

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月30日現在

機関番号：32661

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20340146

研究課題名（和文）太古代チャートの多種同位体と微量元素の地球化学：  
海洋環境と生命活動記録の解明研究課題名（英文）Isotope and trace element geochemistry of Archean chert：  
Deciphering the ancient oceanic environment and biological activity

研究代表者

山口 耕生（YAMAGUCHI KOSEI）

東邦大学・理学部・准教授

研究者番号：00359209

## 研究成果の概要（和文）：

豪北西部ピルバラ地域で採取された、約 34.6 億年前のチャートと約 32 億年前のチャート/BIF（縞状鉄鉱層）および黒色頁岩の陸上掘削試料を用いて、堆積当時の海洋環境および微生物活動を制約する研究を行い、以下の成果が得られた。約 34.6 億年のチャート試料中の主要元素と REE 存在量から海底熱水活動由来の鉄が深海で酸化された事、ケイ酸塩成分の酸素同位体組成からは堆積環境の温度は極めて高かった事、海水-熱水混合モデルからは当時の深海の溶存酸素は 64 $\mu$ g/kg(現在の量の 1%)以上だった事、がわかった。約 32 億年前の BIF データからも同様の結果が得られた。約 32 億年前の黒色頁岩の研究では、微生物による脱窒があった事、主にバクテリアからなる光合成主体の微生物活動が盛んだった事、局所的に嫌氣的な深海では硫酸還元が行われていた事、等がわかった。太古代中期の海洋は、全般的に酸化的であるが局所的に嫌気層が発達する現代の海洋とほぼ同様な構造を持っていた事がわかった。

## 研究成果の概要（英文）：

From multidisciplinary geochemical studies using the fresh drillcore samples of 3.46 Ga chert and 3.2 Ga chert/BIF/black shales, the following exciting results are obtained. Ferrous iron from hydrothermal venting was oxidized, most likely by dissolved oxygen, in the 3.46 Ga deep hot ocean that was influenced by hydrothermal activity. In the 3.2 Ga ocean, that was shown from our studies to have been very similar to the 3.46 Ga ocean, microbial denitrification, oxygenic photosynthesis, and sulfate reduction were all active. Our major conclusion is that the Mesoarchean ocean was generally oxic with local and temporal existence of anoxic water bodies. This study has far-reaching implications for the early co-evolution of microbial biosphere and surface environments of the Earth.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 20 年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
平成 21 年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
平成 22 年度	2,800,000	840,000	3,640,000
平成 23 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、層位・古生物学

キーワード：太古代、堆積岩、チャート、縞状鉄鉱層、黒色頁岩、安定同位体

## 1. 研究開始当初の背景

**概観** 非常に還元的(無酸素)とされる太古代の大気-海洋システムでは、酸化鉄に富んだ海底堆積物が形成されることはない。しかし、豪北西部のピルバラ地域の約 34.6 億年前のマーブルバーチャート (Marble Bar Chert: MBC) には、赤鉄鉱 (hematite) に富んだ赤色チャートが大規模に発達する。この大量の赤鉄鉱は、いつ形成されたのか?

(1) 約 34.6 億年前の還元的堆積環境で形成された菱鉄鉱(siderite:  $\text{FeCO}_3$ )や黄鉄鉱(pyrite:  $\text{FeS}_2$ )が、堆積後の酸化過程(現世での風化?)で酸化されて赤鉄鉱が形成したのか? その場合、現世風化の影響がない地下深部では、MBC は赤くならないはずである。

(2) 約 34.6 億年前の MBC の堆積環境が、大量の鉄酸化物を沈殿させるほど酸化的だったのか? 微生物活動は関与したのか?

