

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

才田直人*・小向英*・大石雅之**

* 東北大学理学研究科地学専攻 980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

** 岩手県立博物館 020-0102 盛岡市上田字松屋敷 34

A small fossil whale from the Tatsunokuchi Formation (uppermost Miocene to Lower Pliocene) of Sendai City, Northeast Japan: Its occurrence, age and paleontological significance

Naoto Saita*, Suguru Komukai* and Masayuki Oishi**

* Institute of Geology and Paleontology, Department of Earth Science, Graduate School of Science, Tohoku University, Aoba 6-3, Aramaki Aoba-ku, Sendai 980-8578, *d pan*

** Iwate Prefectural Museum, Matsuyashiki 34, Ueda, Morioka 020-0102, *d pan*

Abstract. A fossil cetothere specimen, consisting a skull, cervical vertebrae, thoracic vertebrae and ribs, was detected from the Tatsunokuchi Formation (uppermost Miocene to Lower Pliocene) in the upper reaches of the Tatsunokuchi Gorge, Sendai City, Miyagi Prefecture, Northeast Japan. The fossil horizon is situated about 22 m above the base of the Tatsunokuchi Formation, and is assigned to the Early Pliocene (*Thalassiosira oestrupii* Subzone: NPD 7Bb). Its tympanic bulla is similar to that of the type specimen of *Herpetocetus sendaicus* (Hatai, Hayasaka et Masuda, 1963). The present specimen is a well-preserved and full-grown cetothere, and one of the valuable specimens providing much meaningful information for taxonomic, faunistic, and ontogenetic study of cetotheres.

Key words: small mysticete, *Herpetocetus*, the Tatsunokuchi Formation, Early Pliocene, Northeast Japan

はじめに

前期始新世の西アジアに出現した鯨類は、急速に水中生活へ適応し、古環境の変化を反映して多様化しながら、地球上のあらゆる海域および一部の淡水域に分布を拡大して現在に至っている (Fordyce, 2002a)。鯨類の歴史の中で、鮮新世の初期はその9割ほどまで現在に近づいた時期にあたり、これは現存する鯨類の分類群が成立した過程を探る上で重要な時代といえる (大石, 2007)。またこの時代は絶滅した原始的な分類群と現存する分類群とが共存する時期

でもある。絶滅した分類群のうち、中新世から鮮新世に生存していたケトテリウム科鯨類については、近年盛んに系統分類学的議論がなされているが (Geisler and Luo, 1996; Kimura and Ozawa, 2002; Bouetel and de Muizon, 2006; Steeman, 2007 など)、鮮新世の鯨類はこの議論を進める上でも重要である。

1999年11月に宮城県仙台市の竜の口峡谷上流より、頭部、椎骨および肋骨を含むまとまった鯨類化石が、東北大学理学部地圏環境科学科の御前明洋氏 (現北九州市立自然史・歴史博物館) によって発見された。その後、2000年6月ま

で東北大学総合学術博物館が中心となって発掘作業が行われ、この標本は現在東北大学総合学術博物館に収蔵されている。

鯨類化石が産出した最上部中新統～下部鮮新統竜の口層は、福島県の太平洋岸から岩手県中部の北上低地帯にかけて広く分布する海成層で、竜の口動物群と呼ばれる軟体動物化石群を産出することでよく知られている（鎮西, 1963; 増田・小笠原, 1981; 小笠原, 1998）。これまでも、仙台市周辺から岩手県中～南部にかけての北上低地帯に分布する竜の口層からは、いくつかのまとまった鯨類化石が報告されてきた（たとえば、佐々木, 1989）。中でも岩手県奥州市前沢区から産出したケトテリウム科鯨類 NSM-PV 19540（長谷川ほか, 1985）、ナガスクジラ科鯨類 IPMM 40063（大石ほか, 1985）、岩手県一関市巖美町から産出したケトテリウム科鯨類 IPMM 43549（大石, 1987）などは全身骨格がほぼ残る重要な標本である。また、仙台市の竜の口層からは、Hatai *et al.*, (1963) において新属新種 *Mizuhoptera sendaicus* Hatai, Hayasaka *et Masuda*, 1963 として記載された鼓室胞化石 IGPS 78423 などが報告されている。

“*Mizuhoptera sendaicus*” は、鼓室胞のみの記載に基づいていることから、その系統分類学的位置づけを明らかにすることは困難であり、通常は共有派生形質をもたない遊離した鼓室胞からの新種設立は望ましくないといわれている（Barnes, 1977; Fordyce, 1988）。

一方、前沢産標本 NSM-PV19540 と一関産 IPMM 43549 は、Van Beneden (1872, 1882) によりベルギーから報告された *Herpetocetus scaldiensis* Van Beneden, 1872 に類似する下顎骨と “*Mizuhoptera sendaicus*” に非常によく似た鼓室胞を持つことから、*Mizuhoptera* 属が *Herpetocetus* 属のシノニムになると考えられてきた（長谷川ほか, 1985; 大石, 1987; 大石, 2007, など）。しかしながら、*Herpetocetus scaldiensis* は下顎骨を中心に記載され、頭蓋は断片的な標本のみからなるだけでなく、いくつかの部位については複数の分類群が寄集されて記載されたという大きな問題をかかえている（大石・長谷川, 1997, Deméré *et al.*, 2005）。

このように、頭蓋や下顎骨、鼓室胞などを含む同一個体、同一種のまとまった骨格標本群の産出はこれまで必ずしも多くはなかったが、Oishi (2010 MS) は岩手県から産出した複数のまとまった骨格標本群を用いて比較形態学および分類学的検討を行い、*Mizuhoptera* 属は *Herpetocetus* 属のシノニムであるとし、*Mizuhoptera sendaicus* として報告された鼓室胞 IGPS 78423 を *Herpetocetus sendaicus* のレクタイプに指定した。これにより長年問題となっていた *Mizuhoptera* 属と *Herpetocetus* 属のシノニム問題は解決したと思われる。

近年、Whitmore and Barnes (2008) によって、北米大西洋岸からの *Herpetocetus transatlanticus*、北米太平洋岸からの *Herpetocetus bramblei* の2新種が報告された。こ

れまで *Herpetocetus* 属にはヨーロッパから報告されていた *Herpetocetus scaldiensis* の1種しか知られていなかったが、新たに北米両岸から2種が報告されたことで、*Herpetocetus* 属は北半球の広範な海域に生息していたと推定される。このため、同属異種間での地域的な形態変異などについて詳細に検討することは、古動物地理学的観点からも種分化を考える上でも重要な課題であり、そのためにも本研究標本の系統分類学的位置づけを明らかにすることは重要である。さらに、Bouetel and de Muizon (2006) は *Piscobalaena nana* Pilleri and Siber, 1989 について個体成長の考察を行っているが、鯨類化石についてのこのような視点からの研究はこれまでまったくなされてこなかった。今回竜の口峡谷から発見された標本は前沢および一関産標本と分類学的に密接な関連があると考えられるが、これらは同一堆積盆から産出した全身骨格あるいはまとまった標本群であることから、長谷川ほか (1985) や大石 (1987) に基づけば、本標本は鯨類の個体発生過程を比較検討し得る貴重な産出であると期待される。

また、本標本は分類上重要となる鼓室胞・耳周骨を含む頭蓋の保存がよく、前述した様に近年盛んに系統分類学的議論がなされているケトテリウム科の中での *Herpetocetus* 属の位置づけを明確にする上でも、重要な標本と考えられる。

