

令和元年5月17日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16182

研究課題名(和文)ハイパースペクトルデータを用いた沿岸域における植物プランクトン識別モデルの開発

研究課題名(英文) Algorithm development for the identification of Phytoplankton Functional Types (PFTs) with optical hyperspectral data in the coastal waters

研究代表者

伊佐田 智規 (ISADA, Tomonori)

北海道大学・北方生物圏フィールド科学センター・准教授

研究者番号：80725359

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：広範囲の波長帯を連続的に測定できるハイパースペクトル分光データから、海洋における4種類(珪藻類、藍藻類、緑藻類、および渦鞭毛藻類)の植物プランクトン機能タイプ(Phytoplankton Functional Types, PFTs)の優占を識別可能とするPFT識別モデルを開発した。特に、2階微分分光スペクトル解析は、それぞれのPFTの識別精度を向上させる有用な手法であることが本研究により明らかとなった。また、植物プランクトンの光吸収係数のハイパースペクトルデータは、生物光学地理区を分類する有用なパラメータになりうることも本研究によって示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植物プランクトンの光吸収係数のハイパースペクトルデータを用いることで、植物プランクトン色素濃度から計算される全体の植物プランクトン群集組成の推定精度が向上するだけでなく、衛星を含めたリモートセンシング技術からのPFTs高精度推定が可能となった。本研究によって開発されたモデルは、今後、海洋の生物地球化学的循環の更なる理解、および適切な沿岸管理システムへ向けた水産業分野へ大きく貢献できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We developed the algorithm for identification of Phytoplankton Functional Types (PFTs) with optical hyperspectral data of phytoplankton absorption to better understand marine biogeochemical cycles and to accelerate its implications for ocean color remote sensing applications. We selected four PFTs (diatoms, cyanobacteria, green algae, and dinoflagellates) as target PFTs. Our results indicate that an optical hyperspectral data with a derivative spectroscopy/similarity index (SI) method is a promising approach to identify the dominance of each PFT in the ocean. Additionally, we found that derivative spectra of phytoplankton absorption coefficients could be a useful indicator of bio-optical provinces.

研究分野：生物海洋学

キーワード：植物プランクトン 光吸収係数 ハイパースペクトル 沿岸域 植物プランクトン機能分類 リモートセンシング

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

海洋の植物プランクトンは、炭素循環を始めとする様々な生物地球化学的循環に関与している。しかしながら、その寄与は植物プランクトンの機能タイプ (Phytoplankton Functional Types, PFTs) によって大きく異なる。そのため、現在の海洋生態系の把握や、今後の気候変動を予測するためにも、PFT の分布や変動を正確に理解することは大変重要である。

海洋の植物プランクトンの濃度や PFT の変動を時空間的に調べる有用な方法として、衛星を含めた海色のリモートセンシング技術が使用されている (Nair et al., 2008)。これまでに打ち上げられてきた衛星には、可視域に 6 ~ 8 つの測定波長を持ったマルチスペクトル海色センサーが搭載されている。そのため、それらの波長を使った植物プランクトンの濃度および PFT 推定モデルが多く提唱されてきた (例えば、Hirata et al., 2011)。しかしながら、経験式で推定されていること、異なる植物プランクトンでも特定波長では同じ値が得られる場合があること、類似したモデルが繰り返し開発されること等が問題とされてきた。これらの問題を解決する方法の一つとして、近年、広範囲の波長帯を連続的に測定出来るハイパースペクトルセンサーやそのデータ解析手法の開発の必要性が高まってきている (IOCCG, 2014)。

このような背景のもと、ハイパースペクトルデータを用いた珪藻類識別モデルを開発してきたが (Isada et al., 2015)、生物地球化学的循環の更なる理解、およびリモートセンシング技術からの PFT 高精度推定には、珪藻類以外の PFT も識別可能とするモデル開発が必要不可欠である。

