

都市緑地調査における人工衛星技術の活用に関する研究

(国土技術政策総合研究所 環境研究部 緑化生態研究室)

[要 旨]

近年、高分解能人工衛星画像が入手可能に成り、従来まで、航空写真が一般に用いられてきた都市緑地調査分野への利用可能性が注目されている。人工衛星を用いる利点としては、広域撮像とコンピューター処理により効率的な都市緑地抽出が可能であること、都市緑地調査での多目的な利用が可能であることなどがあげられる。

本研究では、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て、東京都練馬区内の1 km × 1 kmのケーススタディエリアにおいて、調査を実施した。

第一に、高分解能人工衛星 IKONOS 画像（デジタルジオ画像）および従来型人工衛星 LANDSAT/TM 画像により緑被地（樹林地、草地、農地）を抽出したものを、航空写真判読による抽出結果と比較することにより、両衛星画像の抽出精度の検証を行った。その結果、空間分解能が30mのLANDSAT/TM画像では、対象地域に存在する街路樹や屋敷林などの小規模な緑地の単体としての抽出は困難であった。空間分解能が4mのIKONOS画像では、街路樹、屋敷林、草地、農地などが比較的適切に抽出されたが、影の影響による誤判別が認められた。また、農地については、LANDSAT/TM画像では緑の多い住宅地に、IKONOS画像では建築物の屋根等に、農地と同様のスペクトル特性を示すものがあり、農地を過大算出する傾向にあることがわかった。

第二に、農地の誤分類の減少及び農地の細分化を目的として、IKONOS画像（デジタルオルソ画像）を用いて、教師つき分類により樹林地、草地、農地（普通畑、果樹畑、苗木畑、芝畑）の抽出を行い精度検証を行った。その結果、果樹畑、苗木畑が樹林地に誤分類されやすく、農地としての抽出が困難であった。

第三に、都市緑地調査の成果として必要とされる緑被分布図及び小樹林地分布図を、IKONOS画像及び東京都DM（デジタルマップ）データを用いて作成するとともに、位置精度を検証した。緑被分布図については、農地の誤分類が多いため、樹林地、草地だけを対象としたが、両図ともコンピューター処理により効率よく作成することができた。位置精度の検証では、デジタルジオ画像では1～2ピクセル程度のずれが生じたが、デジタルオルソ画像では、おおむね整合した。

第四に、IKONOS画像を用いて、都市緑地のCO₂固定量算定の精度を上げるために必要な常緑樹と落葉樹の区別の検討を行った。その結果、航空写真判読結果と類似した傾向に区分することができた。

[キーワード] 高分解能人工衛星、IKONOS、土地被覆分類、都市緑地、常緑・落葉の区分

1. はじめに

都市緑地には、レクリエーション空間の提供のほかにも、都市気象の調節、CO₂の吸収、生物生息地の確保、火災延焼防止など様々な機能があり、これらの機能を生かすためには都市緑地の保全や整備を計画的に行うことが重要である。

都市緑地に関する法定計画としては、都市緑地保全法に基づく「緑の基本計画」があり、全国の市町村が、その策定に取り組んでいるが、策定には緑地の現況を把握するための調査が必要とされる。

調査は、これまで主として航空写真を用いて行われてきたが、都市全域を対象とする手法として、より効率的なものが求められている。人工衛星画像を用いる方法は、広域的撮像とコンピューター処理が可能であり、効率的なものといえるが、従来の衛星画像は分解能が低いため、都市緑地調査には不十分な点があった。しかし、最近になって、航空写真に匹敵する高分解能の衛星画像の入手が可能となり、都市緑地調査への利用が期待されている。

高分解能衛星画像を利用するためには、緑地抽出のための画像処理方法を開発する必要がある。高度な処理により、緑地を形成する樹木の種類や大きさまでを把握することが可能となれば、植物群落の判別、CO₂吸収量の算定など、その応用範囲はとても広いものとなる。

2. 研究目的

本研究では、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4項目についてケーススタディを実施した。

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

IKONOS 画像による農地の細分化（普通畑、果樹畑、苗木畑、芝畑）と精度の検証

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）及び小樹林地分布図（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）の作成と精度の検証

