

上総層群飯室層から産出する生痕化石： 記載及び野外実習教材としての検討

泉 賢 太 郎^{*1,2,3}, 乾 睦 子^{*2}

Trace fossils from the Iimuro Formation, Kazusa Group : Systematic descriptions and evaluation for field geology classes

Kentaro Izumi^{*1,2,3}, Mutsuko Inui^{*2}

Abstract: Trace fossils from the Pleistocene Iimuro Formation cropped out in the Komae City, Tokyo, central Japan were studied. Based on our fieldwork, *Chondrites* isp., cf. *Phycosiphon*, cf. *Skolithos*, and an indeterminate trace fossil were recognized in the sandy siltstones of the Iimuro Formation. Although the studied outcrop is generally used for a geological field site geared toward students, invertebrate trace fossils have been paid less attention as studied materials compared with body fossils and mammal footprints. Therefore, in this study, a general learning method focused on invertebrate trace fossils was proposed, and it was applied to the case of Iimuro Formation. As a result, paleoecological diversity and bottom-water redox environment were reconstructed by ichnological analysis of the Iimuro Formation. Furthermore, the ichnological learning method proposed by this study can be applied to other geological field site of the Kazusa Group; therefore, a potential method of field geology class at the outcrop of the Hirayama Formation cropped out in Akishima city was discussed.

Key words: trace fossils, Iimuro Formation, Kazusa Group, field geology classes, learning method

1. はじめに

学習指導要領（文部科学省，2008a，2008b）では，小学校・中学校の理科において野外実習や野外観察を実施することが示されており，実際に野外における実習や観察会が生徒の学習意欲を高めるということが実証されている（小山ほか，2011）。しかしながら，都市化が進んだ現在では野外実習に適した場所が非常に少なくなっている，ということが問題点として指摘されている（馬場，2015）。

秋川地域，あるいは東京都あきる野市山田から神奈川県川崎市宿河原にかけての地域においては，多摩川の河床に上総層群と呼ばれる地層群が広く露出しており，海棲軟体動物化石・微化石・哺乳類化石・生痕化石などの古環境の推定に有効な化石が豊富に産出することが知られている（樽&長谷川，2002；吉澤&高橋，2011；馬場，2015）。地層が河床に露出している場合には，河川の流れによって常に新鮮な露頭条件が保たれている。このような好条件の露頭に加えて，上記地域は首都圏からのア

クセスが良好であるため，従来より地質野外実習地として活用されている。そのため，上記地域の上総層群の露頭における地学教育の実践報告が，これまで多くの研究者らによってなされてきた（馬場ほか，1986，2000，2003；松川ほか，1991；馬場&松川，2003；小荒井ほか，2007；芳賀&乾，2013）。

これら多摩川中流域の上総層群における実践報告の多くは，二枚貝などの海棲軟体動物化石，有孔虫などの微化石，あるいは哺乳類の足跡化石に注目した研究である。一方で，海棲無脊椎動物による生痕化石も普遍的に産出する（高野，1994；西田ほか，2014；馬場，2015）にもかかわらず，それらの生痕化石に注目した研究例は比較的少ない（藤井，2003；小荒井ほか，2003；前田&松川，2003）。無脊椎動物による生痕化石は，地層に記録された堆積環境や古海洋環境を復元する際に有効であるだけでなく，体化石として保存されにくい（＝硬組織を持たない）底生生物の多様性や行動生態を類推する上でも非常に有効である（Seilacher，1967a；Seike，2007，2008；Buatois & Mángano，2011；Izumi，2014a，b，2015a；Nishida et al.，2016）。また，生痕化石は学習者の知的好奇心を非常に引きやすいため，地質野外実習における絶好の教材になり得ると考えられる。

*¹ 国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター

*² 国士館大学 理工学部

*³ 現所属：千葉大学教育学部

そこで本研究では、多摩川中流域における上総層群の野外実習地の中でも代表的な地域の一つである、宿河原堰堤の下流側左岸部～中央部に露出する飯室層の露頭（岡ほか，1984；松川ほか，1991，2001；三次ほか，2003）において野外調査を行い、産出する生痕化石を分類学的に検討した。その上で、産出した生痕化石の地学教材としての有用性について議論し、さらに生痕化石に注目した地質野外実習地や実習法について提案する。

2. 地質概説

野外調査を行った宿河原堰堤の下流側の河川中央部～左岸部には、長さ約250 m、幅約100 mにわたって上総層群飯室層の露頭が分布している（岡ほか，1984；松川ほか，1991，2001；図1）。高野（1994）によると、飯室層は主に、植物片や白色軽石の点在する塊状無層理の青灰色シルト岩ないし砂質シルト岩から構成される。

貝化石に基づく研究によると、飯室層は *Cultellus izumoensis* と *Periploma otohimeae* が多産し、*Macoma incongrua*, *Callithaca adamsi*, *Maetra sulcataria*, *Raeta pulchella*, *Acila insignis*, *A. divaricata* が産出することから、外洋の影響をある程度受けた浅海内湾において堆積した、と考えられている（正岡，1976）。さらに、飯室層からは *Ammonia* sp., *Lenticulina* sp., *Hanzawaia* sp., *Dentalina* sp., *Guttulina* sp., *Pseudorotalia* sp., *Amphicoryna* sp., *Pseudononion* sp. などの底生有孔虫化石の産出が報告されており、飯室層の堆積環境として水深200 m程度の浅海環境が推定されている（吉澤&高橋，2011）。一方、武田&増測（1984，1985）は、浅海底に生息するカニ化石（*Cancer japonicus*, *Ovalipes punctatus*, *Carcinoplax longimanus*）の産出を報告している。中でも、エンコウ

