

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25年 5 月 7 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22340151

研究課題名（和文） 鉄堆積作用：鬼界カルデラの熱水活動場から紐解く太古代海洋環境への制約条件

研究課題名（英文） Iron sedimentation: Reconstruction of Archean ocean environment from modern Kikai Caldera hydrothermal system

研究代表者

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

研究成果の概要（和文）：

鬼界カルデラにおける熱水に関連する鉄沈殿物について、1) 長浜湾における海底・チムニーの長期観測と堆積物コア試料の解析、2) カルデラ内部の構造と堆積物の解析、3) 硫黄島周辺部の熱水活動とサンゴ生息の関連、の研究を行い、鉄沈殿の時期・鉄酸化菌によるチムニーマウンド形成、カルデラ内部での鉄沈殿作用、サンゴに残される熱水活動の記録を紐解くことができた。

研究成果の概要（英文）：

We identified as following three topics. 1) Iron sedimentation period and timing, 2) Caldera forming process and sedimentation, 3) Hydrothermal process and Coral record. We identified 3 years long temperature records of ocean surface, floor and sediments with hydrothermal activity in Nagahama bay. Sediment core and coral core samples indicate sedimentation timing of Iron and record of volcanic activity.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2010年度 | 7,300,000 | 2,190,000 | 9,490,000 |
| 2011年度 | 4,000,000 | 1,200,000 | 5,200,000 |
| 2012年度 | 3,200,000 | 960,000 | 4,160,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 14,500,000 | 4,350,000 | 18,850,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：縞状鉄鉱層、熱水系、カルデラ、太古代

1. 研究開始当初の背景

地球表層環境の一大変換（還元地球から酸化地球）時に堆積した縞状鉄鉱層は、当時の酸化大気へ環境を考える上で重要な証拠物である。しかし、BIF形成時の鉄供給場・酸化鉄形成場・鉄沈殿作用と沈殿場所について、

具体的な復元実験により解明された例はない。鬼界カルデラ壁沿いの薩摩硫黄島長浜湾では、活発な熱水活動と3ヶ月で10cmを越える高速度の鉄沈殿が起こっており、実際の鉄沈殿作用を考える上で絶好の場所である。本研究は、長浜湾で起こっている熱水活動・天候・潮汐

作用を網羅した長期観測とそこに残されている過去の記録（堆積物コア、チムニーマウンド、サンゴ）、また鬼界カルデラ地形内の堆積場を紐解くことで、赤色酸化鉄がどのように供給され、挙動し、沈殿していったかを読み取ることである。本研究は、太古代縞状鉄鉱層の沈殿作用解読に向けて、鬼界カルデラにおいて自然界における海中での酸化鉄粒子の挙動を理解し、実験室では気づかない鉄沈殿層形成の条件を解明することである。

2. 研究の目的

地球史初期の特徴的の化学堆積物であるBIFの形成メカニズムについて、実際のBIFを用いた地質学的・地球化学的研究には堆積後の続成作用など沈殿後の影響などで限界があり、また沈殿する鉄粒子の挙動はほとんど研究がないため、我々は、現世の熱水活動現場観察から鉄堆積層形成メカニズムを求めるとの発想に至った。本研究では BIFの現代版アナログである「海底熱水系での鉄の沈殿」を研究対象とし、現在活発な熱水系で鉄分が沈殿している場所における地質学的場を理解し、沈殿作用の直接観測・高解像度コアリングを行い、そこで行われている化学反応・生物活動および堆積作用を明らかにすることで、実際のBIF形成への制約条件を見つけることを目標とする。

3. 研究の方法

地球史初期の特徴的の化学堆積物であるBIFの形成メカニズムについて、実際のBIFを用いた地質学的・地球化学的研究には堆積後の続成作用など沈殿後の影響などで限界があり、また沈殿する鉄粒子の挙動はほとんど研究がないため、我々は、現世の熱水活動現場観察から鉄堆積層形成メカニズムを求めるとの発想に至った。本研究では BIFの現代版アナログである「海底熱水系での鉄の沈殿」を研究対象とし、現在活発な熱水系で鉄分が沈殿している場所における地質学的場を理解し、沈殿作用の直接観測・高解像度コアリングを

