

日本における海洋物質循環・海洋生態系モデリング: 最近20年間レビューおよび今後の発展性

Modeling of marine biogeochemical and ecosystem in Japan: future perspective and review during the last 20 years

山中 康裕^{1*}

Yasuhiro Yamanaka^{1*}

¹ 北海道大学大学院地球環境科学研究院

¹ Faculty of Earth Environmental Science, Hokkaido University

大循環を考慮した海洋物質循環モデルの開発は Bacastow and Maier-Reimer(1990)、海洋生態系モデルでは、Fasham(1993)により行われた(国内では、例えば Yamanaka and Tajika(1996)、Kawamiya et al.(2000))。2000年頃、海洋物質循環モデルも、より短い時間スケールに注目するにつれて、亜寒帯海域での春季ブルームに伴う栄養塩や二酸化炭素分圧の低下など、明示的に生態系を表現することが多くなり、海洋生態系モデルと同程度の生物過程を表現したものが主流となった。その頃、微量栄養塩である鉄循環の表現は、両者にとって重要な課題であり、気候と炭素循環を同時で扱うことも行われ、ほぼ現在の研究の枠組みが完成した。

誰しもが、数十、数百、数千、数万種といったプランクトンやネクトンからなる海洋生態系をより詳しく取り扱ったモデルを開発したいと思う。その第一歩として、生態系に対して、栄養塩やプランクトンを明示的に比較的少数の予報変数で取り扱う、機能別プランクトングループ(Plankton Functional Types, PFTs)が導入された(例えば Le Quere, 2005; Kishi et al., 2007)。PFTs モデルには2つの方向性、物質循環のため、あるいは、生態系のためが存在する。前者は物質フローが大きい植物プランクトンに注目し、後者は魚などの高次捕食者への食物連鎖の役割をもつ動物プランクトンに注目して区分する。PFTs モデルの2つの方向性を同時に満たすには、プランクトン数×元素組成数(さらに食物連鎖網の捕食関係はプランクトン数の二乗に比例)という膨大な予報変数が必要するため、それぞれの方向へ分化するだろう。モデルの複雑さを議論する際には、予報変数の数に単に注目することが多かった(e.g., Friedrichs et al., 2007)。しかし、個別の素過程やパラメータのトレードオフの研究が重要な改良を促すことも事実である。例えば、Smithらは、栄養塩取り組みの最適化の考え(Pahlow, 2005)に基づき、古典的なミカエリスメンテンにおける半飽和定数ではなく、立ち上がり定数(Affinity)による定式化、また、非制限栄養塩の取り込みは制限栄養塩のパラメータ最適化によること、温暖化への影響などを論じている(Smith and Yamanaka, 2007; Smith et al., 2009)。また、最近、生物多様性を意識した、多数の植物プランクトンを競合させるモデルの開発が注目されている(Follows, 2007)。

もう一つの視点は、海洋生態系・物質循環モデルを開発する研究者コミュニティの発展である。海洋物質循環モデリングの先駆者たちは、海洋炭素循環モデル相互比較研究計画(Ocean Carbon cycle Model Intercomparison Project, OCMIP)を立ち上げた。議論のリードは、OCMIPの初期では先駆者たちにより行われたが、Phase 2の終わり頃(2002年)にはそのプロジェクトに関わる若手研究者によって行われた。彼らこそ、現在、この分野で世界をリードしている研究者であることは言うまでもない(Le Quere, Follows, Gruber 等)。現在行われている海洋生態系相互比較研究計画(MARine Ecosystem Model Intercomparison Project, MAREMIP)も、OCMIPの経験に基づいて設計され、次の世代がまさにいま頭角を露わさんとしている。また、いくつかの研究グループが注目される。北太平洋海洋科学機関PICESにおける海洋生態系モデルNEMUROの開発は、もう一つの国際共同研究として特筆される。トレードオフなどの個別の素過程の改良に関しては北ドイツのグループのリードがある。日本の若手研究者が、海洋物質循環・生態系モデリングの国際共同研究計画の一翼を担うことを目指して欲しいと切に願う。

キーワード: 海洋物質循環, 海洋生態系, モデリング, 国際共同研究計画, 海洋炭素循環モデル相互比較研究計画, 海洋生態系相互比較研究計画

Keywords: marine biogeochemical cycles, marine ecosystem, modeling, international research project, OCMIP, MAREMIP

古海洋変動の理解のための海洋生態系・物質循環モデリング Modelling of ocean biogeochemical cycles toward understanding paleo climate changes

岡 顕^{1*}
Akira Oka^{1*}

¹ 東京大学 大気海洋研究所

¹ Atmosphere Ocean Research Institute, University of Tokyo

The ocean stores large amount of carbon (60 times larger than that of the atmosphere) and various chemical tracers, and the deep ocean circulation significantly affects the carbon and biogeochemical cycles in the climate system. Actually, the deep ocean circulation, especially the Atlantic meridional overturning circulation (AMOC), is believed to have an important role in the changes in atmospheric CO₂ concentration from glacial to interglacial periods.

