

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340011

研究課題名(和文) 海洋表層の酸性化に対する低次生産生物の応答の研究

研究課題名(英文) Study of plankton response to acidification of the ocean

研究代表者

服部 寛 (Hattori, Hiroshi)

東海大学・生物学部・教授

研究者番号：60208543

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：大気中の二酸化炭素増加に伴い海水中の二酸化炭素濃度が高くなると、海洋表層の海水は酸性化します。海水が酸性化すると、そこに分布する植物プランクトンや動物プランクトンの量は減少し、種組成も変化します。プランクトンは海洋の食物連鎖の基盤となる生物群で、この生物群の減少や構成の変化は、現在の海洋生態系の維持を困難にします。将来の海洋環境変化を考慮したプランクトン研究が必要となるために南極海で研究を行った。

研究成果の概要(英文)：As carbon dioxide concentration in the surface water increases with the increase in the atmosphere, the ocean surface water becomes acidified. When seawater becomes acidified, the biomass of phytoplankton and zooplankton inhabiting in the surface decreases and the species composition also changes. Plankton is a group of organisms that form the basis of the ocean's food food chain, and the decline and compositional changes of the group make it difficult to maintain the current marine ecosystem. Considering future marine environmental changes, we studied phytoplankton and zooplankton in the Antractic Ocean.

研究分野：生物海洋学

キーワード：植物プランクトン 動物プランクトン 海洋酸性化 南極海 地球温暖化

1. 研究開始当初の背景

近年の地球温暖化の原因の一つは、産業革命以後に大気中に放出された人為起源の二酸化炭素濃度の上昇とされている。大気温暖化、すなわち海洋表層の水温上昇をもたらすことによる海水の鉛直混合の抑制は、海洋の成層化を促進させると同時に、増加した二酸化炭素の海洋への過剰な溶解は、結果として海洋表層の酸性化につながると言われている。海洋に分布する動植物プランクトンは、植物網を通じて海洋生態系を支える最初の栄養段階生物群（低次生産生物群）として重要な位置を占めているだけでなく、植物プランクトン増殖過程（光合成）を通じて海水に溶け込んだ二酸化炭素の約半分を消費する役割を担っている。このため、植物プランクトンは地球規模での炭素循環（生物ポンプ）の根幹を支える重要な生物群と認識されているが、その主要な分布層は約 100m 以浅の表層に限られている。

また、植物プランクトンの生産（基礎生産）には栄養塩が必要となるが、栄養塩は生物の分解により再生されるため深層に高濃度で存在している。深い層の栄養塩を表層の植物プランクトンが利用するためには湧昇や冬季の鉛直混合による表層への栄養塩供給が必要不可欠となる。地球温暖化は、海洋の鉛直混合を妨げると同時に、栄養塩の表層への供給を低下させるという物理・化学的な働きを併せ持つことになる。このことは、表層での基礎生を担ってきた大型の植物プランクトン（珪藻類）から、少ない栄養環境で増殖可能な小型の藻類（円石藻類・パルマ類等）に移るといった種とサイズの入替わりを促すことが容易に推定できる。このため、表層水温上昇による成層化の生物学的影響は、大型の植物プランクトン種の多い極域や亜寒帯海域で、より顕著に現れるといわれている。

表層の成層化による二酸化炭素の過剰な海洋への溶解は、最初に述べたように表層の酸性化を加速し、これまで表層で安定だった海水中の炭酸カルシウムを溶解することになる。このため炭酸カルシウムを殻とする動植物プランクトン（翼足類・円石藻類）の生存が危機的な状況に陥ることも予想されている。現に近年の研究によると、極域の海水の pH は現在の 8.1 から 2100 年には 7.6 まで 0.5 も低下し、その予測値では、亜寒帯海域や極域の生態系で重要な役割を演じている炭酸カルシウムの殻を持つ生物の生存が危うくなり、これまで継続されてきた生態系の安定が保たれなくなる危険性も指摘されている。

このように、地球温暖化による海洋表層の成層化は、低栄養塩化につながる深層からの栄養塩供給を妨げることから、植物プランクトンサイズの小型化を促進し、表層の酸性化はこの植物プランクトンの増殖をも妨げるといった二面性を持ち、表層で生活する多くの海洋生物に対し、今後最も強く影響を及ぼす

