

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2005～2008

課題番号：17204047

研究課題名（和文）

大陸衝突帯の地下深部ダイナミクス 高温高压下での流体活動とその役割の解明

研究課題名（英文）

The root zone dynamics under the continent collision zone.

The elucidation of the fluid activity at extremely high pressure and high temperature conditions.

研究代表者

平島崇男（HIRAJIMA TAKAO）

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：90181156

研究成果の概要：

地下深部流体活動の実態解明を目指し、顕微ラマン分光分析器を導入し、流体包有物の同定システムを構築した。この機器を用いて、日本や海外の地下深部岩石中の流体包有物の研究を展開した。その結果、三波川変成岩中の石英脈から地下 25 km 付近で岩石中にトラップされた地下深部初生流体を初めて見出すことに成功した(Nishimura et al., 2008)。また、Pseudosection 法とモード測定から、塩基性変成岩において、ローソン石の出現・消滅に伴う含水量変化(Matsumoto & Hirajima, 2007)や、硅質変成岩中の含水量を明らかにした(Ubukawa et al., 2007)。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	27,400,000	8,220,000	35,620,000
2006 年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2007 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
総計	39,000,000	11,700,000	50,700,000

研究分野：岩石・鉱物・鉱床学

科研費の分科・細目：4406

キーワード：ラマン分光分析、流体包有物、岩石・流体相互作用、高压変成岩、カンラン岩

1. 研究開始当初の背景

最近の高温高压実験や地球化学的研究から、沈み込む海洋地殻やマントル物質中の含水鉱物が地下深部で脱水分解反応することによって放出された流体が島弧マグマの発生に密接に関連していることなどが判ってきた。また、地震波トモグラフィーから、西南日本の非火山地域の地下 25 - 40 km 付近には高ポアソン比領域が存在し、その成因として沈み込むスラブに由来する流体の関与が喧伝されている。

では、日本列島の地下に沈み込む地殻物質

やマントル物質中での流体活動の実態はどの程度まで把握されているであろうか？沈み込み深度が比較的浅い(<10km)付加体の流体活動は、最近、四万十帯等で精力的な研究が展開され、CH₄ や H₂O 組成を主とする流体が異なる深度で活動していたこと等が指摘されている(Sakaguchi, 1999)。しかし、より深部での (>20 km) の流体活動の実態の大半は未解明のまま残されているのが、現状であった。

2. 研究の目的

本研究では、日本列島あるいは世界各地の沈み込み帯の地下深部(20 - 150 km)で形成された変成岩類を用いて、それらに記録されている流体活動の実態の解明を目指す。すなわち、多様な化学組成の地下深部変成岩を対象に、流体を保持する含水鉱物の安定関係・含水量・脱水量の推定、放出される流体の化学組成の測定、流体移動経路や機構の解明などを通して、沈み込み帯での流体活動の実態把握を目指した。

具体的には、

- (A) 地下深部変成岩に対し相平衡論的岩石学を適用し、代表的な岩相ごとに、流体を保持する含水鉱物の安定関係と含水反応の形式の確定。
- (B) モード測定法と Pseudosection 法による多様な化学組成を持つ地下深部変成岩中の含水量の実測とモデル化。
- (C) 地下流体活動の直接的証拠である、深部変成岩中の流体包有物の化学組成特定。
- (D) 野外調査・分子動力学的手法を駆使した、地下流体活動の移動経路や機構の解明。などに関する研究を並行して行うことにより、プレート収斂域の地下深部で生じている流体活動の実態を総合的に解明することを目指した。

3. 研究の方法

地下深部変成岩中の流体包有物を用いて地下深部の流体活動の実態を解明する研究は、流体包有物の微細さ、ならびに、試料の希少性などから、日本での研究は大きく立ち遅れていた。このような困難な課題に挑むために、当研究グループは、地下深部岩の組織観察の研究で世界的に定評のあるグループと、地表表温泉水の研究で世界的に定評のあるグループとの異分野間の共同研究による、分野融合型研究を進めることにした。

(1) まず、微細な流体包有物を構成する気相と液相を同定するために、本科学研究費で高い波数分解能を誇る顕微ラマン分光分析器を導入し、微細な流体包有物の同定を正確に行うシステムの構築を目指した。

