

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25247085

研究課題名(和文) 堆積物-水境界の地球生命科学：生態系機能・堆積ダイナミクス・物質循環の統合的理解

研究課題名(英文) Biogeosciences of sediment-water interface: comprehensive understandings of ecosystem functioning, dynamics and material cycles at sediment-water interface

研究代表者

北里 洋 (KITAZATO, HIROSHI)

東京海洋大学・学術研究院・特任教授

研究者番号：00115445

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,300,000円

研究成果の概要(和文)：堆積物-水境界(SWI)の動態を、現場観測、室内実験を通じて把握し、化学勾配の変動から生態系機能を明らかにする。また、底生有孔虫類がシストを作り、1日かけて殻形成を行うことに注目してSWI動態に関するプロキシーを作成する。研究は、オプトード観測、有孔虫個体群動態と生態系機能の把握、ケモスタットを用いた有孔虫の殻形成過程の把握と殻中の微量元素の定量、同位体生態学を行い、成果をまとめた。

底生有孔虫類の殻形成過程を把握し、殻には、殻形成時に変動するSWIの動態が記録されていることを明らかにした。有孔虫殻の微量元素組成の変異はSWIの変動に起因し、生物地球化学循環の復元につながる。

研究成果の概要(英文)：We have investigated sediment-water interface dynamics through in-situ observations and laboratory experiments. Ecosystem Functions will be made clear through daily changes in chemocline. We have attempted to construct proxies that represent sediment-water interface dynamics. Optode observations, population dynamics, ecosystem functioning of benthic foraminifera were done during the project years. Foraminiferal test formation processes and quantitative analyses of trace elements in foraminiferal test and isotopic ecology have also carried out.

We have made clear test formation processes of foraminifera in detail. Foraminiferal test certainly recorded variations of environments. Trace elements in foraminiferal tests should be related to changes in sediment-water interface. Changes in trace elements in foraminiferal test are related to that of biogeochemical cycles in global scales.

研究分野：地球惑星科学、地球生命科学、海洋微古生物学

キーワード：古環境 堆積物-水境界 有孔虫 生物地球化学循環 proxy

1. 研究開始当初の背景

海底の堆積物-水境界 (SWI と略す) は、有機物質、無機物質が堆積し地層を形成する場である。また、そこに住むさまざまな生物の活動が生物地球化学的な物質循環を促す場と成っている。つまり、SWI は、水圏と地圏の境界で物質の集積、分解が活発に起こる地球-生命システムの重要な機能を担っているといえる。その動的な姿を地層形成、生物活動、生物地球化学循環という複合的な視点から明らかにすることを通じて、この生態系システムがどのように機能するかを、現場、室内における観測と実験を通じて統合的に解明する。とくに、SWI の動的な変動記録が、海底底生生物の代表の一つである、有孔虫の殻にどう残されるかを明らかにし、地層における SWI の動態とその機能の変遷を議論できるプロキシーを提案する。

2. 研究の目的

全球の7割以上の面積を占める水圏と固体地球の境界部には、地層が形成され、生物が生息し、物質循環が起こっている。この境界部を堆積物-水境界 (SWI) 生態系と呼び、地球システムで重要な要素を構成している。その構造は1970-80年代に盛んに研究が行われ、基本的な物質循環システムが理解されている。また、微生物生態系としては、酸素に依存する表層から、窒素、マンガン、鉄、硫酸還元、そして絶対嫌気のメタン発酵までのエネルギー運搬カスケードが示されている。

このように、物理-化学的な場、あるいは生物生息の場としての SWI の静的な特徴についてはそれぞれ理解が進んだものの、日周、月齢周期の変動にどう反応しているのか？ 地球システムの中でどう機能しているのか？ という SWI の動的な理解は依然として進んでいるとは言えない。たとえば、人間活動にともなって、余剰炭素が放出されたときに、海底でどれくらい消費され、どれくらい地層中に蓄積されるのか？ 海底の物理化学的な擾乱を起こしたときに、SWI システムがどれくらい乱され、消費-蓄積収支に影響が出るのか？ そのシステムの回復にはどれくらい時間がかかるのか？ といった動的な生態系システムの機能 (ecosystem functioning) という点で考えると、我々は明快な答えを持っていない。

