

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：35302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24540522

研究課題名(和文) 原生代環境下における水-岩石鉱物相互作用とその後の地球環境形成に関する研究

研究課題名(英文) Study on formation of global environment based on water-rock interaction under the environment of the early Proterozoic era

研究代表者

小林 祥一 (Kobayashi, Shoichi)

岡山理科大学・理学部・教授

研究者番号：20109739

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：原生代初期のまだ酸素が現酸素濃度には達していない頃の地球環境下における「水(特に降雨) 岩石鉱物」間の相互作用と、その後の地球環境形成への影響について、実験的に明らかにすることが目的であった。その結果、原生代環境下での地球表面を構成する岩石鉱物の風化変質に伴う物質の移動、溶脱元素の種類および量と海洋資源との関係、および当時の二酸化炭素含有雨水と岩石鉱物との相互作用などについて知り得た。これらの結果から、現在の地球で今後予想される二酸化炭素増加に伴う岩石鉱物(含石材等)への影響が、また原生代以降現在までの間に行われてきた地球環境形成過程を考える上での基礎的データが得られたものと考えている。

研究成果の概要(英文)：To date, various investigations have gradually revealed the environment of the early Proterozoic era. Consequently, in order to predict the effect of weathering on the chemistry of seawater, formation of ore deposits and sediments in submarine and continental surface, artificial weathering of rock was conducted using HCl, HNO₃ and H₂SO₄ solutions at pH 4, and CO₂ saturated water, and distilled water under the low oxygen condition in an open system. As a result, quantitative data on mass transfer and the relation between submarine resources and dissolved ion were understood. Moreover, we obtained fundamental data to predict the effect of CO₂ saturated rainwater under the future global environment, which is estimated to increase in carbon dioxide content in atmosphere. The dissolved elements and altered products obtained from the artificial weathering under the Proterozoic environment are expected to be basic data in considering the process of the formation of global environment.

研究分野：環境鉱物学

キーワード：原生代 地球環境 水-岩石鉱物相互作用 物質移動

1. 研究開始当初の背景

地球の気圏、地圏、水圏の形成およびその環境は、地球誕生当時からさまざまな地質学的・生物学的営みによって形成されたとされている。この環境形成の過程は、岩石鉱物鉱床の成因にも、生命の誕生にも関わり合ったことに疑いの余地はない。研究開始当初、地球誕生初期の特に原生代以降の地球環境が解明されつつあったことから、原生代 (Paleoproterozoic) 初期環境下における岩石鉱物の風化変質を実験的にを行い、当時の地球環境下で行われた水-岩石鉱物の相互作用による物質の移動について定量的に検討することを考えた。また、この研究は、現在の地球環境に至る過程のみならず、今後予想される二酸化炭素増加に伴う岩石鉱物への影響を評価する際の基礎的データにも活用されることが期待されている。

46億年前の地球誕生とその後の地球環境の変遷は、20世紀後半以降急速に解明されつつあり、先カンブリア時代の20億年以降の原生代については、当時の環境が以下のように明らかにされつつあった。

(1) 酸素濃度は、縞状鉄鉱層、ウラン鉱床などの生成年代から、この当時急激に大気中の酸素濃度が増加した(Cloud, 1972)。

(2) 海水には硫酸イオンが存在していた (Hattori, 1983)。

(3) Ohmoto (1996) は酸化的環境にあったことを示している。

(4) 二酸化炭素分圧は、動的平衡モデルおよび化学平衡モデルから、 $10 \sim 10^{-3.5}$ 気圧と見積もられている (Tajika & Matsui, 1993; Sleep & Zahnle, 2001; 鹿園, 1997 他)。

(5) 地表付近の温度は、大気循環モデル、放射循環二酸化炭素気候モデルから推定され、液体の水が存在する気温であった (Owen et al., 1979)。

(6) 地殻および上部マントルの大部分は、地球型惑星の初期に形成され、玄武岩質岩類であった (Rieder et al., 1997, Armstrong et al., 1990 他)。

