

# 身体的なインタラクションを通じた 対人的な関係構築のプロセスに関する検討

## Investigation of Interpersonal Communication in Embodied Interaction Based on Bi-dimensional Model

坂本 孝丈, 竹内 勇剛

Takafumi Sakamoto & 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

### Abstract

We propose a model of the aspects of relationship adjustment at the initial stage of communication that is constructed of two parameters: the degree of the object's control and its acceptance. The values of these parameters are expressed by two orthogonal axes, and using an agent simulation we verified behavior corresponding to five conditions, each quadrant, and the origin of the axes. We acquired the behavior of an agent in a virtual environment with the genetic algorithm where the calculation manner of the fitness reflects the parameters of the model and simulated the interactions caused by the combinations of conditions. As an execution result of the simulation, we obtained several interaction patterns, which explain the actual communication scenes between humans or between human and artifacts.

**Keywords** — Interaction, Communication relationship, Genetic algorithm, Agent based simulation

### 1. はじめに

ロボットなどの人工物の振る舞いが多様化することに伴い、人工物の振る舞いの意図を人に伝達することの重要性が高まっている。人工物の意図を人に推測してもらうためには人-人工物の間に対人的な関係を構築する必要がある。しかし、対人的な関係を構築するために、その人にとってその人工物が「自身と関係を構築し得る存在である」と見做されなければならない。一方で、人同士ではたとえ相手が見知らぬ者であってもコミュニケーションを開始することが可能である。また、人混みではできるだけ他者とのやり取りが生まれないように振る舞うこともできる。本研究では、このようなコミュニケーションの初期段階における関係

の調整の側面に注目し、このプロセスを明らかにすることを目的とする。

人同士の対話場面におけるコミュニケーションを開始するまでの一連の行動に関する研究が行われており [1]、このプロトコルをロボットに適用した研究も行われている [2]。これらの行動は対象とコミュニケーションを開始する目的がある場合に有効であると考えられる。しかし、人混みの例のような、コミュニケーションを開始したくない場面も考慮する必要がある。そこで、コミュニケーションの開始場面における内的状態とその内的状態に対応した振る舞いについて検討を行う。

先行研究 [3] ではコミュニケーションする意図がない状態で生じるインタラクションについて検証を行い、いくつかのインタラクションのパターンが示されている (図 1)。しかし、これらのインタラクションのパターンとインタラクション最中の実験参加者の内的状態の対応付けは困難である。そこで、本研究では内的状態の表現として図 2 に示すモデルを提案する。対人的なコミュニケーションにおいて互いの力関係の調整は重要な要因の一つとされている [4]。これに基づき、図 2 のモデルは相手に作用することに対する積極性の軸としてのコントロールと、相手のコントロールへの応答に対する積極性の軸であるアクセプタンスで構成される。本研究ではこのモデルのパラメータと行動の対応付けを遺伝的アルゴリズム (GA) により行う。これにより、ある行動が観測された場合の内的状態の推定が可能となり、人のインタラクション最中の内的状態の変化を分析できる推察される。そこから、コミュニケーションの初期段階における人の関係調整のプロセスを明らかにすることを目指す。本研究の発展することで、人同士の場合と同じように、自身の状態と相手の状態に応じて話しかけるか否かを判断することができるような人工物の設計が期待される。

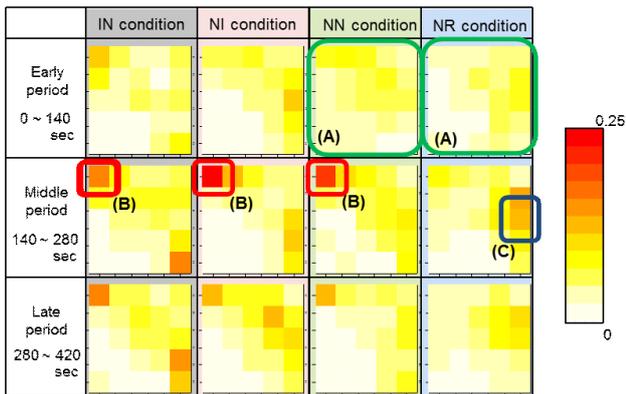
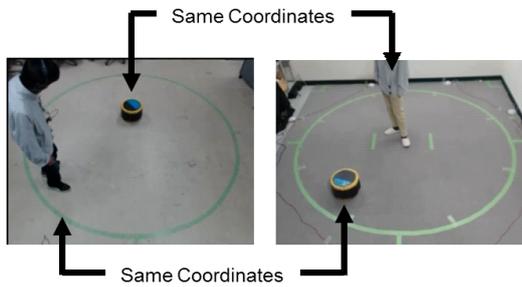


