

北海道大夕張地域の上部白亜系蝦夷層群鹿島層の サントニアン階から初めて産出したシネコドゥス目 *Synechodontiformes* の歯化石について

金子正彦*

First record on fossil shark teeth of *Synechodontiformes* from the Kashima Formation (Santonian), Upper Cretaceous Yezo Group in the Oyubari area, Hokkaido, Japan

Masahiko Kaneko*

Abstract

We report on the newly discovered *Synechodontiform* shark tooth from the Upper Cretaceous Kashima Formation (Santonian) in the Oyubari region, Hokkaido, Japan. This specimen is identified as *Synechodus dubrisiensis* (Paleospinacidae). This discovery is significant as the first record of *S. dubrisiensis* from the Santonian Series in Northwest Pacific region, not only in Japan, for this species has previously been recorded as from Hautelivian to Late Cenomanian deposits in the North Sea and Anglo-Paris Basin (Woodward 1889; Herman 1977; Underwood et al. 1999; Mellen and Hovestadt 2018). It is also extremely rare that multiple tooth classes (parasymphysial, anterior, lateral, and posterior teeth) in *Synechodus* occurred as free teeth from a single formation.

Key words: *Synechodontiformes*, *Synechodus dubrisiensis*, Shark tooth, Santonian, Upper Cretaceous, Kashima Formation

1. はじめに

シネコドゥス目 *Synechodontiformes* は非常に長い生息レンジを持った板鰐亜綱の絶滅目で、前期ペルム紀アーティンスキアン期に出現し (*Synechodus antiquus*; Ivanov 2005), ペルム紀末と三畳紀末の二度の大量絶滅を生き延びた新生板鰐類唯一のグループ (Jaselli and Duffin 2021) で、現生サメ類の姉妹群 (Klug 2010) とされる。また、4科 (シュードノチダスス科 *Pseudonotidanidae*, オルサコドゥス科 *Orthacodontidae*, パレオスピナクス科 *Paleospinacidae*, およびパラオサコドゥス科 *Paraorthacodontidae*) に分かれて繁栄 (Klug 2010) したが、古第三紀暁新世のダニアン期前期以降に絶滅した (Callahan et al. 2014) ことが知られる。

今回発見されたシネコドゥス属 *Synechodus* 歯化石は、パレオスピナクス科に帰属し、英国 (Mackie 1863; Woodward 1888), スウェーデン (Siverson 1989; Siverson et al. 2016), ドイツ (Böttcher and Duffin 2000), ベルギー (Herman 1977), ポーランド (Rees 2005), ロシア (Chabakov and Zonov 1935; Solonin et al. 2023), ウクライナ (Rogovich 1861; Sokolskyia and Guinot 2021), チェコ (Reuss 1846), カザフスタン (Kennedy et al. 2008; Cappetta 2012), レバノン (Forey et al. 2003), カナダ (Cappetta et al. 2019), アメリカ (Case 1978; Callahan et al. 2014), ニューゼaland (Chapman 1918) など世界的に報告されているが、北西太平洋地域からの報告は少ない (Tables 1, 2)。

2022年11月13日受付, 2024年1月28日受理

*育英館予備校 〒347-0054 埼玉県加須市不動岡1-4-4

IKUEIKAN Preparatory School, 1-4-4 Fudoka, Kazo, Saitama Prefecture 347-0054, Japan

E-mail: lamna@jcom.zaq.ne.jp

Table1. The major species of the Genus *Synechodus* from the Cretaceous.

Species		Locality	Age	References
<i>Synechodus michaeli</i>	as <i>Palaeospinax</i>	Hannover, Germany	Middle Barremian	Thies (1981)
<i>S. tenuis</i>		Kent, Great Britain	Aptian-Albian	Woodward (1889)
<i>S. disper</i>	as <i>Hybodus</i>	Bohemia, Czech	Cenomanian	Reuss (1846)
<i>S. bronnii</i>	as <i>Hybodus</i>	Bohemia, Czech	Cenomanian	Reuss (1846)
<i>S. polyptychus</i>	as <i>Hybodus</i>	Bohemia, Czech	Cenomanian	Reuss (1846)
<i>S. dubrisiensis</i>	as <i>Hybodus</i>	Kent, Great Britain	Cenomanian	Mackie (1863)
<i>S. nitidus</i>		Kent, Great Britain	Cenomanian	Woodward (1911)
<i>S. dereki</i>		Kent, Great Britain	Cenomanian	Cappetta (2019)
<i>S. kessleri</i>	as <i>Hybodus</i>	Kiev, Ukraine	Cenomanian?	Rogovich (1861)
<i>S. sublatus</i>	as <i>Hybodus</i>	Kiev, Ukraine	Cenomanian?	Rogovich (1861)
? <i>S. tuberculatus</i>	as <i>Hybodus</i>	Kiev, Ukraine	Cenomanian?	Rogovich (1861)
<i>S. filipi</i>		Scania, Sweden	Lower Campanian	Siversson et al. (2016)
<i>S. perssoni</i>		Scania, Sweden	Lower Campanian	Siversson (1989)
<i>S. turneri</i>		Wyoming, USA	Upper Campanian	Case (1987)
<i>S. lerichei</i>		Caster Trench, Belgium	Maastrichtian	Herman (1977)
<i>S. validus</i>		Amuri Bluff, New Zeland	Upper Cretaceous	Chapman (1918)

Table2. Major reports and species of the Genus *Synechodus* in Japan.

Species	Locality	Age	References
<i>Synechodus</i> sp.	Seiyo, Ehime	Olenelian	Yamagishi (2004)
<i>S. triangulus</i>	Seiyo, Ehime	Lower Anisian	Yamagishi (2004)
<i>S. sp.</i>	Iwaki, Fukushima	Middle Coniacian	Watabe et al. (2022)
<i>S. sp.</i>	Amakusa, kumamoto	Santonian	Kitamura (2014)
<i>S. dubrisiensis</i>	Oyubari, Hokkaido	Santonian	This paper

本邦最古のシネコドゥス属歯化石は、愛媛県西予市田穂の下部三畳系オレネキアン階から報告された *S. sp.*, 次いで中部三畳系アニシアン階から *S. triangulus* (Yamagishi 2004) が、白亜系からは福島県いわき市の上部白亜系双葉層群足沢層（コニアシアン階）から *S. sp.* (渡部ほか 2022), 熊本県の天草上島の姫浦層群樋之島層（下部サントニアン階）から *S. sp.* (北村 2014) が報告されたのみで、北海道の羽幌町（大八木 2000）、芦別市（後藤ほか 2020）などでの産出が断片的に紹介されているものの、論文による産出報告が無く、かつ歯冠基底部や歯根が剖出されていない標本が多いため詳細は不明である。

ところで、本邦の上部白亜系からの板鰐類化石については古くから報告されている（例えば、Yabe and Obata 1930）。特に本邦白亜系の模式層序でもある北海道大夕張地域の蝦夷層群は、近年でも板鰐類化石の報告があり（例えば、Tomita and Kurihara 2011; Kanno et al. 2017, 2022）、後期白亜紀の北太平洋地域における板鰐類相を理解する上で重要な地層である。

