

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740365

研究課題名(和文) 海洋生態系・同位体分子種モデルを用いた海洋からのN₂O排出を支配する要因の解明研究課題名(英文) Understandings of the determining factor of oceanic N₂O emissions by using a marine ecosystem isotopomer model

研究代表者

吉川 知里 (YOSHIKAWA, Chisato)

独立行政法人海洋研究開発機構・生物地球化学研究分野・技術研究員

研究者番号：40435839

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、N₂O循環解析の強力な指標である同位体分子種(アイソトポマー)を用いることで、これまでの濃度情報のみではその識別が難しかった「硝化」と「脱窒」の両プロセスによるN₂O生成を陽に扱った海洋生態系モデルを構築し、西部北太平洋の亜寒帯と亜熱帯の定点(K2とS1)に適用した。モデルは、観測されたN₂O濃度や窒素同位体比、同位体分子種比の季節変化を再現でき、年平均N₂O放出量は、K2が32.3mgN/m²/yr、S1が2.7mgN/m²/yr、と見積もられた。また感度実験の結果、K2では主に硝化によって、S1では硝化とともに硝化菌脱窒によってN₂Oが生成されていることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：A marine ecosystem model that incorporates nitrous oxide (N₂O) production processes (i.e., ammonium oxidation during nitrification and nitrite reduction during nitrifier denitrification) and N isotopomers was developed to estimate the sea-air N₂O flux and to quantify N₂O production processes. This model was applied to surface water at two contrasting time series sites, a subarctic station (K2) and a subtropical station (S1) in the western North Pacific. The model was validated with observed N concentration and N isotopomer datasets, and successfully simulated the higher N₂O concentrations. The annual mean N₂O emissions were estimated to be 32.3 mgNm⁻²yr⁻¹ at K2 and 2.7 mgNm⁻²yr⁻¹ at S1. The results of case studies based on this model suggested that N₂O was mainly produced via ammonium oxidation at K2 but was produced via both ammonium oxidation and nitrite reduction at S1.

研究分野：生物地球化学

キーワード：同位体分子種 海洋生態系モデル 一酸化二窒素 海洋窒素循環

1. 研究開始当初の背景

一酸化二窒素 (N_2O) の収支や変動要因の理解は、地球温暖化対策やオゾン層保護において重要な研究課題である。しかし、 N_2O の総排出量の見積もり幅は $8.5\text{--}27.7\text{TgN yr}^{-1}$ と極めて大きく (IPCC, 2007)、各排出起源の見積もりの高精度化が求められている。海洋は総排出量の 21% を占める重要な排出源であり、海洋からの N_2O 排出量の見積もりはこれまで様々な手法が試みられてきたが、 $0.9\text{--}8.0\text{TgN yr}^{-1}$ と未だに大きな幅を持つ。

これまでの海洋 N_2O 循環モデルでは、 N_2O 濃度と O_2 濃度の観測値の逆相関関係をもとに作られた経験式と、モデルで予報した O_2 濃度から、 N_2O 濃度と排出フラックスが予報されてきた (Suntharalingam and Sarmiento, 2000 など)。

しかし、実際の海洋において硝化時と脱窒時とは全く異なるメカニズムで N_2O 濃度と O_2 濃度が変化するため、海洋からの N_2O 排出量を正確に見積もるためには、これらの過程を陽に扱うモデルを用いて、 N_2O 排出量の見積もりや排出を支配する要因の解明を行う必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、 N_2O 循環解析の強力な指標である同位体分子種 (アイソトポマー) を用いることで、これまでの濃度情報のみではその識別が難しかった「硝化」と「脱窒」の両プロセスによる N_2O 生成を、陽に扱った海洋生態系モデルを世界で初めて構築する。また同モデルを用いて、海洋からの N_2O 排出を支配する要因の解明と排出量の高精度な見積もりを目指す。

