

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02235

研究課題名(和文) 新規同位体分析法を駆使した石筍古気候記録の定量的解読

研究課題名(英文) Quantitative decoding of stalagmite paleoclimatology by advanced isotopic analyses

研究代表者

狩野 彰宏 (Kano, Akihiro)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授

研究者番号：60231263

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,700,000円

研究成果の概要(和文)：新規同位体(炭酸凝集同位体と流体包有物同位体)を適用することで、日本国内から採集した石筍とトゥファを用いて定量的古気候解析を行った。国内での適用が遅れていた炭酸凝集同位体については分析システムを九州大学で構築し、国内で初めて  $\delta^{47}$ 温度換算式を提示することができた。炭酸凝集同位体と流体包有物同位体は広島県・三重県・沖縄県で採集された石筍に対して適用され、酸素同位体比が持つ温度成分と降水量成分を分離するなどの成果を得た。これにより、石筍に記録された気温情報は中期完新世は現在より温暖であることもわかった。また、中国での先行研究で示された酸素同位体比と降水量の相関は日本の試料では確認されなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的の1つに、現在より温暖な時期を特定し、その期間の気候情報を復元することで、温暖化地球での自然災害の規模を頻度の予測につなげることにある。広島県や三重県の分析結果からは8～5千年前の中期完新世の気温が産業革命時よりも3 ほど高かったことを示す。この時期の降水量については定量性に乏しいものの現在よりやや多いと考えられ、温暖化地球での水害の規模と頻度も増加すると予測される。また、本研究では炭酸凝集同位体や赤外線レーザー分光法などの技術的な革新も生まれ、国内の古気候研究の発展に寄与する成果も生まれた。

研究成果の概要(英文)：Quantitative paleoclimates were decoded from Japanese stalagmite by using newly-developed isotopic methods. This study develops the analytical system of carbonate clumped isotope, which was poorly applied in Japan, and also provides a  $\Delta^{47}$ -temperature calibration for the first time in Japan. New methods was applied to stalagmites collected from Hiroshima, Mie, and Okinawa. The analyses successfully separate the climate signal of oxygen isotopes into two fractions related with temperature and rainfall amount. The temperature fraction of the stalagmites indicate that air temperature was clearly higher in mid-Holocene than in the present. Unlike the previous studies on Chinese stalagmite, this study does not recognize a strong relationship between the stalagmite oxygen isotopes with the amount of rainfall or with the monsoon intensity.

研究分野：地球惑星科学

キーワード：石筍 古気候 炭酸凝集同位体 流体包有物 完新世 トゥファ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 完新世～後期更新世の古気候研究は、地球温暖化に伴う気候変動予測を目的として、近年ますます盛んである。中でも、深海堆積物コアや氷床コアの研究は、海水準・海水温・大気組成の変動パターンを示し、気候プロセスの理解に多大な貢献をしてきた。しかし、気候変動が人類に及ぼす影響を考える時、人口が集中する温帯～亜熱帯の陸域気候予測が問題になる。大型計算機の進歩とともに発達してきた気候モデルの予測結果も、特に降水量変動に関しては研究者によって異なり、どれが正しいのか判断できない。重大な問題は、気象観測が行われる以前の陸域気候情報が少ないことにある。

(2) 陸域の長期的気候記録媒体として、鍾乳石は極めて優れている。それは、炭酸カルシウムが主成分なので古気候の化学指標になる炭素・酸素安定同位体や微量元素組成の測定が簡便であり、極めて精度の良い U-Th 年代法が適用できるという特長を持つからである。海外では 1990 年代後半から鍾乳石を用いた古気候研究が盛んになり、多くの新知見が明らかにされてきた。また、汎用化が進行しつつある炭酸凝集同位体温度計により定量的な温度記録が復元できることも大きな強みである。海外では 1990 年代後半から鍾乳石を用いた古気候研究が盛んになり、多くの知見が明らかにされてきた。

(3) 研究代表者は過去 15 年間にわたるトUFFアと石筍の研究を通じて気候解析に携わってきた。石灰岩地域の河川で堆積するトUFFアの研究では、トUFFアが数ミリ幅の年縞を持ち、その化学指標が高解像度の降水量や気温情報を記録することが示された (Kano et al., 2004, 2007)。石筍を用いた研究も国内数カ所で行われ、いくつかの新知見を提示している。広島県の石筍では、後氷期 (16~10 千年前) の温暖化変動が北半球の他地域の記録と同調することが示された (Shen et al., 2010)。また、冬に降水 (降雪) が多い新潟県の石筍の酸素同位体比は、中国や広島の試料とは全く異なり、冬のモンスーン強度の指標になること示した (Sone et al., 2013)