ガニ（*Carcinoplax longimanus*）については生息水深に関するデータが豊富である。具体的には、エンコウガニの生息水深は30～235 mであり（Takeda & Miyake, 1968），特に現生標本は水深50～100 mの範囲で捕獲されることが大半である（山下，1965）。これらのことから、正確な堆積水深の推定については議論の余地が残るものの、飯室層は浅海環境で堆積した地層であると結論付けることができるであろう。

また、飯室層の堆積年代については、石灰質ナノ化石から制約されている。大型の *Gephyrocapsa caribbeanica*, *G. oceanica* が産出することから、1.10–1.36 Ma という堆積年代が推定されている（高野，1994）。

3. 飯室層から産出した生痕化石

本研究の野外調査の結果、4種類の生痕化石が発見されたので、以下に簡潔な記載を行う。

Chondrites isp. (図2A)

Description：母岩の暗灰色砂質シルト岩中にパッチ状に産出する小型のチューブ状生痕化石である。チューブ径は約1 mmであり、枝分かれを示すチューブも存在する。チューブは明瞭な境界によって母岩から区別される。チューブには裏打ち構造は無く、チューブ内の充填物も均質で無構造である。チューブ内の充填物は、母岩に比べて細粒で白灰色の堆積物から構成される。

Remarks：*Chondrites* は規則的な枝分かれ構造を示す巣穴化石であり、顕生代を通じて海成層から普遍的に産出することが知られている（Izumi, 2014b, 2015b；Nishida et al., 2016）。*Chondrites* は、サイズや枝分かれ等の形態形質を基に、複数の生痕種に分類されている

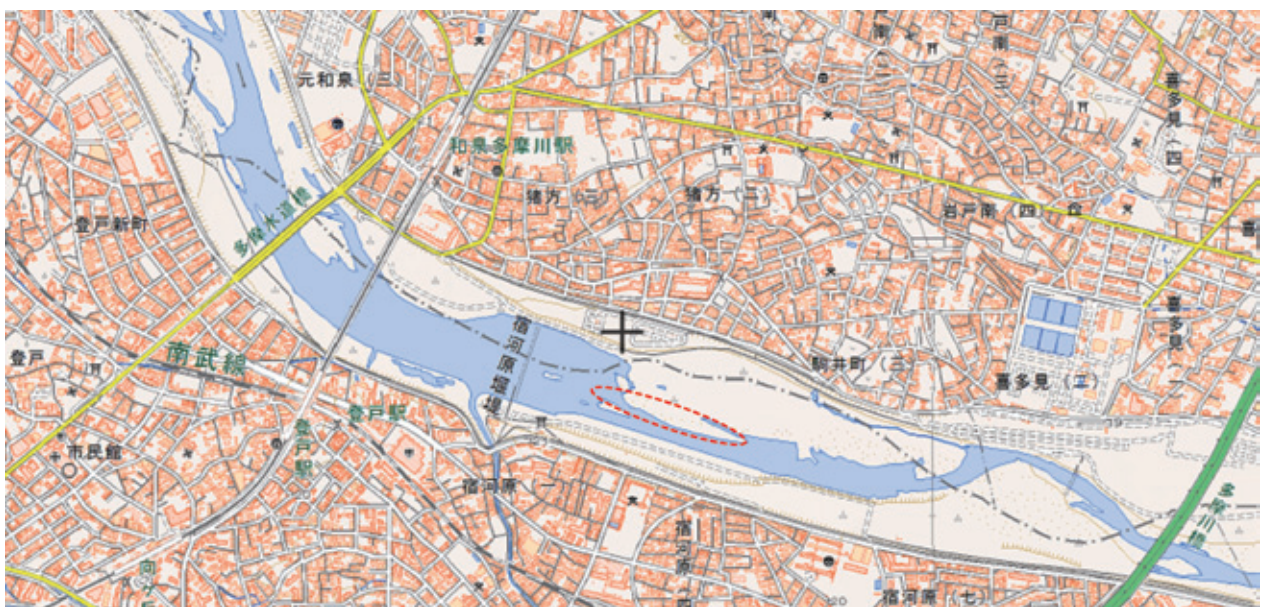


図1. 野外調査のエリアマップ。ベースのマップは地理院タイル（標準地図）を用い、その上に野外調査地（赤点線）を示した。調査地へは、小田急線と泉多摩川駅から容易にアクセスできる。

(Uchman, 1999)。しかしながら、飯室層産の *Chondrites* (図 2A) に関しては保存状態が悪く、枝分かれパターンを詳細に観察することができない。そのため、生痕種を同定することが困難であると判断し、*Chondrites* isp. とした。

cf. *Phycosiphon* (図 2B)

Description: 母岩の暗灰色砂質シルト岩中に産出する小型のチューブ状生痕化石である。チューブ径は約 1 mm であるが、*Chondrites* isp. の場合とは異なり、枝分かれ構造は持たない。層理面におおよそ平行な方向から観察すると、チューブは S 字状に湾曲した形態を示す。チューブは明瞭な境界によって母岩から区別される。チューブには裏打ち構造は無く、チューブ内の充填物も均質で無構造である。チューブ内の充填物は、母岩に比べて細粒で白灰色の堆積物から構成される。

Remarks: *Phycosiphon* のチューブはしばしば黒色または暗灰色の core として認識され、母岩より細粒な堆積物から構成されており、その周囲を mantle と呼ばれ

