

# 報告：鳥類モニタリングにおける代替技術としてのマイクロフォンアレイ利用の検討

## ～非工学系生態学者の悪戦苦闘～

Report on bird monitoring methods using multi-microphone array.

森本 元

Gen Morimoto

山階鳥類研究所

Yamashina Institute for Ornithology

**Abstract:** ロボット聴覚であるマルチマイクロフォンアレイを、森林性小型鳥類研究における野外調査への導入を試行した。生態学や行動学において、ロボット技術やAIは、将来、活用と融合が進んでゆくことが予想される。一方、こうした新技術は、実際の野外動物学者の現場で活用するに当たり、ユーザーの習熟や、技術と現場のニーズのすり合わせが必要となる。そこで、いくつかの野外鳥類調査を想定し、開発が行われているマルチマイクロフォンアレイ機器を、その現場へ導入し長期の運用を試みた。そこから得られたノウハウや問題点を、ここに報告する。

## 1 マルチマイクロフォンアレイと野外鳥類学のマッチング～どのような研究テーマに導入できるか～

長年、研究・開発が続いているロボット聴覚技術の代表的なものの一つが、マルチマイクロフォンアレイである。この技術は、複数のマイクによるマルチチャンネルで録音を行う。これにより、音源と個々のマイクの相対的な位置関係に基づく音データの取得と定位が可能となる。いわば音による三角測量である。

この特性を、どのような野生動物研究に活かすことができるだろうか。視点を野外鳥類学へ向けると、多くの鳥類調査・データ取得は、観察者の目視と聴覚によって行われている。例えば、動物行動学的な研究においては、習熟した調査者が調査対象の個体を野外で素早く見つけ出し、その個体情報や行動をすみやかに調査用紙に記録することでデータを得ている。その際、視覚によって発見することも多いが、それ以上に対象個体を発見したり追跡したりすることに役立っているのが、聴覚である。調査者の挙動を分解してみると、目で見つけるよりも先に、鳥が

鳴いている声に気付き、聴覚でどのあたりにいるのかを当たりをつけ、その周囲を目視で探して対象個体を発見している。そして一度見つけたら、目視によって追跡し、どのような行動をしているかを観察し記録してゆく。その際、小鳥は動きが素早く、かつ、体サイズも小さいので（スズメ程の大きさの鳥が大半）、目視による追跡では途中から見失うことも多い。しかし、対象個体の声を頼りにすることで、音から再定位や再発見して、個体追跡ができていく。たとえば、テリトリーマッピング法は、調査地に生息する個体のなわばり位置を明らかにする手法だが、個体追跡を数十分～数時間続けることによって、地図上に、対象個体のなわばりを記録する。その際、調査者はこうした作業を実施している。

また、森林性や草原性鳥類の個体数調査も、聴覚に頼った調査方法の代表例である。水鳥であれば、声よりも視覚を頼りに、双眼鏡や望遠鏡を用いて、水面に浮かぶ鳥達の種や個体数を判別し、記録していきける。しかし、森林草原環境ではこれが困難となる。草木の影に隠れている鳥達を目視で見つけることは容易ではなく、それらの発見方法は、やはり音

---

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

声が主となる。鳥達の鳴き声を聞き、その声の種類から種や個体数を明らかにすることが大半である。ラインセンサス法やポイントセンサス法は、調べたい地域における生息鳥種と個体数を明らかにするための、代表的な調査手法である。例えばラインセンサスでは、調査者はゆっくりと調査コースを歩き、その際、一定の範囲（半径 50m が一般的）に出現した鳥種と個体数を記録してゆく。これにより、調査コース沿線に出現した種数、各種の個体数を記録することで、調査地全体の生息個体数を推定する。

