

令和 3 年 5 月 27 日現在

機関番号：13901

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2016～2020

課題番号：16H06541

研究課題名（和文）多次元バイオロギングによる鳥類・魚類の長距離ナビゲーション行動の包括的理解

研究課題名（英文）Long-distance navigation of birds and fish using bio-logging devices

研究代表者

依田 憲（Yoda, Ken）

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：10378606

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 122,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、海鳥とサケ科魚類を対象として、新しいバイオロギングデバイスの開発、ナビゲーション情報の収集、統計モデルと機械学習モデルを用いたナビゲーション経路解析等を行った。その結果、AIを搭載した新しいデバイスによる新規行動の発見や、移動情報ビッグデータを用いた解析による新手法の開発などに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界で初めて人工知能をバイオロギングデバイスに搭載したことにより、限られたバッテリーを効果的に用いる知的な計測が可能になった。今や世界的に用いられるようになった動物観測手法であるバイオロギングの計測能力の底上げに大きく貢献した。また、構築した統計モデルや機械学習モデルによって、野生動物の移動予測が可能になったため、生態系を考慮した風力発電設置計画などへの適用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have developed state-of-the-art animal-borne loggers (e.g., AI on board video-loggers) and collected behavioral big data of seabirds and fish in the field to reveal their migration behavior and construct new statistical and machine learning models.

研究分野：動物行動学

キーワード：バイオロギング 海鳥類 サケ科魚類 野外生理生態 ナビゲーション

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

移ろい行く季節に合わせて姿を現す渡り鳥やサケ。むかしから人々は動物が織りなす大移動の「末端」を見て、いったいどこへ行くのか想像を巡らせてきたが、野生動物のナビゲーションの「全貌」を捉える技術は最近まで無かった。例えば、鳥類のナビゲーション研究の多くは「渡り衝動」をもつ一部の小型鳥類に集中しており、小さなケージに入れて鳥類の用いる手がかりを推測していた。しかし、実際の野生動物は、複数の情報を状況に応じて入手し、複雑に変化する環境に対応しながら、長距離ナビゲーションを行っていると考えられる。

人間の追跡限界による移動研究の限界を打破したのが、動物に小型の記録装置を装着するバイオリギング技術である。本研究の代表者と分担者は、動物装着型の小型ロガーを用いることによって、高い機動力をもつ渡り鳥やサケ科魚類の行動と内部状態の記録を行ってきた。また、世界的にも Movement Ecology (移動生態学) 誌や Animal Biotelemetry (動物追跡) 誌の創刊など、バイオリギングを用いたナビゲーション研究が盛り上がりつつある。しかし、生物ナビゲーションはマルチモーダルで行われるため、それを包括的に捉えるためには、これまでの少数パラメータ計測と単純な解析では不十分だった。

2. 研究の目的

そこで本研究では、新学術領域「生物ナビゲーションのシステム科学」の A01 制御工学班、A02 データ科学班、B02 神経科学班との連携を通して、多次元データ計測する次世代ロガーの開発と、行動ビッグデータを集めて情報科学的な解析を行い、野生動物のナビゲーションを理解することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 次世代バイオリギングシステム開発：バイオリギング分野で世界トップレベルの装置を開発する。行動の長期計測を可能にするため、重要な行動フェーズに入ったときのみ駆動するイベント駆動型ロガーを A01 橋本班と A02 前川班と開発する。バイオリギングの基盤技術の高度化として、A01 妻木班と協力し、遠隔的ロガー回収装置の開発を行う。また、B02 高橋班と連携し、鳥類とサケ科魚類に対して神経活動ロガーの搭載手法の開発を進める。

(2) 野外調査研究：潜水性・飛翔性鳥類、サケ科魚類に対してナビゲーション実験を行い、大規模データを得ることによって、AI 駆動型ナビゲーション解析に繋げる。(2-1) 短中距離ナビゲーションの解明：鳥類では繁殖期に繰り返される 100~1000km の巣と海洋の往復移動、サケ科魚類では母川回帰する際の沿岸から母川への移動を対象とし、景観的特徴に乏しい海洋をどのようにして移動するのか、多次元データ計測を活用して明らかにする。(2-2) 長距離ナビゲーションの解明：鳥類では繁殖期の後の渡り、サケ科魚類ではベーリング海で索餌回遊した後の母川回帰等を対象とする。(2-3) 環境介入実験：ロガーを搭載した個体を人為的に運搬し、帰巢や母川回帰経路を得る。

