

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：13901

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2018～2020

課題番号：17KK0012

研究課題名（和文）鍾乳石の高解像度同位体分析による完新世における東アジアの気候変動の解明

研究課題名（英文）Reconstruction of East Asian climate during Holocene by using high-resolution isotope analyses

研究代表者

植村 立（Uemura, Ryu）

名古屋大学・環境学研究科・准教授

研究者番号：00580143

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,300,000円

渡航期間： 3ヶ月

研究成果の概要（和文）：完新世における沖縄地域の気候変動を高時間分解能で明らかにすることを目的として、石筍試料を用いて研究を行った。試料の測定は各研究機関の得意とする手法を持ち寄って国際共同研究を実施した。複数の試料のスクリーニングを行い、主として沖縄県南大東島の試料の分析を行った。そのうちの1つについては、年代誤差は10-38年の高精度で過去1200年前までの絶対年代モデルを作成することができた。安定同位体分析の結果は中央インド等の遠隔地との類似を示していた。新型コロナウイルスの影響で渡航計画は変更したものの、本計画で今後も引き続き国際共同研究を推進していく基盤を築くことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

長期間の気候データは、自然要因の気候変動のメカニズムを理解するために必要である。しかし、正確な年代をもつ長期間の気候変動データは日本周辺には少ない。本研究では、国際共同研究を通して鍾乳石の正確な年代決定を行い、気候変動の復元を行った。成果の一つとして、過去1200年間の絶対年代が求まった連続的な酸素・炭素安定同位体データを得ることができた。これらの研究活動を通して国際共同研究の基盤を強化することができた。

研究成果の概要（英文）：To obtain a high-time resolution climate record in Okinawa region during the Holocene, we analyzed stalagmite samples. Sample measurements were conducted as an international joint research at each research institutions. We screened multiple samples and analyzed the samples collected in Minamidaito Island, Okinawa, Japan. An age model was established with precise U-Th ages (Error of 10-38 years) from present to 1.2 thousand years ago. Before the settlement started in 1900 CE, this island had been uninhabited. After 1900 CE, the land-use change due to sugar-cane plantation is clearly recorded as an abrupt shift of the carbon isotope record. The oxygen isotope record shows broad links with Indian and Asian climate records on centennial time scale. Although the travel plan was changed because of the COVID-19 pandemic, this project laid the foundation for international research.

研究分野：同位体気候学

キーワード：鍾乳石 古気候 安定同位体

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 F - 19 - 2

1. 研究開始当初の背景

(1) 自然要因による気候変動が人類の文明活動にどのような影響を与えてきたのかを理解するためには長期の気候データが重要である。また、そのような気候データは、気候変動のメカニズムを理解するためにも必要である。しかし、人類の文明活動と関連が強い完新世における精確な年代をもつ長期間の気候変動データは日本周辺を含む西太平洋地域には少ない。

(2) また、国際的な背景としては、2000年代初頭から、中国を中心として鍾乳石に関する研究が、国際的にインパクトの高い学術誌に多く報告されている。これらの鍾乳石の研究からは、アジアモンスーン変動からは数百 km 離れた地域でも気候変動が異なることもわかりつつあり、大陸スケールで過去数千年間の気候変動を知る必要性があることが分かってきた。このような背景のもと、古気候研究分野の国際的なプロジェクト(PAGES past 2k)等で、過去2千年の大陸スケールでの気候変動の違いも理解が進んできている。しかし、日本においては高解像度の年代モデルを構築するために、必要なウラン・トリウム年代をはじめとしてデータが不足している状態である。

2. 研究の目的

(1) 人類の文明活動と関連が強い完新世における沖縄地域の気候変動を高時間分解能で明らかにすることを目的として、沖縄本島および周辺離島で得た完新世をカバーする石筍試料を用いて研究を行う。一般的に島嶼は、集水域や貯水量が小さく、気候変動に対して脆弱であると考えられる。100年を超えるローカルな気候変動とそのメカニズムを解析するにはプロキシデータが必要である。しかし、島嶼における長期間の陸上の気候変動を記録した高分解能のプロキシデータは少なく、不明な点が多い。本研究では、沖縄県南大東島で採取された鍾乳石の酸素・炭素安定同位体比 (^{18}O and ^{13}C) の分析を行う。南大東島は東アジアモンスーンの影響を受ける地域の東端にあり、台風の通過経路にも位置している点でユニークな気候記録を保持していると考えられる。

