



## 化石巨大ザメ“メガロドン”は考えられていたほど速く泳がなかったが、代謝熱を利用して食欲旺盛だった

1986年に埼玉県深谷市(旧川本町)から発見された1000万年前の鱗化石を再研究

- メガロドンにみられる体サイズの巨大化は、必ずしも鱗の巨大化を引き起こさなかったことを発見。
- 鱗化石の形態から、メガロドンは高速遊泳するサメではなかったことが判明。
- メガロドンは代謝熱の大部分を餌である大きな肉片の消化・吸収に利用していた可能性がある。

### 【概要】

米国・デポール大学の島田賢舟教授・埼玉県立自然の博物館の山岡勇太学芸員・三重大学教育学部の栗原行人教授・群馬県立自然史博物館の高桑祐司地学研究係長(学芸員)を含む研究チームは、1986年に埼玉県深谷市(旧川本町)から発見された約1000万年前の1個体に由来するメガロドンの鱗(楯鱗)化石を検討し、メガロドンが部分的内温動物であることを利用して栄養分の消化吸収を促進する、遊泳速度が遅いサメであったことを明らかにしました。

少なくとも体長15mに達したとされるメガロドンですが、楯鱗の大きさは現生のサメ類と大きな差がなく、体サイズの巨大化は必ずしも楯鱗の巨大化を引き起こさなかったことが判明しました。同時に、楯鱗の表面にある小歯状突起の形態を調べたところ、高速で泳ぐサメの楯鱗に特徴的な狭い間隔の小歯状突起が備わっていませんでした。小歯状突起の間隔から推定されたメガロドンのおおまかな遊泳速度は、時速2km前後と比較的遅いことから、メガロドンは普段ゆっくりと泳ぎ、獲物を捕らえる際に爆発的に泳いだと考えられます。

この発見は、メガロドンの遊泳速度に関する従来の常識を覆すものでしたが、同時に、普段活発に泳がないメガロドンが、部分的内温動物としての高い代謝熱をどのように発散したのかという新たな疑問を生みました。研究チームは新たな仮説として、メガロドンが代謝熱の大部分を使って餌である大きな肉片の消化を促進し、栄養を吸収していた可能性を指摘しました。

本研究成果は、古生物学の国際学術誌 Historical Biology 誌オンライン版に掲載され、2023年7月12日(水)より期間限定で無料公開されています。埼玉県立自然の博物館では、メガロドンの楯鱗化石を2023年7月12日(水)から常設展示にて公開しています。



メガロドンの楯鱗化石。右下は0.5mmのシャープペンシルの芯(撮影:島田賢舟教授/デポール大学)

## 【背景】

メガロドン(学名:オトダス・メガロドン)<sup>(注1)</sup>はネズミザメ目オトダス科に属する象徴的な化石巨大ザメです。メガロドンの化石は主に歯(まれに脊椎骨)であり、世界各地の新第三紀の海成層から発見されています。近年の研究では、メガロドンの全長は少なくとも 15m、比較的水温の低い海域では最大 18~20 mに達したと推定されています。また、様々な海生哺乳類の骨化石に残された噛み跡や歯化石の地球化学的分析から、メガロドンは当時の海洋生態系食物連鎖網の上位を占めていたことが判明しています。しかし、メガロドンの生物像については、いまだ未解明の部分が多く残されています。

埼玉県では 1986 年に比企郡嵐山町在住の関根 浩史<sup>(ひろふみ)</sup>氏によって深谷市(旧大里郡川本町)菅沼の荒川河床に分布する土塩層(後期中新世[約 1000 万年前]の地層)から1個体に由来する 73 本のメガロドンの歯群化石が発見されており、県の天然記念物に指定されています(図1A)。この土塩層産メガロドン歯群(推定全長 11.7 m)に伴って石灰化軟骨や楯鱗<sup>(注2)</sup>と呼ばれる鱗の化石が産出したことが知られていましたが、これまで詳しい研究は行われていませんでした。そこで、米国・デポール大学の島田賢舟教授(埼玉県出身)・埼玉県立自然の博物館の山岡勇太学芸員・三重大学教育学部の栗原行人教授・群馬県立自然史博物館の高菜祐司地学研究係長(学芸員)を含む研究チームは、埼玉県立自然の博物館に保管されていたこれらの石灰化軟骨と楯鱗の化石の研究を行いました。