本標本のプレパレーションはまだ完全には終了していないが、これまでに知られている関連する標本とともに今後重要な知見を与えると考えられるので、本論では、その産出層準、産状等について述べ、産出の意義を予察的に報告する。

材料と方法

本標本の発掘作業では、産状の記録の後に全体を石膏で保護し重機で搬出した。以後室内でのクリーニング過程においては、野外の産状の上下を逆にして剖出作業を進めた。クリーニングはハンマー、ノミ、エアースクライバーなどを使用し、パラロイドで標本を強化しつつ行った。水系を10cm四方の格子状に配置して縮尺1/2の産状図を作成し、産状レプリカを製作した後に骨格を母岩から取り出した。

本標本が産出した竜の口峡谷では、仙台層群最下部の亀岡層および竜の口層の基底部付近は露出しないと考えられてきた。そのため、亀岡層と竜の口層との境界部が露出する竜の口峡谷より約2km北方の広瀬川河畔の牛越橋～澗橋周辺での地層と対比することにより、本標本の竜の口層内での産出層準を明らかにした。

標本の比較では、主として東北大学総合学術博物館と岩手県立博物館所蔵の現生・化石標本を使用した。標本所蔵機関略号は以下のとおりである：IGPS（東北大学総合学術博物館）、IPMM（岩手県立博物館）、NSM-PV（国立科学博物館）。

鯨類化石産出地点の地質 および産出層準

本標本は、仙台市太白区の竜の口峡谷の上流、万助沢との合流点から上流（南西方）へ直線距離で約 300 m の地点の右岸から産出した（図 1, 図 2）。産出層は、最上部中新統～下部鮮新統竜の口層である。竜の口層内における本標本産出層準に関しては後述する。

本標本が産出した竜の口峡谷周辺には、竜の口層（岩井, 1949: 龍ノ口層）を含む仙台層群が広く分布している。仙台層群は東北日本太平洋岸の最上部中新統～鮮新統を代表し、下位より亀岡層、竜の口層、向山層、大年寺層に区別される（北村ほか, 1986; 大石ほか, 1998）。仙台層群は中位層準に不整合を伴い、2 回の堆積輪廻を示す堆積物からなる。亀岡層は亜炭層を挟む陸成層で、シルト岩を主とする海成層である竜の口層により整合に覆われる。さらに、竜の口層を陸成層の向山層が不整合に覆い、その上位に砂岩シルト岩の互層を主とする海成層の大年寺層が整合に重なる（北村ほか, 1986）。



図 1. 鯨類化石産出位置図（国土地理院発行・1 万分の 1 地形図「青葉山」を使用）。☆は化石産出地点。Ⓐ, Ⓑは図 3 の柱状図作成地点。左下の黒枠は図 2 のルートマップの範囲を示す。

本標本が産出した竜の口峡谷では、仙台層群のうちの竜の口層および向山層下半部が広く露出するが、仙台層群最下部の亀岡層および竜の口層の基底部付近は露出しないと考えられてきた。亀岡層と竜の口層との境界部は竜の口峡谷より約 2 km 北方の広瀬川河畔の牛越橋～澁橋周辺で確認できる（図 1, 図 3）。そこで本標本の竜の口層内での産出層準を確定させるために竜の口峡谷および広瀬川河畔において、竜の口層下部の層序の対比を目的に地質調査を行った。竜の口峡谷における竜の口層の層序は、永広（1987）によって詳しく報告されている。以下の記述では、永広（1987）によって特徴的な岩相に付された記号（Ts, Tp など）を踏襲して用いることとする。

広瀬川河畔においては亀岡層上部および竜の口層下部が露出している。亀岡層上部は、植物化石を含む陸成のシルト岩からなり、斜交層理が見られる炭質シルト岩を伴い、最上部には亜炭層が挟まれる。これを竜の口層の基底部である層厚約 2 m の粗粒砂岩 Ts が整合で覆い、その上位には、層厚 4～5 m のサンドパイプを含むシルト質砂岩、層厚約 1 m のよく成層したシルト質凝灰岩、層厚 4 m+ の下部に発泡の良い軽石を多く含む凝灰質粗粒砂岩 Tp が順に重なる。

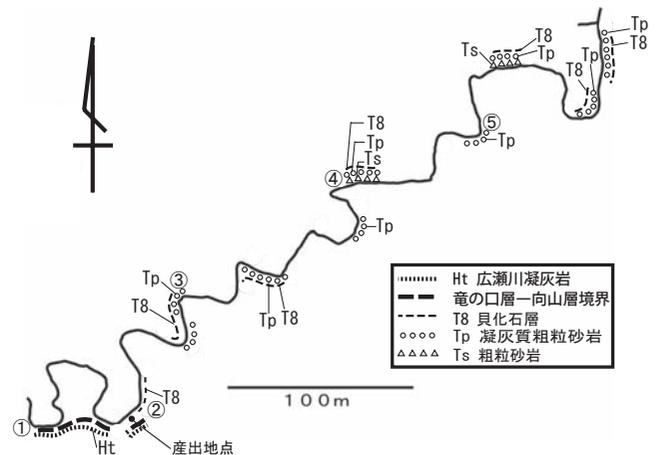


図 2. 竜の口峡谷上流のルートマップ。番号は図 3 の柱状図作成地点を示す。Ht, T8 などは鍵層の分布を示す。

一方、竜の口峡谷では確認できる最下部の岩相（図 3 の柱状図④）は層厚 1m+ の亜炭片を含む砂質シルト岩である。その上位を層厚約 2 m の粗粒砂岩 Ts が整合で覆い、さらに、層厚 4～5 m のサンドパイプを含むシルト質砂岩、層厚 1～3 m のよく成層したシルト質凝灰岩、層厚 4～5 m の下部に発泡の良い軽石を多く含む凝灰質粗粒砂岩 Tp が順に重なる。その上位には層厚約 14 m のシルト質砂岩が見られ、下位より、数 10 cm～約 1 m の厚さの貝化石層 T8, T7,

T6を挟む。これらの貝化石層は竜の口峡谷では側方によく追跡できる。さらに上位にはサンドパイプの発達する砂質シルト岩が約10mの厚さで重なり、これを上位の向山層が不整合で削り込んでいる。

今回の調査において竜の口峡谷と広瀬川河畔における竜の口層下部のTsからTpにかけての一連の岩層が対比可能であることが明らかとなった。これにより、これまで竜の口峡谷において亀岡層と竜の口層の境界は露出しないと考えられてきたが、竜の口峡谷上流域④地点の最下部に見られる亜炭片を含む砂質シルト岩とその上位の粗粒砂岩Tsとの間が竜の口層と亀岡層の境界となると考えられる。また竜の口峡谷における亀岡層と竜の口層の境界の露出が確認されたことにより鯨類化石産出層準の竜の口層における位置づけが明らかとなった。この鯨類化石は、貝化石層T6の直上のシルト質砂岩から産出しており、T6は亀岡層と竜の口層との境界から約22m上位となることを本調査により決定づけることができた。

