

公益信託エスベック地球環境研究・技術基金

平成 18 年度 助成研究報告概要書

研究テーマ

ハイパースペクトルリモートセンシングを用いた湿生高草群落特性の評価技術

東京大学大学院農学生命科学研究科 石井潤

栃木県、群馬県、茨城県、埼玉県の 4 県が接する関東平野の中央に広がる渡良瀬遊水地は、本州以南で最大の面積（約 3,300ha）を持つ湿地帯であり、ヨシとオギの高茎草本群落が発達する湿地の中に全国的に絶滅が危惧される植物が約 50 種生育する生物多様性保全上重要なウェットランドの 1 つである。本研究では、(1)航空機搭載型ハイパースペクトルリモートセンシングを用いて優占種ヨシおよびオギのシュート密度を推定する手法を確立すること、および(2)ヨシおよびオギの下層でしばしば優占種となるカサスゲとヨシおよびオギのシュート密度、他種との分布の関係を明らかにすることを目的とした。

5 月 26 日の晴れた日にハイパースペクトル画像を高度 1,438 m で取得し、1 ピクセル 1.5 m の空間解像度のデータを得た。同じ時期の 5～6 月に 22 箇所では 5×5 m の方形区を設置し、ヨシおよびオギのシュート密度を記録した。ヨシおよびオギのシュート密度と反射スペクトル値との関係を解析するため、一般化線形モデル（GLM）を適用して AIC（赤池情報量規準）に基づいてモデル選択を行った結果、それぞれ自由度を調整した R^2 が 0.75 および 0.73 の推定式を得た。これらの推定式を用いて、ハイパースペクトル画像データからヨシおよびオギのシュート密度の分布推定図を作成することができた。

次に、5～6 月に 613 箇所では 1×1 m の方形区を設置して実施した植生調査のデータを用いて、カサスゲとヨシおよびオギのシュート密度との関係を解析した結果、ヨシの相対優占度が高くカサスゲの被度も高い植生、オギの相対優占度が高くカサスゲの被度が低い植生、ヨシとオギが混在しカサスゲが分布しない植生の 3 つの植生タイプが認められた。このことから、ハイパースペクトルリモートセンシングを用いて推定したヨシとオギのシュート密度に基づいて、これら 3 つの植生タイプが地図化できる可能性があることが示された。カサスゲの優占の程度は他種の種数や被度に影響しており、今後、より詳細な関係を明らかにする必要がある。

以上の結果から、ハイパースペクトルリモートセンシングを用いて、ヨシとオギのシュート密度を推定することが可能であり、さらに両種の密度とカサスゲを含む他種との関係性から、より詳細な植生タイプが地図化できる可能性が示された。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご支援をいただいた公益信託エスベック地球環境研究・技術基金に、厚く御礼申し上げます。

公益信託エスベック地球環境研究・技術基金

平成 18 年度 助成研究報告書

研究テーマ

ハイパースペクトルリモートセンシングを用いた湿生高草群落特性の評価技術

東京大学大学院農学生命科学研究科 石井潤

1. はじめに

陸域と水域をつなぐウェットランドの生態系は、多くの生物に多様な生息・生育環境を提供するだけでなく、水質の維持や洪水の緩和など人間の生活を支える様々な生態系サービスをもたらしている(Millennium Ecosystem Assessment, 2005)。しかし、我が国においては湿地の減少が著しく、国土地理院地の調査(国土地理院, 2000)によると、明治・大正時代に存在した湿地面積の 61.1%に当たる 1289.65km²が消失したことが明らかにされている。その結果、ウェットランドに生息・生育する多くの生物種の絶滅が危惧される事態に至っており(角野・遊磨, 1995)、湿地の生態系とそれを支える生物多様性の保全が緊急の課題となっている。

