

塵も積もれば山となる？ 低濃度のリン酸塩でもサンゴの生育を阻害 稚サンゴの飼育実験から負荷量の重要性を検証

飯島 真理子¹・安元 剛²・安元 純^{3,4}・井口 亮⁵・鈴木 淳⁵

※本稿は、2025年1月10日に行ったプレス発表 (https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2025/pr20250110/pr20250110.html) に加筆し、再編したものです。

1. ポイント (第1図)

- 稚サンゴを飼育する海水の量やリン酸塩濃度を変えて骨格形成量を算出
- リン酸塩濃度だけでなく負荷量（濃度×流量）が骨格形成に影響を与えることを発見
- サンゴ保全に向けて、廃水処理などの対策に新たな知見

2. 概要

著者らは、稚サンゴの飼育実験と骨格観察により、リン酸塩の濃度とサンゴの骨格形成の関係を明らかにしました。

近年、海水温上昇や沿岸開発といったさまざまな要因によるサンゴの減少が問題となっていますが、その原因の1つとして、陸域から供給される過剰な栄養塩の影響が挙げられます。栄養塩のなかで、サンゴの生育海域において約



第1図 河川や地下水を通じて流出したリン酸塩がサンゴの骨格形成を阻害する模式図。
※原論文の図を引用・改変したものを使用しています。

1 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門
2 北里大学 海洋生命科学部 〒252-0373 神奈川県相模原市南区北里 1-15-1
3 琉球大学 農学部 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地
4 総合地球環境学研究所 〒603-8047 京都府京都市北区上賀茂本山 457 番地 4
5 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード：低濃度リン酸塩、サンゴ、負荷量、炭酸カルシウム

0.5 μM 以下という低濃度でしか検出されないリン酸塩は、植物プランクトンの増殖促進によりサンゴに二次的な影響を及ぼすものの、直接的な影響はないと考えられてきました。近年、リン酸塩がサンゴの骨格表面に吸着することで骨格形成を阻害し、リン酸塩濃度が 5 μM 以上から影響が見られることが分かってきました。しかし、飼育実験でサンゴの骨格形成に影響を引き起こすリン酸塩の濃度は約 5 μM と実際の環境中の濃度に隔たりがあることから、リン酸塩のサンゴに対する直接の影響については確証が得られない状況でした。また、海水中のリン酸塩の濃度ではなく、リン酸塩の負荷量がサンゴの骨格形成へどのように影響するかは検証されていませんでした。

今回、海水中のリン酸塩の濃度や飼育海水量を変えて、稚サンゴの飼育実験を行い、骨格の観察・重量測定を行い、骨格形成量を算出しました。その結果、リン酸塩濃度だけでなく飼育海水量が増加すると骨格形成量が低下することが分かりました。リン酸塩の濃度が低い海域でも、流量が多いとサンゴの生育に悪影響となる可能性が示唆され、サンゴ保全に向けた陸域負荷の対策を後押しする新たな科学的知見が得られました。

なお、この技術の詳細は、2024 年 12 月 17 日に「Marine Pollution Bulletin」にオンライン掲載されました。

下線部は【用語解説】参照

3. 開発の社会的背景

豊かな生態系をはぐくむサンゴ礁は魚などの海中生物に食糧や居住の場所などさまざまな恩恵をもたらします(第 2 図)。近年、海洋酸性化やサンゴの大規模白化などによりサンゴの減少が問題となっていますが、その原因は解明さ



第 2 図 沖縄県のサンゴ礁 (2024 年撮影)。

れておらずサンゴ保全に向けた対策は進んでいません。サンゴは主に亜熱帯・熱帯の貧栄養の海域に生息しており、陸域から供給される過剰な栄養塩がサンゴ減少の原因の 1 つとして考えられています。陸域から海域へ流出してもサンゴに影響がでない栄養塩量を評価することができれば、廃水規制など具体的なサンゴ保全対策を制定することができます。栄養塩のうちリン酸塩は、サンゴが生育する海域での濃度が約 0.5 μM 以下と極めて低く、サンゴの骨格形成に与える影響は問題視されていませんでした。

