

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12099

研究課題名(和文)放牧牛におけるインタラクション情報の取得によるコミュニティ分析とその応用

研究課題名(英文)Analysis of community based on information about interactions between cows

研究代表者

大川 剛直(OHKAWA, TAKENAO)

神戸大学・システム情報学研究科・教授

研究者番号：30223738

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、牛の社会性に注目し、牛間のインタラクションの抽出と分析により、牛の発情状態などを検出するいくつかの手法を提案した。様々なインタラクション情報の抽出のため、アクティブBLEタグから得られるデータや俯瞰カメラ画像から、牛をトラッキングする手法や牛の行動を分類する手法を開発した。また、インタラクションやコミュニティの変化に基づき、牛の状態を予測する手法を提案し、正しく牛の状態検知が実現できていることを実験的に確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we presented several new methods of detecting estrus and monitoring health condition of cows through extraction and analysis of interaction between cows by focusing on cows' sociality. In order to extract various types of information about interaction, we developed some methods of tracking a cow and classifying its behavior based on the data obtained from an active BLE (Bluetooth Low Energy) tag attached on the neck of each cow and bird's eye videos. In addition, we proposed a method of predicting condition of the cow by analyzing temporal change of interactions and/or communities of cows and confirmed experimentally that the proposed method obtained accurate results of estrus detection.

研究分野：情報工学

キーワード：インタラクション情報 時系列データ スマート農業 ネットワーク分析 放牧牛

1. 研究開始当初の背景

食に対する人々の関心には極めて高いものがあり、その安定供給や安全・安心の確保が強く求められている。その一方で、農業従事者の高齢化・後継者不足は深刻化しており、従来の勘や経験に依存した農業から脱却を図り、科学的知見やデータに基づいた合理的で効率的な農業の実現が、国内需要はもとより世界戦略の視点からも喫緊の課題とされている。本研究では、特に畜産を対象とし、牛がコミュニティを形成する社会性のある動物であることに着目することで、畜産のスマート化に向けての新しいアプローチを展開する。

ICT を活用し、個々の牛の健康状態などを把握・管理する試みは、これまでに国内外でいくつか見られるが、牛同士のインタラクションに注目し、画像認識、無線通信、マイニング、集団分析などの技術を駆使したデータ処理により、発情状態にある牛や健康状態に問題がある牛の存在などを予測するアプローチは、他に類例が無く、本研究独自の取り組みと位置づけられる。

2. 研究の目的

本研究では、放牧牛を対象として、個々の牛の位置情報や複数の牛間の近接情報（相互の距離の変化や接近の様子）などをもとに、牛と牛の間に見られる様々なインタラクション（相互作用）に関する情報を取得する方法の開発が第一の目的である。取得したインタラクション情報を利用し、その時間変化の分析、ならびに牛の集団の中で形成されるコミュニティの抽出・分析を通して、個々の牛の状態とインタラクション／コミュニティの関連性や牛の社会性に対する動物行動学的知見（社会的行動をドライブする要因など）を獲得する手法を確立する。得られた知見を活用することにより、個別の牛から計測される運動情報や生体情報だけでは捉えることができないような発情検知、ストレス検知、健康状態検知などへの応用を目指す。

3. 研究の方法

(1) インタラクション情報取得手法の開発

GPS、BLE タグ、カメラ画像などから得られるデータを通して、牛のインタラクション情報を取得する手法を開発する。

(2) インタラクション情報分析手法の開発と評価

取得したインタラクション情報ならびにそこから抽出されるコミュニティ情報を分析し、その時間変化に基づいて、牛の状態を推定する手法を開発する。

4. 研究成果

(1) インタラクション情報の取得

① BLE を利用した牛のトラッキング
インタラクション情報を取得するための基礎となる放牧牛の位置情報の取得とトラッキ

ングに向けて、GPS に比べて消費電力が少なく、リアルタイムにデータ収集が可能な BLE (Bluetooth Low Energy) を利用した測位手法について検討した。

具体的には、アクティブ BLE タグを牛に装着し、放牧場の周囲に配置した受信機により取得される電波強度をもとに、牛の位置を推定する手法を新たに開発した。特に放牧場が広大であることを考慮して、電波伝播特性等をモデル化した仮想空間を構築し、仮想空間上での Fingerprint 法を新規に提案することにより、測位精度の向上を図った。図 1 に位置推定実験の結果を示す。

