

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2012

課題番号：21310012

研究課題名（和文） 気候変動が沿岸域の栄養塩動態に及ぼす影響に関する研究

研究課題名（英文） Influences of climate change on nutrient dynamics in the East China Sea and Seto Inland Sea

研究代表者

郭 新宇 (GUO XINYU)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・准教授

研究者番号：10322273

研究成果の概要（和文）：

東シナ海と瀬戸内海をモデル海域として、数値生態系モデルを構築し、モデル実験より両海域での陸起源栄養塩と外洋起源栄養塩の輸送・循環過程を解明するとともに、年間基礎生産量に対する陸起源栄養塩と外洋起源栄養塩の寄与率を算出した。また、両海域が面している黒潮域における栄養塩輸送の空間構造と時間変化および黒潮中層水の栄養塩濃度の時間変化を観測データから明らかにした。さらに、モデル実験より、陸域と黒潮域での栄養塩濃度の変化に対する沿岸域での栄養塩濃度と基礎生産量の応答を検討した。

研究成果の概要（英文）：

We developed a low-trophic ecosystem model for the East China Sea and Seto Inland Sea, respectively, clarified the transport and cycle processes of land-source and ocean-source nutrients, and calculated their contributions to annual primary production in the seas. Using historical observation data, we revealed the spatial and temporal variations in nutrient transport by the Kuroshio and the temporal variations of nutrient concentration in the middle layer of Kuroshio region, which is a background faced by two coastal seas. Furthermore, using numerical experiments, we examined the responses of standing stock of nutrients and primary in the seas to the concentration change of nutrients in the Kuroshio region and from land.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2010年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2011年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2012年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：物質循環・海洋科学・栄養塩輸送・外洋起源栄養塩

1. 研究開始当初の背景

海の一次生産力（基礎生産）を支えるのは栄養塩である。温暖化に伴って鉛直成層が強くなり、外洋では深層からの栄養塩供給が減少することがほぼ確実であるが、沿岸域では

その影響は大きくないと考えられていた。これは、沿岸域の栄養塩が主として河川水や地下水の流入によって陸から供給されていると考えられていたためである。しかしながら、この常識を覆すような知見が東シナ海や瀬

戸内海の近年の研究で得られつつある。例えば、東シナ海では約5割の栄養塩が黒潮中層水起源であるといわれており、東シナ海より遙かに閉鎖的な瀬戸内海では、その閉鎖性にもかかわらず約6割もの栄養塩が外洋起源と推定されている。温暖化による鉛直成層の強化を考える限り、これらの外洋起源栄養塩も温暖化により減少する可能性が高い。一方、地球シミュレータによる高解像度大気海洋結合モデルの温暖化予測によると、80年後には黒潮の流速が現在より3割大きくなることが報告されている。海洋力学的に考えると、黒潮の強化は東シナ海や瀬戸内海のような黒潮沿岸域への黒潮中層水の進入に有利に働き、外洋起源栄養塩の供給を増やす効果がある。このように、気候変動によって沿岸域の栄養塩環境がどのように変化するかについては、まだ定まったシナリオはなく、その影響過程を早急に解明する必要がある。

2. 研究の目的

開放的な東シナ海と閉鎖的な瀬戸内海をモデル海域とし、数値生態系モデルを構築し、モデル実験より両海域での陸起源栄養塩と外洋起源栄養塩の輸送・循環過程を解明するとともに、年間基礎生産量に対する陸起源栄養塩と外洋起源栄養塩の寄与率を算出する。また、両海域が面している黒潮による栄養塩輸送の実態と黒潮中層水の栄養塩濃度の変化を観測データから明らかにし、両海域への影響を検討する。また、瀬戸内海での現地観測を実施し、栄養塩の輸送・循環過程に関する重要なプロセスを確認する。

3. 研究の方法

本研究では、まず東シナ海と瀬戸内海での栄養塩動態を表現できる数値生態系モデルを構築し、栄養塩とクロロフィル a (Chl a) の空間分布と季節変化を再現する。東シナ海では、光環境に影響する懸濁粒子の輸送モデルも構築する。モデルの境界条件として、東シナ海と瀬戸内海の陸起源栄養塩負荷と黒潮域の栄養塩濃度の季節変化と経年変化を把握する。陸起源栄養塩負荷については、河川以外に地下水の影響も検討する。黒潮域の栄養塩濃度の変動要因を把握するため、既存の海洋観測データを利用して、黒潮による栄養塩輸送量の空間変化と時間変動を明らかにする。また、モデル結果を検証するため、現地観測と衛星データ解析より、東シナ海と瀬戸内海における栄養塩と Chl a の時空間変動特性を明らかにする。