代表者らは1991年以降、大陸縁辺域堆積盆の典型であると考えている相模湾に深海定点を設け、堆積物-水境界の季節的な酸素到達深度変化、深海のバイオマスの半分を占める底生有孔虫群集の季節変動と海洋表層一次生産との相関を観測してきた (Ohga and Kitazato, 1995; Kitazato *et al.*, 2000, 2003)。その結果、相模湾中央部海底の SWI における有孔虫の深度別住み分けとそれが SWI に見られる化学勾配と相関している事を明

らかにした (Kitazato *et al.*, 2003)。また、デンマークの Glud らと微小電極による堆積物-水境界の酸素、窒素プロファイル観測を行い、微生物に基づく酸素、炭素および窒素収支を検討した (Glud *et al.*, 2005; 2009a, b; submitted)。また、JAMSTEC が初島沖海底1170m に敷設している深海観測ステーションの海底電源コネクターとランダーに搭載したオプトードを接続し、二次元酸素分布変化の連続観測を行った。オプトード膜は、低い酸素濃度を識別して検出する高感度のもを新たに開発した (Oguri *et al.*, 2005)。その結果、1200m という深海でも海洋潮汐に基づく酸素到達濃度変化が見られること、底生有孔虫はその酸素到達濃度の日周潮汐変動に伴って、堆積物中を移動することを見つけた (Kitazato *et al.*, 準備中)。一方、有孔虫が殻を作るときには、種類ごとに堆積物中の異なった深度にとどまってシストを作り動かない (Gloss, 2000)。このことは、有孔虫が殻を作る期間中に起こった SWI の環境変動は、何らかの情報として殻に残されていることを示している。つまり、有孔虫の殻中に残された記録 (たとえば微量元素、同位体組成変化) から、SWI の変動記録、ひいてはその機能について読み解く事ができる。

本研究では、地球システムにおいて重要な境界面である堆積物-水境界 (SWI) の物理化学的な動態とそこに住む生物の反応を理解し、SWI の生態系機能を明らかにする。底生有孔虫は殻形成の折にシストを作る。シストの場所は動かないので、SWI の間隙環境の日周変動を記録するはずである。たしかに、有孔虫殻は一つの殻であっても部位ごとの化学組成変化がある (Toyofuku and Kitazato, 2005)。この現象を生物学的なゆらぎ (vital effect) であると考えてきたが、SWI の物理化学的、ならびに生物学的変動をも反映していると考えるほうが自然である。本研究では、このことを証明する。またその結果、このようなアプローチを通じて過去の SWI システムの動態と機能変動を議論できるようになるためのプロキシーが開発できる。

3. 研究の方法

堆積物-水境界 (SWI) は、地層形成の場であるとともに、生元素循環が活発に起こる地球-生命システムの重要な境界である。その境界部の構造と化学勾配は理解されているが、その動態と機能はわかっていない。研究では、現場、実験室における観測、実験および分析を行い、SWI の動態と機能を解明する。さらに、有孔虫の殻を構成する結晶に残された微量元素の heterogeneity から、SWI の動態に関する指標を提案する。

堆積物-水境界観測の主なフィールドは相模湾中央部 (1200~1500m) とする。そこでは有機物の集積と分解、その結果としての天然ガス・石油の形成があり、活発な生物地球

化学循環を考えることに適している。これに加えて、極端な SWI の例として、甌島貝池・なまこ池、深海平原～海溝部をも対象とする。

1 a) ランダーに搭載したオプトードによる SWI の酸素到達深度と生物擾乱の連続観測 (小栗、海外研究協力者(南デンマーク大)Glud 担当): 堆積物-水境界の化学勾配と生物擾乱による動態観察を行うために、デンマークの研究者とともに構築した長期観測型ランダーに搭載した 2D 酸素 optode システムを用いる (Glud *et al.*, 2005, 2009)。相模湾底は溶存酸素濃度が低いために、低い酸素量に鋭敏に機能する optode フィルムを開発した (Oguri *et al.*, 2007)。本研究では、自立型長期観測ランダーを湾中央部に投入することを目指して、システムを構築する。

