

ハイパースペクトル画像を用いた荒川中流域の河畔林の構造評価[#]

白石 貴子* 後藤 真太郎* 崎尾 均**
 川西 基博*** 米林 伸* 渡邊 定元****

キーワード：河畔林、ハイパースペクトル画像、二次微分吸光度

はじめに

陸域と水域の移行帯に成立する水辺林は、多様な立地と生物自身が作り出す環境のため、生物多様性が高い(崎尾 2002)。この水辺林のうち、扇状地より下流の氾濫原に成立している森林を河畔林と定義され、集約的土地利用や河川改修のため残された自然の河畔林は少ない(新山 2002)。荒川の中流域の河川敷においても、農地や運動場、ゴルフ場などの土地利用が進み、河畔林は失われてしまった。このような状況下で、荒川大麻生公園野鳥の森には、比較的大きな面積で自然性の高い河畔林が残されている。このような河畔林の現状を把握する事は、河畔林の維持や復元など河畔林管理を行うための情報提供において重要である。

しかし、現地調査では詳細な情報を入手できるものの、調査面積が限られ、多くの時間と労力が必要であり広域を対象とし、定期的な観測は困難である。

リモートセンシングを用いることにより、森林を広域にかつ定期的なデータを得ることができる。さらに、近年用いられるようになったハイパースペクトルセンサーによれば、多くの波長の反射スペクトルも入手可能となった。従来に比べ、空間分解能や波長分解能の高い画像を入手できるようになり、より詳細なデータ得られるようになったことから、リモートセンシング画像の森林管理への実利用が期待されている。リモートセンシングを用いた森林域の研究は多いが(沖 2002、加藤 2002、小谷 2002)、河畔林を対象とした研究は少ない。また、ハイパースペクトル画像を用いた森林の研究事例も少ない。

ハイパースペクトル画像の特徴は、空間分解能が高い上に、波長分解能も高いことである。従来の数バンドの

衛星では、微分演算することができなかったが、ハイパースペクトル画像では微分演算が可能であると考えられる。リモートセンシング画像に微分演算を用いることにより、地形の影響により反射率の変動の減少が可能になる(Dixitら 1985, Wessmanら 1989)との報告がある。

また、微分演算は近赤外分光法でスペクトル解析に用いられ(岩本ら1994)、農業の分野では青果の非破壊試験に二次微分吸光度により、水分含量やト糖度の推定がされ必要な精度を得ている(伊藤ら 1999)。本研究では、これまで点で行われてきたスペクトル解析をハイパースペクトル画像に適用しスペクトル解析の面への拡張を図り、非破壊試験で用いられているような手法(伊藤ら 1994)が適用できることが明らかにされている(白石ら 2006)。

本研究では、荒川中流に位置する荒川大麻生公園野鳥の森における河畔林の林分の徳量をハイパースペクトルデータと比較検討した。限られた面積の現地調査により得られた情報を基づいてハイパースペクトルデータ画像との関係を明らかにすることにより広域の森林を把握することが可能となると考える。これにより、他地域の河畔林の構造の特徴の把握が可能となり、河畔林の現状の把握と今後の管理のための提供に資することができる。河畔林管理の効率化を図ることや森林管理の担い手不足の解消という時代のニーズに応えることができると考える。

