



PRESS RELEASE

岡山大学記者クラブ

文部科学記者会

科学記者会

御中

令和 8 年 10 月 9 日

岡 山 大 学

ホウ素同位体で探る、微生物がつくる「小さな化学反応場」 —温泉シリカが明かす、地球と火星の太古の生命の手がかり—

◆発表のポイント

- ・日本など4か国の熱水（温泉）場で採取された温泉水とシリカ沈殿物¹⁾を比較し、沈殿物には軽いホウ素（¹⁰B）が濃集することを発見しました。軽い¹⁰Bと重い¹¹Bの比率を元素分布や微細構造と併せて調べることで、沈殿物の形成過程と微生物の関与に迫れることを示しました。
- ・微生物が分泌する粘液状の物質が、その周囲に目に見えないほど小さな「化学反応場」をつくり、軽いホウ素を選択的に取り込む物理化学モデルを提案しました。
- ・太古の地球の生命活動の評価に加え、NASAのPerseveranceが採取した火星表層試料やJAXAのMMXが持ち帰る火星の衛星フォボス試料への応用も期待されます。帰還試料に火星由来のシリカ沈殿物粒子が含まれていれば、火星の過去の生命活動を探る手がかりになります。

岡山大学の中村栄三名誉教授（惑星物質研究所）らの国際共同研究チーム（日本・ニュージーランド・オーストラリア・アメリカ）は、温泉のシリカ沈殿物に、微生物の周囲で起こる化学反応の特徴が記録されることを示しました。

研究チームが提案したモデルでは、微生物が分泌する粘液状の物質が、目に見えないほど小さな「化学反応場」として働きます。その内部には温泉水全体とは異なる化学環境が生まれ、軽いホウ素がシリカに取り込まれやすくなります。この仕組みは、ホウ素同位体²⁾の比率と元素分布、微細構造を組み合わせ、沈殿物の形成過程と微生物の関与を読み解くための基盤になります。

研究成果は、学術誌『Geochimica et Cosmochimica Acta』へ掲載されました。太古の地球や将来の火星由来試料に残る生命の痕跡を、複数の証拠から評価する手法として期待されます。

三朝の温泉浴槽で見られるシリカ沈殿物を出発点に、世界各地の温泉へと研究を広げました。多様な形をした小さな沈殿物に記録されたホウ素同位体の違いを、元素の分布や微生物がつくる微細構造と併せて読み解くことで、過去の温泉環境と生命活動の関わりを探る新しいバイオトレーサーの基盤を築くことができたと考えています。今後、世界の研究者によって検証が進み、新たな応用へと発展することを楽しみにしています。



中村名誉教授



PRESS RELEASE

■発表内容

<現状>

温泉水から沈殿するシリカは、微生物の細胞や、微生物がつくる層状構造を包み込むことがあります。しかし、形状だけでは水の流れなどによってできた構造と区別しにくく、古い堆積物では構造中の細胞の痕跡が失われることもあります。このため、生命活動がその層状構造の形成に関わったかを判断するには、形状に加えて、形成時の化学反応を記録する指標を読み解くことが必要です。

<研究成果の内容>

研究チームは、ニュージーランドのタウポ火山帯、日本の三朝、インドのプガ、チリのエル・タティオから採取した温泉水とシリカ沈殿物を比較しました。対象となる温泉は、pH 約 2~8、温度約 30~98℃と幅広い条件にわたります。ホウ素同位体と最大 57 種類の元素の濃度を測定するとともに、沈殿物内部の微小な領域を詳しく分析しました。

その結果、シリカ沈殿物では温泉水よりも軽いホウ素 (^{10}B) の割合が著しく高く、一部の微小領域では $\delta^{11}\text{B}$ が約 -50‰ に達しました。 $\delta^{11}\text{B}$ は、重い ^{11}B と軽い ^{10}B の比率を標準物質と比較した値で、低いほど軽いホウ素の割合が高いことを表します。こうした同位体の特徴は、ホウ素や特定の金属元素の濃集、微生物に関連する層状構造と対応していました。また、シリカ沈殿物の段階的な溶出実験と微小領域の分析から、これらの特徴が主に沈殿物の形成時の特徴を保持していることが確認されました。