図 1 先行研究で示されたインタラクションの特徴

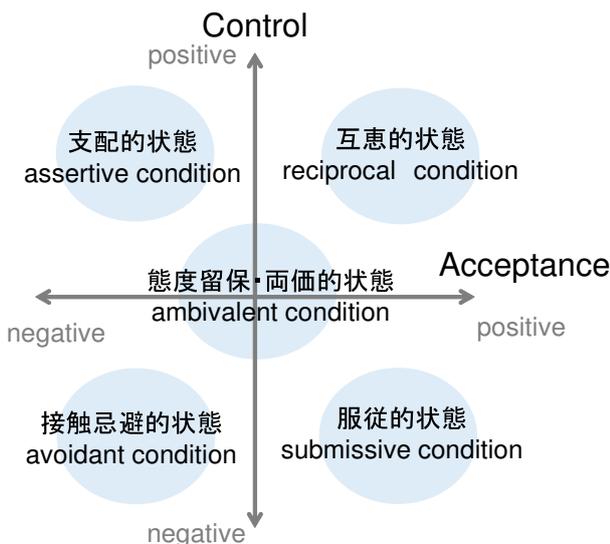


図 2 内部状態の表現に用いる 2 軸モデル

## 2. 背景

### 2.1 Relational Communication

人同士ではお互いに行動や関係を調整しながらコミュニケーションが行われる。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 [5]。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。また、それまでに構築された相手との関係に応じて、解釈できるメッセージの意味合いが変容し、メッセージの解釈に応じて構築される関係も変容する。コミュニケーションにおける関係の構築プロセスに関する研究では、発話内容やジェスチャにおける関係制御 (relational control) に注目したインタラクションの分析が行われている [6]。Rogers ら [7] により提案された RCCCS (Relational Communication Control Coding System) では、会話内のメッセージに対してその文法形式と反応モードに基づき、関係の定義を断定する方向を one-up ( ), 相手の関係の定義を受け入れる方向を one-down ( ), 関係の定義を避ける方向を one-across ( ) でコード化している。そこから、メッセージの組み合わせによって話者間の関係を記述し、人-人コミュニケーションにおける関係の調整のパターンについて検証が行われている。

本研究では、コミュニケーションを開始する前の初期段階における行動について検証する。この段階のインタラクションにおいては、会話場面のようなターンは構成されていないと考えられる。よって関係の定義の断定と受け入れの側面を平行して取り扱うことが可能なモデルを提案する。具体的には、図 2 に示した「相手の行動を制御すること」に対する積極性の軸と、「相手の制御を受け入れること」に対する積極性の軸との 2 軸のモデルについて検証する。2 軸の値をモデルのパラメータとし、本研究では各パラメータの正負の組み合わせと、原点周辺の領域の 5 つの状態について取り扱う。各状態を具体的なコミュニケーション場面に当てはめると以下ようになる。

- 支配的状态
  - － 自分から話かけたいが相手からは話しかけられたくない状態。
  - － 相手に影響を与えたいが相手からの影響は受けたくない状態。
- 服従的状态

- 自分からは話しかけたくないが相手からは話しかけられたい状態．
- 相手に影響を与えたくないが相手からの影響は受けたい状態．
- 互恵的状态
  - 自分から話しかけたいし、相手からも話かけられたい状態．
  - 相手に影響を与えたいし、相手からの影響も受けたい状態．
- 接触忌避的状态
  - 自分から話しかけたくないし、相手からも話しかけられたくない状態．
  - 相手に影響を与えたくないし、相手からの影響も受けたくない状態．
- 態度留保・両価的状态
  - 自分から話しかける、相手から話しかけられることに対して明確な希求がない状態．
  - 相手に与える影響、相手から受ける影響について明確な希求がない状態．

