

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：14301

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21109004

研究課題名(和文)地殻流体の起源と化学

研究課題名(英文)Origin and chemistry of geofluids

研究代表者

小木曾 哲(Kogiso, Tetsu)

京都大学・人間・環境学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：60359172

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 122,200,000円、(間接経費) 36,660,000円

研究成果の概要(和文)：沈み込み帯の地下で、どのような化学的特徴を持った流体が発生し、その流体が沈み込み帯の変動にどのような役割を果たしているかを明らかにするために、高温高压実験による流体発生の再現と流体の化学分析、および、天然の変成岩試料の分析・解析を行った。その結果、沈み込み帯深部では、変成作用の進行にともなって高塩濃度の流体が発生しており、その流体が、島弧火成活動や沈み込むプレート内での地震発生に大きく寄与していることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In order to understand the chemical characteristics of aqueous fluids generated in subduction zones, and to know the role of such fluids in subduction zone phenomena, we have conducted in-situ chemical analyses of experimentally produced aqueous fluids and petrological investigations of natural metamorphic rocks. Through these researches, we have revealed that high-salinity fluids are being generated in subduction zones by metamorphic processes, and that those high-salinity fluids play critical roles in causing magmatism in volcanic arcs as well as seismic activities in subducting plate.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学/岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：岩石・鉱物・鉱床学 地殻・マントル物質 流体 高压実験 放射光X線 変成岩 沈み込み帯

1. 研究開始当初の背景

日本列島などの沈み込み帯は、地球上でも地震・火山活動が激しい地帯の一つである。沈み込み帯での火山活動に、沈み込むプレート(スラブ)に由来するH₂O主体の流体が重要な関与をしていることは以前から指摘されてきたが、最近15年ほどの間に、スラブや地殻内での地震活動にも流体が寄与していることが強く示唆されるようになった。つまり、スラブおよび地殻内部で発生する「地殻流体」こそが、沈み込み帯変動の究極の原因物質である可能性がある。しかし、流体がどのようなプロセス・メカニズムで沈み込み帯変動現象を引き起こしているかについての具体的な描像はわかっていなかった。沈み込み帯変動における流体の役割を理解するには、沈み込み帯における流体の分布や動的な実態を明らかにする必要がある。そのためには、沈み込み帯で流体が発生する条件・化学組成を、高压実験や天然試料の分析から定量的に解明することが不可欠である。

沈み込むスラブから発生する流体の化学組成は、1990年代における小木曾(研究代表者)らによる角閃岩(スラブ物質の代表的岩石)の高压脱水実験と残存相の化学分析によって間接的に決定されていたが(Kogiso et al. 1997, EPSL)、その後、Bureau(海外研究協力者)らが、ダイヤモンドアンビルセル(DAC)装置と放射光X線による高压その場分析によって直接流体の組成を決定する手法を確立していた(Bureau et al. 2005, GCA)。一方、天然の変成岩の相平衡解析や流体包有物の分析によって天然の地殻流体の組成を読み取る試みも急速に進んでいた(Sengen, Hirajima et al., 2009, JMPSなど)。流体の発生温度圧力条件・発生量については、変成岩の高压実験・熱力学モデリングによって、定量的な議論が可能になりつつあった(Omori et al., 2004, PEPIなど)。このように、研究開始当初は、高压実験と変成岩解析の分野で最先端の研究を行っているメンバーがチームを組んで、高压実験と変成岩解析とを有機的に連携させた研究を推進し、地殻流体の発生条件・化学組成を包括的に理解することを目指した研究を開始する絶好の機会であった。

2. 研究の目的

上記のような背景をふまえ、本研究では、沈み込み帯に存在する流体の発生条件と化学的特徴との関係、および流体の存在が沈み込み帯のダイナミクスに与える影響を、高压実験と天然岩石試料の分析・解析によって解明することを目的に設定した。具体的な目標は以下の通りである。

(1) 高压実験

DAC装置等の高压発生装置と放射光X線を組み合わせ、高温高压状態の流体をその場分析することによって、高压状態での鉱物・メルト-流体間の相平衡関係および微量元素

の分配係数を決定する。また、流体の存在と沈み込み帯下の物理的構造との相関関係を定量的に見積もるために、高温高压下における含水鉱物等の弾性波速度・非弾性特性を、高温高压その場実験によって決定する

