

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 20 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22253008

研究課題名(和文) 太古代 原生代の海洋底断面の復元：海底環境・生物活動・地球外物質混入変遷史の解読

研究課題名(英文) Reconstructed ocean floor cross-section during Archean to Proterozoic

研究代表者

清川 昌一 (Kiyokawa, Shoichi)

九州大学・理学(系)研究科(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) 36,400,000円、(間接経費) 10,920,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は32-30億年前の太古代中期海底堆積物と22億年前の原生代堆積物をターゲットにし、地球の歴史上最も変化が大きいとされる環境変化の記録を地層から紐解いた。1. ピルバラにて地層掘削を行い200mの32億年前の縞状鉄鉱層の掘削に成功した。世界初、この時代の新鮮で連続性の良いコアを獲得した。2. 同地区の縞状鉄鉱層の掘削現場の側方層序比較し、比較的浅い海の堆積物であることがわかった。3. 掘削コアの化学分析：当時の海の硫黄同位体が現在と類似し、すでに酸素を供給するシステムの可動が確認できた。4. ガーナ、ペリミアン帯において、原生代の海底の証拠地層を復元し、海洋性島弧近傍環境を復元した。

研究成果の概要(英文)：We did following four topics to understand Mesoarchean to Paleoproterozoic ocean floor environment. 1) 3.2Ga DXCL drilling project: 200m long fresh black shale-iron formation had been drilling and we collected fresh sample. 2) Lateral variation of Cleaverville iron formation in coastal Pilbara terrane, Western Australia. 3) Geochemical analysis (isotope C, S) shows ocean environment at 3.2 Ga already prepare to oxidation produce system at near the island arc condition. 4) 2.2Ga Berimian greenstone belt in Ghana have been preserved excellent oceanic sequence at that time. We reconstructed deep ocean island arc stratigraphy at this area.

研究分野：数物系科学 A

科研費の分科・細目：地質学

キーワード：太古代 原生代 グリーンストーン帯 陸上掘削 黒色頁岩 縞状鉄鉱層 ピルバラグリーンストーン帯 ペリミアン帯

1. 研究開始当初の背景

太古代から初期原生代にかけて、急激な酸素濃度の上昇(大酸化事件)が起こったといわれている。地層環境記録は縞状鉄鉱層などがこの時代急激に発達している。太古代・原生代の海底堆積物を探し出し、その層序を明らかにし、掘削などにより新鮮なサンプルを取ることにより、深海底環境の解明が急務である。中でも、32-31億年前の連続した変成度の低い地層は世界的に非常にまれであり、空白の時代と言われており、酸素が少しずつ供給されている可能性が示唆されつつある。

2. 研究の目的

太古代から初期原生代にかけての深海底環境の復元を、海底地層の発見、地層層序・化学分析により変動をつかむ。地質層序・側方変化から当時の海底堆積状態を明らかにし、詳細な化学分析により、当時の海底・大気環境・地球表層環境・生物活動変遷を明らかにする。

3. 研究の方法

1)オーストラリア 32億年前ピルバラ DXCL 掘削, 2)南アフリカ 34-32億年前のバーバートン帯・フィグツリー層調査, 3)カナダ 28億年前北部スペリオール帯(Utik lake)調査, 4)ガーナ 19億年間ベリミアン(Berimian)グリーンストーン帯調査, を行い、太古代—初期原生代の深海底環境を明らかにする。

4. 研究成果

(1)オーストラリア 32億年前ピルバラ DXCL2掘削(DXCL1で掘削できなかった縞状鉄鉱層を掘り抜く)を成功させた,(2)南アフリカ 34-32億年前のバーバートン帯・フィグツリー層調査においては、150mの連続層状頁岩—チャート—BIF層について、詳細な柱状図および分析を行い、有機物の活動と鉄鉱層の関連性が見いだせた。(3)カナダ 28億年前北部スペリオール帯Utik Lakeグリーンストーン帯調査にて28億年前の海洋底熱水活動状況が復元された,(4)ガーナ 22億年前のベリミアングリーンストーン帯調査を行い、数百mにおよぶ地層復元がなされた。現在それぞれで得たデータの処理・解析中である。

