

日本近海における物質循環と生態系に関するモデリング

大気海洋圏環境科学専攻 気候モデリング講座
博士課程 2年 橋岡豪人 (指導教官: 山中康裕)

【研究目的】

地球温暖化に伴う海洋生態系および物質循環の変化を予測するため、海洋の生態系を陽に表現したモデルの開発が必要とされている。本研究では、物質循環を考える上で重要な生物のグループ構成を表現可能な三次元生態系モデルを開発し日本近海に適用する。このモデルを、観測された気候値を境界条件として駆動し、現在の気候下における海洋生態系および物質循環の基礎的知見を得る。そして、そこで得た知見を基に、地球が温暖化した際の生態系の応答と物質循環の変化を明らかにする。

【平成 16 年度の成果】

本年度は、昨年度開発を行った西北太平洋海洋物質循環モデル COCONUTS (COCO-NemUro in subTropical and Subarctic NW-Pacific) を用いて、気候値実験と地球温暖化実験を行い、以下の 3 つの事柄に注目し解析を行った。

気候値実験

(1) 海洋の基礎生産者である植物プランクトンの優占グループが季節的、海域的にどのように変化するか、そして、その変動要因が何かについて考察を行った。その結果、亜熱帯域のような貧栄養海域では、光合成の栄養塩依存性の違いにより優占グループが決定されていた。一方、亜寒帯域のような栄養塩が十分に供給される海域では、光合成の効率の違いよりは、むしろ動物プランクトンの捕食嗜好性により優占グループは決まっていた。

(2) 海洋の二酸化炭素の取り込みを考える上で重要な量である rain 比 (CaCO_3 の輸出生産に対する POC の輸出生産の比で定義) の海域による違いが生じるメカニズムを考察した。その結果、rain 比の海域による違いは、生態系の違いから CaCO_3 と POC の生成の割合が海域により異なる効果と、両者の分解の割合が異なる効果が同程度に寄与して決定されていた。

地球温暖化実験

(3) IPCC レポートで採用された CCSR/NIES による温暖化実験の結果を用いて、地球が温暖化した際の生態系の応答と物質循環の変化を予測した。温暖化により、年平均の海面水温は 2 度から 4 度上昇し (図 1 参照)、冬季の混合層の最大深度は亜寒帯域と亜熱帯域の移行域において約 200m 浅くなった (図 2 参照)。その結果、移行域では、成層の強化により下層からの栄養塩の供給が減少し、21 世紀末に基礎生産や珪藻類の優占率がわずかに減少した (図 3、図 4 参照)。また、プランクトングループの遷移と温暖化に伴う温度上昇により物質循環も変化し、e 比 (総一次生産に占める PON の輸出生産の比で定義) は減少し、rain 比は上昇することが予測された。季節的には、成層化の時期が早まることに伴い春季ブルームの発生時期が半月早くなり、ブルーム時の生物量は大きく減少した (図 5 参照)。そして、その変化は混合層の変化の大きい移行域で最大であった。

これらの実験で得られた知見(1)と(3)はそれぞれ、*Ecological Modeling* の生態系モデル NEMURO の特集号に投稿した。(2)については現在投稿準備中である。

また、上述の温暖化実験から得られたデータを用いて、山中康裕助教授がサンマの回遊実験を行い、地球温暖化に対するサンマの応答を予測した。その結果、21世紀末に三陸沖でサンマが捕れない可能性が示唆された。また、増田良帆氏（RITE 研究員）が COCONUTS に粒子トレーサーを組み込んだモデルで二酸化炭素の深海貯留実験を行い、日本近海に放出された二酸化炭素の拡がりや濃度変化の予測を行った。今後、吉江直樹氏（本 21 世紀 COE 研究員）が開発を行っている亜熱帯域のプランクトングループを陽に表現した生態系モデル（eNEMURO）を COCONUTS に組み込みたいと考えている。