る粗粒な堆積物から構成される領域が取り囲むことで特徴づけられる (Wetzel & Bromley, 1994)。Core 中にメニスカス構造が認識される場合もあるが (Naruse & Nifuku, 2008)、非常に稀であり、実際に飯室層産の標本においても認識されない (図 2B)。Core と mantle の粒度の違いは、形成生物が堆積物を摂食する際に、細粒な粒子を選択的に取り込むことに起因すると考えられている (Wetzel & Bromley, 1994; Bednarz & McIlroy, 2009; Izumi, 2014a)。本研究で記載した飯室層産の標本 (図 2B) は、全体的な形態は *Phycosiphon* と非常に類似している。飯室層産の標本の S 字状のチューブは core と解釈される一方で、mantle に相当する領域は野外観察では認識できなかったため、cf. *Phycosiphon* とした。しかし、野外での肉眼観察では mantle 領域が認識できず、白灰色の core のみが良く認識できるような *Phycosiphon* も実際に報告されている (Maeda et al., 2010)。飯室層産の標本は、このような産状の *Phycosiphon* の一例であると思われるが、今後は薄片観察などに基づく詳細な分類学的検討が必要であろう。

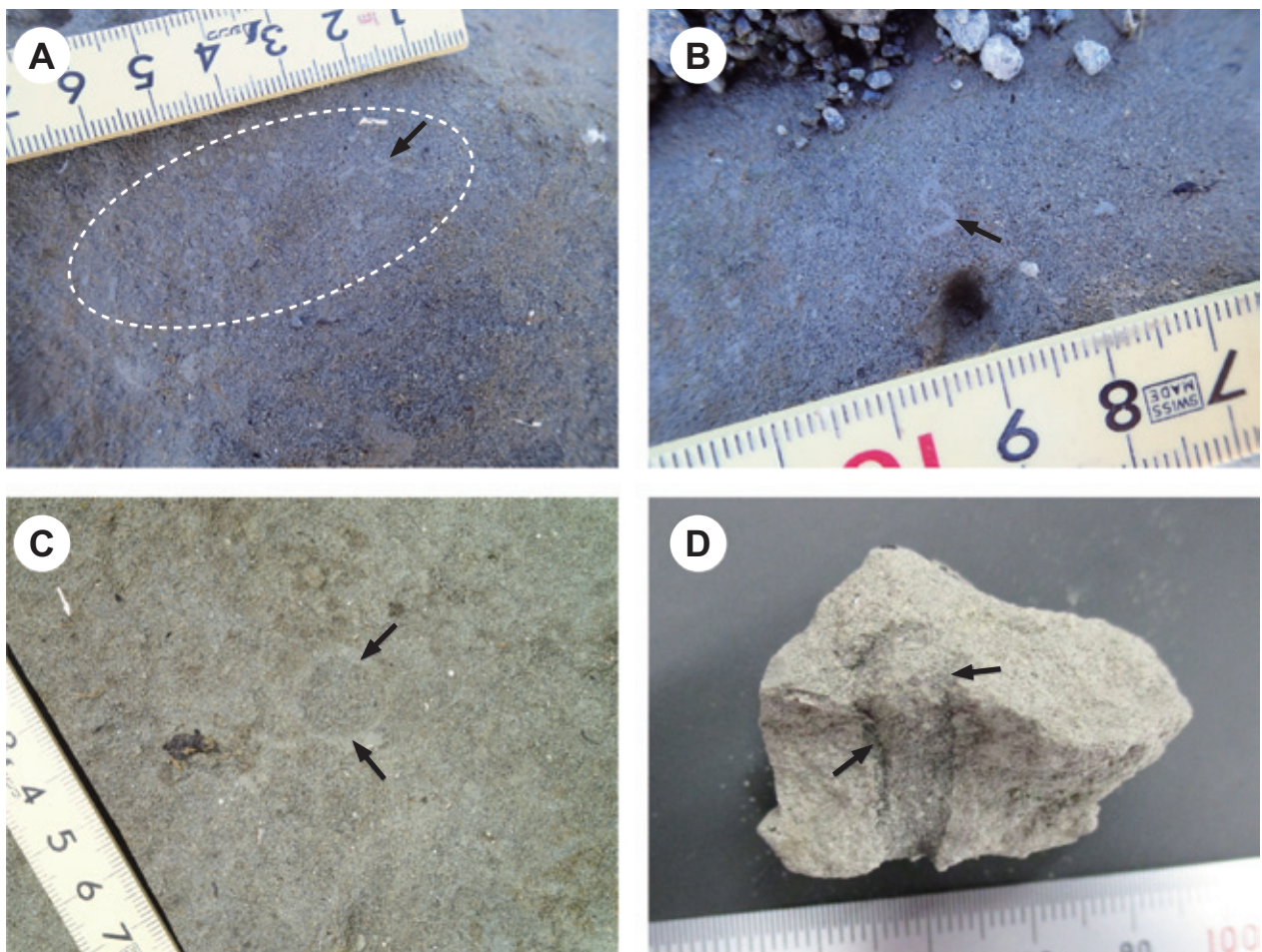


図 2. 本研究で飯室層から認識された生痕化石。A. *Chondrites* isp. の露頭写真。枝分かれを示すチューブ状生痕化石である (矢印)。B. cf. *Phycosiphon* の露頭写真。層理面におおよそ平行な面から観察すると、S 字状の形態を示すチューブが観察できる (矢印)。C. cf. *Skolithos* の露頭写真。層理面におおよそ平行な面から観察した巣穴断面写真で、巣穴には裏打ちが認識される (矢印)。D. 生痕化石 A の標本写真。チューブ状の巣穴化石で、巣穴には裏打ちが認識される (矢印)。

cf. *Skolithos* (図2C)

Description：母岩の暗灰色砂質シルト岩中におおよそ鉛直方向に伸びる巣穴化石である。巣穴径は約17～19 mmであり、厚さ約1～3 mmの均質無構造な裏打ち構造が発達する。裏打ちは母岩に比べて細粒で白灰色の堆積物から構成されているが、巣穴は母岩と色彩・粒度ともによく似た堆積物によって充填されている。巣穴を充填している堆積物についても、均質で無構造である。

