

平成 21 年 6 月 15 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2005～2008

課題番号：17340156

研究課題名（和文）歯の微小磨耗痕および安定同位体と微量元素に基づいた束柱類の食性復元

研究課題名（英文）Reconstruction of the dietary preferences of desmostylians based on microwear, stable isotope and trace element analyses.

研究代表者

甲能 直樹 (KOHNO Naoki)

国立科学博物館・地学研究部・研究主幹

研究者番号：20250136

研究成果の概要：子孫を残さず絶滅してしまった海生哺乳類の束柱類について、歯の微小磨耗痕、炭素・酸素の安定同位体およびストロンチウムなどの微量元素の組成から食性の推定を試みた。その結果、束柱類は(1)汽水域で小動物もしくは植物を摂食していたこと、(2)束柱類を代表するデスモスチルスは、吸引索餌によって小動物を摂取していたことなどが明らかになった。また、デスモスチルスの特異な柱状歯は、吸引の際に顎を固定する支柱として機能したことを、初めて合理的に説明した。

交付額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	9,500,000	0	9,500,000
2006年度	2,100,000	0	2,100,000
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
総計	14,300,000	810,000	15,110,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・層位古生物学

キーワード：束柱類, 食性, 微小磨耗痕, 安定同位体, 微量元素

1. 研究開始当初の背景

束柱目(デスモスチルスやパレオパラドキシアの仲間)は、後期漸新世から中期中新世にかけての北太平洋沿岸からのみ知られる海生哺乳類で、デスモスチルス科とパレオパラドキシア科がこの目に含まれる。束柱類の中でも化石記録の豊富なデスモスチルス科のデスモスチルス属とパレオパラドキシア科のパレオパラドキシア属(以下属省略)では、ほぼ同じ時代的分布・地理的分布を持ち、ほぼ等しい体格と基本姿勢を持っていたにもかかわらず、頭蓋と歯の形態はお互いに著しく異なっている。このことから、両種は生息地あるいは生活様式こそ類似していたもの

の、食性についてはその索餌場所や索餌方法から索餌内容に至るまで相当に異なっていたと想像されている。しかしながら、束柱類の食性については、これまで主に歯の形態に基づいて、パレオパラドキシアは雑食性を持った陸上植物の草本食でデスモスチルスは陸上植物の葉食とする考え(井尻・亀井, 1961)、その逆にパレオパラドキシアこそが葉食でデスモスチルスは草本食であったとする反論(Shikama, 1966)、あるいはパレオパラドキシアは海藻食でデスモスチルス属は海草食(Domning, 1978)、またはその逆であったとする修正(Domning et al., 1986)、さらには少なくともデスモスチルス属はと

くに高歯冠の柱状歯であることから底生の軟体動物を圧碎して食べていたとする動物食説 (VanderHoof, 1937) など、相反する諸説が並び立っており、未だ意見の一致を見ていない。このように、束柱類には現生哺乳類に類例のない特異な形態的特徴が多数認められることや、中期中新世末に目全体が絶滅してしまっていることから、彼らの食性推定に関連する諸課題は、哺乳類の古生物学的研究における空白の一つとなっている。

2. 研究の目的

本研究では、デスマスチルスとパレオパラドキシアの頭蓋および下顎骨と多数の歯を材料に用いて、従来の咀嚼における顎運動の機能形態学的復元に加えて、歯の表面に残された微小摩耗痕に基づいて、擦痕と窩痕を定量的・定性的に判別するとともに、食性がわかっている現生哺乳類の歯の微小摩耗痕との間で多変量解析による比較を行なう。加えて、歯のエナメル質の炭酸塩鉱物から炭素・酸素の安定同位体を抽出して、それぞれの元素の安定同位体比から索餌内容と索餌の場を推定し、さらに(3)食物連鎖の中での栄養段階(トロフィックレベル)の指標となるストロンチウムなどの微量元素量を検索することで、これまでのところまったくの謎となっている束柱類の食性、ひいては束柱類の生活史に関して最終的な解答を与えることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究においては、同一地域から産出したサンプルを用いて、食性の直接的な証拠のひとつである歯の表面の微小摩耗痕の分析および炭素・酸素の安定同位体および微量元素分析を行ない、咀嚼系の機能形態、微小摩耗痕のパターン、安定同位体比および微量元素組成のすべてを満足させる食性と摂餌の場を合理的に推定する。推定にあたっては、超深度形状測定装置(デジタル共焦点顕微鏡)により歯に残された微小摩耗痕を三次元的にデータ化し、個体に残された食性と関連する物理的痕跡・化学的痕跡のすべてを検索する。そして、生体に取り込まれて歯の炭酸塩鉱物として固定された炭素・酸素の安定同位体比および微量元素を測定し、これら測定結果を合理的に説明する食物と摂餌の場を示す。具体的には、以下の方法で研究を進めた。

