

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 17日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2012

課題番号：21540481

研究課題名（和文）環境激変イベントに伴う底生動物群集回復プロセスに関する基礎研究

研究課題名（英文）A study on the recovery process of benthic community at the azoic seafloor conditions produced by the drastic events associated with physicochemical changes at the seafloor

研究代表者

小竹 信宏（KOTAKE NOBUHIRO）

千葉大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：00205402

研究成果の概要（和文）：

本研究は、海底の物理・化学環境の激変で形成された無生物状態の海底環境に底生動物が参入し、新たな群集が再生・回復・発展するプロセスを、生痕化石の検討に基づいて解明することである。その結果、以下の成果が得られた。（1）物理的要因で形成された無生物環境においては、特定の小型パイオニア種が先ず参入し、海底環境の安定化に伴い大型種や長期定住型底生動物を交えた多様性が高い群集に移行する。（2）堆積間隔が極端に短いと、パイオニア種が形成した生痕化石のみが記録として地層に保存され、無生物環境が継続することもある。（3）安定期が長いと、深部埋没者の生痕化石は保存されるが、浅部埋没者のそれは破壊されてしまい、化石記録として保存されない。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this project is to know the recruitment and subsequent recovery processes of benthos at the azoic seafloor produced by drastic physicochemical events. This project made mainly by detailed field observations for the trace fossil assemblages associated with event deposits such as turbidite, tempestite, and tephra beds. The followings were obtained as the results: (1) The mono-specific pioneer animals characterized by small body-size were first recruited on the azoic conditions. In the case of shallow marine environments, the trace fossils such as *Diplocraterion parallerum* and *Phycosiphon incertum* produced by polychete and nematoda are preserved as a fossil record. In contrast, only the trace fossil *Phycosiphon incertum* is recorded in the sediments as the product of pioneer species. (2) In the case of the special bottom condition, which is characterized by the too much high sedimentation rate bottom condition, the azoic seafloor is continued. (3) It suggests that preservation potential for the trace fossils produced by shallow-burrowers is lower than that by deep-burrowers at the seafloor where stable bottom condition without any physical disturbances has continued. This is because trace fossils produced by shallow-burrowers were destroyed and obliterated by activity of the deep-burrowers. Therefore low diversified trace fossil assemblages have appeared under such the bottom conditions. These inferences strongly suggest that fossil records of ancient benthic animals seem to be controlled by the change in depositional conditions. In other words, the change in trace fossil diversity must be useful indicator for reconstruction of depositional environments.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	600,000	180,000	780,000
2013年度	0	0	0
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：古生物学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・層位・古生物学

キーワード：層位古生物、生痕化石、大量絶滅、環境激変イベント、底生動物

1. 研究開始当初の背景

海底環境の激変に伴い一時的に形成される無生物状態の海底で、底生動物群集が回復するプロセスを詳しく検討し把握することは、底生動物の生態学的・行動学的意義を考察する上ではもちろんのこと、海底の物理・化学環境の激変を伴うような海洋工事や海洋資源探査・採掘を実行する際の環境アセスメント指標としての基礎資料となるなど極めて重要であり、決して軽視できない。これまで、人工的に作られた無生物培地を用いた研究、あるいは、海底環境を人工的に破壊し、底生動物群集の回復プロセスを把握しようとする国際プロジェクト研究も行われてきた。ただ、これらの研究の場合、対象となる生物は小型の底生動物までに限られること、実験も長くて数年程度しかできないことなど、本質的問題を抱えていた。また、実験培地から定期的に堆積物試料を採取する際の技術的問題から、培地設置の水深、海域、環境も著しく限定され、場合によっては極めて大がかりで膨大な資金を必要とした。このため、長期間のモニタリングや複数の環境を設定することは事実上不可能であり、底生動物群集回復プロセスの全貌を把握・理解することにも成功していない。そこに現生生物を用いた研究の限界があった。その点、地層に保存されている生痕化石から得られるデータは、これらの問題を解決してくれる可能性が硬い有効なアプローチの一つであった。しかし、これまでの研究では、その利点を生かした視点からの検討はほとんど行われてこなかった。そこには、正確な生物学的情報を十分に加味した上での生痕化石研究が行われてこなかった、という致命的な問題があった。それに加えて、堆積学的視点も十分に取り入れてきたとは言えず、これまでの研究の不完全さに拍車をかける原因ともなっていた。

