

氏名(本籍)	楊	偉	(中 国)
学位の種類	博士(理学)		
学位記番号	博 甲 第 5720 号		
学位授与年月日	平成 23 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	生命環境科学研究科		
学位論文題目	Monitoring Water Quality in Turbid Inland Lakes by Remote Sensing: Algorithm Development and Validations (リモートセンシングによる高濁度湖沼での水質モニタリング：手法開発と検証)		
主査	筑波大学教授	工学博士	福島 武彦
副査	筑波大学教授	理学博士	渡邊 信
副査	筑波大学准教授	博士(地球環境科学)	松下 文経
副査	筑波大学准教授	博士(農学)	奈佐原 顕郎

論文の内容の要旨

生活排水や工業・農業排水の増加によって地球上の内陸水域では急速な富栄養化が進んでいる。したがって、水管理の視点からは水質のモニタリングが強く求められている。しかし、従来の調査方法は多くの時間と労力が必要となるだけでなく、調査水域に対して、限られている数地点、かつ異なる時間での観測しかできず、その時間的・空間的な分布変化の評価は困難である。それに対して、衛星リモートセンシング手法は自然水域における時空間変動が激しい水質パラメータを、定期的・広域的・かつ簡便にモニタリングできる可能性を秘めている。現在、外洋などの植物プランクトンが懸濁物の大半を占める水域においては、衛星データのみからクロロフィル a (以下 Chl-a と呼ぶ) 濃度を推定できるモデルが開発されている。しかしながら、植物プランクトン以外の懸濁物 (以下トリプトンと呼ぶ) や有色溶存有機物質 (以下 CDOM と呼ぶ) が混在している水域 (例えば高濁度湖沼) においては、未だ有用な Chl-a 濃度推定手法が提唱されていない。そこで、本研究の目的は、衛星データから高濁度湖沼の水質パラメータ、すなわち Chl-a 濃度、トリプトン濃度、波長 440nm における CDOM の吸収係数、を推定するための新しい手法を開発することとした。

まず、高濁度水域の反射スペクトルから Chl-a を高精度で推定するために、新たな 3 波長指数を提案した。新 3 波長指数の有効性について、アジアの 2 つの高濁度湖沼 (すなわち、日本の霞ヶ浦、中国の滇池) から収集したデータを用いて検証した。その結果、2 つの湖沼において、新 3 波長指数と Chl-a の間に強い相関がみられ ($R^2 > 0.83$)、Chl-a を高精度で推定することができた。従来の 3 波長指数の利用と比較した結果、霞ヶ浦の場合は、RMSE は 13.97 から 8.68 mg m⁻³ まで、相対誤差は 19.01 % から 12.30 % まで、滇池の場合、RMSE は 41.29 から 15.28 mg m⁻³ まで、相対誤差は 35.83 % から 21.34 % まで抑えることができた。以上の結果より、新 3 波長指数は高濁度湖沼にも適用可能であることを示唆している。

次に、高濁度水域における水中基本成分の濃度を同時推定する手法 (semi-analytical model optimizing and look-up table : 以下 SAMO-LUT と呼ぶ) を開発した。SAMO-LUT は Chl-a、トリプトン濃度、CDOM を推定するための 3 つの半理論半経験的な指数に基づいている。Look-up table (LUT) 法と繰り返し搜索戦略法は、

衛星データから計算した指数に最適な推定モデルを選択するために導入した。SAMO - LUT の有効性について、3種類のデータセット（シミュレーションデータ、現地調査データ、衛星データ）を用いて検証した。その結果、ノイズが含まれていないシミュレーションデータを用いた場合、SAMO - LUT ではほぼエラーなしの推定結果が得られ、この手法は優れたメカニズムを有するものと考えられた。現地調査データと衛星データを用いた場合でも、良い推定結果が得られ、相対誤差はそれぞれ 10%と 39%以下であった。

SAMO-LUT を対象水域へ適用する際に、対象水域の特定固有光学特性（Specific inherent optical properties：以下 SIOPs と呼ぶ）を事前に知る必要がある。しかし、SIOPs の測定を定期的に行う湖沼はまだほとんどないのが現状である。この問題を解決するために、新たな代替手法（relaxed matrix inversion method：以下 RMIM と呼ぶ）を提案した。RMIM はまず代理 SIOPs（vicarious SIOPs：以下 VSIOPs と呼ぶ）を 6 つ以上の水サンプルから従来の MIM（matrix inversion method）手法の逆応用によって求める。そして、SIOPs の代わりに VSIOPs を利用することによって、MIM 法によって対象水域全体の基本成分の濃度分布を求める。RMIM 手法に必要な入力パラメータはそれぞれの水サンプルからの分光反射率、Chl-a、トリプトン、CDOM 各濃度である。これらのデータは定期的な衛星観測とフィールド水採取、その分析から取得できる。RMIM の有効性について、2種類のデータセット（Hydrolight シミュレーションデータ、MERIS 衛星データ）を用いて検証した。その結果、相対誤差は 6.8%から 22.7%であった。

最後に、MERIS 衛星画像とランドサット TM 衛星画像の画像融合の手法を提案した。MERIS 衛星センサーは高い波長解像度（波長 412nm ~ 900 nm15 バンド）を持っているが、空間解像度が低い（約 300m）。それに対して、ランドサット TM 衛星センサーは高い空間解像度（30m）を持っているが、波長解像度が低い（波長 450nm ~ 900 nm4 バンド）。両センサーのデータを融合できれば、高波長解像度および高空間解像度のデータが得られ、湖沼の水質のモニタリングにはより有効であると考えられる。本研究では、synthetic variable ratio (SVR) 法を用いて MERIS とランドサット TM のデータの融合を行った。その結果、融合した画像は MERIS の波長解像度とランドサット TM の空間解像度を持つようになった。そして、融合した画像を用いた Chl-a の推定精度はもとの MERIS データあるいはランドサット TM データを用いた場合より高くなった。この結果は、データ融合の有効性を示している。

審査の結果の要旨

本研究は、衛星データから高濁度湖沼の水質を推定する方法を開発することを目的としたものである。実際の湖沼での情報の多寡に応じて、3波長の反射率からクロロフィル a 濃度を推定する方式、粒子の基本特性が既知な場合にクロロフィル a、トリプトン、CDOM 濃度を同時に推定する方式、粒子の基本特性がわからない場合にいくつかの測定時の水質測定結果を利用することからそれ以外の時点での水質 3 項目の濃度を推定する方式を提案し、それぞれが従来法と比べ精度が格段に高いことを示した。

以上、アジア地域に多い高濁度湖沼に対して、衛星データから精度高く水質濃度を推定できることは、今後の水環境管理において極めて有用である。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。