CO₂ 固定量の算定精度を上げるために必要とされる常緑樹・落葉樹の区分と精度の検証

3. 研究方法

東京都練馬区内の石神井公園周辺の 1km × 1km をケーススタディエリアとした。なお、上記の緑被分布図と小樹林地分布図の作成は、練馬区全域について行った。

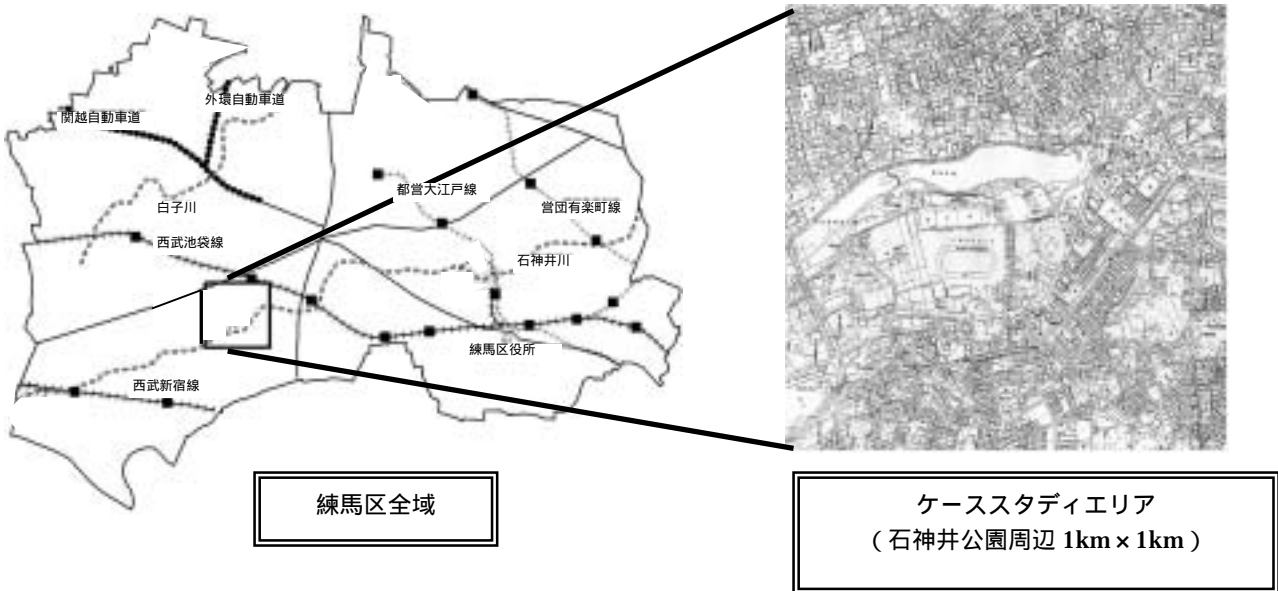


図 - 1 調査対象範囲

3.1. 人工衛星画像による緑地の抽出と精度検証

従来型人工衛星と高分解能人工衛星の2つの人工衛星画像による緑地抽出・分類結果について、航空写真判読結果を基準に、樹林地、草地、農地の3項目を対象として、面積の精度検証を行った。

従来型人工衛星画像は、バンド数が多く、植生域判別に有効な近赤外波長を持つ LANDSAT/TM 画像を利用した。緑地の抽出は、植生指標 (NVI) を用いて、植生域・非植生域・水域の3つの画素に分類し、さらに、植生域について、バンド6 (熱赤外) を除く6バンドを用いて、クラスター自動分類により、樹林地、草地、農地に分類した。

高分解能衛星 IKONOS 画像 (デジタルジオ画像) での緑地抽出も LANDSAT/TM 画像と同様の手法によったが、クラスターの自動分類には、可視～近赤外域の4バンドを用いた。検証データとする航空写真による緑地抽出は、約1万分の1で撮影された航空写真を用いて、目視の判読により樹林地、草地、農地の抽出を行った。

3.2. IKONOS 画像による農地の細分化と精度の検証

IKONOS デジタルオルソ画像を用いて緑被地を樹林地、草地、普通畑、果樹畑、苗木畑、芝畑の区分により抽出した。区分方法は、最尤法と、デシジョンツリー法と最尤法を併用した方法 (以下、デシジョンツリー併用法という。) の2つにより行った (図 - 2、3)。精度検証は、航空写真判読結果 (図 - 4) と比較することにより行い、全分類区分の正答率を算定した。

