

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510013

研究課題名(和文) 北太平洋亜寒帯海域の表層酸性化が炭酸カルシウム殻のプランクトンにおよぼす影響予測

研究課題名(英文) Impact estimations of the ocean acidification on the calcium carbonate plankton in the Subarctic Pacific.

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) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：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もつ円石藻類に対する影響を調べるための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が多い円石藻類の種ほど酸性化の影響を受けると推定出来る結果を得ていて、現在この原因の理論的背景を構築している段階である。

北太平洋と比較を目的に南極海で酸性化実験を実施する機会に恵まれ、現在はその試料の解析も行なっている。南極海では植物プランクトン現存量で優先する珪藻類が多いことから、円石藻類の応答に加え、珪藻類にも着目して、試料の分析を勧めている。

研究成果の概要(英文)：Impact estimation experiments of the ocean acidification being caused by the global warming were carried out using calcium carbonate plankton in the Subarctic Pacific as well as in the Southern Ocean. Biomass and species compositions of phytoplankton (haptophytes; coccolithopholids) in these areas are not completed yet. But, it is clearly observed that the acidification impacts were more obvious on the higher biomass species. We are now making theoretical backgrounds for these evidences. And, we now pay simultaneously attentions of the acidification impacts on the diatoms, dominant species in the Subarctic and Southern Oceans.

研究分野：環境動態解析

科研費の分科・細目：地球温暖化

キーワード：地球温暖化 海洋酸性化 植物プランクトン 円石藻類 珪藻類 北太平洋亜寒帯海域 南極海

1. 研究開始当初の背景

平均水深が 3,800mに達する海洋は、産業革命以後に放出された人為起源の二酸化炭素のほぼ 50%を吸収し、膨大な量の二酸化炭素の吸収・貯蔵場となり、地球規模での炭素循環にとって重要な役割を演じている。近年の地球温暖化の原因の一つは、大気中の二酸化炭素濃度の上昇であるとされ、温暖化が海洋表層の水温上昇をもたらし、海洋の成層化を促進する結果、二酸化炭素自身の海洋への過剰な溶解をもたらし、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、食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）として重要な位置を占めるだけでなく、その増殖過程（光合成）を通して海水に溶け込んだ二酸化炭素量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。

地球の温暖化は海洋の成層化を促進し、湧昇による深層から表層への栄養塩供給を妨げる物理・化学的な働きを合わせ持つことになる。このため成層化は表層に分布する植物プランクトンによる光合成（基礎生産）を低下させ、生態系を不安定にする生物学的な影響力を持つことになる。同時に表層での基礎生産を担ってきた大型植物プランクトン（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）に移るといった種入れ替わりを促すであろう。このため、表層水温上昇による成層化の生物的影響は、極域や亜寒帯海域でより顕著に現れるといわれている。

このように、地球温暖化による海洋表層の成層化（低栄養塩化）は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プランクトンの増殖を妨げるという二面性を持ち、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、低栄養塩化に伴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、酸性化に伴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を現在の知見で予想することを困難にしている。

2. 研究の目的

北太平洋の亜寒帯海域の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、炭酸カルシウムの殻を持つ円石藻類と翼足類の分布を明らかにすると同時に、二酸化炭素ガス通気による酸性化実験水に対する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した。

この目的に至った理由は、これまで西部北太平洋亜寒帯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、海洋環境の変化にともな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ていた。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マイナス方向に影響されるとともに、影響の度合いが円石藻の種よりも現存量が多い種で顕著であることも把握することができている。しかし、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。そのため、今から酸性化に対する生物反応の充実した予測実験は必ず要求されると思われるためである。

3. 研究の方法

地球温暖化による海洋表層の成層化は、下層からの栄養塩供給を妨げるため、植物プランクトンの増殖可能なサイズを小型化する可能性が高く、現場の群集組成が大型の珪藻類から小型の円石藻類・パルマ類に変化する可能性がある。また、温暖化の原因物質の一つである大気中の二酸化炭素濃度の上昇による海洋表層の二酸化炭素分圧は、2100年には700~1000ppmに達すると予測されている。この高い酸性化海水のもとでの申請者らグループの予備的実験では、大型の珪藻類が増殖し、炭酸カルシウムの殻を持つ円石藻類は溶失したり、増殖が低く抑えられる結果も得られている。しかし円石藻類および炭酸カルシウム殻を持つ翼足類に対する酸性化実験はまだ十分ではなく、予測値環境下の動植物プランクトンの反応を理解するためには、動植物プランクトンの現状把握と1000ppm前後までの予測実験を行い、植物プランクトンの反応を十分把握する必要がある。そのため本研究は、基本的な現場における観測調査に加え、本研究の特長となる培養実験（酸性化シフト実験）を現場で実施し、プランクトンの持つ潜在生産力とその環境応答を予測するための知見の充実をはかり、最終年度には得られた資料を他の研究者に提供して生物反応を中心とした温暖化予測モデル構築に貢献するために、以下の研究を行った。

