

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2016

課題番号：25707038

研究課題名(和文)地球史を通じた大気海洋二酸化炭素濃度変動

研究課題名(英文) Secular change of CO₂ levels in the atmosphere and ocean through the Earth history

研究代表者

渋谷 岳造 (SHIBUYA, Takazo)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・深海・地殻内生物圏研究分野・研究員

研究者番号：00512906

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,900,000円

研究成果の概要(和文)：地球史を通じた大気海洋CO₂濃度変動を明らかにするために、世界12地域9つの時代の海洋底枕状溶岩の空隙を埋める熱水性石英中に保存されている流体包有物の分析を行った。その結果、太古代前期から中期においては暗い太陽を補うことができるだけの大気CO₂による温室効果があったこと、太古代後期から原生代前期かけて大気海洋CO₂濃度が劇的に減少したことが明らかになった。さらに、この太古代後期に始まった大気海洋CO₂濃度の減少が地球史最初の超大陸の形成と分裂に関係している可能性、さらに、このCO₂濃度の減少が22億年前まで続き全球凍結を引き起こした可能性を初めて地質記録に基づき示すことができた。

研究成果の概要(英文)：To reconstruct the secular change of CO₂ levels in the atmosphere and ocean through the Earth history, we analyzed fluid inclusions retained in hydrothermal quartz deposits that precipitated within open spaces of oceanic pillow lavas from 12 areas with 9 ages in the world. As a result, we revealed that sufficient greenhouse effect was maintained by the atmospheric CO₂ to compensate the faint young sun in the early to middle Archean and that CO₂ levels in the atmosphere and ocean drastically decreased from the late Archean to the early Proterozoic. These results suggest that the decrease in CO₂ levels in the atmosphere and ocean was caused by the first appearance of the supercontinent and its breakdown and that the drastic drawdown of CO₂ levels lasted until 2.2 Ga and likely triggered the global glaciation.

研究分野：地質学、地球化学

キーワード：地球史 流体包有物 大気 海洋 二酸化炭素

1. 研究開始当初の背景

CO₂は地球表層の炭素循環において重要な役割を担っているだけでなく、大気において温室効果を持つため、地球表層の平均気温を大きく左右する。20億年前以前においては、太陽輝度が現在の約80%以下であるため、地球表層は海水が凍りつくほど寒冷であったと予測されているが、太古代の地質記録は38億年前から地球上に液体の海洋が存在していたことを示している。この矛盾(暗い太陽のパラドックス: Sagan and Mullen, 1972)を説明するために、太古代の大気は現在に比べて100~10,000倍程度もCO₂に富んでいたとする仮説が提唱されている(Kasting, 1993; Sleep and Zhanle, 2004)。一方、これまでわずかに報告されている地質記録としては、古土壌の風化条件(Rye et al., 1995)、鉄に富む炭酸塩岩の沈殿条件(Ohmoto et al., 2004)、蒸発岩の形成条件(Lowe and Tice, 2004)があるが、これらはCO₂分圧が現在の100倍より高いか低いかのみを議論したものであった。また、河川性礫の風化条件(Hessler et al., 2004)については、当時の温度次第でCO₂分圧の下限値が3桁も変わるものであった。このように、未だ大気CO₂分圧の「変動」についてはほとんど制約がない状態である。

2. 研究の目的

海底に噴出した枕状溶岩の空隙(インターピローキャピティ、ドレイネージキャピティ)を埋める熱水性石英中には、海底下で石英が沈殿した時の熱水が流体包有物として捕獲されている(Gutzmer et al., 2003; Foriel et al., 2004など)。本研究課題では、研究代表者を中心とするグループが約8年かけて収集してきた世界12地域9つの年代の熱水性石英試料を用いて、海水CO₂濃度変動を明らかにし、海洋大気平衡を仮定し大気CO₂分圧変動を推定することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究課題では上記の目的を達成するために以下の方法で研究を行った。