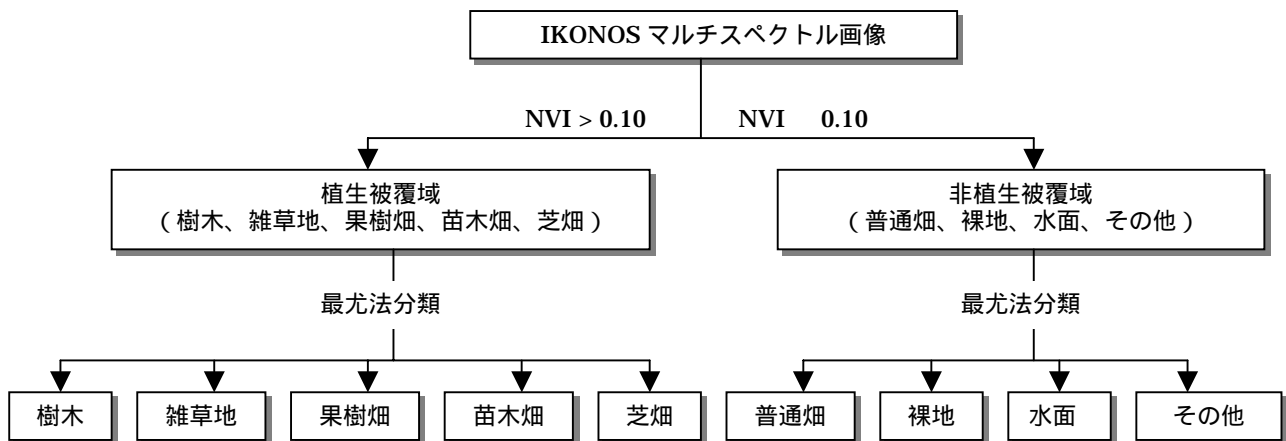


図 - 2 最尤法による分類手順

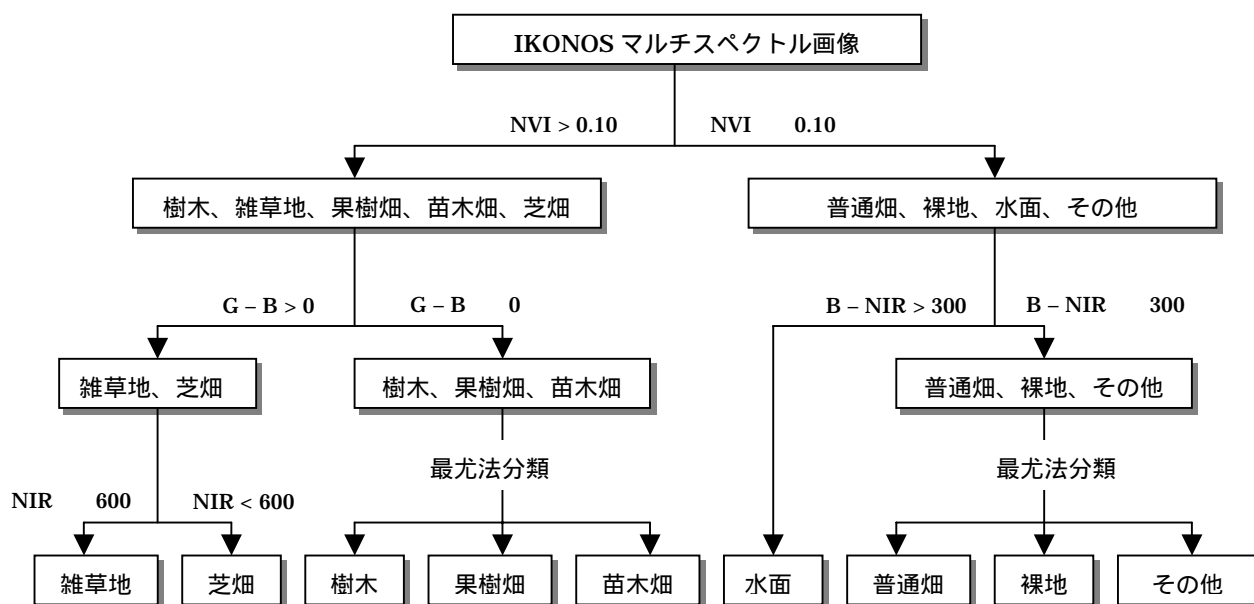


図 - 3 デシジョンツリー併用法による分類手順

3.3. 緑被分布図及び小樹林地分布図の作成と精度検証

3.2.の抽出結果をもとに、1/2,500(ケーススタディエリア)及び1/10,000(練馬区全域)の東京都所有のDMデータと重ね合わせるにより、緑被分布図及び小樹林地分布図を作成した。小樹林地分布図とは、緑の基本計画等の策定時に保全対象とする樹林の検討資料として作成されるものであり、ここでは、都市緑地保全法に基づく市民緑地指定の面積要件である300㎡以上の樹林地を対象とした。