(1) 国立科学博物館に所蔵されているカリフォルニア産のデスマスチルスおよびパレオパラドキシアの歯の標本について、これまでの微小摩耗痕研究の方法論に基づいて、咀嚼面の精密なビニルシリコンモールドを1個体につき2セットを作成するとともに、阿寒町に所蔵されている北海道阿寒町産のデスマスチルスおよびパレオパラドキシアの歯の標本についても同様のビニルシリコンモールドを作成して、歯の微小摩耗痕検

索のための試料とした。ビニルシリコンモールドはすべて国立科学博物館に集積し、微小摩耗痕研究の方法論に基づいて2回目に作成したモールドすべてからポリウレタンキャストを作成した。キャストの観察は、この研究で国立科学博物館に設置した超深度形状測定顕微鏡(VK-8510)および既存の顕微鏡により行ない、それぞれの歯の微小摩耗痕をデジタルデータ化した(図1)。



図1. デジタル顕微鏡による微小摩耗痕の分析

(2) 上記と同様に、米国国立自然史博物館(ワシントンDC)に所蔵されているカリフォルニア産の頭蓋および下顎骨に殖立する類歯のビニルシリコンモールドを作成し、同時に遊離歯についても同様のビニルシリコンモールドを作成した。この間に、それぞれの歯の三次元デジタル画像データの作成、歯種決定と標本の計測を国立自然史博物館内の設備を利用して行なった。

(3) 国立科学博物館のカリフォルニア標本および阿寒町標本から、同位体地球化学的実験のためのサンプルを採取し、同位体分析装置(MAT252)および微量元素分析機器(ICP-AES)を用いて、歯の炭酸塩鉱物から抽出した炭素・酸素の安定同位体比および微量元素の組成を検出した(図2)。分析にあたっては、削り取った歯エナメル質から有機物を取り除き、酸でエッチングし、リン酸と反応させCO₂に変換し同位体分析した。同時に、予め食性が明らかになっている現生の陸生および海生哺乳類について、同様の分析を実施し、化石試料の解析に必要なコントロールデータを作成した。

(4) 最後に、咀嚼系の形態機能学的解析も踏まえて、束柱類の食性復元を行なった。



図2. 炭素・酸素の安定同位体分析(試料の前処理)

4. 研究成果

(1) 臼歯表面の微小磨耗痕を擦痕と窩痕との量比で比較した結果、デスモスチルスでは擦痕が卓越する傾向が強く、パレオパラドキシアでは擦痕と窩痕が混在する傾向を示した。しかしながら、両種共に、現生哺乳類の既知の食性と対応した微小磨耗痕とはまったく一致せず、特定の食性と対応する微小磨耗痕を示さなかった(図3)。

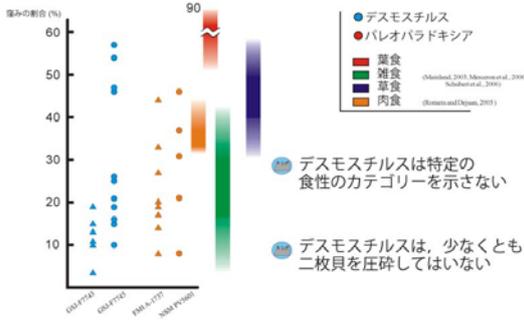


図3. 微小磨耗痕分析の結果

(2) エナメル質の炭素・酸素同位体を分析した結果、デスモスチルスでは $\delta^{13}\text{C} = -6.3\text{‰}$ (S.D.= 1.9), $\delta^{18}\text{O} = 27.7\text{‰}$ (S.D.= 1.2), パレオパラドキシアでは $\delta^{13}\text{C} = -8.7\text{‰}$ (S.D.= 2.3), $\delta^{18}\text{O} = 25.8\text{‰}$ (S.D.= 1.7) の値を示した。

