

平成 21 年 5 月 10 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2005～2008

課題番号：17340150

研究課題名 (和文) トウファ古気候学の展開

研究課題名 (英文) Development of tufa paleoclimatology

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：地球温暖化に伴う気候変動予測のために必要な古気候データの解読を目的として、石灰岩地域の河川に発達する炭酸塩堆積物であるトウファを研究した。複数の堆積場で行った化学組成と安定同位体比の分析結果から、トウファの発達機構に関するいくつかの新知見をあきらかにするとともに、降水量と気温の情報を化学指標と関連付けることに成功した。トウファは年縞組織を持ち、数ミリ/年の速度で堆積するので、高解像度の気候記録媒体になりうる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	4,300,000	0	4,300,000
2006年度	4,500,000	0	4,500,000
2007年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
年度			
総計	14,200,000	1,620,000	15,820,000

研究分野：古気候学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・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・微量元素

1. 研究開始当初の背景

完新世～更新世の古気候解析は、将来の地球温暖化に伴う気候変動予測を目的として、近年ますます研究が盛んである。中でも、深海堆積物コアや氷床コアの研究は、海水準・海水温・大気組成の周期的あるいはイベント的な変動を示し、気候変動メカニズムの理解に多大な貢献をしてきた。しかし、気候変動が人類に及ぼす影響を考える場合、人口が集中する温帯～亜熱帯の陸域古気候を定量的に解析した研究が少ないという重大な問題があった。

また、自然災害や作物の不作を招くという点で、降水量の増減は気温の上昇よりも人類

の生活に与える影響は重大だが、その予測は極めて困難なのが現状である。大型計算機による気候モデルは近年大きく進歩してきたが、その降水量変動予測結果は、「温帯～亜熱帯地域で一様に降水量が微増する」という凡庸なもので、到底受け入れがたい。重大な障壁は、気象観測が行われる以前の降水量評価についての研究が少ないことである。「過去は現在を解く鍵」であり、例えば、今より暖かかったとされる約12万年前の記録は地球温暖化による将来の地球像を提示する可能性がある。

石灰岩地域の河川に堆積するトウファは最も優れた陸域古気候記録媒体である。トウ

ファは年縞組織を持ち、数ミリ／年の速度で堆積する。また、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るからである。

2. 研究の目的

トゥファを用いた古気候解析は世界的に見ても萌芽期にあり、研究代表者のグループが世界に先駆けて行ない、これまでいくつかの知見を明らかにしてきた。本研究はこれまでの研究実績を背景に、「トゥファ古気候学」の原理を完成させ、実際に過去の記録を解読することを目的として行われた。

3. 研究の方法

本研究では、「現世トゥファでの化学指標と気候条件の相関関係」(テーマ I)、「古トゥファの年代測定と古気候解析」(テーマ II)、「トゥファのデータを比較・補填するための、鍾乳石を用いた古気候解析」(テーマ III)を設定し、以下の方法で研究を進めた。

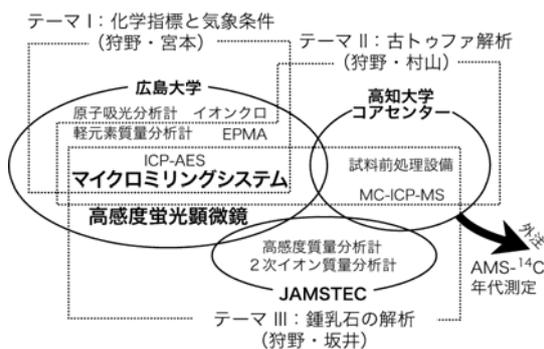


図1. 本研究の3つのテーマと担当者

(1) テーマ I トゥファおよび鍾乳石の調査候補地において、水・堆積物試料を採集し、水試料中の溶存成分と酸素安定同位体比を分析した。また、採集した縞状トゥファ試料を切断し、樹脂で固め、厚めの研磨薄片を作成した。これを用いて、縞状組織に対して垂直な線上で金属元素含有量 (Si・Al・Ca) をX線マイクロアナライザー (EPMA) を用いて測定した。線分析の方法では、測定スポットの間隔を 10 μm 程度に出来る。EPMA 線分析を終えた薄片から、マイクロミルを用いて 0.2mm 間隔で試料を分割採集し、分割試料の酸素・炭素安定同位体比と Mg/Ca, Sr/Ca 比を分析した。

