

「海洋生物多様性および生態系の保全・再生に資する基盤技術の創出」
平成 23 年度採択研究代表者

H24 年度 実績報告

山中康裕

国立大学法人 北海道大学 大学院地球環境科学研究所・教授

植物プランクトン群集の多様性に注目したナウキャスト技術開発

§1. 研究実施体制

(1) 「山中」グループ

① 研究代表者: 山中 康裕 (北海道大学大学院地球環境科学研究所、教授)

② 研究項目

- ・ 植物プランクトン群集の多様性を表現する次世代モデルの開発 [H23-28 年度]
- ・ ナウキャスト用のオペレーショナルモデルの開発 [H23-28 年度]
- ・ 衛星観測アルゴリズムの検証と改良 [H23-26 年度]
- ・ オペレーショナルモデルへのデータ同化を通じたナウキャストの基盤形成 [H25-28 年度]

(2) 鈴木グループ

① 主たる共同研究者: 鈴木 光次 (北海道大学大学院地球環境科学研究所、准教授)

② 研究項目

- ・ 連続自動海水ろ過システムの開発 [H24-26 年度]
- ・ 超高速液体クロマトグラフィーによる植物プランクトン色素分析法の開発と応用 [H23-28 年度]
- ・ 色素データに基づいた植物プランクトン群集組成の推定とその検証 [H25-28 年度]

§ 2. 研究実施内容

- 植物プランクトン群集の多様性を表現する次世代モデルの開発

西部太平洋域での数十グループの植物プランクトンを明示的に表現する多様性モデル(以下、多様性モデル)に関して、今年度は 2 種類のモデルを開発した。まず気象研究所による物理モデル MRI.COM で傾圧不安定を再現したモデルに北大で新たに開発した生物モデルを組み込んだ。物理モデルは黒潮を理想化した東西流を表現しており、初期値の密度成層によって駆動される。生物モデルは 3 種類の植物プランクトンと窒素を表現したシンプルなものであるが、亜熱帯種と亜寒帯種の棲み分けや、渦による輸送に関する知見が得られた。特に植物プランクトンの死亡項の設定が絶滅を大きく左右する結果が示された。

傾圧不安定モデルでは、季節変動が含まれていないのに加え、長期積分が不可能といった問題がある。このため本年度の後半では北太平洋の亜熱帯と亜寒帯を再現する理想的なモデルを構築した(double-gyre モデル)。計算領域は東西 30 度×南北 30 度(約 3,000 km)の領域とし、水平解像度は 0.1 度(約 10 km)とした。この物理モデルに 12 種類の植物プランクトンと窒素を表現出来る生物モデルを組み込んだ結果を図 1 に示す。12 種類の植物プランクトンは温度特性が異なるようパラメータが決定されているが、12 種類全てがモデル海域内で共存可能であることが示されている。このモデルの物理部分はほぼ完成しているが、生物部分に関してはまだ窒素循環が閉じていないなどの問題が残る。今後の開発では、植物プランクトンに対して、さらに光特性、栄養塩特性の違いを導入し、最終的には 100 種類程度の植物プランクトンの表現を目指す。

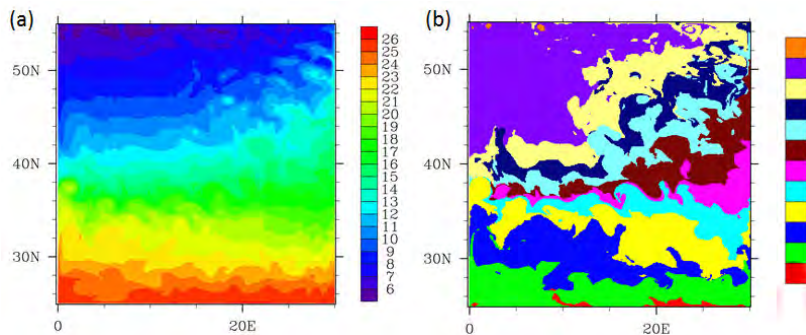


図 1: (a) 5 月の海面水温。(b) 各地点での支配的な植物プランクトン種(計算した 12 種類を色分けして表示)。赤色で示された種は 26 度、オレンジ色の種は 4 度で最も成長が早い。1 月 1 日に生物モデルの計算を開始してから 5 ヶ月後の結果。

