

◆ 報 文 ◆

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

山岸 裕* 藤原宣夫**

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調査することが必要とされる。

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。新たな処理により、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. 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項目について検討を行った。

- ①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
- ②IKONOS 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
- ③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
- ④CO₂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. 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③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。

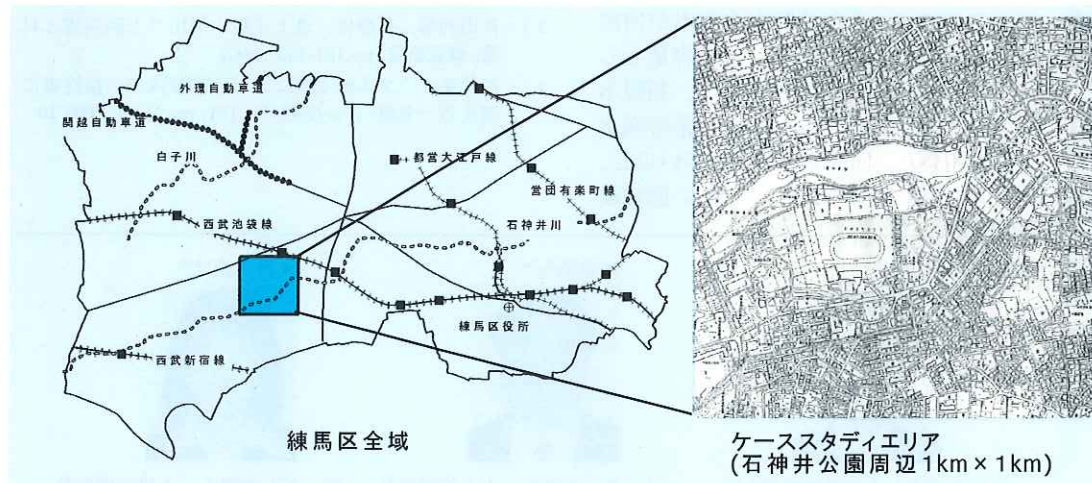


図-1 調査対象範囲

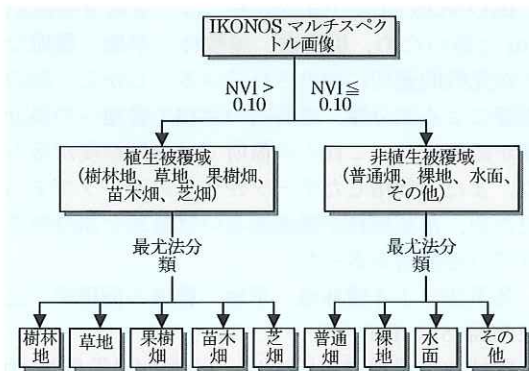


図-1 最尤法による分類手順

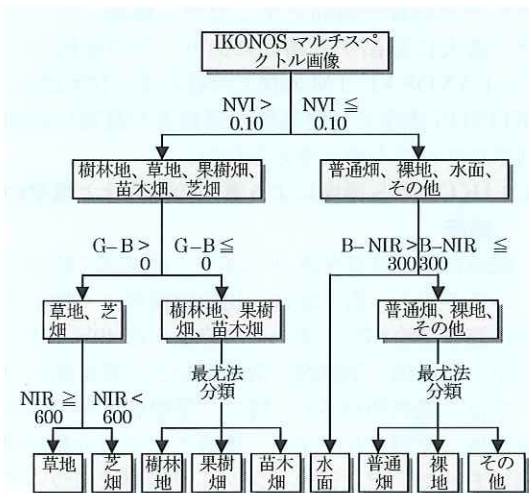


図-2 ディシジョンツリー併用法による分類手順

注) B、G、R、NIR は IKONOS 画像データの各バンドに対応。波長域は、B: 青色、G: 緑色、R: 赤色、NIR: 近赤外。

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、正規化植生指標 (NDVI)^{注1)} 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。

注1) Normalized Difference Vegetation Index の略。次式のように算出され、植物の量に対応しており、NDVI 値が高いほど植生が多いといえる。 $NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$ NIR: 近赤外域の観測値 VIS: 可視域の観測値(分光されている場合は赤色域)²⁾

高分解能衛星 IKONOS 画像(デジタルジオ画像^{注2)})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^{注3)}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、ディシジョンツリー法と最尤法を併用した方法(以下、ディ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出した。

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)の東京都所有のデジタルマップ(以下、DM という。)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300m²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、

注2) 地球の丸みによって生じる画像の歪みを補正した画像(幾何補正)。

注3) デジタルジオ画像の幾何補正に加え、地上測量による地上基準点(GCP)と標高データによる正射投影補正を行った画像。

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⁾。

4. 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, 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。