いずれも、職人技によるアナログな手法であり、調査者の習熟度に依存するデータ収集方法である。

（詳細は鳥類研究方法のいずれかの教科書（[1]など）を参照）。このような内容と状況ゆえに、まだまだ機械化・自動化の余地が存在する分野ともいえよう。例えば近年、水鳥の調査ではドローンを用いた空撮での個体数調査技術が開発されつつある[2]。現在、水鳥などの個体数調査では、調査者による目視観察が一般的な手法である。池や河川のほとりから望遠鏡・双眼鏡を用いて、近場から遠方までの鳥達を、平面的に眺め、識別・個体数カウントを行うことでデータを取得している。これに対して、ドローンを用いた調査では水鳥達を上空から撮影し、その映像をもとに種別に個体数をカウントする。目視観察のときのように、個体同士が重なりあってしまうこともない。また、種別の個体数のカウント作業を、得られた画像を用いた機械学習で自動化する試みも行われている。だが、こうした方法が可能なのは、体サイズが比較的大きな水鳥などが対象であり、かつ、フィールド環境は水域や農地など、開けた見通しがよい場所でなければならない。一方、森林性鳥類の調査では、うって変わって、こうしたカメラに頼る手法は木々に阻まれ用いることが難しく、熟練の調査者のスキルに頼るしかないのが実情である。

この状況を打破できる可能性があるのが、マルチマイクロフォンアレイである。360 度の音を同時に記録し、音源の定位ができるこの技術であれば、熟練の調査者と同等以上の観察データを取得できるかもしれない。実際、マルチマイクロフォン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（[4,5]など）は、行動追跡研究の新たな時代の到来を予感させる。

まず、行動観察研究においてよくあるケースを考えてみよう。森林内で研究者が単独で鳥類調査をすることはよくあり、その際、ある個体のなわばりから次の別個体のなわばりへと移動しながら観察を行うしかない。つまり、それぞれの個体の観察時間は数十分～数時間程度となり、各個体の観察日時はズレざるをえず複数個体の同時データ取得はできない。

なお、一般的なビデオカメラや録音機（IC レコーダー）を用いるケース（[6]など）もあるが、ビデオカメラの場合は、複数個体を同時に観察できても、あくまでかなり限られた視野の映像しか撮れず実用的でないことも多い。また、野外設置した IC レコーダーが用いられる場合は、モノラルまたはステレオ音声であるため種は同定できても個体の位置や数の把握までは難しい。つまり、動き回る個体を追跡したり、その場にいる種と個体数を明らかにするためには、未だ人力ベースの調査手法しかないのが実情である。

だが、マルチマイクロフォンアレイであれば、こうした高いスキルを必要とする職人技的な鳥類調査を、機械化できる可能性があるだろう。

さらに、全天球カメラを併用して鳥の個体の動きも記録することで、音声データと合わせて、まさに観察者が野外で実施していることをなぞったようなデータを収集できる可能性がある。

そこで、ここでは 2 種類の異なる野外鳥類調査において、全天球カメラ内蔵型のマルチマイクロフォンアレイを用いてデータ収集を実施し、その運用ノウハウと問題点の洗い出しを試みた。特に、開発された今回の機材（システムインフロンティア社製、CHIRPY）の長期野外運用で明らかになった情報を記す。将来、野外動物学、鳥類学とロボット技術の融合が進むことが予想されるが、それにあたって必要な情報となれば幸いである。

## 2. マルチマイクロフォンアレイ使用を試みる森林性鳥類調査の種類と特性

今回、二種類の野外鳥類調査を試みた。一つは、ポイントセンサス調査である。ポイントセンサス法は鳥類の出現種と個体数を評価するための手法で、一定時間同じ場所にとどまり、一定の距離内外（半径 50m が一般的）で出現した種と個体数を一定時間ごとに記録する手法である。種数と個体数が得られるので、その土地における生物多様性の指標として用いることができる。うまく行えば、調査コースを歩きながら出現種と個体数を記録するラインセンサス法よりも精度（データの解像度）が高い[3]。移動せず出現する鳥を調査する方法なので、360 度全方向をモニターできるカメラ付きマルチマイクロフォンアレイとの相性が良いと予想される。

