

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25年 5月 2日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22310011

研究課題名（和文）陸域縞状炭酸塩（鍾乳石とトウファ）からひとと自然の関わりを紐解く

研究課題名（英文） Relationship between the natural environment and human impact extracted from terrestrial layered carbonates, speleothems and tufa deposits

研究代表者

吉村 和久（YOSHIMURA KAZUHISA）

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：80112291

研究成果の概要（和文）：岩手、福島、山口、福岡、長崎、鹿児島、沖縄（本島、石垣島、西表島、大東島）の陸域縞状炭酸塩（鍾乳石とトウファ）試料を用いて、ひとと自然の関わりについて行った調査研究の成果は次の通りである。1）森林から草地や耕地などへの植生変遷の時期を明らかにできた。2）各地で近年の酸性雨の影響が観測された。秋吉台では1600年以降に酸性雨が記録されており、酸性雨で森林が衰退したことも明らかになった。3）3.11大規模津波の痕跡を岩手県の洞窟群で調査を行った。沖縄県石垣島の石筍が1771年4月24日の「明和の大津波」を記録している可能性が高い。4）得られた情報は考古資料からのものと一致した。5）2013年3月に秋吉台科学博物館において、美祢市民を対象とした公開講演会を開催した。

研究成果の概要（英文）：Past environmental information has been extracted from terrestrial laminated carbonates such as speleothems in caves and tufa deposits on karst surface stream beds in limestone areas of Iwate, Fukushima, Yamaguchi, Fukuoka, Nagasaki, Kagoshima and Okinawa as follows: i) The historical anthropogenic vegetation change from forest to grassland and/or fields was recorded everywhere in Japan. ii) It is clarified that long-range transport of acid depositions from the Asian Continent has been clearly observed in the stalagmites and tufa deposits. In the eastern area of Akiyoshi-dai Plateau, the possibility of reduction of the biomass by acid rain or leaching of the magnesium ions from the soil was suggested, mainly due to the smelting of copper ores from the sulfide zone. iii) The effects of large scale tunamis were examined with respect to the stalagmites from Iwate and Ishigakijima Is. iv) The records were in good agreement with those partially extracted from ancient documents, ancient picture maps and topographical maps. v) Lectures on the historical records on Akiyoshi-dai Plateau were held in Mine City, Yamaguchi, in March, 2013.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	8,800,000	2,640,000	11,440,000
2011年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2012年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：陸域縞状炭酸塩、蛍光年縞、植生変遷、土地利用、大規模津波、炭素安定同位体比、微量成分、古文書

1. 研究開始当初の背景

グローバルおよび地域的な環境の変遷を明らかにするために、氷床コア、サンゴ骨格、湖沼底質、木の年輪などのように、現在手に入れることのできる材料を使って、その中から古環境情報を取り出す試みがなされてきた。何らかの方法で絶対年代を確定するとともに、その年代の明らかになった部分から環境汚染、気候変動などの情報を取り出している。とくにサンゴ骨格に代表される海域炭酸塩は、長期スケールの地球史復元のツールとして精力的な調査研究が行われてきた。しかし、対象が海水準変動や平均海水温度などを解明する事に主眼がおかれ、得られた情報は主に海域に限定される。

陸域縞状炭酸塩堆積物（鍾乳石とトゥファ）は陸域の古環境記録データベースとして非常に利用価値が高いと期待されており、さらに、中国の複数の石灰洞から採取した石筍の酸素同位体比の変化から過去約 22 万年間のアジアモンスーンの強度変化を復元した Wang et al. (2008)の研究以降、鍾乳石を用いた研究はますます盛んになってきた (Fairchild & Baker, Speleothem Science, Wiley, New York, 2012)。我々も平成 19~21 年度科学研究費補助金（基盤 B）「陸域縞状炭酸塩（鍾乳石、トゥファ）から古環境情報をよむ」（代表：吉村和久）の助成を受けて、陸域縞状炭酸塩堆積物を用いて地域的あるいは地球規模の環境変遷の記録を読み取り、本邦の陸域の古環境（たとえば古植生や大気汚染など）記録媒体として有効であることを明らかにすることができた。炭酸塩堆積物の年縞を蛍光顕微鏡下で計数することにより、従来の放射性同位体を用いた手法よりも簡便かつ精度の高い試料の絶対年代測定法を確立させた。現在成長中の石筍を用い、蛍光年縞により絶対年代を確定する我々の手法は、比較的新しい時代の情報復元に適しており、考古学や民俗学への貢献が期待される。