1. 調査地

調査地は、埼玉県熊谷市大麻生に位置する荒川大麻生公園野鳥の森(以下、野鳥の森公園という)である。こ

* 立正大学地球環境科学部

** 埼玉森林総合研究センター 森林・緑化担当 / 立正大学客員教授

*** 立正大学大学院地球環境科学研究科オープンリサーチセンター

**** 森林環境研究所

平成17年度立正大学大学院地球環境科学研究科オープンリサーチセンター業績

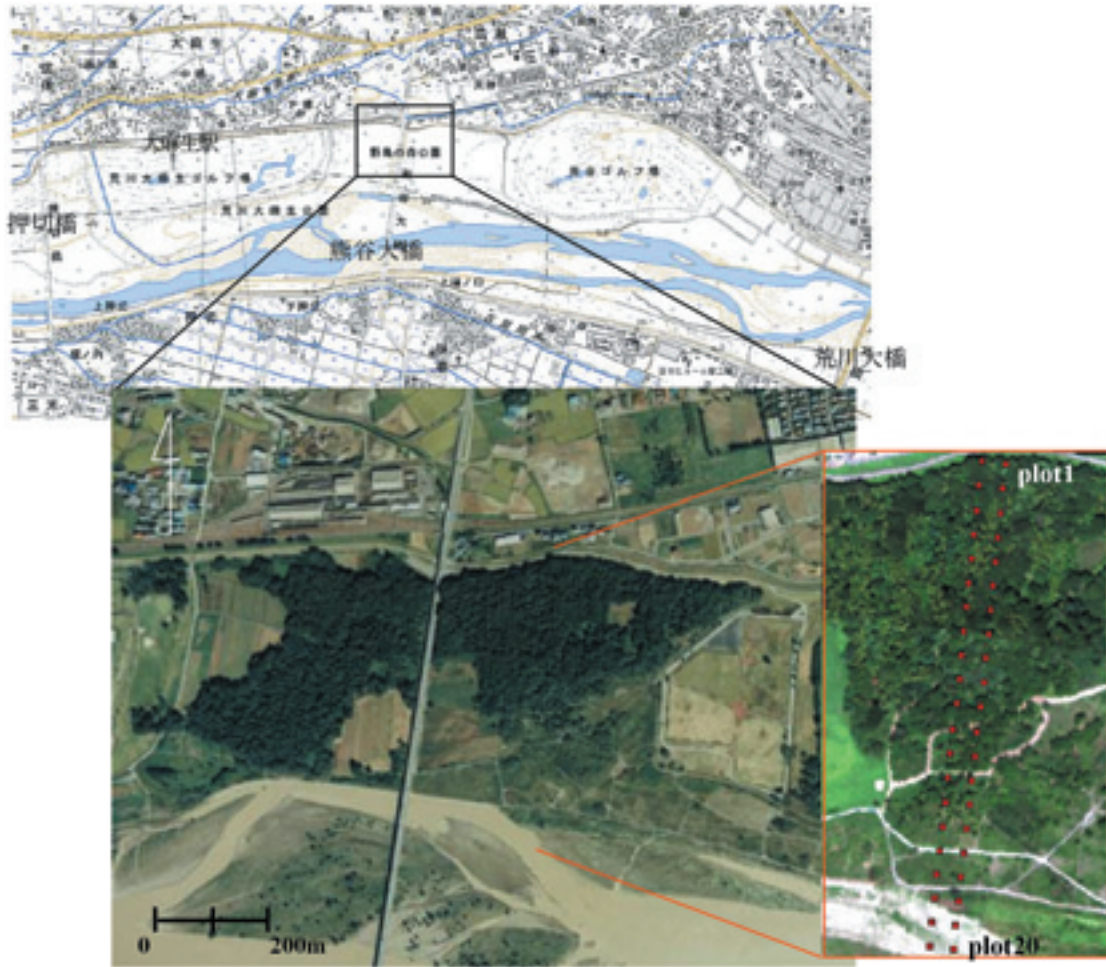


図1 荒川大麻生公園の位置と公園内に設置したベルトトランセクト

の公園内に成立する河畔林内に、堤防付近から河床を含む幅25m、長さ500mのベルトトランセクトを設置し解析の対象とした(図1)。ベルトトランセクトは、公園内を踏査し、自然性が高く公園内の河畔林を代表するような場所を選定した。ベルトトランセクトの堤防側およそ0~175m(プロット1~7)までは、林冠層にケヤキやエノキ、ムクノキが優勢で、過去に植栽されたスギやヒノキが混じえる高さ約25~30mの混交林が成立する。林冠の下には草本層から亜高木層までシロダモが多く見られる。この0~175mのうち、75~125m(プロット3~5)は、特にスギが多く見られる。ベルトトランセクトの中間付近の175~250m(プロット9、10)は、約0~175mの区間に比べると出現樹木対数が少なく(図3)、樹高約16mのニセアカシア出現し、林冠の構成種となっていることが特徴である。林床にはアズマネザザの繁茂が見られる。250~375m(プロット11~15)の間では、樹高約15~10mのクヌギを中心とした林で、林冠にはエノキが多少混じる以外に他種はみられず、階層的な構造もしておらず単純な構造をした林となっている。

375~450m(プロット16~18)の間は、胸高直径が5cm未満の樹高の低いクヌギやエノキが点在する疎林で、草原状の草本層には、テリハノイバラ優占する場所が多い。450~500m(プロット19、20)の間は、洪水時には冠水が起こる現河床であり、地表面には礫が多く草本がまばらに生える。このような植生の変化だけでなく、ベルトトランセクトを地形的に3区分することができる(石田ら2005)。堤防側約0~250mの間では土壌層が発達しており、約250~450mは細粒物質を欠き、礫層が地表まで露出している。450~500mは現河床で礫層からなる(図4)。