(1) 岩石学的記載

熱水性石英試料の薄片を作成し、流体包有物の産状から初生的流体包有物と二次的流体包有物の存在比を見積もり、保存状態の良い試料を選定した。

(2) 冷却加熱実験

冷却加熱ステージを装着した顕微鏡観察に基づき、流体包有物の均質化温度と氷点温度を測定した。これにより石英の形成温度、流体の塩濃度を見積った。

(3) 真空破碎抽出・CO₂濃度分析

真空中で石英を破碎し、流体を抽出した。液体窒素温度でH₂OとCO₂を回収し、ドライアイスエタノールを用いてそれらを分離後、

圧力計でそれぞれの物理量を決定した。これにより流体包有物のCO₂濃度を得た。

(4) アルゴン同位体比分析

上述の真空ラインにオンラインで接続した四重極型質量分析系でアルゴン同位体比(⁴⁰Ar/³⁶Ar)を測定し、マントルガスの寄与を定量的に見積もった。

(5) 炭素同位体比分析

分離したCO₂をガラスチューブに回収し、同位体質量分析計で炭素同位体比を測定した。有機物分解起源のCO₂の寄与を定量的に見積もった。

(6) 海水CO₂濃度推定

上述のデータから海水、マントル、有機物、二次的流体包有物のミキシングトレンドを明らかにし、海水組成端成分のCO₂濃度を推定した。

(7) 炭酸塩鉱物分析

流体包有物のCO₂濃度及び炭素同位体比は、熱水性石英の周囲の玄武岩の炭酸塩鉱物の量及びその炭素同位体比にも反映されると予想されるため、玄武岩中の炭酸塩鉱物の量と炭素同位体比分析を行った。

4. 研究成果

(1) 岩石学的記載

岩石学的記載から世界12の地域(9つの時代)のうち、35億年前(南アフリカ・バートン地域)、32億年前(西オーストラリア・クリーバービル地域及びハニーイーター地域)、29億年前(南アフリカ・ポンゴラ地域)、26億年前(西オーストラリア・ハマスレー地域)、22億年前(南アフリカ・オンゲレック累層)、6億年前(イギリス・グーナ地域)及び古第三紀(東京都・小笠原村)の試料の保存状態が比較的良く(図1)、分析によりデータが得られる可能性が高いことが分かった。

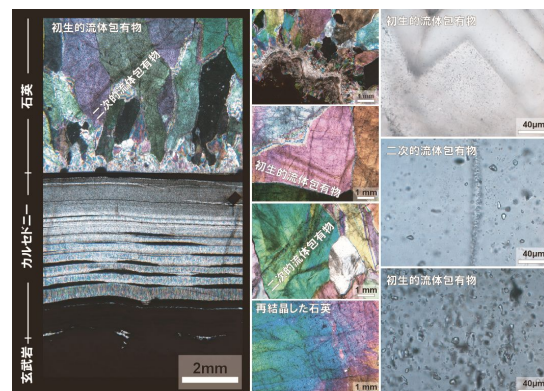


図1. 熱水性石英中流体包有物の産状。南アフリカ、オンゲレック地域の試料の例。

(2) 冷却加熱実験

両面鏡面研磨した石英試料の冷却加熱実

験を行い、流体包有物の均質化温度及び氷点測定を行った。古第三紀の試料については流体包有物が非常に小さく冷却加熱実験を行うことができなかつたものの、他の時代の保存状態の良い石英試料中の初生的流体包有物の均質化温度は70 から200 程度であり、海底熱水系で石英が沈殿したものと考えられる。氷点測定からは、6 億年前の試料は現在の海水と同程度の塩濃度の流体包有物を多く含んでいるのに対し、22 億年前以前の試料については現在の海水の2 倍以上という比較的塩濃度の高い流体包有物が多く含まれていることが明らかになった。これは、初期地球の海水の塩濃度が現在のものより高かったことを示している。

(3) 真空破碎抽出・CO₂ 濃度分析

真空破碎抽出真空ライン(図2)を用いて、真空中で石英を破碎し流体を抽出した後、流体包有物中の H₂O と CO₂ の量を測定した。その結果、35、32、29 億年前の試料の初生的流体包有物に富む試料は数 ~200 mmol/kg というバリエーションに富む CO₂ 濃度を持っていることが明らかになった。一方、22 億年前の試料のうち初生的流体包有物に富むものの CO₂ 濃度は約 50 mmol/kg 以下であり、おおよそ現在の海底熱水系の範囲に収まることが明らかになった。

