

# 衝突回避における心の理論のレベルに関する被験者実験

岡田 彩夏<sup>†</sup> 鈴木 麗璽<sup>†</sup> 有田 隆也<sup>†</sup>

名古屋大学大学院情報科学研究科<sup>†</sup>

## 1 はじめに

他者と相互作用しあう環境で生きる我々にとって、他者の心の推測は社会生活を営む上で重要である。ある個体が自己や他者の心の状態や動きを推測する心の機能は「心の理論」と呼ばれる。他者が心の理論を持つと仮定すると心の推測の入れ子構造が発生する。高野ら[1]は、心の理論を持つ個体群が衝突回避しながら移動するとき、入れ子の深さ（レベル）が奇数の方が偶数より深い回避行動を取ることを示した。また、Minoya ら[2]は機能レベルの脳モデルを用い、心の理論の回路が構成されレベルが深化するシミュレーションを行った。本研究では、より単純な衝突回避タスクにおける人の心の理論のレベルを知るため、ユーティリティ関数に基づく行動予測を採用したエージェント実験で特性を調べた後、計算機画面上での衝突回避に関する被験者実験を行った。

## 2 モデル

### 2.1 衝突回避モデル

行動予測部分に関して、高野ら[1]の 3 ベクトル和に基づく決定論的計算法ではなく、Adachi ら[3]の計算法を用いる。ユーティリティ関数に基づく非決定論的計算法の方がより自然に動きを表現できる可能性があり、また、他の先行研究で採用されているためである。

初期状態として、3×8m の長方形の空間の両端に 2 体のエージェントを置いた。エージェントは半径 0.2m の円であり、他者の円と重なると、進行速度が 1/10 に落ちる。現在向いている方向  $\pm\pi/3$  を中心角とした半径 5m の視界を持ち、視界に誰もいないときは、目的地へと最短距離で進む。エージェントは 1 ステップ (0.2 秒) ごとに、進行方向と進行速度を決定する。

ステップ  $t$  におけるエージェント  $i$  の現在の方向を  $\theta_i(t)$ 、目的地の方向を  $desire\theta_i(t)$ 、通常時の速度を  $dspeed$  とする。まず、角度の候補集合  $\theta_i(t)$ 、と速度の候補集合  $V_i$  を生成する。

次に、次のステップでの位置候補に関して、歩行者  $i$  のユーティリティ値を次式で計算する。

$$U(s_i(t+1)) = v_i(t) \cos(\theta_i(t) - desire\theta_i(t)) + (2.7)f(|s_i(t+1) - s_j(t+1)|) + (0.015)f(dist(s_i(t+1), wall))$$

ここで、 $s_i(t)$  は  $t$  における歩行者  $i$  の現在地である。第 2 項、第 3 項に含まれる  $f$  は、 $f(x) = -e^{-2x}$  と設定する。第 1 項は目的地に向かう行動であり、第 2 項は他者との衝突回避、第 3 項は壁との衝突回避の行動に相当する。ここでのユーティリティとは相手の行動予測から導き出した次の行動の評価であり、衝突しにくい行動ほど値が大きい。これを、13 種の角度と 11 種の速度の全候補に関して計算する。

最後に、ユーティリティ値に比例した確率でルーレット選択し、使用する角度と速度とする。

### 2.2 心の理論

相手の行動予測をせず、目的地へと直進していく個体をレベル 0 とする。視界に入った相手をレベル 1 は 0、レベル 2 は 1、レベル 3 は 2 と認識し、自分の中で再帰的に相手を動かして行動予測をし、移動する。

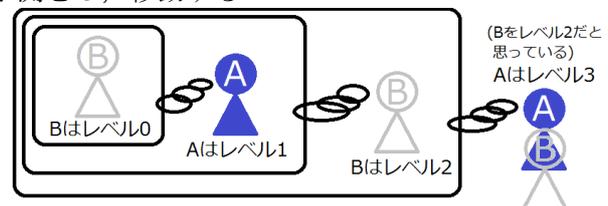


図 1 心の理論の入れ子構造

## 3 実験

### 3.1 エージェント同士の実験

基本的特性を調べるために、エージェント 2 体の 1 対 1 の正面衝突回避タスクをレベル 3 までの総当たりで実行させた (図 2)。

その結果、奇数レベルは回避行動を取りやすく、偶数レベルは前進行動を取りやすいという、高野ら[1]と同様の結果が確認された。また、同じ奇数でもレベルの深さによって行動傾向に差があり、レベルが浅い 1 の方が大きな回避行動をとることや、偶数レベル同士、奇数レベ

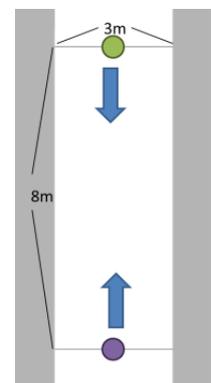


図 2 実験フィールド

Subjective experiments on the level of Theory of Mind in collision avoidance

Ayaka Okada<sup>†</sup>, Reiji Suzuki<sup>†</sup> and Takaya Arita<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Information Science, Nagoya University

