

令和元年5月10日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07534

研究課題名(和文)ニホンザルにおける距骨・踵骨サイズの変異と体サイズとの関係：化石研究への貢献

研究課題名(英文) Variations of talar and calcaneal sizes and relationship between these sizes and body size in Japanese monkey (*Macaca fuscata*)

研究代表者

鏑本 武久 (Tsubamoto, Takehisa)

愛媛大学・理工学研究科(理学系)・教授

研究者番号：20522139

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：(1)ニホンザルにおける距骨・踵骨サイズの種内変異を調べた。成獣におけるサイズには統計的に有意な雌雄差があるが、全体としての分布は明らかな二峰性にはならないことがわかった。また、雌雄差は全体の大きなのみに見られ、その他の形態的な雌雄差はないことがわかった。これらのデータは、化石の距骨・踵骨を調べる際の基礎データとなる。(2)ニホンザルを含む陸上哺乳類における踵骨サイズと体重との関係を調べて、化石踵骨からその哺乳類の平均体重を推定する式を作成した。化石哺乳類の体重は、当時の動物相の生態学や生理学を研究するのに重要な要素であり、本研究はそれらの発展的な研究に貢献できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

化石の研究では、系統的に近い分類群の現生生物の情報を基にして、化石生物の実態に迫っていく。その際に重要なのが、化石として残る部位の現生生物の統計的データである。しっかりとした現生生物の統計的データがあれば、化石の研究がより進む。本研究では、これまでなかった現生生物の統計的データの一例として、距骨・踵骨のサイズのビッグデータを作成し、統計的に解析した。この結果は、化石研究に有用な基礎データとなり、また、近年盛んになっているビッグデータ解析の基礎を学ぶ良い機会となる。

研究成果の概要(英文)：(1) The intraspecific variations of the talar and calcaneal sizes of living Japanese monkey were examined. The basic statistics of the linear measurements of these two bones were calculated. These data will be basic data in interpreting the variations of fossil mammalian tali and calcanea. (2) The relationship between calcaneal size and body mass in extant land mammals was examined using regression analyses to provide simple equations for estimating the body mass of extinct primate and land mammal species based on the calcaneus. The body mass of mammals is a useful predictor of species adaptations and diversities because it is strongly correlated with many aspects of life history, ecology, and behavior. Therefore, estimates of the body mass of extinct mammalian species play an important role in paleoecological analyses. This study contributes to these advanced/applied studies.

研究分野：古生物学

キーワード：霊長類 距骨 踵骨 体重推定 化石 種内変異 基礎統計 ニホンザル

1. 研究開始当初の背景

霊長類などの哺乳類の化石はほとんどがバラバラの骨や歯として発見・収集される。それらのうち、一番研究対象となり易いのは、歯の化石である。なぜなら、歯の形態・サイズから化石動物の体サイズ・食性の推定や、属や種といった細かいレベルの分類・同定が可能であるからである。一方、哺乳類の骨格化石の中でよく研究されている部位の一つに距骨・踵骨(足首および「かかと」の骨)がある。その理由は、適度に扱いやすいサイズで、形態が行動様式をよく反映しているために歯ではわからないその動物の行動様式の研究に有用だからである。

しかし、距骨・踵骨化石を研究するにあたって問題となるのが、その哺乳類の種類の同定である。化石距骨・踵骨はその形から目や科レベルの同定はある程度可能ではあるが、属や種といったより細かいレベルまでの同定は困難であることが多い。その場合、同所から発見される歯の化石とサイズなどを比較して、その距骨・踵骨の持ち主である動物の種類を推定している。そのため、距骨・踵骨の形態とサイズの変異や歯の大きさとの関係性などが詳しく解明されていないと、化石種の正確な同定ができない。一方で、化石哺乳類の大きさや体重は、古生態や生理学の研究に重要な要素である。化石種の正確な体重推定は、陸上哺乳類化石の同定やその機能形態の研究に貢献できる。

