

# 話しかけ場面における相手の受容度に応じた接近行動の分析 Analysis of Approaching Behavior Adjusting Involvement Intensity in Initial Interaction

坂本 孝丈, 吉岡 源太, 竹内 勇剛

Takafumi Sakamoto, Genta Yoshioka, Yugo Takeuchi

静岡大学創造科学技術大学院

Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

dgs14010@s.inf.shizuoka.ac.jp

## 概要

本研究では、コミュニケーションの初期段階におけるインタラクションのモデルを提案し、実際の人の接近行動についてシミュレーションを通して検討を行った。具体的には、人の話しかけ場面の行動を観察する実験のデータを分析し、提案モデルによる接近行動の再現を試みた。参加者は相手の正面方向を回避しながら相手に接近する行動を示しており、これは接近行動に対して示される相手の反応において、相手の内部状態が明示化されやすい状況をつくるためである可能性が示唆された。

キーワード: Human-Agent Interaction, Communication relationship, Agent based simulation

## 1. はじめに

ロボットなどの人工物の社会的な振る舞いを設計するうえで、人にとって読み取りやすい人工物の内部状態の表出が求められる [1]。また、エージェントが人の内部状態を推定し、推定した内部状態に合わせて行動を調整することで、人に対して配慮のあるエージェントの振る舞いが可能になると考えられる。人同士のコミュニケーションの初期段階では、接近や視線のやり取りなどの身体的なインタラクションを通して相手とコミュニケーションするか否かの判断が行われている [2, 3]。人間社会にエージェントが浸透するうえで、この段階におけるインタラクションの設計が必要となる。そこで本研究では、コミュニケーションの初期段階として、特に対象への話しかけ時の接近行動に注目する。

人同士で会話が始まる場面では、距離に応じた挨拶行動や身体配置などパターンが存在し [4]、距離や視線方向を互いに調整する行動が行われている [5, 6]。これらの行動はロボットなどの人工物の振る舞いに実装されており、人工物が人に接近する際に与える心理的負荷の軽減などが期待される [7, 8]。しかし、これ

らの研究の多くは接近行動や回避行動そのものをモデル化しており、人に対して表出される人工物の内部状態についてはあまり検討されていない。特に、人と同じような内部状態を持ち、人工物自身の内部状態に応じて接近・回避行動を生成するアプローチはほとんど行われていない。人工物に人と類似した内部状態と接近行動のモデルを実装することで、接近行動により相手に自身の内部状態を表出することが可能となる。同時に、相手の振る舞いから相手の内部状態を推定することで、相手に合わせて行動を調整することが可能になると考えられる。本研究では、自身の内部状態に基づいて接近行動を生成するエージェントのモデルを提案する。

本研究では、エージェントの内部状態を考慮するうえで、対人的なコミュニケーションにおける関係の側面に注目する。人同士で取り交わされるメッセージには「内容」と「関係」に関する側面が混在しており、自身と相手と同じ場に存在している限り、お互いのいかなる行動もメッセージとして解釈可能となる [9]。それゆえに、相手と関係を構築するつもりがない場合であっても、「お互いに関わらない」関係を了承し合う必要がある。人-人工物のインタラクションにおいても、人工物が人と関わろうとしているのか、あるいは、あるいは関わらないように行動しているのかを人との間で了承し合う必要がある。そこで、本研究では相手と関係を構築することに対する選好を内部状態として持つエージェントのモデルを提案する。提案モデルでは、エージェントの内部状態と対象との空間的な配置から行動が生成される [10]。同時に、接近や回避といった行動から内部状態を推定することも可能である。これにより、コミュニケーションの初期段階における関係の調整が可能であると考えられる。

本研究では、提案モデルを相手の内部状態に応じた話しかけ場面における行動に適用する。具体的には、初対面の相手に話しかける場面を再現した実験 [11] に

おける人の接近行動の分析に提案モデルを用いる。この実験では、話しかける対象の受容度を対象が従事する作業（読書）の集中度合いによって表し、指示により参加者に提示する。相手の内部状態に応じて話しかけ行動に違いが生じるか否かを分析する。また、提案モデルを用いて実験により得られた相手への接近行動をシミュレーションにより生成する。そこから、話しかけ場面における人の内部状態や接近行動の特徴について検証を行う。