2. 方法

2.1 現地調査

ベルトトランセクトでは、南北の側線を25mごとに杭で区切り、25m×25mの20個のプロットを連続に設置し、堤防側を起点に1番とした。プロットごとに、胸高直径5cm以上を対象に毎木調査を行い、樹種、樹高、胸高

直径、位置を測定した(崎尾ら 2005)。植生調査(川西ら 2005)。植生調査は、草本層に含まれる植物を対象に種の記録と、各種がプロットを覆っている割合を百分率で記録した。調査は5月と9月の2回行った。

また、ベルトトランセクトの側線上の杭を数点と公園内の歩道の交差点などハイパースペクトル画像で位置を特定できる場所において、GPS(Trimble5700)を用いて位置情報を取得した。

2.2 解析方法

現地で計測したGPSデータと国土数値情報を用いて、ハイパースペクトル画像の幾何補正を行った。また、GPSデータから各杭の緯度経度を計算しGIS化した。現地調査から得られた樹木位置についても、各杭の位置情報を基にして緯度経度を計算してGIS化した。

本研究は、スペクトル解析に有用である近赤外分光法で用いられている手法をハイパースペクトル画像に適用し、スペクトル解析の点から面への拡張を行った。

ハイパースペクトル画像は、波長分解能が高いため波長方向の微分演算が可能であると考えられる。二次微分吸光度は、近赤外分光法においてスペクトル解析で用いられ、農業の分野では、青果の非破壊試験において、水分含量や糖度の推定で実用的な結果を得ている(伊藤ら 1999)。また、リモートセンシング画像に微分演算を用いることで、Dixitら(1985)は、地形や照射条件によって生じる反射率の変動を減少することができ、また、スペクトルの吸収の特徴を強調することができる事を報告し、Wessmanら(1989)は、林冠の構造に由来した輝度差や飛行ライン間の反射率の差を減少することが可能であることを報告している。

リモートセンシングソフト(ERDASIMAGINE8.6)を用いて、ハイパースペクトル画像から各プロット内に含まれるピクセル値をすべて抽出し、二次微分吸光度(式1)(岩元ら 1994)を算出した。

$$\text{二次微分吸光度} = d^2A(\lambda)/d\lambda^2 \dots\dots\dots(1)$$

表1 ハイパ - スペクトル画像の諸元

項目	諸元
プラットフォーム	航空機
センサー名	AISA EAGEL (ハイパースペクトルセンサー)
観測日	2004年8月19日
観測波長域	約400nm ~ 2400nm
バンド数	190
波長分解能	8.16nm ~ 11.40nm
空間分解能	1.5m

ここで、 $A = \log(1/r)$; 吸光度、 r ; 反射率、 λ ; 波長とする。ただし、実際の微分演算では数値微分を用いた。

林分構造(崎尾ら 2005)、草本植生(川西ら 2005)および地形の特徴(石田ら 2005)から20プロットを7つのグループに分類した(表2)。このグループの特徴とハイパースペクトル画像から得られた反射率、二次微分吸光度との関係を比較検討した。

2.3 使用データ

解析に用いたリモートセンシング画像は、2004年8月19日にハイパースペクトルセンサー AISA EAGLE で撮影したものである。観測波長域約400 ~ 2400nmであり、この波長域を約8 ~ 11nm間隔で反射率の観測を行うことができる。また、空間分解能も高く1.5mとなっている(表1)。

ハイパースペクトル画像で二次微分吸光度を計算することにより地形等の影響を減少できることから、ハイパースペクトル画像では幾何補正のみを行い、地形補正は行わないこととした。

3. 結果および考察

プロットの分類(表2)では、地形的な特徴から現河床か否かでプロット1 ~ 18とプロット19、20に分け、P

表2 野鳥の森公園の毎木調査等の特徴から分類したプロット

地形的特徴	林分の発達程度	特徴	プロット番号	
現在、河床ではない	階層的な構造をしていない。発達した林分	シロダモの発達した個体群	比較的スギの個体密度が低く、ニレ科が林冠を構成 スギの個体密度が特に高い	1・2・6・7 3 ~ 5
		アズマネザサの繁茂が見られる	スギの個体密度は低く、ニレ科が林冠を構成し ニセアカシアが林冠層にある	8 9・10
	階層的な構造とはいえない		クヌギの林分	11 ~ 15
			樹木の出現数が非常に少ないか、出現しない	16 ~ 18
現河床		草本種のみ	19・20	

ロット1～18を発達した林分か否かでプロット1～8とプロット9～18に分けた。プロット1～8は、さらに、スギの個体密度が比較的低いプロット1、2、6、7、スギの個体密度が特に高いプロット3～5、アズマネザザの繁茂が見られるプロット8に分けた。プロット9～18では、ニセアカシアの高木が出現するプロット9、10、クヌギが林が優占するプロット11～15、高木がほとんどあるいは全く出現しないプロット16～18に分けた。

