

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2010

課題番号：19255001

研究課題名（和文） 加速度エソグラム作成による動物行動計量分析

研究課題名（英文） Development of algorithm to analyze time series acceleration data

研究代表者

佐藤 克文 (SATO KATSUFUMI)

東京大学・大気海洋研究所・准教授

研究者番号：50300695

研究成果の概要（和文）：

加速度時系列データから簡便にスペクトログラムを作成し、*k*-means 法による自動判別を行い、いくつかの行動にカテゴライズするソフトウェア **Ethographer** を作成した。本ソフトを用いることで、複数種類の対象動物から得られた加速度時系列データを簡単に解析する事が可能となり、対象動物毎の生理・生態学上の発見に加えて、種間比較による研究成果が得られた。

研究成果の概要（英文）：

We have developed a new procedure to categorize behavior from body acceleration, together with the release of a user-friendly computer application “Ethographer”. This method was applied for several data obtained from many animals and comparative studies were also conducted.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
2008年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2009年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2010年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
総計	25,700,000	7,710,000	33,410,000

研究分野：動物行動学

科研費の分科・細目：生物学・統計科学

キーワード：バイオロギング，時間周波数解析，データロガー，加速度，ウェーブレット変換，時系列，データマイニング，南極

## 1. 研究開始当初の背景

動物搭載型の記録計を用いる事で、これまで観察するのが難しかった多くの野生動物から、行動や生理に関するデータが得られるようになった。しかし、膨大な時系列データを解析するには専門的な知識が必要で、動物の行動や生理の研究者は、必ずしも時系列解析の専門家ではない。誰もが使える簡便な時系列解析ソフトウェアが切望されていた。

## 2. 研究の目的

時間周波数解析手法を応用して行動のカ

テゴライズを自動的に行うアルゴリズムを確立し、観察が難しい動物の行動を研究するための新しい手法を提案する。

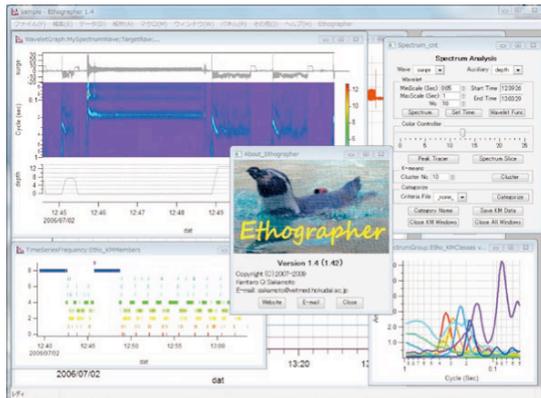
## 3. 研究の方法

加速度計をはじめとした各種記録計を、数多くの動物に搭載し、データを取得した。得られた時系列データよりスペクトログラムを作成し、*k*-means 法による判別を行ったうえで行動カテゴライズを自動的に行うソフトウェアを作成した。このソフトを用いることで、複数種類の対象動物から得られる加

速度時系列データを解析し、対象動物毎の行動生態研究や、種間比較研究を進めた。

#### 4. 研究成果

(1) 時系列データ解析用のソフトウェア **Ethographer** を開発し、そのアルゴリズムと具体的な応用例を報告する論文を公表した (研究成果雑誌論文⑤)。国内外の研究者達から多くの問い合わせを受けており、データロガーによって得られた時系列データを解析する際の標準的解析ソフトとしてユーザーが着々と増えつつある。



(Ethographer の解析用画面)

(2) 加速度データロガーをはじめとした各種装置を魚類・爬虫類・鳥類・哺乳類に搭載する野外調査が、熱帯から極域の海洋において展開されている。対象動物毎の生態学・行動学・生理学上の研究成果があがっている (研究成果雑誌論文①)。