3. 研究の方法

(1) 西部北太平洋の定点観測航海に参加して洋上大気と海水を採取し、モデル構築に必要な N_2O の同位体分子種比とクロロフィル、硝酸 (NO_3) の同位体比を測定して N_2O 生成過程を定性的に把握する。

(2) 測定結果をもとに硝化と脱窒を陽に扱った海洋生態系・同位体分子種モデルを構築・検証し、西部北太平洋の 2 つの定点における N_2O 生成過程の定量的な解明と N_2O 排出量の見積もりを行う。

4. 研究成果

(1) 海洋観測と同位体比測定

海洋研究開発機構の海洋地球研究船「みらい」による調査航海 MR12-02、MR13-04、MR14-04 に参加し、西部北太平洋の亜熱帯と亜寒帯の 2 つの定点近辺 (K2 と S1) (図 1) において、硝酸・クロロフィル・ N_2O 同位体比・同位体分子種比測定用試水の採取を行い、硝酸の窒素・酸素同位体比、クロロフィルの炭素・窒素同位体比、 N_2O の窒素・酸素同位体比と同位体分子種比を測定した。また

MR13-04 と MR14-04 では、船上において ^{15}N トレーサー添加培養実験を行い、硝化による N_2O 生成速度と NO_3 生成速度を推定した。

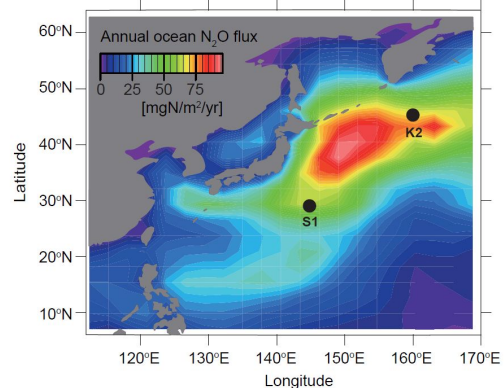


図 1: EDGAR の N_2O 放出量と西部北太平洋の定点 K2 と S1

(2) モデルの構築

これまでに得られた窒素同位体比を含む観測データをもとに、既存の海洋窒素循環同位体モデルに、新たに N_2O を導入し (図 2)、K2 と S1 に適用した。

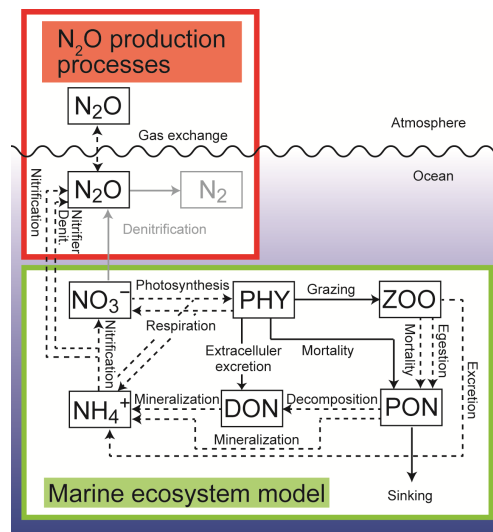


図 2: 海洋 N_2O アイソトポマーモデルの概念図。点線矢印は同位体分別が起こる過程、灰色の要素と矢印は本研究では未導入な要素と過程を示している。

同モデルは、観測されたクロロフィルと硝酸の濃度と窒素同位体比の季節変化を概ね再現することができた (図 3)。

K2 は鉄律速の海域であるため (Fujiki et al., 2014)、表層の硝酸濃度は夏でも $5\mu\text{M}$ 以下にはならない。生物生産が活発な春から秋にかけて、表層の硝酸濃度の低下とともに、硝酸の窒素同位体比とクロロフィルの窒素同位体比は上昇した。これは、植物プランクトンが ^{14}N からなる硝酸を選択的に取り込むためである。

