

剥ぎ取り標本を用いた堆積構造の観察： 海洋生物学および古生物学への応用

Observation of Sedimentary Structures Using Resin Peels: Its Applications to Marine Biology and Paleontology

清家弘治¹⁾

Koji SEIKE¹⁾

Abstract. Resin peels made from horizontally and vertically stripped sediments permit us to observe physical and biogenic sedimentary structures more clearly, because they emphasize the structural differences of the sediment. This paper describes applications of the resin peel method not only to sedimentology, but also to marine biology and paleontology.

Key Words: burrow, trace fossil, beach

1. はじめに

堆積物中に見られる堆積構造 — 物理的堆積構造（平行葉理など）や生物源堆積構造（生物攪拌構造あるいは生痕化石）は、地層形成時の環境や生態系を研究する際に必要不可欠なものの一つである。通常、堆積構造は露頭や掘削したトレンチ等において観察される。より詳細に堆積構造を観察する手法の一つとして、樹脂を用いた堆積物の剥ぎ取りがある。その手順は、最初にねじり鎌などを用いて露頭表面を削り出し、平坦面を作成する。次に、平坦面に樹脂を塗布し、堆積物内部に樹脂を浸透させる。その後、硬化した樹脂ごと堆積物を剥ぎ取る。この作業によって、堆積物の剥ぎ取り標本を得ることができる。剥ぎ取りに使用される樹脂としては、エポキシ樹脂やポリエステル樹脂（Greenwood *et al.*, 1985; Davidson-Arnott and Van Heyningen, 2003 など）のほか、親水性ポリウレタン樹

脂も多く使用されている（奈良・清家, 2004; 秋山・奈良, 2007; Seike, 2007; Nara *et al.*, 2008; Seike, 2008, 2009 など）。

剥ぎ取り手法は、地層をただ単にサンプル化するだけではない。剥ぎ取り標本を作成することの利点として、明瞭に堆積構造を観察できることが挙げられる。堆積物表面に樹脂を塗布した際、堆積物の粒径や間隙率によって、樹脂が浸透する度合いに差異が生じる。そのため、葉理ごと、あるいは生痕の構造ごとに剥ぎ取り表面に凸凹が形成され、明瞭な堆積構造を観察することができる（図1）。

堆積物の剥ぎ取りは地層だけでなく、現世の海浜、干潟、河川、そして浅海等の環境においても使用することができる。現世環境では、トレンチやボックスコアラーなどを使用して堆積物の断面を作成し、剥ぎ取りをおこなう。なお、現世の堆積場ではその地形が日々刻々と変化し続けているため、同一の場所の堆積相を長時間かけて観察することができない。また、干潟や海浜などの潮間帯では、調査を実施できるのは干潮時のみであるため、堆積相を観察できる時間が限られている。堆積物の剥ぎ取り手法を用いることによって、

¹⁾ 東京大学大気海洋研究所 底生生物分野
〒277-8564 千葉県柏市柏の葉5-1-5
Benthos Division, Atmosphere and Ocean Research
Institute, University of Tokyo
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba, 277-8564, Japan
seike@aori.u-tokyo.ac.jp

これらの問題を解決できる：堆積物の剥ぎ取り標本を採取することは、調査時の堆積相のスナップショットを得ることを意味する。すなわち、剥ぎ取り標本を用いることで、堆積構造の詳細な観察が可能になるだけでなく、変動し続ける堆積場のアーカイブ記録を得ることもつながる。そしてさらに、博物館等に収蔵された剥ぎ取り標本は、共有の学術標本として様々な分野の研究者がいつでも利用することができる。

本稿では、筆者が剥ぎ取り標本を活用して行った研究事例を紹介する。なお、ここで紹介した剥ぎ取り標本の多くは、東京大学総合研究博物館に収蔵されている。

2. 現世の砂浜海岸における堆積相の時系列変化

外洋に面する砂浜海岸は、波浪の影響により堆積物が常に運搬され、その地形が日々激しく変動するという極端に動的な環境である。静穏時には堆積物が岸方向に移動し海岸線に付加することにより、海浜の地形

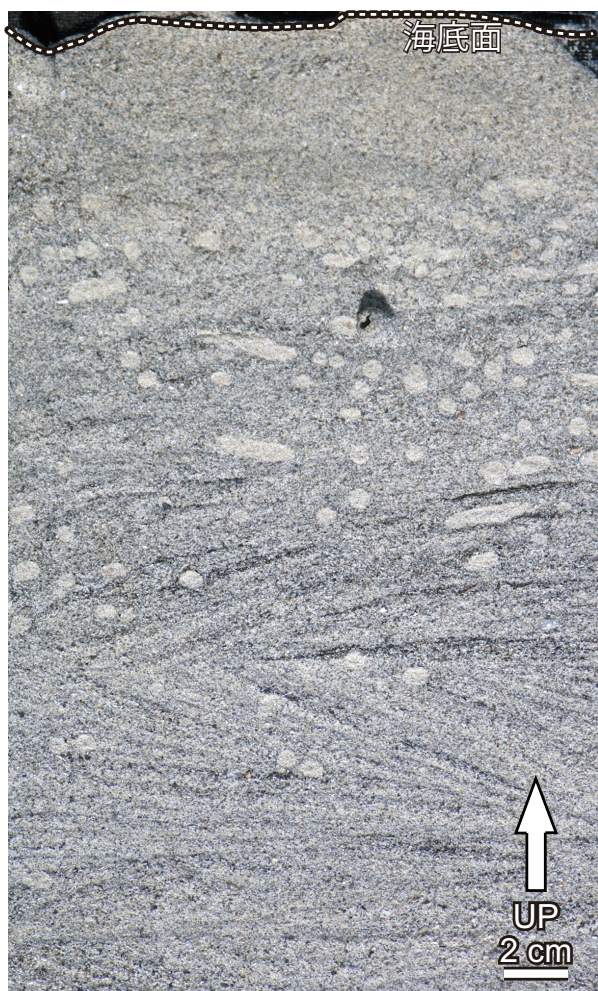


図1. 堆積物の剥ぎ取り標本 (UMUT-RR30909, UMUTは東京大学総合研究博物館の標本登録番号) の例。現世海浜 (山口県光市虹ヶ浜) の潮間帯最下部で採取。海底付近 (写真の上端付近) は生物攪拌により物理的堆積構造が不明瞭になっている。標本の中部～下部には、明瞭なトラフ型斜交層理が観察される。また、白斑状の生痕 (多毛類 *Travisia japonica* の摂食痕) が標本の中部に観察される。Seike et al. (2011) の Fig.4 を改変。

勾配は急になる。反対に、荒天時には浸食性の波により海岸線付近の堆積物が沖方向に運搬され、海浜勾配は緩くなる。砂浜海岸ではこのように頻繁な地形変化が生じることに加えて、潮の満ち引きによって堆積相を観察できる時間が限られる。筆者は剥ぎ取り標本を活用することで、この極端に動的な環境である砂浜海岸の堆積相の時系列変化を観察した。

調査対象としたのは、茨城県の波崎海岸である。2006年6月から12月にかけて合計12回の継続的な現地調査を実施し、全ての観察時に堆積物の剥ぎ取り標本を採取した。

静穏時の急勾配な状態の堆積相と、荒天直後の緩勾配な状態の堆積相の代表的な例を図2に示す：波崎海岸では、海浜斜面の下部にはトラフ型斜交層理が分布し、海浜斜面の中部～上部には平行葉理が卓越していた。また、海浜斜面の中央付近にはゴカイの仲間である *Euzonus* の生痕 (現世 *Macaronichnus segregatis* 生痕) が分布していた。堆積構造の分布順序は、静穏時の急斜面な砂浜、および荒天時の緩斜面な砂浜ともにはほぼ同じであった。その一方で、ゴカイの生痕の分布範囲は、海浜斜面の状態によって異なっていた：斜面の勾配が穏やかな時 (静穏時) には、ゴカイの生痕の分布範囲は海浜斜面の中央部付近に限られていた。対照的に、斜面の勾配が緩い時 (荒天直後) にはゴカイの生痕は斜面全体に分布していた。このように、海浜斜面勾配の変化に応答して、ゴカイの生痕の分布範囲が異なることがわかった (Seike, 2009)。このことは、海浜勾配の状態によって、生物攪拌によって物理的堆積構造が乱される範囲が変化することを意味している。

3. 水平方向のはぎとり標本を活用した研究例

一般的には、堆積物の鉛直断面 (あるいは層理面に対して垂直断面) の剥ぎ取り標本が研究に使用される。なぜなら、鉛直方向に地層を観察し、時系列変化を解明することが地質学的には重要なためである。一方で、堆積物の水平断面 (層理面と平行な断面) の剥ぎ取り標本は、その層準が形成された時の詳細な情報をもたらす。堆積物の水平な断面を削り出し、樹脂を直接塗布することで、水平方向の剥ぎ取り標本を得ることができる (図3)。ここでは、筆者がこれまでにを行った、水平方向の剥ぎ取り標本を活用した研究例 (Seike, 2008; Seike et al., 2015) を紹介する。

ゴカイの仲間である *Euzonus* は砂浜海岸の堆積物に常に埋もれて生息しているため、その行動を直接観察することはできない。そのため、このゴカイの地中での行動様式については一切明らかにされてこなかった。

筆者は、このゴカイの生痕を解析することで、その地中での“隠された”生態を解明することに成功した：このゴカイが堆積物を摂食・排泄しながら砂の中を移

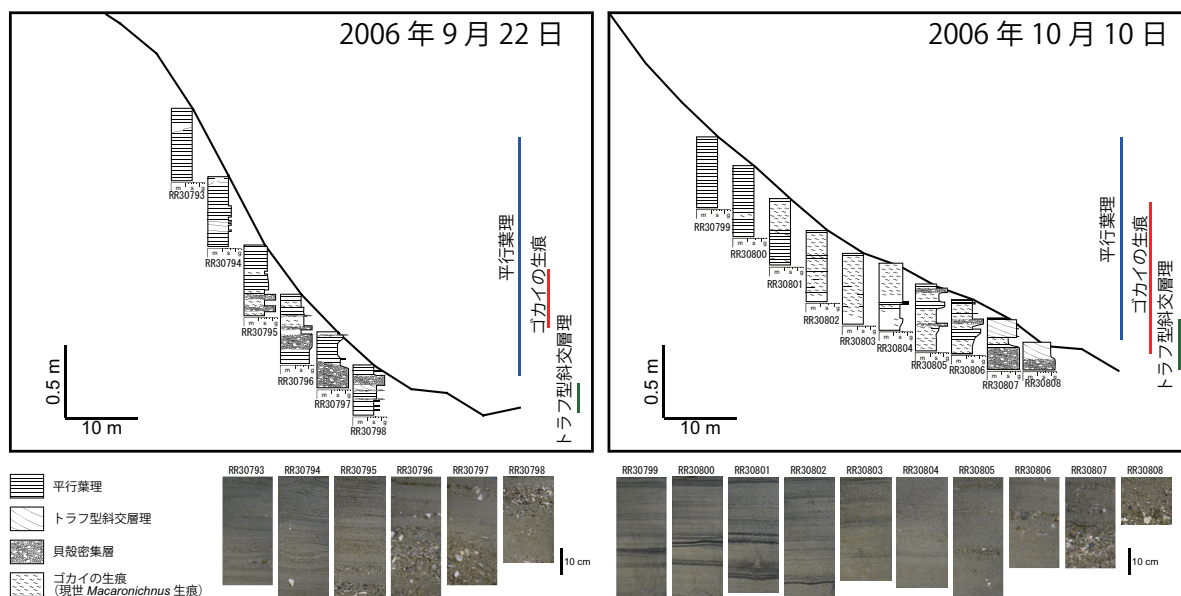


図 2. 茨城県波崎海岸における堆積構造の分布（上）および採取した剥ぎ取り標本の写真。RR30793–30808 は東京大学総合研究博物館（UMUT）の標本登録番号である。左側は静穏時（2006 年 9 月 22 日）の海浜地形断面および堆積構造の分布、そして右側は荒天直後（2006 年 10 月 10 日）の海浜地形断面および堆積構造の分布を示す。ゴカイの生痕の分布範囲（垂直方向）は静穏時よりも広い。このように、海浜勾配の変化にตอบสนองしてゴカイの生痕の分布範囲は異なる（Seike, 2009）。



図 3. 砂浜海岸において、堆積物水平断面の剥ぎ取り標本を作製している様子。任意の深さまで掘り下げ、平坦な水平面を削り出し、剥ぎ取り用の樹脂を塗布する。2004 年 7 月 21 日、高知県幡多郡大方町（現・黒潮町）の入野海岸にて撮影。

動する際に、白色のチューブ状の生痕が形成される。つまり、この生痕の伸長方向は、地中でのゴカイの行動パターンを示している。したがって、ゴカイの生痕の伸長方向を水平断面の剥ぎ取り標本を用いて観察すれば、このゴカイの地中での移動方向を知ることができる（図 4）。本研究では、現世の砂浜海岸の地形動態とこのゴカイの生痕をあわせて解析し、両者の関係を検討した。