水の酸素同位体比は安定しているので、トゥファの同位体比は水温の関数になる。水温は気温変化を反映した規則的な年周期を示すので、縞状トゥファの酸素同位体比曲線から、詳細な時間軸を設定することができる (酸素同位体時間軸)。この性質を用いると、Si 濃度などに記録された気象イベント (大雨

など) の時期も精度良く決定される。

以上の方法で得られた化学指標の時系列記録を、気象庁のホームページから得た観測点付近の降水量・気温と比較した。

(2) テーマ II 上記の方法を過去に堆積した古トゥファに適用させれば、原理的には過去の気候記録が解読できる。ただし、これを実施するにあたり、試料の年代決定が必要である。本研究では、A) U-Th 年代、B) 有機物の ^{14}C 年代、C) 方解石成分の ^{14}C 年代の3つの方法を試みた。しかし、A については粘土成分由来の始源 Th の含有により、B については現世土壌からのコンタミにより適用が困難と判断された。そこで、C の方法を採用したが、方解石は石灰岩起源のデットカーボン (^{14}C を初生的に含まない炭素) を 15~50% 含んでいるため、「測定年代=実際の年代」にならない。そこで、現世試料のデットカーボン比をそのまま適用し、簡易的な年代の見積もりを行った。

(3) テーマ III 広島県神石高原町と滋賀県多賀町に発達する鍾乳洞において、鍾乳石 (石筍) を採集し古気候解析を行った。

鍾乳石の年代はマルチコレクター ICP 質量分析計による U-Th 法で行った。石筍試料は粘土に極めて乏しいので、誤差 1% 程度の制度で年代が得られる。ただし、正確な年代見積もりのためには、国内で認可されていない ^{233}U などの放射性スパイクを使用しなければならないという問題があった。そこで本研究では、国立台湾大学の沈准教授の協力を得て実施した。

鍾乳石の化学指標の分析は、トゥファと同様の方法で行った。合わせて、有機酸含有量を示す蛍光強度の時系列測定を行った。蛍光強度の測定はこれに特化した装置で行われることが多いが、蛍光顕微鏡を用いて簡便に行うことが可能である。そこで、本研究では、設備備品として購入した落射型蛍光顕微鏡 (Nikon X2TP-11) と画像処理ソフト (Image-Pro) を用いて数値化する方法を採用した。励起波長は 360nm、観察波長は 400nm である。

4. 研究成果

(1) トゥファの気候記録プロセス 岡山県新見市下位田トゥファ堆積場において、合計 5 年間 (1997 年 12 月から 2002 年 12 月) の水質観測データを用い、水質の化学的性質が季節的に変化することを示した。水源である石灰岩中の地下河川での PCO_2 (平衡二酸化炭素分圧) は、トゥファの堆積に最も重要な溶存 CaCO_3 濃度を支配する要素である。 PCO_2 は土壌層での CO_2 生産と自然換気のプロセスにより夏に高く、冬に低い傾向を示す。土壌中

での CO_2 は、気温に依存する有機物の分解や植物根の呼吸によって生産され、夏に分圧が高い。また、地下大気と外気の比重差によって生じる自然換気は、地下大気が相対的に暖かく比重が軽くなる冬に活発になり、地下空間に多くの外気を流入させる。それによって、冬には PCO_2 が低下する。これら2つのプロセスは、ともに地下水の PCO_2 に対して同じ気温依存の季節変化をもたらす。溶存 CaCO_3 濃度は原理的に PCO_2 と同じ季節変化を示すと予想されたが、下位田では降水量の多い6~7月に溶存 CaCO_3 は低い濃度を示す傾向があり、雨により溶存成分の濃度が希釈されていた (Kawai et al., 2006)。