Remarks：母岩の暗灰色砂質シルト岩を、層理面とわずかに斜交した面から観察した際に認識された生痕化石である。生痕属を同定する際には、枝分かれ構造の有無、巣穴の裏打ちの詳細な構造、巣穴形態（例えばI字型、J字型、U字型、など）といった形質が生痕属を同定する際に重要である。本標本については鉛直断面からの観察ができなかったため全体の形態は不明であるが、野外で巣穴断面が1つしか認識できなかったため（図2C）、少なくともU字型の巣穴形状ではないことが分かる。巣穴が枝分かれしている可能性もあるが、裏打ち構造を持つ巣穴で、かつ堆積物深部で枝分かれを示す巣穴だとすると、*Ophiomorpha*属の生痕化石だと考えられる。*Ophiomorpha*の裏打ち構造はペレットによって構成されているのだが（Gerard & Bromley, 2008）、本標本の裏打ち構造は均質無構造で、ペレット状の構造は認められない（図2C）。したがって本標本はシンプルなI字型の巣穴化石であると考えるのが最も妥当であり、その場合には*Cylindrichnus*属あるいは*Skolithos*属に同定される。いずれの生痕属も鉛直方向に発達するI字状の巣穴であるが、*Cylindrichnus*はラミナが発達した裏打ち構造によって特徴づけられるので（Gerard & Bromley, 2008）、本標本の特徴とは異なる（図2C）。*Skolithos*については、裏打ち構造を持たないものが多い一方で、裏打ち構造を備えるものも存在する（Gerard & Bromley, 2008）。これらのことから、本標本については、cf. *Skolithos*と記載するのが妥当であると判断できる。

生痕化石A (図2D)

Description：母岩の暗灰色砂質シルト岩中に認識できる巣穴化石である。巣穴径は約4.5～7.0 mm、長さは少なくとも20 mm以上であり、厚さ約0.4～1.2 mmの均質無構造な裏打ち構造が発達する。巣穴はI字型でまっすぐに伸びており、枝分かれは示さない。裏打ちは、黒色の砂質～シルト質の堆積物から構成されている。巣穴を充填している堆積物は母岩よりもやや暗い色彩で、暗灰色の砂質～シルト質堆積物から構成されている。裏打ち・巣穴充填物ともに、均質で無構造である。

Remarks：本標本は、野外から持ち帰った地層ブロックサンプル中から発見されたものである。巣穴の伸長方向が層理面に対して水平方向なのか鉛直方向なのか不明であり、生痕属を同定することができないため「生痕

化石A」として記載した。層理面に対して水平方向に伸びる巣穴である場合には、*Palaeophycus*属の生痕化石と考えるのが妥当であろう（Gerard & Bromley, 2008）。一方、層理面に対して鉛直方向に伸びる巣穴である場合には、*Skolithos*属の生痕化石と考えられる。本標本（図2D）が鉛直方向に発達する巣穴である場合であっても、図2Cの標本（cf. *Skolithos*）とは裏打ちや巣穴充填物の岩相が異なるため、異なる生痕種であると考えられる。

4. 野外実習教材としての可能性と実習法の提案

本研究の結果、飯室層の砂質シルト岩からは少なくとも4種類の生痕化石が発見された。先行研究（高野, 1994）でも記載されている通り、宿川原堰堤周辺に露出する飯室層は生物擾乱を強く受けた塊状無層理の砂質シルト層が卓越することが、本研究による野外調査でも改めて確認された。しかしながら、露頭を注意深く観察することによって、少なくとも本研究で記載した4種の生痕化石については、野外（もしくは実験室内）において肉眼で認識することが可能である（図2）。このことから、飯室層の生痕化石は地質野外実習の教材として扱うことが可能であると考えられる。生痕化石を用いた実習法については次段落以降で詳しく議論するが、飯室層における野外実習の教材として従来より良く利用されていた二枚貝化石や有孔虫化石などの体化石に加えて（吉澤&高橋, 2011；芳賀&乾, 2013；馬場, 2015）、本研究で新たに発見された生痕化石を教材として加えることによって、さらに奥深い学習に繋がると考えられる。また、生痕化石は野外における詳細な観察のみによって種類を同定できる場合が多く、体化石の場合と異なり、同定のために地層ブロックサンプルの採取を必ずしも必要としない。したがって生痕化石は、飯室層のみに限らず、地層サンプルを採取することができない場所（例えば、国立公園内の露頭など）においても絶好の地質野外実習の教材になり得る。

次に、生痕化石に注目した一般的な実習法について考察する。飯室層の事例だけではなく、いかなる場合においてもまずは露頭中の生痕化石の存在を認識し、それらを正しく同定することが必要不可欠である（図3）。ただし地層中の生痕化石は、同じ生痕属であったとしても産状や観察方向、風化の度合いなどによって見た目が大きく変化するため、初学者が露頭において正確に同定することが困難である場合が多い。しかし、観察方向（層理面に対して水平な面or鉛直断面）をしっかりと意識し、生痕化石の全体的な形態や特徴的な形態を正しく認識すれば、ある程度の同定は可能になると思われる。その際、海成層から産出する代表的な生痕化石の写真やイラストが図示された文献を参考にすれば、同定の確度はさらに向上すると考えられる。実際には生痕化石に特化した図鑑や写真集などが非常に乏しいのが現状であるが、

いくつかの文献 (Gerard & Bromley, 2008; Wetzel, 2008; 小幡, 2009) は写真やイラストが多く、同定の際の参考資料になると期待される。