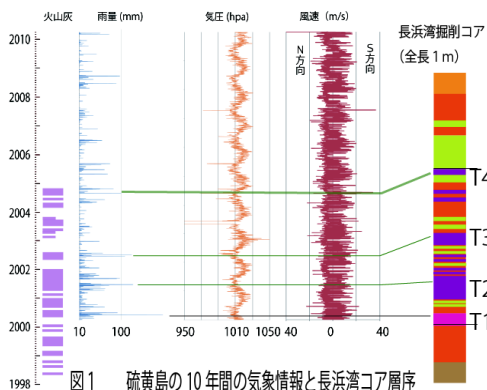


図1 硫黄島の10年間の気象情報と長浜湾コア層序

行い、そこで行われている化学反応・生物活動および堆積作用を明らかにすることで、実際のBIF形成への制約条件を見つけることを目標とする。

4. 研究成果

3つの研究テーマでアプローチを行った。

(1) **熱水系の全貌**：特に熱水沈殿物とチムニーに関して、地層が形成中の海底表層およびチムニーに関して長期観測およびサンプルの取得・解析を行った。気象データとの陸上観測の結果、沈殿作用が起こる時期の割り出しに成功した。チムニー成長速度や熱水循環の変動などとの関わりを長期温度計との比較により行っていく。海底長期観測撮影システムは設定や条件が難しいために、現在改良中である。



図2 長浜湾水酸化鉄堆積物コア

①水酸化鉄堆積物：堆積物コアにおいて3枚の厚い火山灰層を識別した(T1, T2, T3)。しかし、火山活動はそこまで活発ではなく、気象データとの対比により、丁度大雨が降っていることが明らかになり、火山周辺部からのガラス質火山灰が流れていることが明らかになった。また、2006年以降赤い水酸化鉄が多く溜まり始めており、2006年に巨大沖堤防の設置が長浜湾をより静かな環境にしていることが明らかになった。温度計の長期変動はあまりないが、あらしや大雨により温度の変動が認められる。熱水の湧出が陸上に降る雨の影響に関連する事が読み取れた。そのような合間の静かな潮汐時(特に中潮)水酸化鉄が沈殿していることが明らかになった。

②湧水量・湧出現場：熱水の湧水量測定は、機器および濁度があまりに強くて、ホースがつまり流量測定ができなかった。しかし、最新のダイビング観察により湧水部分を初めて発見・観察記録をとることができた。砂地に湧水が確認できその周りは白くバイオマットが形成していることが多いことがわかった。

③チムニー：チムニーに関して、掘削やダイビングにて試料採取し、CTスキャン解析・電子顕微鏡観察・薄片観察により、ガリオネラという鉄酸化細菌起源であることがわかってきた。熱水の抜け道パイプの周りに絡み合いながら形成しているガリオネラの全貌が明らかになった。また、沈殿する浮遊水酸化鉄・堆積物中の水酸化鉄およびトラップの水酸化鉄と生物性のチムニー形成する水酸化鉄との関連性

を考察中である。化学的な酸化作用物質と生物が関与する酸化作用がどのように関係するかを実験・考察中である。

(2) 鬼界カルデラ形成史：淡青丸による反射断面測定および、数カ所のマルチプルコアを取得でき、3Dの鬼界カルデラの全貌が明らかになってきた。カルデラ内は砂地が多くサンプルが難しかったが、2本ほど泥を含んだマルチプルコアが取得できた。半割による記載だと、バイオターベーションが起こっており期待した縞々は見られなかったが、すぐに酸化して鉄含有量が多いと思われる。今後より細かな分析を行う予定であるとともに、ハイパードルフィンなどにより実際の海底観察とサンプリングを行う予定である。

マルチプルコア測定により海底地形により、2重カルデラと言われていた南東部に関しては、外輪山の崩壊地形であることが、音波探査断面で明らかになってきた。

カルデラ内の深度別堆積物や地層構造観察は、ハイパードルフィン潜航についてはできなかったが、本年度再申請を行う。このことで7300年という地球の歴史上最も若い海底カルデラがどのように形成し、その後どのような沈殿作用が行われているか明らかにする。太古代の海洋底

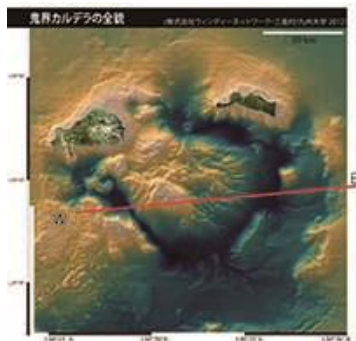


図3 マルチプルコアによる鬼界カルデラ海底地形図

(3) サンゴ掘削：サンゴ掘削は2回ほど行い、普通見られない真っ黒い縞々をもつサンゴを3カ所で50cm-2mほど取得できた。熱水が多くわき出す南部に関しては、サンゴの生息は少ないが、生息している事を確認できた。また、熱水影響の少ない北部は大きな浜サンゴの分布を確認できた。特に、2mのコアでは通常真っ白なサンゴに黒い縞模様を含む時期があり、火山活動を記録していることが明らかになった。黒くなった時期は約1000年前であり、その原因などの解明を行っている。

