

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710043

研究課題名(和文) 環境変化に対する沿岸生態系・物質循環の応答機構の解明

研究課題名(英文) Study for mechanisms of responses of coastal marine ecosystem and biogeochemical cycle to environmental changes

研究代表者

吉江 直樹 (Yoshie, Naoki)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・講師

研究者番号：50374640

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：外洋に面した沿岸域のモデルとして瀬戸内海の豊後水道に注目し、環境変化に対する生態系・物質循環の応答機構の解明を目的に研究を行った。そして、次の2つの劇的な環境変化に対する生態系応答機構が明らかとなった。

外洋域中層水が沿岸域底層へ突発的に進入する「底入り潮」現象により、外洋中層から沿岸底層へと大量の栄養塩が供給され、大型ケイ藻が優占する豊かな生態系へと生態系構造が劇的にシフトすることが明らかになった。

2012年夏季の歴史的豪雨により、低塩分・低密度水が海洋表層を覆い、急潮と呼ばれる沿岸域の汚濁を洗い流す清浄作用を持つ黒潮系表層水の進入を妨げ、大規模赤潮に繋がった可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：I studied mechanisms of responses of marine ecosystem and biogeochemical cycle to environmental changes focusing on the Bungo Chanel in the Seto Inland Sea, where is a typical coastal region fronting to the open ocean. I found the mechanisms of the ecosystem responses to the following abrupt environmental changes;

1. The intrusion of oceanic subsurface water to coastal bottom layer is called "Sokoirishio". Sokoirishio supplies much amount of nutrient from the open ocean to the coast, and causes the abrupt change of ecosystem to the productive ecosystem dominated by diatom.

2. The super heavy rain in the summer of 2012 supplied huge amount of fresh water to the ocean, and the low salinity and low density water broadly covered the surface layer of coastal region. This water blocked the intrusion of oceanic surface water to coastal surface layer, which is called "Kyucho" and can clean the polluted coastal water. The blocking of Kyucho might be lead to the large scale harmful algae bloom.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境影響評価・環境政策

キーワード：海洋生態系 物質循環 沿岸域 外洋擾乱 気候変動 気象擾乱 プランクトン

1. 研究開始当初の背景

世界的な研究動向として、地球温暖化など気候変動が海洋生態系・物質循環・水産資源へ及ぼす影響に注目が集まっている。これまでは、温暖化に伴う太平洋・大西洋といった大洋スケールでの物理的な環境変化が研究されてきた。しかし、近年、温暖化が海洋生態系に影響を及ぼすことが確実視され、個々の現場観測と直接比較可能なローカルスケールにまで踏み込んだ物理環境変化の予測と、それに対する生態系応答の予測が重要視されている。2008年のECCWOを皮切りに、2009年GLOBEC第3回総会、PICES2009年次総会、2010年のCCEFFなど、気候変動による生態系・水産資源への影響が盛んに議論されている。また、昨年(2011年)の国連環境計画報告書においては、沿岸生態系を用いた炭素貯留概念“BLUE CARBON”(陸域生態系による炭素貯留)“GREEN CARBON”と対照)が提唱され、世界的に沿岸生態系研究の重要性が急速に高まっている。

本邦に目を移すと、文科省・気象庁・環境省が最新の温暖化研究をまとめたIPCC AR4日本版といえる「日本の気候変動とその影響」においても、温暖化に伴う定性的な生態系応答が紹介されると共に、今後の最重要課題として定量的な生態系影響評価が掲げられ、ローカルスケールの海域特性まで再現できる高解像度海洋生態系・物質循環モデルに期待が寄せられている。

これまでに申請者は、海洋生態系・物質循環モデルeNEMURO(21個の生物・化学的要素を含む世界最先端の数値モデル)を開発し、高解像度海洋物理モデルC-HOPE(日本周辺外洋域の水平解像度:6km)と組み合わせることにより、日本周辺の生態系・物質循環を世界最高レベルで再現することに成功している。これらを用いて、外洋域では定量的な生態系影響評価が可能となりつつあり、現在、農水省の水産系研究プロジェクト)に活用されている。本研究では、このモデルを沿岸域に適応させてゆく。