各プロットの反射率を図2に示した。図に示した値は、各波長のプロット内に含まれる全ピクセルの平均値である。

現河床であるプロット19、20の波長約400nm～700nmの可視域における反射率は、波長とともに大きくなり、他のプロットとは大きく異なるスペクトルを示した。また、高木がほとんど出現しないがないプロット16～18では、可視域の反射率がプロット1～14に比べて高くなった。また、プロット15はプロット16～18と同様にプロット1～14に比べるとやや高くなった。プロット15は、樹木の個体密度が低く、地表面はプロット16～18と同様に、に葉に光沢のあるテリハノイバラに覆われている。そのため、樹木よりも草本植生の特徴を反映していると考えられる。クヌギの優占する林であるプロット11～15やニセアカシアの高木が出現するプロット9、10では、全体的

に近赤外域の波長が高い傾向にあった。また、スギの個体密度(図3)が高いプロット3～5では、近赤外域の反射率は特に低くなった。

また、プロット15～18では、波長約2010nm～2400nmの波長域で、反射率の大きさは異なるが、プロット19、20とスペクトルのピークとトラフが一致していた。これらのプロットは土壌がほとんど発達しておらず(図4)礫層の上に植生がある状態となっており、植生によらず地表の存在を反映したものと考えられた。

プロットの反射率の特徴から、樹木の密度が低く草本や裸地が優勢となるプロットでは、可視域の反射率が高くなることがわかった。また、堤防側の発達した林分では、スギの個体密度が高いプロットの近赤外域が特に低くなった。針葉樹は広葉樹に比べ近赤外域の反射率が低くなる傾向にあることから、この野鳥の森公園の調査区ではスギの個体密度が0.02本/m²以上の場合に、針葉樹の分光反射特性が表れたと判断される。

近赤外域では、クヌギの優占するプロット11～15や樹木個体が比較的小さい9、10では、階層構造が発達しスギの個体密度の低いプロット1、2、6、7に比べ、全体的に反射率が高い傾向にあり、このことは階層構造が発達していないということを反映していると推測される。