(2) 流体包有物を含む試料に対しては、顕微ラマン分光分析器と顕微鏡用加熱冷却装置を駆使して、凝固点降下度や均質化温度を測定し、塩分濃流体の組成分析、初生流体の密度推定などを行うこととした。

(3) 流体包有物を見出した試料については、母岩の精密な温度圧力史解析を実施し、流体包有物が母岩に取り込まれた時期を確定するとともに、変成岩の含水量測定などを実施した。

本研究では、流体包有物が母相に取り込まれたときの温度・圧力条件を、均質化温度を用いたアイソコア法のみならず、相平衡岩石学的手法を用いて精密に解析す

ることとした。この手法は、本研究の特筆すべき点の一つである。

(4) 本研究の成否を握るもう一つの鍵である流体包有物の含む地下深部変成岩試料は、日本と海外の主要な高圧変成帯からすでに採集したある資料を用いた。また、研究の進展状況に応じて、適宜、サンプリングを行うこととした。具体的には、日本の三波川変成帯、黒瀬川構造帯、海外のイタリア・西アルプス変成帯、チェコ・ボヘミア山塊の高度変成岩やマントル物質を対象とした。

(5) 地下深部岩に含まれる流体の化学組成を測定するために、クラッシュリーチング法を改良し、地下深部岩から流体を濃集し、ICP-MS 分析により、地下深部流体の微量元素を分析することとした。

4. 研究成果

(1) 顕微ラマン分光分析器を用いた、微細な流体包有物の測定システムの構築。

平成 17 年は、内外の専門家の意見を参考に、流体包有物の研究に適した機器の調整方法や構成について試考した。結果として、高エネルギー照射が可能な Ar レーザーを装備した顕微ラマン分光分析器(NRS3200)を選定し、平成 18 年 1 月に導入した。

平成 18 年前半は、Ar レーザー顕微ラマン分光分析器の習熟作業を実施するとともに、流体や造岩鉱物のラマン標準スペクトルデータの収集を開始した。約半年の機器習熟期間後に、10 ミクロン径以上の流体包有物の同定を行うシステムを構築することができた。

2007 年には、東京大学・鍵研究室が主催した、顕微ラマン分光分析器の機会誤差を同定するプログラムに参画し、日本各地の大学に配備された顕微ラマン分光分析器との性能比較キャンペーンに参加し、当研究室の機器は世界標準の性能を発揮していることを確認した(水上 他、2008)。

(2) 流体包有物の研究

平成 18 年後半から、上記機器を使用し、世界各地の地下深部岩石中の流体包有物の同定を開始した。その結果、三波川変成岩中の石英脈から H₂O 流体と CH₄ ガスからなる流体包有物を見出した。さらに、顕微鏡用加熱冷却装置を用いて、流体包有物の塩分濃度と均質化温度を求めた。これらの結果と CH₄ ガスのラマンシフトを用いて、流体包有物の新しい密度推定法を提案するとともに、当該の流体包有物は地下 25 km 付近で変成岩中にトラップされた地下深部初生流体であるとの結論を得た。この成果は、西村が、京都大学の地球惑星科学専攻で実施する 21 世紀 COE 研究集会(2006 年 12 月京都大学)と、2007 年 5 月に地球惑星科学連合大会で口頭発表したの続き、JMPS 誌において、Nishimura

et al. (2008)として、成果を公表した。

これは、地下深部岩の組織観察グループと地表表温泉水研究グループによる分野横断的な研究によって生み出された、最初の画期的な研究成果である。

西アルプス・セシア帯のエクロジャイトの研究では、H₂O 流体と N₂ ガスからなる流体包有物を発見した。この流体包有物はオンファス輝石の c 軸方向に配列しており、地下深部初生流体の可能性が高い。しかし、流体包有物中には固相が析出しており、複雑な系での流体包有物の取り扱い方を検討している。

チェコ・ボヘミア山塊の超高温変成岩からも流体包有物を見出した。ボヘミア山塊南部の粗粒ザクロ石を含む片麻岩の精密組織解読の結果、粗粒ザクロ石の核部が成長中の高圧な条件下 (2.3GPa at 600°C, 3.5GPa at 1000°C) では、CO₂-N₂ に富んだ流体の活動が活発であったが、粗粒ザクロ石のリム部が成長した高温中圧条件下 (730-830°C and 0.5-1.3GPa) では、部分溶解が生じていたことを見出した。この成果は、Kobayashi et al. (2009)として、2009年5月の地球惑星科学連合大会で口頭発表した。

