

貝類の殻・軟体部形成に関わる炭素源推定と海洋酸性化影響の評価 —天然放射性炭素 14 を活用した安全な標識法の提案—

2020 年 5 月 12 日



独立行政法人 国立高等専門学校機構
茨城工業高等専門学校
National Institute of Technology (KOSEN) , Ibaraki College



東京大学
大気海洋研究所
Atmosphere and Ocean Research Institute
The University of Tokyo



東京大学 大学院総合文化研究科・教養学部
The University of Tokyo, Komaba
Graduate School of Arts and Sciences, College of Arts and Sciences



筑波大学
University of Tsukuba

独立行政法人国立高等専門学校機構 茨城工業高等専門学校
国立大学法人東京大学 大気海洋研究所
国立大学法人東京大学 大学院総合文化研究科
国立大学法人筑波大学

1. 発表のポイント

- 海洋酸性化をはじめとする海洋環境変動が海洋生物の生理代謝へ及ぼす影響を明らかにするため、放射性炭素 14 (^{14}C) を活用した新たな標識法「リバーラジオアイソトープ標識法 (reverse radioisotope labelling)」を提案し、この手法を活用して、海洋酸性化が二枚貝類の石灰化・軟体部形成へ与える影響の評価を行いました。
- 本標識法は、天然に存在する二酸化炭素ガスを活用しているため、管理区域指定が必要な ^{14}C 標識物質を用いた従来法よりも、安全、安価かつ汎用性の高い炭素源推定法です。多様な海洋生物での炭素源の見積もりに活用でき、さまざまな生物実験系（水温、塩分、酸性化実験など）での応用が可能です。
- 二枚貝類アカガイの殻形成は、海水の溶存無機炭素*¹ が主な供給源であり、酸性化海水条件でも炭素源の寄与率が変わらないことを明らかにしました。このように石灰化に関わる炭素の寄与率を調べることで、海洋酸性化に対する海洋生物の耐性評価への活用が期待されます。

2. 発表概要

茨城工業高等専門学校 国際創造工学科 西田 梢 日本学術振興会特別研究員（研究当時）（現所属：筑波大学生命環境系 特任助教）と東京大学大気海洋研究所の横山祐典教授らの研究グループは、天然由来の放射性炭素 14 (^{14}C) を活用した安全な炭素標識法を提案し、この新たな手法を活用して海洋酸性化が貝類の殻・軟体部形成に及ぼす影響評価を行いました。本研究成果は、英国生態学会が刊行する学術雑誌「Methods in Ecology and Evolution 誌」に 5 月 12 日付（日本時間）で掲載されます*。

本研究で提案したリバーラジオアイソトープ標識法 (reverse radioisotope labelling) は、天然に存在する二酸化炭素ガスを活用しているため、管理区域指定が必要な ^{14}C 標識物質を用いた従来法よりも、安全、安価かつ汎用性の高い手法です。研究グループはこの標識法を用いた生物飼育実験を行い、海洋酸性化が二枚貝の殻や軟体部への炭素の取り込みに及ぼす影響を解明しました。今回飼育したアカガイは海洋酸性化に耐性のある種ですが、その貝殻形成は、海水に溶存する炭素が主な炭素源で、酸性化しても炭

素源の寄与率は変わらないことが明らかとなりました。先行研究との比較の結果、海洋酸性化によって、殻形成に関わる炭素源（海水の溶存無機炭素とエサ）の割合は種によって変化する種と変化しない種がいることが分かりました。酸性化した海水で殻形成を行う際の種による生理機能の違いが表れている可能性があり、地球環境問題による海洋環境変化に対する生物の耐性を評価するために重要な手法として期待されます。

3. 背景

産業革命以降の人為起源の二酸化炭素排出によって、大気中の二酸化炭素濃度は増加を続けています。このような二酸化炭素排出は地球温暖化の原因となり、さらに、海洋に溶け込む二酸化炭素が増えることで海洋の pH 低下が進行しており、この環境問題を海洋酸性化と呼んでいます。海洋酸性化によって、貝類、サンゴ、棘皮動物、有孔虫などの炭酸カルシウム (CaCO_3) の殻を作るのに必要な海水中の炭酸イオン (CO_3^{2-}) の量が減るため、生物の生存や成長、生理代謝などを脅かすと懸念されています。これは 2000 年代に注目されるようになった環境問題であり、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) に取り上げられるようになったのも 2007 年からです。比較的新しい環境問題であり、生物への将来影響はまだ十分に検証されていません。生物多様性の保全や水産業の持続的発展のために、二酸化炭素濃度を高くした飼育実験などを通じて、さまざまな海洋生物への海洋酸性化の将来影響を評価していく必要があります。そこで、海洋酸性化が貝類の生理代謝へ及ぼす影響の検証のため、本研究では新たな「リバーラジオアイソトープ標識法」を活用した飼育実験により、二枚貝類アカガイ³ (図 1) を対象種として、貝殻や軟体部形成に関わる炭素源の寄与率の変化を調べました。

