

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：10105

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23570103

研究課題名(和文) 海生哺乳類の機能形態学的多様性と環境適応

研究課題名(英文) Diversity and environmental adaptation of functional morphology of marine mammals

研究代表者

佐々木 基樹 (SASAKI, Motoki)

帯広畜産大学・畜産学部・准教授

研究者番号：50332482

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、鰭脚類であるゼニガタアザラシの前後肢、および鯨類であるネズミイルカの前肢を、CTスキャナーを用いて撮影し、得られた画像を三次元立体構築することによって、それらの可動域を非破壊的に解析した。ゼニガタアザラシでは、足根関節の体軸に対する外側および内側への広い可動域が確認され、さらに体幹に埋まっている肩関節や肘関節の屈曲、伸展、そして前腕の回内などが観察された。ネズミイルカ前肢のCT画像解析では、前肢の動きは肩甲骨の移動をほとんど伴わず、さらに前腕の回旋運動は確認できなかった。

研究成果の概要(英文)： In this study, the fore- and hindlimbs of the harbor seal and the forelimbs of the harbor porpoise were examined three dimensionally to analyze the motion range using CT scanner. In the harbor seal, the broad motion range of tarsal joint with lateral and medial motion was observed. Moreover, the flexion and extension of the shoulder and elbow joints buried within trunk and the pronation of forearm were recognized. In the harbor porpoise, the motion of forelimbs was accompanied by almost none of scapular movement, and the circumnutation of forearms was not confirmed.

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学、生物多様性・分類

キーワード：海生哺乳類 多様性 機能形態

### 1. 研究開始当初の背景

海生哺乳類は、進化の過程で陸上生活していた祖先から二次的に水中生活へと適応進化してきた動物群である。これら動物群のうち、水中生活に完全に特化して進化してきたものが海牛目や鯨目である。一方、それ以外の海生哺乳類は陸上と水中の両方を生活圏とし、状況に応じて双方の環境を使い分けている。このように、同じ海生哺乳類とはいってもその生活様式や行動圏に大きな違いが認められることから、それぞれの動物群は形態学的にさまざまな環境適応能力を有しているものと考えられる。

例えば、海生哺乳類である鰭脚類のアシカ科とアザラシ科では、その水中での遊泳方法が全く異なっており、それに対応して骨格形態にも違いが認められることが知られている。アシカ科は水中での推進力に前肢先端の鰭状の手を使用し、アザラシ科では後肢先端の鰭状になった足と腰部自体の上下左右の屈曲を推進力に用いている。このようにアシカ科とアザラシ科の外観的運動性は良く理解されているにも関わらず、実際にこれら鰭脚類の骨格がどの程度可動範囲をもって動いているのかは全く知られていない。鯨類においても、鰭脚類と同様に前肢（フリッパー）の骨格形態は良く理解されているが、その可動性はまだ良く理解されていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

本研究では、鰭脚類と鯨類といった海生哺乳類において、従来の筋骨格系における肉眼的および組織学的構造解析に加えて、これまで骨の関節面の形状から推測するしかなかった関節の可動域を、CTによる非破壊的三次元的解析によって明らかにし、海生哺乳類の形態学的水生適応と進化の関係を総合的に考察することを目的とする。

### 3. 研究の方法

鰭脚類の研究では、ストランディングやまたは水族館において死亡した新鮮なゼニガタアザラシ(*Phoca vitulina*) 2 個体、ゴマフアザラシ(*P. largha*) 1 個体、およびクラカケアザラシ(*P. fasciata*) 1 個体の死体を用いた。ゼニガタアザラシでは、前肢と後肢を様々な方向に移動させて固定し、それぞれの位置において CT 撮影をおこなった。撮影後得られた断層画像データを三次元立体構築してその可動状況を確認した。また、CT 撮影後に前肢と後肢の肉眼的解剖もおこなった。3 種のアザラシ全てで頸部の CT 撮影をおこない、頸部の各頸椎の関節状態を三次元立体構築像によって確認した。

さらに鯨類の研究では、混獲によって死亡した新鮮なネズミイルカ(*Phocoena phocoena*) 1 個体を用いた。前肢フリッパーをゼニガタアザラシ同様に様々な方向に移動させて固定し、それぞれの位置において CT 撮影をおこなった。撮影後得られた断層画像

