

# 自律エージェントとのすれ違い行動におけるメタ戦略モデルに基づいた 歩行者の行動分析

## Pedestrian Behavior Analysis of Collision Avoidance with Autonomous Agents Based on Meta-Strategy Model

宮本 賢良<sup>\*1</sup>  
Kensuke Miyamoto

吉岡 裕彬<sup>\*1</sup>  
Hiroaki Yoshioka

渡邊 紀文<sup>\*2</sup>  
Norifumi Watanabe

武藤 佳恭<sup>\*1</sup>  
Yoshiyasu Takefuji

<sup>\*1</sup> 慶應義塾大学  
Keio University

<sup>\*2</sup> 東京工科大学  
Tokyo University of Technology

Recent years, it is popular that robots are used at home such as cleaning task, and there are a lot of researches about cooperative behavior of robots or interpersonal. In order to realize cooperative tasks with us, it is necessary that a robot estimates the intention from human behavior and act in the context. In this research, we construct an agent model that enables coordinated behavior by estimating human intention. We targeted collision avoidance as an example of a simple cooperative behavior. We have set agents of Meta-Strategy model to a virtual environment. We analyzed subject's behavior, when the agents have different behavior strategy. It was confirmed that subjects change their avoidance behavior by strategy of agents. We consider it is possible to realize cooperative collision avoidance.

### 1. はじめに

家庭などの日常生活の場にロボットが普及するに従い、ロボットが提供するサービスが向上し、今後人と協調して作業を行う機会が増加すると考えられる。人との協調作業を実現するためには、ロボットが人の行動から、その背後にある人の意図を推定し、それに応じた行動をとる必要がある。

本研究では、人の意図を推定することで協調行動を可能にするエージェントの実現を目指す。協調行動の単純な例の一つとしてすれ違い回避行動を取り上げ、仮想環境であるSIGVerse[SIGVerse]上に、メタ戦略モデル[Yokoyama 09]の考え方を持たせた複数のエージェントを設定し、それぞれの行動戦略を変化させた時に人の行動がどのように変化するかについて分析する。さらにどのような行動戦略が人の協調行動を創発するのかについて検討する。

### 2. ロボットとのすれ違い

環境情報を利用して障害物を回避する経路探索の研究として、周辺の障害物からの斥力と目的地への引力をスカラー量であるポテンシャルとして表現することで、障害物に接触しない経路を探索する研究[Kitamura 96]が行われている。同様に周辺からの影響をベクトルとして表現することで進行方向を決定するアルゴリズムも複数報告されている[Wesley 05][Mastellone 11]。移動しない障害物を回避する経路探索手法として、あらかじめロボットと障害物が重なる空間を除外しておくことで、ロボットの移動を点の移動として扱い、問題の簡略化を図るコンフィギュレーション空間法[Hara 93]も提案されている。これらの研究で得た、環境に自律的に存在する他者の意図は重要視されていない。

自律ロボットを実装することで歩行者とのすれ違いや追従を行い、その移動軌跡を評価する研究もある。パーソナルスペースに注目し、ロボットが周囲と距離を適度に保ちつつ移動する研究[Yoda 99]や、カルマンフィルタを用いて歩行者の位置を推定する研究[Nakano 04]、人の主観的な評価によってどのような

移動方法がロボットにとってふさわしいかを検討する研究[Yoda 00]などがある。本研究でも、人の行動から人の意図を推定し、エージェントの行動を決定することが協調行動の重要な要素であると考えている。

### 3. メタ戦略モデルに基づいたすれ違い行動計測実験

メタ戦略とは表面的な行動決定過程の背後にある戦略であり、人はこのメタ戦略に基づいて戦略を決め、その戦略によって行動を決定している。メタ戦略モデルには受動的戦略と能動的戦略が定義されている[Yokoyama 09]。受動的戦略は観察をもとに他者の意図を推定し、それを考慮して自身の意図を決定、それを達成するための行動をとる。一方、能動的戦略では、まず自分の達成したい目標を意図として決定する。その意図を達成するためにどのような振る舞いをすれば他者が自身の意図を推定してくれるかという点から、自身が持っている行動推定モデルと照らし合わせて、他者に見せるべきと判断した行動をとる。自身の行動によって影響された他者の意図は、他者の行動にも影響するため、振る舞いによっては他者の行動を誘導することも可能になる。すれ違いにおける協調行動では、エージェントが対向者の回避方向を推定しそれとは逆の方向へ回避する受動的戦略、あるいは自らの回避方向を提示し対向者を誘導する能動的戦略によってなめらかなすれ違いが可能であると考えられる。また、そのようにエージェントがいくつかの戦略を使い分ける状況では、人がエージェントの戦略をどのように認識することも重要である。本研究では、能動的戦略、受動的戦略に加えエージェント自身は回避行動をとらない単純な戦略をとるエージェントを用意し、被験者はエージェントの振る舞いから戦略を推定することができるか、また戦略の違いから被験者自身の行動は変化するのかを分析する。