(3) 地下深部変成岩の精密な温度圧力史解析と、流体包有物が母岩に取り込まれた時期の確定と、変成岩の含水量測定。

沈みこみ帯での流体の放出にはローソン石、緑泥石、蛇紋石など多量の OH 基を結晶水として保持する鉱物の挙動が深く関与している。

ローソン石の出現・消滅に伴う含水量の変化を、イタリア・西アルプス、セシア帯の資料を用いて、pseudosection 法と岩石中の含水鉱物のモード量実測値から、地下深部岩石の含水量変化を明らかにした。

その結果、地下 50km、温度 500°C 程度の変成条件では、ローソン石が分解するときに、多量の水を放出することを明らかにした。モデル計算から提示された現在の西南日本の地下に沈みこむフィリピン海プレートの温度圧力推定結果は、上記の変成条件と類似しており、現在、西南日本の地下ではローソン石の分解とそれに伴う大量の水の放出が期待される。西南日本地下の深部低周波微動や非火山地域地下の高ポアソン比を生み出す要因として、ローソン石から放出された流体の可能性を指摘した(松本・平島、2006、日本地質学会年会要旨；Matsumoto & Hirajima (2007).: Goldschmidt Conference 2007, Cologne, Germany, August 要旨)

沈み込み帯においては、泥岩起源の泥質変成岩やチャート起源の硅質変成岩も重要な構成要素である。

A 先行研究で実施していた三波川変成

岩中の泥質変成岩中の含水鉱物の安定関係を pseudosection 法を用いて解析し、その成果を Matsumoto et al. (2005)として公表した。また、その結果を基に、地下深部での、含水量推定を行った。

B 三波川変成帯の高変成度地域に分布する硅質変成岩中の鉱物共生関係の解析を行った。その結果、タルク 単斜輝石 白雲母の鉱物組合わせは、エクロジャイト相で形成されたものであることを示すと共に、当該温度圧力条件下での含水量推定をおこなった。これらの成果は、Ubukawa et al. (2007)として Island Arc 誌に成果を公表した。日本鉱物科学会年会(秋田)で報告した。

また、紅簾石石英片岩の含水鉱物の特性について、平成 20 年 8 月にノルウェー・オスロで開催された第 33 回万国地質学会で Ubukawa et al. (2008)として講演し、世界の研究者と意見交換した。

C 低温条件で変成した硅質変成岩中の含水鉱物の挙動の解明を目指し、九州の黒瀬川構造体に産する地下 30km、300°C 程度で形成された硅質変成岩を研究した。その結果、当該の岩石では、スチルプノメレンやハウイ石が主要含水相として重要な役割をはたしていることを見出した。特に、ハウイ石は白雲母にくらべ、等量の K₂O に対し、倍以上の H₂O を保持していることがわかった。その成果は、似吹ほか(2008)として、2008年地球惑星科学連合大会年会で発表すると共に、Ibuki et al. (2008)として、JMP誌に公表した。

(4) 日本と海外の主要な高圧変成帯の調査。

当該期間中、日本の三波川変成帯・領家変成帯・黒瀬川帯において、追加サンプリングを主とする調査を行った。

海外では、2005年に、イタリア・セシア帯、チェコ・ボヘミア山塊、2007年に、イタリア・イブレア帯で、高度変成岩類の追加サンプリングを行った。

(5) クラッシュリーチング法による地下深部流体の化学組成を測定

クラッシュリーチング法を駆使して、三波川変成帯の地下 25 - 60km の深度で形成された変成岩の片理と平行な石英脈から、地下深部流体を濃集し、ICP-MS 分析で微量成分濃度を測定した。

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 26 件)

Matsumoto K. and Hirajima, T., The coexistence of jadeite and omphacite in an eclogite-facies metaquartz diorite from the

southern Sesia zone of the Western Alps, Italy. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. 100, 70-84. (2005) 査読有

Matsumoto, K., Banno S. and Hirajima, T., Pseudosection analysis for the Sanbagawa pelitic schist and its implication to the thermal structure of high-pressure intermediate type of metamorphism. *Proc. Japan Academy, Ser. B.*, 81, 273-277. (2005) 査読有

