

バイオロギングが明らかにする動物の真の姿

国立極地研究所准教授 渡辺 佑基

はじめに

研究所の庭でジョウビタキを見かけ、うれしくなった。まるでピンポン玉を丸呑みしたみたいなお洒落な尾羽——この鳥を見ていると、ついついす様のよう目尻が下がってしまう。サービス精神が旺盛なのか、あるいはただ鈍感なだけなのか、人をそれほど警戒せず、あたりをヒラヒラ飛び回ってくれるのも愛らしい。「初ジョウビタキ」が見られたということは、これから本格的な冬が始まる。

それにしても素朴な疑問。ジョウビタキは冬の到来とともに、一体どこから関東平野にやってきて、また冬の終わりとともに、一体どこへ飛び去っていくのだろうか？ そればかりはいくら愛情深いまなざしで子細に観察しても、ちっともわからない。

ジョウビタキに限らず、私たちが知っている野生動物の姿はたいてい断片的なものだ。山のタヌキにせよ、渡り鳥のツバメやモズにせよ、あるいは清流のオオサンショウウオにせよ、私たちが目にしたり、聞きかじったりする部分など、彼らにしたら生活のごく一部でしかない。襟付きの服を着て職場でパソコンに向かって私達は、本当の私たちのごく一部の姿でしかないのと同じだ。

では動物の本当の姿は、どうしたらわかるのだろうか。そこで登場するのが、バイオロギングと呼ばれる新しい研究手法である。野生動物の体に小型のセンサーや発信器などの電子機器をちょこんと取り付けて、野に放つ。そうすることにより、

大陸を縦断する鳥の渡りを、深海に潜るクジラの泳ぎを、あるいはチーターが獲物を捕らえる超高速の動きを、客観的なデータとして記録することができる。いままで観察が行き届かなかった動物の本当の姿を明らかにすることができる。

近年、超小型の電子デバイスの技術が急速に進歩しており、たとえばスマートフォンにGPS、ビデオカメラ、コンパスといった数々のセンサーが内蔵されているのはご案内の通りだ。バイオロギングではこうした技術の発展を、ほとんどそのままの形で動物の研究に応用することができる。だから5年前にはできなかったことが、現在ではできるようになっているし、現在できないことも、5年後にはおそらくできるようになっている。

そんな夢と将来性に富んだバイオロギングの世界を、本稿では簡単に紹介させていただこう。

何ができ、どんなことがわかったのか

バイオロギング手法を使った研究は多岐に渡っており、様々な動物の運動能力（たとえばチーターの走る速さ）、生理機能（たとえばアザラシの潜水中の心拍数）、環境との関わり（たとえばペンギンが海水をどのように利用しているか）などが今までに調べられてきた。だからその成果を一言でまとめるのは難しいが、ここでは敢えて単純化してしまおう。バイオロギングの最も顕著な成果は、季節的な動物の大移動のパターンを明らかにしたことだと私は考えている。

ハイロミズナギドリという鳥がいる。この鳥はニュージーランドの夏鳥であり、毎年夏になると、どこからかニュージーランドの海岸にやって

くる。そして巣を作って産卵し、ヒナを育て上げると、また夏の終わりとともにどこかへ去っていく。夏以外の時期にどこにいるのかは、バイオロギング調査が行われるまでは、まったくわかっていなかった。

近年行われたバイオロギング調査によると、このハイロミズナギドリは、他のどんな鳥にも見られないような大規模な渡りをする。そのパターンは、ざっと以下の通りである。

この鳥はニュージーランドで子育てを終えると、南太平洋を東に横断し、南アメリカ大陸西側の沿岸まで飛ぶ。そこにしばらく滞在した後、今度は太平洋を斜めに北上して、一気に日本近海まで移動する。その後、北東方向に飛んでアリューシャン列島の周辺へ移動し、最後にまた太平洋を斜めに南下して、もとのニュージーランドに戻ってくる。地球1周半以上に相当する、総飛行距離6万5千キロの大移動である。