4. 研究成果

本研究では、分析手法の技術開発の結果、新しい標識法の提案に至りました。それは天然に約 1 兆分の 1 程度しか存在しない放射性炭素 (^{14}C) を、高精度・高効率で分析できるシングルステージ加速器質量分析装置の分析法開発です。分析に用いる炭酸カルシウム、水、生物試料などさまざまな試料の前処理手法や分析法の開発により、極めて安定した高精度の分析を行えるようになりました。

この手法をもとに、新たな炭素源推定法として ^{14}C を活用した「リバーラジオアイソトープ標識法」を提案しました。この標識法は、海洋酸性化環境を再現するため、海水に添加する化石燃料起源の二酸化炭素ガスをトレーサーとして用います (図 2)。自然環境の ^{14}C レベルは、20 世紀に行われた大気核実験の影響で高くなっています。一方、化石燃料起源の二酸化炭素ガスには ^{14}C が含まれず、デッドカーボン² と呼ばれています。この両者の違いを使うことを利用したのが今回の標識法です。つまり、化石燃料起源の二酸化炭素が溶け込んだ酸性化海水では、海水の溶存無機炭素は低い ^{14}C 値を示します。この低い ^{14}C 値の海水の溶存無機炭素と現在の海水 (モダンカーボン²) で培養したプランクトンのエサで生物を飼育することで、殻や軟体部への海水やエサ起源の炭素寄与率を推定できます。従来法の ^{14}C 標識物質を用いた炭素源推定法の場合は、標識物質の作製や購入が必要であり、管理区域指定が義務付けられています。一方、リバーラジオアイソトープ標識法は、天然に存在する二酸化炭素ガスを活用するため、安全、安価にどこでも標識実験を行える画期的な手法です。この新規手法を海洋酸性化実験に取り入れ、わが国の重要な水産種の二枚貝類での炭素源推定を実現しました。

アカガイの生物飼育実験は、2013 年に海洋生物環境研究所 実証試験場 (新潟県柏崎市) にて高精度な二酸化炭素分圧制御システム AICAL2 を用いて実施されました。本システムは、二酸化炭素分圧を高精度に制御し、かつ、大量の海水をかけ流す方式を採用した本研究チームの独自開発した実験系で、貝類やサンゴ類、魚類などの大型の生物の飼育実験が可能です。このようなシステムを用い、水温 25°C 一定条件下で、二酸化炭素分圧を 463、653、872、1137、1337 μatm の 5 段階に設定して酸性化実験が行われました (図 2)。

飼育した貝類の殻・軟体部（えら、足）、エサの植物プランクトン、海水試料をそれぞれサンプリングし、東京大学大気海洋研究所高解像度環境解析研究センター（千葉県柏市）のシングルステージ加速器質量分析計（図3）で放射性炭素同位体分析を行いました。

放射性炭素同位体から海水・エサ由来の炭素の寄与率を調べた結果、殻形成は海水に溶存する炭素が主な炭素源で、酸性化しても炭素源の寄与率は変わりませんでした。先行研究との比較の結果、海洋酸性化によって、殻形成に関わる炭素源（海水の溶存無機炭素とエサ）の割合は種によって変化する種と変化しない種がいることが分かりました。研究対象種のアカガイは殻成長については酸性化耐性の強い種であり、このような殻形成に関わる炭素源の違いは、酸性化海水条件下での種による生理応答の違いが表れている可能性があります。地球環境問題による海洋環境変化に対する生物の耐性を評価するために重要な指標と期待されます。

5. 今後の展望

リバーラジオアイソトープ標識法は、天然に存在する二酸化炭素ガスを活用しているため、管理区域指定が必要な¹⁴C標識物質を用いた従来法よりも、安全、安価かつ汎用性の高い炭素源推定法です。この標識法を用いることで、地球環境問題による海洋環境変化に生物の生理代謝がどのように応答するのか、生物の炭素の取り込みへの影響をより正確に見積もることができるようになります。将来の環境変化に対する生物の脆弱性を評価する上で重要な指標として期待され、今後は多様な海洋生物、さまざまな生物実験系（水温、塩分、酸性化実験など）での応用を目指しています。

○掲載論文情報

タイトル：Novel reverse radioisotope labelling experiment reveals carbon assimilation of marine calcifiers under ocean acidification conditions

