

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (海外学術調査)

研究期間：2014～2017

課題番号：26257211

研究課題名(和文)地球史海洋底断面復元プロジェクト：太古代から原生代への環境大変動解明

研究課題名(英文) Earth history ocean floor section reconstruction project: Elucidation of environmental changes from Archean to Proterozoic

研究代表者

清川 昌一 (Kiyokawa, Shoichi)

九州大学・理学研究院・准教授

研究者番号：50335999

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,500,000円

研究成果の概要(和文)：海底断面復元について、31億年前(オーストラリア・ピルバラ/Cleaveriville Formation: DXCL掘削)、23億年前(ガーナ・ビリミアン:GHB掘削)、18億年前(カナダ・トランスハドソン：鉱山コア)、7億年前(エジプト・東砂漠地域：陸上調査)の地層を選び、できるだけ精度の高い層序を復元し、新鮮な試料を取得してそれぞれの時代の地層断面を明らかにした。コアはそれぞれ200-400mの層序復元ができ、有機物を含む黒色頁岩に着目して、全炭素濃度や同位体、そこに含まれる黄鉄鉱から硫黄同位体の変動を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Understanding of the Archean - Proterozoic deepsea ocean environment, we pick up 4 location to understand sedimentary sequence of each other sequence. 3.1Ga Australia Pilbara, 2.3Ga Ghana Birimian greenstone belt. 1.8 Ga Trans Hadson orogeny at formation time of the north America. 0.7Ga Egypt greenstone which contains BIF within volcaniclastics. We did Scientific drilling at GHB of Ghana. It successfully got 195 m long volcanosedimentary sequence. This Ghana age is very important to understand when oxidation occur and affected oceanic sediment. We do chemical analysis but machine time is so tight. This work is still on going. Based on the thin section work, each sedimentary sequence well preserved sedimentary environment, but Oxygen effect is still hardly understood at bottom of ocean. At the early Proterozoic time, Oxygen level is still very low, however, biogenic activity well identified several places.

研究分野：地質学

キーワード：太古代 原生代 海底環境 酸素濃度 掘削コア

1. 研究開始当初の背景

太古代、原生代についての海底環境については露頭の欠如や陸上試料では分析ができないことなどから、鉱山や科学掘削による研究が重要であると言われてきた。特に原生代の気候変動などは浅い海底での研究が多くて、より深い海洋でどのような状態であったかは謎であり、これらの具体的な証拠からのアプローチが重要である。

2. 研究の目的

太古代、原生代の深海底模式柱状図を作成し、詳細な記載、化学分析、年代測定により、(1)深海底断面の高解像度層序、(2)化学層序柱状図を完成させ、太古代から原生代への地球環境変化の復元である。23億年前の大酸化事件(GOE)を鍵に、太古代から原生代の海洋底層序、堆積物の変化を明確にし、具体的な環境変化とその原因に迫る。堆積速度の違い、深海底堆積物に着目して、堆積速度、有機物の量比、C, S, O, Fe 同位体比の変動、微量元素変動、溶融宇宙塵混入層の分布、古地磁気変動を明らかにし、年代測定による海洋底の生存時間、海水温度、pHの変動、炭素、硫黄に着目した海底生物活動変動、化学組成からみた海洋環境変動、宇宙塵が記録する酸素大気情報、などを読み取り、GOE前後で変化する地球環境変動を復元する。

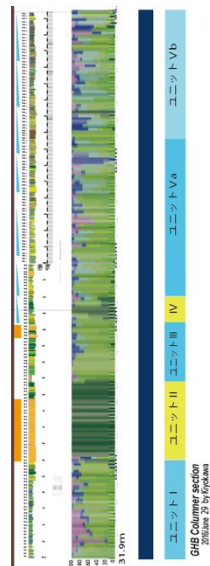
3. 研究の方法

(1)海洋底層序/断面図確立、(2)海洋底、大気環境復元、(3)宇宙塵が記録する大気組成を中心に、野外およびコア試料からの柱状図を作成し、詳細な記載より層序復元を行う。また、試料を採取し、薄片、年代測定、同位体分析、化学組成分析などを行い、それぞれの変動を読み取る。特に(1)詳細な柱状図、(2)年代取得可能地層の認定、(3)年代用試料の分析・ジルコン年代測定、のベースデータを整える。