栃木県、群馬県、茨城県、埼玉県の4県が接する関東平野の中央に広がる渡良瀬遊水地は、本州以南で最大の面積(約 3,300ha)を有する湿地帯であり、多様な動植物の生息・生育場所となっている(藤岡町史編さん委員会, 2002)。その中には全国的に絶滅が危惧される植物約 50 種が含まれ、生物多様性のホットスポットとなっている(藤岡町史編さん委員会, 2002)。渡良瀬遊水地の保全のためには、現在の植生の状況を明らかにすることと継続的なモニタリングがより有効な計画の立案につながる。ところが、渡良瀬遊水地は面積が広大であるために、これまで詳しい面的な把握はなされてこず、踏査による現地調査にも限界があった。

このような場合、広域において植生を把握・分析する技術として、リモートセンシングが有望となる。特に、ハイパースペクトルリモートセンシングは、波長域が可視～短波長赤外域(400～2500 nm)と広く、かつ従来のマルチスペクトルリモートセンシングよりも高い波長分解能を持つため、対象物のより細かい分類・解析が可能な技術として期待されている(例えば、Schmidt and Skidmore, 2003)。また、航空機搭載型ハイパースペクトルセンサを用いれば、高い空間解像度を持つデータを得ることが可能となり、植生をより細かい空間スケールでマッピングできる可能性がある。

渡良瀬遊水地では、湿生高草であるヨシとオギが連続的に密度を変えながら優占しており、水分条件や河川の氾濫のような自然かく乱、刈り取りや野焼きといった人為的なかく乱の影響を受けて、両種のシュート密度の不均一性がもたらされていると考えられる。この不均一性は、同時にヨシとオギの下層に生育する植生の種組成を特徴づけている可能性がある。そのため、植生の把握のためには、ヨシとオギのシュート密度の空間パターンを

考慮することが必要となる。また、下層植生においては、しばしばカサゲが優占していることが観察されており、下層に生育するその他の種の分布に影響している可能性がある。

そこで、本研究では、ハイパースペクトルリモートセンシングを用いて、優占種ヨシおよびオギのシュート密度を推定する手法を確立することを目的とした。また、カサゲとヨシおよびオギのシュート密度、他種との関係について解析した。ヨシおよびオギのシュート密度と反射スペクトルとの関係は、一般化線形モデル (GLM) を用いて解析し、AIC (赤池の情報量規準) に基づいてモデル選択を行った。

2. 方法

2-1. 研究対象地と調査・解析のスケール

渡良瀬遊水地は、渡良瀬川、思川、巴波川の三川の合流部に形成されている広大な湿地であり (約 3,300 ha, 36°11' 36°17' N, 139°40' 139°42' E)、内部の植生は主にヨシとオギが優占する湿生高草群落となっている (図 1)。650 種以上の植物が記録されており (藤岡町史編さん委員会, 2002)、全国的に絶滅が危惧されている植物が約 50 種分布している。渡良瀬遊水地の南東部に位置する古河における 1976 年から 2005 年までの平均年間降水量と平均年間気温は、それぞれ、約 1,187 mm と 14 °C である。渡良瀬遊水地は、洪水の調節機能、農業の灌漑用水、レクリエーション、自然観察などを目的として利用されており、現在の植生管理として毎年 3 月下旬に野焼きが実施されている。

調査は渡良瀬遊水地の東部で実施した。予備調査から、植生は数 m から十数 m のスケールで変化することが観察されたため、調査および解析のスケールは 1~5 m とした。

