



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. 226

発行日 2025年6月30日 発行所 日本バイオリギング研究会（会長 佐藤克文）

発行人 名古屋大学大学院環境学研究科・生態学講座 依田憲

〒464-8601 名古屋市千種区不老町

E-mail: BioLoggingScience@gmail.com

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



もくじ

新しい発見

サケの産卵時における心拍変動の性差：

新たな解析手法で見えてきた自律神経制御の複雑性

牧口祐也（日本大学）2

ニシンの集団産卵では行動が周期的に変化する

関恭佑（北海道大学大学院）4

クロマグロの体温形成には高い産熱速度が寄与する

阿部貴晃（日本大学）6

野外調査レポート

供試魚が凍った海水調査

浅井咲樹（東京海洋大学）9

2度目の南極、抜けないドリル

高松敦（東京海洋大学大学院）10

南極での魚釣り

黒田真央（九州大学）11

お知らせ

BiP を使ったバイオリギング解析に挑戦～その6

・ summary_filter_csv: データ概要を表示してデータ抽出

・ dive_parameter: 潜水データの表示と行動解析

渡辺伸一（リトルレオナルド社／麻布大学）12

サケの産卵時における心拍変動の性差： 新たな解析手法で見てきた自律神経制御の複雑性

牧口 祐也（日本大学 生物資源科学部 海洋生物学科）



毎年秋、生まれ故郷の川を目指して必死に遡上するサケの姿を見たことがあるでしょうか。傷だらけになりながらも上流を目指すその姿は、まさに命をかけた最後の旅路です。海で数年間成長したサケたちは、なぜそこまでして故郷の川に戻るのか。そして産卵という一生最後の大事な仕事に挑むとき、彼らの体の中では何が起こっているのでしょうか。

私たちの心臓は、運動すれば速く打ち、リラックスすれば遅くなります。これは自律神経系という、意識しなくても体を自動的にコントロールしてくれるシステムの働きです。自律神経系には、アクセルの役割を果たす「交感神経」と、ブレーキの役割を果たす「副交感神経」があり、この2つがバランスを取りながら心拍数を調節しています。実は魚にも同じような仕組みがあり、最新のバイオリテック技術により、その詳細を野生に近い環境で記録できるようになりました。

（図1）。



図1. 心電図ロガーを装着したサケ

私たちは、2009年にサケの産卵時にオスもメスも心臓が数秒から十秒程度停止することを報告しました¹。この論文では産卵時の心停止に着目しており、産卵時における心拍変動について分析していませんでした。そこで収集したサケの心電図データを別の解析手法で再分析し、産卵時の心拍制御に関する性差を発見しました。

最も注目すべき新知見は、産卵前後の心拍数変化が雌雄で正反対のパターンを示すことです。メスは産卵後に心拍数が82.27拍/分から86.16拍/分へ上昇するのに対し、オスは74.71拍/分から67.78拍/分へと有意に低下しました（図2）。人間でいえば、同じマラソンを走った後に、女性は心拍数が上がり、男性は下がるような不思議な現象が起きているのです。

ブレイクポイント解析という分析手法により、心拍変動パターンの詳細な時間的変化を解析しました。この手法により、心拍数が大きく変化する「転換点」を

客観的に検出することができます。その結果、メスでは4つ、オスでは5つの変化点が見つかり、産卵に向けた準備が単純な一方向の変化ではなく、複数の段階を経る複雑なプロセスであることが初めて定量的に示されました。

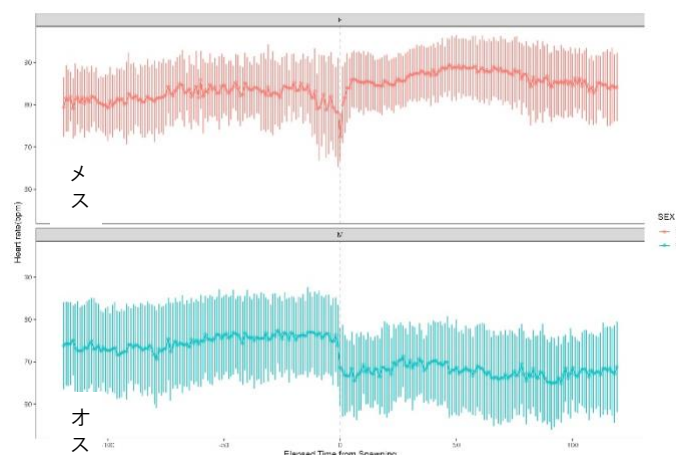


図2. 産卵前後の心拍数の時系列変化

特に興味深いのは、メスでは産卵の21分前という早い段階から心拍数の低下と変動の増大が始まることです。これに対してオスは産卵直前まで比較的安定した心拍を維持していました。まるでメスは「産卵の準備運動」を体の内部で早めに始めているかのようです。この時間差は、卵を産む側と精子を放出する側で、必要なエネルギーや生理的準備が異なることを反映している可能性があります。

さらに重要な発見は、実際の産卵行動と心拍変動の変化点が必ずしも一致しないということです。メスの巣掘り行動（尾びれで川底の砂利を掘って産卵床を作る行動）の頻度変化と、心拍変動の転換点にはタイムラグがありました。これは心拍制御が単なる運動負荷への応答ではなく、自律神経による予測的な内部制御を受けていることを示しています。つまり、見た目の行動とは別に、体の中では独自のタイミングで「見えない準備」が進んでいるのです。

薬理実験の再解析からも新たな知見が得られました。心拍変動係数という指標を用いた解析を行いました。対照群では産卵の24分前から心拍変動が急激に増大していたのです（図4の赤い四角）。これは「産卵予期」という新しい概念を提示するもので、サケが産卵の瞬間を予測し、事前に生理的準備を開始してい

ることを示唆しています。人間でいえば、大事なプレゼンテーションの前に心臓がドキドキし始めるような現象に似ています。

アトロピンを投与した群では、この心拍変動の増大が抑制され、産卵時の心停止も起こりませんでした。一方、ソタロールを投与した群では心停止は防げませんでしたが、心拍変動のパターンは独特の変化を示しました。これらの結果は、副交感神経が心停止の主役である一方、交感神経も産卵前後の心拍リズム調整に重要な役割を果たしていることを示しています。つまり、副交感神経だけでなく交感神経も含めた自律神経系全体が、それぞれ異なるタイミングで働きながら、産卵時の複雑な生理変化を調節していることが明らかになったのです。