地形変化が少ない静穏時には、この生痕は蛇行した形態をとり、比較的ランダムに配列していた（図 5 左上）。一方、浸食による地形変化が激しい暴浪時には、この生痕は直線的な形態をとり、岸一沖方向に激しく定向配列していた（図 5 左下）。この観察結果は、海浜地形の変化規模に応じて、このゴカイがその堆積物中での行動様式を変化させていることを意味し

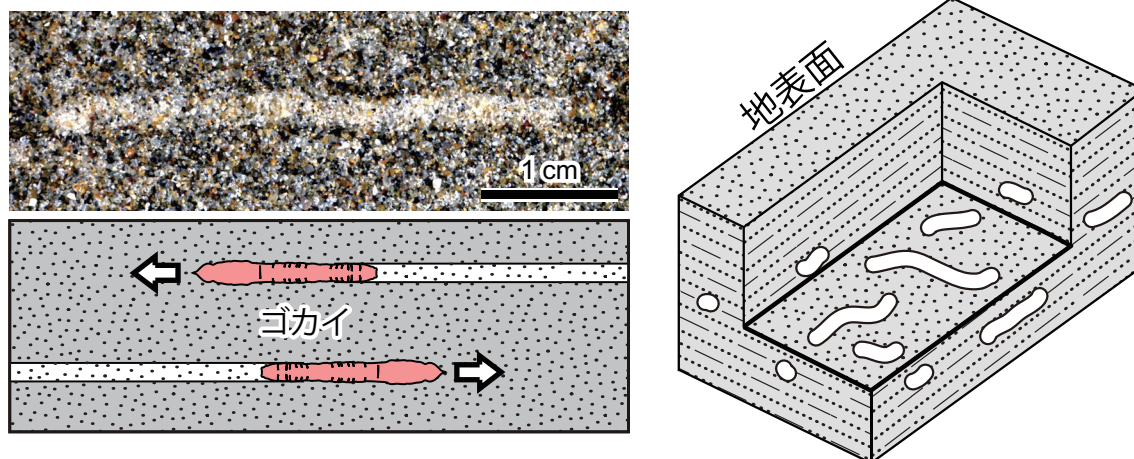


図 4. 多毛類 *Euzonus* の生痕。左：堆積物水平断面上の生痕の写真。このような生痕の場合は、右から左、もしくはその逆の向きにゴカイが移動したことを示している。つまり、この生痕の伸長方向を観察することで、地中に潜むゴカイの行動パターンを知ることが可能となる。右：生痕の模式図。このゴカイは地表面から数センチから数十センチの深さに生息し、そこで水平方向に伸びる白いチューブ状の生痕を形成している。

