

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25660152

研究課題名(和文)動物搭載型イベント記録システムの開発

研究課題名(英文)Development of an event detecting system using animal-borne data loggers

研究代表者

佐藤 克文(SATO, Katsufumi)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：50300695

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：動物搭載型カメラと加速度行動記録計を組み合わせることにより、直接観察が出来ない水生動物の生態を解明する手法を開発できた。1)マンボウ：行動的体温調節を行いつつ、深海に生息するクダクラゲ類を捕食している証拠を得た。2)マッコウクジラ：突進遊泳した際に撮影された映像には、イカの墨とおぼしき懸濁物が撮影されていた。これは、マッコウクジラが活発な追跡遊泳によって餌生物を捕らえている事を意味している。3)深海ザメ：日周鉛直移動を繰り返す深海性のサメ2種は、いずれも潜降時の方が浮上時に比べて激しく尾鰭を動かしていた。これは、従来言われていたこととは逆に深海ザメが正の浮力を有することを示している。

研究成果の概要(英文)：Combination of animal-borne cameras and accelerometers revealed the secret lives of cryptic aquatic animals.1) Ocean sunfish: the evidences of foraging siphonophores in deep water and behavioral thermoregulation of ocean sunfish were empirically demonstrated.2) Sperm whale: image of suspended material, possibly squid ink, were associated with bursts of swim speed. These images, likely derived during chasing prey, support the hypothesis that sperm whales actively hunt to capture prey.3) Deep-sea shark: two species of deep-sea sharks showed similar diel vertical migrations: they swam at depth of 200-300 m at night and deeper than 500 m during the day. During vertical movements, all sharks showed higher swimming efforts during descent than ascent to maintain a given swimming speed, and were able to glide uphill for extended periods, indicating that these sharks are in fact positively buoyant in their natural habitats.

研究分野：行動生態学

キーワード：バイオリギング 画像 加速度 マンボウ マッコウクジラ 深海ザメ データロガー 速度

1. 研究開始当初の背景

動物搭載型画像記録計により、直接観察が出来ない対象動物でも、採餌や水中社会行動などに関する情報を得ることが出来るようになったが、残念ながら記録時間が数時間程度に限定されている。一方、加速度計によって数日から2週間におよぶ時系列記録が得られているが、突発的に生じる多様な加速度変化がそれぞれどんなイベントを意味しているのか判断するのは難しい場合が多かった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、加速度計と画像記録計を同時に動物に搭載し、2つのパラメータが両方得られている間に、採餌や繁殖などに関わる重要なイベントを検出し、行動要素とそれぞれに特徴的な加速度波形の対応関係を得た上で、長期におよぶ加速度時系列データからイベントを抽出するアルゴリズムを開発することにある。

3. 研究の方法

(1) マンボウ調査

岩手県山田町船越湾漁業協同組合が運営する定置網漁船に、6月から11月にかけて大学院生が乗船し、漁業活動を手伝いつつ、マンボウ調査を実施した。日々のマンボウ捕獲頭数を数えると共に、大型個体数頭に対し、自動切り離し装置と共に浮力体に固定したデータロガーを装着した。装置は数日から1週間後に個体から切り離されて海面に浮かぶ。装置につけた人工衛星対応型発信機からの電波を元に緯度経度情報が送られてくる。これを参考にチャーターした漁船で現場に向かい、装置を回収した。データロガーによって、遊泳速度・深度・加速度・海水温・体温の時系列データ、および4秒間隔で撮影された静止画が得られたのでこれを解析した。

(2) マッコウクジラ調査

小笠原父島周辺海域に來遊するマッコウクジラを対象とした調査を実施した。チャーターした漁船にて水面で呼吸を繰り返すマッコウクジラに背後から接近し、グラスファイバー製のポールの先に付けた装置一式を、吸盤で頭部に付けた。装置は数時間から1日後に個体から離れ水面に浮かぶ。装置につけた電波発信機からの電波を元に装置を回収した。データロガーによって、遊泳速度・深度・加速度・地磁気・海水温の時系列データ、および4秒間隔で撮影された静止画像が得られたのでこれを解析した。

(3) 深海ザメ調査

ハワイのオアフ島周辺で延縄をしかけ、捕獲された深海ザメ2種、カグラザメ *Hexanchus griseus* と prickly shark *Echinorhinus cookei* に対して、自動切り離し装置と共に浮力体に固定したデータロガーを装着した。装置は1週間後に個体から切り離されて海面に浮かぶ。装置につけた人工衛星対応型発信機からの電波を元に緯度経度情報が送られて

くる。これを参考にボートで現場に向かい、装置を回収した。データロガーによって、遊泳速度・深度・加速度・海水温の時系列データ、および4秒間隔で撮影された静止画が得られたのでこれを解析した。

(4) その他

他にも、トド・アカウミガメ・キタゾウアザラシ・バイカルアザラシ・ヒレナガゴンドウといった対象動物から取得済みのデータを解析した。

4. 研究成果

(1) マンボウの体温変化に対応した効率よい採餌行動：光源付き静止画像記録計と行動記録計によるデータを解析したところ、マンボウは水面と深度200メートルの間を日中に何度も往復し(図1) 深い深度帯で遭遇するクラクラゲを捕食しているということが判明した(図2)。体温データも合わせて記録したところ、深い深度で採餌中に低下する体温を、水面付近の温かい海水で温めていることが判明した(図1)。さらに、体サイズに応じた体温変化の違いに応じて、各個体が餌のいる深度にいる時間割合を最大化するように振る舞っていることが分かった(図3)。

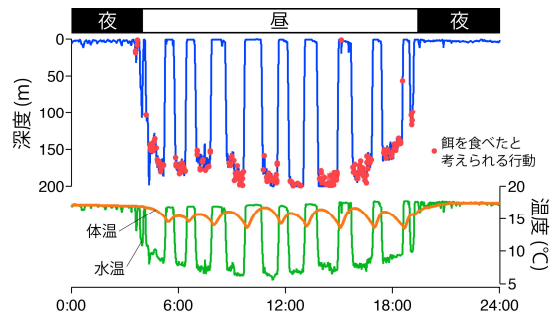


図1 マンボウの鉛直移動とその際の体温変化



図2 クラゲ類を捕食するマンボウ

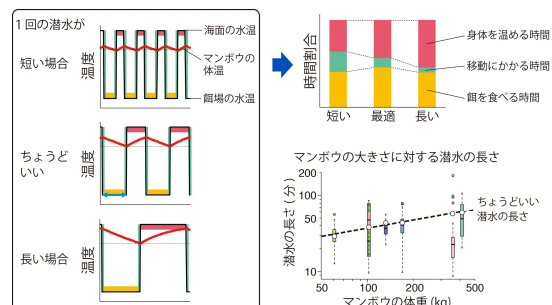


図3 体サイズ毎の体温変化速度に応じた最適な採餌時間配分

(2) マッコウクジラの頭足類捕獲行動：マッコウクジラに光源付き静止画像記録計と行動記録計を取り付けて取得したデータを解析したところ、深度 700~1000m で時々急旋回を伴うダッシュを行っており、その際、イカの墨らしきものが画像に写っていた(図4)。マッコウクジラは深海で活動的に追尾することで餌を捕らえていることを示す傍証を、世界で始めて画像記録としてとらえる事ができた。また、潜降する際、同種他個体が並んで泳ぐといった水中社会性行動が始めて観察されたが(図4)、その機能はまだ分からない。

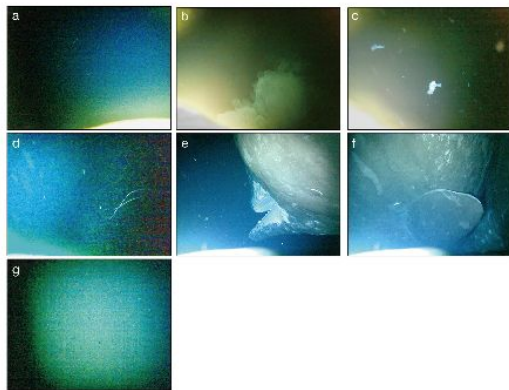


図4 マッコウクジラに搭載したカメラで得られた画像

(3) ハワイ近海に生息する深海ザメ2種に光源付き静止画像記録計と行動記録計を取り付けて得られたデータを解析したところ、いずれも日中は深度 600m の深度で過ごし、夜間は 300m より浅い深度で過ごすといった、明瞭な日周リズムが見いだされた(図5)。加速度データにより、鉛直移動する際の鰭の動きをみると、潜降時に激しくヒレを動かす一方で浮上時に動きを止めていることが判明した(図6)。これは、従来体密度が海水よりも重いとされていたサメ類が、生息深度においては正の浮力を有することを意味する。日中深く冷たい深海で過ごす間、おそらく体温が下がり、代謝が落ちてしまったと推測される。そのため、尾鰭を動かすことができず、浅い深度へ浮上するのにこの正の浮力が役立っているものと思われる。