## 2. 提案モデル

本研究では、話しかけ場面における空間的なインタラクションを記述するためのエージェントモデルを提案する。ここでいうエージェントは、現在の状況に対する評価方法を有し、評価値を上昇させるよう行動する存在である。本モデルのエージェントは対象との関係に対する選好を持ち、これは内部状態として表現される。また、対象との空間配置とエージェント自身の内部状態に基づき、次の行動が決定される。

### 2.1 内部状態

提案モデルの内部状態は、エージェント自身が対象と構築しようとする関係を表現する。対象との関係を記述する上で、2つの方向の関与に注目する。話しかけ場面における対象との関係は、自分から相手への関与に対する積極性（Control）と相手から自分への関与に対する受容性（Acceptance）の2つの側面が考えられる。エージェントの内部状態はこの Control と Acceptance を軸とし、それぞれに対するエージェントの選好が正と負の方向で表される。エージェントの内部状態を図1に示す。エージェントの内部状態を大まかに、Control と Acceptance の正と負を組み合わせた4つの状態と、どの方向に対しても選好を持たない状態との5つの状態に分類される。内部状態を  $z$  とし、この5つの状態は以下で表される。

- $z = (+, -)$  : 自身から対象への関与のみが可能な状況を志向する Assertive な状態
- $z = (-, +)$  : 対象から自分への関与のみが可能な状況を志向する Submissive な状態
- $z = (+, +)$  : 自身と対象が互いに関与可能な状況を志向する Reciprocal な状態
- $z = (-, -)$  : 自身と対象との間のいずれの関与も避けられる状況を志向する Avoidant 状態。
- $z = (0, 0)$  : 自身と対象との間の関与に対して選好を有さない Ambivalent 状態。

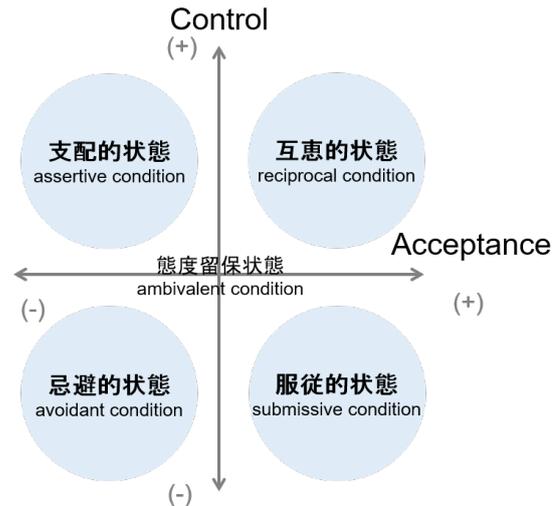


図1 Internal state of model

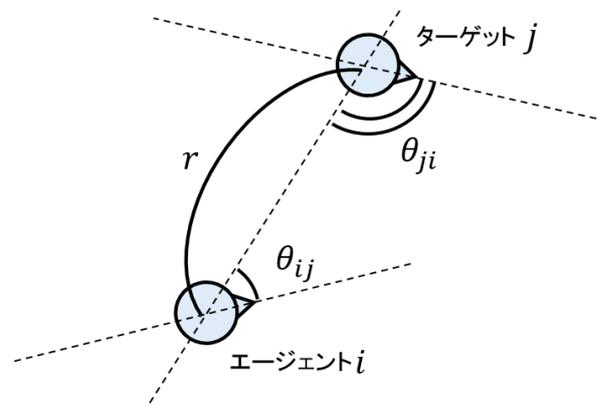


図2 Internal state of model

### 2.2 関与と空間配置の対応付け

エージェントから対象への関与は空間的な関係で表現する。また対象からの関与も同様に表現する。人による対象への働きかけは近距離正面方向の Transactional segment で行われる [?]. よって距離  $r$  と方向  $\theta$  からなる相対位置により関与の量は、以下の式で表される。

$$F(r, \theta) = f(r)g(\theta), \quad (1)$$

ただし、 $f(r)$ 、 $g(\theta)$  は単調減少関数である。エージェント  $i$  とターゲット  $j$  が同一空間ないに存在する場合、 $i$  からの  $j$  への関与の度合い、 $j$  から  $i$  への関与の度合いは図2に示す  $r$ 、 $\theta_{ij}$ 、 $\theta_{ji}$  から求められる。エージェントは、自身から対象への関与の度合い  $F(r, \theta_{ij})$ 、自身から対象への関与の度合い  $F(r, \theta_{ji})$  を内部状態に応じて増加または現象させるよう行動する。