(3) 解析・数理モデル作成：A02 玉木班・前川班・竹内班と共同し、深層学習等を用いて、画像や移動経路から半自動的に行動分類するシステムを作成する。また、ナビゲーションを数理モデルとして表現し、環境・内的状態から情報処理を経て移動経路として表出する過程を理解する。さらに、モデルで抽象した結果を B01 飛龍班や B02 神経科学班と比較することにより、ナビゲーションの共通性と多様性、そしてナビゲーションに作用する環境的制約や進化的制約を発見し、野生動物のナビゲーションを理解する。

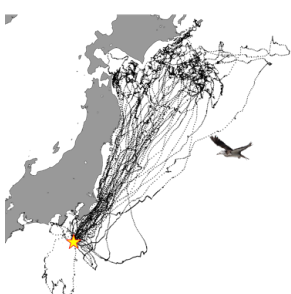
4. 研究成果

(1) 次世代バイオリギングシステム開発

■A02 前川班らと連携し、多次元計測 (GPS、ビデオカメラ、深度、照度、加速度等)・イベント駆動機構を備えたロギングデバイス「ログボット」を開発した。動物が採餌モードに入った事を消費電力の低い加速度センサなどから検知するイベント駆動機構を機械学習をもとに実現し、限られた映像記録時間の中で狙ったシーンを逃さずに撮影することが可能になった (Korpela et al. Comm Biol 2020; 水谷ら 日本鳥学会誌 2021)。

御蔵島のオオミズナギドリから

得られた GPS 移動経路

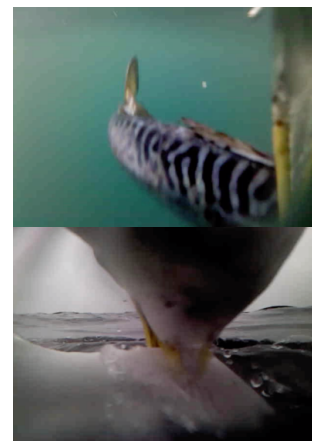


■A01 妻木班と連携し、ロギングデバイスの遠隔回収システムを完成させた (Abe et al. Adv Robotics 2021)。

■実験室のマウスやラットに限られていた神経活動計測を野生動物に適用するため、B02 高橋班と共同して海鳥類とサケ科魚類の頭部への電極留置技術を開発し、ニジマス終脳に頭方位細胞が存在することを明らかにした (Takahashi et al. Anim Biotel 2021)。

(2) 野外調査研究

■オオミズナギドリ、ウミネコ、キバナウ、ペンギン、カツオド



人工知能搭載ロガー (ログボット) によって記録された、ウミネコの採餌行動 (上) と、労働寄生 (下)

り合計 1000 羽以上に対してバイオロギング実験を行い、行動ビッグデータを得た。■移動に用いている感覚や手がかりを調べるため、GPS ロガーを装着したペンギンを人為的に移動して放鳥する環境介入実験を行った。■公募班 B01 高橋班と行った国際共同研究により、ミズナギドリがタスマニアと南極を往復することを発見した。■Y 字水路を用いてサクラマスにおける雌の雄への選好性を調べた結果、サクラマス雌が、大型で婚姻色の発現した降海型ではなく、小型で婚姻色の表れない残留型を匂いによって選好していることが明らかとなった。また、バイオロギング手法と遺伝学的手法を組み合わせることでマスノスケの繁殖行動を調べた結果、マスノスケが繁殖場において免疫に関与する MHC 領域が適度に異なる異性を選好していることを明らかにした。■サケのベーリング海から日本へのルートを探るため、ロガーを装着して放流した。