Paleo proxy data such as $\delta^{13}C$ and $^{231}Pa/^{230}Th$ ratio suggest that the AMOC became shallower and reduced by up to 30 % during the LGM compared with the present climate, and it is widely believed that the AMOC during the LGM is weaker than that at the present climate. However, a couple of studies using another paleo proxy data, Nd isotope ratio, imply that the AMOC during the LGM may be almost the same or even slightly stronger than the present one. This means that there is discrepancy among paleo proxy data themselves or their interpretation. Distribution of these proxy tracers is controlled by not only ocean circulation but biological and chemical processes, and careful interpretation on changes in these proxy tracers is necessary. Explicit simulation of these proxy data with ocean biogeochemical model is very helpful for interpretation of proxy data because they can quantitatively evaluate which processes are important for controlling the distribution of paleo proxy. Such simulations are also useful for validating climate model simulations directly with paleo proxy data.

In this talk, recent attempts for simulation of paleo proxy with biogeochemical model are introduced.

全球海洋大循環モデルで計算された3次元の炭素収支解析 Three-dimensional budget analysis of global carbon cycle estimated from a coarse-resolution global OGCM

中野 英之^{1*}Hideyuki Nakano^{1*}¹ 気象研究所¹ Meteorological Research Institute

近年の観測およびモデルの研究によって自然起源および人為起源の炭素循環の循環像が明らかになりつつある。観測サイドからは、Sabine et al. (2004) などにより人為起源の炭素のどこに主に蓄積されているかなどの知識が得られた。Mikaloff-Fletcher et al. (2006, 2007) や Gruber et al. (2009) などの inversion model 見積もりからは鉛直積分した量として、全球規模で太平洋などの海盆を横切る炭素量が見積もられた。これまでに得られた知識と、海洋の物理場の知見から、炭素循環における Subtropical cell (shallow overturn) の重要性などが示唆されているものの、現時点での限られた観測では、これらの情報を組み合わせた3次元的な収支解析には限界がある。モデルを用いた場合には、モデルの不確定性、特に生態系モデルの不完全さから観測に比べて信頼性が落ちるものの、原理的には、3次元の炭素循環の収支解析を計算できるはずである。しかしながら、これまでに全球規模で3次元の収支解析を明示した研究はなかった。

ここでは、粗い(1x0.5)の海洋大循環モデル(OGCM)に簡素なモデル(NPZD)を用いた炭素循環モデルで計算された結果を用いて領域ごと、密度帯ごとに、炭素の収支解析を行うことで、3次元の炭素循環を描くことを試みる。用いた計算結果は Nakano et al. (2011, JO) と同一のものである。Nakano et al. (2011) では、1x05の全球海洋モデルに CORE の再解析外力を用いて 1830-2006 まで大気中の二酸化炭素濃度を歴史的に増加する pCO₂ で与えた実験と産業革命前まで一定の pCO₂ を与えた実験を行い、その差を人為起源の炭素と定義した。これで得られた海面付近の pCO₂ や二酸化炭素吸収量などの結果は近年のモデル結果と同等で、観測ともおおむね整合的であった。

3次元構造の見積もりは具体的には以下のように行う。月ごとに領域ごとに密度帯における炭素量を計算する(A)。各領域ごとに海面の密度およびその時のフラックスを計算する(B、図の Srf)。領域に側面から入ってくる炭素量の収支を計算する(C)。そして $dA/dt - B - C$ から、内部における変化を計算する(図の Inn)。これからだけでは軽い方へ移動したか、重い方へ移動したかわからないが、全体の密度分布の変化の傾向をとらえることができる。計算は一ヶ月平均の場合で行ったが、5日平均の場合もほぼ同じであった。領域分割は Mikaloff-Fletcher et al. (2006, 2007)、Gruber et al. (2009) などに従った。これはまた、Regional Carbon Cycle Assessment and Processes (RECCAP) などでも採用されている領域分割でもある。この図とは別に、密度帯ごとの inventory とその密度における montgomery potential を重ねて書くことで、領域内での密度面に沿った移動をみることができる。

太平洋の炭素循環として以下のものを見ることが出来る。北太平洋では赤道域より中緯度域へ表層において炭素が運ばれる。中緯度域では冷やされることで炭素を取り込む。その取り込みが最も大きい密度帯は主に中央モード水に密度帯に相当する。モード水の密度帯へは、大気からの直接の取り込みだけでなく、冷却や対流活動の影響により 23.5 よりも軽い表層からそれより重い亜表層への炭素の移動が起きる。モード水の密度帯に移動した炭素は Subtropical Cell などにより赤道域に運ばれる。赤道域では赤道潜流で東に向かう間に軽い密度帯の内部での移動が起きる。そして、赤道域の海面では Natural Carbon は放出となるが、人為起源 Carbon は大気中の濃度上昇の影響が大きく吸収となる。

また、大西洋においては、NADW に人為起源炭素が多く蓄積しているにもかかわらず、人為起源炭素は海面から海底まで積分すると北半球でも北向きに運ばれていることがわかっている。表層に蓄積された人為起源炭素の影響の方が強く出ている結果であることは理解はできるが直感的ではない。3次元的な収支解析をすることで、確かに NADW の密度帯では南下していることが示せる。

この研究で明らかになった描像は最新の成果というよりも、これまでに知見と整合的なものであるが、この研究で初めて明瞭に数値化して図示することができ、炭素循環を理解を進める上で役に立つものと思われる。