環境要因の一つになることは確実である。しかしながら、低栄養塩化にともなう植物プランクトンの小型化は生態系モデルにより予測可能であっても、酸性化にともなうプランクトンの挙動はモデルに入れるほどの知見が十分でないため、今後の生物相の展開、すなわち海洋における食物網の変化を現在の知見で予想することを困難にしているのが現実である。海洋の酸性化にともなう円石藻類増殖へのマイナスの影響は、未だ明確な結果を得るに至っていない。その上、極域の動物プランクトンの翼足類については分布すら十分な研究が行われていない現状が続いている。

2. 研究の目的

高い生物生産海域での海洋表層の酸性化によってもたらされる海洋生態系変動の機構を明らかにすることを常に念頭におきながら、珪酸質からを持つ植物プランクトンの大型珪藻類と微細なパルマ類、炭酸カルシウムの殻を持つ微細な円石藻類と大型動物プランクトンである翼足類の分布を明らかにすると同時に、炭酸ガス通気による酸性化実験海水に対するこれらの生物群集学的な反応を、現場実験を中心に定量的に明らかにすることを本研究の目的とする。この目的に至った理由は、これまで西部北太平洋亜寒帯海域における植物プランクトンの分布を継続して観察・調査した結果、植物プランクトン群集組成と量は季節的に大きく変化するだけでなく海洋環境の変化に伴いサイズの異なる円石藻類の種に入れ替わる可能性を認めたいためである。また、二酸化炭素の通気による予備的な酸性化実験も、これまで植物プランクトンを対象に数回実施し、pH 低下に伴い円石藻類の増殖が負の影響を受けるとともに、影響の度合いが円石藻の現存量が多い種で顕著であることも把握していた。しかし、翼足類については実験動物個体採集方法や分布状況すら十分な研究が行われていない。

3. 研究の方法

研究の方法は、以下の大きく 3 つの部分に分けた。すなわち動植物プランクトンの動態と酸性化予測実験についてである。調査航海は分担者と研究代表者自身が海鷹丸（東京海洋大学）に、それぞれ 2014 年度と 2015 年度に乗船し、プランクトン種組成と現存量把握調査を実施し、加えて、現場において温暖化による表層混合層の薄化が植物プランクトン生理に及ぼす影響実験を 2014 年度、温暖化に対する生物の遺伝学的な対応を 2015 年度に実験観察を行った。

1) 現場観察と実験

1-1) 動植物プランクトン分布動態解析

試料採集は東京海洋大学の海鷹丸に申請者らが乗船し、オーストラリア南方の統計 110 度線上の観測点において、2-200m 層の各層採水を行い、種組成と生物量の観察計数を、

東海大学が保有する X 線解析型走型電子顕微鏡 (SEM) にて実施し、種組成と種ごとの現存量の時空間変化を把握した。同時に、植物に関しては高速液体クロマトフラフ (HPLC) による固有色素の分析からも群集組成の変化も把握した。SEM 観察分析では、特に大型の珪藻類及び微小なハプト藻類と円石藻類に焦点を当て、現場の栄養塩環境と植物プランクトンの分布の対応を把握した。大型の珪藻類分布動態に関しては、過去の研究と本研究の比較対象生物として取り扱い、データ収集の一般性を図った。

1-2) 酸性化予測 (温暖化シフト) 実験

2014 年度は、オーストラリア南方の南大洋の 2 から 4 地点位置いて、有光層から採水した海水中の植物プランクトンの光合成活性を光強度を変えて実験し、50-100 年後の海水温暖化による表層混合層の薄化の影響を明らかにする実験を行った。また、2015 年度の航海では、微細植物のメタゲノム分析を行い、将来の温暖化を見据えた温度体制の把握も行って、現在分析中である。

2) 陸上実験室の実験観察・資料分析・南大洋表層環境変動解析

南極海の海洋構造と栄養塩・炭酸系データの長期的観測資料収集を行い、物理化学的現状を把握し、南大洋における調査航海の取りまとめを行っている。

3) 北極での研究拡大

北極海域においても温暖化や海洋酸性化は大きな問題になっているため、研究フィールド拡大を模索するため、申請者らと共同研究を継続しているカナダの北極研究プロジェクトである ArcticNwet (プロジェクト代表: ラバル大学 Louis Fortier 教授) と会談し、その後 Gordon Research Conference on Polar Science において米国やカナダの研究者と研究の現状と将来について打ち合わせた (服部が 2017 年 3 月ケベックとベンチュラに出張)。

