

マコにて：「並ぶ関係」に基づくロボットとの共感的なコミュニケーションにむけて

Mako-no-te: An Approach to Side-to-Side Sympathetic Communication with Social Artifact.

山本直輝¹ 田中大希¹ 吉池佑太¹ P. Ravindra De Silva¹ 岡田美智男¹

Naoki Yamamoto¹, Daiki Tanaka¹, Yuta Yoshiike¹, P. Ravindra De Silva¹, and Michio Okada¹

¹豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

¹Laboratory for Interaction and Communication Design,
Toyohashi University of Technology

Abstract: Human communication is the basic component to establish the interaction between humans. Those communications emerge in different modes and contexts (scenarios) in our daily life; face-to-face communication, and side-to-side communication. As we know, present studies have mostly concern on the face-to-face communication in human-robot interactions. But we believe that side-to-side communication also highly potential to establish interaction and communication between human and robot. Therefore, in this study we investigate to conceptualize side-to-side communication that designing the novel robotic platform of Mako-no-te.

1. はじめに

公園を一緒に散歩するときなど、その歩調が次第に揃い、何を話さずとも相手の気持ちが伝わってくることもある。こうした場面では、お互いの身体が相互になり込みあって、自他非分離な関係を形成しながら、共感的なコミュニケーションを成立させている。ここで興味深いことは、お互いは「対峙しあう」のではなく、むしろ「並んでいる」ことだろう。これまでロボットやエージェントとのインタラクションを議論する際には、それらの関係の多くは「対峙しあう」ことを前提としてきた。「聞き手」と「話し手」との関係の中で、どのように正確で効率よいコミュニケーションを実現するのか。あるいは、ユーザーとシステムとのコマンドとそれに対する応答で結ばれた関係や、「使うもの＝使われるもの」との関係もまた「対峙しあう」ことを前提とするものだろう。

そういう意味で、一緒に並んで歩くなど、人とロボットとの「並ぶ関係でのコミュニケーション」は、未開拓の研究分野であるといえる。特に、人とロボットとの共生を目指すとき、ロボットは単に人から指示を受ける存在としてだけでなく、その傍と一緒に「並んだ関係」を想定しても面白い。

本研究では、こうした人とロボットとの「並ぶ関



図 1 「マコにて」とのインタラクション

係でのコミュニケーション (side-to-side communication)」について議論するためのプラットフォームとして、「マコにて」と呼ぶロボットを構築している (図 1)。本論文では、その研究背景、コンセプトを紹介するとともに、プロトタイプとして構築した「マコにて」の概要、「並ぶ関係でのコミュニケーション」に向けた予備的な実験の結果と考察について述べる。

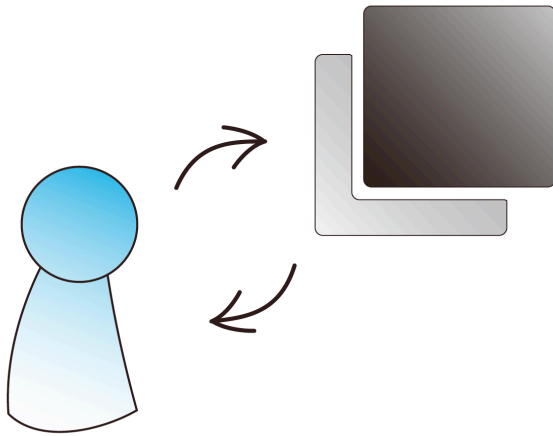


図 2 対峙し合う関係

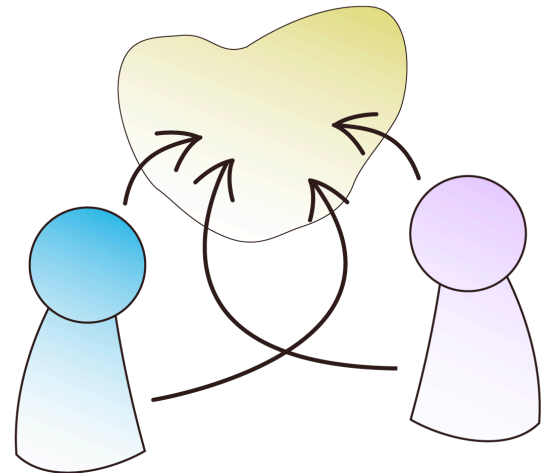


図 3 並ぶ関係

2. 研究背景

2.1 「対峙しあう関係」から「並ぶ関係」へ

携帯電話の操作，クルマの運転，そしてキーボードに向かう私たちの姿はシステムやコンピュータと対峙している(図 2).

