

# 論文審査の結果の要旨

氏名 神野 有生

本論文は、衛星・航空機などが浅水域を撮影した可視近赤外画像を用いて、水深の空間分布を推定する手法について、従来法の問題点を緩和した新しい方法群を提案したものであり、全5章で構成される。

第1章は背景と目的を述べた序論である。はじめに、沿岸域・河川・湖沼における水深分布の重要性、特に浅い水域における音響測深の非効率性を根拠に、可視近赤外画像を用いた方法の工学的な重要性を述べている。次に、従来法をレビュー・分類し、Lyzenga et al.による方法が、必要な情報（可視近赤外域のマルチスペクトル画像と一部の画素の水深のみ）が比較的入手しやすく、物理的な根拠をもつ点で、比較の実用性に優れていると結論している。さらに、Lyzengaの方法の原理を説明し、精度や実行可能性を制限する問題点を指摘している。具体的には、次の4点である：A. 物理的な根拠である放射伝達モデルの成立性が、基礎的に検証されていないこと。B. 水深を推定する浅い領域と、隣接する深い領域を通じて、水・大気の光学特性に関する強い空間的均一性を仮定すること。C. 底質の種数が利用する可視バンドの数以下であると仮定すること。D. 回帰モデルの誤差項に含まれる空間的従属性によって、回帰係数の最小二乗推定量が、最良線形不偏推定量にはならないこと。最後に、これらの問題点の解決・緩和を、本論文の目的として掲げている。

第2章では、問題点Aを解決するため、水中の光の伝搬を支配する放射伝達方程式のモンテカルロ法による数値計算に基づいて、放射伝達モデルの成立性を検証している。その結果、放射伝達モデルは一般によく成立するが、内部反射成分（衛星・航空機に観測される前に、水面の水中側における反射を経た放射輝度成分）を無視していることが原因で、内部反射成分が大きい、つまり光学的深さが小さく底面反射率が大きい条件下で、成立性が低下することを明らかにしている。さらに、内部反射成分を考慮した成立性の高い放射伝達モデルも開発している。ただし同時に著者は、代数的なアプローチにより、Lyzengaの方法自体は、内部反射成分の影響を直接には受けないことを示しており、第3章における推定法の開発では、代数的な扱いやすさに優れた従来法放射伝達モデルに依拠している。

第3章では、Lyzengaの方法の問題点B, C, Dを改善した複数の方法を導出し、各方法の実水域への適用例を併せて示している。いずれの方法も、必要な情報の種類と放射伝達モデルに依拠する点でLyzengaの方法と同じであり、Lyzengaの方法の長所を継承している。

水・大気の光学特性に関する強い空間的均一性を仮定するという問題点Bに対しては、光学特性の空間変動を新たな変数で説明することにより、仮定を緩和した方法を導いてい

る。テイラー近似の利用により、回帰モデルは簡便さを継承した線形モデルとして提案されている。

底質の種数が可視バンドの数以下である必要があるという問題点 C に対しては、許容される底質の種数を任意に設定できる 2 つの方法を導出している。1 つは、指数・対数関数の非線形性を利用した非線形回帰モデルに基づく方法である。もう 1 つは、底質指標 の様々なテクスチャ特徴量を、仮想バンドとして説明変数候補に含める方法である。さらに、底質を有限の種数に分類しない立場から、放射伝達モデルの底質依存項を底質指標のノンパラメトリック関数で表現した、セミパラメトリック回帰モデルに基づく方法をも導出している。

回帰モデルの誤差項に含まれる空間的従属性によって、回帰係数の最小二乗推定量が、最良線形不偏推定量にはならないという問題点 D に関しては、対策の例として、Lyzenga の線形回帰モデルにノンパラメトリックな空間トレンド項を追加したセミパラメトリック回帰モデルに基づく方法、及び、誤差項の空間的従属性をバリオグラムとしてモデル化する **Kriging with External Drift** を応用した方法を提案している。

第 4 章では、第 3 章で導出した各アルゴリズムを、Lyzenga の方法とともに同じ水域・画像・データに適用し、交差検証法により推定精度の相互比較を行っている。水深が既知の画素が十分にある場合、開発した各方法が、Lyzenga の方法よりも高精度となることを示し、第 3 章における開発の有効性を確認している。特に高精度となったのは、空間的従属性を考慮した 2 方法であった。ただし著者は、各アルゴリズムの予測精度の優劣が、状況に強く依存することを強調している。

第 5 章はまとめの章であり、研究成果を総括している。また、今後の開発の展望として、底面の双方向性反射率分布関数や、水・底面の偏光特性の考慮・利用の可能性について解説している。

いずれの章においても、共同研究者の寄与は、水深実測値の提供、画像の提供などに限られており、論文提出者の寄与が十分に高い。

したがって、博士（環境学）の学位を授与できると認める。