掲載誌：*Methods in Ecology and Evolution*（Wiley-Blackwell社発行）

著者：西田 梢 1,2,3*, Chew Yue Chin 4,5, 宮入陽介 4, 平林頌子 4,6,

鈴木 淳 7, 林 正裕 8, 山本雄三 8, 佐藤瑞穂 7,9, 野尻幸宏 10,11, 横山祐典 4,5,6,12*

*責任著者

所属：1 独立行政法人国立高等専門学校機構 茨城工業高等専門学校 国際創造工学科, 2 独立行政法人日本学術振興会, 3 国立大学法人筑波大学 生命環境系, 4 国立大学法人東京大学 大気海洋研究所, 5 国立大学法人東京大学大学院総合文化研究科国際環境学プログラム, 6 国立大学法人東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, 7 国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター, 8 公益財団法人海洋生物環境研究所 実証試験場, 9 アサヒ地水探査株式会社, 10 国立大学法人弘前大学理工学部 地球環境防災学科, 11 国立研究開発法人国立環境研究所 地球環境研究センター, 12 国立研究開発法人海洋研究開発機構 生物地球化学プログラム

DOI: 10.1111/2041-210X.13396

URL: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/2041-210X.13396>

掲載日：2020年5月12日付（日本時間）

○問い合わせ先

(研究内容について)

西田 梢 (にしだ こずえ)

茨城工業高等専門学校 国際創造工学科 学術振興会特別研究員 PD (研究当時)

(現所属：筑波大学生命環境系 特任助教)

横山祐典 (よこやま ゆうすけ)

東京大学大気海洋研究所 教授 / 東京大学大学院総合文化研究科

(報道について)

