

鳥類学におけるロボット技術や AI の関わり

Ornithology will meet Artificial Intelligence and Robot technology

森本 元

Gen Morimoto

山階鳥類研究所

Yamashina Institute for Ornithology

Abstract: 鳥類学とロボット技術や AI は、将来、現在以上に学際的研究が増加し、融合していくことは想像に難くない。近年、急速に発展を続けるロボット技術や AI は、私たちの生活に活用されつつある。他方、鳥類学をはじめとした野生動物研究では、AI については活用のための試行錯誤が始まったばかりであり両者の関わりは薄い。この状況を打破し両者が協同し発展するためには、鳥類学と工学の双方の相互理解が重要である。そこで本発表では、鳥類学の概要を整理しつつ、両者が融合しうる領域はどこなのか、どのような発展が考えられるのかについて紹介する。

1 はじめに ~AI やロボット技術と鳥類学~

目覚ましい発展を遂げている人工知能 (Artificial Intelligence: 以下, AI) やロボット技術は、科学技術の専門的領域だけでなく、一般の人々の生活や企業活動といった域にまで飛躍的に普及してきており、その勢いと一般化は驚くべきものがある。近年、日々のニュース等でも耳にする自動車に関する自動運転や、人々が日々利用している翻訳サイトといったインターネット越しのいわゆるウェブサービス、他にも、教師データや大量のデータを活用した将棋ソフトや、医療における画像診断など、事例には事欠かない。こうした機械学習や深層学習に代表される AI 新技術は、さらに発展と普及の更なる加速が予想される。

それは、人々の生活だけでなく、学術領域においても同様であり、野生生物を対象とした研究分野においてもこうした技術の活用が普及し、分野の融合が進んでいくと予想される。他方、野生生物の研究分野はある意味、AI 技術の対局にあるような学術分野でもある (鳥類研究方法のいずれかの教科書[e.g. 1]を参照いただければ、詳細を知ることができる)。なぜならば、観察者 (測定者) の有する熟練

連絡先: 山階鳥類研究所

〒270-1145 千葉県我孫子市高野山 115

E-mail: morimoto@g.nifty.jp

の野鳥観察技術に依存した観測と測定が行われており、同時に、そうした特殊な技術を有する人材のマンパワーに観測結果が左右される側面をもつからである。これは見方によっては、職人技というアナログから学んだデジタル化と自動化という、AI やロボット技術とのコラボレーションの余地がまだまだ大きい学術分野ともいえよう。

こうした融合的な発展には、AI 分野の研究者と鳥学研究者の双方の相互理解が必要であろう。そこで本稿では、鳥類学とはどのような分野なのか、AI やロボット技術と融合しうる領域はどこであるかといった点を、非生物学分野の方々へ紹介することを目的とする。野生鳥類を対象とする学術分野の存在を御理解いただき、AI 分野とともに相互発展の一助になれば幸いである。

2. 鳥類学とは

野生生物を対象とする研究はさまざまあるが、野生動物を対象とする研究者のアプローチ方法には学問分野別の視点からの研究アプローチと、対象生物視点からの研究アプローチがある。たとえば AI の研究者は、その AI 研究が、自動車や医療といった様々な他分野に活用できることを考えるだろう。他方、自動車の技術者は AI やエンジン技術、駆動系の研究といった分野が大きく異なる様々な領域を扱うことになる。これは鳥類学においても似た構造がある。

例えば「性選択」という進化の仕組みの一つとして異性間選択がある。メスが、より派手なオスを選

り好むことでオスの持つ形態的な装飾形質（派手であったり特徴的な形態である羽毛、体色など）が、遺伝的な背景によって次世代へ受け継がれる。この進化プロセスを通じて、オスはメスよりも派手な姿へと進化したというものである[鳥の色彩での事例: e.g. 2]。こうした研究は、鳥類に限らず、節足動物、魚類、両生類、爬虫類、哺乳類といったあらゆる動物が研究対象となる。鳥類学分野に限っても、特定の1種だけでなく、さまざまな鳥種が対象とできる。研究者は、自身の科学的興味に基づき、その研究テーマに適した最適な研究対象生物を探し、研究を遂行する。これはテーマ視点の研究アプローチである。