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では、国内の数カ所から採集された鍾乳石 (石筍) 試料の年代軸をウラン-トリウム法により確立し、温度のみの指標である炭酸凝集同位体 ( $\Delta_{47}$ ) を含む多様な分析結果を用いて古気候情報を抽出する。より高解像度の記録媒体として古トUFFアも題材とする。石筍とトUFFアの研究で、化学指標として用いられる方解石成分の安定同位体と微量元素は、気温や降水量を反映すると考えられている。例えば、トUFFアでは、酸素同位体値と気温の負の相関、炭素同位体と降水量の負の相関 (Hori et al., 2009)、Si と降水イベントとの対応 (Kano et al., 2004) などがあり、単独ではなく、複数の化学指標をもとに過去の気温や降水量を解読する。

(2) 本研究の重要な特色は、 $\Delta_{47}$  温度計の導入にある。石筍・トUFFア研究で最も頻繁に用いられる方解石の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}_c$ ) は降水量と温度の関数であり、それだけでは気候条件を正確に復元できない。これに対し、 $\Delta_{47}$  は純粋な温度の関数なので、 $\delta^{18}\text{O}_c$  と併用すれば、温度と降水量を定量的に評価できる。申請者は科研費等の支給により、その測定に必要な装置類を整備した。しかし、測定の効率と再現性を高めるには、 $\text{CO}_2$  精製を自動化する必要がある。本研究では、測定システムを改良し、石筍とトUFFアの分析結果をもとに、試料採集地点の気温と降水量を定量的かつ高解像度に導き出す。また、 $\Delta_{47}$  温度計は応用性が高い技術であり、その分析のための環境を整備することも本研究の重要な目的である。

### 3. 研究の方法

(1) 野外調査：研究代表者 (狩野) が柏木・堀とともに調査対象の洞窟 (静岡県浜松市、三重県大紀町、新潟県糸魚川市、奈良県天川村など) において、分析に用いる水 (滴下水・河川水) と鍾乳石 (石筍) 試料を採集した。なお、洞窟の調査においては、管理する地方自治体や地権者からの許可を得るとともに、調査中の安全に配慮して鍾乳洞の探査を行った。また、トUFFアについては鹿児島県徳之島の試料について研究を行った。

(2) 水質分析：水質データの中で特に重要なものは、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  比、水の酸素同位体 ( $\delta^{18}\text{O}_w$ )、溶存炭酸の炭素同位体 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ) である。溶存成分濃度は原子吸光分析計とイオンクロマトグラフを、同位体は軽元素質量分析計を用いて測定した (担当狩野)。

(3) 年代測定：採集した石筍を半割・研磨し、その半分を U-Th 法による年代測定に用いた。測定にはマルチコレクター ICP 質量分析計を使った方法が最も適切であり、35 万年前より新しい試料であれば、0.1g のサンプルから誤差 1% の年代が求められる。しかし、測定に必須の放射性添加物 ( $^{233}\text{U}$  など) に対する厳格な使用規制のため、国内での測定は極めて困難である。そこで、国立台湾大学の沈川洲教授の研究室で測定を行った。石筍 1 試料につき、約 10 層準で測定し、浜松市や大紀町の石筍試料について年代軸を確定した (担当狩野)。

(4) 安定同位体と Mg/Ca 比分析：もう 1 つの半割試料は主に酸素・炭素同位体と Mg/Ca 比分析に用いる。まず、0.2mm の間隔で多数のサブサンプルを削り出し、分析試料とする。ここでは、多数のサブサンプルの酸素・炭素同位体 (軽元素質量分析計) と微量元素 (Mg, Sr; 原子吸光分

析計) の測定が必要である。東京大学の軽元素質量分析計は一日 40 試料 (8mm 分) の測定が可能だが、例えば、大紀町で採集済みの長さ 40cm の石筍 (2000 試料) の場合、測定完了には 50 日を要する。そこで、研究補助要員を雇用する他、進行状況を考慮し、同等の分析環境を持つ坂井に分析を依頼した。

(5) 水包有物の同位体分析：石筍に含まれる水包有物の同位体比を、植村の研究室 (実施時は琉球大学) により分光型質量分析計で測定した。具体的には、密閉粉碎器の中で石筍試料を破壊し、加熱して水を蒸発させ、液体窒素トラップにためる。次に、He キャリアガスとともに分光計質量分析計へ導入し、同位体比を測定した。この方法は水を H<sub>2</sub> に還元して測定する従来型の方法に比べて簡便であり、 $\delta D$  と  $\delta^{18}O_w$  が同時に計測できた。

(6) 炭酸凝集同位体温度計：炭酸塩鉱物中では重い同位体 ( $^{18}O$  と  $^{13}C$ ) どうしが結合しやすい性質があり、 $^{18}O$ - $^{13}C$  結合の存在度異常が温度と逆相関することが知られている。この原理では、炭酸塩-リン酸反応で生じた CO<sub>2</sub> の中で、質量数 47 ( $^{13}C^{18}O^{16}O$ ) の存在度異常 ( $\Delta_{47}$ ) が絶対温度の-2 乗に比例することになる。本研究ではこれを九州大学に配備された高精度質量分析計を用いて測定した (狩野・仙田)。まず、温度制御下で合成した方解石試料と温度条件が既知である (愛媛県城川と岡山県下位田で採集した) トウファ試料を用いて  $\Delta_{47}$ -温度換算式を確立した。

