

ウンコの古生物科学

福田 芳生*

はじめに

食物を摂ったからには、出すものを出さなければやがて糞詰りとなって死亡するであろう。中生代に大繁栄した恐竜が絶滅した理由に、ソテツやシダ類のような便秘のもとになる食物を大量に食べ続けたために、いわゆる糞詰りとなったことに原因しているのだとする学説（矢沢ほか、1989）を、本気で唱えている古生物学の大御所もいるくらいである。

さて、排泄物と一口に言っても大と小とある。そのうち、化石としてその姿を地層中に止め得る好運(?)に与ることができるのは、大の方である。もっとも、ヘビ類の小便というのは排泄されるとすぐに固結してしまい、白いチョークのようになって、それで黒板に字を書くことができる（福田、1981）というのであるから、驚かざるをえない。

鳥類の小便はと言うと、ニワトリを飼育した経験のある方は御存知と思うが、緑色の便の上に白い油絵具のようなものが乗っているのを不思議に思ったことが一度ならずあるに違いない。実はそれが鳥類の小便なのである。ところで、鳥は鳥でも数百万羽あるいは数千万羽にのぼる海鳥の糞が永い年月の間に積り積って石のように硬くなったものが、グアノ（Guano）と呼ばれる磷酸塩に富んだ天然の肥料である（福田、1981）。南米の太平洋沿岸にあるチリーやペルーなどでは、それを盛んに採掘して外国に輸出し、外貨を稼いでいるのであるから、糞がそれらの国の経済に寄与するところ、極めて大ということになる。

日本でも、南大東島からグアノが産出するが、南米の本場と比べると小規模でとても話にならない。グアノの例を引くまでもなく、地球上で沢山の動物がその誕生以来、何億年もの過去から現在に至るまで、連続と生命の営みを続けて来た結果、その間に排泄された糞は莫大な量に達するであろう。しかし、どういう訳か糞化石というのは、大変珍しい部類に入っている。

そこで、古生物学者はどのような理由で糞化石に興味を持つのか、その研究の意義はどこにあるのか、魚竜のウンコを例にとって一通り説明し、次いで海に起

源を持つ地層中で最も普遍的な、ゴカイ類による粒状のウンコの化石について述べよう。

魚竜のウンコ

短剣のような鋭い歯をギシギシと擦り合わせながら、血に飢えた恐竜が獲物を求めて地上をうろついていた頃、海にはイルカに似たスマートな魚竜が波間に身を躍らせていた。

魚竜は上下の顎に生えている合計200本ほどの円錐形の歯（図1）を用いて、ベレムニテスに属するイカや硬鱗魚、小型の海生爬虫類を噛み殺して食べていたのだと、古生物学者は大勢の研究者を前にして、自信たっぷりに学会の壇上で話したり、論文にしたりする。

それを聞いたり見たりした者は、別に古生物学者でなくとも疑問に思うであろう。なぜなら、魚竜は今から1億年以上も昔に地球上から完全に姿を消したはずであるのに、なぜこんなに細かに魚竜のメニューが判るのかと。

そこで、舞台裏を覗いて謎解きをしてみよう。魚竜の化石産地として名高いイギリスのDorset州へ行くと、そこかしこに約1億8000万年前のジュラ紀初期の地層が顔を出している。その硬い岩の内部に黒褐色をした魚竜の化石が大量に含まれている。