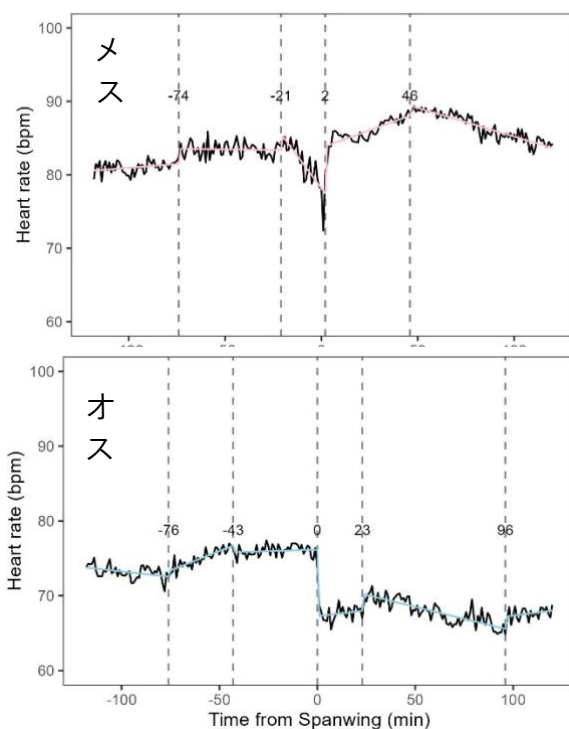


図3. 産卵前後の心拍数の時系列とブレイクポイント

この研究の特筆すべき点は、10年以上前に収集されたデータを最新の解析技術で再分析することで、当時は見えなかった生物学的意義を発見したことです。元のデータには200Hzという高い時間分解能で記録された心電図が含まれており、この詳細なデータがあったからこそ、新しい解析が可能になりました。バイオリギング研究において、質の高いデータを蓄積することの重要性を改めて示す好例といえるでしょう。

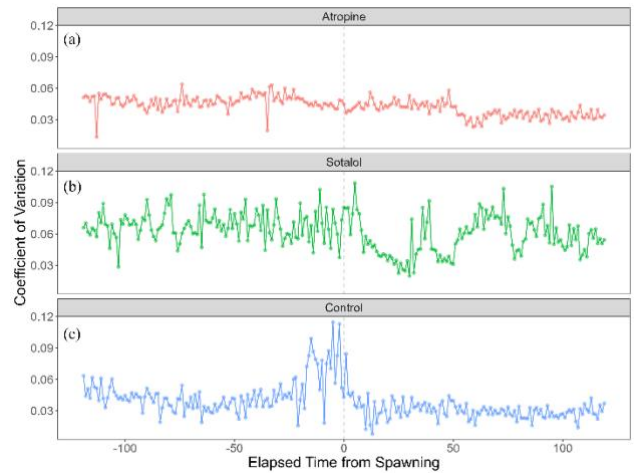


図4. 薬理実験における産卵前後の心拍変動係数の時系列変化

これらの新知見は、サケ資源の保全管理にも重要な示唆を与えます。気候変動により河川の水温や流量が変化する中、産卵時の生理的ストレスがサケの生存率にどう影響するかを予測する上で、雌雄の違いを考慮することが不可欠です。例えば、メスは産卵前から長時間にわたって心拍変動が大きくなるため、環境ストレスに対してより脆弱である可能性があります。

今後の研究では、ホルモン動態、血流量、酸素消費量などの他の生理指標と心拍変動を同時に記録することで、産卵時のエネルギー配分戦略の全体像を解明することが期待されます。また、異なる河川環境や水温条件下での比較研究により、環境変化に対するサケの適応能力を評価することも可能になるでしょう。

最新の解析技術とバイオリギング技術の融合により、サケの「命がけの産卵」を支える精巧な生命維持メカニズムの理解が着実に深まっています。本研究は、Frontiers in Physiology 誌に掲載されました²。

参考文献

- [1] Makiguchi, Y. et al. Cardiac arrest during gamete release in chum salmon regulated by the parasympathetic nerve system. PLoS One 4, e5993 (2009).
- [2] Makiguchi, Y., Abe, T. K. & Ichimura, M. Novel insights into sex-specific differences in heart rate variability and autonomic nervous system regulation during spawning behavior in chum salmon (*Oncorhynchus keta*) revealed by re-analysis of ECG logger data. Front. Physiol. 16, 1511476 (2025).

ニシンの集団産卵では行動が周期的に変化する

関 恭佑（北海道大学大学院環境科学院）

集団産卵は魚類で広くみられる繁殖様式で、複数の個体が群れて放精・放卵を繰り返す特徴があります。ペアを形成する種や、明確なペアを形成せずに配偶子を放出する種など、詳細は魚種によって異なりますが、複数の個体が同調して産卵することで配偶者との遭遇率や受精率が向上する利点があります[1]。また、産卵イベントは繁殖期間内で複数回に分散して生じることもあり、捕食や環境変化で配偶子が無駄になるリスクを分散させている可能性もあります[1]。これらの産卵メカニズムに関する研究は、日/月単位に着目した研究が多く、時間/分といった細かいスケールで研究した例は少ないですが、細かいスケールでも同調による受精率の向上や、リスク分散のメカニズムが存在する可能性があります。

ニシンは群来（くき）と呼ばれる大規模な集団産卵をします。北海道内の水産資源として欠かせない種であり、冬から春にかけて沿岸部に大集団で来遊し、藻場に産卵をします。産卵時はペアを作らず、個々が藻場に腹部を擦り付け、放精と放卵を繰り返します。私たちの研究室では、ニシンの集団産卵を大型実験水槽内で再現し、そのうち複数個体にロガーを取り付けることで行動を可視化し、詳細なスケールで産卵メカニズムを明らかにしました。

2023年4月、北海道標津町の漁師さんにご協力いただき、定置網から1000尾以上のニシンをサンプリングしました。漁獲したニシンは活魚輸送車で10時間ほど陸上輸送し、函館市国際水産・海洋総合研究センター内の大型実験水槽（幅10m×奥行5m×水深3～4m）に投入しました。輸送中に弱ってしまった個体を取り除いた911尾で実験を開始し、そのうち53尾（オス38尾、メス15尾）に加速度データロガーを取り付けました。水槽には、産卵の進行度を確認するための水中カメラと、ニシンが産卵するための人工海藻を設置しました。

