

# 混入エージェントを検出する shepherdingアルゴリズムの提案と評価

藤岡杏奈

大阪大学基礎工学部情報科学科

若宮研究室

# 研究背景：群れの誘導制御

群れの誘導制御は様々な場面への応用が期待されている

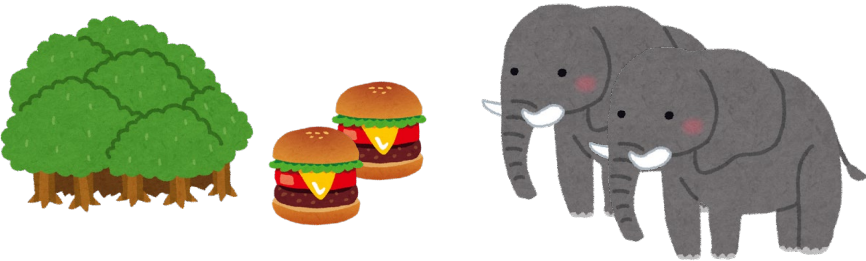
制御方法は大きく分けて二つ

## ■ 群れを引きつけながら誘導する

誘導例



集魚灯による魚の誘導

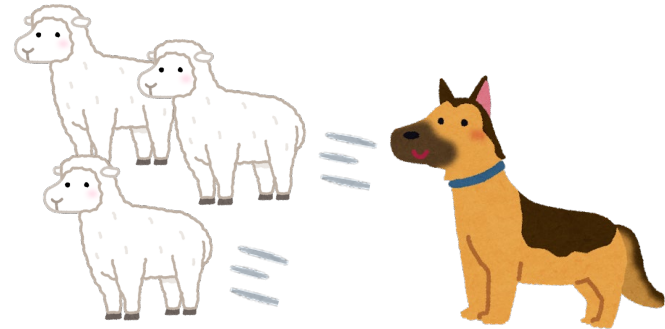


餌による野生動物の誘導

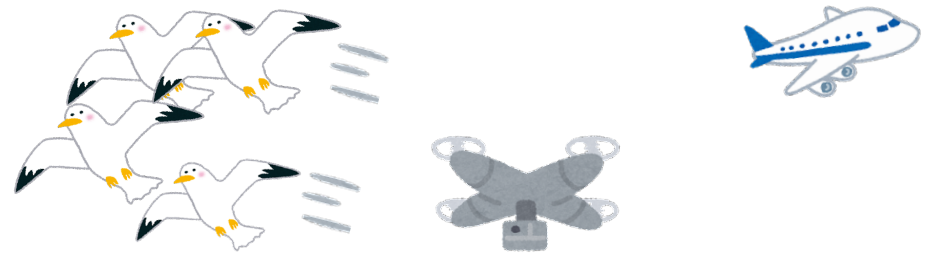
## ■ 群れを追い立てながら誘導する (shepherding型の誘導 [1])

← 本報告で注目

誘導例



牧羊犬による羊の誘導



飛行機事故を防ぐための鳥の誘導

[1] Long, Sammut, Sgarioto, Garratt, Abbass, "A comprehensive review of shepherding as a bio-inspired swarm-robotics guidance approach," *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 2020.

# Shepherding モデル

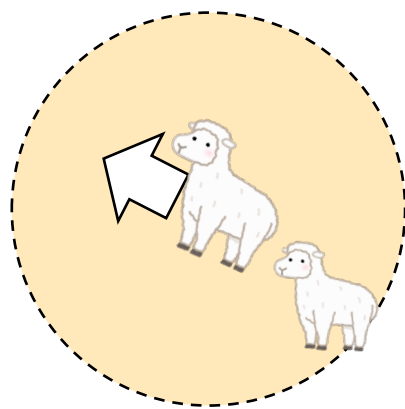
- 誘導されるエージェント（羊）の動きを数理モデル化
- 羊の動きは Boid モデル [2] が元になっている

時刻  $k$  における羊  $i$  の移動量を表すベクトル

$$v_i(k) = K_{i1}v_{i1}(k) + K_{i2}v_{i2}(k) + K_{i3}v_{i3}(k) + K_{i4}v_{i4}(k)$$

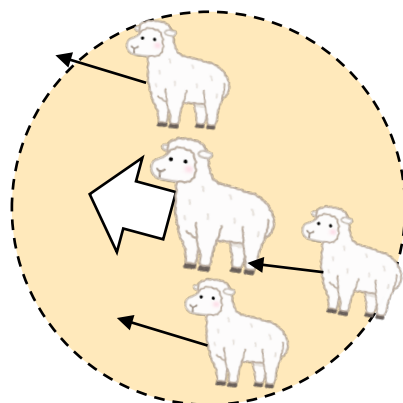
( $K_{i1}, K_{i2}, K_{i3}, K_{i4}$ : 定数)

