

日本バイオロギング研究会会報

日本バイオロギング研究会会報 No.175

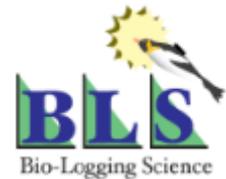
発行日 2021年3月27日 発行所 日本バイオロギング研究会(会長 佐藤克文)

発行人 光永 靖 近畿大学 農学部 水産学科 漁業生産システム研究室

〒631-8505 奈良県奈良市中町 3327-204

Tel & Fax: 0742-43-6274 E-mail: biolog@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp

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



もくじ

新しい発見

マスの思考を覗き見ることができるか?

高橋 晋 (同志社大) 1

オミズナギドリの山越えルートは年によって少し変わる

依田 憲 (名大) 4

研究の紹介

説明可能な深層学習による軌跡分析プラットフォーム

DeepHL の紹介

前川 卓也 (阪大) 6

イルカの背ビレの有無と胸ビレの姿勢

岡村 太路 (名大) 9

オオミズナギドリにおける行動特性と採餌行動の関係

武田 航 (名大) 10

オオミズナギドリの採餌行動と酸化ストレスの関係

小山 偲歩 (名大) 12

ウミネコの雛における酸化ストレスとその要因

野田 はるな (名大) 14

Zermelo's navigation problem を用いた移動戦略の解明

山田 雄風 (名大) 15

BLS シンポジウム開催報告

依田 憲 (名大) 16

「シロイルカ」

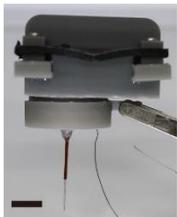
撮影者: 岡村太路 撮影場所: 名古屋港水族館

マスの思考を覗き見ることができるか？

高橋 晋 (同志社大学大学院脳科学研究科)



自宅前を流れる山科川を泳いでいる魚は、群れをなして滞留しているが、さっと移動したと思うと、あたかも自分が居た位置を知っているかのよう、また同じ位置にもどってきます。彼らはいったい何を考え移動しているのだろうか？ここでは、サケ科魚類が何を考えているのかを覗き見する方法(図1)を開発したので、その経緯や苦労話について吐露したいと思います。脳神経科学者である私が筆頭著者になっていますので、論文内容は生態学者には少し難しいかと思いますが、この記事を読んだ後に論文を読んでもらうと面白いかもしれません(<https://rdcu.be/cfcjP>)。



1cm



図1. 防水化したニューロ・ロガーを頭部に搭載したマスのイメージ

左上：3Dプリンタを活用して作製した独自設計の防水ケース付き計測装置（ニューロ・ロガー）。下部の細いチューブ（茶色）に通された、16チャンネルの電極で、複数の神経細胞活動を同時に記録することができる。右下：頭部にニューロ・ロガーを搭載したマスのイメージ。

この研究は、科研費 新学術領域「生物ナビゲーションのシステム科学」が切っ掛けとなり始まりました。研究者の自由な発想ではじめないとは「けしからん！」と言われそうですが、専門領域が離れている異分野融合研究をはじめするには、新学術領域は良い“出会いの場”かと思います。現在は、学術変革領域と改名されていますが、その趣旨は変わっていないかと思えます。

新学術領域は、個人の独創的な研究を推進する基盤研究とは異なり、学際的な共同研究をするための研究費になります。採択率は、Nature や Science と同程

度なので、企画当初は採択されるとは思っていませんでしたが、3年の準備期間を経て運良く採択されました。私が計画研究に入る前があったら4年目ということなかもしれません。5年ほど前になりますが、当初計画では、サケの脳活動を計測するような話はなかったのですが、名古屋大学の伊田先生が推進する計画研究に分担者として加わっている日大の牧口先生と議論していると、サケの脳活動を計測してみたら面白いかなと思うようになりました。

というのも、牧口先生は、東大の北川先生との共同研究ですでにサケの脳波計測にチャレンジしており、それについて報告をされていたのですが、その報告に出てきた波形をみて、「それは脳波とは違うのでは？」と思ったからです。私も水中で神経活動を記録したことはなかったので、そのデータが本物の脳波かどうかに興味を湧きました。そこで、そのロガーを麻酔下のネズミ（マウス）脳に装着して計測してみましたが、インピーダンスが低すぎるのか脳活動の成分はあまり計測できていないようでした。新学術領域では、共同研究が推奨されているし、まあ私がやれば脳波くらい楽勝でとれるやろと思っていましたが、そんな甘い話はなく、それから方法論論文を出すだけで4年もかかってしまいました。

神経細胞活動は、微弱で電流値が低く、細胞外から記録する必要があるため、記録側からみた入力インピーダンスは無限に大きい必要があります。無限と言っても数十ギガオームくらいあれば十分です。そのため、バッファ用オペアンプでボルテージフォロアを構成しないとイケません。なんのこっちゃと思われると思いますが、50歳代までの電気生理学者は皆、自作で構成していたのですが、最近の人は知らないで使っているかと思えます。私は40歳代ですが、工学出身なのでそれら自作していた時期があり、それが役に立っています。そういうことなので、ネズミを使っている若手の電気生理学者と組んでみたら、魚の神経細胞活動を全然計測できないというのはありえるかと思えます。私の学生にはそのようなアンプは作らせませんし、その若手が無知なだけかと思えます。世代交代で失われる知識も多くあるのかと思えますが、異分野融合研究では最先端技術ではなく、自由度の高い“ローテク”が必要になるので若さだけでなく経験も重要かと思えます。

とはいっても、私も本職である神経科学実験や博士課程学生の教育に忙しいので、ロガーを自作する余裕はありません。そこで、神経活動を記録できる既製品を探しました。野生動物を対象とした神経活動計測は、イスラエルのワイツマン研究所がコウモリをつかって先行しており、そこと共同しているイスラエル企業が販売していることを知り購入してみました。新学術領域は自由度の高い科研費で規模が大きいので、うまく使えば機動性があることも強みです。

コウモリ用なので防水化されていませんが、とりあえず脳活動が計測できるかをチェックするために、麻酔下のマスで計測してみようということになりました。牧口先生が実験で使われている新富士の養鱒場をおかりして記録してみました。見た目には脳活動らしいものがみえているが、本物かどうか定かではありません。外部刺激に対する反応で確認できるかと思いますが、屋外では難しそうです。

そういった神経活動計測の問題もありますが、もう一つの問題がありました。牧口先生や学生の横森君は、ぜんぜん寒がっていませんでしたが、屋外は私には寒すぎて頭がまわりません。普段は冷暖房完備の実験室に引きこもっていますので、外での実験だと体を壊しそうです。そこで翌年からは、養鱒場から車で10分ほどの場所にある日大の施設で実施することになりました。マスを飼育できる水槽もあり、宿泊施設完備という最高の実験設備が運良く確保でき、大きな池もありますので拡張性も高い最高の実験場になっています(図2)。



図2. 日大施設で開頭手術をする牧口先生.

日大施設で実験をはじめると、屋内で手術できるので実験回数が飛躍的にアップし、麻酔下での神経細胞活動記録が安定的にできるようになってきましたが、ネズミでもそうなのですが、麻酔薬に依存して光刺激に対する反応が著しく異なることがわかってきました。また、1時間30分ルールというのもこの頃の経験から生まれました。手術がこの時間内にできないと、マスはほぼ死亡してしまいます。このような麻酔下での研究は、鯉や金魚をつかって数十年前から実施されており、視覚を対象とした生理学的な研究が長らく実施されていたようです。それらの先行研究と同じ

ようにマスの視蓋には光の点滅に反応する細胞があることが確認できました(図3)。

神経科学は、モデル生物が大好きなので、鯉や金魚は最近ではほとんど研究されていません。最近では、体が透明で、遺伝子操作もできてしまうスグレモノなゼブラフィッシュという超小型の魚を実験動物として活用していることが多いです。歴史的な経緯があり、再現性などの理由もあって選別されてきたのでしょうか、生態学的な理由は皆無でしょう。マウス・ラットと同じで、自然界から隔離された異常な生態をもっているかと思います。水中を遊泳する魚の頭部にワイヤーをつけて、神経活動を記録するという実験は、金魚や電気魚を対象として実施されているようですが、ワイヤーがついてしまうと、泳ぎを阻害してしまいます。水中では、特に問題になるでしょう。



図3.麻酔下のマスの目に光を照射する横森君。当時は日大牧口研に所属し、大学院では東大北川研に所属.

