

曲線（面）形状に着目したニホンオオカミの頭部形状の創成と その展示のための考察

板倉七海^{†1} 酒匂一世^{†2} 原田利宣^{†1} 橋本唯子^{†1}

概要: 本研究では絶滅したニホンオオカミをはじめとした8種の動物の頭蓋骨と剥製や写真上の頭部形状に現れる曲線の比較・分析を行った。次に、その結果に基づいて和歌山大学が所蔵するニホンオオカミの頭蓋骨から正確な頭部形状を推定した。さらにCGで頭部形状を3Dモデル化し、再現するとともにニホンオオカミの全身形状もCG上で創成して、“歩く”、“走る”といったモーション付けを行い、展示のための検討を行っている。

キーワード: ニホンオオカミ, 頭蓋骨, 頭部形状, 曲線, 曲率プロファイル

Creation of Japanese wolf's head form focused on the curves on surfaces and consideration for the exhibition

NANAMI ITAKURA^{†1} ISSEI SAKOU^{†2}
TOSHINOBU HARADA^{†1} YUIKO HASHIMOTO^{†1}

Abstract: In this research, we conducted comparison and analysis between curves on the skulls and curves on the head forms of stuffed animals or photographs of eight sorts of animals including the extinct Japanese wolf. Next, we inferred an exact head form from the Japanese wolf's skull that Wakayama University possesses based on the result, and created 3D models of the head form in computer graphics. Furthermore, we will create 3D models of Japanese wolf's whole body in addition to the exact head form, and put 3D models in motion such as walk and run, and consider the application for the exhibition.

Keywords: Japanese wolf, Skull and head form, Curve, Curvature profile

1. はじめに

ニホンオオカミとは日本の本州・四国・九州に生息していたオオカミの一亜種で、江戸から明治時代にかけての狂犬病や人為的な駆除により絶滅したと考えられている。現在、ニホンオオカミの剥製は世界に6体しか存在していない。頭蓋骨は日本全国に20個程度存在しており、博物館で展示しているものや計測可能なものもある。6体の剥製のうち3体は国内の国立科学博物館、東京大学、和歌山県立自然博物館に収蔵されており、残りの3体は国外の大英博物館、ベルリン自然史博物館、ライデン王立自然史博物館に収蔵されている。現在和歌山県立博物館に収蔵されているニホンオオカミの剥製は和歌山大学が寄託したもので、奈良県十津川地方で明治36~37年間に捕獲されたものであると記録されている。しかし、この剥製の頭部形状にはニホンオオカミとして不自然な点が見られ、標本を作る際のミスではないかと言われている。一番初めに作成されたこの剥製の頭部形状が不自然であったことと、中に頭骨が入っておりそれを取り出すために1981年10月に作り直しがなされた[1]。しかし、剥製の頭部の毛皮部分は、頭蓋骨と毛皮の間に綿が詰めてあったため膨らんでしまっており、

頭蓋骨から推測される本来の形と思われるものに復元することができなかった。つまり和歌山大学所蔵の剥製は同様に所蔵している頭蓋骨の形状を反映した曲線になっておらず、曲線が不自然なものになっている。

これまでニホンオオカミの研究として頭蓋骨の遺伝学的解析[2]や骨の年代測定[3]、また形状に関する研究では頭蓋骨の角度に焦点を当てた三次元的鑑定[4]や寸法の精査[5][6][7][8]が行われている。和歌山大学所蔵のニホンオオカミの剥製の頭部形状は不自然ではないかと問題提起もされている[9]。しかしながら、ニホンオオカミの剥製として正確な頭部形状を導き出すために必要となる剥製や頭蓋骨の形状に現れる曲線に焦点を当て定量的な分析を行った研究はない。

そこで、本研究ではニホンオオカミの頭蓋骨と剥製の形状に現れる曲線の比較・分析を行い、正確な頭部形状を導き出すことを目的とした。具体的には、和歌山大学所蔵のニホンオオカミの剥製と頭蓋骨を非接触型の3次元形状計測装置で計測し、得られた剥製と頭蓋骨の3次元データから頭部における中心線を抽出する。また、他7種の動物の写真データからは曲線抽出ソフトで曲線を抽出する。さらに、得られた点列データから多項式近似によって近似式を生成し、曲率が滑らかに接続された曲率単調曲線と曲率半径を求めた後、曲率プロファイルによる分析や比較を行う。その結果に基づいて、和歌山大学が所蔵するニホンオオカミ

