

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 4 月 24 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22688023

研究課題名(和文)非陸上空間における動物の恒常性維持機構の解明

研究課題名(英文)A study of the animal homeostasis in the non-terrestrial environment

研究代表者

坂本 健太郎 (Sakamoto, Kentaro)

北海道大学・(連合)獣医学研究科・講師

研究者番号：80374627

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円、(間接経費) 3,930,000円

研究成果の概要(和文)：動物の恒常性維持機構の解明は、主として陸上環境を念頭に研究がこれまで為されてきた。しかし、地球上には生活の大部分を空中や水中で過ごす哺乳類、鳥類が数多く生息している。本研究では装着可能な小型計測機器を用いることで、自然界で動物が自発的に飛翔・潜水を行う際の生理状態を調べた。空中あるいは水中で営まれている体を維持する仕組みは、陸上動物を対象とした知見の延長線上では類推が困難と考えられる現象も認められた。

研究成果の概要(英文)：Most of the research studying animal homeostasis had been conducted based on the terrestrial animals. However, many species of mammals and birds spend the significant parts of their life in air or water, and the major part of the homeostasis in air and water remain to be known. The purpose of this study is to investigate the physiological status of the animals voluntarily flying and diving under natural condition by using animal-borne small sensors. New findings in this study included the novel mechanisms to maintain the homeostasis in air and water, which might be difficult to be inferred from the physiological mechanism of terrestrial animals.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：畜産学・獣医学、基礎獣医学・基礎畜産学

キーワード：獣医学 生理学 バイオロギング 野生動物

### 1. 研究開始当初の背景

地球上には様々な動物種が生息している。個々の環境には固有の生息条件が存在し、各動物種はそれに応じた環境適応機能を有していると考えられる。環境に応じた恒常性維持機構の研究は、実験室内で再現できる現象にこれまで焦点が当てられてきた。実験室内で再現が難しい持続的な飛翔や深海への潜水の最中、動物がどのように体の恒常性を維持しているかを調べるのは困難であった。近年、技術開発に伴って計測機器を堅牢化かつ小型化することが可能になったことから、動物に計測機器を直接装着し、人間が到達不可能な空間での動物の状態を調べる事が可能となってきた。また、申請者はこれまで動物装着型記録計から得られる時系列データを元に、動物の行動を自動判別するアルゴリズムを独自に開発しており、ソフトウェアとして公開してきた。

### 2. 研究の目的

陸上を主たる生活の場とする動物にとって、空中や水中は必ずしも快適な空間ではない。しかし、これらの非陸上空間で生活の大部分を過ごす動物も数多い。動物の恒常性維持機構の解明は、主として陸上環境を念頭に研究がこれまで為されてきた。しかし、地球上には生活の大部分を空中や水中で過ごす哺乳類、鳥類が数多く生息している。これらの動物が、どのように非陸上空間で体内の恒常性を維持しているか調べるのは、これまで困難であった。本研究では装着可能な小型計測機器を用いることで、自然界で動物が自発的に飛翔・潜水を行う際の生理状態を調べることとした。従来とは異なる空間軸における恒常性維持機構の理解によって、自然界に生息する多様な動物に通底する生理機能の理解に新たな視点の提供が期待できる。

### 3. 研究の方法

本研究では、小型の計測機器を動物の体に装着することで、自然界で自発的に飛翔・潜水を行っている動物の生理状態を明らかにすることを目的として研究を進めた。具体的には、装着機器の改良、装着方法の条件検討をすすめて、得られたデータを解析するためのソフトウェアの開発を行った。これらの研究方法についての改良を進めていくと同時に、動物を対象とした調査を行うことで、非陸上空間における動物の生理状態についての知見を得た。

動物の恒常性維持の状態を調べる上で、エネルギー代謝速度を明らかにすることは、最も基礎的な指標で有るとともに、陸上、水中、空中の動物を比較する上でも有益であると考えられた。自由行動下の動物の経時的なエネルギー代謝速度を直接的に計測することは困難であるが、間接的な方法として心拍数を計測する方法が有望であると考えられた。そこで、自由行動下の動物で精度よく心拍数

