

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19404012

研究課題名 (和文) リモートセンシングによる東アジア湖沼・河川水質モニタリング手法の確立

研究課題名 (英文) Development of water quality monitoring system for East Asian lakes and rivers using remote sensing technique

研究代表者

福島 武彦 (FUKUSHIMA TAKEHIKO)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号：90124354

研究成果の概要(和文):中国の滇池とカンボジアのトンレサップ湖の数地点において、各季節、反射スペクトルを計測するとともに、水サンプルを採取し、植物プランクトン、トリプトン(無機粒子等)、溶存有機物の光吸収、散乱特性を明らかにした。また、こうした光学的特性を利用して、現地での反射スペクトルから植物プランクトン、トリプトン、溶存有機物濃度を推定するシステムを開発した。さらに、そのシステムをMODIS、MERISといった衛星画像に適用し、各水質濃度を推測し、現地データをうまく再現することを明らかにした。

研究成果の概要(英文): Reflectance spectra were measured at several points in Lake Dianchi in China and Lake Tonle Sap in Cambodia seasonally and light absorption and scattering properties were determined for each of phytoplankton, tripton and dissolved organic matter components in the sampled waters. Then, the system for estimating the concentrations of those three components was developed based on the reflectance spectra. Applying this system for the satellite images (e.g. MODIS, MERIS), the predicted concentrations of those components were in fair agreement with the analyzed ones.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
20年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
21年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
年度			
年度			
総計	13,000,000	3,900,000	16,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：リモートセンシング、湖沼水質、Case II、クロロフィル a、濁度

1. 研究開始当初の背景

植物プランクトン量は、水域における基

礎生産量の推定のみならず、水域や流域の開発活動、環境汚染、地球規模の気候変動

が水域環境に及ぼす影響を評価する上でも必須な情報となっている。自然水域における植物プランクトン量の変動解析を行う際に、植物プランクトン量の時間変動が激しく、また広域スケールで分布を求める必要がある場合には、リモートセンシング的なアプローチが有効となり、反射スペクトルの活用が期待されている。

しかし、湖沼、内湾など基礎生産量が高く、環境汚染の進んだ水域において、反射スペクトルを活用したリモートセンシングによって植物プランクトン量モニターを行い成功している例は少ない。この理由は、こうした水域には植物プランクトン以外に、無機濁質、溶存有機物が存在し、反射スペクトルに影響を及ぼし、植物プランクトン情報の抽出が難しいためである。このように植物プランクトン以外の粒子を大量に含む水域はCase II水域と呼ばれ、底泥の巻き上げが激しい湖沼、溶存有機物の流入が多い湖沼、内湾があてはまる。また、従来の衛星画像を用いた水質計測は回帰分析をベースにしたものであり、グラウンドトゥースを大量に取得することが必要であった。さらに、その回帰モデルは時間と場所により変化するという問題点も有していた。

2. 研究の目的

上記のような問題点を解決することとあわせて、リモートセンシングによる水質モニタリングが極めて有効となる東アジアの湖沼・河川への適用をあわせて目指す。なお、こうした水域を対象としたのは以下の理由からである。1) 東アジアの主要湖沼・河川は植物プランクトンだけでなく、無機濁質濃度も極めて高いことが特徴である。すなわち、Case II水域の特徴が日本の湖沼・河川と比べても明白に出ているので、本手法を適用する価値が高い。2) 日本の湖沼・河川と比べ水域の空間スケールが大きく、水・生物環境動態把握や水域管理のための水質モニタリングに際して、リモートセンシングの活用に対する期待が大きい。また、空間スケールが大きな水域では、空間分解能が低く、時間分解能が高い衛星データの活用が期待される。3) こうした湖

沼・河川は、水資源のみならず生態系サービスを提供する場所として価値が高く、地域の持続的発展に対して極めて重要な役割を演じている。すなわち、こうした水域の水質モニタリングは、地域の環境管理にあたって必須事項である。

なお、植物プランクトンの中にはアオコと呼ばれ、大量増殖することから水界生態系の安定性を壊し、悪臭、浄水過程障害を引き起こすとともに、人間、動物に対して毒性物質を生産する藍藻類が存在する。こうしたアオコ状態がどのような湖沼のどのような時期に発生しているかをモニタリングすることは、地域の水利用において極めて重要な情報となる。