そのような魚竜の遺骸の近くに、大人の握りこぶし



図1 魚竜の鋭い円錐形の歯を示す。試料はドイツ南部のHolzmadenに分布するジュラ紀初期の地層産。

*Yoshio Fukuda: Paleobiology of coprolites

千葉県衛生研究所 〒280 千葉市仁戸名町666-2 番地

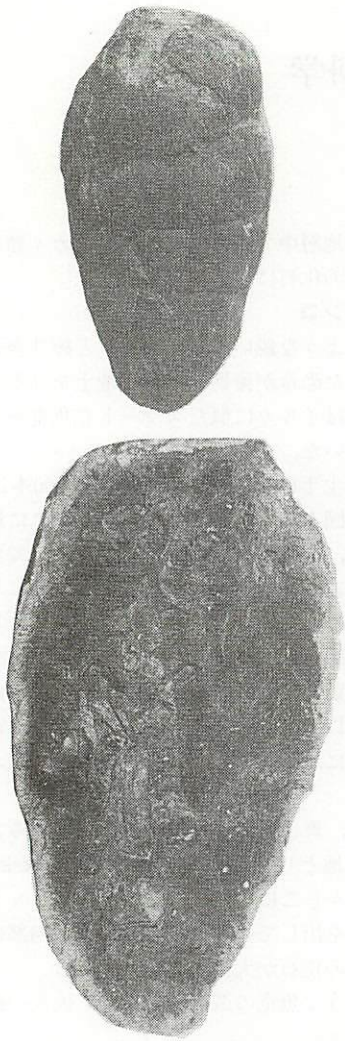


図2 イギリスの Dorset 州のジュラ紀初期の地層より産出した魚竜の糞化石。上は表面に螺旋の刻まれた糞化石外側，下は縦断面。層状に未消化物が積み重なっていることが判る。大きさは大人の握りこぶし大。

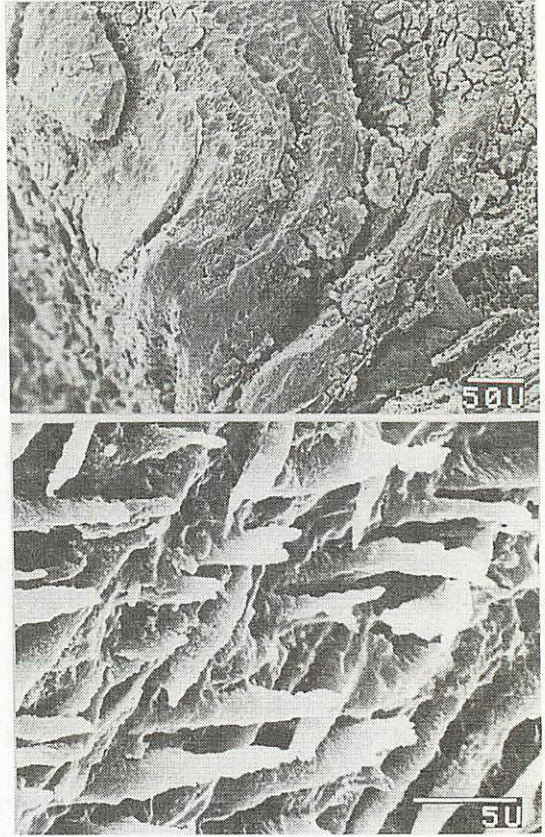


図3 魚竜の糞化石より検出された未消化物を示す SEM 像。上は硬鱗魚 *Lepidotes* のウロコの集積を示す。下はウロコ内部に保存されていた特有のコラーゲン繊維よりなる布目状の構造（図中の U は μm を表す）。

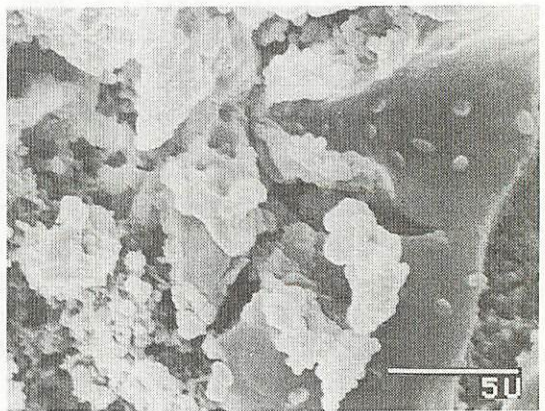


図4 魚竜の糞化石中に残存していた骨片の表面に認められた腸内細菌（写真右側の短桿状の物体）を示す SEM 像（図中の U は μm を表す）。

大の濃いアメ色をした奇妙な物体がのぞいていることがある(図2)。アメ色の物体表面には浅い螺旋状の溝が走っていて、黒光りする魚のウロコや骨片と覚しきものが点々と浮き出して見える。それが今から述べる魚竜のウンコの化石である。

しかし、どのような根拠でアメ色をした奇妙な物体が魚竜のウンコだと決めることができるのだろうか。それは魚竜の遺骸の内部に、排泄途中のウンコの塊りがいくつも残っている例(福田・伊沢, 1986)があったこと。それらのウンコの形や内容物の様子が、魚竜の体外から見つかった不思議な螺旋の刻まれた物体と共通していたこと(Häntzschelほか, 1968)によっている。

ウンコから探る魚竜のメニュー

かつて筆者は、イギリスからはるばる日本へ運ばれて来た魚竜のウンコの化石を調べたことがある。まず、アメ色のウンコの化石をダイヤモンドカッターで、角砂糖ほどの大きさに切り分けた。さて、小さく切り分けた魚竜のウンコは、断面を研磨剤でピカピカに磨いてから酸で軽く腐蝕させ、表面をレリーフのように浮き上がらせて電子顕微鏡で観察した。すると、当時の海にいた体長1mほどの大形の肉食魚レピドテス(*Lepidotes*)のウロコや小型の海生爬虫類の骨片が、ウンコの内部に累々と積み重なるようにして残存しているのではないかと(図3)。それが暗闇の中で、電子顕微鏡の画面に青白い光を放ちながら浮び上って来る様子は、不気味としか言いようがない。

倍率を上げて注意深く観察を続けて行くと、未消化の骨片の上に大きさ1 μm ほどの楕円形の物体が、点々と付着している場面に遭遇した(図4)。それは魚竜のウンコの中心近くに位置していたものである。詳しく写真を検討した結果、現在の大腸菌(光岡, 1980)に大変よく似た短桿状の魚竜の腸内細菌が偶然にも化石化したものであることが判った。

この魚竜から発見された大腸菌類似の微生物について、想像を逞しくしてみると、次のような仮説がなり立つ。哺乳類は今から2億3000万年ほど以前の三畳紀末期からジュラ紀初期にかけて、ようやく爬虫類(Mammal-like reptiles)からの進化を終えた(Kemp, 1982)。その際、爬虫類型の腸内細菌が哺乳類に伝えられ、形を変えて現在に至ったと考えることができる。一方、魚竜は三畳紀初期に海に降った(Romer, 1964; 福田・伊沢, 1986)。このことは現在の人類の持つ大腸菌が、遙か以前に爬虫類から受け継がれたものであるとすれば、魚竜のウンコ内部から発見された微生物は、極めて初期のタイプの大腸菌と考えられる。

それは魚竜が爬虫類の進化の幹から枝分れた後、直ぐに環境の安定した海中で生活するようになったことから、爬虫類特有の腸内細菌が形を変えることなく、そのまま魚竜の体内で維持され続けたとみなし得るからである。

そして、ウンコ内部の未消化物から、当時の海で魚竜は魚や小型の爬虫類を食り喰っていたことがはっきりした。ウンコの中味というのは、言うまでもなくその動物が食べた“カス”で占められている。従って、古生物学者がウンコの化石を切断したり、薬品で溶かしたりしてあれこれ調べるのは、絶滅し去った動物の正しい食性を知る最も確実な手段だからである(Eastman, 1911; Kauffman, 1972; Waldman, 1972)。

無酸素的な海底に沈下したウンコ

魚竜のウンコ表面に認められた螺旋状の溝は、ドロドロのウンコが消化管後方で徐々に脱水されて固型物に変った後、腸詰めのように順次未消化物が押込められ、緻密な糞塊となったのであろう。そして、回転しながら勢いよく肛門から体外に排泄されたことが考えられる(福田, 1989)。

海中に棄てられた魚竜のウンコは、間もなく水分が内部に侵入して軟かくなり、形がすっかり崩れてしまうであろう。また、バクテリアの増殖によって早々に分解する運命にある。

ところが、魚竜のウンコが化石となって今日まで残り得たのは、ドロリとした厚い粘液でウンコの表面が

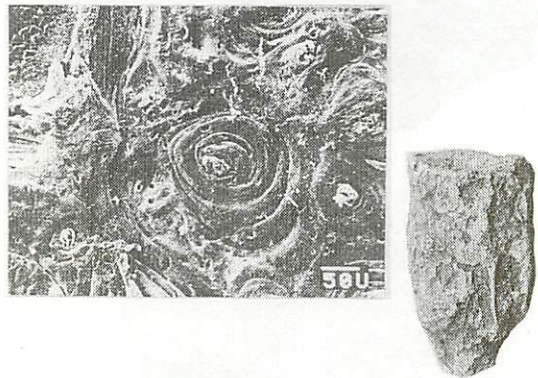


図5 肉食性哺乳類による糞化石。右は Arizona 州の今から約3000万年前(漸新世後期)の地層より産出した肉食性哺乳類の糞化石全形。表面に細長い骨片が見える。大きさは大人の親指ほどある。左は右の糞化石に含まれていた骨片に認められた、同心円状の骨層板を伴った骨組織の一部を示す SEM 像(図中の U は μm を表す)。

すっぽりと覆われていたため、容易に水分が染み込み得なかったこと。溶存酸素のひどく少ない海底に沈下して瞬く間に軟かな泥に呑み込まれたため、バクテリアの増殖が抑えられたことなどの好運(?)が重なったことによるのであろう。

ウンコの中味から消化力を知る

北アメリカのArizona州にある砂漠地帯で発見された、今から約3000万年前の肉食性の哺乳類によるウンコの化石では、風化したためであろうか、表面にはっきりと骨の一部が浮き出している(図5)。

その断面の電子顕微鏡像では、同心円状の骨層板(Bone lamella)を伴った明瞭な骨組織を認めることができる。ところが現在、本邦各地の動物園で飼育されているワニ(主としてCrocodiles)のウンコを崩して調べても、なかなか未消化物に行き当たらない。

獰猛なワニは、平気で動物を噛み殺して丸呑みにする。歯も前方のものでは、獲物を保持するために鋭く尖った円錐形であるが、口の奥に行くに従ってドングリ状の“噛み潰し形”の歯に変わる(Case, 1925; Grande, 1984)。ワニの体内で犠牲者の骨は、たちまちのうちに溶け去ってしまう。なにしろ、建築用の5寸釘(長さ15cmほどある)でも、胃袋の中で3日以内に

跡形もなくなるぐらいであるから、その消化力の強力なことは恐るべきものがある(Skoczytas, 1978)。

ワニの持つ絶大な消化力は、太古のものも現在と同様であったらしく、ワニのウンコの化石(図6)とされているものの中から、犠牲者の残骸を探し当てるのはかなりの難事である。

事実、Minnesota州の自然史博物館に勤務するG.T. Sawyer博士(1981)が、North Dakota州西部にあるBullion Creek層(今から約3000万年前(漸新世後期)の湖の堆積物)から発掘したワニのウンコの化石を調べたところ、205個中69個のものに極くわずかな魚のウロコや骨片などの未消化物を認めたにすぎなかったという。

それもウンコの化石を切断したり、X線撮影を行うなど、大変な手間暇かけた挙句のことである。とは言うものの、ワニのウンコの化石をコツコツと調べていると、稀に哺乳類の歯が混っていることがある。

驚いたことに、鋼鉄に匹敵する程の硬度を持ったエナメル質(Enamel layer)の部分が、完全に消失している。それはワニが大口を開けてガブリと獲物を呑み込んだとき、犠牲者の顎骨から外方に突き出している歯のエナメル質の部分(歯冠)が、ワニの胃袋の中で真先に強力な消化液に触れて溶け去ったからであろう(Fisher, 1981)。

その後、顎の骨が崩れて歯が抜け落ち、他の食物と混り合い、歯根部が消失する前にウンコの一部となって、排泄されたのではないだろうか。ところが、先述の魚竜のウンコのなかには例外なく未消化物が残存していること。それらは魚のウロコや小さな骨片からなっていること。この事実は、中生代の海の覇者と称されているさしもの魚竜も、その消化力はワニに比べて格段に低かったということになる(福田, 1989)。

ゴカイ類のウンコの化石

言うまでもなくウンコの化石は鳥類や魚竜、ワニ、哺乳類、魚類(図7~8)といった脊椎動物のものばかりではない。昆虫やカニ、貝類(図9)、ゴカイの仲間(図10)による無脊椎動物のウンコの化石も地層中に残されている。

