

資料提供

(県政)

陸域で数千年近く隔離された「古い炭素」を、

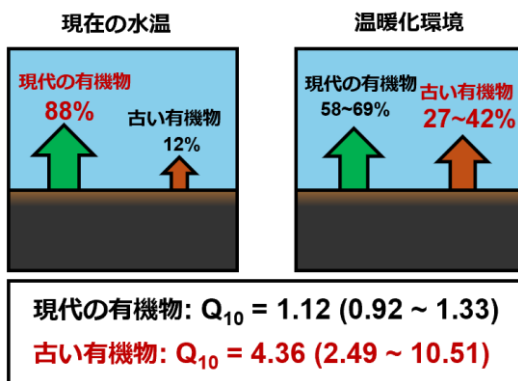
水圏の温暖化が再び循環させる

——放射性炭素分析が示す新たな気候フィードバック——

琵琶湖環境科学研究センターの中村航会計年度任用職員（東京大学大気海洋研究所と兼務）、山口保彦主任研究員、東京大学大気海洋研究所の横山祐典教授、国立環境研究所琵琶湖分室の霜鳥孝一主任研究員らの研究グループによる研究成果が、国際英文学術誌で公開されました。

概要

- 放射性炭素同位体分析を用いた新たな培養実験の手法を提案し、水圏堆積物中で分解される有機炭素の起源特定に成功しました。
- 陸域で数千年近く隔離された後に湖沼に流入した「古い炭素」について、湖沼の水温上昇により分解（=CO₂放出）が大きく促進される可能性を、初めて実験的に示しました。
- 将来の温暖化進行に対し、土壌浸食防止等の陸域対策が、水圏環境の貧酸素化を緩和する有効な手段となりえることが示唆されます。
- 本成果は、国際水協会（IWA: International Water Association）が運営する国際英文学術誌「Water Research」（出版：エルゼビア社）に掲載されました。



研究成果の概要（原著論文より改変）。

Q₁₀は温度が10℃上昇したときに有機炭素の分解速度が何倍になるかを示す値です。陸域起源の古い有機物の方が温度への感受性が高いことが明らかになりました。

(1) 研究の着眼点

温暖化の進行により、これまで地中や堆積物中に数百～数千年にわたり隔離されてきた「古い有機炭素」が再び分解しうることが注目されています。これは、人間活動による直接的なCO₂排出に加えて、温暖化によって有機炭素分解が加速し、追加的にCO₂が放出される「気候変動の正のフィードバック」として作用する可能性があるためです。一方、琵琶湖は我が国最大の湖であり、重要な水資源であると同時に、湖底堆積物は炭素を長期間蓄積する場としても機能しています。しかし、このような水圏堆積物において、温暖化が「古い有機炭素」の分解を実際に引き起こすかどうかは、これまで十分に検証されていませんでした。

(2) これまでの課題

河川や森林土壌では、数百～数千年前に固定された「古い有機炭素」が分解されることや、温暖化によってその分解が加速することが報告されてきました。しかし、琵琶湖のような湖沼の堆積物については、「長期間隔離されてきた有機炭素が温暖化によって再び分解するのか」「その結果、湖の環境や炭素循環にどの程度影響するのか」を直接評価する手法がなく、実証的な理解が不足していました。

(3) 本研究から分かること

本研究では、現場の状態を維持した堆積物試料を用いた培養実験に、放射性炭素同位体（注1）分析を組み合わせることで、「分解された有機炭素の年代」を直接特定する新たな実験手法を提案しました。これにより、分解された有機炭素の年代を評価し、温暖化によって「古い有機炭素」の分解が促進されるかどうかを、水圏堆積物で直接検証できるようになりました。実験には琵琶湖の北湖沖合（水深約90 m）で採取した堆積物試料を用い、温度条件を変えた培養実験を行いました。

その結果、温度の上昇に伴い、より「古い有機炭素」ほど分解されやすくなるという明確な関係が確認されました（図1）。さらに数値解析により、近年生成された有機炭素と、陸域で長期間隔離された後に流入した有機炭素の温度感受性（注2）を比較したところ、後者の方が温暖化に対して強く反応することが明らかになりました。「古い有機炭素」の分解は、現在の深水層の水温では約12%程度ですが、将来的な温暖化によって最大27～42%まで増加する可能性があります。これは、温暖化が「古い炭素」を選択的に再循環させる可能性を、水圏堆積物で初めて直接示した結果です。

