

令和元年6月25日現在

機関番号：18001

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H04536

研究課題名(和文) 日本沿岸域における海洋酸性化の実態と水産生物/生態系への影響解明

研究課題名(英文) Evaluation of ocean acidification impacts at Japan coast water and fisheries

研究代表者

栗原 晴子 (KURIHARA, Haruko)

琉球大学・理学部・助教

研究者番号：40397568

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究によってはじめて国内の高緯度域(北海道)から低緯度域(沖縄)を網羅した沿岸域での酸性化のモニタリング体制が構築され、年間の海水のpH、水温、塩分、アルカリ度・全炭酸連続観測に成功した。その結果、沿岸海域のpHは0.2-0.4の幅で大きく季節変動し、その変動の仕方は海域間で異なることが明らかとなった。また今後大気CO₂濃度が増加し続けた場合、北海道沿岸の炭酸カルシウム飽和度()は冬の間は連続的に未飽和になることが予測された。一方で水産重要種の一つであるウニ類は種によって酸性化および温暖化に対する耐性が異なり、より低緯度域の種の方pHの低下及び水温上昇の影響を顕著に受けることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果によって構築された観測網および得られた国内沿岸域での炭酸化学環境の観測データによって、はじめて国内の異なる緯度帯での将来の酸性化予測モデルの構築が可能となった点で極めて意義深い。さらに水産重要種に対する酸性化影響評価によって、酸性化が水産生物資源に及ぼす影響を解明した点で水産大国である日本によっての社会的にも高い意義がある。今後は今回構築された観測網を利用してより長期的な観測の継続と共に観測地点数を増やし、さらに様々な水産重要種に対する気候変動によるリスクアセスメントの実施が望まれる。

研究成果の概要(英文)：We first developed a framework for ocean acidification monitoring at coastal water of Japan covering from high to low latitude regions, and we made a year-round observation of seawater pH, SST, salinity, alkalinity and dissolved organic carbon (DIC). As a result, we found that the seawater pH shows strong seasonal fluctuation over 0.2-0.4, and the fluctuation was regionally specific. From future modelling it was predicted that the seawater at coast of Hokkaido will become under-saturated for whole winter with the increase of seawater pCO₂. Meanwhile, for the sea urchins it was found that low latitude species show less tolerance to ocean acidification and global warming.

研究分野：海洋環境

キーワード：海洋酸性 沿岸 水産 環境アセス 炭酸化学環境 海洋生態系

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水産資源大国である日本にとって、沿岸生態系の保全と持続可能な生物資源の確保は欠かせない。しかし、人為活動に伴う沿岸開発に加え、地球規模で急速に進行している気候変動は、生物生産性／生物多様性の中心を担う沿岸生態系を大きく改変させつつある。中でも近年特に注目されているのが、大気 CO₂ 濃度増加に起因する【海洋酸性化】による影響である。海水の pH の低下は、多くの無脊椎動物の体内の酸-塩基平衡を変化させ、呼吸などの代謝活動に影響し、その生物活性を低下させることが知られており、海洋酸性化は、沿岸域を含め、海洋全体の炭酸化学環境を変化させ、水産的に重要な生物資源量に直接影響するリスクが懸念される。しかしながら、国内沿岸域での炭酸化学環境のモニタリング体制は整っておらず、沿岸域での酸性化の実態は未だ明らかにされていない。近年、外洋域での観測データを元に、海洋酸性化の将来予測モデルが構築されており、そのモデルを元に国内外で生物／生態系に対する酸性化影響評価が実施されている。しかし、沿岸域の炭酸化学環境は、その場の物理学的、化学的、生物学的特性の影響を強く受けるため、外洋域とは大きく異なる変動を見せると考えられる。さらに生物の活性や生産性は水温によって大きく規定されている。従って沿岸域では季節や緯度によって生物が海水の炭酸系に及ぼす影響が異なる可能性が予測される。今後気候変動が国内沿岸の水産資源に及ぼしうるリスク評価を行うには、幅広い緯度帯での沿岸域における炭酸化学環境詳細な把握し、さらにその上で、酸性化が将来水産生物に及ぼしうる影響を評価することが重要である。

2. 研究の目的

本研究では、日本沿岸域において酸性化による生物資源への影響解明を目的に、1. 国内沿岸で高解像度の時空間的炭酸化学環境を解明し、そのデータを元に 2. 沿岸域の将来酸性化予測モデルを構築し、3. 実験的に水産学的に重要な生物種への酸性化の閾値を評価し、4. 評価データおよび酸性化予測モデルを元に、水産重要種に対する海洋酸性化リスク評価を実施する。

