



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. 150

発行日 2019年2月15日 発行所 日本バイオロギング研究会(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 日本バイオロギング研究会 普通口座 2464557



もくじ

新しい発見

– 集団飛行時のコウモリの混信回避行動

長谷 一磨 (同志社大学) 2

野外活動レポート

– “空飛ぶ狐”を追いかけて -オオコウモリの移動計測-

中井 元貴 (同志社大学) 4

– コウモリがたくさん! マイクとカメラで集団飛行を観測

浅野 幸輝 (同志社大学) 6

– 場所細胞を求めて新潟県粟島と静岡県富士宮へ

高橋 晋 (同志社大学) 7

– Made in Japan のイルカ用吸盤と筐体

森阪 匡通 (三重大学) 11

書評

– 動物の行動, アスリートの運動

小林 耕太 (同志社大学) 12

コラム

– 自分で選ぶ、自分で決める -子育てをしながら研究の計画を立てる

木村 里子 (京都大学) 14

タイトル: マルチストロボで撮影したユビナガコウモリ 撮影場所: 伊豆半島 撮影者: 大沢夕志 (コウモリ写真家)

集団飛行時のコウモリの混信回避行動

長谷 一磨 (同志社大学大学院 生命医科学研究科 博士課程後期 3年・日本学術振興会特別研究員 DC2)



コウモリはパルスとよばれる超音波音声を発し、そのエコーを聴取することで周囲環境を把握するエコーロケーションを行います。エコーロケーションによって、コウモリは一晩で数十キロをも移動し、体重の半分もの質量の昆虫を捕獲します。しかし、実環境には、コウモリのエコーロケーションを妨害する種々の要因があります。コウモリは社会性が高く、集団で行動することも多いため、同種他個体の音声は深刻な外乱となり得ます。図 1a は単独飛行時のユビナガコウモリの放射パルスのスペクトログラムです。コウモリはエコーロケーション時、通常 1 秒間に 10 から 20 回ほどパルスを放射します。図 1b は、集団飛行時のユビナガコウモリの放射パルスのスペクトログラムの一例です。この図から、集団内の各個体が放射するパルスが深刻で複雑な音環境を構築していることがわかります。このような混信状況で、コウモリがどのように自身の微弱なエコーを選択的に聴取しているかという疑問は、古くから多くの研究者を魅了してきました。

コウモリのエコーロケーション研究は、固定マイクロホンを用いた計測によって行われてきました。固定マイクロホンによる計測では、コウモリの飛行によって生じるドップラー効果や、大気中での高周波の減衰によって、記録されたコウモリの放射パルスの周波数には意図しない好ましくない変化が生じます。さらには、複数のコウモリが放射するパルスを分離することは困難です。そのため、実際に集団で飛行するコウモリが互いにどのような音声を使用しているのかを検討はこれまでされてきませんでした。

我々のグループは、コウモリに搭載可能なワイヤレスマイクロホン (図 2a) によって、コウモリが飛行中に発する音声をドップラー効果や減衰の影響なく計測してきました。今回、集団飛行時の混信回避行動を研究するにあたって、このテレメトリ計測システムを拡張しました。図 2c はコウモリを 4 個体同時に飛行させた際の 3 次元飛行軌跡です。このうち 250 ms 間を切り出して (図 2c の色付きの部分)、その区間に各個体が放射したパルスをワイヤレスマイクロホンで記録したものが図 2d です。このように、4 個体で飛行するコウモリの飛行軌跡と音声を分離して計測することに成功しました。ここでは特に、距離計測に重要である終端周波数 (図 2b) に着目しました。

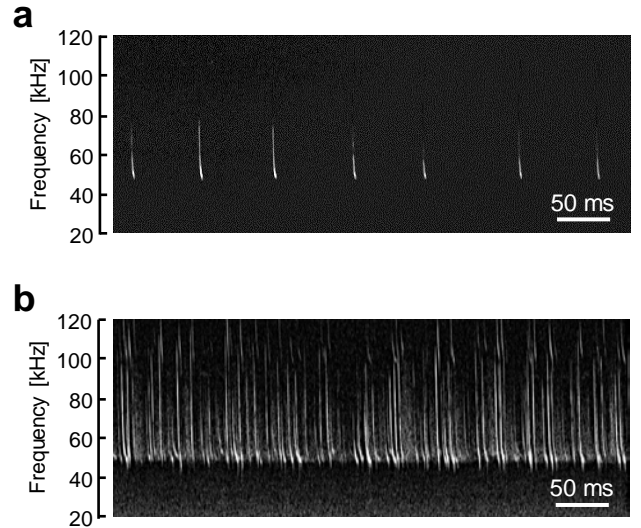


図 1. (a) 実験室内で記録した単独飛行時のユビナガコウモリの音声スペクトログラム。(b) 集団飛行時のユビナガコウモリの音声スペクトログラム。和歌山県白浜町の洞窟前で記録。

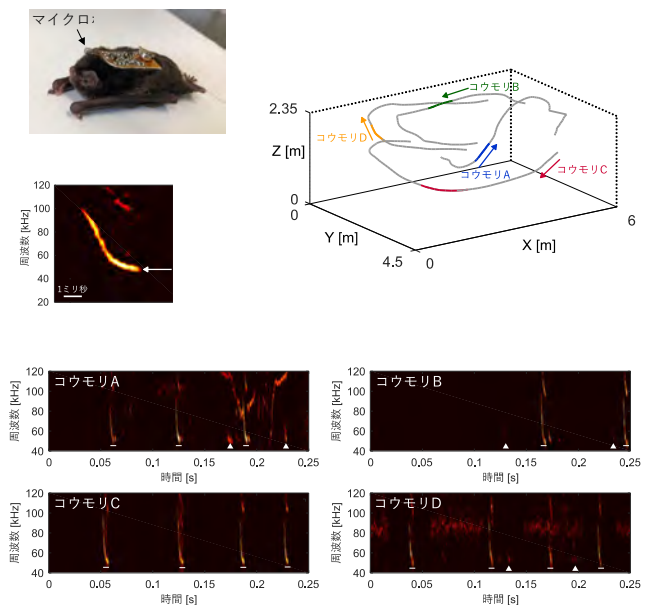


図 2. (a) FM ワイヤレスマイクロホン (バッテリー込みで 0.6 g) を装着したユビナガコウモリ。(b) コウモリの放射パルスの代表例。(c) 4 個体同時飛行時のコウモリの 3 次元飛行軌跡。(d) ワイヤレスマイクロホンで記録した 4 個体のコウモリの音声。自身の音声 (図中白線) と他の個体の音声 (図中白三角形) が記録されている。