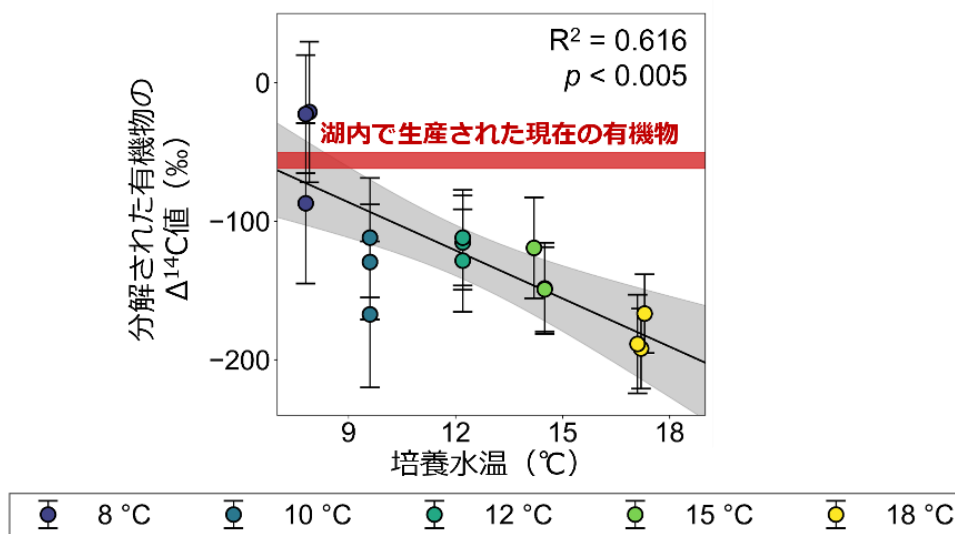


図1：培養水温と分解された有機炭素の年代（ $\Delta^{14}\text{C}$ ）の関係（原著論文を改変）
 $\Delta^{14}\text{C}$ は低いほど古い有機炭素であることを示しており、図の赤ハッチは、同年に湖内で生産された有機炭素の持つ $\Delta^{14}\text{C}$ の値です。培養水温が増加すると、分解された有機炭素の年代が古くなることが確認されます。

(4) 施策への提言と今後の展望

本研究は、温暖化が現在の排出量だけでなく、過去に蓄積された炭素の安定性にも影響しうることを示しています。すなわち、陸域で数百～数千年前に固定された炭素が、琵琶湖の温暖化によって再び分解し、CO₂として放出される可能性があります。また、琵琶湖では近年、湖底の貧酸素化が進行しており、その要因となる有機炭素の起源解明が重要な課題となっています。本研究の結果は、陸域から流入する「古い有機炭素」が温暖化によって分解されやすくなることを示しており、土壌浸食の抑制など流域での対策が、将来的な貧酸素化の進行を緩和する可能性を示唆しています。

今後は、陸域で長期間隔離されていた有機炭素が湖に流入した後に分解可能となるメカニズムの解明や、この現象が他の湖沼や海洋でも一般的に生じるかどうかを検証し、流域を含めた総合的な環境管理に活かしていく必要があります。

用語解説

(注1) 放射性炭素同位体

炭素には¹²C、¹³C、¹⁴Cの3つの同位体があり、このうち¹⁴Cが放射性の同位体です。¹⁴Cの半減期を利用することで、年代測定が可能になります。また、¹⁴C量の対大気に対する相対的なずれを表すΔ¹⁴Cを用いることで、炭素が大気から隔離されてからの時間の情報を得ることができます。

(注2) 温度感受性

有機炭素等の分解速度が温度の変化にどれだけ強く反応するかを示す性質です。一般に温度が上昇すると微生物による有機炭素分解は速くなりますが、その増加の程度は有機炭素の種類によって異なります。本研究では、温度感受性を評価するためにQ₁₀という指標を用いました。Q₁₀は、温度が10℃上昇したときに有機炭素の分解速度が何倍になるかを示す値です。

論文情報

【タイトル】 Decomposition of Aged Sedimentary Organic Matter in a Deep Temperate Lake Under Warming Conditions: An Experimental Approach

(日本語訳) 温暖化条件下における温帯深水湖の古い堆積有機物の分解：実験的研究

【著者】 Wataru Nakamura*, Yasuhiko T. Yamaguchi*, Shish Muhammad Soyaib, Sho Ogasawara, Eiso Inoue, Koichi Shimotori, Yosuke Miyairi, Yusuke Yokoyama
(* 責任著者)

【雑誌名】 Water Research

【公開日】 令和8年(2026年)4月6日

【論文掲載リンク】 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2026.125740>

【発表者・研究者等情報】

滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

総合解析部門 中村 航 会計年度任用職員

兼：東京大学大気海洋研究所 特任研究員

山口 保彦 主任研究員

井上 栄壮 専門研究員・係長

環境監視部門 小笠原 翔 主査

東京大学

大気海洋研究所

共同利用・共同研究推進センター

宮入 陽介 特任助教

海洋地球システム研究系

横山 祐典 系長・教授

兼：大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻 教授

兼：大学院総合文化研究科 国際環境学プログラム 教授

大学院総合文化研究科 国際環境学プログラム

Shish Muhammad Soyaib (ソヤイブ シシ ムハンマド) 修士課程

国立環境研究所 地域環境保全領域 (琵琶湖分室 (地域))

霜鳥 孝一 主任研究員

【研究助成】

本研究は、科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「微量高速 C-14 分析による水圏炭素動態解明手法の開発 (グラント番号: JPMJCR23J6)」、日本学術振興会の科学研究費助成事業 (課題番号: 22H00382、22H00561、23K24987、23K24977、25K03248)、環境省・(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費 (JPMEERF20232M02) の支援により実施されました。