今回の研究の発端は、天然の条件下で花崗岩製建造物の変質剥離現象を観察し、これが酸性雨の影響であることを示したことに始まる (Kobayashi et al., 1994)。この反応を定量的に理解するために、酸性雨の岩石鉱物への影響を実験的に検討してきた。対象とした岩石鉱物は、花崗岩、斑れい岩、およびこれら岩石の構成鉱物で、主に pH=4 の塩酸、硝酸、および硫酸を人工酸性雨とし、蒸留水との比較をしながら風化変質実験を行い、酸性雨による岩石鉱物の変質過程、および元素の移動に関する定量的な研究を行ってきた (小林他, 1994; Kobayashi and Sakamoto, 2001; Kobayashi et al., 2005; Baba et al., 2008)。この際、地球初期の大気中の主な成分である、また現在増加しつつあると予想されている二酸化炭素を含む溶液 (人工雨) を用いた人工風化実験も試験的に行った

(Tomita et al., 2005 & 2006 他)。その結果は蒸留水による実験に比べ、岩石鉱物からの溶脱元素が極めて多いことを示した。これらの研究は 1~2 年程度の実験期間で行っているが、地球が辿ってきた時間からするとほんの僅かな時間である。しかし、その期間内でも風化変質は著しく、この反応は地球形成において極めて重要な働きをしたのではないと考えるようになり、本研究の着想に至った。そこで、原生代の地球表面で行われてきた水-岩石鉱物相互作用が地球形成に及ぼした影響について、考えることにした。

2. 研究の目的

原生代初期の酸素が供給されはじめた頃の地球環境下における水 (特に降雨) -岩石鉱物間の相互作用と、その後の地球環境形成への影響について、実験的に明らかにすることが目的である。特に、(1) 原生代環境下での初期地球表面を構成する岩石鉱物の風化変質に伴う物質の移動、(2) 溶脱元素の種類および量と海洋資源との関係、(3) 主成分および微量成分の溶脱、および二次生成物への選択的吸着、(4) 当時の二酸化炭素含有雨水と岩石鉱物との相互作用の検討結果から、現在の地球で今後予想される二酸化炭素増加に伴う岩石鉱物 (含石材等) への影響について検討することであった。

3. 研究の方法

(1) 装置の開発

原生代初期の地球環境を実験室で再現するために、その当時地表付近を覆っていた岩石鉱物と水 (降雨) との反応による、鉱物表面の形態および化学組成の変化、二次生成物、および岩石鉱物と反応した試料溶液とを化学的に、鉱物学的に検討するために、低酸素環境を再現できる装置の開発、製作を行った。作成した装置を図 1 に示す。

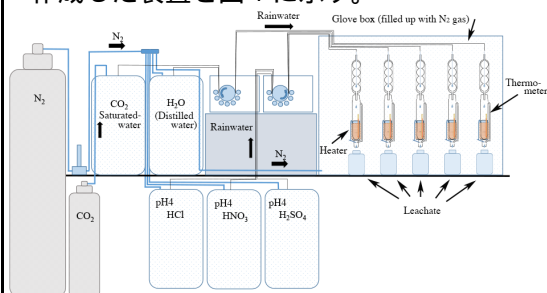


図 1. 実験装置の概略。

(2) 水-岩石系の実験

実験は図 1 に示すように、 N_2 ガスで満たし低酸素環境としたグローブボックス (Glove box) 内に、開放系に改良したソックスレー抽出器を設置し、装置上部から人工雨を滴下を行った。人工雨は CO_2 飽和水、pH4 の硫酸、塩酸および硝酸溶液、蒸留水で、予め N_2 ガスで脱気しそれぞれの抽出器にローラーポンプで供給した。抽出器の反応部には、岩石鉱物表面を同じ条件で観察するため、試料の一面

を研磨し、10×10×5mm 程度に切断した岩石鉱物片を、それぞれの装置の反応部に約 50 個(約 50g)入れた。人工雨は反応部に約 30mL たまるまで岩石鉱物試料と反応するが、それ以上になると試料溶液として自動的に下の回収容器中に流れ落ちる仕組みになっている。そのため、反応部の試料が雨で浸される状態(雨の日)と、浸されていない状態(晴れの日)が交互に繰り返され、流れ落ちた試料は ICP-MS で主要元素(Si, Al, Ca, Na, K, Fe, Mg, Mn など)および微量元素(Sc, Zn, Sr, Co, Y, Pb, Rb, Ce, La, Ba, Sm, Ni など)の定量分析を行った。反応部の岩石鉱物は SEM, EPMA で表面の観察および化学組成の変化を検討した。