竜の口層の年代に関しては、柳沢(1990)により宮城県および福島県に分布する竜の口層の珪藻化石層序による再検討の結果が報告されている。これをYanagisawa and Akiba(1998)の珪藻化石層序に対比すると、仙台地域の竜の口層では珪藻化石層序の重要な指標種である*Neodenticula kamtschatica*(Zabelina) Akiba and Yanagisawaが全層準から連続的に産出し、かつその子孫種である*Neodenticula koizumii* Akiba and Yanagisawaが産出しないことから、竜の口層はAkiba(1986)の*Neodenticula kamtschatica* Zone(NPD 7B)に相当する。また*Thalassiosira temperei*(Brun) Akiba and Yanagisawaの終産出層準(5.4Ma)は柳沢(1998)により報告されているように竜の口層最下部である可能性が高い。竜の口峡谷周辺の竜の口層の中部層準からも*T. temperei*の産出が報告されているが(柳沢, 1990)、産出個体がきわめて少数であり、再堆積したものと判断されること、さらに珪藻に関して2つ以上の鍵となるタクサが産出しないと正確な年代は言及しにくい(以上、柳沢、私信)点を踏まえると、竜の口層はYanagisawa and Akiba(1998)の*Thalassiosira oestrupii* Subzone(NPD 7Bb)の最下部付近に相当すると考えられる。柳沢(1990)の結果を本調査に当てはめると、*T. temperei*の確実な終産出層準は竜の口層下部の凝灰質粗粒砂岩(Tp)の約2m下位に相当し、この部分の年代は鮮新世の始まり(5.3Ma)よりやや古い。これらのことから仙台地域の竜の口層の年代は後期中新世末から前期鮮新世初期に相当すると判断される。

ところで、岩手県北上市で「本畑層」と呼ばれてきた地層の下部を構成する海成層は、大石ほか(1996, 1998)によって再検討され、奥州市前沢で鯨類化石を産出した油島層と呼ばれてきた地層をも含めて統一的に竜の口層と呼ぶことが提唱されたが、北上市の竜の口層の珪藻化石層序による年代も模式地の竜の口層の年代と整合的である(柳沢, 1998)。

上記の議論から、ここで報告する本標本の産出層準の年代は前期鮮新世と考えられる。

鯨類化石の産状

本標本は、ほぼ河床面の高さに胸椎から頭骨先端までが仰臥位でよくそろった状態で産出した(図4)。同一個体の骨格からなると判断されるが、体肢骨格は発見されていない。各部位は、破損している部分があるものの、全般的に保存良好といえる。産出部位を表1に、産状図を図5に示した。この産状図は、野外における産状とは上下を逆転させた状態で示されている。

吻部は先端から約20cmの位置で折れ、約90°の角度をなして頭蓋のレベルより約30cm下に位置するように変形していた。産状図では吻先端を復元して平面状に描いた。椎骨は第4胸椎までは正中線上にほぼ直線状に並ぶが、それより後方では体軸の右方へとずれるように配置していた。また、第4胸椎を中心とした前後の胸椎は他の椎骨および頭蓋と比較して波状に盛り上がり、10cm程度高い位置に配置していた。右肋骨は最前部から後方へ向けて生息時の配列をほぼ保存していたが、左肋骨は背腹方向に重なるように配置し、生息時の配列は乱されていた。これらの骨格全体の産状から、本標本は前後方向に圧縮を受けるようにして埋積されたと推定される。

次に、各部位ごとに頭骨、下顎骨、椎骨、肋骨の順で産状を述べる。頭骨は前上顎骨、上顎骨、鼻骨、前頭骨、頭頂骨、鱗状骨、上後頭骨、そして鼓室胞などが保存されていた。前述したように、吻部は約30cmの高低差をともなつて折れているが、右吻部の先端部は完全に保存されている。上後頭骨は前後方向の圧縮の影響を受けて多少つぶれており、中央部が凹むような状態になっている。

下顎骨は、野外観察では頭骨の正中線に直交するような向きで、頭骨中央部の上に保存されていた(図4)。しかし、下顎骨の保存状態は悪く、関節部は欠損している。

環椎は頭骨に関節し、7個の頸椎から第6胸椎までが連続的に並んで産出した。第7胸椎は第5胸椎とやや離れて産出したが、第7胸椎から第11胸椎までは体軸の右側に移動していた。椎骨の配列順序は生息時のまま保存されていた。胸椎は後方に向かうにつれて徐々に椎体の左側を下方に向け、第6胸椎より後方の胸椎は全て右横突起が失われている。また、第11胸椎については左横突起と関節突起のみが保存されていた。

肋骨は胸部が極度に開いたような状態で産出した。右肋骨は生体時の配列をほぼ保存するように並んでいた。右肋骨の数本については肋骨体が互いに交差して産出したので、各肋骨の正確な順序は主に肋骨の肋骨頭、肋骨頸、肋骨結節からなる胸椎との関節部の配列序から決定した。他の9本とは逆向きで産出した2本の肋骨は肋骨体の断面形と曲

