



日本バイオリギング研究会会報

日本バイオリギング研究会会報 No. 134

発行日 2017年10月15日 発行所 日本バイオリギング研究会(会長 荒井修亮)

発行人 牧口祐也 日本大学 生物資源科学部 海洋生物資源科学科 魚群行動計測学研究室
〒252-0813 神奈川県藤沢市亀井野 1866

Tel: 0466-84-3687 E-mail: biolog@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp

会費納入先: みずほ銀行出町支店 日本バイオリギング研究会 普通口座 2464557



もくじ

調査報告

石垣島滞在記

- 混獲されたウミガメの体内の変化を探る 塩澤 舞香 (東京海洋大学大学院
応用生命科学専攻 博士後期課程 2年)

学会報告

- 2nd Argos Asian Wildlife Tracking Workshop 弥富 秀文 (株式会社キュービック・アイ - CLS Japan)

書評

- 流れとかたち-万物のデザインを決める新たな物理法則 佐藤克文 (東京大学大気海洋研究所)

「背中に違和感。。。」

撮影者: 久米菜月 (近畿大学農学部)

撮影場所: 沖永良部島

石垣島滞在記 ― 混獲されたウミガメの体内の変化を探る

塩澤 舞香（東京海洋大学大学院 応用生命科学専攻 博士後期課程 2 年）

私の所属する生産システム学研究室では、定置網によるウミガメ類の混獲死亡を削減する手法の開発に取り組んでいます。ご存知の通り、定置網は海中に固定して設置される待ち受け型の漁具なので、TED（Turtle Excluder Device）を装着したトロール網のように網を動かして能動的にウミガメを排除することができません。そこで我々は、漁獲物を逃がさずにウミガメを自ら網外へ脱出させる手法、ウミガメ脱出支援システム（Turtle Releasing System）を定置網用に考案し、現在実用化に向けて邁進しています。

そうした中で、私は周囲から閉ざされた定置網内で遊泳するウミガメの体の動きに着目した解析を行っており、網の中で遊泳するウミガメのはばたき周波数や運動強度に自然環境下とは異なる様々な傾向が現われることが分かってきました。これらは呼吸への欲求が高まったウミガメ特有のものであると考えられるのですが、このときウミガメの体の中でどのような変化が起こっているのでしょうか。また、呼吸を制限され続けた末によりやく脱出したウミガメが元の状態まで回復するのか、完全に回復するまでにどのくらいの時間がかかるのかなども知る必要があると考えています。

そこで今年、それらを把握するための第一歩としてウミガメの心電や血液ガスを計測する試みを行いました。8月から9月にかけて石垣島に2週間ほど滞在し、西海区水産研究所の亜熱帯研究センターで実験を行いました。現地では、ウミガメ研究のエキスパートである奥山隼一博士にお世話になり、一緒に試行錯誤しながら実験を進めていきました（図1）。今回は我々と



図2. 大勢に見送られながら海へ帰っていくアオウミガメ。

って初めての試みが多かったため、どうなることやら…とかなりドキドキしながら東京を発ちました。実際に苦戦した部分もありましたが、奥山さんのご指導や研究所の皆さまの多大なご協力もあり、何とか次のステップに繋がる結果を得ることができました。実験最終日恒例の供試個体の放流会には、研究所の方々も駆けつけてくださり、ウミガメ達は大勢に見守られながら元気に海へ帰っていきました（図2）。今回この実験を行うにあたり、日本大学生物資源科学部の小島隆人先生と牧口祐也先生にはたくさんのご助言とご助力をいただきました。本当にありがとうございました。

今年は予定していた実験項目が特に盛りだくさんだったため、みんなこれまでにないほど毎日フル回転で動いていましたが、それでも誰一人体調を崩さず健やかに過ごすことができたのは、石垣島のきれいな空気と青い空、おいしいジーマーミ豆腐のおかげだと思っています。またどこへ行っても島の方々は優しく親切で、とても癒されました。

そして今回、実験以外にも貴重な体験をしました。実験に使うアオウミガメを毎年捕ってくださっている、伝説の海人のお宅を訪問したことです。一見強面ですが、とても気さくでユーモアあふれる方で、ウミガメを捕獲するときに使っているお手製の漁具を見せていただいたり、ご自宅の縁側で御馳走をふるまっていたきました。誰にも真似できない経験をたくさん積んだ海人の手料理は、まさに伝説の味でした。次に島を訪れた際には、改めてご挨拶に伺うとともに、今回貰いそびれてしまった直筆サインをTシャツに頂こうと考えています。



図1. とれたての心電データを見つめる奥山さん（左）と執筆者（右）。

2nd Argos Asian Wildlife Tracking Workshop

弥富 秀文（株式会社キュービック・アイ - CLS Japan）

2nd Argos Asian Wildlife Tracking Workshop は、7 月 4 日-5 日に韓国仁川の National Institute of Biological Resource (NIBR) で行われました。アルゴスシステム（衛星による測位・データ収集サービス）を運用しているフランス CLS 社が主催する、東アジアの野生動物研究者のワークショップです。

第 1 回は、昨年 3 月に慶應大学の三田キャンパスで Bird Tracking Workshop として開催されました。今回の第 2 回では、対象の動物を鳥以外にも広げ、日本、韓国、中国、台湾、モンゴルから、およそ 100 人が仁川に集まりました



図 1. 2nd Argos Asian Wildlife Tracking Workshop

ワークショップでは、日本からの 4 人の講演者を含め、各国の研究者がアルゴスを使用した研究の内容について講演するというスタイルで行われました。CLS としては、こうした講演や意見交換を通じて、最新の研究内容や技術動向について参加者同士で知見を交換していただきつつ、合間には CLS や送信機メーカーから、新たなプロダクトやサービス、システムの将来計画などを紹介させていただいて、一層アルゴスの利用を広めたい、というような主旨なわけですね。

ちなみに NIBR は韓国環境省の研究所で、ワークショップの会場となった仁川の施設は、最近できた大変立派なところでした。生物資源と生物多様性についての研究と社会への認知を目的にする、ということで、韓国固有種を展示するホールなど、充実した展示をいくつも公開しており、小学生の見学ご一行様や家族連れの方など、一般の方々がたくさん訪れていました。

ワークショップでの各国研究者の講演は多分野にわたり、いろいろな話が聞けて大変面白いものでしたが、アルゴスのプロダクトの紹介では、フランス製の方向探知機が注目を集めました。

鳥から脱落した送信機の回収や、海でリリースしたデータロガーの回収などに用いられます。アルゴスの送信機は 45 秒～60 秒の周期で、1 秒以下の短い電波を衛星に向けて送信します。衛星に向けて、と言っても電波は周りのすべての方向に広がっていきますので、方向探知機は、この電波を受信して電波が来る方向をピタッと表示するものです。電波を 1 回受けると、その瞬間に、電波が来た方向が、ピッ、と表示されます。この方向探知機は数年前から販売され使用されていますが、CLS では、鳥用送信機の回収率はほぼ 100% と言っています。



図 2. アルゴス方向探知機でポップアップタグを回収

この方向探知機は、購入するとお高い（126 万円税別）ので、レンタルで使えるようにして欲しいという声を受け、レンタル品をキュービック・アイにて準備中です。ご利用をご希望の方はお声をおかけください。とちゃっかり宣伝させていただきました。

ワークショップの第 3 回は、来年中国で開催される予定です。皆さまぜひご参加ください。

流れとかたち-万物のデザインを決める新たな物理法則

佐藤克文（東京大学大気海洋研究所）

野外調査の最終日、岩手県大槌町のコインランドリーで乾燥機が止まるのを待つ間、一冊の専門書を取りだした。東京から岩手に向かう新幹線の中で読み始めたその本には、「革命理論の誕生」という帯がかかっており、川の本流と支流の長さに見いだされる関係性と、血管の分岐パターンとの相似などが記されていた。

コインランドリーで分厚い専門書を読み出した私の姿に違和感を覚えたのだろうか。隣に座っていたおじいさんに「なに読んでるの？ 難しそうな本だねえ」と話しかけられた。リアクションに困った私は、「えへへ、それほどでも・・・」と会話を打ち切ると、そのまま読書を続けた。やがて、本の内容は動物に見られる動きと体サイズのスケールリング則へと展開していった。

「工学の本だと思って読み始めたのに、なんだか俺の専門に近づいてきたなあ」と思い始めた頃、本の中に掲載されていたひとつの図に、私の目は釘付けになった。それは、横軸が動物の体重、縦軸が手足を動かす頻度を示す両対数グラフで、右肩下がりの直線の脇には頻度 F が体重 M の $-1/6$ 乗に比例することを示す数式 $F \propto M^{-1/6}$ が添えられていた。

「忘れもしないこの図は、もしやコンストラクタルモデル！」と思って表紙の著者名を見るとベジャンと記されている。英語表記の Bejan を見てようやく Bejan and Marden 2006 JEB と同一人物であることに気がついた。その論文にはコンストラクタルモデルを使うと、最適な動きをする動物の四肢の動きの頻度が体重の $-1/6$ 乗に比例することが理論的に予想できると記されていた。当時の私は、加速度計をさまざまな水生動物に取り付けて、泳ぐ際に鰭を動かす頻度と体重の関係を仲間たちとともに調べていた。ペンギンや鵜などの鳥類、アザラシや鯨といった哺乳類のデータが、頻度と体重の両対数グラフでひとつの直線上に乗り、その傾きから動きの頻度は体重の -0.29 乗に比例するということが明らかになった。分類群が異なる動物のプロットが綺麗に一直線になることに興奮した私はあれこれ文献を調べ、ノーベル賞を受賞した A. V. Hill という著名な筋肉生理学者が、動きの頻度は体重の $-1/3$ 乗に比例することを 1950 年に理論的に予測していたことを知った。 $-1/3$ 乗というのは私たちが見つけた -0.29 乗に近い。昔の偉い先生が既に理論的に予測していたことを知りいささか意気消沈したが、その後さらに文献調査を続けて前述の Bejan and Marden 2006 を発見したのであった。

そのおかげで論文執筆の作戦が立った。半世紀前に Hill が動物の四肢の動きの頻度は体重の $-1/3$ 乗に比例することを理論的に予測した。21 世紀になって、Bejan and Marden がコンストラクタルモデルなるものを提唱し、それによると頻度は体重の $-1/6$ 乗に比例するとのこと。いったいどちらが正しいのかを野外で検証するために、加速度計を体重 500g の海鳥から 16t のマッコウクジラに取り付けて鰭を動かす頻度を比較したところ、それは体重の -0.29 乗に比例することが分かり、半世紀前の Hillの方がより正確な予測をしていることが判明した (Sato et al. 2007)。

その後、相似形のペンギン 7 種のデータを使ってその問題

をさらに調べたところ、動きの頻度が体重の -0.29 乗に比例するという結果は Hill の理論では十分説明できない事が分かった。あれこれ考え、抗力と浮力に逆らって進む動物が、移動のコストを最小にする泳ぎ方をした場合、動きの頻度が体重の -0.28 乗に比例し、遊泳速度は体重の 0.05 乗に比例することが理論的に説明できた (Sato et al. 2010)。さらにその結果は、90t のシロナガスクジラにまで及ぶ 37 種もの水生動物の遊泳速度を調べた結果でも支持された (Watanabe et al. 2011)。その後、論文の内容をかみ砕いて紹介する本を 2 冊出している（「ペンギンもクジラも秒速 2 メートルで泳ぐ」、「巨大翼竜は飛べたのか」）。

