

# 「気候帯毎に異なる複雑な海洋生態系を再現する生態系モデルの開発・応用」

COE 研究員:吉江 直樹

担当教官:山中 康裕

## はじめに

我々の研究グループは、モデリングという手法を用いて「気候変動の影響評価」や「社会的対策」につながる研究を目指している。21 世紀 COE で行われている観測と直接的に比較できるような領域モデル(日本近海を表現する高解像度の 3D 海洋物質循環モデル)を開発・応用し研究を進めている。筆者は、その領域モデル中で重要な位置を占める生態系モデルの開発・改良を行っている。現場観測や室内実験も行うことにより、文献値のほとんど無い生理的パラメータを補いながらモデリングを進めている。

## 研究の目的

植物プランクトンによる基礎生産量や植物プランクトン・動物プランクトンからなる海洋低次生態系の構造は、アカデミックには海洋の物質循環、社会的には魚類生産量と密接に関連している。地球温暖化をはじめとする気候変動が日本周辺海域の低次生態系に及ぼす影響については未だ解明されていないが、近年観測されている冬季の風の弱まりや親潮域の低塩分化は、海洋表層の成層構造を変化させ、それに伴い水温・光・栄養条件等の環境要因が変化をもたらし、プランクトンの生産力や組成に影響する可能性がある。これら環境要因の変動が日本周辺海域の低次生態系に及ぼす影響を定量的に評価できる生態系モデルを開発し、気候変動が物質循環や漁業資源量に及ぼす影響の予測を目指す。

## 研究の方法

日本周辺は、北は亜寒帯、南は亜熱帯と気候帯が異なり物理的・化学的・生物的性質の大きく異なる海域に囲まれている。これら性質の大きく異なる両海域に対応することができる新たな海洋低次生態系モデルを開発し、温暖化したときの環境要因をモデルに境界条件として与えることにより温暖化に伴う海洋生態系の応答を予測する。

## 研究成果の概要

本研究では、亜寒帯海域を対象に開発された PICES (North Pacific Marine Science Organization) の標準生態系モデル”NEMURO”(North pacific Ecosystem Model for Understanding Regional Oceanography) を元に、亜熱帯海域で重要となる微小な植物プランクトン群・動物プランクトン群を加え、各生物群の温度依存性を現実的な形に改良した拡張版 NEMURO ”eNEMURO”を開発した。

生態系モデル eNEMURO では、植物プランクトン・動物プランクトンは、それぞれの生理パラメータによりその生理的な特徴を決定されている。これらのパラメータの値は文献値間で大きく異なることや報告例がない場合があるため、観測値を元に値を調整する必要がある。昨年度までのモデルの結果は、その調整が完全ではなかったために、かなり大ざっぱな生態系の特徴を再現することしかできなかった。

今年度は、独立行政法人水産総合研究センターの観測データセットを元に生理パラメータの調整を行

い、日本周辺海域における生態系の季節変化の再現を目指した。データセットには、気候帯が異なり生態系も大きく異なる二つの海域、亜寒帯海域 (St.A7: 41.5°N, 145.5°E) と亜熱帯海域 (St.B01: 30.0°N, 138.0°E) (図 1)の時系列定点観測データを使用した。今回の生理パラメータの調整により、海域毎に異なる生理パラメータを用いることなく、両海域における生態系の季節変化を今まで以上に現実的に再現できるようになった (図 2)。

