

多時期 IKONOS データと分類樹木を用いた 河道内植生の分類に関する研究

CLASSIFICATION OF RIVERINE VEGETATION USING MULTI-TEMPORAL
IKONOS SATELLITE DATA AND CLASSIFICATION TREES

高橋俊守¹・加藤和弘²・松下容一郎³・村山昌史⁴・安岡善文⁵

Toshimori TAKAHASHI, Kazuhiro KATOH, Yoichiro MATSUSHITA, Masashi MURAYAMA
and Yoshifumi YASUOKA

¹正会員 工博 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

²学博 東京大学大学院農学生命科学研究科助教授 (〒262-0018 千葉県花見川区畑町1051)

³三菱商事株式会社宇宙航空機本部 (〒108-8228 東京都港区港南2-16-3)

⁴日本スペースイメージング株式会社 (〒104-0028 東京都中央区八重洲2-8-1)

⁵工博 東京大学生産技術研究所教授 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

In recent years, vegetation grows thickly in river channels even on originally gravel river beds. Riverine vegetation is one of the most important parameter for flood control, biodiversity conservation and so on. Consequently, it is quite important to develop efficient methods for monitoring these vegetation.

This research evaluated high resolution satellite remote sensing and classification trees methods for classification of riverine vegetation in the midstream of Tama river. The estimated vegetation classes were compared with the vegetation classes in the existing actual vegetation map and the accuracy were evaluated. These results suggest that the method having a combination of high resolution satellite IKONOS data and classification trees is useful for monitoring riverine vegetation in riparian ecosystem.

Key Words : Riverine vegetation classification, multi-temporal IKONOS imagery,
classification trees, riparian ecosystem

1. はじめに

従来から空間分解能が高い衛星観測は軍事技術として確立されていたが、東西冷戦構造の終結と、1994年の米国大統領令による民生転用の認可によって、一般への利用が可能となった。これを受けて、スペースイメージング社がロッキード・マーチン社と協定を結んで世界初の商用を目的とした高空間分解能な地球観測衛星 IKONOS が開発された。IKONOS は、1999 年 9 月 24 日に 2 号機が打ち上げられ、今日に至るまで観測が続けられている。一方で、デジタルグローブ社が開発した高空間分解能衛星 Quick Bird も、2001 年 10 月 18 日に打ち上げられ、観測が行われている。

IKONOS 及び Quick Bird 衛星は、それぞれパンクロマチックセンサで 1 m 以下の解像度を達成し、マルチスペクトルセンサでもおよそ 2.5~4.0 m の解像度を達成して

いることに最大の特徴がある。従来の地球観測衛星が、パンクロマチックセンサにおいて空間分解能が高いものでも 5 m 以上（例えばインドの IRS-1C、IRS-1D 衛星）、マルチスペクトルセンサにおいては 10 m 以上（例えばフランスの SPOT-5）であったことと比較して、空間分解能は大きく向上したと言える。これによって、従来は不可能だった空間スケールの対象物を観測することが可能となり、リモートセンシングの活用範囲も拡張した。

IKONOS においては、1999 年に最も早く観測を開始してからおよそ 5 年が経過し、我が国のデジタルイメージの整備済み面積も約 35 万 km² となり、日本のおよそ 9 割の地域で 1 回以上の観測が行われている¹⁾。今後も IKONOS 後継機あるいは Quick Bird 等による観測が継続して予定されており、将来的には複数時期に観測した高空間分解能イメージを活用できる機会が増すことが期待できる。ところで植物は、一般的に季節によって展葉、開花、着果、紅葉、落葉等の変化を示し、さらに気候や気象の変化に

表-1 IKONOSの観測波長帯域.

