

日本の「湯の華」は多様な植物を化石にしていた！

～信州の秘湯、中房温泉～

ポイント

- ・国内の「珪華（シリカ質の湯の華）」を対象とした初の包括的な地質調査を中房温泉で実施。
- ・これらの珪華が小規模な温泉と豊かな森林が共存する日本独自の環境でできることを発見。
- ・温泉周囲の多様な植物が珪華に取り込まれ化石となるシステムを世界で初めて報告。

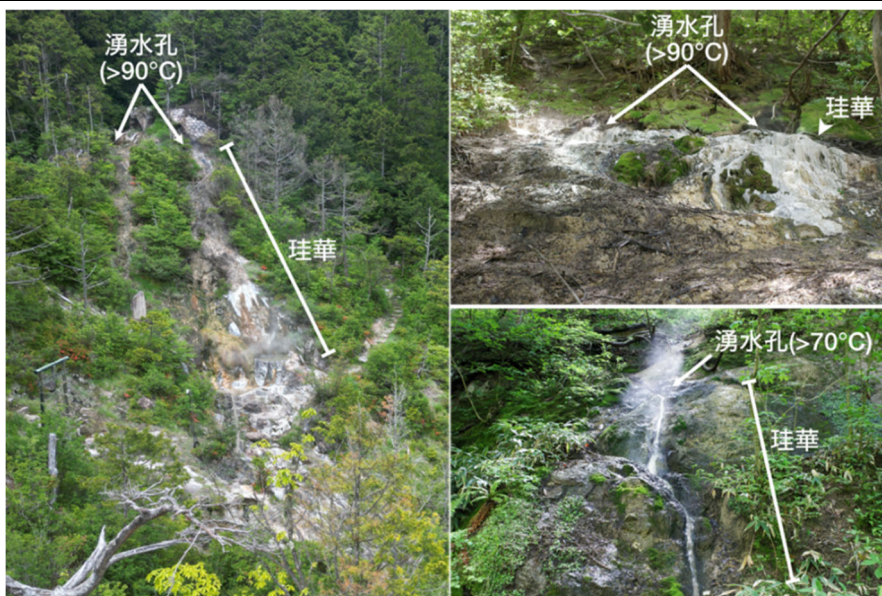
概要

北海道大学大学院理学研究院の伊庭靖弘准教授、産業技術総合研究所の久保田彩博士、エディンバラ大学の谷口 諒 JSPS 海外特別研究員（2024 年度北海道大学大学院理学院修了）、北海道大学理学院博士後期課程の植田知幸氏は、日本の温泉で生じる「珪華」を対象とした詳細な地質調査を行いました。その結果、国内の珪華には、これまで知られてきた他国の珪華には類を見ない固有の岩石学・堆積学的特徴が存在し、温泉周囲の多様な植物が化石として取り込まれていることが明らかになりました。

珪華は取り込んだ生物化石を数 10 億年もの長期間にわたって保存できる優れた媒体として注目されています。従来、その形成プロセスや化石保存様式は、米国イエローストーン国立公園など海外の温泉環境で研究されてきました。しかしながら、これらの珪華産地では巨大な地熱活動と熱水噴出によって生物多様性の著しく低い荒野が広がっています。そのため、珪華に取り込まれる生物も高温など過酷な環境に適応したごく一部の微生物・植物に限られており、化石として珪華に保存されうるのは極めて居所的かつ特殊化した生物群集のみだと考えられてきました。

本研究で対象とした長野県中房温泉地域に代表される国内の珪華産地では、海外とは異なり多数の温泉が散発的に滲出し、珪華を形成していました。これらの小規模な熱水流や珪華は周囲の森林を破壊することはなく、むしろ近接して共存しています。これにより、針葉樹、広葉樹、コケ類など日本の森林元来の多様な植物が珪華に取り込まれ、化石化されつつありました。本研究による日本独自の珪華堆積システムの発見は、優れた化石保存媒体として多くの重要な進化イベントを記録している地質時代の珪華について、その堆積環境や生態系の復元に新たな洞察を与えるものです。

なお、本研究成果は、2025 年 8 月 5 日（火）公開の Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 誌にオンライン掲載されました。



