

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：82617

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540502

研究課題名(和文) 歯の成長線解析と同位体分析に基づく束柱類の季節周期精度での生活史の復元

研究課題名(英文) Reconstruction of life history of *Desmostylus* based on stable isotope analyses along enamel growth lines of molars

研究代表者

甲能 直樹 (KOHNO, Naoki)

独立行政法人国立科学博物館・地学研究部・研究主幹

研究者番号：20250136

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：目のレベルで絶滅してしまった海生哺乳類の束柱類(デスモチルス仲間)の臼歯化石を用いて、歯のエナメル質の成長線に沿った連続試料から、炭素・酸素および微量元素(ストロンチウム)の安定同位体比分析を行なった。その結果、炭素と酸素の同位体比が一定の周期で変動する個体とそうでない個体が存在したことを確認した。このことから、束柱類には飲水の場所を周期的に変える個体が存在したらしいことが推定された。しかしながら、微量元素の変動は顕著ではなく、個体の周期的移動は狭い範囲に留まると推定された。このような同位体比変動の個体差は、デスモチルスが例えば性別によって生活史が異なっていた可能性を暗示している。

研究成果の概要(英文)：We analyzed stable isotope ratios of carbon, oxygen and the trace element (e.g., strontium) from the continuous samplings along the enamel growth lines of molar teeth in *Desmostylus hesperus* that is an extinct marine mammal known only from the Middle Miocene of the North Pacific. Based on our analyses, we confirmed that some individuals had isotope ratios of carbon and oxygen that fluctuated periodically. However, some others did not show the same result. These results suggest that some individuals of *Desmostylus* might have changed a place of absorbing water periodically. In contrast, the fluctuation of the trace element was not remarkable in all the individuals we analysed. It suggests that the periodic movements of individuals remained in small range. It indicates that *Desmostylus* had different life cycle in between, for instance, males and females.

研究分野：哺乳類古生物学

キーワード：古生態学 生活史 安定同位体 微量元素 束柱類 デスモチルス 北西太平洋 北東太平洋

1. 研究開始当初の背景

束柱類(デスモチルスやパレオパラドキシアの仲間)は、後期漸新世から中中新世(およそ3000万年前~1200万年前)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、現生哺乳類に類例のない円柱状の咬頭からなる特異な歯を持ち、頭蓋および体骨格にも他に比類のない形態的特徴が認められる。また、束柱類は現在に子孫を残さず中中新世末に絶滅してしまったことから、この仲間の進化と絶滅に関する諸課題は世界的な興味を呼んできた。

このような背景の下で、申請者は束柱類の中でもとくに形態的特異性の著しいデスモチルス属の古生態を解明すべく、咀嚼系の機能形態学的解析に基づいた束柱類の顎運動の推定と肉眼形態学(形態機能学)・顕微形態学(微小磨耗痕)・同位体地球化学(酸素・炭素の安定同位体比)の統合による束柱類の古生態解明の提案(甲能, 2000)、咀嚼の際に生じる歯の表面の微小磨耗痕の定量化(樽・甲能, 2005)、歯の硬組織の酸素・炭素の安定同位体比および微量元素の分析による食性と生息場所の推定(Uno et al., 2006, 2008, 2010)を行ってきた。これら一連の研究の結果、束柱類の古生態について次のような仮説を立てるに至った。すなわち、デスモチルスは吻端以外が密閉された口腔内で舌の前後運動によって吻端に吸引力を生じさせて索餌を行なうこと、索餌の対象が陸上の動植物や海草あるいは海藻ではなく、底生の無脊椎動物(海生動物食)あるいはそれらが多くの割合を占めたこと、そして極めて興味深いことに、化石のすべてが例外なく浅海層から産出しているのにも関わらず、デスモチルスは淡水の影響を強く受ける環境下に生息していた可能性が強く示唆された(甲能ほか, 2010; 甲能, 2011)。

これらの結果は、デスモチルスが浅海域の海岸線という狭く特殊な環境に生息していたがゆえに特異な形態的特徴を持つに到ったのではなく、汽水域の潟あるいは三角州からさらに上流の淡水域までを広く生活域に利用しながら、吸引食という特異な摂餌様式を進化させて食性を植物食から動物食(あるいは雑食)へと転換した結果、他に類例のない特異な形態を進化させるに至ったことを強く暗示している。一方で、デスモチルスの生活様式の成立過程をより厳密に理解するためには、個体の成長や背景にある古環境変動のみならず、デスモチルス自身の年周期以下(例えば季節周期)の動態を考慮したデスモチルス生活史そのものを細かに明らかにする必要性が生じていた。

2. 研究の目的

本研究ではデスモチルスの歯のエナメル質(歯冠部分)を材料に用いて、申請者自身がこれまでに行なってきた研究(食性と生息地の機能形態学的・同位体地球化学的復元)に加えて、(1)あらゆる年齢段階に対応したすべての歯種の微細組織に残された成長線に基づいて、デスモチルスの生体イベント(出生、離乳、加齢、出産、寿命など)を判別すると共に、(2)歯の形成期が最も長期間に渡る第2および第3臼歯(歯冠エナメルの厚さが7mmを超える)から500 μ mの間隔で酸素および炭素の安定同位体比およびストロンチウムなどの微量元素の動態を明らかにして、デスモチルスにおける年周期よりも細かな単位(季節性周期)での生体生理学的情報の解読を試みた。そして、成長線解析および同位体地球化学的検索により得られた情報を統合して、束柱類の季節周期の索餌行動もしくは索餌域における移動を伴う周期的行動、ひいては束柱類の生態的な特異性が生み出されるに至った生活史を詳らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究においては、デスマスチルスの歯の微細構造の分析から成長線（年輪，季節輪，月輪，日輪など）および生体イベントの抽出を試みた。そのため，束柱類の類歯の歯種別に成長線解析を行なった。また，歯の成長線に沿って 500 μm の間隔で安定同位体分析を行ない，年周期およびそれ以下の単位の周期での生体情報および周期的行動の抽出を試みた。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（以下科博）に所蔵されている約 420 点のデスマスチルスの歯の標本について，歯冠エナメル厚が 5mm を超える臼歯を選定し，科博に設置されている精密低速切断装置（アイソメット）を用いて，同位体および微量元素分析の際に問題となる切断面での摩擦熱を生じさせることなく歯の成長線に並行した切断面を得ることにより，歯の微細構造中に残された成長線の周期性単位（年輪）を識別すると共に，500 μm 以下の間隔で同位体分析用資料を採取した。なお，成長線の解析にあたっては，科博に設置されている走査型共焦点レーザー顕微鏡（VK-8510）を用いて，各歯種の微細組織の中に見られる成長線をデジタルデータ化して，同一個体の歯種間で個体成長とくに出生，離乳，加齢，出産，寿命などの生体イベントと対応する成長線の解釈を試みた。

(2) 米国スミソニアン協会国立自然史博物館（ワシントンDC）に所蔵されている束柱類の頭蓋とそれに植立する歯の観察を行なって，成長線解析および同位体分析のための研磨資料作成の許可を得られる遊離歯標本の選定を行なった。

(3) 科博所蔵の 11 標本から炭素・酸素の同位体および微量元素の分析のための連続試料（1 標本あたり，10~20 連続試料）を採取し，科博に設置されている炭酸塩分解装置（Kiel）と熱分解元素分析計（TC/EA）を備えた同位体質量分析装置（MAT253）を用いて，

炭素と酸素の安定同位体比の分析を行なった。また，科博に設置されている表面電離型質量分析装置（TIMS）によりストロンチウムの安定同位体比を測定した。

4. 研究成果

(1) 本研究においては，体内に取り込まれた炭素と酸素および微量元素（ストロンチウム）の同位体比を指標として，デスマスチルスの生活史を年周期よりも短い周期（例えば季節周期）で明らかにすることを目標とした。このため，分析にあたって貴重な標本を少なからず破壊しなければならないことについて，より「非破壊的」な試料の採取法を確立することが重要であった。幸い，デスマスチルス属は歯の標本点数が比較的多く，各咬頭が咬柱をなしているため，ひとつひとつの咬柱を物理的に分離させやすい。この特質を利用して，本研究において咬柱を安全に分離する手法を確立した結果，標本の形態情報を失うことなく貴重な標本から本研究に必要な量の連続的な微量試料（1 標本から最多で 22 サンプルング）を十分に得ることができるようになった。