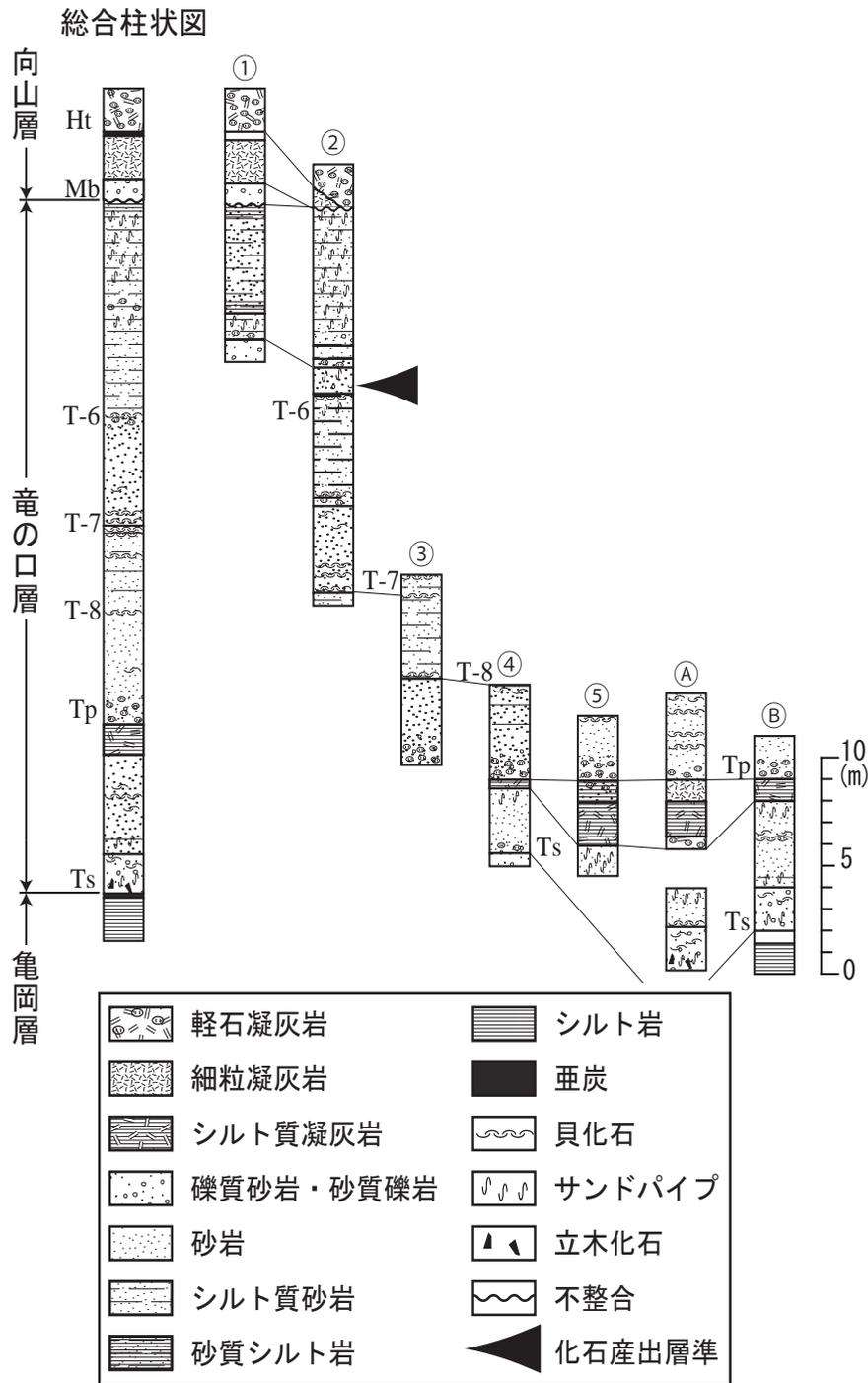


図3. 仙台市竜の口峡谷および広瀬川河畔の柱状図.

率から、それぞれ第1肋骨、第10肋骨に相当すると判断され、右肋骨は第1～11肋骨までが保存されていると考えられる。一方、左肋骨は生体時の配列が保存されておらず、背腹方向に縦に重なるような産状で産出した。それぞれがどの肋

骨に相当するかは、肋骨頭、肋骨頸、肋骨結節の形態、肋骨体の断面形、曲率などを右肋骨と比較することで推定し、左肋骨については第1～9肋骨までが保存されているものと判断された。

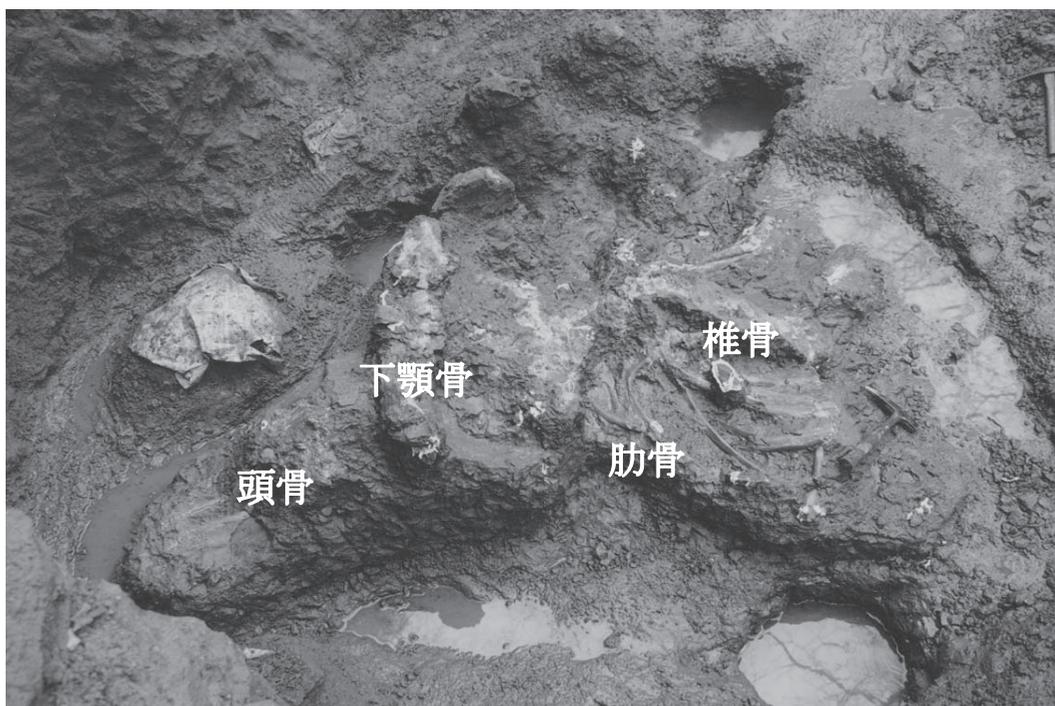


図4. 産出地点での化石発掘時の写真.

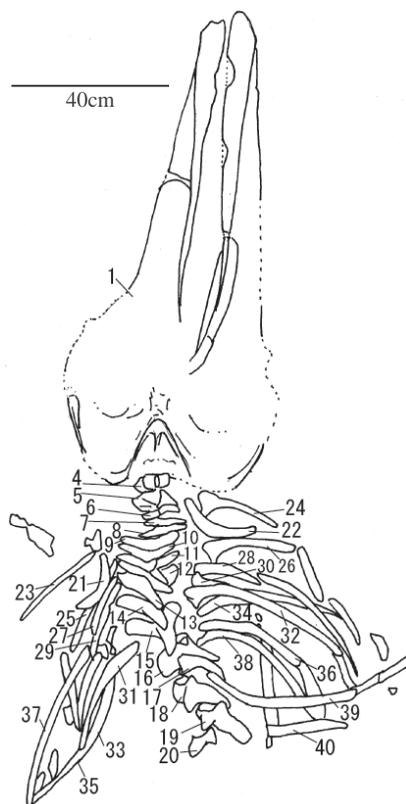


図5. クリーニング後の骨格配置図（背面観）. 番号は表1の骨格番号に対応.

表 1. 本標本 (IGPS 110426) の骨格構成. 1 ~ 40 の数字は図 5 の骨格番号を示す.

	L	R		L	R
Skull		1	Vertebrae Thoracic	VIII	17
Dentary	?	2		IX	18
	Atlas	3		X	19
	Axis	4		XI	20
	III	5		I	21
	Cervical IV	6		II	23
	V	7		III	25
	VI	8		IV	27
	VII	9		V	29
Vertebrae	I	10	Ribs	VI	31
	II	11		VII	33
	III	12		VIII	35
	Thoracic IV	13		IX	37
	V	14		X	-
	VI	15		XI	-
	VII	16			40

鯨類化石の古生物学的記載

鯨目 Order Cetacea Brisson, 1762

ヒゲクジラ亜目 Suborder Mysticeti Flower, 1864

ケトテリウム科 Family Cetotheriidae Brandt, 1872

Herpetocetus Van Beneden, 1872

Herpetocetus sp.

標本. - IGPS 110426, 鼓室胞を含む頭骨, 下顎骨, 椎骨, 肋骨.

産地. - 宮城県仙台市太白区竜の口峡谷上流, 万助沢との合流点から南西方約 300 m の地点の右岸の河床付近.

層準と年代. - 竜の口層の基底より 22 m 上位の砂質シルト岩から産出し, その層準の年代は前期鮮新世である.

標本の記述. - 頭蓋を中心に, 形態的特徴を予察的に述べる. 前頭骨の眼窩上突起は眼窩間域から外側下方へ傾斜している. 上後頭骨の外形はやや広い三角形を呈する. また, 頭頂部はやや凸であり, 吻先端から頭頂部を横から見ると, 浅い凹をなす. 頭骨の長さは 1250 mm, 幅は 540 mm である.

本標本の右の鼓室胞は, 前端から後端までが保存されているが, 外唇は腹側面から外側面まで欠損している. 外形は先細りのおおむね卵型で, main ridge が en échelon 構造を示し, involuclal ridge が見られる. Dorsal posterior prominence ははっきりと膨らみ, involuclal elevation が存在し, tympanic cavity が深い. 長さは, 右鼓室胞で 73 mm, 左鼓室胞は 75 mm である.