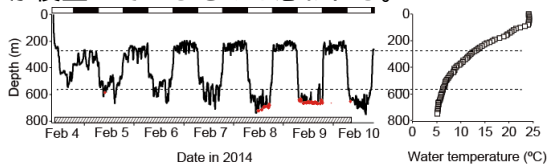


図5 カグラザメの遊泳深度と経験水温

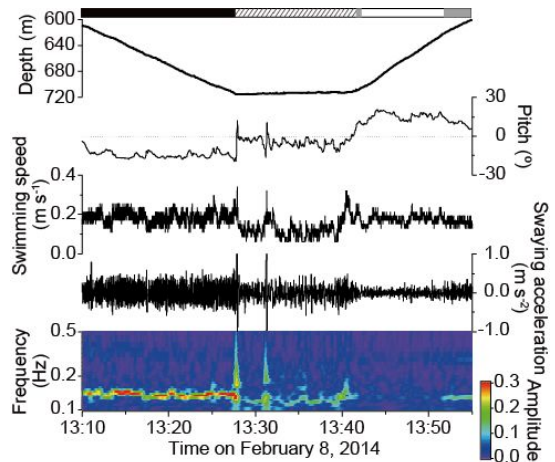


図6 鉛直移動に伴う体軸角度、遊泳速度、左右方向加速度、および加速度から計算した卓越周波数。

(4) その他

トド：飼育固体を使った密度操作実験により、移動コストを最小化する最適遊泳速度は浮力によらず一定であることが分かった。

アカウミガメ：三陸沿岸海域に来遊する個体が1日あたり数十個ものクラゲ類を捕食していることが判明した。

キタゾウアザラシ・バイカルアザラシ：野外環境下で浮力体や錘を取り付け、その後脱落させるといった操作実験を行うことで、それぞれの体密度が中性浮力に近いときに、水平移動に要するコストが最小となることが分かった。

ヒレナガゴンドウ：複数個体が呼吸や潜水のタイミングを同調させて泳ぐ間、時々フリッパーを使ってお互いの体にふれあいつつ個体間関係を維持していることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

Itsumi Nakamura, Carl Meyer and Katsufumi Sato. Unexpected positive buoyancy in deep sea sharks, *Hexanchus griseus*, and a *Echinorhinus cookie*. PLoS One (in press). 査読有り

Itsumi Nakamura, Yusuke Goto and Katsufumi Sato. Ocean sunfish rewarm at the surface after deep excursions to forage for siphonophores. Journal of Animal Ecology 84: 590-603 (2015). DOI: 10.1111/1365-2656.12346 査読有り

Kagari Aoki, Masao Amano, Tsunemi Kubodera, Kyoichi Mori, Ryosuke Okamoto and Katsufumi Sato. Visual and behavioral evidence indicates active hunting by sperm whales. Marine Ecology Progress Series 523: 233-241 (2015). DOI: 10.3354/meps11141 査読有り

Ipei Suzuki, Katsufumi Sato, Andreas Fahlman, Yasuhiko Naito, Nobuyuki Miyazaki and Andrew W. Trites. Drag, but

not buoyancy, affects swim speed in captive Steller sea lions. *Biology Open* 3: 379-386 (2014).

DOI: 10.1242/bio.20146130 査読有り

Itsumi Nakamura and Katsufumi Sato. Ontogenetic shift in foraging habit of ocean sunfish *Mola mola* from dietary and behavioral studies. *Marine Biology* 161: 1263-1273 (2014).

DOI: 10.1007/s00227-014-2416-8 査読有り

Tomoko Narazaki, Katsufumi Sato, Kyler J. Abernathy, Greg J. Marshall and Nobuyuki Miyazaki. Loggerhead turtles (*Caretta caretta*) use vision to forage on gelatinous prey in mid-water. *PLoS ONE* 8: e66043 (2013).

DOI: 10.1371/journal.pone.0066043. 査読有り

Katsufumi Sato, Kagari Aoki, Yuuki Y. Watanabe and Patrick J. O. Miller. Neutral buoyancy is optimal to minimize the cost of transport in horizontally swimming seals. *Scientific Reports* 3:2205 (2013). DOI:10.1038/srep02205. 査読有り

Kagari Aoki, Mai Sakai, Patrick J. O. Miller, F. Visser and Katsufumi Sato. Body contact and synchronous diving in long-finned pilot whales. *Behavioural Processes* 99:12-20 (2013). 査読有り

〔学会発表〕(計 19 件)

鈴木一平. 行動量を指標としたアザラシにおける潜水エネルギー消費量の推定. 第 62 回日本生態学会. 2015 年 3 月 18 日-3 月 22 日. 鹿児島大学郡元キャンパス(鹿児島県鹿児島市).

坂尾美帆. 動物搭載型ビデオロガーで調べたオオミズナギドリの採餌生態. 第 62 回日本生態学会. 2015 年 3 月 18 日-3 月 22 日. 鹿児島大学郡元キャンパス(鹿児島県鹿児島市).

