

「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(1 x 1 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く。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・改良を行う。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る。

2003 年度は、次のような二つの研究を主に行った。

- 1) 現在、海洋物質循環の研究分野で最もホットな話題の一つである「鉄濃度と植物プランクトンの生理活性の関係」を生態系モデルに新たに取り入れ、西部北太平洋亜寒帯域での鉄散布実験”SEEDS2001”の生態系モデルによる再現とそのメカニズムの解析を行った。また、それに必要な生理パラメータを水産総合研究センターと共同で現場観測した。
- 2) 生態系モデル”NEMURO”に大幅な改良を施し、亜熱帯域における生態系(貧栄養、小型植物プランクトンが優占)の再現性を向上させた拡張版 NEMURO ”eNEMURO”を開発した。

2. 「鉄濃度と植物プランクトンの生理活性の関係」の生態系モデルへの導入

「鉄濃度と植物プランクトンの生理活性の関係」に注目し、“SEEDS2001”(これまで以上の大規模な植物プランクトンのブルームと劇的な種組成の変化が観測され、鉄散布は非現実的な温暖化対策ではないことを示唆した)について、生態系モデルによる再現とそのメカニズムの解析を行った。

我々のグループがこれまで開発・応用してきた”NEMURO”を元に、鉄への応答の異なるケイ藻 2 種類(鉄添加に敏感に反応し劇的に活性の高まるグループ[PLc]と、無反応なグループ[PLp]を仮定した)を表現できるようにした”NEMURO for SEEDS”(図 1)を新たに開発した。また、鉄濃度の変化が及ぼす植物プランクトンの生理変化としては、最大光合成速度と光-光合成曲線の傾きを変化させた。

結果は、鉄添加の数日後から珪藻ブルームが始まるのは、生理的適応に時間がかかるためではなく、鉄に敏感なマイナー種がメジャーになるのに時間がかかるためであること。鉄パッチの面積を 250km² とすると、鉄(硫酸鉄 350kg)の散布の影響は、約 40 日間続き、少なくとも 1720tC の炭素が大気から海洋へ取り込まれ、3870tC の炭素が 100m 以深へ輸送されたと見積もられた。これらの知見は、*Progress in Oceanography* の SEEDS 特集号に投稿し、minor revision の改定稿もすでに投稿済みである。

また、上記のような生理パラメータと鉄濃度との関係の報告値はほとんど無いため、SEEDS の次に行く研究として、鈴木光次助教授らとともに鉄マッピング観測計画(水産総合研究センター)に参加し、西部北太平洋でのケイ藻の光-光合成曲線に関する生理パラメータの現場観測を行った。

このような「鉄濃度と植物プランクトンの生理活性の関係」をモデルに取り入れることにより、地球温暖化に伴い大陸からの風成塵の供給量・パターンが変化し、日本近海への鉄の供給量が変化したときの影響をより正確に見積もることができるだろう。

