

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23310166

研究課題名(和文) 野生イルカ個体群保全のための非侵襲的計測手法の開発

研究課題名(英文) Development of non-invasive measuring methods for conservation of wild dolphin population

研究代表者

森阪 匡通 (Morisaka, Tadamichi)

東海大学・創造科学技術研究機構・講師

研究者番号：00422923

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,100,000円、(間接経費) 3,030,000円

研究成果の概要(和文)：沿岸域に棲息する野生イルカは、近年増加する人間活動との軋轢から大きな影響を受けている。生息環境悪化などに伴う成長率の低下や栄養状態の悪化、また人間活動による海中雑音の増加に伴うコミュニケーション範囲の減少といった影響に関しては、科学的な計測手法が確立されておらず研究が進んでいない。本研究では、野生イルカの形態を非侵襲的に3次元計測するシステムの基礎的手法の確立と、野生イルカ鳴音の音圧を非侵襲的に正確に記録するシステムを構築し、今後の保全につなげていきたい。

研究成果の概要(英文)：Wild dolphins living in coastal area have been influenced by the recently-increasing human activity. It is still difficult to measure longitudinal effects on wild dolphins, such as declining growth rate or bad nutritional condition by worsening habitat environment, or shortening communication range by increasing background noise level because there are few methods to measure such data from free-ranging wild dolphins. In this study, we developed basic non-invasive methods for measuring 3-D body size of wild dolphins and the non-invasive system for measuring sound source level of dolphin sounds. These technique and system will contribute to monitor wild dolphin population for conservation.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：資源保全学

キーワード：イルカ 3次元形状復元 体長推定 肥満度 鳴音 音源音圧推定

1. 研究開始当初の背景

沿岸の浅海域を生活の場とし、特定の地域に固執するイルカ(小型のハクジラ亜目)例えばミナミハンドウイルカ(*Tursiops aduncus*)、スナメリ(*Neophocaena phocaenoides*)、ウスイロイルカ(*Sousa chinensis*)といった種は、沿岸域の環境変化から大きな影響を受ける。例えばスナメリにおいて、体内に蓄積した汚染物質の濃度が高く(Iwata et al. 1995)、また生息地の破壊などによる個体数の減少(Kasuya et al. 2002)、混獲や漁業者との軋轢など、おもに人間活動による環境変化が様々な影響を与えている。こうした影響の評価は、実際に死亡率の増加や個体数の減少という顕著な形で表れてから初めて検知可能であり、そのような大きな影響がはじまってからは、保全にさらに時間がかかってしまう。したがって、個体数の減少という顕著な変化が起こる前に、影響評価を行うことが重要である。

(1) もし個体ごとの成長率や肥満度の経時的な変化をモニターすることが可能であれば、イルカ個体群が環境から受けている圧力を評価することができると考えられる。個体ごとの成長率や肥満度を測定するためには、体長や胴回りなどの計測を行う必要がある。これまで野外の個体群に対してこうした計測を行った事例は非常に少ない。アメリカのサラソタ湾のハンドウイルカ(*T. truncatus*)は、一時的に捕獲され、体長や胴回りなどの計測などののちに放される。この方法により、健康状態のチェックがなされている。しかし、捕獲をすることにより、イルカに大きなストレスがかかること、また、捕獲には多大な費用と人出が必要であること、そして必ずしもすべての個体を捕獲できないことなどから、このような方法は問題が残る。また、例えばミナミハンドウイルカが棲息する御蔵島のように湾がなく、開けた海洋島でこうした捕獲は非常に困難である。

(2) 一方、温帯から熱帯の沿岸域の海中は、テッポウエビなどの甲殻類の発する音が多く、うるさい環境となっている。さらに沿岸域は人間活動が盛んであり、船舶や工事などの発する雑音が、さらに海をうるさくしている。こうした海中の雑音が鯨類に大きな影響を及ぼしていることは、最近になってようやくわかってきた。雑音によって、発する鳴音の届く範囲が狭められてしまい、コミュニケーションに用いることのできる距離が劇的に減少してしまうなどの影響が考えられる。