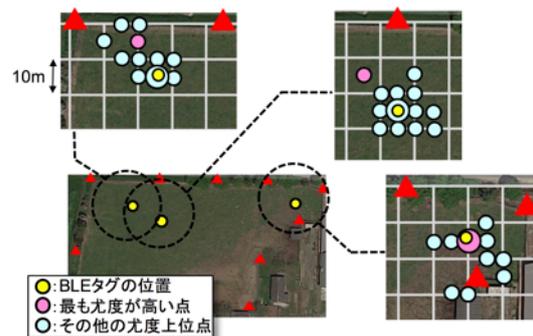


図 1: 位置推定実験結果

② 俯瞰画像を利用した牛のトラッキング

繁殖牛が放牧される放牧場を俯瞰的に撮影し、取得した動画から背景差分法に基づく牛の検出・トラッキング手法を開発した。特に対象としている入力画像に応じて適切な背景画像を膨大な画像データベースの中から逐次的に選択・利用することにより、誤差の削減を図った。また、単に背景画像を検索するだけでなく、現在対象としている画像と撮影環境が類似する画像の活用のため、牛が存在する複数枚の画像から背景画像を合成する手法についても提案した。図 2 に俯瞰画像から牛を検出した例を、表 1 に提案手法による牛の検出精度を示す。これより、合成背景利用の有効性を示すことができた。

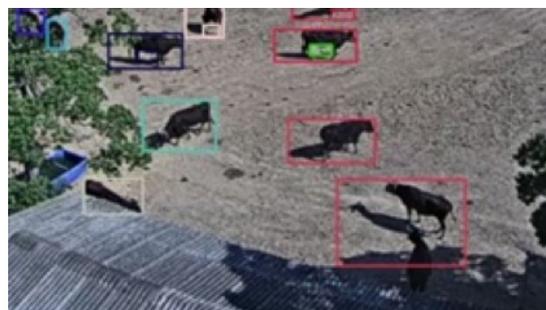


図 2: 俯瞰画像からの牛領域検出の例

表 1: 俯瞰画像からの牛領域の検出精度

	適合率	再現率	F 値
合成背景なし	0.3712	0.8607	0.5187
合成背景あり	0.6779	0.8319	0.7471

さらに、牛の行動における特徴的な軌跡を発見し、これを積極的に活用することにより、俯瞰画像から抽出された牛領域と無線デバイスなどにより得られる牛の位置データを対応付ける手法を開発した。これにより、コミュニティ抽出のために必須となる牛の個体識別を実現するとともに、測位データの誤差を画像上における牛のトラッキングデータに基づいて補正することを可能とした。図3に俯瞰画像と測位データの対応付けの例を示す。



図3 俯瞰画像と測位データ(■)の対応付け

③ 俯瞰画像を利用したインタラクション情報取得

放牧場に対する俯瞰動画から牛間のインタラクションの種類を特定する手法について検討した。ここでは、インタラクションを画像上での牛と牛のコンタクトと定義し、front (相対、図4)、behind (追尾、図5)、mount (乗駕、図6)の3種類のインタラクションを区別して捉えることを想定した。Bag of Visual Wordsを利用した類似画像検索の枠組みにより、これら3種類のインタラクションを特定する手法について提案した。このとき、俯瞰画像が時系列静止画であることを活用し、インタラクション発生前後の状態の利用により、精度の向上を図る。表2に40頭の放牧牛を対象とした実験における分類精度を示す。



図4: 相対の例



図5: 追尾の例



図6: 乗駕の例

表2: 俯瞰画像からのインタラクションの分類精度 (括弧内は、インタラクション発生前後の状態を考慮しない場合)

	適合率	再現率	F 値
front	0.5128 (0.2632)	0.1471 (0.1471)	0.2286 (0.1887)
behind	0.5412 (0.5204)	0.7886 (0.6571)	0.6419 (0.5808)
mount	0.2281 (0.2407)	0.3250 (0.3250)	0.2680 (0.2766)

インタラクション発生前後の状態を考慮することにより、平均的に分類精度は向上しているが、それでも、特に front と mount に関して、低い精度に留まっている。これは、追尾に比べて、相対や乗駕が発生する頻度が低く、十分な類似画像が得られなかったことに起因すると考えられる。

