

# 砂の隙間に暮らす動物たち — 多様性の宝庫, メイオベントス —

Meiobenthos — wonderful microscopic animals between the grains of sand —

九州大学基幹教育院 山崎 博史 (Yamasaki, Hiroshi)

## 一握の砂

いのちなき砂のかなしさよ  
さらさらと  
握れば指のあひだより落つ

この句は、かの有名な歌集「一握の砂」中に含まれる、石川啄木の代表歌の一つである。この歌の情景を頭に思い浮かべてみる。砂浜に行き、波打ち際の砂を一握りとり、持ち上げて手を開けば、指の隙間から砂がこぼれ落ちていく。石川啄木は、この様子を「いのちなき砂のかなしさ」と表現している。確かに砂には命がない。しかし砂の「隙間」に目を向けるとどうだろうか。筆者は福岡県福岡市にある寺山海岸で、実際に一握りの砂をとり、その中に含まれる生き物たちの観察を行ってみた(図1)。歌で詠まれているように、肉眼では生き物の姿を確認することは難しく、一見「いのちなき」砂の塊に見える。しかし、顕微鏡下で覗いてみればどうだろうか？ 実は砂の隙間には様々な生き物たちが暮らしており、豊かな生物多様性を垣間見ることができるといえる。

これらの砂の隙間や海底の表面に暮らす顕微鏡サイズの動物たちは、総称して「meiobenthos (メイオベントス)」あるいは「小型底生動物」と呼ばれている。もともとは生態学で用いられていた用語であり、より詳しくは「目合い1 mmの篩をすり抜け、目合い64  $\mu\text{m}$ あるいは32  $\mu\text{m}$ の篩にとどまる底生生物」のことを指す。多細胞動物だけではなく、単細胞の有孔虫などもメイオベントスとして扱う事も多い。その生息域は砂浜のみにとどまらず、浅海底から深海底、淡水の河川や湖沼、南極や北極などの極域から熱帯域まで、ありとあらゆる水域にわたる。またメイオベントスの生息密度もさまざま。前述の寺山海岸からとった「一握の砂」を例にみてみよう。この「一握の砂」は、体積およそ100  $\text{cm}^3$ であった。この中からメイオベントスを抽出し、そのごく一部(全体量のおよそ5%程度)をシャーレにとり、その中のさらに一部を撮影した写真が図1Cである。写真ではわかりにくいかもしれないが、この写真の中には10匹以上のメイオベントスが含まれる。なおシャーレの中には1000個体以上のメイオベントスが含まれていた。このことから概算すると、この「一握の砂」サンプル内には、おそらく数千から数万個体のメイオベントスが含まれていたと予想できる。砂浜全体や湾内規模で考えると、莫大な個体数のメイオベントスが生息していることは間違いない。

## メイオベントスに含まれる動物たち

それではメイオベントスには一体どんな動物たちが含まれているのだろうか？ 図1D-Rには、寺山海岸の「一握の砂」から得られたメイオベントスの一部を紹介している。一見してわかる通り、実に様々な姿形のメイオベントスが含まれる。また図2に示す現生動物門の系統樹には、メイオベントス性の種を含む動物門とメイオベントス性種のみで構成される動物門を、それぞれ青色と赤色で記した。なお、現生動物の分類体系

や系統関係には諸説あるが、本稿では角井(2018)で示された体系・系統関係に従っている。耳慣れない動物門も多いかもしれないが、ひとまず動物門の数に注目してほしい。全34動物門中、23動物門はメイオベントス性種を含み、7動物門はメイオベントスのみで構成されている。これはすなわち、(1)メイオベントスへの進化は様々な動物門で独立に何度も生じていること、また(2)メイオベントスサンプルからは非常に多様な動物たちが見つかる可能性があることを表している。なお図1D-Rに示したメイオベントスたちは、7動物門+有孔虫(原生動物)に分けられる。身近な砂浜の一握りの砂から、これほど多数の個体、多様な動物を得られれば、「メイオベントスは多様性の宝庫」と言っても過言ではないだろう。体が小さく肉眼では見えないため見逃されがちではあるが、筆者は「メイオベントスは生物多様性研究・教育に最適な動物である」と考えている。