4. 研究成果

(1)玄武岩を用いた人工風化実験で得られた結果を示す。

玄武岩斑晶に見られるかんらん石、石基中の斜長石、単斜輝石の、未処理および747 日間人工風化後の走査型電子顕微鏡(SEM)像による表面観察結果を図2に示す。かんらん石の表面はpH4三種酸溶液の種類によらず同程度の変質が確認できる。CO₂飽和水処理では若干の変質が認められるが、蒸留水処理ではほとんど変質が認められなかった。

次に、玄武岩表面に見られる斑晶のかんらん石および石基の斜長石、単斜輝石表面の実

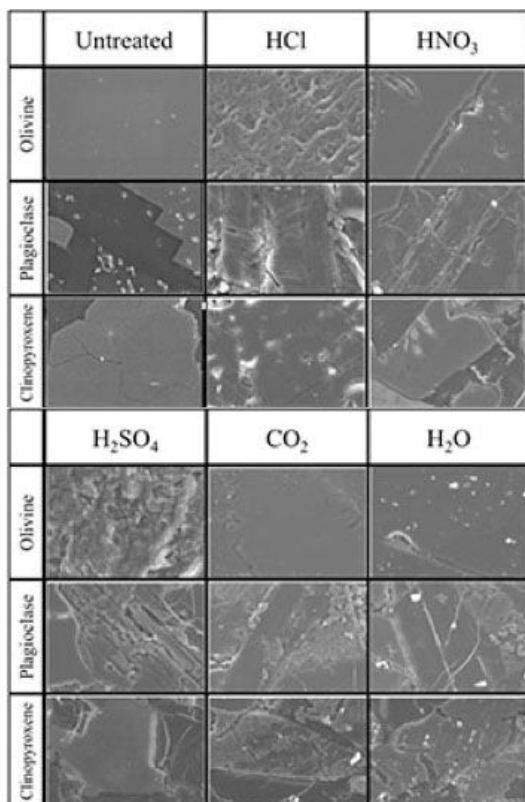


図2.玄武岩中の鉱物の風化状況を示すSEM像。左右で10μm。

験期間の増加に伴う化学組成の変化を微小部分分析装置(EPMA)によって検討した。かんらん石表面の(Mg + Fe) / Si (apfu)比は期間の増

加に伴って減少し、一様ではないが特に硫酸溶液の影響を受けやすい傾向を示している。実験の経過に伴う石基の斜長石の(Na+K+Ca) / (Al+Si)比、および単斜輝石の(Mg+Fe) / Si比は、斜長石では硫酸溶液処理によって顕著な減少を示した。単斜輝石では塩酸溶液による減少が顕著であった。以上の結果は、これら鉱物表面からは風化によってMg, Fe, Na, K, Ca が溶脱しやすいことを示している。

酸性雨と反応した試料溶液は3日~1カ月ごとにサンプリングを行い、ICP-MSで定量分析をおこなった。岩石試料と人工雨の反応によって溶脱しやすい元素を知るために、各元素についてモル比(「試料溶液中に溶脱した各元素量」 / 「反応部にはじめに入れた未処理の玄武岩中の各元素量」)を求めた。主要元素は、3種酸溶液ではMg > Mn > Fe, K, Ca, 二酸化炭素飽和水および蒸留水ではK > Ca > Mn > Mgの順に、微量元素は溶液種に関係なくZn > Rb > Ni > Cu > Ba > 希土類(REE)の順に溶脱しやすい傾向を示した。