DXCL2掘削について: クリバービル層上位の縞状鉄鉱層を含む200mの掘削を行い、a)黒色頁岩、b)緑色シデライト層、c)マグネタイト層、d)鉄鉱層を含む黒色頁岩層を掘抜いた。これは今までに報告のない新鮮で連続したサンプルであり、当初の予測であるクリバービル縞状鉄鉱層は軸状ではヘマタイトとチャートの互層に見える縞状鉄鉱層であるが、実はシデライトと薄いマグネタイト層であることが明らか

かになった。シデライト層になると一切それまで合った有機物に富む黒色頁岩層がなくなり、また薄片ではシデライトは結晶になっているために、初期続成作用により本の堆積物の形態が変化していることが明らかになった。

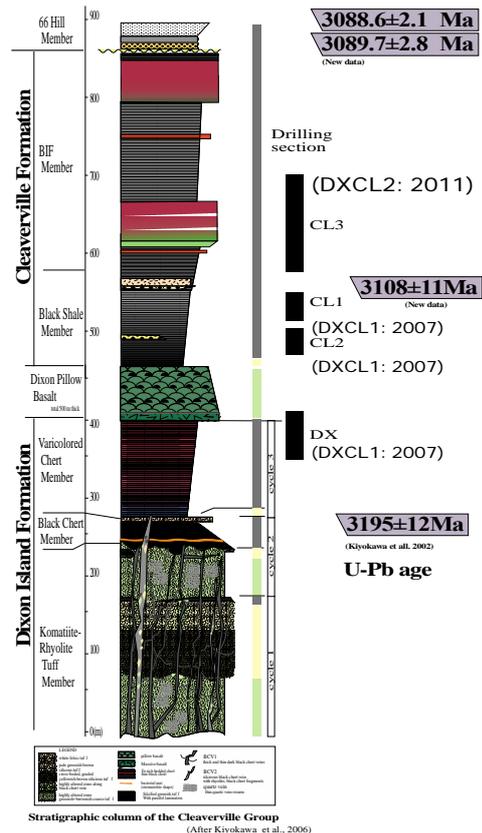


図1 オーストラリアDXCL掘削地点の層序

DXCL掘削の同位体分析によると、炭素同位体 $\delta^{13}C$ はほぼ-30‰で一定しており、下位のデクソンアイランド層では5%に達する高濃度の層も見つかった。有機物は数100mやく5000万年にわたって同一起源の物質が沈殿したと考えられ、表層に存在したシアノバクテリアの可能性が高い。硫黄同位体 $\delta^{34}S$ は、プラス20を軸に大きく変動が記録されていた。部分的に球核状黄鉄鉱層が見つかり堆積時の環境を表していると考えられ、その中ではレーリー分別が行われていると思われる。しかし全体にほとんどプラスの値をとることより、当時の海洋は現在と類似したプラス20前後の状態であり、変化はなかったのではないかと考えられる。

南アフリカ フィグツリー層: バーバートン帯の東地域のコマチ川沿いに連続するフィグツリー層について、詳細なマッピング、柱状図作成、化学分析を行った。同位体比のふらつきがみられ