続いて、観測データに検証された数値生態系モデルを用いて、東シナ海と瀬戸内海における年間基礎生産に対する陸起源栄養塩と外洋起源栄養塩の寄与率を算出する。また、同数値生態系モデルを用いて、地域的な人間

活動による陸起源栄養塩負荷の長期変化と地球規模の気候変動による外洋起源栄養塩濃度の長期変化に対する応答実験を行い、両海域での結果を比較しながら、人為的な擾乱および気候変動による栄養塩供給変動に対する沿岸域生態系での応答シナリオを提示する。

4. 研究成果

(平成 21 年度)

初年度には、数値モデルの境界条件と初期条件を決めるために、豊後水道や黒潮流域での観測データを収集し、いくつかの断面における栄養塩濃度の月平均値を作成した。また、東シナ海と瀬戸内海に流入する陸起源栄養塩フラックスの季節変化を把握するため、各海域に流入する河川の流量と栄養塩濃度を既存の文献、報告書およびデータベースから収集し、栄養塩フラックスの推定を行った。さらに、瀬戸内海の成層海域と混合海域における植物プランクトン種組成と物理環境および栄養塩環境との関係を知るため、伊予灘、佐田岬と豊後水道で月一回の現地観測を実施し、海底有機物の分解により供給される栄養塩が基礎生産に対して重要であることを明らかにし、成層構造の変化に伴う栄養塩濃度と植物プランクトン種類の変化の特性を把握することができた。これらの知見は瀬戸内海低次生態系モデル構築の基礎となる。一方、東シナ海低次生態系モデルの高精度化を図るため、東シナ海における懸濁粒子モデルの開発を行い、既存の海洋循環モデルに再懸濁プロセスを組み込み、一定の沈降速度を持つ懸濁粒子（泥）について予備的な数値シミュレーションを行った。その結果、モデルは観測された季節変化および空間分布の特徴を定性的によく再現できた。

(平成 22 年度)

初年度に続いて、東シナ海の生態系モデルのチューニングや感度実験を継続し、モデルのパフォーマンスの向上を図った。その後、検証済みのモデルを用いて、外洋起源栄養塩濃度の増減に対する東シナ海の低次生態系の応答を解析した。その結果、東シナ海の陸棚斜面上の栄養塩濃度は外洋起源栄養塩濃度の増減に対して顕著な反応を示した。また、外洋起源栄養塩濃度の増減に伴い、陸棚斜面上の Chl.a も変わることから、外洋起源栄養塩が東シナ海の基礎生産に貢献していることがわかった。さらに、東シナ海の懸濁粒子モデルの開発を継続して行い、細かい粒子を対象とするシミュレーションでは、大潮・小潮に伴う濃度変化を表現できるようになった。瀬戸内海では、月一回の観測データから栄養塩の季節変化と経年変化を解析し、その変動要因を検討した。その結果、冬期の外洋水の進入が水温と栄養塩データから初めて

確認できた。また、黒潮流量の経年変動や PDO との対応関係および、黒潮流域における栄養塩濃度の長期変化や黒潮による栄養塩の輸送フラックスの時間変化と空間構造についての検討を開始した。

(平成 23 年度)

黒潮流軸方向の栄養塩輸送について、気象庁の長期観測データを用いて、東シナ海の PN 断面における栄養塩輸送量の空間構造と時間変動に関する解析を行った。この結果、黒潮流域では深度 400m を中心とする領域に最大の栄養塩輸送量が存在することや、黒潮流速および流動構造の変化は、黒潮の栄養塩輸送量の時間変動の主な要因であることを明らかにした。また、黒潮中層および底層の栄養塩濃度は 2004 年以後に顕著に上昇したことも示した。一方で、黒潮起源の栄養塩が東シナ海の大陸棚上へ進入するメカニズムを数値トレーサー実験によって明らかにした。結果は次の通りである。黒潮中層水は東シナ海大陸棚端の 100m と 200m 等深線の間常に存在し、底層の高い栄養塩濃度を維持している。この黒潮中層水は主に春から夏にかけて東シナ海の大陸棚上に進入する。この進入を支配しているのは台湾海峡流量に比例する台湾北部の表層流である。台湾北部表層での流れが春から夏にかけて強くなると、その底層に形成される Bottom Ekman 流により、100m と 200m 等深線の間常に存在する黒潮中層水が東シナ海の大陸棚上に運ばれることになる。また、この進入過程は長江の流量変化に影響されないことが確認された。