^{†1} 和歌山大学
Wakayama University

^{†2} 和歌山大学大学院
Graduate School of Wakayama University



図 2 和歌山大学のニホンオオカミの剥製の計測風景



図 1 和歌山大学所蔵のニホンオオカミの剥製(上)と頭蓋骨(下)

の本来の頭部形状を導き出し CG 上で 3D モデルとして創成する。加えて、創成した 3D モデルを用いて全身形状を CG 上で創成し、モーション付けを行い展示のための考察を行う。

2. 剥製と頭蓋骨形状の計測

本研究では、和歌山大学所蔵のニホンオオカミの剥製と頭蓋骨(図1)を3D スキャナを用いて3D モデル化し、曲線を抽出し比較・分析を行った。以下に計測方法、使用する機器、曲線抽出方法、曲率プロファイルについて述べる。

2.1 剥製と頭骨の3Dデータの取得方法・機器

一般に、3D スキャナは対象物にセンサーを当てながら座標を測定する接触式と、対象物にレーザー光やパターン光を当ててスキャンを行う非接触式がある。本研究では非接触式の3D スキャナである3D Systems社のSenseを使用し、計測を行った(図2)。具体的には、半径1m以上空間のあるスペースにニホンオオカミの剥製と頭蓋骨を配置し計測を行った。対象物を中心としてSenseを約1m離れた位置からかざしていき、頭部、胴体、下半身の3分割にして3

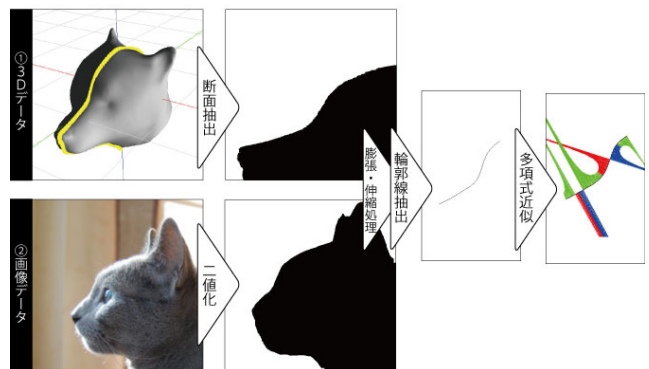


図 3 中心線の曲線抽出・分析の流れ

D データを取得する。取得したこれらのデータは 3D モデリングソフトを用いて結合し、剥製と頭蓋骨の 3D データを作成した。

2.2 中心線の曲線抽出・計測方法

計測した剥製と頭蓋骨の 3D データを用いた中心線の曲線の分析方法の流れを以下に示す(図3中)。

- (1) 取得した 3D データから断面抽出ソフトを用いて中心線の断面抽出を行う。
- (2) 二値化し、膨張・伸縮処理を行い輪郭線を抽出する。
- (3) 多項式近似により輪郭線の近似曲線を生成する。
- (4) 近似曲線の曲率半径の算出、曲率プロファイル(詳細は後述)の作成を行う。
- (5) 曲率プロファイルから解釈できる曲率半径の変化の仕方に着目した性質分析を行う。

2.3 多項式近似による曲線の近似

前節で述べた近似曲線を生成するために使用した多項式近似について概説する。多項式近似を行うには xy 座標データが 1 価関数 (x の値に対して y の値がただひとつ定まる関数) でなければならないことに注意する必要がある。よって、今回近似を行う輪郭線の座標データを 1 価関数に変換しなければならない。そこで、曲線長を表す新たなパラメータ t を加え、 x と t 、ならびに y と t について近似を行う。ここで、多項式近似とは、最少二乗法を用いて実際の座標データと近似曲線の残差二乗和を最小にする係数を求