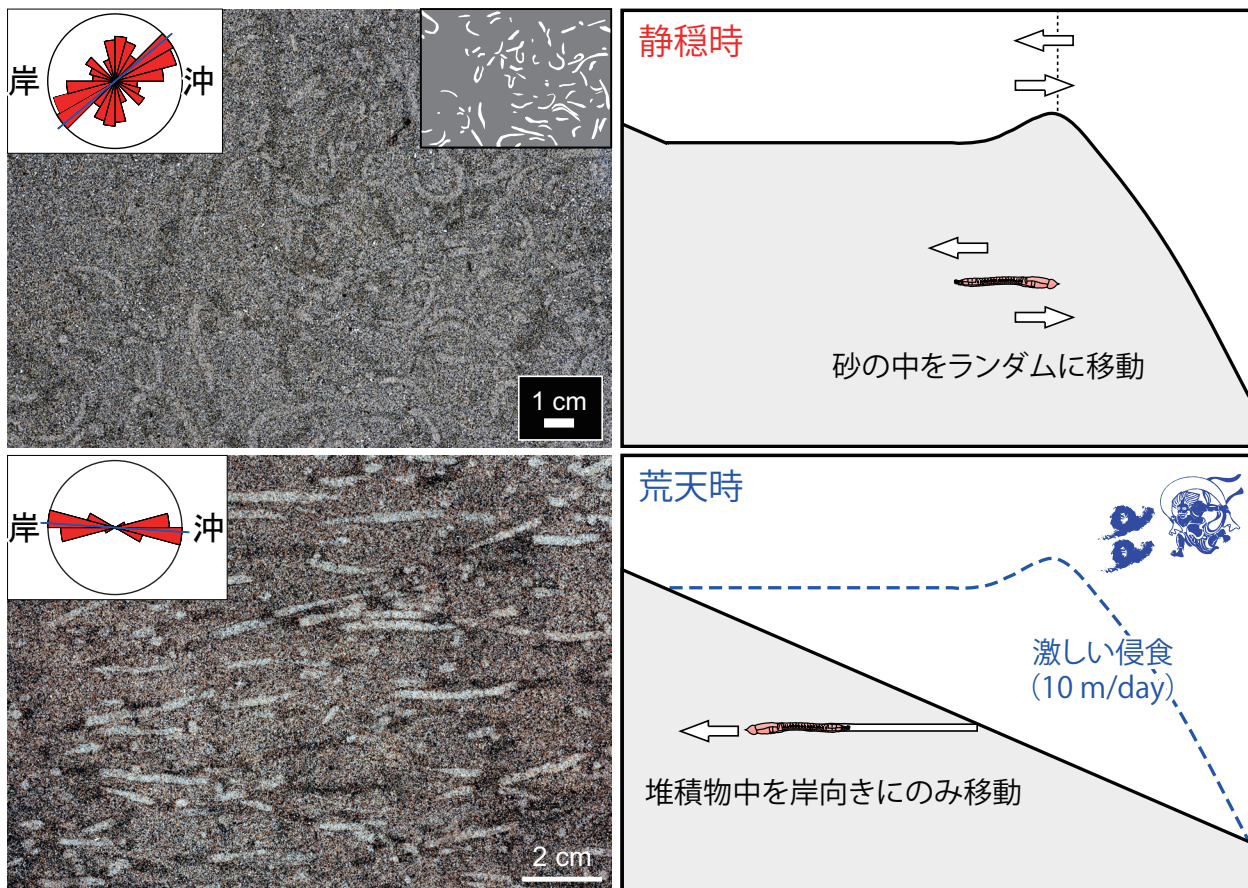


図 5. 静穏時（左上，UMUT-RR30851）と荒天時（左下，UMUT-RR30852）における，水平断面剥ぎ取り標本上に見られる *Euzonus* の生痕。矢印は海岸線の方向を示す。生痕の配列様式の解析から，このゴカイでの地中での行動様式を知ることができる（Seike, 2008）。海浜斜面の地形変化が少ない静穏時には，このゴカイは地中を比較的ランダムに動き回っていることが生痕の産状から読み取れる（右上）。その一方で，荒天時の直線的な生痕の配列パターンは，このゴカイが荒天時の海岸侵食から逃れるために，岸向きにのみ移動していることがわかる（右下）。

ている。

生痕の産状の変化から，以下のようなゴカイの行動を読み取ることができる；静穏な波浪状況で地形変化が生じない時は，このゴカイは砂の中を比較的ランダムに移動していた（図 5 右上）。一方で，砂浜の急激な侵食が起る荒天時には，このゴカイは海浜斜面の侵食から逃れるように，堆積物の中を岸向きにまっすぐと数十メートルも移動していた（図 5 右下）。こうした行動生態によって，このゴカイは海浜の地形変動による洗い出しや埋没を避けていると考えられる（Seike, 2008）。

また，このゴカイの生痕と同様の特徴を持つ構造は，生痕化石 *Macaronichnus segregatis* として報告されており，世界各地の海浜堆積物の地層から産出する。千葉県の新統香取層群の海浜堆積物に見られる *M. segregatis* を観察した結果，生痕化石においても比較的ランダムな配列様式（図 6 上）と，激しく定向配列したもの（図 6 下）と，2つの産状が存在することが判明した（Seike *et al.*, 2015）。現在の海浜での研究結果から，これらはそれぞれ静穏時と荒天時に形成されたと解釈することができる。剥ぎ取り標本を用いることで，地質時代の海浜地形変動に対する底生生物の古生