一方、S1 は貧栄養海域であるため、年間を通して表層の硝酸濃度は $0.5\mu\text{M}$ 以下であった。

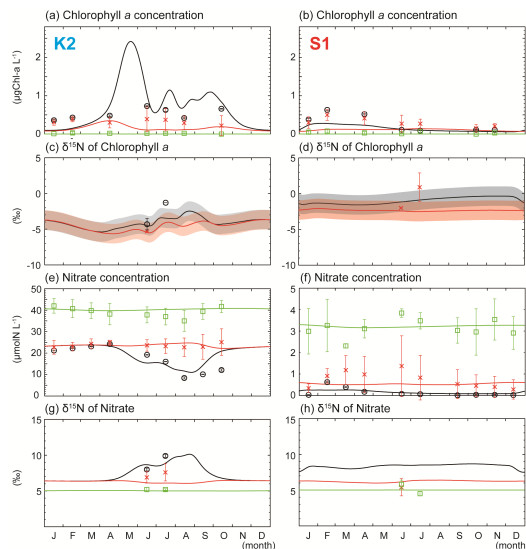


図3: K2 と S1 におけるクロロフィルと硝酸の濃度と窒素同位体比。上層は黒、中層は赤、下層は緑、シンボルは観測結果、実線はモデル結果である。

クロロフィルの窒素同位体比が K2 よりも S1 の方が高かった要因は、S1 は K2 よりも硝酸利用効率が高かったためであると推測される。

また同モデルは、N₂O の濃度と同位体分子種の季節変化を概ね再現することができた(図4)。

K2 は S1 よりも高い N₂O 濃度を示した。これは、K2 の方が生物生産や硝化活性が高いことと、水塊年齢が古く、硝化が進んだ海水が深層から表層へ供給されていることが、その要因として考えられる。

同モデルによる N₂O 放出量は、K2 が 32.3mgN/m²/yr、S1 が 2.7mgN/m²/yr、と見積もられた。

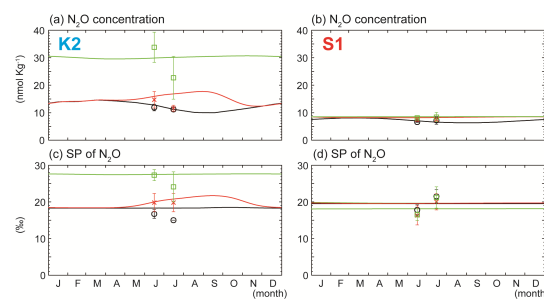


図4: K2 と S1 における N₂O の濃度と同位体分子種比。上層は黒、中層は赤、下層は緑、シンボルは観測結果、実線はモデル結果である。

さらに本研究では、同モデルを用いて N₂O 生成プロセスについて感度実験を行った。N₂O の同位体分子種比と感度実験の比較から、K2 では主に硝化によって、S1 では硝化とともに硝化菌脱窒によって N₂O が生成されていることが示唆された。また N₂O の窒素同位体比と感度実験の比較から、両サイトにおい

てアンモニア酸化細菌とともにアンモニア酸化古細菌の寄与が約半分を占めることが示唆された。この結果は、前年度に行った古細菌阻害剤と ¹⁵N トレーサーを用いた培養実験による N₂O 生成速度の見積もり結果と整合的であった。

本研究の結果は、Yoshikawa et al., *Submitted* へまとめた。今後は、貧酸素水塊が広がる東部熱帯太平洋やインド洋において海洋観測・同位体比測定を行い、同モデルに脱窒過程を導入する予定である。また、同モデルを全球へ展開し、全球海洋 N₂O 放出フラックスを見積もる予定である。

< 引用文献 >

- IPCC Working group I (2007) Climate change 2007: The physical science basis. Suntharalingam P, Sarmiento JL (2000) Factors governing the oceanic nitrous oxide distribution: Simulations with an ocean general circulation model. *Global Biogeochem. Cycles*, 14(1), 429–454. doi:10.1029/1999GB900032
- Fujiki T, Matsumoto K, Mino Y, Sasaoka K, Wakita M, Kawakami H, Honda MC, Watanabe S, Saino T (2014) The seasonal cycle of phytoplankton community structure and photo-physiological state in the western subarctic gyre of the North Pacific. *Limnology and Oceanography* 59(3), 887-900.
- Yoshikawa, C., H. Abe, M.N. Aita, F. Breider, K. Kuzunuki, N.O. Ogawa, H. Suga, N. Ohkouchi, S.O. Danialache, M. Wakita, M.C. Honda, S. Toyoda and N. Yoshida, Insights into the production of nitrous oxide in the western North Pacific using a marine ecosystem isotopomer model. *J. Oceanogr.*, (*Submitted*).