2. 研究の目的

上記のようなイルカ個体群が環境から受けている圧力を評価するために、野生イルカの体長および胴回りや鳴音を非侵襲的に正確に記録するシステムを構築することで、個体群の保全につなげることを目的とする。

(1) 同時に撮影することのできる複数台のカメラを用いて、イルカの各個体を複数枚撮影

することにより、非剛体であるイルカの3次元形状を復元し、イルカの体長と胴回りなどの情報を取得し、個体ごとの成長率や肥満度を経時的にモニターしていくことで、個体群の保全につなげることを第1の目標としている。ここでは簡便かつ必要な精度を満たすシステムの構築を目指す。

(2) 水中マイクアレー&ビデオカメラシステムを構築し、野外で各イルカ個体から正確に鳴音を記録し、経時的にその変化をモニターすることにより、イルカが晒されている環境雑音の影響の評価を行うことを第2の目標としている。

3. 研究の方法

(1) イルカの体長や胴回りを非侵襲的な方法で測定する。ミリ単位以上の精度が必要な場合はレーザー光を用いたレンジセンサーがよく用いられるが、センチメートル単位での精度で十分な場合には、簡便・安価で手軽に実現できる方法として、対象物を複数の角度から撮影した写真を用いる方法が多く用いられている。しかし、空気中での剛体を対象としており、そのままでは適用できないので、本研究においては、水中に棲息し、動き回る非剛体であるイルカの3次元形状を復元する方法をまず確立することから始める。空気中で剛体の3次元モデルの構築に用いられているソフトウェアを転用し、非剛体の形の変化を補正し、イルカの3次元モデルを構築する。この3次元モデルから体長と肥満度を取得し、精度を高めていく。

(2) イルカの各個体から正確に鳴音を取得するためのシステムとして、4つの水中マイクを用いた水中マイクアレーと、映像を記録する1つの水中ビデオカメラを結合させた水中マイクアレー&ビデオカメラシステムを開発する。水中マイクを複数用いて鳴音を同時録音することにより、各マイクに音が入力される時間差を測定し、マイクと音源までの距離を推定する。

4. 研究成果

(1) イルカの体の大きさを非侵襲的な方法で測定することに関しては、次の2つの課題に取り組んだ。つまりイルカの体長計測と胴回りの長さ計測である。

イルカの体長計測

フリーハンド描画曲線と部分直線を用いた新しいイルカの体長測定法の開発を行った。従来、3次元形状計測には点対応から3次元復元を行う手法が多く用いられてきたが、常に形状が変化し、激しく動き回るイルカの体長や胴回りの長さ測定にはそのままでは適用できない。ここでは、従来型の復元手法をベースとして、イルカの測定に特化した新しい手法の開発を試みた。まず、イルカの体長測定には、ここでは、3次ベゼ曲線を用いたが、必ずしもベゼ曲線に限らない。制御点を用いて規定されるパラメトリックな

自由曲線などのような曲線を用いてもよい。イルカの体長計測のために図1のようなモデルを用いた。このモデルは実態に沿ったものであり、いくつかの論文でも紹介されている。図2は全体の処理ブロック図を示す。イルカの体の頭部側はほとんど変形しないので直線近似をし、尾ビレ側は、S字型やU字型に変形するが、ここではより低次のベゼ曲線の適用が可能なり字型のポーズを取った場合を考える。ここでは、非常にシンプルなシステムであるにも関わらず比較的良好な結果が得られている。ルカの模型を用いて提案手法の実証実験を行った結果では、模型のイルカの体長の実測値 153.7cm に対して、提案手法では 153.3cm と誤差が 1.0cm 以内で、必要精度 5% を達成している。これらの結果は、イルカの体長計測には十分な精度であると考えている。