あるグループの4個体についての例を紹介します。このグループでは、コウモリが単独で飛行する際(図3a)には、各個体は類似した終端周波数を用いていました(図3c)。一方で、同じ個体を同時に飛行させると(図3b),各個体が使用する終端周波数は上下にシフトしました(図3d)。個体間の終端周波数の差を見ると、単独飛行時に比べ集団飛行時に有意に増加する傾向があったことから、コウモリはエコーロケーションに重要な終端周波数が他の個体の音声によって妨害されることを避けるために、積極的に個体間の終端周波数差を広げたと考えられます。一方で、開始周波数や、パルス長、周波数帯域幅については、集団飛行時に単に増加するだけで、他の個体との差を広げる傾向はありませんでした。このとき、個体間の音声の類似度を相互相関処理に基づいて算出すると、単独飛行時に比べ、集団飛行時に有意に低下することがわかりました(図4)。これは、終端周波数の差を広げる行動によって、音声の個体間類似度が低下したことを示唆します。

実際に、各音響特性の変化によって、個体間の音声の類似度がどのように変化するかを計算によって調べました。まず、コウモリの音声を模擬した信号を作成し、これをオリジナルの信号としました(図5a)。このオリジナルの信号の音響特性(終端周波数、開始周波数、時間長)をわずかに変化させ、オリジナルの信号との類似度を計算しました。その結果、終端周波数を±2%程度変化させるだけで、2つの信号間の類似度は十分に低下することがわかりました(図5b)。一方で、同程度の類似度の低下のためには、開始周波数は9%、時間長は7%変化させる必要がありました(図5c,d)。これは、終端周波数の差を広げることがコウモリの個体間の音声類似度を低下させるのに最も効果的であるということです。この研究結果は、コウモリは使用する信号の特徴を生かしたシンプルな方法で、集団飛行時の混信状況において自身のエコーを分離・抽出する可能性を示唆するものです。

バイオロギング・バイオテレメトリによって、コウモリ研究は新たな段階を迎えました。海外のコウモリ研究グループでも、音声を記録するデータロガーや、神経活動を記録するテレメトリ装置を用いた研究が、今まさに始まったばかりです。動物から直接データを取得しデータの質を高めることは、研究の質を高めることに繋がるでしょう。コウモリ研究を第一線で牽引するべく、バイオロギング・バイオテレメトリ技術を積極的に取り入れていきたいです。

文献情報

Hase, K., Kadoya, Y., Maitani, Y., Miyamoto, T., Kobayasi, K. I., & Hiryu, S. (2018). Bats enhance their call identities to solve the cocktail party problem. *Communications Biology*, 1(1), 39.

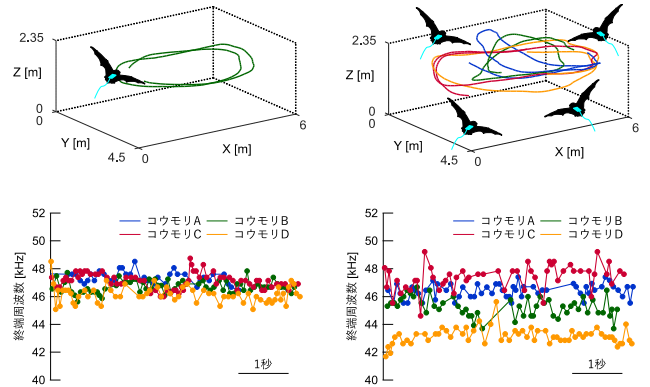


図3. (a) 単独飛行時のコウモリの飛行軌跡の一例(5秒間)。 (b) 4個体飛行時のコウモリの飛行軌跡の一例(5秒間)。 (c) あるグループにおける単独飛行時にコウモリが放射したパルスの終端周波数の時系列変化。各個体は類似した終端周波数を使用していた。 (d) 4個体飛行時にコウモリが放射したパルスの集団飛行の時系列変化。コウモリは異なる周波数帯域を使用した。

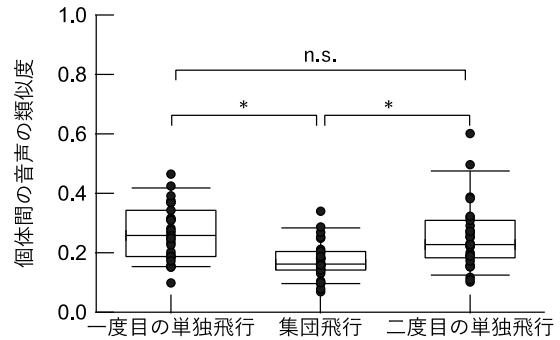


図4. 個体間の音声の類似度の変化。単独飛行時と比較すると、集団飛行時に類似度が有意に低下。

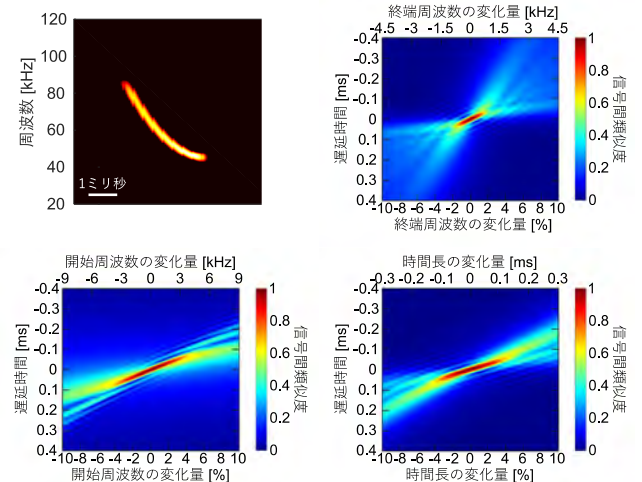


図5. 音響特性の変化が信号間の類似度に及ぼす影響。(a) コウモリの放射パルス(図1b)を模擬した信号。(b-d) 音響特性の変化に対する信号間類似度の変化。オリジナルの信号(a)と、そこから終端周波数(b)、開始周波数(c)、時間長(d)をそれぞれ変化させた信号の類似度を計算した。

“空飛ぶ狐”を追いかけて -オオコウモリの移動計測-

中井 元貴（同志社大学大学院 生命医科学研究科 博士前期課程 1年）

皆様はコウモリと聞いてどのような姿を想像するでしょうか？夕暮れの空を飛んでいたり、ハロウィンでかぼちゃの絵の隣に書かれている姿だったりするかもしれません。その中でもほとんどの方が黒くて翼のある小さな生き物をイメージされたと思います。しかし、コウモリは世界中で約 1300 種も存在しておりその姿も種によって様々です。日本全国で見られるコウモリはアブラコウモリといい、手の平サイズのコウモリですが、世界には羽を広げると全長が 2m 近くになるとても大きなコウモリ（以下、オオコウモリという）も存在しています。オオコウモリはその顔立ちが狐に似ていることから“flying fox”（空飛ぶ狐）と呼ばれています。

私たちの研究室ではこれまで小さなコウモリ達を使用する超音波によるエコーロケーションに着目し研究を行ってきましたが、今年からは新たにオオコウモリの移動についての研究を行うために 8 月から 9 月にかけて彼らが生息する石垣島を訪れました。

