

令和 5 年 6 月 17 日現在

機関番号：33902

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H03290

研究課題名(和文)形態とゲノム情報を用いた哺乳類の歯の形態進化の遺伝学的・発生的要因の網羅的探索

研究課題名(英文) Investigation of the evolution of mammalian dental morphology using morphological and genomic datasets

研究代表者

浅原 正和 (Asahara, Masakazu)

愛知学院大学・教養部・准教授

研究者番号：20709399

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：複雑な歯の形態は哺乳類の特筆すべき特性であるが、その形態形成機構については不明なところが多い。本研究は生物多様性のなかにみられる形態と遺伝子の多様性から伝統的な学説を検証することを行った。成果の一つとして形態学的データを系統種間比較により解析した結果、種間比較において歯の相対的な萌出部位が歯の形態の複雑性と対応するという結果を得、伝統的な学説である場の理論を現代的に再評価することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

哺乳類の歯の形態形成機構については19世紀以来の歴史的な学説がある。本研究は現代的な形態計測手法と系統情報に基づく系統種間比較や、遺伝子の配列比較によって、歴史的な学説を現代的に再検討するとともに、新たな機構の抽出を試みた。標本の持つ形態データやゲノムの情報は生物多様性のデータセットとよべる存在であるが、そこから形態形成機構の一部を解明した本研究はそうした生物多様性情報の応用的意義を示したといえる。

研究成果の概要(英文)：Complex dental morphology is a notable characteristic of mammals, but the mechanisms of morphogenesis remain unclear. In this study, we tested traditional theories based on the morphological and molecular datasets. As one of the results, we analyzed morphological data through interspecific comparisons using phylogenetic comparative analyses and found that the relative tooth position among dental row corresponds to the complexity of tooth morphology. Our results succeeded to re-evaluate the traditional field theory in a modern method.

研究分野：進化形態学

キーワード：哺乳類 歯の形態 系統種間比較 場の理論

## 1. 研究開始当初の背景

哺乳類の繁栄の要因として、多方向に咬頭（突起）が分化する複雑な臼歯形態（トリボスフェニック型臼歯）をはじめとする歯の形態の複雑さと多様化が挙げられる。この哺乳類の複雑な歯は食物の咀嚼による食性の広がりや効率的な栄養源の摂取による内温化を可能にした。これらの形態形成メカニズムに関しては実験発生学が多くの情報をもたらしてきたが、モデル生物を用いたアプローチはモデル生物の持たない形質を研究できないという限界がある。本研究は（歯の研究に限らず）生物学が抱えるこの問題を打破すべく、生物多様性が持つデータセット、すなわち博物館標本の持つ形態的多様性とゲノム情報から得られる遺伝子の多様性を用いた比較生物学の手法を用いた。この手法は研究代表者のグループが世界に先駆けて行い、既に哺乳類食肉目クマ科の特徴的な臼歯形態の形成要因がシグナル伝達分子 BMP7 の進化にあることを明らかにしている（Asahara et al. 2016: Proceedings of the Royal Society B）。本研究は博物館標本の収集情報や公開データ、公開ゲノムデータといった基礎情報が拡充していくなかで、そうしたデータを用いた哺乳類の歯の形態の形成要因を調査した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、哺乳類型の歯を生み出した機構の歴史的学説を基盤とした現代的な解明である。それら歴史的な学説としては、19世紀から20世紀初頭にかけて提示された「三結節説」や「場の理論」が挙げられる。前者は爬虫類型の単尖歯から哺乳類型の臼歯形態への進化過程を段階化して提示した説であり、後者は一個体の歯列中に爬虫類的な単尖歯から複雑な臼歯が並立する機構を提示した。その機構は、現代的な解釈をすれば、顎骨中にモルフォゲンの濃度勾配があり、それが歯の形態を定めるという考えである（図1）。本研究計画の過程ではこれらの学説を比較形態学的に検討することを行った。

また、これら歴史的学説とは独立に、生物多様性のデータセットから歯の形態進化の要因を探る手法も試みた。それは系統樹上における形態進化と分子進化の結果を比較解析することで、形態進化の遺伝的背景を明らかにするという研究であった。このような研究は研究代表者らによって試みられたことがあったが（Asahara et al. 2016: Proceedings of the Royal Society B）、この研究手法をより深化させることも本研究計画の目的であった。

## 3. 研究の方法

本研究は三結節説が語るような、段階的な哺乳類型の臼歯形態獲得過程がみられる単弓類（非哺乳類単弓類）とともに、同様の段階性を持って複雑な臼歯形態を失っていった哺乳類である鯨類や鰭脚類に着目した。「場の理論」は現代的には顎骨中のモルフォゲン勾配と解釈することができる。すなわち、固定したモルフォゲン勾配の中で、歯の生える位置によって歯の形態が変化するのであれば、「場」が臼歯形態進化に影響を与えていることが示唆される（図2）。先行研究においてもモルフォゲンの候補として BMP4 や FGF8 が歯種の決定に影響しているというモデルがあり（図1）、本研究においてはまず化石鯨類を含めた鯨偶蹄目、鰭脚類を含めた食肉目において、臼歯形態の複雑性を評価し、また頭骨中における歯の萌出部位を定量化した。また、系統種間比較の手法を用いて、臼歯形態と歯の萌出部位が系統進化の過程で相関して変化しているかどうかを検討した。本研究は非哺乳類単弓類においても行った。その他、現時点では未発表なため手法や結果を示すことができないが、分子進化の解析と併せた臼歯形態の比較解析も行った。

## 4. 研究成果

一連の研究のなかで最初に論文公開されたのが、歯の萌出部位のデータの副次利用として行った、食肉目哺乳類における顎レバーアームと食性との関係を検討した研究であった（Harano and Asahara 2022: Journal of Zoology）。系統種間比較を用いた解析の結果、葉食、水生動物食の分類群の順に高いてこ比を持っており、相対的に強い咬合力をもちやすいように適応進化していると考えられた。

次に公開された論文が、鯨偶蹄目と食肉目において歯の萌出部位と歯の形態的複雑性の関係性を系統種間比較の解析手法を用いて系統樹上で比較した研究であった（Harano and Asahara 2022: Evolution）。この研究の結果、歯の形態の先祖返りともいえる、鯨類と鰭脚類で起きた歯の形態的単純化は歯の萌出部位の頭骨中における前方化と関連していることが明らかとな

った(図3)。これは顎骨中の形態形成場に対する歯の位置の変化と解釈でき、哺乳類型の臼歯形態形成機構において重要な示唆をもたらすものであるとともに、世紀を越えて生き続けてきた伝統的学説に対する現代的解釈を与える画期的研究といえるものであった。同様の解析は非哺乳類単弓類についても行っており、その研究成果は現在投稿中である。

また、これら一連の研究途上で得られた形態データを利用した、非哺乳類単弓類における下顎中の歯骨の拡大傾向に関する研究論文も受理されており、近々公開を待つところとなっている(Harano and Asahara, in press: PeerJ)。

その他、形態解析と分子進化の解析を併用した研究に関しても研究結果が得られており、現状ではマンパワーの不足からまだ論文投稿まで至っていないが、順次研究成果を発表していく予定である。

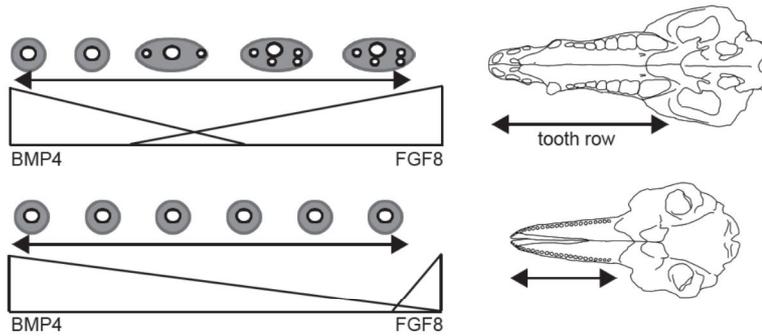


図1. 場の理論の現代的解釈：モルフォゲン勾配が歯種と歯の形態を決める

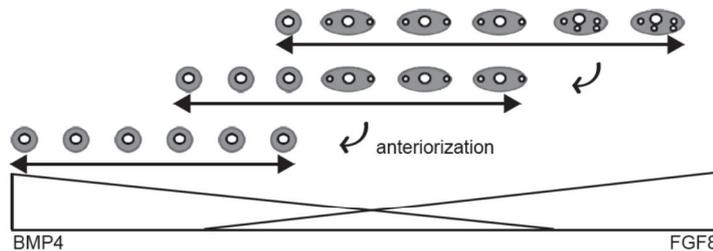


図2. 場の中で歯の生える位置が変化することが歯種と歯の形態進化に影響するという仮説の概念図

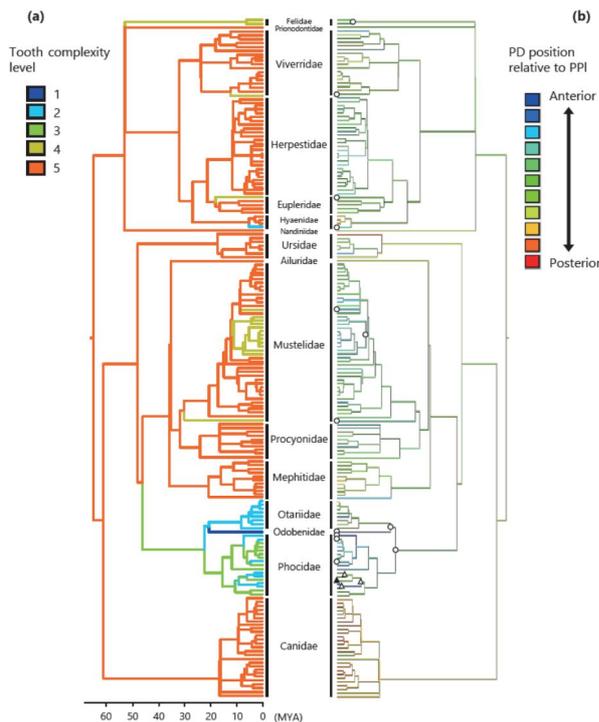


図3. 哺乳類食肉目における臼歯形態と顎骨中の歯の生える位置の進化史

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Harano T., Asahara M.	4. 巻 318
2. 論文標題 Correlated evolution of craniodental morphology and feeding ecology in carnivorans: a comparative analysis of jaw lever arms at tooth positions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Zoology	6. 最初と最後の頁 135 ~ 145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jzo.13005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Harano T., Asahara M.	4. 巻 76
2. 論文標題 The anteriorization of tooth position underlies the atavism of tooth morphology: Insights into the morphogenesis of mammalian molars	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Evolution	6. 最初と最後の頁 2986 ~ 3000
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/evo.14637	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Harano T., Asahara M.	4. 巻 in press
2. 論文標題 Revisiting the evolutionary trend toward the mammalian lower jaw in non-mammalian synapsids in a phylogenetic context.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PeerJ	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Asahara M., and Kishida T.
2. 発表標題 Investigation of dental evolution using combined analysis of comparative morphology and molecular evolution
3. 学会等名 12th International Congress of Vertebrate Morphology (ICVM 2019), Grandior Hotel, Prague, Czech Republic (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅原正和
2. 発表標題 博物館標本を利用した比較形態学とゲノムデータを利用した分子進化の解析を併用した形態進化の研究 食肉目哺乳類の臼歯形態と食性適応
3. 学会等名 日本哺乳類学会2019年度大会 中央大学
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅原正和、原野智広
2. 発表標題 浅原正和、原野智広
3. 学会等名 日本進化学会2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅原正和
2. 発表標題 食肉目におけるICモデルと臼歯形態：BMP7遺伝子と歯の形態との相関
3. 学会等名 日本哺乳類学会2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原野智広
2. 発表標題 食肉類と鯨類における歯の単純化に関与する萌出位置：場の理論に基づく進化仮説の検討
3. 学会等名 日本哺乳類学会2022年度大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	岸田 拓士  (Kishida Takushi)  (40527892)	ふじのくに地球環境史ミュージアム・学芸課・准教授   (83811)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------