

平成 28 年 4 月 12 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24340129

研究課題名(和文)オルステン型化石鉱脈の成因の解明

研究課題名(英文)Origin of Orsten-type fossil Lagerstaetten

研究代表者

前田 晴良 (Maeda, Haruyoshi)

九州大学・総合研究博物館・教授

研究者番号：10181588

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,300,000円

研究成果の概要(和文)：体長1 mm以下の小型動物の遺骸が、眼・付属肢・触角などの軟体部を保ったまま3Dで保存される驚異的な保存を示すオルステン型化石鉱脈の成因を検討した。その結果、軟体部を交代しているリン酸塩のリンは、遺骸の周囲に濃集した糞粒ペレットから供給された可能性が高いことがわかった。また、同様の保存・産状が、日本の第四紀ボーリングコア中にも見られることから、オルステン型化石鉱脈はカンブリア紀に固有ではなく、局所的に糞粒ペレットが濃集すれば、時代や地域に関係なく形成されうる一般現象であることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：An Orsten-type fossil Lagerstaetten is an extraordinary case of detailed three-dimensional preservation of the soft parts of minute animal carcasses replaced by calcium phosphate. Detailed observation revealed that the phosphorus was mostly concentrated in the fecal pellets around the carcasses, and that the minute animal carcasses preserved in such "cesspools" were exceptionally phosphatized during early diagenesis owing to local depositional conditions, i.e., the high phosphorus levels of the accumulated fecal pellets. Allied modes of fossil preservation are now discovered from several places, e.g., the Quaternary boring cores in Japan. These suggest that the Orsten-type Lagerstaetten are not peculiar to Cambrian age but general phenomena in various ages and places, in which fecal pellets are locally accumulated as phosphorus source.

研究分野：層位・古生物学

キーワード：化石鉱脈 オルステン 軟体部の3D保存 タフォノミー アンモノイド

1. 研究開始当初の背景

スウェーデンの古生代カンブリア紀末期の地層：オルステン（エイラム頁岩層）からは、遺骸全体がリン酸塩で交代された体長0.1～2mmの小型海生動物の化石が、眼や付属肢がついたまま完璧な3D保存の状態で見つかる（＝オルステン型化石鉍脈；Müller, 1982, 1985, 1990）。この驚異的な保存の化石は、生物の多様性が一気に増大した“カンブリア紀爆発”を裏付ける証拠として重視されている（Walossek, 2003）。しかし3D化石の産出層準や軟体部がリン酸塩化して残る過程については、全くわかっていなかった。

一方、申請者らは、スウェーデンの模式地において3D保存を示すオルステン化石の産出層準を世界で初めてcmレベルの精度で特定し、糞粒が濃集している厚さ約3cmの薄いペレット層にのみ3D保存の化石が含まれることを確かめた（図1；Maeda et al., 2011①）。さらに、高解像度の元素マップ解析の結果から、化石保存の鍵になるリンが周囲の糞粒から供給されて化石化するという“汚物だめ保存”の仕組みでオルステンの3D化石が保存されたという全く新しい仮説を提唱するに至った（図2）。

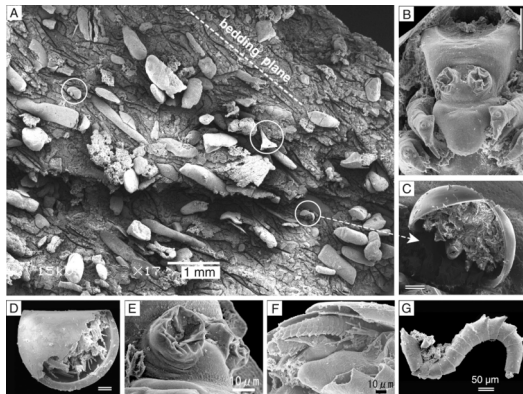


図1. オルステン型化石鉍脈の産状. 米国堆積地質学会 (SEPM①).