本研究では、手始めにこれらの状態に対応する行動を2つのパラメータの値の違いにより表現できるかを検証する．提案モデルのパラメータと振る舞いに対応付けるために本研究では身体配置に着目する．

## 2.2 身体配置

人同士のコミュニケーションにおいて、人は相手との関係に応じて距離を使い分けている [8]．また、距離や視線方向を互いに調整することで関係性の調整を行っている [9, 10]．Kendon は人同士のコミュニケーションにおいて一定の空間が形成・維持される現象を F 陣形と定義している [1]．これらのことから、本研究ではコミュニケーションの初期段階における内的状態と行動の対応付けに位置情報と身体方向を用いる．提案モデルのパラメータを行動に対応づけるためには、行動に対する評価を設定する必要がある．Kendon は、人の操作対象との間に設けられる正面方向の空間を操作領域 (transactional segment) とし、この操作領域を重ねることで空間配置が維持されるとしている．そこで、操作領域内に対象を入れることで得られる利害をモデルのコントロールの軸の値に対応させ、対象の作業領域内に入ることをアクセプトの軸の値に対応させる．これを評価関数とし、遺伝的アルゴリズムの適合度の計算に用いることで、モデルの各状態と行動の

対応付けが可能となる．以降では、遺伝的アルゴリズムおよびシミュレーションについて説明する．

## 3. 方法

提案モデルのパラメータに対応する行動を GA により仮想エージェントに獲得させる．仮想エージェントは2次元平面の仮想フィールド内で行動し、対象物との位置関係により利得を得る．この利得を計算する評価関数をモデルのパラメータに対応付けることで各状態に適応した行動を獲得させる．そこから各状態の行動の性質をシミュレーションにより検証する．適応した行動を獲得したエージェント同士を組み合わせシミュレーションすることで、内的状態の組み合わせによって生じるインタラクションの違いについて検証する．

### 3.1 仮想エージェント

図3に仮想エージェントの設計を示す．仮想エージェントは30ピクセルの円形で視覚センサ、接触センサ、操作領域を有する．視覚は半径150ピクセル中心角150度の扇形とし、半径と中心角でそれぞれ5分割した25領域のどこに対象が位置するかを判別する．また、対象の相対的な身体方向が八方向のうちいずれであるかを判別する．接触センサは対象と衝突している際に、死角を5つに分割した領域のどこに対象が位置しているかを判定する．また、対象の操作領域内に位置している場合の対象の位置を判定する．つまり仮想エージェントは対象の位置に応じてセンサ値として210の値を取得する．操作領域は半径60ピクセル中心角90度の扇形で表現し、対象が領域内にいる場合、後述する条件に応じて適合度が更新される．仮想エージェントの行動は、静止あるいは八方向への移動の9パターンと、身体方向の回転なし、左回転、右回転の3パターンを組み合わせた27種類でコード化する．一回で移動できる距離は7.5ピクセルで回転角度は15度である．仮想エージェントはセンサ値分である210要素の配列を持ち、各要素は27種類のコードのいずれかの値を取る．この行動のコードをGAにより適合させる．

### 3.2 遺伝的アルゴリズム

図4に示す手順でモデルのパラメータに応じた行動を遺伝的アルゴリズムにより仮想エージェントに獲得させる．センサ値の配列を遺伝子配列とし、適合度の

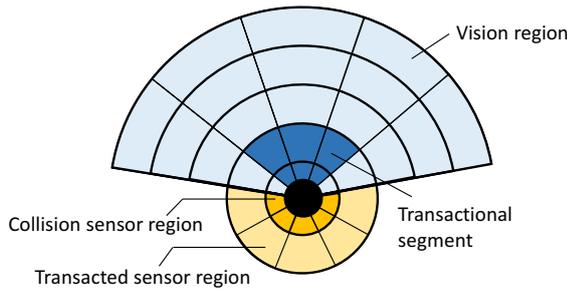


図3 エージェントの設計

計算は 200 ステップの行動の結果から計算する．対象がセンサ内に位置しない場合のエージェントの行動はランダムとする．エージェントが行動するフィールドは一辺 300 ピクセルの正方形で平坦トーラスとする．各個体の評価に用いる適合度は以下の式から求める．

