

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K14407

研究課題名(和文)成炭酸塩の凝集同位体を用いた気温復元

研究課題名(英文) temperature reconstruction from clumped isotopes of terrestrial carbonates

研究代表者

加藤 大和 (Kato, Hirokazu)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・特別研究員

研究者番号：70782019

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：炭酸凝集同位体温度計は、まだ新しい温度復元技術である。本研究は、この手法を鍾乳石やトウファといった陸成炭酸塩堆積物に応用し、本邦陸域における標準的な気候変動記録を提示することを目標に据えた。研究期間中には、手法応用のための基礎データの構築から、古気候復元への実用までおこない、日本国内複数地点における気温と降雨現象の変動過程を解明することができたばかりでなく、今後継続的に古気候変動履歴を復元する上での標準的な手法を確立できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、陸上に堆積する炭酸塩岩の同位体記録から、気温と降水現象の変化を定量的に分離して復元し、地球規模の気候期やモンスーンシステムとの関連を明らかにした。本研究の成果は、日本の標準的な古気候記録として利用しうるものであり、また、日本周辺地域における気候システムへの理解や、気候変動予測への一助になるものである。本研究を通して蓄積されたデータや、確立された手法は、今後の古気候研究に長く活用されうるものである。

研究成果の概要(英文)：Clumped isotope thermometry is a comparatively novel method to reconstruct paleo temperature. The purpose of the study is to reveal Japanese paleo-climatic histories by applying the method to Japanese terrestrial carbonates. Fundamental data necessary for the method is accumulated and changes in terrestrial temperature and precipitation at some regions in Japan were revealed by the study.

研究分野：同位体地球科学

キーワード：鍾乳石 石筍 トウファ 炭酸凝集同位体 安定酸素同位体 気温変化 降水変化 古気候

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

炭酸塩鉱物と、それを析出させる母水の酸素同位体組成の間に、温度に依存した分別が生じる性質を利用した『酸素同位体温度計』は、近年最も成功している温度復元法の1つである。しかし、この手法は、母水の同位体組成が既知の場合にのみ温度条件を復元することができる。季節変動の激しい降水を起源とする陸水環境へ応用することは、原理的に不可能であり、陸域に産する炭酸塩鉱物へは無効な手法であった。

炭酸凝集同位体温度計は、温度復元研究の新たな手法であり、炭酸カルシウムを沈殿させる母水の同位体組成に依存しない点で画期的である。これまで研究の難しかった、陸成炭酸塩岩からの陸上気温復元を目指し、申請者が所属する研究室では、炭酸凝集同位体測定システムの開発をおこなっていた。

### 2. 研究の目的

過去の温度条件を定量化に復元することは、地球環境史を理解する上で不可欠である。本研究は、石筍やトゥファなどの陸上炭酸塩堆積物に、炭酸凝集同位体温度計を適用し、U-Th法による高精度の形成年代と合わせて評価する。従来の古環境解析手法では復元し得なかった、過去数万年間に及ぶ、日本陸域における気温変動史と、それに伴う降水現象変動史を定量的に解明することで、本邦陸域における標準的な気候変動記録を提示することを目的とした。

### 3. 研究の方法

研究室が保有する日本国内から採取された複数の石筍に加え、石筍やトゥファを試料として追加採取した。試料の形成年代をU-Th法で決定し、それぞれの試料について、炭酸凝集同位体組成と安定酸素同位体比の測定をおこなった。炭酸凝集同位体記録から陸上気温変化の情報を解読し、その温度データを利用して、酸素同位体組成変動から温度による影響を補正することで、過去の降水の酸素同位体組成変動を復元した。

こうして日本各地から得た気温及び降水変動情報の相互比較をおこない、石筍温度記録の共時性や地域差、温度変化に伴う降水現象の応答の差異を明らかにした。

凝集同位体組成から温度を復元するには、沈澱温度が既知の試料による温度キャリブレーションが不可欠であるため、管理温度下で人工的に沈澱させたカルサイトと、沈澱環境温度が測定済みの天然トゥファの測定をおこない、温度較正式の作成もおこなった。

### 4. 研究成果

#### (1) Kato et al. (2019GCA)

Seasonal temperature changes obtained from carbonate clumped isotopes of annually laminated tufas from Japan: Discrepancy between natural and synthetic calcites

本研究は、岡山県と愛媛県の2地点において毎月採取したトゥファ(河川性炭酸塩堆積物)試料と、研究室において合成した人工カルサイトの凝集同位体組成を測定した。トゥファの凝集同位体組成が、季節変動レベルの温度変化を保持していることを明らかにし、陸域炭酸塩岩試料の古温度記録媒体としてのポテンシャルを実証した。また、トゥファと人工カルサイト、2つの試料群それぞれの凝集同位体組成温度換算式を提示した。両式間には、トゥファへの非平衡効果による一定幅のずれがあるものの、非平衡の大きさは二酸化炭素脱ガスを規制する水のpHや二酸化炭素分圧に大きく依存しないことが明らかとなり、より古い時代の鍾乳石やトゥファを用いた古温度復元の実用化へ向け、基礎データや具体的な温度換算式を提示できた。

#### (2) Kato et al. (2021QSR)

Influences of temperature and the meteoric water  $\delta^{18}O$  value on a stalagmite record in the last deglacial to middle Holocene period from southwestern Japan