もうひとつの調査方法は、行動学的調査である。巢や餌場には、鳥が徐々に接近してくる。野生動物で

あるがゆえに、自身の巣や餌場へは、すんなりとすぐに接近してくるわけではない。警戒しながら、徐々に幾分の時間をかけて接近し、数分～数十分程度をかけて、最終的に巣内へのアクセス、または、餌場へのアクセスに達する。その際、生態学的・行動学的な学術課題としては、巣であれば雄親・雌親の、接近アプローチの性差（性別による行動パターンの違い）の解明や、餌場であれば、種間競争や個体間競争（どのような個体が他個体を排除し、餌を優先的に得られるか、その間、他個体はどのように振る舞っているか）といった研究がありうる。こうした研究では、調査者はブラインド（テント様のカムフラージュ機材の総称。中に潜み観察窓から外を伺える構造の簡易テント）や茂みに隠れ、観察対象の鳥がやってくるのを待ち、発見次第、追跡データの記録を実施する。こうした巣や餌場等への接近行動の調査においても、全天球カメラ内蔵のマルチマイクロフォンアレイ機材であれば、動物行動観察と相性が良いだろうと期待される。

今回は、実際の野生鳥類学における森林性鳥類の調査に則した野外フィールドとして、富士山における標高約 1500-2000m の森林にて実施した。当地には電源やインターネット環境はないため、スタンドアロンでの運用となる。森林内には太陽光も届きにくくソーラーパネルでの発電も現実的でない。このため、バッテリーでの稼働とローカルストレージへのデータ記録による運用である。

### 3 マルチマイクロフォンアレイ機材 の森林内での運用と、生じた課題

使用機材：マルチマイクロフォンアレイ CHIRPY。  
専用の PC 用ソフトウェアを用いて、録音・録画時刻を記した設定ファイルを、一時的に接続したノート PC から機材本体へアップロードすることで、タイマー駆動での録音録画が可能である。今回は、森林内に設置した CHIRPY にて、短時間の運用テストの後、長期間設置調査として、数日から 1 週間程度のタイマー記録をセットし、後日にデータの再回収と次のタイマー記録の再設定を行う、という運用にて調査を実施した。

3-1. 録音録画設定と運用状況：データファイルの巨大化を避け、取得したデータのハンドリングをよくするために、一時間ごとに記録を行った。例えば、朝 7 時から 10 時まで記録する場合は、0700-0759, 0800-0859, 0900-0959 というように、59 分間の記録を連続的に行う、という設定である。この場合、作成されるデータファイルとして、一時間ごとに音声

ファイル（.wav 形式、ファイルサイズは約 2.9GB）と、映像ファイル（約 3GB。2.5-3.3GB の範囲）が作成された。つまり一時間の記録で、両者を合わせて約 6GB のストレージを消費する。

このデータ記録のために使用するローカルストレージは、USB3.0 ポート接続した映像記録用の USB メモリと音声記録用の USB メモリである。メーカー推奨の USB メモリの製品モデルは、SanDisk 社 Ultra Fit USB 3.1 である。メーカー技術者からは、速度が速く安定して記録できることが、この USB メモリ背品を選定した理由とのことであった。ただし、後述するが理由によりこの USB メモリでの運用には問題が生じたため、同程度の大きさの他社 USB メモリである Samsung Fit Plus での使用も試みた。

バッテリーは、CHIRPY 内蔵のマイコンを駆動するための電源として、18650 バッテリー 2 本を使用する。これとは別に、録音録画駆動用バッテリーとして、5V 給電が可能な USB モバイルバッテリーが必要となる。正式サポートされるモバイルバッテリーは、Anker 社 PowerCore 20100 (20100mAh) である。この製品は給電用に USB-A ポートを 2 口、充電用に USB micro-B ポート 1 口を備えるモデルである。CHIRPY は最大で 8 台のモバイルバッテリーを積むことが出来る。つまり、最大約 160000mAh のバッテリーで稼働する。なお、実使用においてはバッテリー運用上の課題から、他のバッテリーモデルでの使用を試みたので、これも合わせて詳述する。