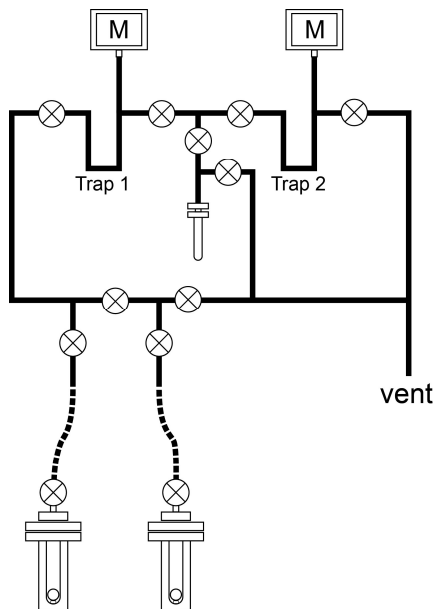


図2. 真空破碎抽出及び CO₂ 濃度分析に用いた真空ラインの概略図。

(4) アルゴン同位体分析

太古代の試料のアルゴン同位体比はおおむね数百から7000 程度であり、CO₂ 濃度が高い試料は1000 以下の低いアルゴン同位体比を持つ傾向があることがわかつた(図3)。現世の熱水系では、マンテルガスの寄与が大きい熱水ほどアルゴン同位体比と CO₂ 濃度とともに高くなる傾向を示すのに対し、太古代の試料は、マンテルガスの寄与の大きい試料

は CO₂ 濃度が低く、マンテルガスの寄与の小さい試料は CO₂ 濃度が高いという現世とは逆の傾向を示した。これは、現在の熱水中 CO₂ 濃度が海水 CO₂ 濃度より高いのに対し、太古代では、海水 CO₂ 濃度の方が熱水 CO₂ 濃度より高いことを示している。

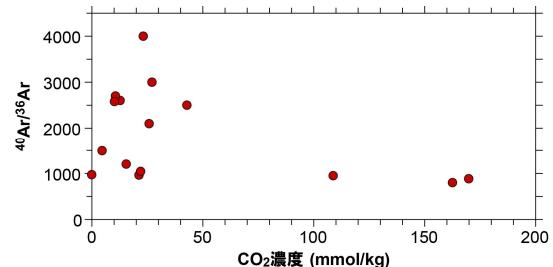


図3. 熱水性石英中流体包有物の CO₂ 濃度とアルゴン同位体比分析結果。35 億年前(南アフリカ、バーバートン地域)の試料の例。

(5) 炭素同位体比分析

真空ラインで定量した CO₂ の安定炭素同位体比を海洋研究開発機構所有の同位体比質量分析計を用いて測定した。太古代の試料については CO₂ 濃度が低いほど炭素同位体比が低くなる傾向を示した(図4)。アルゴン同位体比は、CO₂ 濃度の低い流体包有物が熱水端成分に近いことを示しており、熱水端成分の CO₂ の炭素同位体比が著しく低いことを意味している。これは、有機物分解起源の CO₂ が熱水中に含まれていることを示唆している。一方で、海水端成分は炭素同位体比が高いと予想されるため、海水の CO₂ 濃度は100 ~200 mmol/kg という現在よりも遥かに高い値であったと考えられる。

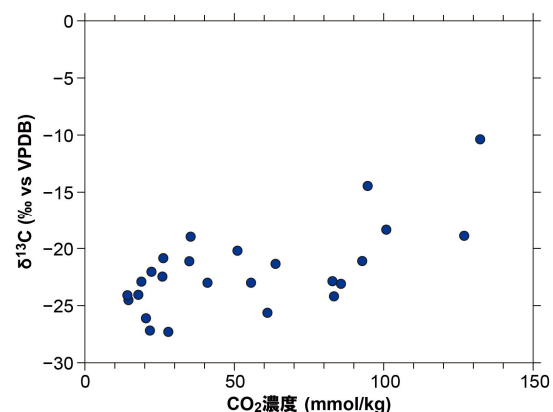


図4. 熱水性石英中流体包有物の CO₂ 濃度と炭素同位体比分析結果。32 億年前(西オーストラリア、ハニーイーター地域)の試料の例。

一方で、26 億年前、6 億年前、古第三紀の試料については、流体包有物の抽出量が少なく定量に至らない試料も多くあることがわかつた。また、流体を抽出できた場合も、CO₂ 濃度、炭素同位体比、アルゴン同位体比に相関は見られず、海水 CO₂ 濃度に定量的な制約を与えることはできなかつた。これは石英試