MBC の赤鉄鉱の起源の解明は、地球表面環境の進化を考える上で非常に重要である。しかし、従来のように露頭採取試料を研究対象にする限り、現世風化の影響を完全に排除して堆積当時の情報を抽出する事は困難で、過去の論文の地球化学データの信頼性にも疑問が残る。

**陸上掘削** 以上の困難を克服するために、ABDP (Archean Biosphere Drilling Project) という日米豪国際共同陸上掘削が 2003~2004 年にかけて行われ (図 3)、現世の風化の影響が極微の高品質の MBC 試料の回収に成功した。非常に驚いた事に、地下 200~300m から回収された MBC 試料の色は、露頭の様子と全く同様で、赤鉄鉱に富む赤色チャートであった。

次に、異なる時代の太古代海洋環境・生命活動を制約すべく、基盤研究 A (海外学術) (代表: 清川昌一) により、2007 年夏、ピルバラ地域北西部沿岸の Cleaverville 地域にて、約 32 億年前の Dixon Island 層の陸上掘削 (Dixon Island-Cleaverville Drilling Project: DXCL-DP) を成功裏に行った。この掘削においても、非常に良質な堆積岩試料 (チャート、縞状鉄鉱層、黒色頁岩) を回収できた。

**緊急性** 非常に残念な事に、ABDP と DXCL において高品質の試料の回収に成功しながら、大量の試料の各種地球化学分析を行う研究費が枯渇しており、研究が滞っているのが現状である。世界的な競争が激しい研究分野であるため、一刻も早く研究を完了し、論文発表する必要がある。

**研究のポテンシャル** チャートや縞状鉄鉱層等の化学堆積物には、堆積時の海水の情報が記録されている可能性が高い。特に、海水中を沈殿する鉄酸化物表面に吸着した微量・

希土類元素組成と、鉄酸化物の鉄と酸素/シリカの酸素の安定同位体組成・微量の有機物中の炭素と窒素の同位体組成・硫化物(黄鉄鉱等)の硫黄同位体組成・非質量依存の硫黄同位体組成は、海水の酸化還元状態や成層構造・海底の熱水活動の影響・海水温度や微生物生命活動等に関して、非常に重要な情報を持つ。

以上のデータより、MBC の赤鉄鉱の形成過程のみならず、約 34.6 億年前の MBC の堆積環境・海洋環境・生命活動などにおいて、約 32 億年前の DXCL 試料においても同様に、非常に重要な知見が得られる可能性が高い。

## 2. 研究の目的

本研究では、ABDP・DXCL の陸上掘削計画にて回収された太古代のチャート及び縞状鉄鉱層の試料を用いて、それぞれの赤鉄鉱の形成年代・形成過程を明らかにし、堆積場の海洋環境 (酸化還元状態・成層構造・海底熱水活動の影響・海水温度等) 及び微生物生命活動 (その有無・タイプ) を制約する事を目標とする。そして、太古代の大気環境の制約を目指す。

そのため、希土類元素・鉄/酸素/硫黄/炭素/窒素の安定同位体の生物地球化学に関する先駆的研究を展開する。以上の分析は、陸上掘削試料の詳細な岩相観察や岩石薄片の偏光/透過顕微鏡観察等の、地質学的基礎研究に基づくものである事を附記する。

## 3. 研究の方法

豪北西部ピルバラ地域で採取された、約 34.6 億年前のチャート・約 32 億年前のチャート/縞状鉄鉱層の陸上掘削による高品質試料を用いて、微量元素/希土類元素の地球化学、鉄/酸素/硫黄/炭素/窒素の安定同位体地球化学に関する研究を展開し、太古代の海洋環境と微生物生命活動の制約を目指す。

測定試料は、2003~07 年にピルバラ地域で陸上掘削された太古代中期の堆積年代の異なる 2 セットを用いる。[1] Pilbara 超層群・Warrawoona 層群・MBC 部層の約 34.6 億年前のチャート、および [2] 同 Pilbara 超層群上位・Cleaverville 層群・Dixon Island 層の約 32 億年前のチャート/縞状鉄鉱層である。

## 4. 研究成果

豪北西部ピルバラ地域で採取の約 34.6 億年前のチャートと約 32 億年前のチャート/BIF(縞状鉄鉱層)の陸上掘削試料を用いて、堆積当時の海洋の環境 (酸化還元状態・成層構造・海底熱水活動の影響・海水温度) および微生物生命活動を制約することが目的の