本研究で対象とした長野県中房温泉地域の珪華。70℃以上の熱水と珪華、発達した森林が共存する独特の景観を呈する。

【背景】

温泉はその泉質により様々な化学成分を含んでおり、これらの析出・沈殿によって温泉特有の堆積物、いわゆる湯の華が生じます。その形成速度は岩石としては極めて速く、時として周囲の生物なども取り込みながら成長します。中でもシリカを主成分とする「珪華」は物理的・化学的な安定性が非常に高く、取り込んだ生物を化石として三次元的・細胞レベルで億年スケールにわたり保存できる媒体として注目を集めています（例：4 億年、ライニー、スコットランド；35 億年、ピルバラ、オーストラリア）。

珪華の卓越した化石保存ポテンシャルの背景となる形成要因や化石保存様式を明らかにするため、米国イエローストーン国立公園など活発に珪華を形成している現代の温泉環境で多くの研究が行われてきました。しかし、これら国外の主要な珪華産地はホットスポットや中央海嶺など大規模な地熱活動に由来しており、巨大な間欠泉や広大な珪華台地を特徴としています。これらの温泉地形は周囲の森林を破壊・後退させ、高温や高塩類濃度に適応した微生物と植物に代表される生物多様性の極めて低い荒野を形成します。そのため、珪華が化石として保存できるのは温泉環境に特化した特殊な生物群集のみであると考えられてきました。

日本列島は海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込むことで活発な火山活動が生じる典型的な島弧環境にあります（図 1）。日本ではこうした火山活動に伴う小規模で散発的な温泉が無数に生じ、一部では珪華を形成していることが知られています。ところが、国内珪華を対象とした岩石学・堆積学・古生物学的研究はほぼ皆無で、国際的にはその特徴・重要性はおろか存在すら見過ごされていました。

【研究手法】

本研究では長野県安曇野市の中房温泉地域を主な調査地としました。中房温泉は北アルプス燕岳の山麓に位置しており、急斜面に発達したヒノキを主とする森林に覆われています。当地の珪華は「中房温泉の膠状珪酸および珪華」として 1928 年に国の天然記念物として登録され、中房温泉旅館の継続的な保全管理により人為的な破壊や盗掘から守られてきました。現地調査にあたっては、文化庁より許諾を得た後、調査地域を隈なく踏査して各源泉と珪華の分布、温度、pH、シリカ濃度、岩石学・堆積学的特徴を記録しました。光学/電子顕微鏡を用いて、採集した珪華サンプルの微細な岩石学的特徴も観察しました。加えて、日照や水量など異なる条件下にある複数の熱水流路にセラミック製タイルを設置する実験を行い、堆積した珪華の厚さからその成長速度を算出し、環境条件ごとに比較しました。

【研究成果】

中房温泉地域では、約 100 m x 100 m の範囲に合計 32 個の温泉湧出孔が確認されました（図 1）。これらは直径 10 cm 未満で静かに温泉水を湧出しており、熱水は急斜面を流れ下りながら最大で長さ 40 m、幅 5 m ほどの伸長した珪華露頭を形成していました。これらの特徴は、激しく噴水する間欠泉や km スケールの珪華台地を生じる海外の地熱地域とは全く異なっています。湧出熱水の多くは 80℃以上と非常に高温で、高いシリカ濃度と中性～アルカリ性の pH から珪華の形成に適していることが分かりました。観察及び実験から、珪華は日当たりの良い南向き斜面に発達し、また熱水路の縁辺ではよく発達する一方で水路底部では生じないことが分かりました。これらの結果は当地域の珪華の形成が、日照などで促進される水分の蒸発とシリカの析出によりコントロールされていることを示しています。

調査地域の珪華は岩石学的特徴から四つのタイプに分類でき、中でも大量の植物遺骸を含んで厚層化した珪華が卓越して分布していました（図 1、2）。珪華に埋没した植物は針葉樹、広葉樹、コケ類など多岐にわたり、外部がシリカで覆われたり内部が浸透したシリカで完全に充填されたりして化石化されていました。中には直立したまま珪華に埋没しつつある樹木や、コロニーの半分が化石化し半分は生きているコケも確認されました（図 2）。当調査地では、森林を破壊し荒野を生じさせてしまう海外の大規