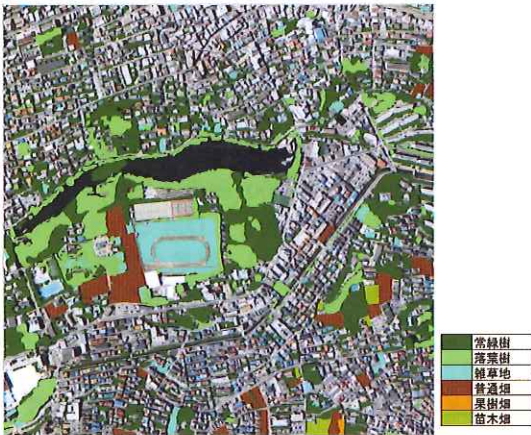
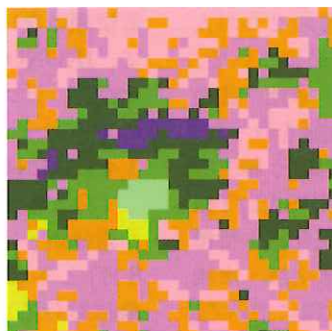


図-4 航空写真判読結果



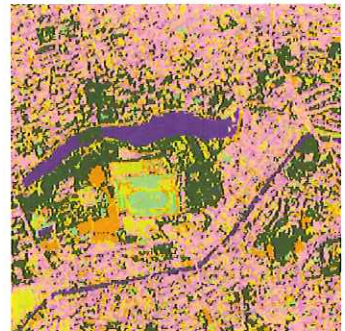
常緑樹	
落葉樹	
草地	
農地	

図-5 航空写真判読結果
(1999年8月)



樹林地(密)	
樹林地(疎)	
草地	
農地・緑の多い住宅地	
緑の少ない住宅地	
密集市街地	
裸地	
水域	

図-6 LANDSAT/TM抽出結果
(1999年7月)



樹林地	
草地	
農地	
住宅地・道路	
住宅地	
裸地	
水域	

図-7 IKONOS抽出結果
(2000年2月)

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。

各手法による樹林地、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、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、樹木地は、比較的精度よく抽出され正答率は約67%、次いで、草地の約49%であったが、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、苗木畑が樹木地に分類されやすく、農地としての分類が困難であった。ディ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。

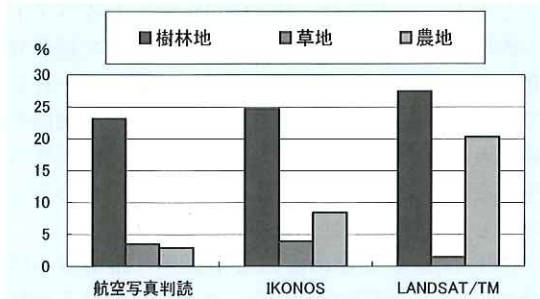


図-8 ケーススタディエリアにおける樹林地、草地、農地の面積率の比較

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。

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] (単位: %)

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	48.8	4	0	3.1
普通畑	2.8	5.4	41.1	3	0.6
果樹畑	0.7	3	0.9	0	0.7
苗木畑	5.5	2	3.9	16.5	24
芝畑	1.7	7.3	1.2	0	0.4
その他	18.6	9.2	27.7	5.6	24.4
計	100	100	100	100	100

[ディシジョンツリー併用法] (単位: %)

ディシジョン 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	69.5	21.9	25.2	84.4	66.6
草地	0.4	27	1.9	0	0
普通畑	2.2	5.4	41.8	3	0.8
果樹畑	2.1	0.7	0.5	3.6	1.3
苗木畑	2.8	0.7	1.3	3.5	5.3
芝畑	3.8	35	2.4	0	1.8
その他	19.2	9.2	27	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

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の一部を図-9に示す。緑被分布図の作成では、通常は、樹林地、草地、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、緑被分布図、小樹林地分布図とも既存の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

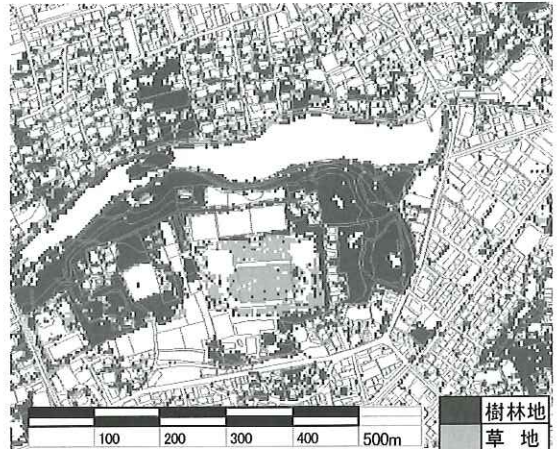


図-9 緑被分布図 (1/10,000)

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-10)。

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-11)、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-12に示す(B(band1)、G(band2)は省略した)。

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-13である。

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

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-13より、常緑樹と落葉樹の閾値となるIndex値を200とし、常緑樹・落葉樹の区分を行ったものが図-14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。