- 本研究の主な研究成果として、以下を挙げる。
- 1) 約 34.6 億年の MBC 試料の主要元素と REE 存在量から、海底熱水活動由来の鉄が深海で酸化された事がわかった。
  - 2) 同試料のケイ酸塩成分の酸素同位体比から、堆積環境での MBC 沈殿時の温度は極めて高かった事がわかった。
  - 3) 海水-熱水混合モデル計算より、本研究で得た様々なデータを説明するために、約 34.6 億年前の深海の溶存酸素は 64  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (現在の値の 1%) 以上であった事がわかった。
  - 4) 本結果は、熱水起源の鉄が約 34.6 億年前の深海で酸化されたとする点で、*Nature Geoscience* 誌に発表の Hoashi et al. (2009)の結果と調和的である。
  - 5) 約 34.6 億年前の MBC 試料の地球化学的特徴は、試料採取地での現代の風化では形成され得ず、堆積後の変成作用や熱水変質作用によっても形成され得ない。
  - 6) 約 32 億年前 BIF の主要元素と REE の存在量から、海底熱水活動由来の溶存鉄が深海で酸化された事がわかった。この結果は、上記の MBC 試料の結果と同様である。
  - 7) 約 32 億年前の DXCL 黑色頁岩の窒素の同位体組成から、脱窒が行われていた事がわかった。
  - 8) 約 32 億年前の DXCL 黑色頁岩の有機物の炭素同位体組成から、当時の海洋では、光合成を主体とする微生物活動が盛んであった事がわかった。
  - 9) 約 32 億年前の DXCL 黑色頁岩の有機物の FT-IR の結果から、当時の海洋では主にバクテリアからなる微生物群集が有機物を生産していたことがわかった。また、ラマン分光の結果から、全試料は均質で弱い熱変成を受けていることがわかった。
  - 10) 約 32 億年前の DXCL 黑色頁岩の硫黄の種別存在量とその安定同位体組成から、当時の海洋は深海が部分的に嫌氣的であり、そこでは微生物による硫酸還元が盛んであったことがわかった。
  - 11) 以上から、太古代中期の海洋は、全般的に酸化的で、部分的に嫌気層が発達するような、現代の海洋とほぼ同様な構造を持っていたことがわかった。これより、当時の大気は、従来の説とは異なって、ある程度酸化的であることもわかった。
  - 12) 以上の結果は、卒業論文 5 編、修士論文 5 編 (進行中の 4 編を含む)、*Science* 誌や *EPSL* 誌、*Island Arc* 誌などの査読付論文として発表し、極めて多数の(国際)学会で発表した。
  - 13) 本研究の成果を受け、2011 年 11 月には、豪北西部で約 32 億年前の堆積岩試料を

得るために再度の陸上掘削を行い。良質の掘削試料を得ることができた。

- 14) 本研究の採択から 1 年以内に大学へと転出したため、本研究費の一部を用いて研究環境の整備を行った。全面改装した研究室に微量元素の地球化学を行う上で必須となるクリーンルームを導入し、数々の分析ラインを構築した。

以上、十分な研究成果を上げられたと言える。今後もこの研究を継続して、太古代の海洋と大気の進化について理解を深めたい。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、分担者、連携研究者に下線)

[雑誌論文] (計 20 件)

- [1] Kiyokawa, S., Ito, T., Ikehara, M., Yamaguchi, K.E., Koge, S., and Sakamoto, R. (2012b) Lateral variations in the lithology and organic chemistry of a black shale succession of the Mesoarchean Dixon Island Formation in the coastal Pilbara Terrane, Western Australia: Influence by syndepositional hydrothermal activity. *Island Arc* 21, 118-147. [査読有り]  
doi:10.1111/j.1440-1738.2012.00811.x
- [2] Kiyokawa, S., Ninomiya, T., Oguri, K., Ito, T., Ikehara, M., Nagata, T., and Yamaguchi, K.E. (2012a) Effects of tides and weather on the sedimentation of iron-oxyhydroxides in a shallow-marine hydrothermal environment at Nagahama Bay, Satsuma Iwo-Jima Island, Kagoshima, southwest Japan. *Island Arc* 21, 66-78. [査読有り]  
doi:10.1111/j.1440-1738.2012.00808.x
- [3] Kato, Y., Fujinaga, K., Nakamura, K., Takaya, Y., Kitamura, K., Ohta, J., Toda, R., Nakashima, T. and Iwamori, H. (2011) Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/NNGEO1185. [査読有り]
- [4] Hashizume, K., Takahata, N., Naraoka, H., and Sano, Y. (2011) Extreme oxygen isotope anomaly with a solar origin detected in meteoritic organics. *Nature Geoscience* 4, 165-168. [査読有り]
- [5] Czaja, A.D., Johnson, C.M., Beard, B.L., Eigenbrode, J.L., Freeman, K.H., and Yamaguchi, K.E. (2010) Iron and carbon isotope evidence for ecosystem and environmental diversity in the ~2.7 to 2.5 Ga Hamersley Basin, Western Australia. *Earth and Planetary Science Letters* 292, 170-180. [査読有り]

