

# 牧羊犬ロボットの柔軟な連携による羊の追い込み

大竹 功二<sup>†</sup> 原嶋 勝美<sup>‡</sup>  
大阪工業大学大学院工学研究科電気電子・機械工学専攻<sup>†‡</sup>

## 1 はじめに

牧羊犬の育成には多くの時間と労力が必要である[1]。本研究では、自律型牧羊犬ロボットによる、多様な羊の動きに対応できる追い込み手法を提案する。

先行研究では、平常時に、羊の行動の先読みによる回り込みが効果的であるとされている[2]。ところが群れが突然散乱する等、平常でない羊が無秩序な行動をとる場合、先読みが効果的に機能するとは限らない。提案手法では、現在の位置に基づくことで取り逃がしを抑制しており、無秩序な行動をとる羊に適確に対応できる。

我々が用いた限定した行動ルールの組合せによる追い込み方法は、ダイナミクスを用いた方法と同等の結果を得ている。そのため本研究では、これまでと同様に羊の行動を表現する。

## 2 自律型牧羊犬ロボット

本章では、提案する2体の自律型牧羊犬ロボットを用いた追い込み方法について説明する。

### 2.1 基本行動

我々は1体の自律型牧羊犬ロボットを用いて「小屋から最も遠い羊をターゲットとする」方法が良好であることを確認している。さらに、2体が連携する場合には以下の方法が効果的である。

- ・協調連携 ロボット2体が協調し、追い込み方向に対して一定距離をとり広く追い込む
- ・分担連携 ロボット2体が独立にそれぞれ別の群れを追い込む

本研究では「積極的な協力」や「仲間に害を与えないような行動」を連携と考える。協調連携では「大規模な群れを逃しにくい」、分担連携では「離れたターゲットを片方のロボットのみ

で対応できる」という特徴がある。

### 2.2 発展行動

分担連携を基本とした、2体の牧羊犬ロボットによる以下の発展行動を導入し、追い込み効率の向上を図る。

- ・派生連携1 大規模な群れに対し、協調連携を用いる
- ・派生連携2 羊を逃した場合、ゴールに近い方のロボットがその羊を追い込む

牧羊犬ロボットは「位置情報の把握」により連携を行う。ロボットは、ロボットと羊の現在の位置情報を保持しているサーバーへ定期的にアクセスし、自身の位置情報の送信、羊や他のロボットの位置情報の取得ができるものとする。なお羊の位置情報は、羊の脚にGPSタグを取り付けることで実現する。

ゴールへ近づく方向を前方、遠ざかる方向を後方とし、ロボットAがロボットBの前方に位置する場合を考える。派生連携1では、大規模な群れを追い込むロボットBがサーバーへ救援依頼を送信する。Aがサーバーの救援依頼を確認すると、Bの近くへ向かい協調連携をとる。ただし、前方のロボットが救援依頼を出すことはない。

羊は前に逃げるとは限らず、横に逃げる可能性もある。派生連携2では、後方のBが羊Xを逃した際、Bは前方のAに対するターゲット変更依頼をサーバーへ送信する。Aがサーバーのターゲット変更依頼を確認すると、Xをターゲットに変更し追い込む。ただし、前方側のロボットがターゲット変更依頼を出すことはない。