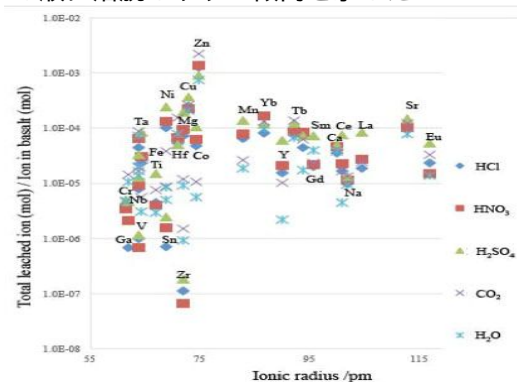


図3.溶脱元素のモル比とイオン半径。

モル比と各元素のイオン半径との関係を図3に示す。イオン半径が70 pm付近のMg, Cu, Ni, Zn, Coのモル比が大きな値を示している。これらは斑晶のかんらん石の6配位位置からの溶脱が考えられる。また、斜長石に含まれるCa, Naとイオン半径の近い95~115 pm付近のSm, Ce, La, Srのモル比も顕著であった。これら元素は斜長石のみならず単斜輝石や火山ガラスなどにも含まれるが、これらの元素は主に斜長石のフレーム中のcavityから溶脱したものと考えられる。

(2) 研究の目的に示した4項目について

原生代環境下での物質移動に関する(1)は、玄武岩の実験例で示したように、主成分および微量成分の溶脱の特徴および溶け出しやすさを示したデータ図3から、溶脱元素は岩石鉱物の含有量とは必ずしも関係なく、むしろ鉱物種あるいはその鉱物のどのサイトに入る元素かによることがわかった。また、酸素濃度の違いによる元素の溶脱のしやすさは、低酸素環境下ではMg, Mn, Fe, Znなど2価の元素が、REEは酸素存在下で溶脱しやすい傾向を示した。

海洋資源との関係に関する項目(2)は、(1)の結果から、原生代初期以前に玄武岩から溶脱したFeは2価の状態では海洋へと流入し、酸素の増加に伴い3価に酸化され、縞状鉄鉱層として海底に固定されたことが示唆され、玄武岩の溶脱が鉄の供給に関係することを推測した。更に、玄武岩から溶脱しやすい元素は、海水中に含まれる元素との間に正の相関を示した。特にMn, Cu, Zn, Ni, Co, REEは玄武岩から顕著に溶脱し、海水の化学組成に影響を及ぼしやすいことがわかった。これらはMnノジュール・クラフトに多く濃集しており、海底の熱水だけでなく、大陸地殻の風化もまた元素の供給源になることを示した。

(3)の検討項目の溶脱した主成分および微量成分の二次生成物への選択的吸着に関しては、二次生成物の生成が極めて少ないことから、現在検討方法を模索中である。

原生代初期は二酸化炭素が現在の数百倍から一千倍の濃度とされることから、二酸化炭素含有雨水と岩石鉱物との相互作用の実験を同時に行った。この検討結果は(4)に通じるもので、現在の地球で今後予想される二酸化炭素増加に伴う岩石鉱物への影響を予測する上で極めて重要であると考えている。

以上のように、低酸素環境下での水-岩石鉱物相互作用に伴う風化変質過程および物質移動の一部が明らかになったことから、原生代以降現在までの間に行われてきた地球環境形成過程を考える上での基礎的データが得られたものと考えている。

本研究を行うにあたり種々ご教示・協力してくださった方々に感謝の意を表します。

<引用文献>

Armstrong, R. A., Compston, W., Dewit, M. and Williams, I. The stratigraphy of the 3.5-3.2 Ga Barberton Greenstone Belt revisited: A single zircon ion microprobe study. *Earth and Planetary Science Letters*, 101, 9, 1990, 0-106.

Baba Y., Kobayashi, S and Sakamoto, T., Artificial chemical weathering of plagioclase under earth surface conditions, *Goldschmidt 2008*.

Cloud, P. (1972) A working model of the primitive Earth. *Amer. J. Sci.*, 272, 537-548.

Hattori, K., Campbell, F.A. and Krouse, H.R. (1983): Sulphur isotope abundances in Archean clastic rocks: Implications for the coeval atmosphere. *Nature*, 302, 323-326.