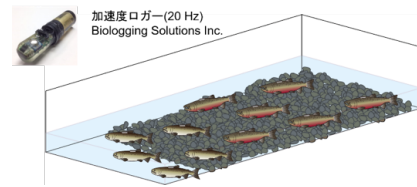
(3) データ解析および数理モデル作成

①データ駆動型モデル (機械学習に基づくモデル化) : ■A02 玉木班・竹内班と連携し、逆強化学習を用いた海鳥の移動経路予測手法を開発した。大量の移動経路を学習データとして、環境の好適性もしくは短期報酬を推定し、それをもとにして経路予測を行った (Hirakawa et al. *Ecosphere* 2018)。■A02 前川班と共同で、多次元計測されたデータから得られたモード (採餌と緊張など) の共起ルールを高速に発見する手法を開発した (Tian et al. *Anim Biotel*, in press)。■A02 前川班、B02 高橋班・木村班・小川班、公募班 B01 小池班・宮竹班のグループで、深層学習を用いた移動比較分析を行った。海鳥に関しては、これまでに知られていなかった雌雄間の経路差を発見し、性差が移動に及ぼす影響が明らかとなった (Maekawa et al. *Nat Comm* 2020)。■A01 橋本班と移動経路の特徴抽出と path points の推定を行い (Ilya et al. *Adv Robotics* 2019)、A02 竹内班とテキストマイニング手法を応用した行動連鎖解析を行った (Sakuma et al. *Adv Robotics* 2019)。他にも、B02 木村班と共同で、機械学習を用いた経路分類解析を行った (Yamazaki et al. *Front Neurosci* 2019)。

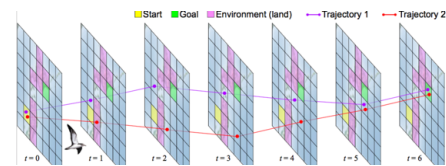
②知識駆動型モデル (生物学者の知識に基づく仮説をモデル化) : ■「逆問題・システム同定 (入出力情報から内部システムを推定する)」の考え方に基づき、GPS 経路から、動物が受ける風向・風速と、動物の向き (動物の認知に相当) を同時推定する統計手法を開発した。海鳥は目的地からあえてズレた方角を向くことで風に流される効果を相殺し、直線的に目的地に向かえることが明らかになった (Goto et al. *Sci Adv* 2017)。本手法を B01 飛龍班のコウモリに適用し、高い汎用性を確認した。■アホウドリや競技ヨットが追風下でジグザグに移動することに注目して飛行力学モデルを作成したところ、小スケールでの速度性能 (風環境下でどちらを向くとどの程度速く移動できるか) を表現する speed-performance function が両者で酷似しており、さらにそれをもとに数値シミュレーションを行ったところ、大スケールでのジグザグ移動が最速となることがわかった。

③生態学の発展に繋がる解析 : ■心電図データから心拍変動を計算することで、ストレスに対する海鳥の自律神経系活動の推定を行う手法を開発した (Muller et al. *J Exp Biol* 2018; Muller et al. *Comp Biochem Physiol* 2017)。■当初予期していなかったが、海上以外は飛翔しないと考えられていたオオミズナギドリの幼鳥が山脈を越えることを発見し、成鳥とのルート比較から長距離ナビゲーションのルート獲得過程を明らかにした (Yoda et al. *Curr Biol* 2017)。また、年によりルートが異なることを示した (Yoda et al. *Ecology* 2021)。■オオミズナギドリのナビゲーションにおける時空間的制約を明らかにした (Shiomi et al. *Behaviour* 2019)。■南米のマゼランペンギンの越冬回遊の雌雄差がストランディングの雌雄差に関係していることを示し、保全における移動行動の重要性を示した (Yamamoto et al. *Curr Biol* 2019)。また、ビデオロガーを装着した結果、基礎的な採餌生態も明らかになった (Gomez-Laich et al. 2018; Del Cano et al. 2021)。■ペンギン類に装着したビデオロガーの解析を公募班 B01 高橋と統一的に行い、ペンギン 4 種がクラゲを捕食することを示した (Thiebot et al. *Front Ecol Environ* 2017)。■アデリーペンギンの放鳥実験 (環境介入実験) の結果から、帰巣能力と帰巣時の経路選択について報告した (Shiomi et al. *Ardea* 2019)。

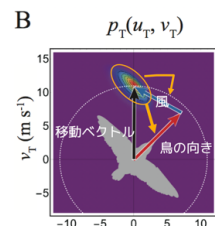
また、研究で得られた知見を踏まえて、ナビゲーション研究に関する総説や著書を発表した (Yoda, *Adv Robotics* 2019) 他、雑誌の長期連載などを行い、成果を社会に還元した。