## メイオベントスの分類や種多様性

ではメイオベントスを材料に、どのような研究が展開されているのだろうか。本稿では特に種多様性に着目して紹介したいと思う。「世界中に何種のメイオベントスがいるのか？」という問いに対する、正確な答えは未だ誰も知らない。ただし、線形動物(メイオベントスサンプル中、最も個体数・種数が多くなること多い動物群)を用いたある研究によれば、その総種数は100万種以上にもものぼる可能性がある(Lambshhead & Boucher, 2003)。一方で、メイオベントスは小型であるが故に、大型動物に比べて調査・研究数が少なく、その種多様性解明は遅れていると言わざるを得ない。調べれば調べるだけ、未記載種(=新種候補)が見つかる状態であり、世界中から毎年数多くの新種・新分類群が報告され続けている。この中には、深海や南極など明らかに研究の進んでいない地域からの新種報告も含むが、比較的メイオベントス研究の盛んな欧米からの報告も少なくない。

またメイオベントスは小型であるため、大型生物と比べて種分類に用いられる形態形質数が少なく、近縁種と形態的区別がつかない分類群も珍しくなかった。これを克服すべく、最近では伝統的な形態形質に加えて、DNA情報を分類学や種多様性解析に用いる研究も多い。例えば、DNA配列を基に近縁種との種間境界を明らかにする解析(species delimitation)や、DNA配列を分類形質として扱う研究(DNA taxonomy)も盛んになってきた。形態形質とDNA情報を総合して解析を行う事で、種分類が難しいと考えられていた動物群でも種の記載が進みつつある(例:Fontaneto *et al.* 2015; Worsaae *et al.* 2019)。また次世代シーケンサーの普及と共に、メタバーコーディング(ある環境やサンプル中に含まれるDNAを網羅的に解析する手法)による、メイオベントス相の網羅的解析研究も増えつつある(例:Carugati *et al.* 2015)。これらのDNA情報に基づく多様性解析によって、メイオベントスが当初考えられていたよりも、さらにはるかに高い種多様性をもつことが示されつつあ