④ 牛の位置に基づくインタラクション情報取得

①や②の手法により測位精度の検証を行う必要性から、これらの取り組みと並行してGPSデバイスを搭載した首輪を牛に装着することにより、正解データとしての位置情報の取得を実施した。さらに、BLE タグやGPSを用いて得られた位置情報・トラッキング情報・センサ情報をもとに、行動同期、接近量・被接近量、近接度などの尺度を新たに導入し、これにより、インタラクションを定量化することで、インタラクションの時間変化を取得する手法を提案した。以下に、取得した各インタラクションについての定義を示す。

- ・ 行動類似度：BLE タグから得られる加速度データや気圧データをもとに、牛の行動を分類し、複数の牛における行動系列の類似度として算出。
- ・ 接近量・被接近量：一定期間において、ある牛が同一コミュニティに所属する他のいずれかの牛に接近した量の合計値により接近量を、逆に接近された量の合計値として被接近量を算出。
- ・ 近接度：一定期間において、ある牛と一定距離以内に他の牛が存在する総時間を距離の近さによる重み付きで計算した値として算出。

(2) インタラクション情報の分析

① 行動類似度に基づくコミュニティ抽出とその時間変化の分析

行動類似度が一定の閾値を超えるものについて、インタラクションが発生していると判断し、牛をノード、インタラクションをエッジとするインタラクショングラフを生成した結果を図7に示す。このようにして生成されたグラフをもとにコミュニティを抽出し、コミュニティのサイズや構成の時間的変化を分析した結果を図8と図9に示す。図8に示した管理番号20267の牛において、2017年11月16日にコミュニティのサイズが著しく変化し

ている。このとき、目視で尻部に粘液があったということが報告されている。コミュニティ構成については、図 9 で示した管理番号 20283 の牛において、2017 年 11 月 26 日と 27 日に人工授精が行われている。この時、基本コミュニティとその時に所属しているコミュニティの間の類似度が低下していることが確認でき、発情の兆候を示すものと解釈できる。

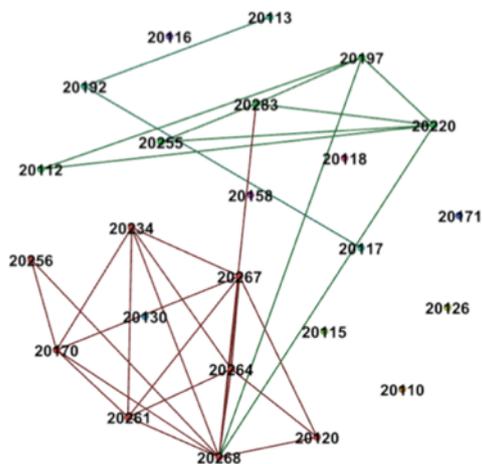


図 7: インタラクショングラフの例



図 8: 牛 (20267) が所属するコミュニティのサイズの時間変化

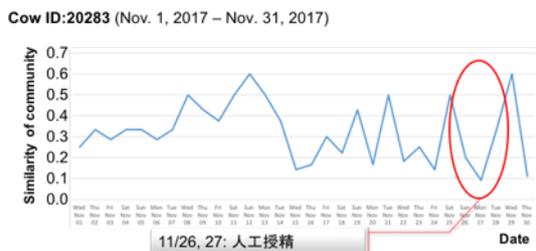


図 9: 牛 (20283) が所属するコミュニティの構成の時間変化

② コミュニティと社会的順位の関連性の分析

インタラクション情報に基づいて推定された牛のコミュニティをもとに、牛の社会性に関する動物行動学的知見を得るため、牛の社会的順位とコミュニティとの関連性を調査した。牛舎にて給餌を行う際、より強い牛ほど、先に牛舎に戻るということが知られていることから、ここでは牛の社会的順位を牛舎に戻る順番に

より規定している。図 10 の最上行と最右列は、牛の管理番号を表し、社会的順位に従い、並べている。図 10 中の数字は、ある一定期間において、対応する牛同士が同一コミュニティに所属していた時間割合 (%) を表している。これより、社会的順位が高い強い牛は、コミュニティに属さず、独立して行動し、順位が低い牛は、他の弱い牛とコミュニティを形成する傾向にあることがわかる。