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)

[学会発表](計 11 件)

吉川知里、海洋生態系 同位体分子種モデルを用いた西部北太平洋における N₂O 生成プロセスの解明、海洋生態系モデリングの最前線: 成果、連携、次世代への展開、2015 年 3 月 5 日、東京大学、千葉県柏市

笹井義一、吉川知里、S.L.Smith, 松本和彦、本多牧夫、西部北太平洋亜寒帯・亜熱帯循環観測点 (K2S1) における基礎生産力の季節変動、2014 年日本海洋学会秋季大会、2014 年 9 月 14 日、長崎大学、長崎県長崎市

Ogawa, N.O., C. Yoshikawa, H. Suga, Y. Chikaraishi, N. Ohkouchi, Nitrogen isotope of chlorophyll a in the surface ocean, The

7th International Symposium on Isotopomers, July 1, 2014, 東京工業大学、東京都目黒区

Breider F., C. Yoshikawa, S. Toyoda, N. Yoshida, Origin and fluxes of nitrous oxide in Western North Pacific: controls and potential consequences of ocean acidification, The 7th International Symposium on Isotopomers, July 1, 2014, 東京工業大学、東京都目黒区

小川奈々子、吉川知里、菅寿美、大河内直彦、海洋有光層の窒素循環解析ツールとしてのクロロフィル窒素同位体比、日本地球惑星科学連合 2014 年大会、2014 年 4 月 28 日、パシフィコ横浜、神奈川県横浜市

Yoshikawa, C., Insights into the production processes of N₂O in the western north Pacific by using a marine ecosystem model including nitrogen isotopes, Symposium of nitrogen isotopes, September 9, 2013, 東京農工大学、東京都府中市

Breider F., C. Yoshikawa, S. Toyoda, N. Yoshida, Assessing the effects of ocean acidification on nitrous oxide production using stable isotopes and isotopomers analysis, 3rd International conference on nitrification ICON3, September 4, 2013, 中央大学、東京都千代田区

吉川知里、阿部瞳、野口真希、葛貫桂一、セバスチアンダニエラチェ、豊田栄、吉田尚弘、同位体分子種比を用いた西部北太平洋における N₂O 生成メカニズムの解析、日本地球惑星科学連合 2013 年大会、2013 年 5 月 12 日、幕張メッセ、千葉県千葉市

野口真希、吉川知里、阿部瞳、喜多村稔、小針統、吉田尚弘、窒素安定同位体比を用いた低次海洋生態系-物質循環解析、2013 年度日本海洋学会シンポジウム、2013 年 3 月 21 日、東京海洋大学、東京都港区

阿部瞳、吉川知里、野口真希、豊田栄、吉田尚弘、窒素安定同位体を用いた海洋一酸化二窒素の生成過程の解明、2012 年度日本地球化学会、2012 年 09 月 11 日 ~ 13 日、九州大学、福岡県福岡市

Abe, H., C. Yoshikawa, M. N. Aita, S. Toyoda, N. Yoshida, A study of the marine nitrous oxide using an ecosystem model including nitrogen isotopes, 2012 ASLO Aquatic science meeting, July 9-13, 2012, びわ湖ホール、滋賀県大津市

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.jamstec.go.jp/res/ress/yoshikawac/index.html>

(1)研究代表者

吉川 知里 (YOSHIKAWA, Chisato)

独立行政法人海洋研究開発機構・生物地球化学研究分野・技術研究員

研究者番号：40435839