### 2. 研究の目的

本研究では、船舶による時系列観測から現場データを集積し、4 種類の PFT を識別可能とするハイパースペクトルデータを用いたマルチプル PFT 識別モデルを開発することを目指した。これまでは珪藻類のみ識別可能であったモデル (Isada et al., 2015) を、藍藻類 (シアノバクテリア)、緑藻類、および赤潮や貝毒の原因となる渦鞭毛藻類を識別可能なモデルへと発展させ、リモートセンシング技術からの PFT 高精度推定、海洋の生物地球化学的循環の更なる理解、および水産業分野に貢献することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) モデル開発に必要となる現場観測データの収集

初年度から最終年度まで継続して船舶による現場観測を実施して集積した。モデルの検証や高精度化には広いダイナミックレンジ (濃度レンジ) が必要不可欠であるため、厚岸湾の北海道沿岸域から小笠原諸島近海の亜熱帯域までの広い範囲で観測を行った。

#### (2) 参照ハイパースペクトルデータベースの構築

すでに取得していた珪藻類と渦鞭毛藻類の光吸収係数のハイパースペクトルデータに加えて、現場から単離された藍藻類 (シアノバクテリア) および緑藻類の培養株のハイパースペクトルデータも取得し、参照ハイパースペクトルデータベースの構築を進めた。厚岸沖や寒冷な沿岸域に出現する藍藻類 (シアノバクテリア) の一種である *Synechococcus* Clade I (CC9311)、緑藻類 1 種 (現在、遺伝解析中) を参照ハイパースペクトルデータベースに加えた。

#### (3) 解析手法

本研究で得られた現場観測データと先行研究で得られた現場観測データ (Isada et al., 2015) をもとに、ハイパースペクトルデータの 2 階微分分光スペクトル解析、および植物プランクトン色素を用いた群集構造解析 (CHEMTAX) を行い、両者の関係を調査した。

### 4. 研究成果

#### (1) ハイパースペクトルデータを用いたマルチプル PFT 識別モデルの開発

先行研究で得られた北海道沿岸域の現場観測データに今回新たに得られた現場観測データを組み合わせ、ハイパースペクトルデータの 2 階微分分光スペクトル解析を実施した。単離培養株のデータについても同様の解析を行い、さらに現場データとのスペクトルの類似度 (Similarity index, SI) を計算した。また、植物プランクトン色素濃度を用いた群集構造解析 (CHEMTAX) から得られる全体の植物プランクトン群集組成の解析を実施し、各植物プランクトン群集の組成 (%) と SI との相関関係を調査した (図 1)。その結果、微分分光分析を行わなかった場合 (図 1a, b, および c)、どの植物プランクトンでも SI と色素組成との間に有意な関係は得られなかったが、2 階微分を行った場合 (図 1d, e, および f)、SI と色素組成との間に有意な関係が得られたことから、これまで珪藻類のみ識別可能だったモデルを藍藻類および緑藻類の優占も識別可能なモデルへと拡張することができた。しかしながら、課題として、本研究で観測した海域で渦鞭毛藻類が優占することがなかった。PFT 識別モデルによる計算結果から、渦鞭毛藻類が優占であると間違った結果を導くことはなかったため、モデルが正しく機能していると考えられるが、渦鞭毛藻類が優占した水塊でのモデル推定の検証が今後必要不可欠である。