研究方法は大きく3つの部分に分けられる。すなわち、動植物プランクトンの動態と酸性化予測実験である。

調査航海に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2010年度、2011年乗船し、2012年度は指導大学院生が乗船して、プランクトン種組成と現存量把握ならびに酸性化予測実験を実施した。

動植物プランクトン分布動態解析

試料は、北太平洋亜寒帯海域に関しては、連携研究協力者である小笠が定期的(4回以上/年)に実施している釧路沖定線(Aライン)観測でこれまでに得られた試料を用い、定点の0-200m層の各層の種組成、生物量の観察計数を走査型電子顕微鏡(SEM)により実施し、種組成と種毎の現存量の季節変化を把握すると同時に、植物に関しては高速液体クロマトグラ(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とHPLC観察分析では、特に大型の珪藻類と微小な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する。

植物プランクトンの計数・成分分析は東海大が保有するX線分析型走査電子顕微鏡(SEM+EDS)を用い、微小な植物プランクトンの定量と、現場における定常状態の細胞毎の構成成分の資料を蓄積した。また、色素組成の分析も東海大が保有する高速液体クロマトグラフ(HPLC)を用いた。

これらのために旅費、試薬類購入に研究費を使用した。

酸性化予測(温暖化シフト)現場実験

釧路沖定線観測航海及び海鷹丸航海中の水深5-10mから採水した海水に二酸化炭素を通気し、人為的な酸性化(海水pHコントロール)培養実験(酸性化シフト実験)を行なった。実験は770ppm(2050年予測値)の現実的な予想値での植物プランクトンの増殖(または減少)を大型の珪藻類と小型の円石藻類と翼足類を対象とし、50-100年後の酸性化の影響を明確にした。

酸性化シフト現場実験終了後の試料の分析は、珪藻、円石藻、翼足類を対象にSEM+EDSによる植物プランクトン種組成・成分分析とHPLCによる植物プランクトン群の組成と定量を行い、将来の酸性化に対する、ケイ酸系と炭酸カルシウム系の生物の反応の把握につとめている。

このために、酸性化予測実験培養器、クリーン採水のための機器と消耗品を購入した。

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もつ円石藻類に対する影響を調べるための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が多い円石藻類の種ほど酸性化の影響を受ける

と推定出来る結果を得ていて、現在この原因の理論的背景を構築している段階である。北太平洋と比較を目的に南極海においても、酸性化実験を実施する機会に恵まれ、現在はその試料の解析も行なっている。南極海では植物プランクトン現存量で優先する珪藻類が多いことから、円石藻類の応答に加え、珪藻類にも着目して、試料の分析を勧めている。論文発表は、1)北太平洋亜寒帯海域の植物プランクトンの基礎生産の際に細胞外に作り出される物質の生産について、光環境や物理環境との対応関係を明らかにした。また、2)高純度二酸化炭素通気により酸性化した海水を、西部北太平洋において現場の植物プランクトンを用いて培養する海洋酸性化予測実験を行い、植物プランクトンの酸性化に対する応答予測を発表した。

国内外の学会での口頭発表は、2011年度の航海において酸性化予測実験を、現場の動物プランクトン(翼足類)や植物プランクトンで行った結果について発表が中心となっている。また、同時に海洋表層に分布する炭酸カルシウム殻を持つ動植物プランクトンの沈降についても発表した。

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7件)

- 1: Sampei, M., H. Sasaki, R. Makabe, A. Forest, H. Hattori, J.-E. Tremblay, Y. Gratton, M. Fukuchi, L. Fortier (2011) Production and retention of biogenic matter in the southeast Beaufort Sea during 2003-2004: Insights from annual vertical particle fluxes of organic carbon and biogenic silica. *Polar Biol.* 34: 501-511. IF・査読あり
- 2: Nomura, D., A. McMinn, H. Hattori, S. Aoki, M. Fukuchi (2011) Incorporation of nitrogen compounds into sea ice from atmospheric deposition. *Mar. Chem.*, 127, 90-99. IF・査読あり
- 3: Forest, A., J.-E. Tremblay, Y. Gratton, J. Martin, J. Gagnon, G. Darnis, M. Sampei, L. Fortier, M. Ardyna, M. Gosselin, H. Hattori, D. Nguyen, R. Maranger, D. Vaque, C. Marrase, C. Pedros^wAlio, A. Sallon, C.