今回の実験の目的はヤエヤマオオコウモリに GPS データロガーを取り付け、その移動についてのデータを回収することです。調査は北海道での調査でもお世話になっている福井大先生（東京大学 助教）とオオコウモリ調査のエキスパートである中本敦先生（岡山理科大学 講師）のお二人と共に行いました。コウモリを捕獲する際にはフィールドワークのプロであるお二方に頼りっきりで、私はただただ捕獲されるコウモリを見て驚いてばかりでした。この時、何もすることができない自分の無力さを感じながら先生たちの凄さを痛感していたことをよく覚えています。次に機会があれば力になれるように頑張りたいです…。こうして私はコウモリにほとんど触れることもできませんでした。無事に GPS ロガーを装着することができました（図 1）。



図 1. GPS タグを付けているクビワオオコウモリ
（撮影 大沢夕志）

今回は 2 種類のロガーを使用しており、一つは装着すれば自動でパソコンにデータを送ってくれますが、もう一つはお昼の間にコウモリに近づいてアンテナでのデータ回収を行わないといけません。そのため、日程のほとんどが島のあちこちを移動してコウモリを探す日々となります。ある日は運動公園内をぐるぐる探し回ったり、ある日は山の上の展望台に登ったりと島中を駆け巡ってデータの回収を行いました（図 2）。



図 2. 展望台にてコウモリを探す執筆者

炎天下での回収作業はとても大変でしたが、努力の甲斐あって、ロガーをつけた全てのコウモリからデータを回収することができました。データを回収する時のワクワクと回収できた時の喜びは今も忘れられません。また、自動でデータを送ってくれるタイプのロガーは 12 月に入ってもなおコウモリの位置を送り続けてくれています。そのデータを眺めながら、「京都は寒くなってきたけれども石垣島はどうなのかな?」、「まだロガーを持って飛んでくれているのかな?」と 8 月に出会ったコウモリ達のことを時々思い出したりしています。

今回の実験では福井先生、中本先生をはじめその他にもたくさんの方々にご協力していただきました。この実験がうまくいったのは協力して頂いた皆様と重たいロガーを背負って一生懸命飛んでくれたコウモリ達のおかげです。この場をお借りしてお礼申し上げます。本当にありがとうございました。こういった学外の方々とはひとつの実験を通して交流することができるということは普段の学校生活ではなかなか体験することのできない経験であり、野外活動の魅力の一つだと私は思っています。大学院の修士課程も気づけば半分近くが過ぎて、日に日に迫ってくる修士論文に若干の焦りを感じて過ごす日々ではあるのですが、これからもこのコウモリが結んでくれた縁を大切に思いながら研究に励んでいきたいと思えます。



八重山の海を背景に飛ぶクビワオオコウモリ（連写した写真を合成）（撮影 大沢夕志）

コウモリがたくさん！マイクとカメラで集団飛行を観測

浅野 幸輝（同志社大学大学院 生命医科学研究科 博士前期課程 1年）

自然界にはたくさんの動物が集団行動をしています。その中でも皆様はどんな動物を思い浮かべるでしょうか、私は昔水族館で見たイワシの群れが思い浮かびました。魚だけでなく鳥も思い浮かびやすいと思いますが、彼らは一体どうやって群れの進行方向を決めているのか、どうやって群れの構造を崩さないのか、そもそも何で集団行動するのか等、疑問に思ったことはないでしょうか。私はぼんやり不思議だなと思っていた程度で今の研究室に入ったのですが、そこでコウモリが集団飛行をしていることを知りました。私にとってそれはとてもとても驚きでした。なぜならコウモリは「目がほとんど見えていないから」です。私はそんなコウモリが暗闇の世界でどうやって仲間とぶつからずに仲良く生活しているのか気になり、研究を始めました。

さて、じゃあコウモリがたくさん飛んでいるところなんて一体どんな場所で実験しているの？と普通の人なら疑問に思いますよね。ラッキーな人は田んぼの上で数匹飛んでいる姿を目撃している人もいられるかもしれませんね。しかし、私の実験場所で飛んでいるコウモリは数匹程度ではありません。そろそろ早く言えと思っていてもいられるかもしれませんので言わせてもらうと、その実験場所とは、「和歌山県の白浜町」です。海水浴場じゃねーか！と思った人もいられるかもしれませんが、正確には和歌山県白浜町の千畳敷です。そこには関西唯一のユビナガコウモリの群生地があり、夕暮れ時に一斉にコウモリが飛び出す瞬間を狙って実験準備をします。題名にもあるように実験には4chからなるY字型マイクロホンアレイと高感度カメラを2台用いて計測を行っていますが、実はどちらか片方だけでもコウモリの三次元座標を算出し計測空間内のコウモリの動きをトラッキングすることができます。なぜ両方用いているのかというと、従来用いてきたマイクロホンアレイ計測のみではコウモリが複数存在した場合に音響

的混信状況となり、どの超音波をどのコウモリが発したのか識別が困難となってしまいます。そんな時、同時にステレオカメラ計測を行うことによってコウモリの三次元座標を算出、マイクロホンアレイでは各個体の音響分析を行う、といったように実験手法を組み合わせることでコウモリが複数個体飛行している状況での各個体の超音波の分析が行えるのではないかと考え、実験を行っております。

実験中は、さすがは真夏の白浜だけあってとても暑くて皆汗だくになり、中には汗が乾いてシャツに白い模様ができていた人もいました（実は私も）。それでも1年に1回の実験なので貴重なデータ欲しさに皆が死ぬ気で頑張りました。中でも大変なのは計測開始前に行う、カメラで三次元座標を算出するために必要な「キャリブレーション」です。「トータルステーション」という器機を用いて測量するのですが、扱い方が難しく、なかなか機能してくれないときに暑い中じっと我慢するのが大変でした。まあ、大変なことは多いのですが皆で実験するのはそれ以上に楽しいです。また、コウモリが飛び出す瞬間は圧巻で、疲れを忘れるくらい見入ってしまいます。夏限定ですが興味がある方はぜひ見に行ってみましょう。



図2. 実験の様子（キャリブレーションの最中、マイクロホンアレイは設置前）



図1. 千畳敷でのユビナガコウモリ



図3. 今回の実験メンバー

場所細胞を求めて新潟県粟島と静岡県富士宮へ

高橋 晋 (同志社大学大学院脳科学研究科 認知行動神経機構部門)

最近祖母がアルツハイマー型認知症と診断された。90歳を越えれば程度の差はあるもののほとんどの人が罹患する病気ではないだろうか。認知症とはいうものの、実際に会話してみると、認知機能の衰えは驚くほど感じない。次の日に再び会話するとその症状が見えてくる。昨日に私と会ったことを完全に忘れているのだ。これは、前向き健忘と呼ばれる症状であり、私の研究分野に直結しているため文献からの知識は豊富にあるが、身内が罹患するとその症状が実感できる。

