

宮城県仙台市に分布する竜の口層（上部中新統—下部鮮新統）から産出した板鰐類化石群集

仲井大智

名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻

The elasmobranch fossil fauna from the Tatsunokuchi Formation (upper Miocene–lower Pliocene) at Sendai City, Miyagi Prefecture, Japan

Daichi Nakai

Department of Earth and Environmental Sciences, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Abstract: The Tatsunokuchi Formation of Sendai Group (Neogene) of northeastern Japan is considered to have been deposited in the past bay opened to the Pacific ocean, which is called the "Tatsunokuchi bay". The molluscan fauna of the Tatsunokuchi Formation indicates that a colder paleoclimate than present ocean along the northeastern Japan. Whereas, the terrestrial flora of the formation represents the temperate climate. This study challenges this contradiction by analyzing the elasmobranch fauna of the "Tatsunokuchi bay" comparing with the other biota reported in previous studies. 51 elasmobranch specimens from the Tatsunokuchi Formation, representing 12 species of 8 genera, 8 families were identified, including the first Neogene fossil record of *Carcharinus leucas*, which mainly habit in the tropical environment. The elasmobranch fauna of the "Tatsunokuchi bay" was dominated by the species dwelling in both seashore and offshore, and was composed of the taxa of both cold and tropical assemblages. The composition of fossil fauna differs from the recent fauna in northeastern Japan, but resembles that of the Dai-nichi Formation, Shizuoka, middle of Japan, which represents the relatively warm environment in Pleistocene. Considering the diatom-derived sea surface temperatures in northeastern Japan and the paleoclimate of the world in the Pliocene, the elasmobranch fauna and terrestrial flora of the "Tatsunokuchi bay" represents that the pelagic environment was basically cold, though the warm current may have flowed into the bay for the survived of the cold water assemblage.

はじめに

宮城県仙台市青葉区などに分布する新第三系仙台層群は、後期中新世～前期鮮新世における東北日本の太平洋沿岸を代表する地層群として知られている（鎮西，1963）。本層群を構成する4つの層の一つである竜の口層は、後期中新世後期から前期鮮新世にかけて東北日本に存在した，“竜の口の海（Tatsunokuchi Bay）”で堆積したものである。この“竜の口の海”は、福島県原町（現南相馬市）から岩手県北上市にかけて分布し（久保ほか，1990；大石ほか，1996），南方向に開き，且つ南北方向に延びた内湾であったとされ

ている（Chinzei and Iwasaki, 1967；柳沢，1990；小笠原，1998）。

竜の口層からは竜の口動物群（Tatsunokuchi Fauna）と呼ばれる，寒流の影響を受けた浅海性貝類化石群集が産出する（Nomura, 1938）。そのため，竜の口の海は強い寒流に晒され，現在の東北日本沿岸より寒冷な海洋環境であったと考えられている（藤原ほか，2013）。しかしながら，竜の口層上部からは，“竜の口の海”内湾の陸域が温暖であったことを示す陸生植物化石相（仙台植物群）が産出しており，貝類化石群集から推定される海洋環境との不一致がみられる（鈴木，1987；竹内・吉田，2012）。一方，柳沢（1990）

では、竜の口層からは全体に寒流系珪藻化石種が多産するものの、一部層準から暖流系珪藻化石種がわずかに産出することから、“竜の口の海”が寒流に卓越しつつも、わずかに暖流の影響がみられる混合水域の環境であるとしているが、生物相に与える暖流の影響の程度は珪藻化石の寒流系と暖流系の種の産出比からの推定のみで行われている。また、暖流の存在が大型動物相へ与える影響については議論されていない。

竜の口層からは海生脊椎動物化石も産出し、これまで、クジラ類 (Oishi and Hasegawa, 1995; 石丸, 2002; 才田ほか, 2011)、鰐脚類 (猪苗代, 1987)、及びウミガメ類 (みちのく古生物研究会, 2002) が報告されている。いずれも、現在の東北沿岸域や、より高緯度の海域にも生息できる分類群である。一方、板鰐類化石は、Hatai *et al.* (1965), Hatai *et al.* (1974), 佐藤ほか (2000), みちのく古生物研究会 (2002) の報告があるが、みちのく古生物研究会 (2002) では、詳細な記載、及び同定がされていない。また、国内の板鰐類化石の研究について、後藤 (1972) で総括されているが、鮮新世では竜の口層を含めて大型板鰐類化石 (アオザメ属 *Isurus*, ホホジロザメ属 *Carcharodon* [*C. megalodon* を含む]) の記載がほとんどを占めており、中～小型の板鰐類化石の報告例は乏しい。

板鰐類の多くは変温動物であり、恒温動物の鯨類や鰐脚類よりも生息可能水温が限られていることが期待される。板鰐類の多くは温暖な海洋環境を好むが、気候の温暖化に伴って、低緯度帯に生息する種がより高緯度へ生息分布を拡大する (Dambach and Rödder, 2011)。あるいは、暖流が強くなると熱帯域に生息する種が北上する (Gadig *et al.*, 2006)。これより、板鰐類化石群集の種構成は、温暖な海洋環境、または暖流の影響の定性的な指標となり得ることから、板鰐類化石群集を用いて古環境復元を試みた研究も近年進められている (例えば、横山ほか, 2001; 川瀬・西松, 2016)。

本研究では、竜の口層から新たに確認された板鰐類化石を記載すると共に、“竜の口の海”の古環境について、先行研究に板鰐類化石群集の視点を加えて考察する。

地質概説及び産出地

仙台層群は、下位から亀岡層 (上部中新統)、竜の口層 (最上部中新統一下部鮮新統)、向山層 (下部鮮新統)、及び大年寺層 (上部鮮新統) で構成されている (北村ほか, 1986)。陸成層の亀岡層と上位の海進して堆積した竜の口層は、整合による境界を示す (中村・天野, 1994)。一方、竜の口層と上位の向山層は不整合によって明確な境界を示す (北村ほか, 1986)。

竜の口層は、模式地である竜の口溪谷、及び広瀬川に沿ってよく露出しており、主に砂岩、シルト質凝灰岩、及び凝灰質砂岩から成る。年代決定に重要な微化石として、珪藻

化石によって化石層序が確立されており、竜の口層下部に中新世—鮮新世境界を示す準化石 *Thalassiosira temperei* (5.4 Ma; Yanagisawa and Akiba, 1998) の終産出層準が存在する (柳沢, 1990)。また、岩手県南部に堆積した竜の口層では、フィッション・トラック年代法により、竜の口層上部に挟在する灰白色細粒凝灰岩から、 5.3 ± 0.4 Ma の放射年代が得られている (大石ほか, 2012)。したがって、竜の口層は最上部中新統一下部鮮新統である。

本研究では、宮城県仙台市青葉区川内瀬橋下を流れる広瀬川右岸の露頭から標本を採集した (図 1)。広瀬川沿いの露頭では、9 つの貝化石層が確認され (地学団体研究会仙台支部, 1980; 柳沢, 1990), *Fortipecten takahashii* (イタヤガイ科 Pectinidae), *Anadara tatunokutiensis* (フネガイ科 Arcidae) などの二枚貝を含む竜の口動物群が産出した。また、貝化石層が挟在する凝灰質砂岩から、材化石、硬骨魚類の椎骨、及び鳥類骨格の化石がみられた。なお、本セクションは、外洋寒流系珪藻化石が優占的で、下位で暖流系珪藻化石がわずかに産出する (柳沢, 1990)。板鰐類化石はいずれも、竜の口層最上位から数えて 8 番目の貝化石層 (X8: 地学団体研究会仙台支部, 1980) 直上の凝灰質砂岩層から産出した (図 1: $38^{\circ} 15'N$, $140^{\circ} 51'E$)。板鰐類化石が産出した層準は、*Thalassiosira temperei* の終産出層準 (柳沢, 1990) より上位であり、前期鮮新世に堆積したものと推定される。また、他の層準では板鰐類化石は確認できなかった。

板鰐類化石の記載

本研究では採集した 49 標本、ならびに横山純一氏 (仙台市在住) から寄贈されたカスザメ属 *Squatina* の歯化石 2 標本の合計 51 標本を、8 科 8 属 12 種に分類・同定した (表 1)。採集した 49 標本のほとんどが歯化石で、ごく稀に鰐杷、楯鱗、尾棘も産出した。

板鰐類の歯の用語については、矢部・後藤 (1999) に基づいて記載する。計測可能な歯化石については、歯根の幅、歯冠頂部から歯根底面までの高さ、最大保存厚についてノギスを用いて計測した (表 2)。メジロザメ属 *Carcharhinus* の同定は Voigt and Weber (2011) を参考にし、他の分類群は既往研究に記載された標本を参考に同定した。また、現生種に同定されたものについては、その種の生態や生息域について Ebert *et al.* (2013) を参照した。なお、記載した標本は、東北大学総合学術博物館 (Institute of Geology and Paleontology, Faculty of Science, Tohoku University, Sendai: IGPS) に収蔵されている。