(2) 天然変成岩試料の解析

沈み込み帯に産する変成岩の鉱物共生・組織解析、および、含まれる流体包有物の化学分析により、天然に存在する流体の生成温度圧力条件と、流体の化学的特徴との関連性を明らかにする。それとともに、変成作用の進行と流体移動にともなう物質の収支が、沈み込み帯の物理的環境に与える影響を見積もる。

3. 研究の方法

本課題で行った主な研究の手法は以下の通りである。

(1) 高压実験

① DAC等の高压発生装置中でメルト・鉱物と水流体を高温高压状態で平衡共存させ、放射光蛍光X線分析により各相の微量元素濃度を分析し、各相間の微量元素の分配係数を決定した。

② マルチアンビル装置内で高温高压状態に維持した地殻構成鉱物に、圧電素子でパルスを導入して弾性波の伝達時間を測定するとともに、放射光X線ラジオグラフィにより弾性波伝達距離を精密に測定することで、高温高压状態で弾性波速度を決定した。

③ 高温高压下での非弾性特性を測定するために、高温高压変形実験装置であるD-DIA装置で周期的な振動変形を与えるための短周期振動システムを開発した。このシステムを用いて、マントル鉱物に周期的変動を与えて、放射光施設を利用したX線ラジオグラフィによる変形歪みその場観察から標準物質との周期差を読み取ることで、鉱物の弾性波減衰特性を決定した。

(2) 天然変成岩試料の解析

① 高压変成帯に産する、流体包有物を豊富に含む石英脈とホストの変成岩について、詳細な相平衡解析から変成温度圧力を見積もるとともに、クラッシュリーチング法とICP-MS装置による流体包有物の化学組成分析と、流体包有物の形態解析を行い、流体包有物の形成条件と化学組成との関係を明らかにした。

② マントルの主要な含水鉱物である蛇紋石を主体とする蛇紋岩の生成および分解プロセスとそれに伴う物質移動を、天然の蛇紋岩体の詳細な記載によって明らかにした。

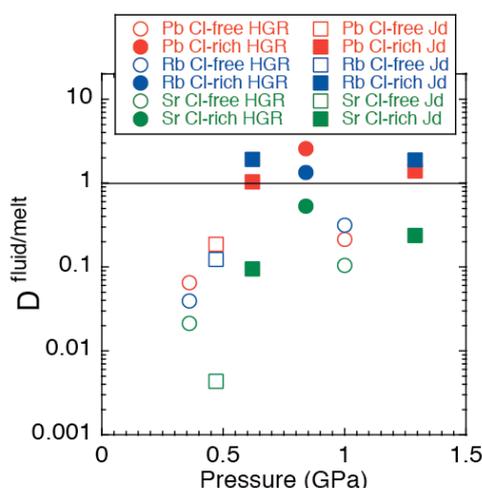
4. 研究成果

本課題の主な研究成果について以下に説明する。

(1) 高压実験

① DAC装置を用いて、H₂O流体と花崗岩メ

ルトおよび H₂O 流体とヒスイ輝石組成メルトとの間の Rb, Sr, Pb の分配実験をフランスの放射光施設ソレイユで行なった。高温高压条件においた DAC 内で、メルトと H₂O 流体を共存させて、微小領域に単色光放射光 X 線を照射し蛍光 X 線を採取した。結果は下図に示すように、各元素とも圧力の上昇にともない分配係数(流体/メルト)は上昇すること、塩濃度の増加にともない分配係数は上昇することが明らかとなった(Kawamoto et al., 2014, EPS in press)。



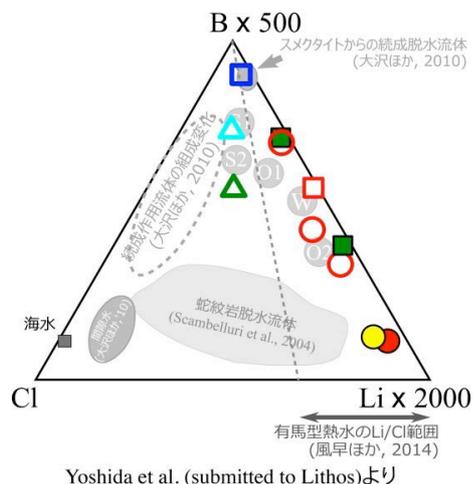
また、マルチアンビル装置を用いた希土類元素の分配に関する同様の実験を、SPRing-8 のビームライン BL04B1 において行った。その結果、希土類元素も Rb・Sr と同様の傾向を示すことが明らかとなった(Kawamoto et al., in prep.)。塩濃度の高い流体に対するこれらの元素の分配係数の相対差は、島弧マグマの微量元素組成の特徴をよく再現している。このことは、沈み込み帯の火成活動に寄与しているのが沈み込むスラブ由来の高塩濃度流体であることを強く支持する。