模な火山温泉系とは異なり、小規模・散発的な島弧環境ならではの温泉活動が熱水と豊かな森林を共存させ、様々な植物が珪華に保存されることを可能にしています（図3）。

今回の研究で、多様な植物群集を取り込む珪華の存在と、その堆積環境・プロセス、化石保存様式が初めて明らかになりました。これにより、珪華の形成システムには従来考えられていた以上の多様性が存在することが判明し、重要な化石を含む地質時代の珪華の堆積環境や保存された生態系の復元における新しいモデルを提示することができました。

【今後への期待】

日本には中房温泉以外にも宮城県鬼首温泉や秋田県秋の宮温泉などの珪華産地が知られており、これらの地域においても詳細な調査を行うことで、島弧型珪華の形成様式をより普遍的なものとして議論できると考えられます。また、化石珪華の中には、従来の大規模な現生珪華とは異なる特徴を示すものがありますが、そのギャップはしばしば無視されてきました。例えば、最古の陸上生態系を良好保存する4億年前のライニーチャートでは、巨大な珪華台地や高エネルギーな間欠泉の存在を示す証拠はなく、保存された生物化石も比較的多様性の高いものとなっています。本研究の成果をもとにこれらの化石珪華の特徴を再検討することで、当時の環境や生態系をより詳細・正確に復元できると期待されます。

【謝辞】

本研究にあたり、百瀬孝仁氏（中房温泉）、小清水亜美氏（株式会社 EndlessGlory オフィス リスタート）、宇津城遥平氏（北海道大学大学院理学院）、中村晃輔氏・野村秀彦氏（北海道大学総合研究基盤連携センター）、文化庁、安曇野市教育委員会、苫小牧市テクノセンターに多大なご協力をいただきました。また、本研究では JSPS 科研費（JP22KJ0139、JP23K17274、JP23K27235、JP25K22459）、JAXA 宇宙探査イノベーションハブ（JX-PSPC-540452）、中央大学共同研究プロジェクト、公益財団法人自然保護助成基金 プロ・ナトゥーラ・ファンド助成、株式会社モンベル チャレンジ支援プログラム、公益財団法人深田地質研究所 深田野外調査助成、湯沢市 ゆざわジオパーク学術研究等奨励補助金、公益信託大成建設 自然・歴史環境基金の助成を受けました。

論文情報

論文名	Modern silica sinter deposits from an island-arc setting and their potential for fossilizing plants（島弧環境における現生珪華堆積物とその植物化石保存ポテンシャル）
著者名	久保田彩 ¹ 、谷口 諒 ² 、植田知幸 ³ 、伊庭靖弘 ⁴ （ ¹ 産業技術総合研究所、 ² エディンバラ大学、 ³ 北海道大学大学院理学院、 ⁴ 北海道大学大学院理学研究院）
雑誌名	Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology（地質学の専門学術誌）
DOI	10.1016/j.palaeo.2025.113176
公表日	2025年8月5日（火）（オンライン公開）