ニシンは産卵のとき、産み付ける場所をウロウロしたり、お腹を海藻に擦り付けたりします。これらの行動は加速度に大きく反映されます。今回はロガーより得られた、各軸の静的・動的加速度、深度、ODBAなどのパラメータを応答変数、時間を説明変数、個体IDをランダム効果にして、それぞれパラメータごとに一般化加法モデル（GAM）を組みました。モデルから得られた予測線に波のようなパターンが見られたため、自己相関分析を使って周期性の有無を調べました。



図1. ニシン投入直後の大型実験水槽

以下、結果です。サンプリングの翌日の夜間から早朝にかけて、大規模な集団産卵が発生しました。複数の個体が盛んに海藻にお腹を擦り付けていました。実験終了後に確認してみると、沈めていた海藻だけでなく、フィルターを仕切っていた網や水槽壁面にまで卵が大量に付着していました（図2）。



図2. 実験終了後の海藻と網

ロガーから得られたデータを解析した結果、産卵イベントがスタートしてから、僅か30～40分で複数の個体に行動変化が伝搬したことが分かりました（図3）。また、モデルから得られた予測線について自己相関分析をした結果、105～210分の周期性が確認されました。既往の研究から、産卵の誘発にはオスの精子に含まれるフェロモンが重要だと考えられています。本研究でもフェロモンの刺激によって雌雄の行動が同調して変化したこと、その刺激への慣れによって行動が周期的に変化したものと考えられます。同調した行

動変化は受精率の向上、周期的な変化は配偶子放出のリスク分散の可能性があり、これらのメカニズムは本種の繁殖成功を高めるために不可欠であると考えられます。

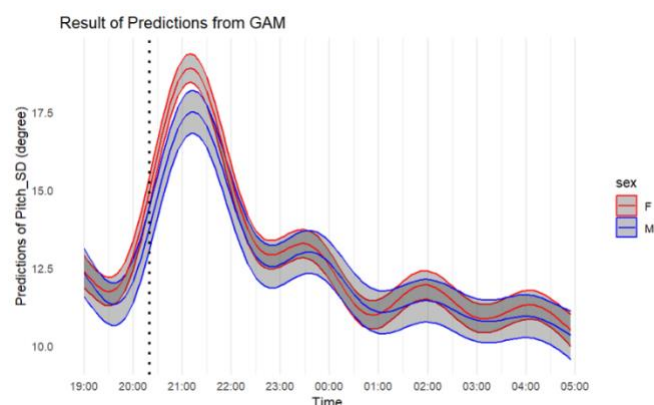


図 3. GAM から得られた予測線。20 時 20 分（図の点線部分）から産卵イベントがスタートした。縦軸は Pitch の標準偏差を表しており、値が大きいほど上下方向の姿勢変化が顕著であったと解釈できる。

今回の実験では、産卵に付随する行動変化がどのようなであったか？というところまでしか分からず、実際にどのくらい配偶子の放出があったのかは分かりません。別途、10 尾程度の小規模で産卵をさせた実験をしていて、放精・放卵をした瞬間の加速度波形を入手しています。現在この加速度波形を教師データとして機械学習にトライしています。しっかりとした分類ができれば、この大規模な実験においても雌雄・個体が、いつ・どの程度配偶子を放出していたのか？まで明らかにできていると思っています。仮説として、雌雄ともにフェロモン刺激で行動は変化するものの、メスはオスに比べて、実際は卵をちょっとしか出していなかった、とかだと面白いと思っています。

この実験・調査については、以前会報にて報告させていただきました[2]。是非そちらも読んでいただくと嬉しいです。また、ニシンのバイオリギングは当研究室の先輩方の多大なる努力があって、ようやく実現できているものです。そちらも会報にてまとめてあるので、是非ご一読ください[3]。そして今更ですが、この内容は Scientific Reports に掲載されました[4]。オープンアクセスなので誰でも読むことができます！

参考文献

[1] de Yvonne et al., 2012. *Reef Fish Spawning Aggregations: Biology, Research and Management*, Chap. 3. (Springer, New York, USA)

[2] 関恭佑, 2023. 集団産卵の同調性を調べたい。バイオリギング会報 No.202

[3] 富安信, 2018. 太平洋ニシンの産卵回遊を追いかける。/野帳が書けなくなる冬の海でニシンを調査する。バイオリギング会報 No.140

[4] Seki et.al, 2025. Temporal changes in behavior during the group spawning event of Pacific Herring (*Clupea pallasii*). *Scientific Reports* (15). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95189-2>

クロマグロの体温形成には高い産熱速度が寄与する

阿部貴晃（日本大学・日本学術振興会特別研究員 PD）



魚類のほとんどは体温を外部の水温に頼る外温動物ですが、マグロの仲間（マグロ族、Tribe Thunini）やネズミザメ目の一部の種は、一部の組織を水温よりも高く保つことができる局所内温性を示します。これらの魚類は、内温性魚類と呼ばれ、血合筋での代謝産熱を保温することで、高い体温を保つことができると考えられています。

ただ、内温性魚類の内温性は生得的なものではなく、成長に伴って形作られることもわかっています（図 1）。これまでの研究では、その発達メカニズムとして、熱保持能力の向上（e.g. 奇網の発達）が主に注目されてきました。しかし、高い体温を保つには、熱の産生能力も不可欠なはずですが、産熱能力の発達パターンや、内温性への寄与については、十分に理解されていませんでした。そこで、本研究では、若魚期における産熱能力の発達様式と内温性発達との関係を明らかにすることを目的としました。

この研究では、まず始めにこれまでの調査研究でアーカイバル・タグにより収集されてきたクロマグロ（*Thunnus orientalis*）若魚の経験水温と体温（腹腔内温度）データを熱収支モデルにより解析しました。動物の熱収支は、産熱と外界との熱交換によって決まり、今回使用した熱収支モデルから、産熱速度（産熱能力の指標）と全身熱交換係数（熱保持能力の指標）を推定することができます。1日ごとに推定した産熱速度を、体サイズと比較することで、産熱速度のアロメトリー関係を調べました。

を調べました。

産熱速度は、単位時間・単位体積あたりの産熱量であり、産熱はエネルギー代謝に伴って生じるため、産熱速度は単位体重あたりのエネルギー代謝速度に依存すると考えることができます。代謝速度のスケールリング則によると、代謝速度は体重の $3/4$ 乗（単位体重あたりだと $-1/4$ 乗）に比例することから、産熱速度は体重増加に従って常に減少することが予想されます。しかし、クロマグロの産熱速度を調べてみると、体温と水温の差ができ始める若魚期初期（尾叉長 20~35 cm）では、産熱速度は高値を示し、体重が増加しても減少していませんでした（図 2）。これまでの、尾叉長 40 cm 以上のクロマグロでは産熱速度は減少することが知られており、本研究でも、以降の体サイズでは同様に減少していたことから、どうやらこの時期に特有であるということがわかりました。次に疑問として湧き上がってくるのは、高く保持された産熱速度は、若魚期における体温形成に寄与するのか、ということです。