## 2.3 行動

本研究では、エージェントの行動は平面の移動と身体方向の回転のみとする。エージェントの平面の移動はベクトルで表すことができ、対象との距離方向の成分と対象の周りを回転する成分に分けることができる。距離方向の成分は距離を変化させるため、エージェントの内部状態  $z$  の Control の値を表す  $c(z)$  と Acceptance を表す  $a(z)$ 、現在の距離  $r$  の関数  $v_{\text{dis}}(z, r)$  で表される。ただし、 $v_{\text{dis}}(z, r)$  は次の条件に従うものとする。

$$\begin{cases} c(z) + a(z) > 0 \text{ のとき, } v_{\text{dis}}(z, r) < 0. \\ c(z) + a(z) = 0 \text{ のとき, } v_{\text{dis}}(z, r) = 0. \\ c(z) + a(z) < 0 \text{ のとき, } v_{\text{dis}}(z, r) > 0. \end{cases} \quad (2)$$

また移動ベクトルのうち、回転方向の成分は  $\theta_{ji}$  を変化させるため、 $a(z)$  に  $\theta_{ji}$  の関数  $v_{\text{ar}}(z, \theta_{ji})$  で表される。ただし、 $v_{\text{ar}}(z, \theta_{ji})$  は次の条件に従うものとする。

$$\begin{cases} a(z) > 0 \text{ のとき, } \theta_{ji} \text{ が } 0 \text{ に近づく値を取る.} \\ a(z) = 0 \text{ のとき, } v_{\text{ar}}(z, \theta_{ji}) = 0. \\ a(z) < 0 \text{ のとき, } |\theta_{ji}| \text{ が } \pi \text{ に近づく値を取る.} \end{cases} \quad (3)$$

身体方向の回転は  $\theta_{ij}$  を変化させるため、 $c(z)$  と  $\theta_{ij}$  の関数  $v_{\text{rol}}(z, \theta_{ij})$  により表される。ただし、 $v_{\text{rol}}(z, \theta_{ij})$  は次の条件に従うものとする。

$$\begin{cases} c(z) > 0 \text{ のとき, } \theta_{ij} \text{ が } 0 \text{ に近づく値を取る.} \\ c(z) = 0 \text{ のとき, } v_{\text{rol}}(z, \theta_{ij}) = 0. \\ c(z) < 0 \text{ のとき, } \theta_{ij} \text{ が } \pi \text{ に近づく値を取る.} \end{cases} \quad (4)$$

これらの関数に基づいて、エージェント自身の内部状態と対象との位置関係から、エージェントの移動と身体方向の回転が決定される。

## 3. 対象の内部状態を想定した話しかけ実験

本研究は、話しかけ場面における人の行動を提案モデルに基づき分析することを目的とする。本研究では、先行研究 [11] により得られた椅子に座り読書している人に見立てたマネキンに対する人の接近行動の再分析を行う。この実験は、相手（マネキン）の読書に対する集中度合いが異なる状況において、道を尋ねるために話しかけるというシナリオで行われた。本節では、実験方法の概略を示す。