② 沈み込むスラブ地殻に最も多く含まれる鉱物である斜長石の端成分アノーサイトの弾性波速度測定を高温高压その場観測によって決定した。パルス法と SPRing-8 のビームライン BL04B1 の放射光 X 線を組み合わせ、深さ約 220 km に相当する 7 GPa までの範囲で実験をおこなった。その結果、深さ 80 km 以上の深さでは、アノーサイトの弾性波速度は圧力が上がるに従い遅くなることが分かった。この結果を基に、沈み込むスラブ沿いの地温勾配でハンレイ岩の地震波速度構造を計算したところ、深さ 100km 以浅では、無水のハンレイ岩の方が、含水化した変成岩よりも地震波速度が遅くなる可能性があることがわかった (Matsukage et al., 2014, submitted)。このことは、従来の研究で地震波速度構造を基に推定されていた沈み込むスラブ内の含水量が、実際より多く見積もられている可能性を示している。

③ D-DIA 型高压装置と短周期振動システムを組み合わせ、沈み込み帯マンツルの代表的含水鉱物である蛇紋石 (アンチゴライト) の減衰特性を決定した。その結果、蛇紋石はカンラン石に比較して減衰が大きいことがわかった。また、高温での実験では試料が脱水しており、構成物質はカンラン石と輝石と 7 vol % 程度の水となっていた。この結果をカンラン石のデータと比較することにより、少量の粒間の流体による非弾性効果も大きいことが明らかになった (Yamazaki et al., in prep.)。

(2) 天然岩石試料の解析

① 三波川変成岩に含まれる石英脈の組織解析、石英脈中の流体包有物の出現様式と形態、流体包有物の化学種と塩濃度等と、ホストの変成岩の相平衡から見積もられた形成温度圧力を検討した結果、最高変成条件の塑性変形を免れた石英脈中には NaCl を主成分とする高塩濃度水流体が含まれ、変成岩上昇中に塑性変形を受けた石英脈中には低塩濃度で HCO₃ に富む水流体が卓越することがわかった。流体包有物の Li-B-Cl 相対組成は、Cl に対して B と Li に富む傾向を示し、より高压で形成された石英脈から抽出された流体はより B と Li 両方に富んでいた (Li/B=0.10-1.99) (下図)。さらに、大半の流体の Li/Cl 比はスラブ由来とされる有馬型熱水の値 (Li/Cl > 0.001) と一致した。これらの結果は、高塩濃度の有馬型熱水が、沈み込むスラブ由来の流体であることを支持する (Yoshida et al., 2011, JMPS; Yoshida and Hirajima, 2012, JMPS; Yoshida et al., 2014, submitted to Lithos)。



② マントルウェッジ内の蛇紋岩形成プロセスに伴う物質の収支を明らかにするため、北海道神居古潭帯の岩内岳超苦鉄質岩体の蛇紋岩化の詳細な岩石記載と鉱物分析、初磁化率測定等を行った。その結果、岩内岳岩体では、蛇紋岩化反応における磁鉄鉱と水素の発生がシリカの供給によって促進されたことが明らかになった (Miyoshi et al., 2014, Am. Mineral.)。これにより、マントルウェッジ内

での蛇紋岩化が、沈み込み帯下全体の酸化還元状態に大きな影響を及ぼす可能性が示された。

沈み込むスラブにおける蛇紋岩分解がスラブ内地震のトリガーとなる可能性についての物証を得るため、三波川変成帯中の白髪山蛇紋岩体の地質調査と岩石組織の詳細な解析を行った。その結果、この岩体では、蛇紋岩の脱水分解にともなって変成脈と変形・破壊組織が形成されたことが明らかになった。変形・破壊組織の形成条件は、三波川変成岩の変成条件とよい一致を示しており、またそれは、西南日本の下に沈み込むスラブの温度勾配に近い。このことから、蛇紋岩の脱水に伴う変形・破壊がスラブ内で起こった蛇紋岩の脱水分解がスラブ内地震のトリガーとなり得ることを強く示唆された (Okamoto et al., in prep.)。

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 79 件のうち 20 件を記載)