体温と水温の差は、理論的には、産熱速度と全身熱交換係数の比によって定まります。そこで、若魚期初期の産熱速度が体温と水温の差にどの程度寄与するのかを計算してみました。その結果、産熱速度が高く保持されたまま、全身熱交換係数が小さくなる（熱保持能力が向上する）ことが、体温と水温の差の増加に重要であると考えられました（図 2）。

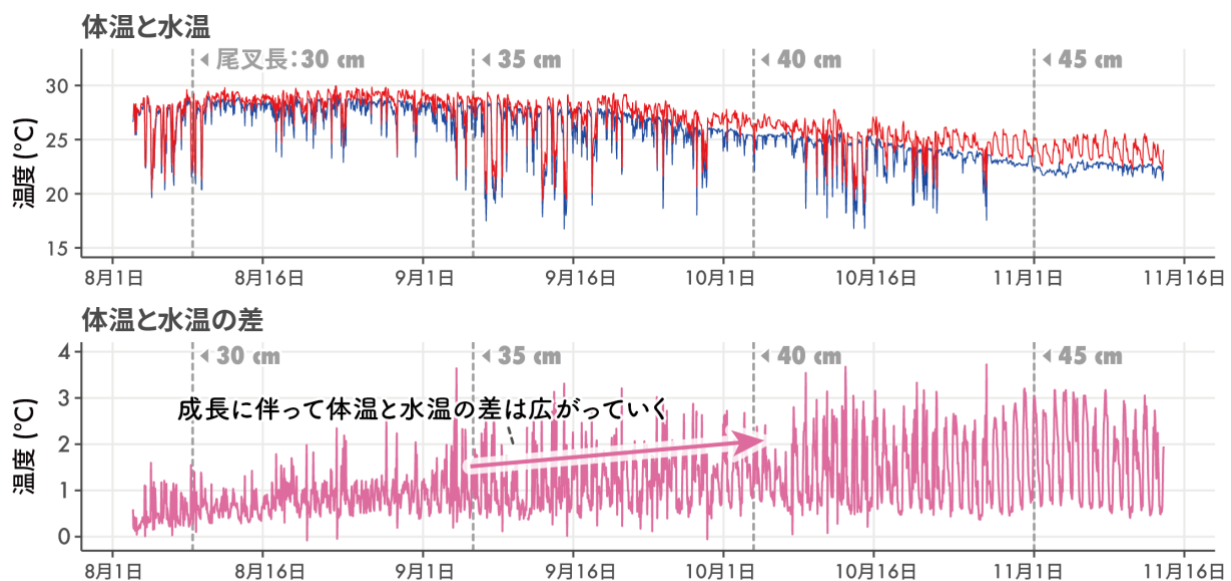


図 1. （上）クロマグロより得られた体温（赤実線）と水温（青実線）の時系列データと、（下）体温と水温の差の時系列

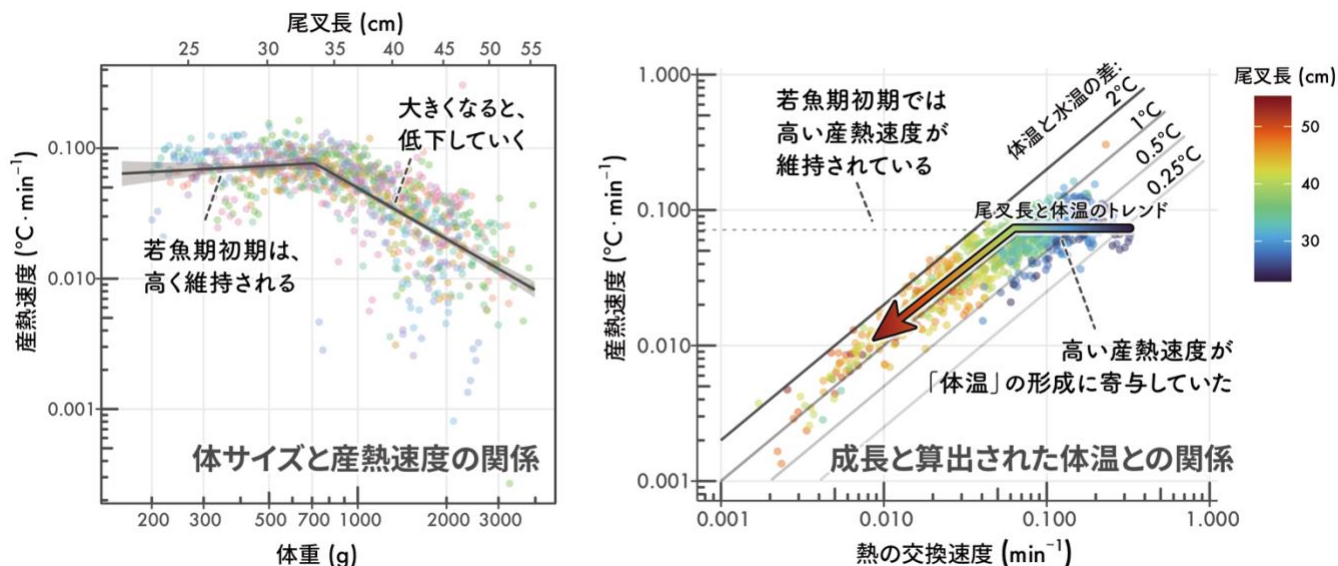


図 2. 体重と産熱速度の関係（左）と産熱速度と全熱交換係数から計算した体温と体サイズの関係（右）。

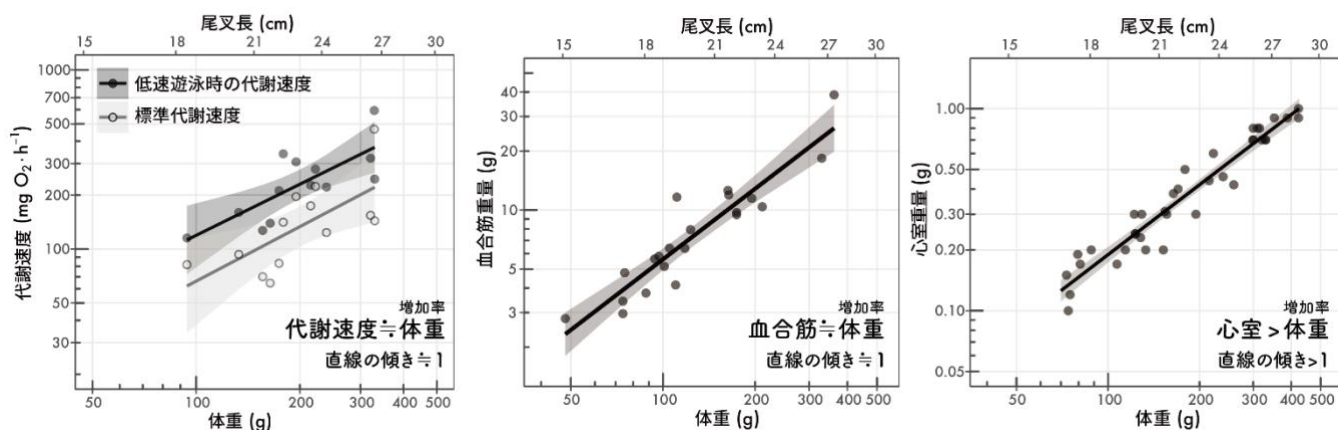


図 3. 代謝速度（左）、血合筋重量（中央）、心室重量（右）と体重の関係（両対数）。いずれも直線の傾き（スケーリング指数）が 1 以上なので、体重と正比例に近い関係にあった。

ただ、熱収支モデルはかなり単純化したモデルなので、個人的には産熱速度や全身熱交換係数は、過信できない指標でもあったと思っていました。そこで、もう少し根拠が欲しかったので、遊泳実験による代謝速度計測と、血合筋および心室重量の測定を行い、これらの生理形質のアロメトリー関係も若魚期初期（尾叉長 20～30 cm）で調べてみました。すると、これらの形質の体重に対する割合も減少しないことがわかりました（図 3）。どうやら若魚期初期においては産熱能力が高く保持されるのは間違いではないようです。

クロマグロで若魚期初期に代謝産熱が高く保持される理由については、明確ではないものの、クロマグロの初期生態と密接に関係していると考えられます。クロマグロは発生から半年間までの成長がとても速く、春～初夏に生まれた個体だと冬までに尾叉長 40 cm にまで成長します（図 4）。餌が十分であれば、代謝速度が高いほど成長は速くなるとされるので、クロマグロの高成長は高い代謝が基盤にあると考えられます。特に、魚類では、初期生活史において代謝速度のスケーリング指数（アロメトリー式の指数部分）が高くなること

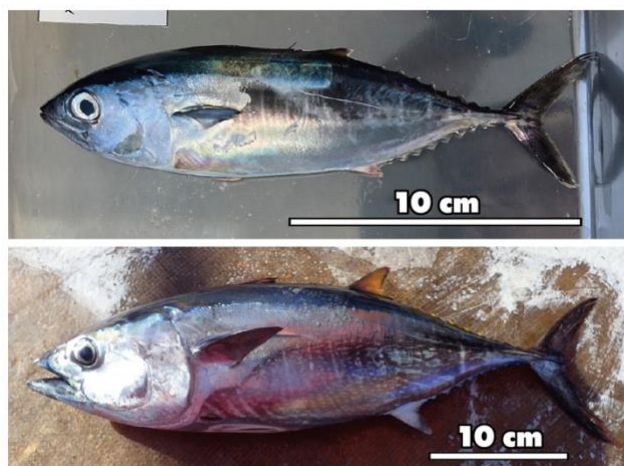


図 4. 8 月に採集されたクロマグロ当歳魚（上）と 12 月に採集されたクロマグロ当歳魚（下）。4 ヶ月で 20 cm 以上大きくなる。

