

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 5 月 21 日現在

機関番号：14101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05782

研究課題名(和文)水生野生動物の体長と胴回りを非接触かつ簡便に測定する技術の開発

研究課題名(英文)Body size and girth measurement methods for underwater wild animals

研究代表者

森阪 匡通(Morisaka, Tadamichi)

三重大学・生物資源学研究所・准教授

研究者番号：00422923

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトを含め動物の体長や胴まわりなどの情報は、個体の健康状態を示すバロメータとして重要であり、またその種の特性を示す重要な基礎情報である。本研究において、伊豆諸島御蔵島に生息する野生ミナミハンドウイルカ108頭の体長を、非接触で簡便かつ誤差3%以内のシステムで測定し、100cm程度で生まれ、親離れ時期(3歳)で221cm程度になり、245cm程度まで成長し、性差は顕著ではないことが明らかとなった。一方胴回りに関しては、その絶対値を直接求めず、野外の非接触による水中計測に簡便に用いることができる「痩せ具合」を数値化する方法を開発した。これらを用いて本個体群のモニタリングを継続していきたい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、自由に野外で動き回る、非剛体の水中動物の非接触による計測技術として、簡便で誰でも使いやすい安価なシステムを用いながらも、必要な精度をクリアするものとしてきわめて重要なものであると言える。これは工学と生物学の研究者が10年以上かけて議論してきたからこそ可能であった。体長や胴回りのモニタリングが可能となったことから、対象である御蔵島のミナミハンドウイルカ個体群の異常を早期に発見し、早急な対策につなげられる基盤が整った点で、保全学的意義は高く、また本個体群を対象とした地域のイルカスイムの持続可能性をモニタリングできる点で、SDGsにも寄与できる。

研究成果の概要(英文)：Body length and girth in animals including humans are important as a barometer for measuring individuals' health and reproductive conditions as well as basic information of the species. We successfully measured body lengths of 108 free-ranging Indo-Pacific bottlenose dolphins living around Mikura Island by the non-invasive easy-to-use system with less than 3% error. Results indicated that those dolphins were born in around 100 cm, became around 221 cm at weaning age (3 years old), and around 245 cm for adults without obvious sexual difference. On the other hand, we newly developed the non-invasive easy-to-use method to estimate "leanness" without direct measure of the girth of the free-ranging wild dolphins underwater. We will keep monitoring the health conditions of the dolphin population using these methods.

研究分野：動物生態学

キーワード：体長推定 肥満度推定 イルカ 非接触計測 保全 健康 モニタリング

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトを含め動物にとって、体長や胴まわりといった情報は、個体の健康状態（特に栄養状態）や繁殖状態（体長は性成熟などと関係し、妊娠状態は胴回りから判断できる）を示すパラメータとして重要であり、またその種の特性を示す重要な基礎情報であるといえる（Hart et al. 2013）。野生動物の体長や胴まわりを継続的にモニタリングできれば、健康状態の悪化、繁殖状態の把握といったことを、迅速に発見することができる。つまり、突然の個体数の減少などの顕著な変化が起こる前に、個体群の不健全さを検出できると考えられる。いち早く異常を察知できれば、迅速にそれに対する保全策を打つことができ、個体群崩壊など深刻な状況に陥ることを避けられることが期待される。

私たちが研究フィールドとしている伊豆諸島御蔵島周辺海域に棲息するミナミハンドウイルカは、透明度の高い水中で間近で泳げること、ほぼ確実にイルカに会える遭遇率の高さなどから、イルカ研究フィールドとして世界に誇ることができる貴重な場所である。ところが160頭前後を維持してきた個体数が、2008年から4年間で約3割の個体が突然海域から姿を消し、120頭にまで落ち込んだ。混獲など明白な理由が見つからず、その原因はわかっていない。私たちは餌資源減少による栄養悪化で個体が出移り、または死亡した可能性を考えているが、漁業がない御蔵島では漁業資源の変動のデータがない。そこでイルカの痩せ具合や子どもの成長率を直接調べることにした。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、小型で安価、簡便で誰もが使いやすいシステムを開発し、水中で自由に泳ぎ回る動物の体長や胴まわりを、必要精度（誤差3%以内）で計測できるようにすることである。こうした3次元計測は、地上で形状が固定（剛体）とみなせる動物を対象としたものが多く、水中で変形しながら動き回る動物（非剛体）を対象とした研究は、当初はほとんどなく、一部、魚類の体長や体高の測定システムはあったが、高価かつ大型で（Shortis et al. 2009）、我々の目指すフィールドでの使用目的には向いていなかった。最近では、野生鯨類の体長や胴回りを測定しようとする試みが、様々な方法で行われてきているが、依然として野生イルカの非接触の体長測定は少ない。例えば船上から背びれなど体の一部のサイズを測定し、そのサイズから体長を推定する方法（von Aswegen et al. 2019）等が存在するが、事前にその体の一部と体長との関係式を死亡個体等から求めておく必要がある。一方、胴まわりは、一時捕獲や飼育個体以外ではほとんど計測は行われていなかった。Christiansen et al. (2019)では、ドローン映像から胴回りのサイズを推定しているが、胴回りを円として推定しており、粗い推定であると言える。