したがって、距骨・踵骨化石の詳しい種類を同定するためには、まず様々な情報が得やすい現生種を対象として、(1) 距骨・踵骨の形態とサイズの変異、および(2) 距骨・踵骨サイズと歯・体重との関係性、を詳しく調べておくことが必要である。ところが、化石への応用を目的として現生哺乳類の距骨・踵骨のこのような変異や関連性を調べた基礎研究はこれまで皆無であった。代表者は、上記の問題を解決するため、霊長類を含む陸上哺乳類の距骨と体サイズとの関連性の研究を立ち上げ、その成果の一部を国際誌に公表している(Tsubamoto, 2014, *Acta Palaeontol. Pol.* 59: 259-265; Tsubamoto et al., 2016, *Hist. Biol.* 28: 27-34)。しかし、踵骨と体サイズとの関連性や距骨・踵骨サイズの変異については、まだ詳しく調べられていない。

2. 研究の目的

目的は、化石霊長類研究の基礎データ構築ため、現生種の距骨・踵骨の種内変異を明らかにすること。そして、化石霊長類の古生態や古環境のような発展的研究の進展に活かすこと。具体的には、標本が大量にある現生ニホンザル (*Macaca fuscata*) を例として、以下のことを目的とする：(1) 距骨・踵骨のサイズ・形態の種内変異を明らかにする；(2) ニホンザルを含む陸上哺乳類における踵骨サイズと体サイズとの関連性を明らかにする；(3) 結果を化石に応用できる形に表し、化石の距骨・踵骨の論理的な同定・分類を可能にする。

3. 研究の方法

現生ニホンザル骨格標本およびそのほかの哺乳類の現生・化石の標本が数多く所蔵されている、京都大学霊長類研究所や国立科学博物館などにおいて、現生ニホンザルを中心に、距骨・踵骨標本の観察、成獣の距骨・踵骨の計測、歯の大きさの計測、写真撮影、雌型作製、体重およびその他の個体情報(年齢・性別など)の取得をおこなう。計測はデジタルノギスを使用する。コンピュータに入力されたデータは、統計ソフト等を用いて統計的手法を用いて解析し、種内変異と体サイズとの関係性を基礎統計量・グラフ・数式として表現して化石の研究への応用性を検討する。また、踵骨サイズと体重との関係を、回帰分析を用いて解析し、化石踵骨からその動物の体重を推定する式を導き出す。

4. 研究成果

(1) ニホンザルの距骨・踵骨のサイズ変異：化石研究への示唆

現生ニホンザルの成獣の骨標本 233 個体(オス 112 個体、メス 121 個体)を対象として調べた。距骨・踵骨について、それぞれ 12 箇所を計測した(図 1)。サイズ分布と性差：Welch の t 検定の結果、距骨・踵骨の全ての計測値において雌雄差が認められたが、雌雄をまとめたサイズ分布は bimodal にはならなかった(図 2)。この結果によると、同一化石産地において、同じ形態の成獣の距骨または踵骨化石が多数産出し、そのサイズ分布が明らかな bimodal になった場合は、雌雄差ではなく種間差である可能性が高い。変動係数：(1) 距骨では、全個体のときは変動係数 $CV = 6.5 \sim 9.1$ 、雌雄を区別すると $CV = 4.4 \sim 7.8$ ；(2) 踵骨では、全個体のとき $CV = 6.9 \sim 10.8$ 、雌雄を区別すると $CV = 4.8 \sim 9.1$ 。この結果によると、踵骨の方が距骨よりもサイズ変異がやや大きい傾向がある。主成分分析と性差：(1) 距骨では PC1・PC2 の寄与率が、それぞれ 79%と 5%；(2) 踵骨では PC1・PC2 の寄与率が、それぞれ 68%と 7%。どちらも雌雄差はほぼ PC1 (全体のサイズ) の違いのみで形態の違いはほとんどない。体重との相関：(1) 距骨では、全個体のときは相関係数 $r = 0.38 \sim 0.54$ 、雌雄を区別すると $r = -0.08 \sim 0.35$ ；(2) 踵骨では、全個体のとき $r = 0.28 \sim 0.54$ 、雌雄を区別すると $r = -0.10 \sim 0.23$ 。この結果によると、「ある