4. 研究成果

地球温暖化が原因となる海洋酸性化が植物プランクトン、特に炭酸カルシウム殻を持つ円石藻類に対する影響を調べる酸性化予測実験を行った。現場における分布密度の把握と酸性化予測実験の試料分析は全て終わっていないが、これまでの結果では現存量の多い円石藻類の種ほど酸性化の影響を受けると推定できる結果を得ていると同時に、海洋表層の pH が 50-100 年後の低下予測値に達すると、植物プランクトンの現存量が役半分になる予備的な予測結果も得られている。

オーストラリア南方の南大洋において酸性化実験は多く実施されていないため、本研究で得られた結果の原因について、理論的背景を構築している段階でもある。南極海では植物プランクトン現存量で優先するのは珪藻類であるため円石藻類の応答に加え、珪藻類にも着目して資料の分析を進めている。

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 7 件)

1. Motokawa, S., H. Hattori, H. Sasaki and S. Taguchi (2014) Photoprotective acclimation of size-fractionated natural assemblages of phytoplankton at various optical depths in the Indian sector of the Southern Ocean. *Polar Biol.*, 37, 1373-1381. インパクトファクターと査読付き
2. Takao, S., T. Hirawake, G. Hashida, H. Sasaki, H. Hattori, K. Suzuki (2014) Phytoplankton community composition and photosynthetic physiology in the Australian sector of the Southern Ocean during austral summer 2010/2011. *Polar Biol.*, 37, 1563-1578. インパクトファクターと査読付き
3. Granskog, M.A., D. Nomura, S. Müller, A. Krell, T. Toyota, H. Hattori (2015) Evidence for significant protein-like dissolved organic matter accumulation in the Sea of Okhotsk in sea ice. *Annals of Glaciology*, 56, 1-8. Doi: 10.3189/2015AoG69A002 インパクトファクターと査読付き
4. Makabe, R., H. Hattori, M. Sampei, G. Darnis, L. Fortier and H. Sasaki (2016) Can sediment trap-collected zooplankton be used for ecological studies? *Polar Biol.*, DOI 10.1007/s00300-016-1900-7 インパクトファクターと査読付き
5. Akiha, F., G. Hashida, R. Makabe, H. Hattori and H. Sasaki (2017) Distribution in the abundance and biomass of shelled pteropods in surface waters of the Indian sector of the Antarctic Ocean in mid-summer. *Polar Sci.*, インパクトファクターと査読付き
6. Katayama, T., R. Makabe, M. Sampei, H. Hattori, H. Sasaki, and S. Taguchi (2017) Photoprotection and recovery of photosystem II in the Southern Ocean phytoplankton. *Polar Sci.*, Doi.org/10.1016/j.polar.2016.12.003 インパクトファクターと査読付き
7. Endo, H., H. Hattori, T. Mishima, G. Hashida, H. Sasaki, J. Nishioka, and K. Suzuki (accepted) Phytoplankton community responses to iron and CO₂ enrichment in different biogeochemical provinces of the Southern Ocean. *Polar Biol.*, DOI 10.1007/s00300-017-2130-3 インパクトファクターと査読付き

[学会発表](計 15 件)

1. Hiroshi, H., T. Mishima, H. Endo, S. Motokawa, T. Iida, G. Hashida, K. Suzuki, J. Nishioka, S. Taguchi, H. Sasaki (2014 Aug) Impact estimation of Southern Ocean acidification on phytoplankton (diatoms and haptophytes). 33 SCAR Biennial Meetings, 2014 Open Science Conference. Oakland, New Zealand, SCAR

2. Narita, A., F. Akiha, H. Sasaki, H. Hattori, T. Odate (2014) Seasonal change in the flux of carbonate shelled zooplankton collected using moored sediment traps in the Antarctic Ocean. 33 SCAR Biennial Meetings, 2014 Open Science Conference. Oakland, New Zealand, SCAR

3. Sasaki, H., S. Konno, F. Akiha, H. Hattori, G. Hashida (2014) Observed and estimated biomass of shelled pteropods in the Indian sector of the Antarctic Ocean during summer. 33 SCAR Biennial Meetings, 2014 Open Science Conference. Oakland, New Zealand, SCAR.