分離:  $v_{i1}(k)$



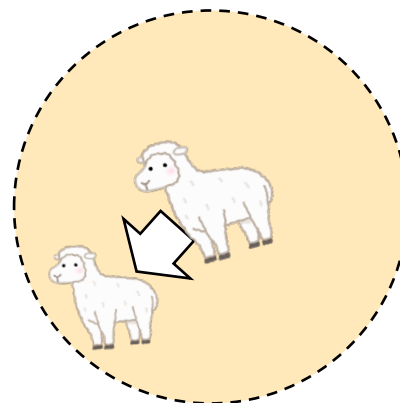
他の羊から離れる

整列:  $v_{i2}(k)$



速度を合わせる

結合:  $v_{i3}(k)$



他の羊に近づく

斥力:  $v_{i4}(k)$



牧羊犬から逃げる

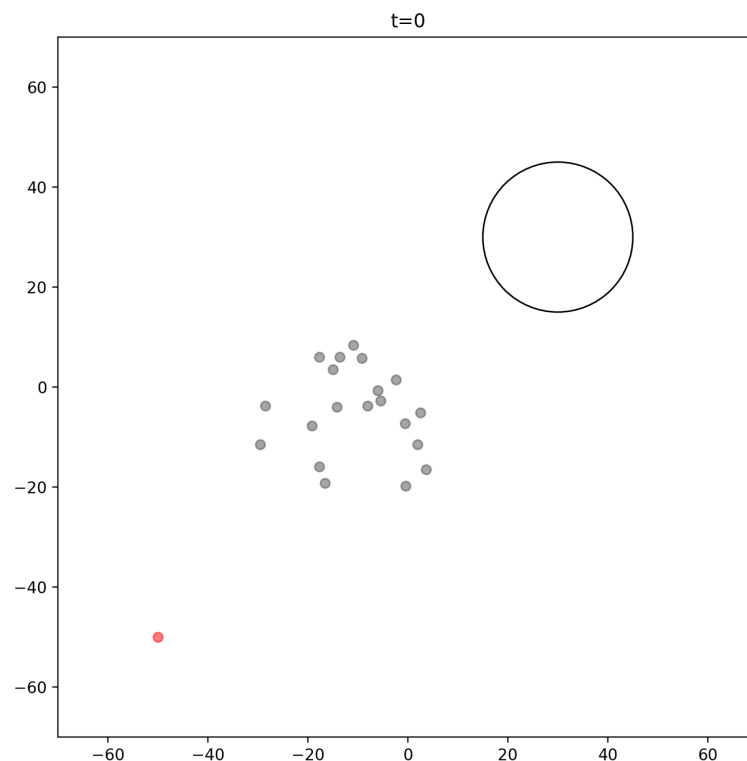
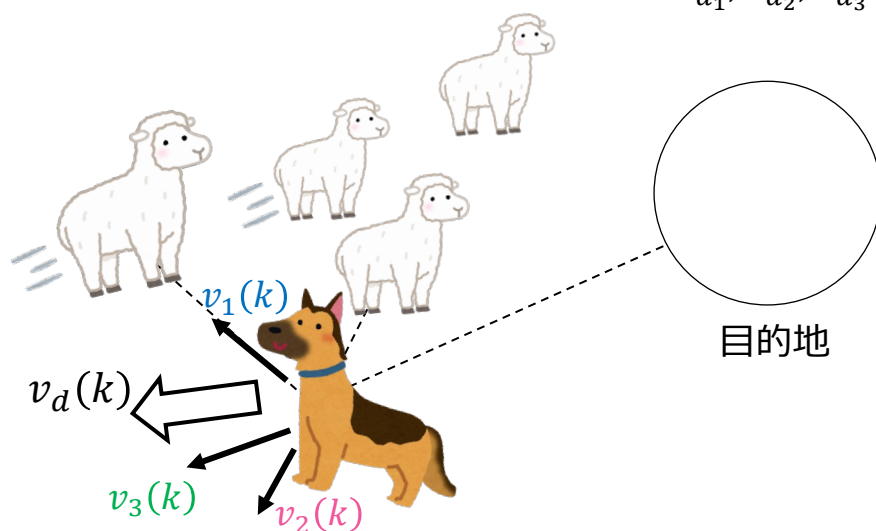
# Shepherding 問題

- Shepherding モデルに従って移動する群れを，斥力を用いて目的地まで誘導する問題
- 誘導側エージェント（牧羊犬）の動きについて，様々な手法が提案
  - Farthest-Agent Targeting 法 [3]（目的地から最も遠い羊を追いかける）は他の手法（Center of Mass 法，Online Target Switching 法）よりも誘導成功率が高い

時刻  $k$  における牧羊犬の移動量を表すベクトル

$$v_d(k) = K_{d_1} v_1(k) + K_{d_2} v_2(k) + K_{d_3} v_3(k)$$

( $K_{d_1}, K_{d_2}, K_{d_3}$  : 定数)



# 課題 / 目的

## shepherding問題の限界

- 羊の種類が一樣でない状況を仮定したモデルがない
- 羊の種類が分からない状況に対する手法がない

- [3]–[5] では羊の種類は一樣であると仮定

→ 現実では一樣でないことが多い

- [6]では一樣でない状況（牧羊犬が各羊の種類を知っている）に対する手法を提案

→ 現実では種類が分からないことが多い

羊の種類が一樣

$K_{i1}-K_{i4}$ が全ての羊で一定

$$\begin{aligned} v_i(k) = & K_{i1}v_{i1}(k) + K_{i2}v_{i2}(k) \\ & + K_{i3}v_{i3}(k) + K_{i4}v_{i4}(k) \end{aligned}$$

## 本報告の目的

異種の羊が混在して、その種類が事前に分からない場合の  
shepherding問題のモデル化と誘導アルゴリズムの設計

[3] Tsunoda, Ishitani, Sueoka, Osuka, "Analysis of sheepdog-type navigation for a sheep model with dynamics," in *Twenty-Fourth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2019*, 2019.

[4] Vaughan, Sumpter, Frost, Cameron, "Robot sheepdog project achieves automatic flock control," in *Fifth International Conference on the Simulation of Adaptive Behaviour*, 1998.

[5] Strömbom, Mann, Wilson, Hailes, Morton, Sumpter, and King, "Solving the shepherding problem: heuristics for herding autonomous, interacting agents," *Journal of the Royal Society Interface*, 2014.