(7) 以上の分析で得られた石筍の化学指標の時系列結果から、場所ごとに、気候変動を復元した。また、トウファ試料については年輪構造をもとに年代を詳細に確定し、酸素・炭素同位体比の解釈を行った。

#### 4. 研究成果

4 年間の研究期間中に得られた成果は以下にまとめられる。

(1)  $\Delta_{47}$ -温度換算式：合成試料とトウファ試料の測定結果から、2 つの異なる  $\Delta_{47}$ -温度換算式を得た (図 1)。合成試料では

$$\Delta_{47} = (0.0354 \pm 0.0013) \times 10^6/T^2 + (0.290 \pm 0.015)$$

トウファ試料では

$$\Delta_{47} = (0.0336 \pm 0.0036) \times 10^6/T^2 + (0.301 \pm 0.048)$$

トウファの換算式がより低い温度を示す理由は、方解石沈殿時に活発な CO<sub>2</sub> 脱ガスが起こっており、同位体凝集が進みにくいためであると考察された。CO<sub>2</sub> の脱ガスは石筍生成時にも起こっているので、石筍にはトウファによる換算式が適用できるものと予想された (Kato et al. 2019)。

これは  $\Delta_{47}$ -温度換算式を示した国内最初の研究であり、応用性の高い分析環境を整備したという意味でも意義が大きい。

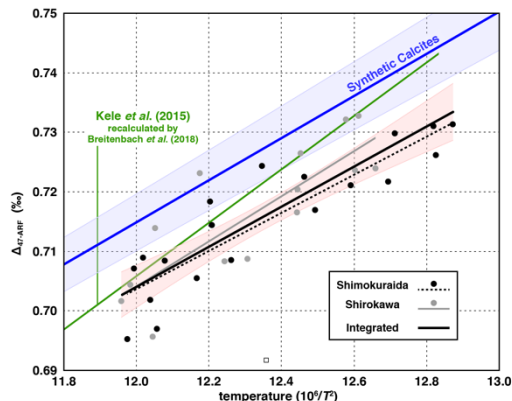


図 1. 本研究で得られた 2 種類の  $\Delta_{47}$ -温度換算式 (Kato et al. 2019)。

(2) 広島県神石高原町：幻鍾乳洞で採集された長さ 14cm の石筍 (Hiro-1) は非常に正確な年代モデルが得られており、酸素同位体比が夏の東アジアモンスーン強度と温度を反映していると考察された (Shen et al. 2010)。本研究では、これを試料として、炭酸凝集同位体温度計を適用した。その結果、中期完新世の温暖期 (ヒプシサーマル期) に、現在より気温が 3~5℃ も高く、1.6~1.8 万年前の最終氷期には現在よりも 5℃ ほど低かったことが示された (図 2 上)。この結果をもとに、石筍酸素同位体比 ( $\delta^{18}O_c$ ) から降水の酸素同位体比 ( $\delta^{18}O_w$ ) を計算すると、退氷期である 1.4~1.25 万年前に最も低く、最終氷期と中期完新世はほぼ同じレベルにあることがわかった (図 2 下)。これが降水量の指標であるとする、氷河期と中期完新世でほぼ同じ降水量であったことになる。ただし、氷期における瀬戸内海の陸化の影響も無視できない。瀬戸内海が陸化すると、結果的に水蒸気ソースからの距離が増加し、 $\delta^{18}O_w$  が低下することになる。1.4~1.25 万年前の  $\delta^{18}O_w$  が低いのは、瀬戸内海の陸化が関係していると思われる。本研究は、石筍に炭酸凝集同位体温度計を適用した数少ない成功例の 1 つであり、現在投稿中である。