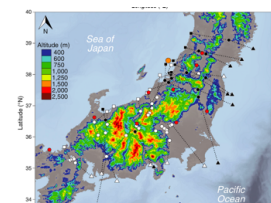
バイオロギング手法と遺伝学的手法を組み合わせることで調べたマスノスケの繁殖行動



機械学習の一種、逆強化学習を用いて、バイオロギング移動経路から環境の好適性を推定する



風がふくと移動体の対地ベクトルは進行方向に対して非対称にブレることを利用して、GPS データから、鳥の向きと受けている風を同時推定する



日本海で巣立ったオオミズナギドリの幼鳥は、日本列島を横断して南下する

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 22件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Gomez-Laich Agustina, Yoda Ken, Quintana Flavio	4. 巻 41
2. 論文標題 Insights into the Foraging Behavior of Magellanic Penguins (<i>Spheniscus magellanicus</i>)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Waterbirds	6. 最初と最後の頁 332 ~ 336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1675/063.041.0315	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hirakawa Tsubasa, Yamashita Takayoshi, Tamaki Toru, Fujiyoshi Hironobu, Umezu Yuta, Takeuchi Ichiro, Matsumoto Sakiko, Yoda Ken	4. 巻 9
2. 論文標題 Can AI predict animal movements? Filling gaps in animal trajectories using inverse reinforcement learning	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Ecosphere	6. 最初と最後の頁 e02447 ~ e02447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecs2.2447	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Muller Martina S., Vyssotski Alexei L., Yamamoto Maki, Yoda Ken	4. 巻 221
2. 論文標題 Individual differences in heart rate reveal a broad range of autonomic phenotypes in a free-living seabird population	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Experimental Biology	6. 最初と最後の頁 jeb182758
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1242/jeb.182758	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Yamamoto Takashi, Yoda Ken, Blanco Gabriela S., Quintana Flavio	4. 巻 29
2. 論文標題 Female-biased stranding in Magellanic penguins	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 R12 ~ R13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2018.11.023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Yoda Ken	4. 巻 33
2. 論文標題 Advances in bio-logging techniques and their application to study navigation in wild seabirds	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 108 ~ 117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2018.1553686	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ardakani Ilya, Hashimoto Koichi, Yoda Ken	4. 巻 33
2. 論文標題 Context-based semantical vector representations for animal trajectories	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 118 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2019.1573704	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Yoda, T. Shiozaki, M. Shirai, S. Matsumoto, M. Yamamoto	4. 巻 48
2. 論文標題 Preparation for flight: pre-fledging exercise time is correlated with growth and fledging age in burrow-nesting seabirds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Avian Biology	6. 最初と最後の頁 881-886
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jav.01186	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 M. Muller, A. L. Vyssotski, M. Yamamoto, K. Yoda	4. 巻 212
2. 論文標題 Heart rate variability reveals that a decrease in parasympathetic ('rest-and-digest ') activity dominates autonomic stress responses in a free-living seabird	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology	6. 最初と最後の頁 117-126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbpa.2017.07.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Goto, K. Yoda, K. Sato	4. 巻 3
2. 論文標題 Asymmetry hidden in birds' tracks reveals wind, heading, and orientation ability over the ocean	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 e1700097
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.1700097	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 J.-B. Thiebot, J. P. Y. Arnould, A. Gomez-Laich, K. Ito, A. Kato, T. Mattern, H. Mitamura, T. Noda, T. Poupart, F. Quintana, T. Raclot, Y. Ropert-Coudert, J. E. Sala, P. J. Seddon, G. J. Sutton, K. Yoda, A. Takahashi	4. 巻 15
2. 論文標題 Jellyfish and other gelata as food to four penguin species - insights from predator-borne videos	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Frontiers in Ecology and the Environment	6. 最初と最後の頁 437-441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/fee.1529	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 K. Yoda, T. Yamamoto, H. Suzuki, S. Matsumoto, M. Muller, M. Yamamoto	4. 巻 27