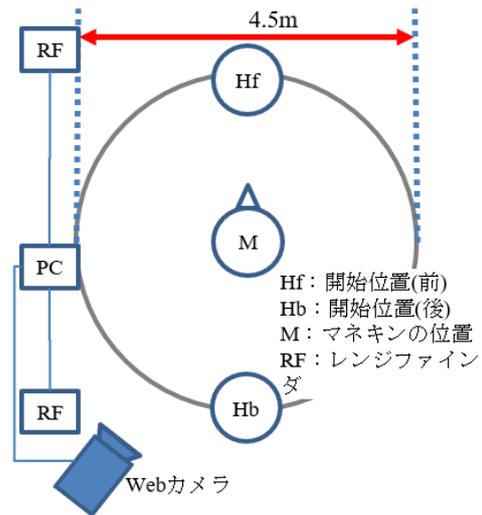


図3 実験環境



図4 実験の様子

## 3.1 実験方法

### 3.1.1 手順

実験環境の概略を図3に示す。実験課題は、フィールド（4.5mの円形）の中央に配置されたマネキンに対して、正面方向の端（ $x=0\text{mm}$ ,  $y=2.25\text{m}$ ）または背面方向（ $x=0\text{mm}$ ,  $y=-2.25\text{m}$ ）から接近し、話しかける課題である。マネキンに話しかけるシナリオとして、参加者が道に迷っている状況であり、初対面の相手に道を尋ねる場面であることを参加者に教示した。また、相手が読書に集中している度合いを後述する実験条件に応じて参加者に想定させた。教示後、参加者はフィールド上の開始位置に誘導され、開始の合図とともに話しかけ行動を開始した（図4）。話しかけ終了後、この試行を反対側の開始位置から同じ状況設定で行わせた。正面方向と背面方向の試行が終了した後に、異なる相手の集中度合いを想定させ同様の手順で試行を行った。全ての条件での試行終了するまでこれを繰り返した。

本研究では、主に参加者の位置座標の変化を分析対

表 1 実験条件

		実験課題条件	
		正面	背面
教示要因	集中	C1	C4
	中間	C2	C5
	散漫	C3	C6

象とする。参加者の位置座標はフィールドの端に設置したレーザレンジファインダにより取得された。また、Webカメラの映像により話しかけ開始や終了のタイミングの計測を行った。これらのデータに基づき、各条件の接近行動の分析、比較を行う。

### 3.1.2 実験条件

実験条件を表1に示す。実験は教示要因と課題開始位置要因の2要因被験者内計画で行われた。教示要因は相手の集中度合いに対する教示の要因であり、以下の3つの水準である。

**集中** 相手は集中して本をよんでいる

**中間** 相手は本を読んでいる

**散漫** 相手は本を読み終え、本を持っている

話しかけ開始位置はマネキンに対する正面方向と背面方向の2水準である。

なお、参加者は15名で一人の参加者は全ての条件の試行を行った。各実験条件の順序は、カウンターバランスを考慮し、参加者ごとに入れ替え行った。

## 3.2 結果と考察

### 3.2.1 話しかけ開始位置

先行研究では、正面からの話しかけ開始位置について教示要因により差が生じることが示されている[11]。具体的には、話しかけ開始時の参加者の位置とマネキンとの距離について、マネキンの正面方向を開始位置とする場合は集中<中間<散漫であり、背面を開始位置とする場合はこの差が生じないことが示された。各条件の話しかけ位置の平均を図5に示す。

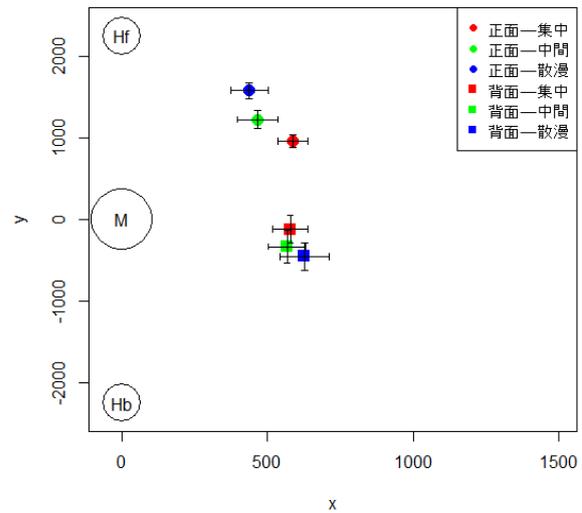


図5 各条件の話しかけ開始位置の平均 (SE)

