



2020年6月2日

早稲田大学

金沢大学

海棲脊椎動物と穿孔性二枚貝の共生関係を示す化石を発見

発表のポイント

- 白亜紀における海棲脊椎動物と穿孔性二枚貝の共生関係を示す非常に珍しい化石を発見した。
- 今回発見された化石は、基質が木質、石質のいずれでもなく生物の硬組織に孔が開けられたものであったことから、*Karethraichnus zaratan* という生痕種として新種記載された。
- 過去の地球においてこのような特異な共生関係が存在しえたという知見は、今後の地球生命史の研究において重要な情報である。

早稲田大学 教育・総合科学学術院 教育学部理学科 地球科学専修の佐藤圭助教および金沢大学理工研究域地球社会基盤学系のジェンキンスロバート准教授は、白亜紀における海棲脊椎動物と穿孔性二枚貝の共生関係を示す非常に珍しい化石を発見しました。

多くの脊椎動物は体表が化石として保存されにくい軟組織で構成されているため、海棲脊椎動物の体を固着基盤とする共生関係を直接的に示す化石が見つかるのは稀でした。2001年、北海道中川町に露出している後期白亜紀カンパニアン期の地層由来の岩石からカメの祖先の甲羅の化石が発見され、その表面には多数の孔があり、貝殻のような化石が入っていました。

この甲羅の化石を医療用CTでスキャンし、孔の三次元解析等を行った結果、孔は穿孔性二枚貝によって掘り進められたものであり、さらに甲羅に開けられた多数の孔はカメが生存していた時点で開けられたものである可能性が高いことがわかりました。つまり、白亜紀におけるカメ（海棲脊椎動物）と穿孔性二枚貝の共生関係を示す化石であると考えられるのです。

今回発見された化石は、その形状と、基質が木質、石質のいずれでもなく生物の硬組織に孔が開けられたものであったことから、*Karethraichnus zaratan* という生痕種として新種記載されました。種小名は、その大きさゆえに船乗りが島と勘違いして甲羅に上陸したという逸話のある中東の伝説上の巨大なカメの名、ザラタンにちなみしました。

【論文情報】

雑誌名：PALAIOS（米国の古生物・地質学を専門とする学術誌）

論文名：Mobile home for Pholadoid boring bivalves: first example from a Late Cretaceous sea turtle in Hokkaido Japan



(1)これまでの研究で分かっていたこと（科学的・歴史的な背景など）

生物同士の共生関係は生命進化の原動力の一つとして重要な役割を果たしてきたと考えられています。しかし、共生関係が具体的な証拠である「化石」として残されることは希なことです。岩礁海岸などでは、フジツボやカサガイ、ヒザラガイなどが岩に張り付いて生息しています（このような生物を固着性生物と呼びます）。固着性生物の中には、他の生物の体を生活場所として利用することがあります。例えばフジツボの一部はクジラやカニなどの体表に付着して生息しているなど、この生活型は現在の海洋では一般的です。このような共生関係が化石記録として残るのは、体表が殻などで構成されている軟体動物（二枚貝や巻貝の仲間）や甲殻類（カニやエビの仲間）に限られ、体表が軟組織で覆われる脊椎動物の化石からはほとんど見つかりません。脊椎動物の中で、カメは体表直下に硬組織（甲羅の骨）が広がっているため固着性生物の痕跡が残りやすいといえそうですが、これまでカメ類と固着性生物についての共生関係の化石記録に関する研究はほとんどありませんでした。また、穴があいている骨化石が発見されることがありますが、それらは骨化石の主の死後に、「骨に住む」もしくは「骨を食べる生物」によってあけられたと解釈されることが多かったのです。

(2)今回の研究で新たに実現しようとしたこと、明らかになったこと

2001年、北海道中川町に露出している後期白亜紀カンパニアン期の地層由来の岩石からオサガメの祖先 *Mesodermochelys* (メソダーモケリス) ※1の一種の甲羅の化石が発見されました。この化石自体も不明な点の多いカメの進化史を議論するうえで重要な標本といえますが、この化石にはもう一つ興味深い点がありました。この甲羅化石の表面には多数の孔が開いていたのです。しかも、いくつかの孔には貝殻のような化石が入っていました。我々は、この甲羅に多数見られる孔が何者によっていつ開けられたものであるのか解明するために研究に取り組みました。

