

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 24 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21340149

研究課題名（和文） 鍾乳石とトウファを用いた長期的かつ高解像度の陸域古気候解析

研究課題名（英文） Long-term and high-resolution terrestrial paleoclimate analysis of stalagmite and tufa

研究代表者

狩野彰宏（KANO AKIHIRO）

九州大学・大学院比較社会文化研究院・教授

研究者番号：60231263

研究成果の概要（和文）：温暖化地球での気候変動予測するために必要な、高解像度の後期更新世～完新世古気候記録の抽出を目的として、鍾乳石とトウファの同位体組成を解析した。その結果、国内 2 箇所から採集した石筍試料から新たな気候学的知見を得た。まず、広島県神石高原町の試料の分析結果は、後氷期の温暖化が汎世界的なタイミングと同調していることを示した。これは、従来の福井県での湖堆積物の研究結果とは合わない。また、新潟県糸魚川市の試料の分析結果は、日本海での完新世の降雪現象が冬のアジアモンスーン強度と日本海海水温に対して正の相関を持つことが示された。

研究成果の概要（英文）：Stable isotope compositions of stalagmites and tufas were analyzed for high-resolution paleoclimatic records during late Pleistocene and Holocene, which are fundamental for predicting the climate changes of the warming Earth. The analyses revealed new aspects on the Japanese terrestrial climate from two stalagmite localities. First, analytical results of the specimen from Jinseki-Kogen (Hiroshima Prefecture) indicates temporal correspondence to the global changes during the post-glacial warming, which contradict to the previous study on the lake deposits in Fukui Prefecture. Second, the results of the specimen from Itoigawa (Niigata Prefecture) showed that the Holocene snowfall intensity was positively correlated with the winter Asian Monsoon and sea-surface temperature of the Japan Sea.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,600,000	1,680,000	7,280,000
2010年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
2011年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：数物系科学 A

科研費の分科・細目：地質学

キーワード：トウファ、鍾乳石、古気候解析、安定同位体、アジアモンスーン

## 1. 研究開始当初の背景

鍾乳石とトウファは最も優れた陸域古気候記録媒体である。それは、両者が炭酸カルシウムを主成分とするため、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、年代が精度良く求められるという特長を持つからである。U-Th 年代法の発展とともに、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いる。例えば、中国南部の石筍に記録された過去 30 万年間の酸素同位体曲線は、全球的氷床体積を反映した深海堆積物の酸素同位体曲線と大きく異なり、この地域の降水現象が北半球の夏の太陽放射量と極めて強い相関を持つことを示した。私たちが標準的な古気候記録としてきた海洋酸素同位体ステージ (MIS) が必ずしも陸域古気候に適合しないことも解ってきた。

## 2. 研究の目的

本研究では国内の数カ所から採集された陸成炭酸塩 (鍾乳石・トッファ) 中の同位体・微量元素の時系列記録から、長期的かつ高解像度の降水量と気温情報を解読し、気候変動予測に役立てることである。

## 3. 研究の方法

- (1) 研究代表者 (狩野) が柏木とともに国内の鍾乳石およびトッファの調査地において、水(滴下水・河川水)・堆積物試料を採集する。
- (2) 水試料については、化学組成と同位体組成を速やかに分析する。
- (3) 採集した石筍とトッファ試料を半割し、軽く研磨した上で、その半分を分析に用いる。マイクロミルを用い、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。
- (4) サブサンプルの酸素・炭素同位体と微量元素組成 (Mg, Sr, Ba ; 原子吸光分析計) 測定は九州大学で学術研究員が行う。ここでは膨大な量の測定が必要である。
- (5) 鍾乳石とトッファの年代は、それぞれ、U-Th 法と年輪法で求めた。なお、精度の良い U-Th 年代を測定するためには、国内での使用が制限されている放射正添加物を用いる必要があるため、国立台湾大学の沈副教授にお願いした。
- (6) 以上の分析結果から、同位体比・微量元素の高解像度の時系列変動曲線が得られる。本研究では、それを基に、気候変動についての議論を進めた。

## 4. 研究成果

研究期間内に得られた成果の中で、特に重要なものは、広島県神石高原町と新潟県糸魚川市の石筍試料について行った 2 つの研究である。これらの他、トッファの年輪組織の形成・同位体組成の特徴・シアノバクテリアの光合成効果・鍾乳石の希土類組成・更新世初期の古海洋学的研究を実施し、学術論文と学会発表を通じて公表した。