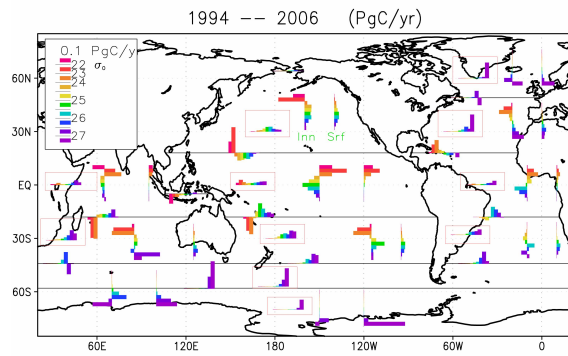
キーワード: 炭素循環, 海洋大循環モデル

Keywords: carbon cycle, OGCM

AOS25-03

会場:203

時間:5月19日 14:45-15:00



西部北太平洋におけるガス交換係数の季節変動による大気海洋間CO₂フラックスへの影響

Effect of seasonal change in gas transfer coefficient on air-sea CO₂ flux in the western North Pacific

熊 睿^{1*}, 増田 良帆², 橋岡 豪人², 小埜 恒夫³, 山中 康裕²

Xuanrui Xiong^{1*}, Yoshio Masuda², Taketo Hashioka², Tsuneo Ono³, Yasuhiro Yamanaka²

¹ 北海道大学大学院環境科学院, ² 北海道大学大学院地球環境科学研究院, ³ 水産総合研究センター 中央水産研究所

¹ Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, ² Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University, ³ National Research Institute of Fisheries Science

1. はじめに

西部北太平洋では pCO₂ 分布及び季節変動について、亜熱帯海域では、温度が pCO₂ の影響しており、亜寒帯海域では、生物、混合、温度が影響している。そして西部北太平洋では冬に北風が強い、冬季季節風と呼ばれる現象が起こる。冬季季節風が海の二酸化炭素吸収にどのように影響するのかが注目する課題の一つである。本研究は炭素循環を含めた3次元海洋大循環モデルを開発し、西部北太平洋に適用して、その計算結果から冬季季節風による CO₂ フラックスへの影響について解析した。

2. モデルと実験設定

開発したモデルはオフライン手法を用いた炭素循環を含めた海洋大循環モデル CCSR Ocean Component Model に生態系モデル North Pacific Ecosystem Model Used for regional Oceanography を結合したモデル (COCO-NEMURO) の西部北太平洋領域版 (120-180 °E, 10-60 °N) である。水平解像度は 1/4 ° × 1/6 ° で、鉛直に 26 層を設定する。物理データは、東京大学気候モデル MIROC (Model for Interdisciplinary Research on Climate) の温暖化実験の計算結果 10 年間を使用した。初期条件や境界条件は Global Ocean Data Analysis Project (GLODAP)、World Ocean Atlas、MIROC のデータを使用した。10 年間の積分したあとに、さらに 10 年間の積分し、その 10 年間平均について分析することにした。

大気-海洋間での CO₂ フラックスはガス交換係数と大気と海洋間での二酸化炭素の分圧差 ($dpCO_2 = pCO_{2\text{sea}} - pCO_{2\text{air}}$) の積で求める (Takahashi et al., 2009)。ガス交換係数は気体移動速度と溶解度との積で求める。気体移動速度は風速 2 乗に依存するパラメータである (Wanninkhof et al., 1992)

3. 結果と考察

海洋表層の年平均 dpCO₂、CO₂ フラックスの分布は非常に似ていることが分かる。亜熱帯海域と亜寒帯海域の一部は、CO₂ を放出する海域であり、その他の海域が吸収する海域である。亜熱帯海域 (亜寒帯海域の一部) で、dpCO₂ が高い (低い) にも関わらず、フラックス値が低い (高い) のは、ガス交換係数が小さい (高い) ことが原因と考えられる。しかしながら、混合水域における、dpCO₂ がマイナスの海域 (40 °N) では、ガス交換係数が高い値にもかかわらず、吸収は減少する。すなわち、亜寒帯海域における CO₂ が放出される海域が拡大された。さらに dpCO₂、CO₂ フラックスの符号が逆符号になる海域が存在する。

季節変動で CO₂ 分圧とガス交換係数が相関を持つことで生じる補正項が亜寒帯を放出海域に導き、亜熱帯を吸収する海域に導く。CO₂ フラックスの分布に影響し、年平均の dpCO₂、CO₂ フラックスの符号が逆符号になる原因である。

季節変動 12 カ月の月平均について亜熱帯と亜寒帯のローカル海域の結果を分析した。亜熱帯ローカル海域 (28 °N, 147 °E) では、冬季 dpCO₂ は ' - ' であり、CO₂ を吸収する時期である。冬季季節風が吹き、ガス交換は盛んになるので、ガス交換係数が大きく、吸収を促進する役割を果たす。夏季 dpCO₂ は ' + ' で、ガス交換係数は小さく、放出を和らげる役割を果たす。冬季吸収を促進し、夏季放出を和らげることで、一年間を通してみると、亜熱帯ローカル海域では、ガス交換係数の季節変動は CO₂ フラックスを押し下げ、放出を和らげる効果になる。亜寒帯ローカル海域 (46 °N, 158 °E) では、冬季 dpCO₂ は ' + ' であり、CO₂ を放出する時期で、ガス交換係数は大きく、放出を促進する役割を果たす。夏季 dpCO₂ は ' - ' で、ガス交換係数は小さく、吸収を和らげる役割を果たす。一年間を通してみると、亜寒帯海域では、ガス交換係数の季節変動は CO₂ フラックスを押し上げ、吸収を和らげる (=放出を促進する) 効果になる。