また、擬似的な温暖化シミュレーションとして、物理・化学的な外的環境条件を亜寒帯のものから亜熱帯のものへ徐々に変化させ(具体的には、水温・日射量・混合層水深・混合層以下の栄養塩濃度等の境界条件を亜寒帯域のものから亜熱帯域のものに徐々に変化) 植物プランクトンの応答を調べた。一見、植物プランクトンは各々の水温依存性(亜寒帯で優先するグループは低温で活性が高く、亜熱帯で優先するグループはその逆の特性を持つ)に対応してその生息域を決定され、亜寒帯と亜熱帯の間にはっきりとした棲み分けの境界ができると思われる。しかし、本研究の結果からは、亜寒帯と亜熱帯の間にはっきりとした棲み分けの境界は生じず非常になだらかに棲み分けすることが示された(図 3)。これは、水温が季節的に変化することにより、たとえ亜寒帯域に於いても夏には亜熱帯に近い環境に、亜熱帯域に於いても冬には亜寒帯に近い環境になるためである。瞬間的に見ると(ある季節だけに注目すると)はっきりとした棲み分けをしているが(図 4)、年平均で見るとなだらかな棲み分けとなるのである(図 3)。すなわち、亜寒帯で優先する生物群から亜熱帯で優先する生物群に劇的に切り替わると言うよりも、むしろ季節的に両者が共存しながら徐々に切り替わっていくことが示された。今回の成果は、温暖化によって現在の亜寒帯海域が亜熱帯的な環境に変わるとき、または、亜熱帯的な環境の海域の面積が増加するときの海洋生態系の変化を予想することにつながる。

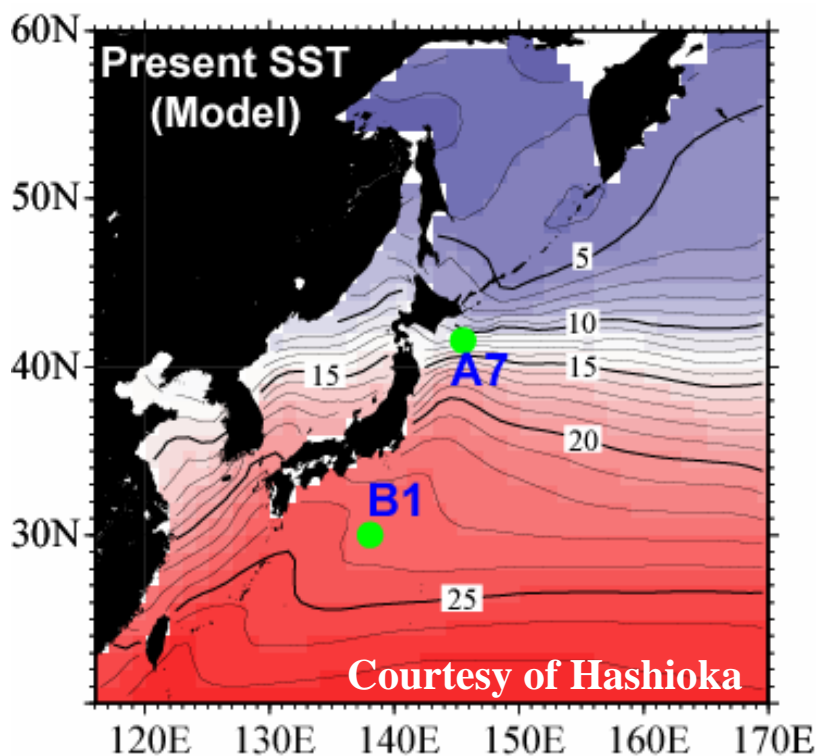


図 1. 3-D 海洋大循環モデルで再現された日本周辺の表面海水温分布図 (亜寒帯域の観測定点:A7, 亜熱帯域の観測定点:B1)