私は、脳内にあり記憶を司る海馬をターゲットとして、そこで記憶情報処理を解明しようとしている神経科学者である。とはいっても、博士号は、コンピュータサイエンス分野で取得した。そして、様々な情報処理技術を駆使して、海馬の神経細胞活動と動物行動を計測し、それらの対応関係をつぶさに観察することで、海馬が行っている記憶メカニズムの一端を解明してきた。

前向き健忘は、海馬を損傷するとその症状が現れる。「いつ、どこで、何を、どのようにして」という一連の出来事、すなわちエピソードに関する記憶を覚えたり、思い出したりする能力が、その損傷後から失われる。想起については、損傷よりも少し前からの記憶へアクセスできない。では海馬には、どのような神経細胞があるのだろうか。最も有名な神経細胞は、場所細胞と呼ばれており、動物がある特定の場所を走っているときにだけ活動する神経細胞である。場所細胞は、「どこで」という場所の情報をもっているので、海馬を失うとエピソードが思い出せなくなるのも無理はない。

この場所情報は、現在地から目的地へ至るナビゲーションに重要な役割を果たしていることがわかってきた。実際、認知症患者は道に迷うことが多々あり、それが事故に繋がるのでニュースなどで見聞きしたことがあるだろう。例えば、私が最近実施した研究では、海馬の場所細胞を数百個同時に計測し、それらを一挙に解析すると、次に行う移動行動を予測することができる(Takahashi 2015)。因果関係があるかは不明であるが、ナビゲーションにおいて重要な役割を担っているのは間違いない。

私が扱っているのは、哺乳類のラットやマウスであり、場所細胞が最初に発見されたのはラット(O'Keefe & Dostrovsky 1971)である。最近では、ヒトの海馬にも場所細胞があることがわかっており、飛翔するコウモリの海馬にもあるとのことなので、哺乳類の海馬には共通してあるのだろうと推測できる(Palacci et al.

2013)。

私の研究では、特定の病原体に感染していないことが検疫により保障されている SPF(specific pathogen free)動物を扱っている。その理由は複数あるが、第一に病原体に感染することにより、行動異常や特定の神経細胞活動などが引き起こされることが想定され、それらを排除するためである。そういった理由があるため、SPF動物を購入して、野外で実験しては意味がないので、管理された実験室内で実験を行っている。音や光などの外乱も動物行動や脳神経活動に影響するかもしれない。そのため、防音室の中で実験したり、特定の雑音を意図的に流していたりする。最近の神経科学者は、このような統制された研究環境で実験をするのが当たり前であるが、50年ほど前は屋外でも実験がなされていた(Hebb 1949)。他の理由としては、人獣共通感染症があり、これが原因で実験者が死に至ることもあったため、それらの教訓を活かし、現状の研究スタイルが確立されている。しかし、そのような統制された環境によって観察できなくなってしまった現象も多々あるだろう。

例えば、渡りをする海鳥は、数百キロメートルのナビゲーションを日々行っている。人為的に統制された環境でこれを観測することは不可能であり、自然界でなければその能力が発揮されないのかもしれない。また、母川回帰をするサケもそのような長距離ナビゲーションをする。実験室内で得られた場所細胞の知見は、この長距離ナビゲーションを説明し得るものなのだろうか？この疑問に答えることは容易ではない。なぜならば、自然環境下で場所細胞活動を計測しなければならないからだ。神経細胞活動は、数十マイクロボルトの電圧で、電流値は極めて低いため、ノイズに極めて弱い。そのため、様々なノイズ対策を施した有線での記録がなされている。自然環境では、無線化が必須だ。海鳥などを実験室内で飼育するというのも考えられるが、自然環境でなければナビゲーション能力が失われるのかもしれない。野外で無線での神経細胞活動が必要になる。

分野外からみると、バイオロギングは、移動行動で様々な生態を説明しようとしており、スキナーの行動主義との共通性を感じる。現代の神経科学分野では、行動主義は評判が悪い。なぜなら、同じような行動でも脳の活動が大きく違うことがあるからだ。特に、内的な状態を示す高次な脳領域ではそれが顕著である。海馬も

その一つであり、場所細胞は、様々な感覚刺激、記憶と自らの動きを統合して、場所を特定していると考えられている(Eichenbaum et al. 1999)。動物はヒトのように嘘をつかないと思われるので、右に行きたいときは右に頭を向けるだろう。しかし、頭を動かさなくても、現在位置を感知し、次に行く方向を頭の中で試行錯誤しているかもしれないが、それは脳神経細胞活動を観察しなければわからない。一方で、海鳥の脳波を計測することで、脳半球が交互に睡眠していることが報告されている(Rattenborg et al. 2016)。脳波は、神経細胞の膜電位の集合電位であり、神経細胞がやり取りしている活動電位とは直接的には関係しない。場所細胞活動を計測するには神経細胞活動レベルの計測が必要になる。

例えば、自然環境で海鳥やサケの脳内にあるかもしれない場所細胞の活動を計測し、長距離ナビゲーションを解明するという研究計画を、神経科学者に提示したら、その9割は技術的に不可能であり、統制されていない環境で計測しても意味がないと答えるだろう。また、親切な方は、貴方の研究人生は終わるからやめておきなさいとアドバイスするだろう。余計なお世話である。残りの1割は、挑戦的で面白い内容だが実現性は限りなく少ないと答えるだろう。

最近、科研費の新学術領域「生物ナビゲーションのシステム科学」に参画することになり、名古屋大学の依田先生や日本大学の牧口先生と共同研究する機会に恵まれた。そこで私達は、無謀にも「海鳥やサケの脳内にあるかもしれない場所細胞の活動を自然環境下で計測し、それと動物行動を対応付けて長距離ナビゲーションを解明する」という難題に挑戦することにした。私は、コンピュータ・サイエンス分野で神経科学を研究してきた変わり種なので、先の例でいうと神経科学者の1割に分類されるだろう。実際に当初は、この共同研究はエキサイティングであるが実現性は極めて低いらうなと考えた。と同時に、技術的な問題点が山積しているため、実験技術の向上には最適な試練の場だとも考えた。私は博士(工学)なので、ものづくりが好きなのである。実際に、私の研究室の実験装置のほとんどは、私自身が作製したものか、購入したものに何らかの改良を加えたものである。従来研究の路線に載った研究をするのであれば、既成品を使うのが早道であるが、自作をしないと面白くないのである。他人が既成品を使って計測したデータの質を全く信用していないという面もある。新学術領域といっても旧学術領域の堅持にしか見えないので面白くない。真の新学術領域を作るのなら、このくらいの挑戦はするべきだろうとも考え、野外実験をスタートさせた。