4. 研究成果

(1)ガーナ:22億年前のプリミアン層の陸上掘削(GHB掘削)の成功:半割して現在記載中(図1)。コア中には火山砕屑岩から細粒黒色頁岩に移り変わる連続性のよい地層を取得できた。陸上調査にて貫入岩の年代が2260Maが出たことより、火山砕屑岩の堆積年代は23億年前頃の可能性が高くなった。

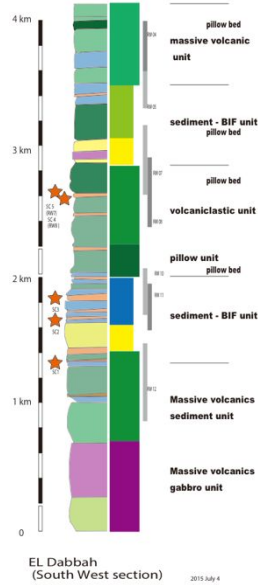
図1 ガーナ掘削 GHB コアの全体柱状図 全長195m



(2)エジプト:7億年前のグリーンストーン帯中の表層地層層序復元。全体の地質調査により今までわかっていなかったグリーンストーン内部の層序が明らかになってきた(図2)。

鉄沈殿層は火山岩層中に挟まれ、縞状鉄鉱層は薄い14層ほど確認できた。それぞれ枕状溶岩や火山砕屑岩の火成活動の休止期の細粒堆積層に見られる。黒色頁岩もみられることより、シアノバクテリアの酸素供給により酸化作用の可能性も示唆される。ただ、全球凍結を示す、ダイアミクタイトやドロップストーンなどは見つからない。

図2 エジプト東砂漠地域 EL Dabbah 地域のグリーンストーン帯中の柱状図。星印部分が鉄鉱層。



(3)カナダ:トランスハドソン帯中のフリントロンとケープスミスにおける原生代中期の海底層序復元であり、それぞれの鉱山が取得しているコアを分けてもらい、連続層序復元と海底環境変化を紐解いてきた。特にTS-07-01 コアに詳細な柱状図および黒色頁岩の炭素および硫黄分析を行った。

地層は非常に連続性の良いタービダイト層で、5-10cm厚の砂岩と数センチ程度の黒色頁岩層からなり、黒色部分について詳細に分析を行った。その結果、TOCに対して硫黄量が少ない淡水性の堆積物であることを突き止めた。これは原生代中期のトランスハドソン造山運動時

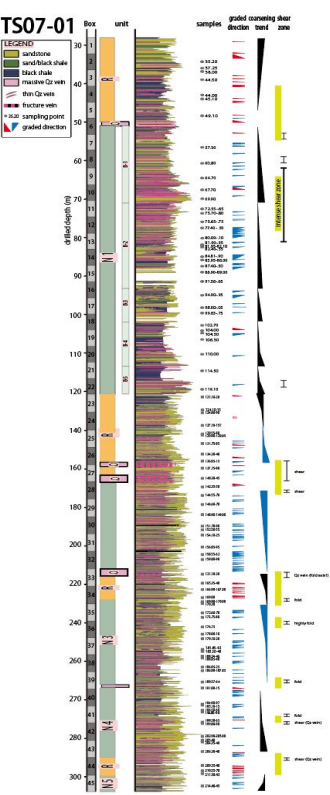


図3 TS07-01 コアの柱状図

の衝突帯中の横ずれ断層部分にバイカル湖様の湖が存在したことを示唆する。

また同トランスハドソン造山帯のうち北部のケープスミス帯について、ニッケル鉱山にて連続コアの取得ができた。ここではフリントと同様の砂岩と黒色頁岩の地層をみつけられ、上方細粒化のセクションが見いだされた。今までの分析ではこのセクションの炭素および硫黄同位体比は、黒色頁岩の量が増加するところで変動が確認され、陸源からの供給が少なくなる時に、海底は著しく嫌気性になっていることが明らかになってきた。これは表層のシアノバクテリアなどの遺骸