4. まとめ

西部北太平洋海域では、季節変動で CO₂ 分圧とガス交換係数が相関を持つことで、十分大きな「亜寒帯は放出源、亜熱帯は吸収源」に導く、これは年間 CO₂ フラックスに影響を及ぼし、亜熱帯=亜寒帯の放出・吸収のこらストをおよそ半分にしていて、dpCO₂ と CO₂ フラックスと符号が逆符号になる原因である。モデルには鉄循環は含まれていなかったため、亜寒帯海域 pCO₂ の結果が過大評価にされている。鉄循環を含めモデルの物質循環の改善やモデル解像度の向上

AOS25-04

会場:203

時間:5月19日 15:00-15:15

や観測データより取り込んだ初期条件・境界条件の使用は今後もっと精密的に西部北太平洋を分析するのに必要になる。

参考文献

Takahashi T. et al. 2009: Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO₂, and net sea-air CO₂ flux over the global oceans. *Deep Sea Res. II*, 56, 554-577.

Wanninkhof R. 1992: Relationship between wind-speed and gas-exchange over the ocean. *J. Geophys. Res. - Oceans*, 97, 7373-7382.

キーワード: 西部北太平洋, pCO₂, ガス交換係数, CO₂ フラックス, 生態系モデル, 季節変動

Keywords: gas transfer coefficient, pCO₂, air-sea CO₂ flux, Ecosystem model, North Pacific, seasonal change

アイソトポマーを導入した海洋生態系モデルによる西部北太平洋における溶存一酸化二窒素の生成メカニズムの解析 Insights into the production processes of N₂O in the western north Pacific by using a marine ecosystem isotopomer model

吉川 知里^{1*}, 阿部 瞳¹, 野口 真希², 葛貫 桂一¹, セバスチアン ダニエラチェ³, 豊田 栄¹, 吉田 尚弘¹
Chisato Yoshikawa^{1*}, Hitomi Abe¹, Maki Noguchi², Keichi Kuzunuki¹, Sebastian Danielache³, Sakae Toyoda¹, Naohiro Yoshida¹

¹ 東京工業大学大学院総合理工学研究科, ² 独立行政法人海洋研究開発機構 地球環境変動領域, ³ 上智大学 理工学部
¹Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, ²Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ³Faculty of Science and Technology, Sophia University

Nitrous Oxide (N₂O) is a significant anthropogenic greenhouse gas and a stratospheric ozone destroyer. Although the estimation of global N₂O flux from ocean to the atmosphere is 3.8 TgNyr⁻¹, the estimation varies greatly, from 1.8 to 5.8 TgNyr⁻¹. This is because previous models had estimated N₂O concentration from oxygen concentration indirectly. In fact, marine N₂O production processes are very complicated; hydroxylamine oxidation during nitrification, nitrite reduction during nitrifier denitrification and nitrite reduction during denitrification produce N₂O and N₂O deduction during denitrification consumes N₂O. Therefore marine N₂O production processes are poorly understood quantitatively. N₂O isotopomers (oxygen isotope ratio (delta-¹⁸O), difference in abundance of ¹⁴N¹⁵N¹⁶O and ¹⁵N¹⁴N¹⁶O (SP), and average nitrogen isotope ratio (delta-¹⁵N)) are useful tracers to distinguish these processes and had revealed N₂O production processes in various ocean environments.

In this study, a marine ecosystem model including the two N₂O production processes (hydroxylamine oxidation during nitrification and nitrite reduction during nitrifier denitrification) and isotopomers cycle is developed, in order to understand the N₂O production processes quantitatively and make the equations of N₂O production processes. We applied this model to the water above the 220m depth at the JAMSTEC time-series subarctic and subtropical sites (K2 and S1) in the western north Pacific. The observed N₂O in the waters above the depth of 1000m at K2 show high concentrations, nearly 33 permill of SP values, isotopically heavy delta-¹⁵N values and isotopically heavy delta-¹⁸O values compared to S1. These results suggest that the age of water mass above 1000m at K2 is high and the water accumulates N₂O with progression of nitrification compared to S1.

Our model is constrained by the observed nitrate, chlorophyll a and N₂O concentrations and delta-¹⁵N values of nitrate, phytoplankton, zooplankton and N₂O and SP values of N₂O at K2 and S1. In the case applied to K2, the observed subsurface N₂O profile cannot be represented just by abiological N₂O processes (gas exchange and vertical water exchanges). This result suggests that biological N₂O processes occur in the subsurface water at K2. Moreover, from the results of sensitivity studies about SP values of N₂O, we estimate that N₂O is produced only by nitrification at K2 and the ratio of N₂O production to nitrate production during nitrification is 0.22%, which is within the range of previous studies, from 0.13 to 0.37%. Furthermore, the results of sensitivity studies about delta-¹⁵N values of N₂O suggest a higher contribution of archaeal ammonia oxidation during nitrification than bacterial ammonia oxidation. In this presentation, we will also show the simulated results applied to S1, where the observed isotopomer ratios suggests both contributions of hydroxylamine oxidation during nitrification and nitrite reduction during nitrifier denitrification to the subsurface N₂O production.