2. 研究の目的

長年鍾乳石などを用いて古環境情報抽出の研究を行ってきたが、秋吉台に関しては、古文書などの歴史年表を使って時間軸のクロスチェックが可能であり、古文書から読み取った土地利用変遷に伴う植生変化が鍾乳石からの情報と見事に一致した。歴史資料と年縞をもつ堆積物に記録されたイベントとが一致する事例を増やしていくことができれば、歴史史料がない時代についても、堆積物からイベントの推定が可能となるものと

期待される。そこで、歴史史料や他の手法により古環境情報が残る地域を主な対象とし、歴史史料と対比しながら、堆積物に記録された変動の原因を明らかにするとともに、歴史史料を補完するデータベースとしての可能性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

- (1) 顕微蛍光システム用のソフトウェア開発とそれによる石筍試料の絶対年代測定の簡易化
- (2) U-Th 法による鍾乳石の絶対年代測定法の簡易化
- (3) 石筍試料を用いた植生変遷の読み取り (Mg/Ca 比、炭素安定同位体比)
- (4) 石筍、トゥファ試料を用いた酸性雨の記録の読み取り (硫酸塩濃度)
- (5) 大規模津波が鍾乳石に及ぼす影響の実地調査および石筍試料を用いた大規模津波情報抽出
- (6) 日本各地での試料採取と、基礎データを得るための滴下水やカルスト表流水の継続的採取とその化学分析
- (7) 古文書から抽出される情報との対比
- (8) 調査対象地域は、岩手、福島、岡山、山口、福岡、長崎、鹿児島、沖縄（本島、石垣島、西表島、大東島）とし、それぞれの地域の陸域縞状炭酸塩（鍾乳石とトゥファ）を用いた古環境情報抽出

4. 研究成果

- (1) 研究集会：期間内に研究集会を計 3 回開催し、共同研究体制を確認するとともに、情報の共有を図った。

第 1 回研究集会

期日：平成 23 年 1 月 5 日（水）、6 日（木）

会場：九州大学箱崎キャンパス

目的：研究班および研究協力者間の情報交換と今後の研究計画、石筍年縞測定

参加者：17 名

第 2 回研究集会

期日：平成 24 年 1 月 7 日（土）、8 日（日）

会場：九州大学箱崎キャンパス

目的：研究班および研究協力者間の情報交換と今後の研究計画、石筍年縞測定

参加者：15 名

第 3 回研究集会および公開講演会

期日：平成 25 年 3 月 8 日（金）-10 日（日）

会場：秋吉台科学博物館

目的：研究成果の取りまとめ、情報交換、投稿論文の作成の割り振り

参加者：19 名

概要：研究協力者（各研究室の4年生、修士課程学生を含む）も含めたメンバーが、成果の概要を報告した。また、第1回および第2回研究集会では、日本鉱業史研究会の井澤英二会長（九州大学名誉教授）、中西哲也会員（九州大学研究博物館）との合同シンポジウムとして、古代の銅鉱石採掘、製錬に関する情報交換を行った。

(2) 成果公開：次のような公開講演会を平成25年3月9日に秋吉台科学博物館で開催した。50名の参加があった。その概要は山口新聞にも取り上げられた。

講演会主題「秋吉台の自然と人の関わりを鍾乳石から紐解く」

○趣旨：秋吉台は草原カルストとして世界にも名前が知られています。温潤温帯域において草原は、火入れ、放牧、採草などの適度な人間活動によりはじめて維持できるものであり、秋吉台も例外ではありません。それでは、いつごろから草原植生に変わったのでしょうか。この疑問は秋吉台の鍾乳洞の石筍の研究から答えを出すことができました。同様に、秋吉台麓の長登銅山では、黄銅鉱のような銅鉱石の製錬が始まると酸性雨のために草原化したこともわかってきました。本講演会では、秋吉台全域および特に長登銅山付近に関して、考古学や古文書・古絵図に基づいた人間活動の記録を明らかにするとともに、鍾乳石に保存された植生変遷や酸性雨の記録読み取りについて、最先端の研究成果を紹介します。