本標本の椎骨は第 11 胸椎までが連続的に産出した. 骨端

はすべて癒合している. 肋骨は 11 対までの存在が確認できることから, 椎骨式は, 頸椎 Ce (7) + 胸椎 Th (11 +) と判断される. この椎骨式は, Ce (7) + Th (14) + Lu (8+) と報告された前沢産の標本 NSM-PV 19540 (長谷川ほか, 1985) と整合的である. なお, その後の検討で, NSM-PV 19540 の胸椎は Th (13) であることがわかっている (Oishi, 2010MS).

産出の意義

1) 本標本は, 竜の口層の模式地の竜の口峡谷から産出したことで産出層準が明確であり, 詳細な時代論が可能であることから重要である. *Herpetocetus* の標本で最も保存がよい NSM-PV 19540 の岩手県奥州市前沢区の産出地点では, 竜の口峡谷のように連続した層序が得られず, 現在は露頭が存在しない.

2) 本標本が産出したシルト岩のように細粒碎屑物からなる海底面は滑らかであり, 通常化石は大きな変形を受けないと考えられる. それに対し, 上述のように前後方向に圧縮を受けたような産状から判断すると, 本標本は埋積時に何らかの物理的な作用を受けたものと推察される. 本標本の産地の露頭観察では, 本標本を含むシルト岩には海底地すべりなどを示す堆積構造は見られないため, この変形を生じた原因は現時点では不明である.

一方, 本標本は仰臥位を呈し, 連続して産出した肋骨は胸部が開いたような配列を示す. 前沢産のケトテリウム科鯨類 NSM-PV 19540 (長谷川ほか, 1985), ナガスクジラ科鯨類 IPMM 40063 (大石ほか, 1985), 一関産ケトテリウム

科鯨類 IPMM 43549 (大石, 1987; 大石, 1997) の産状図を見ると, NSM-PV 19540 のように仰臥位であったり, IPMM 40063, IPMM 43549 のように伏臥位または側面を下にした姿勢であっても, 肋骨が開いた配置になっている。本標本 IGPS 110426 についても仰臥位で肋骨が開いた配置になっている。これは軟組織が完全に腐敗する前に海底に着底して胸部が腐敗によるガスなどで開いた可能性を示している。

本標本における前記の前後方向の圧縮と肋骨の配列との関係についての明解な解釈はいまのところ困難だが, 本標本は鯨類化石のタフォノミーを考察する上での興味深い情報を提供しているといえる。

3) 本標本は, 上顎骨, 下顎骨とも機能歯を有していないことから, ヒゲクジラ亜目に所属する。また, 前頭骨の眼窩上突起は, 眼窩間域から外側下方へと緩く傾斜する。これは, 本標本が広い意味でのケトテリウム科に属することを示している。

ケトテリウム科 Family Cetotheriidae Brandt, 1872 は, 前頭骨が緩やかに傾斜することなどで定義されてきたが (Miller, 1923; Kellogg, 1928), これはナガスクジラ科などの現存する科の鯨類がもたない原始的形質である。ケトテリウム科には Kellogg (1928) のリストによれば 20 の属が含まれ, これを 2~3 のグループに分けることが試みられたこともあったが (Cabrera, 1926; Kellogg, 1928, 1934), ケトテリウム科のあるものは将来別の科グループ分類群に移される可能性が示唆され (Barnes and McLeod, 1984), ケトテリウム科には系統の異なるいくつかのグループが存在するために側系統群であることが指摘されるようになった (Fordyce and Barnes, 1994)。そして Fordyce and de Muizon (2001) は, ケトテリウム科は *Cetotherium rathkii* Brandt, 1843 に近縁ないくつかの種に限定され, いわゆるケトテリウム類の他の種は再分類されるだろうと述べた。Kimura and Ozawa (2002) は, ケトテリウム科が側系統群であることをはじめ分岐分類学的系統解析で示したが, その後のいくつかの系統解析でも, ケトテリウム科鯨類が側系統群であることが示されるようになった (Geisler and Sanders, 2003; Dooley et al., 2004; Deméré et al., 2005)。そして, Bouetel and de Muizon (2006) や Steeman (2007) は共有派生形質に基づいて単系統のケトテリウム科を再定義した。さらに, Whitmore and Barnes (2008) は, 北米東岸の *Herpetocetus transatlanticus* と北米西岸の *Herpetocetus bramblei* を新種として記載する中で, 狭い意味でのケトテリウム科をケトテリウム亜科 Subfamily Cetotheriinae Brandt, 1872 sensu Whitmore and Barnes, 2008 とハーペトケタス亜科 Subfamily Herpetocetinae Whitmore and Barnes, 2008 に分けたが, 科を構成する属は, Bouetel and de Muizon (2006), Steeman (2007) とともに, 少しずつ異なっている。

本標本が狭い意味でのケトテリウム科に含まれるかどうか

かの議論とハーペトケタス亜科の意義への言及については, 今回の予察的な報告では保留する。

本標本の鼓室胞は, 仙台市の竜の口層から Hatai et al. (1963) によって新属新種として報告され, 後に Oishi (2010 MS) により *Herpetocetus sendaicus* のレクトタイプとして指定された鼓室胞標本 IGPS 78423 に, 次のような特徴から極めてよく類似している: 1) 外形は先細りのおおむね卵型である, 2) main ridge が en échelon 構造を示す, 3) involucre ridge が見られる, 4) dorsal posterior prominence がはっきりと膨らんでいる, 5) involucre elevation が存在する, 6) tympanic cavity が深い。本標本の鼓室胞と IGPS 78423 は大きさもほぼ同程度で, 両者に形態的に著しく異なる点を見出すことはできない。したがって, Oishi and Hasegawa (1995) の記載も参考にして判断すると, 本標本は *Herpetocetus sendaicus* と同種である可能性が高い。

Hatai et al. (1963) によって報告された *Mizuhoptera sendaicus* は鼓室胞のみの記載からなり, 分類上重要な頭蓋の情報が不明であることは大きな問題であった。NSM-PV 19540 や IPMM 43549 は鼓室胞を伴うほぼ全身骨格からなり, これらが *Herpetocetus* 属の派生形質と考えられる特徴を示す下顎骨と *Mizuhoptera sendaicus* に非常に良く類似する鼓室胞をもつことから, *Mizuhoptera* 属が *Herpetocetus* 属のシノニムである可能性が指摘されてきた (長谷川ほか, 1985; 大石, 1987; Oishi and Hasegawa, 1995 など)。しかし *Mizuhoptera sendaicus* は, オーストラリアから鼓室胞のみで記載された *Cetotolites* McCoy, 1879 の種を Fordyce (1988) が疑問名にしたように, 比較の対象から除外すべきなのか, あるいはそうでない場合に NSM-PV 19540 や IPMM 43549 は IGPS 78423 と比較してどのような形質をもって同種とすべきなのか, あるいは別種なのかについて, 解決しておく必要があった。この問題については, *Mizuhoptera sendaicus* を無資格名として, NSM-PV 19540 を新種にすべきだと言明するような試行錯誤もあったが (大石・長谷川, 1997), 模式種の *Herpetocetus scaldiensis* や新たに記載された *Herpetocetus transatlanticus* との直接の比較, ならびに NSM-PV 19540 や IPMM 43549, 佐々木 (1989) の標本などの詳細な検討により, IGPS 78423 が種の標徴をもつことが見出されるようになり, 分類上の問題はほぼ解決したと考えられる (Oishi, 2006, 2008, 2010MS; 大石, 2007, 2008)。