既製品のカメラを用いる提案システムは小型で、撮影者1名が水中で対象個体と一緒に泳ぎながら継続的に撮影できるなど、フィールドでの使用目的に耐える。体長測定法は信頼性・安定性向上を目指しつつ、実際に御蔵島野生ミナミハンドウイルカ個体群で使用し、年齢と体長との関係式を作成する。また、これまで誰も行えなかった胴まわりの非接触による測定を可能にする新技術を開発し、安価で誰にも使いやすく、柔軟性の高い、必要な範囲で高精度を確保したシステムの開発を目指す。本研究は工学と生物学の専門家が12年来（2021年5月現在）の議論のもと行っており、小型で簡便なシステムでありながら必要十分な精度を持つというバランスのよい技術を開発できる体制であることも特色である。

## 3. 研究の方法

本研究では、画像処理技術を用いて自由遊泳中の野生イルカの体長および胴まわりを非接触で測定する手法を開発し、伊豆諸島・御蔵島のミナミハンドウイルカの体長・胴まわりの測定を実際に行い、年齢と体長・胴まわりの関係性を調べる。これにより異常を早期発見し、早急な対策につなげることが本研究での最終目標である。

### (1) 体長測定

私たちはこれまでに、水中ハウジングに収めた民生品の3Dカメラを用いてフィールド使用に耐えられる5%未満の誤差に収まる簡便な方法を確立してきた。これを用いて、東京都御蔵島周辺海域に定住するミナミハンドウイルカの同一個体から複数回データの取得を試み、誤差を減らしつつ、様々な年齢の個体から体長データを取得し、年齢と体長の関係式を描く。

### (2) 胴まわりの推定

背びれの前付け根を通る胴の周囲を胴まわりと定義する。胴まわりを楕円と仮定し、楕円の縦横比をとする。Hashimoto et al. (2015)のイルカの胴まわりのCTスキャン図からは、 $0.834$  が得られた。回転角度  $\theta$  で楕円を回転させたとき、画像上の胴まわりの横幅 ( $W$ ) と、その幅の中心から背びれ付け根のずれ ( $d$ ) の比  $d/W$  の間には一定の関係があり、 $d/W$  に応じて近似放物線が得られる（図1）。ビデオカメラで撮影を行った動画の複数フレームから得られた

Wと  $W_0$  の関係を用いて新しく痩せ具合を定義する。  $\alpha$  は  $W_0$  を反映したものであるが、カメラとイルカまでの距離には影響されないという距離 - 不変の性質を持つ。このことにより、  $\alpha$  を痩せ具合のパラメータとして用いることができると考えた。同時に3Dカメラで取得した実長と画像上のピクセルとの関係から、体高と体幅の実長を計算し、これらの値を長軸、短軸に持つ楕円の周長を胴まわりとして推定する。動画での撮影であるため、1シーンの撮影で複数回データが得られる。上記の過程を、計測済みの陸上の剛体に続き、御蔵島の野生イルカで行い、年齢と胴まわりの関係式を作成する。