その中で最も多く、そして目に触れ易いのはなんと言っても多毛類(ゴカイ類の一員)によるウンコの化石であろう。北海道の約8000万年前の地層(白亜紀後期)から立派なアンモナイト(Ammonites)の遺骸(殻)が大量に産出する。その殻を磨いたり、あるいは切断して丁寧に調べると、内部にゴマ粒のような物体が詰まっているのに出喰すことがある(図11)。また同様なものはドイツ南部のHolzmaden産のジュラ紀初期のアンモナイトにも認めることができる。

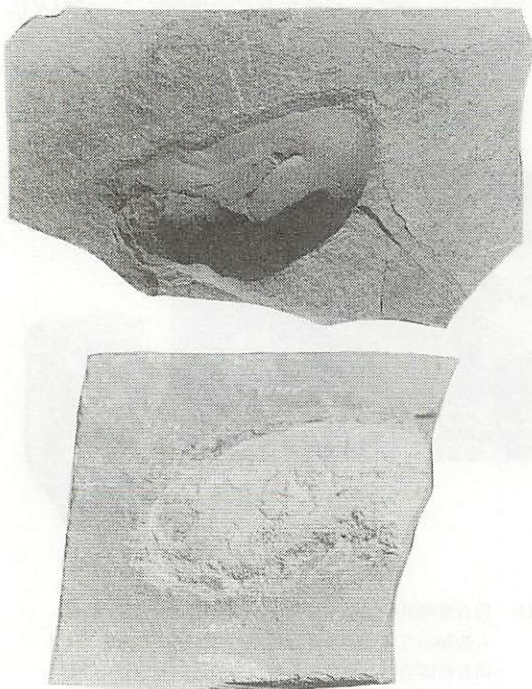


図6 絶大な消化力を誇るワニの糞化石。試料は約4000万年前(始新世)のもの。Wyoming州のGreen River Formation産。大きさはニワトリの卵大である。

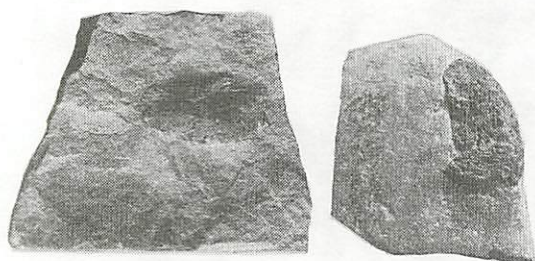


図7 古生代 Devonian の総鱗類 *Eusteopteron* によると考えられる炭化石。大きさは大人の小指の頭ほどである。試料は Scotland 産。

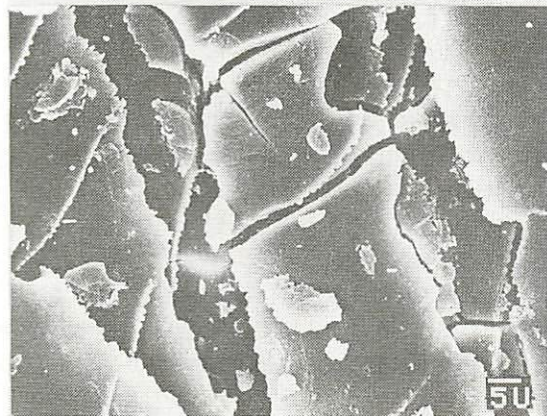


図8 上は今から約300万年前の三重県伊賀上野に分布する湖の堆積物中より発見されたナマズ類のものと考えられる炭化石を示す SEM 像。下は炭化石の内容物の一部を拡大して示す。その大部分はフナ類のウロコによって占められている (図中のUは μm を表す)。