日々の生活の中で，人と人との関係はどうだろうか。すこし注意深く見ていくと，日々の生活の中で人と人との関わりは必ずしも「対峙しあう関係」に限られない。母親と子どもと一緒に絵本を眺めるとき，家族で一緒にテレビを観るとき，知り合いと一緒に公園を歩くときなど，その関係は「対峙しあうもの」ではなく，むしろ「並ぶ関係」にある。

ロボットと私たちとの間ではどうだろう。例えば，おばあちゃんとロボットとが縁側に並んで，日が沈むのをじっと眺めている。「対峙した関係」から「並ぶ関係」へのシフトによって，コミュニケーションのモードは何かを伝達するという非対称な形態から，むしろ「相互に調整しあう」あるいは「何かを共有しあう」といった，対称で対等な形態に移行する。このとき，私たちは互いの気持ちを自分の身体の類似的な経験を基に，他者の身体が感じ取っているものを推測し合うような，相互の「なり込み」に基づいた共感的なコミュニケーションをしているといえる(図 3)。

2.2 手をつないで並んで一緒に歩く

人と人が手をつないで並んで一緒に歩いていると，いつの間にか自然に歩調があってくる。つないだ手に伝わる僅かな感覚から相手の気持ちが伝わってくる。そして自分の気持ちも相手に伝わって

るように思えてくる。お互いの身体が相互になり込み合って一つに融合していくような事態が見られる。

「並ぶ関係」は，二者の間で共通な物・事象がある関係（三項関係）において，身体を基盤とした相互の「なり込み」により両者の共感的な状態が形成されていると考えられる。発達心理学においては，幼児と養育者との間における三項関係の成立が，原初的コミュニケーションの基底にあるといわれている[1]。特に，「並ぶ関係」でのコミュニケーションの成立は「相互主体性」「間身体性」(intersubjectivity)の観点からも興味深い。

2.3 間身体的な関係としての

パーソナルスペースの発現

E. Hall は，人は人との距離に関する意識を持っており，密接距離(~0.45m)，个体距離(0.45m~1.20m)，社会距離(1.20m~3.60m)，公衆距離(3.60m~)の4つのゾーン（パーソナルスペース）に大別し，相手との親密さによってそのゾーンが変化することを指摘している[2]。本研究では，人と人，人とロボットとのパーソナルスペースを間身体的な関係の現れ，相互適応の結果として捉えることで，二者が一体となった様相の評価に用いることとした。

手をつないで並んで一緒に歩いている場面でのパーソナルスペースの変化に繋がる要素として，歩く速度や方向の変化が考えられる。本研究では，相手の思考や身体的な要素のすべてに対して「なり込み」を考えるのではなく，その一部の要素だけで十分に「並ぶ関係」でのコミュニケーションを議論できる。ここでは原初的な領域で「相互のなり込み」の可能性について考える。

