

山中 康裕

北海道大学大学院 地球環境科学研究所・准教授

海洋生態系将来予測のための海洋環境シミュレーション研究

§ 1. 研究実施の概要

地球温暖化による海洋生態系の応答、水産資源への影響を調べるために、中規模渦を表現できる高解像度海洋生態系・水産資源統合モデルを開発する。他の国内研究計画と協力して個別に開発されてきたモデルを統合し、国際研究協力を行いながら、将来予測の技術確立する。本年度は、水平解像度 $1/4 \times 1/6$ 度の海洋生態系モデル西部北太平洋領域版による“中規模渦を表現した海洋生態系モデルによる温暖化実験”を論文として世界に先駆けて公表した。また、これまでの研究成果に基づいた全球領域版の改良を行い、栄養塩や生物量に関する全球分布の再現を大幅に改善した。今後、このモデルを用いて、生態系変動再現実験や将来予測実験を実施する予定である。

§ 2. 研究実施体制

(1)「山中」グループ

① 研究分担グループ長：山中 康裕(北海道大学大学院、准教授)

② 研究項目

[1] 海洋-水産科学統合モデルに向けた基礎技術の整備

[1-1] オフライン手法の技術開発

[1-2] 個別モデルの改良

[2] 海洋-水産科学統合モデルの開発

[3] 海洋生態系変動再現・将来予測実験

(主として全球領域版による海洋生態系変動再現実験)

(2)「石田」グループ

① 研究分担グループ長: 石田 明生 ((独)海洋研究開発機構、主任研究員)

② 研究項目

[1] 海洋-水産科学統合モデルに向けた基礎技術の整備

[1-1] オフライン手法の技術開発

[1-2] 個別モデルの改良

[2] 海洋-水産科学統合モデルの開発

[3] 海洋生態系変動再現・将来予測実験

(主として西部北太平洋領域版による将来予測実験)

§ 3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

海洋生態系と海洋物質循環を結合させた海洋物質循環-生態系モデル開発の全体計画は以下の3つの項目からなる。

[1] 海洋-水産科学統合モデル開発の基礎技術の整備

[2] 海洋-水産科学統合モデルの開発

[3] 海洋生態系変動再現・将来予測シミュレーションの実施

当該年度は研究計画の第 4 年度であり、これまで開発したオフライン手法の技術開発を用いた全球領域版 COCO-NEMURO、を用いた[3]海洋生態系変動再現実験や将来予測実験を行った。引き続き、[1]海洋-水産科学統合モデルに向けた基礎技術の整備、個別モデルの改良、[2]海洋-水産科学統合モデルの開発を行った。水平解像度 1/4x1/6 度の西部北太平洋領域版 COCO-NEMURO を用いた将来予測実験について解析し、論文を公表した。

なお、COCO は海洋大循環モデル(CCSR Ocean Component Model, 東京大学気候システム研究センター開発)、NEMURO、および、eNEMURO は、海洋生態系モデル(North pacific Ecosystem Model for Understanding Regional Oceanography, extended NEMURO)の略称である。また、OFES は海洋大循環モデル(OGCM for the Earth Simulator, (独)海洋研究開発機構地球シミュレータセンター開発)、NEMURO.FISH は小型浮魚類モデル(NEMURO For Including Saury and Herring)、PlankTOM5 は海洋生態系モデル(イギリス・East Anglia 大学開発)、NPZD は海洋生態系モデル(Nutrient- Phytoplankton-Zooplankton-Detritus)の略称である。

[1] 海洋-水産科学統合モデル開発の基礎技術の整備

[1-1] オフライン手法の技術開発(H18 から開始)

技術開発は、H20 年度末で終了した。全球領域版 COCO-NEMURO の約 50 年間の経年変動実験に必要となる物理データに関して、1 日間隔で与えると、巨大なデータストレージや読み込み

時間が掛かってしまう。それを回避するために、与える頻度と生態系の再現性に関するケース・スタディーを行った(1 日～30 日)。データ量と精度はトレードオフの関係にあるが、全球領域版の長時間積分においては、5 日間隔で物理データを与えることとした。この結果は、橋岡(石田グループ)によって、論文に執筆中である。

[1-2] 個別モデルの改良(H18 から開始)

Smith(石田グループ)・吉江(山中グループ)・山中によって、鉄循環を考慮した際に、開発された動的最適化栄養塩取り込みの定式化が、経験的に広く用いられてきたミカエリス・メンテン型と比較して、栄養塩取り込み過程が改善されることを論文として公表した³⁾。重光(山中グループ)は、沈降粒子過程および物質循環過程の高度化を行い、一部を論文として公表した²⁾。