研究対象とする瀬戸内海は、かつて公害という環境負荷を経験しながら、今なお世界最高水準の漁業生産性を誇り、二つの開放的な陸棚域(豊後水道と紀伊水道)を含む海域である。一見すると閉鎖性が強く、河川からの栄養塩供給が卓越していると思われがちだが、実は約60%もの栄養塩が底入り潮と呼ばれる「陸棚域の底層を通した外洋の黒潮中層水の突発的な貫入現象」により供給されていることが最近わかってきた。また、急潮と呼ばれる外洋の黒潮表層水が突発的に陸棚域に進入する現象も古くから知られる一方で、これら外洋擾乱が沿岸生態系に及ぼす影響については不明な点が多く、海洋学の最もホットな研究テーマの一つである。伴う漁業生産性の低下(海苔の色落ちなど)が深刻な問題となっている。

2. 研究の目的

外洋域の影響を強く受ける開放的な陸棚域(世界のほとんどの沿岸域が該当)において、様々な環境変化に対する生態系・物質循環の応答機構を明らかにし、その応答予測につなげることを目的とする。

具体的には、瀬戸内海を対象海域とし、現実には生態系・物質循環を再現可能な数値モデルの開発と現場観測を組み合わせることにより、外洋擾乱(外洋水の突発的な貫入等)・地球温暖化・環境規制などに対する生態系影響評価を行う。この知見は、世界の多くの沿岸域に応用することができ、気候変動や人為的な環境変化に対する沿岸生態系の応答予測につながる。

3. 研究の方法

本研究では、沿岸-外洋の境界領域に当たり包括的観測データが不足している西部瀬戸内海の豊後水道と伊予灘において、現場観測を通して「現場の勘」を磨きながら生態系・物質循環像を把握し、これまで蓄積されてきた観測データセットを拡充させながら数値モデルの精度検証を行う。そして、モデルの境界条件や生物の振る舞いを様々に変化させた仮想実験を行うことにより、気候変動や人間活動に伴う環境変化により沿岸生態系・物質循環がどのように応答するのかという生態系影響評価につなげる。

4. 研究成果

(1)沿岸と外洋の境界領域にまたがる西部瀬戸内海の豊後水道において、外洋水の突発的な進入現象が生態系・物質循環に及ぼす影響に注目した多項目・広域・高頻度観測を実施した。その結果、従来重要視されていた外洋水が表層から進入する「急潮」現象よりも、外洋水が底層から進入する「底入り潮」現象により外洋域中層から沿岸域底層へと栄養塩が供給され、それらが大潮期の潮汐混合により沿岸域の表層にもたらされ大型ケイ藻が優占する豊かな生態系へと生態系構造が劇的にシフトすることが明らかとなった。

(2)西部瀬戸内海の豊後水道と伊予灘において、晩春から初秋にかけて高頻度・広域の現場観測を実施し、2012年夏季の歴史的な豪雨に伴う沿岸域の海洋低次生態系の応答を捉えることに成功した。そこでは、豪雨に伴い大量の河川水が西部瀬戸内海に流入したことにより、低塩分の低密度水が豊後水道の海洋表層を覆い、急潮と呼ばれ沿岸域の汚濁を洗い流す作用を持つ外洋域からの清浄な黒潮系表層水の進入を妨げていた可能性が高い。また、同時に豊予海峡を河口域とみなしたエスチュアリー循環が強化され、底層では外洋域から富栄養な黒潮系表層水が底入り潮として進入し、外洋域から沿岸域に栄養塩が大量に供給されていたことが示唆された。これらは、2012年夏季に豊後水道愛媛県

沿岸域で発生した史上最悪のカレニア赤潮現象と関連性が高いと思われる。

(3)これまでに開発してきた生態系・物質循環モデルを用いて、モデル中の各種生物の振る舞いが様々に変化したときに、生態系・物質循環の動態にどのような影響を及ぼすかについて感度実験を行うことにより調べた。その結果、動物プランクトンの死亡特性が生態系全体に及ぼす影響が大きいことがわかった。特に、カイアシ類などメソ動物プランクトンの死亡速度の変化が、栄養塩濃度・植物プランクトン現存量・動物プランクトン現存量に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。また、これら生態系・物質循環動態への影響力が大きい生理パラメータについて、応用数学的な手法である遺伝的アルゴリズムを用いたパラメータ最適値推定を推進した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