一種の成獣の距骨・踵骨化石が複数個体分ある場合に、そのサイズの違いからその個体間の体重の違いを推定することはやや難しい」と言える。

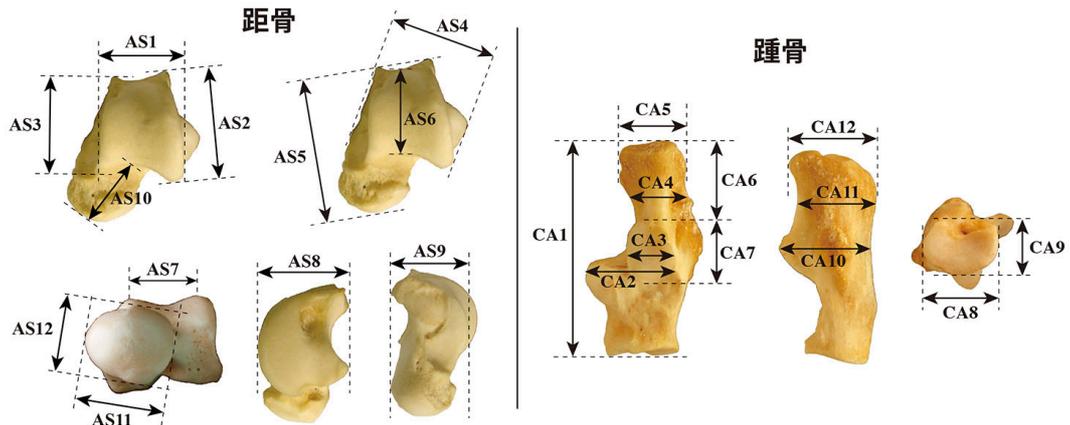


図1 距骨と踵骨のそれぞれ 12 箇所の計測部位 (距骨: AS1-AS12; 踵骨: CA1-CA12; Tsubamoto, 2019a を改変)