指摘されており、これは、初期生活史では高成長の個体が生残しやすいことに由来しているのではないかと思います。クロマグロも最初の冬までの成長が生残に強く影響するとされることから、この議論と

もよく一致しています。また、クロマグロはいわゆる温帯マグロであり、クロマグロは体温を獲得するまでは、低水温に弱いとされています。そのため、冬に備えるためにも代謝産熱を高く保持し、速く成長する必要があるのかもしれません。

文献情報

Abe T.K., Fuke M., Fujioka K., Noda T., Irino H., Kitadani Y., Fukuda H., Svendsen M.B.S., Steffensen J.F., Kitagawa T. (2025). Juvenile-specific high heat production contributes to the initial step of endothermic development in Pacific bluefin tuna. *Frontiers in Physiology* 16:1515043. doi: 10.3389/fphys.2025.1512043

供試魚が凍った海氷調査

浅井 咲樹（東京海洋大学）

人生 2 回目の南極昭和基地に滞在して、半年ほどが経ちました。今回は魚チームの越冬隊員として第 66 次南極地域観測隊に参加しています。6 年ぶりの南極は何も変わらず、メインフィールドとなる北の浦も変わらず真っ白な海氷が広がっていました。

昭和基地では、海氷下に生息する魚類の音響テレメトリー調査をしています。魚チームとしては 4 回目の参加となり、夏期間のデータや調査のノウハウは大分蓄積されてきました。一方で越冬期間の観測はチーム初となるため、ほとんど手探り状態でのスタートとなりました。

海氷調査では、スノーモービルか雪上車で海氷に繰り出し、まずその日の拠点を決めて海氷に観測用の穴あけをします。この時運が悪いと、3m 以上の厚い多年氷帯にぶつかってしまうため、過去の情報などを参考に海氷が厚すぎない大体のポイントを決めています。穴が開いたらテントを張り、観測拠点の完成です。拠点完成後は、海氷下への受信機設置や釣り、供試魚の発信器装着、海洋観測などに移ります。



海氷に設置した観測テント（撮影者：JARE66 浅井咲樹）

最初の頃はテント無しで釣りをしていたのですが、釣りあげた魚の目が一瞬で凍り付いて真っ白に。その後、身体もみるみる凍っていくのを見た瞬間、「あ、これやばい・・・手術とか無理じゃね？」と本気で思いました。マイナス 20℃の環境でもテントがあるのと無いのとでは雲泥の差で、中に入った瞬間、風が無いだけで暖かいと感じます。