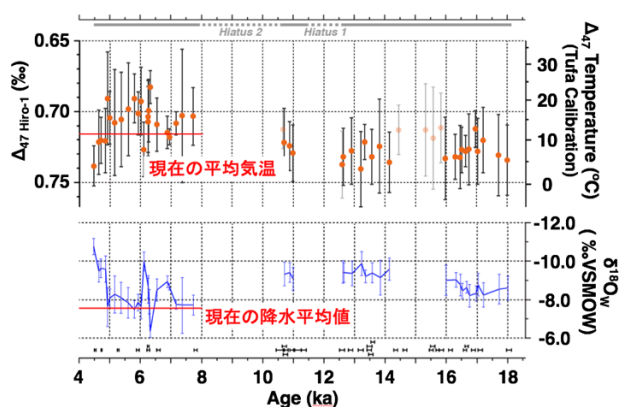


図 2. 広島県幻鍾乳洞の石筍から得られた  $\Delta_{47}$ -温度 (上) とそこから復元された  $\delta^{18}O_w$  (下)。

(3) 三重県大紀町：霧穴で採集した長さ 10 cm の石筍 KA03 はウランの含有量が極めて高く、年代が確定しやすい点で優れた試料である。12000～18000 年前に中断があるものの、KA03 は過去 8 万年間にほぼ連続的に成長している。この石筍を 0.1mm 刻みでミリングし、その酸素同位体比を測定したところ、Heinrich events に対比される変動が確認された。一方、グリーンランドの氷床や中国石筍に見られるノコギリ状の Dansgaard-Oeschger cycle は不明瞭だった。KA03 の長期的変動は海水の長期的変動と連動することもわかった (図 3A)。これは、霧穴での降水の水蒸気ソースがほぼ太平洋に限定されるためであると思われる。海水  $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$  の効果を差し引くとノコギリ状の変動が見られ、最終氷期(23ka)と中期完新世(6ka)の変動は 1.1‰ まで縮小された (図 3B; Mori et al. 2018)。

KA03 の酸素同位体比と中国石筍の結果と比較すると、変動の振幅が明らかに小さい。これは、日本列島での雨水の酸素同位体比が、東アジアモンスーンのような外的要因の変化に対して敏感でないことを示唆している。むしろ、霧穴の KA03 の酸素同位体比は海水酸素同位体と気温変化を反映していると考えられる (図 3C)。霧穴の石筍記録は世界的にみてもユニークなものであり、石筍  $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$  の新たな解釈につながる。

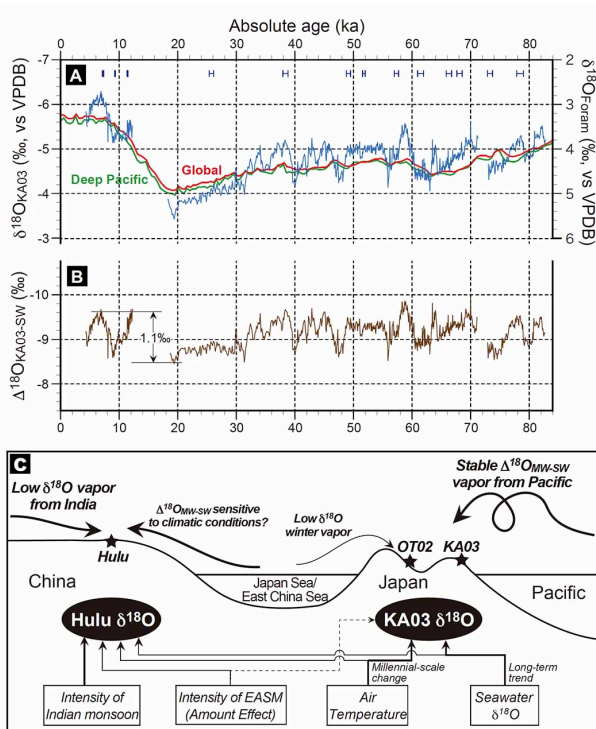


図 3. 三重県霧穴の石筍 KA03 の酸素同位体比と海水  $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$  の比較下 (A)。海水  $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$  の効果を差し引いた酸素同位体比記録 (B)。1.1‰の振幅は  $5^{\circ}\text{C}$  に相当する。霧穴と中国石筍(Hulu Cave)の酸素同位体比を支配する要因。(Mori et al. 2018)

(4) 新潟県糸魚川市：一般に東アジアにおける石筍の酸素同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}_{\text{c}}$ ) 記録は暖かく湿潤な間氷期に低い値を、寒く乾燥した氷期に高い値をとることが知られている。本研究で扱った新潟県糸魚川市の洞窟から採取された石筍は最終氷期の記録を保持しており、同じ洞窟で採取された完新世の石筍記録と比較すると、通常とは異なり、最終氷期においてより低い値を示している。先行研究ではこの洞窟付近の気候は、日本海からの水蒸気を取り込んだ冬季モンスーンによって支配されていることが示されている (Sone et al. 2013)。そこで、氷期においてはより多くの水蒸気が、完新世よりも強化された冬季モンスーンによってもたらされたと解釈してしまうと、海水準低下によって対馬暖流の流入が制限されたとする有孔虫記録と矛盾する。さらに、雨水の同位体記録から計算すると量的効果による同位体変化では説明しきれないことが示唆された。したがって、石筍の  $\delta^{18}\text{O}_{\text{c}}$  記録が低い値をとる原因として、水蒸気ソースである海水の同位体が異常に軽くなっていたことが考えられる。これは海水準低下によって孤立した日本海に淡水が流入し、成層化に伴って表層の塩分と  $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$  が低下したとする有孔虫記録と整合的であり、本研究によって初めて陸域記録からこれが支持された。この研究成果は現在投稿中である。