- [6] Yamaguchi, K.E., Oguri, K., Ogawa, N.O., Sakai, S., Hirano, S., Kitazato, H., and Ohkouchi, N. (2010a) Geochemistry of modern carbonaceous sediments overlain by a water mass showing photic zone anoxia developed in the saline meromictic Lake Kai-ike, southwest Japan: I. Early diagenesis of organic carbon, nitrogen, and phosphorus. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 294, 72-82. [査読有り]
- [7] Yamaguchi, K.E., Sakamoto, R., Hosoi, K., Kiyokawa, S., Naraoka, H., Ikehara, M., and Ito, T. (2010b) Enrichment of molybdenum in Mesoproterozoic shales: A preliminary result of DXCL-DP (Dixon Island - Cleaverville Drilling Project), Pilbara, Western Australia. *Geological Survey of Western Australia, Record 2010/18*, 398-400. [査読無し]
- [8] Kiyokawa, S., Ito, T., Ikehara, M., Yamaguchi, K.E., Naraoka, H., Sakamoto, R., Koge, S., Hosoi, K., and Suganuma, Y. (2010) Mesoproterozoic hydrothermal oceanic sedimentation and environment: DXCL-Drilling West Pilbara, Australia. *Geological Survey of Western Australia, Record 2010/18*, 375-377. [査読無し]
- [9] Nagata, T., Kiyokawa, S., Sakamoto, R., Takehara, M., Ikehara, M., Oguri, K., Goto, S., Ito, T., and Yamaguchi, K.E. (2010) Hydrothermal activity and iron sedimentation in Nagahama Bay, Satsuma Iwojima Island, Kagoshima, Japan. *Geological Survey of Western Australia, Record 2010/18*, 378-379. [査読無し]
- [10] Sakamoto, R., Kiyokawa, S., Ito, T., Ikehara, M., Naraoka, H., Yamaguchi, K.E., and Suganuma, Y. (2010) Reconstruction of 3.2 Ga ocean floor environment from cores of DXCK Drilling Project, Pilbara, Western Australia. Results of stratigraphic analysis and sulfur isotope analysis. *Geological Survey of Western Australia, Record 2010/18*, 386-387. [査読無し]
- [11] Nozaki, T., Kato, Y., and Suzuki, K. (2010) Re-Os geochronology of the Imori Besshi-type massive sulfide deposit in the Sanbagawa metamorphic belt, Japan. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74, 322-331. [査読有り]
- [12] 鈴木勝彦, 加藤泰浩 (2010) Re-Os年代測定法による硫化物鉱床生成年代の直接決定とその応用. *資源地質* 60, 25-36. [査読有り]
- [13] Yamaguchi, K.E., Kiyokawa, S., Ito, T., Ikehara, M., Kitajima, F., and Suganuma, Y. (2009) Clues of Early Life: Dixon Island - Cleaverville Drilling Project (DXCL-DP) in the Pilbara Craton of Western Australia. *Scientific Drilling* 7, 34-37. [査読有り]
- [14] Yamaguchi, K.E. (2009) Box modeling to estimate the degree of water-rock interaction during the Paleoproterozoic Lateritization of the Hekpoort Basalt, South Africa. *Journal of Geochemical Exploration* 101, 118. [査読有り]
- [15] Kato, Y. and Isozaki, Y. (2009) Comment on "Evaluation of palaeo-oxygenation of the ocean bottom across the Permian-Triassic boundary" by Kakuwa (2008): Was the Late Permian deep-superocean really oxidic? *Global and Planetary Change* 69, 79-81. [査読有り]
- [16] Kato, Y., Suzuki, K., Nakamura, K., Hickman, A. H., Nedachi, M., Kusakabe, M., Bevacqua, D. C. and Ohmoto, H. (2009) Hematite formation by oxygenated groundwater more than 2.76 billion years ago. *Earth and Planetary Science Letters* 278, 40-49. [査読有り]
- [17] Tejada, M.L.G., Suzuki, K., et al. (2009) Ontong Java Plateau eruption as a trigger for the Early Aptian oceanic anoxic event. *Geology* 37, 855-858. [査読有り] DOI: 10.1130/G25763A.1.
- [18] Ishizaki, Y., Ohkushi, K., Ito, T., and Kawahata, H. (2008) Abrupt changes of intermediate-water oxygen in the northwestern Pacific during the last 27 kyr. *Geo-Marine Letters*. [査読有り] doi:10.1007/s00367-008-0128-0
- [19] 清川昌一, 稲本雄介, 伊藤孝, 池原実, 北島富美雄 (2008) 太古代海底熱水系の地質 1 : 南アフリカ・バーバートン帯中の33億年前マサウリ亜層の岩相と全有機炭素量および炭素同位体比. 茨城大学教育学部紀要 (自然) 57, 7-15. [査読無し]
- [20] 高下将一郎, 清川昌一, 伊藤孝, 池原実 (2008) 西オーストラリア・ピルバラ・デキソンアイランド層の地質-9:デキソンアイランド DX-A・D・E・F地域の地質. 茨城大学教育学部紀要 (自然) 57, 17-25. [査読無し]
- [学会発表] (計 73 件)  
(全 73 件中、24 件のみ記載)
- [1] Yamaguchi, K.E., Kobayashi, Y., Kobayashi, D., Nakamura, T., Ikehara, M., Sakamoto, R., Naraoka, H., Kiyokawa, S., and Ito, T. (2012) Biogeochemical cycling of C, N, S, and Fe and origin of organic matter recorded in the 3.2 Ga-old black shales. In *2<sup>nd</sup> International Geoscience Symposium -Record of oceanic environments through Earth history-*, National Taiwan Ocean University, Keelung,