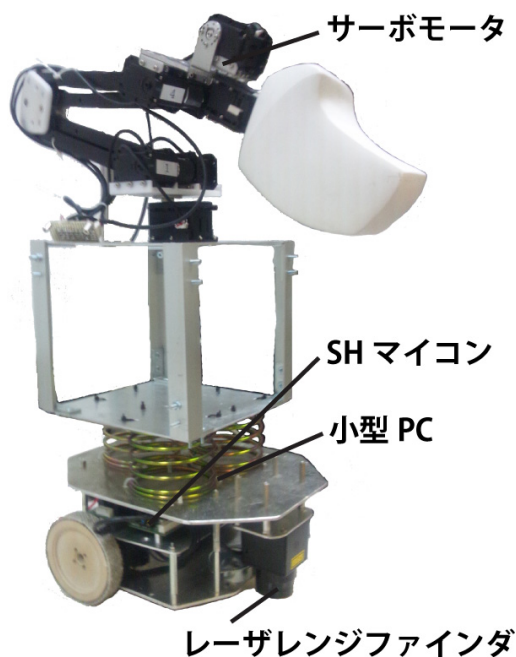


図 4 「マコのて」内部機構

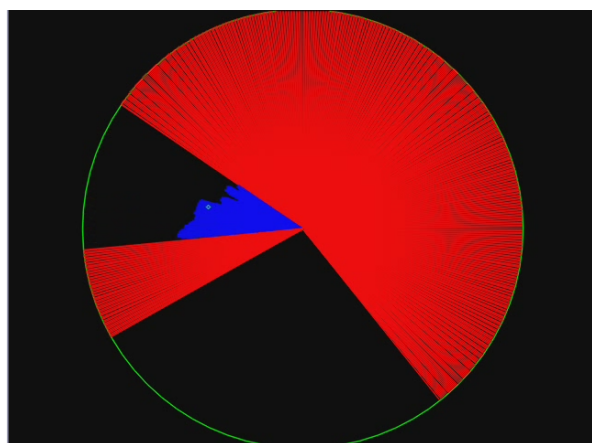


図 5 人の位置検出

3. 「マコのて」

3.1 手をつないで並んで歩くロボット

「並ぶ関係」での人とロボットとのコミュニケーションの可能性を議論する為のプラットフォームとして、本研究では「マコのて」を構築した。「マコのて」は手をつないで並んで一緒に歩くだけのロボットであり、ナビゲーションのような機能は備えていない、さらに自分の行きたい方向を発話することもない。しかし、「あっちへ行きたい」「いや、こっち」と手を引きながら、原初的なコミュニケーションを利用して、人の行為を調整することを相互適応の枠組で行っている。

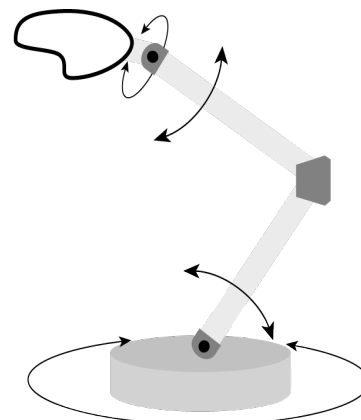


図 6 アーム機構

3.2 デザインコンセプト

ロボットとの社会的なインタラクションをデザインするためのひとつの指針として、「ミニマルデザイン」と呼ばれる考え方がある[3]。このミニマルデザインの狙いは、外見や機能的な制約があることを前提とした上で、周囲の状況や文脈の変化による人の意味付け行為を利用し、人からの積極的な関わり（対人的な行動）を引き出すことである。「ミニマルデザイン」に依拠し、「マコのて」は人からの積極的な関わりを引き出すことを狙う。

3.3 システムの概要

「マコのて」の身体は、直径およそ 300mm の半球であり、並んで歩いても違和感のない大きさで設計した。また、手をつなぐ為に腕を伸ばしたときの高さはおよそ 650mm となっており、大人と子どもが手をつなぐような、馴染みやすい大きさとなっている。

システムは、小型 PC (fitPC2) を中心に構成され、モータの制御やセンサからのデータを取得するためのマイコン (SH2)、サーボモータ、レーザレンジファインダなど、最小限の要素からなる。「マコのて」は下部に組み込まれたレーザレンジファインダの水平スキャンを用いて周囲の状況を把握する(図 4)。

E. Hall のいう個体距離 (0.45m~1.20m) に基づき、「マコのて」から個体距離内にいる、手をつないで一緒に並んで歩いている人の位置を検出している。人の位置検出の様子を図 5 に示す。

また、「マコのて」は図 6 に示すアーム機構を持ち、アームに使用されている各サーボモータから、モータの回転角、速度変化やトルクの変化を検出している。

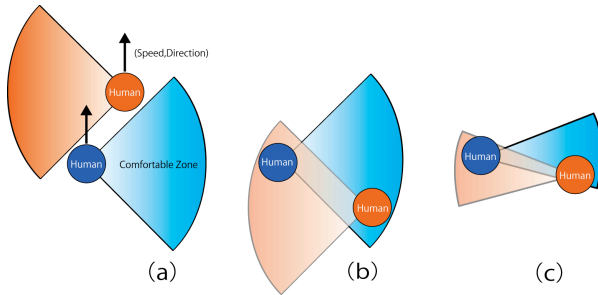


図 7 二者間での Comfortable Zone の適応過程

4. 「マコにて」における相互適応の枠組み

私たちは、誰かと手をつないで並んで一緒に歩いているとき、その歩き方は一様ではない。一緒に歩く相手や場面が変われば、歩き方は変わり、その時々で、お互いに歩き方を調整している。

例えば、大人が小さな子どもと一緒に歩くとき、大人は子どもより少し前に出て、子どもをリードするように歩くだらう。また恋人同士であれば、お互いに横の位置になるように調整し、お互いの距離も近くなるように歩くだらう。誰かと一緒に歩く際には「相手にいてほしい領域」を互いに探り合っているといえる。

ここで、一緒に歩くときに相手がいて欲しい最適な領域を Comfortable Zone と呼ぶことにする。すると、互いに自身の Comfortable Zone を相手に合わせて変化させ、適合させていると考えることができる。