3. 研究の方法

(1) 炭酸化学環境の観測：国内沿岸の北から南までの沿岸を網羅するように、炭酸化学環境の観測地点は以下の5カ所：北海道忍路湾沿岸、北海道厚岸湾沿岸、宮城県志津川湾沿岸、千葉県館山湾沿岸および沖縄県瀬底島名護湾沿岸に設置した(図1)。それぞれの地点において、年間を通しての炭酸化学環境を観測するため、水深約4~10mにおいて水温、塩分および pH センサーを設置した。センサー類は月に1-2回回収し、データの吸い出しおよびメンテナンスを行い再度設置した。さらにメンテナンス時に、センサー周辺海水を採集し、海水のアルカリ度と全炭酸を測定した。測定には全自動アルカリ度滴定装置を用いた。これら測定値より CO₂sys ソフトを用いて、 Ω およびその他炭酸系パラメータを換算した。

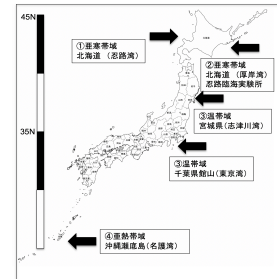


図1.炭酸化学環境観測地点

(2) 酸性化による生物影響：炭酸化学環境観測地点のうち、亜寒帯域に位置する北海道厚岸湾、温帯域に位置する館山および亜熱帯域に位置する沖縄県瀬底島にて、それぞれの海域に生息するウニ類を用いて、その幼生に対する酸性化影響評価実験を行った。北海道ではエゾバフンウニ (*Strongylocentrotus intermedius*)、千葉県館山ではアカウニ (*Pseudocentrotus depressus*)、沖縄ではホンナガウニ (*Echinometra mathaei*)を用いた。それぞれのウニ幼生に対する高 CO₂ 濃度はおよび高水温の影響アセス実験を実施した。

4. 研究成果

(1) 沖縄沿岸における炭酸化学環境：沖縄県瀬底島沿岸での年間の水温および pH を測定した結果、水温は 19.6-31.2°Cまで変化し3月に最も低く 8月に最も高い値を示した(図2)。一方海水の年間平均 pH は 8.05であったが、季節によってその値は大きく変化し、8月(夏)に低く値 (8.01)を示すのに対して、3月から4月(冬)の昼間にかけて高い値 (8.13) 示した。また昼夜をとおして0.13-0.14の日変動を示し、特に夏の夜の年間を通して最も低い値 (7.76)を示し、その値は 7.8 を下回る日もあった。さらに測定した海水の pH、水温、塩分から計算した年間の海水中の pCO₂ は平均(382 μ atm)であったが、季節によって大きく変化し、冬(1-3月)の平均 pCO₂ は 303 μ atm であったのに対して、夏の(7-9月)の平均 pCO₂ は 431 μ atm と高く、さらに夏の夜の海水の pCO₂ 濃度は 800 μ atm を超える値も観測された。このことから沖縄沿岸の海水は夏には大気とほぼ平衡している一方、冬には 400 μ atm 以下に保たれており大気 CO₂ の吸収源となっていると予測される。冬の低 pCO₂ 濃度の理由としては常に高水温に保たれている低緯度域を流れてきた黒潮が特に冬には水温の低下に伴う影響を受けていると考えられる。

一方季節に伴う日変動幅の違いは主に生物による影響が考えられ、夏には高水温による生物の呼吸や光合成、石灰化による代謝活性が高いことに起因すると予測される。またこれら結果より、酸性化による生物影響は季節によっても異なり、特に夏に顕著になると予測される。海水中の年間平均炭酸カルシウム飽和度 (Ω) は 3.49 であり、大きな季節変動は見られなかった。また日変動は季節を通して約0.8-0.9の変化幅を示し、季節変動よりも日変動の方が大きかったが、6月の夜には最低値(2.21)、4月の昼間には最高値(4.58)の値が観察された。

