

## インドネシア・ジャワ島の鍾乳石を用いた古気候学的研究

渡邊裕美子\*・松岡廣繁\*・坂井三郎\*\*・山田誠\*・大沢信二\*  
木口雅司\*\*\*・里村雄彦\*・中井俊一\*\*\*\*・Budi Brahmantyo\*\*\*\*\*  
Khoiril A. Maryunani\*\*\*\*\*・田上高広\*・竹村恵二\*・余田成男\*

### Paleoclimatological study using stalagmites from Java Island, Indonesia

Yumiko Watanabe\*, Hiroshige Matsuoka\*, Saburo Sakai\*\*, Makoto Yamada\*,  
Shinji Ohsawa\*, Masashi Kiguchi\*\*\*, Takehiko Satomura\*, Shun'ichi Nakai\*\*\*\*,  
Budi Brahmantyo\*\*\*\*\*, Khoiril A. Maryunani\*\*\*\*\*, Takahiro Tagami\*,  
Keiji Takemura\* and Shigeo Yoden\*

\* 京都大学大学院理学研究科, Graduate School of Science, Kyoto Univ.

\*\* 海洋研究開発機構, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

\*\*\* 東京大学生産研究所, Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo

\*\*\*\* 東京大学地震研究所, Earthquake Research Institute, Univ. of Tokyo

\*\*\*\*\* バンドン工科大学, Institut Teknologi Bandung

#### はじめに

鍾乳石中の酸素・炭素安定同位体比は、古気候／古環境を復元するための強力なツールとして、近年盛んに研究されている（例えば、McDermott et al., 2001; Fairchild et al., 2006）。鍾乳石の安定同位体比は複雑な過程の集積シグナルであるので、気候プロキシとしての信頼度を正確に評価するためには、気象観測データとの比較・検討が必要不可欠である。そのような研究はこれまで幾つか報告されている（例えば、Burns et al., 2002; Treble et al., 2005）が、それらの先行研究では正確なtravel time（地表から洞内までの水の浸透時間）の見積もりがなされておらず、比較が不完全であった。本研究で調査したインドネシア・ジャワ島西部のスカブミ地域にあるCiawitali洞窟では、トリチウム-ヘリウム法により滴下水のtravel timeが $13.3 \pm 6.5$ 年と正確に見積もられている（Yamada et al., 2008）。そこで、本研究では、この正確なtravel timeを考慮に入れて、気象観測データと石筍中の安定同位体比時系列データの比較を行った。さらに、石筍の安定同位体比が洞内環境に支配されている可能性もあり、この場合、洞内環境の変化がその場で石筍に記録されるので、travel timeを補正せずに降水量と安定同位体比を比較することも行った。

#### 研究方法

本研究では、まず、インドネシア・西ジャワ島のCiawitali洞窟において採取した石筍の中

で最も良好な条件を持つ試料（CIAW15a）について、成長縞の計数とウラン放射非平衡年代測定を行い、石筍の年代モデルを構築した。次に、その年代モデルに基づいて、石筍から過去50年分に相当する試料を年々スケールで採取し、その酸素・炭素同位体比を測定した。そして、滴下水のtravel timeを考慮に入れる場合と入れない場合について、石筍の安定同位体比時系列変動と年間降水量データとの比較を行った。

#### 結果および考察

CIAW15a石筍の薄片中には、結晶の密な白色部と、空隙が多数存在する黒色部が積み重なった成長縞を観察することができる。白色部と黒色部を合わせて一縞とすると、縞の厚さは $56.2 \mu\text{m}$  (+21, -12) 厚であった。さらに、CIAW15aの頭頂部から4.40～5.15 cmの箇所をウラン放射非平衡年代測定すると、 $1.174 \pm 0.082$  千年の年代が得られた。この結果から計算される平均成長速度は $35 \sim 47 \mu\text{m}/\text{year}$ であり、観察した縞厚と誤差範囲の中で一致することから、成長縞は基本的には年縞であることが明らかになった。

次に、CIAW15aの頭頂部を成長軸に沿って $77 \mu\text{m}$ ごとに試料を採取し、炭素・酸素安定同位体比を分析した結果、石筍中の安定同位体比測定値は滴下水の化学組成と平衡に沈殿した方解石の理論値よりも高い値であった。これは、二酸化炭素

の脱ガスによる動的同位体分別の効果を反映している。また、石筍中の炭素・酸素同位体比は正の相関をしており、これも脱ガスによる分別効果を支持している。

石筍中の過去50年間の炭素・酸素同位体比の経年変化は、traveling time補正をしない場合に、降水量と明瞭な負の相関があった（特に、炭素同位体比と降水量は、高い相関係数 $R^2=0.85$ を持つ）。このことから、石筍中の安定同位体比は降水量のプロキシとなることが明瞭に示された。加えて、traveling timeを補正すると、同位体比と降水量の時系列データには相関が見られない。したがって、上述した脱ガスによる動的同位体分別は、水が石灰岩の基盤を浸透した後、鍾乳洞内において滴下する際に起ったことが示唆される。つまり、地表の降雨による影響が滴下水の流出を通じて瞬時に洞内大気中の二酸化炭素濃度に反映され、滴下水から脱ガスする割合が変化した結果を、石筍中の安定同位体比が記録していると考えられる。今後、洞内の気象観測や洞内外の他の石筍を使って追加データを増やすことにより 今回のデータの解釈を厳密に検証していく必要がある。

#### 参考文献

- Burns, S. J., D. Fleitmann, M. Mudelsee, U. Neff, A. Matter, and A. Mangini (2002), A 780-year annually resolved record of Indian Ocean monsoon precipitation from a speleothem from south Oman, *Journal of Geophysical Research*, 107(D20), 4434, doi:10.1029/2001JD001281.
- Fairchild, I.J., C.L. Smith, A. Baker, L. Fuller, C. Spötl, D. Mattey, F. McDermott and E.I.M.F. (2006), Modification and preservation of environmental signals in speleothems, *Earth-Science Reviews*, 75, 105-153.
- McDermott, F., D.P. Mattey, C. and Hawkesworth (2001), Centennial-scale Holocene climate variability revealed by a high-resolution speleothem  $\delta^{18}O$  record from SW Ireland, *Science*, 294, 1328-1330.
- Treble, P.C., J. Chappell, M.K. Gagan, K.D. McKeegan, and T.M. Harrison (2005), In situ measurement of seasonal  $\delta^{18}O$  variations and analysis of isotopic trends in a modern speleothem from southwest Australia, *Earth and Planetary Science Letters*, 233, 17- 32.
- Yamada, M., S. Ohsawa, H. Matsuoka, Y. Watanabe, B. Brahmantyo, K.A. Maryunani, T. Tagami, K. Kitaoka, K. Takemura, S. Yoden (2008), Derivation of travel time of limestone cave drip water using tritium/helium 3 dating method, *Geophysical Research Letters*, 35, L08405, doi:10.1029/2008GL033237.