歯

Class: Carcharhiniformes メジロザメ目
Family: Carcharhinidae メジロザメ科
Genus: *Carcharhinus* メジロザメ属

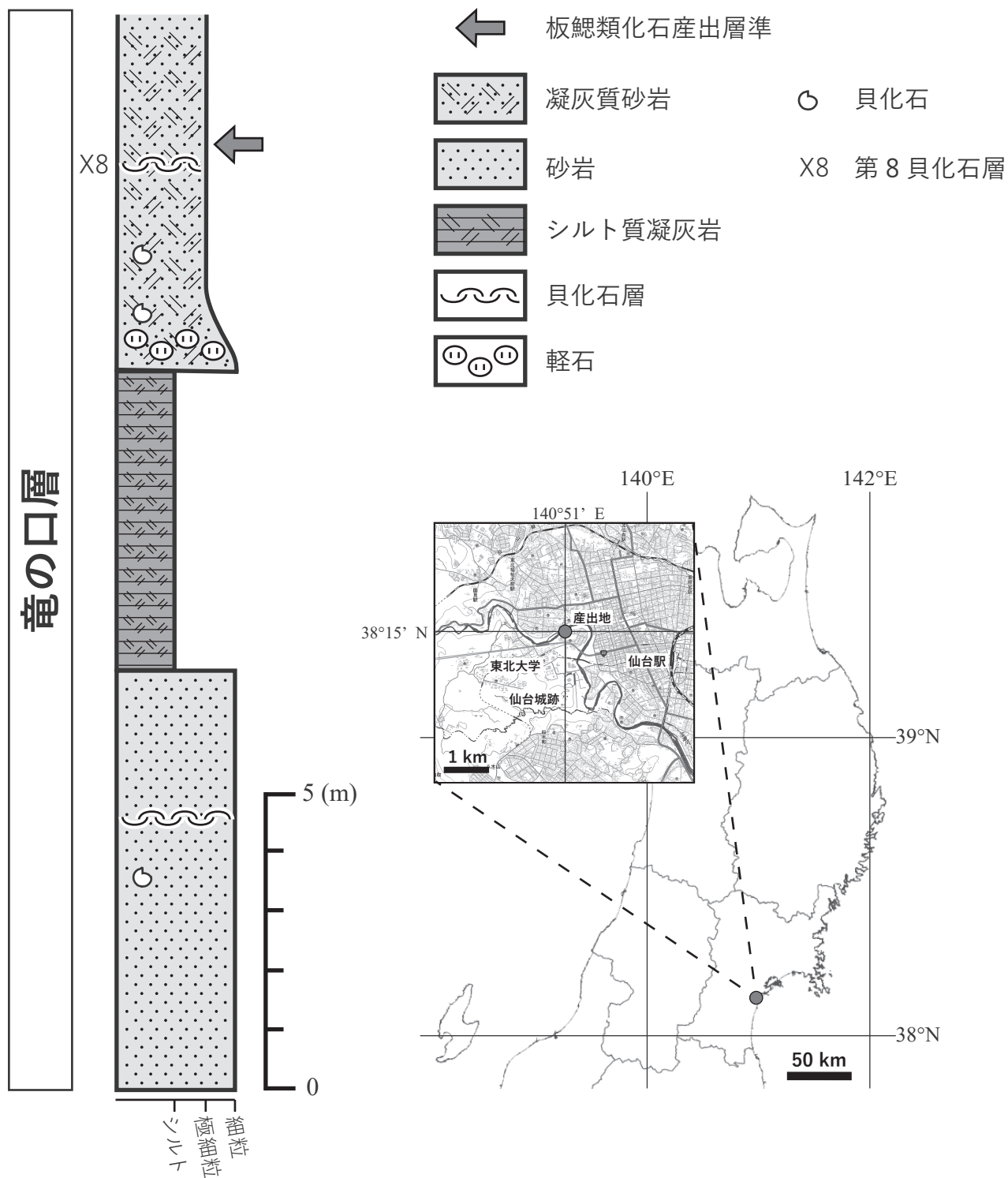


図 1: 仙台層群竜の口層広瀬川右岸の柱状図. X8 は地学団体研究会仙台支部 (1980) に記された上部から数えて 8 番目の貝化石層に相当する. 地図は国土地理院発行・20 万分の 1 地形図「仙台」を使用.

表 1：本研究における竜の口層の板鰐類化石の産出数.

歯化石	47
<i>Carcharhinus leucas</i>	4
<i>Carcharhinus longimanus</i>	2
<i>Carcharhinus</i> sp. A	3
<i>Carcharhinus</i> sp. B	1
<i>Carcharhinus</i> spp.	5
<i>Sphyrna zygaena</i>	3
<i>Carcharodon carcharias</i>	1
<i>Squalus</i> sp. A	3
<i>Squalus</i> sp. B	1
<i>Squatina</i> sp.	2
<i>Dasyatis akajei</i>	5
<i>Myliobatis sendaicus</i>	17
楯鱗	2
Dasyatidae gen. et. sp. indet.	2
鰐杷	1
<i>Cetorhinus</i> sp.	1
尾棘	1
<i>Myliobatis</i> sp.	1
合計	51

Carcharhinus leucas Müller & Henle, 1839

オオメジロザメ

標本番号：IGPS112334-112336

(図 2. 2-4)

記載：上顎歯である。唇側面では平坦で、舌側面ではわずかに膨隆する。歯根は歯冠の高さに対して幅広く、中央で湾曲し、末端で平坦になる。歯冠は遠心側へ傾く。遠心縁は基底から 1/3-1/2 で凹となる。近心縁は中間から基底にかけてわずかに凸となる。また、両縁の鋸歯は、基底部ではわずかに粗く、先端部にかけて漸移的に細くなる。本標本は現生種より約 1.5-2 倍大きい (Voigt and Weber, 2011)。メジロザメ *Cn. plumbeus* (以降、メジロザメ属 *Carcharhinus* を必要に応じて *Cn.* と省略する) は歯根の湾曲が強く V 字型となる。また、ヨゴレ *Cn. longimanus* は歯冠が歯根に対して垂直に立ち、幅と高さが 1:1 になるため、本種と区別される。

Carcharhinus cf. *longimanus* Poey, 1861

ヨゴレ比較種

標本番号：IGPS112338, 112339

(図 2. 5, 6)

記載：上顎歯である。唇側面では平坦で、舌側面ではわずかに膨隆する。歯根はわずかに湾曲しており、両端が狭い。歯冠は歯根に対してほぼ垂直に立ち、歯根が短い二等辺三角形をしていることから、前歯であると推測される。遠心縁は弱い凹、近心縁は真っ直ぐである。また両縁とも鋸歯が歯根側では粗く、先端にかけて漸移的に細くなる。本標本と類似するオオメジロザメ *Cn. leucas* は歯根が幅広く、クロトガリザメ *Cn. falciformis* は切痕が存在するため、本種と区別される。

Carcharhinus sp. A

標本番号：IGPS112340-112342

(図 2. 7-9)

記載：上顎歯である。唇側面では平坦で、舌側面ではわずかに膨隆する。歯根は平坦か、わずかに湾曲する。歯冠は遠心側へ傾く。遠心縁 1/2 あたりで明確な切痕が存在し、V 字状に凹になる。近心縁はわずかに凸であり、弱い切痕が歯根から 1/3 にある。また、どちらも歯冠の鋸歯は切痕から歯根側では粗く、歯冠側では細かい。本標本はクロトガリザメ *Cn. falciformis* の上顎の側歯及び後歯に似るが、*Cn. falciformis* は歯根の中央部が強く湾曲するため、本標本と区別される。

Carcharhinus sp. B

標本番号：IGPS112343

(図 2. 13)

記載：上顎歯である。唇側面では平坦で、舌側面ではわずかに膨隆する。歯根は V 字状に凹となる。歯冠は遠心側へ傾く。遠心縁は基底から 1/3-1/2 で凹となり、近心縁は 1/2 で強く凸となる。鋸歯は歯根側ではやや粗く、先端部にかけて漸移的に細くなる。本標本はドタバカ *Cn. obscurus* と歯冠部が似るが、歯根が V 字状に凹まないため、本標本と区別される。また、歯冠の遠心縁に V 字型の切痕が存在しないこと、近心縁が凸になる点で *Cn. sp. A* と区別される。

Carcharhinus spp.

標本番号：IGPS112344-112348

(図 2. 10-12)

記載：いずれも下顎歯であるが、メジロザメ属の下顎歯の形態は多くの種で類似しているため、同定が困難である。唇側面ではわずかに膨張し、舌側面では唇側面よりも強く膨隆する。歯根は中央で弱い凹となる。歯冠は左右対称で、近心・遠心縁の両端から 1/3 では、切縁は歯根に沿うように低いものに対して、中央では切縁の長い二等辺三角形を呈している。両縁とも均一で細かい鋸歯が存在する。

表 2：産出した板鰐類歯化石の計測値.