鑛山明希子 安藤珠美 一安采子 猶原順 小林祥一, 原生代初期低酸素環境下における玄武岩の風化変質と海水の化学組成

との関係, 資源地質学会第64回年会講演会, 2014. 6.26, 東京

Kobayashi, S and Sakamoto, T., Artificial weathering of granite under earth surface conditions, *Clay Science*, 11, 2001, 349-367

Kobayashi, S., Sakamoto, T. and Kakitani, S., Effect of acid rain on granitic building stone, *Proceed. 7th International Associ. Engineer. Geology*, 5, 1994, 3651-3658

小林祥一、坂本尚史、柿谷悟, 地表条件下における花崗岩の人工変質、*粘土科学*, 33, 1994, 81-91

Kobayashi, S., Sakamoto, T. and Yamaguchi, K., Artificial weathering of gabbro under earth surface conditions, *Clay Science* 12, 2005, 367-377

Ohmoto, H. (1996) Evidence in pre-2.2 Ga paleosols for the early evolution of atmospheric oxygen and terrestrial biota. *Geology*, 24, 1135-1138.

Owen, T., Cess, R.P. and Ramanathun, V. (1979): Enhanced CO₂ greenhouse to compensate for reduced solar luminosity on early Earth. *Nature*, 277, 640-642.

Rieder, R., Economou, T. et al. (他6人), The Chemical Composition of Martian Soil and Rocks Returned by the Mobile Alpha Proton X-ray Spectrometer: Preliminary Results from the X-ray Mode, *Science*, 278, 1997, 1771-1774

鹿園直建, 炭酸塩 - 珪酸塩平衡から推定した初期地球大気中の二酸化炭素分圧. *日本惑星科学会誌*, 6, 1997, 186-195

Sleep NH, Zahnle K (2001) Carbon dioxide cycling and implications for climate on ancient Earth. *J Geophys Res* 106:1373-1399.

Tajika, E. and Matsui, T. (1993) Degassing history and carbon cycle: From an impact-induced steam atmosphere to the present atmosphere. *Lithos*, 30, 267-280.

Tomita, T., Kobayashi, S. and Sakamoto, T., Alteration of gabbroic building stone by artificial acid rains. 13th International Clay Conference Abstract, 2005, 103-104

Tomita, T., Kobayashi, S. and Sakamoto, T., Alteration process of gabbroic building stone by CO₂ saturated water. 19th General Meeting of the International Mineralogical Association Abstract, 2006, 265

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)

Ando, T., Kanayama, A., Kobayashi, S., Miyawaki, R., Kishi, S., Tanabe, M. and Kusachi, I. Roweite from the Fuka mine, Okayama Prefecture, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 査読有, 110, 2015, 29-34. DOI: 10.2465/jmps.140729

S. Kobayashi, Review: Mineral resource and its geological occurrence. *Journal of the Technical Association of Refractories, Japan*, 査読無, 35, 2015, 222 - 230. Review URL: <http://scpj.tulips.tsukuba.ac.jp/detail/journal/id/J000129>

Ohtani, T., Kusano, Y., (他 4 人で 2 番目), Pre-milling effects on self-propagating reactions in mechanochemical synthesis of CdSe and ZnSe. *Chemical Letters*, 査読有, 44, 2015, 1234-1236. URL: <http://www.journal.csj.jp/chem-lett>

Kobayashi, S., Ando, T., Kanayama, A., Tanabe, M., Kishi, S. and Kusachi, I. Calciborite from the Fuka mine, Okayama Prefecture, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Science*, 査読有, 109, 13-17, 2014. DOI: 10.2465/jmps.130619

Stability of □”-Fe₁₆N₂ in hydrogenous atmospheres, S. Yamamoto, R. Gallage, S. Isoda, Y. Ogata, Y. Kusano, (他5人で4番目) *Chem. Comm.*, 50, 2014 7040-7043. DOI: 10.1039/c4cc01839g

Kobayashi, S., Miyawaki, R., Momma, K., Fujisawa, A. and Kaneda, H., Anisotropic garnet from the Yamansu ore deposit, Xingiang, China. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 査読有, 108, 245-254, 2013. DOI: 10.2465/jmps.120927

Ohnishi, M., Shimobayashi, N., Kishi, S., Tanabe, M. and Kobayashi, S., Talmessite from the Uriya deposit at the Kiura mining area, Oita Prefecture, Japan. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 査読有, 108, 116-120, 2013. DOI: 10.2465/jmps.121022g

鉱物資源とその産状. 小林祥一, *耐火物*, 査読無, 65, 153-160, 2013.