それでもテント内は長時間魚を生かしておくには難しい気温で、釣りあげてすぐは凍らずとも魚を入れたバケツの海水が表面からみるみる凍っていきます。一緒に越冬している相方が、何とか水温を上げようと湯たんぽを突っ込んでも維持するのは難しい状況でした。結局、釣りあげた瞬間に手術をして、少しだけ術後の様子を見た後すみやかに放流するのがベストだろうとなりました。

ロガーやピンガーを取り付ける際は、供試個体になるべくストレスをかけないようにと試行錯誤しますが、南極の冬の環境は想像以上でした。魚が低温で弱る問題も深刻ですが、当たり前のように人間側にも問題が多々発生します。発信器装着で手術する際はどうしても防寒手袋をはめたままでは出来ず、インナー手袋の上に薄手のゴム手袋で作業します。思うように動かない手で縫合するのは、倍以上の時間がかかってしまいました。防寒手袋をはめても出来る縫合方法があれば、どなたか教えて頂きたいです。

今は極夜期間で野外活動がストップしていますが、極夜が明ける 7 月中旬から海氷作業を再開します。まずは、5 月に設置した受信機を回収してデータを見てみる予定ですが、完全に凍り付いた穴からどうやって回収するのかが次の課題となりそうです。貴重な機会ですので、面白いデータを国内に持ち帰りたいものです。



海氷上からの超音波受信機設置（撮影者：JARE66 福原達雄）

2 度目の南極、抜けないドリル

高松 敦（東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科）

こんにちは。東京海洋大学大学院博士 3 年の高松敦です。2024 年 12 月から 2025 年 2 月にかけて、第 66 次南極地域観測隊に同行者として参加し、日本の南極観測の拠点である昭和基地で調査を行いました。

私は昨年 の 65 次隊にも参加しており、南極の海に生息するノトセニア亜目の魚を対象に、夏季（南半球では 12～1 月）における超音波バイオテレメトリーを用いた生態調査を実施しました。そして今年の大きな目的は、太陽が昇らなくなる極夜期間を含む冬季の調査です。2 年連続での参加ということで、ある程度南極の環境には慣れたつもりでしたが、今年も南極の自然に翻弄される日々が続きました。

調査は、昨年同様に昭和基地の沖合の北の浦で実施しました。しかし今年は例年より融雪が進んでおり、昨年利用した調査ポイントまでの道が水溜りのようになっていて踏み抜く危険性が高いため、止むを得ず調査地を変更することになりました。

また、北の浦は海面が凍結した厚い海氷で覆われているため、海中に調査機材を設置するには氷に穴を開ける必要があります。昨年までは氷を円形に削って穴を開ける方式のドリルを使用していました。今回は海氷を円柱状にくり抜いたアイスコアをサンプリングするため、円筒形の「コアドリル」を導入しました。日本国内でも厚さ 50cm ほどの氷を使って事前に穴を開ける練習をしていましたが、現地の海氷は約 3m もあり、真っ直ぐに穴を開けるだけでも一苦労でした。加えて氷との接触面積が広いため摩擦が大きく、ドリル全体に圧力がかかり、掘り進めている途中でドリルが完全に動かなくなってしまいました。

私たちは夕食後に現場に戻り、他分野の研究者たちと知恵を出し合って、熱した塩水を流し込んだり、ドリルの周囲をスコップで掘り進めたり、投げ込みヒーターを使ったりとさまざまな方法を試しましたが、ドリルはびくともしませんでした。ドリルが使用できなくなると今後の予定に大きく影響するため、その日は心配で寝られませんでした。翌日、湯を沸かした鍋からホースを伸ばし、先端から蒸気を噴出する「スチームドリル」で凍りついた部分を溶かす作戦に変更し、筋肉自慢の隊員 2 人の協力を受けることで一日がかりでドリルを引き抜くことができました。早く穴を開けたいと焦ってドリルを押し込むように過剰な力を加えたことが原因だったようで、力任せでは通用しないということを痛感しました。

私は夏隊の同行者としての参加のため 2 月に帰国しましたが、一緒に調査を行った 2 人の先輩方は「越冬隊」として来年 2 月まで基地に残り、厳しい冬期間の調査を継続しています。私が昭和基地を離れるとき、帰るのは自分のはずなのに、「置いていかないでほしい」と感じました。1 年以上前から準備を進め、数々の困難に共に立ち向かったお二人の存在は大きく心強いものでした。想像もつかない過酷な環境で今も調査を続けているお二人の安全とご健闘を祈っています。



コアドリルで海氷に穴を開ける



スチームドリルでコアドリルの周りを溶かす

南極での魚釣り

黒田 真央（九州大学応用力学研究所）

私に第 66 次南極観測隊への参加の打診があったのは、2024 年 1 月のことであった。日頃研究で長期航海をしているため(打診を受けたのも、丁度 1 ヶ月間の航海から戻った時だった)、夏隊(3 ヶ月)で南極に行くのは余裕だと 2 つ返事で参加を決めたのだが、よくよく話を聞いてみると越冬隊(15 ヶ月)だったので驚いた。参加することになったのは、海氷下の魚の行動について研究を行っている、通称「お魚チーム」。同じチームに居るのは、バイオロギング・テレメトリー研究のスペシャリストたちだった。私は普段、海洋プラスチックの研究をしており、魚のような生体を扱う研究や、音響系の研究には全く無縁であった。

魚チームとして南極での調査を行うにあたり、5 月頃には国内での本格的なトレーニングが始まった。「魚チーム」というだけあって、研究には大量の魚体サンプルが必要になる。そのため、調査のメインとなるのは「釣り」であり、最初に覚えるべき調査手法であった。私が釣り人であれば喜んだであろうが、残念ながら釣りの経験は片手で数えるほどしかなかった。トレーニングでは、釣り船に乗り、同チームの先生方から釣り糸の付け方や、魚の釣り方を教えていただいた。船での釣りは、「思ったより簡単に釣れる」という印象だった。釣れるポイントに連れていってもらっているのだから、当たり前ではあるが。南極経験者たちは、皆口を揃えて「南極の魚は入れ食いだから、誰でも簡単に釣れるよ」と言っていたので、これならば南極でも釣れるだろうと楽観視していた。