1. Okunishi, T., S. Ito, D. Ambe, A. Takasuka, T. Kameda, K. Tadokoro, T. Setou, K. Komatsu, A. Kawabata, H. Kubota, T. Ichikawa, H. Sugisaki, T. Hashioka, Y. Yamanaka, N. Yoshie, T. Watanabe: A modeling approach to evaluate growth and movement for recruitment success of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the western Pacific. *Fisheries Oceanogr.*, 21:1, 44-57, 2012.
2. Suzuki, K., A. Kuwata, N. Yoshie, A. Shibata, K. Kawanobe, and H. Saito: Population dynamics of phytoplankton, heterotrophic bacteria, and viruses during the spring bloom in the western subarctic Pacific. *Deep Sea Res. I*, 58, 575-589, 2011.
3. Yoshie, N., X. Guo, N. Fujii, and T. Komorita: Ecosystem and nutrient dynamics in the Seto Inland Sea, Japan. In *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry Vol.5, Modeling and Analysis of Marine Environmental Problems*, ed. by K. Omori, X. Guo, N. Yoshie, N. Fujii, I. C. Handoh, A. Isobe, and S. Tanabe, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 39-49, 2011.

[学会発表](計37件)

1. Yoshie, N., S. Toyokawa, R. Ishimaru, E. Tsutsumi, X. Guo and H. Takeoka: Lower-trophic level ecosystem dynamics in the western Seto Inland Sea,

Japan, Japan Geoscience Union Meeting 2013, Makuhari, Japan, 19th May., Oral.

2. Ito, S., K. Komatsu, N. Yoshie, A. Takasuka, T. Okunishi, T. Kameda, S. Ohno and K. Watanabe: Evaluation of Global Change effect on Pacific saury using ecosystem models, Japan Geoscience Union Meeting 2013, Makuhari, Japan, 19th May., Oral.
3. 吉江直樹, 豊川将平, 石丸梨香, 堤英輔: 2012年夏季の豪雨に対する伊予灘の低次生態系応答, 2013年度日本海洋学会秋季大会, 札幌, 2013年9月22日, 口頭
4. 坂本航平, 吉江直樹, 中川美和: 夏季の東シナ海における植物プランクトン群集構造の短期変動, 2013年度日本海洋学会秋季大会, 札幌, 2013年9月20日, 口頭
5. 中川美和, 郭新宇, 石睿, 堤英輔, 眞野能, 吉江直樹, 岩崎慎介, 笠毛健生: 潮汐フロント周辺でのGPSラジオゾンデ観測: 盛夏と初秋の比較, 2013年度日本海洋学会秋季大会, 札幌, 2013年9月20日, 口頭
6. Taniuchi, Y., T. Kodama, K. Sakamoto, M. Nakagawa, N. Yoshie, T. Hasegawa, K. Hidaka, T. Ichikawa, and A. Kuwata: Distribution of marine diazotrophic cyanobacteria around Japan in the western North Pacific Ocean in summer, 18th International Congress on Nitrogen Fixation, Miyazaki, Japan, 15th Nov., Poster.
7. Yoshie, N., K. Sakamoto, M. Nakagawa, and X. Guo: Drastic change of phytoplankton community in the Kuroshio region of the East China Sea associated with the Kuroshio frontal eddy, Ocean Science Meeting 2014, Hawaii, USA, 27th Feb., Oral.
8. Takahashi, M., S. Itoh, N. Yoshie, K. Mochida, M. Hori, S. Itakura, and Mingyuan Zhu: Ecosystem responses to anthropogenic activities and natural stressors among inland, shelf and oceanic waters in the western North Pacific, 2014 PICES FUTURE Open Science Meeting, Hawaii, USA., 15th-18th Apr., Oral.
9. Yoshie, N., K. Tomita, T. Okunishi, and S. Ito: Numerical analysis of the influences of the meso-zooplankton mortality, Japan Geoscience Union Meeting 2014, Yokohama, Japan, 30th Apr., Oral.
10. Moriya, K., M. Kuwae, M. Yamamoto, T. Kunihiro, H. Onishi, H. Hamaoka, M. Saito, T. Sagawa, N. Fujii, N. Yoshie,