溶存 CaCO_3 は水温とともに方解石の無機沈澱速度を支配する重要な要因である。従来の研究では、無機沈澱速度 (PWP-rate) がトゥファの組織を支配し、その季節変化によって、速度が大きい夏に緻密層が、速度が小さい冬に多孔質層が形成されるとしている (速度依存モデル)。西南日本の多くの堆積場では PWP-rate は季節変化し、それに同調した年縞が発達することが確認されているが、年縞の明瞭さと規則性は堆積場によって異なる。そこで、速度依存モデルを検証するために、水質データが整備されている4つの堆積場 (下位田, 上野呂-岡山県真庭市, 城川-愛媛県西予市, 下滝-広島県庄原市) の堆積物を使って、トゥファの組織と PWP-rate の関係が定量的に解析された。トゥファの組織は方解石充填度 (CPD: calcite packing-density) として Ca-X 線強度を使って定量化し、堆積物の時間スケールは酸素同位体時間軸を使って決定した。CPD と PWP-rate は4つの堆積場全てで正の相関を示したが、下位田での相関係数 ($r=0.32$) は他の堆積場 ($0.64\sim 0.71$) と比べて低い値を示した。また、PWP-rate が $2.5 \times 10^{-10} \text{M/cm}^2\text{sec}$ 以下の領域では PWP-rate の増加に伴って CPD も増加していくが、上部領域では相関を示さない。これは、CPD が65%程度の上限值をとるためであると考えられた。また、PWP-rate が CPD と相関を示すための Ca 濃度の閾値は 65mg/L と考察された。実際に、相関係数が低かった下位田の Ca 濃度 ($55\sim 75 \text{mg/L}$) は他の堆積場 ($50\sim 65 \text{mg/L}$) よりも高い値を示す。すなわち、温帯地域では Ca 濃度が 65mg/L 以下の堆積場において明瞭で規則的な年縞が形成されることになる。この改良版速度依存モデルは他の地域のトゥファ堆積物の組織発達過程も説明する。例えば、亜熱帯地域の琉球列島に発達するトゥファでは、水温と溶存 CaCO_3 濃度がともに高いため、年縞が不明瞭になる (Kawai et al., 2009)。

(2) トゥファの古気候指標 トゥファ堆積物の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^{13}\text{C}$ が古気候の指標として有用であることを再確認した。多くの堆積場では、

水の $\delta^{18}\text{O}$ が一定であり、方解石の $\delta^{18}\text{O}$ は気温を反映した季節変化を示し、夏に低く、冬に高くなる。一方、方解石の Mg/Ca 比も温度計として期待されたが、水の Mg/Ca 比が安定せず、その記録は $\delta^{18}\text{O}$ よりも劣る。

トゥファの $\delta^{13}\text{C}$ は $\delta^{18}\text{O}$ と同調した変化を示し、温度依存のプロセスにより影響される。重要なのは地下での PCO_2 を支配する土壌層での CO_2 生産と自然換気のプロセスであると考えられていた。これを検証するために、西南日本の3つのトゥファ堆積場における水質データを基に、炭素循環に関する数値モデルを構築した。計算結果は観測データを良く再現し、トゥファの $\delta^{13}\text{C}$ の季節変化パターンが地下の水文学的条件に大きく支配されることを示す (Hori et al., 2008)。地下水中の炭素 (溶存炭酸) は石灰岩層を浸透する過程では安定した $\delta^{13}\text{C}$ を保持するが、水が停留する間に起こる気相とのガス交換により、 $\delta^{13}\text{C}$ は大きく変動し、夏に低く、冬に高くなる。また、ガス交換の程度は、堆積場固有の地下水系の特徴に関連し、地下水系が小規模で不飽和なケースでは活発なガス交換により $\delta^{13}\text{C}$ の季節変化が明瞭になるのに対し、大規模な飽和水塊ではガス交換が妨げられるため明瞭な季節変化がトゥファ堆積物に記録されない (Hori et al., 2009)。ただし、 $\delta^{13}\text{C}$ は植生も反映する。沖縄県宮古島のムイガートゥファの高い $\delta^{13}\text{C}$ は、値の高い C4 植物のサトウキビの影響であることが示唆された (Kano et al., 2007: 図2)。