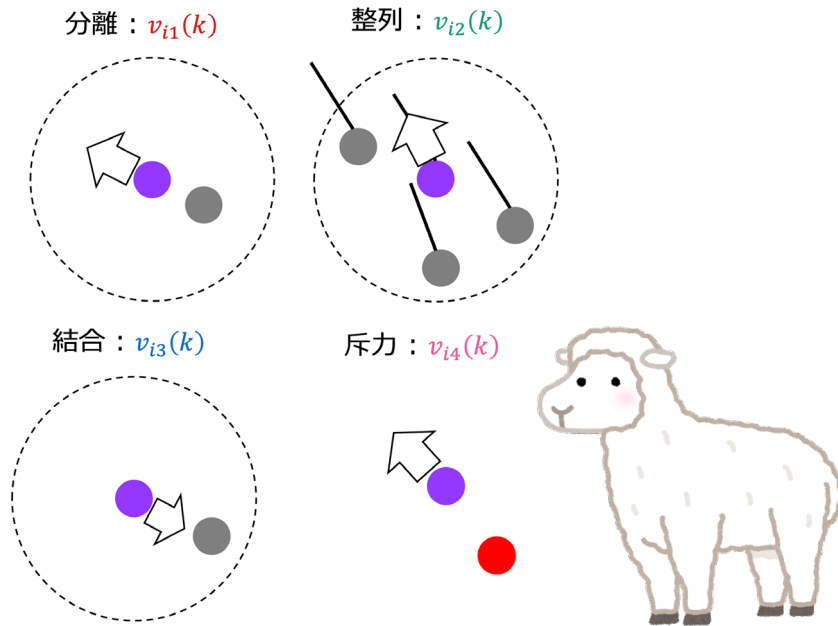
[6] Himo, Ogura, Wakamiya, "Iterative algorithm for shepherding unresponsive sheep," *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2022.