そこで次に、遊泳中のマスの脳活動を計測しはじめました。まず防水化です。GoProのように防水ケースに入れてしまえば良いわけですが、サーチしてみると金魚での先行研究がすでに報告されていました。やはりイスラエルのグループです。しかも我々が採用したものと同じロガーを使っています。世界は広く、同じようなことを考える人は何人かはいらるようです。しかし、金魚なので、体重に比してロガーが重すぎるらしく、大きな発泡スチロールで浮力をつけています。自由に遊泳しているかは疑問です。

この防水ケースをマス用に改変することにしました。3Dプリンタを活用して実験毎に試作を繰り返し、現在の形状になっています。流線形にするなどの改善点はもちろんありますが、金魚と違ってマスは体重が2kgもありパワフルなので、ロガーが障害になっているには見えません。金魚を対象としている理由の一つに、脳が頭骨表面から浅い位置にあるという点があるのだと思います。これに対して、マスの脳は3~4cmも深く、電極を刺し入れるのが非常に難しい。結局のところ、勘を頼りに刺し入れるので、どこ

に電極が刺さっているかは死後脳を調べてみてはじめてわかります。

準備は整ったので、子供用のプール内でマスを泳がせてみることにしましたが、水温管理が難しく、水道水の塩素成分もよくないようで、入水後に弱りはじめました。そこで、地下から汲み上げた真水を流すことのできる水タンクで実験することになりました。日大施設では、マスを養殖する計画があったようですがその計画は頓挫していて、水タンクだけが運良く残っていました。水タンクは、屋外にあります。屋根付きで、周囲には何もないので環境条件も整っています。また、このころから依田研所属の大学院生 本部くんが参加するようになり、実験がスムーズに進行するようになりました(図4)。



図4. 名大依田研所属の本部君(右)

マスは、麻酔から覚醒した後は、フラフラとしているので、水タンクの壁に衝突しロガーが外れてしまうことが多々あり、かなりの失敗を繰り返しましたが、最終的に遊泳中のマスの終脳から神経活動を計測することに成功しました(図5)。



図5.ロガーを頭部に装着したマス

その結果、頭がある一定の方向を向いているときだけに興奮する神経細胞を発見しました。どうやらマスは、頭のなかでどこを向いているかを常に考えているようです。このような頭方位細胞と呼ばれる細胞種は、ネズミなどの哺乳類だけでなく、昆虫でも見つかっており、魚類では金魚の終脳にも存在することがわかっています。マスというと、母川回帰に地磁気コンパスが使われているという仮説が有名ですが、この頭方位細胞が地磁気コンパスに関与しているかは、今後の研究で明らかになってくるかと思えます。

実験が順調に進んできたので、データを追加し頭方位細胞の活動特性を調べる計画でしたが、新型コロナウイルスの拡大により、日大施設での実験ができなくなってしまいました。このような状況でしたが、Animal Biotelemetryのthematic seriesを知り、良い機会なのでこれまでの実験結果を纏めた方法論を報告することになりました。

なぜ神経科学雑誌に投稿しなかったのかと思われる方もいるかもしれませんが、研究内容は神経科学でも通用するのですが、神経科学者はサケ科魚類に研究対象としての魅力を感じないようです。実際に神経科学学会でこの内容を発表するとドン引きでした。将来的には、神経科学にも役立つとは思いますが、近視眼的なご時世なのかもしれません。

このように論文発表までの経緯を回想してみると、行き当たりばったりのようですが、困難がありながらも幸運にも恵まれたなと思います。同時に、今回のような先行事例が無い探索的な研究は、細かいことは考えずに「えいや！」とやってしまうないと実現できなかったかなとも思います。このように後で大変なことになると思いますが、自分の力量を過信するのも悪くありません。先が見えない方が面白い。今後の展開が楽しみです。

[引用文献]

Takahashi, S. Hombe, T., Takahashi, R., Ide K., Okamoto S., Yoda, K., Kitagawa, T., Makiguchi, Y., "Wireless logging of extracellular neuronal activity in the telencephalon of free-swimming salmonids", Animal Biotelemetry, 9:9, 2021.

<https://animalbiotelemetry.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40317-021-00232-4>

オオミズナギドリの山越えルートは年によって少し変わる

依田 憲 (名古屋大学大学院環境学研究科)

3年前の会報で(2018年3月、No. 139)、2016年に巣立ちした新潟県粟島のオオミズナギドリの幼鳥が、本州上空を横断して南方に渡ることを報告した(Yoda et al. Current Biology 2017)。オオミズナギドリといえば、海面を薙ぐように飛ぶ姿が思い浮かぶだけに、幼鳥が山岳地帯を飛ぶのは意外性のある発見だった。ちなみに、成鳥は陸地を避け、海上を飛翔して南下する。

しかし、これは2016年にだけ発生した現象の可能性も否定はできない。生態学の場合、厳密な再現実験を行うことは難しいが、年によらずに幼鳥が山越えするかどうか確認しなくてははいけないうらう。また、先行研究では、山越えの際のルートや、渡りに伴うリスクの評価など、不明な点もあった。さらに、本種の陸上飛翔が日常的に観察されてこなかったのも謎だ。

これらを解明するために、2017年と2018年に、巣立ち直前の雛に衛星発信型GPSロガーを装着した。合計約60個体のデータを解析したところ、3割の個体は日本海から出られず死亡したが、残りの個体は両年とも日本列島を横断していた(図1左、図1中)。山越えのルートは年によって異なっており、2017年は主に東北地方を横切るようなルート、2018年は北陸・中部地方を抜けるルートだった(図2)。また、2017年は海拔400m以下の山間を抜ける直線的な経路だったが、2018年は1000m以上の山を越えることもあり、地形に左右されたような経路だった。さらに、2018年は日本海から本州に突入した後、日本海に引き返してから、再度山越えを行うことが多かったが、2017年にためらいは見られなかった。ほとんどの山越えは夜間に行われていたが、2018年は長距離ルートをとるため、昼間も陸上を飛ぶことがあった。

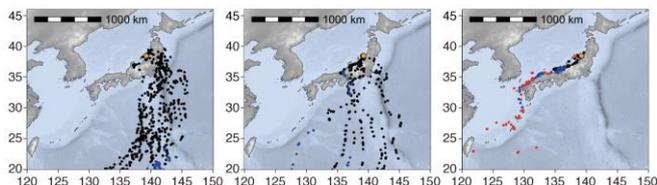


図1 粟島(オレンジ)から南方へ渡るオオミズナギドリの幼鳥。2017年(左)は東北を通る個体が多く、2018年(中)は北陸・中部地方を通る個体が多かった。2018年には3個体(右)だけが日本海を南西に移動し、対馬海峡を抜けて南下した。黒は11/20まで、青は11/21-30、赤は12月に得られたGPS点。右の3個体は渡りに時間がかかっていることがわかる

2017年に比べて2018年のオオミズナギドリは、日本海から本州に突入する際、向かい風を受けることが多かった。2018年は好適な風を待つうちに日本海を

南西に移動してしまい、結果的に険しい山岳地帯を超える羽目になった可能性がある。日本海や太平洋での死亡率には年間差がなかったが、山越え中の死亡率は2018年のほうが高かった。

興味深いことに、2018年に3個体だけ、山越えせずに日本海を南下する個体がいた(図1右)。これらの個体は積極的に南西に向かったというより、本州突入を逡巡するうちに、地形に沿って南西に移動してしまった可能性が高い。実際、山越え個体よりもはるかに長い時間を費やして南へ到達していた。

以上から、2018年に例外的な個体がいたものの、粟島の巣立ち幼鳥は山越えすることがわかった。また、山越えのルートやそれに伴う死亡率は年により異なり、おそらく沿岸部の風環境によることも示唆された。

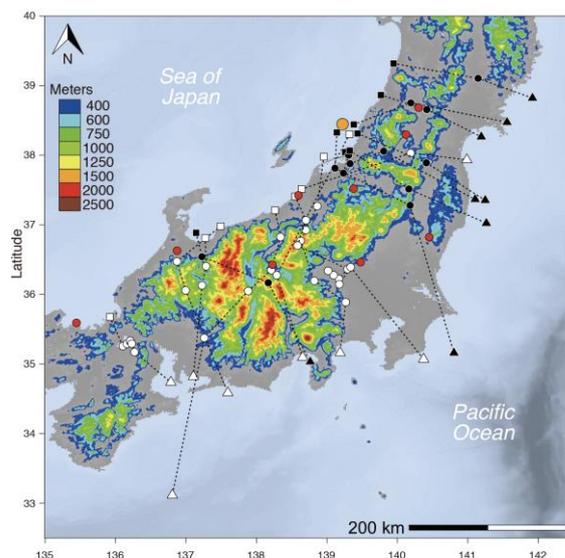


図2 粟島(オレンジ)から南方へ渡るオオミズナギドリの幼鳥。黒丸は2017年、白丸は2018年。四角は本州に入る直前の点、三角は太平洋に到着した最初の点。点線はGPS点を結んだもの。赤丸は陸上で死亡した個体の最終地点

オオミズナギドリの山越えを観察するのが難しい理由は、山越えルートの個体差や年間差、および夜間飛行にあると思われる。「11月上旬にはオオミズナギドリが陸上を飛ぶ」という先入観を持ってバードウォッチングすれば、意外と見つかるかも?

[引用文献]

K. Yoda, M. Okumura, H. Suzuki, S. Matsumoto, S. Koyama, M. Yamamoto (2021) Annual variations in the migration routes and survival of pelagic seabirds over mountain ranges. Ecology, e03297 doi:10.1002/ecy.3297

説明可能な深層学習による軌跡分析プラットフォーム

DeepHL の紹介

前川卓也 (大阪大学大学院 情報科学研究科)

情報の分野では、ビッグデータというバズワードが登場して久しいですが、バイオロギング研究分野でもすっかり動物の行動ビッグデータ分析が可能な時代に突入しているのだなと感じています。私は、新学術領域「生物移動情報学」のプロジェクトを通じて、生態学や神経科学の先生方とコミュニケーションを取らせていただいておりますが、相当な数の海鳥にデータロガーを装着して行動データの取得を行ったり、昆虫の行動を観測する装置を大量かつ並列に起動して行動データの自動取得を行ったりされています。

私は情報分野の人間で、特にセンサを用いた人の行動認識等の研究を行っています。情報の分野、特にウェアラブルコンピュータの分野では、身体装着型センサデバイス（ウェアラブルセンサ）を用いた研究が盛んに行われてきました。2000年代初頭から、人間が装着したセンサを用いた人間行動センシング・認識の研究が注目を集めてきましたが、もはや動物行動センシング研究のスケールは、人間行動センシング研究のスケールを超えてきているのではと感じています。人間の行動をセンシングする研究では、センサデバイスを人間にどのように常時携帯してもらうかの問題やプライバシーの問題が付きまといます。そのため、スケールの大きな人間行動データの収集は困難で、そういったデータから新しい知見を発見するような研究を行うことも難しいと言えます。一方、今や誰もが持っている携帯電話の接続基地局情報などから得られた位置情報から、巨大なスケールで行動分析を行うような研究もありますが、大雑把な行動データしか得られなかったり、そもそもそういったデータにアクセスすること自体が難しかったりします。

そういった経緯から、スケールの大きな動物行動ビッグデータからの知識発見は、私の目には非常に魅力的に映るわけです。一方、先程の人間行動データ取得の難しさから、行動ビッグデータからの知識発見手法というのも情報分野ではそれほど深く研究されているわけではありません。そこで、様々な動物の行動分析を行えるプラットフォームの実現を目指すこととなりました。誰でも利用できるようにプラットフォームとするために、ユーザ（研究者）がデータを入力しさえすれば、何らかの知識発見に繋がる情報を視覚的に出

せるものにしたいという思いがありました。そこで、当時はまだあまり注目されていませんでしたが、説明可能な深層学習モデルを用いて、深層学習モデルにデータを分析させ、モデルが獲得したコンセプトのようなものを、ユーザに提示しようということに至りました [1]。

ざっくり言いますと、この研究では軌跡の比較分析（例：海鳥のオスとメスの行動軌跡の比較）を対象とし、深層学習モデルを、軌跡を与えるとその軌跡がどちらの比較群から得られたものかを推定させるように学習します。そうすると、その深層学習モデルは、軌跡から比較群の特徴を捉えて、推定するようになるわけです。そして、深層学習モデルがどのような特徴を捉えて推定しているかの情報を、ユーザに可視化して提示すれば、ユーザはそれを手がかりに、軌跡における群の違いを導き出せるわけです。ここで、「説明可能な」というのは、一般的にブラックボックスとされる深層学習モデルがどのような特徴を捉えて推定しているかの情報を明示的に提示するところに対応します。この説明可能性というのを実現するために、アテンション機構というものを導入しました。詳細は省きますが、アテンション機構により、図1のように群の違いを象徴している軌跡の特定の部分をハイライトすることができます。（厳密には、時刻ごとに群の違いを見分ける際の重要度をアテンションの値として計算し、ハイライトします。）この海鳥の例からは、メスの海鳥が海岸線からある程度の近さの距離で滞在しているところが、メスの特徴的な行動であると推察できるわけです。

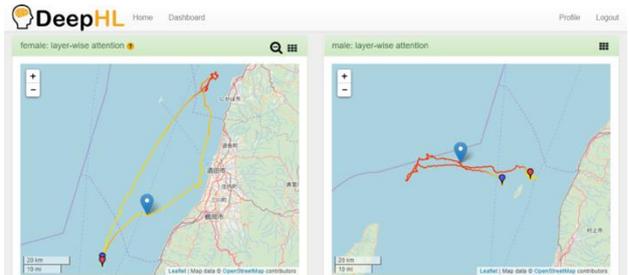


図 1 : DeepHL による海鳥の軌跡の比較分析。female と male の軌跡を比較。赤い色の部分軌跡が、比較群に特徴的な部分を示す。名大・依田研究室提供

本手法は、DeepHL というシステムとして「<http://www-mmde.ist.osaka-u.ac.jp/~maekawa/deeph/>」にて公開しております。今回は、その利用方法を簡単に紹介したいと思います。

1. ユーザ登録

まず図 2 のように右上の「Login」メニューから、ユーザ登録をする必要があります。「Create new account」というボタンを押すと、図 3 のような画面が現れるのでユーザ名やパスワード、メールアドレスを入力します。登録後は、図 2 のログイン画面から、ユーザ名とパスワードを入力すれば、ログインできるようになります。



図 2 : ログイン画面

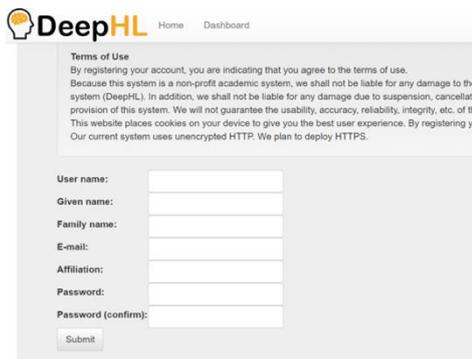


図 3 : ユーザ登録画面

2. データの準備

分析対象のデータの準備をします。まず図 4 左のように、比較する 2 群のフォルダを作ります。この例では、「female」と「male」の 2 群のフォルダを作っています。フォルダの名前は自由ですが、半角英語で、記号を含まない名前をお勧めします。そして、それぞれのフォルダの中に、その群に対応する軌跡のデータを保存していきます。図 4 中央のように、一つの軌跡データは、一つの CSV ファイルとして準備します。CSV のフォーマットは単純で、図 4 右のようにタイムスタンプ、x 座標、y 座標となっています。最後は、2 つのフォルダをまとめて 1 つの zip ファイルに圧縮してしまえば、準備は完了です。（群ごとに 50 以上の軌跡があることが望ましいです。）



図 4 : データの準備。2 群のフォルダを準備し (左)、それぞれのフォルダの中に軌跡 CSV ファイルを格納 (中央)、CSV ファイルのフォーマット (右)。

3. データのアップロードと解析

DeepHL のページの「Dashboard」メニューを選ぶと遷移するページに、「Add new job」というボタンがあるので、それを押すと、分析タスクをシステムに登録できます。図 5 上が、分析タスク (ジョブと呼んでいます) を登録する画面で、自由に名前や説明文を記述して、ページの一番下にある、「Add」ボタンを押して下さい。すると、「Dashboard」のページのジョブのリストに、登録したジョブが追加されます (図 5 下)。「Upload file」ボタンを押すと、zip ファイルをアップロードできるので、先程作成した zip ファイルをアップロードして下さい。あとは、自動的にコンピュータによる解析が始まります。データサイズにも依りますが、解析には数時間かかります。