3. 研究の方法

(1) 2007 年度

①中国湖沼、メコン川での水分析、ならびに調査体制の確立

a) 対象水域の決定

地域の水資源の中心であるものの、水質汚濁が進行中である中国の太湖（面積 2,250 km²）、滇池（面積300 km²）、カンボジアのトンレサップ湖（面積2,700 - 16,000 km²）を、その湖面積の広さやCase II 水域であることから調査対象湖沼に選定した。

b) 調査体制の確立と水域での調査

夏に中国科学院の水生生物研究所（武漢）、地理湖沼研究所（南京）を訪問し、本研究計画、太湖、滇池における調査計画を説明し、共同研究として行うことを合意した（2007年7月29日 - 8月2日：福島、渡邊、松下）。また、トンレサップ湖調査に関しては、金沢大学塚脇准教授の科研グループに様々な支援を頂くことを依頼した。10月に滇池（2007年10月22日 - 10月28日：松下、尾山）、1月にトンレサップ湖（2008年1月24日 - 1月28日：福島、松下、尾山、吉田）を訪れ、それぞれ数地点において湖水や河川水の反射スペクトル測定を行うとともに、採水し、植物プランクトン種の同定、クロロフィル a、フィコシアニン（藍藻類特有の色素）、無機濁質濃度の測定を行った。また、いくつかのサンプルをろ過し、ろ紙上の粒子サンプルを顕微鏡でデジタル撮影し、植物プランクトン

と無機濁質に分離し、それぞれの粒度分布を測定した。

②現場スケールでの end member 標準反射スペクトルの推測

霞ヶ浦、牛久沼等、日本国内の Case II 水域の懸濁物質を例として、a) 植物プランクトン、無機濁質の種類と粒度分布、b) 吸収、散乱、反射スペクトル特性を測定した。これらをもとに、植物プランクトンと無機濁質の基本情報を反射スペクトル予測モデルに代入し、各 end member の現場スケールでの標準反射スペクトルを予測した。

③対象水域の衛星画像の解析

時間分解能が高い Aqua/Terra MODIS を解析対象の衛星画像とした。まず、2005 年以降、対象水域において鮮明な衛星画像が撮影された日時をデータベース化した。また、鮮明な画像をダウンロードし、SDA 法を適用するデータベースとして整理した。

(2) 2008 年度

①中国湖沼、トンレサップ湖での調査

水質汚濁が進行中である中国の滇池、カンボジアのトンレサップ湖を、その湖面積の広さや Case II 水域であることから調査対象湖沼に選定した。滇池に対しては、2008 年 7 月 (7 月 14 日 - 17 日 : 福島, 松下, 吉田) と 2009 年 3 月 (3 月 11 日 - 3 月 14 日 : 松下, 楊) に、またトンレサップ湖に対しては、2008 年 5-6 月 (5 月 29 日 - 6 月 2 日 : 松下, 吉田) と 9 月 (9 月 5 日 - 8 日 : 福島, 松下, 吉田, 楊) に調査を実施した。それぞれの調査では、湖内数地点において湖水や河川水の反射スペクトル測定を行うとともに、採水し、植物プランクトン種の同定、クロロフィル a、無機濁質、溶存有機物濃度の測定を行った。また、いくつかのサンプルをろ過し、ろ紙上の粒子サンプルについて、吸収、散乱スペクトルの測定を行った。

②現場スケールでの end member 標準反射スペクトルの推測

霞ヶ浦の沿岸 1 地点で約 1 ヶ月ごとに、また 9 月に十数点で、反射スペクトルを測定するとともに、採水し、a) 植物プランクトン、無機濁質の種類と粒度分布、b) 植物プランクトン、無機濁質、溶存有機物の吸収、散乱

スペクトル特性を測定した。これらをもとに、植物プランクトン、無機濁質、溶存有機物の固有光学特性を明らかにし、特に植物プランクトンは藍藻が優占している時期とそれ以外の時期で固有光学特性が異なることがわかった。こうした基本情報を反射スペクトル予測モデルに代入し、各 end member の現場スケールでの標準反射スペクトルを予測した。