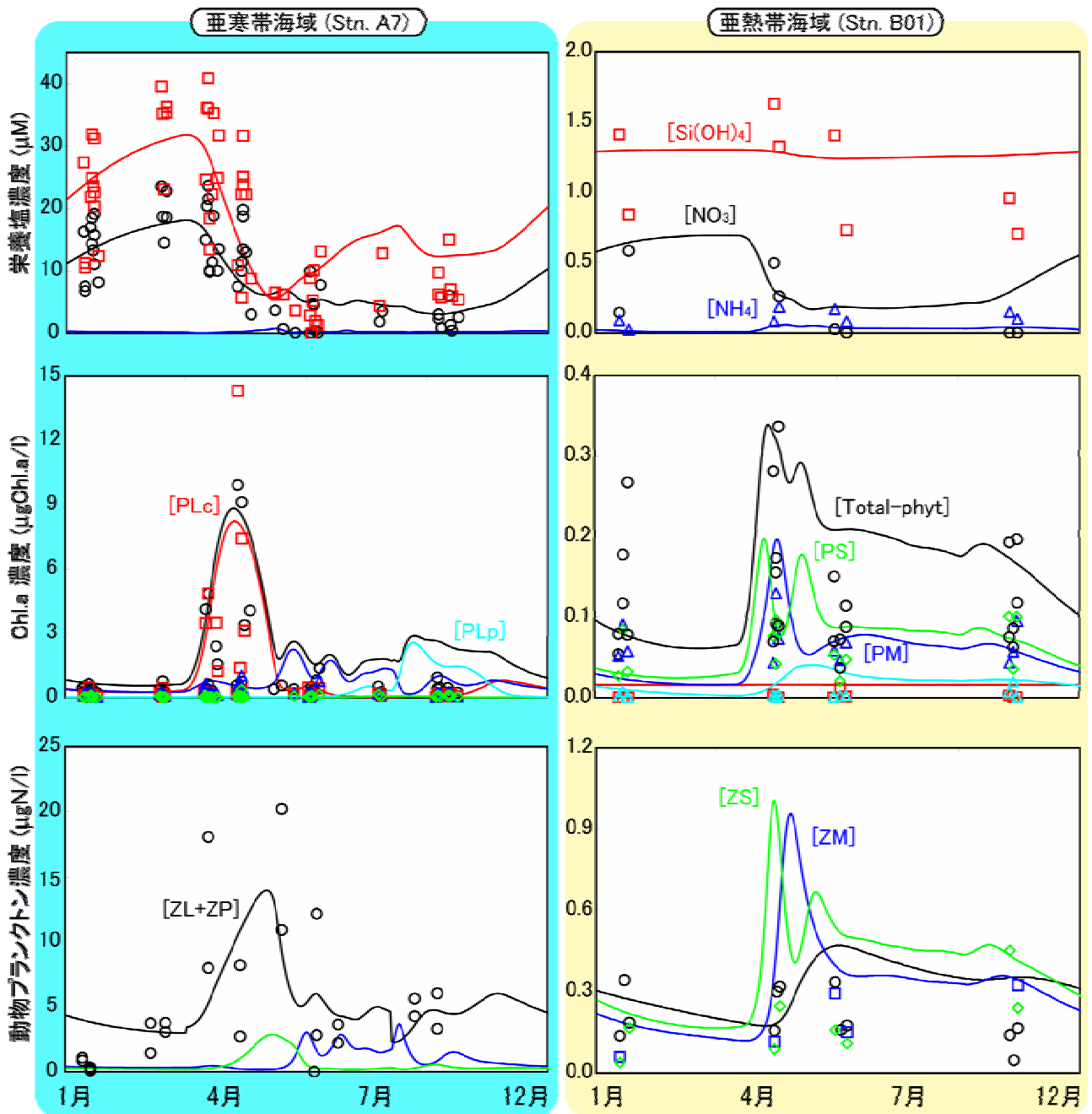


図 2. 生態系モデル eNEMURO で再現した亜寒帯海域と亜熱帯海域の栄養塩濃度、植物プランクトン生物量、動物プランクトン生物量の季節変化（線はモデル計算値、点は観測値）（注：亜寒帯と亜熱帯でグラフの縦軸のスケールが大きく異なる）