1. Kawamoto, T., Mibe, K., Bureau, H., Reguer, S., Mocuta, C., Kubsy, S., Thiaudière, D., Ono, S., Kogiso, T., Large ion lithophile elements delivered by saline fluids to the sub-arc mantle, *Earth Planets Space*, 66, in press, 2014. 査読有
2. Miyoshi, A., Kogiso, T., Ishikawa, N., Mibe, K., Role of silica for the progress of serpentinization reactions: Constraints from successive changes in mineralogical textures of serpentinites from Iwanaidake ultramafic body, Japan, *Am. Mineral.*, 99, 1035-1044, 2014. 査読有
doi:10.2138/am.2014.4748
3. Sakurai, M., Tsujino, N., Kawamura, K., Sakuma, H., Takahashi, E., Effect of Al content on water partitioning between orthopyroxene and olivine: Implication for upper mantle dynamics, *Earth Planet. Sci. Lett.*, in press, 2014. 査読有
4. Shimojuku, A., Yoshino, T., Yamazaki, D., Electrical conductivity of brine-bearing quartzite at 1 GPa: implications for fluid content and salinity of the crust, *Earth Planets Space*, 66, 2, 2014. 査読有
doi:10.1186/1880-5981-66-2
5. Hamada, M., Ushioda, M., Fujii, T., Takahashi, E., Hydrogen concentration in plagioclase as a hygrometer of arc basaltic melts: Approaches from melt inclusion analyses and hydrous melting experiments, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 365, 253-262, 2013. 査読有
doi:10.1016/j.epsl.2013.01.026
6. Kawamoto, T., Yoshikawa, M., Kumagai, Y., Mirabueno, M. H. T., Okuno, M., Kobayashi, T., Mantle wedge infiltrated with saline fluids from dehydration and decarbonation of subducting slab. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 110, 9663-9668, 2013. 査読有
doi:10.2138/am.2012.3958
7. Okamoto, K., Jhan, B., Yui, T. F., Akasaka, M., Redox state of ultrahigh-pressure metamorphism: Constraint from the Chinese Continental Scientific Drilling eclogites, *Island Arc*, 22, 25-36, 2013. 査読有
doi:10.1111/iar.12016
8. Tsuchiya, S., Hirajima, T., Evidence of the lawsonite eclogite facies metamorphism from an epidote-glaucophane eclogite in the Kotsu area of the Sanbagawa belt, Japan. *J. Miner. Petrol. Sci.*, 108, 166-171, 2013. 査読有
doi:10.2138/am.2012.3958
9. Kawamoto, T., Kanzaki, M., Mibe, K., Matsukage, K. N., Ono, S., Separation of supercritical slab-fluids to form aqueous fluid and melt components in subduction zone magmatism, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 109, 18695-18700, 2012. 査読有
doi:10.1073/pnas.1207687109
10. 小木曾哲, 岩森光, 横山哲也, 「地殻流体」によせて. *地球化学*, 46, 189-190, 2012. 査読無
http://www.geochem.jp/journal_j/contents/046.html
11. Yoshida, K., Hirajima, T., Annular fluid inclusion found from a quartz vein intercalated with metapelites from the Besshi area, SW Japan. *J. Miner. Petrol. Sci.*, 107, 50-55, 2012. 査読有
doi:10.2465/jmps.111020b
12. Hamada, M., Kawamoto, T., Takahashi, E., Fujii, T., Polybaric degassing of island arc low-K tholeiitic basalt magma recorded by OH concentrations in Ca-rich plagioclase, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 308, 259-266, 2011. 査読有
doi:10.1016/j.epsl.2011.06.005
13. Mibe, K., Kawamoto, T., Matsukage K. N., Fei, Y., Ono, S., Slab melting versus slab dehydration in subduction-zone magmatism. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 108, 8177-8182, 2011. 査読有
doi:10.1073/pnas.1010968108
14. Orozbaev, R.T., Yoshida, K., Bakirov, A. B., Hirajima, T., Takasu, A., Sakiev, K. S., Tagiri, M., Preiserwite and högbomite within garnets of Aktyuz eclogite, Northern Tien Shan, Kyrgyzstan. *J. Miner. Petrol. Sci.* 106, 320-325. 2011. 査読有
doi:10.2465/jmps.110621c
15. Yoshida, K., Sengen, Y., Tsuchiya, S., Minagawa, K., Kobayashi, T., Mishima, T., Ohsawa, S., Hirajima, T., Fluid inclusions with high Li/B ratio in a quartz vein from the Besshi area of the Sambagawa metamorphic