めることである．ある輪郭線について x と t で多項式近似を行う場合，近似関数を式 (1) とすると，求める残差 σ の二乗和は式 (2) により求まる．さらに，それぞれの係数に対して式 (2) を偏微分すると式 (3) が成り立ち，求める変数の数と得られる方程式の数が一致するので，この方程式を解けば係数を定めることができる． y と t においても同様に多項式近似を行う．

$$x = a_n t^n + a_{n-1} t^{n-1} + \dots + a_1 t + a_0 \quad (1)$$

ただし， $a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0$: 係数
 n : 近似多項式の次数

$$\sum_{j=0}^m \delta^2 = \sum_{j=0}^m \left(x_j - \sum_{k=0}^n a_k t_j^k \right)^2 \quad (2)$$

m : 座標数
 x_j : j 番目の x 座標値
 t_j : j 番目の t 座標値

$$\frac{\partial}{\partial a_p} \sum_{j=0}^m \delta^2 = -2 \sum_{j=0}^m \left(x_j - \sum_{k=0}^n a_k t_j^k \right) \cdot t_j^p = 0 \quad (3)$$

($p = 0, 1, \dots, n$)

多項式近似は，その他の曲線近似の方法に比べ，曲線における微小範囲での急激な変化の影響を受けにくいという性質がある．また，元の点列データとの誤差が最小となる近似式の係数を一意に決めやすい．近似は複数の次数で行い，その中から最適と考えられる次数の多項式を決定し，曲線の近似曲線として用いる．本研究では，近似の最高次数を 20 次に設定した．その理由は，高次数の近似で得られる曲線は複雑な曲線になりやすく，分類が困難になるからである．

2.4 曲率プロファイルの作成

本研究では，前節の方法で収集したデータより得られた近似曲線から曲率プロファイルを作成し，曲率半径の変化の仕方による性質分析を行う．ここで，曲率プロファイルについて概説する．

曲率プロファイルとは，曲率半径を曲線上の点からその点の曲率円の中心を結び直線分として表し，曲線の各構成点上に連続的に描画した図である (図 4)．曲率円とは，曲線上の各点において 2 次接触する円のことであり，また，各点におけるこの円の半径の長さを曲率半径と呼ぶ．

また，本研究では，近似曲線における曲率の変化が単調に増加する曲線を曲率単調曲線と呼ぶ．さらに，曲率単調曲線の接続部における曲率半径が最小になる点を曲率半径極小点 (図 4 中 ▼) と呼び，曲率半径が最大になる点を曲率半径極大点 (図 4 中) と呼び．

3. 様々な動物の頭蓋骨形状と頭部形状の比較

3.1 計測方法

本章では動物の頭部形状のシルエットの中心線と頭蓋骨

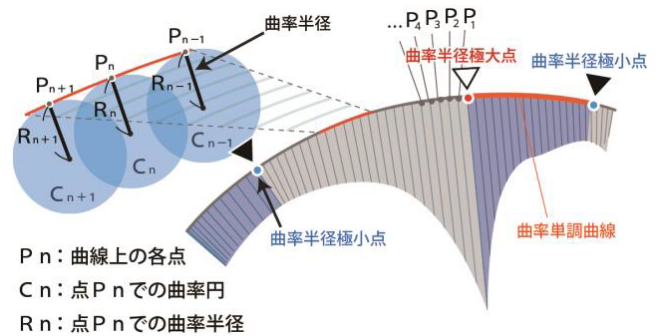


図 4 曲率プロファイルの模式図

の形状が一致することを確認するために，ニホンオオカミの他に 7 種の動物の頭部・頭蓋骨の中心線の曲線の計測を行った (図 3 中)．具体的には，この計測では画像データから曲線を抽出するため，まず背景と対象物の境界が明確になるように閾値を調節し，二値化処理を行う．この後の処理はニホンオオカミの剥製と頭蓋骨と同様に曲線の計測・分析を行った．

計測された頭部形状と頭蓋骨の曲線の曲率プロファイルに関して比較を行った結果，その曲率半径の変化より動物の頭蓋骨の形状と頭部形状における中心線は非常に類似していることが確認できた (図 5)．具体的な結果について以下に述べる．

(1) トラ

今回，頭部曲線の図 5 中 を凹部， を凸部と定義する．計測・分析結果から，トラの頭部形状と頭蓋骨の中心線は同数の変曲点があり，また凹部，凸部での曲率半径極小点における曲率半径に対しての曲率半径極大点における曲率半径の比率が類似しており，曲率プロファイルも類似している．これらのことより，トラの頭部形状と頭蓋骨の中心線は同じ性質であることがうかがえる．

