

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2010～2014

課題番号：22224009

研究課題名(和文)地球表層システムにおける海洋酸性化と生物大量絶滅

研究課題名(英文) Study on ocean acidification and mass extinction of biosphere in the earth surface's environmental system

研究代表者

川幡 穂高 (Kawahata, Hodaka)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：20356851

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 109,700,000円

研究成果の概要(和文)：陸域の化学風化は、海洋酸性化にとっては「中和」として機能します。大陸の緩衝作用を確かめる目的でバングラデシュ、ミャンマー、タイの大河を調査しました。その結果、ヒマラヤ山脈源流の河川では大気中の二酸化炭素を吸収する効果は小さいことがわかりました。5,500万年前の暁新世/始新世(P/E)境界は「海洋酸性化」の地球規模での実験と言えます。深海底では石灰殻の底棲有孔虫が絶滅し、生き残った有孔虫も膠着質の殻をもつものに変化してしまいました。現代はP/E境界の約30倍のスピードで二酸化炭素が放出されています。大陸風化は追いつけないので、将来深刻な海洋酸性化とそれに伴う絶滅が起こると予想されます。

研究成果の概要(英文)：This study focused on reevaluating conditions based on samples taken from the Ayeyarwady, Mekong, and Chao Phraya rivers. Our calculations suggest that chemical weathering and associated CO<sub>2</sub> uptake in the Himalayas have played a minor role in long-term global cooling in the past. In contrast, soil respiration in these river basins, which have thick, well-developed soil layers, increases river water pCO<sub>2</sub>, and on a short timescale these rivers function as strong sources of CO<sub>2</sub> to the atmosphere.

In Paleocene/Eocene (P/E) transition at 56-57 Ma, a pH decrease was very likely responsible for the emergence of agglutinated foraminiferal fauna as calcareous fauna was eliminated by acidification. Current global emission rate (~7.3 peta gC yr<sup>-1</sup>) of anthropogenic carbon input is approximately 30 times. The results give an implication that the deep sea benthic fauna will be threatened in future in combination with ocean acidification.

研究分野：数物系科学・地球惑星科学・地質学・環境地質

キーワード：海洋酸性化 二酸化炭素 pH 生物起源炭酸塩 精密飼育実験 河川水 化学風化 栄養塩

### 1. 研究開始当初の背景

大気中の二酸化炭素濃度は産業革命以前の280ppmから390ppmまで増加してきた。これによる地球温暖化問題に至る道筋はプロセスが複雑なため議論が多い。これまで、人為起源の二酸化炭素の約30%が海洋に吸収された。二酸化炭素は酸性化気体なので、海洋の表層水の平均pHは産業革命以前の8.17から現在8.06と下がってしまった。このpHはアルカリ領域ではあるが、「海水pHが減少している」ので、この現象は海洋酸性化と呼ばれる。

このプロセスは、大気中の二酸化炭素濃度が増大すると、溶解反応により進行するので、将来の環境は確実に悪化すると予想され、もう1つの地球環境問題として近年注目をあびている。特に、「海洋酸性化」は、海洋で普遍的にみられる炭酸塩殻をもつ生物群に損傷を与えると危惧されている。

地質学的にみて、大気中の二酸化炭素濃度が高かった時代には、海洋は必ず酸性化していたのであろうか？不思議なことに、この答えは「NO」である。1億年前は大気中の二酸化炭素濃度が高かったものの炭酸塩が大量に堆積した。これは非常に不思議なので、私達は海洋3ボックスモデルで解析したところ、アルカリ度の変化が重要で、現在より>20%増加していたはずであると結論した。

そもそも陸域の岩石はアルカリ性なので、陸域風化は中和機構として作用する。しかし、異なった岩石をもつ地質帯(例えば、花崗岩、安山岩、玄武岩、石灰岩、ケイ質堆積岩)で人為的影響が最小限の滞留時間が数年~数百年の地下水(湧水)を対象とした水-岩石反応によるpH緩衝作用の仕組みと程度についての解析は途上である。特に、ヒマラヤ山系からインド洋に流れ込む巨大河川は中和機構と海洋に与える影響を評価するのに好適であるものの、これまで調査は不十分であった。さらに、大気中の二酸化炭素濃度増加速度-酸性化速度-中和機能に注目して地球表層システムでの酸性化に対する陸域の役割を明らかにした研究は乏しかった。