以上をまとめると、プロット19、20のように礫からな

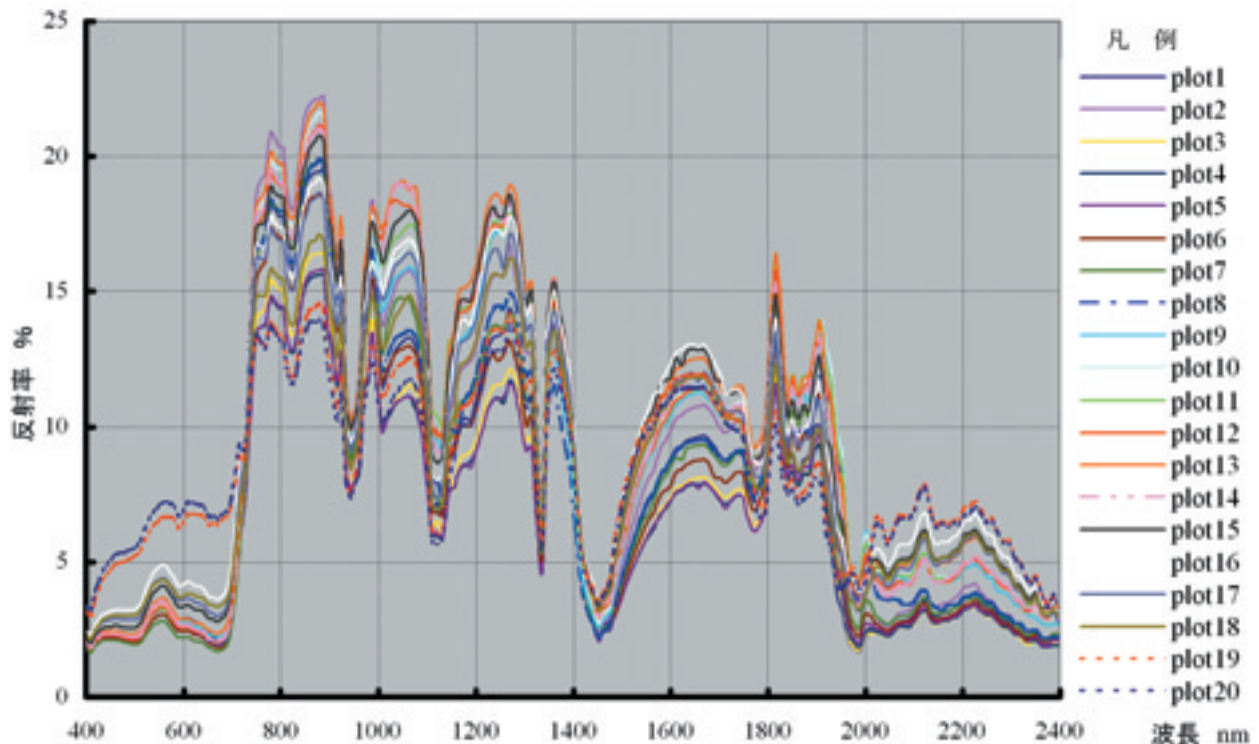


図2 野鳥の森公園における各プロットの反射率

* 値は波長ごとの平均値で示している

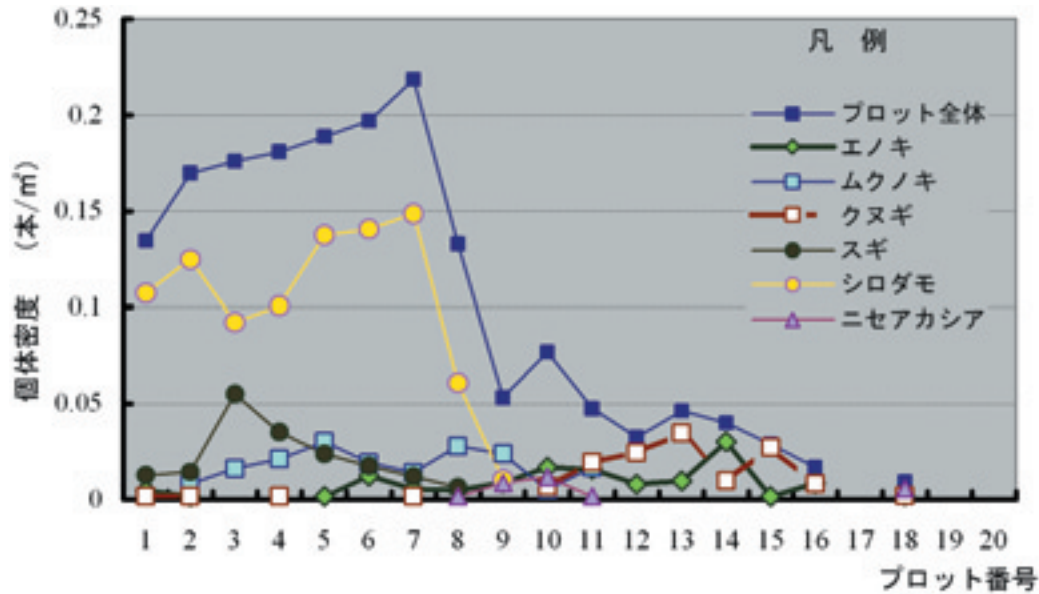


図3 主な樹種別の個体密度

*プロット面積は林地のみとし、歩道がプロットに含まれる場合には歩道面積を差引いた面積とした。

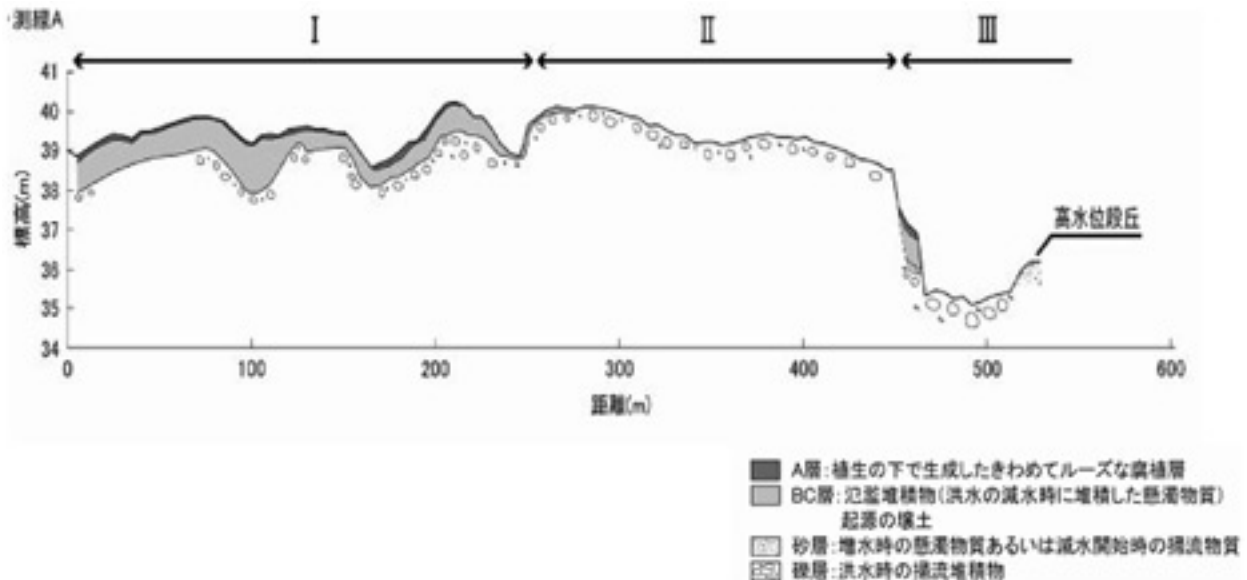


図4 荒川大麻生公園野鳥の森の地形および土壌断面 (石田ら2005)

る現河床では、波長とともに反射率は高くなっていき、他のプロットと異なる特徴を示す。また、スギは個体密度が0.02本/m²以上になると近赤外域の反射率が特に低くなる。プロット9～15では、近赤外域の反射率が高い傾向があった。樹木密度が低いために、ハイパースペクトルセンサーが草本を捉える量が多くなったためと考えられた。プロット15～18では礫の上に植生があり、プロット19、20とスペクトルの特徴が一致する波長があり、植生に係わらず地表面の礫を反映しているためと判断された。

次に、反射率から求めた二次微分吸光度の特徴を調べた(図5)。

プロット19、20は特に波長約430nm～760nmと波長約1900nm～2050nmで他のプロットとは大きく異なるスペクトルを示した。反射率からではわからなかったが、プロット19、20のスペクトルが他のプロット大きく異なりピークとなっている波長約670nm付近の波長で、プロット16、18の二次微分吸光度の値が高くなっており、波長約2020nmでは、プロット16、18のピークが一致していた(図6)。プロット16、18には、幅がおよそ2mの砂利の歩道が横切っていることからプロット16、18には、礫質の河床であるプロット19、20と共通した特徴があることが示された。