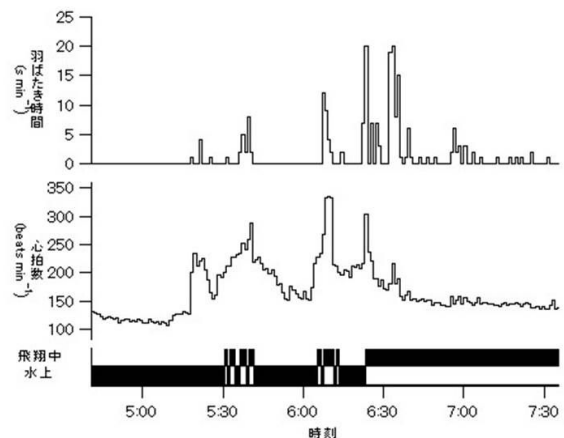
を計測出来るように従来法を改良した。特に、電極部分の皮膚への設置箇所工夫を加える事で良い信号が得られることがわかった。

次に、計測機器から得られた時系列データを解析するためのソフトウェアを開発した。申請者は動物行動を解析するためのソフトウェアであるエソグラファーを開発しており、関連分野の研究者に広く使用されてきた。本研究では、この解析ソフトの大幅なバージョンアップを行い、生理機能の解析を可能とした。また、幅広い使用者のために、操作性を改善した他、日本語と英語のマニュアルを新たに作成した。

### 4. 研究成果

新たな計測方法の開発によって、空中あるいは水中での動物の生理機能の一端が明らかとなった。ウェッデルアザラシは潜水の間の安静時に定着氷にある呼吸穴に浮かび、数回の呼吸の後、2分程度、呼吸を停止する。この呼吸停止期の心拍間隔の分布を調べたところ、分布は二峰性を示した。このように心拍間隔の分布が二峰性となる現象は、健康な動物では安静時の競走馬で報告されており、第2度房室ブロックが原因とされている。このことは、健康なアザラシにおいても、安静時に房室ブロックが発生している可能性を示唆していると考えられた。

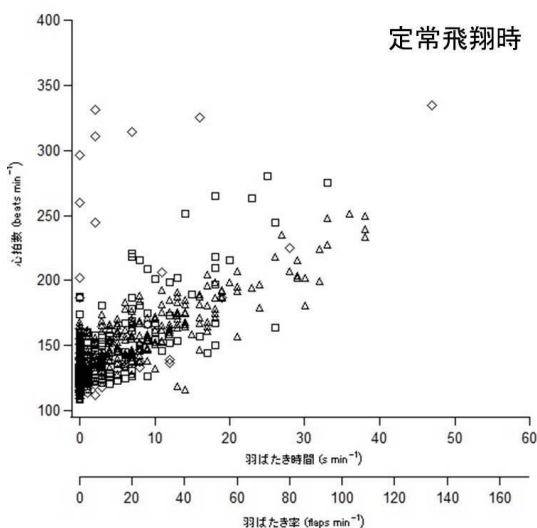
また、無拘束下のマユグロアホウドリの行動と心拍数の関係を調べたところ、飛翔中は97%の時間は滑空に費やしており、羽ばたきを行うのはわずか3%の時間であることが分かった。加えて、滑空時の心拍数は、水面で休息しているときの心拍数とほぼ同じであり、この動物種では空中での移動に必要なエネルギー代謝量が、水面休息時と変わらないことを示唆する結果が得られた。



アホウドリの行動パターンと心拍数の関係。上段は一分あたりに羽ばたきに費やした時間を示す。中段は心拍数、下段は行動パターンを示す。

さらに、これらの結果を元に、エネルギー消費量の推定を行った。体重4kgのアホウドリでは、飛翔時の平均エネルギー消費速度は体重1kgあたり4.7ワットであった。このエネルギー消費速度は、滑空時だけに限定すると4.0ワットであった。このエネルギー消費速度の違いは、定常飛翔時には羽ばたきに起

因していると考えられ、これによって羽ばたきによって消費されるエネルギー量を見積もることが可能となった。一方で、鳥類の離陸直後のエネルギー消費速度に着目すると、エネルギー消費速度の増大は羽ばたきでは説明することが出来なかった。離陸直後のエネルギー消費速度増大は、体の動きに依存しない活動に起因している可能性が考えられた。



定常飛行を行うアホウドリの羽ばたき量と心拍数の関係

## 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11件)

Sakamoto, K.Q., Takahashi, A., Iwata, T., Yamamoto, T., Yamamoto, M. and Trathan, P.N. 2013. Heart rate and estimated energy expenditure of flapping and gliding in black-browed albatrosses. *J. Exp. Biol.*, **216**: 3175-3182. 査読有り.