Miyake, A., and J. Kawano: Molecular dynamics simulations of $MgSiO_3$ enstatite and seismic discontinuity in the upper mantle. *Geophysical Research Letters*, 32, L13310 (2005) 査読有

Miyake, A.: Effect of ionic size in the tetrahedral and octahedral site on thermal expansion of low temperature cordierite. *Journal of the American Ceramic Society*, 88, 362-366 (2005) 査読有

Miyake, A.: Effect of the ionic size on thermal expansion of low cordierite by molecular dynamics simulation. *Journal of the American Ceramic Society*, 88, 121-126 (2005) 査読有

Nakamura, D. and Hirajima, T., Experimental evaluation of garnet-clinopyroxene geothermometry as applied to for eclogites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150, 581-588. (2005) 査読有

Nakano, S., J. Akai, and N. Shimobayashi: Contrasting Fe-Ca distributions and related microtextures in syenite alkali feldspar from the Patagonian Andes, Chile. *Mineralogical Magazine*, 69, 521-535 (2005) 査読有

下林典正・三宅亮・瀬戸雄介: 奈良県天川村産レインボー・ガーネットについて, *Gemmology*, 36, 4-7. (2005) 査読有

網田和宏, 大沢信二, 杜建国, 山田誠, 大分平野の深部に賦存される有馬型熱水の起源, *温泉科学*, 55, 64-77, (2005) 査読有

Seto, Y., Ohi, S., Shimobayashi, N., Kitamura, M., Miyake, A., Hiroi, Y. and Grantham, G.H.: Clinopyroxene exsolution in wollastonite from Namaqualand granulite, South Africa, *American Mineralogist*, 91, 446-450 (2006) 査読有

松本啓作・平島崇男. 操作型電子顕微鏡を用いたモード測定、(Modal analysis using scanning Electron Probe Microanalyzer) *岩石鉱物化学*, 35, 97-108. (2006) 査読有

大沢信二, 流体地球化学的にみた雲仙地溝の熱水系と温泉の生成過程, *日本地熱*

学会誌, 28, 361-371, (2006) 査読有

Ikuta, D., Kawame, N., Banno, S., Hirajima, T., Ito, K., Rakovan, J.F., Downs, R.T. and Tamada, O., First in situ X-ray identification of coesite and retrogressed quartz on a glass thin section of ultrahigh-pressure metamorphic rock and their crystal structure details. *American Mineralogist*, 92, 57-63. (2007) 査読有

Tomaru, H., Ohsawa, S., Amita, K., Lu, Z., Fehn, U. Influence of subduction zone settings on the origin of forearc fluids: Halogen concentrations and $^{129}I/I$ ratios in waters from Kyushu, Japan, *Applied Geochemistry*, 22, 676-691, (2007) 査読有

UBUKAWA, T., HATANAKA, A., MATSUMOTO, K. and HIRAJIMA, T., Pseudosection analysis for talc-Na pyroxene-bearing piemontite quartz schist in the Sanbagawa belt, Japan. *Island Arc*. 16, 553-574. (2007) 査読有

Nishimura, K., Amita, K., Ohsawa, S., Kobayashi, T. & Hirajima, T., Chemical characteristics and trapping P-T conditions of fluid inclusions in quartz veins from the Sanbagawa metamorphic belt, SW Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. 103, 93-99. (2008) 査読有

Kobayashi, T., Hirajima, T., Hiroi, Y. and Svojtka, M., SiO_2 Raman spectrum suggesting the transformation from coesite to quartz obtained from Gföhl migmatitic gneisses in the Moldanubian Zone, Czech Republic. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. 103, 105-111. (2008) 査読有

Naemura, K., Yokoyama, K., Hirajima, T. & Svojtka, M., Age determination of thorianite in phlogopite-bearing spinel-garnet peridotite in the Gföhl Unit, Moldanubian Zone of the Bohemian Massif. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. 103, 285-290. (2008) 査読有

Ibuki, M., Fujimoto, Y., Takaya, M., Miyake, A. & Hirajima, T., Howieite from meta-manganese-siliceous rock in the Hakoishi serpentinite mélange of Kurosegawa belt, western Kyushu, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*. 103, 365-370. (2008) 査読有