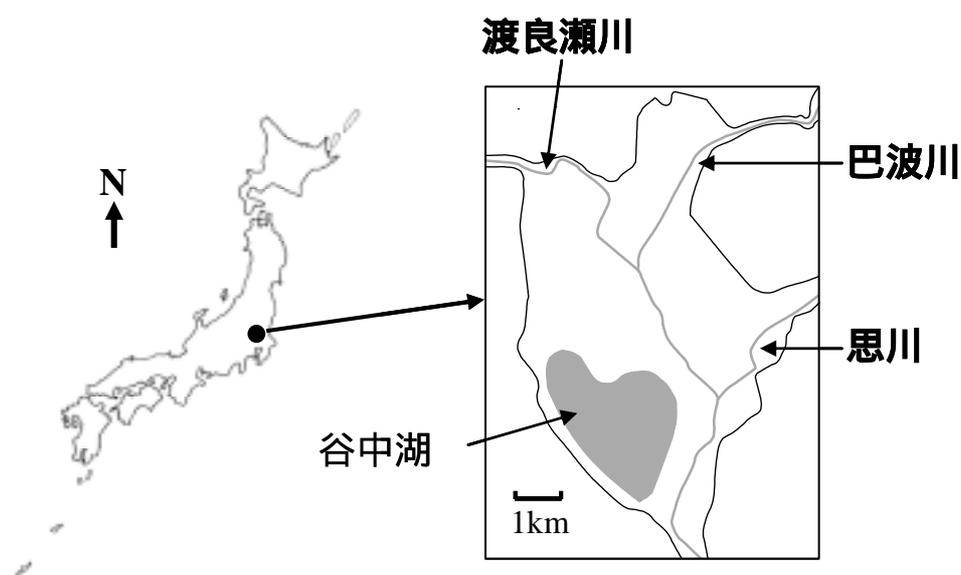


図 1 研究対象地 (渡良瀬遊水地)。調査・解析は渡良瀬遊水地の東部で実施した。

2-2. ハイパースペクトルデータ

図 2 に、本研究の手順を示す。

本研究では、ハイパースペクトル画像取得に際し、航空機搭載型ハイパースペクトルセンサ AISA (Airborne Imaging Spectrometer for Applications) を利用した。AISA は 10 nm 以下の分解能で、波長域が可視～近赤外領域 (398～993 nm) の 68 バンドを持つ (図 3)。5 月 26 日の晴れた日にハイパースペクトル画像データを取得した。解析の便宜上、ハイパースペクトル画像データの反射スペクトルの値は実際の値に 1000 倍されている。画像は高度 1,438 m で取得され、その結果 1.5 m (1 ピクセル = 1.5×1.5 m²) の空間解像度が得られた。ハイパースペクトル画像の位置座標の誤差は、

Trimble GPS Pathfinder ProXR (誤差 1 m) を用いて取得した位置座標と ERDAS IMAGINE9.0 (Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC., USA) を用いて、1 ピクセル以内になるように補正した。