ところが、いざ南極について釣りをしてみると、魚が全く釣れない。そして寒い。気温は 0℃近く、風も吹く中で、魚が釣れるまでじっと待つからである。これが大変堪える。体がどんどん冷えていくので、適宜行動食を食べ、体を動かし、何とか寒さを凌ぎながら魚が釣れるまで耐える。このような寒さの中で数時間粘っても、漁獲が 0 匹などという日もざらのようにあった。とある日は、同チーム隊員が 7 匹のショウワギスを釣り上げたのに対し、自分の釣果は 1 匹。胸中穏やかでなかったのを覚えている。元々別分野の研究者である自分にとって、魚を釣ることがチームへの一番の貢献だと考えていたが、残念ながらビギナーズラックのような奇跡は起きなかった。お魚チームの研究は、魚が釣れなければ始まらない。だが、魚がその日釣れるかどうかは、釣ってみなければ分からない。生体を扱う研究の大変さを思い知った。

魚が釣れない、とは言ったものの、我々は夏期間(12-2 月)に 100 匹程の魚体サンプルを得ることが出来た。しかし前次隊では、夏期間に 500 匹程の魚サンプルを得ている。今隊では他観測を多く行ったことや、調査時期や場所が違うことを考慮しても、あまりに漁獲量が違いすぎる。海底地形なのか、水温なのか、水深なのか、餌の量なのか…、何となく「こうではないか」というぼんやりとした予想は付くものの、確信には至っていない。これは研究者として非常にもやっとする。なんとか南極にいる間に、この謎を解明し、いつかの釣り船のように釣れるポイントへ向かいたい。そして未来の南極観測隊員へ「南極の魚は入れ食いだから、誰でも簡単に釣れるよ、ただし釣れる条件はあるけどね」と言いたい。

私は現在、南極昭和基地で越冬真っ最中である。夏の間に得たデータと釣り技術で、何とかチームの研究に貢献したいものだ。



夏期間の釣りの様子（撮影者：JARE66 高松敦）

お知らせ

BiP を使ったバイオリギング解析に挑戦~その6

- ・ **summary_filter_csv** : データ概要を表示してデータ抽出
- ・ **dive_parameter** : 潜水データの表示と行動解析

渡辺伸一（リトルレオナルド社／麻布大学獣医学部）

本記事は、「BiP を使ったバイオリギング解析に挑戦」シリーズの第6回です。前回¹は、加速度データから ODBA および VeDBA という活動量の指標を計算し、動的加速度を可視化するコード（[activity_plotter](#)）について解説しました。

今回は①**summary_filter_csv** : CSV ファイルの概要を表示してデータを抽出と②**dive_parameter_analysis** : 肺呼吸動物の潜水データから潜水パラメータを抽出する2つのコードを紹介します。

いずれも Anaconda 環境で実行する Python コードで、BiP サイトで公開されているサンプルデータを使って試すことができます。Anaconda 環境の構築と基本的な使い方については [4 回目](#)をご参照ください。

① summary_filter_csv

[1 回目](#)で紹介したプログラム（[filter_csv](#)）では BiP からダウンロードした CSV データから GPS に関する項目のみを抽出して保存することができました。今回紹介するコードはデータの概要を表示して、対話的に必要な期間・センサー情報を指定して、CSV ファイルを作成することができます。本コードはデータ整形の前処理として有用で、今後の解析作業の効率化にもつながります。

実行手順

サンプルデータ（[data.csv](#)）^{*1} とプログラム（[summary_filter_csv.py](#)）をダウンロードして、それらを保存したディレクトリに移動して、以下のコマンドを実行します。

^{*1}BiP に公開されている オオミズナギドリのデータ（Katsufumi Sato, AORI, University of Tokyo）。GPS 情報のほか三軸加速度データが含まれる。

```
python summary_filter_csv.py
```

ファイル名（**data**）を入力すると以下のようにデータ概要（記録開始・終了日時と各センサーのデータ数が表示されます）。

```
Anaconda Prompt
=== データの概要 ===
記録開始日時: 2021-08-24 19:13:27+00:00
記録終了日時: NaT
ファイルサイズ: 30.91 MB
センサー情報 (データ数):
  latitude (610)
  longitude (610)
  acceleration_longitudinal (488400)
  acceleration_lateral (488400)
  acceleration_dorso_ventral (488400)
  pressure (19536)
  temperature (19536)
  height_above_mean_sea_level (610)
  ground_speed (610)
  number_of_satellites (610)
一部のデータを抽出しますか? (y/n): y
開始日時を UTC 時刻で入力してください (形式: YYYY-MM-DD HH:MM:SS): 2021-08-25 00:00
終了日時を UTC 時刻で入力してください (形式: YYYY-MM-DD HH:MM:SS): 2021-08-25 00:30
センサー情報を入力してください (カンマ区切り, 例: latitude, longitude, height_above_mean_sea_level): latitude, longitude, height_above_mean_sea_level
保存するファイル名を指定してください (拡張子.csvは不要): filtered_data
データが 'filtered_data.csv' に保存されました。

=== フィルタリングされたデータの概要 ===
記録開始日時: 2021-08-25 00:06:33+00:00
記録終了日時: 2021-08-25 00:29:32+00:00
センサー情報:
  latitude (47)
  longitude (47)
  height_above_mean_sea_level (47)
```

つづいて、一部のデータを抽出する場合には“y”を終了する場合は“n”と入力します。

表示されたデータ概要を参考に、必要なデータの“開始日時”（**2021-08-25 00:00**），“終了日時”（**2021-08-25 00:30**）を UTC 時刻で入力し、つづいて必要なセンサー情報（**latitude, longitude, height_above_mean_sea_level**）を入力します。保存するファイル名（**filtered_data**）を入力すると、同じフォルダ内に抽出したデータが CSV ファイル（**filtered_data.csv**）が保存され、データ概要も再度表示されます。

② dive_parameter_analysis

[2 回目](#)で紹介したプログラム（[plot_DT](#)）では深度と水温の時系列グラフを生成してデータの全体像を視覚化しました。これにより、データの傾向や異常値を事前に確認することが可能です。一方、本コードは、海棲哺乳類やウミガメのような肺呼吸動物の深度データをもとに、個々の潜水に関する情報（潜水パラメータ）を自動で抽出することができ、潜水行動を定量的に評価するうえで有効なツールです。

本コードでは、指定した深度の閾値を超えるデータポイントを潜水開始とみなし、深度の増減パターンを分析して潜水底部の開始・終了を特定します。その後、

深度が再び閾値未満になった時点を潜水終了とします。これに基づき、以下の**潜水パラメーター**を計算します。また、最小潜水時間を設定することで短時間の潜水を除外します。これを繰り返してデータ全体を処理します。これにより、データ解析者は潜水データを効率的に解析し、必要な行動パラメーターや統計情報を容易に取得できます。