### 3.2.2 接近行動の軌道

本研究では、話しかけ開始位置までの接近行動について分析を行う。図6, 7, 8に参加者のマネキンに対する接近行動の軌道の実例を示す。正面方向を開始位置とした条件では、ほとんどの参加者が直線的にマネキンに接近するのではなく、正面方向を回避する形で接近していた。また、図6の参加者Aの場合、相手がより集中していると教示された条件(赤色)の軌道が相手の正面をより回避している。しかし、図7や図8に示されるように、相手の集中度合いによる影響が軌道に現れていない参加者もみられた。これらを踏まえると、参加者の接近行動について以下の点について検討する必要がある。

- 正面から相手に話しかける際、正面方向を避ける理由。
- 正面から相手に話しかける際、相手の集中度合いに応じて接近行動を変化させているのか。

これらを検討するために、以下では参加者の接近行動を提案モデルに当てはめ、分析を行う。

## 4. シミュレーション実験

提案モデルでは、エージェントの内部状態を表すControlとAcceptanceの値に応じて、エージェントの接近行動や回避行動が生成される。前節の実験状況において人が提案モデルに従う行動を示していると仮定し、参加者のマネキンへの接近行動をシミュレーションにより再現することを試みる。そこから、提案モデルに基づいて参加者の内部状態を推定し、分析を行う。

