

山中 康裕

北海道大学大学院地球環境科学研究院・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、将来予測の技術を確立する。本年度は、水平解像度  $1/4 \times 1/6$  度の海洋生態系モデル全球領域版の改良に基づいた生態系変動再現実験を実施し、再現性の向上を確認し、将来予測実験の準備を行った。また、開発したモデルを評価するために、衛星データを用いたプランクトン機能別グループの分布を明らかにした。

### § 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(北海道大学大学院地球環境科学研究院、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(海洋研究開発機構 地球環境変動領域 物質循環研究)

プログラム、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(山中グループへの協力)
- [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5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-MEM を用いた[3]第2回目の海洋生態系変動再現実験を行った。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 度の全球領域版 COCO-NEMURO を用いた第1回目の海洋生態系変動再現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(現 東京大学大気海洋研究所)開発)、NEMURO は海洋生態系モデル(North pacific Ecosystem Model for Understanding Regional Oceanography)、MEM は昨年度開発した海洋生態系モデル(Marine Ecosystem Model coupled with Optimal Uptake kinetics)の略称である。また、NEMURO.FISH は小型浮魚類モデル(NEMURO For Including Saury and Herring)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)

COCO-NEMURO に関しては開発したオフライン手法の改良は行う必要はなかった。他の項目の実施を優先したために、橋岡(石田グループ)による論文化を実施しなかった。

- [1-2] 個別モデルの改良(H18 から開始)

昨年度までに引き続き、個別モデルの本質的に重要となるプロセスに注目し、そのプロセスの改良を行い、より高度な統合モデルの開発を目指した。

Smith(石田グループ)は、昨年度までに開発された動的最適化栄養塩取り込みの定式化から、栄養塩取り込み速度の温度依存性が、従来の考えられていた値( $Q_{10}=2$  程度, 水温  $10^{\circ}\text{C}$  上昇にと  
もない取り込み速度が 2 倍になる)から大きな値( $Q_{10}=3$  程度)を示す論文を公表した<sup>5)</sup>。この結果を  
統合モデルに導入するかは検討中である。重光(山中グループ)による沈降粒子過程および物質  
循環過程の高度化に関する研究は、昨年受理された論文<sup>7)</sup>が印刷されたのに引き続き、新たにも  
う1つ論文を公表した<sup>3)</sup>。この結果は、統合モデルの沈降粒子過程に組み込まれた。また、橋岡は、  
NEMURO のパラメータチューニングに関する研究に参画した成果を発表した<sup>6)</sup>。

## [2] 海洋-水産科学統合モデルの開発(H19 年度から開始)

重光は、昨年度、高度化された全球領域版 COCO-MEM の鉄循環過程に注目して、柴野(山中  
グループ)の協力のもと、論文執筆中である。橋岡・相田および重光は、須股(山中グループ)ととも  
に、鉄循環過程の導入や、個別モデルの改良を受けて、動的最適化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-MEM のパフォーマン  
ス・テストを実施し、様々な不具合(赤道域の海洋表層の栄養塩濃度のドリフト)を抑えるための各種  
パラメータのチューニングを行った。

奥西(山中グループ)によって、春から夏にかけての回遊進路決定に関するマイワシ回遊モデル  
の改良が行われた。従来用いていた成長速度が最適な方向に向けて遊泳するアルゴリズムではな  
く、1つ前の時間ステップに比べて成長速度が悪い場合に遊泳方向をランダムに決めるアルゴリズム  
(Kinesis)に変更した。そのことにより、観測分布の再現性が従来用いていたものより向上した。こ  
の成果は論文として投稿された。また、Smith が貢献した統合モデルの利用法に関する研究が公  
表された<sup>5)</sup>。吉川(山中グループ)・吉江(山中グループ)・屋良(山中グループ)・藤井(山中グループ)  
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などに関する適  
切なアドバイスをを行った。

## [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)

平田(山中グループ)は、須股と協力して、須貝(山中グループ)・干場(山中グループ)の補助を得  
て、昨年度に引き続き、第2回目(本実験)の 1958 年から 2004 年までの海洋生態系変動再現実験  
を行い、COCO-NEMURO と COCO-MEM との相互比較を実施した(文部科学省「21 世紀気候変  
動予測革新プログラム」と共同実施)。個別プロセスの改良により、北太平洋亜寒帯域 HNLC (High  
Nutrient Low Chlorophyll-a) 海域において栄養塩やクロロフィル a に関する観測された気候値の分  
布の再現性が向上したことで、経年変動についても改善が認められた(図 1)。従来の NEMURO で  
計算された栄養塩濃度が観測より低く、成層化が栄養塩環境の悪化を招き、クロロフィル濃度が上  
昇しなかったが、成層化によってクロロフィル濃度が上昇するようになった。また、平田は、モデル  
の評価として、衛星データから、プランクトンの機能別グループの分布を再現する試みを行い、成  
果を発表した<sup>1)</sup>。

