



カラスと対話するプロジェクト： カラスにとってのカラスらしさの工学的再現

末田航¹⁾, 塚原直樹²⁾, 松田美勇史³⁾, 栗本育三郎⁴⁾

1) シンガポール国立大学 SSI (21 Heng Mui Keng Terrace, 119613 Singapore, idmks@nus.edu.sg)

2) 株式会社 CrowLab (〒320-0806 栃木県宇都宮市中央 3 丁目 1 番 4 号, tsukahara@crowlab.co.jp)

3) 木更津工業高等専門学校 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2 丁目 1 1-1, 0514myuji.pop@gmail.com)

4) 木更津工業高等専門学校 (〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2 丁目 1 1-1, kurimoto@j.kisarazu.ac.jp)

概要:カラスはとても賢く、また人間社会と密接した動物である。一方で、農畜産物の食害や都市公害、それを起因とした過剰な繁殖など常に彼らとの共存が課題となっている。本発表では、動物行動学的なアプローチに加え、ドローン/ロボティクス・人工知能・テレグジスタンス技術などを活用しカラスと対話を試みることで、カラスにとってのカラスらしさを知り、カラスとの共存を試みる本プロジェクトの取り組みを紹介する。

キーワード:ACI(アニマルコンピュータインタラクション) カラス ドローン

1. はじめに

本研究の目的は、カラスとの対話を実現するためにカラスの発達した音声コミュニケーションを再現し、彼らに仲間であると認識させる(具体的にはカラスの対話の文脈に沿って複数の意味ごとに分類されたカラスの音声を再生すること)ことで、彼らと双方向のコミュニケーションを図ることである。また音声だけではなく、より自然な対話を図るために、カラスにとってリアリティのある対話環境を工学的に再現することで、カラスにとってのカラスらしさや、カラスが仲間や彼らの取り巻く環境をどのように認識しているのかを明らかにすることである。日本国内のカラスによる農作物被害は年間 16 億円相当に上る¹⁾。これに加えて、都市部でのゴミ捨て場荒らしや糞害などの公害による被害の原因にもなっている。

本研究では、上述の目的の達成やカラスによる諸問題の解決のために、カラスの姿や挙動を模倣したスピーカ付きのドローンやロボットを介して彼らの行動を効果的にコントロールを可能にすることで、従来行われてきた一方的な脅しや捕獲に依存しない平和的な共存の方法を探ってきた。本稿ではカラスとの双方向のコミュニケーション形態を模索することを目的とした、一連の取り組みと今後の展望について紹介する。

2. 関連研究

動物行動学的な観点からカラスの音声を再生することで行動誘発をする試みは、本研究グループでの先行事例を中

心に、いくつか報告されている[7,8]。しかし、農業などでの実践的な適用状況は、単純な再生装置による対話性のないパターン化された刺激をカラスに与えるにとどまっていた。持続的に効果を得るためには、音声を多様化させる、音源を動かすなど、人海戦術やその代替としての自動化が必要な状況である。一方、コンピュータを介して動物とのインタラクションを行う試みは、センシング技術を活用し動物の生態情報を取得し、家畜の管理を含む動物の行動観察や環境モニタリングなど行なう等、産学を問わず様々な事例がある。本研究ではこれらの先行事例を参考に、対話技術として成立させるべく、カラスの発声に対する意味のある応答を含めた、カラス音声を主軸としたカラスとの双方向コミュニケーション技術の確立を目的としている。

コンピュータを介した他人との対話や作業環境を追求する VR や AR、テレグジスタンスなどは、人間が利活用をすることに主眼が置かれているが、本研究のカラスのロボットやドローンを介してリアルタイムにカラスと対話を試みる取り組みは、これらの対象を動物にまで延長したものと位置づけることができる。昨今のテレグジスタンスやロボット工学の分野では、コンピュータを介した対話をより自然で快適なものとするため、コンピュータの振る舞いに人間らしさを取り込む研究[2,4]が盛んに行われているが、本研究でも同様にカラスらしさをカラスとコンピュータとのやりとりに追求する。また現在、機械学習技術の導入が手軽になったことによって、スマートスピーカや