$$fitness = w_c t_p + w_a t_e - h_{cost} - h_{collision}, \quad (1)$$

$$t_p = \begin{cases} 1 & (\text{エージェントが対象の作業領域内にいる}), \\ 0 & (\text{Otherwise}), \end{cases} \quad (2)$$

$$t_e = \begin{cases} 1 & (\text{対象がエージェントの作業領域内にいる}), \\ 0 & (\text{Otherwise}), \end{cases} \quad (3)$$

$w_c$  と  $w_a$  はモデルのコントロールとアクセプタンスの値， $h_{cost}$  は移動に伴うコスト， $h_{collision}$  はターゲットと衝突した場合の損失を表す． $h_{cost}$  は回転と移動のそれぞれに対して 1 かかり，静止している場合は 0 とする． $h_{collision}$  は対象と衝突した場合は 100，衝突しなければ 0 に設定する．ここで重要なのが  $w_c$  と  $w_a$  値の設定である．2.1 節で取り上げた 5 つ状態に準じて 5 つの条件を設定する（図 5）．各条件  $w_c$  と  $w_a$  の値を以下示す．

- 支配条件（支配的状态）： $w_c = 5, w_a = -5$ ,
- 服従条件（服従的状态）： $w_c = -5, w_a = 5$ ,
- 互惠条件（互惠的状态）： $w_c = 5, w_a = 5$ ,
- 忌避条件（接触忌避的状态）： $w_c = -5, w_a = -5$ ,
- 留保条件（態度留保的状态）： $w_c = 0, w_a = 0$ .

対象が仮想エージェントの作業領域内にいる場合，コントロールが正の条件では適合度を加点，負の条件では減点する．仮想エージェントが対象の作業領域内にいる場合，アクセプタンスが正の条件では適合度を加点し，負の条件では減点する．これにより，モデルのパラメータと行動の対応付けを実現する．