Kono, Y., Miyake, A., Ishikawa, M., and Arima, M. Discontinuous change in temperature derivative of elastic wave velocities in plagioclase ($An_{51\pm1}$) above and below the order-disorder transition temperature. *American Mineralogist*, 93, 558-564, (2008) 査読有

- 21 Takano, B., A. Kuno, A., Ohsawa, S., Kawakami, H., Aqueous sulfur speciation possibly linked to sublimnic volcanic gas-water interaction during a quiescent period at Yugama crater lake, Kusatsu-Shirane volcano, Central Japan. J. Volcanol. Geotherm. Res.. in press. 査読有り
- 22 真田哲也, 高松信樹, 山崎 一, 網田和宏, 大沢信二, 泉質の異なる温泉水の混合における希土類元素の挙動. 温泉科学, 58, 81-97. (2008) 査読有
- 23 齋藤武士, 大沢信二, 橋本武志, 寺田暁彦, 吉川慎, 大蔵敬宏, 阿蘇火山湯だまりの水・熱・塩化物イオン収支. 日本地熱学会誌, 30, 107-120. (2008) 査読有
- 24 Yamada, M., Ohsawa, S., Matsuoka, H., Watanabe, Y., Rahmanto, B., Maryunani, K.A., Tagami, T., Kitaoka, K., Takemura, K., Yoden, S., Derivation of travel time of limestone cave drip water using tritium/helium-3 dating method. Geophysical Research Letters., L08405, doi:10.1029/2008GL033237. (2008) 査読有
- 25 Ohi, S., Miyake, A., Shimobayashi, N., Yashima, M. and Kitamura, M.: An isosymmetric phase transition of orthopyroxene found by high-temperature X-ray diffraction, *American Mineralogist*, **93**, 1682-1685 (2008) 査読有
- 26 河野俊夫・中野聰志・下林典正: 滋賀県・田上花崗岩体小ペグマタイト産マントル長石の形成過程, *地質学雑誌*, **114**, 435-446 (2008) 査読有

[学会発表](計 22 件)

国際学会: 抜粋

Hirajima T. & D. Yoshida: Superzoned garnet in Yangkou peridotite, Su-Lu UHP belt, eastern China. 7th International Eclogite Conference, Graz, Austria. Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft Band 150, p53, 2005.

Nakamura, D., T. Hirajima and M. Svojtka, Variety in chemical zonation of garnet in eclogite from Nove Dvory, Czech Republic, 7th International Eclogite Conference, Graz, Austria (July. 2005), Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft Band, 150, 114, 2005.

Hirajima, T., Nakamura, D., Naemura, K., Sai, H. and Svojtka, M., Missing link between ultra-high pressure (UHP) and ultra-high temperature metamorphism (UHT); A case study in the Bohemian massif. 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, p.205, Kobe (Japan), July 23-28. 2006

Naemura, K., Hirajima, T. and Svojtka, M., Pressure-temperature path of spinel-garnet peridotite at the Plesovice quarry in the Blansky les granulite massif, southern Bohemia. 19th General Meeting of the International Mineralogical Association, p.207, Kobe (Japan), July 23-28. 2006.

Usuki, T., Iizuka, Y., Svojtka, M., Hirajima, T.: HT overprint on HP granulites during decompression in the Bohemian Massif, Czech Republic: Evidence from Zr-in-rutile thermometry. 4th International Symposium on Gondwana to Asia & 2007 IAGR Annual Convention at Fukuoka City, Japan, November, 2007

Kobayashi, T., Hirajima, T., Hiroi, Y., Svojtka, M.: Raman and cathodoluminescence (CL) study of zircon inclusions derived from Gföhl felsic rocks in the Moldanubian Zone, Czech Republic. Goldschmidt Conference 2007, Cologne, Germany, August 19-24, 2007.

Matsumoto, K., Hirajima, T.: Water content variation in low temperature eclogite inferred from the Sesia Zone, Western Alps. Goldschmidt Conference 2007, Cologne, Germany, August 19-24, 2007.

UBUKAWA, T., HATANAKA, A., MATSUMOTO, K. & HIRAJIMA, T., Pseudosection analysis for talc-Na pyroxene-bearing piemontite-quartz schist in the Sanbagawa belt, Japan. IGC32, Oslo, Norway.