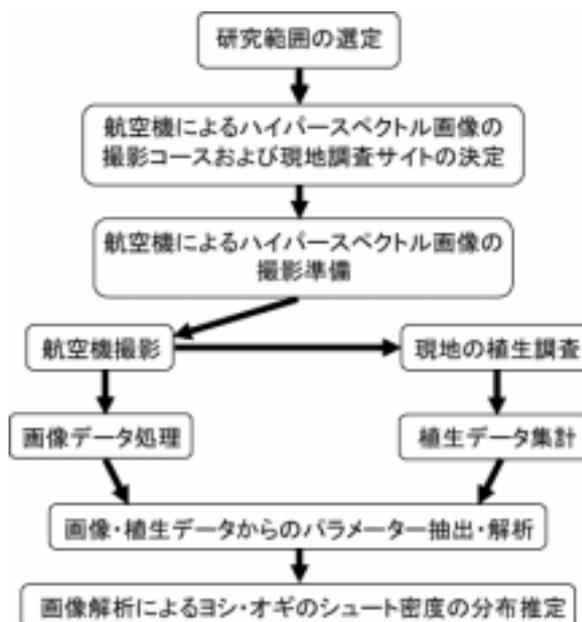


図 2 本研究の手順

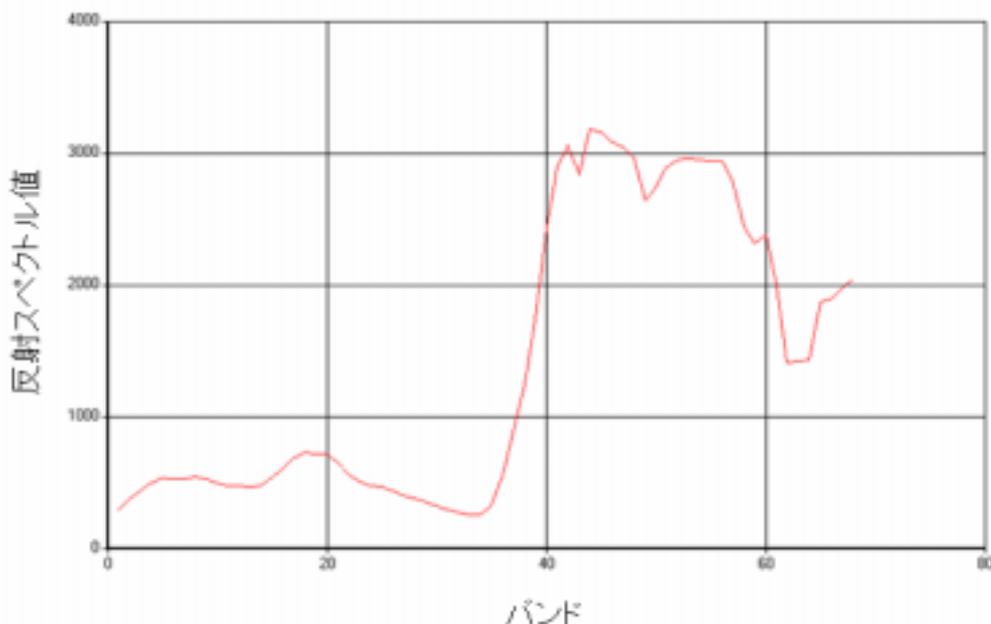


図 3 ヨシ・オギ群落におけるハイパースペクトルデータの 1 例.

2-3. 植生データ

ヨシおよびオギのシュート密度データを得るために、ハイパースペクトル画像データを取得した時期と同じ時期の5~6月に、多様なヨシとオギのシュート密度の植生が含まれるように22地点のコドラート(5×5 m²)を設置した。各コドラート内にさらに3つのサブコドラート(1×1 m²)を設置してシュート密度を記録し、その平均値を各コドラートの値とした。また、TrimbleGPS Pathfinder ProXRを用いて、各コドラートの4頂点の位置座標を記録した。

カサスゲとヨシおよびオギのシュート密度、他種との関係を解析するために、5~6月に613個のコドラート(1×1 m²)を多様な植生が含まれるように設置し、種組成と被度およびヨシとオギのシュート密度を記録した。

2-4. 統計解析

ハイパースペクトルデータとヨシおよびオギのシュート密度データとの関係式を得るために、22地点のコドラートにおけるヨシあるいはオギのシュート密度を従属変数、ハイパースペクトルデータの各バンドの反射スペクトル値を独立変数として、正規分布を確率分布とするGLMを適用した。各バンドの反射スペクトル値は、事前にバンド1の値で割って標準化を行い、独立変数が1~4変数の場合のすべての組み合わせの候補モデルを作成して、赤池情報量規準(AIC, akaike information criteria)に基づくモデル選択を行った(Burnham and Anderson, 2002)。以上の解析では、R(R Development Core Team, 2006)を用いた。

2-5. ハイパースペクトル画像データによるヨシおよびオギのシュート密度の地図化

AICが最小のモデルを用いて、ハイパースペクトル画像データからヨシおよびオギのシュート密度の地図を作成した。地図作成の際、植生が存在するピクセルのみを解析対象とするために、NDVI(正規化植生指数: Normalized Difference Vegetation Index)を算出し、0.74以上の値を示したピクセルを植生が存在するピクセルとした。NDVIは以下の計算式で求められる。