一世代あたりの個体数は 200 とする．初期の遺伝子配列はランダムとする．一回の試行は 200 ステップであり，仮想エージェントと対象の初期の位置および身

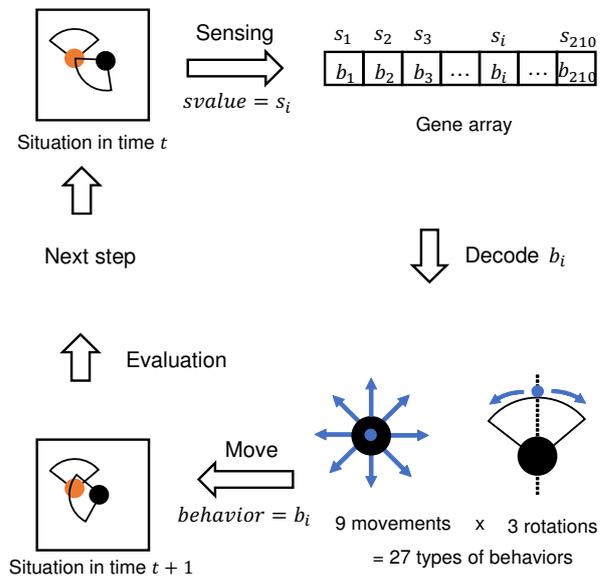


図4 各ステップのエージェントの行動

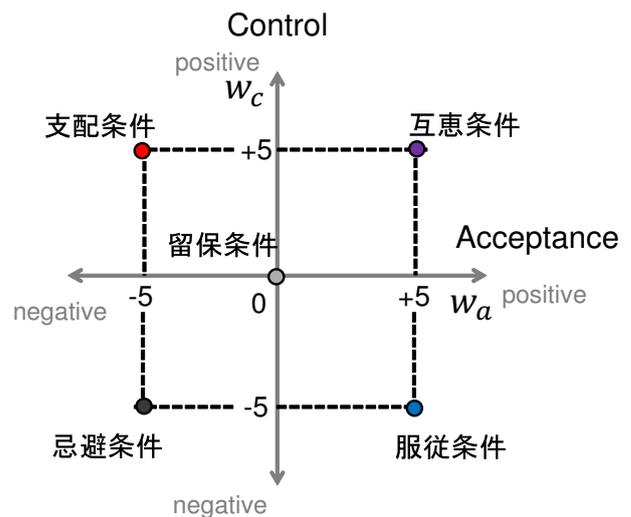


図5 シミュレーションの条件

体方向はランダムとする．各個体の試行回数は 10 回とし，対象の動きは静止とランダムの 2 種類をそれぞれ 5 試行ずつ用いる．選択に用いる適合度は各ステップ，各試行の合計値とする．選択はトーナメント方式でトーナメントサイズは 10 に設定する．交差は交差確率 0.8 の一様交差で，変位は確率 0.03 でランダムに 10 個の遺伝子を対立遺伝子に書き換える．これを 5000 世代分繰り返す，各条件に適応した行動についてシミュレーションに基づき検証する．

### 3.3 シミュレーション

5 つの条件の適応個体でペアを作りインタラク션을シミュレーションする．シミュレーションには前節と同様のフィールドと設定を用いる．各条件の仮想エージェントの行動は 5000 世代目の最適個体の遺伝子配列に基づく．一試行あたりのステップ数は 200 として，各組み合わせで 10000 試行のシミュレーションを行う．このシミュレーションにおいても遺伝的アルゴリズムと同様に式(1)の適合度の計算を行い，利益を得たステップ，害を受けたステップ，コストがかかったステップの変化について検討する．

### 4. シミュレーション結果

図 6 に各条件の組み合わせにより生じたインタラクションにおける利益，害，コストが発生したステップの割合の変化を示す．なお，グラフは上段が利益を得たステップ，中段が害を受けたステップ，下段がコストが発生したステップの 20 ステップごとの割合について 10000 試行分の平均と標準誤差を表している．また，条件については左から支配，服従，互惠，忌避，留保条件である．図 6 が示す主要な結果は以下である．

- 支配条件のエージェント
  - 利益が得られる割合が大きくなる相手は服従条件と互惠条件である．
  - 害を受ける割合が大きくなる相手は支配条件と互惠条件である．
  - コストがかかる割合が小さくなる相手は服従条件である．
- 服従条件のエージェント
  - 利益が得られる割合が大きくなる相手は支配条件と互惠条件である．
  - 相手が服従，忌避，留保条件の場合に利益が得られる割合は，支配条件や互惠条件のエージェントがこれらの条件を相手にする場合に比べて小さい．

- 害を受ける割合が大きくなる相手の条件は服従条件と互惠条件である．しかし，支配条件のエージェントが害を受ける条件と比較してその割合は小さい．
- コストがかかる割合が小さくなる相手は支配条件である．

- 互惠条件のエージェント

- 利益が得られる割合が大きくなる相手は支配，服従，互惠条件である．
- コストがかかる割合が小さくなる相手は互惠条件である．

- 忌避条件のエージェント

- 害を受ける割合が大きくなる相手は支配，服従，互惠条件である．しかし，服従条件から害を受ける割合は他の 2 つの条件に比べて小さい．
- コストがかかる割合が小さくなる相手は忌避条件と留保条件である．

- 留保条件のエージェント

- コストがかかる割合が小さくなる相手は忌避条件と留保条件である．

この結果を踏まえて，シミュレーションにより得られたインタラクションのパターンは以下のように分類することができる．

- お互いに利益を得られるか，害を受けない配置に安定するインタラクション
  - お互いに利益を得られるが，少なくとも一方が害を受けるためフィールド内を動き続けるインタラクション
  - 一方のみが利益を得られ，他方が害を受け続けるためフィールド内を動き続けるインタラクション
- 各パターンについて実際に得られた仮想エージェントの運動軌道の例を図 7，図 8，図 9 に示す．なお，図中のグラフは上から，200 ステップを通した運動軌道， $x$  座標の変化， $y$  座標の変化，身体方向の変化である．