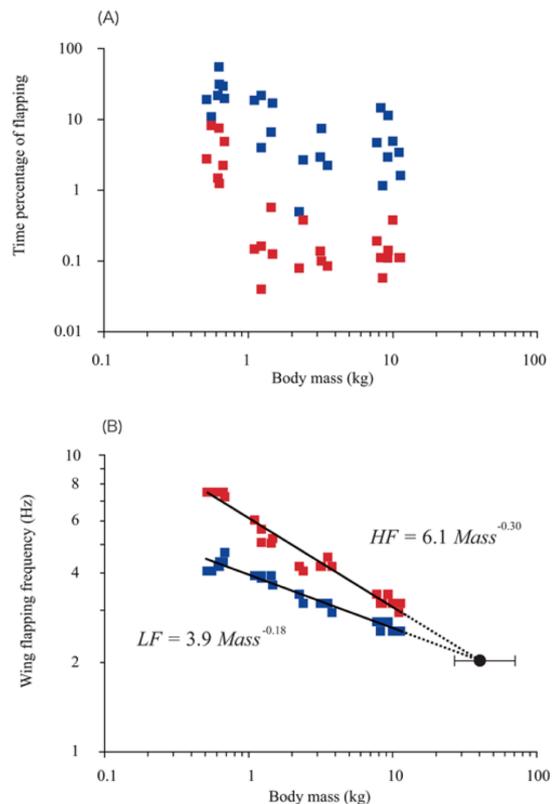
① ヨーロッパヒメウから得られた加速度データを解析したところ、飛行中の羽ばたき頻度が体重推移をよく表しているという傾向が得られた。体重推移を見ることにより、採餌トリップ毎の持ち帰り餌量を見積もる事が出来る。ヒメウは遠出した際は多くの餌を、近場では少ない餌量でも巣に持ち帰る方針で振る舞っている模様である (研究成果雑誌論文⑧)。

② 従来、水面にぶかぶか浮いているイメージの強いマンボウが、実は水面と深度 100 メートルほどの間を頻繁に往復していることが判明した。遊泳時には背鰭と尻鰭を同調させて動かしており、ペンギンが左右の鰭を上下に振って揚力を生みだし推進力に変えるメカニズムと同様の方法を取っていることが判明した。さらに、背鰭と尻鰭を動かす筋肉量が一致しているという結果も得られた (研究成果雑誌論文⑦)。

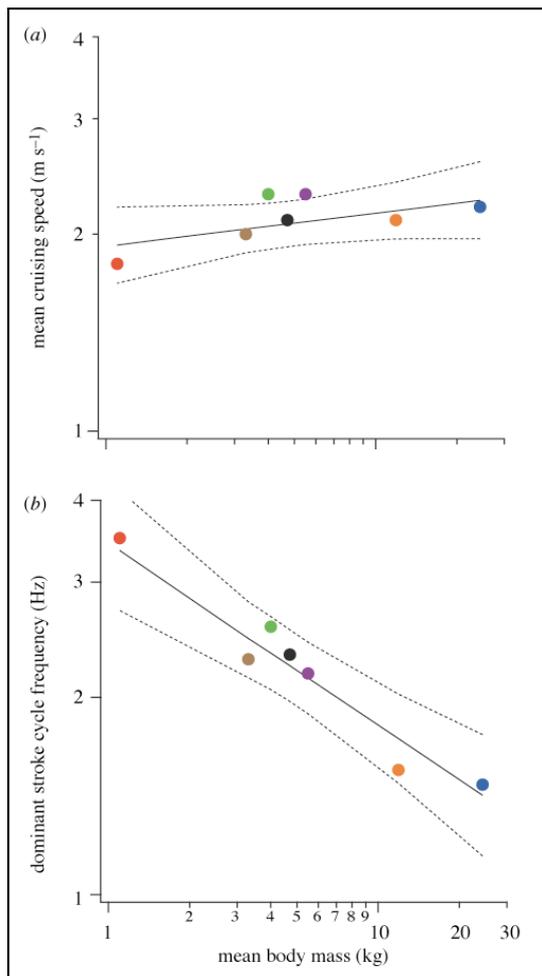
(3) 共通の測器により得られたデータを用

いて種横断的な比較研究を行った。

① 動物の飛行行動に関する成果としては、ミズナギドリ目の 5 種類が滑空飛行中に時々羽ばたき加速する事で持続的飛行を実現していることを示した。体サイズが大きな種ほど羽ばたきに費やした時間割合が小さくなった。また、体重と羽ばたき周波数を両対数グラフ上に示すと、離陸の際の高周波と滑空飛行中の散発的な羽ばたき周波数がそれぞれ体重の $-0.30$ 乗および $-0.18$ 乗に比例することがわかった。2つの回帰直線は体重 40kg のところで交叉しており、これはそれ以上の体サイズは持続的飛行に必要な頻度で羽ばたくことが出来ない事を示唆している。結果的に絶滅した巨大翼竜の持続的飛行能力に疑問を呈する事になり、各方面の話題を呼んだ (研究成果雑誌論文⑥)。