データを三次元立体構築してその可動状況を確認した。

### 4. 研究成果

ゼニガタアザラシ前肢の CT 画像解析では、非破壊的に前肢骨格の可動状態を観察する事ができ、体幹に埋まっている肩関節や肘関節の屈曲、伸張、そして前腕の回内が観察された。しかし、肩関節と肘関節の可動域は 90 度より大きく伸展する事はなく制限されていた(図 1)。また、ゼニガタアザラシ前肢の筋の多くは良く発達し、円回内筋、回外筋は大きく大きく発達していた。さらに家畜では存在していない長掌筋が発達しており、そして第五指外転筋が確認された。この第五指外転筋の存在は、第五指を後方へ引き手を外側方向に鰭状に大きく広げるために役立っていると考えられる。さらに、長第一指外転筋は大きく明瞭であり、第五指外転筋と共に手を内側方向に鰭状に広げるために役立っていると考えられる。また、一般的な家畜に存在する烏口腕筋は認められなかった。これらの結果から、ゼニガタアザラシの前肢は手根から肩甲骨にかけて体幹を覆う皮膚に埋まっているが、水中や陸上での多様な運動機能を発揮するために必要と考えられる多くの筋を発達させていることが明らかになった。

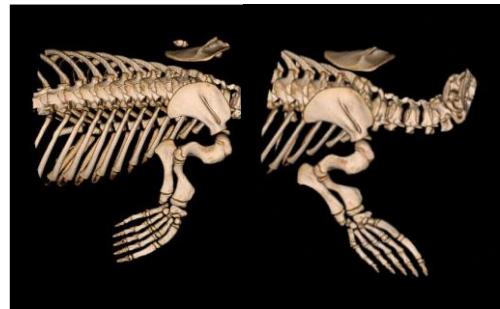


図 1. ゼニガタアザラシ前肢の肩関節および肘関節の可動性 (右背外側観)

ゼニガタアザラシ後肢の CT 画像解析では、アザラシは伏臥で特に力を加えない状態 (standard position) においては、股関節が一般的な哺乳類と比べて外転した状態になり、膝関節は約 90° に屈曲し、足根下腿関節において距骨は脛骨に対して外側を向いていた。また、足首においては体軸に対して外側および内側への広い可動域を持っていた。外側へは距骨が足根下腿関節面を前方にスライドして足首が屈曲し、さらに距踵中心関節が移動し足は回内して足底面がやや背側を向いていた(図 2)。内側へは距骨が足根下腿関節面を後方にスライドすることで足首が伸展し、距踵中心関節を含む足根関節も大きく後方へスライドし、さらに足根中足関節も大きくスライドすることで足全体が内側へ移動していた。腹側および背側方向においては、その方向へ

の足根下腿関節の可動性はほとんど認められなかった。しかし、腹側方向へは、足根骨や中足骨の移動によって足の回外と肢端部関節の屈曲が生じ、その結果肢端は腹側を向き、足底面は内側方向を示した。背側方向へは、足の回内によって足底面は内背側方向を向いていた(図3)。膝関節では、膝を屈曲させたときに大腿骨と下腿骨のなす角は鋭角にはならず、さらに、伸展させたときでは180°まで伸びることはなかった。股関節は頭側に回内、尾側に回外しながら移動していた。

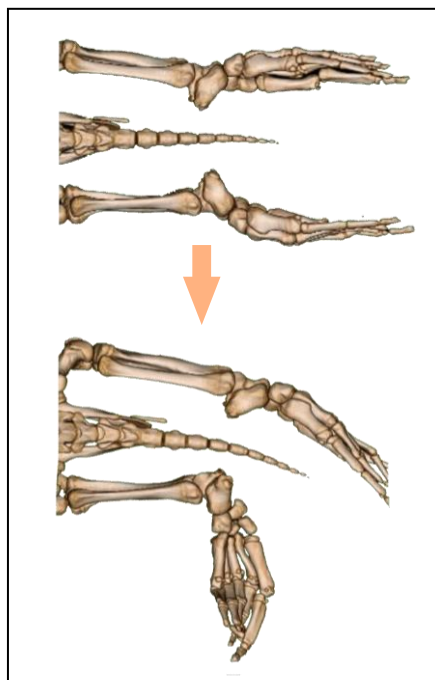


図 2. ゼニガタアザラシ後肢の外側方向への可動状況(背側観)