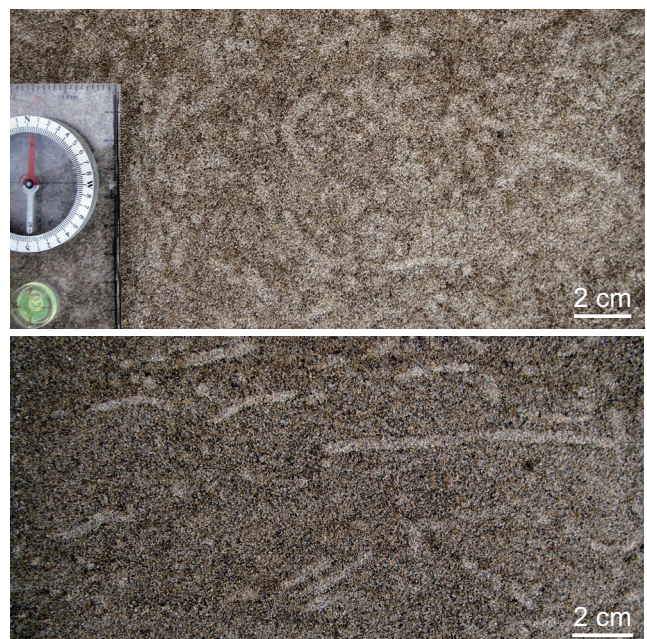


図 6. 更新統香取層における生痕化石 *Macaronichnus segregatis* の配列様式。層理面に平行な断面。この生痕化石の配列様式を調べると，曲がりくねった生痕がランダムに配列する産状（上）と，直線的な生痕が一方方向に定向配列するもの（下）が存在することがわかった（Seike *et al.*, 2015）。

態を復元することができた。定向配列した産状がどれくらい古い時代まで遡れるかを明らかにできれば、埋存性の底生生物が、砂浜海岸という環境にいつ進出したかを解明できるかもしれない。

4. 博物館に収蔵された剥ぎ取り標本

本稿で紹介した剥ぎ取り標本のほとんどは東京大学総合研究博物館に収蔵され、登録標本として保管されている。利用申請をすれば誰もがこれらの剥ぎ取り標本を活用 — 研究活動での使用や博物館での展示などに利用すること — ができる。このように、剥ぎ取り標本は地質記録のアーカイブ試料として、地質学、古生物学、さらには海洋生物学などの分野の発展に寄与することができる。本稿で紹介した剥ぎ取り標本に興味を持たれた方は、これらの標本をぜひ直接、間近で観察していただきたい。

謝辞

神奈川県立生命の星・地球博物館の石浜佐栄子学芸員には、本稿を執筆する機会を提供していただいた。深く感謝申し上げます。

引用文献

- 秋山紘胤・奈良正和, 2007. 「引き起こし法」 — 現世干潟における未固結堆積物断面の観察法. 堆積学研究, **65**: 33–37.
- Davidson-Arnett, R. G., & A. G. Van Heyningen, 2003. Migration and sedimentology of longshore sandwaves, Long Point, Lake Erie, Canada. *Sedimentology*, **50**: 1123–1137.
- Greenwood, B., & P. R. Mittler, 1985. Vertical sequence and lateral transitions in the facies of a barred nearshore environment. *Journal of Sedimentary Research*, **55**: 366–375.
- 奈良正和・清家弘治, 2004. 千葉県九十九里浜の現世前浜堆積物に見られる *Macaronichnus segregatis* 様生痕とその形成者. 地質学雑誌, **110**: 545–551.
- Nara, M., H. Akiyama, & G. Itani, 2008. Macrosymbiotic association of the myid bivalve *Cryptomya* with thalassinidean shrimps: Examples from modern and Pleistocene tidal flats of Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **261**: 100–104.
- Seike, K., 2007. Palaeoenvironmental and palaeogeographical implications of modern *Macaronichnus segregatis*-like traces in foreshore sediments on the Pacific coast of central Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **252**: 497–502.
- Seike, K., 2008. Burrowing behaviour inferred from feeding traces of the opheliid polychaete *Euzonus* sp. as response to beach morphodynamics. *Marine Biology*, **153**: 1199–1206.
- Seike, K., 2009. Influence of beach morphodynamics on the distributions of the opheliid polychaete *Euzonus* sp. and its feeding burrows on a sandy beach: paleoecological and paleoenvironmental implications for the trace fossil *Macaronichnus segregatis*. *Palaios*, **24**: 799–808.
- Seike, K., S. I. Yanagishima, M. Nara & T. Sasaki, 2011. Large *Macaronichnus* in modern shoreface sediments: Identification of the producer, the mode of formation, and paleoenvironmental implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **311**: 224–229.
- Seike, K., M. Nara, T. Takagawa & S. Sato, 2015. Paleocology of a marine endobenthic organism in response to beach morphodynamics: Trace fossil *Macaronichnus segregatis* in Holocene and Pleistocene sandy beach deposits. *Regional Studies in Marine Science*, **2**: 5–11.