(2) アカギツネ

計測・分析結果から，アカギツネの頭部と頭蓋骨の中心線は同数の変曲点があるが，凹部，凸部での曲率半径極小点における曲率半径に対しての曲率半径極大点における曲率半径の比率が異なったものとなっている．これはアカギツネの個体差，もしくは毛の影響と考えられる．

(3) アライグマ

計測・分析結果から，アライグマの頭部と頭蓋骨の中心線は同数の変曲点があり，また凹部，凸部での曲率半径極小点における曲率半径に対しての曲率半径極大点における曲率半径の比率が類似しており，曲率プロファイルも類似している．これらのことより，アライグマの頭部と頭蓋骨の中心線は同じ性質であることがうかがえる．

(4) イエネコ

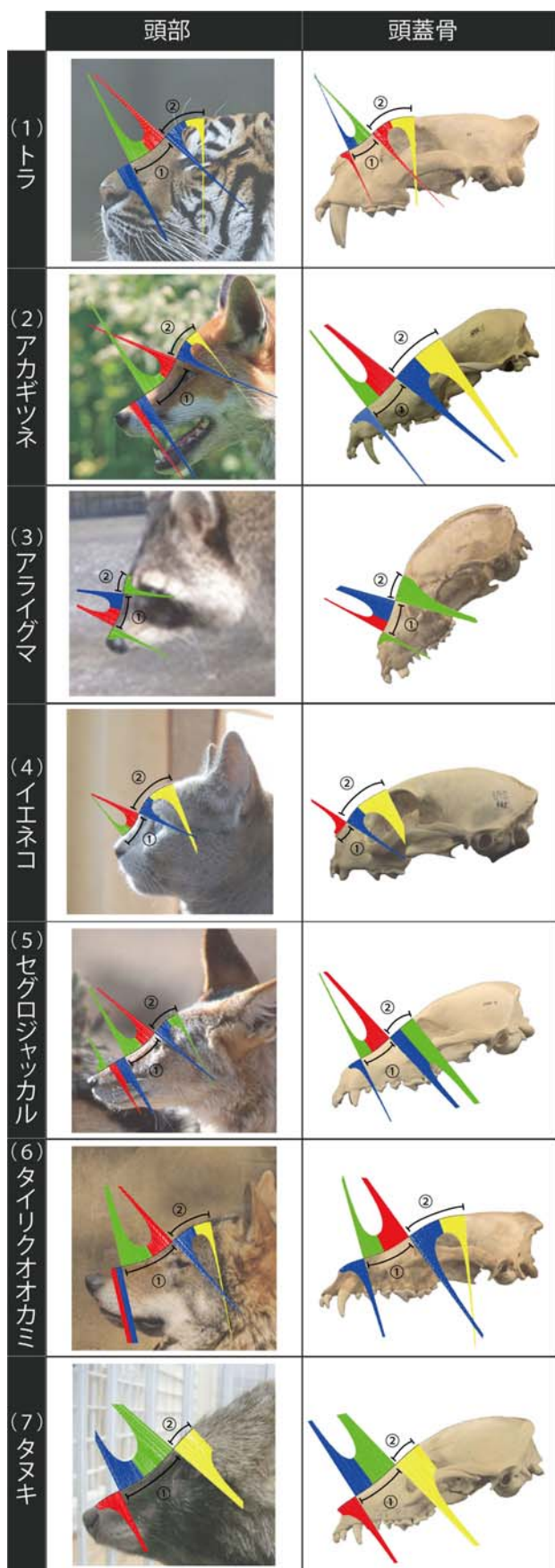


図 5 7種の動物の曲線計測と分析の結果

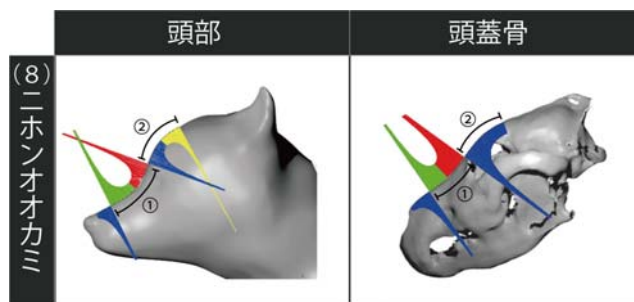


図 6 ニホンオオカミの曲線計測・分析の結果

計測・分析結果から、イエネコの頭部と頭蓋骨の中心線は同数の変曲点があり、また凹部、凸部での曲率半径極小点における曲率半径に対する曲率半径極大点における曲率半径の比率が類似しており、曲率プロファイルも類似している。頭部形状の凹部の左端には頭蓋骨には現れていない曲率単調曲線が現れているが、これはイエネコの骨のない鼻先部分が影響しているためであると考えられる。これらのことより、イエネコの頭部と頭蓋骨の中心線は同じ性質であることがうかがえる。