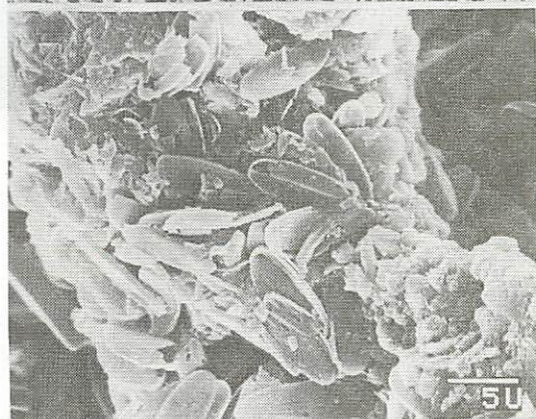
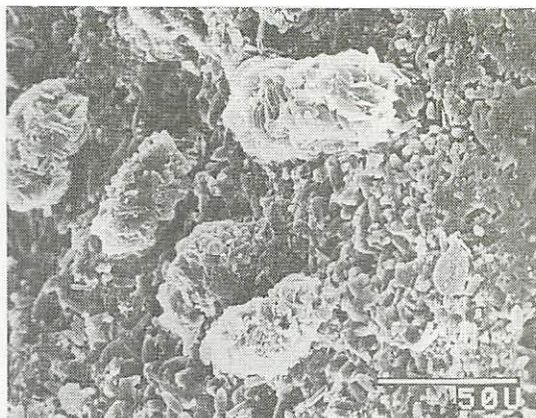


図9 上は木更津市桜井の貝層 (今から約14万年前) より見出された2枚貝 (*Hiattella* sp.) による炭化石を示す SEM 像。貝殻表面に糞粒 (pellets) として分布する。下は糞粒を構成する珪藻の殻を示す。それらの殻はすべて、一部破壊されている (図中のUは μm を表す)。

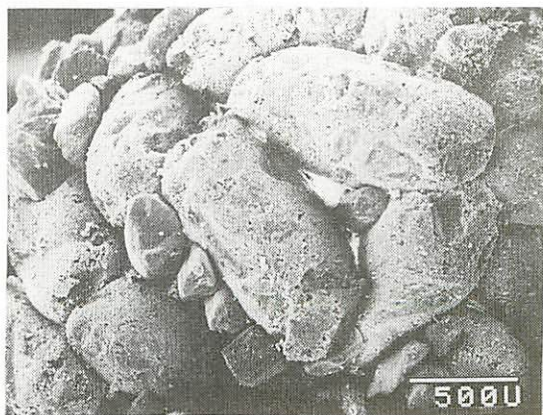


図10 ゴカイ類の糞粒の集塊を示す SEM 像。試料は佐倉市周辺の木下層産のもの (図中のUは μm を表す)。

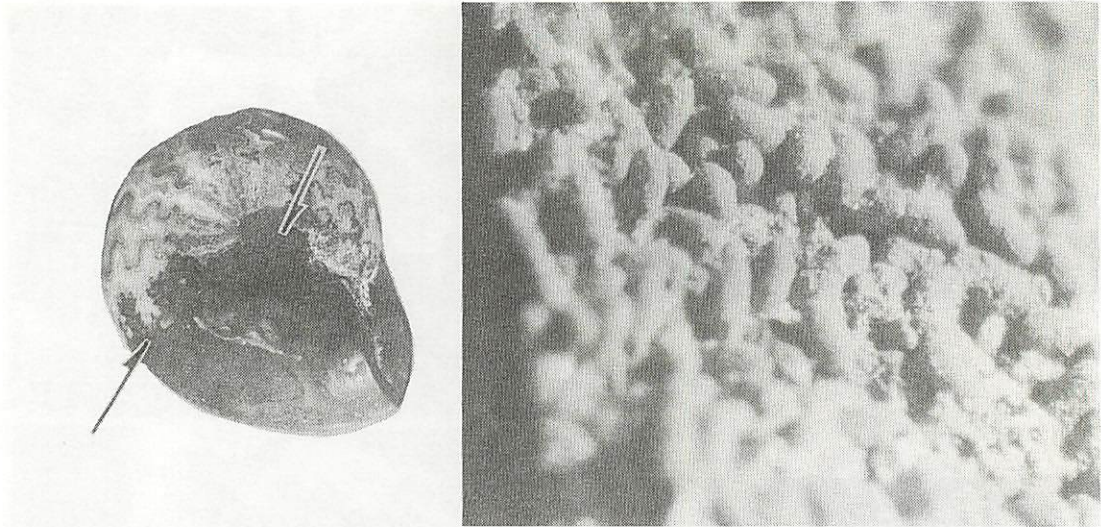


図11 北海道より産出した白亜紀後期のアンモナイトの殻内に存在するゴカイ類の糞粒(矢印)。右はドイツ南部の Holzmaden 産のアンモナイトに認められたゴカイ類による糞粒を示す光学顕微鏡像。大きさは長径1~1.5mm, 短径0.5mm 前後ある。