生物活動の変化と熱水活動(チャート量)の寄与の関係が見られた。

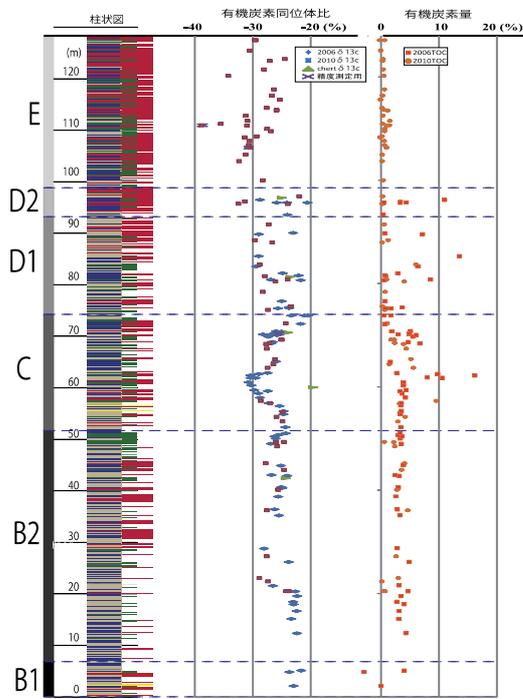


図2 コマチセクションの柱状図と有機物同位体比と炭素量の変動。赤層が赤色鉄鉱層，緑層が緑色頁岩，グレーがチャート層

カナダUtik Lake帯：連続約50m四方の全面露頭で、枕状溶岩・塊状溶岩層上に熱水脈を伴ったチャート層（約5m）の記載およびサンプリングに成功した。熱水脈は海面30m下位の溶岩部分から枝分かれしながらも上に抜けており、最上部では何本かの枝分かれをして表層につながっていた。チャートは部分的にゲーサイト化しているが、縞状鉄鉱層は作っていなかった。岩石は角閃岩相まで達しており、当時の成分はかなり動いていると思われるが、熱水脈の周辺には鉱床鉱物などはできておらず、低温熱水のシーパージ断面であると考えられた。

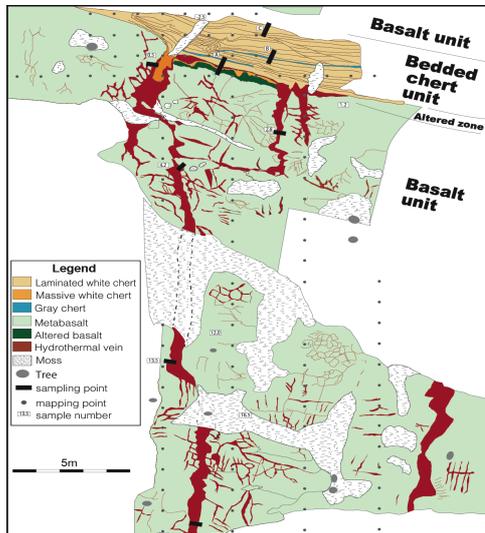


図3 Utik Lake帯の熱水脈マップ

ガーナ・ペリミアングリーンストーン帯：ガーナ西部のTakuwan緑色岩帯にて予察的な調査を行った。グリーンストーン帯は西アフリカと中央アフリカの衝突部に位置し、変形作用や変成作用（角閃岩）はあるものの枕状溶岩と火山性砕屑物・黒色頁岩層が繰り返す地質体であった。海岸線にはグリーンストーン帯が広がり、初めて詳細な地質調査により構造および層序が復元された。島弧衝突帯での海底堆積物を保存していることが明らかになった。

また、内陸部にあるTakuwan堆積盆ではマンガン鉱床が発達しており、この詳細な分析によると当時の海洋は著しい嫌氣的であったが、表層が酸化的になりつつあるためにマンガン層が沈殿してきたことが明らかになった。

これら4カ所の地質帯は、年代およびテクトニクス場は違うが、今まで報告されてきた浅海性海底堆積物よりも深い海底で堆積したものである。細粒部分は黒色頁岩（チャート）からなり、堆積速度が低下した状態では当時の海底はヘドロ状態の嫌気性場が記録されている。しかし、熱水活動を指示する脈の痕跡などは原生代の地層には見られず、太古代の海底での海底熱水活動の広がり・分布は当時の海底の広域な熱水活動が盛んであったことが確認された。また、そこには硫酸還元菌なども既に繁茂し、海上表層部では、シアノバクテリアの活動が活発であったことが明らかになってきた。

原生代になると海底層序を持つ地質帯の残存が急激に少なくなる。大陸の成長および衝突によりその間に挟まれた海洋物質の情報しかなくなるからである。その場合、変成作用や構造変形を被ることが多いために、この時代は大陸上に残存した浅海地層の研究が主流である。ガーナ、ペリミアングリーンストーン帯は緑色変岩相に達しているが、非常に良く層序が残っており、地質構造も比較的シンプルであり、層序復元がある程度完成した。当時の海底火山体周辺の厚い層序を持つため、海洋性島弧が衝突で付加した地質体であることが判明した。今後、表層細粒物質に残された痕跡を詳細な観察および化学分析を行いつつ復元する予定である。

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)