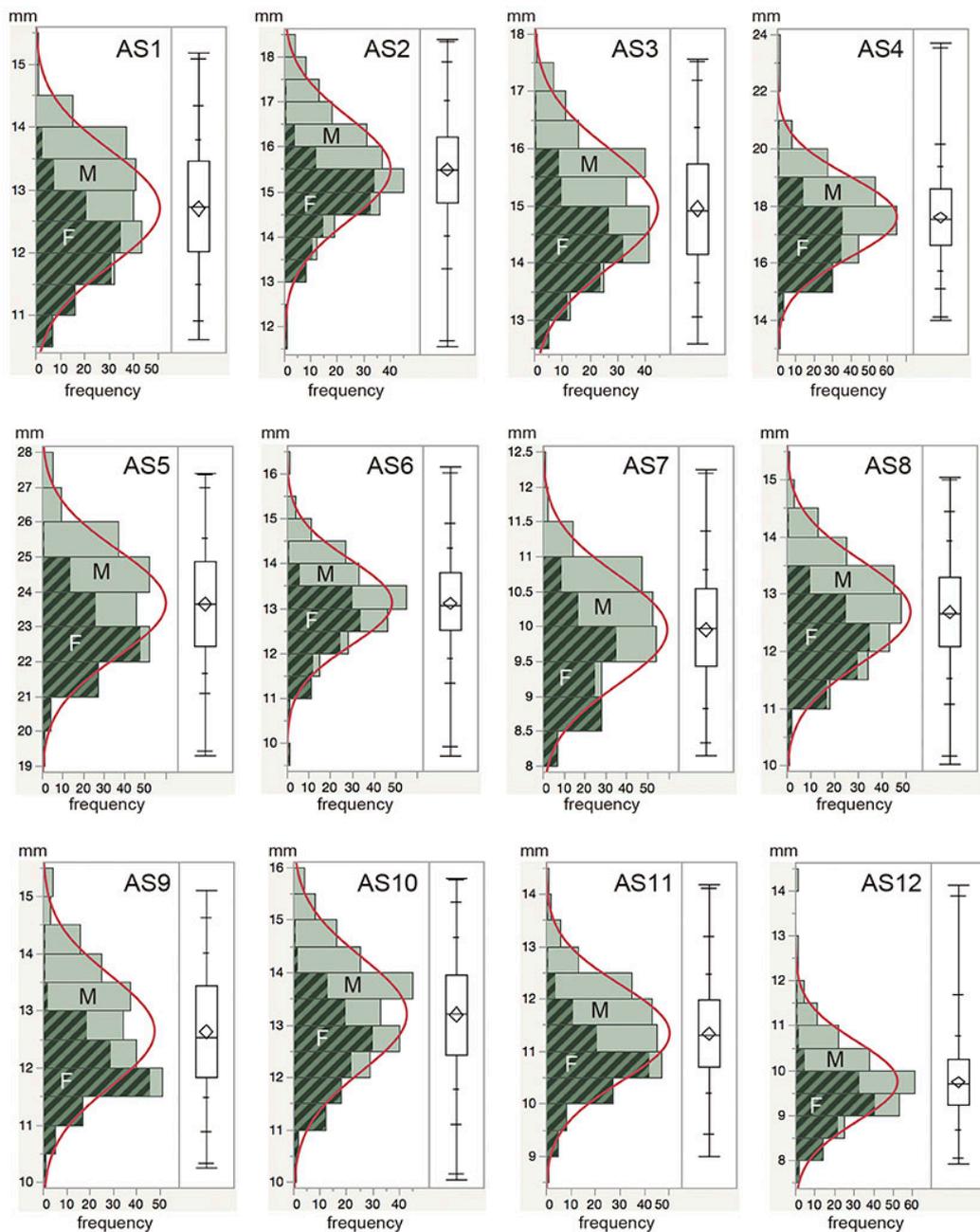


図2 距骨の 12 箇所の計測部位の基本統計 (Tsubamoto, 2019a を改変)。

(2) 踵骨による陸上哺乳類の体重推定

距骨による体重推定については、いくつか成果が出ているが、踵骨による体重推定については、まだ少なかった。ここでは、陸棲哺乳類の踵骨サイズからその動物の体重を推定する最適な方法・式を見つけ、簡単に化石に応用できる形にした。現生の陸棲哺乳類の成獣の骨標本 10 目 44 種の見かけ上 69 標本を使用し、踵骨の 12 箇所を計測した (図 1)。体重と計測値を自然対数に変換して、それぞれの計測部位と体重との関係を、回帰分析と %SEE・%MPE により検討した。

ステップワイズ重回帰分析の結果、基準によって組み込まれる計測値がいろいろと変わったので、今回の目的には、重回帰分析はふさわしくないと判断した。単回帰分析における %SEE・%MPE は、「踵骨の幅 (CA2)」の値が一番低い (=一番良い) (表 1)。よって、陸棲哺乳類において踵骨から体重推定をおこなうには、「踵骨の幅」を使用するのが最適である。ただし、最適な場合の %SEE・%MPE の値は、距骨の場合のそれらよりも高い (悪い) ので、体重推定には、踵骨よりも距骨の方が適している。「踵骨の幅」を使用した体重推定の式 (予測区間 95%) は、以下のようになる: $BM = (\text{EXP}(2.928 \times \ln CA2 + 0.981 \pm 0.772)) \times 1.076$: ここで、BM = 体重 (g)、CA2 = 「踵骨の幅」(mm)、である (図 3)。一方で、霊長類類における踵骨からの体重推定を検討したところ、「距骨の幅」よりも、「後距骨関節面の幅」が適していることがわかった。つまり、分類群を変えると、適切な計測場所も変動することがある。

表 1 回帰分析の結果 (Tsubamoto, 2019b を改変)

(N = 69)	ln CA1	ln CA2	ln CA3	ln CA4	ln CA5	ln CA6	ln CA7	ln CA8	ln CA9	ln CA10	ln CA11	ln CA12
Slope	2.97	2.93	2.86	2.82	2.75	2.36	3.07	3.03	2.76	2.78	2.86	2.78
Intercept	-1.611	0.98	3.49	3.63	2.72	2.77	1.79	2.39	3.23	1.60	2.04	1.92
SEE	0.65	0.39	0.64	0.61	0.44	0.67	0.66	1.06	0.57	0.44	0.52	0.55
adjusted R^2	0.94	0.98	0.94	0.95	0.97	0.94	0.94	0.84	0.95	0.97	0.96	0.96
%SEE	91.29	47.21	89.40	83.78	55.46	96.22	93.52	189.81	77.02	55.41	68.61	73.42
%MPE	44.08	32.36	62.89	57.42	38.67	59.05	65.41	155.35	52.11	38.92	46.84	49.04

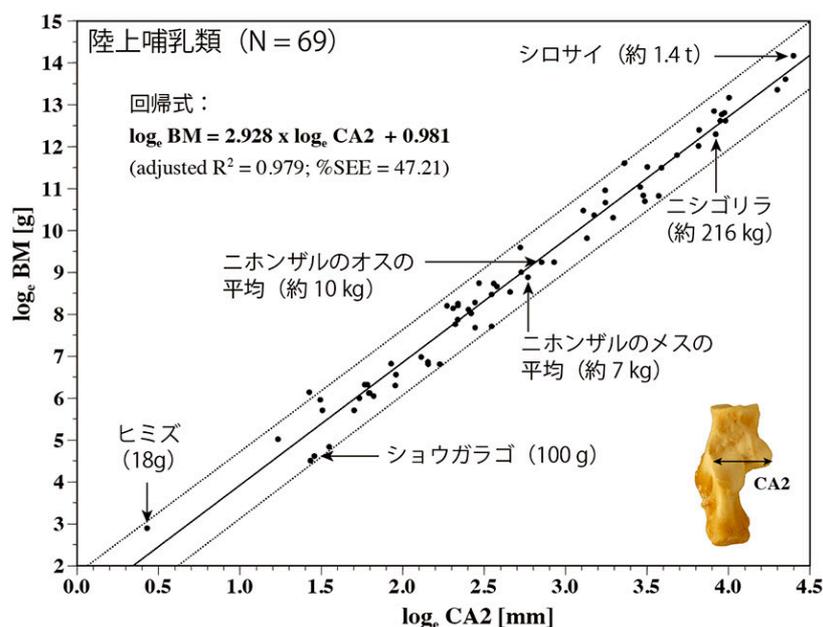


図 3 踵骨の CA2 の自然対数と体重 (BM) の自然対数との散布図 (Tsubamoto, 2019b を改変)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Tsubamoto, T. (2019a): Intraspecific variations of the astragalar and calcaneal sizes in living Japanese monkey (*Macaca fuscata*). *Memoirs of the Faculty of Science, Ehime University*, vol. 22, pp. 1-17. May.
- ② Tsubamoto, T. (2019b): Relationship between the calcaneal size and body mass in primates and land mammals. *Anthropological Science*, vol. 127, no. 1, pp. 73-80. April. doi: 10.1537/ase.190221

〔学会発表〕（計6件）

- ① 鏝本武久 (2019) : ニホンザルの距骨・踵骨のサイズ変異：化石研究への示唆. 日本古生物学会第168回例会（神奈川県立生命の星・地球博物館，小田原），2019年1月.
- ② Tsubamoto, T. (2018) : Estimation of body mass from the calcaneum of land mammals. 78th Annual Meeting, Society of Vertebrate Paleontology (Albuquerque, New Mexico, USA), October, 2018.
- ③ 鏝本武久 (2018) : 踵骨による霊長類の体重推定. 第34回日本霊長類学会大会（武蔵大学，東京）. 2018年7月.
- ④ 鏝本武久 (2018) : 踵骨による陸棲哺乳類の体重推定. 日本古生物学会2018年年会（東北大学，仙台市），2018年6月月.
- ⑤ 鏝本武久 (2017) : 現生ニホンザルにおける踵骨サイズの変異および臼歯サイズ・体重との関係. 第33回日本霊長類学会大会（コラッセふくしま，福島），2017年7月.
- ⑥ 鏝本武久 (2016) : 距骨と踵骨からの体重推定：霊長類と様々な哺乳類との比較. 第32回日本霊長類学会大会（鹿児島大学，鹿児島），2016年7月.

〔その他〕

研究代表者ホームページ→<http://earth.sci.ehime-u.ac.jp/~tsubamoto/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

なし

(2) 研究協力者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。