ミクセル補正）および既往調査による緑地経年変化図（練馬区全域）

- ・ LANDSAT/TM による経年変化では、1989 年から 1999 年にかけて樹林地、草地が減少しており、農地が増加している。変化量はあわせて-4.1%（約 197.46ha の減少）である。
- ・ 既往調査による経年変化では、1991 年から 1996 年にかけて樹林地、草地が増加しており、農地が減少している。変化量はあわせて-2.5%（約 120.40ha の減少）である。
- ・ ケーススタディエリアの場合と同様な問題が生じており、課題とされる。

(5) 常緑樹、落葉樹の分類可能性の検討

航空写真判読で得られた常緑樹域、落葉樹域を用いて LANDSAT/TM および IKONOS のマスク処理を行ない、常緑樹、落葉樹の平均輝度値を求めた。その結果を図-2.40、図-2.41 に示す。また、ここで使用したデータは次のとおりである。

- ①LANDSAT/TM データ（1999 年 7 月 25 日観測）
- ②IKONOS データ（2000 年 2 月 23 日観測）
- ③航空写真判読画像（1999 年 8 月の写真の判読結果）

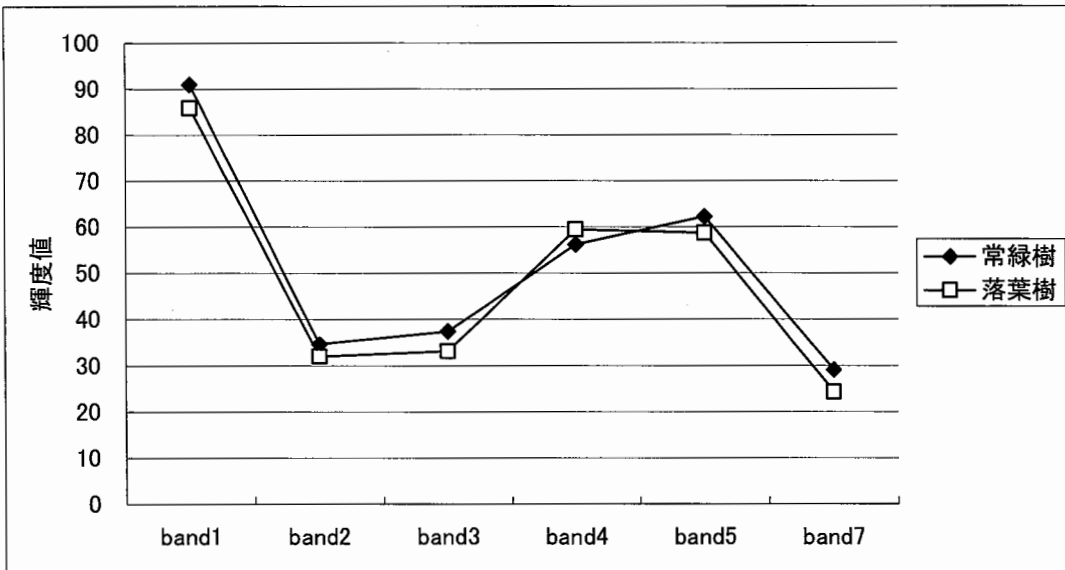


図-2.40 常緑樹・落葉樹の平均輝度値 (LANDSAT/TM : 1999年7月25日観測)

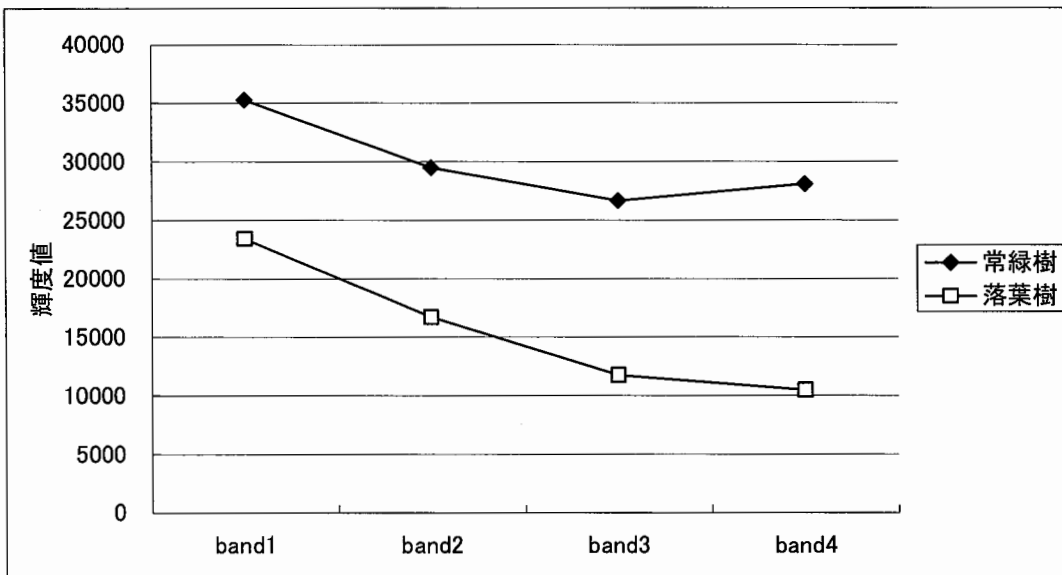


図-2.41 常緑樹・落葉樹の平均輝度値 (IKONOS : 2000年2月23日観測)

図-2.40 より、夏季の LANDSAT/TM データでは常緑樹と落葉樹の間には明瞭な輝度値の差がなく、これらを区分することは困難であるといえる。一方、図-2.41 の IKONOS データでは、常緑樹と落葉樹の間に明瞭な輝度値の差が存在する。これは、使用した IKONOS データが冬季のデータであるため、葉の有無によりスペクトル特性が異なることによると思われる。

これより、常緑樹・落葉樹を自動分類によって区分するためには、冬季のデータを用いることが望ましいと考えられる。ただし、冬季の落葉樹林は樹幹や土壌が露出しているため、誤分類が多く発生する(図-2.25 参照)。したがって、誤分類を避け精度向上を図るためには、複数時期の衛星データを用いて重ね合わせを行うことが望ましいと思われる。