この例にあげた異性間選択という研究テーマでは、オスがメスと異なる派手な外見を獲得する進化の仕組み、その解明に焦点をあてている。検証し解明しようとする対象はそのメカニズム、つまり、進化理論である。専門的な表現で前述の内容を繰り返すなら、「メスがより派手なオスを選び好み繁殖することで、オスの色や飾り羽といった装飾形質がより明瞭になる方向へと淘汰圧が生じ、形態形質の発現を司る遺伝子を基盤として、年月をかけてその種のオスがより派手な外見へと進化する」ということだ。これが異性間選択という進化理論なのだが、この研究を実施するには研究対象を鳥類に絞る必要はなく、昆虫や哺乳類などでも構わない（そして実際、この進化的なメカニズムはさまざまな生物で多数の研究が行われている）。行動学を扱う学会や生態学を扱う学会は、こうした研究テーマをベースとした学協会といえよう。

他方、研究対象を基盤とする学問も存在する。鳥類学はまさにこの鳥類を研究材料（対象）としている学問である。その中身は、生態学、行動学、形態学、生理学、古生物学、保全生物学などの理系の学問分野だけに限らず、さらには鳥類を扱った文化人類学など多岐に渡る。極端な表現をすれば、鳥類を材料としていけば、どのような学術分野の研究でも可能といえる。それゆえ、自動的に分野横断的・学際的な学会となる。魚類の学会や昆虫といった節足動物の学会、哺乳類の学会などと同様に、鳥類の学協会は、多様な学問領域を含む研究材料系の学協会となる。このため、一言に「鳥類学」といっても、個々の研究者が扱っている研究テーマや領域はさまざまであり、それらは大きく異なっている。

3 鳥類学と工学（ロボット技術等）

鳥類学が生物学の一分野であるのと同様に、広い視点において AI やロボット技術が工学の一分野であることに誰も異論はないだろう。生物学と工学とい

う学術的な枠組みが大きく異なるこれらがどのように関わるのかを考えると、その方向性を意識せざるを得ない。一つは鳥類学分野の知見を工学分野へ活用する方向性である。もう一つは、その逆であり、工学分野の知見や技術を鳥類学分野で活用するという方向性である。両者の関係性がこのように真逆の二つある点について、コラボレーションにおいては、その認識が重要となるだろう。

生物分野の知見を工学分野にて活用する事例の代表の一つは、バイオミメティクスといえよう。生物模倣とも呼ばれるこの学術分野は、生物のもつ特徴的な機能を参照するだけでなく、その機能を産み出すメカニズムを研究し活用することで新たな技術を生み出すものである。身近なものの例では、ある植物の種子のもつトゲの接着機能を真似た面ファスナー（いわゆるマジックテープ）が古くから有名である。近年では、ハスの葉の微細な表面構造による撥水機能を模倣して作成されたシートを用いて、内ブタにヨーグルトがくっつかない容器などが市販化されるなど、生物の機能を応用した工学技術はさまざま存在する（バイオミメティクスの事例に関しては複数の文献[e.g. 3,4]が出ているので参照されたい）。なお、どのように参照すればバイオミメティクスとするか、バイオインスピレーションとの違いといった、用語の定義の狭義・広義の議論はあるが、ここでは生物からヒントを得るものを含めて取り扱う。

バイオミメティクスと鳥類学との関わりは古く、もっとも著名なものは航空機だろう。かつて空を飛ぶ術を持たなかった人類は、飛行技術の開発にあたり、鳥類の飛行を参考にした多くの研究を行ってきた。他の近年の事例として、日本国内における 500 系新幹線の形状もよく知られている。空中から勢いよく水中へ飛び込んで魚類などを捕食する鳥種であるカワセミの頭部形状は、低い抵抗で水中へ進入できる形状へと進化しており、この形状が、新幹線の空気抵抗を軽減する形状を産み出す際に参考にされた。他にも、鳥の羽毛を参考にして開発されたパターン形状によって、500 系新幹線のパンタグラフの騒音（風切り音）対策技術が開発されているし、鳥類の脚部を真似たロボットアーム[e.g. 5,6]や、鳥の歩行を参照した 2 足歩行ロボット[7]などの研究が行われている。鳥のように羽ばたいて飛行するロボットやドローンも開発、実用化されはじめている[e.g. 8]。静かに音を立てずに空中を飛び回ることができる点は、従来のプロペラやジェットエンジンによる飛行と異なる特徴である。他には羽毛の構造色発色メカニズムを参考にした発色材料の研究例[9]などもあり、鳥類を参照したバイオミメティクス研究は現在も発展を続けている。

こうしたコラボレーションは、工学が鳥類の特徴を拾い上げる（つまり鳥から工学）という方向性の側面が強いといえよう。もちろん、こうした研究においては相互にフィードバックがある。機能は知られていてもそのメカニズムが未知であった鳥類の特徴が、それを工学的に応用する研究を行う中で得られた成果が鳥類学へフィードバックされ、生物学的もその駆動メカニズムが判明することで、相互に発展する。異なる学術領域の学際的協同では、互いが対等な融合の側面もあるが、同時に、この例では研究の起点（シード）が鳥類の機能にあるという点もまた事実である。

なお近年では、循環型社会の構築のために、生態学の知見（生物の相互作用やネットワーク）を活用するといったエコミメティクス研究も進んできており、メカニクスといったハード面だけでなく、ソフト面でも、研究が進んでいる[10]。

4 鳥類学と AI

他方、AI と鳥類学の関係はその逆の方向性が強いのではなかろうか。機械学習や深層学習に代表される AI 技術は、鳥類学が抱える様々な学術領域に対し、新たな視点と解決法を提供し、次の次元に鳥類学を飛躍的に発展させてくれるものと期待される。同時に、鳥類学の特性をキャッチアップすることにより、AI 研究へのフィードバックとともに相互発展するだろう。この相互理解のためには、鳥類学が内包する様々な学術領域の種類や特性への理解と、AI への理解が同時に必要になる。

そのために、両者の立ち位置をまず確認しておきたい。現状、鳥学者を含む野生生物学分野の研究者は、AI への理解が十分とはいえないだろう。また、工学者は野生生物学への理解が十分とはいえないと思われる。だが両者は全くの異分野ではなく、相互理解しやすい素養をもつ側面もある。野生生物のデータは、物理法則に従うものでないため、値が暴れ変動が大きい。言い換えれば、ノイズが非常に多いデータである。また、結果へ影響する要素が一つではないことや、生物と環境要因の相互関係からなる複雑な生態メカニズムを解き明かすことを目指してきた分野でもある。それゆえ、生物学者は統計学を重視してきた。検定にはじまり、統計的推定、複雑な統計モデル、さらに、近年ではベイズ推定も普及してきた。このバックグラウンドは、野生生物学者が AI を理解しやすい状況を自然と作り出していると思う。今後、着目するパラメーターや、教師データと解析対象のデータの関係などを把握しつつ、何をめざしているのかを認識しながら、両分野の研究