牧口先生との共同研究では、サケ科魚類のマスをおおうということになった。私は、サケはよく食べるのだが、捌いたこともない。マスは、冷えた真水に入れおか

ないと死んでしまうということなので、静岡県水産技術研究所富士養鱒場の一角をお借りし、とりあえず麻醉下で神経細胞活動を記録できるかを調べてみた。

2月に開始したが、とにかく寒い。温度管理のされた実験室以外で実験したのは初めてであり、冷水をものともしない牧口先生をすごいなと見ていると、あっという間に脳に電極を刺し入れる準備を整えてくれた。まず電極を留置してみると、信号が見えるがそれがノイズなのか神経細胞活動なのかわからない。アースがないため有線記録は難しい。そこで、コウモリ用に開発され市販されている神経活動用ロガーをつかって記録を開始した。1泊2日で実験しているのだが、宿泊は日本大学生物資源科学部 富士自然教育センターをお借りしていた。ここには実験室があるということで、実験室で光などに対する反応を見ようということになった。何度か実験することで、光応答が見えるようになってきた。ここまでは、魚類を扱っている電気生理学者ならば稚拙な実験だということになるのであろうが、無線ロガーで記録しているところに意義がある。有線で記録しても、野外では全く通用しないので意味がないのだ。次の段階として、覚醒させ水中で記録しようということになった。防水が必要である。世界は広い。イスラエルの研究者グループから、小さな水槽の中を泳ぐ金魚の脳から神経細胞活動を記録したという研究がタイミングよく報告された(Vinepinsky et al. 2017)。しかも同じロガーを使っている。無謀なチャレンジャーは我々だけではないのである。これを参考にして防水をすることにした。マスは大きい。まず子供用のプールで試用したが、設置に時間がかかりすぎる。幸運なことに日大のセンターには、マスを養殖するために備えていた大きな水槽があるが、その計画はサスペンドされているため、使って良いということになった。3Dプリンタなどを駆使して試行錯誤したところ、水槽の中を泳ぐマスの脳から神経細胞活動を記録することができた(写真1)。



写真1：マス脳神経細胞活動の計測実験風景
水槽(右)、記録用のコンピュータ(左)天井にはカメラが設置されており、神経細胞活動と同期して記録されている。

そもそもマスの脳に海馬はあるのだろうか？ 色々と文献を調べてみると「比較海馬学」という本が出版されており、そこには鳥、魚の海馬についての神経解剖学や行動学の研究成果がまとめられていた。それによると、海馬相同部位というのは、魚にも鳥にもあるが哺乳類とは大きく異なるようである。それくらいも調べずに研究を開始したのかと思うだろうが、生来他人を信用したことがないので、今回も先行研究をそれほど信用してはいない。読んでみると、相同部位については対立説がいくつかあるようであり、脳地図についてはつい最近大きな変更があったという有様である。先行研究はもちろん重要であるが、それを信じすぎると新たな学術領域は生まれ不会ではないだろうか？ 先行研究をよく知り、疑って叩いて壊したいというのが本音かもしれない。知りすぎると躊躇するというのもあるかもしれない。実際に、「比較海馬学」を事前知っていたら、この研究はスタートしていないかもしれない。

まず相同部位と呼ばれている部位に狙いを定めて電極を刺し入れたところ、幸運なことに1つだけ神経細胞活動らしきものを見つけることができた。でも、ノイズかもしれない。そこで、マスの移動軌跡との対応関係を解析してみた。ところが、計測したマスの動画から移動軌跡を抽出する方法がない。幸運なことに、流行りの人工知能である深層学習を活用したコンピュータによる動物の移動追跡法 Deeplabcut(Mathis et al. 2018) が公開されていることを、twitter を介して知った。マウス、ラットはもちろんのこと、ハエや馬でも追跡できる。しかも、その精度はヒトに近いレベルらしい。面白いので使ってみようということになった。使ってみると実用的で、マスの移動軌跡を容易く追跡することができたため、移動軌跡と神経活動との対応関係を解析することにした。まず、ある特定の場所に反応するかを調べたところ、そのような関係性はなかったが、頭の向きとの関係性を調べたところ、特定の頭方位に反応していることがわかった。哺乳類や昆虫などで見つかった頭方位細胞かもしれない。まだ一つの神経細胞だけなので、これが方位なのか、特定のオブジェクトに反応しているものなのか、あるいは地磁気に反応しているのかもわからない。

最近では、依田先生の研究室に所属する大学院生の本部君も加わり、研究が進展してきた。次の計画は、計測可能な神経細胞数を増やすことである。更に、より自然環境に近い池内での計測や、北海道大学の施設をお借りしての母川回帰実験と夢は広がる。

海鳥については、依田先生が実験をしている新潟県の粟島でオオミズナギドリの雛を使って実験することになった。粟島は、バイオロギングをしている方には馴染みがあるのかもしれないが、私は最初なぜ粟島なのかということからはじまった。繁殖地があるらしい。オオミズナギドリを少しググってみると、「ガンバの大

冒険」に出てくるツブリではないか。京都にも繁殖地があるらしい。京都の方が近いが、とりあえず片道13時間もかけて粟島を下見してみた。自然溢れる環境であるが、医者がいないので、怪我をしたら大変なことになるらしい(写真2)。開発センターなるものがあるということなので、実験できる環境があるのかと思ったら、ただの家だった。京都の繁殖地には家も何もないらしく、粟島が最適らしい。ちょっとここで生活するのは無理かなと思っていたら、依田研究室に在籍している学生は数ヶ月生活しているというので、正直驚き、これは大変なことになったなと思ったが、やってみなければわかるかどうかわからない。最初は、一度やってみて駄目ならば諦めようと考えていた。幸いマスの実験で屋外での手術ノウハウがある程度蓄積されていたので、想定できる道具を揃えてオオミズナギドリ実験に挑んだ。もう感づいているかもしれないが、私は生来悲観的な性格であるが、なぜか腕に自信があるという変わった自信家である。依田先生の大学院生は優秀な方ばかりで、オオミズナギドリの捕獲などの補助をしてもらうことができた。そのため、幸いにも1回目の実験で電極を留置することに成功した。神経活動はどうも取れていそうである。いまだから言うが、成功するとは思っていなかったのだから、神経細胞活動と移動行動を同期するための記録設備を準備していなかった。私がこれまで室内で行ってきた実験経験からは、1回目から神経細胞活動らしきものが計測できたのは奇跡だと思うが、当たり前だと思う方もいるかもしれません。そう思う方は、凄腕の持ち主か、まったくの素人なのかと思います。



写真2：粟島漁港

計測できたので、すぐに次の実験をしたくなるころだが、オオミズナギドリは渡りをしてしまうため、次回はなんと1年後になってしまった。2回目の実験は今年実施したが、片道13時間の旅程もなれてきた。時化が多く、フェリー待ちで新潟で時間を潰すという日を何度か経験したが、前人未到の実験がそこにあると思ひ、10月は3往復して何度も実験をすることがで