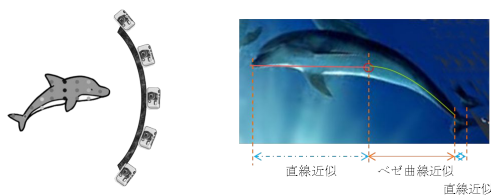


図1 イルカの体長計測モデル

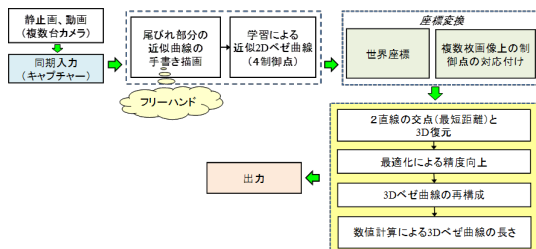


図2 イルカの体長計測の処理ブロック図

イルカの胴回りの長さ測定

図3にイルカの胴回りの長さ測定のブロック図を示す。

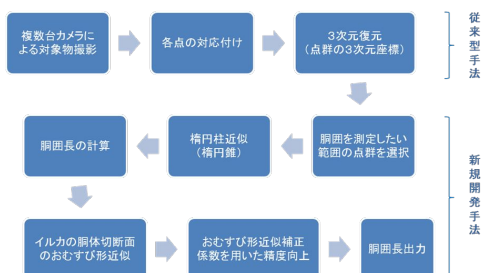


図3 イルカの胴回りの長さ測定のブロック図

楕円柱近似と三角おにぎり補正係数による胴回りの長さの測定精度向上を図った。ここでは、イルカの断面を真円あるいは楕円として近似したが、実際には三角おにぎりに近い形状をしている。そのため、胴回りの長さは実際より短く計算されるので、精度を向上させるには、補正を行う必要がある。そこで、縦長のおにぎりと横広のおにぎりを人工的

に作り真円あるいは楕円との周囲長の誤差の評価を行った。重ね合わせるときのパラメータは、楕円の中心、長径、短径であり、おにぎりの位置と形状は固定しておく。

得られた点群の近似円柱に対して、半径が最小となるように円柱の中心軸を選ぶ。このとき近似円は必ずしも真円でなく楕円で近似した方が精度はよくなる。近似の違いによる誤差の厳密な評価は今後の課題である。

背ビレから胸ビレの胴回り長の実測値は測る場所と状態によって異なり、背ビレの近くの胴回りの長さは 91.5 (空気が少し抜けた状態)、92.8 (空気が満タンの状態) で、胸ビレの近くでは 100.0cm となっており、仮に中間値 $(100+91.5)/2=95.75\text{cm}$ を取ると、誤差は 4.42% となり、当初の目標精度 5% 以内を達成している。また、背ビレ後ろの付け根からの最小周囲を「胴周」と呼び、ここが一番重要な場所であるが、ここでは付け根から前の部分を計測した。開発手法はこの場所にも適用できるもので、今後実用化に向けて実証実験を重ねていきたい。提案手法では、補正後の最終結果は 99.98cm が得られている。補正係数は、大体 2.22% ~ 4.22% 程度であり、おにぎりの形状にはそれほど大きくは影響されない。イルカの体調管理には、絶対的な値より、相対的な経年変化を観測することの方が重要であり、補正係数を固定的に利用することで実用上は問題ないと思う。

今後の課題は海中でのフィールド実験による検証を進めて、さらに誰にでも使える簡便な手法の開発である。

(2) イルカの各個体から正確に鳴音を取得するためのシステムを開発し、これで実際にイルカの鳴音を取得し、音圧を推定した。

システムは4つの水中マイクと録音機材からなる水中ハウジング部と水中ビデオ部からなり、それぞれ独立している(図4)。



図4 イルカの鳴音を正確に取得するためのシステム (2012年、初期バージョン)

音録音部分はアクアサウンド社と共同で製作し、4本の水中マイク(アクアサウンド社 AQH-020)を 13 cm の距離を置いて平行に配置している。水中マイクの信号はアクアサウンド社特注のアンプを介し、12dB の固定ゲインがなされている。録音機材は Roland R-44 で、