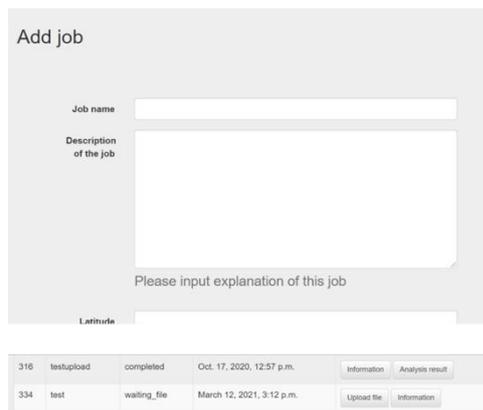


図 5 : 分析タスクの登録 (上) とタスクのリスト (下)

4. 結果の分析

コンピュータによる解析が終わると、図 5 下の例のように「Analysis result」というボタンが現れます。このボタンを押すと、まずは図 6 左のような、深層学習モデルによる推定結果を表示するページが現れます。簡単に言うと、これは深層学習モデルがどの程度の精度で軌跡がどの群に属するものなのかを推定できたのかを示します。精度が低いと群間の違いを見つけられなかったことを意味します。(ランダム推定の場合は精度が 0.5 になります)

このページの一番下に、図 6 右のような「Layer-wise attention」というテーブルがあります。提案している深層学習モデルは、それぞれの層で様々な時間スケールで軌跡の特徴を捉えており、そのスケールごとに注目箇所（アテンション）が変わります。このテーブルでは、どのスケールのアテンションを使って軌跡をハイライトするのかを選べます。論文に詳細は記していますが、アテンションの種類ごとにスコアを計算していて、基本はスコアが一番大きいものを使って、ハイライトすれば良いです。テーブルのヘッダの「score」をクリックすれば、スコアの降順に並び替えられます。そして、行の一番右にある「Highlight」というボタン（右にスクロールしなければ現れないかもしれませんが）を押せば、図 1 のようなハイライトした軌跡が表示されます。

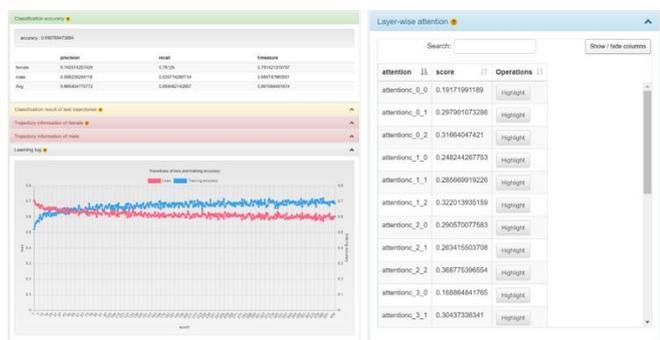


図 6：解析結果の画面。軌跡の推定精度（左上）とハイライトに使うアテンションの選択（右）

表示する軌跡は、軌跡の下にある選択ボックスで選ぶことができます。このハイライトした軌跡を眺めて、深層学習モデルが何を学習したのかを理解できれば良いのですが、そうでない場合は、アテンションがどういった意味を持つのかの理解を支援する機能を利用します。図 7 上は、アテンションとあらかじめ網羅的に計算した変数（例：速度や加速度）との相関を表示するテーブルで、軌跡のページを下にスクロールしてもらえれば見つかります。これにより、アテンションの意味を推察することができます。この例では angle_from_init（出発地点からの進行方向）とアテンションの相関が高くなっています。そして、図 7 下のように、特定の変数で軌跡を色付けしたり、アテンションの値と変数のグラフを描画することもできるた

め、これらによりアテンションの意味を推察できます。

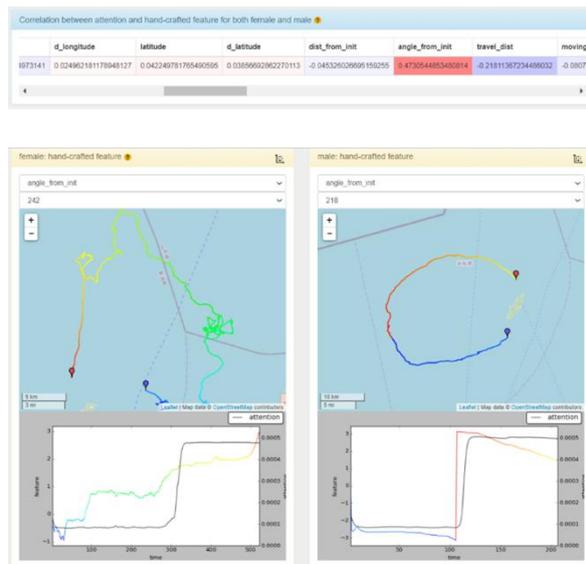


図 7：アテンションと変数との相関表（上）と変数で色付けた軌跡（下）

以上が、DeepHL の基本的な使い方でした。軌跡を地図上に表示する方法や、軌跡以外のデータもデータファイルに追加する方法などもあるのですが、詳細は論文を参考願います[1]。文献[1]では、DeepHL が提供する情報を基に、6 種類の動物の行動に関する仮説を提案し、検証を行いました。DeepHL が皆様の軌跡データからの知識発見に役立てば幸いです。また、操作の仕方や結果の解釈の仕方が分からない場合は、私まで気軽にご連絡下さい（maekawa@ist.osaka-u.ac.jp）。

[引用文献]

[1] Takuya Maekawa, Kazuya Ohara, Yizhe Zhang, Matasaburo Fukutomi, Sakiko Matsumoto, Kentarou Matsumura, Hisashi Shidara, Shuhei J. Yamazaki, Ryusuke Fujisawa, Kaoru Ide, Naohisa Nagaya, Koji Yamazaki, Shinsuke Koike, Takahisa Miyatake, Koutarou D. Kimura, Hiroto Ogawa, Susumu Takahashi, and Ken Yoda: Deep Learning-assisted Comparative Analysis of Animal Trajectories with DeepHL, Nature Communications 11 (5316) (Oct. 2020)

イルカの背ビレの有無と胸ビレの姿勢

岡村 太路（名古屋大学理学部地球惑星科学科生態学講座 4 年）



名古屋大学依田研究室の岡村太路です。"地球惑星科学科"と生物系の学部には見えませんが、学科内のいくつかの講座のうちの2019年に新しくできた生態学講座に所属しています。実際、自分の代が生態学講座での卒業研究第1号になるようです。学部の専門の授業は、岩石学、地震学、古生物学などいわゆる地球科学がほとんどで、当初、私は古生物学の研究室に行こうかなと考えていました。しかし、生きている動物の方が面白そうだな、新しくできた講座でいろいろできそうだなという考えから依田研究室を選びました。ここでは、卒業研究として実施した水族館のイルカを対象にした研究について簡単に紹介します。

イルカ・クジラの多様なヒレ 水中を泳ぐ動物において、ヒレは最も重要な構造の1つです。遊泳に高度に適応したイルカ・クジラの仲間は、尾ビレ、胸ビレ、背ビレの3種類のヒレを持っていますが、その形や遊泳時の姿勢は多様です。特に背ビレの多様性は明瞭で、複数の系統で背ビレを欠失する種が存在します。例えば、シロイルカ、スナメリ、セミイルカなどです。先行研究では、イルカにおける背ビレの有無は、生息環境や遊泳速度とは関係しないとされています。また、これまでヒレ自体の流体力学的な研究は行われてきましたが、遊泳時における胸ビレの姿勢については注目されていませんでした。私が行った研究では、航空機の翼で利用されている上反角の観点から、イルカの直進遊泳時における胸ビレの姿勢と背びれの有無の関係に着目しました。

水族館での観察・計測 名古屋港水族館と鳥羽水族館で飼育されているハンドウイルカ、カマイルカ、イロワケイルカ、スナメリ、シロイルカの5種類のイルカを対象としてビデオ計測を行いました。このうち、スナメリとシロイルカは背ビレを持っていません。方向転換を伴わない前進遊泳を直進遊泳と定義して、ビデオの中から直進遊泳における真正面、真背面を向くコマ写真を抽出しました。合計1400枚近く抽出したコマ写真から背腹軸の傾きや胸ビレの角度を計測しました（図1）。