料の粒度が細かく流体包有物のサイズと量が分析には不十分であったことが原因と考えられる。

(6) 地球史を通じた大気海洋 CO₂ 濃度変動

以上の結果から、29 億年以前の海洋 CO₂ 濃度は現在の約 50 倍以上であり、それが 22 億年前の全球凍結時までには現在の 2.5 倍以下まで減少したことが明らかになった。さらに、太古代の高い海水 CO₂ 濃度は海洋が弱酸性であったことを示唆しており、海水の pH が 6 程度であった場合は大気 CO₂ 濃度が現在の 5000 倍以上であったと推定された。一方、22 億年前の海水 pH は 7 以上であり、当時の大気 CO₂ 濃度は現在の 20 倍以下であることも明らかになった。これにより、地球史を通じた大気海洋 CO₂ 濃度変動について初めて地質試料から制約を与えることができた。

(7) 玄武岩中炭酸塩鉱物分析

熱水性石英を保持する変質玄武岩の熱水変質作用についても分析・解析を行った。29 億年前以前の変質玄武岩は非常に強く炭酸塩化作用を受けており、特に、岩石中 CO₂ 濃度は現在の約 50 倍程度であることが明らかになった。一方で 22 億年前の玄武岩はほとんど炭酸塩鉱物を含まないことも明らかになった。これらのことは、流体包有物中の CO₂ 濃度とも調和的であり、本研究手法の妥当性を示すものである。

(8) まとめと今後の展望

この一連の結果から、太古代前期から中期においては暗い太陽を補うことができるだけの大気 CO₂ による温室効果があったこと、太古代後期から原生代前期かけて大気海洋 CO₂ 濃度が劇的に減少したことが明らかになった。さらに、この太古代後期に始まった大気海洋 CO₂ 濃度の減少が地球史最初の超大陸の形成と分裂に関係している可能性、さらに、この CO₂ 濃度の減少が 22 億年前まで続き、地球史最初の全球凍結を引き起こした可能性を初めて地質記録に基づき示すことができた。

本研究結果から、熱水石英中の流体包有物から当時の海水組成を復元できることが示された。したがって、本研究課題で対象とした CO₂ 以外の海水成分についても濃度や同位体比を定量的に復元することができると期待される。

< 引用文献 >

- Sagan, C. and Mullen, G. (1972) Earth and Mars: evolution of atmospheres and surface temperatures. *Science*, 177, 52–56.
- Kasting, J.F. (1993) Earth's early atmosphere. *Science*, 259, 920–926.
- Rye, R., Kuo, P.H. and Holland, H.D. (1995) Atmospheric carbon dioxide concentrations before 2.2 billion years ago. *Nature*, 378,

603–605.

Sleep, N.H. and Zahnle, K. (2001) Carbon dioxide cycling and implications for climate on ancient Earth. *Journal of Geophysical Research*, 106, 1373–1399.

Lowe, D.R. and Tice, M.M. (2004) Geologic evidence for Archean atmospheric and climatic evolution: Fluctuating levels of CO₂, CH₄, and O₂ with an overriding tectonic control. *Geology*, 32, 493–496.

Hessler, A.M., Lowe, D.R., Jones, R.L. and Bird, D.K. (2004) A lower limit for atmospheric carbon dioxide levels 3.2 billion years ago. *Nature*, 428, 736–738.