2. 論文標題 Compass orientation drives naive pelagic seabirds to cross mountain ranges	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Current Biology	6. 最初と最後の頁 R1152-1153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cub.2017.09.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 依田憲	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 バイオロギングによる行動学：海洋動物の長距離ナビゲーションを例として	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Animal Psychology	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2502/janip.68.1.3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shiomi Kozue, Sato Katsufumi, Katsumata Nobuhiro, Yoda Ken	4. 巻 156
2. 論文標題 Temporal and spatial determinants of route selection in homing seabirds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Behaviour	6. 最初と最後の頁 1165 ~ 1183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1163/1568539X-00003560	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yamazaki S J., Ohara K, Ito K, Kokubun N, Kitanishi T, Takaichi D, Yamada Y, Ikejiri Y, Hiramatsu F, Fujita K, Tanimoto Y, Yamazoe-Umemoto A, Hashimoto K, Sato K, Yoda K, Takahashi A, Ishikawa Y, Kamikouchi A, Hiryu S, Maekawa T, Kimura K D.	4. 巻 13
2. 論文標題 STEFTR: A Hybrid Versatile Method for State Estimation and Feature Extraction From the Trajectory of Animal Behavior	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnins.2019.00626	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Shiomi Kozue, Kokubun Nobuo, Shimabukuro Ui, Takahashi Akinori	4. 巻 107
2. 論文標題 Homing Ability of Adelie Penguins Investigated with Displacement Experiments and Bio-Logging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ardea	6. 最初と最後の頁 333 ~ 333
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5253/arde.v107i3.a12	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maekawa Takuya, Ohara Kazuya, Zhang Yizhe, Fukutomi Matasaburo, Matsumoto Sakiko, Matsumura Kentarou, Shidara Hisashi, Yamazaki Shuhei J., Fujisawa Ryusuke, Ide Kaoru, Nagaya Naohisa, Yamazaki Koji, Koike Shinsuke, Miyatake Takahisa, Kimura Koutarou D., Ogawa Hiroto, Takahashi Susumu, Yoda Ken	4. 巻 11
2. 論文標題 Deep learning-assisted comparative analysis of animal trajectories with DeepHL	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5316
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-19105-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Korpela Joseph, Suzuki Hirokazu, Matsumoto Sakiko, Mizutani Yuichi, Samejima Masaki, Maekawa Takuya, Nakai Junichi, Yoda Ken	4. 巻 3
2. 論文標題 Machine learning enables improved runtime and precision for bio-loggers on seabirds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Biology	6. 最初と最後の頁 633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42003-020-01356-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yoda Ken, Okumura Masanari, Suzuki Hirokazu, Matsumoto Sakiko, Koyama Shiho, Yamamoto Maki	4. 巻 102
2. 論文標題 Annual variations in the migration routes and survival of pelagic seabirds over mountain ranges	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecology	6. 最初と最後の頁 e03297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ecy.3297	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 水谷友一, 鈴木宏和, 前川卓也, Joseph Korpela, 宮竹貴久, 越山洋三, 依田憲	4. 巻 70
2. 論文標題 海上飛翔中のウミネコによる昆虫捕食とその同定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本鳥学会誌	6. 最初と最後の頁 53~60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3838/jjo.70.53	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Susumu, Hombe Takumi, Takahashi Riku, Ide Kaoru, Okamoto Shinichiro, Yoda Ken, Kitagawa Takashi, Makiguchi Yuya	4. 巻 9
2. 論文標題 Wireless logging of extracellular neuronal activity in the telencephalon of free-swimming salmonids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Animal Biotelemetry	6. 最初と最後の頁 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40317-021-00232-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Del Cano Monserrat, Quintana Flavio, Yoda Ken, Dell' Omo Giacomo, Blanco Gabriela S., Gomez-Laich Agustina	4. 巻 168
2. 論文標題 Fine-scale body and head movements allow to determine prey capture events in the Magellanic Penguin (<i>Spheniscus magellanicus</i>)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Marine Biology	6. 最初と最後の頁 84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00227-021-03892-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Koyama Shiho, Mizutani Yuichi, Yoda Ken	4. 巻 258