特に人とすれ違うエージェントが1体であった先行研究[Watanabe 14]ではエージェントの戦略が受動的な場合と、単純な場合で、被験者の行動に明確な差が見られなかった。この原因としては、被験者がエージェントに対して常に受動的に対応したからではないかと考えられる。本研究では人の戦略を変化させることが重要になるため、エージェントの数を2体に増やし、

受動的な戦略が有効なエージェント 1 とすれ違ったあとに、能動的な戦略が有効なエージェント 2 とすれ違いを行う。

### 3.1 実験内容

実験では仮想環境である SIGVerse を利用し、被験者の人モデルと 2 体のエージェントが SIGVerse 空間内ですれ違う(図 1)。被験者はヘッドマウントディスプレイ Video Eye-wear Wrap 1200 を装着し、SIGVerse 内の人モデル視点の映像を提示した。被験者のモデルはモーションキャプチャシステム OptiTrack Trio により計測した座標に基づいて SIGVerse 空間内を移動する。計測用のマーカーは被験者に着用してもらった帽子の後頭部に装着した。人モデルの視界は進行方向に固定した。

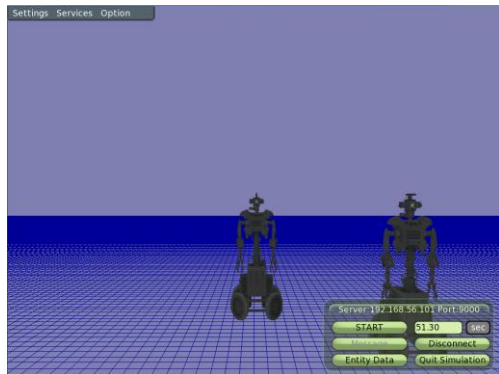


図 1: SIGVerse 空間内でのすれ違い (被験者視点)

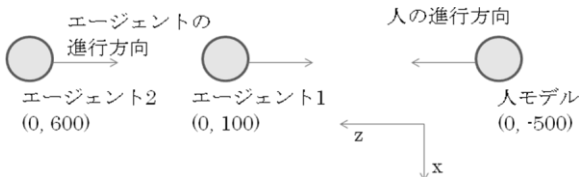


図 2: エージェントと人モデルの初期位置と進行方向

エージェントは SIGVerse 空間内に 2 体配置されそれぞれが単純な戦略、能動的戦略、受動的戦略のいずれかをとる。スタート直後はエージェントは戦略にかかわらず初期位置から SIGVerse 空間座標で 1 秒に 90 の速度で被験者に向かって真っすぐ進む(図 2)。SIGVerse 空間内の距離 1 は、現実世界の距離にするとおおよそ 1cm である。単純な戦略の場合にはそのまま進み続け、被験者が回避することですれ違いが行われる。能動的な戦略の場合、エージェントは被験者との距離が、進行方向である z 軸方向距離で 550 になったときにエージェント視点で左へ 60 度の方向へ進行方向を変える。受動的戦略の場合、距離が 550 になった時点で速度を 15 に落とし被験者が回避行動をとるのを待つ。被験者が自分の座標と比べ 20 以上左右方向へ移動した場合、回避したと判断し、逆方向へ回避する。被験者が回避しない場合は、距離が 200 まで近付いた時点で回避する限界と判断し自らが左へ回避する。エージェント 2 体の戦略の組み合わせは、それぞれに 3 種類の戦略を設定した 9 パ

ターンのうち、両方が受動的な戦略、両方が単純な戦略の 2 パターンを除いた 7 パターンを用意した。実験は 20 代の男性被験者 3 名に対し、各パターン 3 試行ずつ計測した。

### 3.2 実験結果

被験者に近いエージェント 1 が能動的な戦略をとった 9 試行では、エージェント 1 とすれ違うまでの被験者の左右移動の最大値の平均は被験者 1 が 12.3、被験者 2 が 8.89、被験者 3 が 8.71 であり、ほぼ直進していた。

また、エージェント 1 が能動的な戦略をとり、被験者から遠くに配置されたエージェント 2 が 3 種類の戦略をとった場合の実験結果を示す(表 1)。エージェント 2 の各戦略に対して被験者が横に移動した距離および、回避を始めたタイミングでのエージェント 2 と被験者の間の相対距離を示す。能動的な戦略のエージェント 2 に対しても被験者は直進していたため、能動的な戦略に対しては横への移動距離のみ記載する。数値は各パターン 3 試行の平均値である。回避を始めたタイミングは、実際にエージェントとすれ違った横移動において、左右方向への加速度が 0 を超えた時とした。実質的には左右方向へ大きく踏み出したタイミングが回避を始めたタイミングと判断された。

また、実験後の聞き取り調査において、すべての被験者はエージェントが先に回避をしたことを認識していた。エージェントの移動速度が遅くなったことを認識している被験者はいなかった。