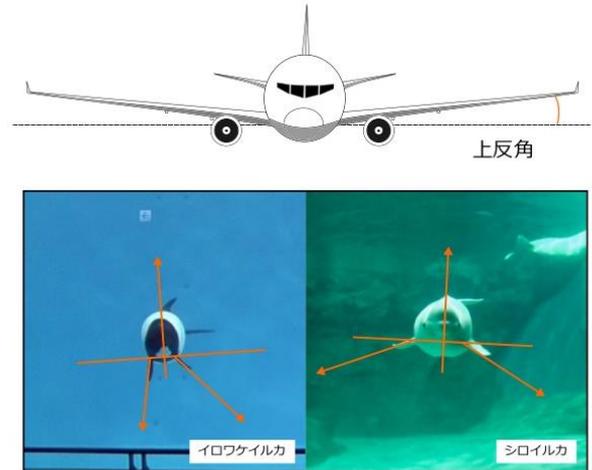


図1 航空機における上反角（上）と水族館での計測の様子（下）

背ビレの有無で異なる胸ビレの姿勢 計測を行った結果、全ての種で特定の上反角角度で胸ビレを維持して直進遊泳を行っていました。また、その角度は、背ビレを持っている種と背ビレを持たない種で有意に異なっており、背ビレを持たない種は、背ビレを持つ種よりも胸ビレを体の左右軸に水平に近い角度で維持していました（図2）。

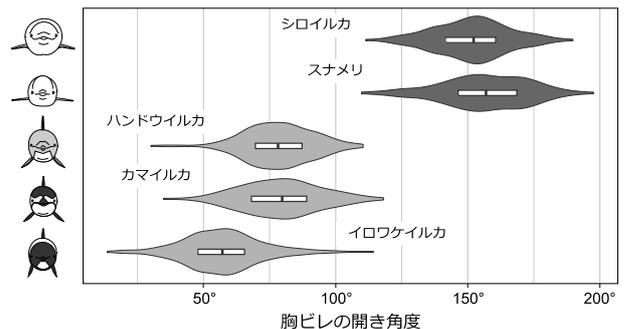


図2 計測種における胸ビレの開き角度

航空機の理論への適用 航空機は、上反角をつけた主翼を持つことでローリングを安定にしています（図1）。私は、イルカにもこの理論を適用できると考え、上反角によるローリングモーメントを比較する安定微係数をイルカ用に拡張し導出しました。導出した式を水族館での計測値に適用したところ、全ての種において胸ビレと背ビレの上反角効果によるローリングモーメントは、機動性を確保したロールを促進する小さなモーメントで一致していました。

背ビレがあっても困るし、なくても困る ロールの機動性は、イルカにおいて摂食や社会行動に影響を与えますが、極度に大きな機動性は、体の不安定化をもたらします。計測した5種のイルカで共通したロールを促進する小さなモーメントは、イルカの遊泳に最適であると推測されます。導出した安定微係数に基づくと、"体の左右軸に水平に近い角度の胸ビレ"と"背ビレ"はどちらもイルカにとって不安定であると考えられるロール促進モーメントを小さくする働きがあります。イルカは、この2つの特徴のいずれかを獲得することで、適度な不安定性（機動性）を維持していると推測されます（図3）。

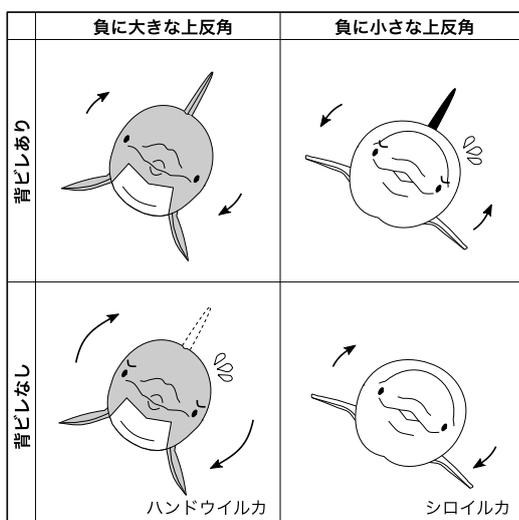
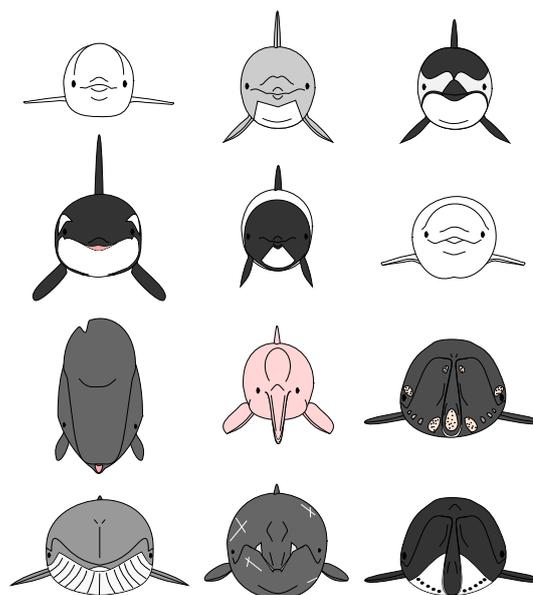


図3 背ビレの有無と胸ビレの姿勢の関係

今回行った研究は、航空力学に基づいてイルカの胸ビレの姿勢と背ビレの形態の関係を定量的に説明したものです。本研究では、水族館で飼育されている5

種類のイルカで比較していますが、野生の個体も含めて多くのイルカ・クジラは、種によって遊泳に最適な多様なヒレの姿勢をとっていると考えられます（図4）。今後、生態観察や形態観察により多くの種でヒレを比較することで、ヒレの機能の解明につながると期待されます。来年からは、所属を変えて、筑波大学大学院に進学予定です。バイオロギングからは、より遠ざかってしまうかもしれませんが、卒業研究に引き続き、イルカの胸ビレの姿勢について研究を行って行く予定です。



Taro Okamura

図4 いろいろなイルカ・クジラの正面図。複数の系統で明瞭な背ビレを持たない種が存在し、その機能はわかっていないことが多い。©Taro Okamura

オオミズナギドリにおける行動特性と採餌行動の関係

武田 航 (名古屋大学大学院 環境学研究科)

みなさま、初めまして。名古屋大学大学院環境学研究科博士前期課程1年の武田航です。今回は、私が行っている研究の紹介と、昨年11月に行われたBLSシンポジウムのワークショップの参加報告をさせていただきます。

まず初めに、私の研究についてお話しさせていただきます。私は、新潟県の粟島に生息するオオミズナギドリを対象に、「動物の個性」と呼ばれる行動の個体差に注目して調査を行っています。「動物の個性」とは、年齢や雌雄差に関わらず、時間を経ても変化する

ことのない行動の個体差のことです(Réale and Dingemans, 2012)。その一例として、イトヨの雄は個体によって、縄張りに侵入してきた他個体に対する攻撃性に違いが見られることが知られています(Huntingford, 1976)。

このような個体ごとの個性を評価する手法として広く認知されているものに、novel object testという手法があります(Patrick and Weimerskirch, 2014)。この手法では、個体に新奇物体（個体が初めて遭遇する物体のこと。例えば、ゴム製のおもちゃや空き缶な

ど。)を提示した時の反応を記録することで、個体ごとの行動の個体差を調査します(図1)。この手法で対象とする個性形質は、リスクをとる傾向です。提示したオブジェクトに攻撃行動をとるような個体は、リスクをとる傾向にあると考えられています。



図1. 筆者による novel object test の様子。個体によって、オブジェクトを頻繁に突っつく、あるいは全く興味を示さないなどの違いが見られた。

一方で、このような行動の個体差同士に一連の関係が見られることが、最近の研究で明らかになりました。その一例として、ミツユビカモメを対象にした研究では、novel object test にてリスクをとる傾向にあった個体ほど、繰り返し同じ採餌場所に訪れる傾向が強いという結果が見られました(Harris et al., 2020)。

これまでは、海鳥が繰り返し同じ採餌場所を訪れる要因として、良質な餌場の学習がよく知られていました(Votier et al., 2017)。一方で、Harris et al.,(2020)は、海鳥が繰り返し同じ採餌場所を訪れる別の要因として、個体の個性を報告しました。ここで、個性に起因して採餌場所の忠実度に違いが見られた場合、繰り返し同じ採餌場所を訪れる傾向にある個体の方が、環境の変化からより強い影響を受けると考えられます。つまり、ある個体が頻繁に利用している採餌場所の餌環境が何らかの要因で悪化してしまった場合、採餌場所の忠実度が高い個体ほど、その影響を受けやすいと考えられます。

粟島のオオミズナギドリについて、個体群レベルでの採餌行動の違いについては頻繁に調査が行われていますが、個体レベルの違いについては調べられていません。そこで私は、オオミズナギドリの採餌場所の忠実度に個体差が見られるのかどうかについて、また、採餌場所の忠実度の違いは個性によるものなのかを明らかにするために2つの調査を行っています。