3-2. ハードウェアの耐久性と故障：CHIRPY はケーブルで接続されたカメラ・マイクアレイ部位と、マイコンやバッテリーを内蔵したボックスによって構成される。このプラスチック製のボックス内へ除湿剤を入れ、1-3 ヶ月ほど森林内に長期設置し連続稼働を行った。その結果、ボックス内部が湿ることはなくマイコン部分は正常に稼働しつづけた。このボックスからケーブルで接続されたカメラ・マイクアレイ部位については、開封できる仕様ではないため、こうした除湿剤は入れていない。

この状態で運用を開始したところ、1,2 ヶ月ほどで内蔵の全天球カメラが故障した。使い始めたばかりの時期であり、ユーザーが操作方法に慣れていなかったこともあって、故障だと確信を持つまでに時間がかかったが、メーカーへ返送して調べてもらった結果、カメラアッセブリの故障であった。代替のカメラユニットに交換修理して回復した。

他には、2 年目にマイクユニット 2 個が故障し、これも交換で回復した。数ヶ月間設置され続けた山中の森林は、ある程度の湿度や昼夜の温度差が生じる。つまり、やや厳しめの使用環境だったが、同じ

筐体に内蔵されたカメラユニットとマイクユニットのうち、カメラユニットについては交換修理後も問題なく動作し続けており、単にパーツの初期不良であり、耐久性は問題ないようだ。一方、マイクユニットは外部へは露出しているため、どうしても劣化しやすいとのことであった。この修理にはそれなりの金銭的成本が発生した。

カメラには透明のドーム状のカバーが付いているが、日によっては内部に結露が発生した。筐体を開封し防湿材を入れる等の対策が必要だろう。この部位における他の問題としては、三脚穴金具に錆が発生した。

3-3. データ記録の安定性:調査の初期には24時間稼働を試みた。これは、いつどのようなタイミングで鳥がやってくるか分からないため、それを捉えたいという理由と、フクロウ類など夜行性鳥類や哺乳類の記録が期待されるので、昼夜問わず連続記録を行いたいと考えたからである。結果的に、この試みにより未知の問題点が発覚し、実際に本格的な運用可能になるまで、現地でのテストをかねた実データ取得とメーカーへ返送・点検・修理という作業サイクルが繰り返されることとなり、問題の解決までかなりの時間を要した。

3-4. 連続記録できない問題点:運用を開始したところ、1日程度経過した時点でデータファイル作成に異常が生じた。最初は正常に約3GBの音声データファイルと映像データファイルが1時間ごとに記録され続けたのち、1日程度経過後は、0kbのファイルが毎時作成されるという状態が発生した。結論から言うと、内蔵のマイコンにおけるキャッシュのオーバーフローによる暴走が原因であった。内蔵されているマイコンは、連続記録を行った際、作成した映像・音声データをローカルファイルに書き出したあと、本来ならばキャッシュがクリアされる。しかし、毎時の録音・録画の連続動作を行うと、キャッシュが完全にクリアされずに次の動作が開始され、メモリ不足となり、データ記録ができなくなるようである。これにより毎時、クローズされていない0kbのファイルが作成され続ける状態に陥る。このキャッシュがあふれるメモリ不足状態へと本機を一度追い込んでしまうと、暴走し続け自動復帰はできない。たとえば、タイマーで休止時間を用意していても、その前にメモリ不足状態になると、本機は自力で復帰しなかった。このため、一度異常状態になったらユーザーが手動で回復させる必要が生じる。なお、問題発生までの時間については、日の出から日の入り後までとその後の夜間も記録するようセットしたタイマー駆動事例では、この異常状態に陥った。つまり、このような運用を行うと二日目移行はデータ取得で