1 b) 深海顕微鏡-分析装置 (小栗、白石担当): 堆積物-水境界に見られる微生物による化学勾配の 3 次元変動を、微小電極 (NO₃⁻, S, Fe など)、化学センサーを搭載した深海顕微鏡-分析装置を用いて観測する。そのための装置として、ペリスコープ型広角ハイビジョン顕微鏡カメラと微小電極、オプトードを中心とした二次元生元素分布を把握できるセンサー類を同時搭載した機器を新たに開発する。

2) 形態と遺伝子による有孔虫の個体群変動と透過電子顕微鏡による細胞内器官の特徴から堆積物-水境界における生態・機能を把握する (北里、Sinniger 担当): 底生有孔虫類は、SWI の化学勾配に従って棲み分けしている (Jorriison, 1995; Kitazato, 1994)。最近の研究では、*Globobulimina* など、堆積物の中深部に生息する有孔虫種は窒素循環に加わっていることがわかってきた (Riesgaard-Petersen *et al.*, 2008)。一方、*Chilostomella* のように、堆積物深部に生息するが、脱窒作用に関わっていない種もあり (Kitazato *et al.*, 2008)、その生態と機能の検討が必要である。北里が形態分類と透過電顕による細胞内器官の観察と分類を行ない、Sinniger が有孔虫及び堆積物のゲノム解析を行なう。

3) ケモスタットを用いた有孔虫殻形成実験と殻内結晶単位ごとの微量元素 (Mg, Mn, など)、同位体組成解析 (豊福、海外研究協力者(ユトレヒト大)Koho 担当): 有孔虫は周囲の間隙水の環境と同期しながら殻を形成する。そのとき、殻はジグソーパズルのような結晶単位の集合体として構成される。殻は浅海種で約 24 時間、深海種ではさらに長い時間をかけて形成されるので、それぞれの結晶ユニットは異なった時間に異なった間隙環境の下に形成される。つまり結晶ごとに異なった微量元素・同位体組成を示すことが予想される。とくに、還元的環境では、Mn, V, U, Mn などが固相から溶存態になるために、これらの元素が殻に取り込まれる濃度が変わるはずである。しかし、結晶単位は数ミク

ロンと小さいため、in situ 二次元マッピングができるナノシムスを用いて測定する。本研究では、有孔虫が形成した一つの房室殻の結晶単位ごとの微量元素、同位体レベルのばらつきを検討し、SWI の間隙における日周変動を推定する。初年度は、微小領域分析手法を開発するため野外で成長した個体を用いて分析を実施する。ナノシムスは東京大学大気海洋研究所の機器を用いる。また、Karolina Koho は所属するオランダ Utrecht 大学の同機器を用いるが、年に一度、来日して日蘭の機器間のキャリブレーションを行う。

4) 同位体生態学的手法を用いた、有孔虫種群構造の構築 (力石、北里、Sinniger 担当): 有孔虫は種ごとに、堆積物中で住み分ける。アミノ酸の同位体生態学的手法を用いて、有孔虫を含む SWI 群集の相関を検討し、どのような相互関係にあり、どのように物質循環に関わっているかを明らかにする。この解析を通じて、SWI における有孔虫の生態的地位が明らかにする。力石が分析を担当し、北里、Sinniger も加わって群集構造解析を行う。

4. 研究成果

1) SWI における有孔虫を始めとするメイオベントスの活動と溶存酸素との関係を把握するために、二次元酸素センサーを用いた現場観測結果の解析をすすめた。解析の結果、初島沖の堆積物中の有酸素深度は 5-8mm であった。本解析の結果、堆積物中の溶存酸素は表層において 34.8 μM、堆積物深度 8mm において 0.1 μM となり、10mm においてほぼ枯渇する。潮汐に起因すると考えられる堆積物表層を流れる水の動きによって benthic boundary layer の厚みが変動し、堆積物への酸素フラックスが時間変化を示した。また、酸素フラックスは生物活動によっても影響を受けた。底生のコペポダや線虫の鉛直移動に伴って、酸素は局所的に通常よりも深くまで漕ぎ込まれ、アノマリーが発生した。底生生物が作り出す無酸素層への酸素フラックスを発生させる役割を見出すとともに、定量した。また、観察の中では、無酸素である深度でも様々な底生生物が活動している這い跡が観察された。そこで無酸素層に着目して有孔虫の堆積物中の移動を観察した。

Chilostomella や *Stainforthia*, *Globobulimina* などは、数日に渡って無酸素層に滞在した上、毎時約 50-100 μm で移動している様子が確認された。これらの有孔虫の行動は、堆積物～水境界に存在する酸素、窒素、pH など化学勾配に同期し、脱窒やバクテリア共生などを行ってエネルギー代謝している (小栗ほか、2015; Oguri *et al.*, in prep.)。

2) マリアナ海溝チャレンジャー海淵におけ

る海底における酸素消費量を評価するため、自律型マイクロプロファイリングシステムを用いて、深海の映像解析、堆積物の地球化学分析、有機物分析を行った。マリアナ海溝最深部においては、微生物による有機物の分解が卓越していた。この無機化作用は世界最深部における海洋栄養素の再生産に貢献しており、有機物の保存にも影響を与えていた。チャレンジャー海淵においては近隣の深海平原に比べ約二倍の生物学的酸素要求量 (BOD) が認められた。これは有機物の含有量がチャレンジャー海淵に於いて高いことに起因する。²¹⁰Pb の分析の結果は最深部における比較的速い堆積速度を示しており、有機物濃度が高いことを支持している。(Glud et al., 2013)。この傾向は、トンガ海溝においても同じであった。(Wenzhoefer et al., 2016)

日本海溝においては、東北地方太平洋沖地震 4 ヶ月後に調査を行い、一部を本研究の成果として報告する。日本海溝では 2 つの地点で in-situ での映像観測と堆積物コアサンプリングを行った。映像からは海底から約 30-50m の高密度の懸濁層が撮影された。海溝軸では、底生生物の姿が見られず、濁った下り坂の流れとともに死んだ生物が観察された。トレンチ軸の堆積物の上部 31cm は、福島第一原発由来の ¹³⁴Cs を含む表層堆積物が得られた。これは珪藻のブルーミングによって表層から急速に運搬されるものと推測されるが、海溝における堆積メカニズムの一端を証明する上で重要な知見が得られたといえる。(Oguri et al., 2013)

北西太平洋における 5 個所の異なる海洋学的セッティングであるマリアナ海溝南部、伊豆小笠原海溝、日本海溝/伊豆小笠原海溝三重点、日本海溝北部において天然および放射性粒子状物質トレーサである過剰な ²¹⁰Pb の測定を行い、堆積物の集束効率を調べた。先に述べたとおり、海溝斜面は、正断層でだんだん落ちていく地形の効果によって有機物を多く含む粒子状物質がトラップされる効果がある。測定の結果、海溝における堆積物のダイナミクスは内部潮汐強度に大きく影響を受けており、底生生物への餌供給に重要な影響を及ぼしている可能性が示された。(Turnewitsch et al., 2014)

水深によって SWI 環境、とくに酸素濃度、有機物負荷が底生生物の多様性、現存量および微小環境に与える影響を評価するために、下北沖の水深 50m から 2000m における、海底環境の生物地球化学的分析および底生有孔虫の群集解析を行った。

下北沖の大陸棚部分の水深 55m、81m、105m の 3 点と、大陸斜面上端の水深 211m 地点において採取した堆積物を分析したところ、いずれの地点でも堆積物中の深さ数 cm から 10cm 程度までの間にイベント的な堆積構造が認められた。上部には貝殻などが混じっており、淘汰が悪い堆積物であった。一部は上

方粗粒化構造を示した。これは、津波の引き波によって形成されると考えられる。底生有孔虫類は大陸棚付近の水深 55m で 59 種、水深 81m で 63 種、水深 105m で 49 種の有孔虫が見つかり、通常よりも高い多様性を示した。これは様々な生息環境にいた有孔虫が、津波によって混在して同所的に見つかったためと考えられる。またこれらの有孔虫の多くは生きた状態で採取され、乱泥流や有機物流入等による大量死などは観察されなかった。一方、本来海底面に生息している表生種が、堆積物中において生きた状態で見られた。これに対し、大陸棚縁部の水深 211m 地点では、有孔虫は 21 種のみが見出され、そのうち 86% が単一種で寡占する多様性の低い群集であった。この地点では本来の堆積物は洗い流され、その後日和見種が先駆的に加入したとみられる。(Toyofuku et al., 2014)

200m より深い水深では津波の影響は少なく本来の群集が保存されていた。760-1250m の間に位置する 3 つの地点は、貧酸素水塊 (<45 μmol/L) であり、糖、脂質および酵素加水分解性アミノ酸 (EHAA) の濃度が高い。全体の傾向としてクロロフィル含有量は深度とともに減少するものの、その新鮮さは深度による大きな違いは見られなかった。

Uvigerina akitaensis と *Bolivina spissa* は、貧酸素耐性がある。一方、*Nonionella stella*, *Rutherfordoides cornuta* は、代謝経路 (例えば、脱窒) を利用することで、無酸素環境に適応していると考えられる。溶存酸素が比較的高い場所では (>70 μmol/L)、利用可能な有機化合物はわずかに減少するが、依然として多様性は低く、より競合する種 (例えば *Uvigerina curtica*, *Nonionella globosa*, *Nonionellina labradorica*, *Elphidium bathialis*) が優占していた。(Fontanier et al., 2016; Koho et al., 2017)

3) SWI の化学勾配変動は、そこに生息する有孔虫の殻に記録される。しかし、殻が形成される過程については、材料となるカルシウムと炭素をどのように取り込みに依然としてわかってない部分が多い。そこで石灰化過程に必要な炭素の取り込みを支配する、環境の pH を顕微鏡下で可視化する実験システムを構築し、観察を行った。殻形成中の顕微鏡画像を解析した結果、石灰化が始まると有孔虫周辺の pH は低下し、この状態は石灰化が終わるまで続いた。これは有孔虫から水素イオンが排出されていることを示唆している。pH 条件を 8.0 から 6.8 までに変え観察したところ、いずれの条件でも殻形成時に pH の低下が認められた。有孔虫から放出されている水素イオンの量を実験画像から定量すると、その量は環境の pH ではなく、形成される殻の大きさによって変化することがわかった。別の個体で細胞内部の観察を行ったところ、外部とは逆に pH が 9 以上に高められていた。この結果は、有孔虫が水素イオンを細胞外に

排出することで石灰化部位の pH を高めており、殻形成部位に取り込まれた二酸化炭素や重炭酸イオンは効率的に殻形成に用いられていることを示した。さらに、水素イオンの排出が本当に殻形成を促進させているかを確かめるため、水素イオンを運び出す酵素の働きを阻害する薬剤を添加したところ、pH の低下は見られず、有孔虫は殻形成を停止した。以上の結果から、有孔虫は水素イオンの排出によって炭酸カルシウムの殻を形成していると結論づけた。カルシウムイオンについても観察を行っており、殻形成に伴って細胞本体における濃度の上昇が認められるが、それが始まるより先に殻形成が始まることを掴んだ。これは殻形成に用いるカルシウムが細胞本体に取り込まれたものだけでなく、海水から殻形成部位にその場で取り込まれていることを示唆する。(Tachikawa *et al.*, 2013; Toyofuku *et al.*, 2017)

4) 堆積物中の複雑な食物網の記録が有孔虫など化石殻に情報が記録されるか検討した。本研究では、従属栄養分解の間にフェニルアラニンが窒素同位体組成にほとんど変化を示さないが、グルタミン酸は各段階で有意な¹⁵Nの変動を見せることを活用した、分子毎アミノ酸同位体比を用いた栄養段階推定法を貝殻に応用することをこころみだ。有孔虫を含む殻・硬組織中のタンパク質のアミノ酸の同位体シグナルは、殻・硬組織が生産されたときの軟体部のタンパク質(例えば、筋組織)の同位体シグナルと常に同一であることを示した。これらの結果は、硬組織中(例えば有孔虫)のタンパク質からのフェニルアラニンおよびグルタミン酸の窒素同位体組成が分析できれば、殻が生成された環境における有機物の窒素同位体比、および殻の主の栄養段階の推定が出来ることを示した。