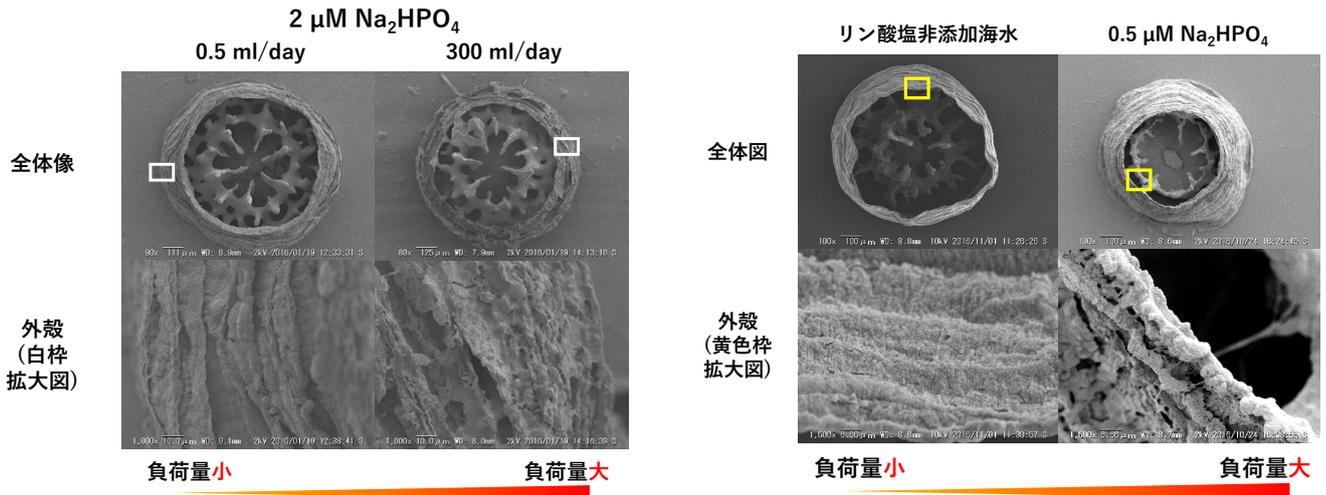
4. 研究の経緯

産総研と、北里大学、琉球大学、総合地球環境学研究所は、陸域からもたらされるリン酸塩などの栄養塩がサンゴの骨格形成に与える影響について、サンゴ飼育実験、骨格分析により研究を進め、陸域から流出したリン酸塩が石灰質の砂に吸着・溶出してサンゴの骨格形成を阻害することを発見しました(2021 年 3 月 17 日 産総研プレス発表, Iijima *et al.*, 2021)。近年、海水中のリン酸塩がサンゴの細胞間の隙間から細胞外石灰化液に到達して骨格表面に吸着し、骨格形成を阻害することが分かり、海水中のリン酸塩の濃度だけでなく、リン酸塩の負荷量がサンゴの骨格形成に影響する可能性が示唆されました。しかし、サンゴの飼育実験では、実環境とは異なる約 5 μM という高濃度のリン酸塩を含む海水が用いられ、リン酸塩の負荷量が骨格形成に与える影響については検証されていませんでした。

なお、本研究開発は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20194007)、日本学術振興会(JSPS)の科研費(JP18K19237, JP19K12310, JP20H03077, JP22KJ3179, JP22K14943, JP23K11406)、産総研・環境調和型産業技術研究ラボ(E-code)による支援を受けています。また、水循環を軸にサンゴ礁の島々での資源の保全を研究している LINKAGE プロジェクト(総合地球環境学研究所)の一環で行っています。

5. 研究の内容

琉球列島に広く分布する代表的なサンゴの 1 つであるミドリイシ属サンゴを用いてリン酸塩を含む海水の飼育海水量(負荷量:濃度×流量)を変化させて稚サンゴを飼育しました。まず、一定のリン酸塩濃度においてリン酸塩の負荷量の変化が骨格形成に及ぼす影響を調べるために、濃度 2 μM のリン酸塩(リン酸水素二ナトリウム; Na_2HPO_4)を含む 0.5 mL, 2.5 mL, 300 mL の海水で稚サンゴを約 5 か



第3図 海水に Na_2HPO_4 を $2\ \mu\text{M}$ 添加して、約5か月飼育したミドリイシ属サンゴ稚ポリブ骨格のSEM像。※原論文の図を引用・改変したものを使用しています。