センサ	バンド	波長帯域 (nm)	備考
パנקロマチック	Pan	450 - 900	
マルチスペクトル	1	445 - 516	青
	2	506 - 595	緑
	3	632 - 698	赤
	4	757 - 853	近赤外

も対応してフェノロジー（生物季節）を示す。このため、多時期のイメージが得られることで、フェノロジーに関する特性を利用することが可能となり、分類カテゴリーの増加や分類精度の向上が期待できる。また一方では、多時期のイメージは、河川において不定期に発生する洪水や渇水による影響、あるいは河川改修や近年開始された自然再生事業に伴う植生変化のモニタリング等において活用することも期待できる。

河道内植生の観測手段として、植物学的手法による現存植生図の作成が一般的に行なわれてきた。現存植生図は、航空写真の目視判読と現地における植生調査によって分類単位を決定し、植生の種類とその分布を地図上に表すことによって作成するものである²⁾。現存植生図は、学問的に確立された手法によって作成されるが、一方で調査者の熟練と労力が求められ、凡例の整合性や図面精度においてしばしば不整合が生じることがある。これに対して、空間分解能が高い画像データを用いて植生を分類可能なモデルを得ることができれば、広域同時性、反復観測性といったリモートセンシングの利点を備えた植生図を迅速に作成することができるようになるであろう。しかし、多時期の高空間分解能データによって河道内植生を分類した研究事例や、分類可能な凡例体系を明らかにした研究はほとんど見られない。

本研究では、河道内植生を観測した多時期の高空間分解能衛星データを用いた植生の分類を研究目的とした。そこで、多時期のIKONOSデータセットを用いて正規化植生指数（NDVI：Normalized Vegetation Index）を始めとする複数の特徴量を算出し、分類・回帰樹木（CART：Classification and Regression Trees）の手法を適用して河道内植生の分類モデルを作成した。このモデルの予測結果について、航空写真と現地踏査によって作成された縮尺5,000分の1現存植生図を参照し、分類精度の検証を行なうことで、高空間分解能衛星リモートセンシングによる河道内植生分類への適用可能性を評価した。

2. 研究対象域の概要とIKONOSデータ

(1) 研究対象域

研究対象域は、河口から52～53km付近に位置する多摩川の扇状地区間で、永田橋から羽村大橋までの河川区間約39.7haとした。この区間の河川幅は約300mで、平均

表-2 研究で用いたIKONOS画像のメタデータ.

観測年月日	現地時間	観測方位角	観測高度角	太陽方位角	太陽高度角
2001 2 8	10:25	107.39	83.92	152.49	35.12
2001 7 31	10:33	181.58	78.44	130.78	65.92
2001 10 13	10:31	145.65	75.10	159.72	44.61
2002 4 4	10:37	36.24	73.42	148.06	56.07

河床勾配は約1/250である。本区間においては、左岸側で低水路が低下し、右岸側で高水敷が上昇した複断面化が進行している。河川水面と高水敷との比高が増加し、出水時の高水敷への冠水頻度が減少した結果、河道内植生が著しく繁茂している。

(2) 植生の概要

多摩川永田地区現存植生図³⁾によると、研究対象域における植物群落としては、29種の植物群落と、造成裸地、自然裸地、開放水域、コンクリート裸地の4種の環境タイプが記録されており、これらがモザイク状に混在している。また、研究対象域の面積構成は、樹林地25%、草地48%、裸地16%及び、水域11%となっている。

(3) IKONOSデータ

IKONOSは、衛星直下の撮影で82cmの地上分解能（GSD：Ground Sample Distance）を可能とするパנקロマチックと、3.28mGSDを可能とするマルチスペクトルの2種類のリニアアレイセンサを搭載している。ただし、観測角26°において、パנקロマチックイメージのGSDは1m、マルチスペクトルイメージのGSDは4mとなる。それぞれのセンサの観測波長帯域を表-1に示した。

2001年2月8日、2001年7月31日、2001年10月13日、2002年4月4日に観測された、地上分解能約4mのIKONOSマルチスペクトルデータを、基準点及び数値地形モデルを用いて幾何補正して解析に用いた。なお、幾何補正後のIKONOSイメージの水平誤差は±3.5mである。用いた画像のメタデータの仕様を表-2に示した。いずれの画像も快晴時に観測されており、画像中に雲等は認められなかった。なお、10月の観測データは、増水時に観測されたものであることが読み取れた。