お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 准教授 伊庭靖弘（いばやすひろ）

T E L 011-706-3538 メール iba@sci.hokudai.ac.jp

配信元

北海道大学社会共創部広報課（〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目）

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

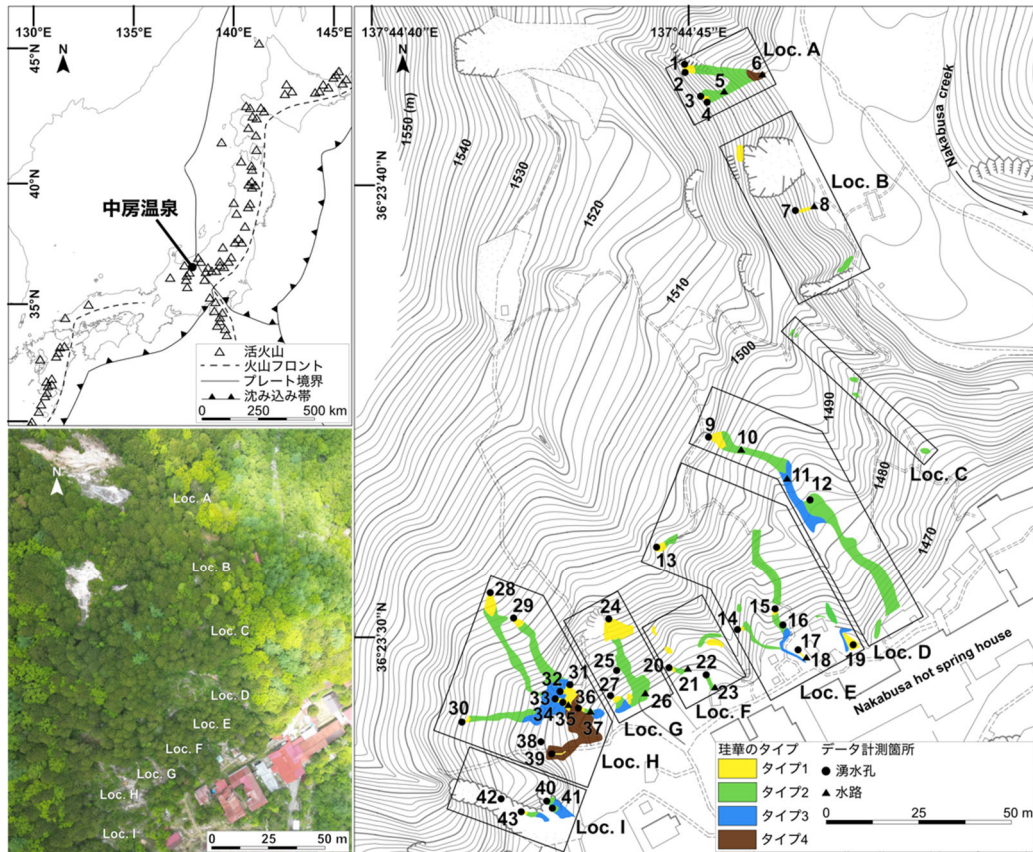


図 1. 中房温泉の位置とテクトニックセッティング (左上)、調査地の空撮写真 (左下) 及び温泉水湧出孔と珪華の分布図 (右)。森林に覆われた多数の湧出孔と珪華が散発的に分布している。