また、上記のような視点から得られるデータは、過去に幾度か繰り返されてきた大量絶滅後の生物回復過程を議論する際に、極めて重要な基礎情報を提供してくれることは間違いない。

このように本研究は、海底環境の激変に伴い、過去の底生動物群集がどのように変化したかを単に復元することにとどまらず、生物の大量絶滅という地球史を論ずる際に極めて重要となる現象にも関連する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、海底の物理・化学環境の激変で形成された無生物状態の海底環境に底生動物が参入し新たな群集が再生・回復・発展するプロセスを、生痕化石の検討に基づいて詳細に解明することである。特に、物理的環境の激変と、それに伴う底生動物群集の変化に力点を置いて研究を進めることである。

3. 研究の方法

本研究では、タービダイト、テンペスタイト、そして降下テフラ（火山灰）を無生物状態の海底環境を形成する堆積イベントとして扱い、それらの直下、直上、そして内部で見られる生痕化石を *bed-by-bed* で詳しく検討した。堆積イベント後の無生物海底環境に新規参入した底生動物によって形成されたことが判明・識別できた生痕化石に関し、参入の順序を正確に把握するため生痕化石間の切り合い関係 (*cross-cutting relationships*) を解析する。そのデータをもとに、新しい海底環境に参入する底生動物の順序を、生活・行動様式の違いという観点から、異なる堆積イベントと環境ごとに把握する。これら野外調査にもとづくデータ採取に加え、採取した生痕化石およびその母岩の化学分析を行った。

また、浅海および深海でもパイオニア動物が形成したと考えられる *Phycosiphon incertum* と *Nreites* については、その3次元形態を正確に把握するため、それらを含む岩石標本を0.1 mm 間隔で研磨し、研磨面をスキャナーでPCに取り込み、画像解析ソフトを使用して3次元構造を復元する。

4. 研究成果

タービダイトやテンペスタイトといった物理学的要因で形成された無生物環境においては、特定の小型パイオニア種が先ず参入し、海底環境の安定化に伴い大型種や長期定住型底生動物を交えた多様性が高い群集に移行することが判明した。テンペスタイトが卓越する浅海の場合、多毛類や線虫類が形成者と推定される *Diplocraterion parallerum* の小型個体と *Phycosiphon incertum* が産出することが明らかとなった。前者は、堆積間隔が相対的に長いと推定された海底環境堆では、大型個体も産出するようになるケースも見いだした。しかし、他の生痕化石が共産しないことから、*Diplocraterion parallerum* 形成者のみから構成される単一集団が形成されたものと考えられる。*Diplocraterion parallerum* 形成者が成長した段階でも他の生痕化石が見当たらないことから判断して、複数のタクサから構成される群集に成長するまでには、時間がかかることが推察された。現生浅海生底生動物の実験的研究によれば、無生物環境に新規参入し本来の安定した多様性の高い群集組成になるまで最低でも数ヶ月かかることを考慮すると、浅海相における生痕化石群集の多様性を検討することで、単層単位での堆積間隔を見積もることが可能となるかもしれない。すなわち、堆積間隔が短いとパイオニア種が形成した生痕化石のみが記録として地層に保存され、場合によっては無生物環境が継続することになる。

一方、タービダイトが卓越する深海堆積物の場合、内在生泥食者が形成者と推定される *Phycosiphon incertum* とその形成者が成長して形成した *Nereites* がパイオニア種として重要であることが判明した。前者が卓越し後者を伴わない単一群集が見られる場合、成長初期段階までしか形成者が成長できなかったことを意味している。つまり、堆積間隔が短く、形成者が十分成長する時間的猶予が無かったものと推定された。これに対して、両者が共産する地層では、後者が前者を切る現象が認められた。この事実は、成長した個体が成長初期に形成した生痕化石を破壊し記録を消去しているものと判断した。これに対して、多様性が高い生痕化石群集が認められる地層では、*Phycosiphon incertum* はほとんど産出しない。産出する場合、後者を上書き

するような産状が観察される。この産状は、次世代形成者の成長初期段階の個体が、時間的に古い時期に形成された後者を切ったためと考えられる。以上のことから、相対的かつ定性的な解釈ではあるが、これら二つの生痕化石の産出状況を把握することで、規則的時間間隔をもって堆積したように見えるタービダイト相に対して、堆積間隔の長短が議論できる可能性が高いことが解った。