Ohmoto, H., Watanabe, Y. and Kumazawa, K. (2004) Evidence from massive siderite beds for a CO₂-rich atmosphere before ~1.8 billion years ago. *Nature*, 429, 395–399.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 1 件)

Saito, T., Shibuya, T., Komiya, T., Kitajima, K., Yamamoto, S., Nishizawa, M., Ueno, Y., Kurosawa, M. and Maruyama, S. (2016) PIXE and microthermometric analyses of fluid inclusions in hydrothermal quartz from the 2.2 Ga Ongeluk Formation, South Africa: Implications for ancient seawater salinity. *Precambrian Research*, 286, 337–351.

doi:10.1016/j.precamres.2016.10.003. 査読有

Shibuya, T., Russell, M. and Takai, K. (2016) Free energy distribution and hydrothermal mineral precipitation in Hadean submarine alkaline vent systems; importance of iron redox reactions under anoxic condition. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 175, 1–19.

doi:10.1016/j.gca.2015.11.021. 査読有

Saitoh, M., Ueno, Y., Isozaki, Y., Shibuya, T., Yao, J., Ji, Z., Shozugawa, K., Matsuo, M. and Yoshida, N. (2015) Authigenic carbonate precipitation at the end-Guadalupian (Middle Permian) in China: Implications for the carbon cycle in ancient anoxic oceans. *Progress in Earth and Planetary Science*, 2, 41.

doi:10.1186/s40645-015-0073-2. 査読有

Yoshiya, K., Sawaki, Y., Shibuya, T., Yamamoto, S., Komiya, T., Hirata, T. and Maruyama, S. (2015) *In-situ* iron isotope analyses of pyrites from 3.5 to 3.2 Ga sedimentary rocks of the Barberton Greenstone Belt, Kaapvaal Craton. *Chemical Geology*, 403, 58–73.

doi:10.1016/j.chemgeo.2015.03.007. 査読有

Hsu, H.-W., Postberg, F., Sekine, Y., Shibuya, T., Kempf, S., Horányi, M., Juhász, A., Altobelli, N., Suzuki, K., Masaki, Y.,