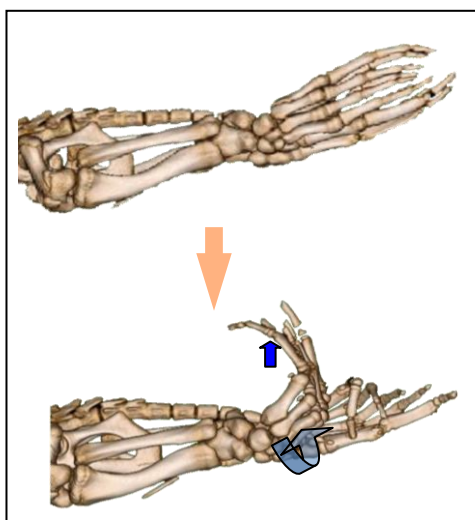


図 3. ゼニガタアザラシ後肢の背側方向への可動状況(左外側観)

さらに、ゼニガタアザラシ、ゴマフアザラシ、およびクラカケアザラシの頸部 CT 観察では、頸部の筋に随意的な力が働いていない場合では、頸椎は全ての種においてU字状に後方へと湾曲し、第四から第六頸椎の腹側部が頸部腹側の皮膚に近づくことで、食道や気管といった頸部器官を圧迫する状況をつくり出していた(図4)。しかし、ゴマフアザラシでは頸椎横突起腹結節が特に発達しており、頸椎の湾曲で狭くなった胸郭前口を通過するため後方に向かう頸部器官をこれが保護していた。



図 4. ゴマフアザラシ頸椎の関節状況(左外側観)

ネズミイルカ前肢の CT 画像解析では、前肢の可動性は、前肢を頭側、尾側、背側さらに腹側に動かした際に肩甲骨の移動をほとんど伴わず、肩甲骨と上腕骨の間の肩関節の動きによってもたらされていることが明らかになった(図5)。また、上腕骨と橈骨および尺骨の間の肘関節の可動性はほとんど認められず、さらに橈骨と尺骨間の配置の変化によっておこる前腕の回内、回外といった回旋運動も確認できなかった。ネズミイルカは推進力のほぼすべてを尾鰭の上下運動に依存しており、前肢は方向を定める舵の役割と静止時の体の平衡維持を担っているといわれている。本研究の結果から、ネズミイルカの前肢骨格の可動域は陸生哺乳類や半水生適応した哺乳類などと比べると非常に制限されていることが明らかになった。

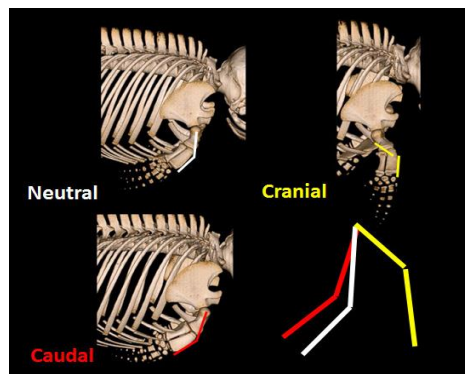


図 5. ネズミイルカ前肢の前後方向の可動性(右外側観)

## 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 2 件)

- ① Motoki SASAKI, Eva FUGLEI, Oystein WIIG, Yutaka FUKUI, Nobuo KITAMURA, The Structure of the Masticatory Muscles in the Arctic Fox (*Vulpes lagopus*), Japanese Journal of Zoo and Wildlife Medicine, 査読有, 18: 23-27, 2013,  
<http://dx.doi.org/10.5686/jjzwm.18.23>
- ② Motoki SASAKI, Yoko AMANO, Daisuke, HAYAKAWA, Toshio TSUBOTA, Hajime ISHIKAWA, Toshihiro MOGOE, Seiji OHSUMI, Masafumi TETSUKA, Akio MIYAMOTO, Yutaka FUKUI, Teguh BUDIPITOJO, Nobuo KITAMURA, Structure and Steroidogenesis of the Placenta in the Antarctic Minke Whale (*Balaenoptera bonaerensis*), Journal of Reproduction and Development, 査読有, 59: 159-167, 2013,  
<http://dx.doi.org/10.1262/jrd.2012-132>

[学会発表] (計 0 件)

[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]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐々木 基樹 (SASAKI, Motoki)  
帯広畜産大学・畜産学部・准教授  
研究者番号：50332482

### (2) 研究分担者

山田 一孝 (YAMADA, Kazutaka)  
帯広畜産大学・畜産学部・教授  
研究者番号：80292093

遠藤 秀紀 (ENDO, Hideki)  
東京大学・学内共同利用施設等・教授  
研究者番号：30249908

### (3) 連携研究者

なし