- belt: implications for deep geofluid evolution. *J. Miner. Petrol. Sci.*, 106, 164-168. 2011. 査読有
doi:10.2465/jmps.101020a
16. Fujimoto, Y., Kono, Y., Hirajima, T., Ishikawa, M., Arima, M., P-wave velocity and anisotropy of lawsonite and epidote blueschists: Constraints on wave transportation along subducting oceanic crust. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 183, 219-228, 2010. 査読有
doi:10.1016/j.pepi.2010.09.003
 17. Ibuki, M., Ohi, S., Tsuchiyama, A., Hirajima, T., Analysis of Mn-bearing lawsonite occurring in meta-siliceous rocks in Hakoishi serpentinite mélange of Kurosegawa Belt, Central Kyushu, Japan, *J. Miner. Petrol. Sci.* 105, 340-345, 2010. 査読有
doi:10.2465/jmps.100615a
 18. Matsukage, K. N., Kikuchi, S., Ono, S., Nishihara, Y., Kikegawa, T., Density and seismic velocities of chromitite body in oceanic mantle peridotite, *Am. Mineral.*, 25, 1422-1428, 2010. 査読有
doi:10.2138/am.2010.3498
 19. Yoshino, T., Katsura, T., Yamazaki, D., Ito, E., Electrical conductivity of mantle peridotite at the uppermost lower mantle condition. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 215, 012102, 2010. 査読有
doi:10.1088/1742-6596/215/1/012102
 20. Kogiso, T., Omori, S., Maruyama, S., Magma genesis beneath Northeast Japan arc: A new perspective on subduction zone magmatism, *Gondwana Res.*, 16, 446-457, 2009. 査読有
doi:10.1016/j.gr.2009.05.006
- [学会発表] (計 140 件のうち 14 件を記載)
1. Kogiso, T., Miyoshi, A., Role of silica for the generation of magnetite and hydrogen during the progress of serpentinization: Implications for the oxidation state of subduction zone, *Geofluid 3: Nature and Dynamics of Fluids in Subduction Zones* (招待講演), 2014 年 3 月 2 日, 東京.
 2. Hirajima, T., Tsuchiya, S., First evidence of the lawsonite eclogite facies metamorphism from an epidote- glaucophane eclogite in the Kotsu area of the Sanbagawa belt, Japan, *X International Eclogite Conference*, 2013 年 9 月 2 日, Courmayeur, Italy.
 3. Takahashi, E., Asano, K., Nakajima, J., Magma feeding system of Fuji volcano, Japan, *Goldschmidt Conference 2013*, 2014 年 8 月 31 日, Firenze, Italy.
 4. Yamazaki, D., (ほか 11 名) P-V-T equation of state for e-iron up to 80 GPa and 1900 K using the Kawai-type high pressure apparatus, *Goldschmidt Conference 2013* (招待講演), 2014 年 8 月 29 日, Firenze, Italy.
 5. Okamoto, K., Zircon chronology and garnet chemistry related to dehydration melting in a deep subduction zone: case study from the Sanbagawa quartz-bearing eclogite, *Cordilleran GSA Section Meeting*, 2013 年 5 月 21 日, Fresno, USA.
 6. Takahashi, E., Geofluids: Nature and dynamics of fluids in subduction zones, *Water Dynamics-10 International Symposium* (招待講演), 2013 年 3 月 12 日, 仙台.
 7. 高橋栄一, 潮田雅司, 浅野健太, 島弧玄武岩マグマの含水量・岩相・火山活動様式: 三宅島火山・富士火山を例として, *日本鉱物科学会 2012 年年会* (招待講演), 2012 年 9 月 20 日, 京都.
 8. Omori, S., Maruyama, S., A seismic thermometry for estimating subduction zone temperature: a case study in NE Japan, *International Conference of Geophysics of Slab Dynamics*, 2012 年 8 月 21 日, Jeju Island, South Korea.
 9. 岡本和明, 荒川幸, Yi keewook, 寺林優, 沈み込み帯深部での部分融解 - 三波川エクロジャイト中のジルコンの解析例, *地球惑星科学連合大会 2012 年大会* (招待講演), 2012 年 5 月 23 日, 千葉.
 10. Matsukage, K. N., Takahashi, E. (8 名中 8 番目), Elastic properties of anorthite at high temperature and high pressure, *American Geophysical Union 2012 Fall Meeting*, 2012 年 12 月 6 日, San Francisco, USA.
 11. Hirajima, T. (ほか 6 名), Areal distribution of Li/B ratio of crush-leached fluid obtained from high-P type metamorphic rocks of the Sanbagawa belt, Japan, *Joint Symposium of Misasa-2012 and Geofluid-2* (招待講演), 2012 年 3 月 20 日, 三朝.
 12. 川本竜彦, 三部賢治, 黒岩健一, 小木曾哲, マルチアンビル型高温高压発生装置を用いた蛍光 X 線分析によるマグマと水流体間の元素分配に与える圧力と塩濃度の影響, *日本地球惑星科学連合 2011 年大会*, 2011 年 5 月 25 日, 千葉.
 13. Naemura, K., Ohi, S. (9 名中 6 番目) Hirajima, T. (9 名中 8 番目), Diamond and other mineralogical records of very deep origin in spinel-garnet peridotite from Moldanubian Zone, Bohemian Massif, *American Geophysical Union 2010 Fall Meeting* (招待講演), 2010 年 12 月 15 日, San Francisco, USA.
 14. Hirajima, T., Nakamura, D., Significant cooling during the exhumation of UHP eclogite from Taohang area in the Sulu region, eastern China, and its tectonic significance, *Western Pacific Geophysical Meeting 2010* (招待講演), 2010 年 6 月 23 日, Taipei, Taiwan.
- [図書] (計 4 件)