- K. Omori and H. Takeoka: TEX86 and seasonal distributions of archaeal membrane lipids across the chemocline in the modern shallow coastal ocean, JpGU meeting 2012, Chiba, 25th May., 2012, oral.
11. Yoshie, N., N. Fujii, X. Guo, T. Komorita and A. Isobe: Nutrient and phytoplankton responses to the intrusion of oceanic warm water in the western Seto Inland Sea, Japan, 2nd international symposium effects of climate change on the world's oceans, Yeosu, Korea, 19th May, 2012, oral.
 12. Yoshie, N., N. Fujii, X. Guo, T. Komorita, T. Yokokawa and A. Isobe: Ecosystem responses to the oceanic water intrusion in Bungo Channel, Japan, 50th Estuarine Coastal and Shelf Science, Venice, Italy, 6th June, 2012, oral.
 13. Yoshie, N., N. Fujii, X. Guo, T. Komorita, T. Yokokawa and A. Isobe: Ecosystem responses to the oceanic water intrusion from the Kuroshio in the Bungo Channel, Japan, 2012 ASLO Aquatic sciences meeting, Lake Biwa, Japan, 9th July, 2012, oral.
 14. Takahashi, M., S. Itoh, N. Yoshie, K. Mochida, M. Horii and S. Itakura: Comparative study on ecosystem responses to anthropogenic activities and natural stressors among inland, shelf and oceanic waters around Japan, PICES 2012 Annual meeting, Hiroshima, Japan 13th Oct., 2012, oral.
 15. 吉江直樹, 坂本航平, 中川美和, 新田徹, 高部由季, 堤英輔: 豊後水道における夏季の栄養塩分布と植物群集組成, 九州大学応用力学研究所共同研究集会「沿岸海域の物質循環と環境保全」, 福岡, 2012年12月5日, 口頭
 16. 石丸梨香, 郭新宇, 堤英輔, 吉江直樹, 武岡英隆: 大潮と小潮に伴う潮汐フロントと底部冷水の動き: 観測結果, 九州大学応用力学研究所共同研究集会「沿岸海域の物質循環と環境保全」, 福岡, 2012年12月5日, 口頭
 17. 中川美和, 郭新宇, 堤英輔, 眞野能, 吉江直樹, 武岡英隆: 潮汐フロント周辺でのGPSラジオゾンデ観測: 盛夏と初秋の比較, 九州大学応用力学研究所共同研究集会「沿岸海域の物質循環と環境保全」, 福岡, 2012年12月5日, 口頭
 18. 堤英輔, 郭新宇, 吉江直樹, 武岡英隆, 松野健, 李根宗, 上真一, 眞壁竜介: 伊予灘・豊後水道における乱流観測, 九州大学応用力学研究所共同研究集会「沿岸海域の物質循環と環境保全」, 福岡, 2012年12月6日, 口頭
 19. 吉江直樹, 坂本航平, 中川美和, 新田徹, 高部由季, 堤英輔: 2012年夏季の歴史的豪雨に対する豊後水道低次生態系の応答, 2013年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2013年3月22日, 口頭
 20. 吉江直樹, 伊藤進一, 大石俊, 井上龍一郎, 森岡優志: 日本の海洋学における博士課程進学者数および就職先に関する考察, 2013年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2013年3月22日, 口頭
 21. 高部由季, 鈴木翔太郎, 浜崎恒二, 吉江直樹, 上真一, 横川太一, 鈴木聡: 宇和海における酸素非発生型好気性光合成細菌の分布, 2013年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2013年3月22日, 口頭
 22. 堤英輔, 郭新宇, 吉江直樹, 武岡英隆, 松野健: 乱流計測による伊予灘における鉛直混合強度の評価, 2013年度日本海洋学会春季大会, 東京, 2013年3月22日, 口頭
 23. 吉江直樹, 藤井直紀, 郭新宇, 小森田智大, 磯辺篤彦: 豊後水道への外洋水流入に伴う植物プランクトンの応答, 第10回生態系モデリング研究会, 札幌, 2011年8月, 口頭
 24. 藤井直紀, 郭新宇, 吉江直樹, 小森田智大, 武岡英隆: 宇和海沿岸域における鉛直水温分とその変動, 2011年度日本海洋学会秋季大会, 福岡, 2011年9月, 口頭
 25. 吉江直樹, 藤井直紀, 郭新宇, 小森田智大, 磯辺篤彦: 豊後水道における外洋水侵入に対する低次生態系の応答, 2011年度日本海洋学会秋季大会, 福岡, 2011年9月, 口頭
 26. 吉江直樹, 藤井直紀, 奥田悠太, 園本拓彬, 郭新宇, 小森田智大: 夏季の豊後水道における急潮・底入り潮に伴う低次生態系の応答, 九州大学応用力学研究所共同研究集会「沿岸海域の物質循環と環境保全」, 福岡, 2011年12月, 口頭
 27. 小森田智大, 吉江直樹, 藤井直紀, 郭新宇, 横川太一, 濱岡秀樹, 磯辺篤彦: 2011年夏季に豊後水道で観測した急潮と栄養塩動態, 九州大学応用力学研究所共同研究集会「沿岸海域の物質循環と環境保全」, 福岡, 2011年12月, 口頭
 28. 藤井直紀, 吉江直樹, 郭新宇, 小森田智大, 武岡英隆: 瀬戸内海西部におけるミズクラゲ発生予測の試み~宇和海海水温情報システムから, 九州大学応用力学研究所共同研究集会「沿岸海域の物質循環と環境保全」, 福岡, 2011年12月, 口頭
 29. Moriya, K., M. Kuwae, M. Yamamoto, T. Kunihiro, H. Onishi, M. Saito, H. Hamaoka, T. Sagawa, J. Shibata, N. Fujii, N. Yoshie, K. Omori and H. Takeoka: Distributions of archaeal membrane lipid and DNA within the modern coastal shallow marine water column, JpGU 2011, Chiba, 26th May.,