¹⁾ 農林水産省 全国の野生鳥獣による農作物被害状況

(平成 28 年度) より

対話ポットなどが浸透しつつあるが、本研究結果を有害鳥獣制御などへの実践的に適用する際には、装置の自動化のため、これらの技術を活用することを検討している。この目標の実現にあたり、機械学習による鳥類の音声抽出のコミュニティ[3]や、そのデータセットとなりうる鳥類の音声と、それら分類したインターネット上のデータベース²が愛好家や研究者の間で整備されつつあり、これらを積極的に活用することを検討している。

3. アプローチとこれまでの取り組み

カラスと双方向の対話を実現するために、カラス音声をロボットやドローンを用いて再生させることで、カラスにとってよりリアリティのある対話環境を再現することを試みている。本プロジェクトでは、この目的を達成するため、1)カラスの対話の文脈に沿ったカラス音声の再生を行なうシステムとそれを搭載するための 2)剥製カラスのロボット化、3)ドローンのカラス化の研究開発を進めている。そして最終的には複数のカラスロボット同士が、カラスの生活環境に溶け込んで、彼らと同様に対話し、群れの一部を構成することを目指している(図1)。また、これらのカラスロボットやドローンを介して人間(もしくはコンピュータ)がカラスと対話し、外見だけではなく、実際にカラスになりきって、カラス目線で彼らと対話を行うことで、彼らが生活する環境に没入できる対話インタフェースとなることを目指す。その結果として、カラスの運動(例:鳥として空を飛ぶ感覚や、立ち振る舞いなど)や社会生活(例:縄張りや家族を形成する、縄張りを持つなど)、視覚(カラスは紫外線を認識できる[9])を通して、カラスとして生きるリアリティを体験することで、カラスをより良く理解することを目指す。

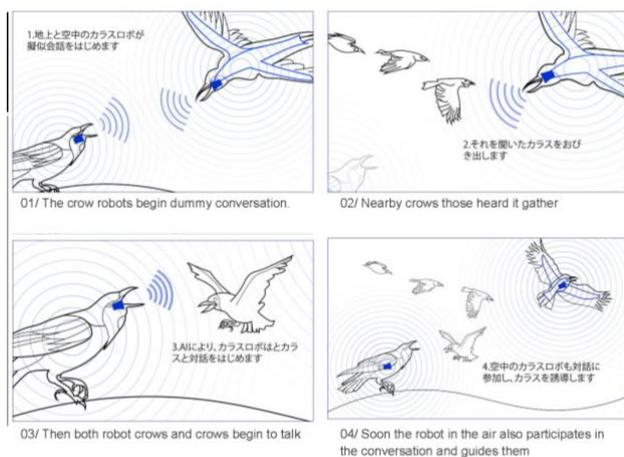


図1 カラスと対話するシステムの概要: 直接対話だけでなく、ロボット同士の疑似対話によってカラスを巻込む

3.1 音声システム

カラスと対話をする音声システムは、対象となる種のカラスと同種の録音音声を用いる。本プロジェクトでは現在ハシブトガラスの鳴き声を録音し、ソナグラムの解析によ

って、音響学的にボキャブラリーを分類をした。本稿作成時点では、約 500 サンプルの鳴き声をもとに、41 種類に分類した音声データセットの一部を用いている[5]。カラスの行動パターンや対話の文脈を再現するように、いくつかの意味の鳴き声を並べて再生(例: (例:警戒>威嚇>逃避を促す)することによってカラスと対話し、行動を誘発する。現時点では、筆者らが、カラスのテリトリーや群れの集合場所でカラスを観察しながら、分類された音声データの再生タイミングをコントロールする形態で運用し、テリトリーも持つカラスに適用する場面において行動誘発することに成功している[7]。また、音声システムの運用方法として、カラスが音源を特定しにくいようにする方法の検討も進めている。具体的には、超指向性のパラメトリックスピーカを用いることで、カラス自身や近傍の物体から音声が聞こえるようにする。または、後述のように複数のスピーカを用いることで、群れを再現する[6]。

