

## 湿原域の濁水氾濫と植生変化に係わる

### 衛星画像解析手法に関する研究

#### 学位論文内容の要旨

本研究は、近年多様な価値が再認識されている湿原のモニタリング技術の確立を目的とし、釧路湿原久著路川を対象として、流域からの累積的影響の解析を行うとともに湿原氾濫域への濁水氾濫と湿原植生変化に係わる人工衛星画像解析手法の構築を行ったものである。

対象流域から湿原に負荷されているインパクト（土砂流送量）の定量化とその動態解明を行うため、土砂流送量については流域内に定点観測点を4ヶ所設け、デジタル濁度計・水位計・ウォーターサンプラーを設置し連続観測（濁度・水位については10分間隔、採水に関しては大規模な出水時）を行った。これらのデータから各観測点における1995年9月～1996年8月の間の土砂流送量と観測点間の収支を算出した。また河川の縦断形計測と河床堆積土砂調査を行うとともに、河川濁水と湿原表層土砂の粒径を比較した。

この結果、湿原に流入する土砂の大半（重量割合で約90%）は流域中上流部で生産されたウォシュロード（W.L.）であり、湿原に流入するインパクトとしては一番大きく、年間流入量はW.L.約6400t・浮遊砂約700tであった。さらにこれらの約50%が融雪出水によって湿原に流入していることが明らかとなった。久著呂川における1966年以後の河川改修による河川短絡化（明渠排水路造成）は旧河川と比較して約2倍の河床急勾配化をもたらし、これがかつて上流部にあった砂成分堆積域を排水路末端部にまで下流に移動させる主要因であることが指摘された。また、河床材料の中央粒径と河床勾配とには顕著な対応関係が見られたことから、砂成分の堆積域について河床勾配から逆算し排水路造成前を推定すると、その堆積域の上流端は1965年のハンノキ林の上流部側境界と一致していた。排水路末端部付近の堆積土砂は年間でW.L.3200t・浮遊砂700tであ

り、この堆積土砂が河道閉塞を招き出水時に濁水が排水路外に氾濫し、湿原に土砂を堆積させていることが推測された。

湿原の氾濫状況を把握するために、衛星画像を用いた氾濫濁水濃度指標（WTI：Water Turbidity Index）を開発し、融雪期の氾濫濁水について氾濫濁水の濃度推定を行った。本研究では濁水濃度推定のための衛星画像解析にあたりミクセル分析を用いた。このミクセル分析は画像の一ピクセルについて、その中に含まれている構成要素（エンドメンバー）のスペクトル情報をもとに混合スペクトルを分解して個々のエンドメンバーの存在量（Abundance）を計算する解析方法である。本研究では人工衛星画像にランドサット TM を用い、エンドメンバーにハンノキ(*Alnus japonica*)・ヨシ(*Phragmites australis*)・高濃度の濁水(485ppm)・低濃度濁水(10ppm)の 4 つを選びミクセル分析を行った。エンドメンバーのスペクトル測定は、ハンノキ・ヨシについては湿原氾濫域で採取したものを室内の分光計で測定した。一方、濁水については久著路川の氾濫域に実験水槽を設置し、濁水を濁度計でモニタリングしながら濃度値毎のスペクトルをスペクトルメータで測定した。これらのスペクトル情報からエンドメンバー点を決定し、反射率に変換された TM 画像をもとにミクセル分析を行い、各エンドメンバーについて、それらの存在量を現す画像を作成した。この画像において、最高濃度濁水のエンドメンバーの存在量  $a_{max}$  と最低濃度濁水のエンドメンバーの存在量  $a_{min}$  を用いて、 $WTI = a_{max} / (a_{max} + a_{min})$  と定義した。さらに水面に植生等の遮蔽物が存在する状態における WTI の有効性を検証する目的で、実験槽にハンノキとヨシの混在した状態の擬似的湿原を再現し、混合スペクトルの測定を行った。この野外実験で得た混合スペクトル情報から WTI を計算し、この WTI から濁水濃度  $C$  への変換式は  $C = EXP [(WTI - b) / a]$ 、（本研究では  $a=0.30$ ,  $b=-0.80$ ,  $R^2=0.91$ ）として求められた。出力された WTI 画像はピクセルのテクスチャーノイズが見られたため、 $7 \times 7$  の平均化フィルターにより平滑化処理を行った。この画像値に対し WTI から濃度への変換式を適用して濁水濃度の濃度スケール（単位 ppm）を決定した。この作業により久著路川の氾濫濁水についてその濃度の推定が可能となった。