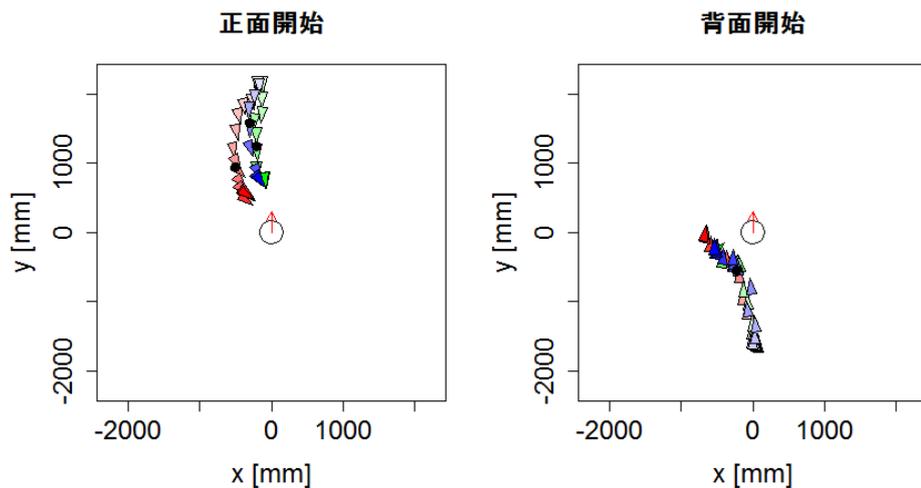


図 6 接近時の軌道（参加者 A, 赤：集中, 緑：中間, 青：散漫）

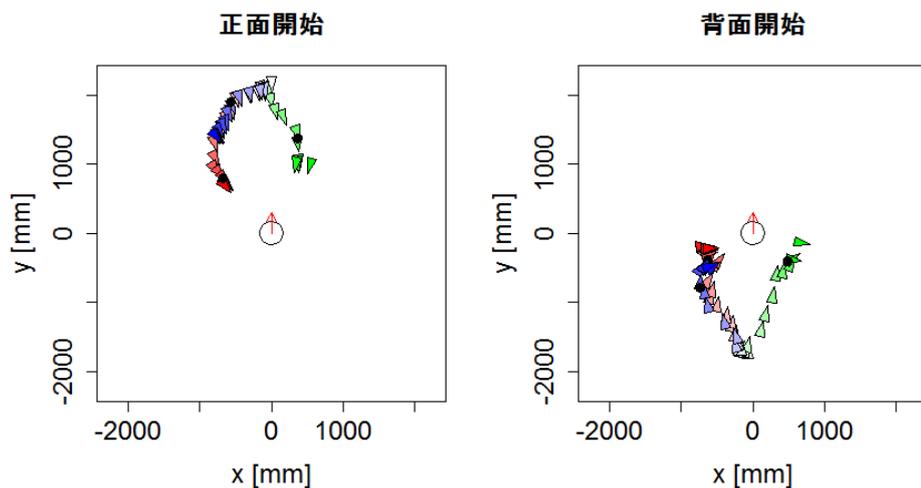


図 7 接近時の軌道（参加者 B, 赤：集中, 緑：中間, 青：散漫）

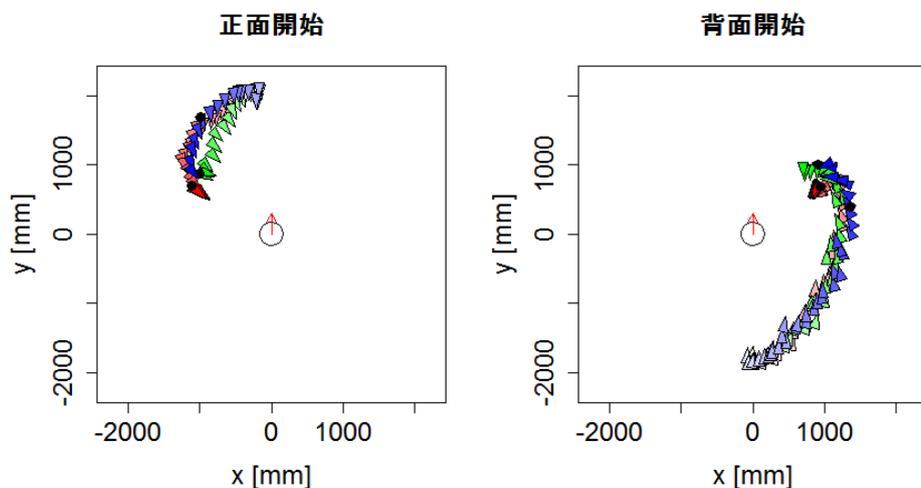


図 8 接近時の軌道（参加者 C, 赤：集中, 緑：中間, 青：散漫）

## 4.1 方法

提案モデルに基づくエージェントの行動を生成するため、 $v_{ar}(z, \theta_{ji})$  と  $v_{rol}(z, \theta_{ij})$ ,  $v_{rol}$  の3つの関数を定義する必要がある。ここでは、Control の値を  $-1 \leq c(z) \leq 1$ , Acceptance の値を  $-1 \leq a(z) \leq 1$  とし、エージェントの移動方向が  $c(z)$  と  $a(z)$  により決まり、エージェントの身体方向の回転が  $c(z)$  により決まるように関数を定義する。相手の正面方向に対する周り込みや回避の成分となる  $v_{ar}(z, \theta_{ji})$  は以下の式により求める。  $a(z) > 0$  のとき、

$$v_{ar}(z, \theta_{ji}) = \begin{cases} a(z) & (\theta_{ji} < 0) \\ 0 & (\theta_{ji} = 0) \\ -a(z) & (\theta_{ji} > 0) \end{cases}, \quad (5)$$

とし、 $a(z) < 0$  のとき、

$$v_{ar}(z, \theta_{ji}) = \begin{cases} a(z) & (0 \leq \theta_{ji} < \pi) \\ 0 & (|\theta_{ji}| = \pi) \\ -a(z) & (-\pi < \theta_{ji} < 0) \end{cases} \quad (6)$$

とする。相手との距離を近づける、または遠ざける移動成分として  $v_{dis}(z, r)$  を以下の式により求める。

$$v_{dis}(z, r) = \begin{cases} 0.5a(z) + 0.5c(z) & (r > r_{min}) \\ 0 & (r \leq r_{min}) \end{cases} \quad (7)$$

エージェントの身体方向の回転成分として  $v_{rol}(z, \theta_{ij})$  は以下の式により求める。  $c(z) > 0$  のとき、

$$v_{rol}(z, \theta_{ij}) = \begin{cases} \pi/36 & (\theta_{ij} < 0) \\ 0 & (\theta_{ij} = 0) \\ -\pi/36 & (\theta_{ij} > 0) \end{cases}, \quad (8)$$

とし、 $c(z) < 0$  のとき、

$$v_{rol}(z, \theta_{ij}) = \begin{cases} \pi/36 & (0 \leq \theta_{ij} < \pi) \\ 0 & (|\theta_{ij}| = \pi) \\ -\pi/36 & (-\pi < \theta_{ij} < 0) \end{cases} \quad (9)$$