- 2011, poster.
30. Shigemitsu, M., T. Okunishi, J. Nishioka, H. Sumata, T. Hashioka, M. Aita, S. L. Smith, N. Yoshie and Y. Yamanka: Development of a one-dimensional ecosystem model including iron cycle, The 43rd International Liege Colloquium on Ocean Dynamics, Belgium, 4th May, 2011, oral.
 31. Yoshie, N., N. Fujii, X. Guo, T. Komorita, A. Isobe: Phytoplankton response to the intrusion of oceanic warm water in Bungo Channel, Japan. XXV International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) General Assembly 2011, Melbourne, Australia, 30th Jun., 2011, oral.
 32. Takeoka, H., X. Guo, N. Yoshie, N. Fujii and T. Komorita: Detailed Monitoring of Nutrient Supply through Tidal Front in Seto Inland Sea, Japan, EMECS9 Global Summit on Coastal Seas, Baltimore, USA, 29th Aug., 2011, poster
 33. Yoshie, N., X. Guo, N. Fujii, and T. Komorita: Phytoplankton and nutrient dynamics in the western Seto Inland Sea, Japan based on observation and a modified NEMURO model. PICES 2011 Annual meeting, Khabarovsk, Russia, 20th Oct., 2011, oral.
 34. Moriya, K., M. Kuwae, M. Yamamoto, T. Kunihiro, H. Onishi, M. Saito, H. Hamaoka, T. Sagawa, J. Shibata, N. Fujii, N. Yoshie, K. Omori and H. Takeoka: Distributions of crenarchaeal membrane lipids and TEX86 thermometry in the modern enclosed shallow coastal anoxic ocean, AGU Fall meeting 2011, San Francisco, USA, 5th Dec., 2011, poster.
 35. Okunishi, T., D. Ambe, S. Ito, H. Kuroda, T. Setou and N. Yoshie: A modeling study of marine ecosystems in the North Pacific, Ocean science meeting 2012, Salt lake City, USA, 22th, Feb., 2012, poster.
 36. 吉江直樹, 藤井直紀, 奥田悠太, 園本拓彬, 郭新宇, 小森田智大, 磯辺篤彦: 夏季の豊後水道における外洋水流入に伴う低次生態系の応答, 第11回生態系モデリング研究会, 札幌, 2012年3月, 口頭
 37. 吉江直樹, 藤井直紀, 奥田悠太, 園本拓彬, 郭新宇, 小森田智大, 磯辺篤彦: 夏季の豊後水道における外洋水流入に伴う低次生態系の応答, 2012年度日本海洋学会春季大会, つくば, 2012年3月, 口頭

〔図書〕(計1件)

1. 吉江直樹: 第14章 海洋生態系とモデリング, 日本海洋学会沿岸海洋研究会編, 詳論沿岸海洋学, 恒星社厚生閣, 229-246 (261), 2014

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ehime-u.ac.jp/~cmes/engan/kanadou/staff/staff.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉江 直樹 (Naoki Yoshie)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・講師

研究者番号: 50374640