者が協業することで、鳥類学をはじめとした野生生物研究は、AI 研究と大きく協業できると考えられる。

他方、工学者サイドには、鳥学者の扱う学術領域をさらに御理解いただけると幸いである。鳥類学は前述したように、多様な学術領域が含まれる。代表的なものをいくつか記す。

行動学や行動生態学は、前項でも触れた性選択研究や採食戦略、個体間闘争、渡りルートの研究等、さまざまな行動や形態要因に着目し、進化的な意義を研究する分野である。ここでは、なわばりの移動データや、個体間の争いの闘争行動のエソグラムデータ、さえずり行動での音声データや定位データなどが蓄積される。こうした研究では、観察者が野外（または飼育下）で対象の鳥類を肉眼や双眼鏡で観察し、調査用紙へ観察結果を記入していくことでデータを得ている。また、多様な機器も使用されている。数十年前はビデオカメラによる動画撮影やカセットテープによる音声録音などであったが、現在ではそれらは長時間の録画や録音が行われるようになってきている。集められた映像データの解析には、かつては人力でひたすら画面を目視し続けるしかなく、撮影時間以上の多大な労力のかかる解析作業であり、現在でも苦勞の多いたぐいのデータである。以前より、動きを検知するソフトウェアの活用[e.g.11]など、現在ではプログラマブルに解析しているケースも増えてきているとはいえ、研究者が個々にこうした工夫をして対応しているのが実情であろう。

音声についても、ただ耳で聞き直していた作業方法から発展し、現在では PC の高性能化に伴い、PC へ音声データを取り込み可視化しソナグラムを描く方法が一般化した。このような作業を行い、必要箇所を聞き出すといった方法を用いている研究者が多いと思われる（近年の野生動物の音声データの調査・解析については文献[12]に詳しい）。使用されるソフトウェアは録音方法については、野生生物の音声解析に特化したソフトウェアが存在し（実質的にはほぼ鳥類用の要素が強い）、Avisoft SASLab Pro[13]、Raven Pro[14]が長らく多くの研究者に用いられている。これらのデータの解析には、パターンマッチングや機械学習などさまざまなアプローチが現在も試みられており（文献[15]に詳しい）、人力と機械化の途上にあるといえよう。なお鳥類の音声録音については、古くはパラボラマイクにテープレコーダーや MD、DAT 等を接続し、対象個体を狙って録音することが一般的であった（文献[16]に詳しい）。近年では、IC レコーダーを設置し、長時間録音を行う研究が普及してきている[e.g. 17]。そうした録音データからの鳥種の自動識別や、他の音を含む音源からの対象種の抽出[e.g.18]の研究も進んでおり、大量に蓄積された

録音データをどう処理するかは、この分野の大きな課題となっている。

近年では音のデータの質が劇的に向上したことは鳥類の音声を用いた研究の大きなブレイクスルーとなる可能性を秘めているだろう。マルチマイクアレイによる立体的なデータ取得とそれを活用した研究[e.g. 19,20]は、行動追跡研究の新たな時代の到来を予感させる。

移動データでは、大型の人工衛星発信機に始まった追跡研究が、今では小型のGPSロガーやジオロケータなどによる小型の追跡機器の登場により、以前よりも様々な鳥種を対象と出来るようになると同時に、多量のデータが蓄積されるようになってきている(文献[21]に詳しい)。この分野の、急速に移動ログの多量のデータが増加し、急速に発展している分野といえよう。

生態学もまた鳥類学の中で大きな分野の一つである。生態学はたいへん幅広い学問ゆえ、説明することがなかなか難しい。ここでは一例として鳥類の個体数に関する話題を取り上げたい。全国各地の調査地点において、ボランティアの鳥類調査員によって、毎年、または数年ごとに調査が行われ、出現鳥種や個体数を記録するタイプのモニタリング調査が複数[e.g. 22,23]行われている。こうした調査では、長年の時系列、かつ、多地点の種構成や個体数データが蓄積されている。他にも、バードウォッチャーの観察結果を蓄積するタイプの調査が国内外で実施されており、一般の人々が、観察した鳥種をwebサイト上で登録し続けている[e.g.24,25]。こうしたデータは、気候変動に伴う鳥の個体数変化や渡りの移動のタイミングの変化などを観測する研究などに活用されるなど、オープンデータ(またはそれに近い形)で運用されていることが多い。気温といった環境要因や、複数の生物種の捕食-被食関係、炭素循環などの物質循環など、さまざまな生物と要因がからみあった複雑な生態系に関する研究など、さまざまな生態学的研究が存在する。