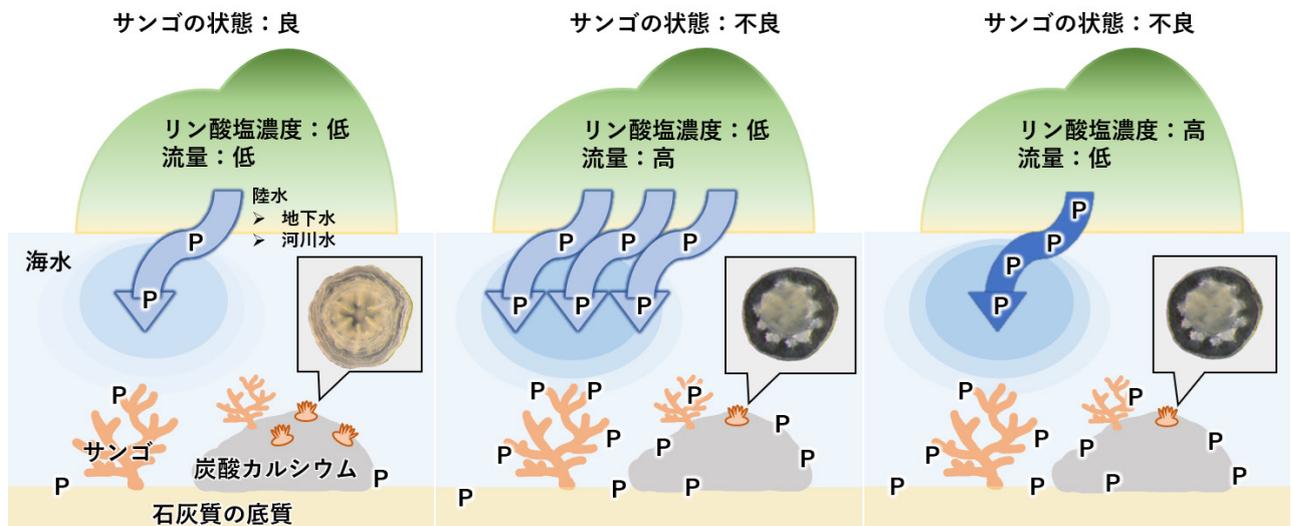
第4図 海水に Na_2HPO_4 を $0.5\ \mu\text{M}$ 添加して、約1か月飼育したミドリイシ属サンゴ稚ポリブ骨格のSEM像。※原論文の図を引用・改変したものを使用しています。

月間飼育し、同じ濃度・量の海水と毎日交換しました。洗浄・乾燥後にマイクロ天秤を用いてサンゴの骨格重量を測定し、実体顕微鏡、走査型電子顕微鏡(SEM)で骨格を観察しました。その結果、リン酸塩濃度が一定であるにもかかわらず、飼育に使用する海水量が増加するにつれて、稚サンゴの骨格形成量が減少することがわかりました(第3図)。

次に、低濃度のリン酸塩濃度の影響を調べるため、濃度 $0.5\ \mu\text{M}$ 、 $1.0\ \mu\text{M}$ 、 $2\ \mu\text{M}$ のリン酸塩(Na_2HPO_4)を含む900 mLの海水で稚サンゴを約1か月間飼育し、同じ濃度・量の海水と毎日交換しました。上述の実験と同様の測定・観

察を行った結果、リン酸塩濃度が $0.5\ \mu\text{M}$ で飼育した稚サンゴも骨格形成が明らかに阻害されることがわかりました(第4図)。

海水の量が増加するとサンゴの骨格成分であるカルシウムの流入量も増加しますが、リン酸塩の量も増加し、それがサンゴの骨格表面に大量に吸着して骨格形成を阻害します。これまでの多くの飼育実験ではリン酸塩濃度が $5\ \mu\text{M}$ 程度から骨格形成に影響が出るという報告が多いですが、これはリン酸塩の負荷量を考慮していないのが原因だと考えられます(第5図)。



第5図 リン酸塩の負荷量の変化がサンゴに及ぼす影響の模式図。リン酸塩が低濃度であっても流量が多ければサンゴの骨格形成を阻害する。※原論文の図を引用・改変したものを使用しています。

6. 今後の予定

今後、陸域から海域へ流出する陸域負荷の対策のために、サンゴに悪影響を及ぼしうるリン酸塩の負荷量の閾値を算出し、琉球大学と共同で進めている地下水の高精度の水循環モデルなども考慮して、陸域・海域両方を視野に入れたサンゴ礁保全策の提言へとつなげていきます。

7. 論文情報

掲載誌：Marine Pollution Bulletin

論文タイトル：Adverse effects of total phosphate load from the environment on the skeletal formation of coral juveniles

著者：Mariko Iijima, Ko Yasumoto, Jun Yasumoto, Akira Iguchi, Mina Yasumoto-Hirose, Kanami Mori-Yasumoto, Nanami Mizusawa, Mitsuru Jimbo, Kazuhiko Sakai, Atsushi Suzuki, Shugo Watabe

DOI：10.1016/j.marpolbul.2024.117395

用語解説

骨格形成

サンゴは炭酸カルシウムの骨格を形成して底質に固着し、生活史を維持している。近年、海洋酸性化やリン酸塩の負荷によって、この骨格形成の阻害が懸念されている。

負荷量

濃度と流量の積で表される。これは、特定の物質が環境中にどれだけ存在するかを示す指標であり、環境負荷の評価に使用される。

陸域負荷

陸域由来の物質でサンゴの生育に悪影響を及ぼすもの。サンゴ礁においては、栄養塩や赤土の流出などが挙げられる。これらの物質は、陸地から河川や雨水を通じて海に流れ込み、サンゴの健康を損なう原因となり得る。

IIJIMA Mariko, YASUMOTO Ko, YASUMOTO Jun, IGUCHI Akira and SUZUKI Atsushi (2025) Adverse effects of total phosphate load from the environment on the skeletal formation of coral juveniles.

(受付：2025年1月24日)