2009年以降、著者らも北海道夕張市鹿島地区のシューパロ川流域に分布する蝦夷層群鹿島層のサントニアン階の部分にある凝灰質砂岩中の板鰐類化石を調査しており、化石包含層の蟻酸処理を行うことで、これまでに多くの板鰐類の歯化石を得た。それらの一部としてキクザメ目1科1属1種（金子ほか 2012）、メジロザメ目2科6属12種（金子ほか 2015）、ネズミザメ目6科9属19種と2未定属種（金子ほか 2019）およびネコザメ目1科1属2種（金子・藤本 2022）を報告しており、その合計は4目10科17属34種と2未定属未定種となる。本研究では、これまでと同じ酸処理で得た鹿島層産のシネコドゥス目の概要について報告する。

2. 地質概説および化石の産状

化石は2009年および2010年9月に夕張市鹿島地区千年町付近を流れるシューパロ川河床に露出していた蝦夷層群鹿島層の凝灰質砂岩層から採取した岩塊から産出した（Fig. 1）。なお、産地は2015年の夕張シューパロダム完成に伴い、ダム湖に水没している。

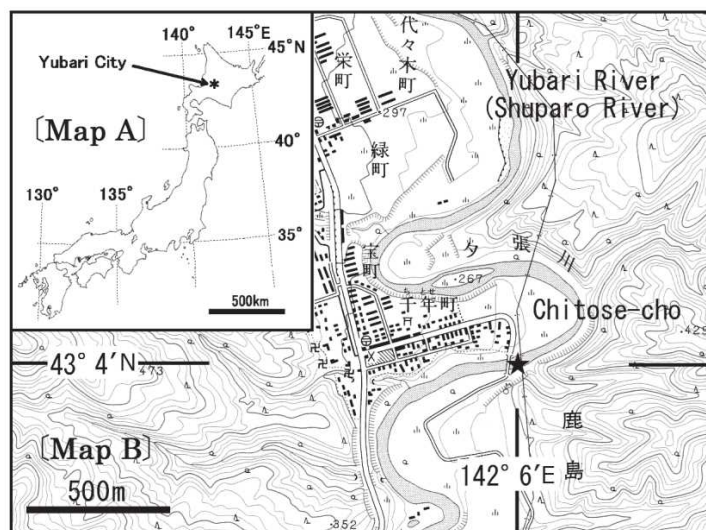


Fig. 1. The map showing the fossil locality of Order Sybechodontiform shark, *Synechodus dubrisiensis* from the Kashima Formation (Upper Cretaceous, Santonian) in Yubari, Hokkaido, Japan. The map A shows the position of the Yubari City (*). And map B showing the fossil locality. [The map B : the topographical map of “Shuparo lake” scale 1:25000 published in 1989 by the Geospatial Information Authority of Japan.]

鹿島層は本山ほか (1991) によって命名され、主に層厚 1 m 以下の凝灰質砂岩層もしくは凝灰岩層を頻繁に挟む、生物擾乱を強く受けた暗灰色の塊状泥岩からなる (Takashima et al. 2004; 高嶋ほか2018)。化石の産地周辺の河床には、傾斜方向がほぼ垂直な暗灰色の泥岩層が露出し、平行葉理が発達したタービダイト性の凝灰質砂岩層が観察され、シネコドゥスを含むサメ類の歯化石は層厚約 1 m の中粒砂岩層中に含まれる貝殻破片密集層から発見された。密集層の層厚は約 20cm で、破片を構成するのは主に *Inoceramus*, *Ostrea*, *Nanonavis sachaliensis* (Schmidt) と推定される二枚貝、小型の巻貝などで、径 0.2cm 以下の多数の海緑石粒子を含む。また長径約 2 cm から 20cm の扁平な泥岩偽礫も散点的に含んでいる。*Inoceramus* の破片サイズは通常 5 cm 以下であるが、まれに 20cm 以上の長径があり、*Inoceramus amakusensis* に同定される比較的大型の破片も含む。サメ類の歯化石は、この密集層中に散点的に含まれ、その保存は良好で、顕著な摩耗等は被っていない。

Takashima et al. (2004) によれば、鹿島層の堆積環境は、外側陸棚上部とされ、今回サメの歯化石が発見された化石密集層は、タービダイト性砂岩に巻き込まれた貝殻等が、他所より流されて堆積したもので、異地性の化石群であると考えられる。

また、鹿島層の堆積した時代は、上部チューロニアンからカンパニアンとされており (Takashima et al. 2004)、サメの歯化石を含む岩塊から *I. amakusensis* が

発見されたことから (金子ほか2012, 2015)、サントニアン階に対比される (利光ほか 1995)。

3. 標本の剖出方法

標本を母岩中より単体で取り出すために蟻酸処理を実施した。蟻酸は 78% 工業用 (三菱瓦斯化学株式会社) を 5~7% 水溶液に希釈し、ドラフト内で使用した。処理工程については金子ほか (2015)、金子・藤本 (2022) を参考に剖出を進めた。剖出作業中に発生するガス成分は炭酸ガスが主であるが亜硫酸ガスなどの有害成分をわずかに含むため、トラップとして水槽内を通過させた後に排出させた。以下に剖出作業の手順を記しフローチャートを示す (Fig. 2)。

- ①：母岩をハンマーで 5~10cm 大に砕き、ガストラップを付けた密閉可能なポリ塩化ビニル製の容器に入れ、5~7% 蟻酸水溶液に約 72 時間浸した。
- ②：残った母岩は水洗の後、おおよそ 100 g の母岩に対して 2~3 L の水に 24 時間浸し、母岩表層に残る蟻酸や生成した蟻酸カルシウムなどを抽出、除去し、試料 A とした。容器下部の沈殿物は、水洗後、双眼実体顕微鏡で歯化石の有無を確認し、歯化石が発見された場合、ピンセットで拾い上げた後、300 μ m メッシュの篩上に上水を捨て、残査は水分をエタノールで置換し、試料 B とした。
- ③：試料 A は、双眼実体顕微鏡で母岩表面の歯化石の有無を確認した後、針状エキスプローラーで化石に付着した砂岩の基質を可能な限り除去した後乾燥

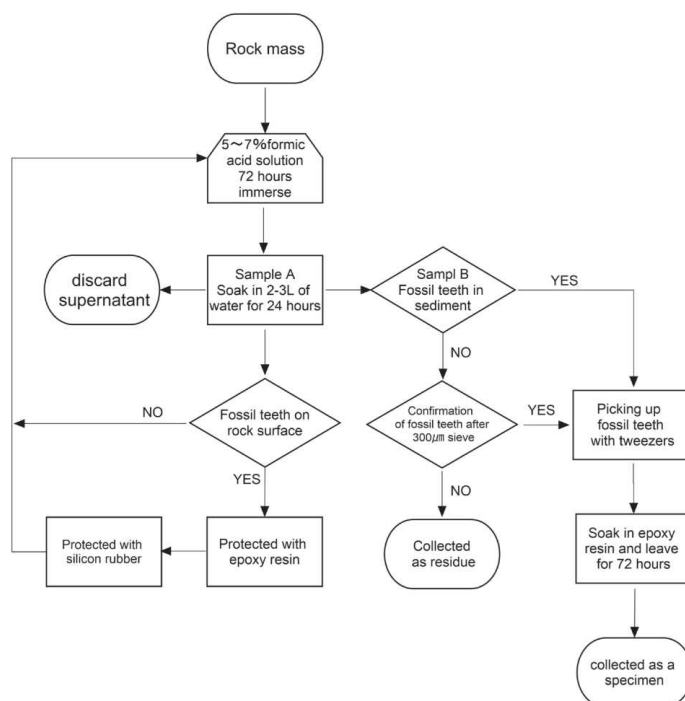


Fig. 2. Dissolution treatment flow chart using formic acid.

した。

- ④：試料 B は乾燥後，さらに双眼実体顕微鏡を用い，残渣に含まれる歯化石をピンセットで拾い上げた。
- ⑤：②～④で得られた歯化石の歯根は脆いので，強度を与える為に低粘度エポキシ樹脂を含浸させ，72時間放置した。
- ⑥：試料 A はエポキシ樹脂硬化後，母岩表面に露出する化石への蟻酸による浸食を防ぐためシリコン樹脂で保護した後，再度①～⑤の工程を，母岩が形状をとどめなくなるまで繰り返し行った。

4. 標本の記載

板鰓類全体の分類体系については Cappetta (2012) を参考にし，シネコドゥス目の分類については Klug (2010) に従った。また，歯種の用語は Guinot et al. (2013) を，形態学的用語については Siverson (1989) を，板鰓類歯化石全般の解剖学的用語は矢部・後藤 (1999) および後藤 (2006) を参考にした (Fig. 3)。なお，本報告で記載した北海道夕張市鹿島地区のシューパロ川河床に分布する上部白亜系蝦夷層群鹿島層のサントニアン階より産出した標本 (MCM-A2455～MCM-A2465) は三笠市立博物館 (Mikasa City Museum) に収蔵されている。

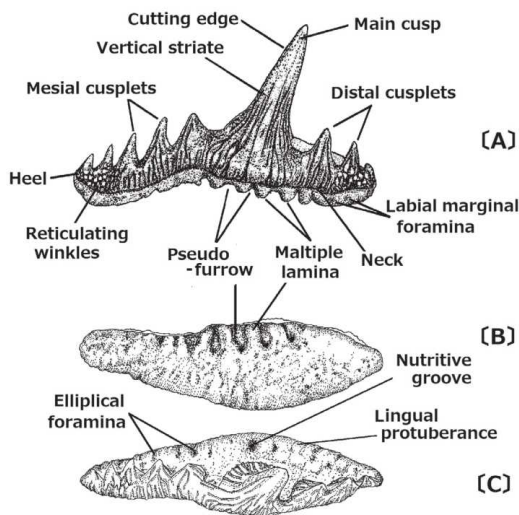


Fig. 3. Dental terminology of lateral tooth used for the morphological descriptions. Not to scale. A; Labial view, B; Basal view, C; Occlusal view. Main cusp (主咬頭), Mesial cusplets (近心副咬頭), Distal cusplets (遠心副咬頭), Cutting edge (切縁), Vertical striate (垂直線条), Neck (齒頸), Heel (踵), Reticulating wrinkles (網目構造の線条), Labial marginal foramina (唇側辺縁孔), Pseudo-furrow (Synechodontiformes 目特有の歯根基底の溝), Multiple lamina (ラミナ: 溝に挟まれた歯根の凸部), Elliptical foramina (楕円孔), Lingual protuberance (歯根舌側隆起), Nutritive groove (栄養孔)。

古生物学的記載

軟骨魚綱 Class Chondrichthyes Huxley 1880

板鰐亜綱 Subclass Elasmobranchii Bonaparte 1838

板鰐下綱 Cohort Euselachii Hay 1902

新生板鰐区 Subcohort Neoselachii Compagno 1977

シネコドゥス目 Order Synechodontiformes Duffin and Ward 1993

パレオスピナクス科 Family Paleospinacidae Regan 1906

シネコドゥス属 Genus *Synechodus* Woodward 1888

Synechodus dubrisiensis (Mackie 1863)

Pl. 1. 1-6, Pl. 2. 1-5. MCM-A2455~MCM-A2465

傍接合歯 (Pl. 1, 1~2; MCM-A2455~A2456): 近遠心径2.09~2.19 mm, 歯の最大高1.71~1.86 mm, 唇舌径1.20~1.23 mm.

記載: MCM-A2455 (下顎傍接合歯; pl. 1, 1a~1d): 歯は主咬頭の尖頭を欠く。近遠心径2.19 mm, 歯の最大高1.71 mm, 唇舌径1.20 mm. ①歯は5咬頭よりなり, ②高さより幅がある。③唇/舌側面観で歯根底縁はおおよそ直線をなす。④細長く直立する主咬頭と, ⑤2対の副咬頭を備える。⑥咬頭は主咬頭が突出して高く, 第1副咬頭は主咬頭の1/2に満たないが第2副咬頭との差は僅か。⑦歯は近遠心にはほぼ対称であるが, ⑧主咬頭は遠心に僅かに傾向し, ⑨遠心の副咬頭間は狭く, 近心の副咬頭間は広い。唇側面観で⑩咬頭は強く分岐するが咬頭下部で広く結合している。⑪主咬頭のエナメロイドは尖頭付近では滑らか, ⑫下部に向かいおおよそ9本の明瞭な線条が備わる。⑬各副咬頭は咬頭上部から下部に向かう2~3本の線条と, 歯頭から尖頭に向かう線条が交わり, ⑭咬頭下部付近の線条は網目状に融合する。⑮咬頭下部は緩やかに膨出し, ⑯歯根にオーバーハングする。舌側面観では, ⑰各咬頭は唇側以上に強く分岐するが咬頭基底では結合している。⑱主咬頭上部のエナメロイドには7本の明瞭な線条が備わり, ⑲各副咬頭上部には2~3本の線条が備わるが, ⑳歯頸は明瞭でおおよそ直線。㉑咬頭は舌側に傾き側面からの概形は“ $\angle$ ”形。㉒側面観で切縁は明瞭で5咬頭とも鋭い。㉓歯根は偽多溝段階 (Pseudopolyaulacorhize) で, ㉔明瞭な4つの溝 (Pseudo-furrow) と, ㉕3つのラミナ (Multiple lamina) が発達し歯根のおおよそ1/3まで備わる。㉖歯根の唇側表面はいくつかの小さな孔を備えるがおおよそ滑らか。㉗歯根舌側隆起は線状で, ㉘中央の栄養孔と, ㉙4つの大きな楕円孔 (Elliptical foramina) を備える。㉚歯根底面観では, 遠心端は線形で近心端は丸いのが全体的にはおおよそ楕円で, ㉛表面に大小数多くの孔を備える。

前歯 (Pl. 1, 3~4; MCM-A2457~A2458): 近遠心径2.82~3.46 mm, 歯の最大高2.91~3.04 mm, 唇舌径

1.67~1.82 mm.

記載: MCM-A2458 (pl. 1, 4a~4c): 歯は近心のおおよそ1/4および遠心第1咬頭尖頭を欠く。また, 歯根舌側の近心を欠き, 遠心根基部に破損の修復痕を残す。近遠心保存径2.82 mm, 歯の最大高2.91 mm, 唇舌径1.67 mm. 歯は7咬頭よりなり, 細長く直立する主咬頭と, 4本の近心副咬頭および2本の遠心副咬頭を備える。唇/舌側面観で歯根底縁は中央が全体に湾入しアーチ状をなす。唇側面観では傍接合歯同様⑨~⑫, ⑭~⑰を備え, 主咬頭上部のエナメロイドは滑らかで, 中央付近から基底には9本の明瞭な線条が備わる。各副咬頭には1~2本の線条が備わる。㉑~㉓を備え, 側面観で主咬頭下部は環状に膨らむ。歯根は偽多溝段階で6つの溝と, 5つのラミナを備え, ㉔~㉖を備える。

側歯 (Pl. 1, 5~6, Pl. 2, 1~4; MCM-A2459~A2464): 近遠心保存径4.18~5.49 mm, 歯の最大高1.89~3.98 mm, 唇舌径1.32~1.67 mm.

記載: MCM-A2461 (pl. 2, 1a~1e): 歯は近心端付近および遠心端の踵を欠く以外はほぼ完全。近遠心保存径5.27 mm, 歯の最大高3.02 mm, 唇舌径1.41 mm. 歯は9咬頭よりなり, 細長く直立する主咬頭に, 5本の近心副咬頭および3本の遠心副咬頭を備える。咬頭は主咬頭が突出して高く, 第1副咬頭は主咬頭の1/5にも満たないが第2, 第3副咬頭との差異はそれぞれ僅かしかない。歯根底縁は唇/舌側面観では中央が湾入しアーチ状をなす。唇側面観では傍接合歯同様②, ⑥, ⑧~⑬, ⑮~⑰を備え, 第4~5副咬頭下部の線条は網目状に備わるが不明瞭。舌側面観で主咬頭上部のエナメロイドは滑らかで, 下部1/4にのみにおおよそ9本の明瞭な線条が備わる。歯頸は明瞭で全体にアーチを描く。切縁は9咬頭とも明瞭だがやや鋭さを欠く。歯根は偽多溝段階で, 6つの溝と, 明瞭な3つのラミナ, 不明瞭な2つのラミナを備える。咬合面観で遠心に8個, 近心に4個の直線的に並ぶ楕円孔を備える。また, ㉔, ㉖を備える。

後歯 (Pl. 2, 5a~5d; MCM-A2465)

記載: 歯は割出時に歯根のほぼ全てを欠く。また, 主咬頭の遠心基部付近を破損しその修復痕を残す。近遠心径3.74 mm, 歯冠高0.76 mm, 唇舌径0.63 mmで, 近遠心に長い棒状の歯であるが, 咬合面観で遠心端が方形, 近心端が半円状をなす。歯は11咬頭よりなり, 低く幅広い主咬頭と, 5対の副咬頭を備えるが, 第2~5副咬頭は突起である。全ての咬頭は明瞭な切縁で直線状に繋がり唇舌に分けられる。主咬頭の唇舌両面にそれぞれ5本の線条が, 近心第1副咬頭は唇舌両面の上部におおよそ3本の線条が備わるが, 全面に網目構造の装飾が施される。

比較・検討：歯は5～11の多咬頭からなり、高さより幅がある。主咬頭と2～5対の副咬頭を備えるなど主に白亜紀以前に栄えたヒボドゥス様の歯であるが、歯根はシネコドゥス目パラオサコドゥス科の *Paraorthacodus* 属およびパレオスピナクス科の *Synechodus* 属 (Woodward 1911; Herman 1977; Siverson 1989; Underwood et al. 1999; Klug et al. 2009; Cappetta 2012) の特徴とされる偽多溝段階で複数の溝とラミナを備えることから、ヒボダス類ではなくシネコドゥス目に帰属することは明瞭である。従来、*Paraorthacodus* 属と *Synechodus* 属の識別は困難とされてきたが *Paraorthacodus* 属では各咬頭が分離独立していること、副咬頭が主咬頭から直線的に高さを減じる (Klug et al. 2009) こと、歯冠の唇側面基部が唇側に膨出せず、歯根にオーバーハングしない (Underwood et al. 1999; Cappetta 2012) が、*Synechodus* 属の各咬頭は歯冠唇側下部で広く結合されること、主咬頭が突出して高く、副咬頭は指数関数的に高さが減じる (Klug et al. 2009) こと、歯冠の唇側面基部は膨出し歯根にオーバーハングする (Underwood et al. 1999; Cappetta 2012) 特徴を備える。

鹿島層産種の副咬頭は歯冠唇側下部で広く結合され、主咬頭は突出して高く、副咬頭は主咬頭の1/2未満で指数関数的に高さを減じること、歯冠の唇側面基部は膨出し歯根にオーバーハングすることから *Synechodus* 属に同定される。

白亜系の *Synechodus* 属は16種 (*S. bronnii*, *S. dispar*, *S. dubrisiensis*, *S. filipi*, *S. kessleri*, *S. lerichei*, *S. michaeli*, *S. nitidus*, *S. perssoni*, *S. polyptychus*, *S. subulatus*, *S. tenuis*, ?*S. tuberculatus*, *S. validus*, *S. turneri*, *S. dereki*) が知られる (Cappetta et al. 2019)。

鹿島層産種は歯冠の唇側面下部に特徴的な網目構造の装飾を備える。*S. kessleri*, *S. nitidus*, *S. subulatus*, *S. tenuis*, *S. validus*, *S. dereki* は弱い線条を備える種もあるが一般に滑らか (Reuss, 1846; Chapman 1918; Cappetta et al. 2019; Sokolskyia and Guinot 2021) である。また、*S. bronnii*, *S. dispar*, *S. filipi*, *S. lerichei*, *S. perssoni*, *S. michaeli*, *S. polyptychus*, ?*S. tuberculatus*, *S. turneri* は咬頭尖に向かう平行条線、あるいは皺襞を備えるが網目状にはならない (Herman 1977; Case 1987; Siverson 1989; Siverson et al. 2016) ことから鹿島層産種と異なる。*S. dubrisiensis* は唇側基底付近に本種同様の網目構造を特徴的に備える (Woodward 1888, 1912; Underwood et al. 1999; Siverson et al. 2016)。*S. michaeli* および *S. nitidus* には網目構造が現れる歯もある (Thies 1981; Rees 2005) が後述の様に全ての歯で確認されてはならず、*S. michaeli* および

S. nitidus は *S. dubrisiensis* のジュニアシノニムである (Underwood et al. 1999; Ward 2010; Guinot et al. 2013; Siverson et al. 2016; Mollen and Hovestadt 2018) こと、Woodward (1888; pl. xx, fig. 2a), Underwood et al. (1999; pl. 1, fig. 1-5), Guinot et al. (2013; fig. 3, M-S) の図に似ることから鹿島層産種を *S. dubrisiensis* に同定した。また、歯種について、MCM-A2455～MCM-2456は5咬頭で Woodward (1912; pl. 45, fig. 7b) の図に似ることから傍接合歯に、MCM-A2455は明瞭な網目構造を備え、Siverson et al. (2016) の下顎歯の記述に一致する事から下顎接合歯に同定した。また、MCM-A2457～MCM-A2458は主咬頭が高く遠心への傾きが弱いこと、歯根底縁がアーチを描くこと、Woodward (1886 pl. XX, fig. 2a; 1911 pl. XLV) の記述および図版に似ることから前歯に、MCM-A2459～MCM-A2464の主咬頭は遠心へ強く傾向すること、咬頭数が9で歯根は近遠心に細長く、歯根底縁が唇/舌側面観からアーチを強く描くこと、副咬頭が円錐に近いこと、また、Woodward (1911) の側歯のイラスト (pl. XLVI, fig. 1) や英国 (ブリストル) のブース自然史博物館所蔵 (BSB008523) の *S. dubrisiensis* (セノマニアン階) の完全な歯列の画像 (Smith et al. 2018; fig. 10, A-K) の第4歯 (側歯) に似る事から側歯に同定した。MCM-A2465は全体に棒状の歯で、11咬頭よりなるが全ての咬頭が低く突起状であること、おおよそ全面に網目構造が施され Underwood et al. (1999; pl. 1, fig. 5) に酷似することから後歯に同定した。

5. 考察

5.1. 後期白亜紀の北西太平洋地域後期におけるシネコドゥス属の産出の意義

北海道上部白亜系蝦夷層群鹿島層のサントニアン階から採取した砂岩から、シネコドゥス目に属するサメ歯化石11点が割出された。これらはパレオスピナクス科のシネコドゥス属に帰属する *S. dubrisiensis* で、2点が傍接合歯、2点が前歯、3点の破片を含め6点が側歯、1点が後歯に同定された。北西太平洋地域からシネコドゥス属の一連の歯種が同一産地から発見された報告はなく、本論が初めての産出記録となる。先述のように北西太平洋地域の白亜系から産出するシネコドゥス属化石に関する報告は乏しく、福島県いわき市 (コニアシアン階) から *S. sp.* (渡部ほか 2022)、熊本県の天草上島 (下部サントニアン階) から *S. sp.* (北村 2014) が報告されたに過ぎない (Table 2)。そのため、シネコドゥス属の時空分布において、北西太平洋地域の白亜系の化石記録は空白域だったが、本論で北海道上部白亜系蝦夷層群鹿島層のサントニアン階の

同一産地から、多くのシネコドゥス属化石の産出が明らかになったことで、サントニアン期の北西太平洋域に本属の生息が確認された。本目および本属の分散経路を考察する上で極めて重要である。

5.2. *S. dubrisiensis* の産出年代と古生物地理

今回、北西太平洋地域で *S. dubrisiensis* が初めて発見されたが、これまで本種の生存期間の下限は英国北東部のオーテリビアン階 (Underwood et al. 1999) で、上限は英国 (Mackie 1863; Woodward 1886, 1888, 1911; Herman 1977), ドイツ (Müller and Diedrich 1991), フランス (Biddle 1993) などのセノマニアン階であった。今回、本種が日本のサントニアン階から産出が認められたことから生存期間の上限は本種の空白域であったサントニアン階まで上がることになる。本種は、北海沿岸とアングローパリ盆地のオーテリビアン～セノマニアン階では一般的な種 (Guinot et al. 2013) であるが、他地域では発見されず同地域の特産種 (Underwood et al. 1999) と考えられていた。しかし近年レバノン (Forey et al. 2003), カザフスタン (Kennedy et al. 2008) のセノマニアン階で発見されたことからテチス海域への分散が確認され、今回、北海道上部白亜系蝦夷層群鹿島層のサントニアン階から本種が発見されたことで、本種の地理的分布はさらに北西太平洋地域まで広がっていたことが確認された。北西太平洋地域で本種の生息が初めて確認されたことは、本種の分散経路や絶滅の時期などを議論するうえで重要な化石記録となる。本種の分散経路を明らかにするために、今後他地域での本種の発見が期待される。

5.3. *S. dubrisiensis* の歯種とその形態変化

鹿島層のサントニアン階から今回発見された *S. dubrisiensis* の歯化石は、傍接合歯 2 点、前歯 2 点、破片 3 点を含む側歯 6 点、後歯 1 点に同定されたが、一連の歯種が揃った事例は世界的にも少ない。本種には接合歯がなく、正中から顎骨接合部に向かい傍接合歯、前歯、側歯、後歯を備える。主咬頭は、傍接合歯および前歯では高く直立し、側歯では遠心位になるに従い遠心に傾向し高さを減少させ、後歯では低く突起

状をなす。咬頭数は傍接合歯が 5 咬頭で、前歯 7、側歯 9、後歯 11 と順次増加する。最大高と唇舌径の比 (H/T) は傍接合歯 (≈ 1.5)、前歯 (≈ 1.7)、側歯 (≈ 2.3)、後歯 (≈ 2.33) と増加の傾向がみられる。また、歯根底は傍接合歯が平坦、前歯は舌側面観でアーチ状、側歯は近心が細く伸びて唇側面観で“へ”字状となる。

量的な問題から個体変異までの検討はできなかったが、今後標本が蓄積されていくことで、これらの変移は数値的に明瞭化され、最大高と唇舌径の比 (H/T)、最大高と近遠心径の比 (H/W)、唇舌径と近遠心径の比 (T/W) から、産出した標本が遊離歯であっても本種における歯列上の位置を特定できる事が期待される (Table 3)。

5.4. *S. dubrisiensis* と本属他種との類縁関係

板鯨類の歯は基本的に同形歯性でありながら、さまざまな程度の異形歯性化が見られ、歯の大きさと形態は歯列上の位置によって変化する (金子・後藤 2008)。Synechodus 属は基本的に単型異形歯性であるが、接合部付近で上下顎異形歯性または性的異形歯性が発生する (Siverson 1989; Woodward 1912) 可能性が示唆されている。また、Synechodus 属歯化石の歯冠表面に備わる線条の有無や形状は種の識別において議論の対象となり、特に唇側基底付近の線条は重要で、先述のとおり *S. dubrisiensis* の識別においては網目状の線条が決定的な標徴の 1 つとなる。鹿島層産の傍接合歯の 1 本 MCM-A2456 では網目状の線条が確認されず、アングローパリ盆地などで *S. dubrisiensis* と共産する唇側表面の滑らかな *S. tenuis* あるいは *S. nitidus* の特徴を備えることから、その可能性を示唆したが、① *S. tenuis* は図解不十分な 1 本の不完全なホロタイプ (Woodward 1889) に基づいて設立されており、徹底したレビューがないことから疑問名 (Nomen dubium) である (Siverson et al. 2016) 可能性が高いこと、② *S. tenuis* および *S. nitidus* は *S. dubrisiensis* と共産 (例えば、Biddle 1993; Underwood and Mitchell 1999) する報告が多く、*S. dubrisiensis* の産出が常に多数であることから *S. tenuis* および *S. nitidus* が *S. dubrisiensis* の成熟したメスの可能性があ

Table 3. Tooth type and their morphological changes of *Synechodus dubrisiensis* from the Upper Cretaceous Kashima Formation (Santonian) of Hokkaido.

Tooth type	Cusps	Width(mm)	Height(mm)	Thickness(mm)	(H/W)	(T/W)	(H/T)
Parasymphysial tooth	5	2.09~2.19	1.71~1.86	1.20~1.23	0.78~0.89	0.54~0.59	1.43~1.51
Anterior tooth	7	2.82~3.46	2.91~3.04	1.67~1.82	0.89~1.03	0.52~0.59	1.67~1.74
Lateral tooth	9	4.18~5.49	3.02~3.98	1.32~1.67	0.57 ↓	0.27 ↓	2.14~2.38
Posterior tooth	11	3.74	(0.76 ↑)	0.63	(0.20 ↑)	0.17	(1.21 ↑)

り (Guinot et al. 2013), それらの歯にはほとんど違いがないことが知られていること (例えば, Dalinkevicius 1935), ④ Ward (2010) および Mollen and Hovestadt (2018) は①～③を背景として *S. dubrisiensis* は *S. tenuis* と *S. nitidus* のシニアシノニムであるとしていることなどから本論は, 最終的に④を支持し MCM-A2456を *S. dubrisiensis* とした. ただし, 鹿島層のサントニアン階から複数種が産出することを否定するものではない.

6. まとめ

北海道上部白亜系蝦夷群鹿島層のサントニアン階からシネコドゥス目に属するサメ歯化石11点を剖出した. これらはパレオスピナクス科のシネコドゥス属に帰属する *S. dubrisiensis* で, 2点が傍接合歯, 2点が前歯, 破片3点を含め6点が側歯, 1点が後歯に同定された. 白亜系の単一層から, 本属あるいは本種の傍接合歯, 前歯, 側歯, および後歯の歯種が揃って報告された事例は世界的にも少なく, 本属の類縁関係, 種の同定あるいは歯種の識別に重要な情報を提供するものと期待される. 本種は, 英国, フランス, ドイツ, レバノン, カザフスタンのオーテリビアン階～セノマニアン階でしか発見されていなかった. 今回の北海道上部白亜系蝦夷群鹿島層のサントニアン階からの発見は, 後期白亜紀のシネコドゥス属および *S. dubrisiensis* の分散経路, 種の絶滅に至る過程あるいは絶滅時期を議論する上で重要な基礎データとなるものであると共に, シネコドゥス目全体の進化史の解明に極めて有用な情報を提供する. 今後, 様々な地層の蟻酸処理を行うことで, これまで知られていなかった微小な板鰐類化石を剖出することにつながり, 後期白亜紀の北西太平洋地域における板鰐類化石群の知見が蓄積していくものと期待される.

7. 謝辞

本報告をまとめるにあたり, 鶴見大学名誉教授の後藤仁敏博士には氏の著書と貴重な御意見を戴いた. 大阪市立自然史博物館外来研究員の谷本正浩氏ならびに小田原市在住の田中 猛氏には文献の入手に御協力戴いた. 四条畷市在住の藤本艶彦氏には標本の収集に, 川越市在住の木下了彦氏には標本撮影に御協力戴いた. 化石研究会会誌編集委員長の小幡喜一氏には産地図作成に御協力戴いた. 三笠市立博物館の加納学館長には産地の地質環境について御教授戴いた. また, 群馬県立自然史博物館の高栴祐司博士ならび匿名の査読者には御指導と多くの御指摘を戴き, 本稿は大きく改善された. 以上の方々に深謝申し上げます.

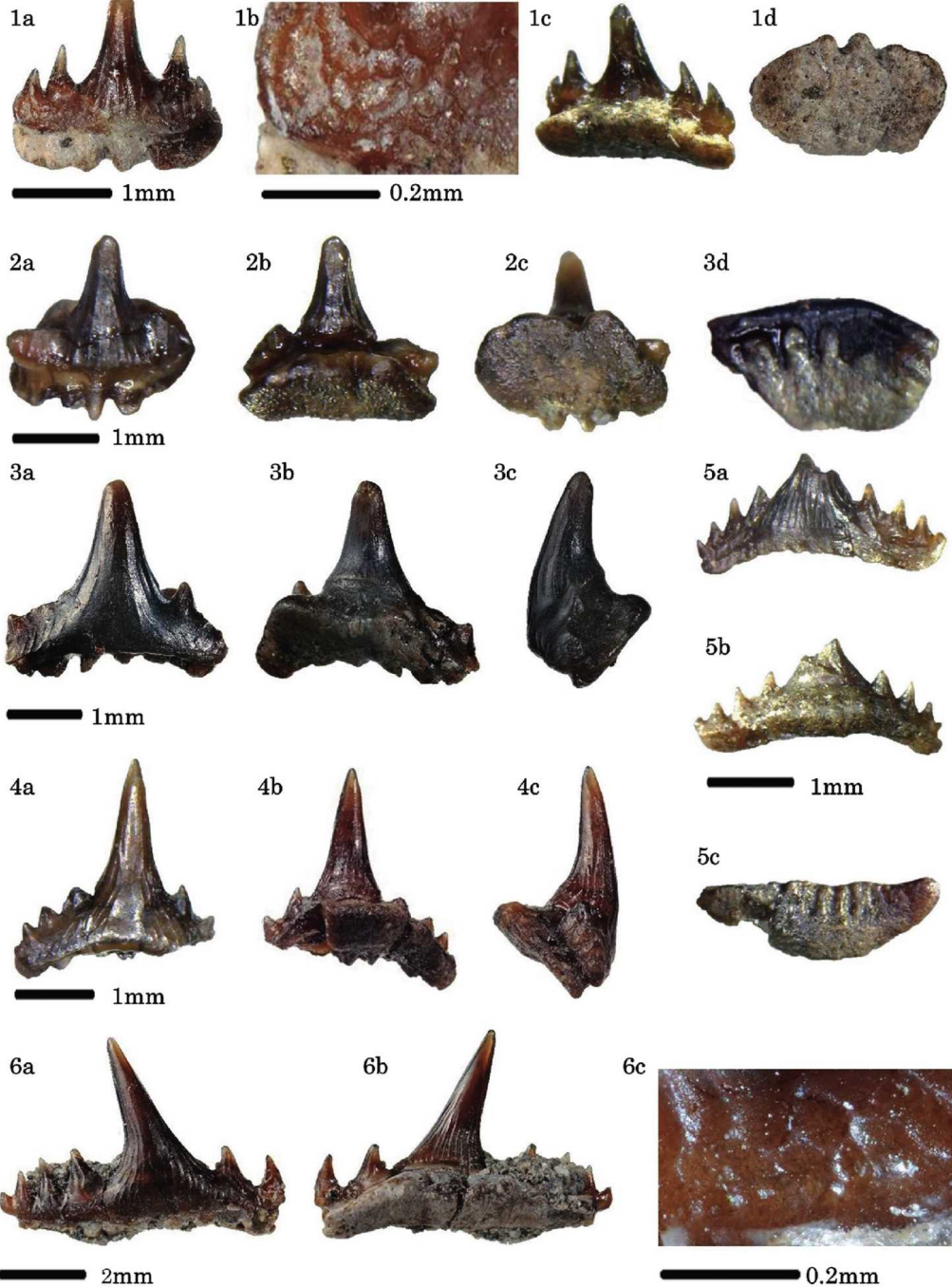
8. 引用文献

- Biddle JP (1993) Quelques élasmodontes du Domérien (Jurassique Inférieur) de la région de Mans (Sarthe, France). *Cossmanniana*, Hors-série 2, 61-66
- Böttcher R, Duffin CJ (2000) The neoselachian shark *Sphenodus* from the Late Kimmeridgian (Late Jurassic) of Nusplingen and Egasheim (Baden-Württemberg, Germany). *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde B (Geologie und Paläontologie)* 283, 1-31
- Callahan WR, Schein JP, Parris DC (2014) First record of the Synechodontiform shark *Sphenodus* (Neoselachii, Orthacodontidae) from the Danian of eastern North America. *The Journal of the Delaware Valley Paleontological Society* VIII 69-80
- Cappetta H (2012) Chondrichthyes. Mesozoic and Cenozoic Elasmobranchii: teeth; In H.-P. Schultze (ed.), *Handbook of Paleichthyology*, 3E. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, Munich, 512p
- Cappetta H, Morrison K, Adnet S (2019) A shark fauna from the Campanian of Hornby Island, British Columbia, Canada: an insight into the diversity of Cretaceous deep-water assemblages. *Historical Biology* 33, 1-62
- Case GR (1978) A new selachian fauna from the Judith River Formation (Campanian) of Montana. *Palaeontographica A* 160, 176-205
- Case GR (1987) A new selachian fauna from the Late Campanian of Wyoming (Teapot Sandstone Member, Mesaverde Formation, Big Horn Basin). *Palaeontographica A* 197 (1-3), 1-37
- Chabakov AW, Zonov N (1935) Sharks of the Jurassic of the Moscow Basin. *Transactions of the Central Geological and Prospecting Institute* 34, 1-16
- Chapman F (1918) Descriptions and revisions of the Cretaceous and Tertiary fish-remains of New-Zealand. New Zealand Department of mines, Geological Survey Branch, *Palaeontological Bulletin* 7, 1-45
- Dalinkevicius JA (1935) On the fossil fishes of the Lithuanian Chalk. I. Selachii. *Mémoires de la Faculté des Sciences de l'Université de Vytautas le Grand* 9, 243-305
- Forey PL, Yi L, Patterson C, Davies CE (2003) Fossil fishes from the Cenomanian (Upper Cretaceous) of Namoura, Lebanon. *Journal of Systematic Palaeontology* 1(4), 227-330
- 後藤仁敏 (2006) 歯の計測と写生. 簡明 歯の解剖学 (補訂), 三好作一郎編著, 医歯薬出版, 131-138
- 後藤仁敏・田中 猛・金子正彦・鈴木秀史・高栴祐司・サメの歯化石研究会 (2020) サメの歯化石の調

- べ方. 地団研ハンドブックシリーズ 27, 96p
- Guinot G, Underwood CJ, Cappetta H, Ward DJ (2013) Sharks (Elasmobranchii: Euselachii) from the Late Cretaceous of France and the UK, *Journal of Systematic Palaeontology* 11(6), 589-671
- Herman J (1977) Les Sélaciens des terrains néocrétacés et paléocènes de Belgique et des contrées limitrophes. *Eléments d'une biostratigraphie intercontinentale. Mémoires pour servir à l'explication des Cartes géologiques et minières de la Belgique* 15, 401p
- 本山 功・藤原 治・海保邦夫・室田 隆 (1991) 北海道大夕張地域の白亜系の層序と石灰質微化石年代. *地質学雑誌* 97, 507-527
- Ivanov AO (2005) Early Permian chondrichthyans of the Middle and South Urals. *Revista Brasileira de Paleontologia* 8(2), 127-138
- Jaselli L, Duffin CJ (2021) New data on the Early Jurassic biodiversity of the Lombardy Basin (Southern Alps, Italy) and the earliest record of *Sphenodus* (Chondrichthyes, Neoselachii). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 127(1), 163-177
- 金子正彦・藤本艶彦 (2022) 北海道上部白亜系蝦夷層群鹿島層のサントニアン階から産出したネコザメ目の歯化石について. *化石研究会会誌* 54, 21-30
- 金子正彦・藤本艶彦・加納 学 (2012) 北海道上部白亜系蝦夷層群 (サントニアン階) から産出した, 北太平洋地域で初産出となるキクザメ目サメ類 *Echinorhinus* 属の歯化石について. *三笠市立博物館紀要* 16, 1-8
- 金子正彦・藤本艶彦・加納 学 (2015) 北海道上部白亜系蝦夷層群 (サントニアン階) から産出した北西太平洋地域で初産出となるメジロザメ目サメ類の歯化石について. *三笠市立博物館紀要* 18, 27-49
- 金子正彦・藤本艶彦・加納 学 (2019) 北海道上部白亜系蝦夷層群 (サントニアン階) から産出したネズミザメ目サメ類の歯化石について. *三笠市立博物館紀要* 22, 1-43
- 金子正彦・後藤仁敏 (2008) 板鰐類にみられる歯の異常について. *月刊海洋* 40 (7), 416-425
- Kanno S, Nakajima Y, Hikida Y, Sato T (2017) *Sphenodus* (Chondrichthyes, Neoselachii) from the Upper Cretaceous in Nakagawa Town, Hokkaido, Japan. *Paleontological Research* 21, 122-130
- Kanno S, Tokumaru S, Nakagaki S, Nakajima Y, Misaki A, Hikida Y, Sato T (2022) Santonian-Campanian neoselachian faunas of the Upper Cretaceous Yezo Group in Nakagawa Town, Hokkaido, Japan. *Cretaceous Research* 133, 1-14
- Kennedy WJ, King C, Ward DJ (2008) The upper Albian and lower Cenomanian succession at Kolbay, eastern Mangyshlak (southwest Kazakhstan). *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Science de la Terre* 78, 117-147
- 北村直司 (2014) 上部白亜系姫浦層群のサメ類 (軟骨魚類) 化石の古生態学的研究. 博士論文, 熊本大学, 146p
- Klug S (2010) Monophyly, phylogeny and systematic position of the Synechodontiformes (Chondrichthyes, Neoselachii). *Zoologica Scripta* 39(1), 37-49
- Klug S, Kriwet J, Böttcher R, Schweigert G, Dietl G (2009) Skeletal anatomy of the extinct shark *Paraorthacodus jurensis* (Chondrichthyes; Palaeospinacidae), with comments on synechodontiform and palaeospinacid monophyly. *The Linnean Society of London, Zoological Journal of the Linnean Society* 157, 107-134
- Mackie SJ (1863) On a new species of *Hybodus* from the lower chalk. *Geologist* 6, 332-347
- Mollen FH, Hovestadt DC (2018) A new partial skeleton of a palaeospinacid shark (Neoselachii, Synechodontiformes) from the Albian of northern France, with a review of the taxonomic history of Early Cretaceous species of *Synechodus* Woodward, 1888. *Geodiversitas* 40(25), 557-574
- Müller A, Diedrich CG (1991) Selachier (Pisces, Chondrichthyes) aus dem Cenomanium von Ascheloh am Teutoburger Wald (Nordrhein-Westfalen, NW-Deutschland). *Geologie und Paläontologie in Westfalen* 20, 3-105
- 大八木和久 (2000) 日本の化石800選, 築地書館, 298p
- Rees J (2005) Neoselachian shark and ray teeth from the Valanginian, Lower Cretaceous, of Wawal, central Poland. *Palaeontology* 48(2), 209-221
- Reuss AE (1846) Die Versteinerungen der böhmischen Kreideformation mit Abbildungen der neuen oder weniger bekannten Arten. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart (Schweizerbart), 148p+ 51pl
- Rogovich AS (1861) On fossil fishes of provinces of the Kiev Academic District. First issue. Placoid fishes. Placoides Ag. and Ganoid fishes. Ganoidei Ag. (in Russian). *Natural History of the Provinces of the Kiev Academic District. Paleontology. Systematic part.* Kiev 87p+9pl
- Siverson M (1989) Palaeospinacid selachians from the

- Late Cretaceous of the Kristianstad Basin, Skåne, Sweden. Dissertations in Geology at Lund University 30, 1-24
- Siverson M, Cook TD, Cederström P, Ryan HE (2016) Early Campanian (Late Cretaceous) squatiniform and synchodontiform selachians from the Åsen locality, Kristianstad Basin, Sweden. Geological Society, London, Special Publications 434, 251-275
- Smith M, Underwood MC, Clark B, Kriwet J, Johanson Z (2018) Development and evolution of tooth renewal in neoselachian sharks as a model for transformation in chondrichthyan dentitions. Journal of Anatomy 232, 891-907
- Sokolskyia T, Guinot G (2021) Elasmobranch (Chondrichthyes) assemblages from the Albian (Lower Cretaceous) of Ukraine. Cretaceous Research 117, 104603, DOI:10.1016/j.cretres.2020.104603
- Solonin SV, Koroy VV, Portnyagin DV (2023) Fossil sharks from Albian and Cenomanian deposits of the Kursk Oblast (Russia). И н н о в а ц и о н н ы е н а у ч н ы е и с с л е д о в а н и я 6-1(30), C57-76
- 高嶋礼詩・佐野晋一・林 圭一 (2018) 蝦夷層群下部～中部に記録された白亜紀中頃の温暖化と古環境変動. 地質学雑誌 124, 381-398
- Takashima R, Kawabe F, Nishi H, Moriya K, Wani R, Ando H (2004) Geology and stratigraphy of forearc basin sediments in Hokkaido, Japan: Cretaceous environmental events on the north-west pacific margin. Cretaceous Research 25, 365-390
- Thies D (1981) Vier neue Neoselachier-Haiarten aus der NW-deutschen Unterkreide. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte 1981(8), 475-486
- Tomita T, Kurihara K (2011) First record of a large Lamniform shark *Cretodus semiplicatus* in the Pacific region, from the Mikasa Formation (Lower Cenomanian), Hokkaido, Japan. Paleontological Research 15, 181-184
- 利光誠一・松本達郎・野田雅之・西田民雄・米谷盛寿郎 (1995) 本邦上部白亜系の大型化石 微化石層序および古地磁気層序の統合に向けて. 地質学雑誌 101, 19-29
- 渡部世利英・歌川史哲・高桑祐司・上松佐知子 (2022) 福島県いわき市の上部白亜系双葉層群足沢層より産出した 軟骨魚類化石群集. 日本古生物学会第171回例会・講演予稿集, 11
- Underwood CJ, Mitchell SF, Veltkamp CJ (1999) Shark and Ray teeth from the Hauterivian (Lower Cretaceous) of North-East England. Palaeontology 42(2), 287-302
- Ward DJ (2010) Sharks and rays. In Field Guide to Fossils Number 12, Fossils of the Gault Clay, (Editor; Young JR, Gale AS, Knight RI, Dr Andrew, Smith B), 275-299
- Woodward AS (1886) On the relationships of the mandibular and hyoid arches in a Cretaceous shark (*Hybodus dubrisiensis*, Mackie). Proceedings of the Zoological Society of London, 218-224
- Woodward AS (1888) On the Cretaceous selachian genus *Synechodus*. Geological Magazine, decade 3 (5), 496-499
- Woodward AS (1889) Palaeichthyological notes-3. On a Symmetrical Hybodont Tooth from the Oxford Clay of Peterborough. Annals and Magazine of Natural History 6(3), 300p
- Woodward AS (1902-1912) The Fossil Fishes of the English Chalk. Monograph of the Palaeontographical Society London, 264p
- 矢部英生・後藤仁敏 (1999) 板鰐類の歯に関する用語. 化石研究会会誌 32, 14-20
- Yabe H, Obata T (1930) On some fossil fishes from the Cretaceous of Japan. Japanese Journal of Geology and Geography 3, 1-7
- Yamagishi H (2004) Elasmobranch remains from the Taho Limestone (Lower-Middle Triassic) of Ehime Prefecture, Southwest Japan. In Arratia G, Tintori A (Eds.), Mesozoic Fishes 3-Systematics, Paleoenvironments and Biodiversity. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 565-574

Plate 1



Explanation of Plate 1

The fossil teeth of synechodontiform shark, *Synechodus dubrisiensis* from the Upper Cretaceous Kashima Formation (Santonian) of Hokkaido.

1 : Parasymphysial tooth (MCM-A2455) . a : labial view, b : close-up image of the labial basal portion, c : lingual view, and d : basal view.

2 : Parasymphysial tooth (MCM-A2456) . a : labial view, b : lingual view, and c : basal view.

3 : Anterior tooth (MCM-A2457) . a : labial view, b : lingual view, and c : lateral view.

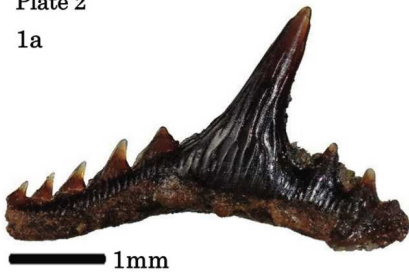
4 : Anterior tooth (MCM-A2458) . a : labial view, b : lingual view, and c : lateral view.

5 : Lateral tooth (MCM-A2459) . a : labial view, and b : lingual view.

6 : Lateral tooth (MCM-A2460) . a : labial view, b : lingual view, and c : close-up image of the labial basal portion.

Plate 2

1a



1b



1c



1d



1e



2a



2b



2c



5a



5b



5c



3a



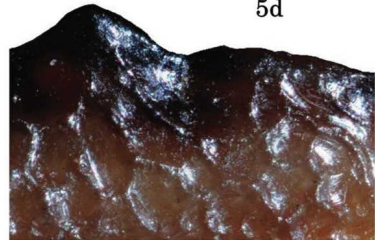
4a



1mm

1mm

5d



0.2mm

Explanation of Plate 2

The fossil teeth of synechodontiform shark, *Synechodus dubrisiensis* from the Upper Cretaceous Kashima Formation (Santonian) of Hokkaido.

1 : Lateral tooth (MCM-A2461). a : labial view, b : lingual view, c : basal view, d : occlusal view, and e : basal view.

2 : part of tooth, lateral cusps of Lateral tooth (MCM-A2462). a : labial view, b : lingual view, and c : close-up image of the labial basal portion.

3 : part of tooth, main cusp of Lateral tooth (MCM-A2463). a : lateral view.

4 : part of tooth, lateral cusp of Lateral tooth (MCM-A2464). a : lateral view.

5 : Posterior tooth (MCM-A2465). a : labial view, b : lingual view, c : occlusal view, and d : close-up image of the labial basal portion.