

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「イノベーション創発に資する
人工知能基盤技術の創出と統合化」
研究課題「放牧牛のインタラクション分析による
革新的飼養管理技術の開発」

研究終了報告書

研究期間 2016年12月～2019年3月

研究代表者：大川 剛直
(神戸大学大学院
システム情報学研究科 教授)

§1 研究実施の概要

(1) 実施概要

本研究では、生産基盤強化の取り組みとして推進されている放牧牛やパドックで飼育されている牛を対象として、牛間に見られる様々なインタラクションに関する情報をもとに、個別の牛から計測される活動量などだけでは捉えることが困難な発情状態や異常状態の検知を実現することで、飼養管理の省力化促進や見逃しによる経済的損失の低減を狙っている。この目的を達成するため、①牛のトラッキングと牛間インタラクションの時間変化検出、②牛の状態把握、③インタラクションによる牛の状態の検知とプロトタイプシステム構築の3項目について研究を進めた。主として①はインタラクション情報抽出グループ、②はインタラクション情報解釈グループが担当し、両グループの成果をまとめることにより③を遂行したが、①と②を含む全項目を通して、グループ間で密に連携しながら研究を推進した。

① 牛のトラッキングと牛間インタラクションの時間変化検出

牛のトラッキングに関しては、各牛に装着した BLE タグから発信される電波を放牧場周辺に配置したレシーバで受信し、その電波強度分布により牛の位置を特定する手法を開発した。開発した手法は、ディープニューラルネットワークの枠組みをベースに、電波伝播特性を定式化した仮想空間に基づいて得られるシミュレーションデータによる学習と実空間上での GPS データを用いた学習を併用することに特徴があり、平均位置距離誤差 6 m という GPS と同程度の精度による位置特定を達成した。また、GPS 学習データを時系列として学習することで平均位置距離誤差 5 m を達成した。

牛間インタラクションの抽出については、牛の行動類似性に基づくコミュニティ抽出や接近行動に基づくインタラクションの定量化のための手法を提案した。また、このような各種インタラクションの時間変化の検出のため、情報幾何学を用いた時間発展型ネットワークモデルにより、特異な変化の抽出が可能な統一フレームワークを提案するとともに、発情検知に関連するインタラクションの変化に焦点を当て、少数の牛から構成されるスモールコミュニティの形成に基づく変化検出手法を提案した。

② 牛の状態把握

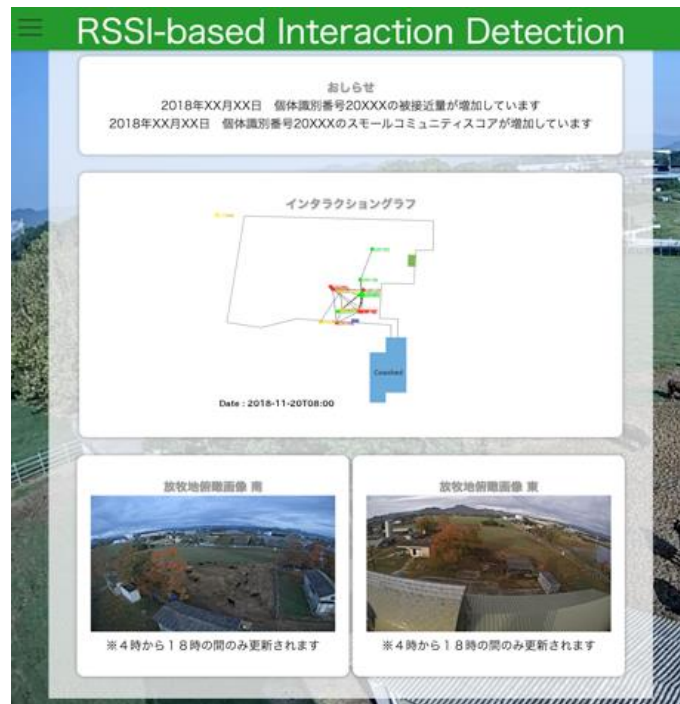
抽出されるインタラクション情報に適切な意味づけを行うには、その行動が発現したタイミングにおける幅広いデータが必要である。このため、放牧牛の目視による行動観察や定期的な試料採取を行い、状態の把握に努めた。期間中に、供試していた 47 頭の黒毛和種から 1,530 回の観察記録に加え、延べ 467 回の採血、571 回の唾液採取を行った。血液は、高ストレスを含む健康上の問題を抱える個体の把握のために用い、延べ 24 頭の要注意個体の特定を行った。また、それ自体がストレスとなる採血の回数を減らすため、唾液による異常個体の特定を試みたところ、ストレス指標のひとつであるコルチゾール濃度において唾液と血液間で 0.735 の有意な相関係数が得られ、ストレスに関しては採血をすることなく評価することが可能であることを示した。

③ インタラクションによる牛の状態の検知とプロトタイプシステム構築

把握された状態の中でも特に発情状態を中心に、抽出された各種インタラクションに基づく検知を試みた。その結果、2017 年 11 月 1 日から 2018 年 5 月 29 日までの約 7 か月間において、目視や受胎のエコー検査によって、確実に発情状態にあったと判断された牛は延べ 7 頭であり、そのうち 5 頭について、接近度に関するインタラクションにより、発情状態の検知に成功している。2 頭に対する検知失敗は、データ取得に不備があり位置情報が得られなかったこと、およびパドックに隔離されていたことから、インタラクションが抽出できなかったことに起因するものである。また、従来の歩数(運動量)に基づく発情検知手法で見逃した発情に対しても、的確に検知できており、提案手法の優位性が確認された。