(2) また、本研究を通して、今後の国際的連携推進の基盤となるネットワークを構築することも目的としている。そのため、各研究機関の得意とする分析手法を持ち寄って国際共同研究を実施する。本研究では、精確な気候変動データを得るために年代軸(X軸)と気温や降水量等の気候指標(Y軸)の両方の分析を並行して進める。X軸に相当するウラン・トリウム分析は国際共同研究によって実施し、高解像度の年代モデルを構築する。Y軸に相当する気候指標である安定同位体比の分析(炭酸カルシウムの酸素・炭素、流体包有物の酸素・水素)は申請者が行う。

3. 研究の方法

(1) 鍾乳石試料は、計6試料のスクリーニング(U濃度及びTh濃度が年代推定可能なレベルかの判定)を行った。その結果をもとに、主として沖縄県南大東島で採取された以下の2試料を対象として分析を行った。1つ目は、小型の石筍(HSN13)で、全長は約14 cm。下端の3 cm程度を除くと全体に白色であった。上端から白色部分の下端までを1 mm ずつミリングし、 ^{18}O と ^{13}C を琉球大学のガスベンチと連続フロー式質量分析計(Delta V advantage)で分析した。ウラン・トリウム(U-Th)年代は23点を国立台湾大学で前処理し、高分解能マルチコレクタ ICPMS(MC-ICPMS)で分析した。2つ目の試料は、南大東島星野洞において、観光用通路工事の際に折られた石筍(HSN9、全長440 mm)を用いた。炭酸カルシウムの ^{18}O と ^{13}C については試料を成長軸に沿って1 mm 間隔でミリングし、琉球大学のGas-bench IRMS(Delta V advantage)で測定した。試料のU/Th年代については、シンガポール南洋理工大のMC-ICPMSで10点測定した。

4. 研究成果

(1) HSN13 の成果は、以下のとおりである。本試料は、過去 2 千年間程度をカバーする石筍としては唯一のものであった。U-Th 年代は、上端が西暦 2013 ± 12 年、下端が 610 ± 38 年であった。成長の断続に対応した層などは肉眼では確認することができないが、いくつかの分析の結果、成長速度が急変する層があることが分かった。年代モデルは統計モデル (Scholz and Hoffmann, 2011) を用いて作成し、誤差は 10-38 年で過去 1200 年前までについて作成することができた。南大東島においては、開拓開始前の西暦 1900 年以前については無人であり、人為的な影響がないと考えられる。この歴的事実と符合して、炭素同位体比 (^{13}C) は西暦 700 年から 1900 年ごろまで、ほぼ一定であるが、1900 年から急激な上昇を示した。これは 1900 年に開始された開拓に伴う、サトウキビ畑の急拡大の影響であると考えられる。1920 年代には ^{13}C の上昇速度がやや緩やかになっており、急激な開拓の終了に対応していると考えられる。実際に南大東島におけるサトウキビ生産量のデータと ^{13}C の変動は対応していることが分かった。酸素同位体比 (^{18}O) も開拓期に過去 1400 年間で最大の急激な上昇を示しており、池の水が大量に使用されたことによる影響と考えられる。 ^{18}O のデータは全体としては東アジア、インド等で報告されている鍾乳石のデータと類似していた。数十年から数百年スケールの変動としては、中央インドの鍾乳石データと最も類似した変動を示していた。このような隣接地よりもやや遠隔地域との相関が強く出る傾向は、多数の鍾乳石データをまとめて空間解析した最近の研究 (Bühler et al., 2021) でも指摘されている。過去千年間の気候変動は小氷期や中世温暖期といった気候区分で分類されることが多く、小氷期においては東アジアの熱帯収束帯 (ITCZ) は収縮していたことも示唆されている。これら点については今回のデータでは必ずしも明確な対応は見られないが、さらに解析を進めている。