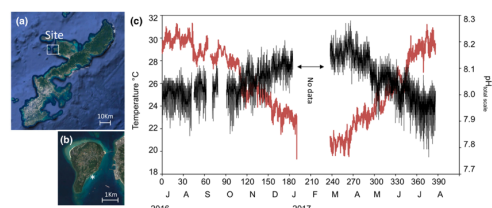


図2. 沖縄沿岸年間を通じた海水温および pH の変化。

(2)異なる緯度海域間での炭酸化学環境:沖繩, 千葉, 宮城および北海道厚岸沿岸の水温は, それぞれ平均 26.6°C (20.9-30.13°C), 21.0°C (15.2-28.3°C), 15.8°C (7.6-24.2°C) および 7.4°C (-1.3-18.5°C) の範囲で推移した(図3)。塩分は千葉沿岸を除き, 年間を通してほぼ一定であった。ただし千葉県の塩分についてはセンサーによるトラブルである可能性も高く, 現在引き続き観測している。海水の pH は各海域ともその年間平均値には大きな違いは見られず, それぞれ 8.08(沖繩), 8.11(千葉), 8.12(宮城) および 8.12(北海道)であった。一方で季節による pH の変動の仕方は大きく異なっており, 沖繩では冬に高く夏に低いのに対して, 宮城や北海道などの北の海域では春に最も高く, 夏に低い値を示した。特に宮城および厚岸では季節に伴う変動幅が大きく pH の変動幅は約 0.3-0.4 あり, 7-8 月には pH は 7.9-8.0 と年平均よりも 0.1-0.2 低い値を示した。一方で千葉沿岸では大きな季節変化は観察されなかった(図3)。海水中の pCO₂ 濃度は pH 同様季節によって大きく変化し, 冬に低く夏に高い傾向が見られた(図3)。これら季節による変化は海水温の変化と生物の代謝活性に伴う影響が考えられる。特に宮城および北海道では春先の pCO₂ 濃度は 200μatm を下回っており, 春の植物プランクトンのブルームによる可能性が示唆される。一方で夏には高い pCO₂ 濃度を示しており, 生産よりも分解が上まっていることが予測される。また夏期では大気 pCO₂ 濃度(400μatm) よりも高く, CO₂ の放出源に, 一方冬から春にかけては吸収源となっていると考えられる。千葉県沿岸の海水の pCO₂ 濃度には大きな季節変化は見られなかった。また各海域の Ω は緯度によって大きく異なり, 年間の平均それぞれ 3.73(沖繩), 3.26(千葉), 2.55(宮城) および 1.96(北海道)であった。また千葉, 宮城および北海道では冬に低い値を示す傾向が見られた(図3)。

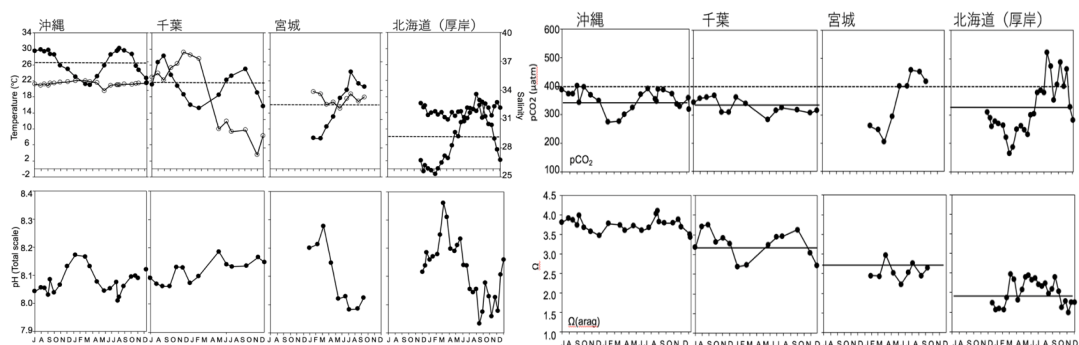


図3 沖繩, 千葉, 宮城および北海道厚岸沿岸の年間の水温と塩分(右上図)および pH(右下図)の変化および年間の海水中の pCO₂ 濃度(左上図)および炭酸カルシウム飽和度 Ω arag(左下図)。

(3)将来予測:将来大気中の CO₂ 濃度が現在よりも 500μatm 上昇することにより, 海水中の CO₂ 濃度が場合, 海水中のアルカリ度が変化しないと仮定した上での各海域における年間の炭酸カルシウム飽和度(Ω)の予測値を図4に示す。さらに海水中の CO₂ 濃度と共に海水温が 3°C増加した場合は, Ωの低下幅は約 0.1-0.3 程度緩和され, その効果はより低緯度域で顕著に見られることが予測される。水温の影響により沖繩沿岸の Ωは大気 CO₂ 濃度が 500μatm 上昇した場合年間の平均 Ωは2.0 まで低下することが予測された。さらにより高緯度域に位置する宮城県沿岸では Ωは1に近い値を示し, 特に北海道沿岸では夏以外は常に未飽和な状態になることが予測され, 石灰化生物に大きく影響をすることが予測される。

