

報告番号

※甲

第

号

主 論 文 の 要 旨

鳥類の音声コミュニケーションに関する時空間的ダイナミクスの理解に対するロボット聴覚アプローチ
 論文題目 (A robot audition approach for the understanding of spatiotemporal dynamics of vocal communication in songbirds)

氏 名 炭谷 晋司

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ロボットの環境認識のために、多チャンネルのマイクロホンで構成されるマイクロホンアレイを用いた音源の方向推定（定位）や抽出（分離）等の音声信号処理を実時間で行う「ロボット聴覚技術」を活用した、鳥類の鳴き声及び鳥類集団内の音声コミュニケーションの観測と分析に関する取り組みをまとめたものであり、全6章からなる。

序論となる1章では、まず背景として鳥類における音声コミュニケーションの役割について述べた後、相互作用する鳥類集団を複雑系として捉える考え方や、生物由来の音と環境との関わりの理解を目指す生態音響学と鳥類音声との関係について概説する。次に、主に個体間相互作用理解の際に生じる従来の鳥類音声観測手法の抱える問題として、空間的情報や複数の音情報の抽出が困難であることを挙げる。これらを踏まえ、本研究は鳥類の音声コミュニケーションにおける個体間相互作用の理解に焦点を合わせた、ロボット聴覚技術を用いた観測・分析手法の実現を目的とする。特に、鳥類の積極的な相互作用が観測可能な実験環境の構築、実験条件に応じた分析手法の構築と生態データの検討、抽出音源の分類・統合手法の確立に注目したシステムの構築と3つの観測実験について報告する。

2章では、利用するロボット聴覚オープンソースソフトウェアであるHARKの基本的な仕組みを述べた上で、提案する観測手法（音源定位・音源分離等）について説明する。その後、HARKを利用し鳥類音声観測用に音声信号処理を容易に利用可能にしたソフトウェアであるHARKBirdの機能や用途について述べる。

3章では、野生の鳥類個体が積極的に動き、鳴く様子を観測できるように同種の鳴き声を再生するプレイバックによって疑似的な鳴き合う状況を構築できる実験の枠組みを構築した。その評価として、名古屋大学大学院生命農学研究科附属フィールド科学教育研究センター稲武フィールドでウグイス (*Horornis diphone*) に対してプレイバック実験を行い、その影響を単一マイクロホンアレイによる音源の方向情報を用いた定量的分析によって調査した。その結果、プレイバックの条件によって対象個体に与える影響が異なることを定量的に示した。具体的には、再生頻度が

高いほど対象個体はプレイバックに対して強い警戒を示す傾向がある一方、対象個体の発声後にプレイバックを行うインタラクティブ実験では再生頻度が低いにもかかわらず強い影響を与える傾向が観測された。これにより、提案手法によるプレイバック・インタラクティブ実験の生態観測への意義が示された。さらに、定位方向に基づいた発声と移動に関する調査では、遠方への移動と見なせる音源定位方向の大きな変化があった際の発声には警戒を示す歌が用いられる傾向も観測された。

4章では、3章のウグイスに対する実験の発展として、より詳細な挙動の変化の抽出と提案システムのより多様な環境での適用を目指し、米国加州の森林に生息するホシワキアカトウヒチョウ (*Pipilo maculatus*) に対するプレイバック実験を題材とした2台のマイクロホンアレイによる音源の2次元定位と音源の分類に向けた検討を行った。本実験では、次元削減アルゴリズム (t-SNE) を用いた定位音源の分類支援手法と半自動的な音源定位手法を提案し、鳥類生態理解と音風景理解という異なるスケールでの鳴き声の観測を試みた。その結果、提案した分類支援手法は音源の分類における時間的コストの削減に貢献し、さらに音風景の概観にもうまく適用できた。プレイバック実験の2次元定位結果からは、対象個体がプレイバック音の種類によって発声頻度や種類、スピーカへの接近傾向などを変えている状況を詳細に把握でき、生態学的に妥当な時空間的ダイナミクスの抽出が可能であることも示された。

5章では、多数個体が鳴き合うより複雑な状況での生態理解のための観測手法の提案として、北海道大学札幌キャンパス圃場の屋外テント内に構築した鳥類が自由に飛び回れる環境での複数のキンカチョウ (*Taeniopygia guttata*) 個体の鳴き声の観測を試みた。多数個体集団内の発声の様子を抽出を目的とした実験では、動く複数の同種鳥類の発声が複数マイクロホンアレイに基づく観測手法によってどの程度詳細に観測可能かを検証した。本研究で提案した、マイクロホンアレイごとに定位担当範囲を割り当てる2次元定位手法は、止まり木や巣などのキンカチョウが鳴く位置の詳細な把握に貢献した。また、定位結果と定位音源の音響特性情報の組み合わせからはキンカチョウ集団の鳴き声に関する時空間的ダイナミクスの抽出に成功した。社会的関係に焦点を合わせた実験では、VAE と SVM に基づく鳴き声の分類手法の提案と雌雄の数を変えた録音実験を行うことで、社会状況の変化によって生じる個体間関係の変化の抽出を試みた。提案した分類手法は、対象個体の鳴き声の特徴を把握して、ノイズの除去と鳴き声に基づく個体識別に貢献した。また、観測された結果からは、個体の組み合わせによって個体間距離や発声頻度に差が生じ、状況に応じて結合の度合いを変化させるオス個体の挙動の観測に成功した。

6章では、結論として上記の実験で得られた知見をまとめ、一連の提案の枠組みは個体の積極的な相互作用を観測可能であること、マイクロホンアレイの使用台数・音源定位情報の利用方法に応じた粒度の異なる観測データの取得が可能であること、これらが観測目標・観測環境に応じた分類手法を適切に選ぶことで実現できることを示した。以上から、本研究が鳥類の音声コミュニケーションにおけるロボット聴覚技術を用いた観測・分析手法の発展に貢献したと結論づけた。