きないトラブルに遭遇することとなる。この問題の解決方法は、メモリを限界に至る前に開放することである。試行錯誤した結果、ときおり、完全スリープ状態に入らせるようタイマーセットすることで、キャッシュを開放しこの問題を回避できた。具体的には、一定時間駆動したら、ある程度の時間きちんとスリープさせる運用を行えば上記問題を回避できる。たとえば1時間ごとの動作が59分記録1分休止や、55分記録+5分休止では、このトラブルが発生したが、50分記録10分休止や45分記録15分休止であれば、この問題を回避できた。ただし、音声ファイルサイズは毎時同じサイズ(約2.9GB)だが、映像ファイルサイズは撮影された映像によって変化するため、10分休止では不安が残る。連続記録を行うならば、半日程度ごとに、15分以上の休止を設定すれば、トラブルを回避できると考えられた。なお、音声ファイルだけの記録にすれば、この問題の発生を遅延または回避できるだろう。

3-5. 使用できるバッテリーの汎用性:汎用性の観点からUSB-Aポートによる5Vバッテリーが使用できるが、その一方で、前述の通り、正式サポートされるバッテリーはAnker社PowerCore 20100(20100mAh)のみとなっている。しかし、このバッテリーは、一時期、在庫切れになったこともあり、永続的な入手性が保証されているわけではない。また、現在は充電速度の速いUSB-Cポート搭載のモバイルバッテリーが一般的であり、20000mAhという大容量クラスのバッテリーにおいて、充電(入力)がUSB micro-Bポートのみというモデルは、かなり稀である。一度に8本を必要とすることから、高速に充電できるUSB-Cポート搭載のバッテリーが使用できれば、連続運用がかなり容易になる。また、20000mAhでなく、それ以上の大容量バッテリーが使用できれば、駆動時間の延長も可能になると期待される。こうした観点から、使用可能なモバイルバッテリーを模索した。8種類のモバイルバッテリー(Anker社、Romoss社、Ravpower社他)を試した結果、残念ながら、正常に動作するのは、正式サポートされているAnker社PowerCore 20100のみであった。

理由は、モバイルバッテリーの自動スリープ機能に起因する。各社のモバイルバッテリーはどのモデルも、給電用のUSB-Aポートに機器が接続されると、自動的に給電が開始される。ただし、使用機器が要求する電力が極端に少なくなると、自動的に給電を停止する機能を内蔵している。例えばモバイルバッテリーからワイヤレスイヤホンへ充電した場合、携帯電話のゲージが100%になれば、モバイルバッテリーは給電を停止するのはこのような仕組みによる

ものである。この機能が、CHIRPY のタイマー動作の際に問題となる。タイマーセットされた CHIRPY は、18650 バッテリーで駆動されており、実際の録音・録画を開始するまでは、ポータブルバッテリーを消費しない。このタイマー待機時間中に、ポータブルバッテリーが自らのスリープ機能によって、自分自身を OFF にしてしまう。人力で USB ケーブルを抜き差しすれば、その刺激によって再びポータブルバッテリーは起動するが、野外にてタイマーセットで無人設置された場合、これが出来ない。この問題を回避するために、CHIRPY は、電子的に電源ポートの ON・OFF を内部で行うことで、ポータブルバッテリーを刺激し再び起動する機能を有している。しかし、この機能で正常に起動できたバッテリーは、前述の正式サポートモデル（Anker 社 PowerCore 20100）のみであった。他社製だけでなく同じ Anker 社製であっても他モデルでは、バッテリーがスリープ状態のまま復帰してこなかった。同一メーカーなら、同じ動作をするわけではなく、むしろ Anker 社 PowerCore 20100 のみが、特殊な動作をするモデルといえそうである。