潜水パラメーター

- dive_id: 各潜水の通し番号
- dive_start: 潜水開始日時 (UTC 時刻)
- dive_end: 潜水終了日時 (UTC 時刻)
- dive_duration: 潜水時間 (分)
- max_depth: 潜水中の最大潜水深度 (m)
- bottom_start: 潜水底部の開始時刻 (UTC 時刻)
- bottom_end: 潜水底部の終了時刻 (UTC 時刻)
- bottom_dur: 潜水底部時間 (分)
- number_bottom_ascents: 潜水底部での上昇回数

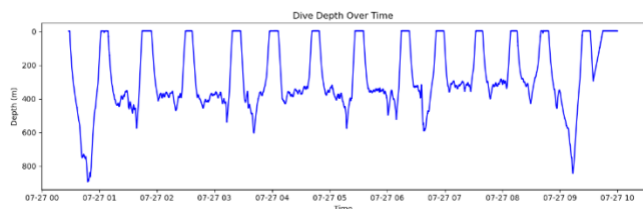
実行方法

サンプルデータ ([data_dt.csv](#))^{*2} とプログラム ([dive_parameter_analysis.py](#)) をダウンロードして、それらを保存したディレクトリに移動して、以下のコマンドを実行します。

^{*2}BiP に公開されている **マッコウクジラの潜水データ** (提供: Kagari Aoki, Teikyo University of Science) の一部を使用。depth (深度)、temperature (水温) が含まれる。

```
python dive_parameter_analysis.py
```

ファイル名 (**data_dt**) を入力すると深度の時系列図が表示され、フォルダ内に画像ファイル (depth_profile_plot.png) として保存されます。

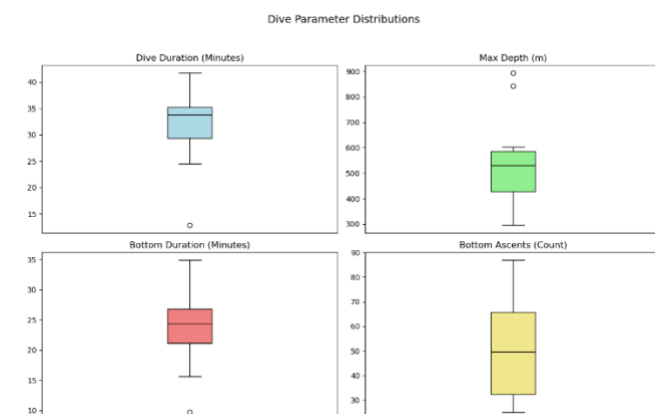


潜水開始・終了の閾値となる深度 (m) を入力し、潜水時間の最小値 (分) を入力します。ここでは、潜水開始・終了の閾値 (5 m)、潜水時間の最小値 (5 分) を入力しています。これらの閾値は対象種や使用するロガーに応じて適宜変更して使用してください。

潜水ごとに上記の潜水パラメーターを算出して、同じフォルダ内に CSV ファイル ([dive_parameters.csv](#)) が保存されます。

```
潜水データのファイル名を入力してください (.csv拡張子は省略可): data_dt
潜水開始・終了の閾値となる深度 (m) を入力してください: 5
潜水時間の最小値 (分) を入力してください: 5
潜水回数: 14
max_depth (最小): 294.5
max_depth (最大): 893.0
max_depth (平均): 537.3928571428571
max_depth (中央値): 531.0
max_depth (標準偏差): 168.27783557276624
dive_duration (最小): 12.833333333333334
dive_duration (最大): 41.7
dive_duration (平均): 32.021428571428565
dive_duration (中央値): 33.849999999999994
dive_duration (標準偏差): 7.173370235617323
bottom_dur (最小): 9.716666666666667
bottom_dur (最大): 34.95
bottom_dur (平均): 24.255952380952376
bottom_dur (中央値): 24.383333333333333
bottom_dur (標準偏差): 6.599124544187264
number_bottom_ascents (最小): 25
number_bottom_ascents (最大): 87
number_bottom_ascents (平均): 50.785714285714285
number_bottom_ascents (中央値): 49.5
number_bottom_ascents (標準偏差): 20.468281546103213
グラフを 'depth_profile_plot.png' および 'dive_parameters_boxplot.png' に保存しました。
```

さらに潜水パラメーターの統計量および箱髭図が表示され、フォルダ内に画像ファイル (dive_parameters_boxplot.png) として保存されます。



今回は、必要なデータを抽出するデータ整形と潜水行動の解析に焦点を当てた 2 つのコードを紹介しました。これらのツールを組み合わせることで、生データから意味のある情報を効率よく抽出することが可能になります。今後は、潜水や移動のパターンをより詳細に分析するための手法として、周波数解析 (ウェーブレット変換など) やクラスタリングを用いた行動分類の手法など、より高度なデータ解析にも触れていく予定です。

事務局からお知らせ

■昨年度の総会および ML でご案内した通り、夏（7 月を予定）から、会員情報の変更・確認や会費の振込・確認をオンラインで行える電子システムを導入いたします。現在、予定通り準備が進んでおり、まもなく会員の皆さまに電子システムのご案内ができる見込みです。会費納入および住所変更はシステム導入が完了するまで、今しばらくお待ちください。ご不便をおかけしますが、どうぞよろしくお願いいたします（事務局・名古屋大学生態学講座）

バイオロギング本のご案内

■絶版となる前には是非お求めください！ 出版社「京都通信社」の Web ページから購入できます（バイオロギング 1 は廃版となりました）。

<https://www.kyoto-info.com/kyoto/>



編集後記

■梅雨の時期になりましたが、雨がほとんど降らず 30 度を超える日が続いています。最近はバイオロギング研究があまりできていませんが、新しいバイオロギング研究を画策中です【Y.M.】

■急に気温も湿度も上がってきましたね。我が家の“なんちゃって家庭菜園”では、たった 4 日間の出張中にトマトが急成長しました。もちろん雑草も絶賛伸び放題… 季節の変わり目、皆さまどうぞお体ご自愛ください【T.N.】

■ひみつ探偵ヨシ・キリオをご覧いただきありがとうございます。連載を始めて 17 年が経ったことに、ただただびっくりしています。昨年の夏、ボールが飛んできたのでとっさに日傘で打ち返したら、壊れてしまいました。このような形で披露でき、きっと日傘も浮かべられることでしょう（ちなみに、気に入っていたので同じものを買いました）。それではこれからも、ヨシ・キリオと仲間たちをよろしくお願いいたします【S.K.】