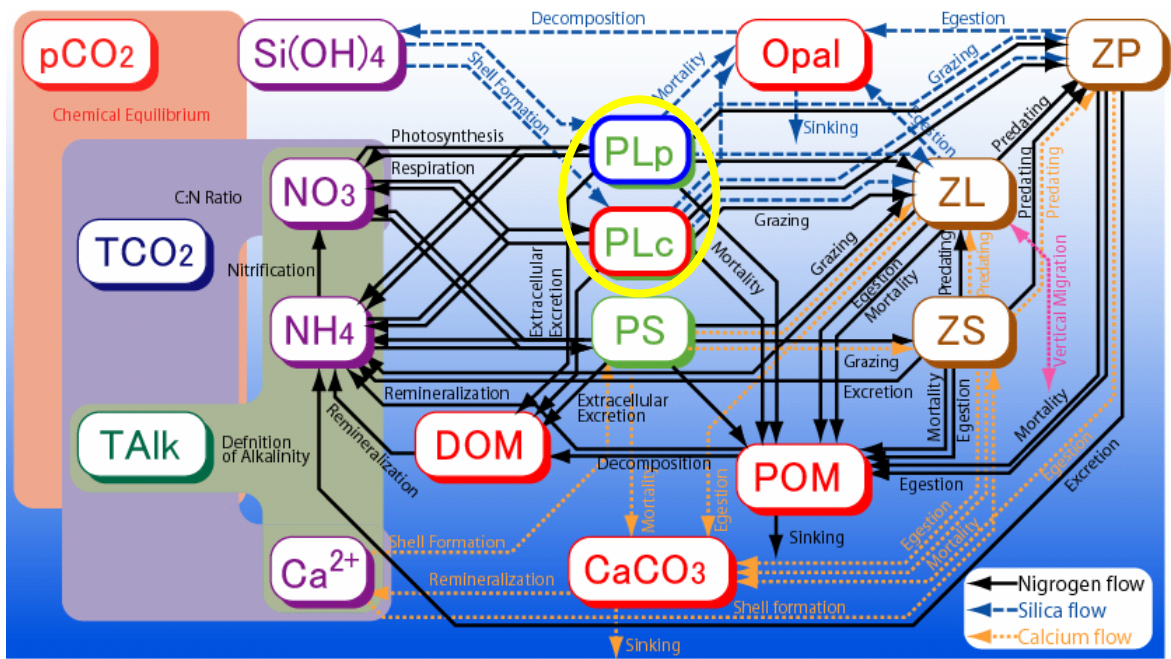


図 1. NEMURO for SEEDS の簡略図
 黄色で囲んだケイ藻類について、鉄に敏感な PLc と無反応な PLp の 2 つのグループを表現

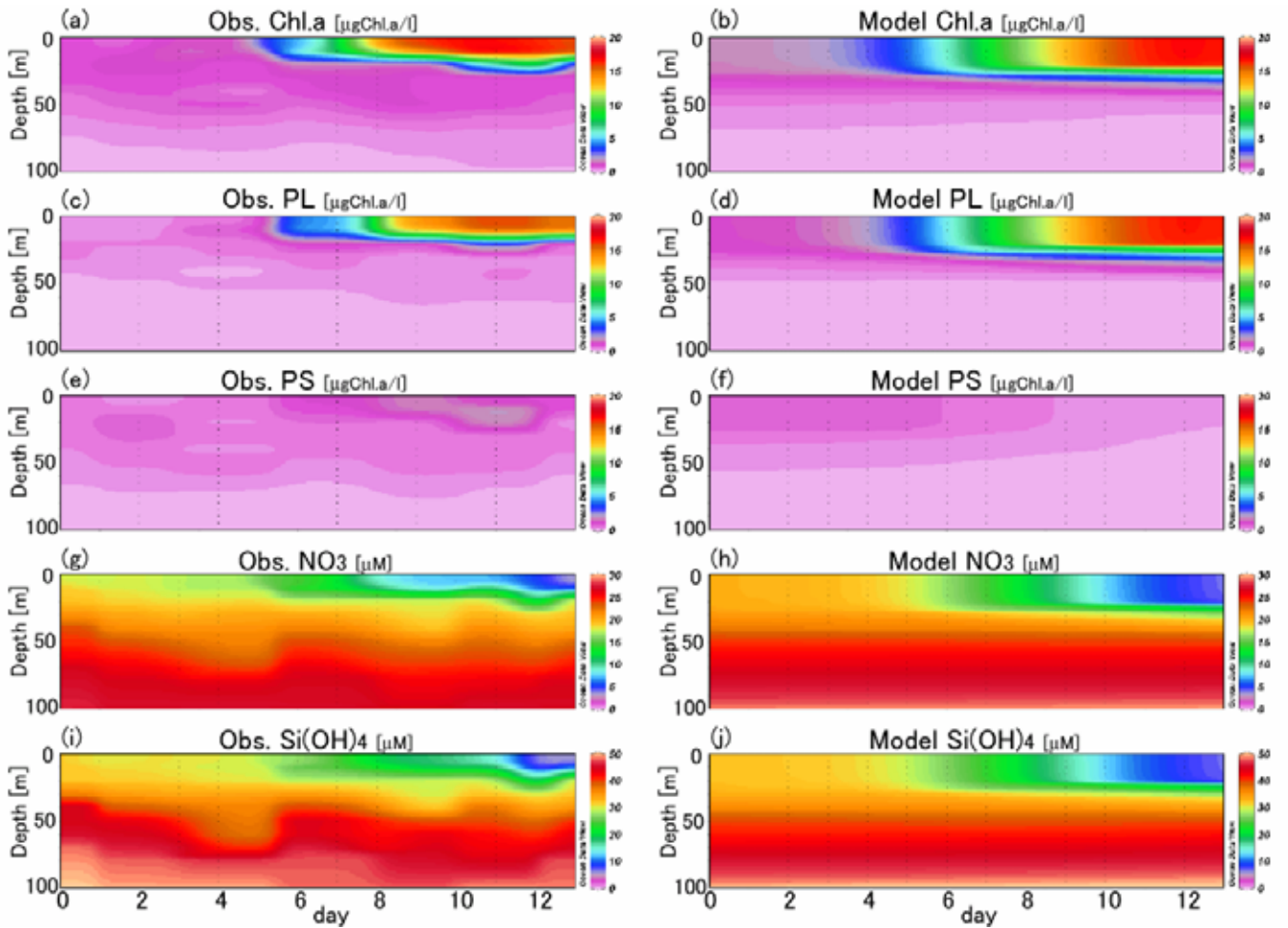


図 2. 生物量と栄養塩の鉛直分布の時系列
 観測値(左側) とモデルによる再現値(右側)

2. 海洋生態系モデル“eNEMURO”の開発

これまで我々のグループが用いてきた海洋生態系モデル“NEMURO”(North Pacific Ecosystem Model Used for Regional Oceanography) は、PICES (North Pacific Marine Science Organization) のモデルチーム(筆者も貢献)により、2000年に開発され、現在では国際的に普及し始めている。しかし、NEMUROは、主として亜寒帯域の生態系(富栄養、ケイ藻類が優占)を想定したものであったため、亜熱帯域における生態系・物質循環(貧栄養、小型植物プランクトンが優占)の再現性は低いものであった。そこで筆者は、亜熱帯域で優占的な小型の生物グループを新たに加え、NEMUROを大幅に拡張した extended NEMURO “eNEMURO”を開発した。