また、一部のモデルには低電圧給電モードが存在する。このモード中は、バッテリーの自動スリープ機能はキャンセルされ 5V の連続給電状態が維持される。このモードを使えば今回のスリープ問題を解決できると考え試みたところ、残念ながらこの方法では問題を解決できなかった。理由は、どのモデルも 1 日程度でこの低電圧モードが自動解除される仕様と判明したからである。つまり、1 本目のバッテリーの動作期間に、2 本目以降のバッテリーは低電圧動作の時間上限に達しスリープに突入してしまい、前述のプロセスとなり自動復帰してこない。よって、低電圧モードは今回の問題解決には役立たなかった。

なお一部のモデルには CHIRPY の機能に反応して給電を開始できるバッテリーも存在したが、反応する時間に上限があるようであり、必ずバッテリースリープから復帰するわけではなかった。結論として、Anker 社 PowerCore 20100 のみが使用可能な電源であった。

3-6. 他の発生した問題：山中にてスタンドアロンで使用する場合、18650 バッテリーを完全消耗すると、毎回、マルチマイクロフォンアレイ時刻の再設定を行う必要が生じる。CHIRPY は、接続した一時的に PC と、PC 時刻を同期することで時刻セットが可能である。しかし、この操作をユーザーがうっかり忘れてしまい、タイマー動作に失敗したことがあった。現地での作業が多いと、忘れやすい作業といえる。

データ記録用の USB メモリの事前設定が問題になったことがあった。CHIRPY では、決められた名

称にドライブ名を事前に PC にて書き換えておく必要がある。つまり、新品の USB メモリを現場で開封して使用しようとしても、CHIRPY はそのドライブを正しく認識できない。その際、CHIRPY のフォーマット機能は一見使用できるように見える（ドライブフォーマットのボタンがあり、ボタンを押せるがエラーメッセージなどは出ない）、かつ、ドライブの状態に関わらずタイマーセット自体は出来てしまうため、後日のデータ回収時に、USB メモリを正しくセットできていなかったことに気付いたというケースがあった。CHIRPY 用ソフトウェアにはドライブの空き容量表示機能があるため、ドライブを正しく認識しているかどうかを、この残量表示から毎回確認する必要がある。

さらに、CHIRPY の問題ではないが、推奨モデルである USB メモリ SanDisk 社 Ultra Fit USB 3.1 とパソコン間の相性問題が確認された。この USB メモリは Mac との相性が悪かった。複数の Mac（ノート型 Mac 2 機種および小型デスクトップである Macmini 2 機種）への接続において、データファイルの読み出し（コピー）時に途中でエラーを起こり、ファイルコピーを完了できなかった。同一モデルの USB メモリを複数個体用いて試したところ、この現象は再現され同じ結果だったので、両者の相性問題と考えられた。データ読み出しに、USB メモリが激しく発熱しており、熱問題がデータ読み出しをできなくなる原因と思われる。なおこの相性問題は windows PC へ接続した際には発生せず、全ファイルが正しく複製された。Mac での使用については、他社の低発熱の USB メモリ（Samsung 製）を用いることで、この問題を回避できた。

## 4 鳥類調査方法との相性

ポイントセンサス法：結論として森林においてこの手法で得られる鳥類データをマルチマイクロフォンアレイで行うことは、かなり可能であろうと考えられた。その背景には、森林性鳥類調査においてこの手法を用いたときの特性が、マルチマイクロフォンアレイの特性とマッチする点にある。

この手法を実施する際、調査者は周囲 360 度、全方向に気を配り続けなければならない。森林調査ではもっぱら、対象の鳥の発見と定位において、鳥の鳴き声のみが頼りである。その際、調査者には経験に基づく高度なスキルが必要となる。例えば、同時に複数個体が鳴くと個体数が分かりにくくなるが、それを分離して種と個体数を判別しなければならない。また、調査用紙へ記録作業中であっても調査が続くため、調査者の目と手は調査用紙へのデータ記