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

NIR: 近赤外域の反射スペクトル値

VIS: 可視域の反射率

NIRおよびVISは、それぞれ774 nmと675 nmの反射スペクトル値を用いた。

3. 結果

3-1. ハイパースペクトル画像データに基づくヨシおよびオギのシュート密度データの推定

図 4 に、取得されたハイパースペクトル画像の部分拡大画像を示す。雲などの影響のない良好な画像を得ることができた。図中では、北東から南西に向かって、小道が延びている。濃い緑色はヨシが優占しているところで、明るい緑色はオギのシュート密度が相対的に高い場所となっている。

表 1 に、ハイパースペクトル画像データに基づくヨシおよびオギのシュート密度の推定式のためのモデル選択の結果を示し、表 2 には、それぞれの推定式を示した。両種ともに 4 変数のモデルが AIC の最小値を持ち、いずれも自由度を調整した決定係数が 0.7 以上と比較的高い値を示した。



図 4 ハイパースペクトル画像の部分拡大図 (R: 683 nm, G: 550 nm, B: 473 nm で表示)。南北方向 500 m、東西方向 400 m の範囲を示している。

表 1 AIC に基づくヨシとオギのシュート密度の推定式のモデル選択の結果.

モデル*	AIC	Δ_1	Adjusted R^2
ヨシ			
バンド9, 14, 19, 38	157.81	0.00	0.75
オギ			
バンド3, 22, 30, 37	171.15	0.00	0.73

* バンド3: 414 nm, 9: 464 nm, 14: 507 nm, 19: 550nm, 22: 577 nm, 30: 648 nm, 37: 710nm, 38: 719nm

選択されたバンドは、両種ともに、ほぼ可視域の 400 ~ 750 nm の範囲で、ヨシが青、緑、赤色に対応する波長領域のバンドが選択され、オギは紫、黄緑、赤色に対応する波長領域のバンドが選択された。

得られた推定式を用いて、調査対象地のヨシおよびオギのシュート密度を推定し、地図を作成した（図 5）。ヨシとオギの連続的で不均一な分布と、ヨシの密度が高いところはオギの密度が低く、その逆にオギの密度が高いところはヨシの密度が低い傾向が見られた。

表 2 ヨシとオギのシュート密度の推定式.

ヨシ
$Y = -377.89 \times (\text{バンド9} / \text{バンド1}) + 640.01 \times (\text{バンド14} / \text{バンド1}) - 181.48 \times (\text{バンド19} / \text{バンド1}) + 47.97 \times (\text{バンド38} / \text{バンド1}) - 92.97$
オギ
$Y = -153.83 \times (\text{バンド3} / \text{バンド1}) + 331.68 \times (\text{バンド22} / \text{バンド1}) - 230.58 \times (\text{バンド30} / \text{バンド1}) - 116.16 \times (\text{バンド37} / \text{バンド1}) + 197.24$