産出する生痕化石を正しく同定した後は、大きく分けて2種類の実習法が考えられる (図3)。これらの方法はお互いに独立であるので、条件が揃った場合には2種類の実習法の両方を実施することも可能である。以下では、飯室層産の生痕化石の事例も踏まえつつ、2種類の実習法について個別に考察を行う。

第一の実習法は、古生態学的な考察である。海棲無脊椎動物による生痕化石の場合、個々の生痕化石は第一義的には、それを形成した底生生物の行動生態を反映している (Seilacher, 1967a)。さらに、*Macaronichnus*, *Ohpiomorpha*, *Phymatoderma*, *Rosselia*, *Tasselia*, *Thalassinoides*, *Zoophycos* といった生痕化石については、具体的な形成生物が特定 (あるいは推定) されている (Kotake, 1992; Nara, 1995; Seike, 2007, 2008; Olivero & López Cabrera, 2010; Izumi & Yoshizawa, 2016)。したがって、野外実習地から産出する個々の生痕化石の形態形質を詳細に検討すれば、当時の海洋底生生態系の構成生物や行動生態の多様性などについて具体的考察を行うことが可能である (図3)。海成層から産出する生痕化石の形成生物の大半は硬組織を持たない底生生物である場合が多く、これらの生物が体化石として保存される可能性は極めて低い。したがって生痕化石の検討から得られる知見は非常に重要かつユニークなものであり、同じ産地の体化石と併せて検討することで、より深いレベルでの実習が可能となる。

第二の実習法は、古環境学的な考察である。一般的には、地層中から産出する生痕化石群集はその地層の堆積セッティングを反映していることが知られている。このことは多くの事例研究によって支持されており、生

痕相モデル (ichnofacies model) として確立されている (Seilacher, 1967b; Buatois & Mángano, 2011; Nishida et al., 2016)。また、同一の露頭サクセッションから産出する生痕化石の多様性やサイズの層序学的な変化は、底層水の溶存酸素濃度や底質餌量などの各種環境要因にコントロールされている場合が多い (山中 & 吉田, 2007; Rodríguez-Tovar et al., 2009; Rodríguez-Tovar & Uchman, 2010; Wetzel & Uchman, 2012)。したがって、野外実習地から産出する生痕化石群集を正しく認識することで、その地層を形成した堆積セッティングについて考察することが可能になる (図3)。また、地層を層序学的に観察することが可能な野外実習地であれば、さらに深い実習を行うことが可能になる。すなわち、産出する生痕化石の多様性、あるいは個別の生痕化石のサイズ等のパラメータの層序学的な変化を検討することで、地層形成時の古海洋環境の時間的変遷を定性的に復元することができるであろう (図3)。

本研究によって飯室層から認識された4種類の生痕化石 (図2) についてはいずれも、具体的な生痕形成生物は特定されていないのが現状である。しかし、生痕化石に記録された形成生物の行動や摂食様式については推定可能であるため、飯室層形成当時の底生生態系の多様性を古生態学的に考察することは可能である。*Chondrites* 及び *Skolithos* については、堆積物に鉛直方向に発達する蠕虫様動物の巣穴化石 (= 居住痕) である。*Chondrites* の形成生物の摂食様式については複数の学説が存在しており未だにコンセンサスが得られていないが (Izumi, 2014b を参照)、*Skolithos* の形成生物は懸濁物食者であると考えられている (Pemberton & Frey, 1984; Desjardins et al., 2010)。*Phycosiphon* は堆積物中に発達する蠕虫様動物の摂食・排泄痕である。既に述べた通り、*Phycosiphon* の形成生物は細粒粒子を選択的に摂食する堆積物食者で

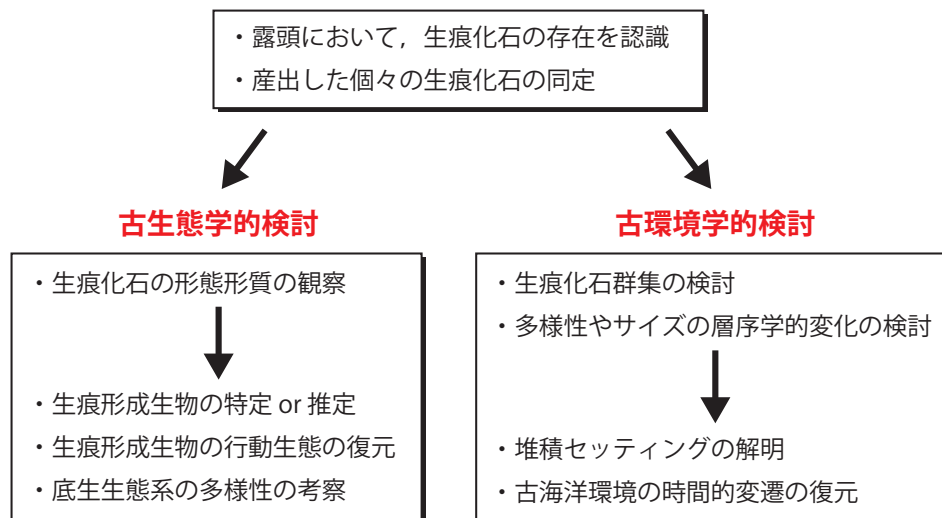


図3. 生痕化石に注目した野外実習法のスキーム。飯室層の場合に限らず、生痕化石が産出する実習地ならば普遍的に適用可能である。

ある (Wetzel & Bromley, 1994; Bednarz & McIlroy, 2009; Izumi, 2014a)。これらのことから、飯室層形成当時の海底には、体化石から想定される以上に豊かな生態系が確立されていたことが推定される。