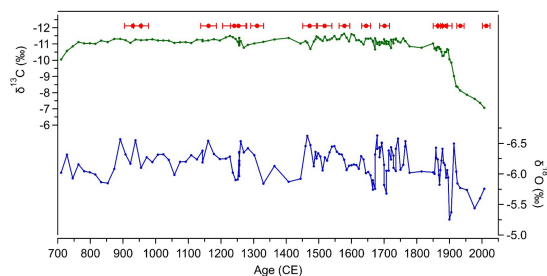


図 1 HSN13 の炭素・酸素安定同位体比変動

(2) HSN9 の成果の概要は以下のとおりである。本試料は観光用の通路工事の際に折られた大型の鍾乳石である。年代のスクリーニングの時点で完新世の石筍ではないことは判明したものの、内部の層位が明瞭で化学分析に適しており、試料としての重要性が高いことから分析を進めた。分析の結果 U/Th 年代は 75.1-91.7 kyr BP であり、誤差は 1 層を除いて ± 300 年程度であり、高精度で決定することができた。上端と下端の数 cm を除くと成長速度は 40-70 $\mu\text{m}/\text{yr}$ で安定しており、連続的に成長していた。この記録は、最終氷期のダンスガード・オシュガーサイクルのグリーンランド亜間氷期 21 (GI-21) を含んでいることが分かった。ダンスガード・オシュガーサイクルは、その気候状態が変動する速度とそのメカニズム、異なる地域での変動が起こるタイミング等に関して多くの知見を与えてきた。GI-21 は、ダンスガード・オシュガーサイクルのなかでも最長期のイベントの一つである。開始時期は 84-85 ka ではあるが、グリーンランドアイスコアでは年層カウントの限界を超えており、誤差が大きい。正確な絶対年代を与える手段として、欧州や中国の石筍に見られる GI21 に対応している気候変動との比較が行われている。本研究の酸素同位体比の変動はグリーンランド亜氷期 22 (GS-22) から GI-21 にかけての遷移期をカバーしており、GI-21 の "precursor" イベント (GI21.2) も明瞭に記録されていた。これらのイベントのタイミングについて欧州や中国の鍾乳石から得られた高精度年代と比較した結果、分析精度よりもやや大きく変動のタイミングに不一致があることが明らかになった。多くの石筍では U-Th 年代測定に影響を与える続成作用は起こらないとされているが、年代測定に影響を与える例も報告されている (Scholz et al., 2014)。今後、薄片観察などを行い続成作用の可能性の有無を検証する必要がある。

(3) 本研究計画の目的の一つは、今後の国際的連携推進の基盤となるネットワークを構築することであり、上記の成果 (2) は主に国立台湾大学と、(3) はシンガポール南洋理工大学との国際共同研究として実施した。海外研究機関への渡航は複数回にわたって行う計画で 2018 年度に開始以来、2019 年 10 月までは、ほぼ計画通りに実施できた (2019 年に代表者の異動があったが大きな影響はなかった)。また、沖縄で開催された日本地球化学会 2018 年年会において共同研究先の国立台湾大学の研究者を招いて日本-台湾共同セッションを開催し、国際的な研究者のネットワーク構築に努めた。また、シンガポール滞在時に開催された国際会議 (AOGS 2019) で成果の報告を行った。これらの期間については、ウラン-トリウム分析も研究代表者がそれぞれの研究機関に滞在して化学前処理作業から参加し、セミナーなどにも参加することで、共同研究の基盤強化をすることができた。しかし、その後、新型コロナウイルス感染症の拡大があり、研究実施にも様々な影響を受け、入国・出国制限・自粛の影響で海外共同研究先への訪問は実施できなかった。また、予定していた国際学会 (AOGS 2020) での発表も大会の開催自体が中止になり発表できなかった。安定同位体比分析については名古屋大学で実施したのでコ

ナウイルスによる影響はなかった。ウラン-トリウム分析については試料をそれぞれの機関に輸送し、研究結果の議論はオンラインやメールなどを用いて引き続き共同研究を実施した。本計画で今後も引き続き国際共同研究を推進していく基盤を築くことができた。

<引用文献>

PAGES2k Consortium, A global multiproxy database for temperature reconstructions of the Common Era, *Scientific Data*, 4, 170088 (2017)

Scholz and Hoffmann, *Quaternary Geochronology*, 6, 3-4, 369-382 (2011)

Bühler, J.C., Carla Roesch, M. Kirschner, L. Sime, M.D. Holloway, and K. Rehfeld, *Clim. Past*, 17, 985-1004, (2021)

Scholz, D., J. Tolzmann, D.L. Hoffmann, K.P. Jochum, C. Spötl, D.F.C. Riechelmann, Diagenesis of speleothems and its effect on the accuracy of $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -ages, *Chemical Geology*, 387, 74-86 (2014)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yuina Uechi and Ryu Uemura	4. 巻 513
2. 論文標題 Dominant influence of the humidity in the moisture source region on the 170-excess in precipitation on a subtropical island	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 20-28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.epsl.2019.02.012	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 -