本研究で開発された解析方法を湿原経年変化のモニタリング手法に応用することを目的とし、湿原に負荷されたインパクトである氾濫濁水とその影響と考えられるハンノキ林の変化について検討した。排水路が完成した直後の 1984 ～ 1989 年頃の湿原状況を抽出するために、氾濫現象の変化について TM の反射率画像をもとに WTI(1984/05/21) と

WTI(1989/05/19)を作成し、その期間の濁水氾濫域の変化を画像化した。この結果、1984年の氾濫状況は久著路川の両側に広く拡散しており、濃度も氾濫域内でほぼ均一で緩やかに変化していた。これに対し1989年では濁水の流れは河川右岸へ集中し、1～1.5km程度の流路となって流下しており、さらに濁水の先端は久著路川下流の高層湿原にまで達していることが確認できた。もう一つのハンノキ林変化の抽出については、同様にTM反射率画像からNDVI(1984/08/18)とNDVI(1990/08/03)を作成しその変化量を抽出した。この結果1984～1990年にかけて久著路川の左岸ではハンノキ林が増加したのに対し、右岸ではハンノキ林の増加した部分と減少した部分の両方が確認された。

この久著路川兩岸の植生変化の相違と濁水分布パターンの変化との関係を求める目的で、それぞれの画像について変化量をもとめWTI値の変化量を $WTI(1989) - WTI(1984)$ 、NDVIの変化量を $NDVI(1990) - NDVI(1984)$ として新たな画像を作成した。その後GISを利用し、久著路川氾濫域のハンノキ林に格子間距離100mのグリッドポイントを作成して各ポイントにおけるWTIとNDVIの変化量を算出した。そしてその空間分布について河川兩岸を300m間隔でゾーニングし比較検討を行った。この結果から、1984～1989年間に濁水の冠水が進んだ領域ではハンノキ林の成長が阻害され、逆に濁水の氾濫から開放された領域ではハンノキ林の成長が促進している傾向が認められた。すなわち、左岸では一様にハンノキ林が成長していたのに対し、右岸では約60%の領域でハンノキ林の成長阻害が確認された。またWTIをもとにした氾濫の状況からは左岸では冠水した部分と乾燥化した部分が同程度であったのに対し、右岸ではそのほとんどが冠水状態に変化していることが明らかとなった。

本研究を通じ、ミクセル分析を用いた衛星画像解析による氾濫濁水濃度推定手法は、エンドメンバーを適切に設定し正確なスペクトル情報を得ることができれば、湿原以外のダム湖・湖沼・河口部・沿岸域等における濁水影響モニタリングに応用が可能であること、また、経年変化観測また広域的状況把握といった時空間を考慮したモニタリングシステムの構築において、リモートセンシング・GISは極めて有効かつ効率的な手段であることを論じた。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 新 谷 融  
副 査 教 授 堀 口 郁 夫  
副 査 教 授 和 孝 雄  
副 査 助 教 授 中 村 太 士

学 位 論 文 題 名

## 湿原域の濁水氾濫と植生変化に係わる 衛星画像解析手法に関する研究

本論文は、図 66、表 10 を含む 118 頁の和文論文であり、他に参考論文 5 編が添えられている。

流域における水系的土砂動態のモニタリング、および流域環境影響評価のための長期モニタリングの手法構築が流域環境保全上の緊急課題とされている。本研究は、これまで明らかにされてこなかった湿原域における土砂流入現象を解析するとともに、濁水氾濫と植生変化に係わる湿原動態のモニタリングを目的とした衛星画像解析手法を構築したものであり、得られた成果は以下のように要約される。

### 1. 湿原流入河川の土砂流送による濁水氾濫機構

湿原への土砂流入インパクトの定量化とその動態解明のために、釧路湿原流入河川（久著呂川流域）に水系的定点観測システム（10 分間隔の濁度・水位観測と採水）を設定し、各観測点での土砂流送量の年収支と季節変化を解析した。この結果、湿原流入土砂の約 90 % は流域中上流部で生産されたウオッシュロードであり、流入量の約 50 % が融雪出水時のものであることを明らかにしている。

また河床堆積土砂（中央粒径）と河床勾配とに顕著な対応関係を確認し、これをもとに粗粒砂成分堆積域の位置的变化について検討した結果、河川短絡化による約 2 倍の河床急勾配化が土砂堆積域の下方移動をもたらしたこと、また河川濁水と湿原表層土砂との粒径比較からこの堆積土砂の河道閉塞が出水時の濁水氾濫と湿原内土砂堆積の主因となっていることを指摘している。

### 2. 衛星画像ミクセル分析による氾濫濁水濃度指標（WTI）の開発

画像ピクセル中のエンドメンバー値をもとに混合スペクトルを分解するミクセル分析

を用い、幾何学的モデルにおける最高・最低濃度濁水のエンドメンバー寄与率の比から WTI を算出する理論の構築を行った。まず、ミクセル分析用エンドメンバーとして湿原の主構成要素であるハンノキ・ヨシ・最高濃度濁水・最低濃度濁水を用いることとし、それらのスペクトル測定を、現地採取のハンノキ・ヨシは室内で、濁水は現地設置の実験水槽内で人為発生させたものを濃度値ごとの計測によって行った。つぎに、実験水槽にハンノキ・ヨシを混在させた疑似湿原を再現し、ここで測定した混合スペクトルの解析によって WTI から濃度  $C$  への変換式を導き出した。そしてこの変換式が氾濫濁水濃度の高精度推定を可能とすることを検証し、ランドサット TM 画像に応用して濁水氾濫情報の画像化を実現している。

### 3. WTI による濁水氾濫と湿原植生の経年変化解析

湿原氾濫濁水とその影響と考えられる湿原植生（ハンノキ林）の時空間変化について検討している。氾濫現象の変化については TM の反射率画像をもとに作成した WTI 画像から、近年における最も顕著な濁水氾濫は 1984～1989 年の期間にあること、そして 1984 年には均一濃度で広く拡散していた濁水が 1989 年には高濃度で河川右岸域へ集中し下流高層湿原にまで達していること、さらに同様に得た NDVI 画像から左岸のハンノキ林の増加と右岸のハンノキ林の増加と減少が確認された。つぎに、この兩岸の植生変化について WTI 値変化量と NDVI 値変化量の新画像を作成し、GIS データを用いて 100m 間隔のグリッドポイントにおける WTI と NDVI の変化量の空間分布について比較検討を行った。その結果、右岸の濁水氾濫領域の約 60% でハンノキ林成長の阻害と左岸の濁水非氾濫領域でハンノキ林成長のほぼ一様な促進が確認された。そして、これら画像解析から得た変動情報は、湿原の水文・植生変化の現地情報に対応していること、さらに現地調査では判別し得ない広域の変動情報であることを考察している。

### 4. 衛星画像解析の流域モニタリングへの適用

ミクセル分析を用いた衛星画像解析による氾濫濁水濃度推定手法は、エンドメンバーの設定とスペクトル情報の取得によって湖沼・河川・河口沿岸部などの水域における濁水影響モニタリングに適用が可能であること、また、広域的・長期的モニタリングにおいて極めて有効かつ効率的な手法であることを論じている。

以上のように本研究は、湿原植生変化をもたらす濁水氾濫現象を対象とし、ミクセル分析を用いた衛星画像解析手法を新たに開発したもので、その成果は学術的に高く評価されるとともに実用面に大きく貢献するものである。よって審査員一同は、亀山 哲は博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。