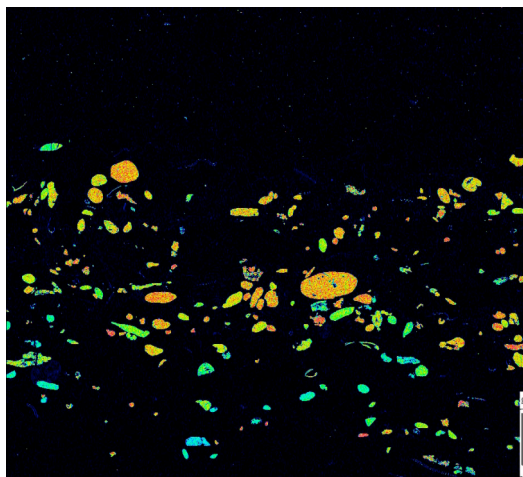


図2 (左段下) . 糞粒ペレットに濃集するリン (明色部) . SEPM①

特に重要なのは、『カンブリア紀に限らず、さまざまな時代の糞粒ペレット濃集層を精査すれば、オルステン化石に匹敵する驚異的な保存状態の未知の化石群が新たに発見される可能性がある』ことを示した点である。

<引用文献>

① Maeda, H., Tanaka, G., Shimobayashi, N., Ohno, T., and Matsuoka, H., 2011. Cambrian Orsten Lagerstätte from the Alum Shale Formation: fecal pellets as a probable source of phosphorus preservation. *Palaios*, 26, 225-231. Doi:10.2110/palo.2010.p10-042r [査読有]

2. 研究の目的

本研究は、リン酸塩によって軟体部が立体的に保存されたオルステン型化石鉍脈に着目し、カンブリア紀以外の地質時代の糞粒ペレット濃集層を精査して、オルステン型化石保存の普遍性を検証する。そして、驚異的な保存状態の化石が保存されるメカニズムをタフオミーの視点から解明することを目的とする。

3. 研究の方法

(1)本研究では、「カンブリア紀以外の時代にもオルステン型化石鉍脈が保存されているのではないか？」という仮説のもとに、保存の良い化石の産出が期待できる白亜系蝦夷層群など各地の糞粒ペレット層に焦点を当て、詳細な地質調査をおこなう。
 (2)室内では、試料を定方位で整形して堆積構造を観察し、さらに試料を酸処理して含まれている小型化石の保存・産状、およびリン酸塩の濃集パターンを明らかにする。
 (3)そして詳細な産状観察、元素マップ、およびタフオミーの分析をとおして、3D化石を胚胎する糞粒ペレット層の堆積過程や含まれる化石群の産状の特徴、そして糞粒による“汚物だめ保存”の化石化過程を明らかにする

4. 研究成果

(1)神奈川県横須賀市・追浜で掘削された古東京湾堆積物のボーリングコア（約7,500年前）に厚さ約10cmの糞粒ペレット密集層が挟まれているのを発見した。それを処理し、詳しく観察したところ、付属肢を保った3D保存の介形虫遺骸が含まれていることがわかった（図2；Tanaka et al., 2012②）。

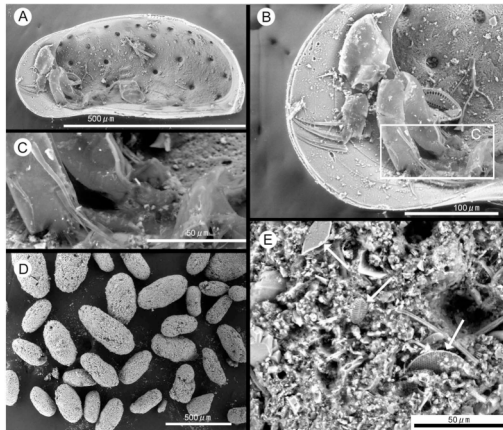


図 2. 糞粒ペレット層中の 3D 軟体部保存を示す介形虫遺骸. 日本古生物学会②.

その保存・産状は 5 億年前のオルステンにうり二つであり (図 1 と比較). カンブリア紀以外にもオルステン型化石鉱脈が存在することが初めて確かめられた. すなわちオルステン型化石鉱脈は, 従来の定説とは異なり, カンブリア紀に固有のものではなく, 局所的な糞粒ペレットの濃集が起きれば, いつの時代でもさまざまな場所で形成される一般的な現象である可能性が高まった (図 3).

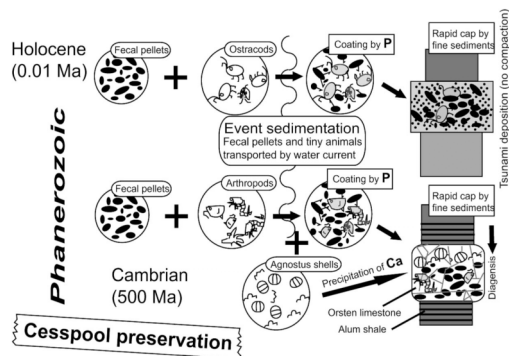


図 3. オルステン型化石鉱脈の新モデル. 日本古生物学会②.