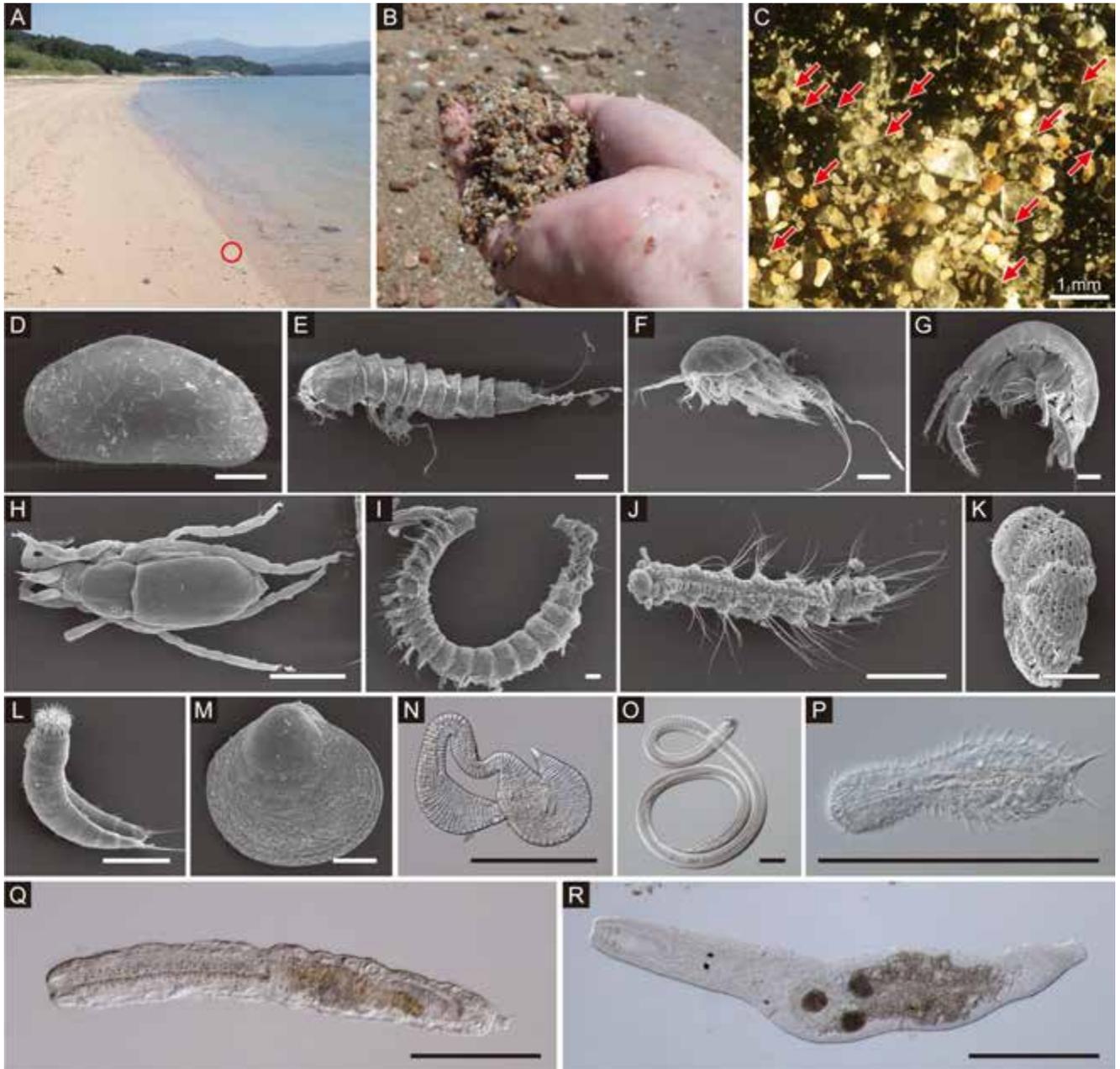


図1 福岡県寺山海岸で採集した、一握の砂のメイオベントス。A：寺山海岸の砂浜。赤丸で示す地点が採集地点。B：サンプリングした一握の砂。C：実体顕微鏡下で観察した際のサンプルの一部。メイオベントスは赤矢印で示す。D：貝形虫の一種（節足動物門）。E：ソコムジニコの一種（節足動物門）。F：ソコムジニコの一種（節足動物門）。G：ヨコエビの一種（節足動物門）。H：ダニの一種（節足動物門）。I：多毛類の一種（環形動物門）。J：多毛類の一種（環形動物門）。K：有孔虫の一種。L：トゲカワムシの一種（動物動物門）。M：二枚貝の一種（軟体動物門）。N：センチウの一種（線形動物門）。O：センチュウの一種（線形動物門）。P：イタチムシの一種（腹毛動物門）。Q：オビムシの一種（腹毛動物門）。R：扁形動物の一種（扁形動物門）。D-Rのスケールバー：100  $\mu\text{m}$ 。

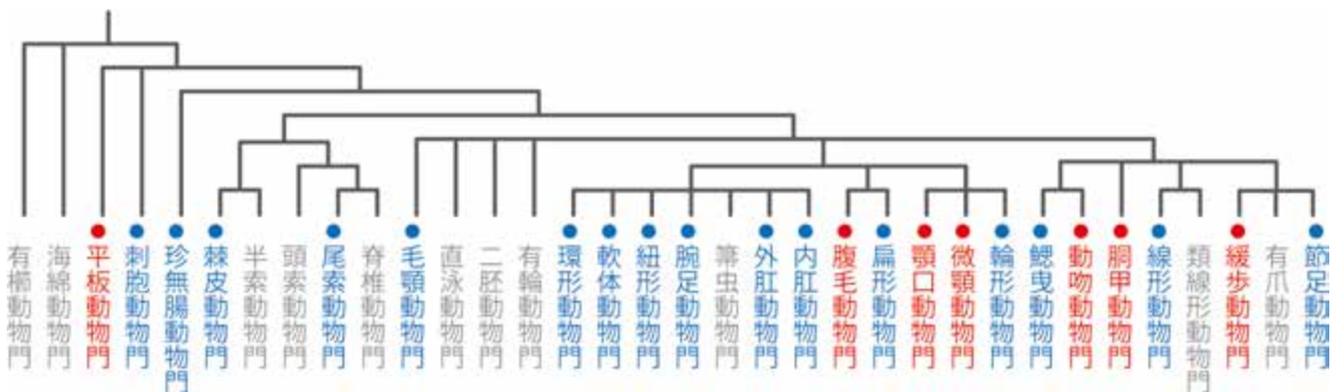


図2 現生34動物門の系統関係および、メイオベントスを含む系統（青色）と全種がメイオベントス性種のみで構成される動物門（赤色）。

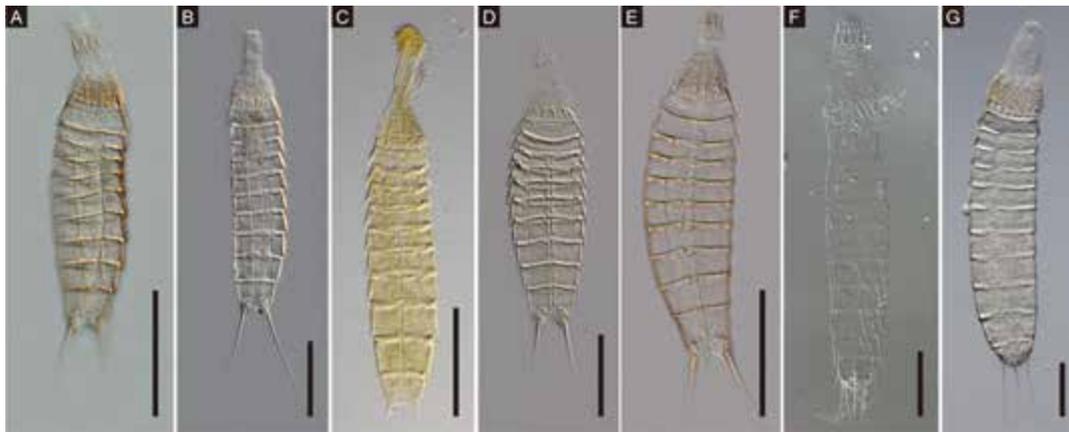


図3 2016年以降に日本から報告された動物動物の一部。A : *Echinoderes gama* Yamasaki et al., 2020. B : *Echinoderes kajiharai* Yamasaki et al., 2020. C : *Echinoderes rex* Lundbye et al., 2011. D : *Echinoderes songae* Sørensen et al., 2020. E : *Echinoderes uozumii* Yamasaki et al., 2020. F : *Gracilideres mawatarii* Yamasaki, 2019. G : *Ryuguderis iejimaensis* Yamasaki, 2016. スケールバーは全て100  $\mu$ m.

る (Fonseca et al. 2017).

日本のメイオベントス研究に目を向けてみると、21世紀に入って以降も様々な動物群の新種報告がなされている。これらの中には、これまで日本から全く、あるいはほとんど知られていなかった動物門(腹毛動物門, 顎口動物門, 鰓曳動物門, 胴甲動物門など)の新種報告も含まれる (Achatz & Sterrer 2015; Schmidt-Rhaesa et al. 2017; Yamauchi & Kajihara 2018; Fujimoto et al. 2020). 筆者はこれまで、メイオベントスの中でも動物動物の分類学を精力的に行ってきたおり、2015年には本誌上に「日本の動物動物」という記事を執筆させていただいた (山崎, 2015). この記事の中で「2015年現在、正式に公表された日本産動物動物は13属16種となり、わずか15年で約5倍の属・種が知られるに至った」と述べたが、その6年後の現在、日本産動物動物総種数はさらに16属25種まで増加している (図3). また併せて、海底洞窟などの特殊環境に生息する動物動物種の報告や、潮間帯に生息する一部の種は東アジアからハワイまで広域分布していることが明らかになるなど、種の“分類”だけではない、生物学的基礎情報についても蓄積が進んでいる。このように、我が国でもメイオベントス研究は少しずつ盛んになりつつある。日本のメイオベントス相の全貌解明にはほど遠いとはいえ、毎年複数のメイオベントス新種報告がなされ、着実に日本のメイオベントス相解明は進んでいるといえるだろう。