(Chikaraishi *et al.*, 2014)

また、多様な SWI 動態を把握すべく、世界中の海底堆積物について環境 DNA を分析し、遺伝子から見た深海底生生態系の類似性について検討した。世界中の深海底および海溝から採取された 39 の深海堆積物サンプルを用いて環境 DNA を解析し、底生生物(metazoan)の多様性を評価した。環境 DNA のデータセットはメイオセントスによって占められており、深海底によく見られるすべての動物門が同定されたが、一方で未記載種が多い動物門では、多数の未分類の operational taxonomic units (OTUs)が残った。深海生物多様性の評価を促進する上で環境 DNA メタバーコーディングが一定の有用性を有することを示す一方で、結局のところ伝統的な形態学による裏付けの重要性を浮き彫りにした。(Sinniger *et al.*, 2016)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

1. Koho, K. A., de Nooijer, L. J., Fontanier, C., Toyofuku, T., Oguri, K., Kitazato, H., Reichart, G.-J. (2017) Benthic foraminiferal Mn / Ca ratios reflect microhabitat preferences. *Biogeosciences*, DOI:10.5194/bg-2016-547. 査読あり
2. Toyofuku, T., Matsuo, M. Y., de Nooijer, L. J., Nagai, Y., Kawada, S., Fujita, K., Reichart, G.-J., Nomaki, H., Tsuchiya, M., Sakaguchi, H., Kitazato, H. 2017, Proton pumping accompanies calcification in foraminifera. *Nature Communications*, 8, 14145, DOI:10.1038/ncomms. 査読あり
3. Sinniger, F., Pawlowski, J., Harii, S., Gooday, A.J., Yamamoto, H., Chevaldonné, P., Cedhagen, T., Carvalho, G., and Creer, S. (2016) Worldwide analysis of sedimentary DNA reveals major gaps in taxonomic knowledge of deep-sea benthos. *Frontiers in Marine Science* 3:92. DOI: 10.3389/fmars.2016.00092. 査読あり
4. Wenzhoefer, F., K. Oguri, M. Middelboe, R. Turnewitsch, T. Toyofuku, H. Kitazato and R. N. Glud, 2016, Benthic carbon mineralization in hadal trenches: Assessment by in situ O₂ microprofile measurements. *Deep Sea Res.*, 1, v. 116, 276-286. DOI: 10.1016/j.dsr.2016.08.013. 査読あり
5. Oguri, K., Y. Furushima, T. Toyofuku, Y. Kasaya, M. Wakita, S. Watanabe, K. Fujikura and H. Kitazato., 2016, Long-term monitoring of bottom environments of the continental shelf and slope off Ohtsuchi Bay, northeastern Japan. *Jour. Oceanogr.*, DOI: 10.1007/s10872-015-0330-4. 査読あり
6. 小栗一将, 山本正浩, 豊福高志, 北里洋. (2015) エポキシ樹脂固定法を用いた深海用光源とチャージポンプの開発. *JAMSTEC Rep. Res. Dev.*, 21(0), 7-15, DOI:10.5918/jamstecr.21.7. 査読なし
7. Fontanier, C., Dourou, P., Toyofuku, T., Oguri, K., Koho, C. A., Buscail, R., Grémare, A., Radakovitch, O., Deflandre, B., de Nooijer, L. J., Bichon, S., Goubet, S., Ivanovsky, N., Chabaud, G., Reichart, G.-J., Kitazato, H. (2014) Living (Stained) deep-sea foraminifera off Hachinohe (NE Japan, Western Pacific): Environmental interplay in oxygen-depleted ecosystems. *The Journal of Foraminiferal Research*, 44, 3, 281-299, DOI: 10.2113/gsjfr.44.3.281.