#### 4.1 考察

前節の結果から，提案モデルを内部状態とした行動の獲得について考察する．一方のコントロールと他方のアクセプタンスが正の値で一致する場合は双方が利益を得ることができる関係であり，インタラクションは安定した配置で静止するためコストを支払う必要がなくなる．これは話かけたい人と話かけられたい人

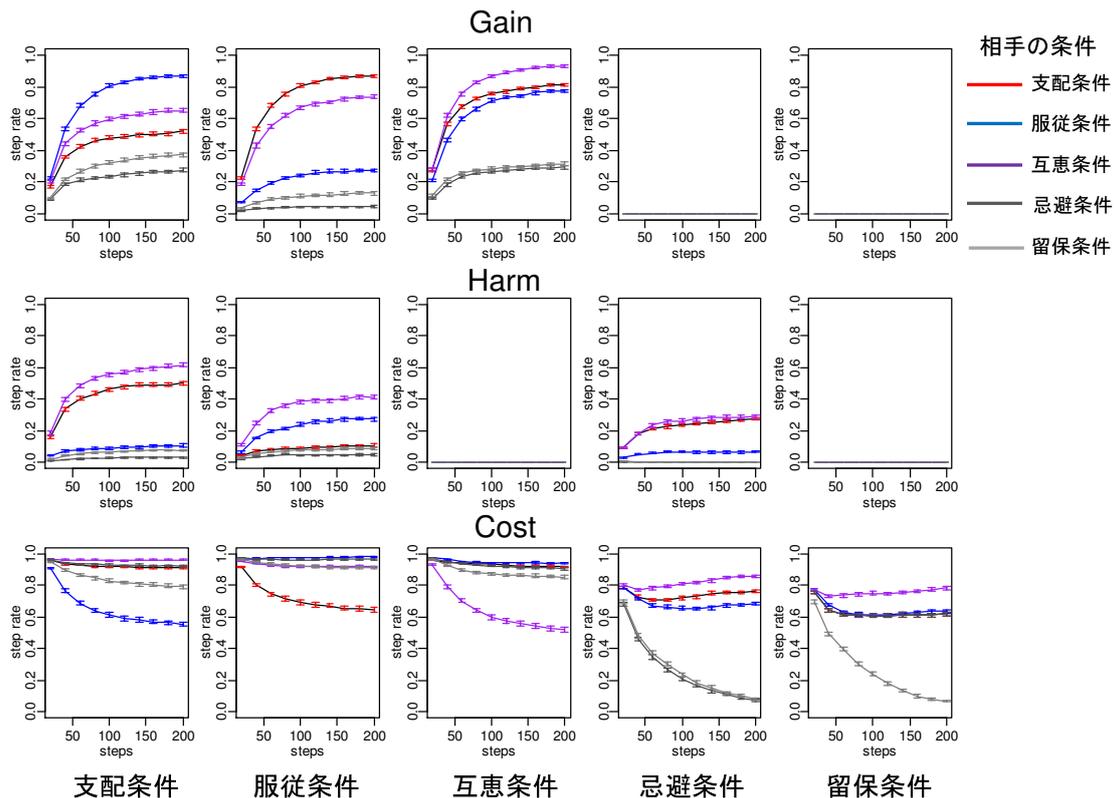


図 6 シミュレーション結果

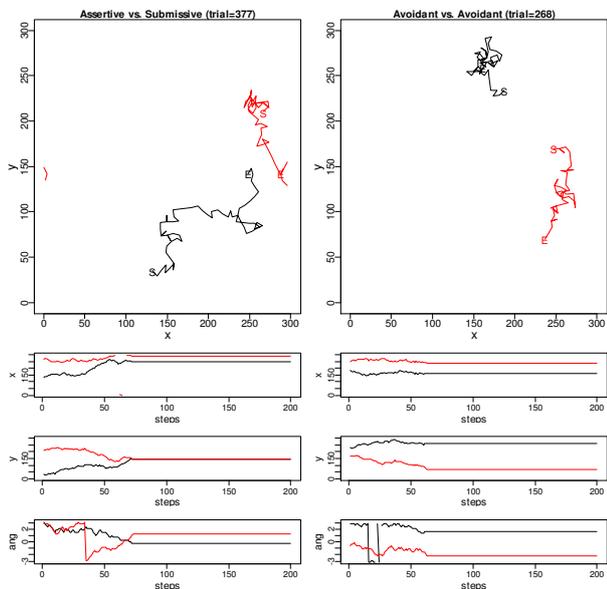


図 7 安定した位置に留まるインタラクションの例 (左: 支配-服従, 右: 忌避-忌避)

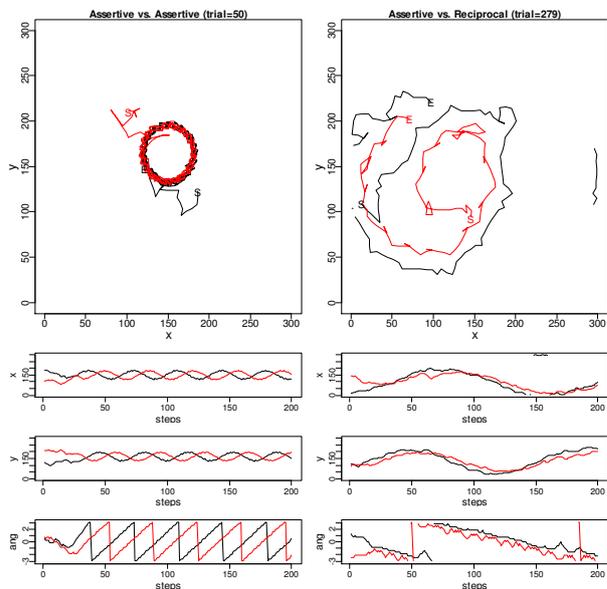


図 8 利害が競合するインタラクションの例 (左: 支配-支配, 右: 支配-互惠)

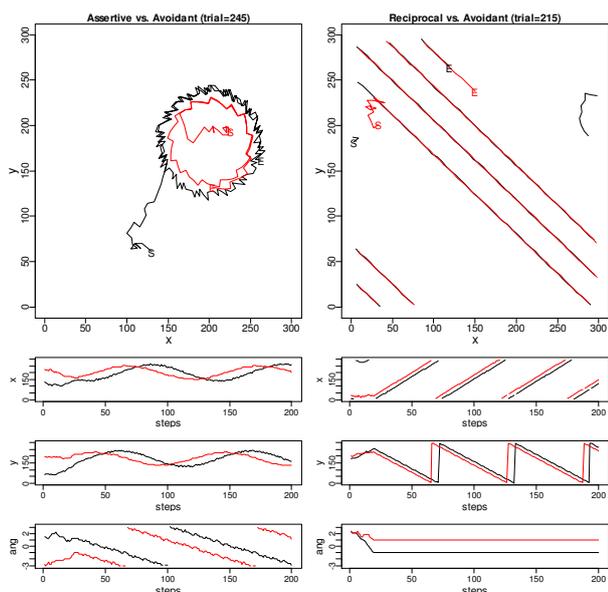


図9 エージェント間で利害が分かれるインタラクションの例（左：支配-忌避，右：互惠-忌避）

が同じ場所にいる状態であり，初期のインタラクションからスムーズに会話に移行できるような関係といえる。

一方のコントロールと他方のアクセプタンスが負の値で一致する場合は，お互いに接近せずに害を与えない配置で静止するため，双方とも利益は得られないが害を受けることもなくコストがかからない。これは，互いに相手を必要としていない状態である。会話が発生することはないがどちらも不快感を感じることがない距離の取れた関係といえる。

一方のコントロールが高く他方のアクセプタンスが低い場合，コントロールが高い方がアクセプタンスが低い方を追いかける関係となり，インタラクションが継続する。これは二者のうち一方だけが話をしたいと思っていて，話しかけたくない相手を追いかけることに相当する。実生活では相手のアクセプタンスが低いことが明らかとなった時点でコントロールが高い側が追いかけるのを止めるか，アクセプタンスが低い側が会話に嫌々ながらに感じるといった関係の調整が行われると考えられる。この自身の内部状態を変化させ関係の調整を行う過程について現段階のシミュレーションでは考慮できておらず，今後の課題である。