- ナウキャスト用のオペレーショナルモデルの開発

物理場を同化したモデルを利用して生物場(植物プランクトン)を同化するナウキャスト用モデルの開発が最終目標であるが、今年度は開発のベースとなる物理・生物モデルを、北海道大学の大型計算機システムに導入し、計算範囲を全球として、水平解像度が 1 度×0.5 度および鉛直方向を 51 層とする、3 次元モデルの駆動を開始した。物理モデルは気象研で開発されている MRI.COM を用い、生物モデルは北海道大学で開発している MEM(現状では植物プランクトンは 2 種)であ

る。

- 衛星観測アルゴリズムの検証と改良 [山中グループ]

H25 年度より開始する「オペレーショナルモデルへのデータ同化を通じたナウキャストの基盤形成」に向け、NASA AQUA/MODIS の衛星海色データを用いて、現状版の植物プランクトン分類アルゴリズムを適用し、Daily, 8-Day, Monthly の3つの時間的データ合成スケールのデータに対して、8 つの植物プランクトンの全球データを作成し、生態系モデルと比較した(A-1)。また、これらの衛星データを用いて、植物プランクトングループ毎に空間自己相関を計算し、同化するべきデータ範囲の時空間変動を解析した(図2)。衛星アルゴリズムの検証作業として、鈴木グループによって提供された植物プランクトン群集データを利用し、西部太平洋を中心とした衛星観測アルゴリズムを検証した。結果、現状版の衛星アルゴリズムは、中・小サイズの植物プランクトンにおいて、衛星観測と現場観測結果の間で良い相関があるものの($r \sim 0.9$)、無視できないバイアスが見られ(30~40%)、西部太平洋域ではアルゴリズムの改良の必要性が示唆された。今後、鈴木グループより継続して提供される現場データを利用して、アルゴリズム内で利用するパラメータの改善を行い、衛星アルゴリズム精度を高めるとともに、同化用データの更新を行う予定である。

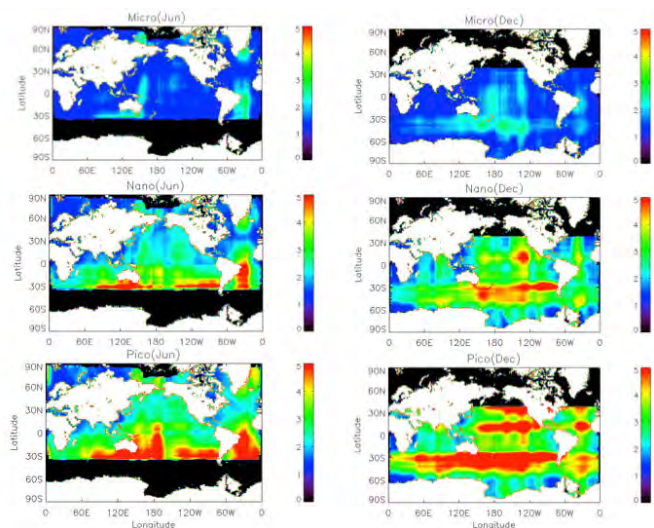


図 2: 月別気候値より計算された、大型(Micro、上段)、中型(Nano、中段)、小型(Pico、下段)植物プランクトンそれぞれの現存量に対し、比較的高い空間相関(自己相関係数、 $r > 0.5$)を示す水平格子点間距離を示した図(左列6月、右列12月)。同じ色分けされた格子点同士で高い相関があること示す図ではないことに注意(近傍の格子点間では例外あり)。

- 連続自動ろ過海水システムの開発

飲料用に共同開発した連続自動ろ過システムを耐塩性、耐震性に優れた装置に改良し、研究船船底からポンプで汲み上げられた表層海水を自動で連続的にろ過し、冷凍試料保存するシステムを検討し、仕様を策定した。平成 25 年度に装置の作成および試運転を実施する。