最後に、飯室層産の生痕化石から古環境学的な考察を試みる。本研究によって少なくとも4種類の生痕化石(図2)が認識されたことに加えて、飯室層を構成する堆積物は生物擾乱を強く受けた塊状無層理な砂質シルト層である(高野, 1994)。これらの事実は、非常に活発な底生生物活動を示唆する。したがって、飯室層形成当時には、酸素に富んだ底層水環境が存在していたことが推定される。一方、本研究で認識できた生痕化石群集のみからでは、飯室層の詳細な堆積セッティングを考察することは困難である。なぜなら、*Chondrites*と*Phycosiphon*はいずれも、浅海から深海環境にかけて広く認められるため、環境指標としての精度は低い(Gerard & Bromley, 2008; Izumi, 2014a)。また、*Skolithos*は一般的に波浪が卓越する沿岸-浅海環境に特徴的に産出する 경우가多いが(Seilacher, 1967b)、大陸斜面や海底扇状地などの深海環境から産出する事例も報告されている(Knaust, 2009; Nishida et al., 2016)。したがって、生痕化石群集から飯室層の堆積セッティングを制約するためには、より詳細な現地調査を実施し、さらに多くの生痕化石を発見していくことが望まれる。このトピックは、飯室層における今後の地質野外実習の学習テーマになり得るであろう。

5. 上総層群の生痕化石に注目した地質野外実習地候補の提案

前章では、飯室層産の生痕化石の地質野外実習教材としての有用性と、生痕化石に注目した一般的な実習法について考察を行った。多くの事例研究によって指摘されているように、飯室層に限らず、秋川地域、あるいは東京都あきる野市山田から神奈川県川崎市宿川原にかけての地域に分布する上総層群の各露頭は地質野外実習地として活用できるポテンシャルを備えている(馬場&松川, 2003; 吉澤&高橋, 2011; 馬場, 2015)。上総層群からは海棲無脊椎動物による生痕化石も普遍的に産出する(高野, 1994; 西田ほか, 2014; 馬場, 2015)にもかかわらず、それらの生痕化石に注目した研究例は比較的少ない(藤井, 2003; 小荒井ほか, 2003; 前田&松川, 2003)。したがってこの章では、上記地域の上総層群において、生痕化石に注目した地質野外実習が実施可能と思われる実習地としてJR八高線鉄橋上流-多摩大橋下流に分布する露頭を提案し、具体的方法について考察を行う。

JR八高線鉄橋の約300 m上流の堰下流付近から多摩大橋の約200 m下流付近にかけて、上総層群平山層がほぼ連続的に露出することが知られている(藤井, 2003;

小荒井ほか, 2003; 前田&松川, 2003; 西田ほか, 2014)。この露頭は主に砂層と礫質砂層によって構成され、*Ophiomorpha*, *Rosselia*, *Thalassinoides*などの生痕化石の産出が報告されている(西田ほか, 2014)。飯室層の場合と異なり、これら平山層産の生痕化石は露頭において容易に認識できるため、先行研究によって既に教材化が検討されてきた(藤井, 2003; 小荒井ほか, 2003; 前田&松川, 2003)。西田ほか(2014)で指摘されている通り、平山層で認識される*Ophiomorpha*, *Rosselia*, *Thalassinoides*は、潮間帯を含む沿岸-浅海環境に広く認められるため(Pemberton et al., 1992)、環境指標としての精度は必ずしも高くはない。したがって、生痕化石群集のみから堆積セッティングを制約することは、実習のトピックとしては不向きであろう。

一方、JR八高線鉄橋上流-多摩大橋下流にかけての平山層は露出が良いので、連続的な地質柱状図を作成することも可能である(詳細な露頭位置や柱状図等は、西田ほか, 2014の図1及び図2を参照)。特に*Rosselia*は産出量が非常に多いため(25~1280個体/m²; 前田&松川, 2003; ただし前田&松川, 2003では生痕化石①として同定されている)、層序学的な変化を追うことも可能だと考えられる。したがって、*Rosselia*の産出密度やサイズの層序学的な変化を測定し、平山層形成当時の古海洋環境の時間的変遷を考察するという内容が、地質野外実習の現実的なトピックとして挙げられる。

6. まとめと今後の展望

本研究では、東京都狛江市の宿川原堰堤の下流側中央部に露出する飯室層の露頭において野外調査を実施し、産出する生痕化石の分類学的検討を行った。調査の結果、*Chondrites* isp., cf. *Phycosiphon*, cf. *Skolithos*, 生痕化石Aの4種類の生痕化石の産出が認識された。宿川原堰堤の下流側の飯室層露頭は従来より地質野外実習地として活用されていたが、海棲無脊椎動物の生痕化石に注目した地質野外実習はほとんど行われていない。そこで、産出した生痕化石の地学教材としての有用性について検討した。野外で生痕化石を認識し、正しく同定することができれば、本研究で提唱した実習法に則って地質野外実習を実施することが可能である。飯室層の場合は、生痕化石に注目することにより地層形成当時の底生生態系の多様性や、底層水の酸化還元状態の推定が可能になることが示された。本研究で提唱した実習法は普遍的なものであるため、飯室層に限らず多くの野外実習地で適用可能である。具体的には、JR八高線鉄橋上流-多摩大橋下流にかけての露出する平山層は生痕化石に注目した野外地質実習地としてのポテンシャルが高い。今後は、生痕化石に注目した地質野外実習が活発に実施されるようになることを願う。