これらを説明するため、微生物が分泌する粘液状の物質（細胞外高分子物質：EPS）³⁾ が、その周囲に目に見えないほど小さな「化学反応場」を形成し、シリカと軽いホウ素を濃集する物理化学モデルを提案しました。この反応場では、光合成などの微生物活動によって局所的な pH が変化し、特定の金属元素がホウ素の保持を助けることで、軽いホウ素が形成中のシリカに取り込まれやすくなります。

本研究は、 $\delta^{11}\text{B}$ が -20‰ 以下という値を、ホウ素・金属元素の濃集や微生物に関連する微細構造と併せて評価することで、シリカの形成への微生物の関与を科学的に検証するためのバイオシグネチャー⁴⁾として利用できることを示しました。

<社会的な意義>

本研究は、沈殿物の形と化学的な記録を結び付け、過去の温泉環境における生命活動を評価する新しいバイオトレーサーの基盤を提供します。太古の地球の温泉堆積物に加え、将来、NASA の火星探査車 Perseverance が採取した試料や JAXA の MMX が持ち帰る衛星フォボスの試料に火星由来のシリカ粒子が含まれていれば、その分析への応用も期待されます。ホウ素同位体、元素分布、微細構造を組み合わせることで、火星をはじめ、太陽系の他の天体に温泉活動に由来するシリカ沈殿物が存在する場合にも、過去の生命活動の痕跡を検証する手がかりになると期待されます。



PRESS RELEASE

■論文情報

論文名: Boron isotope fractionation in siliceous hot-spring sinters: Geochemical implications for biosignatures

掲載誌: Geochimica et Cosmochimica Acta

著者: Eizo Nakamura, Chie Sakaguchi, Katsura Kobayashi, Nghiem Van Dao, Elena Kalinina, Hidehisa Tsuchida, Steven W. Ruff, Luke Steller, Martin Van Kranendonk, Ayrton Hamilton, Kathleen Campbell

DOI: 10.1016/j.gca.2026.09.023

URL: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2026.09.023>

■研究資金

本研究は、岡山大学における「Program for Promoting the Enhancement of Research Universities」および「National University Innovation Creation Program」(文部科学省・内閣府)による資金支援を一部受けるとともに、岡山大学本部からの人的支援を受けて実施されました。また、共同研究者は、岡山大学惑星物質研究所の国際共同研究資金およびオーストラリア研究会議(Australian Research Council)の研究助成(DP180103204)による支援を受けました。

■補足・用語説明

- 1) シリカ沈殿物(シンター): 温泉水に溶けていたケイ酸成分が沈殿してできるシリカを主成分とする物質。
- 2) ホウ素同位体・ $\delta^{11}\text{B}$: ホウ素には、軽い ^{10}B と重い ^{11}B という、質量の異なる2種類の安定同位体があります。 $\delta^{11}\text{B}$ は、 ^{11}B と ^{10}B の比率が標準物質からどれだけ異なるかを千分率(‰)で表した値です。値が低いほど、軽い ^{10}B の割合が相対的に高いことを示します。
- 3) 細胞外高分子物質(EPS): 微生物が細胞の外に分泌する、多糖類やタンパク質などを含む粘液状の物質。微生物の周囲に、温泉水全体とは異なる局所的な化学環境を生み出し、「小さな化学反応場」として働くと考えられます。
- 4) バイオシグネチャー: 生命活動によって生じ、残された可能性のある形や化学組成などの特徴。生命活動の関与は、複数の証拠を組み合わせ、生物が関与しない過程でも説明できるかを検討したうえで評価します

<お問い合わせ>

岡山大学

名誉教授 中村栄三(論文責任著者)

(電話番号) 090-8245-3527



岡山大学は持続可能な開発目標(SDGs)を支援しています。