(5) その他の石筍：静岡県竜ヶ岩洞については U-Th 年代測定により、1つの石筍が 16 万年前まで時代がさかのぼることがわかった。この石筍は最終間氷期の記録を含んでおり、同じ洞窟で採集された中期完新世の石筍記録と比較することで、2つの間氷期の気候条件の違いについて議論が進められる。また、奈良県五代松鍾乳洞の石筍からは約 70 万年前のものが見つかった。これは、年代が分かっている国内の石筍で最古のものである。

(6) 徳之島のトゥファ：徳之島小原海岸に発達するトゥファについても研究を進めた。このトゥファは高さ 10m の崖から流下する水から石筍のように沈殿したものであり、長期的な記録を保存していると期待できる。採集された厚さ約 50cm の試料は縞状組織から 189 年間で堆積したと見積もられた。また、縞状組織の中で緻密層が夏に、空隙質の層が冬に形成することも確認された。同位体分析の結果は、Matsuoka et al. (2001) 等で報告された規則的な年変化を示さなかった。他のトゥファと比較すると、雨水の高い  $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$  が高いことを反映し  $\delta^{18}\text{O}_{\text{c}}$  はやや高い値を、C4 植物であるサトウキビの影響から  $\delta^{13}\text{C}$  は明らかに高い値を示した。トゥファの約 200 年間の同位体記録からいくつかの知見が得られた。まず、1960 年代から減少する  $\delta^{13}\text{C}$  (図 4) は化石燃料の消費による Suess 効果を記録している。また、小原海岸付近でのサトウキビ栽培は少なくとも 1840 年代から継続していたことが読み取れた。さらに、気象観測記録と比較することにより、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{c}}$  は気温との相関は低く、降水量と関係することもわかった。気象記録の無い 1890

年以前の期間にこの考察を当てはめると、1840~70年は少雨期、1870~90年は多雨期であったと復元できる。津波の痕跡も確認された。深さ12cmに見られる海生動物化石を含む礫状部は1960年のチリ地震津波によるものと考えられる。この地震では奄美大島名瀬で高さ4.5mの津波が観測されており、標高3mのトゥファ堆積場も津波に覆われたものと考えられる。

本研究では、20年間ほどに留まっていたトゥファの古気候解析の期間を大幅に更新することができた。より適切な試料を見つけることで、記録の長さや解像度を向上することが可能だろう。トゥファは古気候記録媒体として優れており、継続的な研究が必要である。

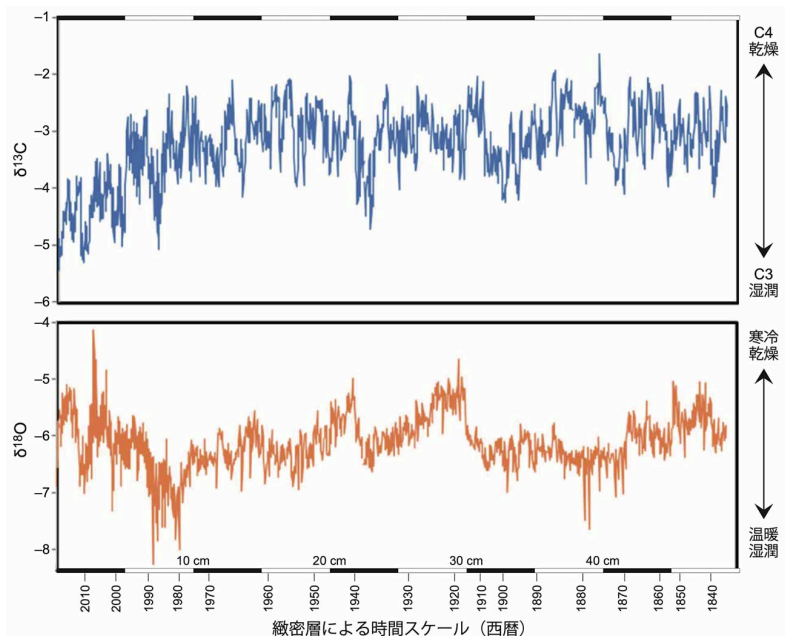


図 4. 鹿児島県徳之島のトゥファに記録された炭素同位体比(上)と酸素同位体比(下)。トゥファの年代モデルは夏に形成される緻密層のカウントにより行った。

(7) トゥファとトラバーチンに関する英文教科書の執筆：研究代表者の狩野は本研究の期間中に陸域に発達する縞状炭酸塩堆積物(トゥファとトラバーチン)に関する教科書を執筆した(Kano et al. 2019)。これは狩野の研究室が過去20年間に行ってきた研究の集大成でもあり、トゥファの年縞構造の発達過程、成長速度、古気候研究に関する原理と主な成果を国際的に発信することとなった。