とする。

前節の実験状況は、初対面の相手に対して道を尋ねるというシナリオに基づいている。相手に対して自分から積極的に関与する必要があるため、Control の値は正であると考えられよう。よって、以下のシミュレーションでは  $c(z) = 0.5$  とし、 $a(z)$  の値に応じた軌道について検討する。具体的には、 $-1 \leq a(z) \leq 1$  の範囲で  $a(z)$  の値を 0.01 間隔で設定し、原点 (0, 0) に

位置する対象への接近行動をシミュレーションする。エージェントの初期位置は前節の実験状況に合わせて (0, 255) と (0, -255) の2点とし、いずれの場合も対象の方向を向いた状態から開始する。シミュレーションは 200step 行い、以下では、前節の実験環境にスケールを合わせたうえで分析を行う。

## 4.2 結果と考察

図9に対象の正面方向を開始位置としたシミュレーション結果を示す。 $a(z) \geq 0$  のとき、エージェントは対象の正面方向に位置するように接近する。これに対して  $a(z) < 0$  のとき、エージェントは対象の正面方向から遠ざかりつつ、対象に接近する。前節の実験により、示された参加者の接近行動の多くは正面方向を遠ざけつつマネキンに対して接近していたことから、提案モデルの  $a(z) < 0$  の状態の行動を示していたといえる。

提案モデルにおいて  $a(z)$  は Acceptance の値を表し、対象からの関与の受容性を表している。同時に、対象の正面近距離の領域に自身が位置することに対する選好を表している。相手が本を読んでいるという状況設定において、相手の正面近距離の領域は相手の作業（読書）を妨害する可能性がある領域である。このため、前節の実験の参加者は相手への儀礼として正面を回避しながら接近した可能性がある。

また、相手の状態を明示化するために、相手の正面方向を回避した可能性がある。人同士の話かけ場面において、実際に声をかける以前に互いに視線を合わせる (mutual gaze) などの行動がみられる [2, 3]。これらの行動は提案モデルの内部状態の変化により表現可能である。相手に対して関与するつもりがない状態から接近行動を受けて相手への関与を示す場合、提案モデルの Control の値が 0 から正の値に遷移したことになる。一方で、接近行動を受けても相手に対して関与するつもりがない場合は Control の値が 0 の状態を維持し続ける。

この2つの状態について、提案モデルに基づきシミュレーションを行った結果を図10、図11に示す。図10は、 $a(z) \geq 0$  の接近行動（赤色）と、それに対して身体方向の回転のみが許される場合の反応（緑色）をシミュレーションした結果である。この場合、図10（左）の Control が 0 のときと図10（右）の Control が正の場合の反応の違いが見られない。これに対して、図11は、 $a(z) < 0$  の接近行動（赤色）と、それに対して身体方向の回転のみが許される場合の反応（緑色）

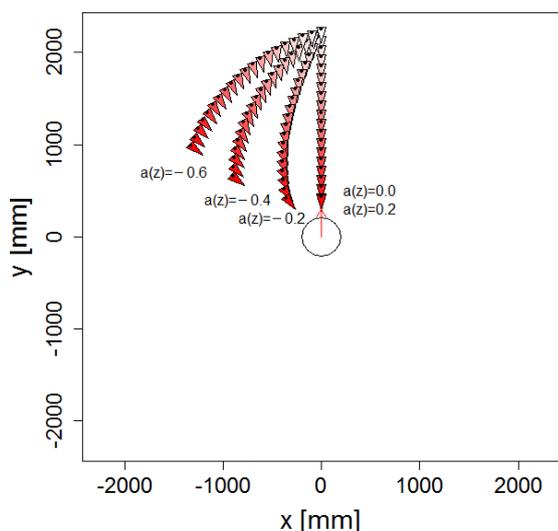


図9 提案モデルに基づきシミュレーションした軌道 (開始位置: 正面,  $a(z)$  の値: 左から順に-0.6, -0.4, -0.2, 0.0, 0.2)