3.2 カラス剥製のロボット化とドローンのカラス化

本研究では、ドローンやロボット外見を、カラスに模倣することによって自然に対話することを目指している。最終的には、飛行や歩行、その他の運動が可能なカラスの剥製がカラス音声を発声して対話可能にすることを目指しているが、技術的な制約から現時点では、カラスの剥製をロボット化と、固定翼のドローンのカラス化を並行して実施、最終的にカラスのサイボーグを完成させることを目指している(図2)。カラスロボットは、地方公共団体により有害鳥獣捕獲された個体の提供を受け、剥製を作る芯材を 3D スキャンし、稼働部の筐体とした外骨格化した身体内部に、制御機器やセンサ、可動装置を搭載し、剥製化した羽毛等を被せて使用している(図3左)。

ドローンのカラス化については、固定翼モーターグライダー型のドローンにスピーカを搭載、また固定翼全翼機にカメラを搭載したカラスの頭部の 3D モデルを取り付けている。そして FPV 画像の配信と、受信側 HMD に内蔵したヘッドトラックと連動できるように、頭部 3D モデルをジンバルに取り付けて、地上のオペレータの頭部の挙動と同期させることで、カラスを観察・対話を可能にしている。また、ドローンのカラス化の一環として、カラスの剥製翼によって飛行可能なグライダー(羽ばたきやプロペラなどの動力を持たない)を実現するため、剥製翼の飛行特性を計測するための風洞実験を実施し、翼の取付角度や揚力獲得のシミュレートと最適化を行っている(図3右)。またこの機体は、ジャイロや GPS によって飛行制御を行う。

² xeno-canto:: Sharing bird sounds from around the world

<https://www.xeno-canto.org>

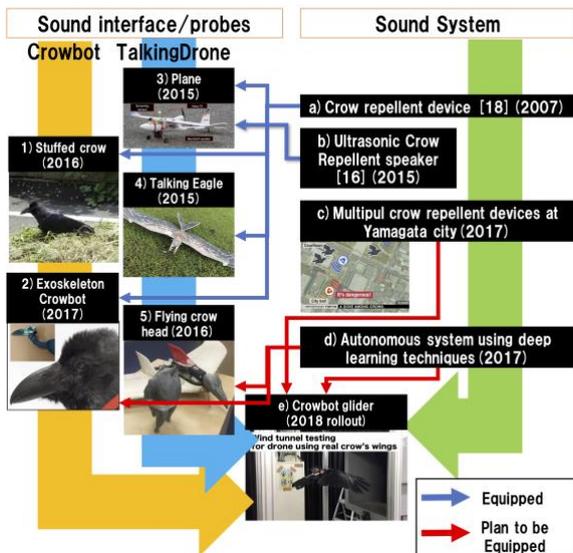


図 2 カラスロボット・ドローンの開発ロードマップ



図 3 カラスロボット(左), 剥製翼カラスグライダー(右)

3.3 挙動

本研究では、カラスの見た目に加えて身振りなどを模倣することで対話を円滑にすることを目指している。スピーカーから音声のみを提示した場合、一定のカラスの反応を引き出すことができるが、スピーカーからの音声再生に加え、動かない剥製を提示した場合、スピーカーのみに比べ、カラスの反応が弱くなった[7]。これに対して、首と尾羽が稼働する剥製ロボットを使って再度実験を実施した結果、動かない剥製と比較して強い反応を引き出すことに成功した³。また、トビに対してトビを模倣したドローンを用い円弧を描きながら上昇飛行をすると、トビが追いかけてくる行動を引き出すことができた。ドローンに搭載したスピーカ(平面ではなく3次元空間)でカラスの鳴き声を再生しながら飛行した結果、カラスの群れが追いかけてくる事が確認できたが、数回繰り返すうちに反応がなくなった。カラスに対しては、見た目をよりカラスに近づけるなどの工夫が必要であると考えられる。

3.4 多点音源によるカラス対話環境の再現と自動化

これまでの音声再生実験[7]より、カラスは音源定位能力が優れていることが推測される。そこで我々は音声や見た目などの個々リアリティを追求すると同時に、複数のカラスが対話している状況、つまり、複数の音源を用いることで、カラスにとってのリアリティを追求することを模索している。図4は山形市内で山形市の協力の下で実施した、