3. 方法及び予備解析

(1) IKONOSデータの予備解析

従来の衛星リモートセンシングにおいては、時間分解能が高い長期の観測データが揃ったPathfinder AVHRRイメージデータセットのNDVIを用いて植生フェノロジーの特徴抽出を行なった研究が多く行なわれてきた⁴⁾。また近年ではMODIS、LANDSAT、ASTER等の時系列データを用いたフェノロジー観測の研究も行われている。しかし、

AVHRRの空間分解能はおおよそ1 kmであり、その他のセンサでも空間分解能は十数メートルから数百メートルであり、空間分解能が十分でなかった。

これに対して、時間分解能においては十分とはいえないが、本研究では春夏秋冬に観測された高空間分解能衛星データを用いたことから、植生フェノロジーによる植物群落の変化特性を分類に活用することを想定して解析を行った。

分類の指標の一つとして、NDVIを用いた。NDVIは、植物が強い反射率を示す近赤外バンド及び、低い反射率を示す可視赤バンドの二つの波長帯域を組み合わせる(1)式によって算出される指数である。

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (1)^{5)}$$

ただし、 ρ は赤(R)あるいは近赤外(NIR)バンドにおける輝度値を示す。赤バンドは植物のクロロフィルによる光合成の吸収特性を反映し、近赤外バンドは主として植物細胞の構造による反射特性を反映している。これらのバンドを組み合わせる算出するNDVIは、植生域と非植生域の対比を鮮明にし、大気効果による影響を軽減する利点を持つ。数多くの既往研究によって、NDVIは、植生フェノロジーを始め、クロロフィル量、葉面積指数、バイオマス、植被率、光合成活性等の様々な植生パラメータと関連していることが知られている。そこで、各時期のIKONOSデータそれぞれに対してNDVIを求めた。

さらに、青、緑、赤、近赤外各バンド及びNDVIそれぞれの変数において、異なる2時期の値を結ぶベクトルを仮定し、このベクトルと水平線との角度 α を(2)式に示す逆正接関数によって求めた。

$$\alpha = \tan^{-1} (\rho_1 - \rho_2) \quad (2)$$

ただし、 ρ_1 及び ρ_2 は青、緑、赤、近赤外バンドにおける輝度値あるいは、NDVIを示す。これによって、4バンドにNDVIを加えた5属性に対して、時期の組み合わせによってそれぞれ6通りの α が求められる。 α は、植生フェノロジーによる季節変化の傾向を表す指標となることが期待できる。

以上の予備解析によって、IKONOS16バンド(4バンド4時期分)及び4時期分のNDVIに、これらを組み合わせる求めた植生フェノロジーの変化傾向を示す30通りの α を加えた、合計50変数を作成した。

(2) 植生図GISデータの予備解析

2001年春(5月・6月)及び、2000年秋(9月・11月)に航空写真と現地踏査によって作成された、縮尺5,000分の1多摩川永田地区現存植生図^{3),6)}をデジタル化し、植生図GISデータを作成した。研究対象域全体は、それぞれ32種及び29種の植物群落タイプと、4つの環境タイプから構成されている。ポリゴン数は、それぞれ359ポリゴン及び353ポリゴンであった。2001年春の植生図では、ポリゴンの面積は、最大38,984.8m²、最小10.9m²であり、平均は1,105.7m²であった。一方で、2000年秋の植生図

では、ポリゴンの面積は、最大38,128.4m²、最小11.5m²であり、平均は1,127.1m²であった。

植生図GISをIKONOS画像の参照データとして用いるにあたって、それぞれのポリゴンの境界線より内側に3.5mのバッファを作成し、ミクセルの発生しやすい境界域を除いて解析に用いた。さらに、春と秋に作成された植生図をオーバーレイし、植生が季節的に変化していない比較的安定した地域のみを抽出して解析に用いた。なお、観測期間中に自然再生事業によって表土の剥ぎ取りなどの造成工事が一部の研究対象域で行なわれているため、この地域についても解析の対象から除外した。

次に、合計面積の多い植生図の主要な凡例を対象として、植物群落の生育環境に関する生態学的知見に基づいて、水際草地(アキノエノコログサ・コセンダングサ群集)、冠水草地(ツルヨシ群集、チガヤ群落)、湿性草地・湿性樹林地(ヨシ群落、イヌコリヤナギ群集、タチヤナギ群集)、乾性草地(ススキ群落、アズマネザサ群落)、芝地(ヒロハノカワラサイコシバ群落)、落葉樹林(オニグルミ群落、ミズギ群落、ハリエンジュ群落)、水域、自然裸地の8つの植生タイプに統合し、本研究における植生分類のエンドメンバーとした。

(3) 分類樹木の適用

IKONOSイメージと植生図GISデータをオーバーレイし、IKONOSイメージから作成した50変数と植生タイプを空間的位置関係に基づき結合させた。この結果、一辺が4m四方のピクセル7,169個分について、解析データセットが得られた。

本研究においては、分類樹木の方法を適用し、IKONOSイメージによって植生タイプを予測するモデルを作成する手法を適用した。分類樹木による予測モデルは、決定木と呼ばれる二進木の構造を示し、それぞれの分岐において選択された説明変数を用いて、設定された条件に適合するか否かを判別しながら、目的とするカテゴリーに到達する分類モデルを作成することができる⁷⁾。分類樹木は、応答変数に様々なタイプの変数を用いることができること、データの線形性確保を考慮する必要が無いこと、交互作用も含めて結果が分かり易く表現できることといった利点があるため、生態学やその応用分野においても利用が期待されている手法である⁸⁾。

決定木の分割においては、Gini係数を尺度とする不純度の算出により、分割前と分割後の不純度を最大とする変数を選択した。選択されなかった変数は代理変数として示し、その変数を用いた場合の改善度及び連関度を併せて求めた。なおここで、改善度とは分割前後の不純度の変化によって決定され、選択された変数による分枝によってモデルが改善された度合いを示す値である。一方で、連関度とは選択された説明変数によるモデルと代理変数によるモデルとが一致する度合いを示す値である。代理変数を検討することによって、決定木における分枝

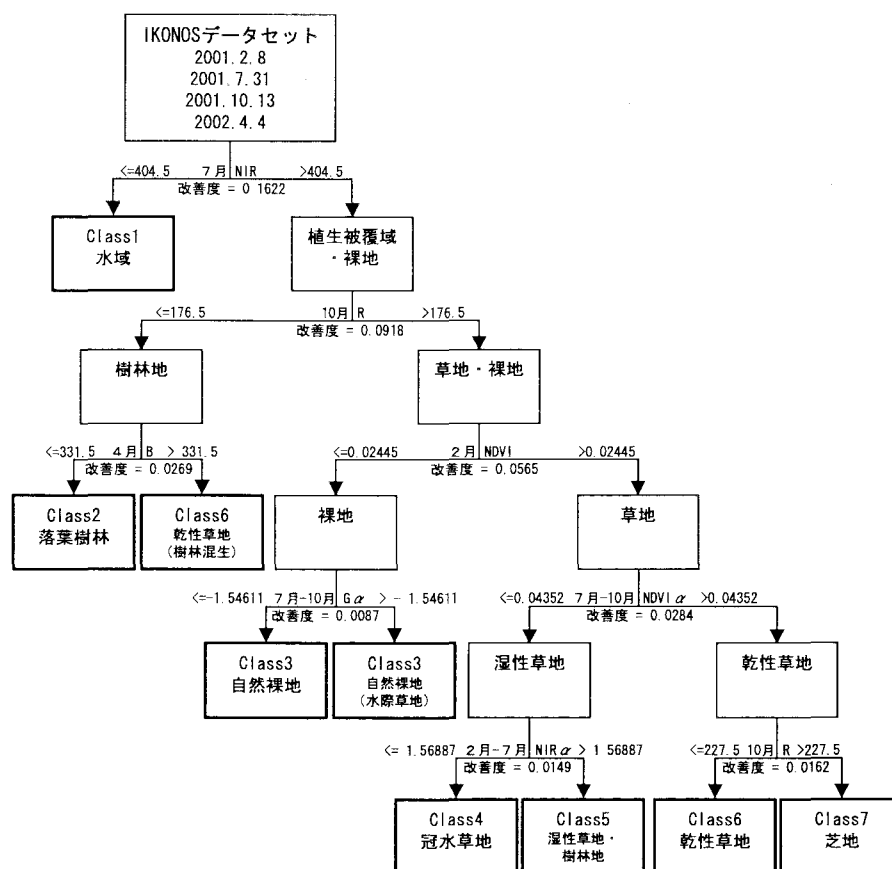


図-1 4時期のIKONOSデータを用いて作成した分類樹木モデル。B：青バンド，G：緑バンド，R：赤バンド，NIR：近赤外バンド，NDVI：正規化植生指数， α ：2時期の変化傾向を示す角度 α を示す。