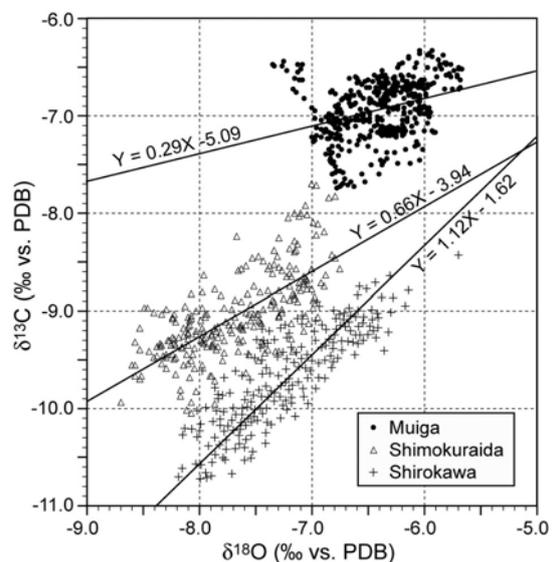


図2 西日本 (下位田・城川) と宮古島 (ムイガー) のトゥファ堆積物の $\delta^{18}\text{O}$ と $\delta^{13}\text{C}$ のクロスプロット。ムイガーの高い $\delta^{13}\text{C}$ 値は植生の影響である。

さらに、水文的条件は溶存炭酸の放射性炭素同位体組成を決める要因にもなりうることを示された。すなわち、長期間にわたり水文的条件が安定していれば、放射性炭素を用

いた年代測定が原理的に可能である (Hori et al., 2008)。古トッファの年代決定は困難であると考えられていたため、この考察の意味は極めて重要である。

(3) トッファを用いた古気候解析 上記の研究成果により、古気候情報をトッファから読み取るための準備は整った。本研究では愛媛県西予城川に分布する厚さ 1.3m の古トッファセクションを対象に検討した。ここでの古トッファは放射性炭素の補正年代により 2700–2100 年前に堆積したと見積もられた。年代は年輪により見積もられた堆積速度や放射性炭素の経年変化とも整合的であり、年代見積りの正当性が裏付けられた。古トッファが堆積した時期は完新世の中でも比較的温暖な時期に相当する。ただし、2300 年前には軽微な寒冷化が起こったことが知られ、この時期の古トッファには、酸素・炭素同位体比の増加と粘土含有量の減少が記録されていた。これらは、全て降水量の減少を意味している。現世試料の分析値と比較すると、2400 および 2250 年前の気候は現在と同様の気温・降水量条件にあるのに対し、2300 および 2150 年前には気候は乾燥しており、それを反映して植生も現在とは異なっているという可能性が示唆された。乾燥化は太陽強度の軽微な低下により引き起こされ、陸域と海域の気温差を縮小することで夏のモンスーンを弱める。したがって、乾燥化は寒冷化を伴うと予測される。城川の古トッファで認定された乾燥期は、鍾乳石や湖堆積物などの他の古気候ソースには明瞭に記録されない。すなわち、トッファは軽微な変化に敏感であるという点で優れた気候記録媒体であると言える。

(4) 鍾乳石を用いた古気候解析 本研究では広島県北東部と滋賀県東部の鍾乳洞から採集した鍾乳石を用いて古気候解析を行った。

広島県の石筍試料は初生 Th の含有量が極めて少なく、U/Th 法により 18120 年前から 4530 年前に沈澱したことが正確に求められた。また、頂部から 5.5cm の所に明瞭な不連続面が存在し、10510–8030 年前に堆積間隙があると認定された。0.2mm 間隔で測定した酸素・炭素安定同位体比・Mg/Ca 比の時系列記録は、降水量と気温の変化を反映している。石筍の最下部 3cm は $\delta^{13}\text{C}$ 値 (-3.5–-6.5‰) と Mg/Ca 比 (0.016–0.09) の漸進的な減少傾向と、成長速度の増加で特徴付けられるフェーズである。この部分の年代は 18120–16700 年前であり、気温が上昇した時期に相当するが、Mg/Ca 比の増加傾向はそれと矛盾し、 $\delta^{18}\text{O}$ 値にも顕著な減少傾向は認められない。この部分に記録された値の変化は、

おそらく地下水の停留時間の短縮と滴下速度の増大を反映し、降水量の増加を意味している。頂部から 7.5cm に記録された顕著な $\delta^{18}\text{O}$ 値の低下と Mg/Ca 比の増加は、ベーリング期の温暖化 (約 14–15ka) を反映している可能性が高い。仮に、降水の $\delta^{18}\text{O}$ 値が安定していたと仮定すると、この時期には 6.7°C も気温が上昇したと見積もられる。一方、ヤングドリアス期 (12.9–11.5ka) に相当する部分では、軽微な変化しか認められない。中国の鍾乳石が夏のモンスーンの減退による $\delta^{18}\text{O}$ 値の大幅な減少を記録しているのとは対照的である。おそらく、この時期の日本における寒冷化に伴う降水の $\delta^{18}\text{O}$ 変化幅は中国大陸に比べて軽微であったと思われる (図 3)。

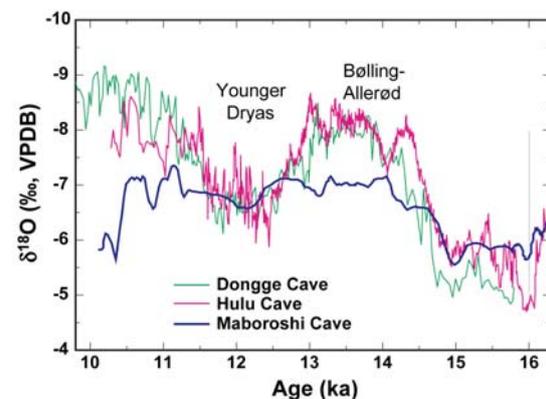


図 3. 広島県の石筍 (Maboroshi Cave) と中国の石筍 (Dongge, Hulu) の酸素同位体記録の比較。

滋賀県東部で採集された長さ約 24cm の石筍は 103ka から 0ka に成長したものであった。ただし、頂部から 7.5cm の所に明瞭な不連続面が存在し、その下での年代が 26.2ka、上での年代が 10.1ka であると求められた。この堆積間隙時は最終氷期の時期と一致し、石筍はヤングドリアス期以後に成長を再開したことが解る。なお、この石筍試料は初生的に Th を含有する不純物がやや多く、年代はアイソクロンを作成して初生 Th 含有の影響を補正して求めた。0.2mm 間隔で石筍から削り出した粉末試料の $\delta^{13}\text{C}$ ・蛍光強度、および U/Th 年代から算出される成長速度の時系列記録は、降水量の変化を反映していると考えられる。下部石筍が成長した 103–26.2ka では、沈澱速度の減少から全体的に降水量が減少したと見積もられる。これは、互いに強い正の相関を示す炭素同位体比と蛍光強度の全体的な増加傾向からも支持される。降水量は石筍を成長させる水の滴下速度に反映され、それが低下すると、二酸化炭素の脱ガス促進により炭素同位体比が増加するとともに、フミン酸などの有機酸が取り込まれやすくなって蛍光強度が増加する。全体的な増加傾向とは別に、2つの値はいくつかの短期的

な変動を示す。最も顕著な特徴は 60ka 付近のピークであり、ハインリッヒイベント 6 との対応を示唆する。また、35ka には蛍光強度が著しく増加する。この頃から降水量が激減し、26.2ka には地下水が停止したものと考えられる。これら下部石筈の記録は、琵琶湖で採集された湖底堆積物中の風塵粒子量の変化と非常に良く合う。これは冬のモンスーン強度の変化を反映していると考えられており、その増加傾向は夏のモンスーン強度の相対的な減衰を反映し、それが降水量の低下を招いたと解釈できる。上部石筈が成長した 10.1ka 以降の顕著な傾向は、 $\delta^{13}\text{C}$ と成長速度の負の相関であり、2つの指標が滴下速度を通じてリンクしていたことを示唆する。これらを降水量記録とするならば、ヒプシサーマルの時期に最も降水量が増加したことを示唆する。

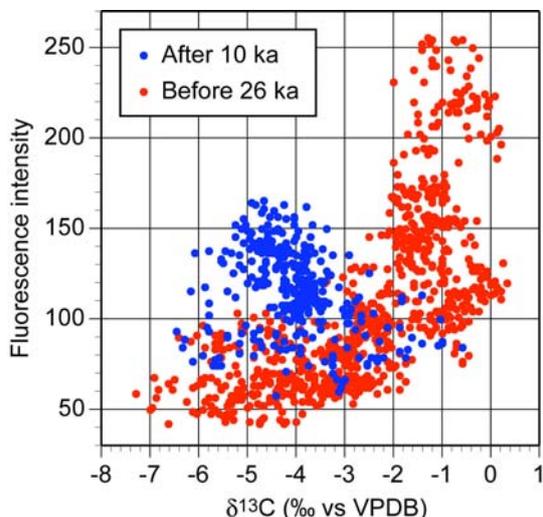


図4. 滋賀県東部から採集した石筈試料の蛍光強度と炭素同位体比の関係。

(5) まとめ 本研究は当初の目的をほぼ達成することができた。トゥファは極めて有用な古気候記録媒体であり、化学指標は気候条件を反映していることはあきらかである。特に、これまで着目されてこなかった炭素安定同位体について十分な検討を行うことにより、その化学指標としての有用性を示したことは本研究の重要な成果だろう。トゥファの縞状組織は基本的に年輪であると見なされる。大きな堆積速度は重要な特長であり、トゥファは高解像度の陸域気候記録媒体として最も優れていると言っても過言ではない。

一方で問題点も残された。トゥファを古気候研究に応用する場合、最大の障害になるのが年代測定法である。愛媛県城川の試料では、有機物 ^{14}C 法と U-Th 法を適用してみたが、正確な年代見積りは困難であった。今後は U-Th 法の適用を目指して、初生 Th の含有量とその同位体比を評価する試みが必要であ

る。この問題が解決すれば「トゥファ古気候学」は広く検討されるに違いない。

本研究では、2つの石筈についても研究を進めた。年代は国立台湾大学の協力により精度良く求められた。正確な時間軸上での化学指標の時系列変化は部分的に中国などの古気候記録と対応し、日本の試料でも古気候研究が可能なことが示された。また、酸素同位体比には日本特有の変化が示された。滋賀県の試料が示す ^{18}O 値の変動は、中国の例に比べてあきらかに軽微である。おそらく、海という巨大な水蒸気ソースに囲まれた日本では雨の ^{18}O 値に気候変動の影響が及びにくいのだろう。

トゥファは気候記録の解像度に優れ、石筈は連続性に優れている。2つの古気候ソースの併用は、互いの欠点を補填しており、両者の結果は連続性と解像度を兼ね備える。この方法の実践により、過去の陸域気候についての理解は大きく進展すると期待できる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計10件)

- ①Hori, M., Kawai, T., Matsuoka, J., Kano, A. (2009) Intra-annual perturbation of stable isotopes in tufas: effects of hydrological processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 73, p. 1684-1695. 査読有
- ②堀 真子・高島千鶴・松岡 淳・狩野彰宏 (2009) 連続フロー型質量分析計を用いた炭酸塩および水試料の炭素・酸素安定同位体測定. *比較社会文化*, vol. 15, p. 51-57. 査読有
- ③Kawai, T., Kano, A. and Hori, M. (2009) Geochemical and hydrological controls on biannual lamination of tufa deposits. *Sedimentary Geology*, vol. 213, p. 41-50. 査読有
- ④狩野彰宏・鈴木将治・堀 真子 (2008) カワナの酸素安定同位体曲線から読み取れること. *帝釈峡遺跡発掘調査室年報*, no. 22, p. 47-61. 査読無
- ⑤Hori, M., Hoshino, K., Okumura, K. and Kano, A. (2008) Seasonal patterns of carbon chemistry and isotopes in tufa depositing groundwaters of southwestern Japan. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 72, p. 480-492. 査読有
- ⑥Kano, A., Hagiwara, R., Kawai, T., Hori, M. and Matsuoka, J. (2007) Climatic condition and hydrological change recorded in a high-resolution stable-isotope profile of a recent laminated tufa on a subtropical island, southern Japan. *Journal of Sedimentary Research*, vol. 77, p. 59-67. 査読有

- ⑦狩野彰宏・川合達也・堀 真子 (2006) カワノナ遺物に記録された縄文時代の気候変動. 帝釈峡遺跡発掘調査室年報, no. 20, p. 73-80. 査読無
- ⑧堀 真子・狩野彰宏 (2006) 岡山県大賀台に発達するトゥファ: その発達条件と季節的パターン. 地質学雑誌, vol. 112, p. 491-502. 査読有
- ⑨Kano, A., Kakizaki, Y., Shiraishi, F., Kawai, T. and Matsuoka, J. (2006) Uppermost Jurassic limestone mounds and the recent tufa deposits in southern Shikoku Province. ISC 2006 Field Excursion Guidebook FE-B08. 13 p. 査読有
- ⑩Kawai, T., Kano, A., Matsuoka, J. and Ihara, T. (2006) Seasonal variation in water chemistry and depositional processes in a tufa-bearing stream in SW-Japan - based on five-year monthly observation. Chemical Geology, vol. 232, p. 33-53. 査読有
- [学会発表] (計11件)
- ①狩野彰宏ほか (2009. 02. 14) 石筍の安定同位体と蛍光強度が示す気候変動. 日本地質学会西日本支部 (九州大学)
- ②Kano, A. et al. (2008. 10. 07) Geochemical and hydrological controls to annual lamination of tufa stromatolites in Japan. International Kalkowsky Symposium, Goetingen, Germany (Invited keynote)
- ③狩野彰宏ほか (2008. 07. 06) カワノナ遺物に記録された広島県北東部での縄文人の生活. 日本古生物学会 (東北大学)
- ④ Kano, A. et al. (2008. 06. 20) High-resolution paleoclimate during the deglaciation recorded in a stalagmite from NE Hiroshima Prefecture, Japan. AOGS (Busan)
- ⑤狩野彰宏ほか (2008. 05. 28) 広島県帝釈峡の鍾乳石に記録された後氷期の気候変動. 地球惑星科学関連合同学会 (幕張メッセ)
- ⑥狩野彰宏ほか (2008. 02. 16) 広島県帝釈峡の石筍を用いた高解像度解析. 日本地質学会西日本支部 (熊本大学)
- ⑦狩野彰宏ほか (2007. 09. 10) 広島県北東部の石筍に記録された気候変動. 日本地質学会 (北海道大学)
- ⑧狩野彰宏ほか (2007. 05. 23) 鍾乳石に記録された過去2万年間の気候変動-広島県北東部の例. 地球惑星科学関連合同学会 (幕張メッセ)
- ⑨ Kano, A. et al. (2006. 08. 27) Climate

settings and hydrological conditions reflecting on high-resolution stable isotopic records of the recent laminated tufas in Japan. 17th International Sedimentological Congress (Fukuoka)

- ⑩ Kano, A. (2006. 06. 26) Freshwater carbonate tufa as high-resolution rainfall archive. Western Pacific Geophysics Meeting (Invited: Beijing, China)
- ⑪坂井三郎ほか (2005. 08. 28) 汽水環境における水質特性-中海を例として. 第四紀学会 (島根大学)

[図書] (計1件)

- ① 狩野彰宏 (2007) 帝釈峡における水と二次生成物. 庄原市教育委員会編, 天然記念物雄橋緊急報告書, p. 34-38.

[産業財産権]

○取得状況 (計1件)

名称: マイクロミリングシステムおよびその制御方法

発明者: 坂井三郎ほか

権利者: 坂井三郎ほか

種類: 特許

番号: 4203860

取得年月日: 平成20年10月24日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.scs.kyushu-u.ac.jp/earth/kan/o/>

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

宮本 隆実 (MIYAMOTO TAKAMI)

広島大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号: 00090548

村山 雅史 (MURAYAMA MASAFUMI)

高知大学・海洋コア総合研究センター・准教授

研究者番号: 50261350

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・技術研究副主任

研究者番号: 90359175