³鳥学会 2018 年度大会で「首と尾羽が可動する剥製ロボットをカラスは生きたカラスと認識するか?」として発

離れた場所に設置した複数の音源を使って、カラスの群れの動きを表現し、彼らの行動を促す実験の模式図である。まず①オオタカとその声を聞き警戒・逃避するカラスの声を市役所(City hall)で再生、その後②カラスがねぐら入り(安心できる場所に集合)する際の音声の再生した結果、意図する場所(博物館: Museum)への誘導に成功した。一方で持続性の確認はされておらず、同じ場所で繰り返し実験した際に同様の結果が得られるか、他の場所でも意図する場所への誘導が可能かどうかを検証する必要がある。



図 4 複数のカラス音声スピーカによる誘導実験(図:NHK worldより引用, 山形市協力)

山形市での実験の音声制御(再生音声の選択や、各所のスピーカへの再生タイミングの制御)は目視による状況判断と手動制御によって実施されたが、この方法をより広範囲かつ持続的に適用するには限界がある。そこで、本研究ではカラスの行動や音声を自動で認識、その意味を判断・応答するプロセスの自動化を検討している。最終的にはこれら自動応答機能をロボットやドローンにも搭載を検討する。図5はカラスを視覚的・聴覚的に自動認識することを目的とした対話システムのプロトタイプイメージ図である。カラスへの行動誘発のため、視覚的にカラスを認識すると遠隔地に設置したスピーカが、カラスが餌を発見した際に発する集合音声を再生し、自動的に意図した場所への移動を促すことを目的としたプロトタイプを実装した(図5上)⁴。実装コストの観点から、カラスの認識にはIBMが提供するWatsonを学習モデルとして用いたが、2017年初頭時点での結果はカラス以外の黒い生物(他種の鳥やネコ)を誤判定するなど精度に問題があった。そこで、これを補完するために定期的に判別結果を、SNSなどを介してユーザに確認修正をさせる、適合性フィードバック機能などを追加した。

また、音声対話の自動化のために、塚原らがハシブトガラスの音声をソナグラムの波形を元に分類したデータセット[5]や、高い精度で鳥の音声を検出可能なConvolutional Recurrent Neural Networkによる既存の学習モデル[1]を活用し、カラス音声の認識とそのレスポンスを行うカラス音

表予定

⁴ カラスマヨネーズ(2017): https://youtu.be/_Bo5W1XiZc8

声再生機能を実装した(図5下)。こちらの検出結果は環境音からカラスの音声の検出は概ね可能であったが、違う種の鳥の音声を検出(ウミネコなどの類似した音声を誤検出)してしまう課題があきらかになった。これらの課題の改善案としては、データセットと学習モデルの強化に加えて、例えば図5の上下、視覚と音声両方の検出結果でクロス判定させることで、例えば音声で誤検出されたウミネコ(白色)を検出結果から除外するなどの精度向上策などが考えられる。

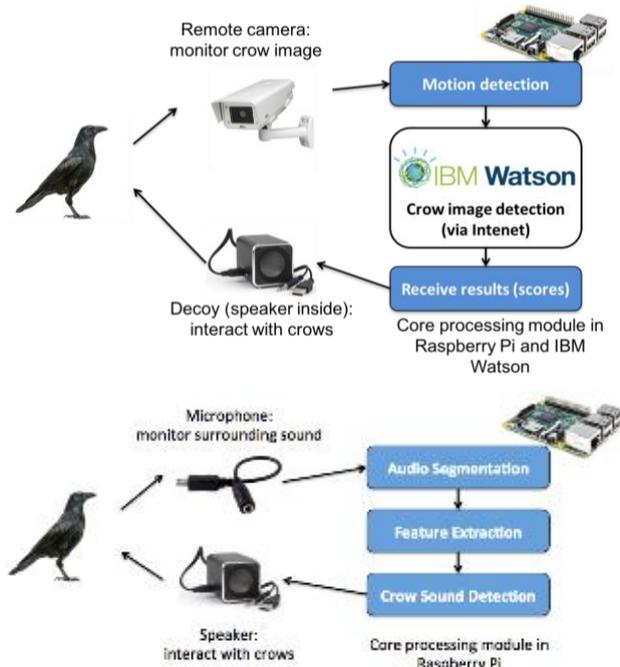


図 5 機械学習サービスを利用した自動カラス対話システムのイメージ

4. 今後の展開

前章では、本研究のこれまでの取り組みを紹介した。本研究の今後の展開として、以下の2つの方向性の追求を検討する。1つは「カラスの行動制御技術を実社会に適用させるための自動化」であり、2つ目は、「人間がカラスと対話するためのインタフェースの洗練化」である。自動化に関するこれまでの結果では、カラスの対話音声の認識精度を担保に十分なデータ確保の課題がある。