きた。屋外に子供用プールをおいて移動軌跡と神経細胞活動の対応関係も計測できるようになったので、今度こそ場所細胞を見つけられるかもしれない(写真3)。



写真3：オオミズナギドリ雛の脳から神経細胞活動を記録する実験風景。周囲を警戒しながらオオミズナギドリを観察する本部君（名古屋大学大学院生）

「自然環境で海鳥やサケの脳内にあるかもしれない場所細胞の活動を計測し、長距離ナビゲーションを解明する」という目標にはまだまだ遠いが、少しずつ近づいているような気がする。本部君は、海鳥実験でも大活躍で電極留置手術までこなせるようになった。若手が育ってきて、来年が楽しみである。

野外で実験をしてみると、いままで無意識におこなっていた室内実験の利点や欠点が見えてくる。また、野外という厳しい環境に耐えられる技術的な進歩もあるかと思う。例えば、神経細胞活動用の口ガーは、もちろん室内でも使えて、これまでに不可能であった数メートルクラスの複雑な迷路実験が可能になった。また、技

術的な困難さから Deeplabcut などの最新技術を導入することになったが、現在では、Deeplabcut でラットとマウスの行動解析をしており、既存研究にも刺激を与えることができる相乗効果が出始めている。逆に野外実験をしている方が、室内実験をしてみると得るものがあるのかもしれない。

参考文献

- Eichenbaum, H. et al., 1999. The hippocampus, memory, and place cells: is it spatial memory or a memory space? *Neuron*, 23(2), pp.209-226.
- Hebb, D., 1949. *The Organization of Behavior*, New York: John Wiley and Sons.
- Mathis, A. et al., 2018. DeepLabCut: markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. *Nature Neuroscience*.
- O'Keefe, J. & Dostrovsky, J., 1971. The hippocampus as a spatial map. Preliminary evidence from unit activity in the freely-moving rat. *Brain Res*, 34(1), pp.171-175.
- Palacci, J. et al., 2013. Representation of Three-Dimensional Space in the Hippocampus of Flying Bats. *Science*, 340(6130), pp.367-372.
- Rattenborg, N.C. et al., 2016. Evidence that birds sleep in mid-flight. *Nature Communications*.
- Takahashi, S., 2015. Episodic-like memory trace in awake replay of hippocampal place cell activity sequences. *eLife*, 4(OCTOBER2015).
- Vinepinsky, E., Donchin, O. & Segev, R., 2017. Wireless electrophysiology of the brain of freely swimming goldfish. *Journal of Neuroscience Methods*.

Made in Japan のイルカ用吸盤と筐体

森阪 匡通（三重大学 大学院生物資源学研究所 附属鯨類研究センター）

皆様、こんにちは。現在三重大学におります森阪匡通です。野外活動レポートにふさわしいかどうか分かりませんが、ここ数年取り組んでいるイルカに取り付ける吸盤と筐体の開発について、書いてみたいと思います。

イルカ・クジラにデータロガーを装着する際には吸盤を用いることが多いのですが、この吸盤は経験的にカナディアン・タイヤ社製の吸盤（車のルーフに荷台などを載せる際に固定するもの）を使っていました。でもこれは北米に行かないと購入できず、またクオリティがばらばらで、複数個購入していいものを探す、という感じでした。（しかも最近、その吸盤の形が変わったらしく、使えないと、青木かがり先生に教えていただきました。）それやったら日本で作ったら、クオリティも高いやろうし何より手に入りやすいし、完璧やん、と思っていました。

東海大学清水キャンパスにいたときに飲み会の席で知り合った静岡市の方々に紹介いただいたのが、製品の試作を得意とされている（株）エクタスの稲田社長でした。採算度外視で、面白いことをやろうとおっしゃる社長に出会うことができ、開発が始まりました。

カナディアン・タイヤをモデルとし、様々な硬度と大きさの吸盤を作成していただき、南知多ビーチランドさんのご協力を得て、ハンドウイルカに実際に取り付けて実験し、最適なものを選定しました。

さて、私たちの最終目標は、深海に潜水するイルカ・クジラにでも取り付けられる吸盤および筐体を作ることです。しかしすぐにはそこまで到達できません。さらに水族館の方とお話していると、「イルカ目線カメラ」に興味を持たれます。そこで、「安価でイルカ目線映像を取得でき、外れにくいが出したいときに外れやすい」システムを作るために、カメラに耐水圧 10m の Go Pro Hero5 Sessions を用いた吸盤筐体システムを、静岡市海洋産業クラスター協議会の研究プロジェクトの 1 つとして、既に三重大に異動していた私とエクタスさん、東海大海洋学部の吉田弥生先生と、流体力学がご専門の東海大工学部の稲田喜信先生という体制で作成しました。

現在のところ、このシステムはイルカがジャンプや高速遊泳をしても外れず、半野生状態のイルカでも試しましたが、問題なく外れず映像を取得できました。Go Pro の高精度の広角映像は大変見ごたえがあるなあと思いました。またカメラ以外は水圧 2000m でも耐えられます（この耐水圧試験は（株）アクアサウンドさん

にご協力いただきました）。



イルカにとりつけた Go Pro 用吸盤筐体システム



システムで撮影した、餌を食べる瞬間のイルカ



半自然下で撮影した、システムを装着したイルカ(下)とその相棒

エクタスさんのところで筐体の色をどうするかということで、いろんなパステルカラーのものを作ったそうです。筐体はいくつかのパーツに分解できるのですが、パーツごとにばらばらの色にしたらとてもポップな見た目となり、初めて見たときは感動しました。こうした「見た目」は研究者にはあまりない視点で、さすが企業さんだなあと感じました。

まだまだやることはたくさんあるのですが、せっかく作ったシステムですから、ここでいったん世に出して、ユーザーさんの意見を聞くことも必要だと感じました。耐水圧がカメラのせいで10mしかないので、水族館もしくは半野生での使用になるかなと思います。残念ながら製品として販売するのはハードルが高いため、受注品としてエクタスさんに作っていただくことになりそうです。吸盤だけの購入もできます。吸盤のサイズや硬さ、筐体の色など、オーダーメイドの良さもあります。ご興味のある方は私まで (chaka(at)bio.mie-u.ac.jp : (at)を@に変えて下さい) ご連絡いただければ幸いです。近々専用ホームページも作成しようかと考えています。



ポップな色彩の筐体。インスタ映えます。

書評

動物の行動，アスリートの運動

小林 耕太 (同志社大学 生命医科学部 医情報学科)

ここでは、僭越ながら自著「勝てる脳，負ける脳 一流アスリートの脳内で起きていること」を紹介させていただきます。本書は、神経科学者である私と、スポーツライター、特にテニスを中心に取材している内田 暁氏との共著です。私の専門である神経行動学は、動物の行動の神経メカニズムを研究する学問です。電気魚の電気知覚、フクロウの暗闇での音源定位、コウモリの生物ソナー、のようなヒトでは想像を絶する能力をしばしば対象に、その生理学的な仕組みを解明しようとしています。実は、共著書は私の妻であり、普段より彼女から、錦織圭、ロジャー・フェデラー、今ならば大坂なおみといった世界の超一流のアスリートの試合や記者会見の様子、さらにはメディアに載らないコーチやトレーナーとの裏話等を聞かせてもらっていました。本著の一部は、ヒトを超えた動物達の脳の仕組みを想像しながら研究するように、机にへばりついて生きている私たち凡人にはうかがい知ることができないアスリートの能力を科学的に説明しようとする過程で産まれました。