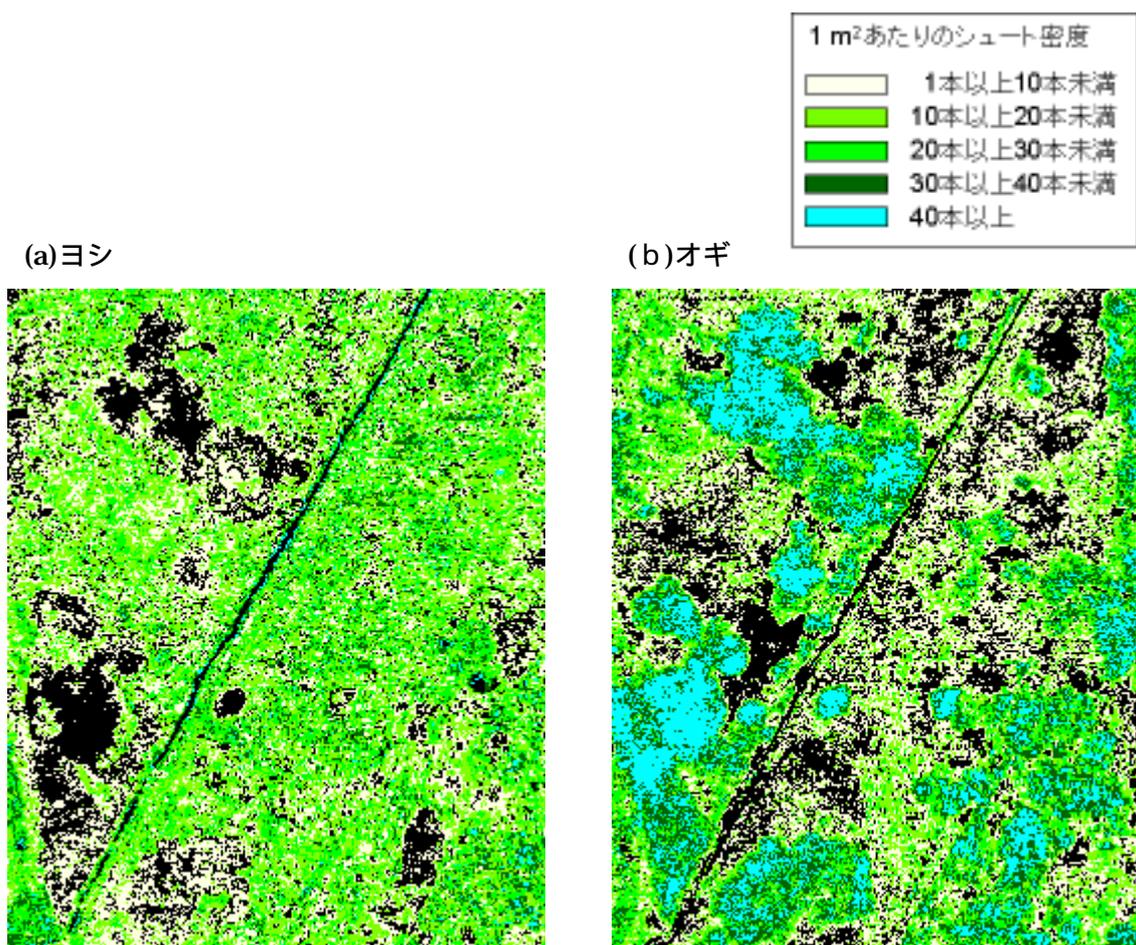


図 5 ヨシ (a) およびオギ (b) のシュート密度の分布推定図 (図 4 と同じ範囲を示す)。

3-2. カサスゲとヨシおよびオギのシュート密度、他種との関係

ヨシとオギの下層の植生でしばしば優占群落を形成するカサスゲは、ヨシとオギのシュート密度に対して、特徴的なパターンを示した(図6)。まず、オギのシュート密度が低くヨシのシュート密度が相対的に高い場所では、カサスゲの被度が高くなる傾向があった。その逆に、ヨシのシュート密度が低くオギのシュート密度が相対的に高くなる場所ではカサスゲの被度は小さくなり、ヨシとオギが混在する場所では、カサスゲは分布しない傾向を示した。

カサスゲと他種との関係では、カサスゲの被度が高くなるほど、有意に他種の種数が減少した(図7, Spearmanの順位相関係数 = -0.3410, $P < 0.0001$)。また、同様に、他種の被度の合計も有意に減少した(図8, Spearmanの順位相関係数 = -0.6207, $P < 0.0001$)。