「おじいさん、あなたは私がこの小難しそうな本を読んでいることに驚いているようですが、私はこの本に書いてある内容を否定する論文や本を出したのです」なんて自慢をしてみたくなり、あたりを見回したが、じいさんはもういない。やりきれない思いをその時一緒にいた大学院生にぶつけてみた、「おい、この本には俺たちがバイオロギングによる実データを元に却下したことが書いてあるぞ」。彼らは既にその本を読んでいたが、私の主張とのくい違いには気がついていなかった模様。さらに、「統数研の S 谷さんがこの本を面白いといって勧めてくれました」などと言うではないか。S 谷さんには私の著書を 2



冊とも謹呈している。「誰も-1/6と-0.28の違いに気づいていないのか？」。

本では興味深い事象が数多く紹介されている。それは認めよう。しかしだ、ベジヤンはこの本でコンストラクタル法則がこの世の多くの事象を説明できると主張しているが、水生動物が泳ぐ際の鰭の動きに関しては、コンストラクタル法則は説明に失敗している。是非とも研究会の皆さんに考えていただきたいと思い、帰りの新幹線で書評をしたためた。

引用文献

Bejan and Marden 2006 Unifying constructal theory for scale effects in running, swimming and flying. *J. Exp. Biol.* 209: 238-248.

Sato et al. 2007 Stroke frequency, but not swimming speed, is related to body size in free-ranging seabirds, pinnipeds and cetaceans. *Proc. R. Soc. B* 274: 471-477.

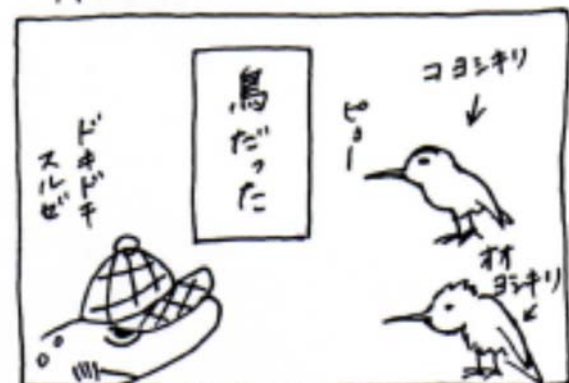
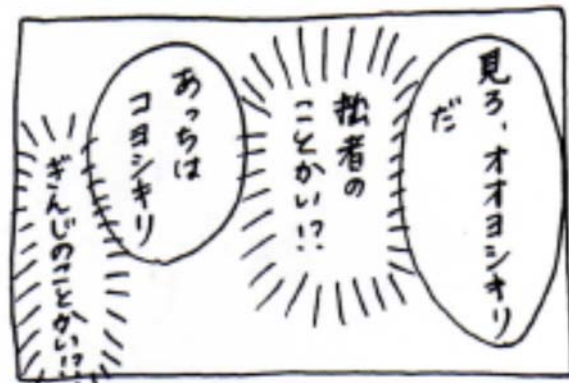
Sato et al. 2010 Scaling of swim speed and stroke frequency in geometrically similar penguins: they swim optimally to minimize cost of transport. *Proc. R. Soc. B* 277: 707-714.

Watanabe 2011 Scaling of swim speed in breath-hold divers. *J. Anim. Ecol.* 80: 57-68.

編集後記

サンプリングのために古巣の北海道大学洞爺湖実験所に来ました。実験所の裏手の山は綺麗な紅葉で覆われています。秋真っ盛りのこの時期には、実験所に設置された魚道へヒメマスが遡上してきます。ヒメマスと言えば真っ赤な体色を想像しますが、洞爺湖に生息するヒメマスはそこまで赤い色を呈していません。これは洞爺湖に生息するプランクトンが関係してます。洞爺湖には赤い色の元になるアスタキサンチンを生産するプランクトンが少ないそうです。一方、隣にある支笏湖にはアスタキサンチンを生産するプランクトンが多く生息しているため、そこに生息するヒメマスは真っ赤な色を呈しています。【Y.M】

ひみつ探偵 ヨシ・キリオ 108



【S.K.】