キーワード: Nitrous oxide, Marine ecosystem model, Stable isotope ratio, North Pacific, Isotopomer

洪水期の河川水流入による河川影響海域のプランクトンブルーム考察 Model simulation of plankton bloom driven by riverine inputs of nutrient and fresh water in coastal regions

干場 康博^{1*}, 山中 康裕²

Yasuhiro Hoshiba^{1*}, Yasuhiro Yamanaka²

¹ 北海道大学大学院環境科学院, ² 北海道大学大学院地球環境科学研究院

¹Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan, ²Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan

河川は陸域から海洋へ栄養塩や懸濁物質を輸送しており、沿岸域では高い生物生産が維持されている。河川から流出した淡水は、水平的には高気圧性循環を (Kubokawa, 1991; McCreary et al., 1997; Yankovsky, 2000; Magome and Isobe, 2003)、鉛直的にはエスチュアリー循環 (Rattray and Hansen, 1962) を形成する。これがプランクトンブルームをはじめとする生物生産に影響を及ぼしている。

河川水流入 (洪水期) が植物プランクトンブルームにどのような影響を与えるかを定量的に調べるため、単純な生態系モデル (NPZD 各 1 コンポーネント) を海洋大循環モデルに組み込み、計算を行った。

その結果、栄養塩と植物プランクトンの空間分布は淡水のそれとは大きく異なり、植物プランクトン高濃度域は河口からみて右側から左側へと時間と共に移動する。この移り変わりは栄養塩の起源によって次の 3 つに分類することができる。(1) 流出した河川起源の栄養塩が、主に河口の右側で使われる。(2) 淡水が形成する海洋循環によりもたらされる海起源の栄養塩が、主に河口の左側で使われる。(3) 再無機化起源の栄養塩が、主に河口の左側で使われる。

河川から流入した高濃度の懸濁物が植物プランクトンの光合成を阻害することが知られている。その影響を見積もるために、懸濁物も河川から流出させて同様の計算を行った。すると、懸濁物濃度が大きい 10 日目までは一次生産が低く抑えられる。しかし時間が経って懸濁物が除去された後は、植物プランクトンが増加し、上記の右側から左側へのシフトが起こる。

キーワード: 河川影響海域, 物質循環, 海洋物理モデル, 河川水流入, 栄養塩供給, 植物プランクトンブルーム

Keywords: coastal ocean, biogeochemical cycles, 3-D modeling, riverine input, nutrient supply, phytoplankton bloom

西部瀬戸内海における低次生態系の動態

Lower-trophic level ecosystem dynamics in the western Seto Inland Sea, Japan

吉江 直樹^{1*}, 豊川将平¹, 石丸梨香¹, 堤英輔¹, 郭新宇¹, 武岡英隆¹

Naoki Yoshie^{1*}, Syohei Toyokawa¹, Rika Ishimaru¹, Eisuke Tsutsumi¹, Guo Xinyu¹, Hidetaka Takeoka¹

¹ 愛媛大学沿岸環境科学研究センター

¹ Center for Marine Environmental Studies, Ehime University

近年、様々な環境変化に伴い激変中の海洋生態系に関して、現場観測と直接比較可能なほどのローカルスケールで、ローカルな現象にまで踏み込んだ生態系影響評価が急務とされている。我々は、西部瀬戸内海（伊予灘・豊後水道）を対象として、それらを取り扱うことのできる海洋生態系モデルの開発を行うと共に、モデルに必要な生物地球化学的データを高頻度・広域観測により取得してきた。本研究では、2009年の現場観測により明らかとなった伊予灘・豊後水道における植物プランクトン群集構造の季節的・空間的变化と、海洋生態系モデルによるそれらのシミュレーションについて報告する。2009年4月から11月にかけて、伊予灘・豊予海峡・豊後水道を網羅する観測点において、物理的な水塊構造、栄養塩、懸濁粒子、植物・動物プランクトン群集組成などを調べた。植物プランクトンは、ピコ植物・ナノ植物・マイクロ植物（ケイ藻）の3群について、サイズ分画 Chl.a 濃度（0.2-2 μ m, 2-10 μ m, >10 μ m）から各現存量を求めた。海洋生態系モデルは、PICES（北太平洋海洋科学機構）の標準モデル NEMURO を拡張した eNEMURO ver.4（4N-4P-4Z-4D）を開発し、伊予灘・豊予海峡・豊後水道を5つの領域に分けた 5Box モデルによるシミュレーションを行った。観測から、次の時空間変化が明らかとなった。春から夏にかけて、小型のピコ・ナノ植物が全域において優占していた。夏から秋にかけては、伊予灘・豊予海峡では底部冷水の崩壊とリンクした顕著なケイ藻ブルームが生じていたが、豊後水道では3種の植物が同程度の割合で共存していた。冬季には、伊予灘ではケイ藻が優占的であったが、豊予海峡・豊後水道では3種が共存していた。本研究では、海洋生態系モデルを用いて、観測された栄養塩・植物プランクトン動態を極めて現実に近い形で再現することに成功した。講演では、2012年のリビジット観測および歴史的な集中豪雨に対する低次生態系の応答についても紹介したい。