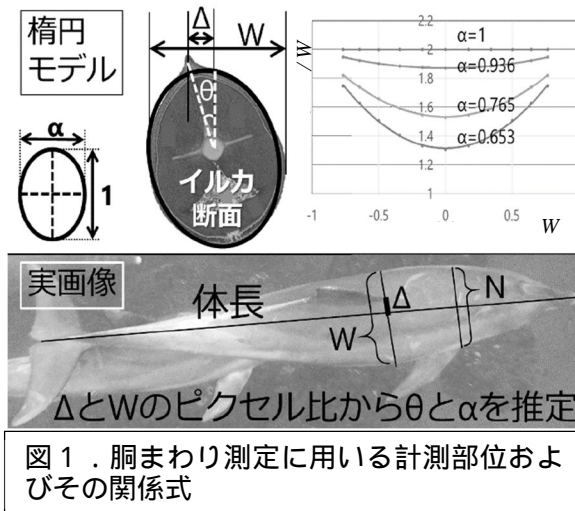


図1. 胴まわり測定に用いる計測部位およびその関係式

#### 4. 研究成果

2020年度はコロナ禍の影響により、水族館での実験を行うことができず、また、研究フィールドである御蔵島にもここ21年間ではじめて行くことができず、様々な実証実験ができなかったが、手法開発とこれまでのデータの解析に重点を置くことにより、研究の進展を図ることができた。

##### (1) 体長測定

東京都御蔵島周辺海域に生息する野生ミナミハンドウイルカに対し、2014年から2019年まで6年間にわたり蓄積してきた3Dカメラを用いた簡便な手法によるデータを解析した。80日館で3528枚の写真を撮影し、そのうち2857枚の写真にイルカが撮影された。そのうち、129頭のイルカが個体識別され、同じ個体の撮影を除くと、108頭(57頭のメスと35頭のオス、16頭は性別不明)のイルカの体長を推定することができた。うち17頭で同じシーズンに複数回の体長推定ができた。これを用いて平均絶対誤差率(mean absolute percentage error)を計算すると、平均1.39%であり、最大3.14%であった。したがって、本システムは誤差は約3%以内であると考えられた。この108頭のデータを用いて描いたグラフが図2である。これにより、御蔵島のミナミハンドウイルカは100cm程度で生まれ、1歳で168cm、多くの個体が親離れを迎える3歳で221cm程度になることがわかった。メスは243cm、オスは249cm程度まで成長し、性差は顕著ではなかった。この体長は、南西オーストラリアのミナミハンドウイルカ個体群とだいたい同じであったが、オーストラリアのシャーク湾の個体群よりも大きい結果となった(von Aswegen et al. 2019と比較)。これにより、御蔵島個体群のミナミハンドウイルカの体のサイズの標準がわかったため、今後、子ども個体を中心に、その体長をモニタリングし、異常に成長率の低い個体を見つけることが可能となった。今後もモニタリングを続けていきたい。

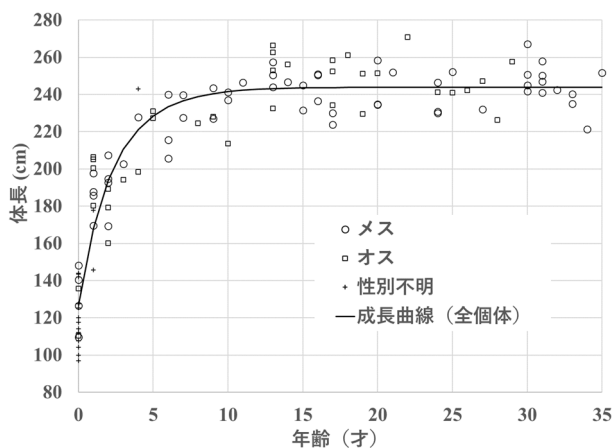


図2. 御蔵島のミナミハンドウイルカの年齢と体長の関係

##### (2) 胴まわりの推定

様々な研究を行っている中で、予定していた、やや複雑な過程を経なければならない長さの絶対値を推定する方法ではなく、水中計測に実践的に用いることができる、より簡便な痩せ具合を数値化する方法を開発した。民生品のビデオカメラの光軸と垂直な方向に進みながら体軸中心に回転している野生イルカの動画を用いて、胴まわり(背びれ前方付け根を通る胴周囲)の切断面を楕円近似して、その縦横比、画像上の横幅W、その幅の中心から背びれ付け根のずれを取得する。グラフ  $W(k)/W(0)$  (横軸:  $W(k)$ 、縦軸:  $W(0)$ ) は、  $W(k)$  によって異なる放物線を描くため、グラフから  $W(k)$  を求められる。この  $W(k)$  がカメラとイルカ間の3次元距離の影響を受けるという問題を解決するため、新しく  $W(k) = W(0) \cdot (k - 0.3)^2 + 0.4$  を導入した。  $W(0)$  は楕円の短軸の2倍(画像上の長さ)を表すので、  $W(k)$  は  $W(k)$  を正規化したものと考えられる。この工夫により、3次元カメラを使用することなく動画処理を用いて痩せ具合の推定のためのシステム構築が可能となった。モデルを用いた実験によって、誤差は2%以内に収まることが示され、また、1頭のみで