国内学会: 抜粋

平島崇男・中村大輔・苗村康輔・佐井寛禎: 超高温(UHT)変成作用と超高压(UHP)変成作用の Missing Link 探し; ポヘミア山地の実例, 2005 年三シンポジウム, 愛媛大学, 2005 年 9 月.

鶴生川太郎, 平島崇男, 松本啓作, 三波川変成帯高越地域の紅簾石石英片岩中のタルク-フェンジャイト-アルカリ輝石組合せの意義, 日本地質学会, 京都大学, 2005 年 9 月.

中村大輔, 平島崇男, マルティン-スフォイッカ, ポヘミア岩体南部・ザクロ石カンラン岩を伴うエクロジャイト中のザクロ石組成累帯構造, 日本地質学会, 京都大学, 2005 年 9 月.

中村大輔, 平島崇男, ザクロ石-単斜輝石温度計の歴史実験的評価: 超高压変成岩の定量的温度圧力推定の必要性, 日本岩石鉱物鉱床学会, 愛媛大学, 2005 年 9 月.

下林典正・三宅亮・大滝祥生・北村雅夫・鶴田憲次, 奈良県天川村産スーパーレイ

ンボーガーネットについて,平成 17 年度宝石学会(日本)講演会,早稲田大学(東京),2005年6月.

藤本善航・河野義生・石川正弘・平島崇男・有馬真,高温高压下におけるローソン石藍閃石片岩の地震波速度測定,日本地質学会第 113 年学術大会講演要旨, p.211, 高知. 2006.

松本啓作・平島崇男,西アルプス・セシア帯の Eclogite/Glaucophanite の含水量とその広域変化,日本地質学会第 113 年学術大会講演要旨, p.246, 高知. 2006.

西村光史,網田和宏,大沢信二,小林記之,平島崇男:三波川変成帯中の石英脈に含まれる流体包有物の化学的特徴と形成 P-T 条件,地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会,幕張メッセ(千葉), 2007

松本啓作,平島崇男:シュードセクション法とモード測定法による低温エクロジタイト相の含水量変化とその意義.地球惑星科学関連学会 2007 年合同大会,幕張メッセ(千葉),2007年5月.

似吹大,平島崇男,藤本善航,高谷真樹,三宅亮,九州黒瀬川帯の藍閃石片岩相の珪質変成岩中の howieite と共存する Mn に富むスティルプノメレンの組成多様性.日本鉱物科学会 2008 年会,秋田大学(秋田),2008年9月

苗村康輔,平島崇男,スフォイッカ・マルチン造山型ザクロ石かんらん岩中の多相固体包有物の起源:ボヘミア山塊、プレソビツェかんらん岩の例.日本鉱物科学会 2008 年会,秋田大学(秋田),2008年9月

小林記之,平島崇男,河上哲生,マルチン-スフォイッカ,2008,ザクロ石の組成累帯構造と包有物から見たボヘミア地塊南部 Lhenice shear zone の泥質片麻岩の変成履歴.日本鉱物科学会 2008 年度年会(秋田)日本鉱物科学会 2008 年度年会講演要旨集, p.7.

- 21 大井修吾・小林記之・柳瀬隆文・三宅亮・下林典正・北村雅夫・平島崇男,2008,斜方輝石の高温その場ラマン分光実験.日本地球惑星科学連合 2008 年大会 予稿集, CD-rom K131-P007. 東京幕張メッセ.

- 22 水上知行・荒川雅・山本順司・鍵裕之・榎並正樹・川本竜彦・小林記之・平島崇男・小山内康人・石橋秀巳・Madhusoodhan Satish-Kumar, 2008,ラマン密度計のための二酸化炭素標準試料.日本地球惑星科学連合 2008 年大会 予稿集, CD-rom G122-001. 東京幕張メッセ..

〔図書〕(計 1 件)

1. 大沢信二(編著),温泉科学の新展開,ナカニシヤ出版,234p.,2006年

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

平島 崇男(HIRAJIMA TAKAO)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号:90181156

(2)研究分担者

北村 雅夫(KITAMURA MASAO)

京都大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号:70004489

下林 典正(SHIMOHAYSHI NORIMASA)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号:70235688

中村 大輔(NAKAMURA DAISUKE)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号:50378577

大沢 信二(OHSAWA SHINJI)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号:30243009

三宅 亮(MIYAKE AKIRA)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号:10324609

(3)連携研究者: なし

()

研究者番号: