

泥炭地湿原の水文土壌変動特性と空間構造評価

学位論文内容の要旨

泥炭地湿原は過湿または低温条件下で植物の分解が抑制され形成される特異な環境系で陸域の約 3%を占める。気象緩和や洪水調節、水質浄化、産業の対象といった機能・効用を有するほか、近年は地球規模の炭素蓄積効果が注目されている。生態系としての貴重性・脆弱性から保護の対象となる泥炭地湿原が増加する一方で、周囲からの土砂や栄養塩の流入、周辺土地利用の進展に伴い敷設された排水路への水の流出とそれに伴う植生変化など、様々な人為影響を受ける事例も多い。近年各地で自然再生の取り組みが始まるなど、広域的視点に立った保全管理手法が求められているが、泥炭地湿原を効果的に保全管理するには、水文・土壌をはじめとする環境因子の変動に関する基礎的な知見が必要である。特にそれらの面的な分布や環境傾度（空間変動の方向性）といった空間情報の把握とその特性評価に基づく将来予測が重要であるが、実用的な手法と適用事例に関する既往知見は社会的要請に比して極めて乏しい状況にある。

そこで本研究では、日本有数の泥炭地湿原であり、大規模低地高層湿原の分布する北海道北部のサロベツ湿原を対象に、水文・土壌・植生に関する現地調査を行い、時空間変動特性について分析するとともに、リモートセンシング及び GIS を用いてこれらの環境因子に関する面連続的な空間情報を構築した。そして空間情報をもとに環境因子の空間分布特性を分析し、泥炭地湿原の効果的な保全管理に向けて空間構造を評価する実用的手法を提起することを目標とした。

まず現地 71 地点で広域的に取得した環境因子の相関と有意性を評価した。対象項目は土壌理化学因子（泥炭の体積密度、炭素含有率、窒素含有率、有機物含有率、CN 比等）、ササ因子（高さ、被度）、透水係数、地下水位変動因子（最高値等の統計値、比産出率）、土壌体積含水率変動因子（最高値等の統計値）の 5 因子群とした。その結果、全体として土壌体積含水率を除く 4 因子群は互いに有意な相関が見られ、土壌体積含水率は地下水位変動のみと有意な関係が見られた。次いでこれらと植生との関係を見ると、土壌理化学因子、透水係数の変化は植生クラスとよく対応し、ミズゴケ植生からササ植生への変化に応じて実際に出現する植生の順序に沿った増減傾向を有していた。地下水位及び土壌体積含水率は最低値と変動量において同様の増減傾向が見られた。空間変動の特徴を顕著に捉えるため、ミズゴケ植生からササ植生へと変化する 3 測線を設けて各環境因子の空間変動を分析した。その結果、地下水位の空間変動が土壌因子に比べて緩慢であること、相観は同じササ植生でも土壌因子、透水係数、地下水位が異なる領域が存在することを明らかにした。後者は人為攪乱の有無によるものと推定された。以上より泥炭地湿原における水文－土壌－植生の密接な相互関係が明らかとなり、微視的には複雑でも巨視的には相互に関連して環境傾度に応じた空間変動性を有していることが示された。

また地下水位の時間変動から推定した蒸発散量と、渦相関法及びライシメータ法とを比較し、

地下水位変動から蒸発散量を推定する実用的手法を提起した。土壌体積含水率の変動を考慮することで精度が上がることに、誤差が大きくなる条件を併せて明らかにした。このように定量化した既往研究は乏しく、蒸発散量の空間変動の推定にも結びつく重要な成果のひとつである。

次に現地調査データをもとに環境因子の空間分布を推定した。まず、本地域の特徴的地理因子である湿地溝、埋没河川、周縁河川等を GIS 化した。標高、傾斜、地盤沈下、植生高、集水量、粗度（植生表面、地表面）は航空レーザ測量データから作成し、このうち植生高と地表面粗度は現地調査結果とも検証した（相関係数各 0.74、0.76）。植生区分は衛星搭載光学センサ（ALOS/AVNIR-2）から判別分析により推定し、別に取得したデータで検証した（正当率 78%）。土壌理化学因子の分布推定はマイクロ波の性質を生かして合成開口レーダ（ALOS/PALSAR）の後方散乱係数を用いた。その過程でマイクロ波の散乱挙動を分析し、入射角依存性が HH 偏波で顕著に見られること、Pauli 分解等による偏波解析から植生クラスの違いは体積散乱に現れること、夏期に植生による散乱の影響を受けること、時期によって土壌水分と負の相関を示し誘電損失の可能性があること等を明らかにした。以上は泥炭地湿原におけるマイクロ波の応答特性を示す新しい知見である。重回帰分析により HH 偏波で 0.71~0.90、HV 偏波で 0.79~0.92 という重相関係数を得て、体積密度、有機物含有率、炭素含有率、窒素含有率の分布図を作成し、別に取得したデータにより検証し信頼性を確認した。また体積密度と透水係数の相関から透水係数分布図を作成した。以上は既往報告例のない重要な成果である。

最後に空間情報を用いた統計的手法から環境因子の空間分布特性を分析した。まず湿地溝、埋没河川、周縁河川等からの距離と水文・土壌・植生・地形因子とのゾーン集計の結果、距離に応じた相関性が認められ、湿地溝等は環境因子の分布に重要な役割を果たしていることが判明した。特に湿地溝と埋没河川とは対照的な増減傾向を示し両者の間に連続的な環境傾度が存在した。次いでセミバリオグラム分析により地下水位と土壌理化学因子の空間相関性を比較した結果、空間依存性の限界を示すレンジは地下水位で 2,000m 前後、土壌因子で 1,000m 前後となった。これは地下水位の空間依存性の範囲がより広く、土壌因子の空間変動はより局地的であることを意味し、現地調査に基づく測線上の変化解析を裏付けた。続いて 33 地点の現地情報と空間情報で各々クラスター分析及び主成分分析を行い比較した結果、土壌因子が最も区分に寄与するなど、両情報で同様の傾向を示し、空間情報による特性評価が現地の実態を反映し実用的であることを裏付けた。また空間情報を用いて前記現地調査と同様の 3 測線上の環境傾度を分析した結果、ササ前線付近で土壌因子と植生の変化にギャップが見られ、ササが拡大しやすい領域、反対に高層湿原植生への高い復元効果が期待される領域に関する潜在性の評価につながる知見が得られた。さらに全域を 300m グリッドに分割し、水文・土壌・植生・地形の各因子を用いたクラスター分析と主成分分析を行い、対象地全体の空間構造評価を行った。その結果、環境傾度が連続的なところと不連続的なところを地図及び主成分空間上に明示できた。前者は湿地溝や埋没河川など自然に形成された地形周辺で見られたのに対し、後者は河川の切替（直線化）といった人為的な攪乱地近傍に見られ、高層湿原植生の劣化に関する空間上のリスクが明らかになった。

以上より、多様な空間情報を組み合わせ、複数の因子、特に植生と土壌因子の空間変動の違いや、環境因子の空間連続性に注目することで、泥炭地湿原の効果的な保全管理とモニタリングに向けた対策適地の抽出や、環境変化を早期に察知し予測を支援する実用的手法を提示した。特に表層土壌の面的情報は重要であり、合成開口レーダを用いた推定手法は本研究の主要な成果と考える。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 井 上 京

副 査 教 授 長 澤 徹 明

副 査 教 授 平 野 高 司

副 査 准教授 谷 宏

副 査 准教授 富士田 裕 子（北方生物圏フィールド

科学センター）

学 位 論 文 題 名

泥炭地湿原の水文土壌変動特性と空間構造評価

本論文は5章からなり、図89、表25、引用文献131を含む157ページの和文論文である。他に参考論文12編が添えられている。

泥炭地湿原は過湿または低温条件下で植物の分解が抑制され形成される特異な環境系で、気象緩和や洪水調節、水質浄化、産業の対象といった機能・効用を有するほか、近年は地球規模の炭素蓄積効果が注目されている。生態系としての貴重性・脆弱性から保護の対象となる泥炭地湿原が増加する一方、周囲に敷設された排水路への水の流出とそれに伴う植生変化など、人為影響を受ける事例も多い。泥炭地湿原を効果的に保全管理するには、水文・土壌等の環境因子の面的な分布や環境変動といった空間情報の把握とその特性評価に基づく将来予測が重要であるが、実用的な手法と適用事例に関する知見は極めて乏しい状況にある。