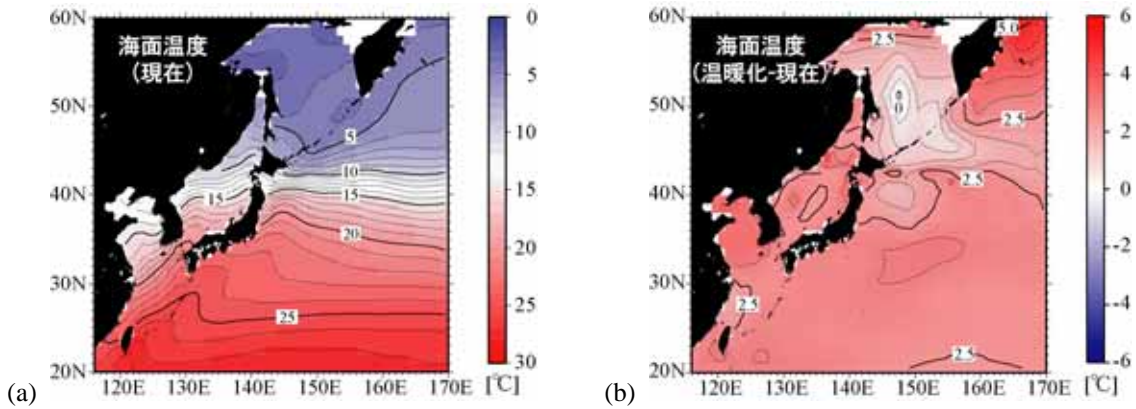


図 1. (a)現在の気候における年平均の海面水温と (b)地球温暖化による変化量（温暖化 - 現在）の水平分布。単位は $^{\circ}\text{C}$ 。

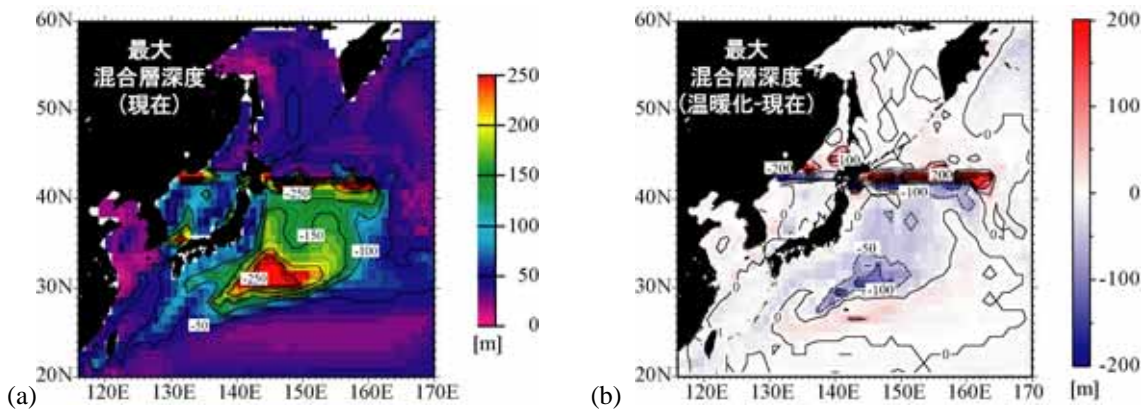


図 2. (a)現在の気候における冬季最大混合層深度と (b)地球温暖化による変化量(温暖化 - 現在)の水平分布。単位は m。

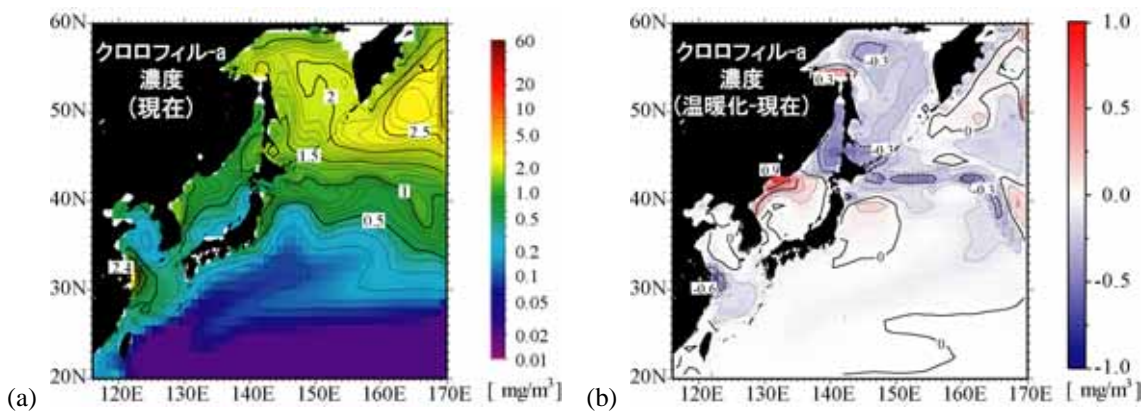


図 3. (a)現在の気候における年平均のクロロフィル-a 濃度と (b)地球温暖化による変化量（温暖化 - 現在）の水平分布。値は 0m から 10m 深の平均値で、単位は mg/m^3 。