- Kuwatani, T., Tachibana, S., Sirono, S., Moragas-Klostermeyer, G. and Srama, R. (2015) Ongoing hydrothermal activities within Enceladus. *Nature*, 519, 207–210. doi:10.1038/nature14262. 査読有
- Usui, Y., Shibuya, T., Sawaki, Y. and Komiya, T. (2015) Rock magnetism of tiny exsolved magnetite in plagioclase from a Paleoproterozoic granitoid in the Pilbara craton. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 16, 112–125. doi:10.1002/2014GC005508. 査読有
- Morishita, T., Nakamura, K., Shibuya, T., Kumagai, H., Sato, T., Okino, K., Sato, H., Nauchi, R., Hara, K. and Takamaru, R., (2015) Petrology of peridotites and related gabbroic rocks around the Kairei hydrothermal field in the Central Indian Ridge. In: J. Ishibashi, K. Okino and M. Sunamura (Eds), *Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*. Springer Japan, Tokyo, pp. 177–193. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-4-431-54865-2_14. 査読有
- Kato, S., Suzuki, K., Shibuya, T., Ishibashi, J., Ohkuma, M. and Yamagishi, A., (2015) Experimental assessment of microbial effects on chemical interactions between seafloor massive sulfides and seawater at 4 °C. In: J. Ishibashi, K. Okino and M. Sunamura (Eds), *Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*. Springer Japan, Tokyo, pp. 95–103. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-4-431-54865-2_9. 査読有
- Suzuki, K., Shibuya, T., Yoshizaki, M. and Hirose, T., (2015) Experimental hydrogen production in hydrothermal and fault systems: Significance for habitability of subseafloor H₂ chemoautotroph microbial ecosystems. In: J. Ishibashi, K. Okino and M. Sunamura (Eds), *Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*. Springer Japan, Tokyo, pp. 87–94. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-4-431-54865-2_8. 査読有
- Suzuki, K., Kato, S., Shibuya, T., Hirose, T., Fuchida, S., Kumar, Y.R., Yoshizaki, M., Masaki, Y., Nakamura, K., Kobayashi, K., Masuda, H., Yamagishi, A. and Urabe, T., (2015) Development of hydrothermal and frictional experimental systems to simulate sub-seafloor water–rock–microbe interactions. In: J. Ishibashi, K. Okino and M. Sunamura (Eds), *Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems; TAIGA Concept*. Springer Japan, Tokyo, pp. 71–85. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-4-431-54865-2_7. 査読有
- Sekine, Y., Takano, Y., Yano, H., Funase, R., Takai, K., Ishihara, M., Shibuya, T., Tachibana, S., Kuramoto, K., Yabuta, H., Kimura, J. and Furukawa, Y. (2014) Exploration of Enceladus’ water-rich plumes toward understanding of chemistry and biology of the interior ocean. *Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, Aerospace Technology Japan*, 12, Tk 7–Tk 11. <https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/2613>. 査読有
- Ishibashi, J., Noguchi, T., Toki, T., Miyabe, S., Yamagami, S., Onishi, Y., Yamanaka, T., Yokoyama, Y., Omori, R., Takahashi, Y., Hatada, K., Nakaguchi, J., Yoshizaki, M., Konno, U., Shibuya, T., Takai, K., Inagaki, F. and Kawagucci, S. (2014) Diversity of fluid geochemistry affected by processes during fluid upwelling in active hydrothermal fields in the Izena Hole, the middle Okinawa Trough back-arc basin. *Geochemical Journal*, 48, 357–369. https://www.jstage.jst.go.jp/article/geochemj/48/4/48_2.0311/_article. 査読有
- Russell, M.J., Barge, L., Bhartia, R., Bocanegra, D., Bracher, P., Branscomb, E., Kidd, R., McGlynn, S., Meier, D.H., Nitschke, W., Shibuya, T., Vance, S., White, L. and Kanik, I. (2014) The drive to life on wet and icy worlds. *Astrobiology*, 14, 308–343. doi: 10.1089/ast.2013.1110. 査読有
- 渋谷岳造 (2013) 初期地球の海底熱水系に関する地質学的、地球化学的研究. *地球化学* 47, 193–207. doi:10.14934/chikyukagaku.47.193. 査読有
- Shibuya, T., Yoshizaki, M., Masaki, Y., Suzuki, K., Takai, K. and Russell, M.J. (2013) Reactions between basalt and CO₂-rich seawater at 250 and 350 °C, 500 bars: implications for the CO₂ sequestration into the modern oceanic crust and the composition of hydrothermal vent fluid in the CO₂-rich early ocean. *Chemical Geology*, 359, 1–9. doi:10.1016/j.chemgeo.2013.08.044. 査読有
- Shibuya, T., Tahata, M., Ueno, Y., Komiya, T., Takai, K., Yoshida, N., Maruyama, S. and Russell, M.J. (2013) Decrease of seawater CO₂ concentration in the Late Archean: An implication from 2.6 Ga seafloor hydrothermal alteration. *Precambrian Research*, 236, 59–64. doi:10.1016/j.precamres.2013.07.010. 査読有
- Kawagucci, S., Miyazaki, J., Nakajima, R., Nozaki, T., Takaya, Y., Kato, Y., Shibuya, T., Konno, U., Nakaguchi, Y., Hatada, K.,

Hirayama, H., Fujikura, K., Furushima, Y., Yamamoto, H., Watsuji, T., Ishibashi, J. and Takai, K. (2013) Post-drilling changes in fluid discharge pattern, mineral deposition, and fluid chemistry in the Iheya North hydrothermal field, Okinawa Trough. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14, 4774–4790.

doi:10.1002/2013GC004895. 査読有

Aoki, K., Windley, B., Sato, K., Sawaki, Y., Kawai, T., Shibuya, T., Kumagai, H., Suzuki, K. and Maruyama, S. (2013) Chemical composition and K–Ar age of Phengite from Barrovian metapelites, Loch Leven, Scotland. *The Journal of the Geological Society of Japan*, 119, 437–442.

doi:10.5575/geosoc.2013.0012. 査読有

Nishizawa, M., Koba, K., Makabe, A., Yoshida, N., Kaneko, M., Hirao, S., Ishibashi, J., Yamanaka, T., Shibuya, T., Kikuchi, T., Hirai, M., Miyazaki, J., Nunoura, T. and Takai, K. (2013) Nitrification-driven forms of nitrogen metabolism in microbial mat communities thriving along an ammonium-enriched subsurface geothermal stream. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 113, 152–173.