形態学もまた、鳥類学の代表的な研究分野である。嘴や翼、骨格、羽毛の構造といった形態的特徴に着目し、その機能や特徴を明らかにすることなどを目的とする。こうした研究では、古典的にはノギス等で計測した測定データだったが、今では、形態的な三次元座標データや画像データなどが得られるようになってきている。例えば、X線CTによる立体データ、羽毛の内部構造を調べた電子顕微鏡画像(SEM等)の大量の画像データ[26]が蓄積されてきている。

分類学や系統学は鳥類の各種のグループ分けや進化的系統を明らかにする研究分野だが、こうした研究では、形態的な研究に加えて、この数十年の間に

遺伝子データの活用が一般化した。アクセス可能なデータベースが様々あるが、代表例は世界中の(ほぼ)全鳥種だけでなく様々な生物の特定の領域のDNA情報を収録したDNAバーコーディング[27]のプロジェクトなどが著名である。シーケンサーの発達により、その読み取り(解読)の速度は劇的に速くなっており、今では次世代シーケンサーを活用した網羅的なゲノム解析が普及してきている。バイオインフォマティクスという遺伝学と情報学の学際領域が生まれて久しいように、塩基配列の大量データの解析には、情報学的なアプローチが必要不可欠である。

このほかにも、絶滅の危機にある野生動物の保護などを扱う保全生物学や、文学作品の中でどのように鳥類が扱われているかなどの人類学的領域や人文科学的領域での文理融合的な研究分野など、紹介しきれないがさまざまな学術領域が存在する。たとえば後者では、大量の文章データの自然言語処理などが関わりうるだろう。

5 むすび

近年、技術の発達に伴い、前述した様々なデータの蓄積が加速している。画像データ、音声データなどは、その膨大さに反して、それを人力で解析することには限界がある。解析よりも、データ蓄積の方がずっと先行する状況になってきているといえよう。さらに、マルチマイクroフォンアレイといった新しい試み加わることで、従来は観察者が1名で移動しながら時間差で短時間だけ実施していた鳥個体の追跡観察(識別と定位の同時判断)を、多地点で同時に長期的に行えるようにもなっていくに違いない。こうしたデータの量と質の飛躍的な向上は、既存の鳥類学の知見を超えて、劇的に発展させる可能性を秘めるものである。そしてその分析には、AIは欠かせないもっとも重要な要素であろう。鳥類学とAI研究の学際的発展が益々加速することに期待したい。