入を行うことに用いられるが、その間も、聴覚では周囲への意識を絶えず続け、記入中に出現した種と個体数を声から判別する必要が生じる。また、距離50m内外の評価は、その調査者の経験に基づく距離感によって行われている。こうした調査者スキルに依存した作業内容は、マルチマイクロフォンアレイの適性と一致するといえるだろう。

なお、内蔵の全天球カメラの映像は、実質的に機能しなかった。理由は、モニタリング対象範囲にいる個体の撮影サイズが小さすぎたり、写らないもしくは葉などと見分けがつかなかったことにある。だが今回は、この点が大きな問題にならないと考えられた。なぜなら今回の調査環境が森林だからである。人間が調査を行う実際の調査では、鳥の声だけでなく、視覚での発見と追跡も重要な気付きとなっていることがある。ポイントセンサス法で調査する自然環境は森林や草原など多様である。その際、目視での鳥個体の確認は、音声からの判別作業における補足情報として機能している。例えば草原環境では視覚の重要性は大きい。だが周囲が木々で囲まれた森林におけるポイントセンサス調査においては、視覚での発見や追跡頻度は草原環境以上に低く、さらに、繁殖期の調査では、地鳴きの重要性が相対的に低い。さえずりを捉えることが最も重視される。こうしたことから、繁殖期森林調査とマルチマイクロフォンアレイの相性がよいと考えられた。ただし、おなじ森林であっても、越冬期の調査では鳥はさえずらず、落葉によって視界が開けるので、調査者の視覚によるデータ採取の重要性が上がる。このため、越冬期は異なる結論となるかもしれない。

接近行動の行動学的調査：設定した行動学的調査では、前述のポイントセンサス調査と異なり、本機材のみでのデータ取得は困難なケースが生じた。巣や餌場といった、必ず鳥がやってくる場所への、鳥の接近行動を記録する状況設定であれば、全方位をモニターする全天球カメラ内蔵のマルチマイクロフォンアレイ機器に、適したシチュエーションといえる。一般的なビデオカメラや録音機では、一方向からしか撮影できなかつたり鳴いた個体を定位できないが、本機材ならそうした問題が生じないからである。だが、実際のデータ採取においては、音声については個体が鳴かずに接近するケースが幾度も発生し、本機ではデータの取得漏れが生じることが明らかとなった。また、内蔵の全天球カメラでは、遠方にいる際には葉や影と見分けがつかず、かなり大きく接近したときであっても、逆光によって暗色となり、樹木などとの見分けがつかない。撮影映像において、近くの枝などに止まっている個体が飛び立つな

どの動作をすると、それによって鳥であることを認識できるが、その場合でも、鳥種の識別は困難であった。観察者によるデータ取得の際は、目視観察によってこうした問題は解決されているが、一方で、観察者は自身が位置する場所から、平面的な距離感で記録するしかない。本機材であれば、そうした問題を解決できると期待されたが、対象動物の生態の違いにより、必ずしもうまくいかなかった。

## 5 むすび

全天球カメラ内蔵型のマルチマイクロフォンアレイを複数の鳥類調査へ導入した結果、その運用上の課題や、鳥類調査方法との相性がいま見えた。現在は、さまざまな困難があっても、機材や技術の発展に伴い、将来、鳥類調査へこうした機器が導入されていくだろうと予測される。とくに、多大なるマンパワーに依存してアナログに取得されている動物調査が、機械化されることで、データの高精度化や、不足する人材難の解決といった利点が期待される。今後、鳥類学をはじめとした動物学とAI研究の学際的发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、鈴木麗瑩博士、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] 神山和夫・川瀬英路 (2021) ドローンで空撮したカモの群れをAIで自動カウント。バードリサーチニュース 2021年9月:4.
- [3] 平野敏明, 植田睦之, 今森達也, 川崎慎二, 内田博, 加藤和明, & 金井裕. (2009). 森林におけるスポットセンサスとラインセンサスによる鳥の記録率の比較. *Bird Research*, 5, T1-T13.
- [4] 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.
- [5] 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.

- [6] 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.