- (IF(2013):2.060). 査読あり
8. Toyofuku, T., P. Duros, Ch. Fontanier, B. Mamo, S. Bichon, R. Buscail, G. Chabaud, B. Deflandre, S. Goubet, A. Grémare, C. Menniti, M. Fujii, K. Kawamura, K. A. Koho, A. Noda, Y. Namegaya, K. Oguri, O. Radakovitch, M. Murayama, L. J. de Nooijer, A. Kurasawa, N. Ohkawara, T. Okutani, A. Sakaguchi, F. Jorissen, G.-J. Reichart and H. Kitazato, 2014, Unexpected biotic resilience on the Japanese seafloor caused by the 2011 Tōhoku-Oki Tsunami. *Scientific Reports*, 4 : 7517 | DOI: 10.1038/srep07517. 査読あり
 9. Turnewitsch, R., S. Falahat, J. Stehlikova, K. Oguri, R. N. Glud, M. Middelboe, H. Kitazato, F. Wenzhöfer, K. Ando, S. Fujio, and D. Yanagimoto, 2014, Recent sediment dynamics in hadal trenches: Evidence for the influence of higher-frequency (tidal, near-inertial) fluid dynamics. *Deep-sea Res.*, 1, 90, 125-138. DOI:10.1016/j.dsr.2014.05.005. 査読あり
 10. Tachikawa, K., Toyofuku, T., Basile-Doelscha, I., Delhayec, T. (2013) Micro-scale neodymium distribution in sedimentary planktonic foraminiferal tests and associated mineral phases. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 100, 11-23, DOI: 10.1016/j.gca.2012.10.010. 査読あり
 11. Glud, R. N., F. Wenzhöfer, M. Middelboe, K. Oguri, R. Turnewitsch, D. E. Canfield and H. Kitazato, 2013, High rates of microbial carbon turnover in sediments in the deepest oceanic trench on Earth. *Nature Geoscience*, DOI: 10.1038/NGEO1773. 査読あり

ほか 2 0 編

【学会発表】(計 1 件)

1. Chikaraishi, Y., Nomaki, H., Tsuchiya, M., Toyofuku, T., Ohkouchi, N., Kitazato, H. Utility of nitrogen isotopic composition of amino acids in shell protein. *JpGU2014*, Yokohama, 1 May 2014. ほか 5 6 件

【図書】(計 3 件)

1. 北里 洋, 2014, 深海, もうひとつの宇宙 -しんかい 6500 が見た生命誕生の現場, 岩波書店, 東京, 208p.
2. Kitazato, H. and J.M. Bernhard (eds.), 2014, Approaches to Study Living Foraminifera: Collection, Maintenance

and Experimentation.

Springer-Verlag, Tokyo, 227p.

3. Takayanagi, Y. and H. Kitazato, 2014, Foraminiferology in Japan: a brief historical review. In Bowden, A. J., Gregory, F. J. and Henderson, A. S. (eds.) 2014. *Landmarks in Foraminiferal Micropalaeontology: History and Development*. The Micropalaeontological Society, Special Publications, Geological Society, London, 217-226. ほか 2 冊

6 . 研究組織

(1)研究代表者

北里 洋 (KITAZATO, Hiroshi) 東京海洋大学・学術研究院・特任教授 研究者番号: 00115445

(2)研究分担者 (5 名)

小栗一将 (OGURI, Kazumasa) 海洋研究開発機構・海洋生物多様性研究分野。主任技術研究員 研究者番号: 10359177

フレデリック・シニゲルー波利井 (SINIGER-HARII, Frederic) 琉球大学・熱帯生物圏研究センター・ポスドク研究員 研究者番号: 10625940

豊福高志 (TOYOFUKU, Takasi) 海洋研究開発機構・海洋生物多様性分野・主任研究員 研究者番号: 30371719

白石史人 (SHIRAIISHI, Fumito) 広島大学・大学院理学研究科・助教 研究者番号: 30626908

力石嘉人 (CHIKARAISHI, Yoshito) 海洋研究開発機構・生物地球化学研究分野・主任研究員 研究者番号: 50455490

(3)連携研究者

(0 名)

(4)海外研究協力者

(2 名)

Ronnie N. Glud, University of South Denmark, Denmark, Professor (Microbial Ecology)

Karolina Koho, Utrecht University, Netherlands / Helsinki University, Finland, Postdoctoral Fellow (Geochemistry)