Michel, C. Kellogg, J. Deming, E. Shadwick, H. Thomas, H. Link, P. Archambault, D. Piepenburg (2011) Biogenic carbon flows through the planktonic food web of the Amundsen Gulf (Arctic Ocean): A synthesis of field measurements and inverse modeling analyses. *Prog. Oceanogr.*, 91, 410-436. IF・査読あり

4: 野坂裕一・鈴木光次・伊佐田智規・齊藤宏明・津田 敦・服部 寛 (2012) 夏季の西部北太平洋亜寒帯循環域における植物プランクトンの光利用効率. *月刊海洋*, 44, 473-477. 査読無し

5: Yoshimura, T., K. Suzuki, H. Kiyosawa, T. Ono, H. Hattori, K. Kuma, J. Nishioka (2013) Impacts of elevated CO₂ on particulate and dissolved organic matter production: Microcosm experiments using iron deficient plankton communities in open subarctic waters. *J. Oceanogr.*, 69, 601-618. IF・査読あり

6: Nosaka, Y., T. Isada, I. Kudo, H. Saito, H. Hattori, A. Tsuda and K. Suzuki (2013) Light utilization efficiency of phytoplankton in the Western Subarctic Gyre of the North Pacific during summer. *J Oceanogr.* 70, 91-103. IF・査読あり

7: 佐々木洋、遠藤寿 (2013) 海洋プランクトンに対する海洋酸性化の影響、「海洋と生物」, 207: 323-331.

〔学会発表〕(計 31 件)

1: 山口 梓・斎藤裕美・服部 寛・高橋邦夫 (2011、10月) 南極ぬるめ池における線虫類の鉛直分布. 第17回野生生物保護学会、野生生物保護協会

2: Shozo Motokawa, V.S. Kuwahara, H. Hattori, G. Hashida, H. Sasaki, S. Taguchi (2011, Nov) Size-dependent absorption property of phytoplankton in the Southern Ocean. Abstracts of XXXIV Symposium on Polar Biology, XXXIV Symposium on Polar Biology, Tokyo (Japan), National Institute of Polar Research.

3: Hattori, H., H. Idei, V.S. Kuwahara, S. Motokawa, S. Takao, S. Taguchi, K. Suzuki, G. Hashida, H. Sasaki, (2011 Nov) Vertical distribution of hard shell phytoplankton in the

Antarctic Ocean in summer. Abstracts of XXXIV Symposium on Polar Biology, XXXIV Symposium on Polar Biology, Tokyo (Japan), National Institute of Polar Research.

4: Sasaki, H., F. Akiha, S.-I. Suganami, V.S. Kuwahara, S. Motokawa, Y. Hiratsuka, A. Suzuki, S. Takao, H. Yoshikawa, G. Hashida, T. Odate, H. Hattori (2011, Nov) Multi-purpose underwater observing system moored to drifting GPS buoy. Abstracts of XXXIV Symposium on Polar Biology, XXXIV Symposium on Polar Biology, Tokyo (Japan), National Institute of Polar Research.

5: 佐々木洋・秋葉文弘・桑原 V. 伸一・本川正三・平塚悠治・鈴木陽大・高尾新太郎・吉川久幸・橋田元・小達恒夫・服部寛 (2011, 11) 南極海生態系の応答を通して探る地球環境変動. 第2回極域化学シンポジウム. 国立極地研究所、東京

6: 野坂裕一・鈴木光次・伊佐田智規・齊藤宏明・津田敦・服部寛・山下洋・高橋一生 (2011,12) 西部北太平洋亜寒帯海域に置ける基礎生産力、光合成特性、および透明細胞外重合体粒子 (TEP) 分布の特長. 研究集会「北太平洋の生物地球化学過程に果たす環オホーク圏の海洋循環の役割」、北大低温科学研究所