今回報告する本標本 IGPS 110426 については, 種名までを言明するためには前記と同様な検討を経た包括的な論証をする必要があることから, 今回は予察的記載にとどめて *Herpetocetus* sp. とし, 将来あらためて本標本独自の情報をも含めた詳細な記載を行う予定である。

Whitmore and Barnes (2008) により新種として報告された *Herpetocetus transatlanticus* および *Herpetocetus*

bramblei は、不完全な頭骨、すなわち鱗状骨や底後頭骨、前頭骨の一部などからなり、*Herpetocetus bramblei* の下顎骨も *Herpetocetus scaldiensis* に特徴的な筋突起や関節突起、下顎角が保存されていないことから、*Herpetocetus* に同定するには、以下に示す問題も含めて考えると、困難があったと推測される。

前記の問題もさることながら、そもそも *Herpetocetus* をはじめとするベルギーのアントワープから記載された鯨類化石は、命名規約上の大きな問題をはらんでいる。これらの鯨類化石は 1860 年代のアントワープの要塞工事で兵士によって発掘された (Whitmore, 1994)。このことについては、Deméré *et al.* (2005) が詳述している。それによると、学術的な発掘ではなかったうえに、標本収集にあたった研究者 (Du Bus) と記載者 (Van Beneden) が異なっていたことで不十分な情報伝達のもとに、循環論法や先入観で記載され、模式指定がないなどのために、多くの学名が命名規約上の不確かさをかかえるようになった。その問題の解決方法として、1) レクトタイプを指定して包括的な再検討を行うか、2) Van Beneden のすべての分類群を疑問名とみなすかが考えられると Deméré *et al.* (2005) は述べている。*Herpetocetus scaldiensis* の標本群については、本質的に異なる組み合わせからなり、Deméré らの直接の標本の検討では、鼓室胞と頭骨の一部は、独特の *Herpetocetus* 型の下顎骨をもつ同じ分類群には所属しないことは明らかであると述べられている。では何をもって *Herpetocetus* とするのかという問題については、Deméré *et al.* (2005) は “nomenclatural nightmare” と嘆いている。

筆者のひとりの大石は、1996 年 2 月に Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique を訪れた際に、*Herpetocetus scaldiensis* として記載された鼓室胞が *Burtinopsis* のそれであることを見出し、Pierre Bultynck 古生物学部長のご教示で Abel (1938) が *Herpetocetus scaldiensis* のレクトタイプを指定していることを知った (大石・長谷川, 1997)。Deméré *et al.* (2005) は Abel (1938) のレクトタイプ指定には言及していない。少なくとも、*Herpetocetus* 属については、*Herpetocetus scaldiensis* のレクトタイプと竜の口層産 *Herpetocetus* によってその全体像を知ることができ (大石, 1998)、このことから標本の寄集の問題は整理できる。なお、Whitmore and Barnes (2008) は Abel (1938) が示したタイプに基づいて記載しているが、「この研究の目的のひとつが *Herpetocetus scaldiensis* のレクトタイプを指定することだ」という矛盾した表現が残されている (Whitmore and Barnes, 2008, p. 142)。

本標本のような頭骨を含む新たな標本の産出は、このような分類学上の問題についての議論を進める上で大きな意義をもたらすであろう。

4) 本標本の頭蓋の幅は 540 mm で、NSM-PV19540 の 400 mm (長谷川ほか, 1985) の 1.35 倍の大きさである。ま

た、産出した椎骨の骨端はすべて癒合しており、成体と考えられる。前沢産の NSM-PV 19540 の椎骨は骨端が分離するものが多いことから (長谷川ほか, 1985)、未成熟個体と見なされる。また、大石 (1987) は平泉産の下顎骨 IPMM 43551 はやや大型で同種の成体であると述べ、竜の口層からは年齢の異なる 4 個体の標本が存在しているという (大石, 2008)。本標本は、成体の頭蓋をもつことから分類上有用な形質の抽出が可能と期待される。また、一般に未成熟個体をホロタイプとした場合、後に発見された成体との比較が困難になる可能性がある。本標本が既知の日本の *Herpetocetus* と同種だとすると、成長段階について議論を進めることができるばかりでなく、既知の標本に欠けている部分の検証もできる。一般に、大型脊椎動物化石は断片的な 1 つの標本から記載されることが多く、鯨類化石についてもそのような標本の研究から生じる問題が指摘されてきている (大石, 1997; 一島, 2005)。本標本や Oishi (2006, 2008)、大石 (2008) で検討が進められている竜の口層産 *Herpetocetus* については、標本個体数が多くなることで、個体変異に留意した確かな分類が可能となる (Oishi, 2010 MS)。

5) Barnes (1984) によって指摘されているように、現世の鯨類では大型種は世界中に分布を拡大する一方で、小型種の生息域は強い地域性を示す傾向にある。世界的な環境変化や地域的な地理要因が鯨類の進化に影響を与えてきたといわれることから (Fordyce and Barnes, 1994; Fordyce and de Muizon, 2001)、広く北半球各地で産出している比較的小型の化石属である *Herpetocetus* 属に分類される種も、地域性が強かった可能性がある。現在までに *Herpetocetus* 属は日本付近の北西太平洋の他に、北東大西洋 (Van Beneden, 1872, 1882; Lydekker, 1887)、北東太平洋 (Barnes, 1977; Deméré, 1994; Whitmore and Barnes, 2008)、北西大西洋 (Whitmore and Barnes, 2008) から報告されており、日本の種はこれらの海域の種と形態的に異なることが大石 (1998, 2008)、Oishi (2008) などによって指摘されている。同属異種間での地域的な形態差異や生息環境の違いについて検討することは、鯨類の進化について古動物地理学的観点から考察する上でも重要であると考えられる。

Oishi and Hasegawa (1995) は、大石ほか (1996, 1998) により竜の口層とされた油島層を含む竜の口層全体から知られる鯨類の 48% が *Herpetocetus* であると述べている。本標本の発見により、*Herpetocetus* がさらに 1 個体追加されることになる。*Herpetocetus* は内湾に定住した可能性が指摘されているが (Oishi, 2008; 大石, 2008)、本標本もこれを傍証する材料になる可能性がある。なお、木村ほか (1994)、篠原 (2007, 2008) によれば、竜の口層と同時代で同様の環境にあったと考えられる北海道沼田町の深川層群幌加尾白利加層から、Whitmore and Barnes (2008) のハーペトケタス亜科に含まれる *Nannocetus* sp. と *Herpetocetus* sp. など

のケトテリウム科鯨類の産出が示唆されているが、このことは将来の古動物地理学的考察を進めるためにも興味深い。

まとめ

本報告の鯨類化石標本は、仙台市の竜の口峡谷に分布する中新統最上部から鮮新統最下部にわたる竜の口層から産出した。本標本の産出層準は下部鮮新統と考えられる。本標本は鼓室胞・耳周骨を含む頭骨、椎骨および肋骨からなり、保存状態の良好な同一個体の標本である。

本標本の頭蓋はケトテリウム科の特徴を示し、鼓室胞は Oishi (2010 MS) により *Herpetocetus sendaicus* のレクトタイプとして指定された、仙台市の竜の口層産標本 (IGPS 78423) とよく類似した形態学的特徴を呈する。