eNEMUROは、NEMUROを元に、植物プランクトンを2種から4種に、動物プランクトンを3種から4種に増やした。具体的には、大型植物プランクトン[旧 PL]を亜寒帯域で優占するグループ[PLc]と世界中に広く分布するグループ[PLp]の2グループに分けた。大型以外の植物プランクトンは一括りに小型[旧 PS]としていたが、これを円石藻・鞭毛藻などの中型植物プランクトン[PM]とし、新たに亜熱帯で優占する原核緑藻などを小型植物プランクトン[PS]として導入した。また、これまでの小型動物プランクトン[旧 ZS]を中型動物プランクトン[ZM]とし、亜熱帯域でPSの捕食者として重要な小型動物プランクトン[ZS]を新たに加えた(図3)。

モデルの境界条件には、亜熱帯、亜寒帯の2種類を想定し、それぞれ理想化した水温・光環境の季節変化、深層の栄養塩濃度を用いた。亜熱帯の境界条件を与えて、亜熱帯域の低次生態系が再現できるようにボックスモデルによる生理パラメータの調整を行った。また、同じ生理パラメータと亜寒帯域の境界条件を用いて、亜寒帯域の再現性に問題が生じないかについても調べた。

結果は、亜熱帯域では一年を通して小型や中型の生物群が優占し、これまで以上に現実的な生態系の季節変化が得られた(図4b, d)。亜熱帯域での再現性を上げるように調整した生理パラメータセットと、亜寒帯域の境界条件を与えた実験(図4a, c)では、ケイ藻[PLc]の春季ブルーム、それに続いての小型生物群への優占種の交代、ケイ藻[PLp]の秋季ブルームなどが再現されており、再現性に問題は起きなかった。すなわち、eNEMUROは、従来のNEMUROより亜熱帯域の再現性が向上し、亜寒帯・亜熱帯両方の生態系の季節変化をより現実的に再現できるようになった。