1つ目は個体の個性についての調査です。これは、先ほど述べた novel object test によって調査しました。この調査では、固定状態にあるオオミズナギドリに対し透明なペットボトルを提示しました(図1)。そして、その時に見られた行動を1分間、ビデオを用いて記録しました。次に、個体の行動を5つに分類し

(Lunge:オブジェクトに対する突っつき、Snap:方向性のない突っつき、Shake Head:頭をブルブル振る、Twitch:ピクッと後ろにのけぞる、Move Head:頭を左右に動かす)、1分間で各行動が何回見られるかを記録しました。最後に、主成分分析(PCA)によって5つの行動データを1次元に要約することで、個体の個性を評価しました(図2)。

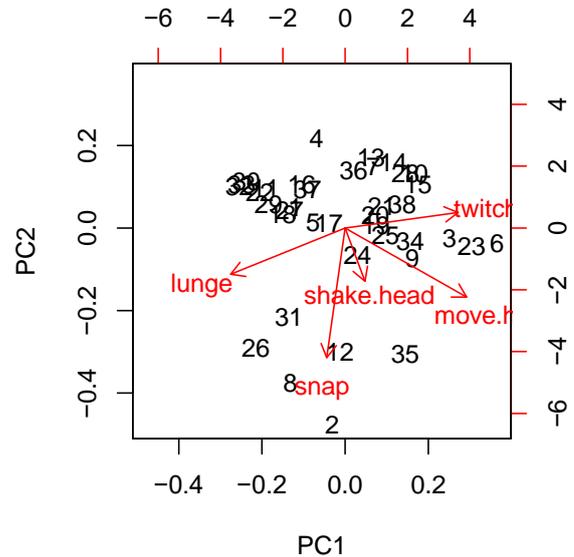


図2. 主成分分析の結果の図。攻撃的な行動が多く見られた個体はPC1が負の値になった。

2つ目は餌場所の忠実度についての調査です。この調査をするためには、調査個体がどこで採餌をしているのかを明らかにする必要があります。そこで、まず初めに、調査個体にGPSデータロガーを装着することでGPSデータを入手しました。2020年は38個体にロガーを装着し、31個体からGPSデータを入手することができました。このようにして得られたデータを、Hidden Markov Models(HMMs)というモデルを用いて解析することで、個体ごとに採餌場所を特定しました。

解析はまだここまでしか進んでおらず、今後は採餌場所の類似度指数 Similarity Index を求めることで、個体ごとの採餌場所の忠実度を求めたいと考えています。また、本文の序盤で「動物の個性とは時間的に一貫した行動の個体差」と定義したにも関わらず、本研究では個性の調査を各個体で1回ずつしか行なっていません。そのため、今年の調査では各個体に対して複数回の調査を行おうと考えています。また、昨年調査した個体を今年も調査することで、経年的な一貫性も調査します。

続いては、BLSシンポジウムのワークショップでの発表についてです。昨年の11月に、第16回BLSシンポジウムがオンライン上で開催されました。シンポジウム内では合計で7つのサテライトワークショップ

が開催され、私はその中の「バイオロギン・ラウンドテーブル」に参加し、口頭発表をさせていただきました。

このワークショップは、まだ具体的な結果が出ていない研究でも発表できる、非常に寛容な会でした。それに加え、オンラインでの発表によって参加のハードルが下がったことから、学生による発表が数多く見られました。同世代の研究者による発表を拝聴し、大変刺激を受けました。

また、口頭発表を通して、様々なご助言やご感想をいただくことができ、大変勉強になりました。加えて、オンラインでの発表にはなりましたが、100人近くの方々前で発表をさせていただけたことは、非常に良い経験となりました。この経験を活かして、研究の更なる発展に努めたいと思います。

[引用文献]

- Harris, S. M., Descamps, S., Sneddon, L. U., Bertarnd, P., Chastel, O., Patrick, S. C. (2020) Personality predicts foraging site fidelity and

trip repeatability in a marine predator. J. Anim. Ecol. 89, 68-79.

- Huntingford FA (1976) The relationship between anti-predator behaviour and aggression among conspecifics in the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus*. *Animal Behavior*, 24:245-260
- Patrick, S. C., & Weimerskirch, H. (2017). Reproductive success is driven by local site fidelity despite stronger specialisation by individuals for large-scale habitat preference. *Journal of Animal Ecology*, 86(3), 674-682.
- Réale, D., & Dingemanse, N.J. (2012). Animal personality. In: *Encyclopedia of Life Sciences (eLS.net)* (ed), 1-8. John Wiley & Sons, Chichester
- Votier, S. C. Fayet, A. L. Bearhop, S., ... Patrick, S. C. (2017). Eddects of age and reproductive status on individual foraging site fidelity in a long-lived marine predator. *Proc. T. Soc. B* 284:2017106

オオミズナギドリの採餌行動と酸化ストレスの関係

小山 徳歩 (名古屋大学大学院 環境学研究科)

名古屋大学依田研究室の小山です。早いもので、博士後期課程の1年目が終わろうとしております。今年度はコロナの影響で新潟での野外調査はできないのではとヒヤヒヤしましたが、感染予防対策を万全にすることで、無事に調査を行うことができました。このような状況にあっても例年通りのデータ取得ができたこと、本当に有り難く思っております。さて私ごとですが、先日、人生初のリジェクトを頂きました。2021年3月4日、リジェクト記念日です。今回は、その論文にも一部関連する、2018年から2020年の調査で得られたデータと研究内容についてご紹介したいと思います。

育雛期の海鳥は繁殖地から餌場までの長距離を往復移動し、自身のための餌と雛のための餌を獲得します。育雛期の海鳥の移動経路はGPSロガーの装着により明らかになりつつありますが、行動に影響を与え、また行動により変化する生理状態と行動の関係は全く明らかになっていません。生理状態と行動の関係

を明らかにすることで、海鳥にとって疲労となる行動は何か、疲労している個体は積極的に休息しているかなど、海鳥の行動を生理的観点から説明できるようになります。

疲労度の指標として、スポーツ科学などでヒトに対して使用されている酸化ストレス測定に着目しました。酸化ストレスは、運動により上昇する疲労度の指標である酸化度と、食べ物から得られる回復力の指標である抗酸化力のバランスが崩れることで生じます (Dröge, 2002; Costantini 2008)。

調査対象は新潟県粟島で繁殖するオオミズナギドリ (*Calonectris leucomelas*) の親鳥で、調査は彼らの育雛期である8月から10月にかけて行いました。オオミズナギドリの親鳥は昼間採餌に出かけ、夜に繁殖地に戻って雛に餌を与えます。帰巣している親鳥を捕獲し、ロガー装着および回収、酸化ストレス計測のための採血を行いました (図1)。その結果、2018年は26個体 (オス15個体、メス11個体)、2019年

は 24 個体（オス 11 個体、メス 13 個体）、2020 年は 20 個体（オス 10 個体、メス 10 個体）から行動データ



ータおよび血液サンプルを取得することができました。

図 1. オオミズナギドリの背中にロガーを装着した様子(左 ©名古屋大学 山田雄風)と装着したロガー(右図). 夜に帰巢している親鳥をヘッドライトの明かりを頼りに探すので、ロガーに反射板を付けておくと、ロガー装着個体を見つけやすい。

得られた GPS データ（1 分 1 点）から、繁殖地から餌場までの 1 往復を採餌トリップとして定義し、各採餌トリップでの移動距離、移動時間、最大到達距離などを算出しました（図 2）。また、加速度データ（25Hz）から運動量の指標である ODBA (overall dynamic body acceleration) や離水回数を算出しました。酸化ストレス計測を、ロガー装着時および回収時の採血により得た血漿成分を使用して行いました。疲労度の指標である酸化度と、疲労からの回復力の指標である抗酸化力を測定しました。