- Taiwan, Mar. 5-9.
- [2] Ohmoto, H., Lasaga, A.C., Watanabe, Y., and Yamaguchi, K.E. (2011) Evidence for the fully-oxygenated oceans and atmosphere during the Archean eon. In *Geological Society of America, Annual Meeting*, Minneapolis, MN, USA, October 9-12.
- [3] 山口 耕生、清川 昌一、池原 実、伊藤 孝 (2011) Dixon Island-Cleaverville Drilling Projects (DXCL-DP) Phases 1 & 2 in northwestern Pilbara, Western Australia: Searching for clues in the co-evolution of microbial biosphere and environments in early Earth from 3.2 Ga old sedimentary rocks. 第4回アストロバイオロジー・ワークショップ、神戸大学、兵庫県神戸市、10月26-27日。[招待講演]
- [4] VanKranendonk, M.J., Lepland, A., and Yamaguchi, K.E. (2011) Freeze-fry cycles in the Paleoproterozoic Turee Creek Group, Western Australia. In *21st V.M. Goldschmidt Conference*, Pragh, Czech, Aug. 14-19.
- [5] Ohmoto, H., Watanabe, Y., Yamaguchi, K.E., Bevacqua, D.C., Johnson, I., and Rushton, T. (2011) Development of the modern-style geochemical cycle of uranium by 3.5 Ga: a solution to the “lead paradox”. In *21st V.M. Goldschmidt Conference*, Pragh, Czech, Aug. 14-19.
- [6] Yamaguchi, K.E., Kiyokawa, S., Ikehara, M., Suganuma, Y., and Ito, T. (2011a) Enrichment of Mo in the 3.2 Ga old Black Shales Recovered by DXCL-DP (Dixon Island-Cleaverville Drilling Project) in Pilbara, Western Australia. In *Origins 2011*, Montpellier, France, July 3-8.
- [7] 山口 耕生 (2011) 約25-27億年前の生態系と環境の多様性：鉄と有機炭素の安定同位体からの視点 (Ecosystem and environments 2.5-2.7 Ga ago: Geochemical Records from the Hamersley Basin, Western Australia) . 日本地球惑星科学連合 2011年大会、幕張メッセ、5月22-27日。
- [8] Yamaguchi, K.E., Kiyokawa, S., Naraoka, H., Ikehara, M., Ito, T., Suganuma, Y., Sakamoto, R., and Hosoi, K. (2010d) Molybdenum Enrichment in the 3.2 Ga old Black Shales Recovered by Dixon Island-Cleaverville Drilling Project (DXCL-DP) in Northwestern Pilbara, Western Australia. In *American Geophysical Union, Fall Meeting*, San Francisco, CA, USA, December 13-17.
- [9] Yamaguchi, K.E., Sakamoto, R., Hosoi, K., Kiyokawa, S., Naraoka, H., Ikehara, M., and Ito, T. (2010b) Enrichment of molybdenum in Mesoarchean black shales: A preliminary result of DXCL-DP (Dixon Island – Cleaverville Drilling Project), Pilbara, Western Australia. In *5<sup>th</sup> International Archean Symposium (SIAS)*, Perth, Australia, September 5-9.