今回サンゴの生息が確認された硫黄島南部域はpH7.5-7.1ぐらいで一般の海水よりも酸性化し

ている。このような海洋でのサンゴ生息は難しいとされていた。本地域のサンゴ生息状況は大気中への温暖化ガスの増加にともなう海洋酸化作用で生物がどのくらい耐えられるかを示す重要なモデル場として、現在詳細な分析を行っている。



図4 黒い縞を持つサンゴコア(約1000年前のイベントを記録)

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 4 件)

- (1) 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 Mesoproterozoic 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. (査読有)
- (2) Kiyokawa S., Ninomiya T., Nagata T., Oguri M., Ito T., Ikehara M., Yamaguchi K.E., 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. 2, 1-15. *The Island Arc*. 2012. v.21, 2, 118-147. (査読有)
- (3) Ueshiba T., Kiyokawa S., 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*, 2012, v.32, no. 4, 45-52. (査読有)
- (4) Oiwa H, Tonai S., Kiyokawa S., Nakamura Y., Suganuma Y., Tokuyama H., Geomorphological development of the Goto Submarine Canyon, northeastern East China Sea, *Marine Geology*, 2011. 288, 49-60, (査読有)

[学会発表] (計 28 件)

- (1) 池上郁彦, 清川昌一, 大岩根尚, 中村恭之
九州南方沖・鬼界カルデラの構造進化.
Project A ミーティング, 2013/Mar/6-8 リフ
レッシュスポット風未来 (伊豆下田)
- (2) 倉富隆, 清川昌一, 後藤秀作, 薩摩硫黄島
の浅海性低温熱水域の水酸化鉄チムニーの
構造解析. Project A ミーティング,
2013/Mar/6-8 リフレッシュスポット風未来
(伊豆下田)
- (3) 蓑和雄人, 清川昌一, 薩摩硫黄島・長浜湾
の海水変化の長期観測 2012. Project A ミー
ティング, 2013/Mar/6-8 リフレッシュスポ
ット風未来 (伊豆下田) p. 31
- (4) 倉富 隆, 清川昌一, 池原実, 後藤秀作,
池上郁彦, 蓑和雄人, 鹿児島県薩摩硫黄島長
浜湾の詳細観察による熱水性水酸化鉄チム
ニーの構造解析. 高知コアセンター共同利用
/共同研究成果報告会 2013/Feb/28 (oral)
- (5) Fumihiko Ikegami; Shoichi Kiyokawa;
Hisashi Oiwane; Yasuyuki Nakamura;
Katsura Kameo; Yuto Minowa; Takashi
Kuratomi. Asymmetrically multi-collapsed
structure of Kikai caldera in southern off
Kyushu Island, Japan: A reconstruction
from seismic reflection images. AGU fall
meeting, San Francisco, USA, 2012, 3-7,
Dec.
- (6) 池上郁彦, 清川昌一, 大岩根尚, 中村恭之,
亀尾桂, 蓑和雄人, 倉富隆. 反射法探査によ
り見える鹿児島県・鬼界カルデラの非対称な
陥没・崩壊構造. 日本地質学会第 119 年学術
大会 (大阪) 講演要旨, 大阪府立大学, 2012
年 9 月 16 日
- (7) 倉富 隆, 清川昌一, 池原 実, 後藤秀作,
蓑和雄人, 池上郁彦. 鹿児島県薩摩硫黄島長
浜湾の熱水活動に伴う、水酸化鉄チムニーに
ついて. 日本地質学会第 119 年学術大会 (大
阪) 講演要旨, 大阪府立大学, 2012 年 9 月