Kusahi, I., Kobayashi, S. Takechi, Y., Nakamuta, Y., Nagase, T., Yokoyama, K., Momma, K., Miyawaki, R., Shigeoka, M. and Matsubara, S., Shimazakiite-4M and shimazakiite-4O, Ca₂B₂O₅, two polytypes of a new mineral from Fuka, Okayama Prefecture, Japan. *Mineralogical Magazine*, 査読有, 77, 93-105, 2013. DOI: 10.1180/minmag.2013.077.1.09

Hashimoto, H., Itadani, A., Kudoh, T., Kusano, Y. (他 9 名で 7 番目), Nanomicro-meter-architectural acidic silica prepared from iron oxide of leptothrix ochracea origin. *ACS Applied Materials Inter.*, 査読有, 5, 5194-5200, 2013. URL: <http://pubs.acs.org/journal/aamick>

Kobayashi, S., Aierken Sidike and Yamashita, N., Luminescence spectra of chabazite-Ca, a zeolite mineral. *Physics and Chemistry of Minerals*, 査読有, 39, 465-470, 2012. DOI: 10.1007/s00269-012-0200-5

大西政之・下林典正・小林祥一・島根県銅ヶ丸鉱山および滋賀県御池鉱山産ハイドロウッド石の化学組成. *岩石鉱物科学*, 査読有, 41, 122-128, 2012. DOI: 10.2465/gkk.120329

Hashimoto, H., Fujii, T., Kohara, S., Asaoka, H., Kusano, Y., (他 5 名で 5 番目), Amorphous structure of iron oxide of bacterial origin. *Materials Chemistry and Physics*, 137, 571-575, 2012. URL: <http://www.journals.elsevier.com/materials-chemistry-and-physics>

Hashimoto, H., Fujii, T., Nakanishi, M., Kusano, Y., (他 2 名で 4 番目), Synthesis and magnetic properties of magnetite-silicate nanocomposites derived from iron oxide of bacterial origin. *Materials Chemistry and Physics*, 136, 2012. URL: <http://www.journals.elsevier.com/materials-chemistry-and-physics>

[学会発表](計 27 件)

Kobayashi, S., Kanayama, A. and Naohara, J., Relation between chemical composition of seawater and weathering of basalt under the low oxygen condition in early stage of Proterozoic era. *Goldschmidt 2015, August 16-21, 2015, 「Prague (Czech)」*

鑛山明希子・高橋由希子・一安采子・猶原順・小林祥一, 原生代初期低酸素環境下での玄武岩の風化に伴う溶脱元素と海水の化学組成, 資源地質学会第 64 回年会講演会, 2015 年 6 月 25-26 日, 「東京大学小柴ホール(東京都文京区)」

一安采子・水口まりや・小林祥一・猶原順・北岡豪一, 火山ガラス-水系反応が温泉の泉質に及ぼす影響, 第 68 回日本温泉科学会大会, 2015 年 9 月 10 日, 「ほほえみの宿滝之湯(山形県天童市)」

林綾華・千本悠加・小林祥一・草地功・岸成具・田邊満雄, 岡山県高梁市布賀鉱山産 kurchatovite, 日本鉱物科学会 2015 年年会, 2015 年 9 月 26 日, 「東京大学本郷キャンパス小柴ホール(東京都文京区)」

Kobayashi, S., Ando, T., Kanayama, A. and Kusachi, I., Metaborate minerals

form the Fuka mine, Okayama prefecture, Japan. 21th General meeting of the International Mineralogical Association, September 1-5, 2014, 「Johannesburg (S. Africa)」

安藤珠美・林綾華・鑛山明希子・小林祥二・草地功・岸友具・田邊満雄, 岡山県高梁市布賀鉾山産 Pricerite, 日本鉱物科学会 2014 年年会, 2014 年 9 月 17 日, 「熊本大学黒髪北キャンパス(熊本市)」

鑛山明希子・安藤珠美・一安采子・小林祥二・猶原順・北岡豪一, 斜長石 水系反応が温泉の泉質に及ぼす影響, 第 67 回日本温泉科学会大会, 2014 年 9 月 6 日, 「三朝温泉三朝町国民宿舎(鳥取県三朝町)」