7: 安藤和樹・斎藤裕美・高橋邦夫・服部 寛・伊村 智 (2012. 2月) 南極湖沼ぬるめ池に生息する動物相の鉛直分布について日本生態学会地区会北海道地区会、札幌、日本生態学会北海構地区会

8: 佐々木洋・橋田元・服部寛 (2012,3月) 第8期重点研究課題「南極海生態系の応答を通して探る地球環境変動」日本海洋学会春季大会、シンポジウム南極海洋研究の進展と研究計画の立案に向けて。筑波大学、筑波、日本海洋学会

9: Hattori, H., H. Sasaki, H. Kurihara, H. Endo, S. Motokawa, T. Iida, K. Suzuki, S. Taguchi, G. Hashida, T. Odate (2012, Sept) Japanese project on Southern Ocean acidification 2. -Preliminary acidification experiments using carbonate plankters (coccolithopholids). 2. Monterey, CA, USA.

10: Sasaki, H., F. Akiha, S. Suganami, S. Konno, H. Hattori, G. Hashida, T. Odate, A. Suzuki, W. Okoshi, H. Yoshikawa (2012,

- Sept) Japanese project on Southern Ocean acidification -1. Present state on the variability of CO₂ and carbonate plankters. The Ocean in a High-CO₂ World. Ocean Acidification. Monterey, CA, USA.
- 11: 服部 寛, 三島 翼, 遠藤 寿, 本川正三, 飯田高大, 栗原晴子, 橋田 元, 鈴木光次, 田口 哲, 佐々木洋 (2012, Nov) 南極海の酸性化が植物プランクトンに及ぼす影響予測実験の結果. 酸性化勉強会、国立極地研究所、東京.
- 12: Sasaki, H., F. Akiha, S. Motokawa, H. Kurihara, H. Endo, H. Yoshikawa, T. Iida, G. Hashida, T. Odate, H. Hattori (2012, Nov) Response of Antarctic marine ecosystems to global environmental changes with carbonate systems (RAMEEC) -Preliminary report of JARE53-. The 3rd symposium on Polar Science, Multidisciplinary session "Biogeochemistry in the seasonally ice-covered Antarctic Ocean. Tokyo (Japan), National Institute of Polar Research.
- 13: Endo, H., H. Hattori, G. Hashida, T. Iida, S. Motokawa, H. Sasaki, K. Suzuki (2012, Nov) Impacts of ocean acidification and iron enrichment on phytoplankton assemblages in the Southern Ocean. The 3rd symposium on Polar Science, Multidisciplinary session "Biogeochemistry in the seasonally ice-covered Antarctic Ocean. Tokyo (Japan), National Institute of Polar Research.
- 14: Hattori, H., T. Mishima, H. Endo, S. Motokawa, T. Iida, H. Kurihara, G. Hashida, K. Suzuki, S. Taguchi, T. Odate, H. Sasaki (2012, Nov) Impact estimation of southern Ocean acidification on calcium carbonate phytoplankton. The 3rd symposium on Polar Science, Multidisciplinary session "Biogeochemistry in the seasonally ice-covered Antarctic Ocean. Tokyo (Japan), National Institute of Polar Research.
- 15: Akiha, F., G. Hashida, H. Hattori, T. Iida, H. Sasaki (2012, Nov) Seasonal change of thecosomatous pteropods collected using mooring sediment traps in the Antarctic Ocean. The 3rd symposium on Polar Science, Multidisciplinary session "Biogeochemistry in the seasonally ice-covered Antarctic Ocean. Tokyo (Japan), National Institute of Polar Research.
- 16: Motokawa, S., H. Hattori, T. Iida, H. Endo, H. Sasaki, S. Taguchi (2012, Nov) The effect of pCO₂ on size-fractionated phytoplankton community in the Southern Ocean. The 3rd symposium on Polar Science, Multidisciplinary session "Biogeochemistry in the seasonally ice-covered Antarctic Ocean. Tokyo (Japan), National Institute of Polar Research.
- 17: Sampei, M., H. Sasaki, H. Hattori (2012, Nov) A recent new knowledge on the biological carbon pump: From an international collaboration with a Canadian research group. The 3rd symposium on Polar Science, "New development of Antarctic Ocean. Tokyo (Japan), National Institute of Polar Research.
- 18: 栗原晴子, 秋葉文弘, 佐々木洋 (2012) 海洋酸性化が翼足類 *Limacina helicina* の生理生態に及ぼす影響の評価、極域科学シンポジウム, 極地研究所
- 19: Sampei, M., H. Hattori, M. Fukuchi, K. Takahashi (2013, Jan) Research cooperation on marine ecosystems and marine resources in the Arctic Sea. Japan- Canada Arctic Research Workshop. Tokyo International Exchange Center, NIPR and ArcticNet, Canada
- 20: Makabe, R., S. Sukanami, F. Akiha, H. Hattori, H. Sasaki (2013 Feb) Time series observations of environmental variables using surface drifters in the Antarctic Ocean in summer. 28th Okhotsk Sea & Sea Ice Symposium. Monbetsu (Japan)
- 21: Mishima, T., H. Hattori, H. Endo, S. Motokawa, H. Kurihara, G. Hashida, K. Suzuki, S. Taguchi, H. Sasaki (2013, Feb.) Impact of Southern Ocean acidification on phytoplankton (haptophytes). 28th Okhotsk Sea & Sea Ice Symposium. Monbetsu (Japan)
- 22: Narita, A., F. Akiha, G. Hashida, H. Hattori, H. Sasaki (2013 Feb) Seasonal and vertical change in the downward flux of planktonic foraminifera collected at 100°E, 60°S of the antarctic Ocean in 2011. 28th Okhotsk Sea & Sea Ice Symposium. Monbetsu (Japan)