(5) セグロジャッカル

計測・分析結果から、セグロジャッカルの頭部と頭蓋骨の中心線は同数の変曲点があり、また凹部、凸部での曲率半径極小点における曲率半径に対する曲率半径極大点における曲率半径の比率が類似しており、曲率プロファイルも類似している。頭部形状の凹部の左端には頭蓋骨には現れていない曲率単調曲線が現れているが、これはセグロジャッカルの骨のない鼻先部分が影響しているためであると考えられる。これらのことより、セグロジャッカルの頭部と頭蓋骨の中心線は同じ性質であることがうかがえる。

(6) タイリクオオカミ

計測・分析結果から、タイリクオオカミの頭部と頭蓋骨の中心線は同数の変曲点があり、また凹部、凸部での曲率半径極小点における曲率半径に対する曲率半径極大点における曲率半径の比率が類似しており、曲率プロファイルも類似している。頭部形状の凹部の左端には頭蓋骨には現れていない曲率単調曲線が現れているが、これはタイリクオオカミの骨のない鼻先部分が影響しているためであると考えられる。これらのことより、タイリクオオカミの頭部と頭蓋骨の中心線は同じ性質であることがうかがえる。

(7) タヌキ

計測・分析結果から、タヌキの頭部と頭蓋骨の中心線は同数の変曲点があり、また凹部、凸部での曲率半径極小点における曲率半径に対する曲率半径極大点における曲率半径の比率が類似しており、曲率プロファイルも類似している。これらのことより、タヌキの頭

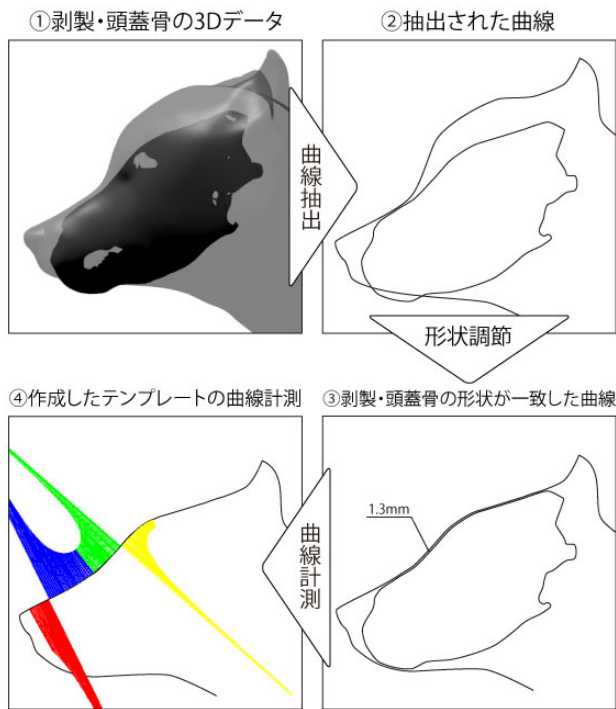


図 7 テンプレート作成手順

部と頭蓋骨の中心線は同じ性質であることがうかがえる。

(8) ニホンオオカミ

和歌山大学所蔵のニホンオオカミの剥製と頭蓋骨の中心線の曲線プロファイルの比較を行う(図6)。その結果、ニホンオオカミの剥製の頭部と頭蓋骨の中心線は同数の変曲点があるものの、曲率半径極小点における曲率半径に対しての曲率半径極大点における曲率半径の比率が大きく異なっている。特に頭蓋骨の凹部での曲率半径極小点、曲率半径極大点における曲率半径の差異に比べて剥製の頭部の中心線の凹部での曲率半径極小点、曲率半径極大点における曲率半径の差異は非常に大きくなっているため、頭蓋骨の凹部よりも剥製の凹部はへこみが大きく丸みを帯びた曲線となってしまうことがわかる。また、剥製の凸部の右端には頭蓋骨には現れていない曲率単調曲線が現れており、これは剥製の頭部が大きく膨らみ丸みを帯びているためであると考えられる。