それはアンモナイトの卵ではない。当時の海でアンモナイトの死殻を住いにしていたゴカイ類のウンコなのである。ゴカイは空になったアンモナイトの住居から頭部を出して、せっせと稚貝や小さな甲殻類を食べ、殻の内部にウンコの山を築いたのである。

時代はぐっと現代に近づいて、今から約10万年前(更新統末期)の房総半島北部を初めとする関東各地の化石層でも、かなり頻繁にゴカイ類のウンコの化石を見ることができる(福田, 1981)。それは地層中で湾曲した細い棒のようになっていたり、二枚貝や巻貝の内部でダンゴ状の塊り(いわゆる糞塊)の状態で見られる(図12)。

子供の頭ほどもある大きなアカニシ (*Rapana*

thomasiana Crosse) の殻が、しばしば産出することがある。殻の内部を埋め尽す砂泥を鋼製のピンセットで掻き落していると、ゴマ粒大の淡い褐色を帯びたゴカイ類のウンコの化石が後から後から際限もなく出て来て、紙の上に小山を現出させるといった事態も決して珍しくない。大きなアカニシの殻は、きっとゴカイ類の団地であったのだろう。

さて、時代が新しいためであろうか、化石層から掘り出して来たウンコの棒は、カミソリの刃でバターでも切るようにスパッと切断することができる。その断面を電子顕微鏡で観察すると、当時の海底でゴカイ類が食べていた実にさまざまな動物の遺骸が、次々と電子顕微鏡の画面に登場して来る(図13)。

それらは稚貝、小さなカシパンウニ類 (*Sand-dollars*) の殻や棘、甲殻類のキチン質からなる殻の断片によって構成されている。特に稚貝やウニ類の殻では、肉食性のゴカイ類による頑丈な顎でバリバリと噛み砕かれたためであろうか、廃物置場の一面を占める割れたガラスやカワラの山を見ているのではないかと、思わず錯覚する程である。

このようなミクロの化石は、もしゴカイ類のウンコの中に封じ込められていなかったならば、容易に検出し得なかったであろう。従って、ウンコの化石は古生物学者にとって、地質時代の動物の食性や食物連鎖を知るばかりではなく、太古の海の動物相をも推定する上で貴重な情報源となる。このようにしてみると、ウンコの化石は学問の進歩にも大きく寄与していると言ってよい。

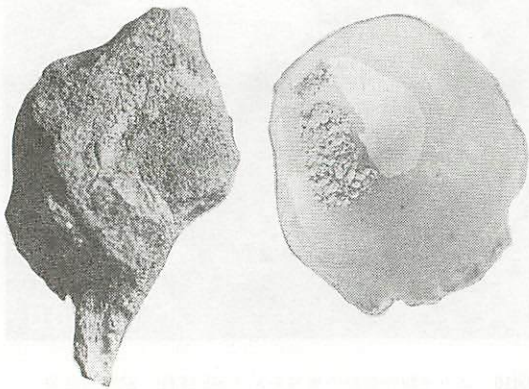


図12 木下層産のゴカイ類の糞化石。左は棒状のもの、右は二枚貝 (*Anomia* sp.) 内側の塊状のもの。



図13 上は木下層産のゴカイ類の糞内部より検出された細片に分れた稚貝の殻の集積を示す SEM 像。下は稚貝の殻片の山を一部拡大して記す。これは肉食性のゴカイ類の頑丈な顎によって、噛み砕かれたものであろう(図中のUは μm を表す)。