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」³⁾の調査水準(表-2)と照らし合わせてみると、IKONOS 画像による抽出精度は、水準Ⅱの段階にとどまっており、航空写真利用による水準Ⅰ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。

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 固定量算定に係わる常緑樹・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、数十～数百のバンド数を持つハイパースペクトル画像を用いた場合、スペクトル特性から得られ

プール	道 路	建 物
デジタルオルソライト		
おおむね整合	おおむね整合	おおむね整合
デジタルジオ		
1～2 ピクセル程度のずれ	おおむね整合	数ピクセルのずれ

図-10 IKONOS 画像と 1/2,500DM の整合性



図-11 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



図-14 常緑樹・落葉樹区分結果 (IKONOS 画像)

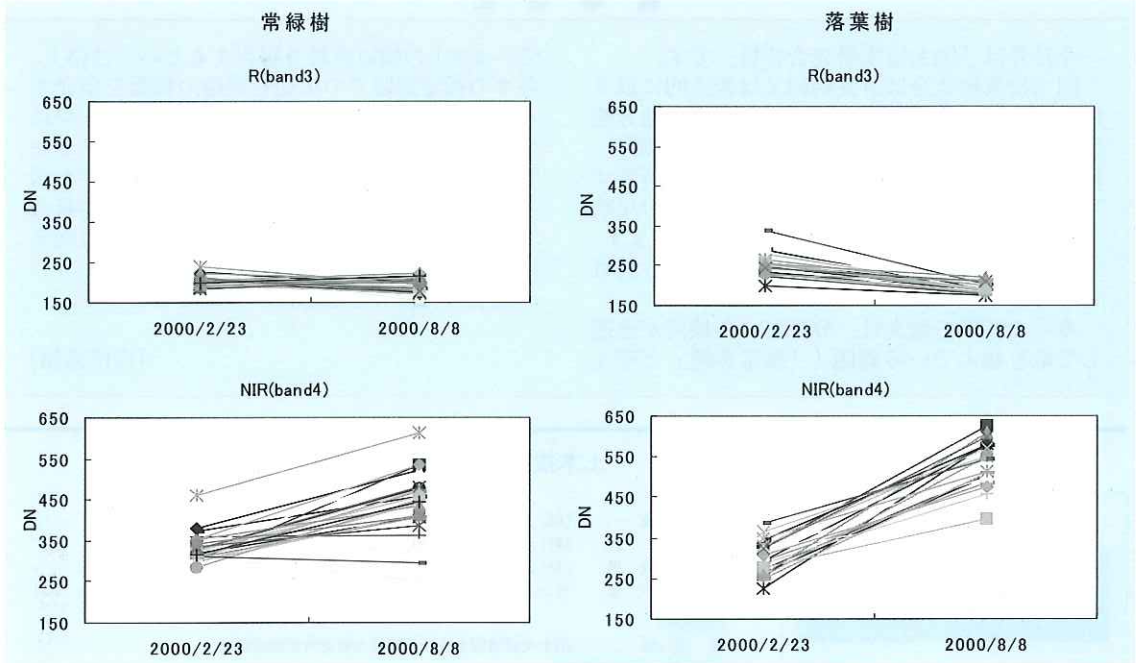


図-12 常緑樹・落葉樹のスペクトル変化特性 (IKONOS 画像)

注) 常緑樹 25 地点、落葉樹 22 地点

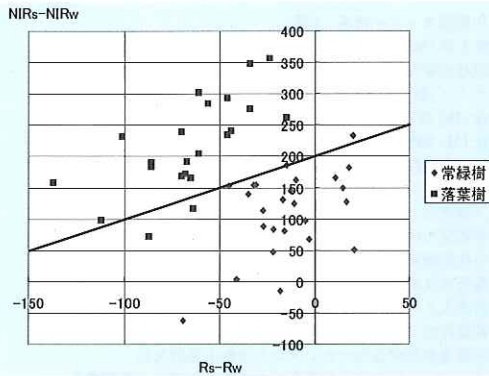


図-13 トレーニングエリアの Index 値サンプリング結果

表-2 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	作成する図面のスケール	想定する調査対象
水準Ⅰ	1/2,500	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な区部及び市部を想定)
水準Ⅱ	1/5,000	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Ⅲ	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)

る情報量が増加することによって、識別能力は飛躍的に向上し、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。

謝辞

本研究を実施するにあたり、元交流研究員の松林健一氏に緑地抽出の精度検証方法に関してアドバイスを頂き、国際航業(株)の瀬戸島政博氏、今井靖晃氏には衛星画像処理に関してご協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

参考文献

- 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-, p.168, 1981.
- 2) 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, p.194, p.226, 2001.
- 3) 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.

山岸 裕*



国土交通省国土技術政策
総合研究所環境研究部緑
化生態研究室主任研究官
Yutaka YAMAGISHI

藤原宣夫**



同 緑化生態研究室長
Nobuo FUJIWARA