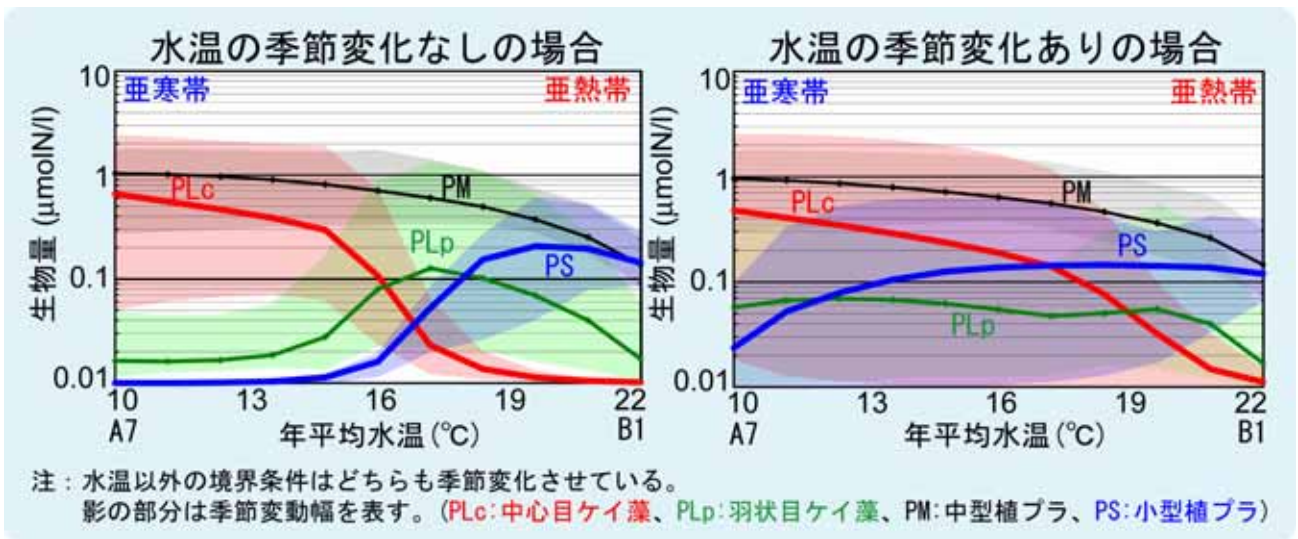


図3. 疑似的な温暖化シミュレーションをしたときの各植物プランクトン生物量の変化 (横軸は、左から右にかけて、水溫・日射量・混合層水深・混合層以下の栄養塩濃度等の境界条件を亜寒帯域のものから亜熱帯域のものに徐々に変化させている)