広島県の幻鍾乳洞より産出した石筍Hiro-1(18.1-4.9千年前)の合計50層準について、炭酸凝集同位体の測定をおこない、石筍同様の成長メカニズムをもつトゥファから得た温度換算式(Kato et al., 2019GCA)を適用した。復元された陸上気温データには、最終氷期から完新世中期までの気候回復過程が記録されており、最終氷期最寒時期後(18.0-16.0千年前)と完新世中期(7.7-4.9千年前)の8.3の気温上昇や、ヤングドリラス期の一時的な寒冷化、ヒブシサーマル期における温暖化ピークを読み取ることで、石筍酸素同位体比に対して、凝集同位体温度を用いた温度補正をおこない、過去の降水酸素同位体比を復元することで、日本陸上地域における気温と降水の共進化過程を明らかにした。海面上昇による瀬戸内海の内海進によって、広島県における降水酸素同位体比は完新世に上昇していることが示唆されるなど、本邦の石筍記録の特異性を明らかにする結果となった。

#### (3) その他

陸上に産出する炭酸塩岩の凝集同位体組成から古温度を読み解く研究として、Quade et al. (2020)に参加した他、地下環境で産した炭酸塩岩から形成温度を読み解く研究として、Dyuti et

al. (2021)に参加した。また、石筍の安定酸素同位体組成から過去の降水や日本海表層の環境を復元する研究として、Amekawa et al. (2021)に参加した。  
この他、岐阜県産石筍の炭酸凝集同位体組成と酸素同位体比から、陸上気温と古降水の共進化過程を復元した成果をまとめた英語論文は、投稿の後に査読中である。

<引用文献>

- Hirokazu Kato, Shota Amekawa, Akihiro Kano, Taiki Mori, Yoshihiro Kuwahara, Jay Quade, 2019. Seasonal temperature changes obtained from carbonate clumped isotopes of annually laminated tufas from Japan: Discrepancy between natural and synthetic calcites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 244, 548–564.
- Hirokazu Kato, Shota Amekawa, Masako Hori, Chaun-Chou Shen, Yoshihiro Kuwahara, Ryoko Senda, Akihiro Kano, 2021. Influences of temperature and the meteoric water  $^{18}\text{O}$  value on a stalagmite record in the last deglacial to middle Holocene period from southwestern Japan. *Quaternary Science Reviews* 253, 106746.
- J. Quade, R. Leary, M.P. Dettinger, D. Orme, A. Krupa, P.G. DeCelles, A. Kano, Hirokazu Kato, R. Waldrip, W. Huang, P. Kapp, 2020. Resetting Southern Tibet: The serious challenge of obtaining primary records of Paleoelevation. *Global and Planetary Change* 191, 103194–103194.
- Dyuti Prakash Sarkar, Jun-ichi Ando, Akihiro Kano, Hirokazu Kato, Gautam Ghosh, Kaushik Das (2021) Carbonate clumped isotope thermometry of fault rocks and its possibilities: tectonic implications from calcites within Himalayan Frontal Fold-Thrust Belt. *Progress in Earth and Planetary Science* 8, 42.
- Shota Amekawa, Kenji Kashiwagi, Masako Hori, Tomomi Sone, Hirokazu Kato, Tomoyo Okumura, Tsai-Luen Yu, Chuan-Chou Shen, Akihiro Kano, 2021. Stalagmite evidence for East Asian winter monsoon variability and  $^{18}\text{O}$ -depleted surface water in the Japan Sea during the last glacial period. *Progress in Earth and Planetary Science* 8, 18.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 J. Quade, R. Leary, M.P. Dettinger, D. Orme, A. Krupa, P.G. DeCelles, A. Kano, H. Kato, R. Waldrip, W. Huang, P. Kapp	4. 巻 191
2. 論文標題 Resetting Southern Tibet: The serious challenge of obtaining primary records of Paleoaltimetry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Global and Planetary Change	6. 最初と最後の頁 103194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 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 Hirokazu Kato, Shota Amekawa, Masako Hori, Chaun-Chou Shen, Yoshihiro Kuwahara, Ryoko Senda, Akihiro Kano	4. 巻 253
2. 論文標題 Influences of temperature and the meteoric water 180 value on a stalagmite record in the last deglacial to middle Holocene period from southwestern Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Quaternary Science Reviews	6. 最初と最後の頁 106746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.quascirev.2020.106746	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 該当する
1. 著者名 Shota Amekawa, Kenji Kashiwagi, Masako Hori, Tomomi Sone, Hirokazu Kato, Tomoyo Okumura, Tsai-Luen Yu, Chuan-Chou Shen, Akihiro Kano	4. 巻 8
2. 論文標題 Stalagmite evidence for East Asian winter monsoon variability and 180-depleted surface water in the Japan Sea during the last glacial period	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-021-00409-8	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 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) 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

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 加藤大和・雨川翔太・狩野彰宏
2. 発表標題 広島県産石筍の安定酸素・凝集同位体に記録された18.1 - 4.5 kaの気温・降水変動史
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019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 日本地球惑星科学連合2019年大会
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 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 日本地球惑星連合連合大会2018年大会（招待講演）
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 広島県幻鍾乳洞の石筍凝集同位体に記録された最終氷期から完新世（18.0 - 4.5 ka）の気温変動
3. 学会等名 日本地球化学会第65回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kato Hirokazu · Amekawa Shota · Kano Akihiro
2. 発表標題 Temperature and precipitation changes from LGM to Holocene recorded in oxygen and clumped isotopes in a stalagmite from Hiroshima, Japan.
3. 学会等名 The Second Zunoujunkan Workshop (国際学会)
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 地球惑星科学連合大会
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 トウファに記録される炭酸凝集同位体の年変化
3. 学会等名 地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2017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 (愛媛大会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加藤大和・雨川翔太・狩野彰宏
2. 発表標題 トッ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 地球惑星科学連合大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

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 地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究協力者	狩野 彰宏  (kano Akihiro)  (60231263)	東京大学・大学院理学系研究科・教授    (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	University of Arizona	New Mexico Tech	Research Square	他1機関
その他の国・地域	National Taiwan University			
インド	Presidency University			