4. ニホンオオカミの頭部形状の再現

前章の計測結果を用いて、ニホンオオカミの頭部形状の再現のためのテンプレート形状の作成を行った。そのテンプレート形状の作成手順を以下に示す。

- (1) 3DCG 作成ソフト (Blender) を用いて計測した剥製と頭蓋骨の 3D データをスケールを合わせ重ねる(図7中)。また、この画像を参考に輪郭線を抽出する(図7中)。

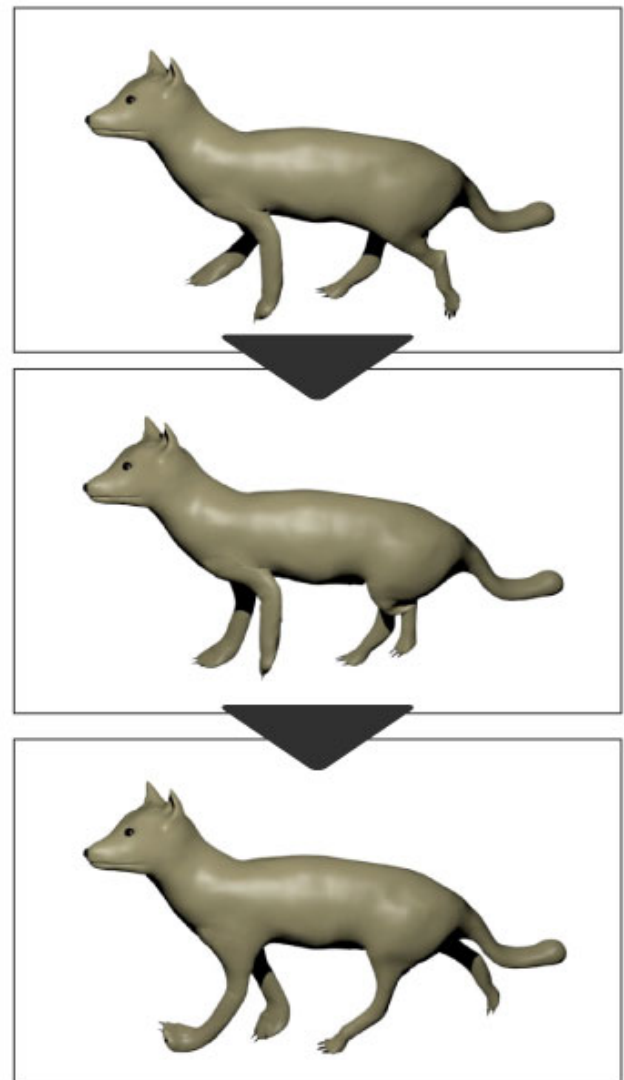


図 8 3D モデルの“歩く”モーション

- (2) 形状が一致していない剥製の曲線(図6中)を頭蓋骨に合わせて整える(図7中)。人間の皮膚の厚さは約 1.5mm~4mm 程度(表皮+真皮)とされているのに対しイヌの皮膚の厚みはその3分の1~5分の1と言われている。今回は剥製と頭蓋骨の曲線の距離をイヌの骨から表皮までの厚みを参考にして、最大値である 1.3mm とした。
- (3) 作成された剥製の曲線で再度曲率計測を行い、頭蓋骨の曲率プロファイルと比較を行う(図7中)。その結果から、作成したテンプレート形状と頭蓋骨の形状は特徴が似ており形状が一致していることがわかる。
- (4) 作成したテンプレート形状を用いて 3D モデルを創成していく。この 3D モデルに関しては現在制作中である。

