令和 8 年 10 月 29 日

高いアルカリ度が海洋酸性化による有孔虫の殻形成への悪影響を軽減
—恐竜時代の海を手がかりに、海洋環境と石灰化生物の殻形成の関係を探る—

福井県立大学恐竜学部の木下峻一助教、東北大学、産業技術総合研究所の共同研究グループは、海の微小な生き物である有孔虫を用いた培養実験により、海水が酸を中和する能力の指標であるアルカリ度を高めると、低い pH（酸性化）による殻形成への悪影響が軽減されることを示しました。マイクロフォーカス X 線 CT で殻の体積を測定し、重量と組み合わせて密度を調べた結果、殻がどれだけ作られるかという「量」と、殻の密度で評価する「質」が、海洋環境の変化に異なる応答を示すことも明らかになりました。

1　研究のポイント

・二酸化炭素濃度が高かった白亜紀の海で、なぜ炭酸カルシウムの殻や骨格を作る生き物が繁栄できたのか。その理由の一つと考えられる、海水の高いアルカリ度に着目しました。
・海水の pH とアルカリ度を組み合わせた 4 条件で有孔虫を 3 か月間培養し、重量測定とマイクロフォーカス X 線 CT により、殻の「量」と「質」を調べました。
・低 pH では殻の重量・体積・密度が低下しましたが、アルカリ度を同時に高めることで、その低下が大きく軽減されました。
・現代の海水に近い pH でアルカリ度を高めると、殻の重量と体積が増加する一方、密度は基準条件と同程度の水準で、殻の「量」と「質」の応答が異なりました。
・本研究の知見は、二酸化炭素濃度が高く、一見すると殻形成に不利だった白亜紀の海で、石灰化生物が繁栄できた仕組みや、将来の海洋酸性化への対策を考える手がかりになります。

2　研究の概要

［研究の背景］

人間活動により増えた二酸化炭素（CO_2）の一部は海に吸収され、海水の pH を低下させています。この「海洋酸性化」は、炭酸カルシウムの殻や骨格を作るサンゴ、貝、有孔虫（主に石灰質の殻を持つ真核生物）などの生き物に影響を及ぼすと懸念されています。有孔虫には沖縄などのお土産品として有名な「星の砂」として知られる仲間なども含まれ、それらは熱帯・亜熱帯の浅い海で炭酸カルシウムを生産する重要な生物群です。

一方、恐竜が生きていた白亜紀には、大気中の CO_2 濃度が高く、海水の pH も現在より低かったと考えられていますが、石灰質の生き物は繁栄し、大規模な石灰質堆積物を残しました。この背景には、岩石の風化などによって海に供給される成分が、海水のアルカリ度を高く保っていた可能性があります。アルカリ度は酸を中和する能力の指標で、pH とは異なる海水の性質です。

しかし、低い pH と高いアルカリ度が共存する海水で、生き物の殻形成がどの程度保たれるのか、特に殻の量と密度を分けて調べた実験は限られていました。そこで本研究では、有孔虫を用いた培養実験により、海水の pH とアルカリ度が殻の「量」と「質（密度）」に及ぼす影響を区別し、高いアルカリ度が低 pH による殻形成への悪影響をどの程度軽減できるのかを明らかにすることを目的としました。

［研究方法］

本研究では、沖縄の浅い海に生息し、円盤状の殻をもつ大型底生有孔虫 *Amphisorus kudakajimensis* を用いました。同じ親から無性生殖で生まれた個体を、①現代の海水（基準条件）、②pH だけを低くした条件、③アルカリ度だけを高くした条件、④pH を低くし、同時にアルカリ度を高くした条件の 4 群に分け、温度や光の条件をそろえて 3 か月間培養しました。④は白亜紀の海で想定される、低い pH と高いアルカリ度が共存する条件です。

培養後に殻の重量を測定し、マイクロフォーカス X 線 CT（Computed Tomography：コンピュータ断層撮影）で得た 3 次元画像から体積を求め、重量を体積で割って密度を算出しました。これにより、殻の重量・体積を石灰化の「量」、密度を「質」の指標として評価しました。マイクロフォーカス X 線 CT は、医療用 CT と同じ原理で、微小な試料の内部構造や空隙を、試料を壊さずに 3 次元で観察する分析法です。