# 異種の羊が混在する群れ

通常の動きをする「通常の羊」、通常とは異なる動きをする「異種の羊」の二種類の羊

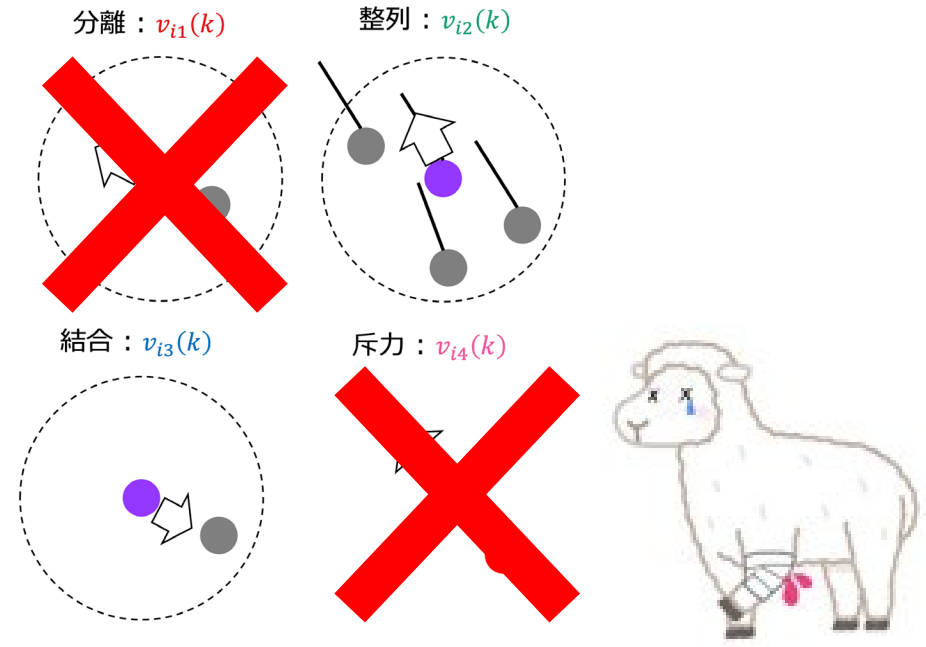
## ■ 通常の羊

分離，整列，結合，斥力を全て受ける



## ■ 異種の羊

分離，整列，結合，斥力のうち一つ以上を受けない

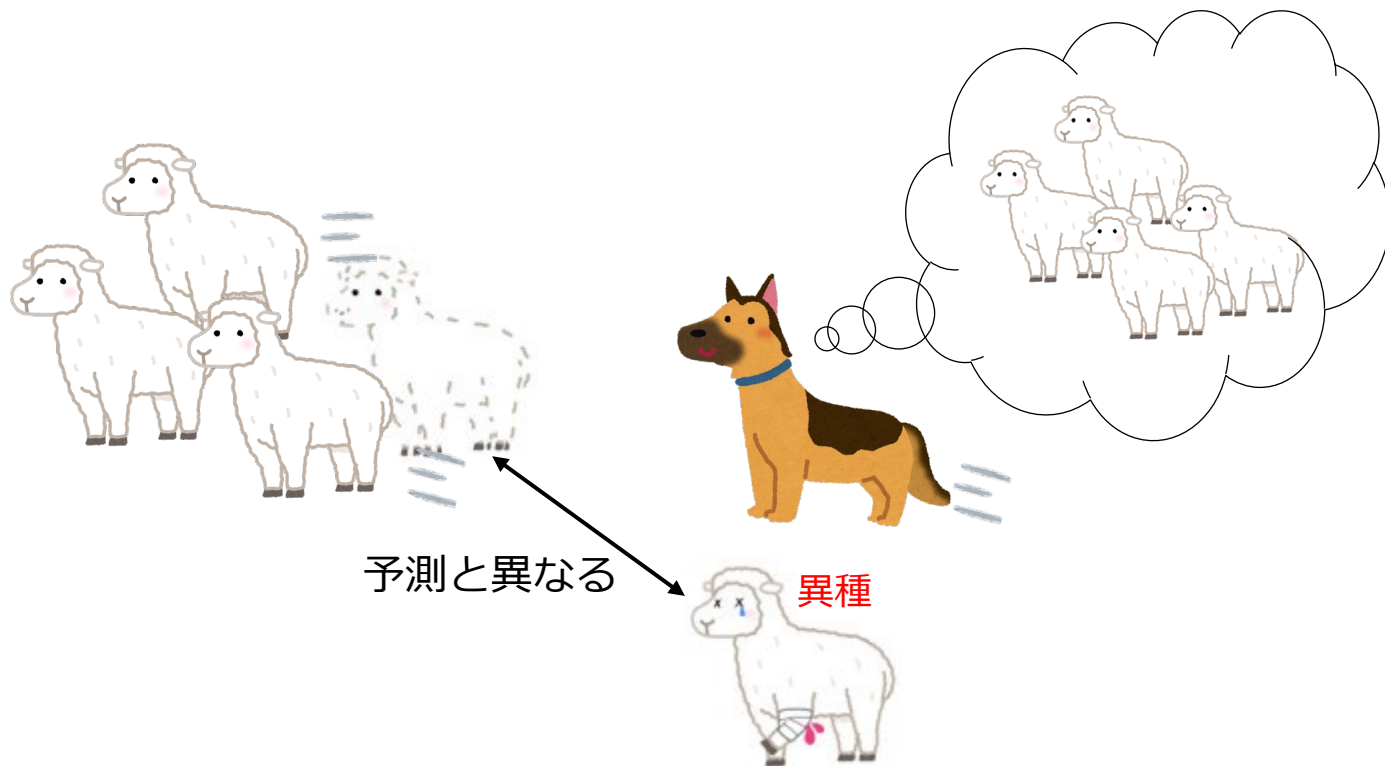


本報告では，通常の羊のみの誘導に注目する

# 誘導アルゴリズム：アプローチ

牧羊犬が異種の羊に引っ張られないように、  
異種の羊を検出して通常の羊だけを誘導する

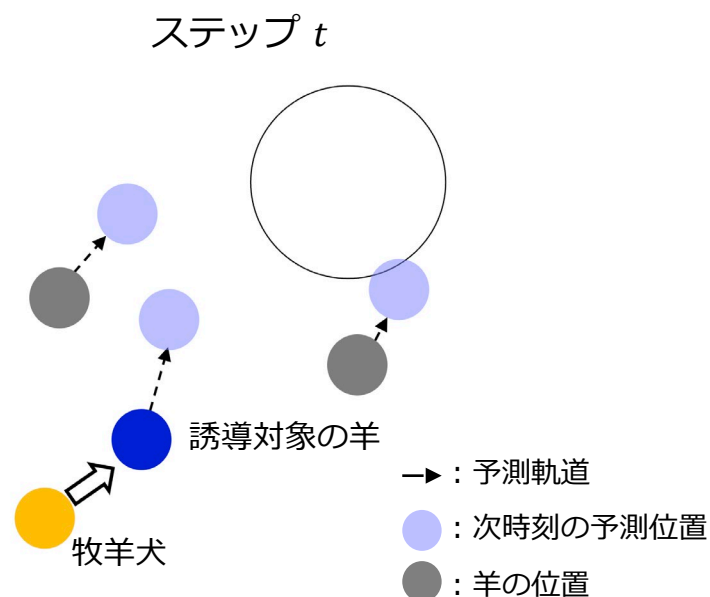
➡ 通常の羊の軌道の予測に基づいて羊の種類を判断し、  
通常の羊と判断された羊に対して、Farthest-Agent Targeting 法を適用



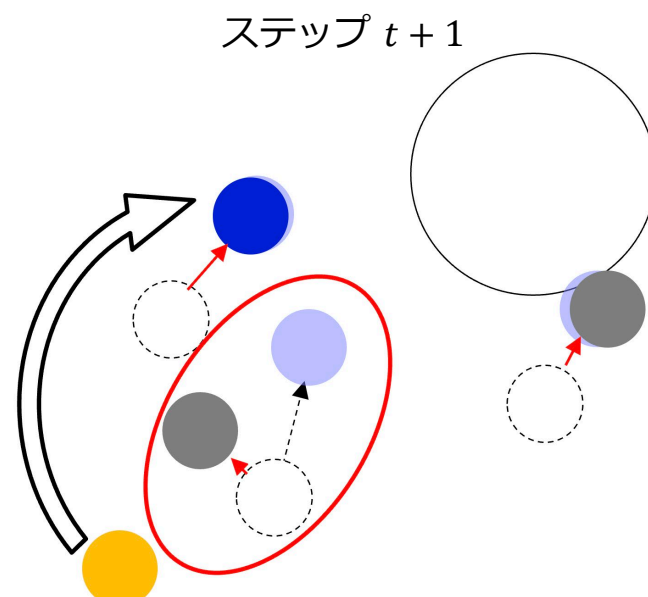
# 誘導アルゴリズム：概要

- 予測軌道に基づいて羊の種類を判断し，通常の羊を誘導する

1. 初期設定：全ての羊の集合  $I$  を定義
2. 牧羊犬は羊の軌道を予測，予測した軌道と実際の軌道が異なると判断した場合には，異種の羊として，集合  $I$  から削除（誘導しない）
3. 牧羊犬は集合  $I$  に含まれる羊を Farthest-Agent Targeting 法により誘導
4. 集合  $I$  に含まれる，異種でないと思われる羊が全て目的地まで誘導されたら誘導を終了



1. 羊の軌道を予測しながら，Farthest-Agent Targeting 法により誘導



2. 予測軌道から大きく外れた羊は誘導しない



# 誘導アルゴリズム：判断基準

- 羊の実際の位置と予測位置との距離が閾値よりも大きい場合に異種と判断

→ 距離 = 羊の種類によるずれ + 軌道の予測誤差によるずれ

$$\left( \begin{array}{l} \text{通常の羊 : 0} \\ \text{異種の羊 : 0 以上} \end{array} \right)$$

- 閾値の定め方を二種類提案
  - 固定閾値：距離が固定された閾値  $L$  を超えた場合異種と判断
  - 動的な閾値：他の羊よりも距離が大きい場合異種と判断

