

令和元年6月19日現在

機関番号：32513

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21437

研究課題名(和文) 史上最大の動物の最小の骨：ヒゲクジラ類における耳小骨の形態・機能・進化

研究課題名(英文) Minimum bones of the biggest ever animals: form, function, and evolution of ear ossicles in baleen whales

研究代表者

村上 瑞季 (Murakami, Mizuki)

秀明大学・学校教師学部・講師

研究者番号：70710614

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：ヒゲクジラ類の耳小骨の分類群ごとの形態差違を明らかにするため、17種のヒゲクジラ類に関して形態比較を行なった。その結果、形態差違が軽視されてきたヒゲクジラ類においても、各科ごとに耳小骨の形態が異なることが明らかとなった。たとえば、ナガスクジラ科のツチ骨は、他のヒゲクジラ類に比べて、前突起が背腹方向に厚い。また、コククジラのツチ骨は内側面観において前後に幅広く、キスタ骨との関節面も歪な楕円形である。アブミ骨は形態的な多様性は低い。ホッキョククジラのアブミ骨は他のヒゲクジラ類より長い。このように、ヒゲクジラ類の耳小骨の形態は各系統を反映しており、鳴音などの生態と関連して進化した可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒゲクジラ類の耳小骨は、下顎骨-音響脂肪-鼓室骨と伝達されてきた音を、内耳に伝える重要な働きを有している。耳骨のうち、鼓室骨や耳周骨に関しては形態や機能といった観点から多くの研究が行なわれてきたが、耳小骨の形態と機能に関する研究は種ごとの記載でさえごくわずかしが行なわれてこなかった。本研究では、17種のヒゲクジラ類に関して耳小骨の形態比較を行ない、形態的な差違が軽視されてきたヒゲクジラ類においても、耳小骨は各科ごとに形態変異があることを明らかにした。本研究は初めて明らかになった形態差異は、ヒゲクジラ類の鳴音の進化がどのようにおこったのか理解する上で重要である。

研究成果の概要(英文)：For the purpose of clarifying morphological differences of ear ossicles in Mysticeti, ear ossicles of 17 mysticetes were compared. As a result, morphological differences of ear ossicles in mysticete families are shown, even though those differences have been believed that those were small. For example, the anterior process of malleus in Balaenopteridae dorsoventrally thick relative to those of Balaenidae, Eschrichtidae, and Cetotheriidae, because dorsal part of manubrium of Balaenopteridae is not swollen. Furthermore, malleus of Eschrichtidae is wide in medially, and the articular surfaces of incus is warped. Stapes of Bowhead whale is clearly long relative to those of archaeocetes and other mysticetes, although morphological differences of stapes are small relative to those of malleus. Thus, morphology of ear ossicles in mysticetes reflect phylogenetic relationships, these may evolved with their ecology.

研究分野：古生物学

キーワード：ヒゲクジラ 耳小骨 形態 進化

## 1. 研究開始当初の背景

ヒゲクジラ類は、超低周波数の鳴音を用いていることが知られている。鳴音の周波数は種によって異なり、最も低いシロナガスクジラでは14Hzである(Clark, 1990)。低周波の音は水中における吸収損失が少ないため、ヒゲクジラ類の鳴音は数十～数百km、ときに数千km先まで届くとされている。同じ鯨類のハクジラ類は周波数の高い超音波を使って餌・外敵・物体などを探る反響定位を行っているが、ヒゲクジラ類のホッキョククジラなどは低周波の鳴音のエコーを用いて、遠くにある流水などの障害物を探知しているとされている(e.g., Clark, 1989)。また、ヒゲクジラ類ではオスだけが用いる、音の並び方が規則的なソング(song)と呼ばれる鳴音の存在が知られている(Payne and McVay, 1971)。ソングはオスのメスに対する求愛、あるいはオス同士での競争に用いられていると考えられている。このように、水中で生活するヒゲクジラ類にとって、音響とそれを受容する聴覚の重要性は陸上哺乳類よりはるかに高い。耳小骨(ツチ骨・キヌタ骨・アブミ骨)は哺乳類の骨格の中で最小の骨である。例えば、体長30mを超えるシロナガスクジラでも、最大の耳小骨であるツチ骨本体の大きさは2cmにも満たない。しかしながら、ヒゲクジラ類の耳小骨は、下顎骨-音響脂肪-鼓室骨と伝達されてきた音を、てこの原理によって増幅し、耳周骨に覆われている内耳に伝えるという重要な働きをしている。形態や機能といった観点から多くの研究があった鼓室骨や耳周骨(e.g., Ekdale et al., 2011)というよく目立つ大きな骨と違い、ヒゲクジラ類の耳小骨の形態と機能に関する包括的な研究はこれまでなく、種ごとの記載でさえ不十分であった。しかしながら、予備調査としてヒゲクジラ類のツチ骨の比較を行ったところ、種ごと科ごとに明瞭に形態が異なっていた(図1)。ツチ骨の突起(ツチ骨柄)の角度は鼓膜張筋の長さで停止する角度を規定する(Lancaster, 1990)。したがって、上記の形態の違いはその機能と直結しており、それぞれの種類が用いる鳴音の周波数を反映していると予想される。同様に、耳小骨の形態はその系統学的な来歴を反映している可能性が高い。