#### 文献

- Hori, M., Kawai, T., Matsuoka, J., Kano, A. (2009) Intra-annual perturbation of stable isotopes in tufas: effects of hydrological processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, 1684-1695.
- Kano, A., Hagiwara, R., Kawai, T., Hori, M., Matsuoka, J. (2007) Climatic condition and hydrological change recorded in a high-resolution stable-isotope profile of a recent laminated tufa on a subtropical island, southern Japan. *Journal of Sedimentary Research*, 77, 59-67.
- Kano, A., Kawai, T., Matsuoka, J., Ihara, T. (2004) High-resolution records of rainfall events from clay bands in tufa. *Geology*, 32: 793-796.
- Kano, A., Okumura, T., Takashima, C., Shiraiishi, F. (2019) *Geobiochemical Properties of Travertine with Focus on Japanese Sites*. Springer Nature.
- Kato, H., Amekawa, S., Kano, A., Mori, T., Kuwahara, Y., Quade, J. (2019) Seasonal temperature changes obtained from carbonate clumped isotopes of annually laminated tufas from Japan: discrepancy between natural and synthetic calcites. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 244, 548-564.
- Matsuoka, J., Kano, A., Oba, T., Watanabe, T., Sakai, S., Seto, K. (2001) Seasonal variation of stable isotopic compositions recorded in a laminated tufa, SW-Japan. *Earth and Planetary Science Letters* 191: 31-44.
- Mori, T., Kashiwagi, K., Amekawa, S., Kato, H., Okumura, T., Takashima, C., Wu, C.-C., Shen, C.-C., Quade, J., Kano, A. (2018) Temperature and seawater isotopic controls on two stalagmite records since 83 ka from maritime Japan. *Quaternary Science Reviews*, 192, 47-58.
- Shen, C.-C., Kano, A., Hori, M., Lin, K., Chiu, T.-C., Burr, G.B. (2010) East Asian monsoon evolution and reconciliation of climate records from Japan and Greenland during the last deglaciation. *Quaternary Science Reviews*, 29, 3327-3335.
- Sone, T., Kano, A., Okumura, T., Kashiwagi, K., Hori, M., Jiang, X., Shen, C.-C. (2013) Holocene stalagmite oxygen isotopic record from the Japan Sea side of the Japanese Islands, as a new proxy of the East Asian winter monsoon. *Quaternary Science Reviews*, 75, 150-160.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 8件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Zhang Naizhong, Yamada Keita, Kano Akihiro, Matsumoto Ryo, Yoshida Naohiro	4. 巻 488
2. 論文標題 Equilibrated clumped isotope signatures of land-snail shells observed from laboratory culturing experiments and its environmental implications	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 189 ~ 199
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.05.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Mori Taiki, Kashiwagi Kenji, Amekawa Shota, Kato Hirokazu, Okumura Tomoyo, Takashima Chiduru, Wu Chung-Che, Shen Chuan-Chou, Quade Jay, Kano Akihiro	4. 巻 192
2. 論文標題 Temperature and seawater isotopic controls on two stalagmite records since 83 ka from maritime Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Quaternary Science Reviews	6. 最初と最後の頁 47 ~ 58
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.05.024	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kashiwagi Kenji, Tsuji Yamato, Yamamura Tetsuo, Takai Masanaru, Shimizu Masaaki	4. 巻 34
2. 論文標題 Presence of Feces in the Abandoned Nokado Mine, Tochigi Prefecture of Central Japan, Provides Further Evidence of Cave Use by Japanese Macaques	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Primate Research	6. 最初と最後の頁 79 ~ 85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.2354/psj.34.017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sakai Saburo, Yang Danzhou, Yasuda Takashi, Akiyama Koichiro, Kuga Takayoshi, Kano Akihiro, Shiraishi Fumito, Amekawa Shota, Ohtsuka Susumu, Nakaguchi Kazumitsu, Yamaguchi Shyuhei	4. 巻 4
2. 論文標題 Pulsed Terahertz Radiation for Sensitive Quantification of Carbonate Minerals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 2702 ~ 2707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.8b03311	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kato Hirokazu, Amekawa Shota, Kano Akihiro, Mori Taiki, Kuwahara Yoshihiro, Quade Jay	4. 巻 244
2. 論文標題 Seasonal temperature changes obtained from carbonate clumped isotopes of annually laminated tufas from Japan: Discrepancy between natural and synthetic calcites	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 548 ~ 564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.gca.2018.10.016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 川幡穂高・横山祐典・黒田潤一郎・井龍康文・狩野彰宏	4. 巻 124