本研究では、日本有数の泥炭地湿原である北海道北部のサロベツ湿原を対象に、水文・土壌・植生に関する現地調査を行い、環境変動特性について分析するとともに、リモートセンシング及びGISを用いて環境因子に関する空間情報を構築した。そしてこれをもとに環境因子の空間分布特性を分析し、泥炭地湿原の効果的な保全管理に向けた実用的評価手法を提起した。

まず現地71地点で広域的に取得した環境因子の相関と有意性を評価した。対象項目は土壌理化学因子（泥炭の体積密度、炭素含有率、窒素含有率、有機物含有率、CN比等）、ササ因子（高さ、被度）、透水係数、地下水位変動因子・比産出率、土壌体積含水率変動因子の5因子群とした。その結果、泥炭地湿原における水文－土壌－植生の密接な相互関係が明らかとなった。空間変動の特徴を顕著に捉えるため、ミズゴケ植生からササ植生へと変化する3測線を設けて各環境因子の空間変動を分析した。その結果、地下水位の空間変動が土壌因子に比べて緩慢であること、相観は同じササ植生でも土壌因子や透水係数が異なる領域が存在すること等を明らかにした。また地下水位の時間変動から蒸発散量を推定する実用的手法を提起した。

次に現地情報をもとに環境因子の空間分布を推定した。まず、本地域の特徴的地理因子である湿地溝、埋没河川、周縁河川等を GIS 化した。標高、傾斜、地盤沈下、植生高、集水面積、粗度（植生表面、地表面）は航空レーザ測量データから作成した。植生区分は衛星搭載光学センサ（ALOS/AVNIR-2）から判別分析により推定し、別に取得したデータで検証した。土壌理化学因子の分布推定は合成開口レーダ（ALOS/PALSAR）の後方散乱係数を用いた。重回帰分析により高い重相関係数と有意性を得て、体積密度、有機物含有率、炭素含有率、窒素含有率の分布図を作成した。また体積密度と透水係数の相関から透水係数分布図を作成した。

最後に空間情報を用いて環境因子の空間分布特性を分析した。まず湿地溝、埋没河川、周縁河川等からの距離と環境因子とのゾーン集計の結果、距離に応じた相関性が認められ、湿地溝等は環境因子の分布に重要な役割を果たしていることが判明した。次いでセミバリオグラム分析の結果、地下水位の空間依存性の範囲が広く、土壌因子の空間変動はより局地的であることが明らかとなり、現地調査の解析を裏付けた。続いて現地情報と空間情報で各々クラスター分析及び主成分分析を行い比較した結果、土壌因子が最も区分に寄与するなど、両情報で同様の傾向を示し、空間情報による特性評価が現地の実態を反映していることを裏付けた。また空間情報を用いて 3 測線上の環境傾度を分析した結果、ササ前線付近で土壌因子と植生の変化にギャップが見られ、ササが拡大しやすい領域、反対に高層湿原植生への復元効果が期待される領域に関する潜在的評価につながる知見を得た。さらに全域を 300m グリッドに分割し、水文・土壌・植生・地形の各因子を用いたクラスター分析と主成分分析により対象地全体の空間構造評価を行った。その結果、環境特性が連続的なところと不連続的なところを地図及び主成分空間上に明示でき、高層湿原植生の劣化に関する空間上のリスクを明らかにした。

以上のように本研究は、泥炭地湿原の多様な空間情報を組み合わせ、複数の因子、特に植生と土壌因子の空間変動の違いや、環境特性の空間連続性に着目することで、泥炭地湿原の効果的な保全管理とモニタリングに向けた対策適地の抽出や、環境変化を早期に察知し予測を支援する実用的手法を提示したものであり、学術及び実用上の観点から高く評価される。よって、審査員一同は、高田雅之が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。