位置精度の検証は、DMデータには、緑地の位置情報はないので、道路、建物などの位置について、IKONOSマルチスペクトル画像(デジタルジオ画像、デジタルオルソ画像)とDM(1/2,500)とのオーバーレイにより行った。

3.4. IKONOS画像を用いた常緑樹・落葉樹の区分と精度検証

常緑樹・落葉樹の区分については、夏(2000年8月)と冬(2000年2月)の2時期のIKONOS画像における常緑樹と落葉樹のスペクトルの季節変化パターンを調べ、それぞれの特性を利用し、自動処理により区分を試みた。なお、季節誤差を除去するためにスペクトル補正を行うこととし、その方法は、不変箇所(季節によるスペクトル差がないと仮定できる箇所:建物の屋根等)のスペクトル値をサンプリングし、バンドごとに回帰直線を求める方法を用いた¹⁾。

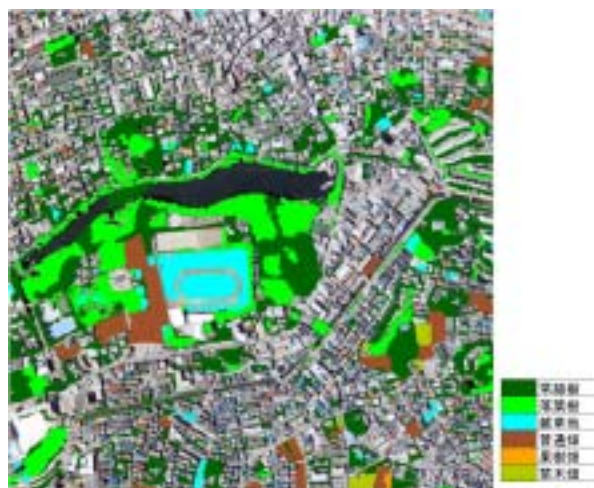


図 - 4 航空写真判読結果

4. 研究結果

4.1. 人工衛星画像による緑地の抽出と精度検証

検証画像とする航空写真の判読結果を図-5に、LANDSAT/TM画像、IKONOS画像による緑地抽出結果を、それぞれ図-6、図-7に示す。

LANDSAT/TM画像の抽出結果では、その空間分解能が30mと低いため、対象地域に存在する街路樹や屋敷林などの小規模な緑地の単体としての抽出が困難であり、各画素は小規模な緑地を含むミクセル(複数の土地被覆の混在するピクセル)としての性格を示している。

IKONOS画像の抽出結果では、空間分解能が4mと高いため、街路樹、屋敷林、草地、農地などが比較的適切に抽出されている。しかし、影の影響による誤分類、建築物の屋根の農地への誤分類が認められ、これらの箇所では分類精度が落ちた。また、使用したデータが冬季のデータであったため、落葉樹林が裸地あるいは農地と誤分類されている箇所があった。



図 - 5 航空写真判読結果
(1999年8月)

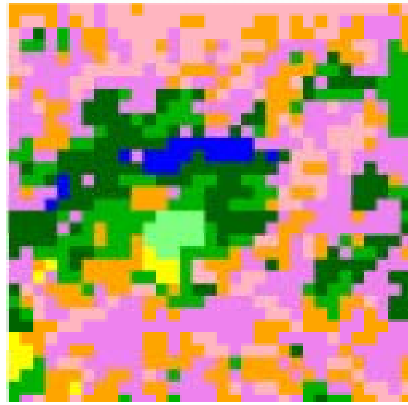


図 - 6 LANDSAT/TM抽出結果
(1999年7月)

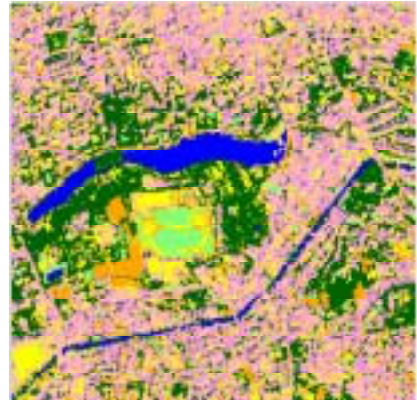


図 - 7 IKONOS抽出結果
(2000年2月)