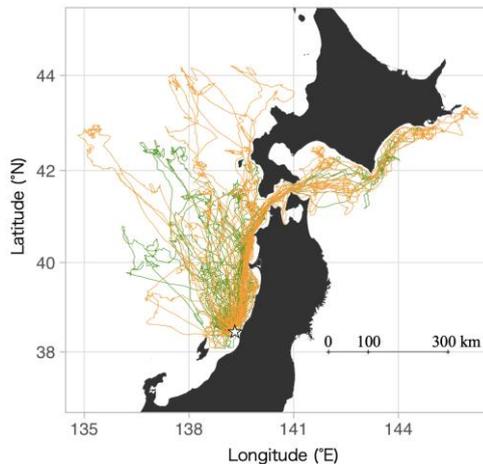
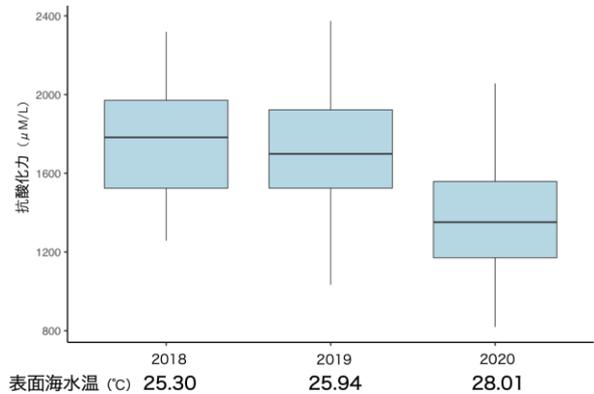


図 2. 育雛期のオオミズナギドリの移動経路。緑色が 2018 年、黄色が 2019 年。オオミズナギドリは粟島(☆)から北海道太平洋沖までの長距離を約 1 週間で往復する。

全ての年で、オオミズナギドリの採餌行動の指標には雌雄差がありませんでした。さらに、行動記録中の酸化度および抗酸化力の変化量にも雌雄差はありませんでした。また、解析途中ではありますが、粟島から半径 100km 以内の平均表面海水温が高いほど、

個体群の抗酸化力の値が低い傾向にありました（図 3）。表面海水温はオオミズナギドリの餌である魚の分布の指標であり（Matsumoto et al., 2018）、抗酸化力は餌から得られるため、オオミズナギドリ個体群の抗酸化力値は、その年の餌の利用可能性を反映して



いるかも知れません。

図 3. オオミズナギドリ個体群の抗酸化力と粟島から半径 100km 以内の表面海水温平均値。表面海水温が高い年には、個体群の抗酸化力値が低い傾向がみられた。

また、加速度データを用いて行動を離水や着水、飛翔、滑空など詳細に分類しようと試みています。そのために、現在は教師あり機械学習を使用しています。元々パソコンでのデータ解析は得意ではないので苦戦していますが、依田研に所属してから見聞きしていた機械学習の知識がようやく活かされてきたと思っています。行動を分類したあとは、酸化ストレスとの関係やどのような場所・環境で疲労となる行動や疲労を回復する行動を行っているのかを明らかにしていく予定です。

[引用文献]

- Costantini, D. (2008). "Oxidative stress in ecology and evolution: Lessons from avian studies." *Ecology Letters*, 11, 1238–1251.
- Dröge, W. (2002). "Free radicals in the physiological control of cell function." *Physiological Reviews*, 82, 47–95.
- Matsumoto, Yamamoto, amamoto, Zavalaga, and Yoda, "Sex-Related Differences in the Foraging Movement of Streaked Shearwaters *Calonectris leucomelas* Breeding on Awashima Island in the Sea of Japan," *Ornithol. Sci.*, vol. 16, no. 1, pp. 23–32, 2017

ウミネコの雛における酸化ストレスとその要因

野田はるな（名古屋大学 名古屋大学理学部地球惑星科学科）

今回初めて野外調査を行なって、まずは蕪島のウミネコの多さや周りの音が聞こえないほどの鳴き声に圧倒されました。1羽1羽が自然環境の中で生き抜いていく姿を間近で見られるのは、野外調査ならではの実感しました。

さて鳥類では、雛の時期の生理状態や成長がその後の生存や繁殖成績に影響を与えると考えられています (Lindström, 1999)。よって雛期の生理状態や体の状態を定量化し、行動との関係を明らかにすることは重要であると考えました。

生理状態を定量化する指標の一つに酸化ストレスがあります。酸化ストレスは、活性酸素の生成による酸化度と抗酸化物質による抗酸化力のバランスが崩れることによって起こります。過剰な活性酸素の生成によってタンパク質や脂質、DNAの酸化という悪影響が起こります。活性酸素は呼吸によって取り込んだ酸素から生じるため、運動は酸化度に関係があると考えられています。一方、この活性酸素の制御、無毒化をする抗酸化物質は食べ物から得られるため、抗酸化力は食べ物の量や質に関係があると考えられています。

体の状態の定量化には、体重をいくつかの外部形態計測値から求めた体格の指標で割ることで求められるボディコンディションを用いました (Bortolotti and Iko, 1992)。

本研究では、運動、給餌、体の状態、さらに生理状態や成長に影響を与えると考えられている兄弟間競争が酸化ストレスに影響を与えるかどうか検証しました。

調査対象は、青森県八戸市蕪島で繁殖するウミネコ (*Larus crassirostris*)の雛です。調査は2020年6月13日～17日に行いました。雛の行動を目視や、ビデオを用いて観察し、調査期間の初めと終わりには雛の体重と外部形態の計測、採血を行いました。行動観察では1日あたりの翼を広げた回数、給餌回数、兄弟間のボディコンタクトの回数を数え、静止している時間の割合も計算しました。また雛の血液をフリーラジカル解析装置で分析することで、酸化度と抗酸化力を測定しました。運動は雛の行動、給餌は給餌回数と調査期間中の体重の増加量によって定量化しました。また体重と外部形態計測値からボディコンディションを計算しました。兄弟間競争は兄弟の有無と、ボディコンタクトの回数で定量化しました。



図1. 繁殖地のウミネコの様子

雛の行動と酸化ストレスの間にはいずれの場合も相関は見られませんでした。このことから、翼を広げる動きやボディコンタクトは酸化ストレスにならないと考えられます。また給餌回数と抗酸化力の間に相関は見られませんでした。雛の体重の変化量と抗酸化力の変化量に正の相関が見られました。よって、餌を多く与えられた雛ほど抗酸化力が高まると考えられます。また、雛のボディコンディションの変化量と抗酸化力の変化量にも正の相関が見られました。このことから、脂肪量の多い餌を与えられた雛ほど抗酸化力が高まることが示唆されました。

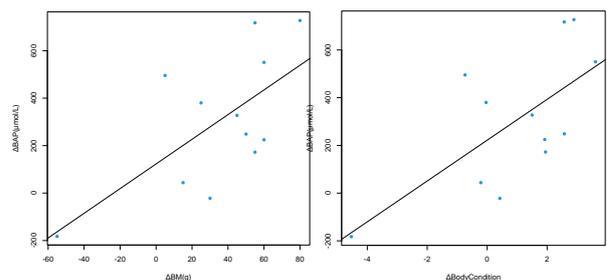


図2. (左)体重の変化量と抗酸化力の変化量に正の相関 (右)ボディコンディションと抗酸化力の変化量に正の相関

1巣の雛数によって酸化ストレスに有意な差があるか検証した結果、兄弟がいない雛の方が調査期間中に酸化ストレスがより小さくなったため、兄弟がいることで酸化ストレスが増加すると考えられます。本調査では兄弟間競争があまり見られなかったため、物理的な接触以外にも兄弟による影響があるのかもしれない。例えば、親の世話が兄弟に分散したり、兄弟がいること自体がストレスになると考えています。

以上のことからウミネコの雛では、給餌の量や質、体の状態、兄弟の有無が酸化ストレスに影響を与える

ことが示唆されました。今後は、調査個体を増やし、親鳥の行動や雛を取り巻く環境も雛の酸化ストレスに影響を与えるのか調べていきたいと思っています。

〔引用文献〕

Lindström, J., "Early development and fitness in birds and mammals" *Trends in Ecology & Evolution*, 14(9), 343-348, 1999.
Bortolotti, G. R., and W. M. Iko, "Non-random pairing in American kestrels: mate choice versus intra-sexual competition" *Animal Behaviour* 44: 811-821, 1992.