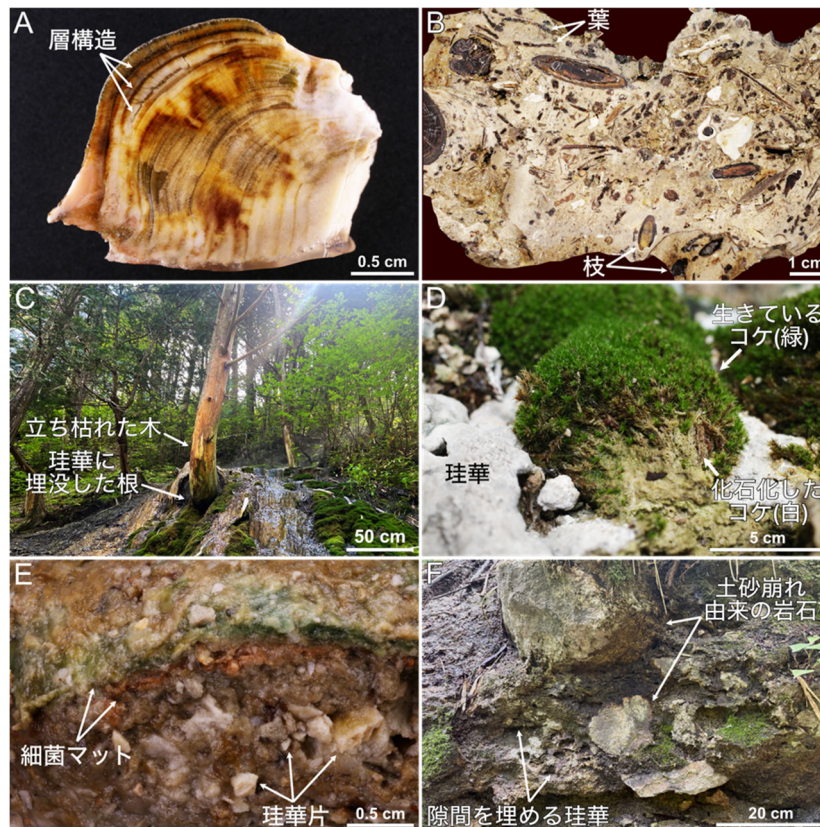


図 2. 島弧型珪華における四つのタイプ。(A) タイプ 1: 好熱性細菌を含む層状構造が明瞭な珪華。(B) タイプ 2: 大量の植物遺骸を含んで厚層化した珪華。野外では直立したまま埋没する樹木 (C) や半分だけ化石化したコケ (D) も見られる。(E) タイプ 3: 緑色や橙色の中温性細菌のマットに覆われる珪華。(F) タイプ 4: シリカでセメントされた土砂崩れ由来の岩石を含む珪華。

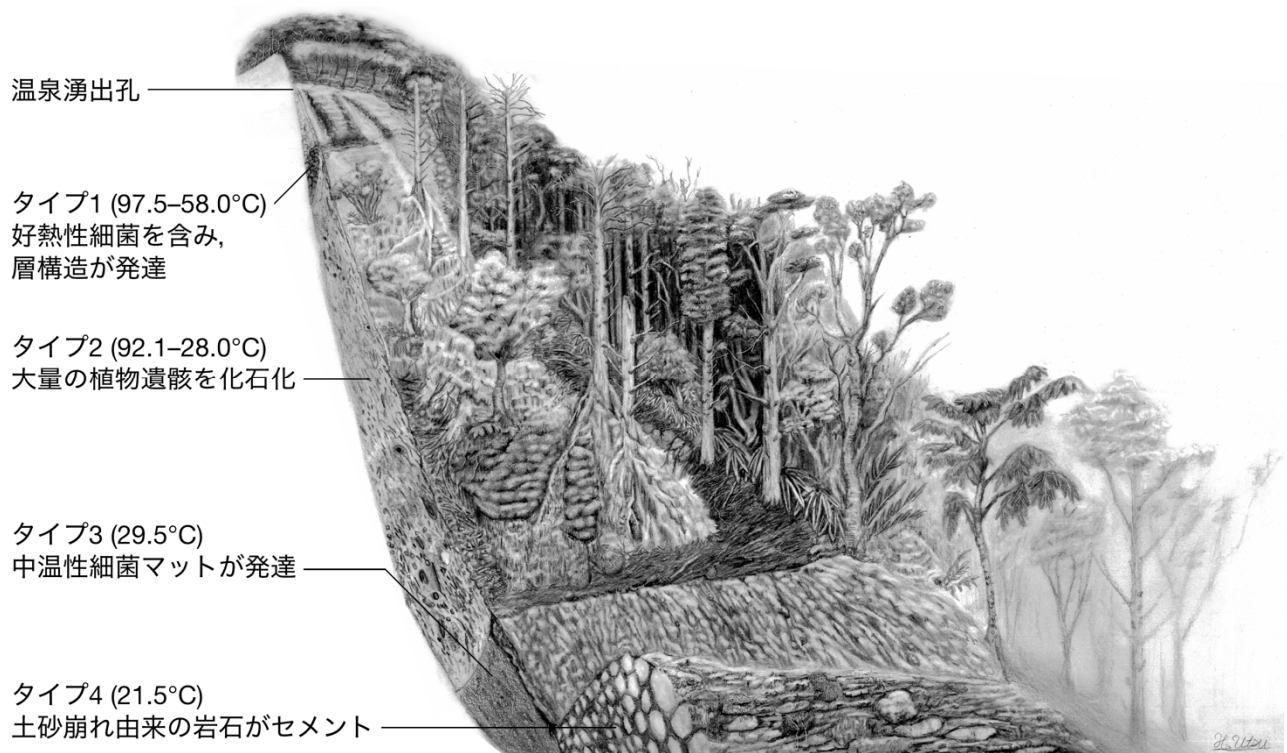


図 3. 本研究で明らかになった島弧型珪華堆積システムのモデル図。調査地域における珪華は斜面を流れ下る小規模な熱水から形成され、豊かな森林と共存しながら大量の植物遺骸を取り込み化石化している。(画：宇津城遥平氏)