16 日
- (8) Fumihiko Ikegami, Shoichi Kiyokawa,
Hisashi Oiwane, Yukiyasu Nakamura,
Takuya Ueshiba. The structural
reconstruction of the Kikai submarine
caldera in the southern Kyushu, Japan.
34th International Geology Congress.
Brisbane, Australia. 2012年 8 月 8 日
- (9) 上芝 卓也, 清川 昌一, 後藤 秀作, 伊藤
孝, 池原 実, 山口 耕生, 二宮 知美 永田
知研, 蓑和 雄人, 池上 郁彦. 11 年間にわ
たる鉄沈殿堆積物の層序と気象記録の対比-
鹿児島県薩摩硫黄島長浜湾の例.-地球惑星
科学連合2012年大会予稿集, 幕張メッセ国際
会議場. 2012年5月22日.
- (10) 池上 郁彦, 清川 昌一, 大岩根 尚,
中村 恭之, 亀尾 桂, 上芝 卓也, 蓑和
雄人. 九州南方沖に位置する鬼界カルデラの
構造. -地球惑星科学連合2012年大会予稿集,
幕張メッセ国際会議場. 2012年5月22日.
- (11) T. Ueshiba, S. Kiyokawa, S. Goto, T. Ito,
M. Ikehara, K.E. Yamaguchi, T. Nagata, T.
Ninomiya, Y. Minowa and F. Ikegami.
Stratigraphy of ferric hydroxide sediment
in Satsuma Iwo-Jima Island, Kagoshima,
Japan. Project A Symposium 2012 in Taiwan,
Taiwan 中華民国. 2012年3月5日.
- (12) F. Ikegami, S. Kiyokawa, H. Oiwane, Y.
Nakamura, K. Kameo, T. Ueshiba and Y.
Minowa. Structure of Kikai Submarine
Caldera Complex, southern off Kyushu,
Japan. Project A Symposium 2012 in Taiwan,
Taiwan 中華民国. 2012年3月5日.
- (13) 池上 郁彦・清川 昌一・池原 実・伊藤
孝・大岩根尚・中村恭之・亀尾桂・上芝卓也.
音波探査からみた鹿児島県鬼界カルデラの形
成過程. 高知大学海洋コア総合研究センター
全国共同利用研究成果発表会, 高知大学海洋
コアセンター, 2012年3月1-2日
- (14) 上芝 卓也・清川 昌一・後藤 秀作・伊藤
孝・池原 実・山口 耕生・二宮 知美・永田 知
研・蓑和 雄人・池上 郁彦. 薩摩硫黄島長浜
湾中の鉄沈殿作用と気象変化との関連性につ
いて. 高知大学海洋コア総合研究センター全
国共同利用研究成果発表会, 高知大学海洋コ
アセンター, 2012年3月1-2日
- (15) 蓑和 雄人・山口 耕生・赤木右・清川 昌
一, 薩摩硫黄島長浜湾中の水酸化鉄浮流物と
沈殿物について. 高知大学海洋コア総合研究
センター全国共同利用研究成果発表会, 高知
大学海洋コアセンター, 2012年3月1-2日, (ポ
スター)
- (16) T. Ueshiba, S. Kiyokawa, S. Goto, K.
Oguri, T. Ito, M. Ikehara, K.E. Yamaguchi,
T. Nagata, T. Ninomiya, F. Ikegami,
Eleven-years-long record of ferric
hydroxide sedimentation in Satsuma
Iwo-Jima island, Kagoshima, Japan. AGU,
San Francisco, USA, 2011, 13-17, Dec.
- (17) 池上郁彦・清川昌一・大岩根尚, 中村恭之,
亀尾桂, 上芝卓也, 海底音波探査による鹿児島
県・鬼界カルデラの構造解析, 日本地質学会第
118 年学術大会 (茨城) 講演要旨, p. 218, 茨城
大学 (地質学会ポスター賞), 2011 年 9 月
10 日
- (18) 蓑和 雄人・阿部 茜・山口 耕生・清川 昌
一・永田 知研・上芝 卓也・池原 実・伊藤 孝,
薩摩硫黄島長浜湾の鉄に富む現世堆積物中の