キーワード: 気象擾乱, 生態系, 植物プランクトン, 瀬戸内海, 生態系モデル

Keywords: meteorological disturbance, ecosystem, phytoplankton, Seto Inland Sea, ecosystem model

北太平洋低次生態系モデリング I: 渦解像 OGCM と PFT モデルの結合 Modeling North Pacific lower trophic ecosystem. I: Coupling an eddy-resolving OGCM with a PFT model

平池 友梨^{1*}, 羽角博康¹, 伊藤幸彦¹
YURI HIRAIKE^{1*}, HASUMI, Hiroyasu¹, ITOH, Sachihiko¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Institute, the University of Tokyo

An eddy-resolving ecosystem model of the North Pacific is used to investigate the impact of mesoscale eddies on the basin-scale nitrate circulation and supply to the euphotic zone. A simple Plankton Functional Type (PFT) model, i.e., a NPZD ecosystem model with iron limitation on nutrient uptake is coupled to a three dimensional off-line ocean circulation model. The model horizontal resolution is about 10 km in latitude and longitude. The focus is on the North Pacific Subtropical Gyre (NPSG) where nitrate in the euphotic zone is low by downwelling due to the Ekman convergence. Recent observational and model studies reveal that the mesoscale eddies have significant impact on oceanic biological production in subtropical gyres. Although there are many studies on mesoscale eddies, a basin-scale picture of impact of mesoscale eddies on nitrate circulation and supply to the euphotic zone is presently poorly known. In the Kuroshio Extension (KE) region, the mesoscale eddies exchange water across the front and affect the biological production. In addition, recent model studies show that the mesoscale eddies contribute to the formation and transport of the Subtropical Model Water (STMW). Although it is suggested that the STMW forms in the KE region and is transported to the NPSG, the effect of the STMW on the nitrate circulation and impact on the biological production in the NPSG is not clear. In addition, the STMW is thought to be important in forming of the Subtropical Countercurrent (STCC) which has large mesoscale eddy activities in the NPSG. It is expected that the seasonal variability of the STCC dominates the seasonal variability of biological production. The results from the eddy-resolving model are compared with results from a low-resolution model. The results of sensitivity experiments to model parameters model parameters are also shown. It is expected that tracer experiments and analysis of nutrient budget reveal eddy effect on the basin-scale nutrient circulation and supply to the euphotic zone in the NPSG.

キーワード: 北太平洋, 渦解像度モデル, 低次生態系モデル
Keywords: North Pacific, eddy-resolving model, NPZD model

春季ブルームにおける植物プランクトンの種間競争のメカニズム ~ 国際的な海洋生態系モデルの相互比較研究から ~ Phytoplankton competition during the spring bloom in four Plankton Functional Type Models

橋岡 豪人^{1*}, 平田 貴文², 野口 真希¹, 山中 康裕²

Taketo Hashioka^{1*}, Takafumi Hirata², Maki Noguchi¹, Yasuhiro Yamanaka²

¹ 独立行政法人 海洋研究開発機構 地球環境変動領域, ² 北海道大学 地球環境科学研究所

¹Japan Agency for Marine-Science and Technology, Research Institute for Global Change, ²Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University

1. 背景と目的

海洋生態系の構造が、種間競争を通じてどう決まるのかというのは、単純に見えて複雑な問題である。大局的には、光合成速度の違いと捕食速度の違いで決まるが、その相対的な寄与の評価が鍵となる。さらに素過程に注目すると、光合成では、プランクトン間の最大光合成速度の違いや、栄養塩・光・温度に対する依存性の違い、捕食については、最大捕食速度や捕食の嗜好性などが重要となる。本研究の目的は、モデルの相互比較を通じて、生態系のシステム全体の中で、個々の過程の相対的重要性を評価し、重要でありながら現在のところ不確定性の大きい過程を同定・示唆することである。具体的には、春季ブルームに注目し、珪藻類とナノ植物プランクトンの競争関係についてボトムアップとトップダウンコントロールの観点からメカニズムを考察した。

2. 結果と結論

国際的な海洋生態系モデル相互比較プロジェクト (MAREMIP Phase0) の 1996~2007 年のデータについて解析を行った。その結果、珪藻類の優占率は、ブルームの規模が大きくなるほど高くなる関係が得られたが (Alvain et al., 2008 を除く)、その絶対値にはモデル間・観測間で大きな違いがあった。現在のモデルは、観測から経験的・理論的に得られた関係式の集合体であり、基本構造には共通部分が多い。その結果として、いずれのモデルも”植物プランクトン”としての振る舞いは良く再現している。しかし、こと種間競争においては、モデル間で重要となる過程に大きな違いがあることが興味深い。このことは、たとえ現在の生態系の再現が同じでも、環境変化に対する応答が異なる可能性を示唆している。したがって、今後、気候変動に伴う生物多様性や生物群の変化を考えるためには、観測とモデルの両方で、各素過程の “プランクトン間の相対的な違いを定量的に評価” する取り組みが重要である。

発表ではさらに MAREMIP の次のフェーズ (Phase1) での将来予測実験 (~2100 年) の解析結果についても紹介する。

キーワード: 海洋生態系モデル, モデル相互比較, 春季ブルーム, 植物プランクトン種間競争, 全球海洋モデル

Keywords: Marine Ecosystem Model, Model Intercomparison, Spring Bloom, Phytoplankton Competition, Global Ocean Model