② ペンギン 7 種の遊泳行動に関するスケールリング研究を行ったところ、遊泳速度は体重の $0.08$ 乗に比例し、ストローク頻度は体重の $-0.29$ 乗に比例するという結果が得られた。これらの結果は、ペンギン類が移動コストを最小とする速度を選択して潜水遊泳を行っているとは仮定して推定した値に近く、彼等が移動コストを最小化する泳ぎ方を行っている事が判明した (研究成果雑誌論文③)。



## 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 40 件)

- ① K. Sato, K. Shiomi, G. Marshall, G. L. Kooyman and P. J. Ponganis. Stroke rates and diving air volumes of emperor penguins: implications for dive performance. *Journal of Experimental Biology*, (in press). 査読有り.
- ② Y. Y. Watanabe, K. Sato, Y. Watanuki, A. Takahashi, Y. Mitani, M. Amano, K. Aoki, T. Narazaki, T. Iwata, S. Minamikawa and N. Miyazaki. Scaling of swim speed in breath-hold divers. *J. Anim. Ecol.*, 80: 57-68 (2011). 査読有り.
- ③ K. Sato, K. Shiomi, Y. Watanabe, Y. Watanuki, A. Takahashi and P. J. Ponganis. Scaling of swim speed and stroke frequency in geometrically similar penguins: they swim optimally to minimize cost of

transport. *Proceedings of the Royal Society B*, 277, 707-714 (2010). 査読有り.

- ④ エヌ・ティー・エス, 生物の科学「遺伝」2010年5月号, 特集「バイオロギングサイエンス」(佐藤克文編), 2-59ページ. 査読無し.
- ⑤ K. Q. Sakamoto, K. Sato, M. Ishizuka, Y. Watanuki, A. Takahashi, F. Daunt and S. Wanless. Can ethograms be automatically generated using body acceleration data from free-ranging birds? *PLoS One*, 4, e5379 (2009). 査読有り.
- ⑥ K. Sato, K. Q. Sakamoto, Y. Watanuki, A. Takahashi, N. Katsumata, C.-A. Bost and H. Weimerskirch. Scaling of soaring seabirds and implications for flight abilities of giant pterosaurs. *PLoS One*, 4, e5400 (2009). 査読有り.
- ⑦ Y. Watanabe and K. Sato. Functional dorsoventral symmetry in relation to lift-based swimming in the ocean sunfish *Mola mola*. *PLoS One*, 3, e3446 (2008). 査読有り.
- ⑧ K. Sato, F. Daunt, Y. Watanuki, A. Takahashi and S. Wanless. A new method to quantify prey acquisition in diving seabirds using wing stroke frequency. *Journal of Experimental Biology*, 211, 58-65 (2008). 査読有り.

[学会発表] (計 19 件)

- ① Katsufumi Sato and Yutaka Watanuki, Scaling of wing and foot stroke cycle in diving and flying seabirds, Symposium 32 Flight in the air and in the water: a synthesis of biomechanical, physiological and behavioural studies, 25<sup>th</sup> International Ornithological Congress, Campos do Jordao, SP, Brazil, 2010年8月22日-28日. 招待講演.
- ② 佐藤克文, バイオロギングサイエンス: 動物目線の環境生物学, 第13回京都大学国際シンポジウム「学術研究における映像実践の最前線」, 2009年12月11日, 京都大学百周年時計台記念館百周年記念ホール.
- ③ 佐藤克文, バイオロギング手法による野生動物研究: 海鳥から翼竜まで, JST CREST 先進的統合センシング領域「安心・安全のためのアニマルウォッチセンサの開発」シンポジウム, 2009年10月7日, 東京大学山上会館.
- ④ 佐藤克文, 海洋動物の比較行動学(スケールリング), 第6回東京大学の生命科学

シンポジウム, 2009年5月2日, 東京大学安田講堂.

- ⑤ Katsufumi Sato, History of biologging science: the best journey in the world, The Sixth Okazaki Biology Conference: "Marine Biology", 2007年12月3-8日, 岡崎市. 国際会議の基調講演者として招待された.