○講演

- ・藤川将之（美祢市立秋吉台科学博物館）
現在の秋吉台における植生と土地利用
- ・岡本 透（森林総合研究所）
古文書・古絵図から見た秋吉台の土地利用変遷
- ・栗崎弘輔（九州大学大学院理学研究院）
秋吉台の石筍が語る土地利用変遷
- ・池田善文（長登銅山文化交流館）
考古学・古文書から見た長登銅山の盛衰
- ・吉村和久（九州大学大学院理学研究院）
長登大切坑の石筍が語る長登銅山の盛衰

また、本研究費で得られた成果は、月刊地球において特集号として公表予定である。

現在成長中であった試料を用い、蛍光年縞による絶対年代計測と、炭酸塩の炭素、酸素安定同位体比、微量成分（Mg、SO₄）濃度測定結果を用い、次のような成果を得ることができた。

(3) 絶対年代測定法の信頼性向上と簡易化

① 年縞読み取りのシステムアップ：顕微蛍光システム用のソフトウェア開発とそれによる石筍試料の絶対年代測定の簡易化が可能となった。

② U-Th法による鍾乳石の絶対年代測定法の改良：炭酸塩フラクションの差別溶解後のUのICP-MSによる直接定量、U-TEVA樹脂を用いた分離濃縮とThの同位体希釈を組み合わせたα線スペクトロメトリーにより、信頼性と簡便性をもつ方法をほぼ完成できた。

(4) ひとと自然の関わり情報の抽出

① 植生変遷：年縞幅に相当する成長速度の変動および石筍の同位体記録と気象庁による気象観測データや地域の飢饉記録、さらに土壤に記録された植生変化とを比較し、石筍に記録された古環境情報を明らかにできた（岩手県内間木洞）。同様に、森林が草地や耕地などへの変遷の時期を明らかにできた（岩手県稲荷穴、山口県秋吉台の複数の洞窟、長崎県七釜鍾乳洞、鹿児島県沖永良部島（水連洞、クリンジョフキ）沖縄本島（新里洞、ヌチシヌジガマ、メーガー、ティラガマ）、南大東島今村銅）。沖縄本島においては、ヤンバルの森の後退と関連付けた調査を行った。

植生に影響を及ぼすような開発は基本的には江戸期前後から始まることが分かった。また、それらは、古絵図、古文書を含めた考古資料からの植生情報と一致した。同様の可能性を福岡県平尾台の鍾乳石を用いて検討するために、文化庁および環境省から許可を得て、苅田町青龍窟から石筍を採取し、研究を継続中である。

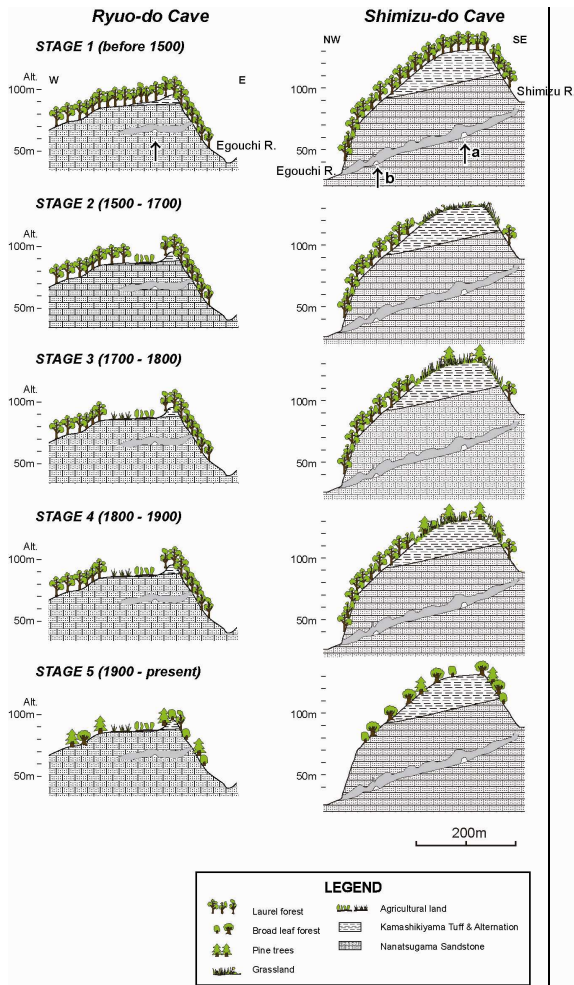
得られた成果の一部を紹介する。長崎県西海市の清水洞と龍王洞の石筍からは、過去500年にわたるひとと自然の関わりを明らかにすることができた（図参照）。