テンペスタイトやタービダイトがほとんど挟在しない地層では、初成堆積構造は認められず、生物攪拌が十分に進行した結果と考えられる。ある意味、海底の物理的攪拌を被らない安定した環境が長期間に渡って継続したものと解釈できる。そのような地層では、パイオニア種の生痕化石は全く認められず、堆積物深部にまで潜って生活する深埋没者 (deep-burrowers) の生痕化石のみが産出した。浅海堆積物では、*Ophiomorpha nodosa*, *Rosselia socialis*, *Thalassinoides sevicus* などが代表種である。深海堆積物では、*Archaeozostera* isp., *Chondrites* ispp., *Ophiomorpha rudis*, *Phymatoderma* isp., *Scolicia* ispp., *Zoophycos* isp. が代表種である。これらの生痕化石が構成する群集は、多様性が低い事が大きな特徴である。海底の物理的攪拌を被らない安定した海底では、多様性が高い底生動物群集が形成されても不思議では無い。しかし、事実は全く予想に反した。そのような海底では、深部埋没者の活動が浅部埋没者や表在者の形成した構造を破壊してしまったと考えれば矛盾はない。また、生痕化石の切り合い関係をまとめた結果、上で示した生痕化石は、他の生痕化石を全て切っており、安定した群集が形成される過程の最後に登場した種であることを示している。

本研究遂行の過程で、予想外の大きな成果があった。それは、これまで水生顕花植物の祖先種の化石として知られてきた *Archaeozostera* 属が、実は生痕化石であることを示す決定的な証拠を発見したことである。そして、その事実にもとづき、従来とは全く異なる *Archaeozostera* の復元図を提示するとともに、この化石が定住生活を営む内在型デトリタス食者の居住部分と排泄スペースであるという全く新しい解釈を提示できたことである。この結果は、*Archaeozostera* が水生顕花植物の化石なのか、それとも底生動物の生痕化石なのかという半世紀にも及ぶ論争に決着をつけるものである。

本研究のように形成者の個体発生段階 (成長段階) の違いを考慮した研究は世界でも意外なほどに少ない。しかも、現生物の研究では解明できない点も重要である。生痕化石研究からのアプローチによって、そのような

現象の一端が解明された点は、古生物学（生痕学）へはもちろんのこと、植物学（古植物学）や海洋生物学への大きな貢献である。したがって、海外の研究者へのインパクトは大きく、今後、本研究のような視点からの追試研究が行われると想定される。

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）

〔学会発表〕（計 7 件）

- ① 小竹信宏、生物攪拌作用 (bioturbation) の実態と堆積学への応用、日本堆積学学会、千葉大学、2013 年 4 月 13 日～15 日
- ② 菊池一輝、小竹信宏、徳島県鳴門市瀬戸町・鳴門町地域に分布する上部白亜系和泉層群板東谷層の堆積環境、日本堆積学学会、千葉大学、2013 年 4 月 13 日～15 日
- ③ 菊池一輝、小竹信宏、徳島県北部に分布する和泉層群板東谷層の地質と堆積環境、日本地質学会、大阪府立大学、2012 年 9 月 15 日～17 日
- ④ 伊藤 慎、高山千翔、小竹信宏、津久井雅志、房総半島南端白浜層に認められる 3.5Ma の相模トラフで形成された粗粒セディメントウェーブ堆積物、日本地質学会、茨城大学、2011 年 9 月 15 日～17 日
- ⑤ Henmi, R., Yoshida, S., & Kotake, N., Giant subaqueous pyroclastic-flow deposits revealed: Sedimentological revision of the Holocene outcrops of Izu-Oshima Island, Japan. AGU, San Francisco, USA, 2010/12/5-9 (米国)
- ⑥ Kitazato, H. & Kotake, N., Deep-sea ecosystem changes in the plankton evolution during the Mesozoic. Palaeontological Society of Japan, Univ. of Tsukuba, Japan, 2010/6/10-13 (日本)
- ⑦ 小竹信宏、底生動物の摂食行動が引き起こす堆積物の攪拌現象の変化とその意義-生痕化石情報からのアプローチ-、日本古生物学会、千葉大学、2009 年 6 月 26 日～28 日

〔図書〕（計 2 件）

- ① 岩佐 庸、倉谷 滋、齊藤成也、塚谷裕一（編）、生物学辞典（生痕化石に関係した項目について担当）、岩波書店、2013、p. 2192
- ② 日本古生物学会（編、）古生物学事典（生痕化石に関係した項目について担当）、朝倉書店、2010、p. 584

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小竹 信宏 (KOTAKE NOBUHIRO)

千葉大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：00205402

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