5. まとめ

本研究では以下に示す成果が得られた。

- (1) 和歌山大学所蔵のニホンオオカミの剥製・頭蓋骨を3D スキャナを用いて3Dモデル化し、中心線の曲線を抽出し比較・分析を行った。また、ニホンオオカミの他に7種の動物の頭部・頭蓋骨の中心線の曲線の計測を行い、得られた計測結果から比較を行った。その結果、和歌山大学所蔵のニホンオオカミの剥製の頭部形状が頭蓋骨の形状と大きく異なっていることがわかった。
- (2) ニホンオオカミの頭蓋骨から考察される剥製の頭部形状を導き出した。
- (3) 3Dモデル化したニホンオオカミの剥製データを用いてモーション付けを行った(図8)。
今後の課題として以下のものが考えられる。
 - (1) 動物の頭部形状は毛が生えていることにより多少の形状変化があると思われる。それを考慮した上でより精密なデータ収集と分析が必要である。
 - (2) 今回作成したニホンオオカミの頭蓋骨から考察される剥製の頭部形状のテンプレートをを用い、3Dモデルの剥製を作成する必要がある。さらにそれをを用い、モーション付けをして展示のための考察を行う必要がある。

謝辞 本研究は和歌山大学・独創的研究支援プロジェクトの助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 宮本 典子, 牧 岩男. ニホンオオカミ剥製標本の改作と新しく取り出された頭骨について. 和歌山大学教育学部紀要 自然科学. 1983, vol.32, p.9-16
- [2] 石黒 直隆. 絶滅した日本のオオカミの遺伝的系統. 日本獣医師会雑誌. 2012, vol. 3, no. 65, p. 225-231 .
- [3] 南 雅代, 北村 直司, 中村 俊夫. 熊本県八代郡泉村京丈山洞穴より産出したニホンオオカミ全身骨格標本のAMS14C年代. 名古屋大学加速器質量分析計業績報告書. 1999, vol. 10, p. 189-198.
- [4] 吉田 智洋, 遠藤 秀紀, 九郎丸 正道, 林 良博. ニホンオオカミとイヌに関する頭骨形態の三次元的鑑定. 哺乳類科学 = Mammalian Science. 1999, vol. 2, no. 39, p. 239-246 .
- [5] 遠藤 秀紀, 酒井 健夫, 伊藤 琢也, 鯉江 洋, 木村 順平. 山梨県の民家で発見されたニホンオオカミ頭蓋の骨学的および画像解析学的検討. Japanese journal of zoo and wildlife medicine. 2004, vol. 2, no. 9, p. 109-114 .
- [6] 今泉 吉典. ニホンオオカミの系統的地位について:1. ニホンオオカミの標本. 哺乳動物学雑誌:The Journal of the Mammalogical Society of Japan. 1970, vol. 1, no. 5, p. 27-32.
- [7] 今泉 吉典. ニホンオオカミの系統的地位について:2. イヌ属内での頭骨における類似関係. 哺乳動物学雑誌:The Journal of the Mammalogical Society of Japan. 1970, vol. 2, no. 5, p. 62-66.
- [8] 宮本 典子. 現存する6体のニホンオオカミの剥製とその頭骨に見られる形態の研究. 和歌山大学教育学部紀要 自然科学. 2001-02, vol. 51, p. 23-32.
- [9] M. Moriyama, F. Yoshimoto, T. Harada. Building 3D Models from the Stuffed Specimen of a Japanese Wolf Toward Exhibiting in Virtual Museum. Proceedings of the IASTED International Conference Applied Modelling and Simulation. 1999, p. 443-446.

画像出典一覧

- **トラ**

<http://muskox.blog40.fc2.com/page-40.html>

- **アカギツネ**

<http://www.pixcove.com/tag/deceive/>

- **イエネコ**

<http://free-materials.com/%E7%B4%A0%E6%95%B5%E3%81%AA%E6%A8%AA%E9%A1%94%E3%80%82%EF%BC%88%E7%8C%AB%E3%83%BB%E3%83%AD%E3%82%B7%E3%82%A2%E3%83%B3%E3%83%96%E3%83%AB%E3%83%BC%EF%BC%89/>

- **セグロジャッカル**

http://www.naturephoto-cz.com/%E3%82%BB%E3%82%B0%E3%83%AD%E3%82%B8%E3%83%A3%E3%83%83%E3%82%AB%E3%83%AB-picture_ja-1351.html

- **タイリクオオカミ**

<http://rekisisuki.exblog.jp/24624521/>

- **タヌキ**

<http://blog.livedoor.jp/minashigodc/archives/51806214.html>

- **頭骨**

高橋 秀雄 , 山下 真幸 , 茂原 信生 . Mammalian Crania Photographic Archive . 2004