(平成 24 年度)

東シナ海の低次生態系における栄養塩の役割を明らかにするために、東シナ海における栄養塩総量と植物プランクトン総量に対する起源の異なる栄養塩の寄与を、栄養塩濃度と基礎生産の季節変化を再現する数値生態系モデルを用いて定量的に評価した。栄養塩起源として、黒潮、台湾暖流、河川（主に長江）、大気降水物、海底堆積物を考えた。モデル結果によると、黒潮流域からの栄養塩供給は、東シナ海の栄養塩総量の 6 割、植物プランクトン総量の 7 割を占める一方で、台湾暖流、河川、海底堆積物が供給する栄養塩は、いずれも東シナ海の栄養塩総量と植物プランクトン総量の約 1 割を占めた。大気からの栄養塩供給の影響は、東シナ海の栄養塩総量と植物プランクトン総量の 5% 以下にとどまった。この結果は東シナ海の栄養塩および植物プランクトン総量に対して、黒潮や台湾暖流を起源とする外洋性栄養塩が重要であることを示す。また、黒潮流軸方向の栄養塩輸送について、昨年度に解析した東シナ海から日本南岸に拡張して、黒潮による栄養塩輸送の空間変化を解析した。解析結果より、日本南岸における栄養塩輸送量の 2 割は東シナ

海の黒潮から、3 割は琉球海流から、5 割は黒潮再循環から流入してることが分かった。この他に、豊後水道における栄養塩の季節変化と経年変化について、外洋起源と内海起源の栄養塩の寄与率を評価した。また、外洋起源栄養塩の豊後水道への流入メカニズムとして、河川から内海に流入する淡水供給によって励起される豊後水道における河口循環流の可能性を新たに提起した。

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 20 件)

1. 郭新宇・于晓杰・武岡英隆(2013): 大潮・小潮に連動する潮汐フロント、底部冷水と河口循環流. 沿岸海洋研究. 50, 131-140. 査読付
2. Guo, X., Zhu, X.-H., Wu, Q.-S., and Huang, D. (2012): The Kuroshio nutrient stream and its temporal variation in the East China Sea. Journal of Geophysical Research-Oceans, 117, C01026, doi:10.1029/2011JC007292. 査読付
3. Ono, J., Takahashi, D., Guo, X., Takahashi, S., Takeoka, H. (2012): A numerical study on the seasonal variability of polychlorinated biphenyls from the atmosphere in the East China Sea. Chemosphere, 89, 389-397. 査読付
4. Hu, Y., Zhao, L., Guo, X., Wei, H. (2012): Variations of the water temperature offshore the Changjiang River Estuary in winters and springs. Oceanologia et Limnologia Sinica, 43, 655-661 (in Chinese with English abstract). 査読付
5. Miyazawa, Y., Miyama, T., Varlamov, S. M., Guo, X., and Waseda, T. (2012): Open and coastal sea interactions south of Japan detected by an ensemble Kalman Filter. Ocean Dynamics, 62, 645-659, DOI 10.1007/s10236-011-0516-2. 査読付