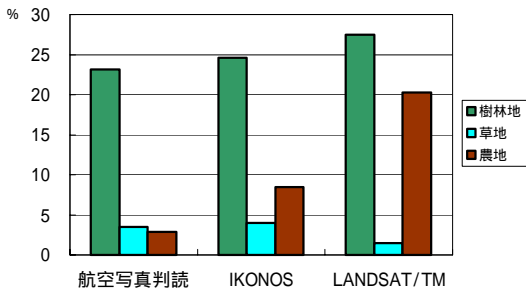


図 - 8 調査対象範囲における樹林地、草地、農地の面積率の比較

注) 航空写真判読は1999年8月、IKONOSは2000年2月23日、LANDSAT/TMは1999年7月25日のデータを使用。

各手法の樹林地、草地、農地の面積率の比較を図 - 8 に示す。

樹林地、草地については、LANDSAT/TM 画像及び IKONOS 画像とも航空写真により把握したものと同様の傾向を示したが、農地については、過大に算出する傾向にあり、その原因として、LANDSAT/TM 画像では緑の多い住宅地が、IKONOS 画像では建築物の屋根等が農地に誤判別されているためと考えられた。

4.2. IKONOS 画像による農地の細分化と精度の検証

緑地抽出正答率を表 - 1 に示す。最尤法の結果についてみると、樹林地、草地は、比較的精度よく抽出されたが、普通畑、果樹畑、苗木畑などの農地類については、誤判別が多く、特に、果樹畑、苗木畑が樹林地に分類されやすく、農地としての分類が困難であった。

デシジョンツリー併用法については、普通畑、果樹畑の正答率に若干の向上が見られるが、最尤法に比較して苗木畑の誤判別が多く見られた。

4.3. 緑被分布図及び小樹林地分布図の作成と精度検証

作成した緑被分布図、小樹林地分布図を図 - 9 及び図 - 10 に示す。緑被分布図の作成では、通常は、樹林地、草地、

表 - 1 ケーススタディエリアにおける緑地抽出正答率

【最尤法】

最尤法	検証用				
	樹林地	草地	普通畑	果樹畑	苗木畑
樹林地	66.7	24.3	21.1	74.9	46.8
草地	4.0	48.8	4.0	0.0	3.1
普通畑	2.8	5.4	41.1	3.0	0.6
果樹畑	0.7	3.0	0.9	0.0	0.7
苗木畑	5.5	2.0	3.9	16.5	24.0
芝畑	1.7	7.3	1.2	0.0	0.4
その他	18.6	9.2	27.7	5.6	24.4
計	100	100	100	100	100

【デシジョンツリー併用法】

デシジョンツリー併用法	検証用				
	樹林地	草地	普通畑	果樹畑	苗木畑
樹林地		21.9	25.2	84.4	66.6
草地	0.4		1.9	0.0	0.0
普通畑	2.2	5.4		3.0	0.8
果樹畑	2.1	0.7	0.5		1.3
苗木畑	2.8	0.7	1.3	3.5	
芝畑	3.8	35.0	2.4	0.0	1.8
その他	19.2	9.2	27.0	5.6	24.2
計	100	100	100	100	100

注) ケーススタディエリアには芝畑は存在しない。

農地の抽出を行うが、農地については誤判読が多かったため、樹林地、草地のみとした。作図は、既存の 1/2,500 及び 1/10,000 の DM データとオーバーレイすることにより効率的に行うことができた。位置精度については、デジタルジオ画像を用いた場合は、1～2ピクセル程度ずれることがあったが、デジタルオルソ画像を用いた場合は、おおむね整合した。ただし、1ピクセルが4m×4mなのでギザギザが目立った(図-11)。