調査地全域：

1600年—1870年 中浦村の江戸期初期の石高（朱印高）約90石が幕末（文久2年）には実高約304石に増加した（郷村記）。開墾の進展に伴い、田畑の肥料として木々の若葉や草を敷き込む「刈敷」の需要が増大した。このような、刈敷や薪炭の確保のため森林の開発が進んだ。

清水洞付近：

1500年～1700年 古文書には残されていない森林から草原への変化が、マグネシウムイオン濃度の増加から推定されるバイオマスの減少とC炭素同位体比から



の C3 植物から C4 植物（草原植生）への変化という形で確認された。

1700 年～1900 年 松林に遷移してバイオマスが増加し、それ以降松山が維持された（大村管内絵図）。マグネシウムイオン濃度が減少しており、バイオマスの持ち出し（たとえば松葉、松材、柴の利用）があった事がうかがえる。

1900 年以降 地形図中の「針葉樹林」は高木として松、「広葉樹林」は薪炭に利用された低木の椎や檜と推定される。戦前から戦後にかけて松山が衰退し広葉樹林に遷移した。また、酸性降水物（日本の近代化に伴う石炭の使用量の増加と中国からの長距離移流）が顕在化した。

龍王洞付近：

1600 年～1800 年 この間にマグネシウムイオン濃度は増加し、増減を繰り返しながら最終的に減少した。また、硫酸イオン濃度は小さいながらも増加したのち減少した。森林のバイオマスが減り、一部畑作などが始まった。

1800 年～1900 年 19 世紀後半に硫酸イオン濃度が増加した時期があり、人間活動

（おそらく畑地への開墾）による表土の攪乱が起こり、釜敷山凝灰岩中の海成層黄鉄鉱の酸化が進行したことがうかがえる。明治 6 年から 14 年の間に作成された字限図では龍王洞石筍採取地点直上付近は畑となっている（中浦北郷字「園川内」字限図）。また、マグネシウムイオン濃度が減少して一定となっており、耕作による作物の持ち出しがあったことが推定される。

1900 年以降 バイオマスが減少し広葉樹林に遷移した。酸性降水物が顕在化した。また、西海楽園開発による硫酸イオン濃度増加として記録されている。

- ② 酸性雨：ほとんどの試料において、近代の大気汚染情報が硫酸塩濃度上昇として記録されていることがわかった。平尾台トウフアからは過去100年の酸性雨情報を明らかにできた。硫黄同位体比からも、酸性降水物中の硫黄の起源の変遷を読み取ることができた。また、奈良時代から稼動した秋吉台長登銅鉱山の盛衰を 当時の局地的酸性雨および植生変遷から追跡するために、すでに分析を終えた西暦1400年以降に成長した石筍とは異なる試料について検討を行った。紀元前後からの酸性降水物量のおよび植生の変遷を読み取ることができた。山口県秋吉台のスカレン鉱床長登銅山において製錬に用いた銅鉱石が硫化鉱に変わったのは1400年以降であった。秋吉台で、近年の酸性雨以外に酸性雨が記録されており、酸性雨で森林が衰退したことも明らかになった。また、鉛濃度およびその同位体比も、製錬の記録を留めていた。この成果は、2013 年9月に開催される第 8 回国際鉱山史学会（奈良）において口頭講演として公表することが受理された。

- ③ 大規模津波：3.11 大規模津波の痕跡を岩手県気仙沼湾奥神明崎の洞窟群で調査を行った。

沖縄県石垣島白保竿根田原洞穴の石筍が 1771 年 4 月 24 日の「明和の大津波」を記録していることを明らかにした。石筍の Mg/Ca 原子比と炭素安定同位体比は同期するような周期的な変化があることがわかった。その変動は、バイオマスの減少と C4 植生の寄与の増加と、その後のバイオマスの増加と C4 植生の寄与の減少と見ることが出来る。つまり、あるイベントのために森のバイオマスが減り、その際に、C4 植物が出現するということである。このような