謝 辞

本研究における飯室層の現地調査は、2015～2016年度の本学講義『地学実験』の一環として実施した野外実習の際に行ったものである。講義のSAとして協力していただいた学生諸君や履修学生諸君に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 馬場勝良, 2015. 関東平野西縁部の下部更新統上総層群の貝化石群集と環境変動－地学の野外実習教材開発の基礎として－. 岐阜聖徳学園大学紀要 教育学部編 68, 65-87.
- 馬場勝良, 松川正樹, 2003. 地質野外実習地としての多摩川中流域および狭山丘陵に分布する上総層群の露頭の現状とそれに基づく教材開発. 多摩川環境調査助成集 24, 282 p.
- 馬場勝良, 松川正樹, 林明, 藤井英一, 宮下治, 相場博明, 1986. 地域を活かした地質教材の一試案－立川市南方の多摩川河床を例として－. 地学教育 39, 193-201.
- 馬場勝良, 松川正樹, 小荒井千人, 林慶一, 大久保敦, 伊藤慎, 2000. 足跡化石を基に動物を動かそう－恐竜の方法を像に応用して－. 地学教育 53, 269-281.
- 馬場勝良, 松川正樹, 大平寛人, 2003. 上総層群小山田層のフィッシュトラック法による数値年代. In: 馬場勝良, 松川正樹編, 地質野外実習地としての多摩川中流域および狭山丘陵に分布する上総層群の露頭の現状とそれに基づく教材開発. 多摩川環境調査助成集 24, pp. 106-108.
- Bednarz, M., McIlroy, D., 2009. Three-dimensional reconstruction of “phycosifoniform” burrows: Implications for identification of trace fossils in core. *Palaeontologica Electronica* 12, 13A.
- Buatois, L.A., Mángano, M.G., 2011. *Ichnology: Organism-Substrate Interactions in Space and Time*. Cambridge University Press, Cambridge, 366 p.
- Desjardins, P.R., Mángano, M.G., Buatois, L.A., 2010. Skolithos pipe rock and associated ichnofabrics from the southern Rocky Mountains, Canada: colonization trends and environmental control in an early Cambrian sand-sheet complex. *Lethaia* 43, 507-528.
- 藤井英一, 2003. 多摩大橋下流地域の地質野外実習案内. In: 馬場勝良, 松川正樹編, 地質野外実習地としての多摩川中流域および狭山丘陵に分布する上総層群の露頭の現状とそれに基づく教材開発. 多摩川環境調査助成集 24, pp. 202-207.
- Gerard, J., Bromley, R.G., 2008. *Ichnofabrics in Clastic Sediments. Applications to Sedimentological Core Studies. A Practical Guide*. J. Gerard, Madrid, 100 p.
- 芳賀拓真, 乾睦子, 2013. 貝の化石を探そう－地学の教育実践から－. 地理 58, 51-59.
- Izumi, K., 2014a. Utility of geochemical analysis of trace fossils: Case studies using *Phycosiphon incertum* from the Lower Jurassic shallow-marine (Higashinagano Formation, southwest Japan) and Pliocene deep-marine deposits (Shiramazu Formation, central Japan). *Ichnos* 21, 62-72.
- Izumi, K., 2014b. Isotopic and mineralogical variations in the infill of *Chondrites* from organic-rich black shale (Posidonia Shale, Germany) for assessing the mode of colonization. *Spanish Journal of Palaeontology* 29, 107-116.
- Izumi, K., 2015a. Deposit feeding by the Pliocene deep-sea macrobenthos, synchronized with phytodetritus input: Micropaleontological and geochemical evidence recorded in the trace fossil *Phymatoderma*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 431, 15-25.
- Izumi, K., 2015b. Composite *Phymatoderma* from Neogene deep-marine deposits in Japan: Implications for Phanerozoic benthic interactions between burrows and the trace-makers of *Chondrites* and *Phycosiphon*. *Acta Palaeontologica Polonica* 60, 1009-1020.
- Izumi, K., Yoshizawa, K., 2016. Star-shaped trace fossil and *Phymatoderma* from the Neogene deep-sea deposits in central Japan: Probable echiuran feeding and fecal traces. *Journal of Paleontology* 90, 1169-1180.
- Knaust, D., 2009. Characterization of a Campanian deep-sea fan system in the Norwegian Sea by means of ichnofabrics. *Marine and Petroleum Geology* 26, 1199-1211.
- 小荒井千人, 青野宏美, 前田由紀, 2003. In: 馬場勝良, 松川正樹編, 地質野外実習地としての多摩川中流域および狭山丘陵に分布する上総層群の露頭の現状とそれに基づく教材開発. 多摩川環境調査助成集 24, pp. 218-231.
- 小荒井千人, 松川万里子, 松川正樹, 2007. 地質野外実習の実施率向上のための試み－支援システムを用いた八王子市立中山中学校の例－. 地学教育 60, 125-135.
- Kotake, N., 1992. Deep-sea echiurans: possible producers of *Zoophycos*. *Lethaia* 25, 311-316.
- 小山真人, 村越真, 上西智紀, 2011. ジオパークのガイド養成課程における大地の成り立ちの理解とその価値への気づき. 静岡大学教育実践総合センター紀要 19, 11-18.
- Maeda, H., Kumagai, T., Matsuoka, H., Yamazaki, Y., 2010. Taphonomy of large *Canadoceras* (Ammonoid) shells in the Upper Cretaceous series in south Sakhalin, Russia. *Paleontological Research* 14, 56-68.
- 前田由紀, 松川正樹, 2003. 多摩川昭島地域第四系古環境の推定－地質の野外観察教材化のための基礎的研究－. In: 馬場勝良, 松川正樹編, 地質野外実習地としての多摩川中流域および狭山丘陵に分布する上総層群の露頭の現状とそれに基づく教材開発. 多摩川環境調査助成集 24, pp. 51-98.
- 正岡栄二, 1976. 生田緑地公園周辺の地形・地質について. 川崎市文化財調査収録 11, 11-20.
- 松川正樹, 馬場勝良, 藤井英一, 宮下治, 馬場博明, 坪内秀樹, 1991. 多摩川中流域に分布する上総層群の古環境解析とそれに基づく地質野外実習教材の開発. 多摩川環境調査助成集 16, 270 p.
- 松川正樹, 新海拓也, 林慶一, 三次徳二, 馬場勝良, 2001. 過去の海底を歩こう－東京都狹江市の多摩川河床に露出する第四系上総層群に基づいて－. 地学教育 54, 193-201.
- 三次徳二, 松川正樹, 林慶一, 2003. 宿川原および生田緑地地域の地質教材化.
- 文部科学省, 2008a. 小学校学習指導要領解説 理科編. 東京, 105 p.
- 文部科学省, 2008b. 中学校学習指導要領解説 理科編. 東京, 149 p.
- Nara, M., 1995. *Rosselia socialis*: a dwelling structure of a probable terebellid polychaete. *Lethaia* 28, 171-178.
- Naruse, H., Nifuku, K., 2008. Three-dimensional morphology of the ichnofossil *Phycosiphon incertum* and its implication for paleoslope inclination. *Palaios* 23, 270-279.
- 西田尚央, 松川正樹, 馬場勝良, 2014. 多摩川中流域の上総層群の堆積相と堆積環境: 地質野外実習のための評価. 東京学芸大学紀要 自然科学系 66, 133-148.
- Nishida, N., Kazaoka, O., Izumi, K., Saganuma, Y., Okada, M., Yoshida, T., Ogitsu, I., Nakazato, H., Kameyama, S., Kagawa, A., Morisaki, M., Nirei, H., 2016. Sedimentary processes and depositional environments of a continuous marine succession across the Lower-Middle Pleistocene