図4 ケープスミス帯 ニッケル鉱山内の新鮮な黒色頁岩と砂岩の互層

の分解によるもの可能性が指摘されている。

研究手法のうち(1)に関しては、柱状図の作成はほぼ完成したが、そこから始まる(2)の化学分析や年代測定に関しては、残念ながら科研費取得研究期間内では終わらなかった。分析をどのくらい詳細にやってみようか、どの精度で行って行くか、また、測定作業についても今後見直して、データセットがそのようなように努力する必要がある。

(3)の宇宙塵に関する研究であるが、コア試料の詳細な観察を行って来ているが、今のところそのような痕跡は見つかっていない。これについても、原生代の深海底層の地層は層序は残っているが、熱変成をうけており内容物が変化している可能性もある。今後の薄片観察や分析作業時に注意しながら、これらについても続けて明らかにしていく必要がある。

年代測定については、凝灰岩層の欠如で堆積時代を示す直接的な層序が発見されていない。また、可能性のありそうな火山砕屑岩は処理しているが、ジルコンの発見には至っていない。そのため、確実にジルコンが含まれる砂岩層からのミニマム年代測定を行っている。残念ながら SHRIMP は1年以上の待ち時間であり、今のところまだ地層堆積年代の絞り込みには時間を要している。

特に、太古代海洋から原生代海洋への移り変わりで、シアノバクテリアなどの生物の関与が議論されている。深海底はこの時代以前無酸素状態であるが、生物の有無によって使用する酸素分子の量が大きく異なる。海洋底に含まれる硫酸の量比の変化、硫酸と硫化水素のバランスなどが無酸素海洋における生物活動に大きく関わる。無酸素海洋における生態系や堆積作用について、また、徐々に参

加していく海洋状態の姿を確かめようとしている。

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 7 件)

1. 元村健人, 清川昌一, 伊藤孝, Dave PRICE (2018), 19 億年前の深海底堆積岩の特徴: カナダ, フリント帯における掘削コア TS07-01 の岩石記載 - 3, 茨城大学教育学部紀要 (自然科学), 67, 57-76, <http://hdl.handle.net/10109/13514> (査読無)
2. 鈴木大志, 清川昌一, 伊藤孝 (2018), 縞状鉄鉱層の EPMA 元素マッピング: エジプト東砂漠地帯エルダバア層鉄鉱層と他地域の鉄鉱層との比較. 茨城大学教育学部紀要 (自然科学), 第 67 号, 37-55. <http://hdl.handle.net/10109/13513> (査読無)
3. 吉丸 慧, 清川昌一, 伊藤孝, 堤之恭 (2017) ブラジル中生代の鉄鉱層: Espinhaço 超層群 Itapanhoacanga Formation の岩相層序と砕屑性ジルコン U-Pb 年代について, 茨城大学教育学部紀要 (自然科学), 第 66 号, 77-92. <http://hdl.handle.net/10109/13320> (査読無)
4. Kiyokawa S. and Ueshiba T., 2015. Rapid sedimentation of iron oxyhydroxides in an active hydrothermal shallow semi-enclosed bay at Satsuma Iwo-Jima Island, Kagoshima, Japan. Sedimentary Geology, 319, 98-113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.01.010> (査読有)
5. 三木翼, 清川昌一 2015. 総説「硫黄同位体を用いた太古代と古原生代の環境復元について」地球科学 69 巻 3 号 145-154. (査読有)
6. 倉富隆, 清川昌一 2015. 総説「鉄酸化バクテリアが関与した熱水環境の鉄酸化堆積物」地球科学 69 巻 3 号 155-164. (査読有)
7. Kiyokawa S., Koge S., Ito T., Ikehara M., 2014. An ocean-floor carbonaceous sedimentary sequence in the 3.2-Ga Dixon Island Formation, coastal Pilbara terrane, Western Australia. Precambrian Research, 255, 124-143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.09.014> (査読有)

[学会発表](計 76 件内 19)