- [10] 山口 耕生、Andy Czaja, Clark Johnson, Brian Beard, Jen Eigenbrode, Kate Freeman (2010b) 鉄と有機炭素の安定同位体組成から見た25～27億年前の生態系と環境の多様性. 日本地質学会第117年学術大会、富山大学、9月18-20日。
- [11] Yamaguchi, K.E., Kiyokawa, S., Ito, T., and Ikehara, M. (2010a) Discovery of 3.2 billion-years-old sulfidic black shales: A progress report of the Dixon Island-Cleaverville Drilling Project (DXCL-DP) in the Pilbara Craton, Western Australia. *Lunar and Planetary Institute (LPI) Contribution No. 1538*, 5199. In *Astrobiology Science Conference (AbSciCon) 2010*, League City, TX, USA, April 26-29.
- [12] Czaja, A.D., Johnson, C.M., Beard, B.L., Eigenbrode, J.L., Freeman, K.H., and Yamaguchi, K.E. (2010) Iron and carbon isotope evidence for ecosystem and environmental diversity in the ~2.7 to 2.5 Ga Hamersley Province, Western Australia. *Lunar and Planetary Institute (LPI) Contribution No. 1538*, 5175. In *Astrobiology Science Conference (AbSciCon) 2010*, League City, TX, USA, April 26-29.
- [13] Czaja, A.D., Johnson, C.M., Beard, B.L., Eigenbrode, J.L., Freeman, K.H., and Yamaguchi, K.E. (2009) Iron and carbon isotope evidence for ecosystem and environmental diversity in the ~2.7 to 2.5 Ga Hamersley Basin, Western Australia. In *Geological Society of America, Annual Meeting*, Portland, OR, USA, October 18-21.
- [14] Yamaguchi, K.E., Kato, Y., Nakamura, K., Suzuki, K., Watanabe, Y., Nedachi, M., and Ohmoto, H. (2009c) REE+Y geochemistry of the 3.46 Ga Marble Bar Chert recovered by the Archean Biosphere Drilling Project (ABDP). In *19th V.M. Goldschmidt Conference*, Davos, Switzerland, June 21-26, *Geochim. Cosmochim. Acta* **73**, A1469. [招待講演]
- [15] Johnson, C.M., Yamaguchi, K.E., Ohmoto, H., and Beard, B. (2009) Fe, S, and C isotopes record great microbial diversity in the Neoproterozoic. In *19th V.M. Goldschmidt Conference*, Davos, Switzerland, June 21-26. *Geochim. Cosmochim. Acta* **73**, A600 [招待講演]
- [16] 山口 耕生 (2009a) 初期原生代のラテライト形成と生命-水-鉄物相互作用. 日本地球惑星科学連合 2009年大会、幕張メッセ