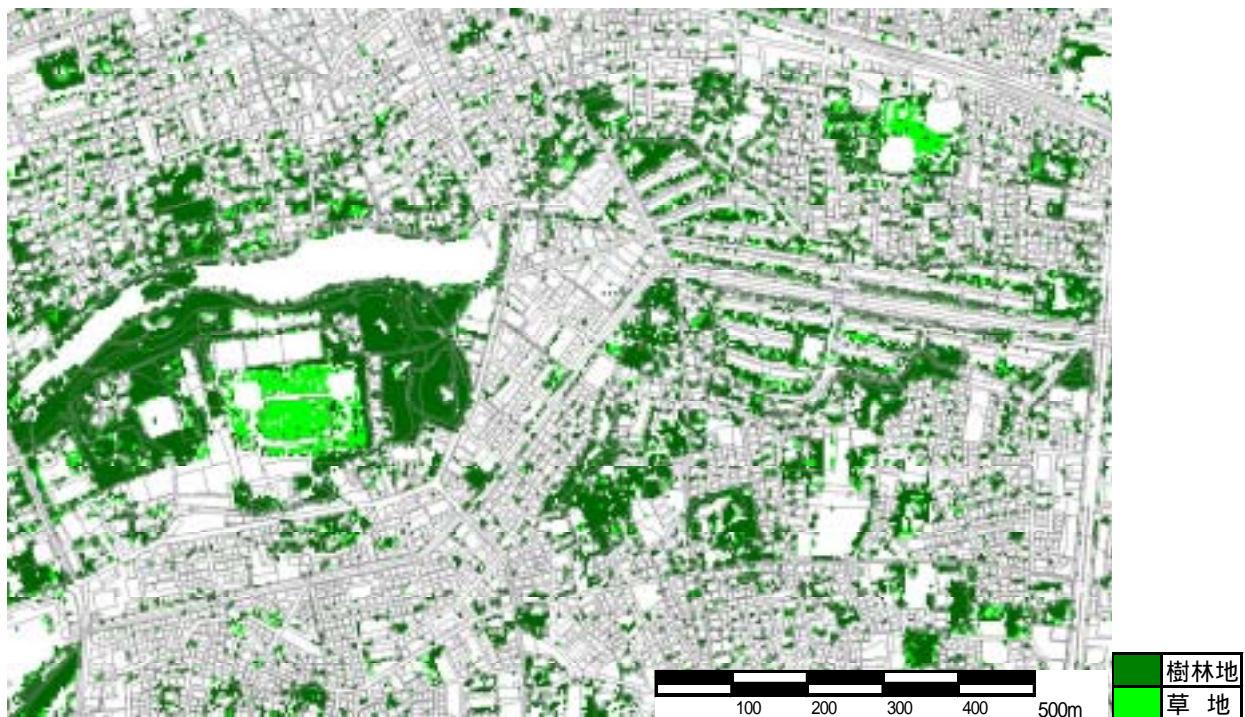


図 - 9 緑被分布図(1/10,000)



図 - 10 小樹林地分布図(1/10,000)









	デジタルソライト/マルチスペクトル画像	デジタルジオ/マルチスペクトル画像
プール		
	おおむね整合	1~2ピクセル程度のずれ
道路		
	おおむね整合	おおむね整合
建物		
	おおむね整合	数ピクセルのずれ
グラウンド		
	おおむね整合	1~2ピクセル程度のずれ

図 - 1 1 IKONOS画像と1/2,500DMの整合

4.4.4. IKONOS 画像を用いた常緑樹・落葉樹の区分と精度検証

検証用画像に基づき、47箇所（常緑樹25箇所、落葉樹22箇所）のトレーニングエリアを選定し（図-12）、夏季および冬季のスペクトル値をサンプリングした。結果を図-13に示す。

常緑樹・落葉樹ともに、B(band1)、G(band2)には、季節変化があまり見られなかった。R(band3)では、落葉樹は夏季において色調値が減少する傾向があった。また、NIR(band4)では、落葉樹は、常緑樹に比較し夏季における色調値の増加幅が大きかった。このようなスペクトル変化特性を次式で数値化し、トレーニングエリアの Index 値をグラフ化したものが図-14である。



図 - 1 2 常緑樹・落葉樹区分の検討に際して選定したトレーニングエリア

$$\text{Index} = (\text{NIRs} - \text{NIRw}) - (\text{Rs} - \text{Rw})$$

NIRs : 夏季の近赤外域、NIRw : 冬季の近赤外域、Rs : 夏季の赤色域、Rw : 冬季の赤色域

図 - 1 4 より、常緑樹と落葉樹のしきい値となる Index 値を 200 とし、常緑樹・落葉樹の区分を行ったものが図 - 1 5 である。航空写真判読結果と比較すると、単層林では精度が高いが、複層林では精度が低く、また、樹冠の影の影響と考えられる誤判別が見られた。中でも、樹冠の影の影響が大きく、落葉樹でも樹冠の影は、常緑樹に分類される傾向にあった。