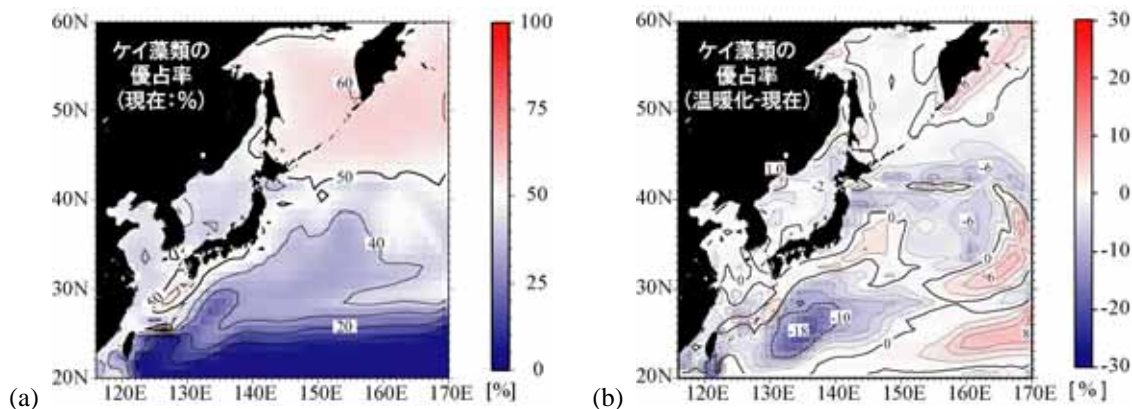


図 4. (a)現在の気候における年平均の珪藻類の優占率（珪藻/植物プランクトン全体）と (b)地球温暖化による変化量（温暖化 - 現在）の水平分布。値は0m から 20m 深の平均値で、単位は%。

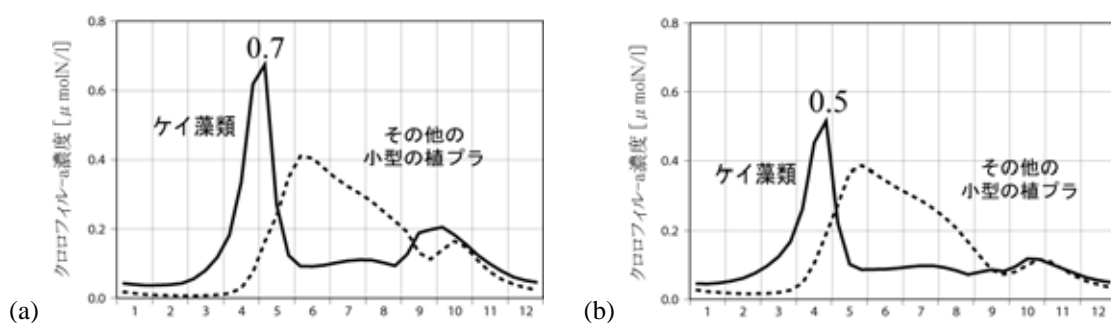


図 5. 亜寒帯と亜熱帯の移行域（155E, 40N）におけるケイ藻類（実線）とその他の小型の植物プランクトン（破線）のクロロフィル-a 濃度の季節変動。(a)現在、(b)温暖化時。値は0m から 20m 深の平均。単位は $\mu\text{molN/l}$ 。

【論文】

- [1] T. Hashioka, Y. Yamanaka and K. Matsumoto: Temperature dependency of rain ratio obtained by a 3-D ecosystem-biogeochemical model, *J. Oceanogr*, (in preparation).
- [2] M. J. Kishi, Yamanaka Y., S. Ito, T. Hashioka, M. N. Aita, B. A. Megrey, F. E. Werner: Horizontal migration of Pacific Saury in the present and future obtained by Lagrangian NEMURO.FISH, special issue of NEMURO in *Ecological Modelling*, (in preparation).
- [3] T. Hashioka and Y. Yamanaka (2004): Seasonal and Regional Variations of Phytoplankton Groups by Top-down and Bottom-up Controls Obtained by a NEMURO Coupled with a General Circulation Model, special issue of NEMURO in *Ecological Modelling*, (submitted).
- [4] T. Hashioka and Y. Yamanaka (2004): Ecosystem change in the western North Pacific due to global warming obtained by a 3-D NEMURO, special issue of NEMURO in *Ecological Modelling*, (submitted).
- [5] Masuda, Y., Y. Yamanaka, T. Hashioka, M. Magi and T. Ohsumi (2004): A Lagrangian method combined with high resolution ocean general circulation model to evaluate CO₂ ocean sequestration. In, E. S. Rubin, D. W. Keith and C. F. Gilboy (Eds.), *Proceedings of 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies. Volume 1: Peer-Reviewed Papers and Plenary Presentations*, IEA Greenhouse Gas Programme, Cheltenham, UK.