冒頭では石川啄木の代表歌を紹介した。歌の通り「砂」はいのちなきものだが、「砂の隙間」は多様な生き物で溢れかえっている。その中には未記載種や日本未報告種が含まれていることも珍しくない。読者の皆様も、砂浜などで遊ぶ際は「小さなメイオベントスたち」の存在を思い出してほしい。「砂浜で、一握りの砂をとり、砂の隙間の生き物たちに思いをめぐらせる。しかもその砂の隙間の生き物をよくよく観察してみれば、実は未記載種だった」という事も、冗談なしで起こり得る話である。

#### メイオベントスを探し、同定するための参考文献

筆者は2021年1月に開催された第20回日本分類学会連合公開シンポジウム「分類学のすすめ—未来の分類学者に向けて—」にて、砂の隙間に暮らすメイオベントスについてお話をさせていただいた。その際、数名の方から「メイオベントスについてもっと知りたい」「採集方法や同定方法を知りたい」といった質問をいただいた。本記事を読んで興味を持ってくださった読者の方に向けて、下記の論文・本を紹介しておきたい。

- ・メイオベントス全般について学べる教科書：伊藤 (1985) ; Higgins & Thiel (1988) ; Giere (2009)
- ・メイオベントス採集方法を記した論文：山崎ほか (2019)

- ・メイオベントスの同定に役立つ、検索キーが掲載された本：Schmidt-Rhaesa (2020)

#### 参考文献

- Achatz J.G., Sterrer W. (2015) New Austrognathiidae (Gnathostomulida: Conophoralia) from Hong Kong and Japan: microscopic anatomy, ultrastructure and evolutionary implications. *Zootaxa*, 3955, 267-282.
- Carugati L., Corinaldesi C., Dell'Anno A., Danovaro R. (2015) Metagenetic tools for the census of marine meiofaunal biodiversity: An overview. *Marine Genomics*, 24, 11-20.
- Fonseca V.G., Sinniger F., Gaspar J.M., Quince C., Creer S., Power D.M., Peck L.S., Clark M.S. (2017) Revealing higher than expected meiofaunal diversity in Antarctic sediments: a metabarcoding approach. *Scientific Reports*, 7, 60094.
- Fontaneto D., Flot J.-F., Tang C.Q. (2015) Guidelines for DNA taxonomy, with a focus on the meiofauna. *Marine Biodiversity*, 45, 433-451.
- Fujimoto S., Yamasaki H., Kimura T., Ohtsuka S., Kristensen R.M. (2020) A new genus and species of Loricifera (Nanaloricida: Pliciloricidae) from the deep waters of Japan. *Marine Biodiversity*, 50, 103.
- Giere O. (2009) *Meiobenthology*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Higgins R.P., Thiel H. (1988) *Introduction to the Study of Meiofauna*. Smithsonian Institution Press, Washington DC.
- 伊藤立則 (1985) 砂のすきまの生きものたち。海鳴社、東京。
- 角井敬知 (2018) 動物界の分類群・系統—いまだに解けない古い関係。公益社団法人日本動物学会 (編) 動物学の百科事典。丸善出版、東京。pp. 54-57.
- Lambshhead P.J.D., Boucher G. (2003) Marine nematode deep-sea biodiversity - hyperdiverse or hype? *Journal of Biogeography*, 30, 475-785.
- Schmidt-Rhaesa A. (2020) *Guide to the Identification of Marine Meiofauna*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munich.
- Schmidt-Rhaesa A., Panpeng S., Yamasaki H. (2017) Two new species of Tubiluchus (Priapulida) from Japan. *Zoologischer Anzeiger*, 267, 155-167.
- Worsaae K., Mikkelsen M.D., Martínez A. (2019) Description of six new species of Mesonerilla (Nerillidae, Annelida) and an emended description of *M. intermedia* Wilke, 1953, from marine and cave environments. *Marine Biodiversity*, 49, 2141-2165.
- 山崎博史 (2015) 日本の動物動物。うみうし通信, 89, 2-3.
- 山崎博史, 藤本心太, 田中隼人 (2019) 海産メイオベントス (小型底生動物) の採集および抽出方法。タクサ 日本動物分類学会誌, 46, 40-53.
- Yamauchi S., Kajihara H. (2018) Marine Macrodasyida (Gastrotricha) from Hokkaido, Northern Japan. *Species Diversity*, 23, 183-192.