[図書] (計6件)

- ① 佐藤克文, 平凡社新書, 巨大翼竜は飛べたのか: スケールと行動の動物学, 2011年, 279ページ.
- ② 佐藤克文, 福音館書店, ペンギンペンギンドボン, 2010年, 24ページ.
- ③ 佐藤克文, 恒星社厚生閣, 魚類生態学の基礎 (塚本勝巳編), 2010年, 総ページ317. 13章においてバイオロギング手法について説明.
- ④ 佐藤克文, 森北出版株式会社, エアロアクアバイオメカニクス, (日本エアロアクアバイオメカニクス研究会編), 2010年, 総ページ155. 本の一節にバイオロギングによる研究成果を紹介した.
- ⑤ 佐藤克文, 京都通信社, 動物たちの不思議に迫るバイオロギング(日本バイオロギング研究会編), 2009年, 総ページ223. 編集委員の1人として編集に関わると共に計3本のコラムを執筆した.
- ⑥ 佐藤克文, 光文社新書, ペンギンもクジラも秒速2メートルで泳ぐ: ハイテク海洋動物学への招待, 2007年, 299ページ.

[その他]

報道関連情報

- ① テレビ番組「アインシュタインの眼」に佐藤克文が出演. 2011年1月30日放映.
- ② 週刊誌DIMEに「ニッポンを変える100人」の1人として佐藤克文を取り上げた記事が2010年1月19日に掲載される.
- ③ テレビ番組「情熱大陸」に海洋生物学者佐藤克文として出演し, 2009年11月22日に放映される.
- ④ 雑誌論文⑥に記したミズナギドリ目のスケーリングおよび巨大翼竜の飛行能力に関して報告した論文の内容が2009年4月30日に, Yahoo! Japanのトピックスに掲載される. その後も関連記事がNational Geographic・New Scientist・Telegraphのホームページや, 国内新聞各紙において紹介記事が掲載される.
- ⑤ 図書⑥に記した著書が第24回講談社科学出版賞受賞を受賞した. 2008年7月12日から13日にかけて, 読売・産経・朝日をはじめとした各紙に関連記事が掲載される.

- ⑥ 雑誌論文⑦に記したマンボウの遊泳方法に関する発見が2008年11月7日付けの朝日新聞科学欄に掲載される.

アウトリーチ活動情報

- ① しながわ水族館における特別展示「しな水くらべる大百科～こんなに違う海の仲間と私たち～」(2010年3月29日～5月10日)の中で動物たちの泳ぐ速さに関する研究成果が紹介される.
- ② 文化放送, TBS ラジオ, ABC ラジオ, NHK 第一放送のラジオ番組に佐藤克文出演. 各種研究成果についての紹介が放送される.
- ③ 佐藤克文は2009年ナショナルジオグラフィック協会 Emerging Explorer 受賞. ナショナルジオグラフィック協会ホームページ, および2009年2月号(アメリカ版)にニュースが掲載される. 2009年6月10-11日にかけてナショナルジオグラフィック協会主催シンポジウムに招待され, 受賞記念講演 The future of exploration: a different lens を行う.
- ④ 朝日放送のテレビ番組「ビーバップハイヒール」に佐藤克文出演. 研究成果を紹介する様子が2007年11月29日に放映される.

以下のホームページのマクロライブラリーにおいて時系列データ解析ソフト Ethographer, 及び三次元経路構築マクロ ThreeD\_path を無料公開した.

<http://bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp/bls/>

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・准教授  
研究者番号: 50300695

(2) 研究分担者

島谷 健一郎 (SHIMATANI KEN-ICHIRO)  
統計数理研究所・モデリング研究系・准教授  
研究者番号: 70332129  
依田 憲 (YODA KEN)  
名古屋大学大学院・環境学研究科・准教授  
研究者番号: 10378606  
渡辺 伸一 (WATANABE SHIN-ICHI)  
福山大学・生命工学部・講師  
研究者番号: 20450728

(3) 連携研究者

高橋 晃周 (TAKAHASHI AKINORI)  
国立極地研究所・研究系・准教授  
研究者番号: 40413918  
坂本 健太郎 (SAKAMOTO KENTARO)

北海道大学大学院・獣医学研究科・講師  
研究者番号：80375627  
赤松 友成 (AKAMATSU TOMONARI)  
水産総合研究センター・水産工学研究所・  
主任研究員  
研究者番号：00344333