分類群	標本番号	図番号	幅(mm)	高さ(mm)	厚さ(mm)	備考
<i>Carcharhinus leucas</i>	IGPS112334	図2, 2	20.70	17.99	4.27	
<i>Carcharhinus leucas</i>	IGPS112335	図2, 3	19.59	16.04	3.22	
<i>Carcharhinus leucas</i>	IGPS112336	図2, 4	11.76	11.23	2.32	
<i>Carcharhinus cf. leucas</i>	IGPS112337		18.55	—	3.31	歯冠欠損
<i>Carcharhinus cf. longimanus</i>	IGPS112338	図2, 5	10.85	10.76	2.29	歯根一部欠損
<i>Carcharhinus cf. longimanus</i>	IGPS112339	図2, 6	13.62	15.37	3.90	
<i>Carcharhinus sp. A</i>	IGPS112340	図2, 7	9.86	9.23	1.94	
<i>Carcharhinus sp. A</i>	IGPS112341	図2, 8	8.92	6.85	1.82	
<i>Carcharhinus sp. A</i>	IGPS112342	図2, 9	9.92	8.01	1.90	
<i>Carcharhinus sp.</i>	IGPS112344	図2, 10	9.22	8.59	1.88	下顎歯
<i>Carcharhinus sp.</i>	IGPS112345	図2, 11	10.23	—	3.01	下顎歯, 歯冠破損
<i>Carcharhinus sp.</i>	IGPS112346	図2, 12	6.65	6.90	1.83	下顎歯
<i>Carcharhinus sp. B</i>	IGPS112343	図2, 13	6.32	5.47	1.01	
<i>Carcharhinus sp.</i>	IGPS112347		—	—	—	下顎歯, 破損
<i>Carcharhinus sp.</i>	IGPS112348		7.77	7.05	1.83	歯冠風化
<i>Sphyrna zygaenna</i>	IGPS112349	図3, 1	5.12	4.45	1.21	
<i>Sphyrna zygaenna</i>	IGPS112350	図3, 2	4.41	3.80	1.09	
<i>Sphyrna zygaenna</i>	IGPS112351	図3, 3	6.28	3.51	1.24	
<i>Carcharodon carcharias</i>	IGPS112352	図3, 1	32.35	38.98	10.01	下顎歯, 先端摩耗
<i>Squalus sp. A</i>	IGPS112353	図3, 4	3.34	2.13	1.13	遠心一部破損
<i>Squalus sp. A</i>	IGPS112354	図3, 5	4.34	3.00	1.37	
<i>Squalus sp. A</i>	IGPS112355		4.59	2.69	1.12	近心破損
<i>Squalus sp. B</i>	IGPS112356	図3, 6	3.04	2.56	1.10	近心歯根一部欠損
<i>Squatina sp.</i>	IGPS112357	図3, 7	—	4.75	3.55	歯根半分欠損
<i>Squatina sp.</i>	IGPS112358	図3, 8	4.56	2.83	2.11	基底突起欠損
<i>Dasyatis akajei</i>	IGPS112362	図3, 9	2.35	1.68	1.61	
<i>Dasyatis akajei</i>	IGPS112363	図3, 10	3.03	1.89	2.19	歯根一部欠損
<i>Dasyatis akajei</i>	IGPS112359	図3, 11	2.35	1.93	2.30	
<i>Dasyatis akajei</i>	IGPS112360	図3, 12	1.59	1.85	1.45	
<i>Dasyatis akajei</i>	IGPS112361	図3, 13	2.16	1.72	1.62	
<i>Myliobatis sendaicus</i>	IGPS112362	図4, 1	24.23	5.18	5.37	
<i>Myliobatis sendaicus</i>	IGPS112363	図4, 2	18.24	3.77	4.28	
<i>Myliobatis sendaicus</i>	IGPS112364	図4, 3	22.94	3.51	3.97	一部欠損
<i>Myliobatis sendaicus</i>	IGPS112365	図4, 4	—	4.27	4.77	半分欠損
<i>Myliobatis sendaicus</i>	IGPS112366	図4, 5	15.42	3.16	2.07	
<i>Myliobatis sendaicus</i>	IGPS112367	図4, 6	33.43	4.25	5.17	
<i>Myliobatis sendaicus</i>	IGPS112358		14.08	3.06	2.05	
<i>Myliobatis sendaicus</i>	IGPS112359		—	3.86	4.39	半分欠損
<i>Myliobatis sendaicus</i>	IGPS112360		13.31	3.74	2.53	破損

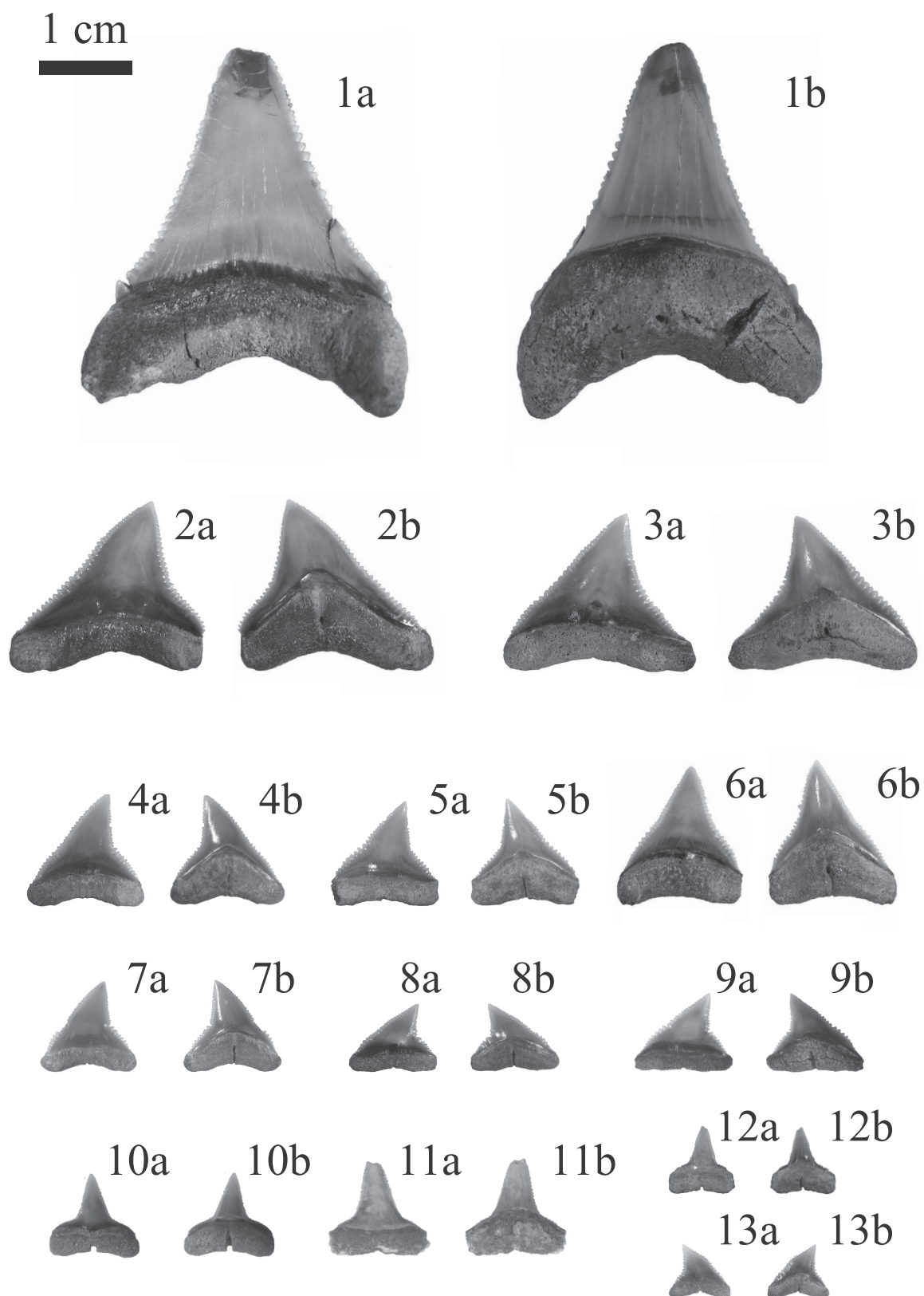


図 2：竜の口層凝灰質砂岩層から産出した板鰐類化石 [no. 1–13]

1. *Carcharodon carcharias* Linnaeus, 1758 (IGPS112352). 下顎歯, a. 唇側面, b. 舌側面. **2–4.** *Carcharhinus leucas* Müller & Henle, 1839 (IGPS112334–112336). 上顎歯, a. 唇側面, b. 舌側面. **5, 6.** *Carcharhinus* cf. *longimanus* Poey, 1861 (IGPS112338, 112339). 上顎歯, a. 唇側面, b. 舌側面. **7–9.** *Carcharhinus* sp. A (IGPS112340–112342). 上顎歯, a. 唇側面, b. 舌側面. **10–12.** *Carcharhinus* spp. (IGPS112344–112346). 下顎歯, a. 唇側面, b. 舌側面. **13.** *Carcharhinus* sp. B (IGPS112343). 上顎歯, a. 唇側面, b. 舌側面.