なぜ、それほど大規模な渡りをするのだろうか。鳥の移動パターンを季節の移り変わりと重ねてみると、答えがわかってくる。

ハイロミズナギドリは11月から翌年5月にかけて南半球に滞在し、6月から10月にかけては北半球に滞在する。そう、1年中ずっと、暖かくてエサの豊富な夏の真ん中にいる。つまりハイロミズナギドリは、その卓越した飛翔能力で1年に2度地球を縦断し、季節の移り変わりを打ち消しているのである。

鳥もすごいが、魚だって負けてはいない。今までにバイオロギングによって追跡された魚の中で、最も大規模な回遊を見せたのはクロマグロとホホジロザメだ。

太平洋のクロマグロは、普段は日本の近海をうろろうとしているものの、あるとき、決意を固めたように東へ泳ぎ始め、3か月間ほどで太平洋を横断し、8000キロも離れた米国カリフォルニア沖にたどり着く。そして、しばらくはカリフォルニア沖の海に留まるものの、またある日突然、西へ西へと泳ぎ始め、来たルートを逆にたどって日本近海に戻ってくる。

ホホジロザメについていえば、南アフリカのケープタウン沖で計測機器を取り付けたサメが、びっくりするような大移動を見せた。このサメはある日、ケープタウン沖から東へ泳ぎ始め、100日間ほどでインド洋を横断し、1万キロも離れたオーストラリア西海岸にたどり着いた。そしてしばらくオーストラリア沿岸に留まった後、今度は西へと泳ぎ始め、また1万キロ離れたケープタウン沖に戻っていた。

クロマグロやホホジロザメは、一体何をしているのだろうか？ 南北に移動することによって季節の移ろいを打ち消すハイロミズナギドリと違い、東西に移動するクロマグロやホホジロザメの動機付けは、まだよくわかっていない。おそらく局所的に発生するエサを追いかけているのだと考えられているが、確たる証拠は得られていない。

いずれにせよバイオロギングの調査により、様々な鳥や魚や哺乳類が、まるで地球全体がぼくらの庭だと言わんばかりの驚くべき大移動を行っていることが明らかになった。

バイオロギングの始まりと発展

バイオロギングの手法はいつ、どのように、誰の手によって開発されたのだろうか。そしてどのような経緯を経て、現在の形へと発展してきたのだろうか。

バイオロギングのパイオニアと呼べる人物は世界に数名いるが、そのうちの一人が国立極地研究所の内藤靖彦名誉教授（現在）だ。内藤は独自の記録計を長年にわたって開発してきただけでなく、国内外でバイオロギングの研究のコミュニティを作り上げ、発展させてきた功績が知られている。本稿を書いている私自身、内藤と同じ国立極地研究所に所属しているが、それはもちろん偶然ではない。ようするに私は内藤の作り上げたコミュニティの一員として、バイオロギング研究を行っているのである。

内藤は1972年、東京大学海洋研究所（現大気海洋研究所）で学位を取得した。大学院生の頃の内藤は、当時北海道で操業されていたアザラシの

狩猟船に乗り込み、アザラシの死骸を集めて形態を計測する研究を行っていた。何種類かのアザラシについて、形態を詳細に計測することにより、いろいろな新しい発見があった。だが、内藤の頭の中には、素朴な疑問がずっと根を張っていた。「アザラシは海の中では何をしているのだろうか？」

1976年に内藤は、国立極地研究所の助教授に着任し、南極の昭和基地をベースにしてペンギンやアザラシの研究を展開することになった。そこでこれ幸いとばかり、学生時代から長年興味を持っていたアザラシの潜水行動についての研究を始めることにした。内藤はある企業と組んで、アザラシの体に取り付け、潜水深度を計測するための機械を開発した。当時の記録計は完全なアナログ式だ。つまり、金属製の防水ケースの中でロール紙が回転し、その上に微小の針が深度（＝水圧）の値を書き込んでいく。内藤はそれをアザラシにとりつけ、アザラシの連続的な潜水行動を初めて測定することに成功した。

内藤はその後も記録計の改良を重ね、より小さく、より高性能で、より汎用性の高い機器の開発を進めていった。一番の転換点は、1991年、世界に先駆けてデジタル式の記録計の開発に成功したことである。デジタル式の記録計では、データは紙に書かれるのではなく、電子メモリーに記録され、パソコンにつないでダウンロードされる。このことのメリットははかり知れないほど大きい。第1に、ロール紙がいらなくなり、装置全体をぐっと小型化することができる。第2に、複数の測定項目（深度、温度、遊泳速度等）を同時に計測できるようになる。第3に、データのコピーや統計解析などの後処理が、格段にやすくなる。