ル同士では、衝突率などが高いため、似たような行動を取る者同士では歩行が困難であることも分かった。後者に関しては、行動予測が失敗していることが原因として考えられる。

### 3.2 被験者実験

衝突回避時の人の心の理論レベルの推測をするため、エージェントと人の対戦を行った。直感的な操作ができるように、図2で画面下から上に進む個体を人が操作する。

実験の結果、基本的には直進するが、対偶数レベルでは回避、対奇数レベルでは直進を、人が選択することが分かった。全体的に衝突率は低いが、偶数レベル相手では歩行が困難になりがちであることも分かった。人も偶数レベルのエージェントも能動的で、直進したがるため、人が回避を選択するのが遅れると、避けきれないことがあるためだと思われる。

### 3.3 エージェントと人の比較

エージェントと人について、まず軌跡を比べてみる。図3に下方向に向かうレベル0に対するエージェント(500試行分)と人の上に向かう軌跡(8人分計80試行分)を示す。人の回避行動開始時の相手までの平均距離はエージェントの視界より小さい。これは、人は相手の挙動を見てから、行動判断をする傾向があるからだろう。ただし、その傾向には大きなばらつきがあり、エージェントのように相手

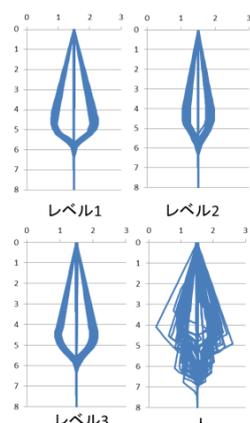


図3 対レベル0における軌跡

との距離がある範囲に入ったら回避というものではない。また、エージェントより壁に近付くことも見られる。これは、壁との衝突回避より他者との衝突回避の方を重要視しているからだろう。ただし、全体的に人が多様な行動を取っている原因として制約の少なさは無視できない。

次に、図4にレベルの組み合わせによる衝突率の違いを示す。同図より、エージェント同士

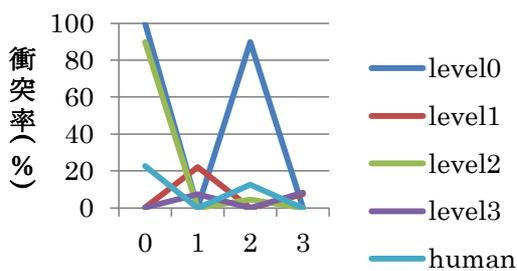


図4 自分と相手のレベル別の衝突率

の実験において、自分と相手と同じ奇遇のときに、やや高い衝突率となっていることが分かる。エージェントの方が極端ではあるが、人は偶数レベルと同様に、偶数レベルのエージェントとの衝突率が高く、所要時間に関しても似た結果を得ている。回避という概念がないレベル0に対しては回避行動を取るが、人の行動は偶数レベルに似通っていることから、基本的に偶数レベルであると推測される。

## 4 おわりに

本研究では、衝突回避において人がどのようなレベルで移動しているのかを知るため、ユーティリティ関数に基づく非決定的な計算法を使用し、心の理論のレベルを組み込んだモデルを用いて、1対1の衝突回避時のエージェントの動き、人の動きに関する実験を行った。

エージェントの動きは、直進のみのレベル0、回避行動のみの奇数レベル、直進と回避行動両方する偶数レベルに大きく分けられることが分かった。人の動きは、基本的には偶数レベルで前進行動を取りやすく相手に避けさせようとするが、相手によって奇数レベルに変わるなど多様である点がエージェントの動きと違うことがわかった。一般に、人はまったく配慮しないような相手にはそれに応じた態度を取り、そうでない場合には、基本的には自分のことを最優先するという側面に対応した結果とすることができるだろう。

本実験では被験者は相手を人でないと正しく認識して試行したが、相手を人と認識するかエージェントと認識するかという点と、実際にそれが人かエージェントかという点を分け、それらの組み合わせの結果を比較することを考えている。そのような知見は、人の中で作業するロボットをデザインする際に重要となるのではないかと考える。

## 参考文献

- [1] 高野雅典, 加藤正浩, 有田隆也, “心の理論における再帰のレベルの進化に関する構成論的手法に基づく検討”, 認知科学, 12(3), 221-233, 2005.
- [2] K. Minoya, T. Arita and T. Omori, "An Artificial Life Approach for Investigating the Emergence of a Theory of Mind based on a Functional Model of the Brain", *Proc. of the IEEE Symp. on Artificial Life*, 108-115, 2011.
- [3] R. Adachi, K. Aihara, "Theory of Mind in a Microscopic Pedestrian Simulation Model", *Proc. of the 16th Int. Sympo. on Artificial Life and Robotics*, 346-349, 2011.