また、奥西は、橋岡が行った西部北太平洋領域海洋生態系モデルの結果を利用して、小型浮

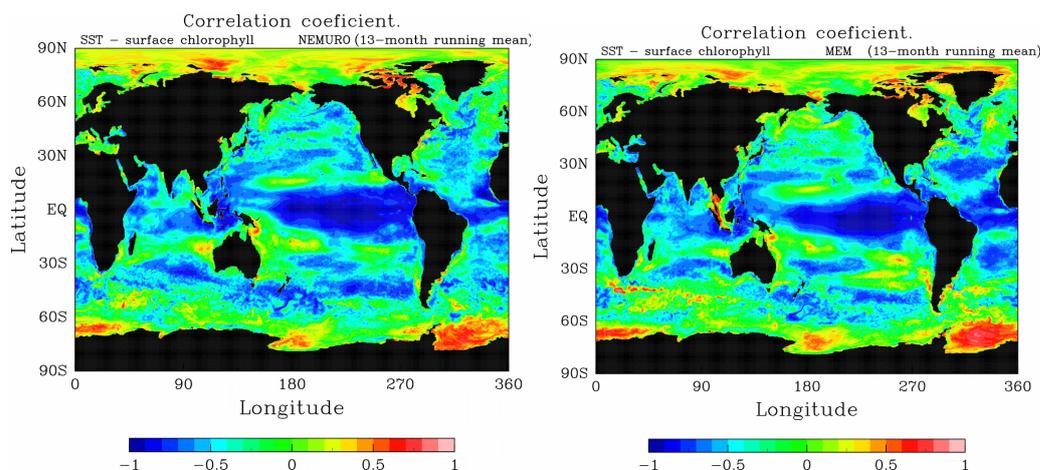


図1: 経年変動における海面水温とクロロフィル a 濃度の相関係数。正の相関は、海面水温上昇とクロロフィル a 濃度が共に上昇することを意味する。(左)従来の NEMURO、(右)MEM の結果。

魚類回遊モデルによる温暖化の影響についても解析中であり、増田(山中グループ)は、橋岡と協力して、将来予測実験に使用するために、文部科学省「21 世紀気候変動予測革新プログラム」(21 世紀革新)で得られた物理データを整備した。須股が昨年度投稿した、中規模渦による栄養塩輸送を解析に関する論文が公表された<sup>2)</sup>。また、橋岡は、西部北太平洋領域海洋生態系モデルによる将来予測の結果は、国際的な2つのシンポジウム・学会で、若手優秀賞を受賞し注目された。

## §4. 成果発表等

### (4-1) 原著論文発表

#### ●論文詳細情報

1. T. Hirata, N. Hardman-Mountford, R. Brewin, J. Aiken, R. Barlow, K. Suzuki, T. Isada, E. Howell, T. Hashioka, M. Noguchi-Aita, Y. Yamanka: Synoptic relationships quantified between surface Chlorophyll-a and diagnostic pigments specific to phytoplankton functional types. *Biogeosciences*, vol. 8, pp. 311-327, 2011. (doi:10.1016/j.jmarsys.2006.03.013)
2. H. Sumata, T. Hashioka, T. Suzuki, N. Yoshie, T. Okunishi, M. N. Aita, T. T. Sakamoto, A. Ishida, N. Okada and Y. Ymanaka: Effect of eddy transport on the nutrient supply into the euphotic zone simulated in an eddy-permitting ocean ecosystem model. *Journal of Marine Systems*, vol. 83, pp. 67-87, 2010. (doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.09.016)
3. M. Shigemitsu, Y. W. Watanabe, Y. Yamanaka, M. C. Honda, H. Kwakami: A model

for the relationship between sinking organic matter and minerals in the shallow zone of the western subarctic Pacific. *Journal of Oceanography*, vol. 66, pp. 697-708, 2010.

4. K. A. Rose, J. I. Allen, Y. Artioli, M. Barange, J. Blackford, F. Carlotti, R. Cropp, U. Daewel, K. Edwards, K. Flynn, S. L. Hill, R. HilleRisLambers, G. Huse, S. Mackinson, B. Megrey, A. Moll, R. Rivkin, B. Salihoglu, C. Schrum, L. Shannon, Y.-J. Shinne, S. L. Smith, C. Smith, C. Solidoro, M. St. John, M. Zhou: End-To-End Models for the Analysis of Marine Ecosystems: Challenges, Issues, and Next Steps. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, vol. 2, pp. 115-130, 2010. (doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.09.016)
5. S. L. Smith: Untangling the Uncertainties About Combined Effects of Temperature and Concentration on Nutrient Uptake Rates in the Ocean. *Geophysical Research Letters*, vol. 37, L11603, 2010. (doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.09.016)
6. S. Ito, N. Yoshie, T. Okunishi, T. Ono, Y. Okazak, A. Kuwata, T. Hashioka, K. A. Rose, B. A. Megrey, M. J. Kishi, M. Nakamachi, Y. Shimizu, S. Kakehi, H. Saito, K. Takahashi, K. Tadokoro, A. Kusaka, H. Kasa: Application of an automated approach for calibrating the NEMURO nutrient-phytoplankton-zooplankton food web model in the Oyashio region. *Progress in Oceanography*, vol. 87, pp. 186-200, 2010. (doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.09.016)
7. 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 Planet. Science Letters.*, vol. 293, pp. 180-190, 2010. (doi:10.1016/j.ecolmodel.2006.09.016)