(2) 保存の良い大型化石を多産する北海道の白亜系・蝦夷層群の沖合泥岩相を詳細に調べた結果, 糞粒ペレットが濃集する“糞粒ペレット層”が少なからず挟まれていることがわかった. 特に海底に横たわった大型アンモナイトの殻が, 小型の貝殻や植物片をトラップして集積させた「シェルター保存」(図 4; Maeda, 1991③; Maeda and Seilacher, 1996④) では, 殻内部やヘソ下の空間に糞粒ペレット濃集層がしばしば認められる.

これらの糞粒はさまざまな形状・サイズ・色調・組織を示す. 有機物の腐敗・分解がやや進んだ比較的大型の糞粒ペレットを含む層準では, CaCO_3 よりなるアンモナイトやイノセラムスの幼殻は多数産出するが, 軟体部保存を示す化石は見いだせなかった.

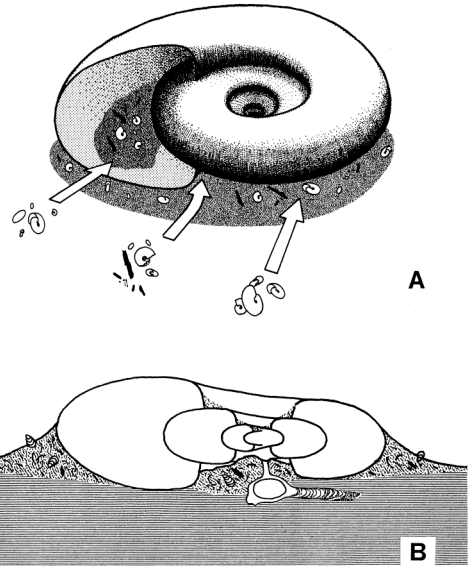


図 4. シェルター保存. Plenum Press④.

一方, 組織が緻密な糞粒ペレット層中からは, アンモナイトやイノセラムスの胚殻に加え, 非常に保存の良いケイソウ遺骸や介形虫の殻などが例外的に産出する. そのなかに付属肢など軟体部が保存されている可能性があるものが見つかった. ただし, これらの遺骸は保存がよい反面, その形態はリン酸カルシウムによる薄いコーティングのみで支えられているため物理的に非常に脆く, 処理する酸の濃度が高すぎたり水洗の勢が強すぎると, せっかく 3D 保存されていた化石の軟体部が容易に破損・断片化してしまう. このような二次的な処理上の理由により, 軟体部の 3D 保存を証拠づける完全個体が得にくいことがわかった. 現在, 軟体部の 3D 保存を示す貴重な化石を完全体として回収し, 撮影・図示するため, 酸の濃度を極力薄くし, 流水による水洗を省略するなど工夫を重ねた追加処理を行っている.

(3) オルステン型化石鉱脈はリン酸塩交代によって形成される. 一方, それとは異なるメカニズムによって保存された化石鉱脈も少なくない. そこで, 富山県の下部ジュラ系・来馬層群 (黒色泥岩型), レバノンの下部白亜系・石版石灰岩 (ゾルンホーフエン型), 愛知県の新第三系・師崎層群 (火山灰型) など各タイプの化石の保存・産状を調査し, オルステン型と比較検討した. その結果, 米国の石炭系 (陸水型) から産出した棘魚 *Acanthodes bridgei* の化石に網膜等の眼の軟組織の構造が残されていることがわかった (図 5; Tanaka et al., 2014⑤). さらに分析すると, 錐体・桿体の構造および 2 種類のユーメラニン (色素) が保存されていることが明らかになった. ユーメラニンが保存された例としては世界最古の記録である. その光

学的・生態学的意義については、研究分担者により、別途、公表された (⑤)。

他方、眼の組織が化石として保存されたメカニズムについては分析の途中であるが、錐体および桿体の構造は、一部がリン酸塩で交代されて残されている可能性が高く、オルステン型化石鉍脈と類似点があることは注目される。いずれにしても、動物の死後、タンパク質の腐敗・分解が始まるより前に、バクテリアの活動が引き金になって極めて早期に軟体部の鉍化作用が起きたものと推定される。今後、リン酸塩鉍化が起きる初期過程の解明が、軟体部保存を示す化石鉍脈の形成メカニズム全体を理解する上で大きな鍵を握ると考えられる。