［研究結果］

pH だけを低くした条件（②）では、基準とする条件（①）に比べて、殻の重量、体積、密度がいずれも低下しました。一方、低 pH のままアルカリ度を高めた条件（③）では、重量と体積は基準条件に近い水準となりました。殻重量の中央値は、基準条件では 157 µg（マイクログラム：1 µg は 100 万分の 1 グラム）であったのに対し、低 pH 条件では約 1/4（40 µg）となりましたが、低 pH・高アルカリ度条件（④）では約 140 µg となり、基準条件に近づきました。密度も基準条件と同程度の水準に回復しました。

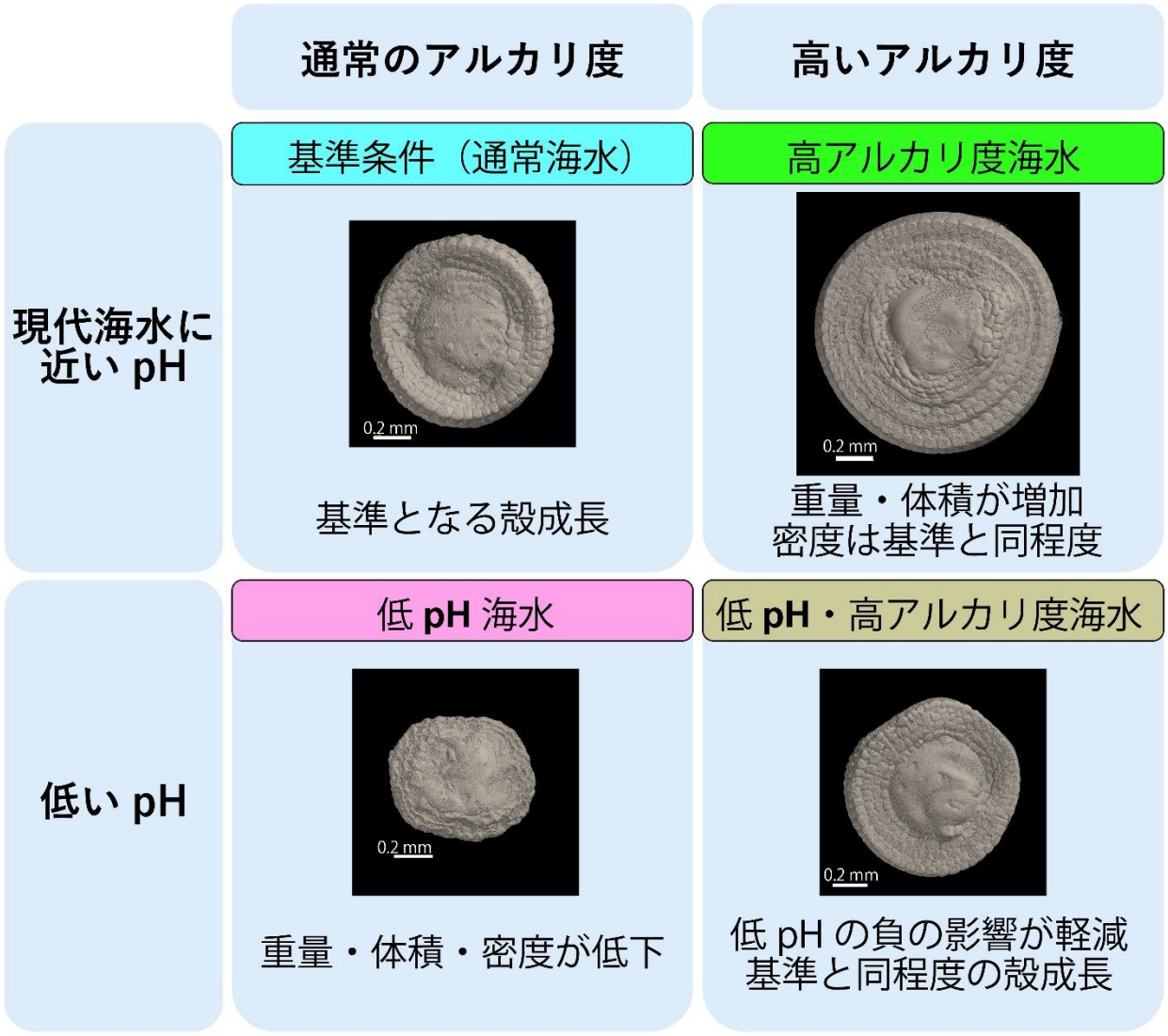
また、現在の海水に近い pH でアルカリ度だけを高めた条件では、殻の重量と体積が 4 条件中で最も大きくなりました。殻重量の中央値は、基準条件の約 2.7 倍（419 µg）となりました。しかし、こちらも密度は基準条件と同程度の水準で、殻の「量」と「質」の応答が異なりました。

