

温暖化と海洋酸性化の同時進行は生態系の単純化をもたらす

日本を含む世界中の暖温帯海域には、大型藻類であるケルプが基盤となる生態系が広がっています。大気中のCO₂濃度の上昇は、温暖化だけでなく海洋酸性化も引き起こします。温暖化は藻食魚類の活性を増大させケルプの生息を困難にしますが、サンゴにとっては冬季の冷水温ストレスが緩和し好適な状況（熱帯化）となります。一方、海洋酸性化は、サンゴなどの石灰化生物（炭酸カルシウムの骨格や貝殻を持つ生物）の成長に悪影響を及ぼすため、将来、温暖化と海洋酸性化が同時に進むことで、必ずしも暖温帯海域でサンゴが増加せず、熱帯化しない可能性があります。

本研究では、静岡県の下田と比較して伊豆諸島の式根島の海水温が高いこと、式根島にはCO₂シープ（海底からCO₂ガスが噴出する海域）があることを利用し、下田、式根島通常海域、式根島高CO₂海域の3つの海域を、それぞれ現在、温暖化、温暖化+酸性化した海洋環境に見立て、各海域にケルプとサンゴの移植を行い、温暖化と酸性化の複合影響を評価しました。その結果、海洋酸性化によってサンゴの成長が抑制されるために、温暖化と酸性化が複合的に生じる環境下では、ケルプもサンゴも存在せず、小型藻類のみが繁茂する単純な生態系が広がることが分かりました。

温暖化と海洋酸性化が同時に進行すれば、暖温帯海域でケルプが消失してもサンゴは増加しません。そのため、小型藻類のみが繁茂し生態系の単純化が生じると考えられます。これは人類が生態系から享受するさまざまな自然の恵み（生態系サービス）が減ることを意味します。

研究代表者

筑波大学生命環境系

アゴスティーニ シルバン 助教

研究の背景

日本を含む世界中の暖温帯海域には、大型藻類であるケルプが作り出す生態系が広がっています。近年、温暖化の進行に伴ってケルプの減少が報告され、この現象は日本では「磯焼け」として知られています。磯焼けの原因はまだ明確にされていませんが、熱帯・亜熱帯性の藻食魚類（ブダイなど）による食害が一つの原因として考えられています。また、水温の上昇によって造礁サンゴの分布域が暖温帯海域まで北上しつつあり、生態系の熱帯化が懸念されています。一方、人間活動によって放出される大気中の CO₂ の増加は、温暖化だけでなく海洋酸性化も引き起こします。海洋酸性化は、サンゴなどの石灰化生物（炭酸カルシウムの骨格や貝殻を持つ生物）の成長に悪影響を及ぼすことから、将来、温暖化と酸性化が同時に進んだ場合に、予測されるような暖温帯海域でのサンゴの増加、すなわち、生態系の熱帯化が本当に生じるのかが議論されています。

研究内容と成果

本研究では、水温または海水 CO₂ 濃度の異なる環境を用いて、温暖化と海洋酸性化の影響を同時に評価しました。静岡県下田市の恵比寿島付近の海域を「現在」の環境（低水温・低 CO₂ 濃度）、これより 50 km 南に位置する東京都新島村の式根島付近の海域を「温暖化」が進んだ環境（高水温・低 CO₂ 濃度）、さらに、同じ式根島海域に存在する CO₂ シープ^{注 1)} を「温暖化と海洋酸性化」を表す環境（高水温・高 CO₂ 濃度）とみなしました。これら 3 種類の環境において、それぞれケルプやサンゴの現存量の調査を行うとともに、各環境にケルプとサンゴを移植して、それらの生残と成長の様子を観察しました。