吉田誠. 流水環境下における移動コスト最適化を目指したチャネルキャットフィッシュの遊泳姿勢変化. 第 62 回日本生態学会. 2015 年 3 月 18 日-3 月 22 日. 鹿児島大学郡元キャンパス(鹿児島県鹿児島市).

鈴木一平. 飼育個体を用いたタテゴトアザラシの野外操作実験(ノルウェー). バイオロギング研究会~フィールド系海棲哺乳類研究 workshop~. 2014 年 10 月 9 日-10 月 9 日. 北海道大学(北海道函館市).

Naoyuki Miyata. Japanese sea bass repeated short excursion to freshwater around saliniedge: foraging behavior under constraint of salinity adaptation. The 5th International Bio-logging Science Symposium. 2014 年 9 月 22 日-9 月 27 日. Strasbourg (France).

Ippeï Suzuki. Swim speed as a

measurement to estimate cost of transport in diving otariids. The 5th International Bio-logging Science Symposium. 2014 年 9 月 22 日-9 月 27 日. Strasbourg (France).

Makoto Yoshida. Variation in activity patterns of non-native channel catfish observed in river and lake. The 5th International Bio-logging Science Symposium. 2014 年 9 月 22 日-9 月 27 日. Strasbourg (France).

Yu Akiyama. Effect of prey density on lunge feeding manner of humpback whales *Megaptera novaeangliae* in Iceland. The 5th International Bio-logging Science Symposium. 2014 年 9 月 22 日-9 月 27 日. Strasbourg (France).

Itsumi Nakamura. Positive buoyancy of deep-sea sharks assisted diurnal vertical migration. The 5th International Bio-logging Science Symposium. 2014 年 9 月 22 日-9 月 27 日. Strasbourg (France).

佐藤克文. ペンギンが空気を吸い込んで潜水する理由. 第 61 回日本生態学会. 2014 年 3 月 14 日-3 月 18 日. 広島国際会議場(広島県広島市).

岩田高志. ナンキョクオットセイは記憶を頼りに採餌しているのか? 第 61 回日本生態学会. 2014 年 3 月 14 日-3 月 18 日. 広島国際会議場(広島県広島市).

鈴木一平. 潜水動物の移動コスト推定手法. 第 61 回日本生態学会. 2014 年 3 月 14 日-3 月 18 日. 広島国際会議場(広島県広島市).

森友彦. 東京湾におけるスズキの行動と海洋環境の関係. 第 61 回日本生態学会. 2014 年 3 月 14 日-3 月 18 日. 広島国際会議場(広島県広島市).

福岡拓也. アオウミガメ亜成体の行動分類と 1 日の時間配分. 第 61 回日本生態学会. 2014 年 3 月 14 日-3 月 18 日. 広島国際会議場(広島県広島市).

吉田誠. 河川と湖で異なる外来魚チャネルキャットフィッシュ *Ictalurus punctatus* の行動パターン. 第 61 回日本生態学会. 2014 年 3 月 14 日-3 月 18 日. 広島国際会議場(広島県広島市).

鈴木一平. アシカ科における遊泳速度を用いた野外代謝速度の推定. 第 9 回日本バイオロギング研究会シンポジウム. 2013 年 11 月 7 日-11 月 8 日. 東京大学大気海洋研究所(千葉県柏市).

森友彦. 左右加速度を用いたスズキの酸素消費速度の推定. 第 9 回日本バイオロギング研究会シンポジウム. 2013 年 11 月 7 日-11 月 8 日. 東京大学大気海洋研究所(千葉県柏市).

吉田誠. 河川と湖で異なる外来魚チャネルキャットフィッシュの行動パターン. 第 9 回日本バイオロギング研究会シンポジウム. 2013 年 11 月 7 日-11 月 8 日. 東京大学

大気海洋研究所（千葉県柏市）.
中村乙水．マンボウが‘日向ぼっこ’する訳．第9回日本バイオロギング研究会シンポジウム. 2013年11月7日-11月8日. 東京大学大気海洋研究所（千葉県柏市）.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.fishecol.aori.u-tokyo.ac.jp/sato/>

<http://utbls.aori.u-tokyo.ac.jp/Home.html>

雑誌論文 に関して、大気海洋研究所の研究トピックスにおいて紹介された。

<http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/topics/2015/20150218.html>

雑誌論文 に関して、大気海洋研究所の研究トピックスにおいて紹介された。

<http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/topics/2015/20150416.html>

雑誌論文 に関して、大気海洋研究所の研究トピックスにおいて紹介された。

<http://www.aori.u-tokyo.ac.jp/research/news/2013/20130716.html>

6．研究組織

(1)研究代表者

佐藤 克文 (SATO, Katsufumi)

東京大学・大気海洋研究所・教授

研究者番号：50300695