4. 考察

4-1. ハイパースペクトルリモートセンシングを用いたヨシとオギのシュート密度の推定

湿生高草であるヨシとオギの広大な群落が発達する渡良瀬遊水地では、両種が連続的に密度を変

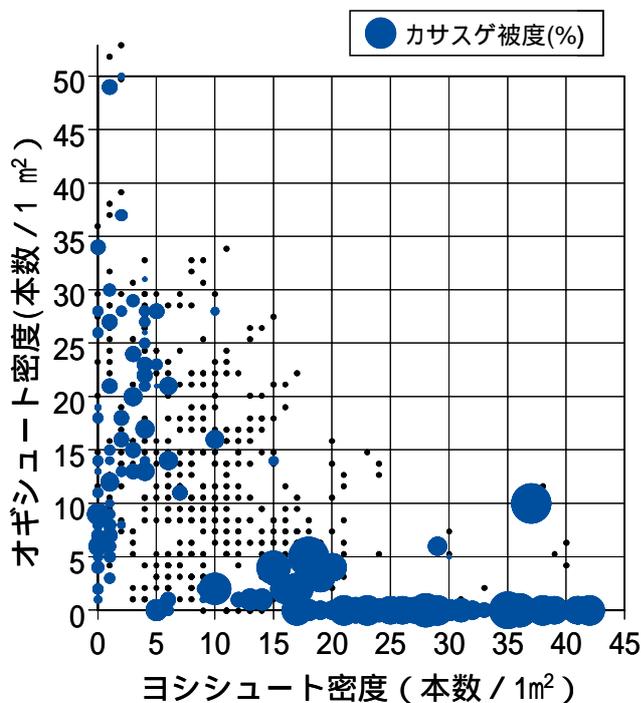


図6 カサスゲの被度とヨシおよびオギのシュート

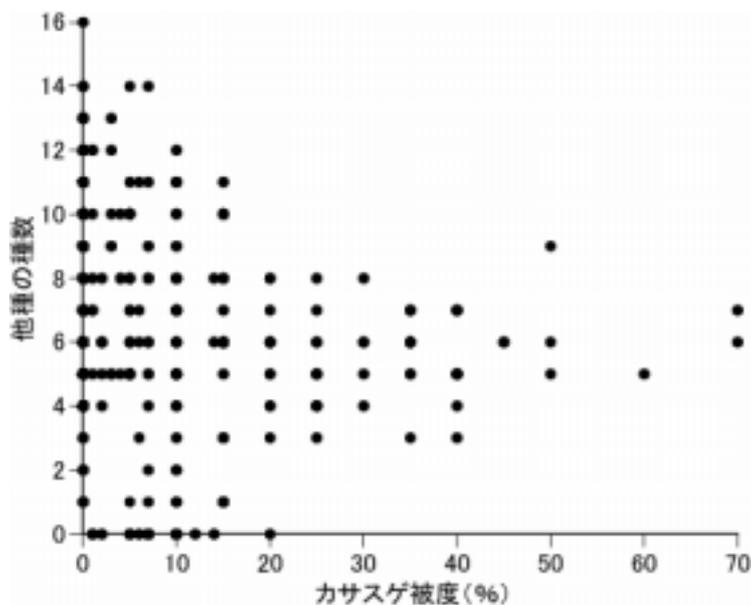


図7 カサスゲの被度と他種の種数との関係。

えながらモザイク状に分布している。これまで多くの研究から優占種の分布は、非優占種の分布を規定することが明らかにされてきた（例えば Austin, 1985）。そこで、本研究では、渡良瀬遊水地の植生モニタリングの手法として、ヨシとオギのシュート密度に着目して、ハイパースペクトルリモートセンシングを用いて地図化する手法の開発を試みた。