# 評価：シミュレーション設定

## 評価指標

- 通常の羊のうち、目的地まで誘導できた羊の割合の平均値（誘導率）

## 評価方法

### 1. 予測誤差がない場合

- 従来法 Farthest-Agent Targeting 法と四種類の提案法の比較
- 異種の羊の数、受ける力の種類を変えながらシミュレーション

（軌道の予測方法について  
二種類の手法を提案）

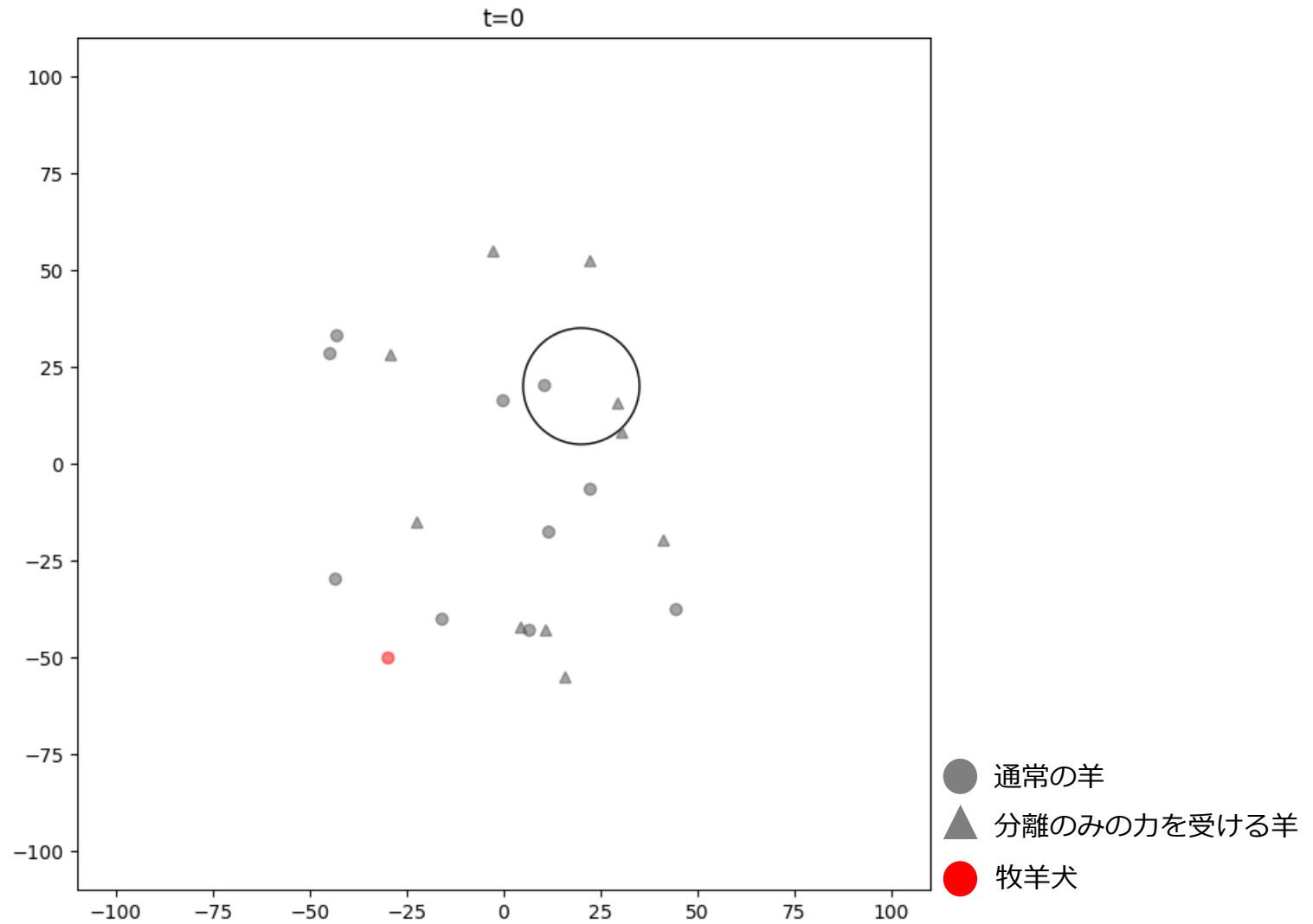
### 2. 予測誤差がある場合

## 全てのシミュレーションで固定する設定

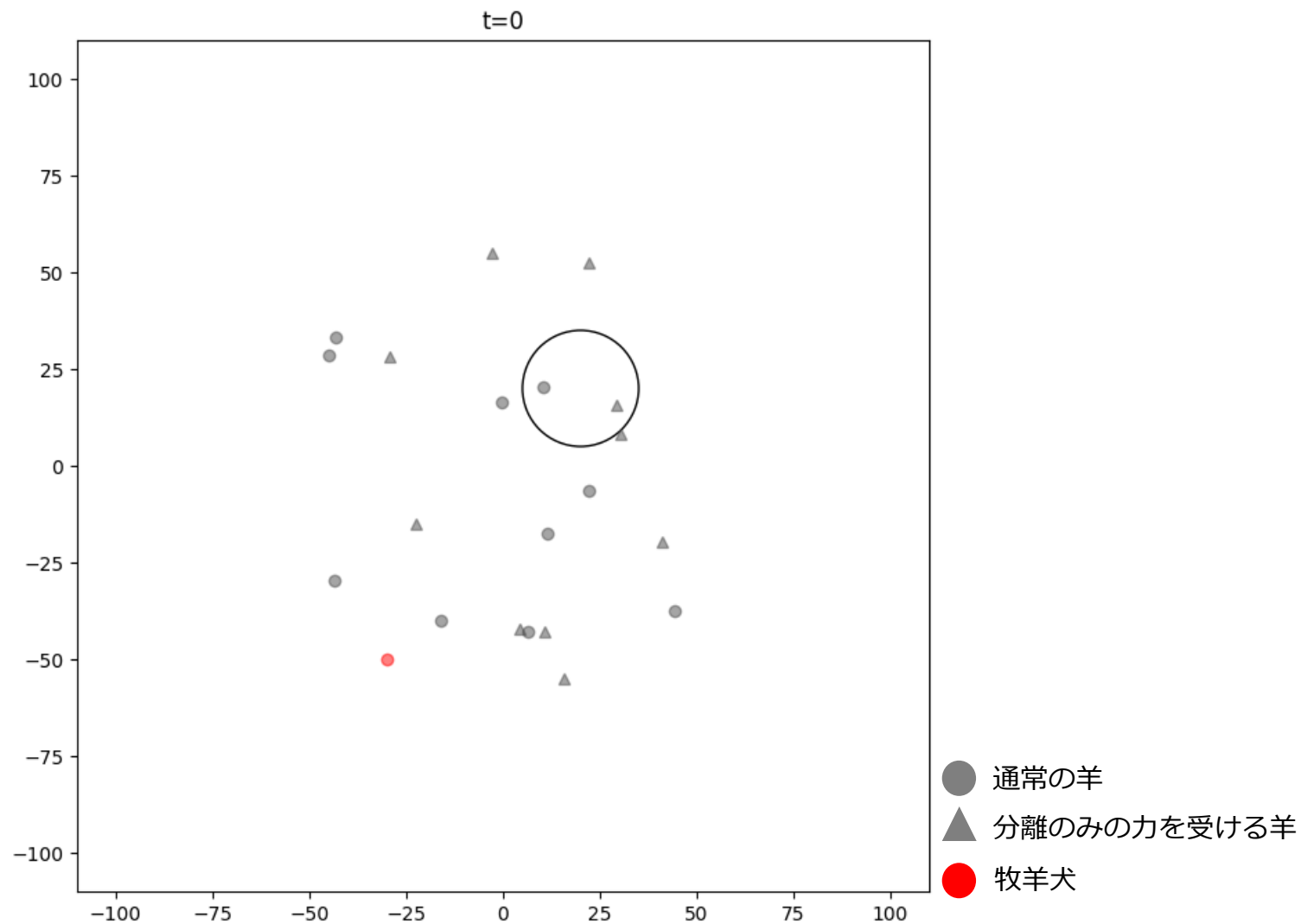
- 羊の総数：20体
- 牧羊犬の初期位置
- 目的地の位置
- 最大ステップ：10000