- (1) 広島県北東部の幻鍾乳洞から石筍を採集し、高解像度の U/Th 年代を国立台湾大学の ICP-MS を用いて測定した上で、15.5 ka か

ら 10.7 ka の酸素同位体比を測定した。その結果、酸素同位体比は BA 温暖期に相当する 14.6 ka において明瞭にシフトし、中国の石筍記録やグリーンランドの氷床記録と同調することが示された (図 1)。一方、水月湖で認められた比較的ゆるやかな 15 ka 頃の変動は現れていない。この時期の大気中の放射炭素異常は大きく、この不整合性は水月湖の放射炭素年代の見積もりに関連している可能性がある。仮にそうならば、後氷期の急激な温暖化において、日本の気候は、北半球における低緯度-高緯度地域間の気候テレコネクションの支配下にあったと考えられる。幻鍾乳洞の石筍は 12.6-11.3 ka の期間に成長を停止しており、この時期に東アジアモンスーンの減衰により、滴下水が停止もしくは著しく減少したと考えられる。この時期は大西洋地域におけるヤングドリラス (YD) 寒冷期 (12.8-11.5 ka) よりも 200 年ほど後にずれているが、水月湖における寒冷期とは良く一致する。この日本と大西洋の気候的デカップリングは YD の伝搬が緩やかなプロセスで起こったことを示唆する。

BA 温暖期と YD 寒冷期は気候的テレコネクションの異なるダイナミクスのもとで伝搬した。深海コアや南極氷床の気候記録と比較すると、前者の原因となったのは太平洋の暖水塊の北上に求められ、それは北半球へと急速に伝搬した。これに対して、YD は北大西洋における暖流の停止に関連し、北米-ヨーロッパ地域を寒冷化させた後、ゆっくりと太平洋地域に伝搬し、日本の少なくとも太平洋側における降水量を減少させたと考えられる。

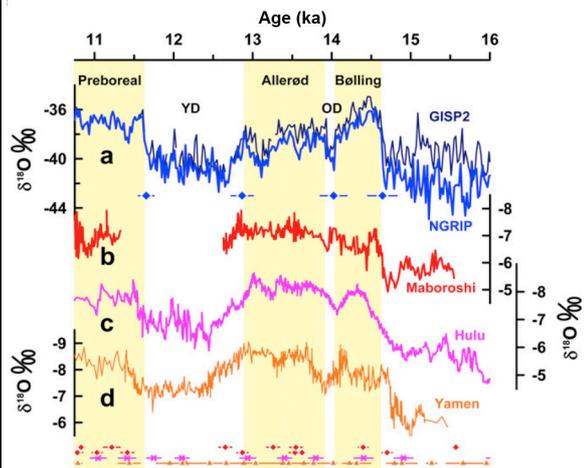


図 1. 最終氷期以降の気候記録の比較。a) グリーンランドの氷床コアの酸素同位体比 (極域の気温変化を示す)。b) 広島石筍の酸素同位体比。c) 中国南部の Hulu 洞窟の酸素同位体比。d) 中国南部の Yamen 洞窟の酸素同位体比 (夏のアジアモンスーン強度の変化を示すと考えられている)。4 つの記録はいずれも 14.6ka の時期に最も顕著に増加している。

(2) 新潟県糸魚川市の洞窟からは、2本の石筍 (FG-01, FG-02) を採集して研究を進めた。年代測定の結果, FG01 の上部は完新世 (0-10 ka), FG01 の下部と FG02 は更新世後期 (21-30 ka) に形成されたものであることが分かった。そこで、記録の連続性が期待できる FG-01 の上部を最重要の研究対象として、分析を進めた。また、ヘンディテスト・雨水の同位体比分析・および過去 90 年間の降水量記録との比較から、石筍試料の酸素同位体比は降水量の指標になると結論付けられた。特に、富山市で採集された雨水の同位体比に、総降水量との明瞭な相関が示された事で (図 2)、量的効果が裏付けられた。