相原悠平・清川昌一・Christion Bohm・坂本亮・伊藤孝, 2013, 約28億年前カナダ・ウティクレイクグリーンストーン帯ミスタウ地域における熱水脈の産状と岩石記載. 茨城大学教育学部紀要(自然科学), 第62号, 37-45. (査読無)

<http://hdl.handle.net/10109/3636>

Kiyokawa S., Koge S. Ito T., Ikehara M., Kiyajima F., Yamaguchi K.E., and Sukanuma Y., 2012. Preliminary report on the Dixon Island – Cleaverville Drilling Project, Pilbara Craton, Western Australia. Geological Survey of Western Australia, Record 2012/14, 39p. ISBN 978-1-74168-476-6 (査読有り)

Kiyokawa S., Ito, T., Ikehara, M., Yamaguchi, K.E., Koge S. and Sakamoto, R., 2012. Lateral variations in the lithology and organic chemistry of a black shale sequence on the Mesoarchean sea floor affected by hydrothermal processes: the Dixon Island Formation of the coastal Pilbara Terrane, Western Australia. *The Island Arc*. v.21, 2, 66-78.

Doi:10.1111/j.1440-1738.2012.00811x (査読有り)

Kiyokawa S., Ninomiya T., Nagata T., Oguri M., Ito T., Ikehara M., Yamaguchi K.E.. 2012. Effects of tides and weather on sedimentation of iron-oxyhydroxides in a shallow-marine hydrothermal environment at Nagahama Bay, Satsuma Iwo-Jima Island, Kagoshima, southwest Japan. *The Island Arc*. v.21, 2, 118-147.

Doi:10.1111/j.1440-1738.2012.00808x (査読有り)

坂本 亮・伊藤 孝・清川昌一, 2012, カナダ・フリンフロン帯における掘削コア TS07-01 に見られる黄鉄鉱の硫黄同位体比. 茨城大学教育学部紀要 (自然科学), 第 61 号, 21-26. (査読無し)

<http://hdl.handle.net/10109/3179>

Ueshiba T., Kiyokawa S., 2012, Long-term observations of iron-oxyhydroxide-rich reddish-brown water in Nagahama Bay, Satsuma Iwo-Jima Island, Kagoshima, Japan, *Memoirs of the faculty of sciences, Kyushu University, Series. D, Earth and Planetary Science*, v.32, no. 4, 45-52. (査読有り)

http://qdeps.geo.kyushu-u.ac.jp/files/Memoir_Sci_Kyushu_Univ_D_XXXII_4.pdf

坂本 亮・伊藤 孝・清川昌一, 2011, 約 20 億年前の海洋底堆積物の特徴—カナダ・フリンフロン帯における掘削コア TS07-01 の岩石記載: Part 2. 茨城大学教育学部紀要 (自然科学), 第 60 号, 35-46. (査読無し)

<http://hdl.handle.net/10109/3179>

三木翼, 清川昌一, 32億年前の海底環境復元: DXCL掘削試料の炭素・硫黄同位体組成について, 日本地質学会西日本支部総会, 2014年2月22日, 佐賀大学,

Shochi Kiyokawa, Mesoarchean Banded Iron Formation sequences in Dixon Island-Cleaverville Formation, Pilbara Australia: Oxygenic signal from DXCL project. AGU fall meeting, 2013, 9-13, Dec. , San Francisco, USA.

Tsubasa Miki , Shoichi Kiyokawa . Heterogeneities of sulfur isotope compositions of Mesoarchean minute spherical pyrites: NanoSIMS analysis of the 3.2Ga black shale recovered by DXCL Drilling Project in Pilbara, Australia. AGU fall meeting, San Francisco, AGU fall meeting, 2013, 9-13, Dec. San Francisco, USA.

Yuhei Aihara, Shoichi Kiyokawa. Field occurrence and lithology of Archean hydrothermal systems in the 3.2 Ga Dixon Island Formation, Western Australia. AGU fall meeting, 2013, 9-13, Dec. San Francisco, USA.

Shoichi Kiyokawa. Oceanic sedimentary sequences in Mesoarchean Dixon Island-Cleaverville Formation, Pilbara Australia: Result of DXCL drilling project. The international Biogeoscience conference 2013,Nov.1, Nagoya Univ.