本年度より参画した照井(山中グループ)は動物プランクトンの一つである、(プランクトンと小型浮き魚類との食物関係で中心的役割を果たす)カイアシ類のモデルを北海道大学岸教授のもとで開発した経験を活かし、各段階における鉛直移動や休眠状態を考慮したプロセスを NEMURO に組み込み、その研究成果を論文執筆中である。

[2] 海洋-水産科学統合モデルの開発(H19 年度から開始)

昨年度実施した、1回目の海洋生態系変動再現実験によって、南大洋の生物量の過大評価および栄養塩の枯渇などの問題点が明らかになった。橋岡・相田(石田グループ)、および、重光は、須股(山中グループ)・柴野(山中グループ)の協力のもと、鉄循環過程の導入や、個別モデルの改良を受けて、最適化動的栄養塩取り込み過程、および、高度化された沈降粒子過程を組み込んだ、新しい全球領域版 COCO-NEMURO ((仮)COCO-nNEMURO)を開発した。この結果、栄養塩の全球分布およびプランクトン生物量は、大幅に改善し、観測された分布をかなり再現できるようになった(図 1)。これらの作業を優先させたために、COCO-PlankTOM5 による実証試験は次年度以降に検討することになった。笹井(石田グループ)・石田は OFES による NPZD モデルで黒潮続流域の渦に伴うクロロフィル変動について論文を発表した¹⁾。また、奥西(山中グループ)によって、海洋生態系モデル COCO-NEMURO とマイワシ回遊モデルを結合した西部北太平洋領域モデルのソースコードが開発された。また、志藤(山中グループ)は、小型浮魚類(サンマ)のモデリングの際に必要な遊泳速度を調べ、その温度依存性に関する査読付き論文として投稿中である。

吉川(山中グループ)や吉江は、個別モデルを開発した経験に基づき、沈降粒子過程やプランクトングループに関する適切なアドバイスをを行った。

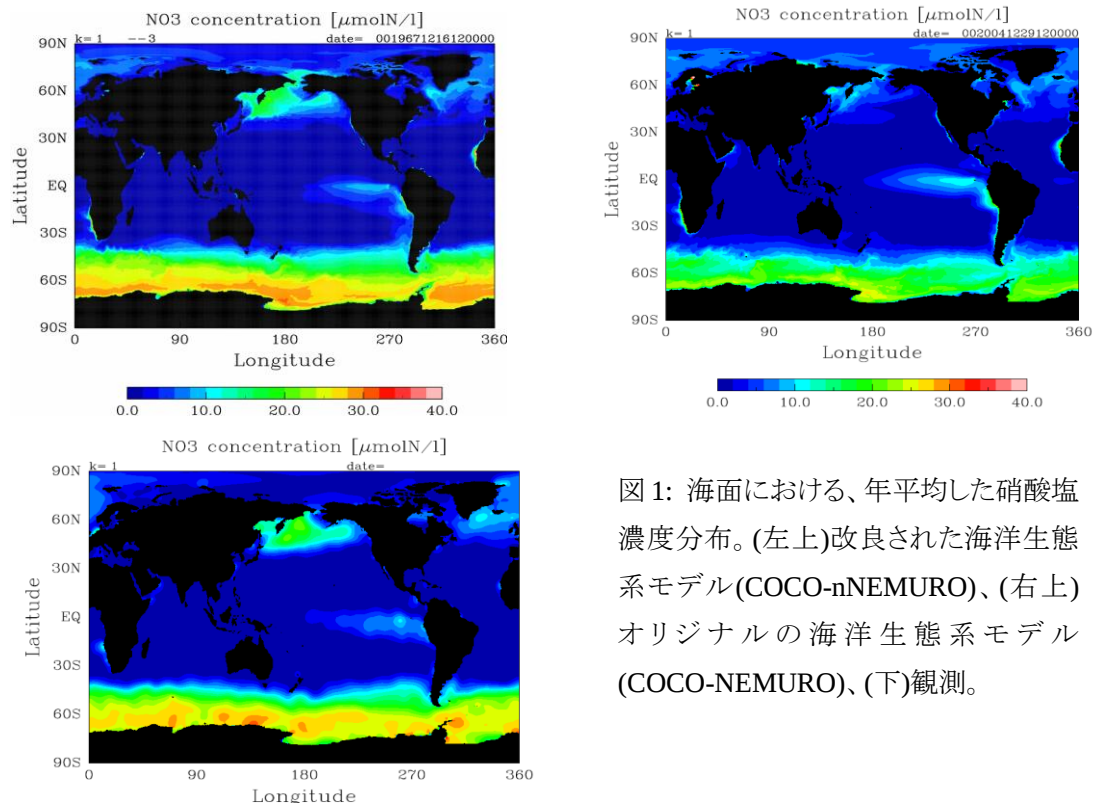


図1: 海面における、年平均した硝酸塩濃度分布。(左上)改良された海洋生態系モデル(COCO-nNEMURO)、(右上)オリジナルの海洋生態系モデル(COCO-NEMURO)、(下)観測。