波長約2010nm～2400nmの波長域においては、プロット

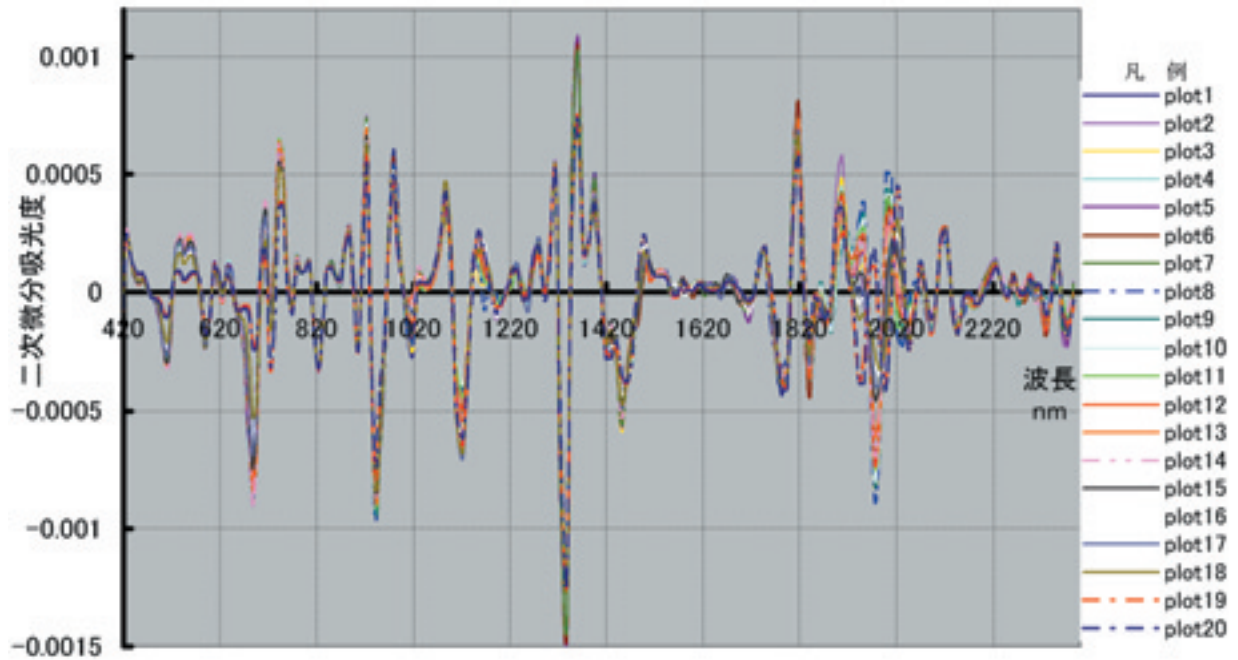


図5 野鳥の森公園における各プロットの二次微分吸光度
* 値は波長ごとの平均値で示している

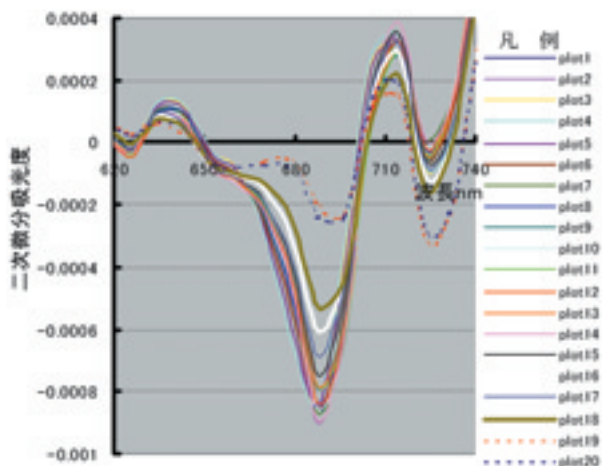


図6 野鳥の森公園における各プロットの約620nm ~ 740nm 波長域の二次微分吸光度

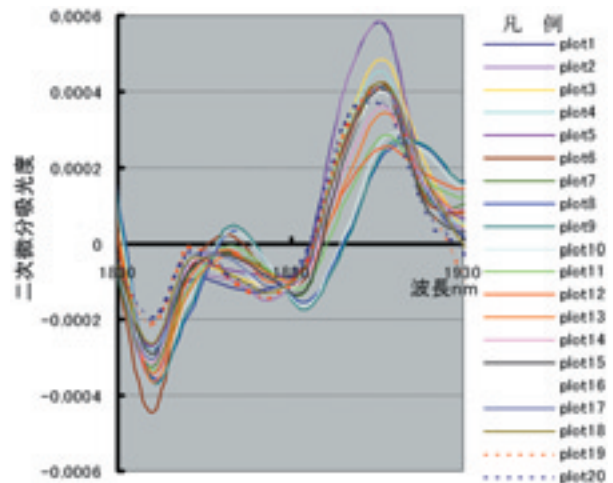


図7 野鳥の森公園における各プロットの約1830nm ~ 1930nm 波長域の二次微分吸光度

ト15~18とプロット19、20の二次微分吸光度の関係から植生によらず地表の存在を反映したものと考えられた。

プロット8~10において、波長約1850nm~2050nmで二次微分吸光度のピークとトラフの位置が、他のプロット1~7などとは異なっていた(図7)。これらのプロットは、樹木の個体密度が比較的低く、林床にアズマネザサの繁茂している。スペクトルの違いは、アズマネザサの量を反映していると考えられた。

プロット3~5では、他のプロットと比べ波長約480nm~500nm付近では二次微分吸光度は小さく、波長約630nm~660nmでは二次微分吸光度の値が高くなった。このプロットではスギの個体密度が特に高いことから、

針葉樹の個体密度が反映されたと考えられる。

また、波長約1370nm~1370nmにおいて、プロット1~7の二次微分吸光度とプロット8~18二次微分吸光度に値に差が生じた。1340nm付近の波長域ではプロット1~7の値は低く、約1360nm付近の波長では高くなっていた。プロット8からは下層のシロダモの個体が減りプロット9では出現しなくなる。このような林分構造の違いを反映している可能性がある。

以上をまとめると、反射率および二次微分吸光度を用いて、プロットの特徴を見たところ、二次微分吸光度の方がより詳細な情報を得られることが分かった。それによると、プロット19、20はプロット1~18とは異なるス

ペクトルの特徴を示した。プロット内に、砂利道が横切るプロット16、18では、プロット19、20のピークとトラフに合わせて二次微分吸光度の値が異なり、砂利の影響がスペクトルに現れることが分かった。また、波長約2000nm以降では、プロット15~18のスペクトルのピークとトラフがプロット19、20と一致していたことから、植生下の地表の性質もハイパースペクトル画像から把握することができる可能性が示唆された。