殻の重量と体積は、炭酸カルシウム飽和度（海水中で炭酸カルシウムが形成・維持されやすい化学状態を示す指標）とよく対応していました。これらの結果は、pH の値だけでなく、アルカリ度との組み合わせによって変化する海水の化学的な状態が、殻形成を左右することを示唆しています。

3　本研究の意義

本研究は、高いアルカリ度が低 pH による殻形成への悪影響を和らげることを、現生の有孔虫を用いて実験的に示しました。白亜紀の海そのものを再現した実験ではありませんが、CO_2 濃度が高く pH が低い環境でも石灰化生物が繁栄できた理由を、生物の応答から考える手がかりになります。過去の地球環境を手がかりに、将来の海の変化と生き物の応答を考えるという、地球史研究の意義を示す成果です。

また、近年、大気中の CO_2 を取り除く手法の一つとして、海水のアルカリ度を高めて CO_2 の吸収を促す「海洋アルカリ度強化」が研究されています。今回の成果は、その生物影響を検討するための基礎的な知見として、殻の量と密度の両方を評価する重要性を示しています。ただし、本研究は、海洋アルカリ度強化の自然の海での効果や安全性を直接検証したものではありません。今後は、実験の再現性を確かめるとともに、さまざまな種を対象に、同様の応答が見られるかを検証する必要があります。



海水の pH とアルカリ度による有孔虫の殻形成の違い

4 つの海水条件で 3 か月間培養した有孔虫の代表的なマイクロフォーカス X 線 CT 画像。画像中のスケールバーはいずれも 0.2 mm です。低 pH 条件では殻の重量・体積・密度が大きく低下しましたが、低 pH 条件でもアルカリ度を同時に高めると、その低下が軽減されました。アルカリ度のみを高めると、殻の重量・体積は大きく増加しましたが、一方で密度は基準条件と有意な差はありませんでした。

4　論文情報

論文名：High alkalinity mitigates the negative impacts of high-CO_2 ocean on foraminiferal calcification quantity and quality

日本語訳：高いアルカリ度は高 CO_2海洋が有孔虫の石灰化の量と質に及ぼす悪影響を軽減する

論文著者：木下峻一（福井県立大学）、黒柳あずみ（東北大学）、橋本優里（東北大学・産業技術総合研究所）、鈴木淳（産業技術総合研究所）

掲載誌：Scientific Reports

巻：16

公開日：2026 年 10 月 28 日（日本時間）

DOI：10.1038/s41598-026-74230-y

研究支援：JSPS 科研費（JP22J01445、JP25K17504、JP23H01284、JP23K25980）および JST 戦略的創造研究推進事業 CREST（JPMJCR25J1）の支援を受けて実施しました。

5　お問い合わせ

＜JST 事業に関すること＞

科学技術振興機構 戦略研究推進部 ライフイノベーショングループ

沖代 美保（オキシロ ミホ）

〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町

Tel：03-3512-3524　Fax：03-3222-2064

E-mail：crest@jst.go.jp

＜報道に関すること＞

科学技術振興機構 広報課

〒102-8666 東京都千代田区四番町 5-3 サイエンスプラザ

Tel：03-5214-8404　Fax：03-5214-8432

E-mail：jstkoho@jst.go.jp