- boundary : The Kokumoto Formation, Kazusa Group, central Japan. *Quaternary International* 397, 3-15.
- 小幡喜一, 2009. 生痕化石分類学入門. *地球科学* 63, 377-382.
- 岡重文, 菊池隆男, 桂島茂, 1984. 東京西南部地域の地質. 地域地質研究報告書 (5万分の1図幅). 地質調査所, 149 p.
- Olivero, E.B., López Cabrera, M.L., 2010. *Tasselia ordamensis* : A biogenic structure of probable deposit-feeding and gardening malidanid polychaete. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 292, 336-348.
- Pemberton, S.G., Frey, R.W., 1984. Quantitative methods in ichnology : spatial distribution among populations. *Lethaia* 17, 33-49.
- Pemberton, S.G., Van Wagoner, J.C., Wach, G.D., 1992. Ichnofacies of a wave-dominated shoreline. In : Pemberton, S.G. (Ed.), *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration*. SEPM, Core Workshop 17, pp. 339-382.
- Rodríguez-Tovar, F.J., Uchman, A., 2010. Ichnofabric evidence for the lack of bottom anoxia during the Lower Toarcian oceanic anoxic event in the Fuente de la Vidriera section, Betic Cordillera, Spain. *Palaios* 25, 576-587.
- Rodríguez-Tovar, F.J., Uchman, A., Martín-Algarra, A., 2009. Oceanic Anoxic Event at the Cenomanian-Turonian boundary interval (OAE-2) : ichnological approach from the Betic Cordillera, southern Spain. *Lethaia* 42, 407-417.
- 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.
- Seilacher, A., 1967a. Fossil behaviour. *Scientific American* 217, 72-80.
- Seilacher, A., 1967b. Bathymetry of trace fossils. *Marine Geology* 5, 413-428.
- 高野繁昭, 1994. 多摩丘陵の下部更新統上総層群の層序. *地質学雑誌* 100, 675-691.
- 武田正倫, 増渕和夫, 1984. 多摩川における飯室泥岩層のイチョウガニ化石について. *川崎市青少年科学館年報* 2, 27.
- 武田正倫, 増渕和夫, 1985. 多摩川における飯室泥岩層産のヒラツメガニおよびエンコウガニ化石. *川崎市青少年科学館年報* 3, 35-38.
- Takeda, M., Miyake, S., 1968. Crabs from the East China Sea, I. Corystoidea and Brachygnatha Brachyrhyncha. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University* 14, 541-582.
- 樽創, 長谷川義和, 2002. 加住丘陵から多摩丘陵にかけての鮮新-更新統産大型哺乳類化石. *国立科博専報* 38, 43-56.
- Uchman, A., 1999. Ichnology of the Rhenodanubian Flysch (Lower Cretaceous-Eocene) in Austria and Germany. *Beringeria* 25, 67-173.
- Wetzel, A., 2008. Recent bioturbation in the deep South China Sea : A uniformitarian ichnologic approach. *Palaios* 23, 601-615.
- Wetzel, A., Bromley, R.G., 1994. *Phycosiphon incertum* revisited : *Anconichnus horizontalis* is junior subjective synonym. *Journal of Paleontology* 68, 1396-1402.
- Wetzel, A., Uchman, A., 2012. Hemipelagic and pelagic basin plains. In : Knaust, D., Bromley, R.G. (Eds.), *Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments, Developments in Sedimentology* 64, pp. 673-702.
- 山中晶子, 吉田孝紀, 2007. 宮城県雄勝地域における下部三畳系大沢層泥岩の化学組成と生痕化石相. *堆積学研究* 64, 95-99.
- 山下秀夫, 1965. エンコウガニ *Carcinoplax longimanus* (De Haan) の成長に伴う“はさみ脚”の変化. *甲殻類の研究* 2, 10-18.
- 吉澤健吾, 高橋修, 2011. 都会で見られる露頭を題材にした環境教育-神奈川県生田丘陵に分布する更新等を例に-. *東京学芸大学紀要 自然科学系* 63, 41-52.