(2) 以上の方法により歯冠エナメルの成長線単位で炭素および酸素の安定同位体分析を行なった結果，デスマスチルスにおいて炭素と酸素の同位体比がお互いに同期して一定の周期で変動する個体とそうでない個体が存在したことが確認された。この傾向を酸素同位体比の標準偏差に基づいてより詳しく検討した結果，同位体比が一定の周期で変動する個体においては標準偏差が小さい時期の中に標準偏差が大きくなる短い時期が周期的に挟まれるらしい傾向が認められた。このことから，束柱類は個体の行動の中に飲水の場所を周期的に変える個体が存在したらしいことが推定された。ただし，微量元素（ストロンチウム）の変動は顕著ではなく，個体の周期的「移動」は，地理的には狭い範

囲に留まると推定される。しかしながら、同位体比の周期的な変動は、個体にとって短い期間に起ったらしいことを示しており、従来の解釈では生態生理のどちらにおいても現生哺乳類に類似の周期を見いだせない。このような同位体比の変動は、デスモスチルスの性別の差異による生活史の相違を反映したものである可能性が考えられることから、今後生態的な雌雄差が認められる現生齧脚類について、同位体比に同様な周期的変動が見られるかどうかの確認が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3件)

(1) 長谷川善和・浅見清秀・木村敏之・松井久美子・甲能直樹. 2014. 北海道苫前郡羽幌町築別川流域の三毛別層上部層より産出した *Paleoparadoxia* について. 群馬県立自然史博物館研究報告. 18: 69-76. (査読無)

(2) 鵜野 光・米田 穰・樽 創・甲能直樹. 2013. エナメル質アパタイトを用いた炭素および酸素安定同位体比分析: 化石哺乳類の生態復元にむけて. 化石. 94: 33-43. (査読有)

(3) 甲能直樹. 2013. ゾウの仲間は水の中で進化した!? -安定同位体が明らかにした長鼻類の揺籃-. 豊橋市自然史博物館研究報告. 23: 61-70. (査読無)

〔学会発表〕(計 5件)

(1) Uno, H. and Kohno, N. Life history of *Desmostylus* (Mammalia: Afrotheria) as inferred from ^{13}C and ^{18}O variation. 7th Conference on Secondary Adaptation of Tetrapods to Life in Water. 2014年6月4日. George Mason University, Virginia, U.S.A.

(2) 松井久美子・指田勝男・上松佐知子・甲能直樹. 日本産 *Desmostylus* と *Paleoparadoxia* の堆積環境に見られる生息

地戦略. 日本生態学会第61回全国大会. 2014年3月16日. 広島国際会議場(広島県広島市)

(3) Uno, H., Taru, H. and Kohno, N. Intra-tooth variation in multi-elementary isotope analyses along growth-lines of tooth enamel of *Desmostylus* (Mammalia, Afrotheria). 73rd Annual Meeting of the Society of Vertebrate Paleontology. 2013年10月30日. Natural History Museum of Los Angeles County, Los Angeles, CA, U.S.A.

(4) 鵜野 光・樽 創・甲能直樹. デスモスチルスのエナメル質の成長線に沿った同位体分析に基づく生活史復元. 日本古生物学会2013年年会. 2013年6月29日. 熊本大学(熊本県熊本市)

(5) 樽 創・甲能直樹. 福島県伊達市の中部中新統梁川層から産出したパレオパラドキシア全身骨格化石の再検討. 日本古生物学会第162回例会. 2013年1月26日. 横浜国立大学・海洋研究開発機構(神奈川県横浜市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

甲能 直樹 (KOHNO Naoki)

独立行政法人国立科学博物館・地学研究部・研究主幹

研究者番号: 20250136

(2) 研究協力者

鵜野 光 (UNO Hikaru)

農業環境技術研究所・物質循環研究領域・契約研究員

樽 創 (TARU Hajime)

神奈川県立生命の星地球博物館・学芸部・主任学芸員