引用並びに参考文献

- Case, E.C. (1925) : Note on a New Species of the Eocene Crocodylian, *Allognathosuchus*, *A. Wartheni*. *Univ. Michigan, Contrib. Mus. Geol.*, 2, 93-97.
- コルバート, E.H.(田隅本生訳), (1978) : 新版脊椎動物の進化(上), 魚類の出現から爬虫類時代まで。p. 1-314, 築地書館, 東京。
- Eastman, C.R. (1911) : Jurassic Saurian Remains Ingested within Fish. *Ann. Carnegie Mus.*, 8, 182-187.
- Edwards, P. (1976) : Fish Coprolites from Fossil Butte, Wyoming. *Contribs. to Geology, Univ. Wyoming*, 14(2), 115-117.
- Fisher, D.C. (1981) : Crocodylian Scatology, Microvertebrate Concentrations, and Enamel-less Teeth. *Paleobiology*, 7, 262-275.
- 福田芳生 (1981) : 生痕化石の世界, p.1-151, 築地書館, 東京。
- 福田芳生・伊沢久夫 (1986) : 獣医学と古生物学, 魚竜の話, 獣医学1986年版, p.187-202, 近代出版, 東京。
- 福田芳生 (1987) : 図解恐竜はどんな生物だったか(その素顔と生活をさぐる), p.1-295, プルーバックス, 講談社, 東京。
- 福田芳生 (1989) : ミクロの恐竜学, p.1-191, 筑摩書房, 東京。
- Grande, L. (1984) : Paleontology of the Green River Formation, with a Review of the Fish Fauna (Second ed.), *The Geological Survey of Wyoming. Bull.* 63, p.1-333.
- Häntzschel, W., El-Baz, F., and Amstutz, G.C. (1968) : Coprolites : An Annotated Bibliography. *Publication of the Geological Society of America, Inc. Memoir* 108, Boulder, Colorado, p.1-121.
- Kauffman, E.G. (1972) : *Ptychodus* Predation in a Cretaceous *Inoceramus*. *Palaeontology*, 15, 439-444.
- Kemp, T.S. (1982) : *Mammal-like Reptiles and the Origin of Mammals*. p.1-363, Academic Press, London and New York.
- Melchior, R.C. and Erickson, B.R. (1979) : Paleontological Notes on the Wannagan Creek Quarry Site (Paleocene-North Dakota), Ichnofossils I. Scientific Publications of the Science Museum of Minnesota, 4(4), 1-16.
- 光岡知足(1980) : 腸内菌の世界, p.1-341, 叢文社, 東京。
- Reed, E.B. (1957) : Mammal Remains in Pellets of Colorado Bran Owls. *J. Mammal.*, 38, 135-136.
- Romer, A.S. (1964) : *Vertebrate Paleontology*, p.1-687, The Univ. of Chicago Press, Chicago and London.
- Sawyer, G.T. (1981) : A Study of Crocodylian Coprolites from Wannagan Creek Quarry (Paleocene - North Dakota), Ichnofossils II. Scientific Publications of the Science Museum of Minnesota, 5(2), 1-29.
- Koczylas, R. (1978) : Physiology of the Digestive Tract : in *Biology of the Reptilia* (Gans, C., and Gans, K.A., ed.), vol.8, p.1-602, Academic Press, London and New York.
- Waldman, M. and Hopkins, Jr. W.S. (1972) : Coprolites from the Upper Cretaceous of Alberta, Canada, with a description of their microflora. *Canadian J. Earth Sci.*, 7, 1295-1303.
- Williams, M.E. (1972) : The Origin of "Spiral Coprolites". *Univ. Kansas Paleont. Contr.*, Paper, 59, 1-19.
- 矢沢サイエンスオフィス編 (1989) : 最新恐竜論(最新科学論シリーズ4), 1-186. 学習研究社, 東京。

◆本の紹介◆

McGowan, C. (1991) :
Dinosaurs, Spitfires, and Sea Dragons.
365pp. Harvard University Press, ¥7,230.

恐竜と魚竜・翼手竜の生理・生態について, 現生の動物との比較により詳しく検討した研究書である。著者は, トロントの王立オンタリオ博物館の脊椎動物古生物学のキュレーターで, トロント大学の動物学教授

をも勤め, イクチオサウルス類の研究で有名である。目次は次のとおりである。序文, 1. 研究材料(骨など), 2. 一次資料, 3. 脊椎動物の骨格はどのように機能するか, 4. 恐竜の骨を読む, 5. 大きさの問題, 6. 温血か冷血か, 7. 脳と知能, 8. 完全な魚ではない(魚竜), 9. 泳ぎの機構, 10. 海竜, 11. 翼をもつファントム(翼手竜), 12. 泣き声か爆発音か(恐竜の絶滅), むすび, 註, 文献, 索引。(後藤仁敏)