超一流の演奏家になれるかアマチュアにとどまるかを分ける秘密は？

以下は自著で紹介した内容ですが、アスリートの超能力の秘密は、才能だけでなく Deliberate practice (目的性の高い練習) の長期間にわたる積み重ねであると、近年の認知心理学的な知見がしめすようになってきました。この“目的性の高い練習”の重要性について数々な研究をおこなったのがフロリダ州立大学の心理学者アンダース・エリクソンです。彼らは1991年に、ドイ

ツの高名な音楽アカデミー“西ベルリン音楽アカデミー”のバイオリニストたちを対象に行った調査で、アカデミーの教授たちの評価などをもとに、被験者たるバイオリニストたちを、能力に応じて3つのグループに分けました。1つは、国際コンクールなどでも優れた結果を残し、将来的に優秀なソロリストになることが期待された最も優秀な学生。2つ目は、極めて優秀でオーケストラの奏者にはなれるだろうが、第1のグループに比べればやや劣る学生たち。そして最後が、プロの奏者になるのは難しいと見られ、音楽の先生になるのが目標の学生たちです。

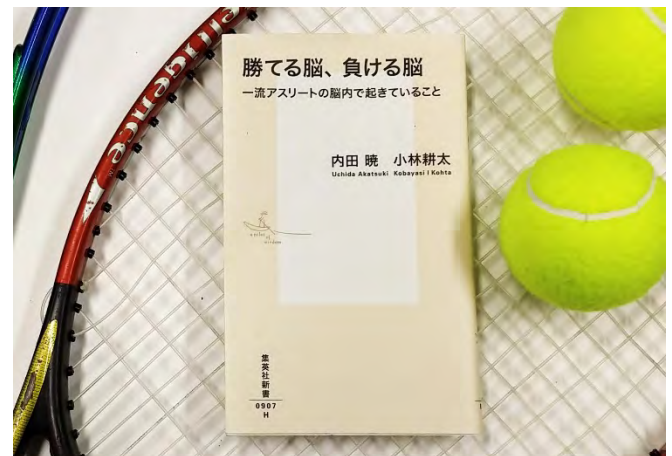
そうしてエリクソンらは、それら全学生たちを対象に、念入りな聞き取り調査を行いました。何歳でバイオリンを習いはじめたのか、親族に音楽家は居るか、一日何時間ほど練習をしているのか……などなど、一体いかなる要素が彼らの能力を分けているのかを解明すべく、様々な質問をぶつけたのです。結果、多くの環境や体験においては、どのグループも、非常に似通っていることが判明しました。レッスンを受け始めたのは8歳ごろ、最初に音楽家になろうと決意したのは15歳より少し前。教わった音楽教師の人数は平均で4.1人。バイオリン以外に学んだ楽器の数は1.8でした。

ただ、この3つのグループ間で見られた決定的な相違点が、“まじめに練習してきた累計時間”でした。第1のグループのバイオリニストたちは、20歳になるまでに平均で1万時間の練習時間を積み重ねていました。これは第2のグループによりも2000時間多く、第3のグループに比べると6000時間も多い数字でした。彼ら母集団となるバイオリニストたちの多くは8歳で習い始めたので、第1グループのエリートたちは、20歳までの12年間、毎日2時間以上の激しい練習を、欠かさずやってきたということになります。

ここで注意しなくてはいけないのは、この累計時間

はただ漫然と楽しむのために楽器を弾くことの積み重ねではないと点です。この“まじめに練習”こそ“目的性の高い練習”のことであり、目的意識と向上心を持ち、自分がうまくできないことにこそ集中的に取り組み、不断の努力を重ねていく、苦しい訓練を意味します。艱難汝を玉にす。当たり前のことですが、努力の価値が科学的にも証明されつつあります。興味を持った方は拙著をお読み下さい。

思えばバイオロギングがあつかう動物たちの移動行動、飛翔や遊泳、四足での走行などの多くはヒトの能力を遥かに超えたものです。動物たちの驚異的な運動能力も部分的には彼らが自然下の生活で獲得し、日々研鑽してできたものなのでしょう。バイオロギングでは、技術の発達もあり長期の記録が可能になりつつあります。彼らが、美しい飛翔をみせることができるようになるまで、どれだけの失敗を重ねたのか、その練習の過程が明らかになる日が今から楽しみです。



「勝てる脳、負ける脳 一流アスリートの脳内で起きていること」
内田 暁、小林耕太 集英社 (2017)

自分で選ぶ、自分で決める —子育てをしながら研究の計画を立てる—

木村里子（京都大学国際高等教育院）

私は2019年2月現在、1歳3ヶ月になる子供を育てながら（なんとか）研究を続けています。出産した日はちょうど昨年度のバイオロギング研究会シンポジウムの日だったので、連絡が伝わって当日に知った方もいらっしゃるかもしれません。

幸い、産後5ヶ月で今年度の4月から仕事復帰することができました。日中子供を11時間も預かってくれる保育園を近所に見つけられたことも、とてもラッキーだったと思います。

復帰して早々、科研費の研究活動スタート支援に応募できることを知りました。研究種目の目的欄に「研究機関に採用されたばかりの研究者や育児休業等から復帰する研究者等が1人で行う研究（期間2年以内、単年度当たり150万円以下）」と書いてあります。任務があって雇われているのに産休・育休をとってしまった、復帰して教育業務と育児に加え研究もできるだろうかと不安な気持ちだった私にとって、「出産・育児というのは大変なことなのだからサポートするよ、頑張ったね、頑張ったね」と社会、世間に背中を押してもらっているような気がして嬉しかったです。

しかし、これまで基本フィールドワークを中心に研究を進めてきましたので、これからの研究のことを思うと申請書作成はうまく進みませんでした。学振PDで名古屋大にいた頃などは、年間100—200日出張する日々を続けていました。海上に10時間以上船で出て、スコールに当たり、雪に降られ、海に入り、家へ帰って来たら荷解きが終わる間も無く装備を変えて次の目的地へ・・・とても楽しい毎日でした。子供が欲しいと思い始めた頃からなんとなく研究の方向性の舵を「来るべき子育てモード」へ切ってはいましたが、心のどこかではやはり家族がいなくて完全に自分一人で動けるのだったら（これを自由と呼びたくはないですが）海外の気の置けない仲間達とこういう研究をしたかった、という思いが今でもあります。申請書を書いていた4月頃は今よりも未練タラタラだったというか、割り切ることもできずに焦っていて、そんな状態で科研費に応募してもとても通る気がしませんでした。