<引用文献>

- ② Tanaka, G., Matsushima, Y., and Maeda, H., 2012. Holocene ostracods from the borehole core at Oppama Park, Yokosuka City, Kanagawa Prefecture, central Japan: Paleoenvironmental analysis and the discovery of a fossil ostracod with three-dimensionally preserved soft parts. *Paleontological Research*, 16, 1-18. [査読有]
- ③ Maeda, H., 1991. Sheltered preservation: a peculiar mode of ammonite occurrence in the Cretaceous Yezo Group, Hokkaido, north Japan. *Lethaia*, 24(1), 69-82. [査読有]
- ④ Maeda, H. and Seilacher, A., 1996. Ammonoid Taphonomy. In: Landman, N. H., Tanabe, K., and Davis, R. A. [eds.], *Ammonoid Paleobiology*, 543-578, Plenum Press, New York. [査読有]
- ⑤ Tanaka, G., Parker, A. R., Hasegawa, Y., Siveter, D. J., Yamamoto, R., Miyashita, K., Takahashi, Y., Ito, s., Wakamatsu, K., Mukuda, T., Matsuura, M., Tomikawa, K., Furutani, M., Suzuki, K., and Maeda, H., 2014. Mineralized rods and cones suggest colour vision in a 300 Myr-old fossil fish. *Nature Communications*, 5. doi: 10.1038/ncomms6920. [査読有]
- ⑥ M., and Maeda, H., 2012. Early Permian ostracods from Mugi County, Gifu Prefecture, central Japan. *Paleontological Research*, 16, 88-106. [査読有]
- ⑦ Tanaka, G., Ono, T., and Maeda, H., 2012. A new Early Devonian leperditicopid arthropod: *Sinoleperditia hamadai* sp. nov., from Fukuji District, Gifu Prefecture, central Japan. *Paleontological Research*, 16, 260-263. [査読有]
- ⑧ 前田晴良, 上田直人, 西村智弘, 田中源吾, 野村真一, 松岡廣繁, 2012. 高知県佐川地域の七良谷層から最上部ジュラ系アンモノイドの産出. *地質学雑誌*, 118 (11), 741-747. [査読有]
- ⑨ Tanaka, G., Ono, T., Nishimura, T., and Maeda, H., 2012. Middle Permian ostracods from the Akasaka Limestone, Gifu Prefecture, central Japan. *Paleontological Research*, 16 (4), 289-306. [査読有]
- ⑩ Fujino, S. and Maeda, H., 2013. Environmental changes and shallow marine fossil bivalve assemblages of the Lower Cretaceous Miyako Group, NE Japan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 168-179. doi: 10.1016/j.jseaes.2012.12.13. [査読有]
- ⑪ Yamaji, A. and Maeda, H., 2013. Determination of 2D strain from a fragmented single ammonoid. *Island Arc*, 22, 126-132. doi:10.1111/iar.12006. [査読有]
- ⑫ Tsujino, Y., Shigeta, Y., Maeda, H., Komatsu, T., and Kusuhashi, N., 2013. Late Triassic ammonoid *Sirenites* from the Sabudani Formation in Tokushima, Southwest Japan, and its biostratigraphic and paleobiogeographic implications. *Island Arc*, 22, 549-561. doi:10.1111/iar.12050. [査読有]
- ⑬ Inose, H., Maeda, H., and Sashida, K., 2013. Ammonoids from the Sakiyama Formation of the Lower Cretaceous Miyako Group, Iwate Prefecture, Northeast Japan. *Bulletin, National Science Museum, Series C*, 39, 43-50. [査読有]
- ⑭ Misaki, A., Maeda, H., Kumagae, T., and Ichida, M., 2014. Commensal anomiid bivalves on Late Cretaceous heteromorph ammonites from southwest Japan. *Palaeontology*, 57, 77-95. doi: 10.1111/pala.12050. [査読有]
- ⑮ Tanaka, G., Parker, A. R., Hasegawa, Y., Siveter, D. J., Yamamoto, R., Miyashita, K., Takahashi, Y., Ito, s., Wakamatsu,

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)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① Tanaka, G., Matsushima, Y., and Maeda, H., 2012. Holocene ostracods from the borehole core at Oppama Park, Yokosuka City, Kanagawa Prefecture, central Japan: Paleoenvironmental analysis and the discovery of a fossil ostracod with three-dimensionally preserved soft parts. *Paleontological Research*, 16, 1-18. [査読有]
- ② Tanaka, G., Ono, T., Yan, A., Ichida,