③解析手法の検討

時間分解能が高い MODIS、MERIS を解析対象の衛星画像とし、後者に関しては利用申請を行った。また、SDA 法を改良して精度を向上させた SSDA 法などを開発し、それらの手法が有効であることを様々な Case-II 水域の水質 (シミュレーションで作成) で確かめた。

(3) 2009 年度

①中国や南米湖沼での現地調査

2009 年 7 月に中国の滇池を対象にした調査を行った (7 月 26 日 - 7 月 30 日 : 松下, 楊)。各水域の代表地点で湖水・河川水の反射スペクトル測定を行うとともに、採水し、植物プランクトン種の同定、クロロフィル a、フィコシアニン (藍藻類特有の色素)、無機濁質濃度の測定を行った。また、植物プランクトン、無機濁質、溶存有機物に分けて、吸収、散乱スペクトルを測定し、(2) の end member 標準スペクトル推定に役立てることにした。また、チリとボリビア国境に位置するチチカカ湖 (8,562 km²) に対しても衛星画像を利用した水質解析が可能かどうか、を検討するため、水質現地調査の方法、データベースなどを明らかにする調査を実施し、大学ならびに水質測定機関関係者と情報交換を行い、データを取得した (8 月 27 日 - 9 月 8 日 : Terrel Meylin Mirtha)。

②現場スケールでの end member 標準反射スペクトルの推測と波長別照度鉛直分布の測定

霞ヶ浦と琵琶湖において、a) 植物プランクトン、無機濁質の種類と粒度分布、b) 吸収、散乱、反射スペクトル特性を測定した。これらをもとに、植物プランクトンと無機濁質の基本情報を反射スペクトル予測モデルに代入し、各 end member の現場スケールでの標準反射スペクトルを予測する手法を確立

した。また、4波長水中放射照度測定装置を霞ヶ浦湖心ステーションに設置し、連続観測を行うことから、波長別照度の時間的変化特性を明らかにし、また、霞ヶ浦と琵琶湖の様々な地点で波長別照度の鉛直分布を測定した。これらの情報をもとに、反射率情報が水質鉛直分布をどのように表現しているか、検討した。

③対象水域の衛星画像の解析

時間分解能が高い Terra/MODI, ENVISAT/MERIS を解析対象の衛星画像として、2000年以降、対象水域において鮮明な衛星画像が撮影された日時を明らかにした。また、その日の近くで植物プランクトンと無機濁質濃度が測定されている場合、それらをデータベース化した。次に、現地調査を行った湖沼で、水サンプルの植物プランクトンと無機濁質の種類と粒度分布から、それぞれの end member の標準反射スペクトルを推定した。これと衛星画像をもとに、SDA 法により、植物プランクトンと無機濁質の濃度分布を推定し、それらの実測値との比較を行った。また、各成分の光学特性をベースにして、植物プランクトン、無機濁質、溶存有機物濃度を繰り返し法で推定する方式を新規に開発し、そうした手法から推定される濃度分布と実測値の比較も行い、良く一致することを確認した。その過程で、大気補正の方法の検討、SDA 法を改良した手法の精度検証なども行い、衛星画像から水質モニタリングを行うシステムを構築した。

④国際会議、学会での発表

11月24日に日本、中国の関連研究者を集めて、手法の適用性を議論する国際会議を開催した。各研究発表の内容を本冊子後半部にまとめる。また、12月に開催された AGU (The American Geophysical Union) 年会 (12月14日 - 18日) でポスター発表を行った。

4. 研究成果

中国の滇池とカンボジアのトンレサップ湖を主な対象湖沼として、それらの数地点において、各季節、反射スペクトルを計測するとともに、水サンプルを採取し、植物プランクトン、トリプトン (無機粒子等)、溶存有機物の光吸収、散乱特性を明らかにした。この結果、各湖沼での基本粒子の光学特性を季節的に推測することが可能となった。また、こうした光学的特性を利用して、現地の反射スペクトルから植物プランクトン、トリプトン、