表-3 分類樹木モデルの誤分類行列。

分類のカテゴリ									
IKONOSで予測されたカテゴリ	水域	落葉樹林	自然裸地	水際草地	冠水草地	湿性草地・樹林地	乾性草地	芝地	合 計
水域 [Class 1]	1234	1	71	0	2	0	1	0	1309
落葉樹林 [Class 2]	0	1916	4	0	114	180	332	1	2547
自然裸地 [Class 3]	60	1	525	38	47	0	1	2	674
水際草地	0	0	0	0	0	0	0	0	0
冠水草地 [Class 4]	35	47	33	5	546	134	121	1	922
湿性草地・樹林地 [Class 5]	0	2	1	0	72	221	17	0	313
乾性草地 [Class 6]	0	271	1	0	176	85	747	21	1301
芝地 [Class 7]	0	4	0	0	0	0	0	99	103
合 計	1329	2242	635	43	957	620	1219	124	7169

の意味を考察することができる。

所属するサンプルの総数が100以下のグループはそれ以上の分割を行わず、分割前後の不純度の算出によって決定される改善度が0.005未満となったときにも分割を停止した。なお、これらの分析にはSPSS社製Answer Tree 2.0Jを使用した。

4. 結果と考察

解析の結果、図-1に示す分類樹木モデルを得た。分類樹木の結果、IKONOSデータは7つのクラスに分割され、

それぞれのクラスと、現存植生図を基に設定した実際の植生タイプとの対応関係は、表-3に示す誤分類行列の通りであった。モデルの推定誤差は約26.2%であり、実用可能な推定能力を持つことが示された。分類樹木モデルの分割節における選択変数と代理変数の関係を表-4に示した。これらをもとに、各分割節の意味を考察した。なお、モデルの推定誤差や分節における判別値は、他の時期の観測データを説明変数として用いた場合には異なった値を示すことが予想される。モデルを一般化するためには、こうした点についても考慮することが求められるが、本研究で示した経験的手法による成果は、データの使用時期やモデルの推定精度に関する基礎的な知見と可

表-4 分類樹木モデルの分割節における選択変数、代理変数及び、それぞれの分割節における改善度と連関度。

分割節		選択変数	代理変数	改善度	連関度
元データ	分割データ				
IKONOSイメージ	水域 [Class 1] 植生被覆域・裸地	7月NIR		0.1622	
			2月NIR	0.1568	0.9305
			2月-10月Ba	0.1569	0.8976
			2月-10月Ra	0.1594	0.8961
			2月-10月Ga	0.1567	0.8923
植生被覆域・裸地	樹林地 草地・裸地	10月R	2月R	0.1410	0.8587
				0.0918	
			10月G	0.0877	0.8443
			10月B	0.0693	0.7714
			2月B	0.0728	0.6100
樹林地	落葉樹林 [Class 2] 落葉樹林 (草地混生) [Class 6]	4月B	7月G	0.0807	0.6097
			2月G	0.0719	0.6026
				0.0269	
			4月G	0.0253	0.6960
			4月R	0.0226	0.6660
草地・裸地	裸地 草地	2月NDVI	4月-10月Ba	0.0237	0.5880
			4月-7月Ba	0.0189	0.5680
			4月-10月Ra	0.0173	0.4840
				0.0565	
			7月B	0.0520	0.7552
裸地	自然裸地 [Class 3] 自然裸地 (水際草地) [Class 3]	7月-10月Ga	7月G	0.0521	0.7433
			4月NDVI	0.0490	0.7151
			2月B	0.0531	0.7136
			2月NIR	0.0431	0.6825
				0.0087	
草地	湿性草地 乾性草地	7月-10月NDVIa	7月-10月Ba	0.0076	0.7746
			7月-10月Ra	0.0074	0.7688
			2月-10月Ga	0.0070	0.5260
			7月-10月NDVIa	0.0042	0.5087
			7月B	0.0067	0.5087
湿性草地	冠水草地 [Class 4] 湿性草地・湿性樹林地 [Class 5]	2月-7月NIRa		0.0284	
			7月-10月NIRa	0.0259	0.8772
			2月-7月NDVIa	0.0168	0.5288
			7月-10月Ra	0.0120	0.5033
			4月-7月NIRa	0.0179	0.4912
乾性草地	乾性草地 [Class 6] 芝地 [Class 7]	10月R	4月-7月NDVIa	0.0169	0.4646
				0.0149	
			7月NIR	0.0095	0.6486
			7月NDVI	0.0072	0.5016
			2月-7月NDVIa	0.0027	0.2460
			4月-7月NIRa	0.0051	0.1182
			2月-10月NIRa	0.0021	0.0927
				0.0162	
			10月G	0.0156	0.9320
			10月B	0.0148	0.9126
			7月-10月Ga	0.0097	0.5534
			2月NDVI	0.0102	0.4854
			2月B	0.0080	0.4757