（最大ステップにおいて誘導が終了していない場合、  
この時点で目的地まで誘導された通常の羊の個体数を用いる）

## 結果：提案手法の誘導の様子

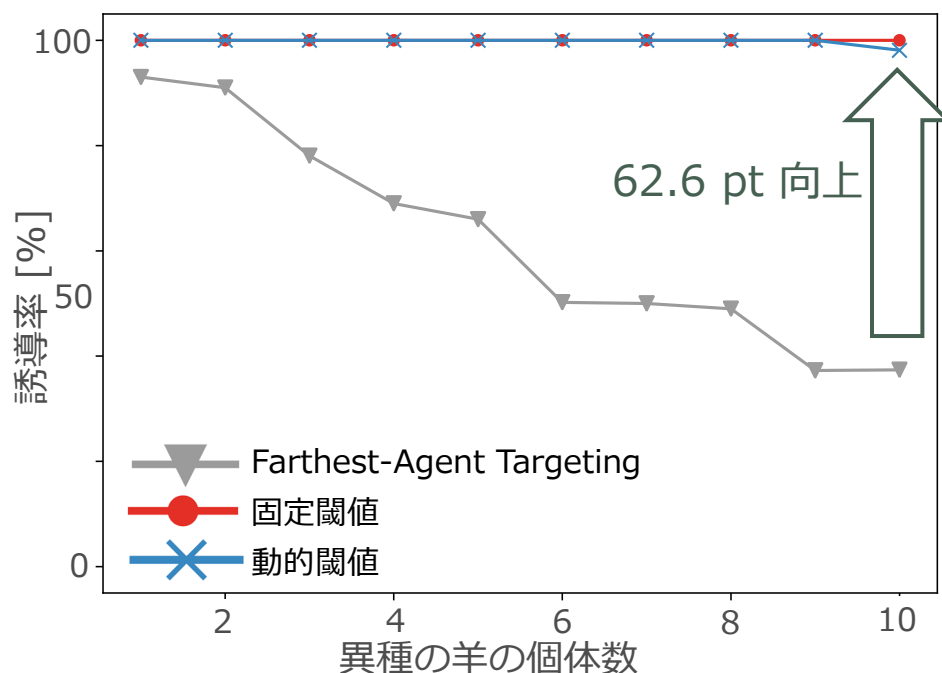


## 結果：提案手法の誘導の様子

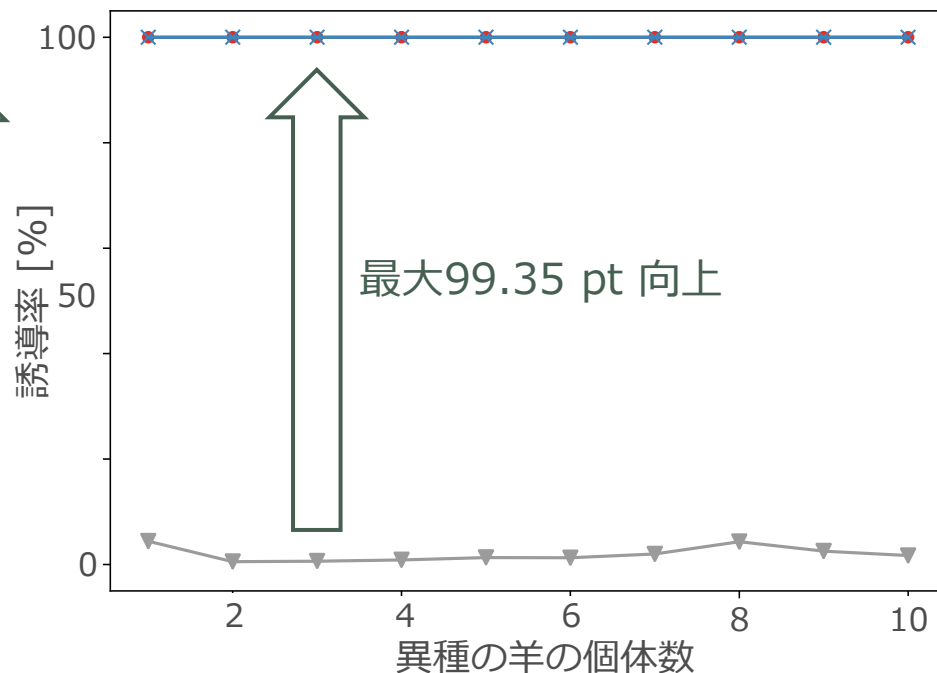


# 結果：予測誤差がない場合

- 横軸：異種の羊の個体数，縦軸：誘導率
- ほとんど全ての場合で誘導率が100%
- その他の異種の種類においても従来手法よりも提案手法の方が誘導率が高い



受ける力	結合
受けない力	分離, 整列, 斥力

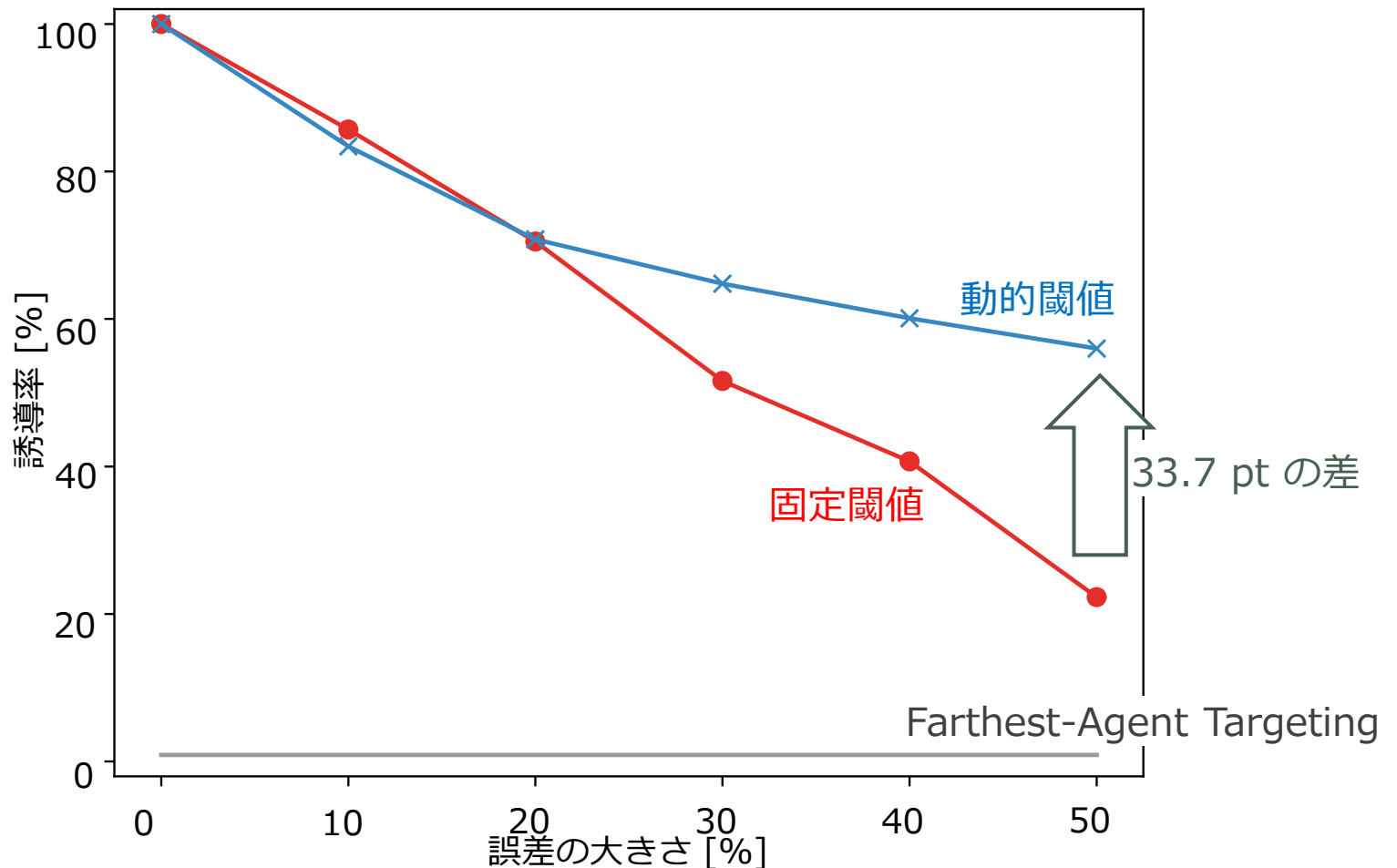


受ける力	分離, 整列
受けない力	結合, 斥力

# 結果：予測誤差がある場合

- 異種の羊：分離と整列の力のみを受ける，10体混在
- 横軸：誤差の大きさ（結合，斥力を変化），縦軸：誘導率
- 誤差が大きい場合，動的閾値を用いる手法の方が固定閾値を用いる手法よりも誘導率が高い

受ける力	分離，整列
受けない力	結合，斥力



# まとめと今後の課題

## ■ まとめ

- 目的
  - 異種の羊が混在して、その種類が事前に分からない場合のshepherding問題のモデル化と誘導アルゴリズムの設計
- アイデア
  - Shepherdingモデルに基づく新たなエージェントのモデル化
  - 軌道の予測値を用いて羊の種類を判断し、通常の羊を誘導
- 結果
  - 軌道の予測値が正しい場合、ほとんどの場合で通常の羊を100%誘導した

## ■ 今後の課題

- 予測誤差が存在する場合に誘導率が高い手法の開発

# 追加資料



## 追加資料：羊の種類

時刻  $k$  における羊  $i$  の移動量を表すベクトル

$$v_i(k) = \underbrace{K_{i1}v_{i1}(k)}_{\text{分離}} + \underbrace{K_{i2}v_{i2}(k)}_{\text{整列}} + \underbrace{K_{i3}v_{i3}(k)}_{\text{結合}} + \underbrace{K_{i4}v_{i4}(k)}_{\text{斥力}}$$