(3) 食性に関する炭素同位体比は、両種共に沿岸に生息する動物あるいは植物を摂食していたと推測される値を示したが、デスモスチルスの値が有意に高く、デスモスチルスとパレオパラドキシアは異なる食物を摂っていたと推定された。

(4) 水環境を反映する酸素同位体比が両種で相違しなかったことから、両種共に同一の水環境を利用していたことが示唆されたが、その標準偏差は淡水の影響を被る環境下で生息していたことを強く暗示していることから、炭素同位体の結果(沿岸の動植物)を踏まえると、両種共に汽水域で生息していたことが推定された(図4)。

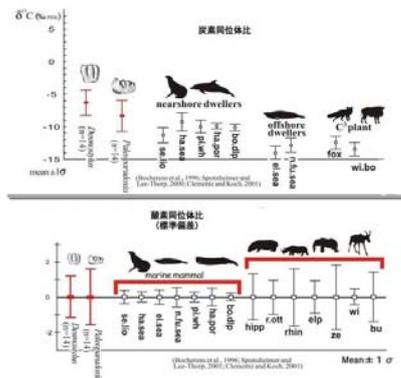


図4. 炭素・酸素同位体分析の結果

(5) 栄養段階を反映していると考えられる微量元素(ストロンチウム)も両種で有意に異なる値を示し、デスモスチルスがパレオパラドキシアよりも相対的に高い栄養段階の食物を摂取していたことが推定された。

(6) 頭蓋形態は、デスモスチルスでは上顎切歯が無く、口腔内で口蓋がアーチ状に窪み、下顎は深く、下顎関節窩は前方を向く。また、上顎と下顎の歯槽縁(歯隙)はお互いに並行して波型を描き、歯槽縁に沿って粗面が走っていることから、歯隙部分では厚い歯肉によって、上下顎間の隙間がほとんどなく、ほとんど閉じられていたと推定された。これらの特徴はデスモスチルスが口腔の容積の拡大に適した形態をもちながら、口腔の開口部の位置と大きさに制限を加えていたことを示しており、セイウチに見られるような吸い込み食をしていた事が推定された。一方、パレオパラドキシアでは口腔内は平らで、横に広い口蓋をもち、下顎関節窩は外側を向き、また、短冊形の切歯を持っており、現生の植物食動物にも広く見られる形態を示した(図5)。

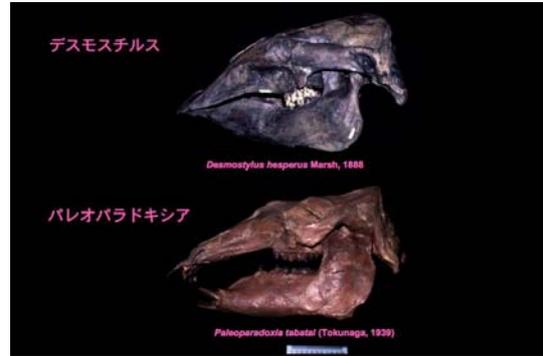


図5. デスモスチルスとパレオパラドキシアの頭蓋形態

(7) したがって、デスモスチルスはパレオパラドキシアよりも高い炭素同位体比を持つ動物食の傾向があり、底生動物などを吸引採餌によって摂食していたと推定された。すなわち、デスモスチルスは水中での吸引行動により索餌を行ない、パレオパラドキシアは水面での切歯を用いた索餌を行っていたことが示唆された。また、微量元素の分析結果からデスモスチルスはパレオパラドキシアよりも栄養段階の高い餌資源を利用していたことが確実なことから、デスモスチルスは潟の底生動物食、パレオパラドキシアは潟の植物食と、同一環境下で異なる食性へと特化していたことが強く暗示された。

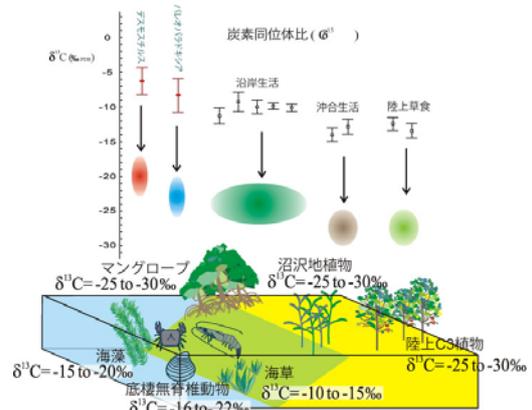


図6. 同位体比からみた束柱類の索餌対象

(8)これらの結果から、東柱類とくにデスマスチルスの類歯の柱状歯化(desmostyodonty)は、咀嚼(圧碎や激しい咬耗)に対する適応として説明されるのではなく、索餌(吸引索餌による顎の安定)に対する適応として合理的に説明された。(9)したがって、デスマスチルスは海岸線という「半陸上」環境に適応した咀嚼の特異な動物であったのではなく、汽水域の「半水中」環境を広く生活域に利用していた索餌の特異な動物であった可能性が高い。必然的に、デスマスチルスひいては東柱類の基本姿勢についても、水底で索餌を行なう水生適応度の高い古生態を前提に復元されるべきであることが強く暗示される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