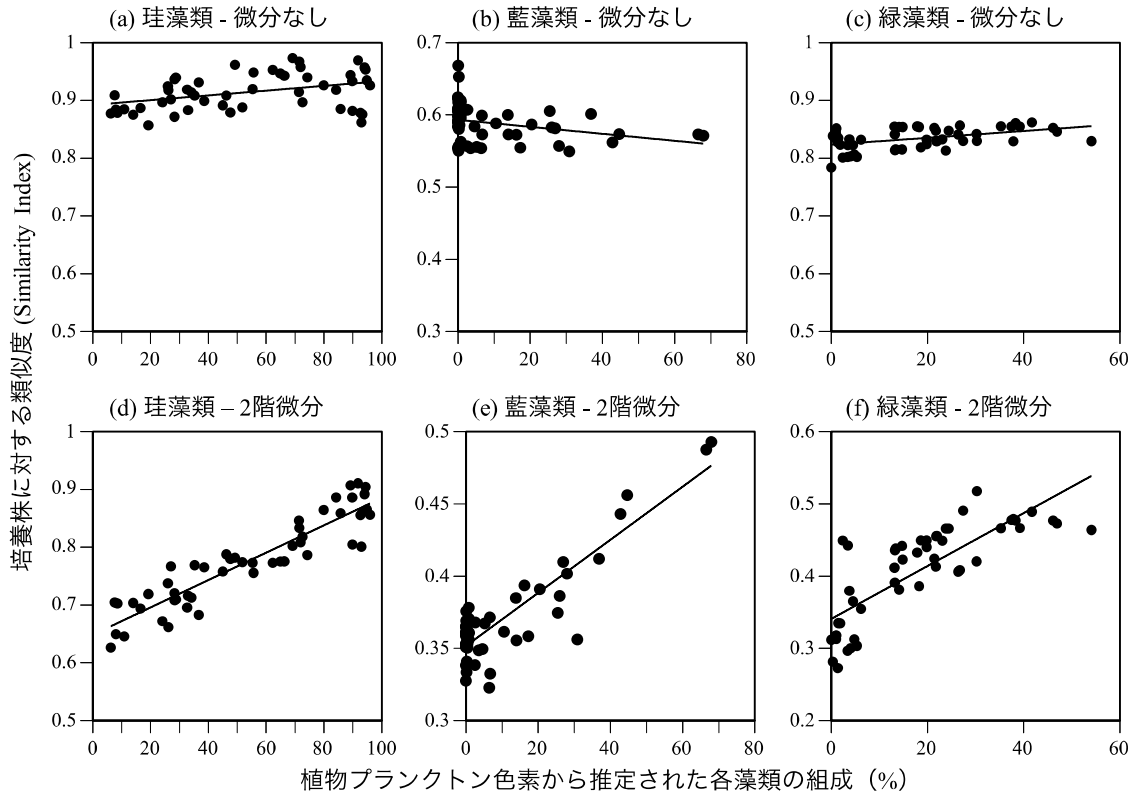


図1. 植物プランクトン色素濃度を用いた群集構造解析 (CHEMTAX) から推定された珪藻類, 藍藻類 (シアノバクテリア), 緑藻類の組成 (%) と, ハイパースペクトルデータから計算された類似度 (SI) の関係. (a,b,c) 2階微分分光解析なしの場合, および (d,e,f) 2階微分分光解析を実施した場合.