6. Ono, J. and Guo, X. (2012): Modeling of suspended particulate matter in the East China Sea. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 6, *Advanced Environmental Studies by Young Scientist*. Kawaguchi, M., Misaki, K., Sato, H., Yokokawa, T., Itai, T., Tue, N. M., Ono, J. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 311-320. 査読付
7. Saito, M., Onodera, S., Guo, X., Onishi, K., Shimizu, Y., Yoshikawa, M., Jin, G., Tokumasu, M. and Takeoka, H. (2012): Seasonal variation of the ^{222}Rn concentration in the central part of the Seto Inland Sea, Japan. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 6, *Advanced Environmental Studies by Young Scientist*. Kawaguchi, M., Misaki, K., Sato, H., Yokokawa, T., Itai, T., Tue, N. M., Ono, J. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 339-344. 査読付
8. Zhao, L., and Guo, X. (2011): Influence of cross-shelf water transport on nutrients and phytoplankton in the East China Sea: a model study. *Ocean Science*, 7, 27-43, doi:10.5194/os-7-27-2011. 査読付
9. 郭新宇 (2011) : 東シナ海における外洋起源栄養塩の輸送量と低次生態系への影響. *水環境学会誌*. 34, 293-296. 査読なし
10. Guo, X. and Zhao, L. (2011): Response of nutrients and primary production over the shelf in the East China Sea to the reduction of oceanic nutrient supply. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 5, *Modeling and Analysis of Marine Environmental Problems*, Omori, K., Guo, X., Yoshie, N., Fujii, N., Handoh, I. C., Isobe, A. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 19-30. 査読付
11. Yoshie, N., Guo, X., Fujii, N. and Komorita, T. (2011): Ecosystem and nutrient dynamics in the Seto Inland Sea, Japan. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 5, *Modeling and Analysis of Marine Environmental Problems*, Omori, K., Guo, X., Yoshie, N., Fujii, N., Handoh, I. C., Isobe, A. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 39-49. 査読付
12. Saito, M., Guo, X., Onodera, S., Shimizu, Y., Kato, Y., Tokumasu, M. and Takeoka, H. (2011): Spatial variation of submarine groundwater discharge (SGD) in the central part of Seto Inland Sea. *Interdisciplinary Studies on Environmental Chemistry*, Vol. 5, *Modeling and Analysis of Marine Environmental Problems*, Omori, K., Guo, X., Yoshie, N., Fujii, N., Handoh, I. C., Isobe, A. and Tanabe, S. (Eds), TERRAPUB, Tokyo, Japan, 117-123. 査読付
13. 兼田淳史・小泉喜嗣・高橋大介・福森香代子・郭新宇・武岡英隆 (2010) : 2007年宇和海下波湾における有害渦鞭毛藻 *Karenia mikimotoi* 赤潮の底入り潮の発生による消滅. *水産海洋研究*, 74, 167-175. 査読付
14. 郭新宇・Varlamov, S.M.・宮澤泰正(2010) : 入れ子手法による沿岸海洋モデリング. *沿岸海洋研究*, 47, 113-123. 査読付
15. Zhu, X., Huang, D., and Guo, X. (2010): Autumn intensification of the Ryukyu Current during 2003-2007. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 53, 1-7, doi: 10.1007/s11430-010-0022-2. 査読付
16. Chang, P.-H., Guo, X., and Takeoka, H. (2009): A numerical study on the seasonal

circulation in the Seto Inland Sea, Japan. Journal of Oceanography, 65, 721-736. 査読付

17. Lin, S., Zou, T., Gao, H., and Guo, X. (2009): The vertical attenuation of irradiance as a function of turbidity: a case of the Yellow Sea in spring. Acta Oceanologica Sinica, 28, 66-75. 査読付
18. Valle-Levinson, A., and Guo, X. (2009): Asymmetries in tidal flow over a Seto Inland Sea scour pit. Journal of Marine Research, 67, 619-635. 査読付
19. Takahashi, D., Guo, X., Morimoto, A., and Kojima, S. (2009): Biweekly periodic variation of the Kuroshio axis northeast of Taiwan as revealed by ocean high-frequency radar. Continental Shelf Research, 29, 1896-1907. 査読付
20. Miyazawa, Y., Zhang, R., Guo, X., Tamura, H., Ambe, D., Lee, J.-S., Okuno, A., Yoshinari, H., Setou, T., and Komatsu, K. (2009): Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis. Journal of Oceanography, 65, 737-756. 査読付

[学会発表] (計 84 件)