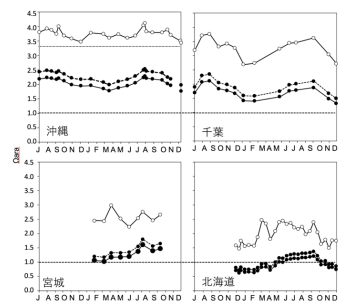


図4 高 CO₂, 水温下での Ω

(4)生物影響:北海道沿岸に生息し, 水産資源として重要なエゾバフンウニについて, 幼生の体サイズに対する水温および海水の pH による影響を評価した結果, ウニ幼生の体サイズは水温が増加すると共に増加する一方で pH が低下すると共に低下することが明らかとなった(図5)。また幼生の体サイズは次式で示された: 体サイズ=2.95*T+72.9*pH-263。本推定式と将来の海水中の pH の予測値から, エゾバフンウニの幼生の体サイズは大気中の CO₂ 濃度が現在よりも 500μatm 上昇した場合, 約 20%低下することが推定された。さらに千葉県ではアカウニ, 沖繩ではホンナガウニを用いて同様の実験を行った。

その結果ウニの種類によって海水の pCO₂ (pH) による影響の受け方は異なり, ホンナガウニのほうがエゾバフンウニに比較して種としては CO₂ の増加による影響を受けやすいことが明らかとなった。しかし, ホンナガウニ, エゾバフンウニは共に夏に産卵し, 北海道沿岸の夏の海水の CO₂ 濃度はおよびその日変動は沖繩沿岸よりも高く, また水温も低いことから, 大気 CO₂ 濃度に伴う北海道沿岸の夏の海水の pH は沖繩沿岸よりも低くなることが予測され, 北海道沿岸に生息するエゾバフンウニのほうがナガウニよりもその影響をより顕著にうけることが予測され

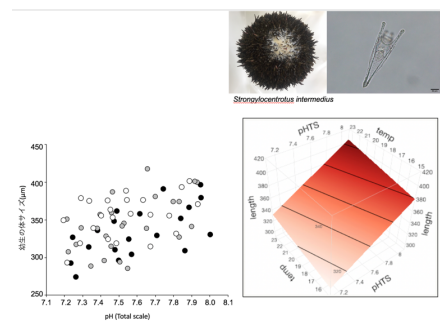


図5 幼生の体サイズと海水の pH と水温の関係

た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 19 件)

- ① Kurihara H, Wouters J, N Yasuda (2019) Seasonal calcification of the coral *Acropora digitifera* from a sub-tropical marginal Okinawa reef under ocean acidification. Coral Reefs, in press 査読有り
- ② Lebec M, Stefanski S, Gates R, Acar S, Golbuu Y, Claudel-Rusin A, Kurihara H et al. (2019) Ocean acidification impacts in select Pacific Basin coral reef ecosystems. Regional Studies in Marine Science 28, 100584 査読有り
- ③ 川合美千代 (2019) 東京湾における酸性化の現状と将来予測. 海洋と生物 印刷中 査読無し
- ④ Boyd PW, Collins S, Dupont S, Fabricius K, Gattuso J-P, Havenhand J, Hutchins DA, Riebesell U, Rintoul MS, Uichi M, Bissau H, Ciotti A, Tao K, Gehlen M, Hurd CL, Kurihara H, McGRaw CM, Navarro JM, Nilsson GE, Passos U, Porter H-O (2018) Experimental strategies to assess the biological ramifications of multiple drivers of ocean global ocean - a review" Global Change Biology 24, 2239-2261 査読有り
- ⑤ 藤井 賢彦 (2018), 海洋酸性化が日本の沿岸社会に及ぼす影響評価, 特集 海洋酸性化と地球温暖化に対する沿岸・近海域の生態系の応答 (上巻), 月刊海洋, 50(5), 208-216. 査読有り
- ⑥ 田中里美・川合美千代・安中さや (2018) 自己組織化マップを用いた北極海における炭酸カルシウム飽和度の推定. 月刊海洋 50, 254-262 査読有り
- ⑦ Kurihara H, Takahashi A, Reyes-Bermudez A, Hidaka M (2018) Intraspecific variation in the response of the scleractinian coral *Acropora digitifera* to ocean acidification. Marine Biology 165, 38-49 査読有り
- ⑧ Kurihara H, Shikota T (2018) Impact of increased seawater pCO₂ on the host and symbiotic algae of juvenile giant clam *Tridacna crocea*. Galaxea, Journal of Coral Reef Studies 20: 1-20 査読有り
- ⑨ Yamamoto-Kawai M, N. Kawamura, T. Ono, N. Kosugi, A. Kubo, M. Ishii, J. Kanda (2015) Calcium carbonate saturation and ocean acidification in Tokyo Bay, Japan. Journal of Oceanography 71, 427-439. 査読有り