本標本は Oishi (2010 MS) で用いられた標本では保存されていない部位の保存も確認されており、近年進むケトテリウム科の再分類の中での *Herpetocetus* 属の位置づけを明確にする上でも有用な標本であることが期待できる。

また本標本は形態学的特徴から、前沢産の NSM-PV 19540 などと分類学的に密接な関係があると考えられるが、両者では成長段階が異なっている。このことから、本標本は個体成長についての考察を行う上でも非常に有用な情報が得られると考えられる。さらに、*Herpetocetus* 属は日本以外にも、北米やヨーロッパから産出報告があり、同属異種間の地域的な形態変異や生息環境の共通性や違いなどについての検討も可能であり、このことは古動物地理学的な比較検討を行う上でも非常に重要であると考えられる。このように、本標本は鯨類の進化を考察する上で様々な視点から多くの情報が得られる可能性が高い貴重な標本の一つであると考えられる。

謝辞

島本昌憲氏には研究全般に関して様々なご助言・ご支援をいただいた。東北大学理学研究科地学専攻技官の根本潤氏には化石の発掘・クリーニング作業など様々な面でご協力いただいた。東北大学理学研究科地学専攻の中森亨准教授には地質調査に際してご支援いただいた。東北大学理学部地圏環境科学科の御前明洋氏（現北九州市立自然史・歴史博物館）、長谷川精氏（現北海道大学大学院理学研究院）には発掘、クリーニング作業においてご協力をいただいた。仙台産業振興事務所林業振興部の成田史苗氏には化石産出地への立入許可、保安林伐採許可等の諸手続についてご指示、便宜をはかっていただいた。また、紅久（株）には化石産出地点および化石搬出時のルート確保に際し立入許可をいただいた。（株）桜井建設の方々には標本発掘に際しての危険を伴う作業への多大なるご協力をいただいた。京都大学理学研究科地球惑星科学専攻の松岡廣繁氏にはレブリ

カノ作成をご指導いただいた。東北大学理学部地圏環境科学科の学生・院生の皆さんには、標本発掘に際して多大なるご協力をいただいた。

鯨類化石の分類を考察するにあたっては、大石が長谷川善和群馬県立自然史博物館館長と R. E. Fordyce 氏 (University of Otago) に多くのことをご教示いただいた。また、Pierre Bultynck 氏 (Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique) には *Herpetocetus scaldiensis* の標本閲覧について便宜を図っていただき、標本に関しての情報を教えていただいた。東北大学総合学術博物館の永広昌之教授には、粗稿を読んでいただき、有益なコメントをいただいた。

以上の方々、またここに挙げることのできない他の多くの方々にご心よりお礼申し上げます。

引用文献

- Abel, O., 1938. Vorläufige Mitteilungen ueber die Revision der fossilen Mystacoceten aus dem Tertiaer Belgiens. *Bulletin du Musée royal d'Histoire naturelle de Belgique*, **14**, 1-34.
- Akiba, F., 1986. Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. In Kagami, H., Karig, D. E., Coulbourn, W. T., et al., *Init. Rep. Deep Sea Drilling Project*, U. S. Govt. Printing Office, Washington D. C., **87**, 393-480.
- Barnes, L. G., 1977. Outline of eastern North Pacific fossil cetacean assemblages. *Systematic Zoology*, **25**, 321-343.
- Barnes, L. G., 1984. Whales, dolphins and porpoises: origin and evolution of the Cetacea. In Broadhead, T. W., ed., *Mammals. Notes for a Short Course Organized by P. D. Gingerich and C. E. Badgley*, University of Tennessee, Department of Geological Sciences, Studies in Geology, 139-154.
- Barnes, L. G. and McLeod, S. A., 1984. The fossil record and phyletic relationships of gray whales. In Jones, M. L., Swartz, S. L., and Leatherwood, S., eds., *The Gray Whale, Eschrichtius robustus*, Academic Press, Inc., 3-32.
- Bouetel, V., 2005. Phylogenetic implications of skull structure and feeding behavior in balaenopterids (Cetacea, Mysticeti). *Journal of Mammalogy*, **86**, 139-146.
- Bouetel, V. and de Muizon, C., 2006. The anatomy and relationships of *Piscobalaena nana* (Cetacea, Mysticeti), a Cetotheriidae s.s. from the early Pliocene of Peru. *Geodiversitas*, **28**, 319-395.
- Cabrera, A., 1926. Cetáceos fósiles del Museo de la Plata. *Revista Museo de La Plata*, **29**, 363-411.

- 鎮西清高, 1963. 東北日本の新第三紀貝化石群の変遷. 化石, **5**, 20-26.
- Deméré, T. A., 1994. Two new species of fossil walrus (Pinnipedia: Odobenidae) from the Upper Pliocene San Diego Formation, California. In Betra, A. and Deméré, T. A. eds., *Contributions in Marine Mammal Paleontology Honoring Frank C. Whitmore, Jr., Proceedings of the San Diego Society of Natural History*, **29**, 77-98.
- Deméré, T. A., Berta, A., and McGowen, M. R., 2005. The taxonomic and evolutionary history of fossil and modern balaenopteroid mysticetes. *Journal of Mammalian Evolution*, **12**, 99-143.
- Dooley, A. C. Jr., Fraser, N. C., and Luo, Z.-X., 2004. The earliest known member of the rorqual-gray whale clade (Mammalia, Cetacea). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **24**, 453-463.
- 永広昌之, 1987. III 竜の口峡谷のルートマップと柱状図. 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(仙台市地形区分図・仙台市地質図説明書), 29-32.
- Fordyce, R. E., 1988. Taxonomic status of Victorian fossil whales assigned to the genus *Cetotolites* McCoy, 1879. *Memoirs of the Museum of Victoria*, **49**, 59-65.
- Fordyce, R. E., 2002a. Cetacean evolution. In Perrin, W. F., Würsig, B., and Thewissen, J. G. M., eds., *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press, 214-220.
- Fordyce, R. E., 2002b. Fossil record. In Perrin, W. F., Würsig, B., and Thewissen, J. G. M., eds., *Encyclopedia of Marine Mammals*. Academic Press, 453-471.
- Fordyce, R. E. and Barnes, L. G., 1994. The evolutionary history of whales and dolphins. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **22**, 419-455.
- Fordyce, R. E. and de Muizon, C., 2001. Evolutionary history of cetaceans: a review. In Mazin, J.-M. and de Buffrénil, V. eds., *Secondary Adaptation of Tetrapods to Life in Water*, 169-233.
- Geisler, J. H. and Luo, Z.-X., 1996. The petrosal and inner ear of *Herpetocetus* sp. (Mammalia: Cetacea) and their implications for the phylogeny and hearing of archaic mysticetes. *Journal of Paleontology*, **70**, 1045-1066.
- Geisler, J. H. and Sanders, A. E., 2003. Morphological evidence for the phylogeny of Cetacea. *Journal of Mammalian Evolution*, **10**, 23-129.
- 長谷川善和・野刈家宏・佐藤二郎・大石雅之, 1985. Part III. 前沢町生母産鯨類化石第1標本. In 大石雅之・小野慶一・川上雄司・佐藤二郎・野刈家宏・長谷川善和, 岩手県胆沢郡前沢町生母から産出した鮮新世ひげ鯨類化石と骨質歯鳥類化石 (Parts I-VI), 岩手県立博物館研究報告, **3**, 148-150. pl. 2.
- Hatai, K., Hayasaka, S., and Masuda, K., 1963. Some fossil tympanics from the Mizuho period of northern Japan. *Saito Ho-on Kai Musium of Natural History Research, Bulletin*, **32**, 5-17.
- 一島啓人, 2005. いくつかの日本産鯨類化石の再検討一起源の時期と古生物地理の観点から. 福井県立恐竜博物館紀要, **4**, 1-20.
- 岩井淳一, 1949. 仙台付近の新生代層. 地球科学, **1**, 23-27.
- Kellogg, R., 1928. The history of Whales-their adaptations to life in the water. *Quarterly Review of Biology*. **3**, 29-76, 174-208.
- Kellogg, R., 1934. The Patagonian fossil whalebone whale, *Cetotherium moreni* (Lydekker). *Carnegie Institution of Washington, Publication*, **447**, 64-81, 4 pls.
- 木村方一・前田寿嗣・山下 茂・古澤 仁, 1994. 北海道北空知, 鮮新統の大型海生哺乳類化石. 日本地質学会第101年学術大会見学旅行案内書, 35-42.
- 木村敏之・長谷川善和, 2004. 日本の中新統産ケトテリウム類化石の概要について. 群馬県立自然史博物館研究報告, **8**, 79-88.
- Kimura, T. and Ozawa, T., 2002. A new cetother (Cetacea: Mysticeti) from the Early Miocene of Japan. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **22**, 684-702.
- 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), 地質調査所, 134p.
- Lydekker, R., 1887. The Cetacea of the Suffolk Crag. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, **43**, 7-18.
- 増田孝一郎・小笠原憲四郎, 1981. 大桑・万願寺動物群と竜の口動物群. 軟体動物の研究(大森昌衛教授還暦記念論文集), 223-249, 3 pls.
- Miller, G. S., Jr., 1923. The telescoping of the cetacean skull. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, **76**, 1-71.
- 小笠原憲四郎, 1998. 岩手県鈴鴨川流域の海成下部鮮新統貝類化石. 岩手県立博物館調査研究報告書, **14**, 21-27.
- 大石雅之, 1987. 岩手県一関市および西磐井郡平泉町の鮮新統から産出した鯨類・鰭脚類化石. 岩手県立博物館研究報告, **5**, 85-98, 4 pls.
- 大石雅之, 1997. 鯨類化石—その発見から研究へ—. 地質ニュース, **511**, 34-47.
- 大石雅之, 1998. 北上低地帯, 竜の口層産ヒゲ鯨類 *Herpetocetus* の原始性について. 日本古生物学会第147回例会予稿集, 42.
- Oishi, M., 2006. Pliocene *Herpetocetus* and *Burtinopsis* from Northeast Japan as valuable resources for elucidating evolutionary history of mysticetes. *Abstracts of Papers, Sixty-sixth Annual Meeting, Society of Vertebrate*