1. Guo, X., Soeyanto, E., Ono, J., and Miyazawa, Y.: Interannual variability in the sea level and Kuroshio transport in the East China Sea detected by a data assimilation ocean model. AOGS-AGU(WPGM)Joint Assembly2012.2012年08月19日.Singapore.
2. Guo, X., Yu, X., Chang, P. H., Takahashi, D., Futamura, A., Takeoka, H.: Competition of a local cyclonic eddy and estuarine circulation in the Iyo-nada, Seto Inland Sea, Japan. 2012 ASLO aquatic sciences meeting. 2012年07月10日. Lake Biwa, Shiga.
3. Saito, M., Onodera, S., Guo, X., Onishi, K., Yoshikawa, M., Jin, G., Shimizu, Y., Tokumasu, M. and Takeoka, H.: Spatial and temporal variation of submarine groundwater discharge (SGD) in semi-enclosed coastal sea, western Japan. 2012 ASLO aquatic sciences meeting. 2012年07月09日. Lake Biwa, Shiga.
4. Yoshie, N., Fujii, N., Guo, X., Komorita, T., Yokokawa, T., and Isobe, A.: Ecosystem responses to the oceanic water intrusion in Bungo Channel, Japan. 50th Estuarine Coastal and Shelf Science. 2012年06月06日. Venice, Italy.
5. Guo, X., Zhu, X., Huang, D. and Wu, Q.: Downstream nutrient transport by the Kuroshio in the East China Sea and its temporal variations. 2012 Ocean Science Meeting. 2012年02月22日, Salt Lake City, USA.
6. Ono, J., and Guo, X.: Seasonal and tidal variations of suspended particulate matter in the East China Sea. 2012 Ocean Science Meeting. 2012年02月22日, Salt Lake City, USA.
7. Yoshie, N., Guo, X., Fujii, N. and Komorita, T.: Phytoplankton and nutrient dynamics in the western Seto Inland Sea, Japan based on observation and a modified NEMURO model. PICES-2011 (North Pacific Marine Science Organization). 2011年10月27日. Khabarovsk, Russia.
8. Komorita, T., Guo, X., Yoshie, N., Fujii, N., and Takeoka, H.: Detailed monitoring of nutrient supply through tidal front in Seto Inland Sea, Japan. EMECS9 Global Summit on Coastal Seas. 2011年09月1日. Baltimore, USA.

9. Guo, X. and Zhao, L.: Transport of oceanic nutrients and its influences on primary production over the shelf in the East China Sea. The XXV IUGG General Assembly 2011 (招待講演). 2011年06月30日. Melbourne, Australia.
10. Guo, X. and Zhang, J.: Tracer transport modeling on Kuroshio subsurface water intrusion onto the shelf of East China Sea. The 43rd International Liege Colloquium on Ocean Dynamics. 2011年05月04日. Liege, Belgium.
11. 郭新宇・藤井直紀・小森田智大・吉江直樹・武岡英隆: 夏季の伊予灘における底部冷水I: 物理構造. 2010年度日本海洋学会春季大会. 2010年3月27日. 東京.
12. 小森田智大・郭新宇・藤井直紀・吉江直樹・武岡英隆: 夏季の伊予灘における底部冷水II: 栄養塩動態. 2010年度日本海洋学会春季大会. 2010年3月27日. 東京.
13. 吉江直樹・藤井直紀・小森田智大・郭新宇・武岡英隆: 夏季の伊予灘における底部冷水III: 植物プランクトン. 2010年度日本海洋学会春季大会. 2010年3月27日. 東京.
14. 藤井直紀・郭新宇・小森田智大・吉江直樹・武岡英隆: 夏季の伊予灘における底部冷水IV: 動物プランクトン. 2010年度日本海洋学会春季大会. 2010年3月27日. 東京.
15. Guo, X. and Zhao, L.: Simulation of seasonal variations of Chlorophyll in the Yellow and East China Seas. MOCA-09. 2009年7月20日. Montréal, Canada.

6. 研究組織

(1)研究代表者

郭新宇 (GUO XINYU)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・准教授

研究者番号: 10322273

(2)研究分担者

武岡英隆 (TAKEOKA HIDETAKA)
愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・教授

研究者番号: 90116947

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

木村 詞明 (KIMURA NORIAKI)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・グローバルCOE研究員

研究者番号: 20374647

小野 純 (ONO JUN)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・学術研究員

研究者番号: 20451411

齋藤 光代 (SAITO MITSUYO)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・研究機関研究員

研究者番号: 20512718

小森田 智大 (KOMORITA TOMOHIRO)

愛媛大学・沿岸環境科学研究センター・研究機関研究員

研究者番号: 10554470

(3)連携研究者

宮澤 泰正 (MIYAZAWA YASUMASA)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・チームリーダー

研究者番号: 90399577