一安采子・鑛山明希子・安藤珠美・小林祥二・猶原順・北岡豪一, 酸性泉による黒曜岩の風化に関する実験的研究, 第 67 回日本温泉科学会大会, 2014 年 9 月 6 日, 「三朝温泉三朝町国民宿舎(鳥取県三朝町)」

鑛山明希子・安藤珠美・一安采子・猶原順・小林祥二, 原生代初期低酸素環境下における玄武岩の風化変質と海水の化学組成との関係, 資源地質学会第 64 回年会講演会, 2014 年 6 月 26 日, 「東京大学小柴ホール(東京都文京区)」

鑛山明希子・一安采子・安藤珠美, 酸性の降雨が火山ガラスに与える影響に関する実験的研究, 第 13 回瀬戸内海流域水文研究会, 2014 年 3 月 8 日, 「岡山理科大学(岡山市)」

鑛山明希子・藤高志帆・安藤珠美・猶原順・小林祥二, 初期地球環境下における玄武岩の風化変質と海水の化学組成との関係, 資源地質学会第 63 回年会講演会, 2014 年 6 月 26 日, 「東京大学小柴ホール(東京都文京区)」

鑛山明希子・藤高志帆・安藤珠美・猶原順・小林祥二, 初期地球環境下における玄武岩の風化変質と海水の化学組成との関係, 資源地質学会第 63 回年会学術講演会, 2013 年 6 月 26-28 日, 「東京大学小柴ホール(東京都文京区)」

安藤珠美・鑛山明希子・小林祥二・岸成具・草地功, 岡山県人形峠産 autunite シリーズについて, 日本鉱物科学会 2013 年年会, 2013 年 9 月 10-13 日, 「筑波大学(茨城県つくば市)」

Kobayashi, S., Fujitaka, S., and Naohara, J., Artificial chemical weathering of basaltic rock under the earth surface conditions of the Proterozoic era. 34th International Geological Congress, August 5-10, 2012, 「Brisbane (Australia)」

門馬綱一・草地功・小林祥二・武智泰史・中牟田義博・長瀬敏郎・横山一巳・宮脇律郎・重岡昌子・松原聡・島崎石(shimazakiite)のポリタイプの結晶構造。

日本鉱物科学会 2012 年年会、2012 年 9 月 19-21, 「京都大学(京都市)」

藤高志帆・鑛山明希子・小野坂侑香・小林祥二・猶原順, 初期地球環境下での降雨による玄武岩質岩の風化変質。日本鉱物科学会 2012 年年会、2012 年 9 月 19-21, 「京都大学(京都市)」

小林祥二・大谷和磨・安藤珠美・草地功・田邊満雄, 岡山県高梁市布賀鉾山産 calciborite。日本鉱物科学会 2012 年年会、2012 年 9 月 19-21, 「京都大学(京都市)」

小林祥二・戸田雄大・玉置みさき・草地功・岸成具・田邊満雄, 岡山県高梁市布賀鉾山産 roweite。日本鉱物科学会 2012 年年会、2012 年 9 月 19-21, 「京都大学(京都市)」

大西政之・下林典正・岸成具・田邊満雄・小林祥二・大分県木浦鉾山地域産タルメツシ石。日本鉱物科学会 2012 年年会、2012 年 9 月 19-21, 「京都大学(京都市)」

小林祥二・鉾物資源とその産状。第 72 回原料専門委員会(招待講演)、2012 年 9 月 7 日, 「岡山セラミックセンター(岡山県備前市)」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 祥一 (KOBAYASHI, Shoichi)
岡山理科大学・理学部・教授
研究者番号: 20109739

(2) 研究分担者

坂本 尚史 (SAKAMOTO, Takabumi)
千葉科学大学・危機管理学部・教授
研究者番号: 60098580

草野 圭弘 (KUSANO, Yoshihiro)
倉敷芸術科学大学・芸術学部・教授
研究者番号: 40279039

(3) 研究協力者

金田 博彰 (KANEDA, Hiroaki)
東京大学名誉教授