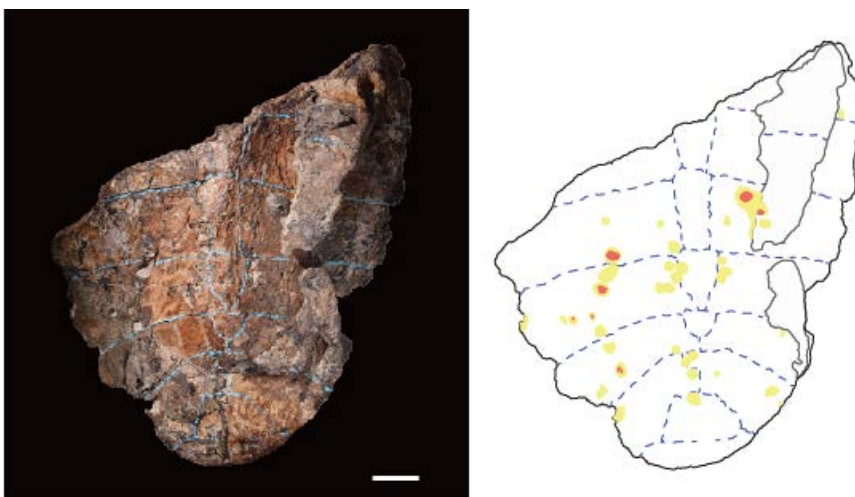


図1：*Mesodermochelys* sp.背面写真（左）とその模式図（右）。黄色が開けられた孔を、赤色が貝化石とみられる体化石をそれぞれ示す。スケールバーは50 mm。



本研究では、カメ化石本体を可能な限り非破壊的に観察するため、①甲羅に開けられた孔の形態・サイズの記載に加えて、②カメの甲羅を医療用 CT でスキャンすることで孔の三次元解析を行いました。また、③甲羅本体から破断した甲羅破片に開けられた穿孔痕の岩石薄片を作成し、骨組織の観察を行いました。代表的な穿孔性二枚貝であるニオガイ上科※2は、二枚の貝殻をつなぐ蝶番の部分に *Apophysis* と呼ばれる突起を有することが知られていますが、観察の結果、甲羅中の化石も同様の形態的特徴を持っていることがわかりました。また、CT スキャンの立体再構築像観察によって甲羅に開けられた孔はいずれも半球状もしくは棍棒状であることが確かめられました。この形状は、ニオガイ上科がつくる孔の形状とよく似ています。甲羅内部を CT 像で観察すると、貝とみられる多くの化石は孔の入り口より大きく成長していることがわかります。これは穿孔性生物が内部で成長したことを示唆するデータであるといえます。以上の事実を総合すると、*Mesodermochelys* の甲羅にみられる孔は穿孔性二枚貝であるニオガイ上科によって掘り進められたものである可能性が高いと考えられます。

我々は当初、この穿孔性生物（二枚貝とみられる）がウミガメの死後に生息し始めたと思っていました。ところが、孔の断面を見られるように骨を切断したところ、骨に治癒の痕跡がみられたのです。つまり、**この穿孔性生物は、ウミガメが生きていたときに骨に孔をあけて生息し、さらにはその下の体内組織にまで達して生きていた**ことが判明しました。骨が治癒された痕は、骨の組織を見ることでわかります。海洋脊椎動物の骨は通常、表面の緻密骨とその内側に海綿骨という二層構造になっています。今回調べた孔をあけられた箇所の骨断面では、孔表面が本来穿孔によって露出しているはずの海綿骨ではなく、緻密骨で裏打ちされていたのです。このように、今回の発見は動物同士の共生関係を化石で直接的に示す希少な例です。

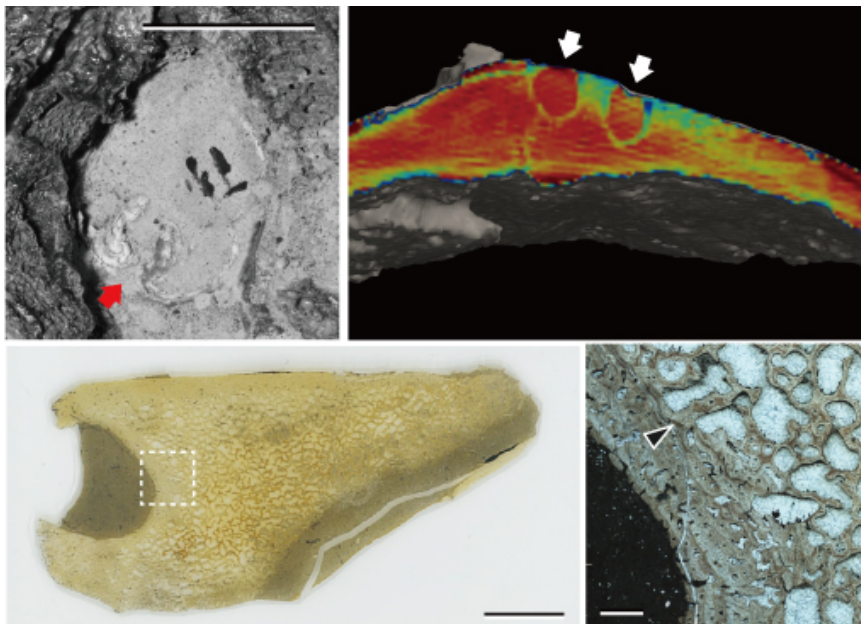


図2：穿孔痕内部にみられるニオガイ上科二枚貝とみられる体化石（左上）と CT スキャンによるその穿孔痕の断面像（右上）、甲羅破片の岩石薄片（左下）とその拡大図（右下）。ニオガイ上科の特徴である蝶番部の突起（左上、赤矢印）や、本分類群が作るこん棒状の孔が確認できる（右上、白矢印）。孔が空いた骨断面では、黒矢じり付近を境界に海綿骨が途切れ、孔表面が緻密骨で裏打ちされていることがわかる（右下）。スケールバーはそれぞれ 10 mm（左上）、1 mm（左下）、100 μ m。