- K., Mukuda, T., Matsuura, M., Tomikawa, K., Furutani, M., Suzuki, K., and Maeda, H., 2014. Mineralized rods and cones suggest colour vision in a 300 Myr-old fossil fish. *Nature Communications*, 5. doi: 10.1038/ncomms6920. [査読有]
- ⑫ Tanaka, G., Schoenemann, B., Hariri, K.E., Ono, T., Clarkson, E., and Maeda, H., 2015. Vision in a Middle Ordovician trilobite eye. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 433, 129-139. doi:10.1016/palaeo2015.05-013. [査読有]

[学会発表] (計 12 件)

- ① 前田晴良, 上田直人, 西村智弘, 田中源吾, 野村真一, 松岡廣繁, 高知県佐川地域の七良谷層から最上部ジュラ系アンモノイドの産出, 日本古生物学会第162回例会, 2013年01月25日~2013年01月27日, 横浜国立大学・海洋研究開発機構.
- ② 唐沢與希, 前田晴良, 漂着オウムガイ殻の破損パターンの検討. 日本古生物学会 2013 年年会, 2013 年 06 月 28 日~2013 年 06 月 30 日, 熊本大学.
- ③ 鈴木寿志, 石田啓祐, 三上禎次, 前田晴良, 高知県のジュラ系上部統七良谷層のアンモナイト層準周辺から産する放散虫化石 (予察), 日本古生物学会 2013 年年会, 2013 年 06 月 28 日~2013 年 06 月 30 日, 熊本大学.
- ④ 御前明洋, 岡本 隆, 前田晴良, 白亜紀異常巻アンモナイト *Pravitoceras* の殻形成過程の復元とその進化学的意義, 日本古生物学会 2013 年年会, 2013 年 06 月 28 日~2013 年 06 月 30 日, 熊本大学.
- ⑤ 唐沢與希, 前田晴良, 福井県中新統内浦層群から産するオウムガイ類 *Aturia* 属の生息推進推定, 第 61 回日本生態学会大会, 2014 年 03 月 14 日~2014 年 03 月 18 日, 広島国際会議場.
- ⑥ 前田晴良, フィールド古生物学, 日本古生物学会 2014 年年会シンポジウム招待講演, 2014 年 06 月 27 日~2014 年 06 月 29 日, 九州大学総合研究博物館.
- ⑦ 御前明洋, 岡本 隆, 前田晴良, 上部白亜ケイ素と泉層群産ノストセラス科アンモナイトの進化と古生態, 日本古生物学会 2014 年年会シンポジウム招待講演, 2014 年 06 月 27 日~2014 年 06 月 29 日, 九州大学総合研究博物館.
- ⑧ 御前明洋, 小松俊文, 熊谷太朗, 荷福 洸, 辻野泰之, 前田晴良, 蝦夷層群産白亜紀後期大型アンモナイト殻に付着するベッコウガキ科二枚貝の産状, 日本古生物学会第 164 回例会, 2015 年 01 月 30 日~2015 年 02 月 01 日, 豊橋市立自然史博物館.
- ⑨ 唐沢與希, 野下浩司, 前田晴良, アンモノイド類の殻断面形態の力学特性, 日本古

生物学会 2015 年年会, 2015 年 06 月 26 日~2015 年 06 月 28 日, 産業技術総合研究所.

- ⑩ 辻野泰之, 前田晴良, 後期白亜紀 (コニアシアン期~カンパニアン期前期) における異常巻アンモナイト *Baculites* の形態変化, 日本古生物学会 2015 年年会, 2015 年 06 月 26 日~2015 年 06 月 28 日, 産業技術総合研究所.
- ⑪ 前川 匠, 小池敏夫, 小松俊文, 重田康成, 前田晴良, 田穂石灰岩から産出したインドゥアン~オレネキアン期のコノドン化石群集, 日本古生物学会 2015 年年会, 2015 年 06 月 26 日~2015 年 06 月 28 日, 産業技術総合研究所.
- ⑫ 西村智弘, 御前明洋, 重田康成, 小原正顕, 前田晴良, 北太平洋地域白亜紀末期アンモナイト *Damesites hetonaiensis* Matsumoto, 日本古生物学会第 165 回例会, 2016 年 01 月 29 日~2016 年 01 月 31 日, 京都大学

[その他]

ホームページ等

前田 晴良 Maeda, Haruyoshi

http://www.museum.kyushu-u.ac.jp/geo/Amo_Labo.htm

研究紹介

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田 晴良 (MAEDA, Haruyoshi)

九州大学・総合研究博物館・教授

研究者番号: 1 0 1 8 1 5 8 8

(2) 研究分担者

田中 源吾 (TANAKA, Gengo)

熊本大学・沿岸域環境科学教育センター・特任准教授

研究者番号: 5 0 4 3 7 1 9 1