

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第	号
------	-------	---

氏 名 炭 谷 晋 司

論 文 題 目

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
(A robot audition approach for the understanding of spatiotemporal dynamics of vocal communication in songbirds)

論文審査担当者

- 主 査 名古屋大学准教授 鈴木 麗璽
- 委 員 名古屋大学教授 有田 隆也
- 委 員 名古屋大学教授 時田恵一郎

炭谷晋司君提出の論文「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」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、鳥類の音声コミュニケーションの観測手法の構築と分析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、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態音響学との関わり等を概説している。次に、従来の鳥類音声観測手法の問題として空間的情報や複数の音情報抽出の難しさを挙げた上で、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・分析手法の確立を目的として掲げている。

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）について説明している。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ている。

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同種の鳴き声を再生するプレイバックによる観測の枠組みの構築について述べている。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、条件によって対象個体を与える影響が異なることを定量的に示している。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、対象個体の発声直後に再生する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等が観測され、観測手法の生態観測における意義が示された。定位方向に基づいた発声と移動に関する調査では、遠方への移動後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次元定位と分類を試みている。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ている。提案した分類支援手法は時間的コストの削減に貢献し、さらに音風景の概観にも適用できることや、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が示された。

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検討のために、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、鳥類が自由に飛翔でき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ている。多数個体集団内の発声の抽出を目的とした実験では、多数の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次元定位手法を提案し、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を可能にした。また、定位結果を定位音源の音響特性情報と組み合わせることによりキンカチョウ集団の鳴き声に関する時空間的変化の抽出に成功した。2, 3 個体の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を提案し、個体数を変えた録音実験において、対象個体の鳴き声の特徴を把握しノイズの除去と鳴き声に基づく個体識別を可能にした。その結果、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、状況に応じて個体間の社会的結合度合いが変化する様子の観測に成功した。

6章では、結論として上記の実験で得られた知見を総括し、一連の提案の枠組みは鳥類の積極的な音声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とまとめている。

以上から、炭谷晋司君提出の本論文は、鳥類の音声コミュニケーションのロボット聴覚技術を用いた観測・分析手法を大いに発展させ、情報学、複雑系科学、生物音響学、生態音響学等へ学際的な貢献をもたらすものであるといえる。よって、炭谷晋司君は博士（情報学）の学位を受けるに十分な資格があるものと判断する。