- (1) Uno, H., Yoneda, M., Taru, H. and Kohno, N. 2008. Dietary preferences of desmostylians based on isotope, microwear and cranial morphology. *Journal of Vertebrate Paleontology*. 28: 180A. 査読有
- (2) Uno, H., Yoneda, M., Taru, H. and Kohno, N. 2006. Estimation of dietary and habitat preferences of *Desmostylus* and *Paleoparadoxia* based on carbon and oxygen stable isotope and trace element analyses. *Journal of Vertebrate Paleontology*. 26: 134A. 査読有

[学会発表](計 9件)

- (1) 甲能直樹・樽 創・鶴野 光・米田 穰。デスマスチルス類(哺乳類:テチス獣類:東柱類)の古生態の復元:形態機能解析。日本古生物学会第158回例会。琉球大学。2009年1月31日
- (2) Uno, H., Yoneda, M., Taru, H. and Kohno, N. Dietary preferences of desmostylians based on isotope, microwear and cranial morphology. 68th Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology. Cleveland, Ohio, USA. 2008年10月14日
- (3) 鶴野 光・米田 穰・樽 創・甲能直樹。同位体・微小磨耗痕・頭蓋形態に基づくデスマスチルス類の食性復元。日本古生物学会2008年年会。東北大学。2008年7月5日
- (4) Uno, H., Yoneda, M., Taru, H. and Kohno, N. Estimation of dietary and bhabitat preferences of *Desmostylus* and *Paleoparadoxia* based on carbon and oxygen stable isotope and trace element analyses. 5th Conference on Secondary Adaptation of Tetrapods to Life in Water. 国立科学博物館。2008年6月10日
- (5) Uno, H., Yoneda, M., Taru, H. and Kohno, N.

Estimation of dietary and bhabitat preferences of *Desmostylus* and *Paleoparadoxia* based on carbon and oxygen stable isotope and trace element analyses. 66th Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology. Ottawa, Ontario, Canada. 2006年10月19日

- (6) 甲能直樹・樽 創・鶴野 光・Flohlich, B. 高解像度X線CTによって明らかにされるデスマスチルス(哺乳類:テチス獣類:東柱類)の歯の特異な交換様式の進化。日本古生物学会第155回例会。京都大学。2006年2月4日
- (7) 鶴野 光・米田 穰・柴田康行・樽 創・甲能直樹。エナメル質の炭素・酸素同位体および微量元素分析に基づく*Desmostylus*と*Paleoparadoxia*(東柱目)の食性と生息環境の復元。日本進化学会第7回大会。東北大学。2005年8月28日
- (8) 樽 創・甲能直樹。歯の微小磨耗痕の観察から推定される東柱類の顎運動。日本古生物学会2005年年会。東京大学。2005年7月2日
- (9) Kohno, N. Evolution of special tooth replacements and displacements in Desmostyilia as revealed by high-resolution X-ray CT. 4th Conference on Secondary Adaptation of Tetrapods to Life in Water. Akron, Ohio, USA. 2005年5月18日

6. 研究組織

(1)研究代表者

甲能 直樹(KOHNO Naoki)

国立科学博物館・地学研究部・研究主幹
研究者番号:20250136

(2)研究分担者

樽 創(TARU Hajime)2005～2007

神奈川県立生命の星地球博物館・学芸部・主任学芸員

研究者番号:50260344

米田 穰(YONEDA Minoru)2007

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号:30280712

(3)連携研究者

樽 創(同上)2008

米田 穰(同上)2008

(4)研究協力者

米田 穰(同上)2005～2006

鶴野 光(UNO Hikaru)2005～2008

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・特任研究員

フロリッチ・ブルーノ(FROHLICH Bluno)2005～2008

米国国立自然史博物館・人類研究部・キュレーター