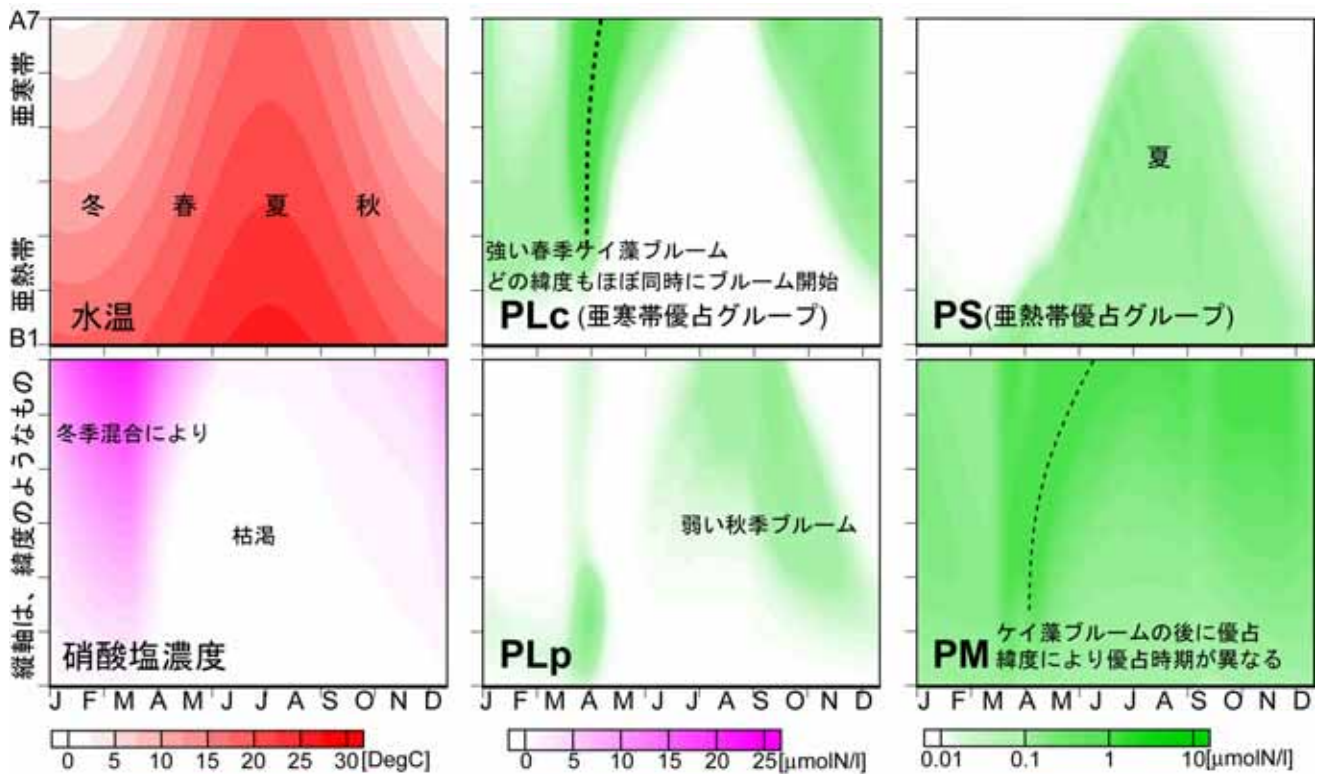


図4. 疑似的な温暖化シミュレーションをしたときの各植物プランクトン生物量の季節変化 (図の横軸は、季節を表し、縦軸は緯度のようなもの(上が亜寒帯、下が亜熱帯)で、上から下にかけて、境界条件を亜寒帯域のものから亜熱帯域のものに徐々に変化させている)

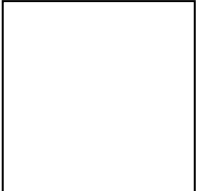
## 成果物等

### 原著論文等

1. Yoshie, N., M. Fujii and Y. Yamanaka (2005): Ecosystem changes with the iron fertilization in the western North Pacific simulated by a one-dimension ecosystem model. *Prog. Oceanogr.*, 64, 283-306.
2. Fujii, M., N. Yoshie, Y. Yamanaka and F. Chai (2005): Simulated biogeochemical responses to iron enrichments in three high nutrient, low chlorophyll (HNLC) regions. *Prog. Oceanogr.*, 64, 307-324.
3. Yoshie, N. and Y. Yamanaka (2005): Processes causing the temporal changes in Si/N ratios of nutrient consumptions and export flux during the spring diatom bloom. *J. Oceanogr.*, 61, 1059-1073.
4. Takeda, S., N. Yoshie, P. W. Boyd and Y. Yamanaka (2006): Mechanisms inducing silicic acid depletion relative to nitrate during the iron enrichment experiments in the subarctic Pacific. *Deep Sea Res. II*, (in press).
5. Kishi, M. J., D. V. Eslinger, M. Kashiwai, B. A. Megrey, D. M. Ware, F. E. Werner, M. Aita N, T. Azumaya, M. Fujii, S. Hashimoto, H. Iizumi, Y. Ishida, S. Kang, G. A. Kantakov, H. Kim, K. Komatsu, V. V. Navrotsky, L. S. Smith, K. Tadokoro, A. Tsuda, O. Yamamura, Y. Yamanaka, K. Yokouchi, N. Yoshie, J. Z. Zhang, Y. I. Zuenko and V. I. Zvalinsky (2006): NEMURO - Introduction to a lower trophic level model for the North Pacific marine ecosystem. *Ecol. Modeling.*, (in press).
6. Yoshie, N., Y. Yamanaka, K. A. Rose, D. L. Eslinger, D. M. Ware and M. J. Kishi (2006): Parameter sensitivity study of NEMURO lower trophic level marine ecosystem model. *Ecol. Modeling.*, (in revision).
7. Yoshie, N., K. Suzuki, A. Kuwata, and H. Saito: Time change of physiological parameters of photosynthesis-irradiance during the spring diatom bloom in the subarctic western North Pacific. *Deep Sea Res. I.*, (in preparation).
8. Yoshie, N., Y. Yamanaka and H. Saito: Influences of ecosystem components on the fate of the phytoplankton bloom induced by the iron-fertilization. *Prog. Oceanogr.*, (in preparation).
9. Yoshie, N. and Y. Yamanaka: Applications of the intermediate complexity ecosystem model to the subarctic and subtropical regions with the quite different ecosystems. *Ecol. Modeling.*, (in preparation).