1. 著者名 Ryuji Asami, Akira Kinjo, Daiki Ohshiro, Tohru Naruse, Masaru Mizuyama, Ryu Uemura, Ryuichi Shinjo, Yuji Ise, Yoshihisa Fujita and Takashi Sakamaki	4. 巻 7
2. 論文標題 Evaluation of geochemical records as a paleoenvironmental proxy in the hypercalcified demosponge <i>Astrosclera willeyana</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science	6. 最初と最後の頁 15
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40645-020-00329-z	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 Ryu Uemura, Yudai Kina, Chuan-Chou Shen, Kanako Omine	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） 10.5194/cp-16-17-2020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 1件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Ryuji Asami, Yuji Akamine, Ryu Uemura, Yasufumi Iryu, Chuan-Chou Shen
2. 発表標題 Holocene climate records in stalagmites from the Ryukyu Islands, Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 連合大会 2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上地 佑衣菜, 植村 立
2. 発表標題 気候と大気循環の変動に対する沖縄島の降水安定同位体比の応答
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 連合大会 2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村光樹, 三嶋悟, 大嶺佳菜子, 浅海竜司, Chen Jin-Ping, Shen Chuan-Chou, 植村 立
2. 発表標題 沖縄の石筍の流体包有物分析が示す最終退氷期における急激な気温上昇
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 連合大会 2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 R. Uemura, K. Omine, K. Masaka, R. Asami, C-C. Shen, M. A. Lone
2. 発表標題 A stalagmite-inferred high-resolution hydroclimate record during Mid-Holocene in Okinawa, Japan
3. 学会等名 Asia Oceania Geoscience Society (AOGS) Annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上地 佑衣菜, 植村 立
2. 発表標題 気候と大気循環の変動に対する沖縄島の降水安定同位体比の応答
3. 学会等名 日本地球化学会年会 2018年
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 植村 立, 喜納悠大, 大嶺 加菜子
2. 発表標題 加熱実験による石筍中の流体包有物の酸素同位体再平衡の評価
3. 学会等名 日本地球化学会年会 2018年
4. 発表年 2018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 日本地球惑星科学連合 連合大会 2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chuan-Chou SHEN, Chia-Hao Hsu, Jin-Ping Hsu, Horng-Sheng Mii, Akihiro Kano, Uemura Ryu, Yue-Gau Chen, Li Lo, Tsai-Luen Yu
2. 発表標題 Stalagmite-inferred hydroclimate dynamics in East Timor over the last deglaciation
3. 学会等名 20th Congress of the International Union for Quaternary Research (INQUA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryu UEMURA, Ryuji ASAMI, Mahjoor Ahmad LONE, Yu-Chen CHOU, Chuan-Chou SHEN
2. 発表標題 A stalagmite-inferred hydroclimate record over the past 1400 years in Okinawa, Japan
3. 学会等名 16 th Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三木 翼, 高畑 直人, 杉原 奈央子, 白井 厚太郎, 植村 立, Chuan-Chou Shen, 佐野 有司
2. 発表標題 沖縄県南大東島の石筍の高解像度微量元素分析によるイベント記録解析
3. 学会等名 日本地球化学会年会 2019年
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryuji Asami, Rikuto Hondoh, Ryu Uemura, Ryuichi Shinjo, Chuan-Chou Shen, Akihiro Kano, Masaki Fujita, Shinji Yamasaki, Hideko Takayanagi, Yasufumi Iryu
2. 発表標題 A combination of fossil shell- and stalagmite-based paleoclimate reconstructions from an archaeological site of Okinawa Island, Japan
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 連合大会 2020年大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tanaka, K., T. Miki, N. Takahata, R. Uemura, R. Asami, T-L. Yu, C-C. Shen, K. Shirai, N. Murakami-Sugihara, K. Toyama, Y. Sano
2. 発表標題 Speleothem as Archive of Past Volcanism: Impact of Kikai Volcano Eruption (7.3 ka) on a Remote Oceanic Island
3. 学会等名 Goldschmidt Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 植村立、浅海竜司、阿部理、Shufang YUAN, Xianfeng WANG
2. 発表標題 最終氷期G1-21における南大東島の鍾乳石の酸素同位体比変動
3. 学会等名 日本地球化学会年会 2020年
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 植村 立
2. 発表標題 プロキシとしての水の酸素水素同位体比の基礎と展望
3. 学会等名 日本地球化学会年会 2020年(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryu UEMURA, Ryuji ASAM, Mahjoor Ahmad LONE, Yu-Chen CHOU, Chuan-Chou SHEN
2. 発表標題 A stalagmite-inferred hydroclimate record over the past 1200 years in a western Pacific island
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall meeting(国際学会)
4. 発表年 2020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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	(SHEN Chuan-Chou)	国立台湾大学・Department of Geosciences・Professor	

6. 研究組織（つづき）

	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
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	(WANG Xianfeng)	シンガポール南洋理工大学・Earth Observatory of Singapore・Associate Professor	

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1件

国際研究集会	開催年
Japan-Taiwan joint session (G02), in Annual meeting of the Geochemical Society of Japan	2018年～2018年

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			
台湾	国立台湾大学			
シンガポール	南洋理工大学			