2015年の現在、私が調査に使っている記録計は、内藤のデジタル式記録計の延長上に位置するものである。小型化がさらに進み、データの容量や測定項目が増えてはいるが、基本的なスタイルは変わっていない。それくらい内藤の行ったデジタル化の大転換は、時代の先を見据えたものであった。

それにしても内藤の開発したアナログ式の記録

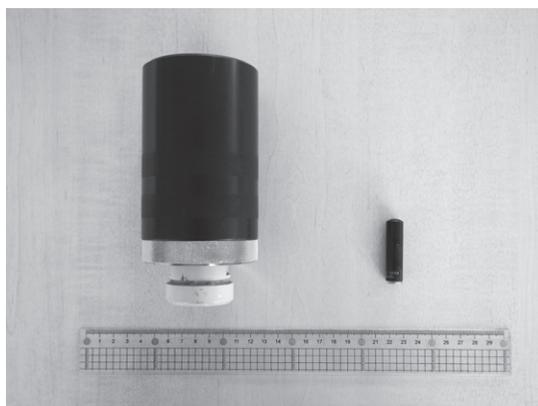


写真1 1980年代のアナログ式記録計（左）と現在のデジタル式記録計（右）。

計と、現在のデジタル式記録計を見比べてみると、進化の著しさは一目瞭然であり、言葉で説明する必要はないんじゃないかという気さえする（写真1）。

ビデオカメラという革新

デジタル化をきっかけにして記録計の多容量化、他パラメータ化が進んだが、近年、それとは本質的に異なる新機軸の記録計が現れた。ビデオカメラである。動物の背中に小型のビデオカメラを取り付けることにより、動物がどこで何をしているのか、動物自身の視点から観察することができる。

実は私自身、動物ビデオカメラを誰よりも早く使い始め、また今でも積極的に使っている研究者の一人である。そこでここでは、私が南極のペンギンにビデオカメラを取り付けた研究をごく簡単に紹介しよう。

国立極地研究所の私たちのチームが動物ビデオカメラを初めて開発したのは、2010年のことであった。携帯電話に内蔵されるカメラが年々小型化、高性能化していたので、私たちはその恩恵に与ることができた。つまり市販品のカメラデバイスの中から、目的に合ったものを選び出し、防水ケースに入れ、タイマーなどの機能（後述）を加えたものが、私たちの動物ビデオカメラ第1号であった。

私たちは早速それを南極に持っていき、アデリーペンギンの背中に取り付けた。ペンギンが海の



写真2 防水テープでカメラを取り付けたペンギン。



写真3 「ペンギン目線」の映像。

中でどんなエサを、どのように捕えているのかを観察することが目的であった（写真2）。

ペンギンにカメラを取り付けても、すぐにペンギンが潜水を開始してくれるとは限らない。そこで私たちのカメラには、タイマーと海水センサーという二重の仕掛けが組み込んであった。たとえばタイマーを6時間に設定すると、カメラのスイッチを入れてから6時間が経過し、かつ初めて海水が検知されたとき（ペンギンが初めて海に飛び込んだとき）にビデオ映像の記録が始まるようになっていた。

ところが、現地に行って初めてわかったのだが、ペンギンは一旦海水にポチャンと入っても、すぐに海から出てきて、氷上でぼーっと突っ立っていることよくある。そういう場合、ペンギンの背中に上向きに付いているビデオカメラは、のんびりとした南極の青空だけを90分間ほど撮影して、静かに役目を終える。せっかくカメラを取り付けたペンギンを再捕獲し、カメラを回収して喜んだのも束の間、画面には青空しか映っていなかったときの悔しさといったらなかった。

それでも調査に協力的な一部のペンギンたちは、ちゃんと撮影時間の間に海に潜ってくれた。そして今までに誰も見たことがない、驚きの映像を提供してくれた。画面の手前にペンギン本人の後頭部が映っており、そのペンギンが南極の絶景の中で、海に潜ったり、浮上したりしている（写真3）。ときおり水中で別のペンギンが、「ちょいとごめんよ」とでも言うように目の前を横切る（写真4）。