### 学会発表等

1. Yoshie, N. and Y. Yamanaka: Processes causing the temporal changes in Si/N ratios of nutrient consumption and export flux during the spring diatom bloom, *European Geosciences Union General Assembly*, Vienna, Austria, Apr., 2005.
2. Yoshie, N. and Y. Yamanaka: Studies in SOLAS-Japan using an intermediate complexity ecosystem model, *2005 The Asian SOLAS Meeting in Tokyo*, Tokyo, Japan, Jun., 2005.
3. Yoshie, N. and Y. Yamanaka: Processes causing the temporal changes in Si/N ratios of nutrient consumptions and export flux during the spring diatom bloom, *2005 ASLO summer meeting*, Santiago de Compostela, Spain, Jun., 2005.
4. Yoshie, N., M. Fujii and Y. Yamanaka: Ecosystem changes with the iron fertilization in the western



North Pacific simulated by a one-dimension ecosystem model, *Advances in Marine Ecosystem Modelling Research (AMEMR)*, Plymouth, UK, Jun., 2005.

5. Yoshie, N.: Ecosystem changes with the iron fertilization in the western North Pacific simulated by a one-dimension ecosystem model, *2005 SOLAS International summer school*, Corsica, France, from Aug. to Sept., 2005
6. Fujii, M., N. Yoshie, Y. Yamanaka, and F. Chai: Simulated biogeochemical responses to iron enrichments in three high nutrient, low chlorophyll (HNLC) regions, *PICES 14th Annual Meeting*, Vladivostok, Russia, Oct., 2005.
7. Yoshie, N., Y. Yamanaka and S. Takeda: Development of a marine ecosystem model including intermediate complexity iron cycles, *PICES 14th Annual Meeting*, Vladivostok, Russia, Oct., 2005.
8. Yoshie, N., M. Fujii and Y. Yamanaka: Ecosystem changes with the iron fertilization in the western North Pacific simulated by a one-dimension ecosystem model, *The 8th Joint Symposium Seoul National University-Hokkaido University*, Seoul, Korea, Oct., 2005.
9. Yoshie, N. and Y. Yamanaka: Controlling factors of the differences between SEEDS-I and SEEDS-II -Simulations by ecosystem model "NEMURO"-, *SEEDS II Workshop Second Iron Enrichment Experiment in the Western Subarctic Pacific*, Tokyo, Oct., 2005.
10. Yoshie, N., S. Takeda, P. W. Boyd and Y. Yamanaka: Modelling Studies Investigating The Mechanisms Causing High Silicic Acid To Nitrate Uptake During SERIES: An Iron-Fertilization Experiment In The Subarctic Pacific, *2006 Ocean Science Meeting*, Hawaii, USA, Feb., 2006.