4. Hattori, H., T. Mishima, H. Endo, S. Motokawa, T. Iida, G. Hashida, K. Suzuki, J. Nishioka, S. Taguchi, H. Sasaki (2014) Effects of Southern Ocean acidification on phytoplankton. 5th Symposium on Polar Science. Tachikawa, Japan, National Institute of Polar Research.

5. Katayama, T., R. Makabe, M. Sampei, A. Narita, T. Iida, T. Hirawake, H. Hattori, H. Sasaki, S. Taguchi (2014) Photoacclimation of phytoplankton assemblages in the subsurface chlorophyll maximum layer in the Southern Ocean. 5th Symposium on Polar Science. Tachikawa, Japan, National Institute of Polar Research.

6. Makabe, R., A. Narita, M. Sampei, T. Iida, H. Hattori, H. Sasaki (2014) Temporal change of zooplankton swimmer composition observed using a surface drifter in the Antarctic Ocean in summer. 5th Symposium on Polar Science. Tachikawa, Japan, National Institute of Polar Research.

7. Narita, A., F. Akiha, H. Hattori, T. Odate, H. Sasaki (2014) Downward inorganic carbon flux of calcareous zooplankton observed at 60S, 110E in the Antarctic Ocean in 2011. 5th Symposium on Polar Science. Tachikawa, Japan, National Institute of Polar Research.

8. Sasaki, H., F. Akiha, S. Konno, A. Narita, R. Makabe, H. Hattori, S. Takao, H. Yoshikawa, G. Hashida, T. Odate (2014) Change in carbon mass with surface plankton ecosystem in Antarctic SIZ waters. 5th Symposium on Polar Science. Tachikawa, Japan, National Institute of Polar

Research.

9. Hiroshi H., T. Mishima, H. Endo, S. Motokawa, T. Iida, G. Hashida, K. Suzuki, J. Nishioka, H. Sasaki (2015) Impact of Southern Ocean acidification on phytoplankton (diatoms and haptophytes). Gordon Research Conference on Polar Marine Science, Locca, Italy, Gordon Research Conference.

10. 片山智代、真壁竜介、三瓶真、飯田高大、服部寛、佐々木洋、田口哲 (2015 9月) 南大洋植物プランクトン群集の光適応. 日本海洋学会秋季大会、愛媛大学、日本海洋学会

11. SASAKI, H., E. SUENAGA, R. MAKABE, H. HATTORI (2016) Variability of phytoplankton in mesoscale eddies in ice-free Antarctic Ocean in summer. Inter National Symposium on Sea Ice, Monbetsu, Monbetse City.

12. Saito, H., K.T. Takahashi, H. Hattori, S. Kudo, S. Imura (2015) Vertical distribution of two types of meio-fauna community in East Antarctic saline lake Nurume-Ike, Biodiversity Symposium 2015 in Thailand. <http://www.scesap.org/events.html>.

13. NOSAKA, Y., H. KASAI, H. SASAKI, H. HATTORI (2017) Seasonal change of phytoplankton species composition between spring and fall 2007 in the southern Okhotsk Sea. Inter National Symposium on Sea Ice, Monbetsu, Monbetse City.

14. Saito, H., H. Hattori, T.K. Takahashi, S. Kudho, S. Imura (2016) Vertical distribution of copepod and nematode assemblages at Lake Nurume-Ike, an Antarctic meromictic lake, Annual meeting of British Ecological Society, <http://www.britishecologicalsociety.org>

15. Saito, H., H. Hattori, K.T. Takahashi, S. Kudho, S. Imura (2017) Vertical distribution of copepod and nematode assemblages at Lake Nurume-Ike, an Antarctic meromictic lake. ASLO 2017 Aquatic Sciences Meeting, Honolulu, USA. <https://www.sgmeet.com/aslo/honolulu2017/>

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：

出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

服部 寛 (Hattori, Hiroshi)
東海大学・生物学部・教授
研究者番号：60208543

(2) 研究分担者

佐々木 洋 (Sasaki, Hiroshi)
石巻専修大学・理工学部・教授
研究者番号：10183378

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()