Family: Sphyrnidae シュモクザメ科

Genus: *Sphyrna* シュモクザメ属

Sphyrna zygaena Linnaeus, 1758

シロシュモクザメ

標本番号: IGPS112349-112351

(図 3. 1-3)

記載: 上顎歯と下顎歯の区別はできない。唇側面では平坦で、舌側面ではわずかに膨隆する。歯冠は遠心側へ傾く。近心縁・遠心縁ともに鋸歯は存在しない。近心縁は中央でやや凸に湾曲し歯冠先端ではわずかに反り返る。また、遠心縁は凸に湾曲する。歯冠の遠心縁は基底部にある明確な V 字型切痕を介してその遠心側にある遠心踵と接している。

Class: Lamniformes ネズミザメ目

Family: Lamnidae ネズミザメ科

Genus: *Carcharodon* ホホジロザメ属

Carcharodon carcharias Linnaeus, 1758

ホホジロザメ

標本番号: IGPS112352

(図 2. 1)

記載: 下顎歯である。唇側面では平坦で、舌側面で強く膨隆する。歯根は強い湾曲を示し、栄養痕が舌側面に点で存在する。歯冠は鋭角で、二等辺三角形を成す。また、鋸歯は両縁とも粗い。唇側面では平面を成し、舌側面では強く膨張する。

Class: Squaliformes ツノザメ目

Family: Squalidae ツノザメ科

Genus: *Squalus* ツノザメ属

Squalus sp.

標本番号: IGPS112353-112356

(図 3. 4-6)

記載: 上顎歯と下顎歯の区別はできない。歯冠は主咬頭と半月状の遠心副咬頭からなる。主咬頭は遠心側へ傾き、鋸歯は存在しない。主咬頭の近心縁は中央から先端にかけてやや凹となり、遠心縁は真っ直ぐで、基底部に V 字型の切痕が存在する。一方、近心基底部の歯冠は膨らみをもつ。また唇側面では歯冠の基底突起が歯根側に突出する。

Class: Squatiniformes カスザメ目

Family: Squatinidae カスザメ科

Genus: *Squatina* カスザメ属

Squatina sp.

標本番号: IGPS112357, 112358

(図 3. 7, 8)

記載: 上顎歯と下顎歯の区別はできない。歯根は板状で舌側に幅広く、平坦である。また、唇側面中央で歯冠の基底突起が歯根側に突出する。歯冠は左右対称で、舌側面側へやや湾曲する。また、歯冠の近心縁・遠心縁ともに鋸歯は

存在しない。

Class: Myliobatiformes トビエイ目

Family: Dasyatidae アカエイ科

Genus: *Dasyatis* アカエイ属

Dasyatis akajei Müller & Henle, 1841

アカエイ

標本番号: オス; IGPS112359-112361,

メス; IGPS112362-112363

(オス: 図 3. 11-13; メス: 図 3. 9, 10)

記載: アカエイの歯は雌雄によって形態が異なる (Taniuchi and Shimizu, 1993)。オスの歯では、上顎歯と下顎歯は区別できない。歯冠表面は滑らかで基底は四角形である。歯冠咬合面は先端が細く、舌側へ強く傾斜する。歯根は二股になり、舌側へ偏る。メスの歯では、咬合面は近遠心方向に長い五角形である。歯冠表面は滑らかだが、隆線によって唇舌側に二分する。また、歯冠舌側面には弱い溝が存在する。歯根は二股になり、唇側へ偏る。

Hatai et al. (1965) で記載されたアカエイ比較種 *Dasyatis* cf. *akajei* の尾棘はトビエイ属 *Myliobatis* の尾棘だと指摘されており (佐藤ほか, 2000; みちのく古生物研究会, 2002), この歯化石が、確かなアカエイ *D. akajei* の竜の口層からの初記録となる。

Family: Myliobatidae トビエイ科

Genus: *Myliobatis* トビエイ属

Myliobatis sendaicus Hatai, Murata & Masuda, 1965

標本番号: IGPS112364-112380

(中央歯: 図 4. 1-6; 側歯: 図 4. 7-11; 置換歯: 図 4. 12)
記載: 上顎歯と下顎歯の区別はできない。咬合面は滑らかで唇側・舌側のどちらかへわずかに湾曲している。また、近心縁側へ細長い六角形であり、長辺は粗い。咬合面の幅は厚さに対し約 4-5 倍である。歯根は櫛状で、10 mm あたり約 9-14 本、唇舌側方向へ平行に弱い条溝があり、唇側へ偏る。また、唇側面では、歯根と咬合面境界で、咬合面に平行な明瞭な溝をもつ。一方、側歯の咬合面は四角形、または五角形である。近心縁に咬合面と平行な溝が存在する。歯根は 1-2 本の条溝があり、唇側へ偏る。また、置換歯では咬合面が一様に分厚い。本標本はトビエイ *Myliobatis tobijei* に似るが、咬合面の厚さが比較的細く、*M. tobijei* と区別される。

楯鱗

Class: Myliobatiformes トビエイ目

Family: Dasyatidae アカエイ科

gen. et. sp. indet.

標本番号: IGPS112381, 112382

(図 4. 13, 14)

記載: 基底部は頭尾方向に長い楕円形, または長方形であり, 尾側で凹となる. 冠部は扁平で, 頭側では太く, 尾側にかけて先細りする. また, 冠部は頭側にかけてわずかに傾いている.

鰐鰐

Class: Lamniformes ネズミザメ目
Family: Cetorhinidae ウバザメ科
Genus: *Cetorhinus* ウバザメ属
Cetorhinus sp.
標本番号: IGPS112383
(図 4. 15)

記載: 本標本は両端を欠いており, 断面が露呈している. また, 中空洞でエナメル光沢を呈する. わずかに湾曲し, 末端で曲率が大きくなる. 本標本では茎状部のみが産出した. 鰐鰐は位置によって大きさや形状が異なるが, ウバザメ科 Cetorhinidae は杖状の形態を示すことから同定される.

尾棘

Class: Myliobatiformes トビエイ目
Family: Myliobatidae トビエイ科
Genus: *Myliobatis* トビエイ属
Myliobatis sp.
標本番号: IGPS112384
(図 4. 16)

記載: 本標本は先端・基部を欠いている. 扁平で, 先端に向かって細くなる. 背面では膨隆し, 中央に条溝が存在する. 条溝は先端に向かって浅い. 腹面は中央が凸になり, 尾側に向かって強い. 両縁には基部に向かって傾く鋸歯状の棘があり, 基部では大きく, 尾側でわずかに小さい.

竜の口層板鰐類化石群集の特徴, 及び古環境の復元

化石群集の構成

本調査で産出した竜の口層板鰐類化石群集, 国内の上部中新統一鮮新統から報告された板鰐類化石群集, 及び, 現在の東北沿岸に生息する板鰐類群集を図 3, 及び表 3 に示した. なお, Hatai et al. (1974) で報告された *Carcharodon megalodon* は, 今回は確認されなかった.

竜の口層では, 先行研究で記載された種を含め, 8 科 8 属 12 種の板鰐類が確認された. これまで種レベルまで分類されることがなかったメジロザメ属 *Carcharhinus* が 4 形態種に大別された. また, ウバザメ科 Cetorhinidae, ツノザメ属 *Squalus*, カスザメ属 *Squatina*, 及び歯による確かなアカエイ属 *Dasyatis* の化石は, 竜の口層から初記載となる. また, 国内では愛知県東部の渥美半島に分布する豊橋層群豊橋層 (中部更新統) だけでしか報告 (川瀬・西松, 2016) されてい

なかったオオメジロザメ *Cn. leucas* が竜の口層から初めて確認された. これは国内の上部中新統一下部鮮新統における初記録でもある.

板鰐類化石群集が示す環境

メジロザメ属 *Carcharhinus* ($n = 15$), ホホジロザメ属 *Carcharodon* ($n = 1$), トビエイ属 *Myliobatis* ($n = 17$) の組み合わせは, 沿岸—沖合にかけての環境を示す (横山ほか, 2001). 加えて, ヨゴレ比較種 *Carcharhinus* cf. *longimanus* ($n = 2$), シロシモクザメ *Sphyrna zygaena* ($n = 3$) といった外洋表層に生息する種が産出したことから, 外洋水の流入があったことが示唆される. これは竜の口層の堆積環境, 及び珪藻化石による古環境復元と整合的である.