- 23: 服部寛・三島翼・遠藤寿・本川正三・飯田高大・栗原晴子・橋田元・鈴木光次・田口哲・佐々木洋 (2013 3月) 南極海の酸性化がハプト藻類に及ぼす影響予測. 2013年日本海洋学会春季大会, 東京海洋大学、日本海洋学会
- 24: 服部寛・三島翼・遠藤寿・本川正三・飯田高大・栗原晴子・橋田元・鈴木光次・西岡純・田口哲・佐々木洋 (2013, 9月) 南極海の酸性化が珪藻類におよぼす影響予測. 2013年度日本海洋学会秋季大会、北海道大学、日本海洋学会
- 25: Hattori, H., T. Mishima, H. Endo, S. Motokawa, T. Iida, H. Kurihara, G. Hashida, K. Suzuki, J. Nishioka, S. Taguchi, H. Sasaki (2013 Nov) Impact estimation of Southern Ocean acidification on phytoplankton (diatoms). The Fourth Symposium on Polar Sciences, National Institute of Polar Research, Tokyo.
- 26: Motokawa, M., H. Hattori, G. Hashida, T. Iida, H. Sasaki and S. Taguchi (2013 Nov) Photoprotective acclimation of the size-fractionated natural assemblage of phytoplankton induced by the variable optical depth in the Indian Sector of the Southern Ocean. The Fourth Symposium on Polar Sciences, National Institute of Polar Research, Tokyo.
- 27: Narita, A., F. Akiha, H. Hattori and H. Sasaki (2013 Nov) Vertical change of downward flux of calcareous zooplankton collected at 110°E, 60°S of the Antarctic Ocean in 2011. The Fourth Symposium on Polar Sciences, National Institute of Polar Research, Tokyo.
- 28: Sasaki, H., F. Akiha, S. Konno and H. Hattori (2013 Nov) Importance of shelled pteropods in antarctic marine ecosystems- Preliminary model study-. The Fourth Symposium on Polar Sciences, National Institute of Polar Research, Tokyo.
- 29: Makabe, R., F. Akiha, S. Konno, H. Hattori, H. Sasaki (2013 Nov) Time-series observations using surface drifters in the Antarctic Ocean in summer. The Fourth Symposium on Polar Sciences, National Institute of Polar Research, Tokyo.

30: 松野孝平、木元克典、服部 寛、山口篤 (2014, 3) 動物プランクトン分野におけるこれまでの成果. シンポジウム「急激な海水減少と北極海海洋生態系の変化 III」、平成26年日本海洋学会春季大会、東京海洋大学、日本海洋学会

31: 佐々木洋 (2014. 3) 「海洋酸性化が極域の生態系に与える影響ー有殻翼足類を例にしてー、シンポジウム「海の酸性化」、平成26年日本海洋学会春季大会、東京海洋大学、日本海洋学会

〔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

芳村 毅 (Yoshimura, Takeshi)
電力中央研究所・物理環境領域・主任
研究者番号：20371536

(3) 連携研究者

小埜 恒夫 (Ono, Tsuneo)
独) 水産総合研究センター・研究室長
研究者番号：40371786