- 希土類元素の地球化学, 日本地質学会第 118 年学術大会 (茨城) 講演要旨, p. 97, 茨城大学, 2011 年 9 月 10 日
- (19) 上芝卓也・清川昌一・永田知研・二宮知美・池上郁彦・小栗一将・伊藤孝・池原実・山口耕生・後藤秀作, 鹿児島県薩摩硫黄島長浜湾の鉄沈殿物の特徴: 10 年間の気象及び火山活動記録・海底温度変化の対応関係について, 日本地質学会第 118 年学術大会 (茨城) 講演要旨, p. 97, 茨城大学, 2011 年 9 月 10 日
- (20) 藁和雄人・山口耕生・永田知研・清川昌一・池原実・伊藤孝, 薩摩硫黄島長浜湾の鉄に富む現世堆積物中の希土類元素の地球化学, BPT022-01, 地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集, 幕張メッセ国際会議場. 2011 年 5 月 22 日
- (21) 永田知研・清川昌一・池原実・小栗一将・後藤秀作・伊藤孝・山口耕生・上芝卓也, 鹿児島県・薩摩硫黄島長浜湾における熱水活動と鉄沈殿環境の解明, SCG059-16, 地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集, 幕張メッセ国際会議場. 2011 年 5 月 22 日
- (22) 上芝卓也・清川昌一・永田知研・二宮知美・小栗一将・伊藤孝・池原実・山口耕生・後藤秀作, 鹿児島県薩摩硫黄島長浜湾の鉄堆積物と 10 年間の気象データとの相関, SCG059-15, 地球惑星科学連合 2011 年大会予稿集, 幕張メッセ国際会議場. 2011 年 5 月 22 日
- (23) 永田 知研, 清川 昌一, 池原 実, 小栗 一将, 後藤 秀作, 伊藤 孝, 山口 耕生, 上芝 卓也. 鹿児島県・薩摩硫黄島長浜湾における熱水活動と鉄沈殿環境の解明. 高知大学海洋コア総合研究センター全国共同利用研究成果発表会, 高知大学海洋コアセンター, 2011 年 3 月 1 日
- (24) 上芝 卓也, 永田 知研, 清川 昌一, 池原 実, 小栗 一将, 後藤 秀作, 伊藤 孝, 山口 耕生, 薩摩硫黄島長浜湾における 10 年間気象データと鉄沈殿物の関連について. 高知大学海洋コア総合研究センター全国共同利用研究成果発表会, 高知大学海洋コアセンター, 2011 年 3 月 1 日
- (25) Nagata T., S. Kiyokawa, M. Ikehara, K. Oguri, S. Goto, T. Ito, K. Yamaguchi, T. Ueshiba, Ferric iron precipitation in the nagahama bay, satsuma Iwo-jima island, Kagoshima, 0S11a-1181 poster, AGU, San Francisco, USA, 2010, 13-17, Dec.
- (26) 永田知研・清川昌一・坂本亮・竹原真美・池原実・小栗一将・後藤秀作・伊藤孝・山口耕生. 鹿児島県薩摩硫黄島長浜湾の鉄沈殿環境. 0-96, 日本地質学会第 117 年学術大会 富

山) 講演要旨, p. 83, 富山大学, 2010 年 9 月 19 日.

- (27) Nagata T., S. Kiyokawa, M. Ikehara, K. Oguri, S. Goto, T. Ito, K. Yamaguchi, R. Sakamoto, and M. Takehara. Hydrothermal activity and iron sedimentation in Nagahama Bay, Satsuma Iwo-Jima Island, Kagashima, Japan. Fifth International Archean Symposium Abstracts, Record 2010/18, Geological survey of Western Australia, 378-379. Perth, Australia. 2010, Sep. 5.
- (28) 永田知研, 清川昌一, 坂本亮 ほか, 鹿児島県薩摩硫黄島長浜湾における熱水活動と鉄沈殿作用, MIS002-04, 地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集, 幕張メッセ国際会議場. 2010 年 5 月 25 日

[図書] (計 2 件)

- (1) 渡邊 剛, 「うみぼうずハンター」, 2013, 25p, 手作り絵本工房のののか
- (2) 白尾元理・清川昌一, 「地球全史: 写真が語る 46 億年の歴史」, 2012, p190, 岩波書店

[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・大学院理学研究院・准教授
研究者番号: 50335999

(2) 研究分担者

小栗 一将 (OGURI KAZUMASA)

海洋研究開発機構・海洋極限環境生物圏領域・研究員
研究者番号: 10359177

後藤 秀作 (GOTO SHUSAKU)

産業技術総合研究所・地圏資源環境研究部門・研究員
研究者番号: 10378557

渡邊 剛 (WATANABE TSUYOSHI)

北海道大学・大学院理学研究科・講師
研究者番号: 80396283

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

(3) 連携研究者

下島 公紀 (SHITASHIMA KIMINORI)
九州大学・カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所・准教授
研究者番号：70371490

中村 恭之 (NAKAMURA YASUYUKI)
海洋研究開発機構・IFREE・技術研究主任
研究者番号：60345056