## (2) 植物プランクトンの光吸収スペクトルを用いた生物光学地理区の種類

本研究ではマルチプル PFT 識別モデルの開発だけでなく, ハイパースペクトルデータを用いた海洋光学地理区 (bio-optical province) の分類の解析もさらに実施した. 海洋地理区を区別することは, より正確な海色衛星プロダクトの推定に繋がり, さらには生物地球科学や気候モデルとのデータ同化, 生態系管理など, 様々な分野へ大きな役割を果たすことが知られている (例えば, Longhurst, 2007; Taylor et al., 2011; Krug et al., 2017). 特に本研究では, 植物プランクトンの光吸収係数のハイパースペクトルデータにもとづき, 生物光学的な観点から海洋地理区を分類する海洋光学地理区の試みを行った. 2017年10月17日から11月10日まで実施された白鳳丸 KH-17-5 次研究航海で得られた, 植物プランクトンの 443 nm で規格化した光吸収スペクトル ( $a_{ph}(\lambda)$ ) およびその 2階微分スペクトルの結果を図2に示す. 西部北太平洋の亜寒帯域から亜熱帯域における広範囲に渡る海域を調査したことから 様々な光吸収スペクトルが得られた. これら  $a_{ph}(\lambda)$  データを用いて, クラスタ解析を行い海洋光学地理区の種類を実施した. ここで, クラスタ解析に使用する  $a_{ph}(\lambda)$  データセットとして, 現場観測データだけでなく, 調査海域で単離された珪藻類およびシアノバクテリア (*Synechococcus* Clade I) の  $a_{ph}(\lambda)$  も, データセットの中を含め, 珪藻類およびシアノバクテリアとの類似度を計算することで, 海域の特徴付けを行った. その結果を図3に示す. 2階微分を行わなかった  $a_{ph}(\lambda)$  を用いた場合 (図3a), すべての観測点が珪藻類と高い類似度を示したが, 2階微分  $a_{ph}(\lambda)$  を用いたクラスタ解析では (図3b), 亜寒帯域の観測点 (CV1001-CV1014) は珪藻類と高い類似度を示し, 残りの亜熱帯域の観測点 (CV1018-CV1030) は, それらとは違うグループに分類され, さらにシアノバクテリア (*Synechococcus* Clade I) とも高い類似度を示した. 西部北太平洋では, 北側の亜寒帯域では珪藻類が, 南側の亜熱帯域ではシアノバクテリアが優占することが先行研究で知られている (例えば, Suzuki et al., 1997; Isada et al., 2009). そのため,  $a_{ph}(\lambda)$  の2階微分スペクトルを用いた生物光学地理区の種類は有用なパラメータになることが本研究によって示唆された. 今後, ハイパースペクトルデータだけでなく, 植物プランクトン色素データ, 顕微鏡データ, フローサイトメトリーによるデータも組み合わせることで, より正確な海洋光学地理区が可能になると考えられる.

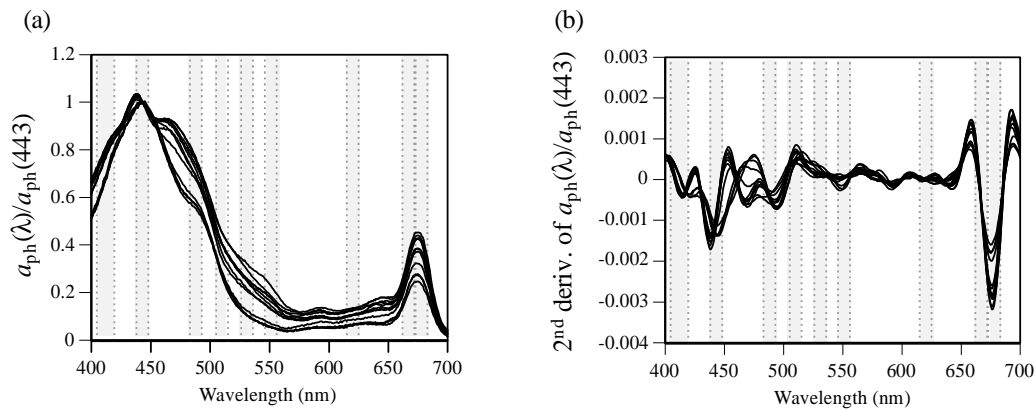


図 2 . 白鳳丸 KH-17-5 次研究航海における , (a) 443 nm で規格化された植物プランクトンの光吸収スペクトル , および (b) その 2 階微分スペクトルの結果 . 灰色の破線は , 海色衛星 (MODIS, SeaWiFS, MERIS, SGLI) が持つ観測波長帯を示す .