doi:10.1016/j.gca.2013.03.027. 査読有

Kon, Y., Komiya, T., Anma, R., Hirata, T., Shibuya, T., Yamamoto, S. and Maruyama, S. (2013) Petrogenesis of the ridge subduction-related granitoids from the Taitao Peninsula, Chile Triple Junction Area. *Geochemical Journal*, 47(2), 167–183.

https://www.jstage.jst.go.jp/article/geochemj/47/2/47_2.0251/_article. 査読有

- ② Kato, S., Shibuya, T., Nakamura, K., Suzuki, K., Rejishkumar, V.J. and Yamagishi, A. (2013) Elemental dissolution of basalts with ultra-pure water at 340 °C and 40MPa in a newly developed flow-type hydrothermal apparatus. *Geochemical Journal*, 47, 89–92. https://www.jstage.jst.go.jp/article/geochemj/47/1/47_2.0240/_article/-char/ja/. 査読有

[学会発表](計10件)

Shibuya T., Ueno Y., Komiya T., Nishizawa M., Kitajima K., Yamamoto S., Saito T., Matsui Y., Kawagucci S., Takai K., Yoshida N., Maruyama S., Russell M. Atmospheric CO₂ Levels during the Pleoproterozoic Makganyene Glaciation. Goldschmidt2016, 2016年6月29日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市).

Saito T., Shibuya T., Komiya T., Nishizawa M., Maruyama S., Kurosawa M. Ancient Seawater Salinity Retained as Fluid Inclusions in Hydrothermal Quartz from the 2.2 Ga Ongeluk Formation, South Africa. Goldschmidt2016, 2016年6月29日, パシ

フィコ横浜(神奈川県・横浜市)

渋谷岳造, 上野雄一郎, 小宮剛, 西澤学, 北島宏輝, 山本伸次, 齋藤拓也, 松井洋平, 川口慎介, 高井研, 吉田尚弘, 丸山茂徳, Russell Michael. 原生代前期全球凍結時の大気 CO₂ 分圧. 2015年度日本地球化学会年会, 2015年9月16日, 横浜国立大学(神奈川県横浜市).

齋藤拓也, 渋谷岳造, 小宮剛, 丸山茂徳, 黒澤正紀. 22億年前南アフリカ-オンゲルック累層に産する熱水性石英中流体包有物を用いた PIXE 分析並びに氷点測定から読み解く当時の海水塩濃度. 日本地球惑星連合2016年大会, 2016年5月25日, 幕張メッセ(千葉県・千葉市).

Shibuya, T. Bioavailable energies in the hydrothermal systems on early Earth and Enceladus. Japanese-German Frontier of Science Symposium (JGFoS), 2014年10月31日, Bremen (Germany).

渋谷岳造. 地学的観点から、生命の起源海底熱水説. 日本進化学会第16回大阪大会, 2014年8月24日, 高槻現代劇場(大阪府・高槻市).

渋谷岳造, 上野雄一郎, 小宮剛, 西澤学, 北島宏輝, 山本伸次, 齋藤拓也, 高井研, 吉田尚弘, 丸山茂徳, ラッセルマイケル. 原生代前期全球凍結時の大気二酸化炭素分圧. 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年5月2日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市).

渋谷岳造, 関根康人, ラッセルマイケル, 高井研. エンセラダスと初期地球の熱水系における生命利用可能エネルギー分布. 日本地球惑星科学連合2014年大会, 2014年4月30日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市).

渋谷岳造, 関根康人, 高井研, ラッセルマイケル. エンセラダスと初期地球の熱水系生物利用可能エネルギー. 2013年度日本地球化学会年会, 2013年9月13日, 筑波大学(茨城県・つくば市).

渋谷岳造. 地球史を通じた海底熱水系に関する地質学的、地球化学的、実験的研究. 2013年度日本地球化学会年会, 2013年9月12日, 筑波大学(茨城県・つくば市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渋谷 岳造 (SHIBUYA, Takazo)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・深海・地殻内生物圏研究分野・研究員

研究者番号: 00512906

(2) 研究協力者

齋藤 拓也 (SAITO, Takuya)

東京工業大学・地球生命研究所・研究員

研究者番号: 50760617