また, 竜の口層の板鰐類化石群集は, 現在の東北沿岸で見られる典型的な寒冷域の板鰐類群集 (佐藤ほか, 1987) とは異なる. すなわち, 現在の東北日本沿岸—沖合域に生息するヨシキリザメ *Prionace glauca*, ネズミザメ *Lamna ditropis* は化石では未確認である. また, 属 (科) の産出数では現生種が冷温帯にも分布する板鰐類のうち, ウバザメ科 Cetorhinidae ($n = 1$), アカエイ属 *Dasyatis* ($n = 5$), シモクザメ属 *Sphyrna* ($n = 3$), ツノザメ属 *Squalus* ($n = 3$) の化石が稀である一方で, 現在では熱帯—温帯域にかけて生息するメジロザメ属 *Carcharhinus* ($n = 15$) が, トビエイ属 *Myliobatis* ($n = 17$) に次いで多い. 特にオオメジロザメ *Cn. leucas* ($n = 4$), ヨゴレ比較種 *Cn. cf. longimanus* ($n = 2$) は熱帯—亜熱帯域の温暖な海に分布するサメである (Ebert et al., 2013). これより, 当時の“竜の口の海”は, 外洋水の流入を受けた沿岸に分布する混合水域だったが, 現在の東北日本沿岸より温暖な暖流が流入する時期があったことが示唆される. ただし, 竜の口層同様に無脊椎動物化石と板鰐類化石から古環境復元について言及があり, どちらの分類群でも温暖域生息種で構成される掛川層群大日累層 (更新世: 横山ほか, 2000; 柴, 2005) と比べると, 板鰐類の多様性が低い. これは, 寒流による冷水塊の混入 (柳沢, 1990) によって一部の温暖域生息種 (例えば, イタチザメ *Galeocerdo cuvier*) にとって生息しづらい環境であったためと推測される.

本セクションは, 外洋寒流系珪藻化石が優占的で, 下位で暖流系珪藻化石がわずかに産出する (柳沢, 1990). さらに, 本調査地より約 450 km 北東 (Site 436: 39° 55.96'N, 145° 33.4'E) の岩手県沖で採取された DSDP コアの珪藻温度指数 (Td' -SST) によると, 何度か温暖な海水温を示す珪藻化石群集が見られる (Koizumi and Yamamoto, 2012, 2013). また, 竜の口層上部からも温帯性針葉樹林の花粉化石が産出している (竹内・吉田, 2012). その花粉化石群集にも含まれるブナ属 *Fagus* について, 現生種のブナ *F. sieboldii* は本調査地より約 150 km 南方の福島県八溝山に北限をもつことから (佐竹ほか, 1989), 竜の口層上部が堆積した当時は現在の

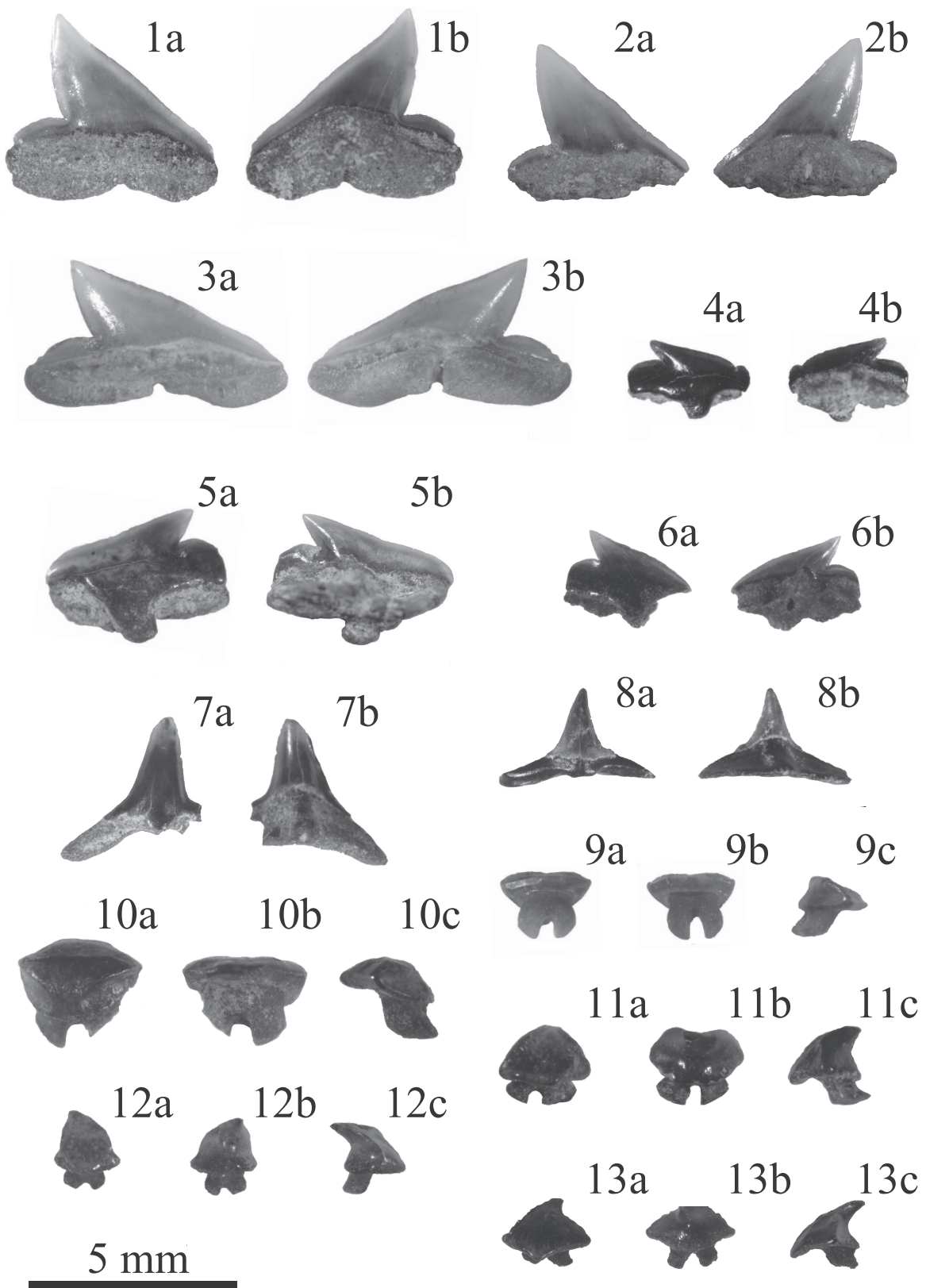


図3：竜の口層凝灰質砂岩層から産出した板鰐類化石 [no. 1-13]

1-3. *Sphyrna zygaena* Linnaeus, 1758 (IGPS112349-112351). 歯, a. 唇側面, b. 舌側面. **4-6.** *Squalus* sp. (IGPS112353-112355). 歯, a. 唇側面, b. 舌側面. **7, 8.** *Squatina* sp. (IGPS112357, 112358). 歯, a. 唇側面, b. 舌側面. **9, 10.** *Dasyatis akajei* Müller & Henle, 1841 (IGPS112362, 112363). メスの歯, a. 舌側面, b. 唇側面, c. 側面. **11-13.** *Dasyatis akajei* Müller & Henle, 1841 (IGPS112359-112361). オスの歯, a. 舌側面, b. 唇側面, c. 側面.

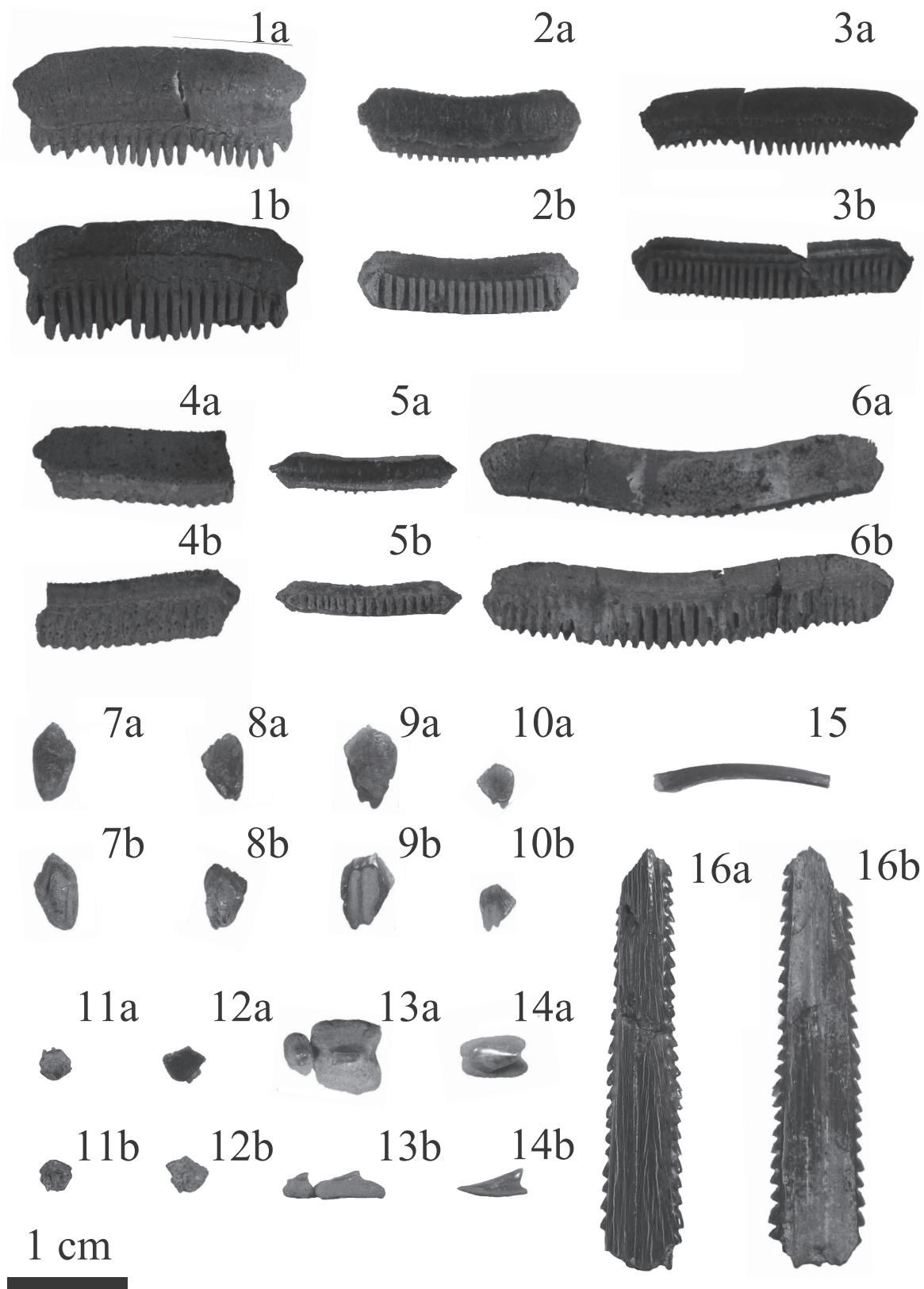


図 4：竜の口層凝灰質砂岩層から産出した板鰓類化石 [no. 1-16]

1-6. *Myliobatis sendaicus* Hatai, Murata, & Masuda, 1965 (IGPS112364-112369). 歯, a. 咬合面, b. 基底面. **7-11.** *Myliobatis sendaicus* Hatai, Murata, & Masuda, 1965 (IGPS112373-112377). 側歯, a. 咬合面, b. 基底面. **12.** *Myliobatis sendaicus* Hatai, Murata, & Masuda, 1965 (IGPS112380). 置換歯, a. 咬合面, b. 基底面. **13, 14.** *Dasyatidae* gen. et. sp. indet. (IGPS112381, 112382). 楯鱗, a. 背面, b. 側面. **15.** *Cetorhinus* sp. (IGPS112383). 鰓耙. **16.** *Myliobatis* sp. (IGPS112384). 尾棘, a. 背面, b. 腹面.

表 3：国内における上部中新統一更新統を含む産地の板鰐類化石群集（1-9）と現在の宮城県三陸沖に生息する板鰐類（9*：佐藤ほか，1987）. 行は分類群順に並ぶ. †は絶滅種. 産地番号は図 3 に対応する. **産地 1**：大日層（更新統）. 横山ほか（2000）, 柴（2005）. **産地 2**：白浜層群（上部中新統一下部鮮新統）. 吉原（1901）, Ishiwara（1921）, 新野（1946）, 狩野（2016）. **産地 3**：神沢層（上部鮮新統一下部更新統）. 上野・松島（1975）, 斎藤（1988）, 長谷川ほか（1991）. **産地 4**：大磯層（上部中新統）. 田中・森（1996）. **産地 5**：三浦層群, A. 三崎層, B. 逗子層（上部中新統）, C. 池子層（下部鮮新統）. Ozaki（1958）, 田中（2001）. **産地 6**：千畑層（上部中新統一下部鮮新統）. 石川ほか（1982）, 蟹江ほか（1991）, Yabe and Hirayama（1998）. **産地 7**：黒滝層群（上部鮮新統）. 大塚（1932）. **産地 8**：多賀層群（下部鮮新統）. Yabe（1949）, 後藤（1972）. **産地 9**：竜の口層（上部中新統一下部鮮新統）. 本研究.

		産地番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9*	
		地域	静岡県掛川市	静岡県下田市	神奈川県愛甲郡愛川町	神奈川県中部大磯町	神奈川県	千葉県富津市	千葉県富津市	茨城県日立市	宮城県仙台市	宮城県三陸沖	
		地層名	大日層	白浜層群	神沢層	大磯層	三浦層群 A. 三崎層 B. 逗子層 C. 池子層	千畑層	黒滝層群	多賀層群	竜の口層		
		地質年代	更新統	上部中新統 一下部鮮新統 (9-3 Ma)	上部鮮新統 一下部更新統 (2.9-2.5 Ma)	上部中新統 (8.3-5.6Ma)	A. B. 上部中新統 C. 下部鮮新統	上部中新統 一下部鮮新統 (5-6 Ma)	上部鮮新統	下部鮮新統	上部中新統 一下部鮮新統 (5.4-5.3 Ma)	現代	
目	科												
Carcharhiniformes	Scyliorhinidae	<i>Galeus</i> sp.		○									
		<i>Scyliorhinus</i> sp.	○										
	Triakidae	<i>Galeorhinus</i> sp.							○				
		<i>Hypogaleus</i> sp.	○										
		<i>Mustelus manazo</i>										○	
		<i>Triakis scyllium</i>										○	
	Hemigaleidae	<i>Hemipristis elongata</i>	○										
		† <i>Hemipristis serra</i>						AB	○				
	Carcharhinidae	<i>Carcharhinus altimus</i>	○										
		† <i>Carcharhinus cuspidatus</i>								○			
		<i>Carcharhinus leucas</i>										○	
		<i>Carcharhinus longimanus</i>	○									○	
		<i>Carcharhinus plumbeus</i>											
		† <i>Carcharhinus praejaponicus</i>						ABC			○		
		<i>Carcharhinus</i> sp.	○		○	○	AB	○			○		
		<i>Galeocerdo cuvier</i>	○										
	Sphyrnidae	<i>Prionace glauca</i>											○
		<i>Sphyrna zygaena</i>										○	○
		<i>Sphyrna</i> sp.	○										○
Lamniformes	Odontaspidae	<i>Odontaspis ferox</i>											
		† <i>Odontaspis cf. incurva</i>									○		
		† <i>Odontaspis cf. vorax</i>									○		
		<i>Odontaspis</i> gen. et. sp. indet.					○	ABC	○				
	Cetorhinidae	<i>Cetorhinus maximus</i>			○							○	
	Lamnidae	<i>Carcharodon carcharias</i>	○	○	○	○	BC	○				○	
		† <i>Carcharodon megalodon</i>		○		○	AB	○	○				
		† <i>Carcharodon rondeleti</i>					ABC				○		
		† <i>Carcharodon sagai</i>					ABC				○		
		<i>Carcharodon</i> sp.								○			
		† <i>Isurus eschaei</i>											
		† <i>Isurus hastaris</i>					B	○					
		<i>Isurus oxyrinchus</i>	○				○	AB	○				○
		<i>Isurus paucus</i>	○										
		† <i>Isurus retroflexus</i>									○		
		<i>Isurus</i> sp.											
		<i>Lamna ditropis</i>											○
			<i>Lamna</i> sp.		○								
		† <i>Parotodus benedini</i>	○				A	○		○			
Pristiophoriformes	Pristiophoridae	<i>Pristiophorus</i> sp.	○		○	○	A	○					
	Rhinopristiformes	<i>Rhynchobatus</i> sp.	○										
Heterodontiformes	Heterodontidae	<i>Heterodontus</i> sp.	○										
Squaliformes	Squalidae	<i>Squalus suckleyi</i>										○	
		<i>Squalus</i> sp.	○										
		<i>Dalatias licha</i>			○	○	B	○				○	
	<i>Isistius</i> sp.							○					
Squatinaformes	Squatinae	<i>Squatina</i> sp.	○	○	○	○		○			○		
Hexanchiformes	Hexanchiade	† <i>Notidanus</i> sp.								○			
		<i>Hexanchiade</i> gen. et. sp. indet.							○				
Myliobatiformes	Dasypatiidae	<i>Dasypatis akajei</i>										○	
		<i>Dasypatis matsubarai</i>										○	
		<i>Dasypatis</i> sp.	○										
	Rhinopteridae	<i>Rhinoptera</i> sp.			○								
Myliobatidae	† <i>Myliobatis sendaicus</i>										○		
	<i>Myliobatis</i> sp.	○		○									
Rajiformes	Rajidae	<i>Raja schmidtii</i>										○	
参考文献		横山ほか（2000） 柴（2005）	吉原（1901） Ishiwara（1921） 新野（1946） 狩野（2016）	上野・松島（1975） 斎藤（1988） 長谷川ほか（1991）	田中・森（1996）	Ozaki（1958） 田中（2001）	石川ほか（1982） Yabe and Hirayama（1998） 蟹江ほか（1991）	大塚（1932） 後藤（1972）	Yabe（1949） 後藤（1972）	本研究 柳沢（1990） 大石ほか（2012）	佐藤ほか（1987）		

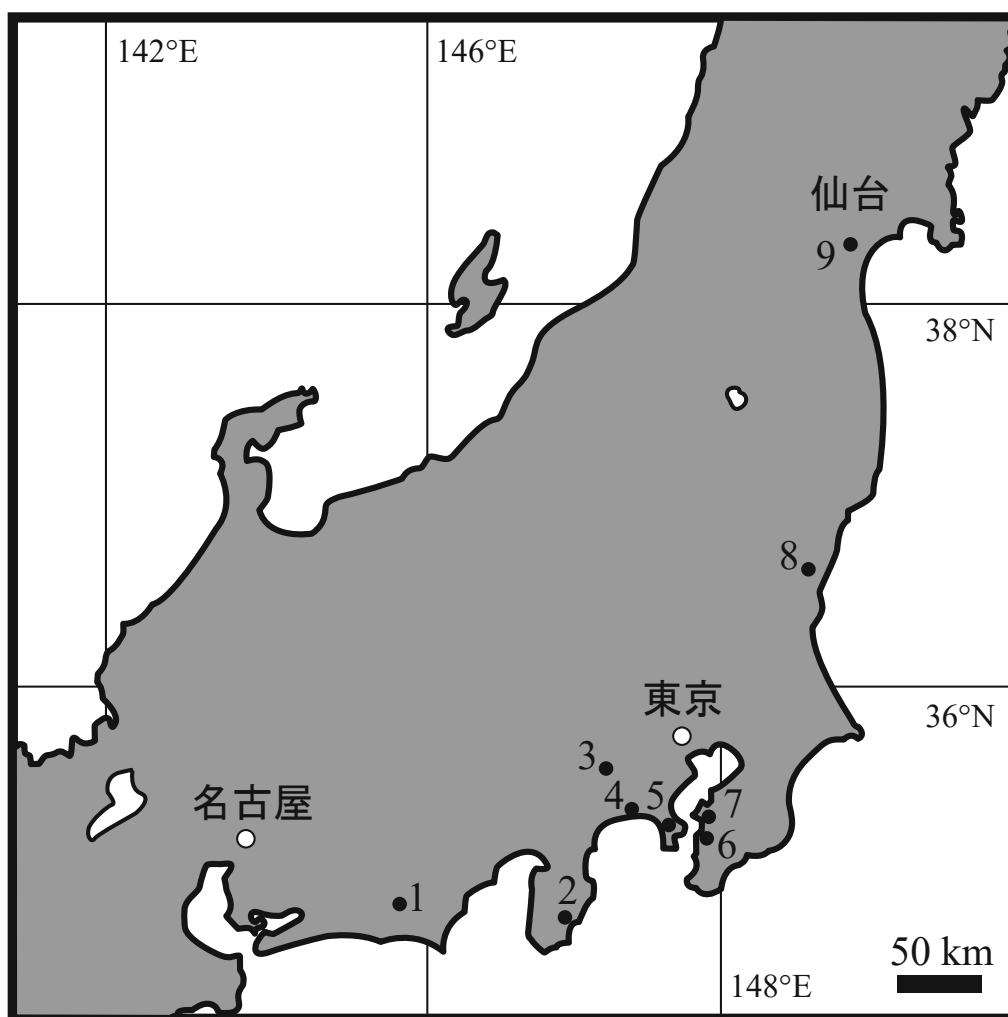


図5：国内における上部中新統一更新統の主要な板鰐類化石産地。産地番号は表3に対応する。

仙台市の気候より温暖であることが示唆される。本研究で得られた板鰐類化石群集は、上述の化石記録と整合的であり、温暖な海洋環境が陸生植物相から高次捕食者相にも影響していることが伺える。ただし、竜の口層からは寒流系珪藻化石群集、及び竜の口動物群に比べ、暖流系珪藻化石や花粉化石、及び板鰐類化石群集は断続的に産出することから、暖流の影響は連続的ではなく、断続的なものであった可能性が考えられる。

以上述べたように、“竜の口の海”は外洋水が流入する沿岸域であることが板鰐類化石群集からも支持された。また、メジロザメ属 *Carcharhinus* の高頻度での産出（特にオオメジロザメ *Cn. leucas* の産出）より、暖流の影響が“竜の口の海”沿岸域まで到達しており、少なくとも一時的には現在の東北日本沿岸域より温暖な海洋環境になっていたことが示唆された。

まとめ

後期中新世一前期鮮新世の東北日本東沿岸では、南方向に開いた内湾（竜の口の海）が存在し、これまで竜の口動物群・珪藻化石群集から寒流が卓越し、現在の東北日本沿岸域より寒冷的な海だとされていたが、本研究により、以下の知見が得られた。

(1) 竜の口層（最上部中新統一下部鮮新統）の第8貝化石層（X8）直上の凝灰質砂岩層から、51標本の板鰐類化石が産出し、8科8属12種に同定・分類した。

(2) メジロザメ属 *Carcharhinus* は4形態種に分類され、ツノザメ属 *Squalus*、カスザメ属 *Squatina*、ウバザメ科 *Cetorhinidae* 化石、及び確実にアカエイ属 *Dasyatis* に同定できる化石が確認された。また、オオメジロザメ *Carcharhinus leucas* は国内の上部中新統一下部鮮新統からは初記録となる。

(3) 板鰐類化石群集解析, 及び先行研究の知見により, 竜の口の海は沿岸—沖合にかけての環境で外洋水の流入のあったことが支持された. また, *Cn. leucas* を含むメジロザメ属 *Carcharhinus* が多産すること, 及び先行研究の知見より, “竜の口の海” 及び沿岸では暖流の影響を受けて温暖な海洋・陸域環境になった時期が存在していたことが示唆された.

謝辞

本論文を執筆するにあたって, 仙台市在住の横山純一氏には竜の口層から産出したカスザメ属 *Squatina* 化石を寄贈していただいた. 名古屋大学博物館の藤原慎一氏には, 研究の方向性, 及び論文執筆において指導していただいた. 名古屋大学研究生の西松弘喜氏には論文原稿に目を通していただき, 多くの有益なコメントをいただくとともに, 多くの板鰐類化石に関する文献を提供していただいた. また, 東北大学総合学術博物館の高嶋礼詩氏, 群馬県立自然史博物館の高桑裕司氏には, 査読していただき, 本論文への重要な助言をいただいた.

引用文献

- 鎮西清高, 1963. 東北日本の新第三紀貝化石群集の変遷. 化石, **5**, 20–26.
- Chinzei, K. and Iwasaki, Y., 1967. Paleoeecology of shallow sea molluscan faunae in the Neogene deposits of Northeast Honshu, Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, **67**, 93–113.
- 地学団体研究会仙台支部, 1980. 新編仙台の地学. 177p., きた出版.
- Dambach, J. and Rödder, D., 2011. Applications and future challenges in marine species distribution modeling. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **21**, 92–100.
- Ebert, D. A., Fowler, S. and Compagno, L., 2013. *Sharks of the World; A Fully Illustrated Guide*. 528p., Wild Nature Press, Plymouth.
- 藤原 治・鈴木紀毅・林 広樹・入月俊明, 2013. 仙台南西部に分布する東北日本太平洋側標準層序としての中・上部中新統および鮮新統. 地質学雑誌, **199**, 96–119.
- Gadig, O. B. F., Juliano, M. F., and Barreiros, J. P., 2006. Further notes on the capture of a *Carcharhinus leucas* in a northeastern Atlantic oceanic insular shelf, the Azores Archipelago, Portugal. *Cybio*, **30** (supplement), 31–33.
- 後藤仁敏, 1972. 日本産の化石軟骨魚類についての一総括. 地質学雑誌, **78**, 585–600.
- 長谷川善和・小泉明裕・松島義章・今永 勇・平田大二, 1991. 鮮新統中津層の古生物. 神奈川県立博物館調査研究報告 (自然科学), **6**, 1–98.
- Hatai, K., Masuda, K., Noda, H., 1974. Marine fossils from the Moniwa Formation, distributed along the Natori River, Sendai, Northeast Japan. Part 3; Shark teeth from the Moniwa Formation. *Saito Ho-on Kai Museum Research Bulletin*, **43**, 9–25.
- Hatai, K., Murata, M. and Masuda, K., 1965. A sting ray and eagle ray from the Tatsunokuchi Formation (Pliocene) in Sendai city, Miyagi prefecture, Japan. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, **57**, 34–37.
- 猪苗代治, 1987. 宮城県仙台市の竜の口層（下部鮮新統）より産出したアシカ上科動物化石について. 地球科学, **41**, 242–243.
- 石川秀雄・八田明夫・大木良仁, 1982. 房総半島, 千畑礫岩層に含まれる有孔虫化石. 千葉大学教育学研究紀要, 第2部, **31**, 11–17.
- 石丸一男, 2002. 仙台市北西部の竜の口層から産出したカワイルカ上科の化石について. 日本地質学会第109年学術大会要旨, 154p.
- Ishiwara, Y., 1921. On some fossil shark-teeth from the Neogene of Japan. *Science Reports of the Tohoku Imperial University, 2nd series, Geology*, **5**, 61–74.
- 蟹江康光・岡田尚武・笹原由紀・田中浩紀, 1991. 三浦・房総半島新第三紀三浦層群の石灰質ナノ化石年代および対比. 地質学雑誌, **97**, 135–155.
- 狩野謙一, 2016. 伊豆半島南部のジオガイドー地層からよみとく海底火山活動一. 104p. 東京地学協会・大和溪谷社.
- 川瀬基弘・西松弘喜, 2016. 中部更新統渥美層群豊橋層高松シルト質砂岩部層の板鰐類化石一名古屋周辺地域の古生物から見た古環境一. 瑞浪市化石博物館研究報告, **42**, 47–61.
- 北村 信・石井武政・寒川 旭・中川久夫, 1986. 仙台地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の1 地質図幅), 134p. 地質調査所.
- Koizumi, I. and Yamamoto, H., 2012. Allochthonous diatom in DSDP site 436 on the abyssal floor off Northeast Japan. *JAMSTEC Report of Research and Development*, **14**, 27–38.
- Koizumi, I. and Yamamoto, H., 2013. Paleooceanography since the warm Pliocene epoch in the mid-latitudes of the Northwestern Pacific Ocean. In: Koizumi, I., Yamamoto, H., eds., *Diatom*, 87–106. Nova Science Publishers, New York.
- 久保和也・柳沢幸夫・吉岡敏和・山元孝弘・滝沢文教, 1990. 原町及び大甕地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の1 地質図幅), 155p. 地質調査所.
- Linnaeus, C. 1758. *Tomus I. Systema nature, per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Editio decima, reformata*, 824p., Laurentii Salvii, Holmiae (Stockholm). [In Latin]
- みちのく古生物研究会, 2002. 宮城の化石図集 (4) 竜の口層の化石, 53p. 仙台市科学館.
- Müller, J., Henle, F. G. J., 1839. *Systematische Beschreibung der Plagiostomen*, 29–102, Veit und Comp, Berlin. [In Germany]
- Müller, J., Henle, F. G. J., 1841. *Systematische Beschreibung*

- der Plagiostomen*, 200p., Veit und Comp, Berlin. [In Germany]
- 中村謙治・天野一男, 1994. 仙台市周辺に分布する仙台層群の堆積相と海水準変動. 日本地質学第 101 年学術大会講演要旨, 147p.
- 新野 弘, 1946. 礫性堆積物の 1 例. 資源研集, **9**, 29–35.
- Nomura, S., 1938. Molluscan fossils from the Tatsunokuchi shell bed exposed at Goroku cliff in the western border of Sendai. *Science Reports of the Tohoku Imperial University, 2nd series, Geology*, **19**, 235–275.
- 小笠原憲四郎, 1998. 古第三紀から新第三紀初期の太平洋地域の地史イベント. 日本地質学会第 105 年学術大会講演要旨, 237p.
- Oishi, M. and Hasegawa, Y., 1995. A list of fossil cetaceans in Japan. *The Island Arc*, **3**, 493–505.
- 大石雅之・吉田裕生・金 光男・柳沢幸夫・杉山了三, 1996. 北上低地帯西縁に分布する鮮新・更新統の地質と年代: いわゆる“本畑層”の再検討. 地質学雑誌, **102**, 330–345.
- 大石雅之・吉田裕生・吉田充, 2012. 一関市巖美町の竜の口層のフィッシュン・トラック年代. 岩手県立博物館研究報告, **29**, 1–4.
- 大塚弥之助, 1932. 関東地方の新第三系の対比 (演旨). 地質学雑誌, **39**, 298–304.
- Ozaki, H., 1958. Stratigraphical and paleontological studies on the Neogene and Pleistocene formations of the Tyosi district. *Bulletin of the National Science Museum*, **4**, 1–182.
- Poey, F., 1861. *Memorias sobre la historia natural de la Isla de Cuba, Acompañadas de sumarios latinos y extractos en frances*, Tomo 2, 442p., Viuda de Barcina, Havana. [In Spanish]
- 才田直人・小向 英・大石雅之, 2011. 仙台市の竜の口層 (最後期中新世～前期鮮新世) から産出した鯨類化石: 産出層準・産状および産出の意義. *Bulletin of the Tohoku University Museum*, **10**, 135–146.
- 斎藤常正, 1988. 関東地方における幾つかのほ乳類化石包含層の微化石年代, 新生代海生哺乳類の生層序と古生物学的研究. 総合研究 (A) 文部省科学研究補助金報告書, 140–148.
- 佐竹義輔, 1985. マツ科. 佐竹ほか, 日本の野生植物, 木本, 5–15. 平凡社.
- 佐藤正道・宮坂義彦・小松尚哉, 2000. 竜の口層のエイ化石について. 仙台市科学館研究報告, **10**, 13–20.
- 佐藤隆平・仲谷一宏・長谷部明石, 1987. 原色魚類図鑑—気仙沼市魚市場に水揚げされる魚類 改訂版, 102p. 気仙沼市役所.
- 柴 正博, 2005. 2.2 静岡, 掛川地域の第三系・下部更新統. 日本の地質増補版編集委員会編, 日本の地質増補版, 132–136. 共立出版.
- 鈴木敬治, 1987. 大型植物化石 (仙台付近の新第三系植物化石群). 地学団体研究会仙台支部・仙台市科学館編, 広瀬川流域の地形地質調査報告書, 94–97. 仙台市科学館.
- 竹内貞子・吉田明弘, 2012. 仙台向山地域の仙台層群より産する花粉化石. 地球化学, **66**, 193–197.
- Taniuchi, T., Shimizu, M., 1993. Dental sexual dimorphism and food habits in the stingray *Dasyatis akajei* from Tokyo Bay, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **59**, 53–60.
- 田中 猛, 2001. 三浦半島の三浦層群より産出した板鰐類化石. 神奈川自然史資料, **22**, 73–80.
- 田中 猛・森 慎一, 1996. 神奈川県西部の大磯層産出の板鰐類化石. 平塚市博物館研究報告, **19**, 67–87.
- 上野輝弥・松島義章, 1975. 神奈川県北部の中津累層 (鮮新統上部) 産出ホホジロザメ, ヨロイザメなどの化石について. 神奈川県立博物館研究報告, **8**, 41–55.
- Voigt, M. and Weber, D., 2011. *Field Guide for Sharks of the Genus Carcharhinus*. 151p., Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- Yabe, H., 1949. The Taga beds of the Zyoban coal-field. *Proceeding of the Japan Academy*, **25**, 9–17.
- 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. and Hirayama, R., 1998. Selachian Fauna from the Upper Miocene Senhata Formation, Boso Peninsula, Central Japan. *Natural History Research, Special Issue*, **5**, 33–61.
- 柳沢幸夫, 1990. 仙台層群の地質年代—珪藻化石層序による再検討—. 地質調査所月報, **41**, 1–25.
- 柳沢幸夫, 1998. 岩手県北上市西部に分布する新第三系竜の口層の珪藻化石層序. 北上低地帯の鮮新・更新統の地質と年代. 岩手県立博物館調査研究報告書, **14**, 29–36.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F., 1998. Revised Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **104**, 395–414.
- 横山謙二・後藤仁敏・柴 正博, 2000. 掛川層群大日累層から産出した板鰐類化石. 海・人・自然 (東海大学博物館研究報告), **2**, 37–52.
- 横山謙二・柴 正博・新村龍也, 2001. 掛川市上西郷における掛川層群鯨目化石発掘調査の成果. 海・人・自然 (東海大学博物館研究報告), **3**, 101–111.
- 吉原重康, 1901. 魚の化石に就て. 地学雑誌, **13**, 135–144.