そんな中、大学内で申請書ブラッシュアップ制度があることを教えていただき、応募してみることにしました。そして、制度で支援して下さる先生方に、えい、ままよ！と正直に現状を相談しました。本当は世界を股にかけて・・・とまではいかないけど海外も含めてこう

いう研究をしたいのだけど、子供ができた今、この部分にはできないので行ける場所でこの範囲の中でやらないといけない、そうすると苦し紛れに今現状の申請書はこのような感じなのですが・・・と。

実際は「子供がいなければ・・・」と話してしまって、話しながら自分自身が嫌な気持ちになったのを覚えています。でも、不思議なもので、PCに向かいながら長時間悩んでも研究計画をうまくまとめることができなかったのに、やんややんやと第三者に話していたら、だんだんとこれからの研究をどうすればいいか道筋が見えてきました。「出産により研究計画や内容を変更して考えなければならないパターンは初めて伺いました」とコメントされましたが。

アドバイスを元に申請書をブラッシュアップした結果、採択されました。とても嬉しかったです。採択いかんよりも、あのタイミングで今後どうしていったらいいかと自分の気持ちを話して考える時間を取れたことがとても大きかったように思います。サポートして下さった先生方に採択結果を伝えると、「環境が変化しても、これをやりたいと思い続けるものがあるというのは素敵なことだと思います。」「自分が選ぶ・決めるということはとても大変だけど、大事なことだなと思いました。」などと励ましの言葉をいただき、心に強く響きました。

自分の経験をコラムにするのもな・・・（自分ももっと壮大な研究計画を持った優秀な研究者ならばこんな悩みは生じなかったのでは）という思いもありましたが、自分がここまで人生を進めてくるにあたり、研究者諸先輩方の色々なお話が強く影響しています。バトンを渡す気持ちで体験談をコラムにさせていただきました。

現在、9時—17時の短縮営業に加え、子が保育園で拾ってくる様々な菌にやられて毎日ヒーヒー言いながら薬を飲んでなんとか生活をしている状況ですが、昨年度2月号の研究会会報で飛龍先生のコラムにあったように、「子育てと研究のどちらも楽しむことはできるよ、ということを少しでも感じてもらいたい、という思い（意地？）もあって、子育て中心の研究スタイルを可能な限り、前向きに続けていこうと思っています」！

事務局より

総会のご案内と委任状提出の御願い



第 15 回(平成 30 年度)日本バイオロギング研究会総会のお知らせ

拝啓 早春の候、会員の皆様においてはますますご健勝の御事とお喜び申し上げます。さて下記により第 15 回バイオロギング研究会総会を下記の日時に開催する運びとなりました。つきましては、ご欠席の場合は委任状を **3 月 27 日 (水) 必着**で下記のメールアドレスへ提出をお願い致します。

(宛先 : biolog@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp)

* メールリストに返信しないように気をつけて下さい。

敬具

平成 30 年度 2 月 21 日 日本バイオロギング研究会
会長 荒井修亮

日時 平成 30 年度 3 月 28 日(木) 12:00~13:00

場所 東京海洋大学内会議室(2 号館 2 階 200A2 カンファレンスルーム)

委任状提出用フォーマット

私(正会員・学生会員・賛助会員 氏名)

は表記総会に欠席致します。

都合により総会を欠席いたしますので、議決は全て議長に一任いたします。

平成 31 年 月 日

自由記載欄(研究会へのご意見・ご希望などを自由にご記入ください)

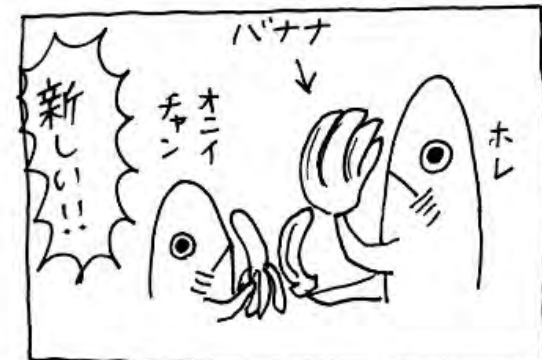
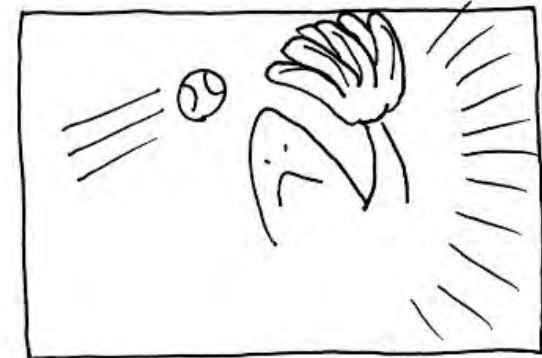
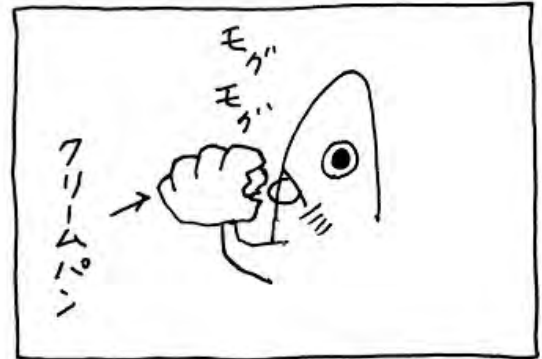
編集後記

今年度もコウモリ調査へは一度も参加できず、すべてお留守番の一年でした(涙)。研究室のメンバーは、北海道から石垣まで、コウモリを追いかけて飛び回っていました。今年は初めて、オオコウモリの調査にも行きましたが、普段飼育している小さなコウモリと違って、その体の大きさにメンバーもびっくりしたようです。

ただ実際のところは、野外調査に行きたい気持ちは山ほどあるのですが、自分の年齢とともに運動神経と体力の自信もなくなってきました。きっと若者に着いて行って足手まといになるだけ,,,,, 運転手+料理人でいいので、今年是一緒に行きたいな。

コラムは、去年に引き続き研究者のワークライフバランスについてです。今回は今まさに育児に研究に奮闘されている木村さんに執筆いただきました。コラムを読んで、気持ちが痛いほど伝わってきた若手研究者の方もいらっしゃったのではないのでしょうか。ちょうど私も、保育園でもらってきた娘のインフルエンザが高齢の義母にうつり、自宅で看病をしながらこの編集後記を書いています。突発的なスケジュール変更や業務の代理を快く引き受けてくださる学科の先生方や、研究室のメンバーには感謝の気持ちでいっぱいです。どうやら育児の次は介護も待っているようです。家族が、そして皆さんが健康で楽しい一年でありますように(^^)! 【S.H】

ひみつの探偵
目撃者オオコウモリ 124



【S.K.】