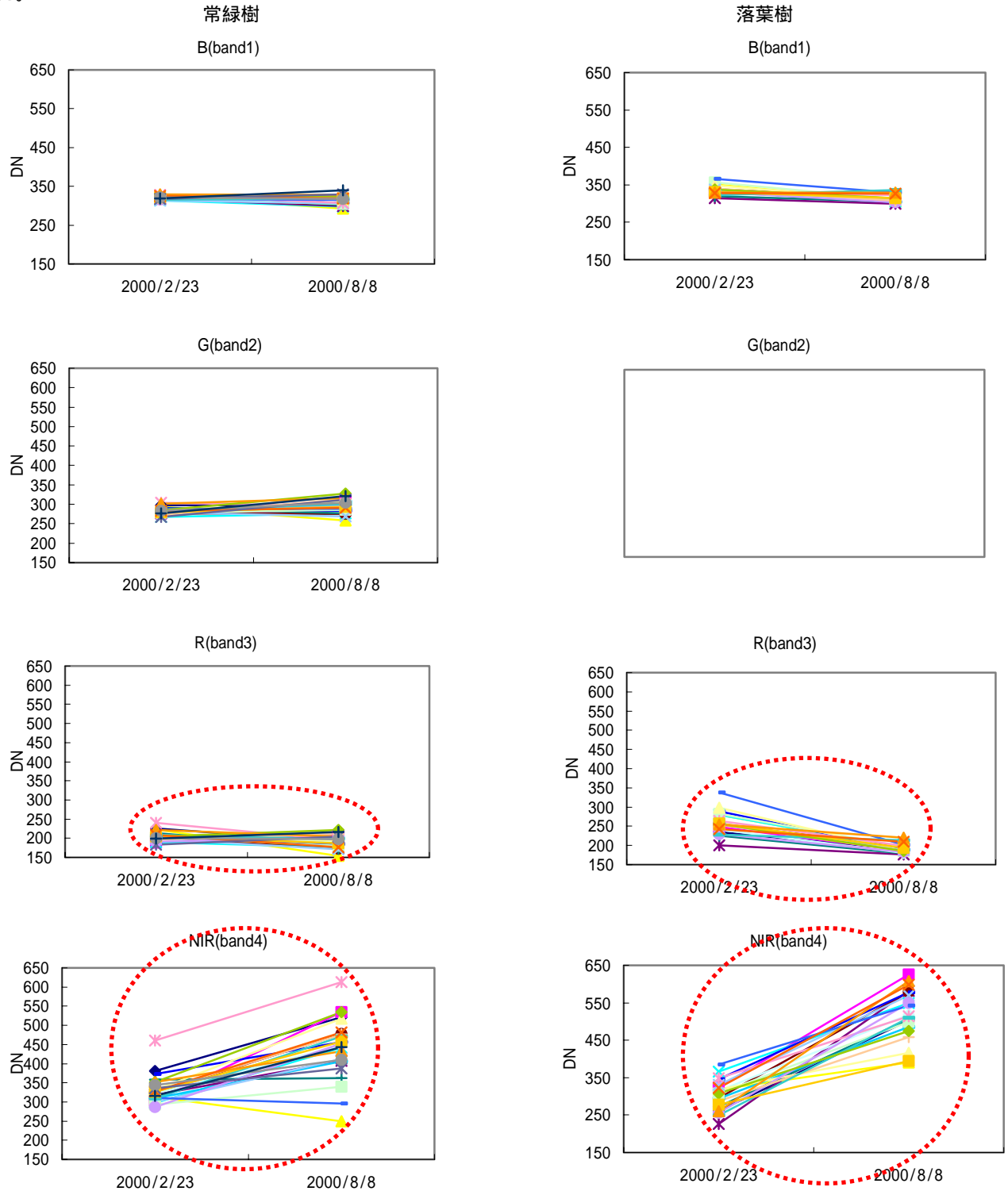


図 - 1 3 常緑樹・落葉樹のスペクトル変化特性 (IKONOS 画像)