FG01 の酸素同位体変動曲線は夏のモンスーン強度の指標とされる中国南東部の Dongge 洞窟の石筍記録と大きく異なるトレンドを示した。このトレンドの違いは、卓越するモンスーン降水に関係する。すなわち、中国南東部での降水は主に夏季アジアモンスーンによるのに対して、糸魚川での降水は冬季アジアモンスーンの影響が強い。これに関連した逆相関は、特に 4500~1000 年前において顕著であり、この時期は夏季・冬季モンスーンの強弱が強く連動していた可能性がある。その一方で、それ以前の時期では明瞭な逆相関は見いだせない。一般的に寒冷期は冬季アジアモンスーンが強化されて降水 (降雪) 量が増加するため、石筍の酸素同位体比が減少すると期待された。しかし、深海堆積物や花粉分析から復元された気候変動と照らし合わせると、FG01 の酸素同位体比は温暖期に低下する傾向を示した。このことから、冬季モンスーン以外にも酸素同位体比を変化させる要因が大きく働いていたと考えられる。そこで、冬のモンスーンに水蒸気を供給する対馬海流に注目し、島根県隠岐島沖で採集された海底コア堆積物中の放散虫 *Dictyocoryna* spp. の産出頻度を FG01 上部の

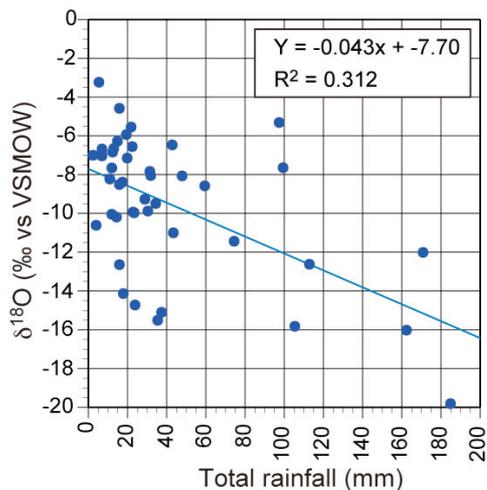


図 2. 富山市の雨水の酸素同位体比

酸素同位体曲線と比較した (図 3)。この種は温暖な表層水に多く存在し、その頻度は対馬海流の流入強度を反映すると考えられている。2つの曲線は極めて良い一致を示し、日本海の海水温度が糸魚川での降水強度に影響したことを支持する。

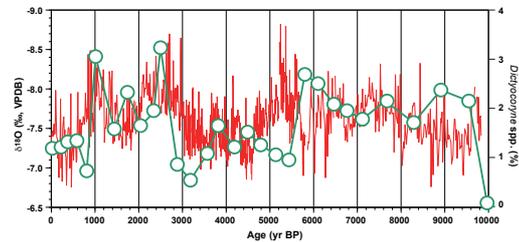


図 3. FG01 の酸素同位体比曲線と隠岐沖海底コアの暖流種放散虫 (*Dictyocoryna* spp.) の産出頻度の比較。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- 1) 狩野彰宏 (2012) 石筍古気候学の原理と展開. 地質学雑誌, 118, 157-171. 査読有
- 2) Sakai, S. and Kodan, T. (2011) Micropowder collecting technique for stable isotope analysis of carbonates. Rapid Communications in Mass Spectrometry, 25, 1205-1208. 査読有
- 3) Li, X., Takashima, C., Kano, A., Sakai, S., Chen, Y., Xu, B. (2011) Pleistocene geochemical stratigraphy of the borehole 1317E (IODP Expedition 307) in Porcupine Seabight, SW of Ireland: Applications to palaeoceanography and palaeoclimate of the coral mound development. Journal of Quaternary Science, 26, 178-189. 査読有
- 4) Shen, C.-C., Kano, A., Hori, M., Lin, K., Chiu, T.-C. and 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. 査読有
- 5) Shiraiishi, F., Okumura, T., Takahashi, Y., Kano, A. (2010) Influence of microbial photosynthesis on tufa stromatolite formation and ambient water chemistry, SW Japan. Geochimica et Cosmochimica Acta, 74, 5289-5304. 査読有
- 6) Sakai S., Kano, A., and Abe K. (2009) Origin, glacial-interglacial responses, and controlling factors of a cold-water coral mound in NE Atlantic. Paleoceanography, 査読有 doi:10.1029/2008PA001695
- 7) 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. 査読有

8) Kawai, T., Kano, A. and Hori, M. (2009) Geochemical and hydrological controls on biannual lamination of tufa deposits. *Sedimentary Geology*, 213, 41-50. 査読有

〔学会発表〕(計14件)

1) 曾根知実・狩野彰宏 (2012) 新潟県南西部で採集された石筍の安定同位体記録. 地質学会西日本支部 (鹿児島大学)