ペンギンが海の中でエサを捕える様子も、これ以上ない形ではっきりと撮影することができた。ペンギンの主要なエサはオキアミである。映像を見ていると、オキアミの黒い影が遠くからまっすぐにこちらに近づいてくる（もちろん実際は、オキアミがペンギンに向かって泳いできているのではなく、ペンギンがオキアミに向かって泳いでいる）。オキアミはパタパタと体を「くの字」に曲げたり延ばしたりして、必死に逃げようとしているが、ペンギンの遊泳能力の前には無力である。ペンギンが頭を上下に振った瞬間、オキアミの影は消え、ペンギンの胃袋に収まったのだとわかる（写真5）。

またあるときは、ペンギンはオキアミの濃密な群れの中に入り込んでいた。辺り一面に広がるオキアミの群れの中心にペンギンが入り込み、目にも留まらぬ速さで頭を上下に振り続ける。スローモーション再生で確認すると、ペンギンは頭の一振りですべて1匹のオキアミを仕留めていて、それは1秒間に2匹のオキアミを捕えるという猛烈なスピードであった。

このように私たちは、ビデオカメラという新機軸のバイオリギング機器を使うことによって、従来型の数値データとはひと味もふた味も違うデータを得ることができた。そしてそれは、人間の目では観察できない動物を観察しようとするバイオリギングの本来の目的を、最も直接的に達成する手段でもあった。



写真4 目の前を別のペンギンが横切る。



写真5 オキアミを捕える瞬間。
手前に写っているのはペンギンの後頭部。

バイオロギングの未来

というわけで本稿では、野生動物にハイテクの計測機器を取り付けるバイオロギングの世界を駆け足で見てきた。最後に、これからバイオロギングでどんなことが可能になり、どんなことが明らかになるのか、少し夢を語ってみたい。

ビデオカメラは大いなる可能性の一つであり、今後も小型化、高性能化が進み、いろんな動物に応用されていくことだろう。ビデオカメラの最大のメリットは、科学的に重要なだけでなく、見た目にも面白い、迫力の映像が得られることだ。空高く舞う鳥の目線の映像、海深く潜るクジラの映像、あるいは陸上を走り回って獲物を狩る陸上哺乳類の映像など、どんどん新しい映像が記録され、テレビやインターネットを通して広まっていくだろう。深海でダイオウイカと闘うマッコウクジラの視点から撮影された映像など、想像しただけでわくわくする。

鳥の渡りや魚の回遊に関して、多くのことがわかってきたことは本稿で述べた通りである。それに対して、いまだにほとんど手つかずのままに残されている謎は、昆虫の渡りだ。多くのチョウ、バッタ、トンボなどの昆虫が、海を越え、砂漠を渡り、大陸間を移動する大規模な渡りをする。しかし、それらの情報はほとんどすべて、断片的な目撃情報に基づいているのが現状である。現在、記録計の小型化が急速に進み、その応用範囲は体重10グラム強の小鳥にまで広がっている。この

ままの勢いで技術が進歩し、さらなる小型化が達成されれば、たとえばサハラ砂漠を縦断するバッタの移動軌跡を記録し、大規模な渡りの謎を解明できる日がくるだろう。

いままでのバイオロギング研究のほとんどは、個々の動物の動きや生態を対象としてきた。ペンギンでいうならば、個々のペンギンの潜水パターンやエサとりの様子が研究の対象であった。しかし、ペンギンは個々で独立して生きているのではなく、集団で巣を作り、集団で暮らしている。近い将来、多くの個体の行動を記録することができれば、個体間の相互作用がわかるだろう。ペンギンAはペンギンBとはウマが合うが、ペンギンCとは疎遠なようだ、というような、動物のパーソナリティや情報交換、社会行動などがわかってくるかもしれない。そしてそのあかつきには、「集団動物学」という今までにない新しい学問領域が出現することだろう。

そんなことを考えながら、研究所の庭でジョウビタキを見ていた。で、この鳥は夏になるとどこに行くんだっけ？