1. Shoichi Kiyokawa, Taishi Suzuki, Minoru Ikehara, Kenji Horie, Mami Takehara, Hanna Abd-Elmonem Al-Dekouny Maher Dawoud and Mohamed Mahmoud El-Hasan. PP41B-1289 Sedimentary environment and tectonic deformations of the Neoproterozoic Iron formation at the Wadi El-Dabbah greenstone sequence, Central Eastern Desert, Egypt. AGU, New Orleans, 2017 Dec. 14.
2. 清川 昌一, 元村 健人, Bleeker Wouter, Price Dave . BPT05-1 カナダ/古原生代トランスハドソン変動帯に残された堆積盆の層序復元. JpGU-AGU Joint Meeting 2017 年 5 月 20-25 日
3. 清川 昌一, 元村 健人, Bleeker Wouter, Price Dave . BPT05-1 カナダ/古原生代トランスハドソン変動帯に残された堆積盆の層序復元. JpGU-AGU Joint Meeting 2017 年 5 月 20-25 日
4. Shoichi Kiyokawa, T. Ito, M. Ikehara, K. Yamaguchi, T. Onoue, K. Goto, T. Miki, S. Yoshimaru, S. Sakai, G. Tetteh, F. Nyame, Archean-Proterozoic Deeper Oceanic Environment: Pilbara (DXCL), Barbarton (Komati Section) Ghana(GHB) Results. 4th International Geoscience Symposium "Precambrian World 2017" in Fukuoka 2017, March 3-5 Kyushu Univ. Nishijin Plaza.
5. 清川昌一, 元村健人, Wouter Bleeker, Dave Price, カナダ, フリンフロン, ケープスミスにおける18-19億年前の堆積層: 原生代中期の大陸分裂時の海底環境, o-03 平成28年度高知大学海洋コア総合研究センター, 共同利用, 共同研究成果発表会 2月27日-2月28日
6. Kiyokawa, S., Ito, T., Ikehara M., Yamaguchi K., Onoue T., Horie K., Yoshimaru Y., Miki T., Takehara, M., Tetteh, G.M., Nyame, F.K., Preliminary Report of the Ghana Birimian Greenstone Belt Drilling Project (GHB): Reconstruction of the Paleoproterozoic ocean environment. 35th IGC in Cape Town. 2016, August 28-Sep.3. (poster).
7. Kiyokawa, S., Ito, T., Ikehara M., Yamaguchi K., Onoue T., Horie K., Yoshimaru Y., Miki T., Takehara, M., Tetteh, G.M.; Nyame, F.K.'2016. Reconstruction of the Paleoproterozoic deeper ocean environment: Preliminary Report of the Ghana Birimian Greenstone Belt Drilling Project (GHB). AGU2016 Fall Meeting, 12-16th Dec. 2016, San Francisco (poster).
8. Kiyokawa, S., Ito, T., Ikehara M., Yamaguchi K., Onoue T., Horie K., Yoshimaru Y., Miki T., Takehara, M., Tetteh, G.M., Nyame, F.K., Preliminary Report of the Ghana Birimian Greenstone Belt Drilling Project (GHB): Reconstruction of the Paleoproterozoic ocean environment. 35th IGC in Cape Town. 2016, August 28-Sep.3. (poster).
9. Tsubasa Miki, Shoichi Kiyokawa, Naoto Takahata, Akizumi Ishida, Takashi Ito, Minoru Ikehara, Kosei E. Yamaguchi and Yuji Sano. 3.2 Ga sedimentary environment implied from heterogeneity of sulfur isotopic compositions of barite beds in Pilbara, Western Australia. 35th IGC in Cape Town. 2016, August 28-Sep.3 (poster).
10. 清川 昌一, 伊藤 孝, 池原 実, 山口 耕生, 尾上 哲治, 堀江 憲路, 吉丸 慧, 三木 翼, Tetteh George, Nyame Frank, [BPT05-12] ガーナ/ペリミアン帯陸上掘削(GHB)速報: 古原生代の海洋底環境復元プロジェクト 2016年5月25日 日本地球惑星連合大会 JpGU 2016 (幕張)
11. 清川 昌一, 伊藤 孝, 池原 実, 山口 耕生, 尾上 哲治, 堀江 憲路, 吉丸 慧, 三木 翼, TETTEH George M., NYAME Frank K. O-15 「ガーナ /ペリミアン帯陸上掘削 (GHB) 速報: 古原生代の海洋底環境復元プロジェクト」平成 27 年度高知大学海洋コア総合研究センター, 共同利用, 共同研究成果発表会 2月29日-3月1日
12. Shoichi Kiyokawa, Taishi Suzuki, Maher Dawoud, Mohamed Abouelhassan, P33B-1062: Geology of East Egypt greenstone field in Neoproterozoic isoand arc: *Reconstruction of Iron formation sedimentary environment*. AGU fall meeting, San Francisco, 2015, 15, Dec,
13. 清川昌一, 鈴木大志, Mohamed Abouelhassan, Maher Dawoud, 7億年前の編状鉄鉱層をもつ海底堆積相の復元 1: エジプト, Wadi El Dabbah地域の層序と構造. 10: 45 R22-O-7日本地質学会第122年学術大会(2015長野大会)
14. 清川 昌一, 伊藤 孝, 尾上 哲治, 池原 実, 山口 耕生, 堀江 憲路, 後藤 孝介, 吉丸 慧, NYAME フランク, TETTEH ジョージ, 古原生代の海洋底環境復元プロジェクト2: ケープスリーポイント地域の層序と構造, ペリミアン/アシャンティ帯, ガーナ 2015年5月25日(月) 15:00 ~ 15:15 日本地球惑星連合大会 JpGU 2015 (幕張)
15. Shoichi Kiyokawa, Takashi Ito, Minoru Ikehara, Kosei Yamaguchi, Yusuke