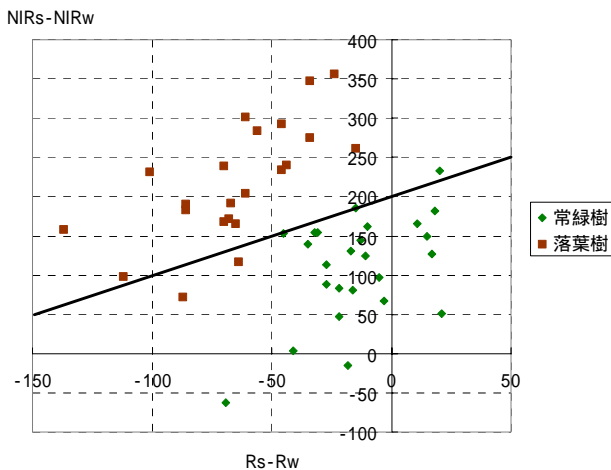


図 - 14 トレーニングエリアのIndex値サンプリング結果 (IKONOS画像)

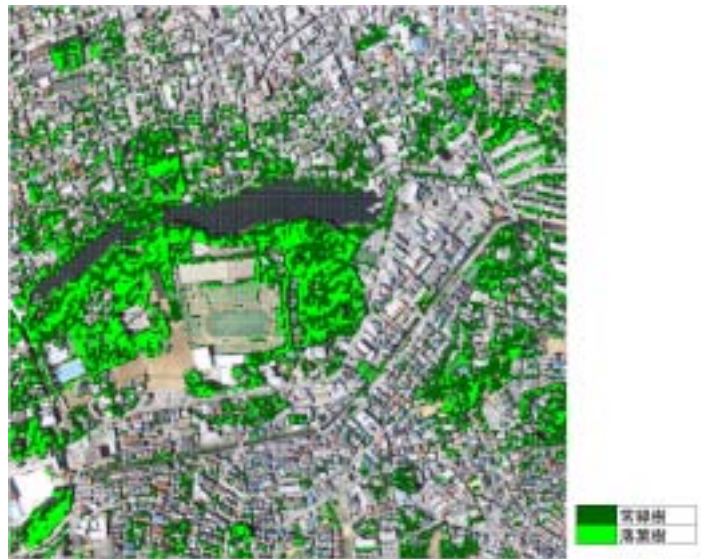


図 - 15 常緑樹・落葉樹区分結果 (IKONOS画像)

5. おわりに

IKONOS 画像を用いることにより小規模な緑地まで抽出することができた。しかし、東京都の「緑被率標準調査マニュアル」²⁾の調査水準(表 - 3)と照らし合わせてみると、IKONOS 画像による抽出精度は、水準の段階にとどまっており、航空写真利用による水準の段階まで至るには、さらに高分解能の衛星データの利用が必要と考えられる。

表 - 3 東京都緑被率標準調査マニュアル(1988)調査水準

調査水準	使用する写真のスケール	最小読み取り精度	作成する図面のスケール	想定する調査対象
水準	1 / 2,500	1m	1 / 10,000	街路樹、生垣などの小さな緑被地まで計測する調査水準 (小規模な緑被地の構成割合が大きい区部及び市部を想定)
水準	1 / 5,000	3m	1 / 10,000	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 (小規模な緑被地の構成割合が小さい市及び町部を想定)
水準	資料図面を使用	-	1 / 50,000	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 (ほとんどが山林などに占められている町及び村部を想定)

また、農地の正確な抽出及び細分(普通畑、果樹畑、苗木畑、芝畑)は困難であった。自動分類の精度を高めるには、農地の土地情報を有している細密数値情報を併用するなどの処理が必要と考えられる。

しかし、一方では、IKONOS マルチスペクトル画像(デジタルオルソ画像)から作成した緑被分布図、小樹林地分布図は、十分な位置精度を有しており、また、屋上緑化や市街地内・住宅地内の緑地も抽出可能であるため、樹林地と草地程度の単純な植生被覆の把握には、航空写真にかわるものとしての利用性が十分にあるといえる。

CO₂固定量算定に係る常緑樹・落葉樹の区分について、現状の衛星データから得られる分類は、かなりの誤判別を含んでいると判断されるが、ハイパースペクトルセンサーで撮影した場合は樹種の判別まで可能といわれており、今後の人工衛星技術の発展が望まれる。

引用文献

- 1) 日本リモートセンシング研究会編：リモートセンシング実用講座 画像の処理と解析、pp.168、1981
- 2) 東京都環境保全局編集発行：緑被率標準調査マニュアル、36p.、1988