2. 論文標題 IODP航海における炭酸塩トピックス	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 地質学雑誌	6. 最初と最後の頁 35-45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.5575/geosoc.2017.0081	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kano, A., Miyahara, R., Yanagawa, K., Mori, T., Owari, S., Tomaru, H., Kakizaki, Y., Glen, S., Shimono, T., Kakuwa, Y., Matsumoto, R.	4. 巻 470
2. 論文標題 Gas hydrate estimates in muddy sediments from the oxygen isotope of water fraction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 107-115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.08.027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Sakai, S. Matsuda, S.	4. 巻 89
2. 論文標題 A practical cryogen-free CO2 purification and freezing technique for stable isotope analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 4409-4412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.7b00544	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sakai, S. Matsuda, S., Hikida, T., Shimamoto, A., McManus, B. et al.	4. 巻 89
2. 論文標題 High-precision simultaneous 180/160, 13C/12C, and 17O/16O analyses for microgram quantities of CaCO <sub>3</sub> by tunable infrared laser absorption spectroscopy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 11846-11852
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.7b03582	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Fujita, M., Kano, A., et al.	4. 巻 113
2. 論文標題 Advanced maritime adaptation in the western Pacific coastal region extends back to 35,000-30,000 years before present	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 11184-11189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1073/pnas.1607857113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugihara, C., Yanagawa, K., Okumura, T., Takashima, C., Harijoko, A., Kano, A.	4. 巻 343
2. 論文標題 Transition of microbiological and sedimentological features associated with the geochemical gradient in a travertine mound in northern Sumatra, Indonesia	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Sedimentary Geology	6. 最初と最後の頁 85-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.07.012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ohno, M., Hayashi, T., Sato, M., Kuwahara, Y., Mizuta, A., Lita, I., Sato, T., Kano, A.	4. 巻 4
2. 論文標題 Millennial-scale interaction between ice sheets and ocean circulation during marine isotope stage 100.	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.3389/feart.2016.00055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 Zhang Naizhong, Lin Mang, Yamada Keita, Kano Akihiro, Liu Qi, Yoshida Naohiro, Matsumoto Ryo	4. 巻 532
2. 論文標題 The effect of H2O2 treatment on stable isotope analysis ( $^{13}\text{C}$ , $^{18}\text{O}$ and $^{47}\text{Ti}$ ) of various carbonate minerals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 119352 ~ 119352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.119352	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Quade J., Leary R., Dettinger M.P., Orme D., Krupa A., DeCelles P.G., Kano A., Kato H., Waldrip R., Huang W., Kapp P.	4. 巻 191
2. 論文標題 Resetting Southern Tibet: The serious challenge of obtaining primary records of Paleointensity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Global and Planetary Change	6. 最初と最後の頁 103194 ~ 103194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103194	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Uemura Ryu, Kina Yudai, Shen Chuan-Chou, Omine Kanako	4. 巻 16
2. 論文標題 Experimental evaluation of oxygen isotopic exchange between inclusion water and host calcite in speleothems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Climate of the Past	6. 最初と最後の頁 17 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi.org/10.5194/cp-16-17-2020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 狩野彰宏・加藤大和・雨川翔太・森 大器
2. 発表標題 日本の石筍酸素同位体記録の特異性
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会 (幕張メッセ)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柿崎喜宏・狩野彰宏・王可・鄭洪波
2. 発表標題 中国雲南省に発達する始新世の年縞トラバーチン
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会（幕張メッセ）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤大和・雨川翔太・狩野彰宏
2. 発表標題 トゥファの炭酸凝集同位体に記録された沈殿温度の季節変動
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会（幕張メッセ）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 雨川翔太・加藤大和・曾根知実・堀真子・柏木健司・森大器・奥村知世・沈川洲・狩野彰宏
2. 発表標題 新潟県糸魚川市の石筍に記録された最終氷期の冬季アジアモンスーン変動と日本海層状化への示唆
3. 学会等名 日本地球化学会（琉球大学）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 柿崎喜宏・狩野彰宏・中田亮一・永石一弥・太田泰弘・柏木健司
2. 発表標題 新潟県青海石灰岩（下部ペルム系Artinskian）から見いだされた洞窟充填リズマイト