[3] 海洋生態系変動再現・将来予測シミュレーションの実施(H20 年度から開始)

昨年実施した西部北太平洋領域版 COCO-NEMURO を用いた将来予測実験について解析し、中規模渦を表現した高解像度海洋生態系モデルによる温暖化実験に関して、世界で初めての論文として公表した⁴⁾。温暖化に伴って、植物プランクトンの春期ブルーム(春先の大増殖)のタイミングが経年変動および中規模渦による変動よりも有意に 10~20 日程度早期化することを示した。また橋岡は、COCO-NEMURO による低次生態系の温暖化応答予測を基に、NEMURO.FISH イカ版を用いて日本海のスルメイカへの温暖化の影響を示した⁵⁾。

開発された COCO-nNEMURO 全球版は、平田(山中グループ)・山本(山中グループ)・須貝(山中グループ)により、須股のもと、データ管理や解析手法を開発しながら、現時点でのパフォーマンスを調べている。須股・山中は、昨年実施した第1回目の海洋生態系変動再現実験の結果を利用して、中規模渦による栄養塩輸送を解析し、栄養塩においては、中規模渦による水平輸送が気候場による輸送と同程度であることを示した。この研究成果は、論文として投稿済みである。岡田(山中グループ)・藤井(山中グループ)・屋良(山中グループ)・池田(山中グループ)は、須貝・干場(山中グループ)による将来予測実験に必要な物理データの整備に対して、アドバイスをを行った。

また、石田・山中は、高解像度海洋生態系モデルとの比較のために行った 1×1 度の海洋生態系モデルによる海洋生態系変動再現実験の結果を提供し、複数のモデルによる海洋炭素循環に関する研究に貢献した⁶⁾。

§ 4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

1. Sasai, Y., K. J. Richards, A. Ishida, and H. Sasaki: Effects of mesoscale eddies on the marine ecosystem in the Kuroshio Extension region using an eddy-resolving coupled physical-biological model. *Ocean Dynamics*, doi:10.1007/s10236-010-0264-8, (in press)
2. M. Shigemitsu, Y. Yamanaka, Y. W. Watanabe, N. Maeda, S. Noriki: Seasonal characteristics of the nitrogen isotope biogeochemistry of settling particles in the western subarctic Pacific: a model study. *Earth and Planet. Science Letters*, doi:10.1016/j.epsl.2010.01.043 (in press).
3. Smith, S. L., N. Yoshie, Y. Yamanaka: Physiological acclimation by phytoplankton explains observed changes in Si and N uptake rates during the SERIES iron-enrichment experiment. *Deep Sea Research I*, 57, 394-408, doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.09.016, 2010.
4. Hashioka, T., T. T. Sakamoto, Y. Yamanaka: Potential impact of global warming on spring bloom projected by an eddy-permitting 3-D ecosystem model. *Geophysical Research Letter*, **36**, L20604, doi:10.1029/2009GL038912, 2009.
5. M. J. Kishi, K. Nakajima, M. Fujii and T. Hashioka: Environmental factors which affect growth of Japanese Common Squid, *Todarodes pacificus*, analyzed by a bioenergetics model coupled with a lower trophic ecosystem model. *Journal of Marine Systems*, **78**, 278-287, doi:10.1016/j.jmarsys.2009.02.012, 2009.
6. Rodgers, K.B., R.M. Key, A. Gnanadesikan, J.L. Sarmiento, O. Aumont, L. Bopp, S.C. Doney, J.P. Dunne, D.M. Glover, A. Ishida, M. Ishii, A.R. Jacobson, C. Lo Monaco, E. Maier-Reimer, N. Metzl, F. F. Perez, A.F. Rios, R. Wanninkhof, P. Wetzel, C.D. Winn, Y. Yamanaka: Altimetry helps to explain patchy changes in hydrographic carbon measurements. *Journal of Geophysical Research - Oceans*, **114**, C09013, doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.09.016, 2009.