対象に接近するのは，コントロールとアクセプタンスの少なくとも一方が正の値を取る場合である。しかし，アクセプタンスが正の値を取る場合，相手のコントロールも正の値を取らない限り利益を得ることが困難となる。これは，アクセプタンスは相手の作業領域

に入る必要あり，相手の視野内に入らなければならず，コントロールが負の相手には避けられてしまうことに起因する。このときの内部状態は相手から話しかけてもらうことに積極的な状態であり，話しかけるために相手の視野に入るようとする人の行動と類似しているといえる。

以上のことから，提案モデルを内部状態としGAにより獲得した行動がコミュニケーションの初期段階における振る舞いと対応付けられる可能性が示された。今後，実際の人々の行動データとシミュレーション結果の類似性を分析することで，提案モデルの妥当性を定量的に検証する。また，モデルのパラメータから行動を生成できたため，行動データからモデルのパラメータを推定することが可能となる。実際の人々の行動データに対して提案モデルのパラメータの推定を適用することで，人のインタラクションを通じた内部状態の変化について分析できると考えられる。この点については先行研究のロボットを介した人-人インタラクションのデータを用いて検証を行う。

## 5. まとめ

本研究では，対人的な関係を構築するための初期段階として，対象が自身とコミュニケーション可能であるか否かを判別するプロセスを明らかにすることを目的としている。この初期段階のインタラクションは，自身の内的状態と対象の内的状態の組み合わせによりパターンが決定すると仮定し，内部状態を表現するためのモデルを提案した。提案モデルは相手を制御することに対する積極性の軸であるコントロールと相手の制御を受け入れる軸であるアクセプタンスの2軸により構成される。本研究では，2つのパラメータに応じた5つ条件について遺伝的アルゴリズムにより適応的な行動を獲得させた。そこから，それぞれの条件の適応個体の組み合わせにより生じるインタラクションの性質をシミュレーションにより検証した。結果として，2つのパラメータの値の差異により，5つの条件に適した行動を獲得できることが示唆された。今後，行動からモデルのパラメータを推定することで，実際の人々の行動データを分析し，内部状態の変化のパターンについて検討を行う。これにより，自身と相手の状態に応じてコミュニケーションを開始するか否かを自律的に判断できるような人工物の設計が期待させる。

## 謝辞

本研究は，MEXT 科研費 26118002 の援助を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Kendon, A. (1990), "Conducting Interactions: Patterns of Behavior in Focused Encounters", Cambridge University Press.
- [2] Heenan, B., Greenberg, S., Aghel-Manesh, S., and Sharlin, E. (2014). "Designing social greetings in human robot interaction", In Proceedings of the 2014 conference on Designing interactive systems, ACM, pp. 855–864.
- [3] Sakamoto, T. and Takeuchi, Y. (2017), "Initial Phase of Communication through Embodied Interaction with Simple-Shape Robot". In Proceedings of the Companion of the 2017 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. ACM, pp. 275–276.
- [4] Burgoon, J. K., and Dunbar, N. E. (2006). "Nonverbal expressions of dominance and power in human relationships", The Sage handbook of nonverbal communication, Sage.
- [5] 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.
- [6] Rogers, L. E., and Escudero, V. (2014) "Relational Communication: An Interactional Perspective To the Study of Process and Form", Taylor & Francis.
- [7] Rogers, L. E., and Richard, V. F. (2014) "Analysis of Relational Communication in Dyads: New Measurement Procedures", Human Communication Research, 1(3), pp. 222–239.
- [8] 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)
- [9] Argyle, M. and Dean, J. (1965). "Eye-contact, distance and affiliation". Sociometry, Vol.28, pp.289–304.
- [10] Burgoon, J. K., Stern, L. A., Dillman, L. (2007). "Interpersonal adaptation: Dyadic interaction patterns", Cambridge University Press.