3. 学会等名 日本地質学会つくば特別大会（産業総合研究所）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 狩野彰宏・雨川翔太・加藤大和・森 大器
2. 発表標題 日本の石筍同位体記録から見た後期更新世以降の気温変化
3. 学会等名 日本地質学会つくば特別大会（産業総合研究所）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本堂陸斗・浅海竜司・植村立・新城竜一・狩野彰宏・藤田祐樹・山崎真治・高柳栄子・井龍康文
2. 発表標題 沖縄島洞穴遺跡産の淡水棲貝化石による更新世後期の古環境復元
3. 学会等名 日本古生物学会（神奈川県立生命の星・地球博物館）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤大和・雨川翔太・狩野彰宏
2. 発表標題 石筍の炭酸凝集同位体に記録された広島県での最終氷期以降の気温変化
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会（幕張メッセ）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森 大器，狩野彰宏，柏木健司
2. 発表標題 中部日本で採集した2つの石筍記録に見られる1000年スケール変動
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会（幕張メッセ）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柏木健司, 森 大器, 日野康久, 狩野彰宏, 高井正成
2. 発表標題 Dating rock failure by speleothem and cave use of Japanese monkeys: a case study of Saru-ana Cave in the karst region along Kurobe Gorge in eastern Toyama Prefecture of central Japan
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会 (幕張メッセ)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 雨川翔太・加藤大和・狩野彰宏
2. 発表標題 トゥファに記録される炭酸凝集同位体の年変化
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会 (幕張メッセ)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 狩野彰宏・森 大器・柏木健司
2. 発表標題 三重県霧穴の石筍酸素同位体を示す過去8万年間の気温変動
3. 学会等名 日本地質学会 (愛媛大学)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kano, A., Mori, T.
2. 発表標題 Temperature and seawater isotopic controls on stalagmite oxygen isotopic records since 83 ka from maritime Japan
3. 学会等名 International Conference on Holocene Climate Change, Taipei (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 狩野彰宏・雨川翔太・加藤大和・森 大器
2. 発表標題 日本の石筍同位体記録から見た後期更新世以降の気温変化
3. 学会等名 日本地質学会つくば特別大会（産業総合研究所）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤大和・雨川翔太・狩野彰宏・桑原義博・石橋純一郎
2. 発表標題 炭酸凝集同位体温度計の石筍及びトウファ試料への適用
3. 学会等名 日本地質学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 狩野彰宏・森 大器・柏木健司
2. 発表標題 三重県霧穴の石筍酸素同位体が示す過去8万年間の気温変動
3. 学会等名 日本地質学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kashiwagi, K., Mori, T., Hino, Y., Kano, A., Takai, M.
2. 発表標題 Dating rock failure by speleothem and cave use of Japanese monkeys: a case study of Saru-ana Cave in the karst region along Kurobe Gorge in eastern Toyama Prefecture of central Japan
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大嶺佳菜子・植村 立・三嶋 悟・狩野彰宏・曾根知実・柏木健司
2. 発表標題 新潟県の石筍を用いた完新世の流体包有物中の酸素・水素同位体分析
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森 大器・狩野彰宏・胡 訓銘・沈 川洲・柏木健司
2. 発表標題 三重県産石筍に記録されたハインリッヒイベントと最終氷期
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 樂天・森大器・狩野彰宏・沈川洲・柏木健司
2. 発表標題 岐阜県中部の完新世石筍の酸素同位体に記録された数百年周期
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 狩野彰宏
2. 発表標題 中期完新世の石筍成長と縄文人の農耕活動
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Mori, T., Kano, A., Hu, H.-M., Shen, C.-C., Kashiwagi, K.
2. 発表標題 Heinrich events in a stalagmite record from central Mie, Japan
3. 学会等名 26th Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kano, A.
2. 発表標題 Holocene stalagmite growth and farming by Jomon Man in Japan
3. 学会等名 26th Goldschmidt Conference (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 加藤大和・狩野彰宏・森大器・柳川勝紀
2. 発表標題 炭酸凝集同位体温度計の実態と陸域炭酸塩への適応
3. 学会等名 日本地質学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 雨川翔太・加藤大和・狩野彰宏・柏木健司・森大器・仙田量子・沈川州
2. 発表標題 日本の太平洋側から採取された石筍の安定同位体比と凝集同位体に記録された過去8万年の陸域古気候
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅海 竜司・本堂 陸斗・植村 立・新城 竜一・狩野 彰宏・藤田 祐樹・山崎 真治・高柳 栄子・井龍 康文
2. 発表標題 沖縄島洞穴遺跡産の淡水棲貝化石および鍾乳石による更新世後期の古気温復元
3. 学会等名 地球惑星科学関連合同学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤大和・雨川翔太・江口ゆき・宮崎 彩・狩野彰宏
2. 発表標題 静岡県掛川層群大日砂層から産出する魚類耳石の炭酸凝集同位体組成が示す後期鮮新世の古海洋温度
3. 学会等名 日本地質学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阪井将崇・堀 真子・Ghaleb, Bassam・Pinti, Daniele・狩野彰宏
2. 発表標題 ウラン崩壊系列で年代決定された70万年前の石筍と日本最古の陸域記録
3. 学会等名 日本地球化学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Kano, A., Okumura, T., Takashima, C., Shiraishi, F.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 176
3. 書名 Geomicrobiological Properties and Processes of Travertine: With a Focus on Japanese Sites	

〔産業財産権〕



〔その他〕

古気候  
<http://www-gbs.eps.s.u-tokyo.ac.jp/~kano/paleoc.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	植村 立  (Uemura Ryu)  (00580143)	名古屋大学・環境学研究科・准教授    (13901)	
研究分担者	堀 真子  (Hori Masako)  (00749963)	大阪教育大学・教育学部・准教授    (14403)	
研究分担者	坂井 三郎  (Sakai Saburo)  (90359175)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・生物地球化学研究分野・技術研究員    (82706)	
研究分担者	柏木 健司  (Kashiwagi Kenji)  (90422625)	富山大学・大学院理工学研究部(理学)・准教授    (13201)	
研究分担者	仙田 量子  (Senda Ryoko)  (50377991)	九州大学・比較社会文化研究院・准教授    (17102)	