溶存有機物濃度を推定するシステムを開発した。さらに、そのシステムを MODIS, MERIS といった衛星画像に適用し、各水質濃度を推測し、現地データをうまく再現することを明らかにした。こうしたシステムを活用することにより、空間スケールの大きな湖沼を対象に、現地調査を最小限にして、時間分解能が高い水質モニタリングを安価に行う基礎が確立できた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- ① Y. Oyama, B. Matsushita, T. Fukushima, T. Nagai and A. Imai: Testing the spectral decomposition algorithm (SDA) for different phytoplankton species by a simulation based on tank experiments. *Int. J. Remote Sensing*, 31, 1605-1623, 2010. (査読有)
- ② B. Matsushita and T. Fukushima: Methods for retrieving hydrologically significant surface parameters from remote sensing: a review for applications to East Asia region. *Hydrological Processes*, 23, 524-533, 2009. (査読有)
- ③ Y. Oyama, B. Matsushita, T. Fukushima, K. Matsushige and A. Imai: Application of spectral decomposition algorithm for mapping water quality in a turbid lake (Lake Kasumigaura, Japan) from Landsat/TM data. *ISPRS J. Photogrammetry Remote Sensing*, 64, 73-85, 2009. (査読有)
- ④ B. Matsushita, W. Yang, J. Chen & T. Fukushima: Possibility of improving three-band model for different phytoplankton species in Case II water: evidences from three experiments. *J. Remote Sensing Soc. Japan*, 29, 653-664, 2009. (査読有)
- ⑤ Y. Oyama, B. Matsushita, T. Fukushima, T. Nagai and A. Imai: A new algorithm for estimating chlorophyll-a concentration from multispectral satellite data in Case II waters: -A simulation based on a controlled laboratory experiment-. *Int. J. Remote*

Sensing, 28, 1437-1453, 2007. (査読有)

[学会等発表] (計9件)

- ① B. Matsushita, W. Yang, J. Chen and T. Fukushima: Applicability of three-band model for estimating chlorophyll-a concentration in two Asian lakes (Lake Kasumigaura, Japan and Lake Dianchi, China). AGU2009, San Francisco, USA, 2009. 12. 18
- ② W. Yang, B. Matsushita, J. Chen and T. Fukushima: An improved three-band semi-analytical model based on MERIS channels for estimating chlorophyll-a in highly turbid waters. AGU2009, San Francisco, USA, 2009. 12. 18
- ③ 福島武彦: 霞ヶ浦の長期モニタリング研究 (国立環境研究所地球環境モニタリング)、「リモートセンシングを用いた湖沼水質と流域特性評価」, つくば, 2009. 11. 2
- ④ 福島武彦: 1世紀水倶楽部 2009年度 秋の研究集会, 「諏訪湖の実例と他の湖沼の比較」, 東京, 2009. 10. 20
- ⑤ 福島武彦: 全国湖沼環境保全対策推進協議会平成21年度湖沼環境保全セミナー特別講演, 「湖沼と流域の環境解析」, つくば, 2009. 7. 30
- ⑥ 福島武彦: JBONワークショップ, 「衛星画像による湖沼と流域評価」, 東京, 2009. 5. 9
- ⑦ 福島武彦: 十和田湖環境保全会議, 「湖沼水質保全に向けて」, 十和田, 2008. 2. 12
- ⑧ 福島武彦: 信州大学山岳科学総合研究所山地水環境教育研究センター第10回公開講演会・放送大学長野学習センター平成19年度公開講演会: 「霞ヶ浦と諏訪湖の流域、水質、底質を比較する」, 上諏訪, 2007. 10. 6
- ⑨ 福島武彦: いばらき水フォーラム講演: 「水と持続的につきあう」, 水戸, 2007. 7. 26

[図書] (計1件)

- ① 福島武彦・松下文経: 衛星画像による湖沼評価. 遺産, 63-6, 73-79, 2009.

[その他]

ホームページ等

<http://www.ies.life.tsukuba.ac.jp/~modeling>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福島 武彦 (FUKUSHIMA TAKEHIKO)
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号: 90124354

(2) 研究分担者

渡邊 信 (WATANABE MAKOTO)
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号: 10132870

松下 文経 (MATSUSHITA BUNKEI)
筑波大学・大学院生命環境科学研究科・准教授

研究者番号: 80361319