能性を示すものとなっている。

IKONOSデータセットは、まず7月の近赤外バンドによって、水域とそれ以外の地域（植生被覆域と裸地を併せた地域）に分割された。この分割においては、代理変数として2月の近赤外バンドを用いた場合でもほぼ同等の結果が得られることが示されており、近赤外バンドが水域とそれ以外の地域を分割する有効な情報となることが分かる。さらに、2月と10月の可視バンドの変化傾向も有効な情報となることが示された。これらは、近赤外域において植生が高く、水が低い反射特性を示すことに起因していると考えられる。また、可視バンドの反射特性が、春から秋にかけての植物の光合成活動に伴って季節的に変化することにも起因しているものと考えられる。以上の分割によって、現存植生図に示された水域の91%が正しく分類されている。

植生被覆域と裸地を併せたデータセットは、10月の赤

バンドのデータによって、樹林地とそれ以外の草地及び裸地に分割された。この分割における代理変数を見ると、10月、2月及び7月の緑バンド又は青バンドが含まれている。このことは、植生被覆域から樹林地を抽出するには、特に可視バンドが有効な情報を持つことを示唆している。

樹林地は、4月の青バンドによって、落葉樹林の85%が含まれる落葉樹林と、乾性草地あるいは冠水草地に樹林が混生した分類クラスに分割された。この分割における代理変数を見ると、いずれも4月の可視バンドが含まれており、春あるいは春から夏にかけての可視バンドが落葉樹林が優占する地域を抽出するための有効な情報となっていた。

草地と裸地を併せた地域は、2月のNDVIによって、裸地と草地にそれぞれ分割された。NDVIは、植生被覆域を抽出する手法として一般的に用いられており、本研究においても草地と裸地を識別する有効な指標となっていた。

裸地は、7月から10月の緑バンドの変化傾向によって、植生に覆われることがまれな自然裸地と、水際草地の79%が含まれる自然裸地に分割された。この分節においては、いずれの代理変数においても、増水時に観測された10月のバンドが含まれており、河川水による攪乱の頻度が高い水際の立地が、一二年生草地の生育する水際草地として抽出されたものと推察された。

草地は、7月から10月のNDVIの変化傾向によって、湿性草地と乾性草地に分類された。この分節においては、7月から10月の近赤外バンドの変化傾向によってもほぼ同等な結果が得られ、夏から秋にかけての近赤外バンドの変化傾向が湿性草地と乾性草地を分類する有効な情報となることが示唆された。

湿性草地は、2月と7月の近赤外バンドの変化傾向によって、ヨシ群落やヤナギ林からなる湿性草地・樹林地と、ツルヨシ群落やチガヤ群落から成る冠水草地に分類された。この分節においては、ほとんどの代理変数に7月の近赤外バンドが用いられており、夏季の近赤外バンドが分類の有効な情報となることが示唆された。