【学会発表】

- [1] T. Hashioka and Y. Yamanaka: Seasonal and regional variations of phytoplankton groups by top-down and bottom-up controls obtained by 3-D ecosystem-biogeochemical model. *Advances in Marine Ecosystem Modelling Research*, Plymouth, UK, June 27-29, 2005.
- [2] Y. Yamanaka and T. Hashioka: Change in ecosystem and pelagic fish in the western North Pacific associated with global

warming. *Advances in Marine Ecosystem Modelling Research*, Plymouth, UK, June 27-29, 2005.

- [3] K. Nakajima, T. Hashioka and Michio J. Kishi: Analysis of spatial difference in wet weight of Japanese common squid, *Todarodes pacificus*, in the Japan Sea, *Advances in Marine Ecosystem Modelling Research*, Plymouth, UK, June 27-29, 2005.
- [4] T. Hashioka and Y. Yamanaka: Change in rain ratio associated with global warming obtained by a 3-D ecosystem model. *2005 ASLO Summer Meeting*, Santiago de Compostela, Spain, June 19-24, 2005.
- [5] Y. Yamanaka and T. Hashioka: Ecosystem change in the western North Pacific due to global change obtained by 3-D ecosystem model. *2005 ASLO Summer Meeting*, Santiago de Compostela, Spain, June 19-24, 2005
- [6] T. Hashioka and Y. Yamanaka: Temperature dependency of rain ratio obtained by 3-D ecosystem-biogeochemical model. *European Geosciences Union General Assembly*, Vienna, Austria, April 24-29, 2005.
- [7] Y. Yamanaka, T. Hashioka and M. N. Aita: Ecosystem change in the western North Pacific due to global change obtained by 3-D ecosystem model. *European Geosciences Union General Assembly*, Vienna, Austria, April 24-29, 2005.
- [8] 橋岡豪人、山中康裕：物質循環と生態系そして温暖化. 第5回海洋生態系モデリング研究会, 北海道, 2005年2月
- [9] 中島一步、吉本幸恵、橋岡豪人、奥西武、岸道郎：NEMURO.FISHを用いた日本海スルメイカの成長モデル. 日本水産海洋学会, 東京, 2004年12月.
- [10] 橋岡豪人、山中康裕：地球温暖化による日本近海の生態系および物質循環の変化. 第17回海洋物質循環セミナー, 静岡, 2004年11月.
- [11] Y. Yamanaka, N. Yoshie, T. Hashioka, M. J. Kishi: Extension of NEMURO to represent habitat segregation of plankton groups in the western North Pacific. *PICES 13th Annual Meeting*, Hawaii, U.S.A., October, 14-24, 2004.
- [12] 橋岡豪人、山中康裕：温暖化実験により得られた日本近海の生態系と物質循環の変化. 日本海洋学会 秋季大会, 愛媛, 2004年9月.
- [13] 増田良帆、山中康裕、間木道政、橋岡豪人：CO₂ 海洋隔離の海洋大循環モデルによるシミュレーション. 日本海洋学会 秋季大会, 愛媛, 2004年9月.
- [14] Y. Masuda, Y. Yamanaka, T. Hashioka, M. Magi, S. Murai, T. Ohsumi: A Lagrangian method combined with high resolution ocean general circulation model to evaluate CO₂ ocean sequestration. *The Seventh International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, Vancouver, Canada, September, 5-9, 2004.
- [15] K. Matsumoto, T. Hashioka, Y. Yamanaka: The effect of temperature-dependent CaCO₃:Corg rain ratio on atmospheric pCO₂. *8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON PALEOCEANOGRAPHY*, Biarritz, Paris, France, September, 5-10, 2004.
- [16] T. Hashioka, Y. Yamanaka, M. N. Aita: Biogeochemical cycles and ecosystem changes due to global warming obtained by 3-D ecosystem model. *The Ocean in a High CO₂ World*, UNESCO, Paris, France, May 10-12, 2004.
- [17] Y. Yamanaka, Y. Masuda, T. Hashioka, M. Magi, T. Ohsumi: New 3-D Modelling for evaluation of CO₂ ocean sequestration. *The Ocean in a High CO₂ World*, UNESCO, Paris, France, May 10-12, 2004.
- [18] T. Hashioka and Y. Yamanaka: Seasonal and regional variations of phytoplankton groups by Top-down and Bottom-up controls obtained by a 3-D ecosystem model. *European Geosciences Union 1st General Assembly*, Nice, France, April 25-30, 2004.
- [19] Y. Yamanaka and T. Hashioka: Ecosystem change in the western North Pacific due to global change obtained by a 3-D ecosystem model. *European Geosciences Union 1st General Assembly*, Nice, France, April 25-30, 2004.
- [20] 橋岡豪人、山中康裕：日本近海における生態系と物質循環の関係. 日本海洋学会 春季大会, 筑波, 2004年3月.