## 3 有効性検証

本章では提案システムの有効性を検証するためのマルチエージェントシミュレーションについて説明する。

### 3.1 フィールド

牧場に見立てた簡易的な正方形のフィールドをコンピュータ上に作成する。フィールドとはエージェントが行動する場所である。

Sheepdog Robots Capable of responding to Sudden Sheep Behavior

<sup>†</sup>Otake Koji

Osaka Institute of Technology

<sup>‡</sup>Harashima Katsumi

Osaka Institute of Technology

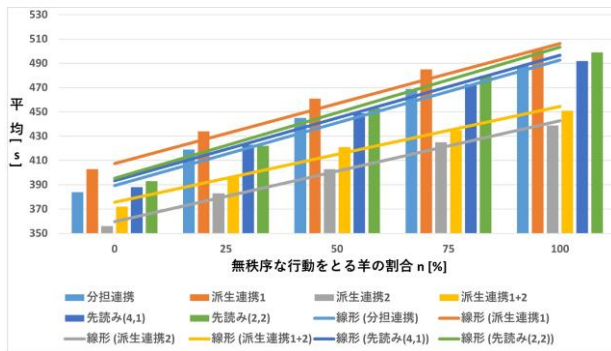


図1 追い込み時間の平均

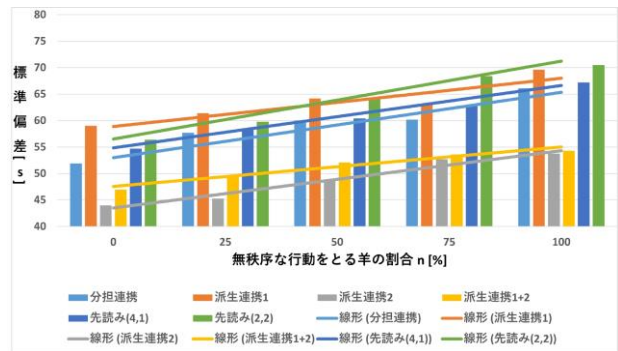


図2 追い込み時間の標準偏差

### 3.2 エージェント

エージェントは牧羊犬ロボットと羊である。牧羊犬ロボットはゴールから最も遠い羊をターゲットとし、連携や先読みを用いて追い込む。羊は牧羊犬ロボットから逃げ、牧羊犬ロボットが近くにいない場合は群れを形成する[4]。また、無秩序な行動をとる羊はロボットに追われている間、一定頻度でロボットの位置を無視し散乱する。

### 3.4 実験

本実験では以下の設定の下で、「分担連携」「派生連携1」「派生連携2」「派生連携1+2」「先読み1」「先読み2」を比較した。

- ・無秩序な行動をとる羊の割合  $n$  を 0% から 100% まで 25% ずつ増加
- ・各手法、 $n$  においてシミュレーション 1000 回
- ・羊 100 頭
- ・牧羊犬ロボット 2 体
- ・牧場の広さ 50000 平方メートル

派生連携 1, 2 の組み合わせに対して「全ての羊を追い込み終えるまでの時間」を測定し、その追い込み時間を評価する。

実験結果を図 1, 2 に示す。全ての  $n$  において「派生連携 2」の平均時間と標準偏差が最小であった。本手法は、ゴールから最も遠い羊よりもさらに遠ざかろうとする無秩序な羊を最優先した結果、牧場全体の追い込みがほぼ滞ることなく羊を着実にゴールへ近づけられていた。なお、羊が後方側のロボットよりゴールから遠くなることは高頻度であるため、ターゲット変更依頼も多発し、ロボット同士が大きく離れることはなかった。「派生連携 1」は平均が最大であるが、無秩序な羊の散乱による群れの広範囲化に対応できており、 $n$  の増加に対して標準偏差のばらつきが少ない。ただしロボット同士が大きく離れている場合に、救援時の長い移動時間が必要であった。「派生連携 1+2」は「派生連携 1」「派

生連携 2」の利点を併せ持っていた。無秩序な状況に対して最も安定した追い込みができると考えられる。一方で「先読み 1」「先読み 2」は、進行方向と無関係の無秩序な移動に対し、先読み機能が低下し、前方の無駄な回り込みが発生していた。このため、無秩序な羊の取り逃がしが多発した。

## 4 まとめ

本研究では 2 体の牧羊犬ロボットによる 2 つの派生連携を提案し、提案手法と先読みを用いた追い込みにより、無秩序な行動をとる羊への対応力を検証した。派生連携 2 が、無秩序な羊を最優先することで羊を着実にゴールへ近づけることができることを確認した。先読み法は、急激に変化する無秩序な行動に対応することが困難であった。今後の課題は、木等の障害物や勾配の追加などが挙げられる。

## 参考文献

- [1] Marcello Siniscalchi, Daniele Bertino, Serenella d'Ingeo, Angelo Quaranta, "Relationship between Motor Laterality and Aggressive Behavior in Sheepdogs", *Symmetry* 2019, 11, 233
- [2] 読売新聞, "羊や牛追う「牧畜ドローン」…イスラエル", <https://www.yomiuri.co.jp/life/digilife/for eign/20210306-OYT1T50238/>
- [3] 末岡裕一郎, 角田祐輔, "シープドッグシステムから紐解くマルチエージェントシステムの制御", *計測と制御*, 第 59 巻 第 2 号, 125/130 (2020, 2)
- [4] 東俊一, 田淵絢子, 杉江俊治, "牧羊犬制御のモデル化", *計測自動制御学会論文集*, Vol. 48, No. 12, 882/888 (2012)