Suganuma, Kenji Horie, Tetsuji Onoue.
Restoration environment of
Archean/Proterozoic Deep Ocean Floor:
REAP project. 3rd International Geoscience
Symposium: Project A in Korea, 2015 March
5th. KIGAM Daejeon Korea (oral)

16. Shoichi Kiyokawa, Takashi Ito,
George M. TETTEH, Frank K. NYAME,
Reconstructed Oceanic Sedimentary
Sequence in the Cape Three Points Area,
Southern Axim-Konongo (Ashanti)
Greenstone Belt in the Paleoproterozoic
Birimian of Ghana. AGU fall meeting 2014,
18th Dec. 2014, San Francisco, T32A-08
(oral)
17. Shoichi Kiyokawa, T. Ito, M. Ikehara,
K. Yamaguchi, H. Naraoka, T. Onoue, K.
Horie, Y. Aihara, T. Miki, Mesoarchean
oceanic floor environment at sedimentary
sequences in the Dixon Island =Cleaverville
Formation, Pilbara Australia: results of the
DXCL drilling project. 21st General Meeting
of IMA South Africa 2014, 5th Sep. 2014,
Sandton Convention Centre, South Africa
(oral)

18. 清川昌一, 伊藤 孝, 池原 実, 山
口耕生, 尾上哲治, 菅沼悠介, 堀江憲路,
奈良岡浩, 三木翼. 32-31 億年前の海底堆
積層解析: DXCL 掘削からみられる海洋
環境と縞状鉄鉱層形成. 日本地質学会,
R23-O-17, 2014 年 9 月 14 日 鹿児島大学
(口頭)

19. 清川昌一, 伊藤 孝, TETTEH, M.
George, NYAME, K. Frank. 原生代初期, ガ
ーナペリミアン帯海岸セクションにおけ
る海底層序復元 1. 日本地球惑星科学連
合大会, 2014 年 5 月 2 日パシフィコ横浜

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://archean.jp>

[http://www.kochi-u.ac.jp/marine-core/pr
ecambrian_world/PW2017/top.html](http://www.kochi-u.ac.jp/marine-core/pr
ecambrian_world/PW2017/top.html)

6. 研究組織

(1)研究代表者

清川 昌一 (Kiyokawa, Shoichi)

九州大学・理学研究院・准教授

研究者番号: 50335999

(2)研究分担者

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・自然科学系・准教授

研究者番号: 90335919

山口 耕生 (Yamaguchi, Kosei)

東邦大学・理学部・准教授

研究者番号: 00359209

堀江 憲路 (Horie, Kenji)

国立極地研究所・地圏研究グループ・助教

研究者番号: 00571093

菅沼 悠介 (Suganuma, Yusuke)

国立極地研究所・地圏研究グループ・助教

研究者番号: 70431898

尾上 哲治 (Onoue, Tetsuji)

熊本大学・理学部・准教授

研究者番号: 60404472

後藤孝介 (Kosuke Goto)

産業技術総合研究所・地質情報研究部門・研究員

研究者番号: 30612171

田中 亮

岡山大学・地球物質科学研究センター・准
教授

研究者番号: 00379819

(4)研究協力者

(0)