さらに、インタラクションに基づく発情検知を現場で実証することを目的として、BLE タグシス

テムからリアルタイムで電波強度情報を取得し、これをもとに接近・被接近などのインタラクションに関する指標やコミュニティを抽出するとともに、その時間変化の可視化機能や発情の通知機能を提供するプロトタイプシステムを構築した(下図)。



図：プロトタイプシステムのメインページ

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. 時間発展型ネットワーク解析のためのフレームワーク開発

概要：インタラクションの変化を検知するための手法の構築を目的として、既存研究で提案されている様々な静的なネットワークモデルと各種時系列解析手法を自由に組み合わせることにより、時間発展型ネットワークを解析する手法を構築することが可能な統一フレームワークを世界に先駆けて開発した。提案したフレームワークに基づき、非常に単純なネットワークモデルと時系列モデルを組み合わせることで、放牧牛のインタラクションに関する異常検知手法が構築できることを確認した。

2. 深層学習による高精度屋外位置推定技術の開発

概要：省電力無線タグから発せられたビーコン信号をエリア周辺に設置したレシーバで受信し、その受信電力強度に基づいて牛の位置を高精度でトラッキングするための技術開発を行い、深層学習により、平均位置距離誤差 6 m 程度の精度で位置推定を実現した。牛の位置や状態に関する学習データを偏りなく大量に生成するために、コンピュータ内にレシーバやタグのアンテナ指向性を考慮した仮想空間を構築し、仮想空間データと実空間データで学習するアプローチは他に例がなく独創性も高い。また、GPS 学習データを時系列として学習することで平均位置距離誤差 5 m を達成した。

<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

1. インタラクション分析に基づく発情検知の高精度化

概要：放牧牛を対象に、牛に装着した各種センサ・無線デバイスや俯瞰カメラ画像を活用し、牛の位置関係や行動に基づく牛間インタラクションを抽出するとともに、その変化の解析により、従来から利用されている牛個体の計測による方法では見逃しがちであった微弱・不健全な発情を高感度に検知することに成功した。この成果は、放牧の促進や放牧牛の飼養管理の省力化に大いに寄与するものである。

2. 仮想空間と実空間データを利用した深層学習による高精度屋外位置推定技術の開発

概要：牛を対象としたインタラクション情報取得においては、人の介在が困難であるため、自動化・省力化が必須となる。そのためのデバイスとしては、農家への普及の観点から、低価格かつ耐候性・耐衝撃性が求められる。加えて、インタラクションへの外乱となり、かつ手間のかかるデバイスのバッテリー交換頻度を極力減らすことも大きなポイントとなる。省電力無線タグは年単位でバッテリー交換が不要であり、その受信電力強度に基づいて牛の位置を高精度でトラッキングするための技術の実現は、牛を対象としたインタラクション情報取得の自動化・省力化に極めて有用である。

< 代表的な論文 >

Yohei Yamauchi, Ryo Nishide, Yumi Takaki, Chikara Ohta, Kenji Oyama, Takenao Ohkawa, “Cattle Community Extraction Using the Interactions Based on Synchronous Behavior”, Proceedings of the 9th International Symposium on Information and Communication Technology, pp.227-234, 2018.

Shunta Fukumoto, Ryo Nishide, Yumi Takaki, Chikara Ohta, Kenji Oyama, Takenao Ohkawa, “Quantifying the Approaching Behaviors for Interactions in Detecting Estrus of Breeding Cattle”, Proceedings of the 9th International Symposium on Information and Communication Technology, pp.235-242, 2018.

小松瑞果, 谷口隆晴, 大川剛直, 統計多様体上の状態空間モデルを用いた発展型ネットワーク解析, 日本応用数理学会 2018 年度年会講演予稿集, pp. 503-504, 2018.

§ 2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

① 「インタラクション情報抽出」グループ

研究代表者：大川 剛直(神戸大学大学院システム情報学研究科 教授)

研究項目

- ・牛を観測・トラッキングする手法の確立
- ・観測・トラッキングデータから多様なインタラクション情報を獲得する手法の開発
- ・膨大なインタラクション情報に基づく、牛の状態把握に有効な因果の顕在化(グループ共同)
- ・プロトタイプシステムの構築(グループ共同)

③ 「インタラクション情報解釈」グループ

主たる共同研究者：大山 憲二(神戸大学大学院農学研究科 教授)

研究項目

- ・膨大なインタラクション情報に基づく、牛の状態把握に有効な因果の顕在化(グループ共同)
- ・プロトタイプシステムの構築(グループ共同)

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

チーム外の研究者として、時系列ネットワークからの異常検知に関して、数理科学的アプローチによる社会ネットワーク解析を専門としている神戸大学谷口隆晴准教授と共同で研究を進めている。兵庫県立農林水産技術総合センター北部農業技術センターの福島護之所長には、実験フィールド拡大に向けての支援や獣医学的観点からの助言を得ている。また、神戸市立王子動物園とは、対象動物種の拡大に関して議論している。インタラクション抽出のためのデバイスに関しては、システム開発系の複数の企業から技術支援を受けるとともに、共同で新規デバイスの開発を進めている。さらに、本「人工知能」領域におけるサイバーオーシャンチームの東京大学佐藤克文教授ならびにチームメンバーとは、データ収集の基盤となる動物装着向けデバイスとその利用に関して、情報交換を重ねている。また、社会実装につなげていくことを念頭におき、農業アプリの開発・販売実績をもつ(株)クリエートとの連携を強化している。