もう一つ、今回の研究に関する面白いトピックがあります。骨格や殻のような生物の遺骸そのものの化石のことを体化石と呼ぶのに対して、足跡や巣穴、糞のように生命活動の痕跡が化石となったものを生痕化石といいます。生痕化石も動物と同じように“種名”（学名）を国際動物命名規約に則ってつけます。棍棒状の生痕化石は基質が木質である場合は *Teredolites*、石質である場合は *Gastrochaenolites* という生痕属に分類されますが、今回発見された生痕化石はそのいずれでもなく生物の硬組織に孔が開けられたものであったことから、*Karethraichnus zaratan* という生痕種として新種記載しました。*zaratan* という種小名は、その大きさゆえに船乗りが島と勘違いして甲羅に上陸したという逸話のある中東の伝説上の巨大なカメの名、ザラタンにちなみました。

(3) 研究の波及効果や社会的影響

固着性生物や、今回のような穿孔性の生物はしばしば固着/穿孔する基盤に好みがあることがわかっていて（基質選択性）、固着基盤が生物となっている場合に固着/穿孔生物に基質選択性があると、両者の間に共進化が起こる場合があります。本研究で、貝類における脊椎動物への共生関係を明確な化石の証拠から復元できました。今回のような化石の産状は、もしかすると穿孔貝の幼生がたまたまカメの甲羅に着底して成長した偶然の産物であって、貝の基質選択性を示すものではないかもしれませんが、今後同様の研究が増えることによって、動物同士の共生が彼らの進化にどのような影響を及ぼしてきたのかが明らかになると期待しています。クジラや魚類の骨、糞化石に穿孔した穿孔貝の化石は白亜紀～更新世にかけていくつか報告例があるので、今後我々の発見したものと似た産状の穿孔貝化石が新たに発見される可能性は低くないでしょう。

(4) 今後の課題

本研究で新しく記載された生痕種 *Karethraichnus zaratan* の形成者である、二オガイ上科の一種とみられる二枚貝の正体は今のところよくわかっていません。二オガイ上科が出現したのはジュラ紀以降であると考えられており、白亜紀後期の地層から見つかった本種がこの分類群の系統分類や穿孔能力の進化史を解き明かすうえで重要な位置づけにあることは間違いないでしょう。特に、二オガイ上科の貝殻の形態や表面の彫刻はその生活型と密接にかかわっているため、二枚貝の体化石をうまく取り出して3次元的な形態を詳細に記載することで分類学的な位置づけを詳細に明らかにするというのが、今後の課題の一つです。

(5) 用語解説

※1 *Mesodermochelys*

早稲田大学平山廉教授らが発見した絶滅したウミガメのなかま（Hirayama & Chitoku 1996）。上腕骨の特徴などから骨質の甲羅が二次的に退化したオサガメ科（*Dermochelyidae*）に近いと考えられている。一方で、現在のオサガメのなかまとは違い *Mesodermochelys* には甲羅の退化があまりみられず、他のカメ類と種分化したときの祖先的な形質を残している。



早稲田大学



金沢大学
KANAZAWA
UNIVERSITY

※2 ニオガイ上科

代表的な穿孔性二枚貝類の系統で、高次分類は二枚貝異歯亜綱オオノガイ目。Pholadoidea。主に石質の基質を穿孔するニオガイ科 (Pholadidae) と木質の基質を好むフナクイムシ科 (Teredinidae) の2科にさらに分類される。二枚の貝殻を開閉運動させることで物理的に穿孔運動を行う。

(6)論文情報

雑誌名 : PALAIOS (May 29, 2020, Vol.35, 228-236.)

論文名 : Mobile home for Pholadoid boring bivalves: first example from a Late Cretaceous sea turtle in Hokkaido Japan

執筆者名 (所属機関名) : Kei Sato (Waseda University), Robert G. Jenkins (Kanazawa University)

掲載日時 (米国時間) : 2020年5月29日

掲載 URL : <https://pubs.geoscienceworld.org/palaios>

DOI : 10.2110/palo.2019.077

【研究内容に関するお問い合わせ先】

早稲田大学 教育・総合科学学術院

助教 佐藤 圭

E-mail: keisato@aoni.waseda.jp

【発信元】

早稲田大学広報室広報課

E-mail: koho@list.waseda.jp