海洋生態系モデルで表現される植物プランクトンの鉛直プロファイル Vertical profiles of phytoplankton derived from marine ecosystem models

平田 貴文^{1*}, 相田 (野口) 真希², 橋岡豪人¹, 宮崎千尋¹, 山中康裕¹
Takafumi Hirata^{1*}, Maki Aita-Noguchi², Taketo Hashioka¹, Chihiro Miyazaki¹, Yasuhiro Yamanaka¹

¹ 北海道大学, ² 海洋研究開発機構

¹Hokkaido University, ²Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Observations of marine ecosystems are usually difficult due to vast spatial extent of the ocean (both horizontally and vertically). Even if satellite observation technology develops, it usually observes only an ecological state of a surface layer of the ocean. Marine ecosystem modeling is a powerful method to overcome the issue, and expected to fill gaps of scientific knowledge hard to obtain by the observation. Numerous marine ecosystem models have been developed within a scientific community, but there exist only some models that cover the global oceans to describe a detailed phytoplankton community structure (Phytoplankton Functional Types). We hereby compare vertical profiles of phytoplankton structure on a global scale, derived from numerical models, that cannot usually be obtained from the observations.

キーワード: 海洋生態系, 植物プランクトン, モデリング
Keywords: Marine Ecosystem, Phytoplankton, Modelling

北太平洋低次生態系モデリング II: 自然選択モデルと植物プランクトンの多様性 Modeling North Pacific lower trophic ecosystem. II: A selection-based model and phyto- plankton diversity

伊藤 幸彦^{1*}, 平池友梨¹, 羽角博康¹

Sachihiko Itoh^{1*}, Yuri Hiraike¹, Hiroyasu Hasumi¹

¹ 東京大学大気海洋研究所

¹ Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

海洋生態系は、太陽放射、物理的な循環・混合、陸域起源の物質流入・降下等に影響を受け、各海域でその構造や変動特性が大きく異なる。北太平洋は、大規模風系に駆動され南北方向には赤道域、亜熱帯循環域、亜寒帯循環域に大別されるが、西岸強化、湧昇、モード水形成、渦活動、ダスト降下等の影響により、東西方向にも基本場が顕著な差異を呈する。北太平洋生態系の低次栄養段階（低次生態系）に対しては、亜寒帯域を主たる対象に機能別にプランクトンの集合体をまとめて表現する Plankton Functional Type (PFT) モデルが開発されてきた。NEMURO (North Pacific Ecosystem Model for Understanding Regional Oceanography) は代表的な北太平洋亜寒帯の低次生態系モデルであり、東西亜寒帯循環のプランクトン生産を良く再現することが知られている。NEMURO を始めとする PFT モデルは、生物相の差異に応じてパラメータを調整することにより様々な海域で用いられ、多くの重要な成果を挙げてきた。しかし、卓越プランクトン相の多様性が高い亜寒帯以南の海域ではパラメータを決定するための観測データが不足しているほか、海域毎にパラメータを変えることで海域間の移動を評価することが難しいという問題があった。近年、PFT のパラメータを海域毎に調整するのではなく、多数のプランクトンを陽に表現することでパラメータ範囲を網羅する方法が提案されている。プランクトンの偏在性と自然選択性を仮定する方法では、パラメータ決定の恣意性を低減し、広域的な生態系の変動をより精度よく表現できる可能性がある。本研究では、多様な細胞サイズの植物プランクトンを網羅的に表現する生態系モデルを構築し、北太平洋各海域における植物プランクトンの自然選択性と発現する多様性、炭素循環への影響について調べた。講演では亜熱帯、亜寒帯循環内の変動に焦点をあて、両者に現れる多様性の差異について議論する。

キーワード: 自然選択モデル, 多様性, 北太平洋

Keywords: selection-based model, biodiversity, North Pacific

海洋生態系モデルを用いたサンマの温暖化影響評価 Evaluation of Global Change effect on Pacific saury using ecosystem models

伊藤 進一^{1*}, 小松幸生², 吉江直樹³, 須賀明典¹, 奥西武¹, 亀田卓彦¹, 大野創介¹, 渡邊一功⁴

Shin-ichi Ito^{1*}, Kosei Komatsu², Naoki Yoshie³, Akinori Takasuka¹, Takeshi Okunishi¹, Takahiko Kameda¹, Sohsuke Ohno¹, Kazuyoshi Watanabe⁴