2. 論文標題 Exhausted with foraging: Foraging behavior is related to oxidative stress in chick-rearing seabirds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology	6. 最初と最後の頁 110984
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cbpa.2021.110984	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 依田憲、牧口祐也	4. 巻 35
2. 論文標題 海鳥類とサケ科魚類のバイオロギングとナビゲーション	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 118 ~ 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.35.118	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Koyama S., Mizutani Y., Yoda K.
2. 発表標題 Preliminary analysis of the foraging strategy of seabirds on the basis of their behavior and physiological cost
3. 学会等名 International Workshop on Behavior analysis and Recognition for knowledge Discovery (BiRD 2019) in conjunction with the IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小山悞歩、水谷友一、依田憲
2. 発表標題 行動記録および生理的コストの評価による長距離移動を行う海鳥の採餌戦略の解明
3. 学会等名 日本生態学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹村香音、依田憲、水谷友一、鈴木宏和、鶴谷未知、平川翼
2. 発表標題 逆強化学習を用いたウミネコの経路予測と報酬マップの作成
3. 学会等名 日本生態学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本部拓未、高橋晋、井出薫、依田憲
2. 発表標題 オオミズナギドリの自由行動下における神経活動
3. 学会等名 日本生態学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鶴谷未知、水谷友一、鈴木宏和、前川卓也、Joseph Korpela、依田憲
2. 発表標題 ウミネコの意外な採餌場所と繁殖ステージ変遷による餌種、採餌頻度変化
3. 学会等名 日本動物行動学会第37回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Suzuki H., Mizutani Y., Narita A., Yoda K.
2. 発表標題 Does Aging Change Foraging Behavior of Black-Tailed Gulls?
3. 学会等名 International Workshop on Behavior analysis and Recognition for knowledge Discovery (BiRD 2019) in conjunction with the IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木宏和、水谷友一、成田章、依田憲
2. 発表標題 加齢がウミネコの羽ばたきに与える影響
3. 学会等名 日本生態学会第66回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 依田憲
2. 発表標題 バイオロギングによる行動学：海洋動物の長距離ナビゲーション研究を例として
3. 学会等名 行動 2017（日本動物心理学会・日本動物行動学会・応用動物行動学会・日本家畜管理学会・日本行動神経内分泌研究会合同大会）（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木宏和、水谷友一、依田憲
2. 発表標題 ウミネコは年を取るほど陸で採餌する？
3. 学会等名 KOUDOU2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松本祥子, 山本麻希, 依田憲
2. 発表標題 オオミズナギドリの採餌行動の年比較
3. 学会等名 日本鳥学会 2017年度大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sakiko Matsumoto, Maki Yamamoto, Ken Yoda
2. 発表標題 Annual comparison of foraging behavior of streaked shearwaters in relation to marine environment
3. 学会等名 Pacific Seabird Group 45th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kozue Shiomi, Ken Yoda & Katsufumi Sato
2. 発表標題 Spatiotemporal constraints on homeward movements of seabirds
3. 学会等名 The 16th congress of the International Society for Behavioral Ecology (ISBE 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kozue Shiomi, Ken Yoda & Katsufumi Sato
2. 発表標題 Avoidance of nocturnal offshore travelling in shearwaters, demonstrates the importance of diurnal cues for homeward movements
3. 学会等名 The Seventh Symposium on Polar Science (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 山本誉士・河野裕美・水谷晃・依田憲
2. 発表標題 カツオドリの繁殖開始時期に影響する要因
3. 学会等名 日本鳥学会2016年度大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 鈴木範星ダニエル・水谷晃・山本誉士・依田憲・河野裕美
2. 発表標題 仲ノ神島におけるカツオドリの採餌海域
3. 学会等名 日本鳥学会2016年度大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 鈴木宏和, 水谷友一, 依田憲
2. 発表標題 繰り返し同じ採餌場所を利用するウミネコは適応のか
3. 学会等名 第12回日本バイオロギング研究会シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 鈴木範星ダニエル・水谷 晃・山本誉士・依田憲・河野裕美
2. 発表標題 仲ノ神島におけるカツオドリの採餌行動
3. 学会等名 第12回日本バイオロギング研究会シンポジウム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 河野裕美・水谷晃・山本誉士・依田憲
2. 発表標題 仲ノ神島で標識されたカツオドリの若鳥期における利用海域およびGLSによる1羽の南下渡りと落鳥過程
3. 学会等名 第12回日本バイオロギング研究会シンポジウム
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 依田憲、牧口祐也、塩見こずえ、山本誉士（分担執筆）	4. 発行年 2016年
2. 出版社 京都通信社	5. 総ページ数 17
3. 書名 バイオロギング2 動物たちの知られざる世界を探る	

1. 著者名 依田憲、牧口祐也、塩見こずえ、山本誉士（分担執筆）	4. 発行年 2016年
2. 出版社 海洋出版株式会社	5. 総ページ数 16
3. 書名 月刊海洋『大水薙鳥 - 外洋性海鳥の研究最前線 - (上)』	

1. 著者名 依田憲、牧口祐也、塩見こずえ、山本誉士（分担執筆）	4. 発行年 2016年
2. 出版社 海洋出版株式会社	5. 総ページ数 21
3. 書名 月刊海洋『大水薙鳥 - 外洋性海鳥の研究最前線 - (上)』	

〔産業財産権〕

〔その他〕

生物移動情報学
http://navi-science.org

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	牧口 祐也 (Makiguchi Yuya) (00584153)	日本大学・生物資源科学部・講師 (32665)	
研究分担者	塩見 こずえ (Shiomi Kozue) (50756947)	東北大学・学際科学フロンティア研究所・助教 (11301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
アルゼンチン	CONICET			
英国	Swansea University			
フランス	CNRS			
カナダ	University of Windsor			