4つの信号を96kHz サンプリングで同時録音できる。水中ビデオ部分は市販の Sony 社製 HDR-CX590V ハイビジョンカメラを NTF 社製 RVH-CX700VSD 水中ハウジングに収めたものを用いた。両システムの音と映像の同期は、ともに音が録音されているため、両方の音の入力時間により行った。

2012年に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に対して行った研究で、個体識別可能なイルカ2頭のホイッスル音を収録した。しかしながら音圧の異常な低さ(130±8 dB re 1μPa)が見られ、そして空中重量が13 kg余りにも関わらず水中では2.7kgの浮力がかかるという、取り回しの悪さがあったため、2013年度は改良を行い、空中重量が7.3kg、水中では中性浮力となった(図5)。

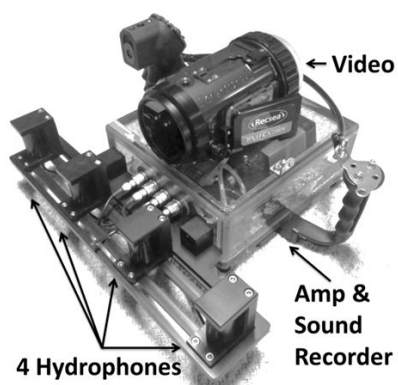


図5 イルカの鳴音を正確に取得するためのシステム(2013年度バージョン)

2013年度調査において、識別可能な3頭のイルカよりホイッスルを収録し、その音圧は165±4 dB re 1μPaであった。その音圧には個体差が見られたが、イルカに対する撮影場所による違いが大きく、噴気孔が見える場所での撮影と比べ、見えない場所での撮影では音圧が低かった。これはイルカのホイッスルが噴気孔付近より体外に出ているため、噴気孔が見えない場所ではイルカ自身の体が音を遮るためであると考えられる。今後データを増やし、御蔵島のイルカのホイッスルに関する基礎的知見を増やし、またモニタリングに活用していきたい。

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8件)

Morisaka T, Sakai M, Kogi K, Shinke T, Zin TT, Hama H. A mobile system for sound source level of wild dolphin whistles. *Memoirs of the Faculty of Engineering Osaka City University*, 査読無, 54巻, 2014, 25-29.

Hama H, Morisaka T, Zin TT, Hashimoto

Y, Matsui R. A novel method for contact-free measurement of dolphin's body size using a 3D Bézier Curve. *ICIC Express Letters, Part B, Applications: An International Journal of Research and Surveys*, 査読有, 5巻, 2014, 583-587.

森阪 匡通, 酒井麻衣, 小木万布. イルカと泳ぐ~適切な「イルカ観」と持続可能なイルカスイムに向けて. *ヒトと動物の関係学会誌*, 査読無, 35巻, 2013, 23-27.

Zin TT, Tin P, Toriu T, Hama H. An innovative background model based on multiple queuing framework. *ICIC Express Letters: An International Journal of Research and Surveys*, 査読有, 6巻, 2012, 1039-1044.

Zin TT, Tin P, Toriu T, Hama H. Background modeling using special type of Markov chain. *IEICE Electronic Express*, 査読有, 8巻, 2011, 1082-1088.

Hashimoto Y, Zin TT, Toriu T, Hama H. Fast multi-slit composition method using attitude measurement unit for pedestrian detection. *ICIC Express Letters, Part B, Applications: An International Journal of Research and Surveys*, 査読有, 2巻, 2011, 541-546.

Toriu T, Zin TT, Hama H. An unsupervised learning algorithm for self-organizing internal representation of ego-motion. *ICIC Express Letters, Part B, Applications: An International Journal of Research and Surveys*, 査読有, 2巻, 2011, 559-564.

Toriu T, Zin TT, Hama H. Small sample learning for motion estimation based on self-organized internal representation. *ICIC Express Letters: An International Journal of Research and Surveys*, 査読有, 5巻, 2011, 3921-3926.

[学会発表](計11件)

Morisaka T. Sound evolution in toothed whales. *International Symposium "Dolphin acoustics, behavior and cognition"*, 2014/2/2, 静岡コンベンションアーツセンター「グランシップ」(招待講演)

森阪匡通, 酒井麻衣, 小木万布, 新家富雄. ミナミハンドウイルカの識別個体から得た鳴音の音源音圧のバリエーション. 第29回日本霊長類学会・日本哺乳類学会2013年度合同大会, 2013/9/6-9, 岡山理科大学

森阪匡通, 酒井麻衣, 小木万布. ミナミハンドウイルカの識別個体から得た鳴音の音源音圧. 平成 25 年度日本水産学会春季大会, 2013/3/26-30, 東京海洋大学

森阪匡通, 酒井麻衣, 小木万布. イルカと泳ぐ. ヒトと動物の関係学会 2012 年度関西シンポジウム「ヒトと動物の関わりー癒しから治療へ」, 2013/1/26, 京都女子大学 (招待講演)

Zin TT, Tin P, Toriu T, Hama H. A markov chain approach to background modeling. 2013 International Workshop on Advanced Image Technology, 2013/1/7-9, 名古屋大学

森阪匡通, Marta JC, Holz AC, Sartori CM, Schulze B, 赤松友成. ハクジラ類の音響進化~ラプラタカウイルカの鳴音の音響特性. 日本動物行動学会第 31 回大会, 2012/11/23-25, 奈良女子大学

Morisaka T. Acoustics of Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*). 2012 Ewha-Kyoto symposium: Behavior and Ecology of Bottlenose Dolphins, 2012/11/10, 梨花女子大学 (韓国) (招待講演)

森阪匡通. 音から見た小型鯨類の社会. 東京大学大気海洋研究所共同利用研究集会「小型鯨類の資源生態研究最前線」, 2012/4/19, 東京大学 (招待講演)

森阪匡通. 日本沿岸のミナミハンドウイルカの音について. シンポジウム「ミナミハンドウイルカの生態」, 2012/3/23, キャンパスプラザ京都 (招待講演)

Zin TT, Tin P, Toriu T, Hama H. An innovative background model based on multiple queuing framework. The Sixth International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2011), 2011/12/23, 北九州国際会議場

Toriu T, Zin TT, Hama H. Self-organizing internal representation of ego-motion and its application to motion-compensated inter-frame subtraction. Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ2011), 2011/11/30, オークランド (ニュージーランド)

〔図書〕(計 2 件)

佐藤克文・森阪匡通, 岩波書店, サボリ上手な動物たち: 海の中から新発見!, 2013, 126

村山司・森阪匡通, 東海大学出版会, ケトスの知恵 イルカとクジラのサイエンス, 2012, 212

〔産業財産権〕
出願状況 (計 3 件)

名称: 三次元復元装置、プログラム及び方法
発明者: ティティズイン、濱裕光、森阪匡通
権利者: 大阪市立大学
種類: 特許
番号: 特願 2013-186260
出願年月日: 2013/9/9
国内外の別: 国内

名称: 画像検索装置、画像検索方法及び画像検索プログラム
発明者: ティティズイン、濱裕光、鳥生隆、パイティン
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 特願 2012-242744
出願年月日: 2012/11/2
国内外の別: 国内

名称: 測距センサーとカメラの複合システム
発明者: 鳥生隆、濱裕光、ティティズイン、パイティン、中島重義、橋本幸枝
権利者: 大阪市立大学
種類: 特許
番号: 特願 2012-72285
出願年月日: 2012/3/27
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

森阪 匡通 (MORISAKA, Tadamichi)
東海大学・創造科学技術研究機構・講師
研究者番号: 00422923

(2) 研究分担者

濱 裕光 (HAMA, Hiromitsu)
大阪市立大学・工学研究科・名誉教授
研究者番号: 20047377