Tsubasa Miki , Shoichi Kiyokawa . Heterogeneity of sulfur isotope compositions of minute spherical pyrites revealed by NanoSIMS analysis of the 3.2Ga black shale from DXCL Drilling Project in Pilbara, Australia. The international Biogeoscience conference 2013,Nov.1, Nagoya Univ.

Yuhei Aihara, Shoichi Kiyokawa. Field occurrence and lithology of Archean hydrothermal systems in the 3.2 Ga Dixon Island Formation, Western Australia. The international Biogeoscience conference 2013,Nov.1, Nagoya Univ.

清川昌一. 太古代の海底直上の堆積層: 32 億年前オーストラリア, デキソンアイランド層の例. 日本地質学会第 120 年学術大会 2013 年 9 月 15 日, 東北大学

三木翼, 清川昌一, 32-31億年前の海底環境復元: DXCL掘削コア中の微小球殻状黄鉄鉱におけるNanoSIMSを用いた局所硫黄同位体分析. 日本地質学会第120年学術大会 2013年9月15日, 東北大学

相原悠平, 清川昌一. 32 億年前デキソンアイランド層における熱水脈の産状とその岩相. 日本地質学会第 120 年学術大会 2013 年 9 月 15 日, 東北大学 Shoichi Kiyokawa. Modern iron sedimentation and hydrothermal activity at post Kikai Caldera volcano in Satsuma Iwo-Jima,

Kagoshima, Japan: To understand modern bedded iron formation at shallow hydrothermal environment. International Association Volcanology and Chemistry Earth Interior, 2013年7月21日, Kagoshima city,

清川昌一, 太古代中期のクリバービル縞状鉄鉱層の側方変化: DXCL2掘削報告2. 地球惑星科学連合2013年大会, 2013年5月19日, 幕張メッセ国際会議場.

三木翼, 清川昌一, 32-31億年前の海底環境復元: DXCL掘削コアに含まれる微小球殻状黄鉄鉱の硫黄同位体局所分析. 日本地球惑星科学連合 2013年度連合会, 2013年5月19日, 千葉幕張メッセ

相原悠平, 清川昌一, 西オーストラリア・ピルバラ地域におけるクリーバービル層群の年代測定. 地球惑星連合大会2013年大会, 2013年5月19日, 千葉幕張メッセ

Shoichi Kiyokawa, Mesoarchean black shale iron sedimentary sequences in Cleaverville Formation, Pilbara Australia: drilling preliminary result of DXCL2. AGU fall meeting, San Francisco, 2012, 3-7, Dec. San Francisco, USA.

清川昌一. 太古代の31億年前のクリバービル縞状鉄鉱層の層序: DXCL2掘削の速報. 日本地質学会第119年学術大会 2012年9月15日, 大阪府立大学, 大阪

Shoichi Kiyokawa, Reconstructed of mesoarchean oceanic sedimentary environments: result of DXCL drillings. 34th International Geology Congress. 2012, Aug. 8. Brisbane Australia.

清川昌一. 太古代中期のクリバービル縞状鉄鉱層: DXCL2掘削報告1—地球惑星科学連合2012年大会, 5月21-27日, 幕張メッセ国際会議場, 千葉

Shoichi Kiyokawa, Mesoarchean hydrothermal oceanic floor sedimentation: from DXCL1 and 2 drilling projects of the Dixon Island - Cleaverville formations, Pilbara, Australia. Project A Symposium 2012 in Taiwan, 2012, March, 6. Taiwan.

Shoichi Kiyokawa, Mesoarchean oceanic sedimentary sequences: Dixon Island-Cleaverville formations of Pilbara vs Komati section of Fig Tree Group in Barberton. AGU, 2011, 13-17, Dec. San Francisco, USA

〔図書〕(計 2 件)

1. 白尾元理・清川昌一, 2012 「地球全史: 写真が語る46億年の歴史, pp190(1-190p), 岩波書店
2. 清川昌一・伊藤孝・池原実・尾上哲治, 2014 「地球全史スーパー年表」 pp24(1-24p), 地球史年表付き, 岩波書店

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等
www.archean.jp

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

(3)連携研究者

奈良岡 浩 (Naraoka, Hiroshi)
九州大学・理学研究院・教授
研究者番号： 20198386