DOI: 10.1242/jeb.079905

Yano, S., Sakamoto, K.Q. and Habara, Y. 2012. Estrus cycle-related preference of BALB/c female mice for C57BL/6 males is induced by estrogen. *J. Vet. Med. Sci.*, **10**: 1311-1314. 査読有り.

DOI: 10.1292/jvms.12-0067

Crossin, G. T., Trathan, P.N., Phillips, R. A., Gorman, K.B., Dawson, A., Sakamoto, K.Q. and Williams, T.D. 2012. Corticosterone predicts foraging behavior and parental care in macaroni penguins. *Am. Nat.*, **180**: E31-41. 査読有り.

DOI: 10.1086/666001

Fuse Y.K., Sakamoto, K.Q., Sato, K. and Habara, Y. 2012. Cardiorespiratory pattern of

rest-associated apnea in a Weddell seal: a case study at an ice hole in Antarctica. *Polar Biol.*, **35**: 969-972. 査読有り.

DOI: 10.1007/s00300-011-1140-9

Iwata, T., Sakamoto, K.Q., Takahashi, A., Edwards, E.W.J., Staniland, I.J., Trathan, P.N. and Naito, Y. 2012. Using a mandible accelerometer to study fine-scale foraging behavior of free-ranging Antarctic fur seals. *Mar. Mammal Sci.*, **28**: 345-357. 査読有り.

DOI:10.1111/j.1748-7692.2011.00482.

x

坂本健太郎, 渡辺伸一. 2012. 加速度計でわかる動物の動き. *milsil*. 5(1):14-16. 査読無し.

Kazama, K., Niizuma, Y., Sakamoto, K.Q. and Watanuki, Y. 2011. Factors affecting individual variation in nest-defense intensity in colonially breeding Black-tailed Gulls (*Larus crassirostris*). *Can. J. Zool.*, **89**: 938-944. 査読有り.

DOI: 10.1139/z11-063

Kazama, K., Sakamoto, K.Q., Niizuma, Y. and Watanuki, Y. 2011. Testosterone and breeding behavior in male Black-tailed Gulls: an implant experiment. *Ornith. Sci.*, **10**: 13-19. 査読有り.

DOI: 10.2326/osj.10.13

Moustafa, A., Sakamoto, K.Q. and Habara, Y. 2011. A fundamental role for NO-PLC signaling pathway in mediating intracellular  $Ca^{2+}$  oscillation in pancreatic acini. *Nitric Oxide*, **24**: 139-150. 査読有り.

DOI: 10.1016/j.niox.2011.02.001

Moustafa, A., Sakamoto, K.Q. and Habara, Y. 2011. Nitric oxide stimulates  $IP_3$  production via a cGMP/PKG-dependent pathway in rat pancreatic acinar cells. *Jpn. J. Vet. Res.*, **59**: 5-14. 査読有り.

坂本健太郎. 2010. エソグラファーを用いた動物の行動解析 -あなたの行動は全て計算済み-. 生物の科学 遺伝. 64(3): 6-12. 査読無し.

[学会発表](計20件)

岩田高志, 坂本健太郎, 後藤佑介, 佐藤克文, 内藤靖彦, 高橋晃周. 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回日本生態学会大会. 2014年3月14日. (広島国際会議場) 広島県広島市.

Iwata T., Sakamoto K.Q., Goto Y., Sato K., Naito Y., Takahashi A. Did fur

seals forage relying on previous experience? International Symposium "Dolphin acoustics, behavior and cognition". 2014年2月2日。(静岡コンベンション&アーツセンター)静岡県静岡市。

岩田高志, 坂本健太郎, 内藤靖彦, 高橋晃周. オットセイの意思決定. 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。(東京大学)東京都特別区。

中村友美, 矢野沙織, 坂本健太郎, 葉原芳昭. 近紫外光におけるヒトの可視領域の個人差に関する研究. 155回日本獣医学会学術集会. 2013年3月28日。(東京大学駒場キャンパス)東京都特別区。

近藤圭佑, 矢野野沙織, 坂本健太郎, 葉原芳昭. 四色視動物の視覚: デジタル紫外カメラを用いたハシブトガラス・ハシボソガラス (*Corvus macrorhynchos*・*Corvus corone*) の体色に関する研究. 155回日本獣医学会学術集会. 2013年3月28日。(東京大学駒場キャンパス)東京都特別区。

野崎弘貴, 坂本健太郎, 葉原芳昭. 加速度データロガーを用いた乳牛の分娩前行動変化の解析. 155回日本獣医学会学術集会. 2013年3月28日。(東京大学駒場キャンパス)東京都特別区。