- 超高速液体クロマトグラフィーによる植物プランクトン色素分析法の開発と応用

超高速液体クロマトグラフ(UHPLC)を用いた植物プランクトン色素分析法の開発に取り組み、UHPLC に最適化した試料濃縮等の前処理法の開発、分析カラムの選択、UHPLC の溶離液組成、直線勾配溶離法、カラム温度、流速などの分析条件の検討を行った。これらについて、2013

年度日本海洋学会春季大会で発表を行った。今後、原著論文を作成し、国際誌に投稿する予定である。

- ・ 色素データに基づいた植物プランクトン群集組成の推定とその検証

白鳳丸 KH-11-10、陽光丸 YK-11-12、開洋丸 KY-12-01、淡青丸 KT-12-05 および KT-12-31、白鳳丸 KH-12-3 次研究航海で採取した北太平洋試料およびみらい MR-12-E03 次研究航海で採取した北極海試料について、植物色素分析を行い、山中グループにこれら色素データを提供した。また、植物色素データの検証のため、明視野および走査型電子顕微鏡による植物プランクトン細胞の検鏡を実施した。これら成果の一部は 2013 年度日本海洋学会春季大会で発表を行った。さらに、過去の南大洋の植物色素データを解析し、海色衛星リモートセンシングデータと比較を行った(B-1)。北太平洋亜寒帯域における植物プランクトン群集構造に対する鉄もしくは CO₂ の効果を評価した(B-2、B-3)。全球の植物プランクトン色素のデータベースに貢献し、原著論文を公表した(B-4)。アムール川がオホーツク海の植物プランクトン群集に及ぼす影響を評価した(B-5)。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

● 論文詳細情報

- A-1. C. S. Rousseaux, T. Hirata, W. Gregg (2013) Satellite view of global phytoplankton community distribution using an empirical algorithm and model, *Biogeosciences Discuss.*, 10, 1083-1109.
- B-1. Takao, S., T. Hirawake, S. W. Wright, and K. Suzuki (2012) Variations of net primary productivity and phytoplankton community composition in the Southern Ocean as estimated from ocean-color remote sensing data. *Biogeosciences*, 9, 3875-3890 (doi:10.5194/bg-9-3875-2012).
- B-2. Endo, H., T. Yoshimura, T. Kataoka, and K. Suzuki (2013) Effects of CO₂ and iron availability on phytoplankton and eubacterial community compositions in the northwest subarctic Pacific. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 439, 160-175. (doi: 10.1016/j.jembe.2012.11.003).
- B-3. Kondo, Y., S. Takeda, J. Nishioka, M. Sato, H. Saito, K. Suzuki, and K. Furuya (2013) Growth simulation and inhibition of natural phytoplankton community by organic ligands in the western subarctic Pacific. *J. Oceanogr.*, 69, 97-115. (doi: 10.1007/s10872-012-0160-6).
- B-4. Peloquin, J., C. Swan, N. Gruber, M. Vogt, H. Claustre, J. Ras, J. Uitz, R. Barlow, M. Behrenfeld, R. Bidigare, H. Dierssen, G. Ditullio, E. Fernandez, C. Gallienne, S. Gibb, R. Goericke, L. Harding, E. Head, P. Holligan, S. Hooker, D. Karl, M. Landry, R. Letelier, C. A. Llewellyn, M. Lomas, M. Lucas, A. Mannino, J.-C. Marty, B. G. Mitchell, F. Muller-Karger, N. Nelson, C. O'Brien, B. Prezelin, D. Repeta, W. O. Smith Jr., D. Smythe-Wright, R. Stumpf, A. Subramaniam, K. Suzuki, C. Trees, M. Vernet, N. Wasmund, and S. Wright (2013) The MAREDAT global database of high performance liquid chromatography marine pigment measurements. *Earth Syst. Sci. Data*, 5, 109-123 (doi: 10.5194/essd-5-109-2013).
- B-5. Isada, T., T. Iida, H. Liu, S.-I. Saitoh, J. Nishioka, T. Nakatsuka, and K. Suzuki (in press) Influence of Amur River discharge on phytoplankton photophysiology in the Sea of Okhotsk during late summer. *J. Geophys. Res. - Oceans.* (doi: 10.1002/jgrc.20159).