〔学会発表〕(計 57 件)

- ① Kurihara H, Yasuda N, Yamamoto-kawai M, Shimizu S, Nakaoka M, Ann H. (2018) Evaluation of carbon chemistry along the near-shore coast of Japan. PICES Yokohama, Japan ワークピア横浜 Workpia Yokohama
- ② 栗原晴子、宮城里奈、橋本和志、安田直子、川合美千代、清水庄太、仲岡雅裕、安孝珍 (2018) 国内沿岸での長期炭酸化学環境の観測と水産生物への酸性化影響, 日本海洋学会, 東京海洋大学
- ③ 栗原 晴子, Judith Wouters, 安田 直子 (2018) 沖縄本島沿岸での炭酸系とサンゴの石灰化の季節変動と将来予測, 日本サンゴ礁学会, 琉球大学
- ④ Fujii, M. (2018) Assessment and projection of coastal ecosystems in Japan in response to ocean warming and ocean acidification, WESTPAC Ocean Acidification Symposium, Xiamen.
- ⑤ Yamaka, T., S. Takao, and M. Fujii (2018) Evaluation and prediction of the influences of ocean acidification to the subarctic coast, PICES 2018 Annual Meeting, Yokohama.
- ⑥ 藤井 賢彦 (2018) 海洋酸性化が日本沿岸の海洋生態系と地域社会に及ぼす影響, 温暖化・海洋酸性化の研究と対策に関する国際シンポジウム 一科学と政策の接点一, 東京.
- ⑦ 山家 拓人, 高尾 信太郎, 藤井 賢彦 (2018) 海洋酸性化が亜寒帯沿岸域に及ぼす影響の評価・予測, 海洋生物シンポジウム 2018.
- ⑧ Zhang Y., M. Yamamoto-Kawai, W. Williams (2018) Spatial distribution of calcium carbonate saturation state in the surface layer of the Canada Basin in the last decade. Forum for Arctic modeling and observational synthesis (FAMOS) meeting
- ⑨ 川合美千代 (2018) 東京湾における海洋酸性化の現状と将来予測. 日本海洋学会
- ⑩ Kurihara H (2017) Why we need to care for ocean acidification in coastal water. GEOSS-AP 2, 東京お台場 招待講演
- ⑪ Fujii, M. (2017) Experience sharing on monitoring factors relevant to ocean acidification and warming in the subpolar coastal regions, Japan, WESTPAC Ocean Acidification Workshop, Phuket, Thailand.
- ⑫ 藤井 賢彦 (2017) 海洋酸性化が日本近海の地域社会に及ぼす影響評価, JpGU-AGU Joint Meeting 2017.
- ⑬ Kurihara H (2016) Ocean Acidification at Asian Coast Water. 2nd Interdisciplinary Symposium on Ocean Acidification and Climate Change. Hong Kong 招待講演
- ⑭ Fujii, M. (2016) Anticipated impacts of ocean acidification on local societies in Japan, PICES Annual Meeting, San Diego, USA.

- ⑮栗原晴子(2015)サンゴと海洋酸性化. 2015年度に本付着生物学会シンポジウム 東京. 招待講演
⑯栗原晴子、安田直子、Judith Wouters (2015) 沿岸域における海洋酸性化. 2016年度春季大会日本海洋学会、東京
⑰M. Yamamoto-Kawai, N. Kawamura, T. Ono, N. Kosugi, A. Kubo, M. Ishii, and J. Kanda (2015)
Calcium carbonate saturation and ocean acidification in Tokyo Bay, Japan. PICES 2015 Annual Meeting Qingdao, China

[図書] (計 2 件)

- ①栗原晴子, 藤井賢彦, 川合美千代 日本海洋学会 (編) (2017), 海の温暖化 ー変わりゆく海と人間活動の影響ー, 朝倉書店, 154pp. (編集委員, 3, 4 章, 執筆を担当)

[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 :
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 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等 <https://harukoku.wixsite.com/kuriharalab>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名 : 川合美千代

ローマ字氏名 : KAWAI, michiyo

所属研究機関名 : 東京海洋大学

部局名 : 海洋科学技術研究科

職名 : 准教授

研究者番号 (8 桁) : 50601382

研究分担者氏名 : 藤井賢彦

ローマ字氏名 : FUJII, masahiko

所属研究機関名 : 北海道大学

部局名 : 大学院地球環境科学研究院

職名 : 准教授

研究者番号 (8 桁) : 60443925

(2) 研究協力者

研究協力者氏名 : 仲岡雅也

ローマ字氏名 : NAKAOKA, masaya

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。