このような生態系モデルによる亜熱帯域の再現性の向上は、地球温暖化に伴い日本近海において、海水温の上昇、混合層水深の浅化、表層における栄養塩濃度の減少など亜熱帯域の拡大・亜寒帯域の縮小が生じた場合の海洋生態系・物質循環をより正確に見積もることにつながる。

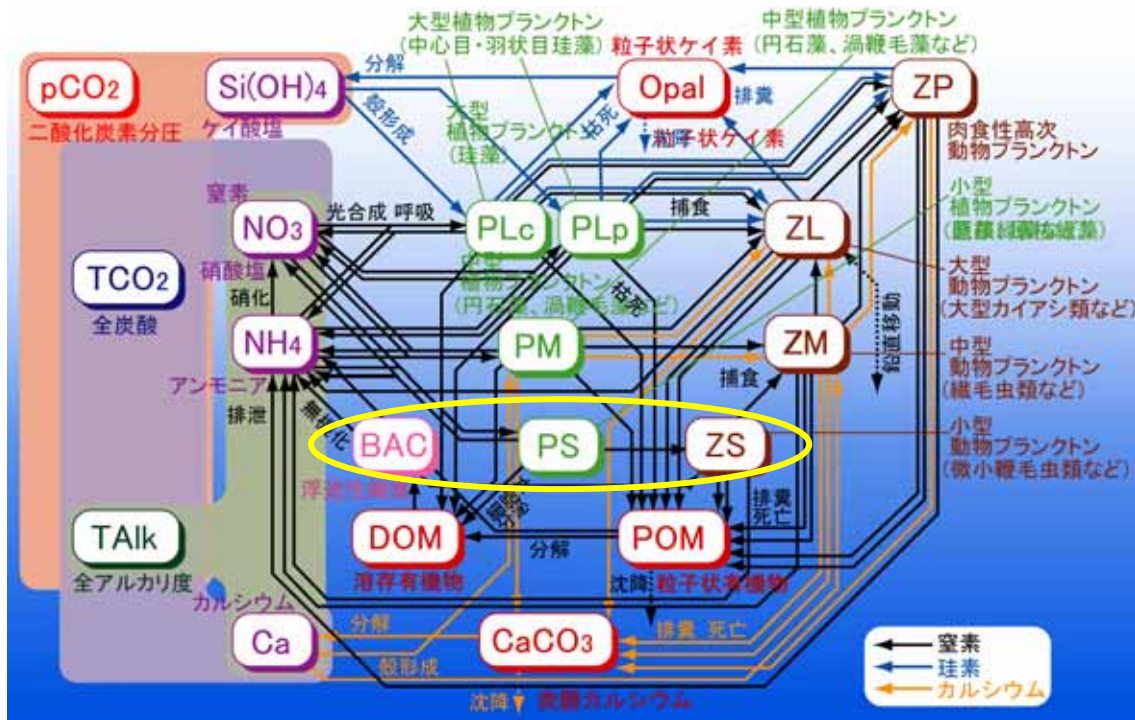


図3 eNEMUROの簡略図

黄色で囲んだ部分は亜熱帯域で優占する小型生物グループ

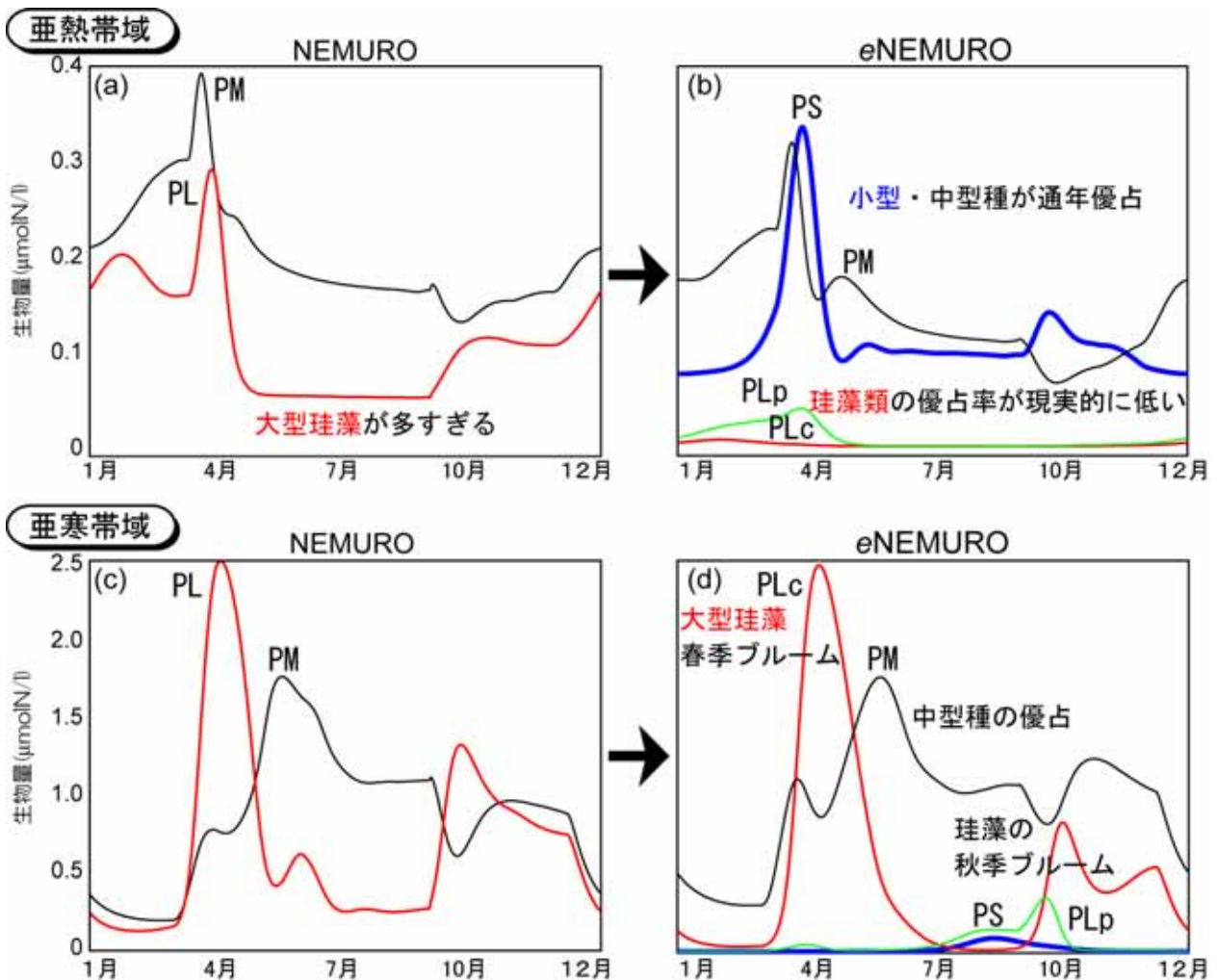


図4 植物プランクトン生物量の季節変化

成果物等

原著論文等

1. N. Yoshie, Y. Yamanaka, M. J. Kishi and H. Saito (2003): One dimensional ecosystem model simulation of the effects of vertical dilution by the winter mixing on the spring diatom bloom. *J. Oceanogr.*, 59, 563-571.
2. Y. Yamanaka, N. Yoshie, M. Fujii, M. A. Noguchi and M. J. Kishi (2004): An ecosystem model coupled with Nitrogen-Silicon-Carbon cycles applied to Station A-7 in the Northwestern Pacific. *J. Oceanogr.*, 60, 227-241.
3. N. Yoshie and Y. Yamanaka (2003): Processes causing the temporal change of Si/N ratio of sinking particle during the spring diatom bloom. *J. Oceanogr.*, (revised).
4. N. Yoshie, M. Fujii and Y. Yamanaka (2003): Ecosystem changes with the iron fertilization in the western North Pacific simulated by a one-dimension ecosystem model. *Prog. Oceanogr.*, (revised).
5. M. Fujii, N. Yoshie, Y. Yamanaka and F. Chai (2003): Simulated biogeochemical responses to iron enrichments in three high nutrient, low chlorophyll (HNLC) regions. *Prog. Oceanogr.*, (revised).
6. N. Yoshie, Y. Yamanaka, K. A. Rose, D. L. Eslinger, D. M. Ware and M. J. Kishi (2004): Parameter sensitivity study of a lower trophic level marine ecosystem model "NEMURO". *Ecol. Modeling.*, (submitted).
7. D. L. Eslinger, N. Yoshie, H. Saito and D. M. Ware (2004): Implications of different parameterizations of the microbial food web and primary production on energy transfer to higher trophic levels. *Ecol. Modeling.*, (submitted).
8. M. J. Kishi, 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 (2004): NEMURO - Introduction to a lower trophic level model for the North Pacific marine ecosystem. *Ecol. Modeling.*, (submitted).
9. N. Yoshie and K. Suzuki (2004): Relationship between iron concentration and physiological parameters of diatom in the western North Pacific. (in preparation).