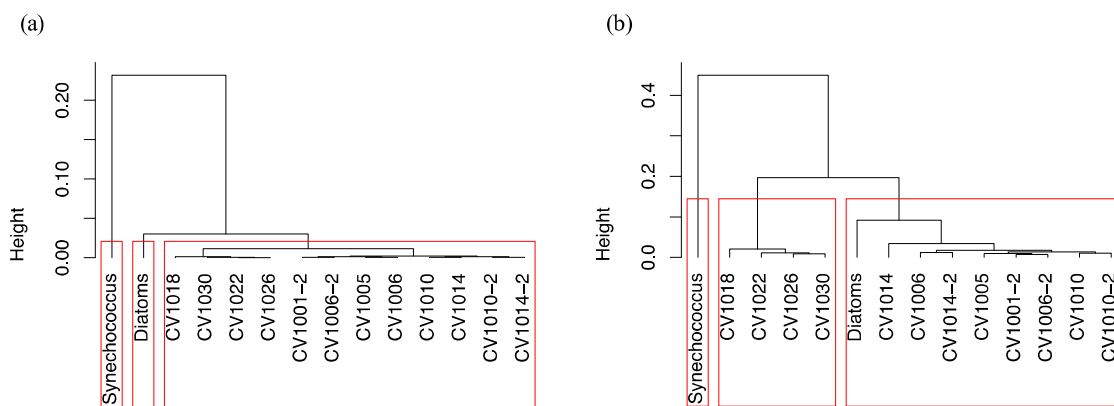


図 3. (a)  $a_{ph}(\lambda)/a_{ph}(443)$  データ (微分なし) および (b) 2 階微分  $a_{ph}(\lambda)/a_{ph}(443)$  データを用いたクラスターデンドログラムの結果 .

## 5 . 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計 3 件)

T. Isada, A Hattori-Saito, H. Saito, Y. Kondo, J. Nishioka, K. Kuma, H. Hattori, R. M. L. McKay, and K. Suzuki, Responses of phytoplankton assemblages to iron availability and mixing water masses during the spring bloom in the Oyashio region, NW Pacific, *Limnology and Oceanography*, 査読有, 64, 2019, 197–216

doi: 10.1002/lno.11031

K. Yoshida, H Endo, E. Lawrenz, T. Isada, S. B. Hooker, O. Prášil, and K. Suzuki, Community composition and photophysiology of phytoplankton assemblages in coastal Oyashio waters of the western North Pacific during early spring. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 査読有, 212, 2018, 80–94

<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.06.018>

T. Isada, T. Hirawake, S. Nakada, T. Kobayashi, K. Sasaki, Y. Tanaka, S. Watanabe, K. Suzuki, and S.-I. Saitoh, Influence of hydrography on the spatiotemporal variability of phytoplankton assemblages and primary productivity in Funka Bay and the Tsugaru Strait, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 査読有, 188, 2017, 199–216

<https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.02.019>

### 〔学会発表〕(計 5 件)

T. Isada, A. Hattori-Saito, H. Saito, Y. Kondo, J. Nishioka, K. Kuma, H. Hattori, R. M. L. McKay, and K. Suzuki, Responses of phytoplankton photophysiology to iron stress and mixing water masses during the spring bloom in the Oyashio region, NW Pacific. 2018 Ocean Science Meeting, 2018

伊佐田智規・齋藤(服部)愛・齋藤宏明・近藤能子・西岡純・久万健志・服部寛・R. Michael L. McKay・鈴木光次, 親潮域春季ブルームにおける水塊変化に伴う植物プランクトン群集組成および光合成生理特性の変化, 日本海洋学会海洋生物シンポジウム 2018, 2018

伊佐田智規, 海の植物プランクトンと鉄の関係, 第 2 回道東森里海連環シンポジウム, 基調講演, 2018

谷内由貴子・黒田寛・伊佐田智規・芳村毅・葛西広海，植物プランクトン群集組成をトレーサーとした秋の道東沿岸海域の水塊分布，2018年度水産海洋学会研究，2018  
伊佐田智規・平譚享・中田聡史・小林創・佐々木建一・田中義幸・渡邊修一・鈴木光次・齊藤誠一，噴火湾・津軽海峡東部における水塊交換に伴う植物プランクトン群集組成と基礎生産力の時空間変化，日本海洋学会生物海洋研究会第1回シンポジウム，2017

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.fsc.hokudai.ac.jp/akkeshi/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：谷内 由貴子

ローマ字氏名：(TANIUCHI, Yukiko)

研究協力者氏名：鈴木 光次

ローマ字氏名：(SUZUKI, Koji)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。