はあるが、野生のミナミハンドウイルカの を計算し、 に変換すると、 =0.878 が得られた。これは基準値とした Hashimoto et al.(2015) のイルカの胴まわりの CT スキャン図からの =0.834 に近い数字であり、推定はある程度信頼できるのではないかと判断している。これらの結果は、国際会議で発表済みで、国際誌に掲載決定済みである。コロナ禍により、各個体からのデータ取得が叶わなかったが、要素技術が確立したので、今後、野外での測定を行い、モニタリングを行っていききたい。

#### <引用文献>

- Christiansen F, Sironi M, Moore MJ, Martino MD, Ricciardi M, Warick HA, Irschick DJ, Gutierrez R, Uhart MM, Estimating body mass of free-living whales using aerial photogrammetry and 3D volumetrics. *Methods in Ecology and Evolution*, 10, 2019, 2034-2044
- Hart LB, Wells RS, Schwacke LH, Reference ranges for body condition in wild bottlenose dolphins *Tursiops truncatus*. *Aquatic Biology*, 18, 2013, 63-68
- Hashimoto O, Ohtsuki H, Kakizaki T, Amou K, Sato R, Doi S, Kobayashi S, Matsuda A, Sugiyama M, Funaba M, Matsuishi T, Terasawa F, Shindo J, Endo H, Brown adipose tissue in cetacean blubber. *PLoS ONE*, 10, 2015, e0116734
- Shortis M, Harvey E, Abdo D, A review of underwater stereo-image measurement for marine biology and ecology applications. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 47, 2009, 257-292
- Von Aswegen M, Christiansen F, Symons J, Mann J, Nicholson K, Sprogis K, Bejder L, Morphological differences between coastal bottlenose dolphin (*Tursiops aduncus*) populations identified using non-invasive stereo-laser photogrammetry. *Scientific Reports*, 9, 2019, 12235

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hama Hiromitsu, Morisaka Tadamichi	4. 巻 15
2. 論文標題 Noncontact method for estimating ellipticity around the girth of a free-ranging dolphin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ICIC Express Letters Part B: Applications	6. 最初と最後の頁 755-762
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24507/icicel.15.07.755	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Morisaka Tadamichi, Sakai Mai, Kogi Kazunobu, Hama Hiromitsu
2. 発表標題 Length of the free-ranging wild Indo-Pacific bottlenose dolphins Tursiops aduncus around Mikura Island determined using an underwater 3D camera
3. 学会等名 World Marine Mammal Conference（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aung Thida, Sein Myint Myint, Hama Hiromitsu
2. 発表標題 Reconstruction of the Ancient Pagodas
3. 学会等名 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Cho Hanni, Zin Thi Thi, Shinkawa Norihiro, Nishii Ryuichi, Hama Hiromitsu
2. 発表標題 Automatic Postmortem Human Identification using Collarbone of X-ray and CT Scan Images
3. 学会等名 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiromitsu Hama, Tetsuya Hirata, Tsubasa Mizobuchi, Thi Thi Zin
2. 発表標題 A Study on Detection of Precursor Behaviors of Estrus in Cattle Using Video Camera
3. 学会等名 OS-AIT: Advanced Image Technology in Applied Life Science: IoT and Deep Learning Perspectives (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zin Thi Thi, Tin Pyke, Hama Hiromitsu
2. 発表標題 An Innovative Approach to Video Based Monitoring System for Independent Living Elderly People
3. 学会等名 Transactions on Engineering Technologies (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirata Tetsuya, Zin Thi Thi, Kobayashi Ikuo, Hama Hiromitsu
2. 発表標題 A Study on Estrus Detection of Cattle Combining Video Image and Sensor Information
3. 学会等名 Big Data Analysis and Deep Learning Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	濱 裕光  (Hama Hiromitsu)  (20047377)	大阪市立大学・大学院工学研究科・名誉教授   (24402)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------