### ■ 通常の羊

- 分離, 整列, 結合, 斥力を全て受ける

$$K_{i1} = K_1, K_{i2} = K_2, K_{i3} = K_3, K_{i4} = K_4$$

( $K_1 - K_4$  : 正定数)

- 本報告におけるパラメータの値  
→  $K_1 = 100, K_2 = 0.5, K_3 = 2, K_4 = 500$



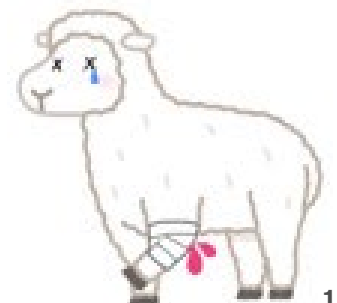
### ■ 異種の羊

- 分離, 整列, 結合, 斥力のうち一つ以上を受けない

$$K_{i1} = \widetilde{K}_1, K_{i2} = \widetilde{K}_2, K_{i3} = \widetilde{K}_3, K_{i4} = \widetilde{K}_4$$

$$(\widetilde{K}_n = \begin{cases} K_n \\ 0 \end{cases})$$

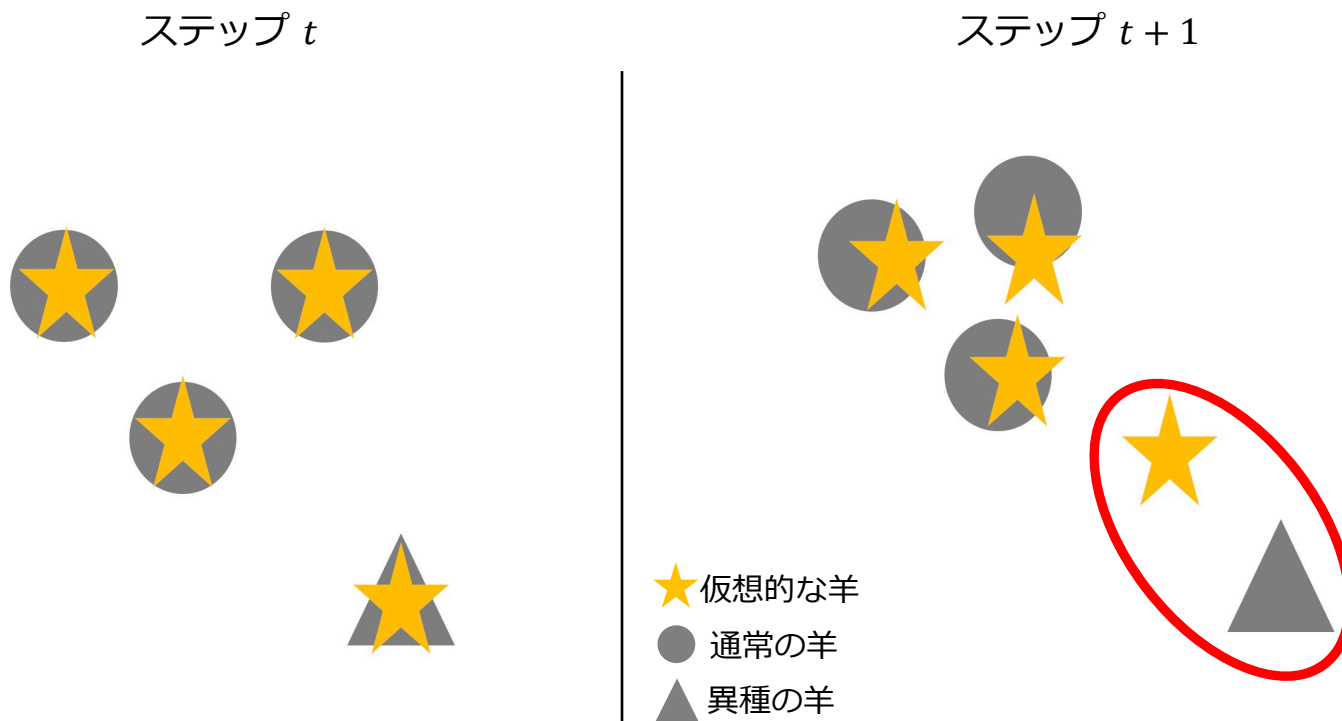
- 例：異種の羊が分離と結合の力のみを受ける  
→  $\widetilde{K}_1 = K_1, \widetilde{K}_2 = 0, \widetilde{K}_3 = K_3, \widetilde{K}_4 = 0$



## 追加資料：軌道の予測

軌道の予測には、「仮想的な羊」と呼ばれるエージェントを使用

- 仮想的な羊：羊の軌道を予測する（通常の羊の軌道を推定）
- 仮想的な羊を実際の羊と同じ位置に配置し，Farthest-agent targeting 法を適用
- 仮想的な羊と実際の羊の動きの違いが大きい場合，異種の羊であるとし，誘導しない



## 追加資料：予測誤差

通常の羊の移動量を表すベクトルの係数の推定値  $\hat{K}_i$  が与えられる

時刻  $k$  における仮想的な羊  $i$  の移動量を表すベクトル

$$v_i(k) = \hat{K}_1 v_{i1}(k) + \hat{K}_2 v_{i2}(k) + \hat{K}_3 v_{i3}(k) + \hat{K}_4 v_{i4}(k)$$

本報告におけるシミュレーション設定：

- 異種の羊：分離，整列のみを受ける，結合，斥力を受けない
- 仮想的な羊：誤差の大きさを変化

誤差の大きさ：結合，斥力の大きさを通常の羊の10% - 50%の間で変化させる

例：誤差の大きさ20%

$$\rightarrow \hat{K}_1 = K_1, \hat{K}_2 = K_2, \hat{K}_3 = 0.8 K_3, \hat{K}_4 = 0.8 K_4 \quad (K_i : \text{通常の羊のパラメータ})$$