周期的な変動を引き起こすものとしてもっとも可能性の高いイベントは津波と考えることができる。1771年の明和の大津波の際には、Mg/Ca 原子比が増加するとともに、炭素同位体比は-13‰から+1‰まで増加し森林植生から草原植生への大きな変化を記録していた。その後も現在まで徐々にバイオマスが減少し、C4植物の比率が増加したことがわかる。したがって、明和の大津波の後に植生の大きな変化があった可能性が高い。ただし、津波による植生変化がどの程度の期間持続するかは、現時点では不明である。しかし、津波の後200年近く持続する可能性は低く、津波を契機に土地利用に大きな変化が起きたことが考えられる。現在、石筍中に記録された直接的証拠の探索を行っている。

以上、得られたそれぞれの成果は世界的に見てもきわめてユニークであり、気候変動に伴う環境変遷ばかりでなく、ひとと自然の関わりを高分解能で抽出する手段としての可能性を明らかにすることができた。成果の一部は地球化学の専門誌Chemical Geologyに掲載され、国際的にも評価を受けることができた。

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20件)

- ① S. Uchida, K. Kurisaki, K. Yoshimura ほか4名、Anthropogenic impact records to nature for past hundred years extracted from stalagmites in caves developed in the Nanatsugama Sandstone, Saikai, Southwestern Japan、Chemical Geology、査読有、347巻、2013、59-68
- ② 岡本 透、藤川将之、江戸時代の史料からみた秋吉台の土地利用と植生、洞窟学雑誌、査読有、37巻、2013、1-20
- ③ 吉村和久、栗崎弘輔ほか5名、固結堆積物から見た化石骨の堆積環境、洞窟学雑誌、査読有、37巻、2013、55-64
- ④ 加藤大和、山田 努、富塚昌宏、松田博貴、菊地敏雄、岩手県内間木洞内の気象、洞窟学雑誌、査読有、37巻、2013、33-40
- ⑤ 山田 努、松田博貴ほか3名、鍾乳石が保管する「水の旅行記」、洞窟学雑誌、査読有、37巻、2013、21-32
- ⑥ M. Koga, K. Yoshimura、Regulation of the dissolved phosphate concentration of a mountainous stream, Kitakyushu, Southwestern Japan、査読有、Journal of Environmental Monitoring、14巻、2012、1951-1958
- ⑦ S. Sugihara, K. Kurisaki, I. Morinaga, N. Momoshima, K. Yoshimura、The extraction of past environmental information using ^{137}Cs and some elements in terrestrial carbonate deposits、査読有、Proceedings in Radiochimica Acta、1巻、2011、415-419
- ⑧ 山田 努ほか5名、稲荷穴(岩手県遠野市)で発見された炭化物層を含む鍾乳石、洞窟学雑誌、査読有、36巻、2011、11-24
- ⑨ K. Yoshimura, K. Urata, K. Kurisaki, J. Aizawa, H. Schwarcz, D. Ford、Submerged speleothem as a proxy of the paleorecord of huge volcanic eruptions of Aso Caldera, southwestern Japan and its hydrogeochemical circumstances、査読有、Journal of the speleological Society of Japan、35巻、2010、33-45
- ⑩ 山田 努・加藤大和、実験室でつくる人工鍾乳石、洞窟学雑誌、査読有、35、2010、46-53.

[学会発表] (計55件)

- ① H. Matsuda, Y. Sato, K. Kurisaki, K. Yoshimura、Reconstruction of environmental changes based on growth rates and carbon and oxygen isotopic compositions of a stalagmite in Imamura Cave, Minami-Daito Island, southwest Japan. 2013 Western Pacific Sedimentology Meeting, 2013年5月13-14日、台北(台湾)
- ② 北古賀勇樹、吉村和久、杉原真司、百島則幸、U-Th法による鍾乳石の絶対年代測定と古環境情報抽出への応用、第28回イオン交換研究発表会、2012年10月18-19日、東京工業大学
- ③ 山田 努・松田博貴、石筍の炭素・酸素同位体組成と滴下水の同位体組成との定量的関係：鹿児島県沖永良部島水連洞におけるケーススタディー。日本地質学会第119年学術大会個人講演。2012年9月15-17日、大阪。
- ④ 加藤大和・山田 努・岡本 透・松田博貴・栗崎弘輔・吉村和久ほか3名、久慈市内間木洞の石筍炭素同位体変動と土壤堆積物中の花粉・植物ケイ酸体から推定される植生変化との関連。日本地質学会第119年学術大会個人講演。2012年9月15-17日、大阪。
- ⑤ 吉村和久・内田章太・栗崎弘輔・石原与四郎・原口 聡・山中寿朗・能登征美、長崎県七釜鍾乳洞石筍に記録された土地利用変遷、2012年度日本地球化学学会年会、