¹(独)水産総合研究センター, ²東京大学, ³愛媛大学, ⁴(社)漁業情報サービスセンター

¹Fisheries Research Agency, ²University of Tokyo, ³Ehime University, ⁴JAFIC

地球温暖化がサンマに与える影響を評価するために、これまで、黒潮域、混合水域、親潮域の3海域のボックスモデルに、海洋低次栄養段階生態系モデル NEMURO (North Pacific Ecosystem Model for Understanding Regional Oceanography) とサンマの生物エネルギーモデルを結合させた NEMURO.FISH (NEMURO for Including Saury and Herring) を組み込み、将来の海面水温 (SST) 予測値を用いて駆動する実験を行ってきた。IPCC-AR4 に報告されている気候モデルのうち北太平洋十年規模変動の再現性が比較的良い12のモデルの温暖化気体排出シナリオ A1B, A2, B1 の3種類の SST 予測値を用いたアンサンブル実験の結果、77%の確率でサンマの体重が減少し、33%の確率で産卵量が増大することが予想された。しかし、このモデルは、黒潮域から親潮域までの南北回遊のみを考慮したモデルであり、東西にも大きく回遊するというサンマの特徴を表現できていない。そのため、本研究では、サンマの水平2次元回遊を考慮した温暖化影響実験を実施した。まず、高解像度海洋循環モデル CHOPE (Max-Planck-Institute Ocean Model) と拡張型 NEMURO モデルを結合させた CHOPE-eNEMURO を現在気候外力と将来気候外力を用いて駆動し、現在と将来の水温、流向・流速、餌料プランクトン場を得、その場を用いてサンマの成長 - 回遊モデルを解いた (CHOPE-eNEMURO.FISH)。その結果、現在の条件では黒潮続流の南に回遊するサンマが存在するのに対し、将来の条件では南方の海域の水温が高いため、南への回遊が制限され、その結果黒潮続流に流されるサンマが増え、分布中心が沖合化した。また、南に回遊するサンマがいなくなることで極端に成長の悪いサンマが減少し、分布が沖合化することで極端に成長の良いサンマも減少し、体重の分散が減少する結果となった。現状では、餌料となる動物プランクトンの予測信頼性に改善の余地があり、上記の結果の信頼性は明言できない。今後は、餌料動物プランクトンの精度の向上と、ボックスモデルで行ったようなアンサンブル実験による不確実性の評価が必要となる。

キーワード: 海洋生態系モデル, 魚類回遊成長モデル, サンマ, 地球温暖化

Keywords: marine ecosystem model, fish growth - migration model, Pacific saury, Global Change

複数魚種の回遊モデルの開発 Development of a fish migration model for pelagic species

奥西 武^{1*}, 安倍 大介¹, 伊藤 進一¹, 川端 淳¹, 久保田 洋¹, 須賀明典¹
Takeshi Okunishi^{1*}, Daisuke Ambe¹, Shin-ichi Ito¹, Atsushi Kawabata¹, Hiroshi Kubota¹, Akinori Takasuka¹

¹ 独立行政法人水産総合研究センター

¹ Fisheries Research Agency

The Kuroshio and Oyashio regions in the western North Pacific are important spawning and nursery grounds of various fish species, such as sardine, anchovy and chub mackerel, and also good fishing ground. The environmental conditions affect fish productivity in the regions. For example, in the Pacific stock of Japanese sardine, both of temperature during the larval stage and prey availability during the early juvenile stage are important factors regulating their survival and recruitment processes. Growth rates during the larval and juvenile stages are directly affected by environmental conditions, such as temperature and forage density, playing a key role in survival dynamics. Predation is recognized as the major source of mortality during these stages, although environmental factors are linked to survival potential. Therefore, survival process is controlled by multiple factors. This complexity makes it difficult to understand survival dynamics in relation to environmental fluctuations. In the present study, we tried to develop a fish migration model considering the prey-predator interaction between anchovy (prey) and skipjack tuna (predator) with environmental conditions in the western North Pacific, and discussed the importance of prey-predator interaction as a determinant of fish distributions.

キーワード: 魚類回遊モデル, カタクチイワシ, カツオ, 種間関係

Keywords: fish migration model, anchovy, skipjack tuna, prey-predator interaction

浮遊系 底泥系結合生態系モデルによる沿岸域の物質循環状況の解明と評価 Clarification and Evaluation of nutrient circulation in coastal areas by a pelagic-benthic coupled ecosystem model

舘野 聡^{1*}, 永尾謙太郎¹, 畑恭子¹, 阿部真己¹, 竹内一浩¹

Satoshi Tateno^{1*}, NAGAO, Kentarou¹, HATA, Kyoko¹, ABE, Masami¹, TAKEUCHI, Kazuhiro¹

¹ いであ株式会社

¹ IDEA Consultants, Inc.

近年、沿岸域において二枚貝の斃死やノリの色落ちなどの水産被害が報告されている。これらは沿岸域において栄養塩類の流入量や都市構造、海岸形状、自然条件の変化等によって海域環境が変化し、海中の栄養塩類の循環バランスが崩れ、赤潮や貧酸素水塊の発生を通して環境劣化が進行したためと考えられている。持続的に維持される豊かな海へ回復させるためには、現状の環境劣化の要因を分析し、環境劣化を修復・軽減するために有効な再生施策を実施していくことが不可欠である。

再生施策の検討においては、環境劣化のメカニズムを把握した上で、シミュレーションモデルによって物質循環形態を定量的に把握し、再生施策の効果を予測評価することが有効である。そこで我々は、沿岸域に特化した浮遊系 底泥系結合生態系モデルを開発した。これは河川の流入や外海との海水交換といった流動場を、海域における水質や底質および海棲生物をメッシュ・ボックスによって表現する鉛直多層モデルであり、それらの相互作用や食物連鎖等の関係を示す、移流拡散や生物学的プロセスによる窒素・リン・炭素の物質循環フラックスを計算できるモデルである。

このモデルを用いて、有明海や三河湾、播磨灘、三津湾（広島県）等の物質循環の解析を行い、貧酸素水塊形成のメカニズムや時代による物質循環構造の変遷、物質循環の問題点を明らかにした。