プロット1~8までスギが出現するが、このうちスギの個体密度が0.02本/m²以上になるとハイパースペクトル画像から抽出できることがわかった。また、プロット8~10において波長約1850nm~2050nmで二次微分吸光度に違いが生じ、林床のアズマネサザの量を反映していると考えられた。また、二次微分吸光度では波長約1370nm~1370nmの二次微分吸光度にプロット1~7とプロット8~18とに差が生じたことから、林分の構造が違ふことが予想された。実際に、プロット1~7は、発達した林分で、高木、亜高木、低木、草本層と階層的な構造をしているのに対し、プロット8~18では、高木層や低木層が発達していない林で、このような林分構造の違いが現れたのではないかと考えられた。

おわりに

荒川中流の河畔林において、詳細な植生および地形的な特徴と、ハイパースペクトル画像を用いた反射率と二次微分吸光度とを比較した結果、反射率よりも二次微分吸光度の方が、より詳細な情報を入手できることがわかった。林分の構造の違いにより、ハイパースペクトルの反射率や二次微分吸光度のスペクトルに違いが生じた。ハイパースペクトル画像を用いることにより広域の河畔林を、反射率や二次微分吸光度の特徴から分類することが可能であると考えられる。このように、限られた地域の詳細な調査調査に基づいてハイパースペクトル画像との関連を調べることによって分類が可能であることが示されたことは、この手法を河畔林以外の広域の森林へと拡張することができることを意味し、広域の森林の構造把握に役立つものとする。

引用文献

- 石田武・田村俊和・宮下香織・長田真宏・門村浩・高村弘毅, 2005. 埼玉県荒川中流部にみる現代の扇状地面離水過程, 日本地形学連合2005年春季大会発表(要旨は, 地形, 27, p.381).
- 伊藤茂・大竹良知・吉村幸江・鬼頭勇夫, 1999. 近赤外分光法によるスイカ果実の非破壊糖度測定, 愛知県農業総合試験場研究報告書第31号, pp.153 - 158
- 岩本睦美・河野澄夫・魚住純, 1994. 近赤外分光法入門, 168pp. 幸書房, 東京.
- 沖雄一・小熊宏之(2002) リモートセンシングデータを用いた特定森林樹冠の推定-釧路湿原におけるハンノキ推定-. 日本リモートセンシング学会誌, 22(5), pp. 510 - 516.
- 加藤正人(2002) 高分解能衛星 IKONOS 衛星による針広混交林の樹種分類. 森林航測, 第198号, pp. 6 - 9 .
- 小谷英司・粟屋善雄・岡野通明(2002) 航空機 MSS による落葉広葉樹林での分光反射特性の季節変化と樹種分類. 日本写真測量学会春季学術講演会論文集, PP.63 - 64.
- 川西基博・崎尾均・白石貴子・米林伸・後藤真太郎, 2005. 荒川中流域の河畔林における草本植生の種組成と生活型, ORC2005年度報告書
- 崎尾均. 2002 水辺林とはなにか. 崎尾均・山本福壽編. 『水辺林の生態学』所収, p1 - 16. 東京出版会, 東京.
- 崎尾均・白石貴子・後藤真太郎・米林伸・川西基博・小林誠・渡邊定元, 2005. 荒川中流域の河畔林の造と動態, ORC2005年度報告書
- 崎尾均・山本福壽編. 水辺林の生態学, 206pp. 東京出版会, 東京.
- 白石貴子・後藤真太郎・渡邊定元・崎尾均・川西基博, 2006. ハイパースペクトル画像による自然度評価の試み - 比企丘陵森林公園への適用事例 -. 日本森林学術学術講演集. p246
- 新山馨. 2002 河畔林. 崎尾均・山本福壽編. 『水辺林の生態学』所収, p61 - 93. 東京出版会, 東京.
- Dixi, L., and Ram, S., 1985. Quantitative analysis by derivative electronic spectroscopy. All. Spectr. Rev, 21 (4), pp.311-418.
- Wessman, C. A., Aber, J. D., and Peterson, D. L., 1989. An evaluation of imaging spectrometry for estimating forest canopy chemistry. Int. J. Remote Sence, 10 (8), pp.1293-1316.

Estimation of the Riparian Forest Structure in the Mid-Arakawa Using the Hyperspectrum Imagery

SHIRAISHI Takako*, GOTO Shintaro*, SAKIO Hitoshi**, KAWANISHI Motohiro***,
YONEBAYASHI Chu*, WATANABE Sadamoto****

*Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

**Saitama Prefectural Agriculture and Forest Research Center, Forest Laboratory

***Open Research Center, Graduate School of Geo-environmental Science, Rissho University

****Forest Environmental Institute

Keywords: riparian forest, hyperspectrum imagery, second differential absorbance