口頭発表等

1. N. Yoshie, S. Ito, Y. Yamanaka and M. J. Kishi: The simulation of saury population in western North Pacific using the PICES-NEMURO.FISH model. *PICES MODEL workshop to Embed NEMURO and NEMURO.FISH into a 3-D circulation model*, Yokohama, Mar., 2003.
2. 山中 康裕, 吉江 直樹, 橋岡 豪人: 生態系モデルによる輸出生産に関する考察. 2003 年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2003 年 3 月.
3. S. L. Smith, N. Yoshie, C. Yoshikawa, M. Fujii, Y. Yamanaka and M. J. Kishi: Modeling coupled biogeochemistry and ecosystem dynamics at four stations in the North Pacific: Recent results from the FRSGC-HU Group. *Final JGOFS Open Science Conference: "A Sea of Change: JGOFS accomplishments and the Future of Ocean Biogeochemistry"*, Washington DC, U.S.A, May 5-8, 2003.
4. 吉江 直樹: 生態系モデルにより再現された西部北太平洋における鉄散布に伴う生態系の変化. 東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム, 東京, 2003 年 11 月.

5. N. Yoshie, Y. Yamanaka, S. Ito, and M. J. Kish: Parameter sensitivity study of NEMURO. PICES model task team work shop "*Summary and Synthesis of Contributions from NEMURO and NEMURO.FISH*", Yokohama, Dec., 2003.
6. N. Yoshie, M. Fujii and Y. Yamanaka: Changes of the ecosystem with the iron fertilization in the western North Pacific simulated by a one-dimension ecosystem model. *ASLO/TOS ocean research conference*, Hawaii, U.S.A, Feb., 2004.
7. 吉江 直樹, 山中 康裕 : 鉄施肥に伴う西部北太平洋における生態系および物質循環の応答. 2004 年度日本海洋学会春季大会, 筑波, 2004 年 03 月.
8. N. Yoshie, M. Fujii and Y. Yamanaka: Ecosystem changes with the iron fertilization in the western North Pacific simulated by a one-dimension ecosystem model. *The 1st General Assembly of the European Geosciences Union*, Nice, France, Apr., 2004.
9. 吉江 直樹・山中 康裕 : 海洋生態系モデル「拡張版 NEMURO "eNEMURO"」の開発. 2004 年度日本海洋学会秋季大会, 松山, 2004 年 09 月.
10. N. Yoshie, M. Fujii and Y. Yamanaka: Ecosystem changes with the iron fertilization in the western North Pacific simulated by a one-dimension ecosystem model. *2004 SOLAS open science conference*, Halifax, Canada, Oct., 2004.
11. Fujii, M., N. Yoshie, Y. Yamanaka: and F. Chai: Simulated biogeochemical responses to iron enrichments in three high nutrient, low chlorophyll (HNLC) regions. *2004 SOLAS open Science conference*, Halifax, Canada, October, 2004.
12. Yamanaka, Y., N. Yoshie, T. Hashioka and M. J. Kishi: Extension of NEMURO to represent habitat segregation of plankton groups in the western North Pacific. PICES XI Annual Meeting, Honolulu, U.S.A., October, 2004.

紀要等

1. 吉江 直樹: 海洋物質循環モデリングの新しい役割を目指して. COE プログラム NEWSLETTER 第 1 号、北海道大学大学院地球環境科学研究科、2003 年春.