1. 平島崇男, 吉田健太, プレートテクトニクスと固体圏をめぐる水, 京都大学総合博物館企画展「海」実行委員会編, 『海は百面相』. 京都通信社, pp. 24-27, 2013.
2. 川本竜彦, マグマを生み出す水. 京都大学総合博物館企画展「海」実行委員会編, 『海は百面相』. 京都通信社, pp. 28-29, 2013.
3. 小木曾哲, 海の誕生 謎を解く旅のはじまり. 京都大学総合博物館企画展「海」実行委員会編, 『海は百面相』. 京都通信社, pp. 20-21, 2013.
4. 小木曾哲, 水が地球を動かす. 京都大学総合博物館企画展「海」実行委員会編, 『海は百面相』. 京都通信社, pp. 22-23, 2013.

[その他]

・科学番組出演

川本竜彦, テレビ朝日系列「奇跡の地球物語—有馬温泉名湯を生み出す地球エネルギー」, 2013年12月1日放映.

<http://www.tv-asahi.co.jp/miracle-earth/backnumber/20131201/>

・サイエンスカフェ出演

小木曾哲, 井戸端サイエンス工房サイエンスカフェ第25回「水が動かす地球」, 2012年10月20日, 京都.

<http://isikyoto.web.fc2.com/cafe/25th.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

小木曾 哲 (KOGISO, Tetsu)

京都大学・人間・環境学研究科・准教授

研究者番号：60359172

(2)研究分担者

平島 崇男 (HIRAJIMA, Takao)

京都大学・理学研究科・教授

研究者番号：90181156

高橋 栄一 (TAKAHASHI, Eiichi)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：40144779

岡本 和明 (OKAMOTO, Kazuaki)

埼玉大学・教育学部・准教授

研究者番号：60456001

山崎 大輔 (YAMAZAKI, Daisuke)

岡山大学・地球物質科学研究センター・准教授

研究者番号：90346693

(平成22年度より)

川本 竜彦 (KAWAMOTO, Tatsuhiko)

京都大学・理学研究科・助教

研究者番号：00303800

(平成22年度より：平成21年度まで連携研究者)

大森 聡一 (OMORI, Soichi)

放送大学・教養学部・准教授

研究者番号：90267469

(平成24年度より：平成23年度まで連携研究者)

松影 香子 (MATSUKAGE, Kyoko)

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・グローバルCOE准教授

研究者番号：80343078

(平成24年度まで)

桂 智男 (KATSURA, Tomoo)

岡山大学・地球物質科学研究センター・教授

研究者番号：40260666

(平成21年度まで)

(3)連携研究者

野口 直樹 (NOGUCHI, Naoki)

京都大学・理学研究科・教務補佐員

研究者番号：50621760

(平成21年度まで)

大井 修吾 (OHI, Shugo)

京都大学・人間・環境学研究科・研究員

研究者番号：70587013

(平成22～23年度)

(4)海外研究協力者

Hélène Bureau

フランス Université Pierre et Marie Curie

IMPMC 研究員