

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 25 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26650171

研究課題名(和文)化石と現生霊長類の類縁関係を推定する数理形態学的手法の開発

研究課題名(英文) Development of a quantitative morphological method to estimate a phyletic relationship of fossil and extant primates

研究代表者

西村 剛 (Nishimura, Takeshi)

京都大学・霊長類研究所・准教授

研究者番号：80452308

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：化石霊長類と現生分類群との類縁関係の推定は常に困難をとまなう。その主な原因の一つは、同じ分類群でも時代を経てサイズが変わることである。そのサイズ差異にとまなう形状変異(アロメトリー)の効果が、現生種と化石種の形態学的特徴の直接比較の妨げになる。本研究では、現生のマカクザルとヒヒ類を材料に、幾何学的形態分析を用いて、アロメトリー効果を除去した形状変異を分析し、その抽出された形状変異のみを三次元的表面形状に可視化する手法を開発した。この手法により、アロメトリー効果に妨げられることなく、化石種と現生種との形状特徴を直接比較することができるようになった。

研究成果の概要(英文)：Some technical difficulties always disturb our examinations of morphological features to support for a hypothesis on ancestor-descendant relationship of a given fossil and extant taxa. One of them is an evolutionary fluctuation in size even for a same lineage, i.e., phylogenetic allometry. This allometry effect prohibits us to compare a morphological feature in fossil and extant specimens. This study uses Geometric Morphometry to extract a common allometry trend of papionins and to show variation in shape. We develop a method to visualize three-dimensional surface of these shape variation. This method allows us to compare and evaluate features in shape between extant and fossil specimens.

研究分野：自然人類学

キーワード：霊長類 CT 幾何学的形態計測 三次元可視化 ヒヒ族

1. 研究開始当初の背景

後期鮮新世から更新世のヨーロッパや中国などで産出する化石ヒヒ族(マカクザルとヒヒ類を含む分類群)に、パラドリコピテクス属やプロサイノセファルス属がある。これらは、アジアのマカクザルよりひと回り大きく、アフリカのヒヒよりやや小振りであり、その顔面頭蓋形状にはその両系統の特徴が混在する。現在でも、これらがどちらの現生系統に近いのかについて議論がある。もちろん、現生のマカクザルとヒヒ類は、顔面形状で容易に判別される。そもそもサイズが大きく異なる。しかし、時代を遡れば、ヒヒ並みのサイズのマカクザルがいた可能性は排除できず、その化石種は現生のヒヒにみられる形態学的特徴を有していたかもしれない。その逆もしかりである。そのような時代を経たアロメトリーの効果は、化石種と現生系統との類縁関係を誤推定するリスクとして、霊長類に限らず、あらゆる哺乳類の系統につきまとう。

示標点座標データを用いて、アロメトリーを数理的に推定する手法は広く用いられている。ヘテロクロニー(異時性)に関する理論的論考などにはそれで足りる。しかし、実際の化石の形態解析には、欠損点の存在や、面の立体形状の情報が欠かせないなど、これまでの手法を応用できない場合が多く、新たな戦略、手法の開発が求められる。

2. 研究の目的

現生のマカク亜族(マカクザル)とヒヒ亜族(ヒヒ、マンガベイ等)の頭蓋骨標本を用いて、表面の示標点座標データを用いた幾何学的形態計測(Geometric Morphometry, GM)によって、顔面頭蓋形状のアロメトリー推定モデルを作成する。そのモデルから、コンピュータグラフィックス(CG)技術により、点と点の変動から面のアロメトリー変化と合成する手法を開発する。その新手法を用いて「復元」された現生種の過去像を用いて、ユーラシア産大型ヒヒ族の所属系統分析を試みて、その有用性を示す。

3. 研究の方法

本研究課題は、まず、マカク亜族とヒヒ亜族の顔面頭蓋の示標点の三次元座標計測を行い、幾何学的形態計測分析により、両亜族における顔面頭蓋形状のアロメトリー推定モデルを作る。つぎに、CTもしくはレーザースキャンして得られる顔面頭蓋の表面形状データをもとに、先に作成したモデルによる示標点の座標“点”のアロメトリー変化から、“面”の立体形状の変化を合成する手法を開発する。最後に、その手法を用いて、アロメトリー効果を除いた形状比較を通じて、ユーラシア産大型ヒヒ族の所属系統推定を

行い、化石種と現生種との類縁関係を推定分析する新手法の有用性を示す。

4. 研究成果

まず、アロメトリーの効果を三次元的に可視化する手法の開発に必要な形態学的実測データの収集を行った。本研究のモデル動物群であるヒヒ族霊長類の頭蓋骨骨格標本を多数収蔵するアメリカ国内の所蔵機関を回って、ランドマーク三次元座標データを収集した。特に、日本国内ではサンプル数が限られているマンガベイ類のデータを十分に集めることができた。収集したヒヒ族頭蓋骨のランドマーク三次元座標データを用いて、幾何学的形態計測の手法により、アロメトリー効果を除去したヒヒ亜族とマカク亜族を分かち形態学的特徴を明らかにした。ヒヒ亜族は遺伝的に2系統に分けられるが、それを支持する形態学的特徴の知見は限られていた。本分析により、吻の細長ささと突顎の程度により、両系統をおおよそ分けられることを明らかにした。また、それらの特徴は、ヒヒ亜族とマカク亜族をも分かちことを示した。これらの知見により、アロメトリー効果を除去した形態学的特徴の進化的変化の数理的推定手法を確立することができる。これらの成果については、国内外の学会等で発表した。

一方、頭蓋骨表面形状の進化的変化に大きな影響をあたえる頭蓋骨内部構造の形態変異のプロセスを明らかにする研究を進めた。ヒヒ族霊長類を対象に、CTを用いた現生種の上顎洞構造の変異の分析とそれに基づく化石ヒヒ族系統分析や、上顎洞形状を決定する遺伝的モデルを検討した。これまで概要しか明らかでなかったヒヒにおける上顎洞の有無の変異を明らかにした。また、マカク交雑個体における上顎洞形状の変異についてその遺伝学的プロセスを明らかにした成果を、国際学術雑誌に論文を発表した。それらをもとに、外部表面形状の変異に影響する内部構造のうち、鼻腔と上顎洞の形態進化について、形質変異の遺伝学的影響および、機能形態学的影響について検討を加えた。ニホンザルとタイワンザルとにおける上顎洞形態を分析し、その遺伝学的影響を明らかにした。また、数値流体力学的シミュレーションにより、マカクザルにおける鼻腔の温度・湿度調整能力、およびそれに与える上顎洞の役割について検証した。マカクザルの鼻腔の形態学的変異は、それらの生理学的能力にほとんど影響されないこと、および上顎洞は鼻腔の生理学的能力にほとんど寄与しないことを明らかにした。これらの結果により、上顎洞や鼻腔の形態変異は、それら自身の機能的適応ではなく、他の周辺の構造物の機能形態学的変異に大きく影響を受けて決まることを示唆した。

これらの知見を総合して、得られた頭蓋骨外表面のランドマークの点データをもとに、

スイス・チューリヒ大の共同研究者とも協力して、アロメトリー効果および、その効果を除去した形状差異について、三次元的表面形状の変化として可視化する手法を確立した。その手法を用いて、鮮更新世ユーラシア産大型ヒヒ族化石について、ヒヒ族に共通するアロメトリー効果を除去した形状データの抽出に成功し、その三次元可視化を試みた。さらに、予備的に、その形状変異の形態空間上の位置について分析し、化石種の系統的位置について検討を加えた。これらの成果について、国際学術論文として取りまとめを終えた。

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 9件)

Ito T and Nishimura TD. (2016) Enigmatic diversity of the maxillary sinus in macaques and its possible role as a spatial compromise in craniofacial modifications. *Evolutionary Biology* 43(3): 414-426.

10.1007/s11692-016-9369-4. 査読あり

Morita W, Morimoto N, Ohshima H. (2016) Exploring metameric variation in human molars: a morphological study using morphometric mapping. *Journal of Anatomy* 229(3): 343-355.

10.1111/joa.12482. 査読あり

Rae T, Johnson P, Yano W, Hirasaki E. (2016) Semicircular canal size and locomotion in colobine monkeys: a cautionary tale. *Folia Primatologica* 87: 213-223. 10.1159/000449286. 査読あり

Tokita M, Yano W, Helen J, Abzhanov A. (2016) Cranial shape evolution in adaptive radiations of birds: comparative morphometrics of Darwin's finches and Hawaiian honeycreepers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 372: 20150481.

10.1098/rstb.2015.0481. 査読あり

Ito T, Kawamoto Y, Hamada Y and Nishimura TD. (2015) Maxillary sinus variation in hybrid macaques: implications for the genetic basis of craniofacial pneumatization. *Biological Journal of the Linnean Society* 115(2): 333-347.

10.1111/bij.12528. 査読あり

Tajika A, Morimoto N, Wani R, Naglik C, Klug C. (2015) Intraspecific variation of phragmocone chamber volumes throughout ontogeny in the modern nautilus *Nautilus* and the Jurassic ammonite *Normannites*. *PeerJ* 3: e1306.

10.7717/peerj.1306. 査読あり

Mori F, Hanida S, Kumahata K, Miyabe-Nishiwaki T, Suzuki J, Matsuzawa T and Nishimura TD. (2015) Minor contributions of the maxillary sinus to the air-conditioning performance in macaque monkeys. *Journal of Experimental Biology* 218(Pt 15): 2394-2401. 10.1242/jeb.118059. 査読あり

Nishimura T, Ito T, Yano W, Ebbestad JOR and Takai M. (2014) Nasal architecture in *Procyonocephalus wimani* (Early Pleistocene, China) and implications for its phyletic relationship with *Paradolichopithecus*. *Anthropological Science* 122(2): 101-113.

10.1537/ase.140624. 査読あり

Nishimura TD and Ito T. (2014) Aplasia of the maxillary sinus in a Tibetan macaque (*Macaca thibetana*) with implications for its evolutionary loss and reacquisition. *Primates* 55(4): 501-508.

10.1007/s10329-014-0428-0. 査読あり

[学会発表](計 17件)

西村剛, 森本直記, 伊藤毅. (2017) ヒヒ族の顔面形状の系統間差異について. 第33回日本霊長類学会大会. コラッセふくしま, 福島. 2017-7-17(採択決定)

矢野航, 西村剛, 河部壮一郎, 荻原直道. (2017) ニホンザル島嶼集団の頭蓋骨形態変異 島嶼集団における矮小化パターンの違い. 第33回日本霊長類学会大会. コラッセ福島, 福島. 2017-7-16(採択決定)

Nishimura T. (2016) Computed fluid dynamics of air conditioning in the nasal passage of chimpanzee. The 2nd Kyoto-Swiss Symposium 2016. Kyoto University, Kyoto. 2016-10-31

西村剛, 森本直記, 伊藤毅. (2016) ヒヒ族の顔面形状のアロメトリーと系統間差異. 第70回日本人類学会大会. NSG 学生総合プラザSTEP, 新潟. 2016-10-9

Ito T and Nishimura T. (2016) Phylogenetic and ecological aspects of craniofacial diversity in macaques. Joint meeting of the International Primatological Society and the American Society of Primatologists. Navy Pier, Chicago. 2016-8-23

西村剛. (2016) 骨からサルを見てみよう. 日本霊長類学会「サルのなぜ? なに?! 授業」. 鹿児島市立伊敷中学校, 鹿児島. 2016-7-15

森本直記. (2015) ヒト及び大型類人猿の胎児骨格形態と二足歩行. 京都大学医学研究科 先天異常標本解析センター 開設40周年記念シンポジウム, 京都大学, 京

都. 2015-11-28
森田航, 森本直記, 河野礼子, 佐々木智彦, 諏訪元. (2015) 形態地図法によるヒト・現生大型類人猿大臼歯の形態解析. 第69回日本人類学会大会, 産業技術総合研究所臨海副都心センター, 東京. 2015-10-11
中務真人, 小林諭史, 山田重人, 荻原直道, 森本直記. (2015) チンパンジーにおける胎児・乳児期の体プロポーション成長. 第69回日本人類学会大会, 産業技術総合研究所臨海副都心センター, 東京. 2015-10-10
森本直記. (2015) ヒト・現生大型類人猿における大腿骨骨幹形態の成長比較. 第69回日本人類学会大会, 産業技術総合研究所臨海副都心センター, 東京. 2015-10-10
森本直記. (2016) おしりのバーチャル解剖: ヒトと大型類人猿における筋骨格の進化について. 第121回日本解剖学会全国学術集会, ビッグパレットふくしま, 福島. 2016-03-29
Rae TC, Johnson PM, Yano W, Hirasaki E. (2015) Smaller posterior semicircular canals are associated with leaping in *Colobus*. The 84th Annual Meeting of The American Association of Physical Anthropologists, Hilton St. Louis at the Ball Park, MO, USA. 2015-03-25 - 2015-03-28
岩田明子, 佐藤和彦, 矢野航, 江尻貞一, 北井則行. (2014) ラット頭蓋成長に伴う咬筋14区画の力の大きさと方向の変化. 日本咀嚼学会題25回学術大会. 静岡県立大学谷田キャンパス, 静岡市. 2014-09-20 - 2014-09-21.
Nishimura TD, Mori F, Hanida S, Kumahata K, Miyabe-Nishiwaki T, Suzuki J and Matsuzawa T. (2014) Few contributions of the maxillary sinus to air-conditioning in macaques. The 25th Congress of the International Primatological Society. Melia Hotel, Hanoi. 2014-08-11 - 2014-08-16
伊藤毅, 川本芳, 濱田穰, 西村剛. (2014) マカクの種間雑種における上顎洞の変異: 顔面頭蓋の空洞化に寄与する遺伝的基盤に関する示唆. 第30回日本霊長類学会大会. 大阪大学吹田キャンパス, 吹田. 2014-07-04 - 2014-07-06
Yano W, Nishimura T, Watanabe R, Satoh K and Ejiri S. (2014) Quantification analysis of cranial bones development among primates species using Geometric morphometrics method. The 13th Congress of the International Society of Bone Morphometry. Tokyo. 2014-04-29
Nishimura T, Mori F, Hanida S, Kumahata K, Ishikawa S, Miyabe-Nishiwaki T,

Hayashi M, Tomonaga M, Suzuki J, Matsuzawa T and Matsuzawa T. (2014) Computed fluid dynamics of the air-conditioning through the nasal passage in humans, chimpanzees, and macaques. The 83rd Annual Meeting of the American Association of Physical Anthropologists. Calgary, Canada. 2014-04-08 - 2014-04-12

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 剛 (NISHIMURA, Takeshi)
京都大学・霊長類研究所・准教授
研究者番号: 80452308

(2) 研究分担者

森本 直記 (MORIMOTO, Naoki)
京都大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 70722966

矢野 航 (YANO, Wataru)
朝日大学・歯学部・助教
研究者番号: 80600113

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

伊藤 毅 (ITO, Tsuyoshi)
Zollikofer, Christoph P. E.
Ponce de León, Marcia