セ、5月16-21日。

- [17] Yamaguchi, K.E. (2009b) Box modeling to estimate the degree of water-rock interaction during the Paleoproterozoic Lateritization of the Hekpoort Basalt, South Africa. In *Geofluids 2009*, Adelaide, Australia, April 15-18, p. 118.
- [18] Yamaguchi, K.E. (2009a) Laterite Formation in the Paleoproterozoic. In *International Geoscience Symposium "Precambrian World 2009"*, Fukuoka, March 6-8.
- [19] Yamaguchi, K.E. (2008b) Non-traditional stable isotope biogeochemistry of transition metals: A new tool for detecting biosignatures and constraining metabolism in modern subsurface environments and early Earth. In *8th International Symposium on Subsurface Microbiology (ISSM2009)*, Higashi Shizuoka, Japan, November 16-21.
- [20] 山口 耕生、加藤 泰浩、中村 謙太郎、鈴木 勝彦、根建 心具、Arthur Hickman、渡邊 由美子・大本 洋 (2008b) Archean Biosphere Drilling Project (ABDP) 試料による約34.6億年前のMarble Bar Chertの地球化学：鉄酸化物の形成プロセスと海洋の酸化還元状態。日本地質学会第115年学術大会、秋田大学、9月20-22日。
- [21] 山口 耕生, J. Valley, C. Johnson, B. Beard, J. Gutzmer, N.J. Beukes, H. Ohmoto. (2008a) 初期原生代「大気中酸度濃度急上昇イベント」の玄武岩に発達したラテライトの成因：鉄と酸素の同位体からの制約。日本地球化学会第55回年会、講演要旨集p. 424、東京大学、9月17-19日。
- [22] Yamaguchi, K.E. (2008a) The oldest laterite on Earth? Paleoproterozoic low-latitude lateritic weathering profile from Botswana. In *International Geological Congress (IGC) 2008*, Oslo, Norway, August 6-14.
- [23] Yamaguchi, K.E., Kato, Y., Nakamura, K., Suzuki, K., Watanabe, Y., Nedachi, M., and Ohmoto, H. (2008b) Geochemical evidence for oxygenated oceans 3.46 Ga ago: REE geochemistry of the Marble Bar Chert recovered by the Archean Biosphere Drilling Project (ABDP). In *Australian Earth Science Convention (AESC) 2008, New Generation Advances in Geoscience*, Abstract No. 89 of the 19<sup>th</sup> Australian Geological Convention, Perth, Western Australia, July 20-24.
- [24] Yamaguchi, K.E., Johnson, C.M., Beard, B.L., Poulson, S.R., and Ohmoto, H. (2008a) Coupled C-S-Fe isotope variations in Archean-Paleoproterozoic shales trace microbial metabolisms and redox state in the early Earth. *Astrobiology* **8**, 326. In *Astrobiology Science Conference (AbSciCon)*

2008, Santa Clara, CA, USA, April 14-17.

[図書] (計4件)

- [1] Yamaguchi, K.E. (2011) Paleosol. In *Encyclopedia of Astrobiology* (ed. M. Gargaud), p. 1211-1212, Springer.
- [2] 山口 耕生 (2012c) 地球史と鉱床形成, In *宇宙と地球の化学辞典*, 朝倉書店 (印刷中).
- [3] 山口 耕生 (2012b) 古土壌と大気進化, In *宇宙と地球の化学辞典*, 朝倉書店 (印刷中).
- [4] 山口 耕生 (2012a) 大気中酸素濃度上昇, In *宇宙と地球の化学辞典*, 朝倉書店 (印刷中).

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山口 耕生 (Kosei, Yamaguchi)

(東邦大学・理学部・准教授)

研究者番号：00359209

##### (2) 研究分担者

加藤 泰浩 (Kato, Yasuhiro)

(東京大学大学院・工学系研究科・教授)

研究者番号：40221882

鈴木 勝彦 (Suzuki, Katsuhiko)

(海洋研究開発機構・地球内部変動研究センター・グループリーダー)

研究者番号：70251329

清川 昌一 (Kiyokawa, Shoichi)

(九州大学大学院・理学研究院・准教授)

研究者番号：50335999

根建 心具 (Nedachi, Munetomo)

(鹿児島大学・理学部・教授)

研究者番号：10107849

##### (3) 連携研究者

奈良岡 浩 (Naraoka, Hiroshi)

(九州大学大学院・理学研究院・教授)

研究者番号：20198386

伊藤 孝 (Ito, Takashi)

(茨城大学・教育学部・教授)

研究者番号：10272098

池原 実 (Ikehara, Minoru)

(高知大学・海洋コア総合研究センター・准教授)

研究者番号：90335919