Zermelo's navigation problem を用いた移動戦略の解明

山田 雄風 (名古屋大学大学院 環境学研究科)



初めまして。名古屋大学大学院環境学研究科・依田研究室の博士後期課程の山田雄風と申します。私は昨年よりバイオロギングの分野に参入し、海鳥の移動戦略に着目した研究を行っています。まだ成果という成果はありませんが、現在行っている研究の紹介をさせていただきます。

飛翔や遊泳によって渡りを行う動物は、風や水流が及ぼす様々な影響にうまく対処しながら移動する必要があります。そのような状況下で、動物がどのような移動戦略を持っているかということは多くの関心を集め、研究対象とされてきました。

移動戦略を知る手掛かりとして Zermelo's navigation problem というものがあります。これはドイツの数学者 Ernst Zermelo によって提唱された最適化問題の一つであり、これを解くことによって流れの影響下での移動時間が最小になる経路 (Zermelo の経路) を求めることができます。例として、 xy 平面上を速度 1.0 で移動する物体を考えてみます。スタート地点を $(x, y) = (0.0, 0.0)$ 、ゴール地点を $(x, y) = (0.0, 1.0)$ として、横風 $u = 0.7y$ が吹いているときの Zermelo の経路を計算すると図 1 (上) の赤線ようになります。

この最適化問題は本来流れのある水域を航行する船の移動経路に関して考えられていたものですが、近年では、飛翔や遊泳によって長距離移動する動物がどのような移動戦略をとるかということに関する指標としても用いられるようになってきました (G. C. Hays et al., 2014)。しかし、時空間的に変化する海上風について Zermelo's navigation problem を解き、Zermelo の経路を算出し、飛翔動物が実際に辿った経路と比較することで最適な経路を選択しているか研究した例は多くありません。これは飛翔動物の移動データの解像度や量が理論検証に耐えないことが一因であると

考えられます。そのため本研究では、より解像度が高く、当研究室で長年蓄積されてきたウミネコ (*Larus crassirostris*) とオオミズナギドリ (*Calonectris leucomelas*) の GPS データを用いて Zermelo の経路との比較を行い、また 2 種間で最適経路との乖離度合いの違いなどの種間比較を行い、様々な風環境下でどのように海鳥類が飛翔戦術を切り替えているのかを明らかにしていきたいと考えています。

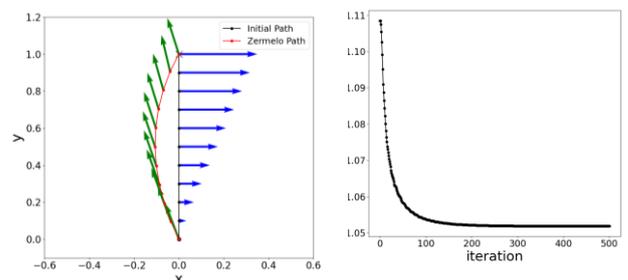


図 1. 反復計算を行うことで Zermelo の経路を算出するプログラムの実行結果。(上)黒線:初期経路(計算するため適当に与えた初期値)、赤線:Zermelo の経路、青矢印:風ベクトル、緑矢印:対気速度ベクトル。(下)縦軸が算出された移動時間、横軸が反復計算回数。反復回数 0 のとき初期経路を移動するのにかかる時間であり、反復回数 500 のとき、Zermelo の経路を移動するのにかかる時間である。移動にかかる時間が短縮されたことがわかる。

今年度は COVID-19 の影響で野外調査の実施が危ぶまれましたが、十分な感染防止策を講じることで無事実施することができました。私にとっては人生初の野外調査であり、実際に調査地に入って、ウミネコやオオミズナギドリに触れて、自分でロガーを取り付けられたことは非常に貴重な経験となりました。また、動物を相手に研究することの大変さを少し知ることがで

きたのではないかと思います。まだまだ分からないことは多いですが、今年度の経験を活かして来年度の野外調査もやっていければと思います。

Zermelo's navigation problem during long distance migration in cross flows," Ecology Letters, Volume 17, Issue 2, pp. 137-143, 2014

[引用文献]

Graeme C. Hays, Asbjørn Christensen, Sabrina Fossette, Gail Schofield, Julian Talbot, Patrizio Mariani, "Route optimisation and solving

BLS シンポジウム開催報告

依田憲 (名古屋大学大学院 環境学研究科)

2020年11月24日に、第16回日本バイオリギング研究会シンポジウムを開催しました(サテライトワークショップは11/25-30)。一年前から名古屋大学で開催する準備を行っていましたが、皆さんとリアルでお会いできないのは残念でしたが、オンライン開催とすることで、参加者数(事前申込315名)、ワークショップ数(6企画)ともに過去最多となりました。多数のご参加を有難うございました。また、講演者の皆さんと、ワークショップ企画者の皆さんには特にお礼申し上げます。私も全てのワークショップに参加しましたが、どれも興味深く、活発な議論が行われていました。

リアルでしか得られない体験もありますので(特に若手研究者には重要です)、次回は、リアルとサイバーを両方使うようなシンポジウムを企画できると良いかもしれません。来年度のシンポジウムは京大の皆さんによる開催となります。よろしくお祈りします。



	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
24 (火)	実行委員会 会長講演 09:00-09:25	テーマ講演 09:25-11:25			テーマ講演 13:00-14:00	一般発表 14:00-16:05				
25 (水)						WS①バイオリギング×オープンデータ 14:00-16:00				
26 (木)		WS②バイオリギング・ラウンドテーブル (前半) 09:30-12:00			WS②バイオリギング・ラウンドテーブル (後半) 13:10-15:30					
27 (金)		WS③GPS追跡による海鳥に対する洋上風発リスクマッピング 09:00-12:30			WS④海鳥研究ワークショップ 13:00-16:00					
28 (土)										
29 (日)						WS⑤総説論文を書こう! 14:00-16:00				
30 (月)						WS⑥動物園・水族館×バイオリギング×野外フィールド 15:00-18:00				

終了しました

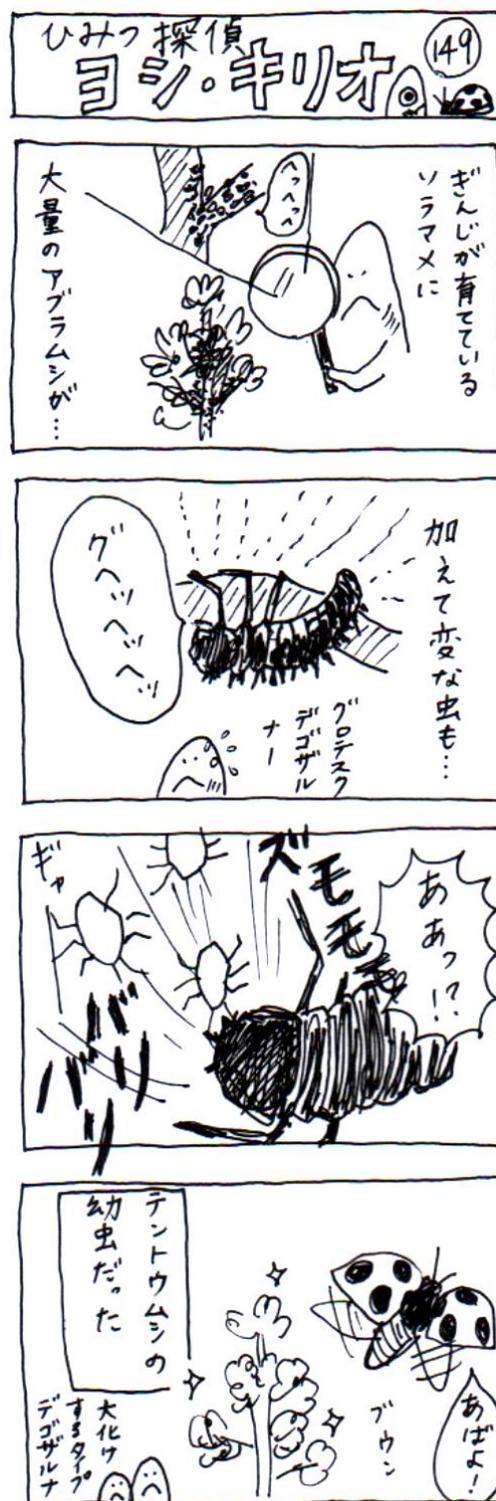
事務局からお知らせ 会費納入のお願い



- 会費の納入にご協力をお願いいたします。
正会員5000円、学生会員（ポスドクも含まます）
1000円です。
2年間会費未納ですと自動的に退会になりますので
ご注意ください。
- 住所・所属の変更はお早めに事務局
(biolog@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp) まで

編集後記

大学では最終講義の季節です。行動学や生態学の分野でも「え、あの方も？」という例がいくつもあって、大先輩方がご退職されました。そして、先輩方からも「あと10年」というような話を聞くようになり、私ももう少し真面目にやらないとあっという間に終わってしまうぞ、と反省。それにしても、多くの最終講義では研究人生を聴くわけですが、想起することが多すぎてしんどいです。1シーズンで2個ぐらいが限界。【K.Y】
4年生が卒業していきました。進学する子も、社会に出る子も頑張るって！【Y.M】



【S.K】