- Paleontology*, 107A.
- 大石雅之, 2007. 鯨類古生物学の研究過程における現生生物研究の一例 ~ 2003年に新種として報告されたツノシマクジラを中心に~. 岩手の地学, **37**, 3-17.
- Oishi, M., 2008. The Pliocene *Herpetocetus* as relict and endemic animals in primitive mysticete whales. In Kohno, N., ed., *Fifth Conference on Secondary Adaptation of Tetrapods to Life in Water, Abstracts*, National Museum of Nature and Science, Tokyo, Japan, June 9-13 2008, 56.
- 大石雅之, 2008. 北上低地帯, 竜の口層産ヒゲクジラ類化石, *Herpetocetus* とその古生物学的意義. 日本セトロゾー研究会第19回(金沢)大会発表要旨集, 16.
- Oishi, M., 2010 MS. Pliocene small mysticetes, *Herpetocetus* and *Burtinopsis* from Northeast Japan: Their morphology, taxonomy, systematics, and paleozoogeography. *Doctoral thesis of Institution of Geology and Paleontology of Science department at Tohoku University, Japan*.
- Oishi, M. and Hasegawa, Y., 1995. Diversity of Pliocene mysticetes from eastern Japan. *The Island Arc*, **3**, 436-452.
- 大石雅之・長谷川善和, 1997. 北上低地帯産 *Herpetocetus* 属("ケトテリウム科"; ヒゲ鯨亜目)の1新種. 日本古生物学会第146回例会予稿集, 41.
- 大石雅之・長谷川善和・川上雄司, 1985. Part IV. 前沢町生母産鯨類化石第2標本. In 大石雅之・小野慶一・川上雄司・佐藤二郎・野川家宏・長谷川善和, 岩手県胆沢郡前沢町生母から産出した鮮新世ひげ鯨類化石と骨質歯鳥類化石 (Parts I-VI), 岩手県立博物館研究報告, **3**, 150-154. pl. 3.
- 大石雅之・吉田裕生・金光男, 1998. 北上低地帯, 和賀川・夏油川流域の鮮新・更新統. 岩手県立博物館調査研究報告書, **14**, 5-20.
- 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.
- Pilleri, G. and Siber, H. J., 1989. Neuer spättertiärer Cetotherid (Cetacea, Mysticeti) aus der Pisco-Formation Perus. In Pilleri, G., ed., *Beiträge zur Paläontologie der Cetaceen Perus*. Hirnanatomisches Institut, Ostermundigen, 108-115, 3 pls.
- 佐々木隆, 1989. 竜の口峡谷からのヒゲクジラ化石(発掘記). 仙台市科学館時報, (21), 18-21.
- 篠原 暁, 2007. 北海道沼田町の上部中新統より産出したケトテリウム科クジラの耳骨について. 日本古生物学会2007年年会予稿集, 16.
- 篠原 暁, 2008. 北海道沼田町の下部鮮新統より新たに見つかった鯨類化石と鮮新世哺乳動物相. 日本古生物学会第157回例会予稿集, 43.
- Steeman, M. E., 2007. Cladistic analysis and a revised classification of fossil and recent mysticetes. *Zoological Journal of the Linnean Society*, **150**, 875-894.
- Van Beneden, P. J., 1872. Les baleines fossiles d'Anvers. *Bulletin de l'Académie Royale des Sciences Belgique [2]*, **34**, 6-20.
- Van Beneden, P. J., 1882. Description des Ossements Fossiles des Environs d'Anvers. Pt. 3. Genres: *Megaptera*, *Balaenoptera*, *Burtinopsis* et *Erpetocetus*. *Annales du Musée Royal d'Histoire Naturelle de Belgique. Série Paléontologique*, **7**, 1-90, pls. 40-109.
- Whitmore, F. C., Jr., 1994. Neogene climatic change and the emergence of the modern whale fauna of the North Atlantic Ocean. In Berta, A. and Deméré, T. A. eds. *Contributions in Marine Mammal Paleontology Honoring Frank C. Whitmore, Jr., Proceedings of the San Diego Society of Natural History*, **29**. 223-227.
- Whitmore, F. C. Jr. and Barnes, L. G., 2008. The *Herpetocetinae*, a new subfamily of extinct baleen whales (Mammalia, Cetacea, Cetotheriidae). *Virginia Museum of Natural History, Special Publication*, **14**, 141-180.
- 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. 岩手県立博物館調査研究報告書, **14**, 29-36.
- Yanagisawa, Y. and Akiba, F., 1998. Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons. *Journal of the Geological Society of Japan*, **104**, 395-414.