謝辞

本発表の機会を与えていただいた、鈴木麗壘博士、中臺一博博士に御礼申し上げます。本発表の一部はJSPS 科研費 20H00475 からの助成をいただいた。

参考文献

- [1] 山岸 哲(編著)『鳥類生態学入門』(1997, 築地書館 193pp)
- [2] 森本 元. 鳥類の羽色と機能 ~羽毛の発色と生物学的

- 背景～. 色材協会誌 Vol. 89 No.6 p184-190, 2016.
- [3] 下村政嗣. バイオミメティクスと表面技術. 表面技術 Vol. 64, No.1, p2-8, 2013.
- [4] 篠原現人・野村周平 (編著) 『生物の形や能力を利用する学問バイオミメティクス』 (2016, 東海大学出版部 151pp)
- [5] Doyle, C.E., et al. Avian-inspired passive perching mechanism for robotic rotorcraft. In: 2011 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems. IEEE, p4975-4980, 2011.
- [6] Thomas, J., Polin, J., Sreenath, K., & Kumar, V. Avian-inspired grasping for quadrotor micro UAVs. In: International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers, p. V06AT07A014, 2013.
- [7] Gong, Y., Hartley, R., Da, X., Hereid, A., Harib, O., Huang, J. K., & Grizzle, J. Feedback control of a cassie bipedal robot: Walking, standing, and riding a segway. In: 2019 American Control Conference (ACC). IEEE, p. 4559-4566, 2019.
- [8] Festo (参照 2021-11-16) BionicSwift. <https://www.festo.com/group/en/cms/13787.htm>.
- [9] Kawamura, A., Kohri, M., Morimoto, G., Nannichi, Y., Taniguchi, T., & Kishikawa, K. Full-color biomimetic photonic materials with iridescent and non-iridescent structural colors. Scientific reports, Vol. 6 No.1, p1-10, 2016.
- [10] 下村政嗣. 持続可能な循環型社会を目指す生態系サービスとしてのエコミメティクス. In: バイオミメティクス・エコミメティクス—持続可能な循環型社会へ導く技術革新のヒント—. CMC 出版, p339-350, 2021.
- [11] 植田睦之・田中啓太. 鳥の巣のビデオ録画の動体監視ソフトウェアによる自動解析. Bird Research, 2, T1-T7, 2006.
- [12] 阿部聖哉. 音声データによる野生生物調査の研究動向. 環境アセスメント学会誌, 18(2), 3-9, 2020.
- [13] Avisoft Bioacoustics. (2021-11-16 閲覧) <http://www.avisoft.com>.
- [14] Cornell Lab of Ornithology. (2021-11-16 閲覧) <https://ravensoundsoftware.com/software/raven-pro/>.
- [15] 阿部聖哉. 音声データによる野生生物調査の研究動向. 環境アセスメント学会誌, Vol.18, No.2. p3-9, 2020.
- [16] 大庭照代. 鳥類音声録音の意義と方法. Strix, Vol.7, p35-82, 1988.
- [17] 白井聰一. 針葉樹林ギャップ地を落葉広葉樹林に再生する過程における鳥相の変化: 録音によるデータの収集. 日本鳥学会誌, Vol.67 No.2, p227-235, 2018.
- [18] 宇根健一郎, 藏屋英介, 野口健太郎, 神里志穂子, 金城道男, 長嶺隆, & 嘉手苜修. 環境音を含む音データからのヤンバルクイナの鳴き声検出の検討. 情報処理学会第 74 回全国大会講演論文集, p589-590, 2012.
- [19] Sumitani, S., Suzuki, R., Matsubayashi, S., Arita, T., Nakadai, K., & Okuno, H. G.. Extracting the relationship between the spatial distribution and types of bird vocalizations using robot audition system HARK. In: 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE. p2485-2490, 2018.
- [20] Suzuki, R., Sumitani, S., Naren, N., Matsubayashi, S., Arita, T., Nakadai, K., & Okuno, H. G. Field observations of ecoacoustic dynamics of a Japanese bush warbler using an open-source software for robot audition HARK. JEA, Vol.2, No.2 p1-11, 2018.
- [21] 樋口広芳 (編) 『鳥の渡り生態学』 (2021, 東京大学出版会 330pp)
- [22] 環境省 (2021-11-16 閲覧) モニタリングサイト 1000. <http://www.biodic.go.jp/moni1000/>.
- [23] 鳥類繁殖分布調査 (2021-11-16 閲覧) <https://bird-atlas.jp>.
- [24] Sullivan, B. L., Wood, C. L., Iliff, M. J., Bonney, R. E., Fink, D., & Kelling, S. eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. Biological conservation, 2009, 142.10: 2282-2292, 2009.
- [25] 環境省 (2021-11-16 閲覧) いきものログ. <https://ikilog.biodic.go.jp>.
- [26] 山階鳥類研究所 (2021-11-16 閲覧) 標本データベース <https://decochan.net>.
- [27] BOLD SYSTEMS (2021-11-16 閲覧) BARCODE OF LIFE DATA SYSTEM. <http://www.boldsystems.org>.