茨城工業高等専門学校 総務課 研究協力・地域連携係

TEL: 029-271-2952 Email: kenkyo@sec.ibaraki-ct.ac.jp

東京大学大気海洋研究所 広報室

Email: kouhou@aori.u-tokyo.ac.jp

筑波大学 広報室

TEL: 029-853-2040 Email: kohositu@un.tsukuba.ac.jp

○参考資料

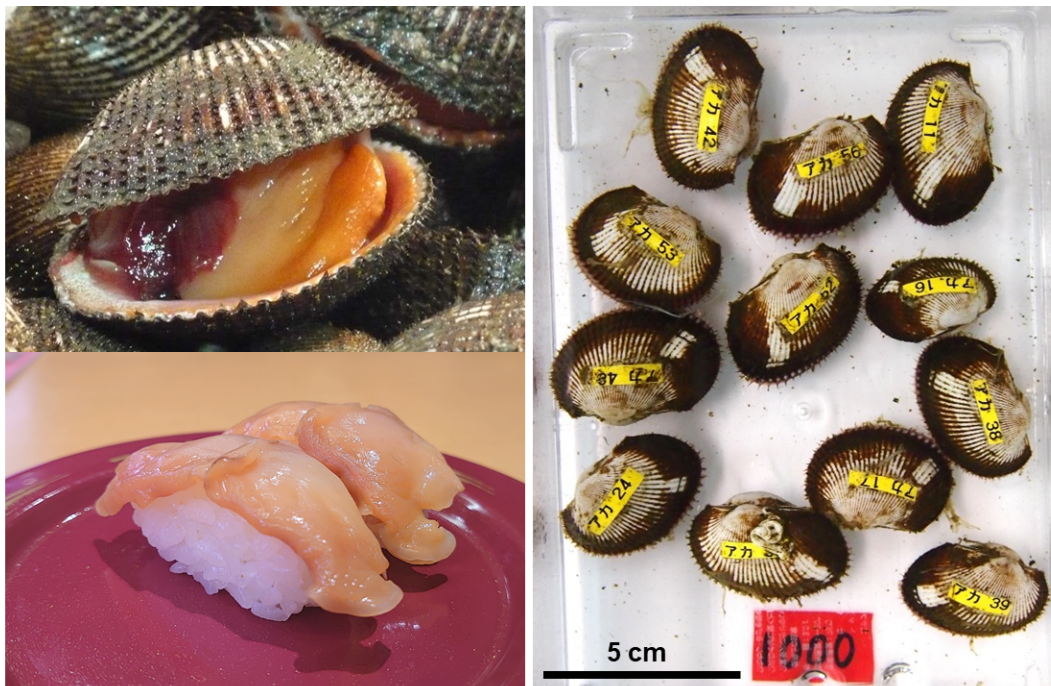
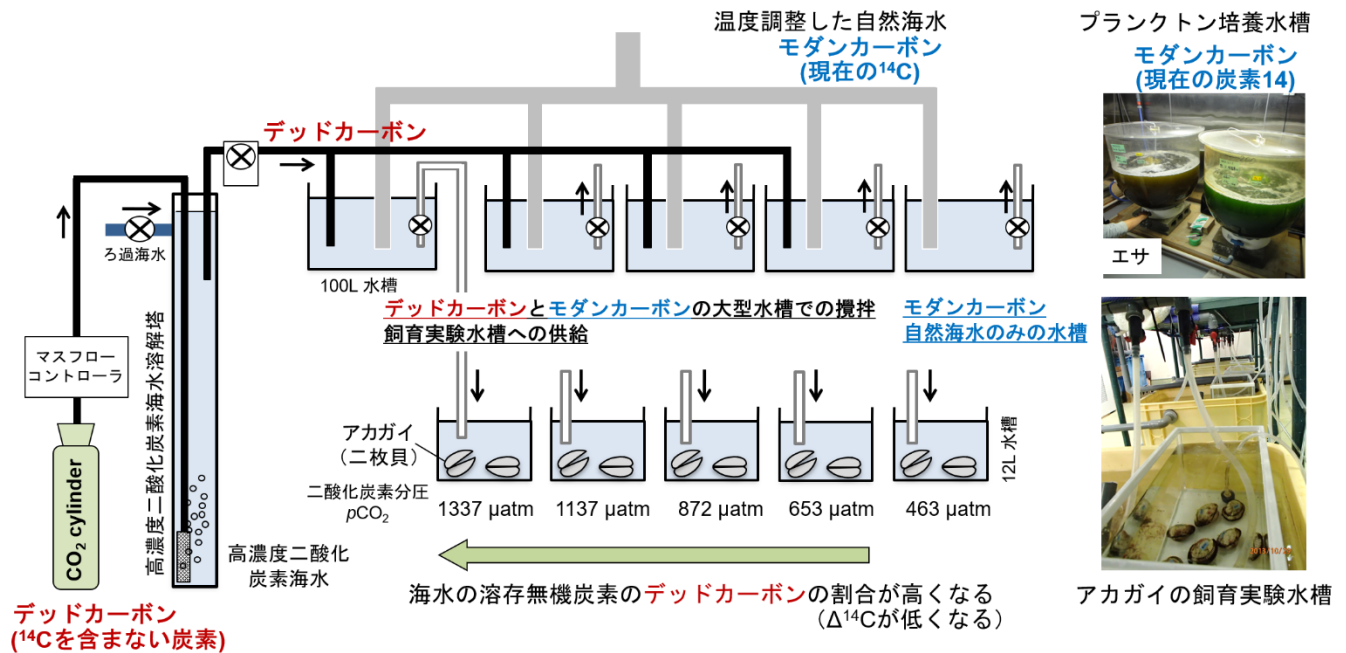


図1：アカガイ (左上写真：アカガイの成貝、左下写真：アカガイの寿司、右写真：酸性化実験に使用した1歳の個体)



リバースラジオアイソトープ標識法：天然由来の二酸化炭素ガスを活用して、海水の溶存無機炭素を標識。
 $\Delta^{14}\text{C}$ 分析でエサや海水の溶存無機炭素の殻・軟体部への炭素寄与率がわかる。

図2：リバースラジオアイソトープ標識法により二枚貝類への海洋酸性化影響を評価した生物飼育実験の概要。
 二酸化炭素ガス（炭素 14 を含まない）で標識した海水条件下で海洋生物を飼育することで、海水やエサ由来の炭素源が貝殻・軟体部形成にどのくらいの割合寄与しているかを見積もることができる。



図3：東京大学大気海洋研究所にて稼働しているシングルステージ加速器質量分析装置

○用語解説

*1 溶存無機炭素

溶液中に溶解した無機炭素のことを指し、二酸化炭素 (CO_2)、炭酸 (H_2CO_3)、炭酸イオン (CO_3^{2-})、炭酸水素イオン (HCO_3^-) が含まれる。

*2 モダンカーボン／デッドカーボン

現在の大気中の ^{14}C 濃度はモダンカーボンと呼ばれている。1950年代に行われた大気圏核実験による人為起源の ^{14}C により、大気中の ^{14}C 濃度は急激に上昇した。 ^{14}C は5730年を半減期として、窒素 ^{14}N に放射改変する。そのため、過去数万年以前の炭素（例：石油・天然ガスなどの化石燃料）には ^{14}C が含まれず、デッドカーボンと呼ばれている。

*3 アカガイ

九州から北海道までの内湾部に生息する二枚貝で、日本の主要な水産重用二枚貝のひとつ。血液はヘモグロビンを有し、実が赤いことから赤貝という。高級な寿司ネタとして知られ、刺身や煮つけも美味である。学名は *Scapharca broughtonii*。