2) 狩野彰宏 (2011) 広島石筍に記録された後氷期気候変動. 日本洞窟学会 (九州大学)

3) Kano, A., Kashiwagi, K., Takahashi, M. Sone, K., Shen, C.C. (2011) A Holocene stalagmite oxygen isotopic profile from the NE Japan: a potential record of the Asian Winter Monsoon intensity. AOGS (Taipei)

4) 狩野彰宏・高橋森生・柏木健司 (2011) 糸魚川石筍の酸素同位体記録と完新世アジアモンスーン強度, 地球惑星科学関連合同学会 (幕張メッセ)

5) 狩野彰宏・高橋森生 (2011) 石筍に記録された冬季アジアモンスーン変動, 地質学会西日本支部 (広島大学)

6) 堀 真子・石川剛志・永石一哉・林可・狩野彰宏・沈川洲・游鎮烽(2010)鍾乳石の希土類パターン規制要因と古環境推定. 日本地球化学会年会 (立正大学)

7) 狩野彰宏・堀 真子・沈 川洲(2010)日本の最終氷期後の気候についての再考: 石筍記録から. 地球惑星科学連合大会 (幕張メッセ)

8) 高橋森生・狩野彰宏・堀 真子・柏木健司・沈 川洲(2010)2つの石筍から読み取る日本列島の完新世気候変動. 地球惑星科学連合大会 (幕張メッセ)

9) Shen, C.-C., Wu, C.-C., Lin, K., Cheng, H., Edwards, R.L., Hsieh, Y.-T., Tingyong Li, T., Kano, A., Hori, M. (2010) High-precision and high-resolution speleothem Th-230 dating by MC-ICP-MS with SEM protocols, EGU (Vienna)

10) Kano, A., Shen, C.-C., Hori, M., Lin, K., Chiu, T.-C. and Burr, G.S. (2010) Synchronicity or asynchronicity of climate sequences between Japan and Greenland during the last deglaciation? EGU (Vienna)

11) 狩野彰宏・堀 真子・沈 川洲(2010)広島県幻鍾乳洞の石筍に記録された後氷期の気候変動: 北半球の気候テレコネクション. 地質学会西日本支部 (福岡大学)

12) 狩野彰宏 (2009) 鍾乳石に記録された気候変動. 第四紀学会シンポジウム, 生物多様性からみた地球温暖化 (招待, 西新プラザ)

13) Hori, M., Shen, C.-C., Siringan, F., Mii, H.-S., Wu, C.-C., Kano, A., Precipitation records of the last 3000 years in stalagmites from the Philippines. Fall AGU Meeting (San Francisco)

14) 狩野彰宏・武内 翔・堀 真子・Chuan-Chou Shen (2009) 滋賀県東部の鍾乳石に記録された過去 10 万年間の気候変動. 地球惑星科学関連合同学会 (幕張メッセ)

〔図書〕(計2件)

1) Garon, A., Takashima, C., Nishida, S., Kano, A., Koike, H. (2012) Carbon, nitrogen, and oxygen isotopic compositions of bone collagen and tooth enamel carbonate of the sea otter *Enhydra lutris* from archaeological sites at Adak Island, Aleutian Archipelago. In: West, D. Hatfield, V., Wilmerding, E., Lefèvre, C., Gualtieri, L. (eds.) *The People Before: The Geology, Paleoecology and Archaeology of Adak Island, Alaska*. British Archaeological Reports, International Series 2322, 157-165, Archaeopress, Oxford.

2) Kano, A. (2011) Tufa Freshwater. In: Reitner, J. and Thiel, V. (eds.) *Encyclopedia of Geobiology*, 889-891, Springer, Berlin.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.scs.kyushu-u.ac.jp/earth/kano/paleoc.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

狩野彰宏 (KANO AKIHIRO)

九州大学・大学院比較社会文化研究院・教授  
研究者番号: 60231263

(2) 研究分担者

小池裕子 (KOIKE HIROKO)

九州大学・大学院比較社会文化研究院・教授  
研究者番号: 40107462

小山内康人 (OSANAI YASUHIRO)

九州大学・大学院比較社会文化研究院・教授  
研究者番号: 80183771

柏木健司 (KASHIWAGI KENJI)

富山大学・理工学科・准教授

研究者番号: 60422625

坂井三郎 (SAKAI SABURO)

海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・研究員

研究者番号: 90359175

(3) 連携研究者

なし