これに関する具体策として、自動音声システムの運用時のカラスとの対話の判定結果を、学習モデルへのフィードバックすることや、YouTubeなどのユーザ投稿型のデータセットとその分類タグを活用する、またこれら複数の分類結果の学習データ使ってクロス判定を行うなどの精度向上手法が考えられる。また、これらの技術は十分な量のデータセットが整備されていれば、人間の分類精度を超える可能性もありうる。また、他の種への応用も可能で、例えば家畜の行動制御による生産性向上や、バードストライクの原因となる他の鳥の行動制御なども考えられるだろう。また、カラスとの対話インタフェースに関しては、テレグジスタンスが人間の知覚を、計算機を介して再現・体験

可能にする志向に敷衍して、カラスの知覚を人間が体験可能になることで、例えばカラスの視覚(高い視力や紫外線知覚能力など[10])を通じたカラス独自の環境認識やカラスらしさの知覚、飛翔時の風切羽を通して知覚される触覚を得ることで、対話技術周辺分野だけでなくロボットや航空工学などの分野にも貢献できる可能性がある。またそれと対応して、カラスが人間の知覚を体験可能になれば、カラスの知覚によって人間の知覚を拡張し、人間の生活に価値をもたらす(その逆もあり得る)、知能を利活用する産業動物となる可能性もある。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 17K17733、東北大学電気通信研究所 21 世紀情報通信研究開発センター萌芽研究部、東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究、カシオ科学振興財団、National Research Foundation Singapore、学術系クラウドファンディング「Academist」を通じた支援者からの資金によって実施されている。

参考文献

- [1]EmreÇakır, Adavanne, S., Parascandolo, G., Drossos, K., and Virtanen, T. Convolutional Recurrent Neural Networks for Bird Audio Detection. (2017).
- [2]Nishio, S., Ishiguro, H., and Hagita, N. Geminoid: Teleoperated android of an existing person. In *Humanoid robots: New developments*. InTech, 2007.
- [3]Stowell, D., Wood, M., Stylianou, Y., and Glotin, H. Bird detection in audio: a survey and a challenge. *Machine Learning for Signal Processing (MLSP), 2016 IEEE 26th International Workshop on*, (2016), 1–6.
- [4]Tachi, S. *Telexistence*. World Scientific Publishing Company, 2009.
- [5]Tsukahara, N., Aoyama, M., and Sugita, S. The classification of vocabulary by the analysis of sonograms in jungle crow (*corvus macrorhynchos*). *The classification of vocabulary by the analysis of sonograms in jungle crow (corvus macrorhynchos)*, (2005).
- [6]Tsukahara, N. and Fujiwara, S. Comparison of ultrasonic speaker and laudspeaker for broadcasting crow vocalizations for control of crow behavior. *the 49th congress of the international society for applied ethology (ISAE 2015)*, (2015).
- [7]Tsukahara, N., SUEDA, K., and UEDA, F. Effect of stimulation using a stuffed crow and broadcasted crow vocalizations on crow behavior. *the 50th Congress of the International Society for Applied Ethology (ISAE 2016)*, (2016).
- [8]相馬雅代 and長谷川寿一. ハシブトガラス *Corvus macrorhynchos* における集合音声と採餌群れの形成. *日本鳥学会誌* 52, 2 (2003), 97–106.
- [9]塚原直樹, 村田ひと美, 小池雄一郎, 青山真人, and 杉田昭栄. ハシブトガラスにおける各種光波長に対する学習成立速度の検討. *日本家畜管理学会誌・応用動物行動学会誌* 48, 1 (2012), 1–7.