## 2. 研究の目的

当初の研究目的は以下の3つである。

ヒゲクジラ類の現生および化石種の耳小骨について、肉眼・顕微鏡・3次元画像復元データ観察・計測により詳細な記載を行い、種・属・科ごとの特徴を明らかにする。

ヒゲクジラ類の耳小骨の形態形質が系統を反映しているかどうか、分子系統樹上で形質進化のシミュレーションを行い検証する。

ヒゲクジラ類の耳小骨のマイクロCT撮影画像を基にした3次元復元画像から耳小骨同士および耳小骨と鼓室骨・耳周骨の関節角度を求める。得られたデータとヒゲクジラ類現生種の可聴域のデータから、ヒゲクジラ類の耳小骨の形態と可聴域の関係を数理モデル化する。このモデルと化石種の耳小骨の形態から、化石種の可聴域と使用していた鳴音域を復元する。

## 3. 研究の方法

ヒゲクジラ類の現生および化石種の耳小骨について、肉眼・デジタルマイクロスコープによる顕微鏡観察・3次元画像復元データ観察・計測により詳細な記載を行い、種・属・科ごとの特徴を明らかにする。用いた標本は、調査対象は、ヒゲクジラ類現生種及び化石種の遊離した耳小骨(ツチ骨・キヌタ骨・アブミ骨)、関節した状態の耳小骨・鼓室骨・耳周骨である。ただし、ヒゲクジラ類の祖先であるムカシクジラ類も含み、標本は日本の国立科学博物館・アメリカのスミソニアン自然史博物館・ロサンゼルス郡立博物館が収蔵するヒゲクジラ類耳小骨標本を用いた。

ヒゲクジラ類の耳小骨の形態形質が系統を反映しているかどうか、分子系統樹上で形質進化のシミュレーションを行い検証する。

ヒゲクジラ類の耳小骨のマイクロCT撮影画像を基にした3次元復元画像から耳小骨同士および耳小骨と鼓室骨・耳周骨の関節角度を求める。得られたデータとヒゲクジラ類現生種の可聴域のデータから、ヒゲクジラ類の耳小骨の形態と可聴域の関係を数理モデル化する。このモデルと化石種の耳小骨の形態から、化石種の可聴域と使用していた鳴音域を復元する。

## 4. 研究成果

ナガスクジラ科のツチ骨は、セミクジラ科、コククジラ科、ケテリウム科に比べて筋突起の背側が膨らんでおらず、相対的に前突起が背腹方向に厚い。また、腹側面観においてナガスクジラ科のツチ骨柄は、ムカシクジラ類同様に四角計あるいはやや丸みを帯びている。これに対し、セミクジラ科、コククジ

ラ科，ケトテリウム科のツチ骨柄の先端は幅が狭く腹側に突出し，その先端はしばしば後内側にカールする．他のヒゲクジラ類と比較すると，コククジラのツチ骨は内側面観において前後に幅広く，キヌタ骨との関節面もやや歪んだ楕円形となっている．

アブミ骨はキヌタ骨と比べると形態的な多様性は低い．ただし，ホッキョククジラのアブミ骨の前脚と後脚は，祖先のムカシクジラ類，コククジラ科，ケトテリウム科，ナガスクジラ科より長い．このように，形態的な差違が軽視されてきたヒゲクジラ類においても，各科ごとに特徴が見られる．このように，ヒゲクジラ類の耳小骨の形態は各系統を反映している．したがって，系統ごとに鳴音などの生態と関連して進化した可能性がある．

## 5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

**村上瑞季**，2019，史上最大の動物の最小の骨：ヒゲクジラ類における耳小骨の比較形態学．2018年度勇魚会シンポジウム，静岡．

**村上瑞季**・平山 廉，2016，千葉県房総半島の中新統最上部千畑層における鯨類化石相．化石研究会第34回総会・学術大会，東京．

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年：

国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6．研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

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。