2012年9月11-13日、九州大学

- ⑥ 新地将大・山内平三郎・東田盛善・片桐千亜紀・藤田祐樹・能登征美・栗崎弘輔・吉村和久、石筍を用いた石垣島白保竿根田原洞穴の古環境復元、2012年度日本地球化学会年会、2012年9月11-13日、九州大学
- ⑦ 國藤恭代・浦田健作・栗崎弘輔・吉村和久・中川良平・能登征美・若杵善満、石筍を用いた平尾台の古植生情報の抽出、2011年度日本地球化学会年会、2011年9月14-16日、北海道大学
- ⑧ 吉村和久、栗崎弘輔、岡本透、藤川将之、池田善文、山田努、松田博貴、山口県秋吉台の鍾乳石から読み取る古代銅製錬(展望とトピックス講演)、日本分析化学会第60年会、2011年9月14-16日、名古屋大学
- ⑨ K. Yoshimura, K. Hatae, Y. Chiwata, J. Kawakami, K. Kurisaki, H. Kawamura, T. Yamanaka, T. Takaso, History of acid deposition on Iriomote Is., the Ryukyus, extracted from sulfur stable isotope ratios of organic sulfur in tree rings and sulfate concentration in a stalagmite, ICAS2011, 2011年6月22-26日、京都
- ⑩ K. Kurisaki, T. Nakao, M. Tomita, M. Fujikawa, M. Noto, K. Yoshimura, Extraction of paleo-vegetation information from stalagmites using the magnesium concentration change, Pacifichem2010, 2010年12月15-20日、Hawaii (米国)

[図書] (計1件)

- ① 岡本透、築地書館、草原とひとびとの営みの歴史—堆積物と史料からひもとかれる「眺めのよかった」日本列島『草地と日本人—日本列島草原1万年の旅—』、2012、99-160

[その他]

〈取材協力〉

- ① NHK BS プレミアム 世界の名峰 グレートサミツ ブルガリア 魅惑の山脈 バルカンの聖山めざして 2013年2月25日

〈報道関連情報〉

- ① 秋吉台研究の成果 九大教授らが発表(山口新聞)、2013年3月10日
- ② 気仙沼の龍神窟調査 同行ルポ 「鍾乳洞 静寂の時刻む」(河北新報)、2012年6月11日
- ③ 被災地から—東日本大震災 「震災の記録の刻む? 鍾乳洞」(産経新聞)、2012年11

月12日

- ④ 写真劇場 「宮城県気仙沼市 震災くぐり抜けた龍神窟」(SANKEI EXPRESS) 2012年11月12日

〈ホームページ等〉

http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/reac/index_j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉村 和久 (YOSHIMURA KAZUHISA)
九州大学・大学院理学研究院・教授
研究者番号：80112291

(2) 研究分担者

杉原 真司 (SUGIHARA SHINJI)
九州大学・アイソトープ総合センター・助教

研究者番号：10253402

岡本 透 (OKAMOTO TORU)

独立行政法人森林総合研究所・木曽試験地・主任研究員

研究者番号：40353627

松田 博貴 (MATSUDA HIROKI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：80274687

山田 努 (YAMADA TSUTOMU)

東北大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：50321972

栗崎 弘輔 (KURISAKI KOUSUKE)

九州大学・大学院理学研究院・助教

研究者番号：70507839

(3) 研究協力者

鮎沢 潤 (AIZAWA JUN)

福岡大学理学部地球圏科学科・助教

藤川 将之 (FUJIKAWA MASAYUKI)

美祢市秋吉台科学博物館・学芸員

原口 聡 (HARAGUCHI SATOSHI)

長崎県西海市教育委員会・学芸員

池田 善文 (IKEDA YOSHIFUMI)

美祢市長登銅山文化交流館・館長

片桐 千亜紀 (KATAGIRI CHIAKI)

沖縄県立博物館・美術館・学芸員

中川 良平 (NAKAGAWA RYOHEI)

三重県立博物館・学芸員

能登 征美 (NOTO MASAMI)

九電産業(株)環境部・課長代理

天日 美薫 (TENNICHI YOSHIKA)

(財)九州環境管理協会・課長補佐

山中 寿郎 (YAMANAKA TOSHIO)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

山内 平三郎 (YAMAUCHI HEIZABURO)

沖縄鍾乳洞協会・会長