乾性草地は、10月の赤バンドによって、ススキ群落やアズマネザサ群落が優占した乾性草地と、ヒロハノカワライサイコーシバ群落の80%が含まれた芝地に分類された。この分節においては、10月の緑または青バンドを用いた場合にも同等な結果が得られることが示されており、秋の可視バンドが分類の有効な情報となることが示唆された。

このように、IKONOSを始めとする高空間分解能センサを搭載した衛星は、多様な植生がモザイク状に混在した河道内植生の分類をリモートセンシングによって達成する新しい可能性を生み出したと言える。初代の高空間分解能衛星IKONOSは設計寿命が7年とされているが、今後も高い空間分解能で観測する能力を備えたセンサを搭載した衛星の打ち上げ計画が複数あり、高い空間分解能で、多時期に渡って観測されたイメージを入手可能となる時代が到来する。多時期の高空間分解能イメージによって、植生フェノロジーの特性を活用した詳細な植生分類や、従来の空間分解能では不十分だった詳細な植生分布域推定の可能性が高まり、河道内植生の観測にリモートセンシング技術を用いる可能性はさらに高まることが予想される。

リモートセンシングによって観測した植生分類図は、現存植生図の予察図として使用できる他、洪水や自然再生事業等による植生モニタリングにおいても活用することが期待できる。また、広域を観測可能とするリモートセンシングの観測特性によって、河道内のみならず沿川地域を含む流域の植生観測に活用することも期待できる。このように、植生を含む河川環境の観測において、高分解能衛星データは極めて有効な観測手段となると言えるだろう。

5. 結論

縮尺5,000分の1現存植生図を参照データとして用い、春夏秋冬に観測された多時期のIKONOSデータと分類樹木による解析によって、植物群落の基本的な分類群を判別することが可能な分類樹木モデルを作成することができた。一連の解析結果から、高空間分解能衛星IKONOSデータを用いた河道内植生の分類可能性に関して次のような知見を得た。

- (1) IKONOS画像と分類樹木を用いた植生分類結果と、現地踏査と植物の種組成によって分類群を決定する現存植生図の植物群落単位を組み合わせた植生分類クラスは比較的良く対応しており、分類樹木モデルの推定誤差は約26.2%であった。
- (2) 分類樹木の分割節においては、目的変数とする植生タイプに応じて、様々な季節に観測されたバンドやNDVI等の変化傾向が変数として選択されており、多時期データを用いた植生フェノロジーの観測が植生分類の有効な手法となることが示唆された。
- (3) 多時期IKONOSデータと植生クラスの関係性をモデル化する手法として、分割節における変数選択で植生フェノロジーや観測対象の反射特性を読み取ることが可能な分類樹木は、有効な手法となることが示された。

謝辞：本研究の一部は、河川生態学術研究会多摩川研究グループの調査研究の一環として実施されたものである。

参考文献

- 1) 日本スペースイメージング株式会社ホームページ
<http://www.spaceimaging.co.jp/archive/archive.html>
- 2) 奥田重俊・佐々木寧：河川環境と水辺植物—植生の保全と管理—：ソフトサイエンス社，261pp.1996.
- 3) 長岡聡子・畠瀬頼子：多摩川永田地区現存植生図。河川生態学術研究会多摩川グループ，2002.
- 4) James,M.E.,and Kalluri,S.N.V. : The Pathfinder AVHRR land dataset: An improved coarse resolution dataset for terrestrial monitoring. International Journal of Remote Sensing 15, 3347-3363, 1994.
- 5) Rouse,J.W., Haas,R.H., Schell,J.A.,and Deering,D.W. : Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: pp.309-317, 1973.
- 6) 畠瀬頼子：多摩川永田地区現存植生図，河川生態学術研究会多摩川グループ，2001.
- 7) 加藤和弘・一ノ瀬友博・高橋俊守：分類樹木を用いた生物生息場所の分類 河川水辺の鳥類群集を対象とした事例研究 応用生態工学5(2):189-201, 2003.
- 8) De'ath,G.,and Fabricius,K.E. : Classification and regression trees: A powerful yet simple technique for ecological data analysis. Ecology 81:3178-3192, 2000.

(2004. 9. 30 受付)