Okuyama, J., Sakamoto, K. Q. Use of accelerometer: the way of reading and analyzing the acceleration data. 33rd Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation. 2013年2月4日。(Baltimore Marriott Waterfront Hotel) アメリカ・ボルチモア。

Iwata T., Sakamoto K.Q., Edwards E.W.J., Staniland I.J., Trathan P.N., Naito Y., Takahashi, A. Foraging behaviour of female Antarctic fur seals at Bird Island, South Georgia in a year of low krill abundance. Polar Ecology Conference. 2012年10月1日。(Clarion congress hotel) チェコ共和国, チェスケー・ブジェヨヴィツェ。

布施雄士, 坂本健太郎, 村木泰子, 矢野沙織, 石塚真由美, 葉原芳昭. ニワトリ腸管におけるメラトニンの弛緩作用及びメラトニン関連遺伝子の発現. 第153回日本獣医学会学術集会. 2012年3月27日。(大宮ソニックシティ) 埼玉県さいたま市。

小暮潔央, 佐藤克文, Daunt F., 綿貫豊, 坂本健太郎, 山本誉士, 高橋晃周. ヨーロッパヒメウ *Phalacrocorax aristotelis* の羽ばたき飛行と風環境の関係. 第59回日本生態学会. 2012年3月18日。(龍谷大学瀬田キャンパス) 滋賀県大津市。

岩田高志, 坂本健太郎, Edwards, E. W. J., Staniland, I. J., Trathan, P. N., 内藤靖彦, 高橋晃周. 3次元遊泳軌跡と口の開閉記録から見たナンキョクオットセイの餌探索戦略. 第59回日本生態学会. 2012年3月18日。(龍谷大学瀬田キャンパス) 滋賀県大津市。

坂本健太郎. 動物たちの海や空でのふしぎな動き. 国立科学博物館企画展「バイオロギング~動物目線の行動学~」講演会「バイオロギング研究最前線」. 2012年1月14日。(国立科学博物館) 東京都特別区。

岩田高志, 坂本健太郎, Edwards, E. W. J., Staniland, I. J., Trathan, P. N., 内藤靖彦, 高橋晃周. オキアミ資源量の少ない年におけるナンキョクオットセイの採餌行動. 国立極地研究所第33回極域生物シンポジウム. 2011年11月18日。(国立極地研究所) 東京都立川市。矢野沙織, 坂本健太郎, 葉原芳昭. 雌マウスによる異なる系統の雄マウス選択は発情周期に依存する. 第152回日本獣医学会学術集会. 2011年9月20日。(大阪府立大学中百舌鳥キャンパス) 大阪府堺市。

Sakamoto K.Q. Analyzing time series data with user friendly software, Ethographer. First International Conference on Fish Telemetry. 2011年6月13日。(北海道大学) 北海道札幌市。

Sakamoto, K.Q. Can behavior be automatically categorized using body acceleration data from sea birds and other free-ranging animals? Symposium: Analysis of behavior and movement of wildlife using models and fine-scale data loggers. 2011年5月25日。(プリティッシュコロンビア大学) カナダ・バンクーバー。

Sakamoto K.Q. Newly developed software to analyze a large number of still images in bio-logging. Fourth International Science Symposium on Bio-logging. 2011年3月16日。(タスマニア大学) オーストラリア, ホバート。

Iwata T., Sakamoto K.Q., Edwards E.W.J., Staniland I.J., Trathan P.N., Naito Y., Takahashi, A. Prey capture and three-dimensional dive path in free-ranging female Antarctic fur seals. Fourth International Science Symposium on Bio-logging. 2011年3月15日。(タスマニア大学) オーストラリア, ホバート。

Sakamoto K.Q., Takahashi A., Iwata T., Yamamoto T., Yamamoto M., Habara Y., Trathan P.N. Foraging strategy and

energy expenditure of black-browed albatrosses in the open ocean. Fourth International Science Symposium on Bio-logging. 2011年3月14日. (タスマニア大学) オーストラリア, ホバート.

岩田高志, 坂本健太郎, Edwards W.J.E., Staniland I.J., Trathan P.N., 内藤靖彦, 高橋晃周. ナンキョクオットセイの3次元遊泳軌跡と採餌行動. 国立極地研究所第32回極地生物シンポジウム. 2010年12月1日. (国立極地研究所) 東京都立川市.

〔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〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

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: 80374627