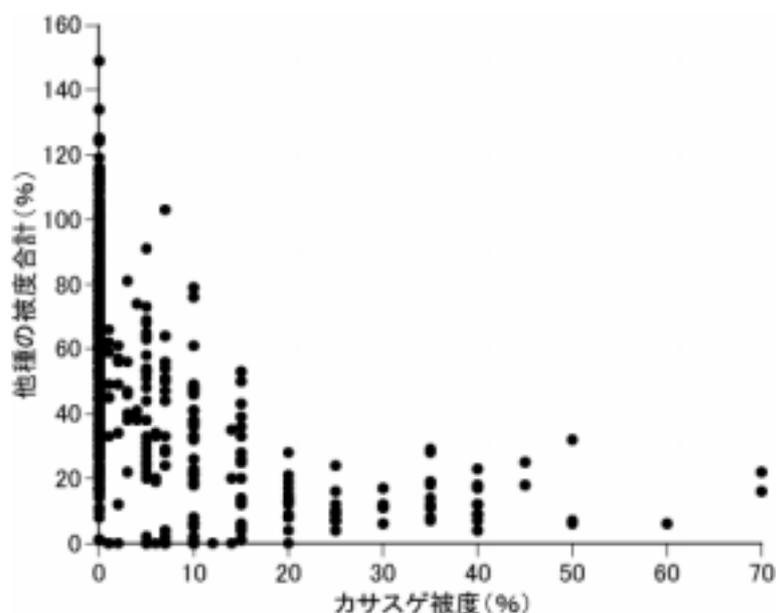


図8 カサスゲの被度と他種の被度の合計との関係。

シュート密度と反射スペクトル値との関係を解析した結果、自由度を調整した R^2 が 0.7 以上と比較的高い精度で、ヨシおよびオギのシュート密度を推定することが可能であることが明らかになった。得られた推定式を用いて作成した地図では、ヨシとオギのシュート密度の分布の連続的な変化と不均一性がよく示されており、本手法の有効性を示唆している。

推定式で選択された波長域は、植物に関係する緑色と赤色（日本リモートセンシング研究会, 2001）を含んでおり、これらの領域が植物種の識別にも寄与することが明らかになった。

4-2. カサスゲとヨシおよびオギのシュート密度、他種との関係

しばしば下層で優占種となるカサスゲは、ヨシとオギのシュート密度と特徴的な関係を示した。すなわち、ヨシの相対優占度が高くカサスゲの被度も高い植生、オギの相対優占度が高くカサスゲの被度が低い植生、ヨシとオギが混在しカサスゲが分布しない植生の 3 つの植生タイプが認められた。このことから、ハイパースペクトルリモートセンシングを用いて推定したヨシとオギのシュート密度に基づいて、さらにこれら 3 つの植生タイプが地図化できる可能性があることが示された。カサスゲの優占の程度は他種の種数や被度に影響しており、今後、より詳細な関係を明らかにする必要がある。

4-3. ハイパースペクトルリモートセンシングを用いた湿生高草群落の植生モニタリング

本研究の結果から、ハイパースペクトルリモートセンシングを用いて、ヨシとオギのシュート密度を推定し、さらに両種の密度とカサスゲを含む他種との関係性から、より詳細

な植生タイプが地図化できる可能性が示された。ヨシとオギが優占する湿生高草群落は、日本の主要なウェットランドの1つである。本手法が確立されれば、これら多くのウェットランドの保全に貢献できる技術となることが期待される。今後の課題として、ヨシとオギのシュート密度の推定精度の向上およびヨシとオギのシュート密度とカサスゲおよび他種との詳細な関係の解明、さらにそれらの関係に影響する環境要因の解明が挙げられる。

5. 謝辞

本研究は、平成18年度公益信託エスベック地球環境研究・技術基金の助成を受けて遂行されました。ここに関係各位に感謝の意を表します。

6. 引用文献

Austin, M.P. (1985) Continuum concept, ordination methods, and niche theory. *Annual Review of Ecology and Systematics* 16: 39-61.

Burnham, K.P., Anderson, D.R. (2002) *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach, Second Edition*. Springer-Verlag, New York.

藤岡町史編さん委員会 (2002) 藤岡町史 資料編 渡良瀬遊水地の自然. 栃木県藤岡町.

角野康郎・遊磨正秀 (1995) ウェットランドの自然. 保育者, 大阪.

国土地理院 (2000) 国土地理院の湖沼湿原調査: 日本全国の湿地面積変化.

<http://www1.gsi.go.jp/geowww/lake/shicchimenseki2.html>.

Millennium Ecosystem Assessment (2005) Inland water systems. *In: Ecosystem and human well-being: current state and trends, volume 1*, Island Press, Washington, 551-583.

日本リモートセンシング研究会 (2001) 改訂版 図解リモートセンシング. 日本測量協会, 東京.

R Development Core Team (2006) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

Schmidt, K.S., Skidmore, A.K. (2003) Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. *Remote Sensing of Environment* 85: 92-108.