図 10: コミュニティと社会的順位の関連

③ 各種インタラクションの時間変化の分析

2018 年 2 月後半に発情が確認された管理番号 20283 の牛に関する当該時期における接近量・被接近量の変化を図 11 に示す。人工授精が 2018 年 2 月 21 日 10:30 に行われているが、2 月 19 日～20 日にかけて接近量が増加傾向にあり、発情の前兆と見なすことができる。また、2 月 20 日 15 時頃に被接近量に顕著な変化が見られ、発情のピークの検知に成功している。

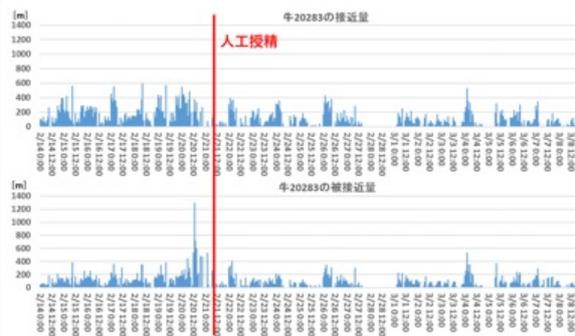


図 11: 接近量・被接近量の変化

次に、管理番号 20215 の牛に関する近接度と歩数の変化を図 12 に示す。人工授精が 2018 年 3 月 2 日 10:30 に実施されているが、その直前に近接度が急激に上昇し、発情のピークの検知に成功していることがわかる。一方で、発情している牛そのものの活動量(歩数)には、際立った変化が見られず、従来アプローチである個体の観察からでは困難な状態の把握が、本研究で提案した枠組みであるインタ

ラクションの利用により可能になるという、極めて重要な成果が得られた。



図 12: 近接度と歩数の変化

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 8 件)

- ① Ayumi Yamashita, Takeao Ohkawa, Kenji Oyama, Chikara Ohta, Ryo Nishide, and Takeshi Honda, Calf weight estimation with stereo camera using three-dimensional successive cylindrical model, Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers, Vol.6, No.1, pp.39-46, DOI: 10.12792/JIAE.6.39, 2018.
- ② Ryo Nishide, Yoji Hosomi, Takeao Ohkawa, Kenji Oyama, and Chikara Ohta, Detecting and tracking breeding cows from bird's eye video of pasture, Proceedings of the 5th IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing, pp. 239-246, DOI: 10.12792/icisip2017.045, 査読有, 2017.
- ③ Kengo Matsumoto, Kenji Oyama, Takeshi Honda and Takeao Ohkawa, Extraction of interaction information between breeding cows with GPS and its application to estrus detection, Proceedings of the 2016 International Joint Conference on Neural Networks, pp. 2967-2972, DOI: 10.1109/IJCNN.2016.7727575, 査読有, 2016.
- ④ Yoji Hosomi, Kenji Oyama, Takeshi Honda and Takeao Ohkawa, A method of detecting interaction between breeding cows from time-series bird's eye pictures of pasture, Proceedings of the 2016 International Joint Conference on Neural Networks, pp. 2973-2978, DOI: 10.1109/IJCNN.2016.7727576, 査読有, 2016.

〔学会発表〕(計 9 件)

- ① 大川剛直, 無線タグによる和牛の個体識別・トラッキングに関する取り組み, 電子情報通信学会・コミュニケーションフォーティ研究会, 2017.
- ② 大川剛直, GPS を利用した放牧牛のインタラクション情報の取得とその分析, 電気学会 第 62 回情報システム研究会, 2015.
- ③ 大川剛直, 放牧場の俯瞰動画データを用いた繁殖牛のインタラクション検出, 電気学会 第 62 回情報システム研究会, 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大川 剛直 (OHKAWA, TAKENAO)

神戸大学・大学院システム情報学研究所・教授

研究者番号: 30223738

(2) 研究分担者

大山 憲二 (OYAMA, KENJI)

神戸大学・大学院農学研究科・教授

研究者番号: 70322203

太田 能 (OHTA, CHIKARA)

神戸大学・大学院科学技術イノベーション研究科・教授

研究者番号: 10272254