### 2. 研究の目的

大気中の二酸化炭素濃度の増大が将来も引き続くと、海洋でよくみられる炭酸塩殻をもつ生物群に損傷を与えるとともに、5500万年前と同様、深海底での大量絶滅を引き起こすと危惧される。本研究の目的は、水環境の酸性化に伴う生物の応答を精密飼育実験で明らかにするとともに、生物起源炭酸塩の微小領域への影響を解析する。「大量絶滅海洋酸性化説」を検証する。中和機能がある陸の風化過程を解析し、最終的に、地球表層(大気圏、水圏、生態圏、岩石圏)システム全体の中で、海洋酸性化の位置づけ、pHを支配する地球システムと将来の生物圏への影響を明らかにすることであった。

### 3. 研究の方法

本研究の目的の遂行に際し、3つの方面より研究を行った：生物の海洋酸性化への応答を解析するため、環境をコントロールした精密飼育実験(ハマサンゴ、ミドリイシなどのサンゴ、底棲有孔虫、二枚貝、アワビ、翼足類)を行った。今回、通常の飼育装置の他に精密二酸化炭素分圧制御装置[AICAL (Acidification Impact on Calcifiers)装置]なども用いた。生物起源炭酸塩の微小領域にどのような影響を与えるのかを調べるため、ICP-MS装置やSPRING8施設などを用いて微小領域の化学分析を行った。「大量絶滅海洋酸性化説」の検証のため白亜紀とP/E境界での酸性化を復元した。酸性化を抑制する陸の働きを明らかにするため、河川、地下水、湧水などを国内と世界の大河(バングラデシュ国のガンジス川、ブラマプトラ河、メグナ川、ミャンマー国の旧名イワラジ川のエーヤワディー川、タイ国のメコン川)を対象に現代の水循環を水質の観点より分析・解析した。

### 4. 研究成果

(1) <精密飼育実験による生物起源炭酸塩の酸性化に対する応答および微小領域の解析>

(1) 結論：サンゴ礁に生息する底生有孔虫には海洋酸性化に全く逆に応答する種がいることが精密飼育実験から明らかとなった。石灰化時に使用されるイオン種が異なるためと解釈した。

背景：海洋酸性化によって負の影響を受ける生物が圧倒的に多いと言われているが、円石藻などでは正の影響を受けるといった報告もなされている。サンゴ礁を構成する重要な底生有孔虫(星砂を含む)は、高マグネシウム方解石という、炭酸塩の中でも最もpHに対して不安定な殻をもっているが、まだほとんど酸性化に関する報告例がなかった。

結果：海水のpHが低下する海洋酸性化という現象がサンゴ礁棲大型有孔虫の石灰化に及ぼす影響を評価するために、精密に海水の二酸化炭素分圧を制御した飼育実験による検証を行った。その結果、高二酸化炭素分圧の海水に対して石灰化量が減少する種

(*Amphisorus kudakajimensis*)と反対に増加する種(*Calcarina gaudichaudii*)がいることが明らかになった。また、炭酸種組成を調整した海水において飼育実験をおこなったところ、石灰化に強く影響する炭酸種は種によって異なることが明らかになった。これらの種では共生藻の種類が異なっている。これらの結果より、今後は大気中の二酸化炭素濃度増加および水柱の二酸化炭素分圧の増加における共生藻ごとの光合成活性度の違いについての議論が、海洋酸性化に対するサンゴ礁の生物応答研究において必要となることが示唆された。

(1) 結論：海洋酸性化に対して、「赤ちゃんサンゴ」は耐性が弱いことがわかった。  
背景：これまでに造礁サンゴ類に対する海洋酸性化の影響について多くの研究結果が報告されているが、対象サンゴ種、実験期間、実験条件等の違いによって異なる結果が報告されてきた。成体に比べサンゴの初期生活段階（「赤ちゃんサンゴ」）に対する影響についての研究はなかった。  
結果：酸性化海水中で飼育した4週間後のコピミドリイシの成体の骨格成長率は二酸化炭素分圧による変化は見られなかったが、飼育10日後の幼サンゴの骨格成長量は二酸化炭素分圧の上昇に伴い有意な減少が見られた（ANOVA,  $F_{4,299}=9.97$ ,  $p<0.05$ , *post hoc* Tukey-HSD test）。すなわち、サンゴ礁を海洋酸性化から護るには、「赤ちゃんサンゴ」をより世話することが重要である。

(1) 結論：炭酸カルシウム中のMgについて、生物起源方解石の硬組織では格子を置換しているものの、サンゴなどのあられ石では結晶格子を置換していないため指標としての堅牢性が低いことがわかった。  
背景：造礁サンゴ類骨格などについて、微小領域に金属がどのような形態で存在しているのか、微小領域で不均一に分布しているのかについて、知見が乏しかった。  
結果：造礁サンゴ骨格について、ICP-MSレーザーアブレーションでサンゴ骨格のSr/Ca比などが迅速に測定できるようになった。また、X線分光と量子化学計算によるスペクトルシミュレーションを組み合わせてMgの分布について解析したところ、結晶構造によってMgの配位する場所が異なることがわかった。

(1) 結論：6年間の長期飼育実験で得られたサンゴ骨格の分析はSr/Ca比が気候復元の最上指標であると示した。  
背景：サンゴ骨格に基づいて気候変動を復元する試みは熱帯海域で増加しているが、その一方で、サンゴ水温計の潜在的な不確実性が注目されている。このサンゴ水温計の潜在的な不確実性は、生物鉱化作用に内在するもので、生物学的効果、成長速度に関わる動力学的効果、炭酸イオン（ $\text{CO}_3^{2-}$ ）効果などが関係している。特にその効果を理解するため、ハマサンゴ（*Porites australiensis*）の多数の群体を用いた約6年に渡る長期飼育を実施し、骨格の酸素・炭素同位体比（ $^{18}\text{O}$ ,  $^{13}\text{C}$ ）とストロンチウム/カルシウム比（Sr/Ca比）にどのように影響を及ぼすか検討した。  
結果：骨格成長速度に年あたり2mmから10mmまで群体間で大きな差があったものの、Sr/Ca比では群体間および群体内の成長速度の変化にはほとんど影響を受けていなかった。 $^{18}\text{O}$ 値に関しては、成長速度の影響はなかったもののサンゴの健康状態との関連が認められた。 $^{13}\text{C}$ 値については、動力学的効

果により成長速度が遅いサンゴほど、値が大きくなるような傾向が認められた。しかも、パルス変調式クロロフィル蛍光計測法で測定される光合成効率に関係している可能性が高く、従来から指摘のあった光量や海水中の溶存無機炭素の炭素同位体比の季節変化との対応は認められなかった。長期飼育サンゴ骨格の飼育・分析から、Sr/Ca比からの水温推定は高精度の気候変動復元手法としてたいへん有効であることが明らかになった。

(2) <大気中の二酸化炭素の濃度と濃度上昇と海洋酸性化との関係についてのフィールド観察に基づく古環境解析からの検証>

(2) 結論：白亜紀の大気中の二酸化炭素濃度は1500ppm程度で、3000ppmを越すような高い値ではなかった。  
背景：地質学的にみて、高い大気中の二酸化炭素濃度の時代には、海洋は必ず酸性化していたのであろうか？この答えは「NO」である。1億年前は高い大気中の二酸化炭素濃度（1,500–3,000ppm）であったが炭酸塩が大量に堆積していた。まず、前提となる二酸化炭素濃度推定に信頼できるものがなかったので、中生代のアンモナイトを用いて、酸素同位体比で水温を、ホウ素同位体でpHをそして、アルカリ度を仮定して水中の二酸化炭素の濃度（約1,500ppm）を世界で最初に推定した。  
結果：現生・白亜紀（70, 73, 75–80, 80, 86Ma（Maは100万年前を表す））・ジュラ紀（162Ma）・石炭紀（307–312Ma）オウムガイ・アンモナイト殻の $^{11}\text{B}$ を測定し、海洋pH・二酸化炭素濃度の復元を試みた。殻の $^{11}\text{B}$ は、注目する時間スケールによって異なる解釈ができた。時間変動なし（同一時間面）の場合には、海洋表層のpH鉛直勾配を反映していた。一方、時間変動ありの場合には、pH変動よりも $^{11}\text{B}_{\text{SW}}$ 変動を大きく反映していた。深度プロファイルを作成することで、長期間の $^{11}\text{B}_{\text{SW}}$ 変動を推定することができた。80, 86Maでは、水中の二酸化炭素濃度が最大でもそれぞれ1750ppm, 1540ppmと推定された。これは、Breecker *et al.* (2010)の主張とも整合的であった。本研究では、アンモナイト・オウムガイ殻の $^{11}\text{B}$ がpHに依存する可能性を定量的に示した。生息深度の異なる個体を用いることで、より厳密にpH・二酸化炭素濃度を定めることができると考えられる。

(2) 結論：底生有孔虫の大量絶滅の原因は主に急速なメタン放出に伴う海洋酸性化で、このスピードは現在の1/30で、1万年継続した。今世紀末より同様な現象が深海底を中心として見られると危惧される。  
背景：暁新世（Paleocene）と始新世（Eocene）境界付近の55Maに起こったP/E境界事変では、炭素同位体比の大きな負の異常（-3‰）、底生有孔虫の35–50%の絶滅という特徴があ

り、10 万年でこのイベントは回復した。海底の炭酸塩の溶解していることから海洋酸性化の可能性が指摘されてきた。

結果：ハワイ沖の ODP Site 1220 地点において、P/E 境界をはさんで長時間解像度で、化学分析とともに浮遊性、底棲有孔虫の群集解析を行った。その結果、P/E 境界では炭酸塩がほぼ完全に溶解していた。膠着質有孔虫（石灰質成分のない殻をもつ有孔虫）が石灰質有孔虫に比べて、特徴的に産出し、石灰質有孔虫は生存しにくい環境にあった事を示していた。浮遊性は底棲より溶解し易いのに、浮遊性種/底棲種の比が 90%位であった（P/E と関係ない通常期は個数も非常に多く、比はほぼ 98-99%）。これらの事実は、浮遊性有孔虫が一部で残っていることから、海洋表層で浮遊性有孔虫は生産され、海底で溶解したこと。石灰質底棲有孔虫が存在しないことから、海底でそもそも底棲有孔虫は棲息していなかったと結論した。この結果は、底棲有孔虫の絶滅が、当時メタンハイドレートが酸化して、海洋が酸性化し、しかも圧力効果で溶解が促進されたことが原因であることを示唆している。現在大気中の二酸化炭素濃度が上昇し、海洋が酸性化しており、今世紀末には南極海でアラレ石に不飽和となる。南極海底層水は太平洋を北上するので、P/E と同様の深海での絶滅は、今世紀末に始まり、千年以上かけて北太平洋に及ぶと考えられる。

(3) <地球表層システムにおける酸性化の仕組みの解明>

(3) 結論：湖沼では水中の二酸化炭素濃度は栄養塩によって大きく影響を受けていることが明らかとなった。

背景：湖沼には酸性とアルカリ性の二つのタイプがあり、その支配要因を解明すべく、猪苗代湖（酸性）、霞ヶ浦（アルカリ性）を調べた。

結果：海水と違い、湖沼では栄養塩が二酸化炭素分圧に大きく影響を与えることがわかった。この原因として、湖水は淡水なので緩衝能力が低いため、栄養塩は一次生産に影響を与え、それが pH を介して二酸化炭素分圧を支配するためと考えられた。実際、富栄養湖では栄養塩によって光合成が駆動され、湖の二酸化炭素分圧が低く保たれていた。酸栄養湖でも同様に、酸性だった湖がアルカリ性に向かうほどに pH 変化が起こっていた。

(3) 結論：ヒマラヤ水系を構成する重要な河川でも、炭酸塩風化が卓越し、長期間の大気中の二酸化炭素濃度減少への寄与が小さいことがわかった。

背景：ミャンマーのエーヤワディー川、そしてタイのメコン川、チャオプラヤ川の 3 水系下流域の採水調査を行った。これらの河川はいずれもヒマラヤ水系を構成する重要な

河川で、特にミャンマーのエーヤワディー川はこれまで先進国の外国人がほとんど入ることができなかったために、今回のデータはとて貴重であった。なお、調査は、このほか、バングラデシュのガンジス川、プラマプトラ河、メグナ川でも行った。

結果：水質成分を精密に分析して、化学風化に占める炭酸塩とケイ酸塩の風化の寄与率も調べた。その結果は、炭酸塩とケイ酸塩の順で、エーヤワディーでは約 27%と 65%、チャオプラヤでは 27%と 64%、そしてメコンでは 17%と 78%という寄与率だったが、これを基に化学風化による大気中二酸化炭素の消費を見積もると、メコン川では先行研究とほぼ同様の値が得られた。特に、エーヤワディー川では先行研究のわずか 10 分の 1 程度の消費しかなかった事がわかった。これまでエーヤワディー川はヒマラヤ水系の中でも最も大きな二酸化炭素を風化で吸収するプロセスの一つであると考えられてきたため、この結果は非常に驚くべきものであった。これまで地球表層環境はこの 4 千万年間には寒冷化の歴史を歩んできたが、その理由としてヒマラヤマとチベット高原の成立とその風化が主役であったと考えられてきたが、実はそれと反対であったということが本研究より明らかとなった。

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 21 件)

1) Hikami, M., Fujita, K., Kuroyanagi, A., Irie, T., Ushie, H., Nojiri, Y., Suzuki, A., and Kawahata, H. (2011) Contrasting ocean acidification responses of calcification between two coral reef benthic foraminiferal species *Marginopora kudakajimensis* and *Calcarina gaudichaudii*. *Geophysical Research Letters*, 38, Doi:10.1029/2011GL048501. 査読有り

（成果論文 1）

2) Watanabe, T., Suzuki, A., Kawashima, T., Minobe, S., Kameo, K., Minoshima, K., Aguilar, Y.M., Wani, R., Kawahata, H. and Kase, T. (2011) Pliocene El Niño: Coral evidence of robust interannual variabilities during warm period. *Nature*, 471, 209-211. 査読有り

3) Iguchi, A., Ozaki, S., Nakamura, T., Inoue, M., Tanaka, Y., Suzuki, A., Kawahata, H. and Sakai, K. (2011) The effect of acidified seawater on coral calcification and symbiotic algae of a massive coral *Porites australiensis*. *Marine Environmental Research*, 73, 32-36. 査読有り

4) Kuroyanagi, A., Kawahata, H. and Nishi,

H. (2011) Seasonal variation in the oxygen isotopic composition of different-sized planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral) in the northwestern North Pacific and implications for reconstruction of the paleoenvironment, *Paleoceanography*, 26, PA4215, doi:10.1029/2011PA002153. 査読有り

5) Fujita, K., Hikami, M., Suzuki, A., Kuroyanagi, A., Sakai, K., Kawahata, H., and Nojiri, Y. (2011) Effects of ocean acidification on calcification of symbiont-bearing reef foraminifers. *Biogeosciences*, 8, 2089-2098, doi:10.5194/bg-8-2089-2011. 査読有り

6) Inoue, M., Suwa, R., Suzuki, A., Sakai, K. and Kawahata, H. (2011) Effects of seawater pH on growth and skeletal U/Ca ratios of *Acropora digitifera* coral polyps. *Geophysical Research Letters*, 38, L12809, doi:10.1029/2011GL047786. 査読有り

(成果論文2)

7) Inoue, M., Shinmen, K., Kawahata, H., Nakamura, T., Tanaka, Y., Kato, A., Shinzato, C., Iguchi, A., Kan, H., Suzuki, A. and Sakai, K. (2012) Estimate of calcification responses to thermal and freshening stresses based on culture experiments with symbiotic and aposymbiotic primary polyps of a coral, *Acropora digitifera*. *Global and Planetary Change* 92-93, 1-7. 査読有り

8) Toyofuku, T., Suzuki, M., Suga, H., Sakai, S., Suzuki, A., Ishikawa, T., Nooijer, L.J., Schiebel, R., Kawahata, H. and Kitazato, H. (2011) Mg/Ca and  $d^{18}O$  in the brackish shallow-water benthic foraminifer *Ammonia 'beccarii'*. *Marine Micropaleontology*, 78, 113-120. 査読有り

9) Yoshimura, T., Tanimizu, M., Inoue, M., Suzuki, A., Iwasaki, N. and Kawahata, H. (2011) Mg isotope composition of hermatypic and deep-sea corals. *Analytical & Bioanalytical Chemistry*, 401, 2755-2769. 査読有り

10) Hathorne, E., T. Felis, Suzuki, A., Kawahata, H. and G. Cabioch (2013) Lithium in the aragonite skeletons of massive Porites corals: A new tool to reconstruct tropical sea surface temperatures. *Paleoceanography*, 28, 143-152, doi:10.1029/2012PA002311, in press. 査

読有り

11) Hayashi, E., Suzuki, A., Nakamura, T., Iwase, A., Ishimura, T., Iguchi, A., Sakai, K., Okai, T., Inoue, M., Araoka, D., Murayama, S. and Kawahata, H. (2013) Growth-rate influences on coral climate proxies tested by a multiple colony culture experiment. *Earth Planetary Science Letters*, 362, 198-206. 査読有り

12) Kuroyanagi, A., da Rocha, R.E., Bijima, J., Spero, H.J., Russell, A.D., Eggins, S.M. and Kawahata, H. (2013) Effect of dissolved oxygen concentration on planktonic foraminifera through laboratory culture experiments and implications for oceanic anoxic events. *Marine Micropaleontology*, 101, 28-32. 査読有り

13) Tanaka, Y., Iguchi, A., Inoue, M., Mori, C., Sakai, K., Suzuki, A., Kawahata, H. and Nakamura (2013) Microscopic observation of symbiotic and aposymbiotic juvenile corals in nutrient-enriched seawater. *Marine Pollution Bulletin*, 68, 93-98. 査読有り

14) Manaka, T., Ushie, H., Araoka, D., Yasuhara, M., Inamura, A., Suzuki, A. and Kawahata, H. (2013) Rapid alkalization in Lake Inawashiro, Fukushima, Japan: implications for future changes in the carbonate system of terrestrial waters. *Aquatic Geochemistry*, DOI 10.1007/s10498-013-9195-6, 19, 281-302.

15) Ohki, S., Irie, T., Inoue, M., Shinmen, K., Kawahata, H., Nakamura, T., Kato, A., Nojiri, Y., Suzuki, A., Sakai, K. and van Woesik, R. (2013) Symbiosis increases coral tolerance to ocean acidification. *Biogeosciences Discussion*, 10, 7013-7030. 査読有り

16) Yoshimura, T., Tamenori, Y., Suzuki, A., Nakashima, R., Iwasaki, N., Hasegawa, H. and Kawahata, H. (2013) Element profile and chemical environment of sulfur in a giant clam shell: insights from  $\mu$ -XRF and X-ray absorption near-edge structure. *Chemical Geology*, 352, 170-175. 査読有り

17) Yoshimura, T., Tamenori, Y., Iwasaki, N., Hasegawa, H., Suzuki, A. and Kawahata, H. (2013) Magnesium K-edge XANES spectroscopy of geological standards. *Journal of Synchrotron Radiation*, 20,

734-740. doi:10.1107/S0909049513016099, 20, 734-740. 査読有り

18) Yoshimura, T., Suzuki, A., Tamenori, Y. and Kawahata, H. (2014) Micro-X-ray fluorescence-based comparison of skeletal structure and P, Mg, Sr, O and Fe in a fossil of the cold-water coral *Desmophyllum* sp., NW Pacific. *Geo-Marine Letters*, 34, 1-9. doi:10.1007/s00367-013-0347-x. 査読有り

19) Ohki, S., Irie, T., Inoue, M., Shinmen, K., Kawahata, H., Nakamura, T., Kato, A., Nojiri, Y., Suzuki, A., Sakai, K., R. van Woesik (2014) Calcification responses of symbiotic and aposymbiotic corals to near-future levels of ocean acidification. *Biogeosciences*, 10, 1-8, doi:10.5194/bg-10-1-2013. 査読有り.

20) Inoue, M., Ishikawa, D., Miyaji, T., Yamazaki, A., Suzuki, A., Yamano, H., Kawahata, H., and Watanabe, T. (2014) Evaluation of Mn and Fe in coral skeletons (*Porites* spp.) as proxies for sediment loading and reconstruction of 50 yrs of land use on Ishigaki Island, Japan. *Coral Reefs*, 33, 363-373.

21) Kawahata, H., Nomura, R., Matsumoto, K. and Nishi, H. (2015) Linkage of rapid acidification process and extinction of benthic foraminifera in the deep sea at the Paleocene/Eocene transition. *Island Arc*, in press. 査読有り.

〔学会発表〕(計 5 件)

1) 川幡穂高, Speed of environmental change and ocean acidification Ocean Acidification - High speed release of anthropogenic CO<sub>2</sub> -, 公益社団法人日本地球惑星科学連合大会 2011 年度年会, 2011 年 5 月 25 日, 幕張メッセ.

2) Manaka, T., Ushie, H., Araoka, D., Otani, S., Suzuki, A., Zakir Hossain, H.M. and Kawahata, H. (2011) The influence of the Ganges, Brahmaputra and Meghna Rivers on regional and global carbon cycle, 2nd Annual Symposium of IGCP-581 "Evolution of Asian River Systems: Tectonics and Climates", S1-14. 2011 年 6 月 11 日, 北海道大学.

3) 川幡穂高, 山岡香子, 松倉誠也, 石川剛志, Boron isotope geochemistry of subseafloor hydrothermal ore deposits, Agrokippia B, in Troodos ophiolite, Cyprus,

Goldschmidt conference 2011, , 2011 年 8 月 14 日, プラハ国際会議場.

4) 川幡穂高, Ocean acidification and the relevant cultivation experiments for future environments. KORDI Symposium, , 2011 年 11 月 10 日, 韓国極地研究所.

5) Kawahata, H., Matsuoka, M., Togami, A., Harada, N. and Yokoyama, Y. (2012) High-precision temperature change at the western Japan during the past 10,000 years and its effect on the human activity. Goldschmidt conference 2012, 2012 年 6 月 26 日, モントリオール国際会議場.

〔図書〕(計 1 件)

川幡穂高, 東京大学出版会, 地球表層環境の進化-先カンブリア時代から近未来まで, 2011, 292.

〔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

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川幡 穂高 (KAWAHATA HODAKA)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号: 20356851

### (2) 研究分担者

鈴木 淳 (SUZUKI ATSUSHI)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報部門・研究グループ長

研究者番号: 60344199

山岡 香子 (YAMAOKA KYOKO)

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報部門・研究員

研究者番号: 39610399

井上 麻夕里 (MAYURI INOUE)

岡山大学・理学部・助教

研究者番号: 20451891

### 西 弘嗣 (NISHI HIROSI)

東北大学・学術資源研究公開センター・教授

研究者番号: 20192685

### (3) 連携研究者

なし