## 【研究内容】

土塩層産メガロドン歯群化石に伴って産出した小岩塊を分解処理したところ、モザイク状の石灰化軟骨の破片と 589 個の楯鱗が回収されました(図 1B)。メガロドンの石灰化軟骨の組織の形態と配列は現生のサメ類のものとはほぼ一致しており、メガロドンにおいても現生サメ類に共通する軟骨成長機構が働いていたことが判明しました。メガロドンの楯鱗は形態から3タイプに分類でき、その大きさは最大径で 0.3~0.8 mm でした。この値は現在の外洋性のネズミザメ目やメジロザメ目サメ類の楯鱗と比較できる値です。このことから、メガロドンの体サイズの例外的な巨大化は必ずしも楯鱗の巨大化を引き起こさなかったことが判明しました。

メガロドンの楯鱗の多くは、特徴的な3本の並行する小突起を持っていました。現生のサメにおいても、楯鱗にはこうした突起が知られており、小歯状突起と呼ばれています。サメの皮膚表面は小歯状突起を持つ楯鱗で隙間なく覆われ、その突起が連続して体の前後方向に無数の細かい溝を形成することにより、遊泳時の表面摩擦抵抗を軽減していると考えられています。現生の外洋性のネズミザメ目やメジロザメ目のサメ類においては、それぞれの種の楯鱗の小歯状突起間の距離(IKD)と遊泳速度にはある程度の相関があることが知られており、遊泳速度が大きい種ほど IKD の値が小さいという傾向があります(図 2)。

土塩層産楯鱗化石の IKD の平均は約 100  $\mu\text{m}$  であり、この値から推定されたメガロドンのおおまかな遊泳速度は時速約 2.0 km(時速 0.9~3.0 km)となりました。この値はいくつかの仮定や制約に基づいていることなどから極めて暫定的なものですが、メガロドンは高速遊泳するサメではなかったことを示す重要な証拠であるといえます。いくつかの先行研究では、メガロドンが高速遊泳(時速 4.8~5.1 km)するサメだったという主張がされていましたが、本研究の結果はそれらとは対照的なものとなりました。化石記録からメガロドンが海生哺乳類を餌としていたことは疑いのないことであるため、メガロドンは普段ゆっくりと泳いでいて、獲物を襲うときだけ爆発的な泳ぎをしたと、私たちは考えています。

メガロドンは体温保持機構として部分的内温性<sup>(注3)</sup>を持っていたと推定され、これが体サイズの巨大化への重要な要因の一つであると考えられてきました。これまでの研究では、メガロドンが部分的内温性を持っていたことの要因として高速遊泳をしていたと考えられてきましたが、本研究で明らかとなった楯鱗に基づくメガロドンの遊泳速度はこの説を支持しません。そこで、新しい仮説として、メガロドンは部分的内温性によって生み出される代謝熱の大部分を餌である哺乳類の大きな肉片の消化・栄養の吸収の促進のために使った可能性があることを指摘しました。もし私たちの仮説が正しければ、部分的内温性の機能的役割の重要性は、オトダス科サメ類の進化の中で時代的に大きく変化したことが示唆されます。すなわち、白亜紀後期の体長約 3mのクレトラムナでは部分的内温性を生み出す主な要因は高速遊泳であったのに対し、体長 15 m 以上のメガロドンに至る体サイズの巨大化に向かう進化過程において、餌として飲み込んだ大きな肉片を内蔵で消化し、栄養を吸収することへと変化したと考えられます。

#### 【米国・デポール大学 島田賢舟教授のコメント】

これまで地球上に存在した最大の肉食動物の一つであるメガロドンの生物像を明らかにすることは、海洋生態系の進化における大型肉食動物の役割を理解する上で重要です。

#### 【埼玉県立自然の博物館 山岡勇太学芸員のコメント】

今回、30年以上博物館に保管されていたサンプルから大きな発見が生まれました。この研究を経て、次世代のために博物館資料を大切に受け継いでいくことの重要性を改めて実感しました。埼玉県立自然の博物館では、メガロドンの楯鱗化石を2023年7月12日(水)から常設展示にて公開中です。皆様のご来館をお待ちしております。

#### 【用語解説】

##### (注1) オトーダス・メガロドン

学名(種名)は属名と種小名を組み合わせで表します。また、その組み合わせは、進化の道すじや類縁関係(系統)を反映させたものであるため、研究の進展とともに変化することがあります。“メガロドン”は種小名であり、その属名として、これまでカルカロクレス、プロカルカロドン、メガセラクス、カルカロドンなどが使われてきました(例:カルカロドン・メガロドン)。しかし、カルカロドン属との直接の系統関係を示さないことなどの理由から、近年の研究では、“メガロドン”をオトーダス属に位置づけて、オトーダス・メガロドン(*Otodus megalodon*)と呼ぶのが一般的です。*Otodus*の日本語表記もいくつかありますが、ここでは米国での発音に近いオトーダスを用いています。

##### (注2): 楯鱗

サメやエイなどの軟骨魚類に特有の原始的な鱗。楯鱗の外側にあるエナメル質の突起は体外に露出し、体表に細かな凹凸を作ることで、遊泳時の表面摩擦抵抗を軽減する役目があると考えられています。

##### (注3): 部分的内温性

体内で産生される代謝熱を利用して体温を環境温度より高く保つ性質を内温性、外部の熱源に依存して体温を調整する性質を外温性といいます。魚類は基本的には体温を周囲の水温に依存する外温動物ですが、アオザメやクロマグロなどの高速遊泳する一部の魚類は、筋肉の収縮運動などによって発生した熱を効率よく利用して、部分的に体温を高く保つ能力を持つことが知られています。こうした体温調節機構を部分的内温性と呼びます。

## 論文情報

論文名 : Tessellated calcified cartilage and placoid scales of the Neogene megatooth shark, *Otodus megalodon* (Lamniformes: Otodontidae) offer new insights into its biology and the evolution of regional endothermy and gigantism in the otodontid clade (新第三紀の巨大ザメ, オトーダス・メガロドンのモザイク状石灰化軟骨と楯鱗は, その生物学とオトーダス科系統における部分的内温性と巨大化についての新知見を提供する)

著者名 : 島田賢舟<sup>しまだけんしゅう</sup> (米国・デポール大学), 山岡勇太<sup>やまおかゆうた</sup> (埼玉県立自然の博物館), 栗原行人<sup>くりはらゆきと</sup> (三重大学教育学部), 高栞祐司<sup>たかくわゆうじ</sup> (群馬県立自然史博物館), ハリー・M・マイシュ, IV (米国・フロリダガルフコースト大学), マーティン・A・ベッカー (米国・ウィリアムパターソン大学), ロバート・A・イーグル (米国・カリフォルニア大学ロスアンジェルス校), マイケル・L・グリフィス (米国・ウィリアムパターソン大学)

雑誌名 : *Historical Biology* (古生物学の国際学術誌)

DOI : 10.1080/08912963.2023.2211597

無料オンライン公表日 : 期間限定で 2023 年 7 月 12 日 (水曜) より

## 問い合わせ先

埼玉県立自然の博物館 学芸員 山岡勇太 (やまおかゆうた)

TEL 0494-66-0407

メール [t6604044@pref.saitama.lg.jp](mailto:t6604044@pref.saitama.lg.jp)

三重大学教育学部理科教育講座 教授 栗原行人 (くりはらゆきと)

TEL 059-231-9265

メール [ykurihara@edu.mie-u.ac.jp](mailto:ykurihara@edu.mie-u.ac.jp)

群馬県立自然史博物館 地学研究係長 (学芸員) 高栞祐司 (たかくわゆうじ)

TEL 0274-60-1200

メール [takakuwa@gmnh.pref.gunma.jp](mailto:takakuwa@gmnh.pref.gunma.jp)

## 配信元

埼玉県立自然の博物館 (〒369-1305 埼玉県秩父郡長瀬町長瀬 1417-1)

TEL 0494-66-0407

メール [t6604044@pref.saitama.lg.jp](mailto:t6604044@pref.saitama.lg.jp)

三重大学企画総務部総務チーム広報室 (〒514-8507 三重県津市栗真町屋町 1577)

TEL 059-231-9789

メール [koho@ab.mie-u.ac.jp](mailto:koho@ab.mie-u.ac.jp)

群馬県立自然史博物館 教育普及係 (〒370-2345 群馬県富岡市上黒岩 1674-1)

TEL 0274-60-1200

メール [hukyu@gmnh.pref.gunma.jp](mailto:hukyu@gmnh.pref.gunma.jp)

【参考図】

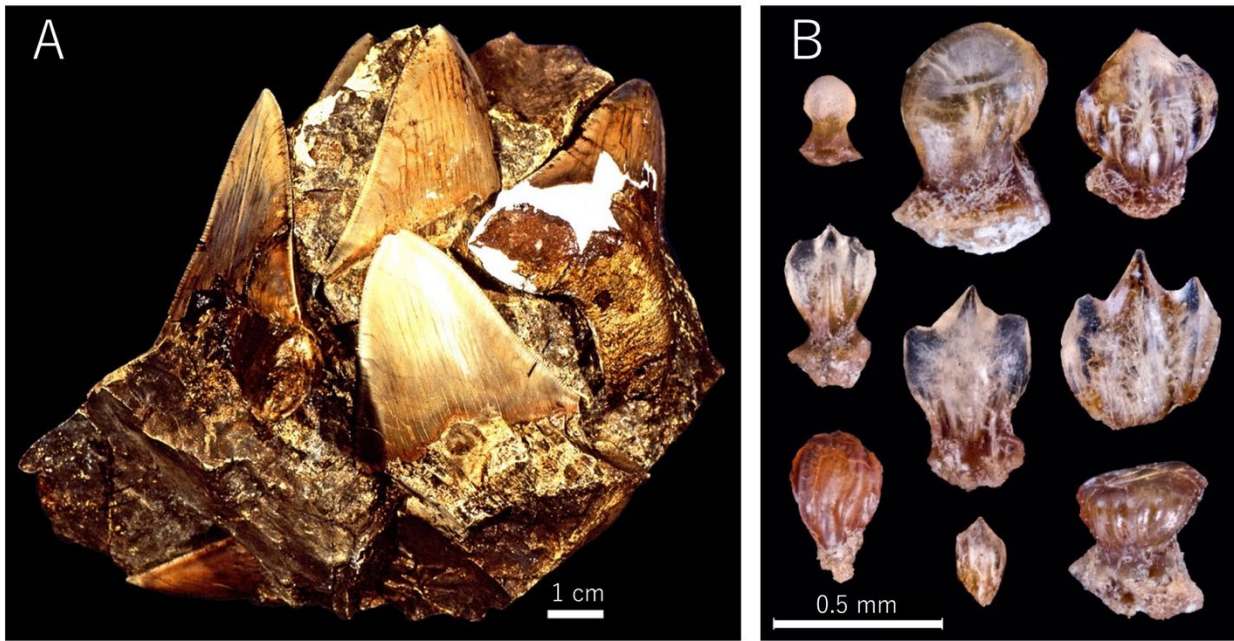


図1. A. 土塩層産メガロドン歯群化石(撮影 坂本 治氏). B. 土塩層産メガロドンの楯鱗化石(撮影 埼玉県立自然の博物館).

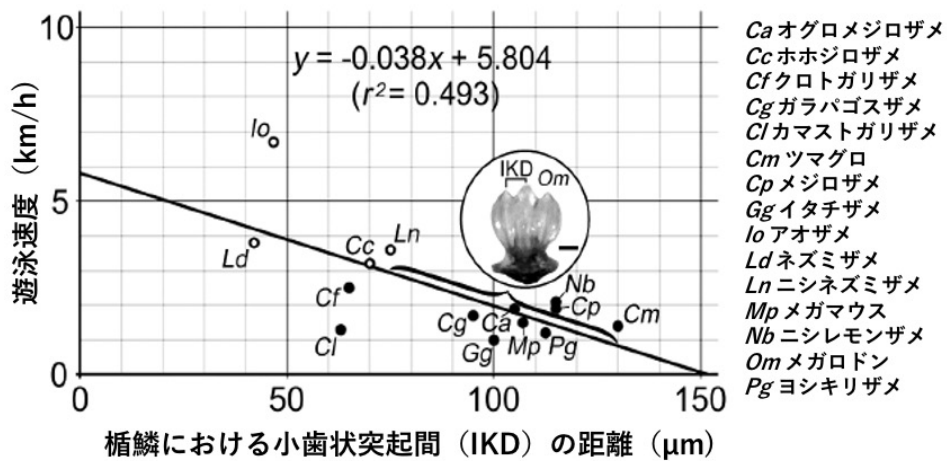


図2. 楯鱗の小歯状突起間の距離 (IKD) と遊泳速度の関係. 白丸 (○) は内温性種, 黒丸 (●) は外温性種を示す.