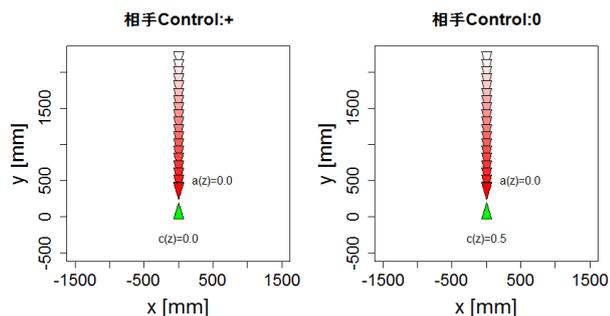


図10  $a(z) \geq 0$  の接近と相手が関与するつもりがない状態の反応 (左) と関与するつもりがある状態の反応 (右) の

をシミュレーションした結果である。この場合、図11 (左) の Control が 0 のときと図11 (右) の Control が正の場合で、反応が異なることが示される。

この結果から、相手の正面方向を維持し続けて接近する場合、相手が自身の接近に対して反応を示したかどうか不明確になると考えられる。これにより、話かけ場面では相手の正面方向を避ける形で相手に接近すると推察される。この点については前節の実験に加えて、課題内容や教示により想定させる状況設定を追加した実験を行い検討する必要がある。

## 文献

- [1] Fong, T., Nourbakhsh, I., and Dautenhahn, K. (2003). "A survey of socially interactive robots", *Robotics and*

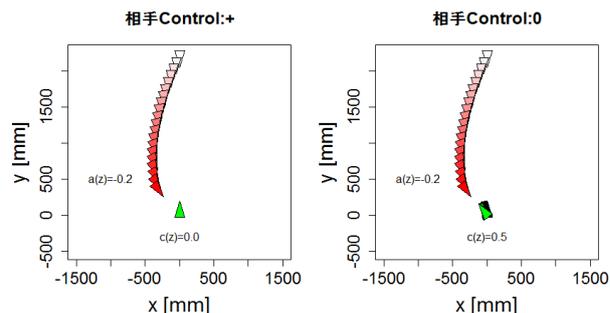


図11  $a(z) < 0$  の接近と相手が関与するつもりがない状態の反応 (左) と関与するつもりがある状態の反応 (右)

- autonomous systems, Vol. 42, No. 3-4, pp. 143-166.
- [2] Mondada, L. (2009) "Emergent focused interactions in public places: A systematic analysis of the multimodal achievement of a common interactional space", *Journal of Pragmatics*, Vol. 41, No. 10, pp.1977-1997.
- [3] Mortensen, K. and Hazel, S. (2014) "Moving into interaction—Social practices for initiating encounters at a help desk". *Journal of Pragmatics*, Vol.62, pp. 46-67.
- [4] Kendon, A., (1990) "Conducting Interactions: Patterns of Behavior in Focused Encounters", Cambridge University Press.
- [5] Hall, E.T., (1966) "Hidden Dimension", Doubleday Company (日高敏隆, 佐藤信行 (訳) 『かくれた次元』. みすず書房, 1970).
- [6] Argyle, M. and Dean, J., (1965) "Eye-contact, distance and affiliation". *Sociometry*, Vol.28, pp.289-304.
- [7] Kruse, T., Pandey, A. K., Alami, R., and Kirsch, A., (2013) "Human-aware robot navigation: A survey", *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 61 No. 12, pp. 1726-1743.
- [8] Rios-Martinez, J., Spalanzani, A., and Laugier, C., (2015) "From proxemics theory to socially-aware navigation: A survey", *International Journal of Social Robotics*, Vol. 7 No. 2, pp. 137-153
- [9] Watzlawick, P., Bavelas, J. B., and Jackson, D.D. (2011) "Pragmatics of human communication: A study of interactional patterns, pathologies and paradoxes", WW Norton & Company.
- [10] 坂本孝丈, 竹内勇剛: 身体的なインタラクションを通じた対人的な関係構築プロセスに関する検討, 日本認知科学会第34回大会論文集, pp.410-417 (2017)
- [11] Yoshioka, G., Sakamoto, T. and Takeuchi, Y. (2018) "Polite Approach to Engrossing Person Based on Two-Dimensional Attitude of Interaction with Other", 27th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (in press).