### 4. 考察

実験結果から、受動的な戦略をとるエージェントに対しては、単純な戦略をとるエージェントと比較し、遠い距離から回避を始め、横へ移動する距離も短くなることが分かった。1 体目のエージェントの行動にかかわらず 2 体目のエージェントの戦略によって人の行動が変化しと言える。このことから全く同じ見た目のエージェントが相手でも、人は一体ごとのエージェントを協調行動の相手として認識していると考えられる。しかし、エージェントが速度を落としたことは被験者には認識されていないことが聞き取り調査で明らかになった。今回のエージェントは速度を落とすことで回避動作をする順番を人に譲り、受動的な戦略をとっていることを人に提示しようとしたが、被験者にその意図は伝わらなかった。意識上はエージェントの戦略の違いは認識されなかったものの、被験者の行動は変化した。その原因についてはさらなる分析が必要である。

被験者 3 は受動的な戦略のエージェントよりも単純なエージェントを相手に回避する距離の方が長くなっているが、これは受動的な戦略のエージェントに対する実験で、相対距離が非常に短い試行があったためである。この理由としては、回避を始めたタイミングの判定を人モデルの加速度を用いて行っていることが考えられる。今回の実験では被験者の位置の検出を後頭部のマーカーで行っており、被験者が直進している場合でも 1 歩ごとに左右への周期的な揺れが存在する。直進時の 6 歩の左右への揺れを平均すると 1 歩あたり、被験者 1 はおおよそ 3.1、被験者 2 は 4.1、被験者 3 は 5.5 であった。この揺れにより、被験者

表 1: エージェント 2 の戦略に対する被験者の回避行動 (単位は SIGVerse 空間の距離)

エージェント2の戦略	能動的戦略		受動的戦略		単純な戦略	
	横移動距離	相対距離	横移動距離	相対距離	横移動距離	相対距離
被験者1	11.63	45.53	427.45	55.01	362.25	
被験者2	17.77	33.07	443.65	44.07	406.92	
被験者3	10.32	35.41	418.87	39.95	447.04	

3 が実際よりも回避したタイミングが遅く判定されてしまった可能性がある。今後被験者の行動をよりの確に分析する方法を検討していく必要がある。

## 5. まとめ

すれ違い行動において、エージェントの戦略をメタ戦略の考え方に基づいて変化させることで、能動的な戦略をとるエージェントに対して人は受動的な戦略をとることが分かった。また、複数の異なる行動をとるエージェントがいる場合には、一体ごとに別の行動決定をすることが分かった。しかし、エージェントの意図については、能動的な戦略はすべての被験者が認識した一方で、受動的な戦略をとっていた場合にその意図は明確に人には認識されなかった。

今後は受動的な戦略をとっていることが認識されるための条件を明らかにし、人の戦略をエージェントが認識するための方法を検討する。

## 参考文献

- [SIGVerse] 社会的知能発生学研究会, SIGVerse, <http://sigverse.org/sigverse/main>.
- [Yokoyama 09] 横山絢美, 大森隆司, "協調課題における意図推定に基づく行動決定過程のモデル的解析", 電子情報通信学会論文誌, vol.J92-A, no.11, pp.734-742 (2009).
- [Kitamura 96] 北村喜文, 田中貴秋, 岸野文朗, 谷内田正彦, "octree とポテンシャル場を用いた三次元環境での経路探索", 日本ロボット学会誌, vol.14, no.8, pp.1186-1193 (1996).
- [Wesley 05] Wesley Kerr, Diana Spears, William Spears, David Thayer, "Two Formal Gas Models for Multi-agent Sweeping and Obstacle Avoidance", Formal Approaches to Agent-Based Systems, pp.111-130 (2005).
- [Mastellone 11] Silvia Mastellone, Dusan M. Stipanovic, Christopher R. Grannke, Koji A. Intlekofer, Mark W. Spong, "Formation Control and Collision Avoidance for Multi-agent Non-holonomic Systems:Theory and Experiments", The International Journal of Robotics Research, pp.1037-1071 (2011).
- [Hara 93] 原功, 長田正, "Configuration 空間法における障害物記述に関する考察", 日本ロボット学会誌, vol.11, no.2, pp.255-262 (1993).
- [Yoda 99] 依田光正, 塩田泰仁, "人間とすれ違い行動を行う移動ロボットの研究", 日本ロボット学会誌, vol.17, no.2, pp.202-209 (1999).
- [Nakano 04] 中野広樹, 下脇克友, 片山明伯, 渡邊睦, "カルマンフィルタを用いた足位置予測に基づく人物追跡自律移動ロボットの研究", 情報処理学会研究報告, CVIM, コンピュータビジョンとイメージメディア, vol.2004, no.113, pp.9-16 (2004).
- [Yoda 00] 依田光正, 塩田泰仁, "主観的評価に基づく移動ロボットのすれ違い行動アルゴリズム", 日本機械学会論文集, vol.66, no.650, pp.156-163 (2000).
- [Watanabe 14] 渡邊紀文, 吉岡裕彬, 宮本賢良, "すれ違い行動決定過程に基づく協調行動エージェントのモデル化", 第28回人工知能学会全国大会論文集.