その結果、現在を表す環境ではケルプが多く、サンゴが少ない状態にあることが分かりました。こうした環境は漁業資源が豊富で、高い生態系サービスを提供する海域といえます。また、移植したケルプはほぼ全て生残しましたが、移植したサンゴは冬季に低温ストレスで成長速度が大きく低下しました。温暖化した環境ではケルプが存在せず、多様なサンゴが生息していました。移植したサンゴは冬季にも比較的良く成長し、熱帯化の兆候がみられた一方で、移植したケルプは熱帯・亜熱帯性の藻食魚類であるブダイの食害によって全て消失しました。さらに、温暖化と酸性化が進んだ環境では、ケルプもサンゴも存在せず、小型藻類のみが繁茂する単純な生態系がみられました。移植したサンゴは低温ストレスを受けないものの、海洋酸性化の影響によって現在の環境と同程度の成長速度しか認められませんでした。また、移植したケルプは温暖化環境と同様に、食害により全て消失しました。これは、酸性化が進んでもブダイなど藻類を食べる魚類が多く生残することに起因します。

これらのことから、将来、温暖化と海洋酸性化が同時に進行すれば、ケルプが消失するだけでなく、サンゴの北上も停滞する可能性が示されました。つまり、暖温帯海域では「熱帯化」ではなく「単純化」が生じることになります。これは人類が生態系から享受する様々な自然の恵み（生態系サービス）が減ることを意味します。

今後の展開

本研究グループは、2021 年に国際共同研究拠点 ICONA（International CO₂ Natural Analogues: 自然の海洋酸性化生態系をつなぐ国際共同研究拠点）を設立し、イタリアのパレルモ大学、フランス国立開発研究所、東京大学、沖縄科学技術大学院大学などと協力して研究を進めています。今後、ユネスコ IOC（政府間海洋学委員会）とも連携し、温暖化や海洋酸性化に対する海洋生態系の保全対策に取り込んでいく予定です。

参考図

A) 現在



B) 温暖化



C) 海洋酸性化+温暖化

図 各調査地点の海中景観

現在の海洋環境では多くの大型海藻が繁茂し、さまざまな生態系サービスが提供されている（A：静岡県下田市恵比寿島海域）。水温が上昇するとブダイなどの食害によって大型海藻が減少し、造礁サンゴが増加する（B：東京都新島村式根島海域）。しかし、温暖化と同時に海洋酸性化が進行することで造礁サンゴの増加が抑制され、小型藻類が優占する単純な生態系になると考えられる（C：式根島周辺海域のCO₂シーブ）。

用語解説

注1) CO₂シーブ

海底からCO₂ガスが噴出し、周囲の生態系が高CO₂環境に曝された海域。

研究資金

本研究は、日本学術振興会 若手研究（B）：17K17622、環境省 環境研究総合推進費：4RF-1701、筑波大学海外教育研究ユニット招致プログラムの支援により実施されました。

掲載論文

【題 名】 Simplification, not ‘tropicalization’, of temperate marine ecosystems under ocean warming and acidification

(海洋酸性化によって温暖化は温帯域海洋生態系の‘熱帯化’ではなく‘単純化’を引き起こす)

【著者名】 Sylvain Agostini ^{1*†}, Ben P. Harvey ^{1†}, Marco Milazzo ^{2,3}, Shigeki Wada ¹, Koetsu Kon^{1,4}, Nicolas Floc’h ⁵, Kosei Komatsu ⁶, Mayumi Kuroyama ⁶, Jason M. Hall-Spencer ^{1,7*}

1. Shimoda Marine Research Center, University of Tsukuba, 5-10 -1 Shimoda, Shizuoka, 415-0025, Japan

2. Dipartimento di Scienze della Terra e del Mare, University of Palermo, via Archirafi 28, I-90123, Palermo, Italy

3. Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare (CoNISMa), Rome, Italy

4. Department of Ocean Sciences, Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7 Konan, Minato, Tokyo 108-8477 Japan

5. Ecole Européenne Supérieure d’Art de Bretagne, 34, rue Hoche - 35000 Rennes, France

6. Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, Kashiwa, Japan

7. Marine Biology and Ecology Research Centre, University of Plymouth, Plymouth, UK

【掲載誌】 Global Change Biology

【掲載日】 2021年7月15日

【DOI】 10.1111/gcb.15455

問合わせ先

【研究に関すること】

アゴスティーニ シルバン

筑波大学生命環境系（下田臨海実験センター） 助教

URL: <https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000003394>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報室

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp