

平成 22 年 5 月 24 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007-2009
 課題番号：19340146
 研究課題名（和文）生物起源炭酸塩の生成機構と精密間接指標の開発に関する研究
 研究課題名（英文）Research on the formation mechanism of biogenic carbonate in order to develop environmental proxies

研究代表者
 川幡 穂高（KAWAHATA HODAKA）
 東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授
 研究者番号：20356851

研究成果の概要（和文）：現代のサンゴ試料において、高時間解像度でアスパラギン酸（Asp）の濃度と酸素同位体比を測定したところ、Asp 濃度は顕著な季節変動を示すとともに、サンゴの生理指標として使用できることが示唆された。飼育サンゴの分析によると Sr/Ca 比は水温を反映するが、Mg/Ca は成長速度を反映することがわかった。飼育真珠二枚貝における真珠層の形成は通常より広い温度範囲であることがわかった。飼育底棲有孔虫は、pH が下がると急激に石灰化速度を減じることがわかった。

研究成果の概要（英文）：High resolution measurements of an organic compound, aspartic acid (Asp), from skeleton of modern coral samples suggest that the distinct seasonal pattern in Asp is closely related with growth (calcification) of coral skeleton and that Asp reflects the biological response of corals more faithfully. Cultivated corals showed that Sr/Ca was controlled primarily by sea surface temperature, while Mg/Ca mainly reflected the growth rate. Cultivated pearl mussel showed pearl calcification in wider range of temperature. Cultivated benthic foraminifera showed sharp decline

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2008年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
年度			
年度			
総計	11,900,000	3,570,000	15,470,000

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：生物硬化作用，生物起源炭酸塩，安定同位体，温度計，間接指標

1. 研究開始当初の背景

地球的規模の温暖化に伴う気候変動について大きな関心が集まっている。将来の気候変動を正確に推定するためには、まず自然の作用のみによる環境復元が不可欠である。

この環境復元では、有孔虫やサンゴ骨格などの生物起源炭酸塩の化学組成、同位体比を環境の間接指標として用いてきた。例えば、サンゴ骨格の場合には、酸素同位体比 ($d^{18}O$) とストロンチウム/カルシウム比 (Sr/Ca

比)を組あわせることにより、過去の水温・塩分変動を復元するという手法が一般的である。教科書によれば、「骨格の酸素同位体比は水温と塩分(正確には海水の酸素同位体組成)の双方に依存し、Sr/Ca比は水温のみに依存する。したがって、Sr/Ca比から水温を推定し、骨格の酸素同位体比の変動から水温による変化分を差し引けば、その残差として海水の酸素同位体比組成あるいは塩分の変化を知ることができる。」となる。この文章は理屈の上では正しいが、実は、サンゴ骨格の中の酸素同位体比は周囲の水の同位体や水温から平衡条件下で沈積した炭酸塩が示す値から大きくずれている。すなわち、非平衡下で沈積した炭酸塩から環境復元を行なっているのである。そこで実用面では、最近の約10~20年間のサンゴ骨格分析結果と水温記録を対比して、水温との関係式を求め、それを用いて過去の水温・塩分変動を復元するという手法が一般的にとられている。

近年、古環境の炭酸塩の間接指標の解析が進むにつれて、サンゴ骨格中の酸素同位体比は、水温と塩分(正確には海水の酸素同位体比)という2つの因子の他に、成長(沈積)速度にも依存することがわかってきた。さらにSr/Ca等の金属元素についても同様な現象が指摘されており、生物起源炭酸塩の化学組成、同位体比は、周囲の環境のみならず、生物体内の炭酸塩生成機構にも影響されることがわかってきた。

2. 研究の目的

サンゴ骨格のみではなく、浮遊性有孔虫でも同様な現象が起こっていると近年報告されている。すなわち、浮遊性有孔虫の酸素同位体比も海水のpHなどにより影響されるため、白亜紀の低緯度域の水温の復元では、実際より数℃位高めの推定値を与えてきたのではないかと最近では言われている。実際、補正される以前の値はモデリングから求められる値と食違いが指摘されてきたので、pHの影響を考慮した解析は歓迎された。

以上の事情より地質学的試料を用いて、過去の水温、海水の酸素同位体比などを精密に復元するために生物起源炭酸塩の生成機構の解明と実海域での環境復元を目的として研究を行った。

3. 研究の方法

飼育実験、得られた石灰殻の同位体・化学分析、そして実海域での検証を行った。

サンゴは無性生殖を繰り返して大きな群体に成長するので、それを切断して得られる小群体はみな遺伝的性質が共通なクローンである。同じ群体から得られたクローン小群体を各温度区に配置すれば、遺伝的性質に影響されず、温度のみの影響を検討できる。ク

ローン小群体は、群体サイズに起因する影響を除去するために、2cm角の立方体状に切断し、掛け流し水槽でハマサンゴの約6か月間の恒温飼育を行い、良好な成育状況の維持に成功した。

底棲有孔虫の場合には、沖縄で試料を採取後、実験室で温度をコントロールしたシャーレの中にいれて飼育を行った。

4. 研究成果

生物が鉱物を作る現象はバイオミネラリゼーション(生物鉱化作用)と呼ばれている。炭酸塩に不飽和で、無機的な炭酸塩の沈殿が起こり得ない深海底でも底生有孔虫が方解石殻を作れるように、幾つかの生物群は体液を炭酸塩に飽和させることで、非常に効率的に炭酸塩を沈着する能力を進化の過程で身につけたと言われている。生物起源炭酸塩を構成する代表的な鉱物は方解石とアラレ石で、前者が安定相で、後者は準安定相なので、後者の方が溶解しやすい。方解石結晶の殻を作るものは有孔虫や円石藻で、アラレ石結晶を作るものはサンゴである。

生物起源炭酸塩は通常上記の2種の鉱物より構成されるが、その形態には変化がみられる。アコヤガイ(二枚貝)の殻は内層、中層、外層の二層になっていて、内層、中層は鉱物としてはアラレ石から成っているが、有機物の薄層とアラレ石が数千層と互層した真珠層を作っている。アコヤガイは真珠養殖に使用され、真珠の炭酸塩生成は貝殻とは異なることも着目される。アワビ(巻貝)の殻の場合は内層、中層、外層と3層より構成され、内・中層はアラレ石を主体とした真珠層を、外層は方解石とアラレ石との混合層を作るといったように、生物の炭酸塩生成機構は普通に思われているよりずっと変化に富んでいて、まだ知られていない重要な生成プロセスが関連していることは確かである。また、石灰化の促進メカニズムとして、光合成の影響や、石灰化母液中のアスパラギン酸などの有機物の役割が指摘されていることから個体レベルで有機態および無機態の炭素収支を明らかにすることも、石灰化プロセスの解明に不可欠である。

英虞湾賢島付近の水深3mにおける水温、塩分、溶存酸素を示す。年間の最大水温差は約20℃もある。冬に比べて夏は雨が多く、それにより塩分が低くなる。塩分の値の高低には通常河川水などの影響も考えられるが、真珠の養殖にはなるべく一定した環境での飼育が必要となるので、河川水などの影響を受けにくい場所で養殖を行う。したがって、この場合の塩分の値には河川水の影響はほとんどないものと考えられる。塩分同様溶存酸素も冬に比べて夏のほうが値が下がっている。これは、夏場は表層が温められ、密度が

低下するため、成層化するためである。これが進行しすぎると、下層が無酸素水となり、アコヤガイの大量死を引き起こすことがある。

アコヤガイが自然の状態で作った天然真珠（人工の核のない真珠）について、炭酸塩中の安定同位体比を分析した。その研究目的は、酸素同位体比については、真珠のアラセ石は水温を記録しているのか、その場合、産状と整合的であるのか？ 次に、炭素同位体については、これまでの研究では、餌由来の炭素が真珠の炭素の主要な起源と考えられてきたが、本当にそのようになっているのか？ であった。

この地域の降雨の酸素同位体比から海水の酸素同位体比 0.25‰ ~ -0.25‰ と仮定すると、本研究で用いた真珠は、真珠表層が水温 23°C の条件下で形成したと推定された。これは、水温の実地観測と照らしあわせると6月頃と考えられた。サンゴ骨格の近年の研究からは、成長速度年あたり 2mm 以上、すなわち年あたり平方 cm あたり約 0.3g 以上の場合には同位体に非平衡の状態では沈積したことがわかっている。しかしながら、今回の真珠は年あたり平方 cm あたり $0.2\text{--}1\text{g}$ と高い石灰化を示したものの、真珠の酸素同位体比は同位体平衡あるいは近い状態を意味しており、サンゴ骨格で顕著な速度論的効果はほとんど認められなかった (Kawahata et al., 2006)。

次に、炭素同位体比は、外洋水から計算した値より小さかった。その原因としては、湾内の海水が有機物の溶解に影響されているか、餌由来の同位体が寄与しているためと解釈された。もし、後者の場合には有機物由来の炭素 14% 寄与していることがわかった

(Kawahata et al., 2006)。本文部省科学研究費補助金の中では、茨城県霞ヶ浦の淡水真珠についても研究を行い、こちらは真珠の形成期間が海成真珠より長いことがわかった (文献1)

過去の地球環境を復元する際に用いられる試料としてサンゴや有孔虫等の生物が作りだす殻や骨格などが挙げられる。特に、近年では、サンゴや有孔虫等の炭酸塩生物殻の物質的側面、すなわち同位体・化学組成に注目し、より精度高く水温を推定する手法が開発されつつある。そして、生物起源炭酸塩を用いた研究では、定量的な環境復元に向けての環境支配因子の指標 (Proxy) の開発、その基礎となる生物鉱化作用

(Biom mineralization) の研究が併行して進行しており、近い将来ますます発展するものと期待されている。今回、上記の幾つかの因子を精度高くモニターした上で、サンゴの精密飼育実験を行ない、その骨格を分析した。恒温水槽飼育サンゴ骨格の酸素同位体比と水温の関係については、同飼育温度区、例え

ば飼育温度 21°C (誤差 0.1°C) の場合、試料によって骨格の酸素同位体比に約 1.5‰ の差がでてしまった。酸素同位体比のばらつきが速度論的効果により、説明されることを意味している。このように速度論的効果が発現するのは、換言するとサンゴが同位体交換以上の素早いスピードで石灰化し、その効率が非常に高いためと解釈できた。次に、同じ骨格について、 Sr/Ca 、 Mg/Ca 、 U/Ca についても分析を行った。その結果、 Sr/Ca 、 U/Ca は、以前から言われているように水温に依存していたことが確認されたが、 Mg/Ca は水温でなく、骨格形成速度と密接な関係のあることが今回初めてわかった。これらの事実は、 Mg についても酸素同位体比で観察されたように、速度論的効果が非常に聞いていることが示唆された。今後はサンゴについても別種のものについて、同様の解析を行う予定である。

骨格中のアミノ酸がサンゴの代謝の状態の間接指標としてどうかを調べるために、石垣島で採取した *Porites australiensis* サンゴ骨格中の加水分解生アミノ酸を分析した。1ヶ月の時間解像度で成長軸にそってミニ試料採取を行なって、20種類のアミノ酸を分析した。アスパラギン酸が最も大きく、その全体での相対寄与率 (mole% Asp) をプロットしたところ、明らかに冬に低く、夏に高いという年変動を示した。1988-1990年中のサンゴ骨格における成長阻害は、X線解析あるいは安定同位体比の分析より明らかである。アスパラギン酸の量の変化の示唆するところによると、代謝効果は主に炭素同位体の変化の原因となっていた。将来の課題としては、我々の造礁サンゴの石灰化機構についての理解は、いまだ不十分である。例えば、なぜサンゴ骨格の酸素同位体比が、無機的に析出するあられ石の酸素同位体比よりも約 3.5‰ も低いのか、その原因について、我々はまだ十分説明することができない (鈴木・川幡, 2007)。サンゴ骨格の Sr/Ca 比についても、良好な水温計になるとする報告と、骨格成長速度の影響が卓越して温度の指標にはならないとする報告があり、対立が続いている (Inoue et al., 2007)。サンゴ骨格の炭素同位体比も解釈に大きな混乱がある (Omata et al., 2008)。サンゴの精密飼育実験による検討は、このような状況を打開しうる可能性を持っている。サンゴ飼育に際しては、種を厳密に同定した群体を用い、環境条件比較実験にはクローン群体を用いるなど、生物学的解析を大幅に取り入れる必要がある。また、飼育中のサンゴのクロロフィル等の光合成色素量や共生藻の密度、光合成/呼吸速度などの代謝生理学的パラメータをモニターしつつ、その期間に形成された骨格の化学組成との比較検証を行うことにより、サンゴ骨格

の間接指標の徹底的な特性把握が行われるべきである。(文献2, 3, 4, 5, 6)

2009年5月に沖縄県瀬底島のサンゴ礁で採取したサンゴ礁棲の大型有孔虫ゼニイシ

(*Marginopora kudakajimensis*)を、東京大学海洋研究所へ輸送し、実験室内の水槽で飼育していたところ、そのうちの1個体が6月9日に無性生殖をした。その3日後に、この無性生殖直後の幼個体(メガロスリック個体)を、4段階の異なるpHの海水(pH 8.3, 8.2[現在], 7.9, 7.7; NBS scale)を満たしたガラスバイアルで飼育した。海水pHの調節には、塩酸および水酸化ナトリウムを用いた。海水pH 8.3は、産業革命以前の状態を想定したものである。なお、これらのpHは、全水素イオン濃度スケールの値に換算すると、概ね8.1, 8.0, 7.8, 7.6に相当する。71日間の飼育後、殻サイズ・殻重量・殻室数(chamber数)などを測定した。飼育期間中、水温は25°Cに制御され、メタルハイドランプ(スーパークール115, ランプネットワーク社製, 150W, 散光型, 色温度20000K+6400K)を1台使用して、午前7時から午後7時までの点灯による12時間サイクルの光周期を与えた。有孔虫が受ける光量は、前出のハンディー型の光量子計(QSL-2100, Biospherical Instruments Inc.)で計測した。有孔虫の殻サイズ等の計測値の有意差検定には、統計解析ソフトウェア JMP 7(SAS Institute Japan 株式会社)を用い、殻サイズと計測週数・pHとの関係については、計測週数およびpHを固定効果とした直交型二元配置分散分析(two-way crossed ANOVA)から求めた。また殻重量とpHとの関係については、有孔虫の円盤状形態を考慮して、殻重量値の平方根をとった上で、一元配置分散分析(one-way ANOVA)で求めた。4段階の海水pHに対応するpCO₂値は、おおよそ260 ppm(pH 8.3), 380 ppm(pH 8.2), 560 ppm(pH 7.9), 1000 ppm(pH 7.7)であり、未調整の現在の海水よりもpH値が高い条件区(pH 8.3, 180 ppm)は、産業革命以前の環境を仮定したものである。ゼニイシ(*M. kudakajimensis*)は、水温25°C, 光量約190 μmol m⁻² s⁻¹の環境下で約10週間飼育された。殻のサイズ・重量・殻室数は共にpHに依存して変化し、pH 7.7と7.9そして8.3の間で顕著な違いが見られ、高いpHほど大きな成長を示した。一方、pH 7.9と対照区として用いた未調整の現在の海水(pH約8.2)では、各パラメータに有意な差は見られなかった。これは、海洋のpHが低下して7.9までの範囲では、有孔虫が産業革命以前の殻の成長を保つことが出来るが、酸性化がそれ以上に進行した場合、殻形成が急速に減少する可能性を示唆する。測定項目のうち、pHによる差を最も反映していたのは有孔虫の殻重量であり、殻のサイズや殻室数

では、重量ほどの顕著な違いは見られなかった。

有孔虫の個体成長に伴い殻重量の変化は、他の石灰化生物同様に幾何学的な制約から殻のサイズの放物線関数によって近似されることが知られているが、今回の実験の各pHにおいてもこの関係が認められた。そして、F検定(F-test)によると、殻サイズと殻重量の関係は、各pHにおいて有意に異なることが示された(n = 112, F = 47.875, P < 0.0001)。このことは、堆積物中の有孔虫化石試料から、殻サイズと殻重量変化に着目することにより過去の海水pH変遷の推定できる可能性を示唆する。

(文献7, 8, 9.)

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 9件)

1) Yoshimura, T., Kawahata, H., Nakashima, R., Suzuki, A., and Tomioka, N. (2009) Oxygen and carbon isotope records of cultured freshwater pearl mussel *Hyriopsis* sp. shell from Lake Kasumigaura, Japan. *Journal of Paleoclimatology*, doi: 10.1007/s10933-009-9341-8. 査読有り.

2) Kuroyanagi, A., Kawahata, H., Suzuki, A., Fujita, K. and Irie, T. (2009) Impacts of ocean acidification on large benthic foraminifers: Results from laboratory experiments. *Marine Micropaleontology*, 73, 190-195. 査読有り.

3) Suzuki, A., Nakamura, T., Yamasaki, H., Minoshima, M. and Kawahata, H. (2008) Influence of water-flow on skeletal isotopic compositions of the branching coral *Pocillopora damicornis*. *Coral Reefs*, 27, 209-218. 査読有り.

4) Suzuki, A., Yokoyama, Y., Kanda, H., Minoshima, K., Matsuzaki, H., Hamanaka, N. and Kawahata, H. (2008) Identification of 1771 Meiji Tsunami deposits using a combination of radiocarbon dating and oxygen isotope microprofiling of emerged massive *Porites* boulders. *Quaternary Geochronology*, 3, 226-234. 査読有り.

5) Omata, T., Suzuki, A., Sato, T., Minoshima, K., Nomaru, E., Murakami, A., Murayama, S., Kawahata, H. and Maruyama, T. (2008) Effect of photosynthetic light intensity on carbon isotope composition in

the coral skeleton: Long-term culture of *Porites* spp.. *Journal of Geophysical Research*, 113, G02014. 査読有り.

6) Tsunoda, T., Kawahata, H., Suzuki, A., Minoshima, K. and Shikazono, N. (2008) East Asian Monsoon to El Niño/Southern Oscillation: a shift in the winter climate of Ishigaki Island accompanying the 1988/1989 regime shift, based on instrumental and coral records. *Geophysical Research Letter*, 35, 12, L13708. 査読有り.

7) Kuroyanagi, A., Tsuchiya, M., Kawahata, H. and Kitazato, H. (2008) Paleo-environmental implications of two genotypes of the planktonic foraminifer *Globigerinoides ruber* (white). *Marine Micropaleontology*, 68, 236-243. 査読有り.

8) Kuroyanagi, A., Kawahata, H., Nish, N. and Honda, M.C. (2008) Seasonal to interannual changes in planktonic foraminiferal assemblages in the northwestern North Pacific: sediment trap results encompassing a warm period related to El Niño. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 262, 107-127. 査読有り.

9) Gupta, L.P., Suzuki, A. and Kawahata, H. (2007) Endolithic aspartic acid as a proxy of fluctuations in coral growth. *JGR Biogeosciences*, 112 (G1): Art. No. G01001. 査読有り.

[学会発表] (計 35件)

1) 川幡穂高, 山本尚史, 大串健一, 横山祐典, 木元克典, 完新世中期の最適気候期間の人類活動と環境のリンケージ-三内丸山遺跡における人類活動の変化-, 日本古生物学会, 2008年2月1日, 東北大学.

2) 守屋和佳, 川幡穂高, 底生か, 擬浮遊性か? 酸素同位体比に基づく後期白亜紀イノセラムス類の生活様式, 日本古生物学会, 2008年2月1日, 東北大学.

3) 川幡穂高, 山村 充, 鈴木淳, 海洋酸性化と白亜紀の地球環境, 東京大学海洋研究所共同利用研究集会 2007年度 古海洋学シンポジウム, 2008年1月7日, 東京大学海洋研究所.

4) 西弘嗣, 高嶋礼詩, 川幡穂高, 山中寿朗, フランス南東部ポコンチアン堆積盆地における OAE2 の高分解能解析, 東京大学海洋研究所共同利用研究集会 2007年度 古海洋学シンポジウム, 2008年1月7日, 東京大学海洋研究所.

5) 小泉真認, 横山祐典, 鈴木 淳, 川幡穂高, 松崎浩之, 喜界島サンゴ化石を用いた中期・後期完新世の古海洋学, 東京大学海洋研究所共同利用研究集会 2007年度 古海洋学シンポジウム, 2008年1月7日, 東京大学海洋研究所.

6) 鈴木 淳, 古賀奏子, 酒井一彦, 森本直子, 中村 崇, 川幡穂高, 飼育実験によるサンゴ骨格の酸素・炭素同位体比研究, 東京大学海洋研究所共同利用研究集会 2007年度 古海洋学シンポジウム, 2008年1月7日, 東京大学海洋研究所.

7) 岡崎裕典・原田尚美, 川幡穂高, 鈴木 淳, 小田啓邦, 松崎浩之, オホーツク海南西部における過去3万年間の海洋環境変動, 東京大学海洋研究所共同利用研究集会 2007年度 古海洋学シンポジウム, 2008年1月7日, 東京大学海洋研究所.

8) 黒柳あずみ (東大海洋研), 川幡穂高 (東大・新領域・海洋研), 西弘嗣 (北大)・本多牧生 (JAMSTEC) (2008) 北西部北太平洋セジメントラップ試料から得られた温暖期を含む浮遊性有孔虫群集の年変化. 東京大学海洋研究所共同利用研究集会 2007年度 古海洋学シンポジウム, 2008年1月7日, 東京大学海洋研究所.

9) Inoue, M., Suzuki, A., Hantoro, W.S., Kawahata, H., Mg/Ca ratio in a coral skeleton as a possible proxy for the skeletal growth rate, AGU Fall Meeting 2007, 2007年12月12日, サンフランシスコ国際会議場.

10) Gupta, L.P., 鈴木 淳, 川幡穂高, Endolithic aspartic acid as proxies of fluctuations in coral growth, Goldschmidt conference 2007, 2007年8月20日, キール大学.

11) 角田友明, 鈴木 淳, 蓑島佳代, 鹿園直建, 川幡穂高, Winter sea surface temperature variations based on coral oxygen isotope record from Ishigaki Island, the Ryukyus, Japan and transition of its dominant climate factor with 1988/1989 climate regime shift, Goldschmidt

conference 2007, 2007年8月20日, キール大学.

12) 鈴木 淳, Gagan, M.K., 菅 浩伸, Siringan, F.P., 米田 穰, 川幡穂高, Coral records of the 1990s in the tropical northwest Pacific: ENSO, mass coral bleaching, and global warming, Goldschmidt conference 2007, 2007年8月20日, キール大学.

13) 川幡穂高, 生物鉱化作用と古環境指標そして地球史的変遷, 東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム「バイオミネラリゼーションと石灰化ー遺伝子から地球環境までー」, 2007年6月21日, 東京大学海洋研究所.

14) 鈴木 淳, 川幡穂高, 生物炭酸塩殻に見られる反応速度論的同位体効果について, 東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム「バイオミネラリゼーションと石灰化ー遺伝子から地球環境までー」, 2007年6月21日, 東京大学海洋研究所.

15) 小俣珠乃, 鈴木淳, 佐藤崇範, 村上明男, 川幡穂高, 丸山正, サンゴ骨格炭素同位体比から見る環境要因について (ー野外試料と飼育実験の例からー), 東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム「バイオミネラリゼーションと石灰化ー遺伝子から地球環境までー」, 2007年6月21日, 東京大学海洋研究所.

16) Gupta, L.P., 鈴木 淳, 川幡穂高, サンゴ骨格形成におけるアミノ酸の役割, 東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム「バイオミネラリゼーションと石灰化ー遺伝子から地球環境までー」, 2007年6月21日, 東京大学海洋研究所.

17) 中島 礼, 鈴木 淳, 古田望美, 川幡穂高, 酸素同位体比解析に基づく貝類殻体構造の石灰化様式, 東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム「バイオミネラリゼーションと石灰化ー遺伝子から地球環境までー」, 2007年6月21日, 東京大学海洋研究所.

18) 田子裕子, 中島 礼, 鈴木 淳, 鹿園直建, 蓑島佳代, 外西奈津美, 川幡穂高, 安定同位体比解析からアワビの殻の成長史, 東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム「バイオミネラリゼーションと石灰化ー遺伝子から地球環境までー」, 2007年6月21日, 東京大学海洋研究所.

19) 岡井貴司, 鈴木 淳, 雪野 出, 井上麻夕里, 川幡穂高, 寺島 滋, 今井 登, 化

学分析用地球化学標準物質サンゴ JCp-1・シヤコガイ Jct-1 について, 東京大学海洋研究所共同利用シンポジウム「バイオミネラリゼーションと石灰化ー遺伝子から地球環境までー」, 2007年6月21日, 東京大学海洋研究所.

〔図書〕(計 1件)

川幡穂高, 東京大学出版会, 海洋地球環境学ー生物地球化学循環から読む, 2008, 280.

〔その他〕

ホームページ等

<http://ofgs.ori.u-tokyo.ac.jp/kawahata/kawahata-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川幡 穂高 (KAWAHATA HODAKA)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号: 20356851

(2) 研究分担者

横山 祐典 (YOKOYAMA YUSUKE)

東京大学・海洋研究所・准教授

研究者番号: 10359648

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・主任研究員

研究者番号: 60344199

中島 礼 (NAKASHIMA REI)

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: 00392639

(3) 連携研究者

なし