もし、ロボットがこの適応メカニズムを備えたとしたら、人と二者一体となって互いに探り合う事態に相当するだろう。すなわち、本論文の冒頭で述べたような間身間的な関係を構築することが出来るだろう。また、手から伝わる力の具合は、互いの意図を伝え、両者の気持ちがより鮮明に見え隠れするだろう。

二者間において互いの Comfortable Zone を適応していく過程は、図 7 のようなものだと考えられる。最初の状態では、両者の Comfortable Zone は広く設定されており、互いに自身の Comfortable Zone に入るよう振る舞いを調整する (図 7 - a)。ここでの調整とは、移動速度と移動方向などである。相手が Comfortable Zone に居続けている場合 (図 7 - b)、その領域は、両者の Comfortable Zone が重なる領域である可能性が高い。この時、Comfortable Zone を狭める (図 7 - c)。そうすることで、両者にとって固有の領域を、相互に適応しながら特定していく。

ここでは、この適応過程を人と「マコにて」において実現するためのアルゴリズムとして、強化学習の 1 つである Actor-Critic 手法を採用する [4]。

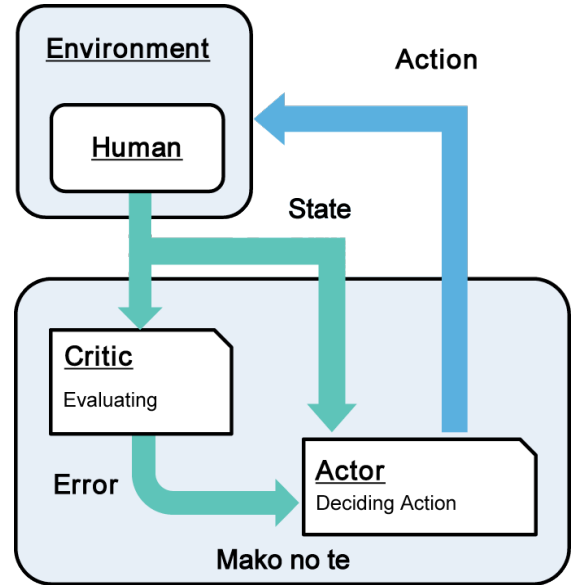


図 8 相互適応モデル

Actor-Critic 手法は、方策を決定する Actor (行動器) と行動に対する評価を行う Critic (評価器) からなる (図 7)。Actor は次に選択すべき、「マコにて」の振る舞い (Action) を行動決定関数により決定する。Critic は、Actor が行動を行なった Action と現在の Comfortable Zone の状態 (State) に基づき、報酬 r を得て、TD 誤差を計算し、行動決定関数および価値関数 $V(s)$ を更新する。このとき、適応に利用する報酬系の 1 つに、アームのセンシングデータを利用する。アームのセンシングデータが大きく変化した場合負の報酬、そうでない場合は正の報酬を与える。

4. Comfortable Zone の調査実験

4.1 目的

本調査の目的は、相互適応モデルの構築にむけて、(1)「マコにて」に対して人は Comfortable Zone を持つかどうか、(2)もし見られるとすれば、それはどのような範囲内にあるのかを調査することである。そして、その結果を相互適応モデルに反映させる。

4.2 方法

もし、人と「マコにて」として固有の Comfortable Zone があるとすれば、互いの距離に変化が生じていても、人はある一定の範囲内に留まろうとするだろう。逆に、人が「マコにて」に対して、Comfortable Zone を持たないとすると、「マコにて」の移動速度に変化したとき、互いの距離に変化が生じるだろう。

このような仮説に基づき、本実験では下記のような条件を設定し、被験者の位置座標の変化を分析することとした。

- ・「マコにて」は直進方向にのみ移動する
- ・速度は、Normal, Quick, Slow の 3 状態を用意し、1 回の試行において、Normal→Quick→Normal→Slow→Normal→Quick→…の順の状態遷移を 3 秒ごとに計 15 回行なう
- ・被験者は 21 歳から 24 歳の男子 3 名である
- ・各被験者は、4 回の試行を行う

4.2 結果

本実験により得られた「マコにて」に対する人の位置座標のデータを、3つの観点からまとめた。

図 9 にある試行での被験者の時間経過ごとの位置を示す。横軸に時間(s)をとり、残り 2 軸は「マコにて」を原点とした被験者の位置座標 (mm) を表している。図 9 から被験者の位置は時間経過に対してある一定の範囲で変化していることがよみとれる。

図 10 に 3 段階の速度に対して被験者がとった平均位置を示す。図 10 から被験者の位置は速度状態によってクラスタリングされないことがよみとれる。

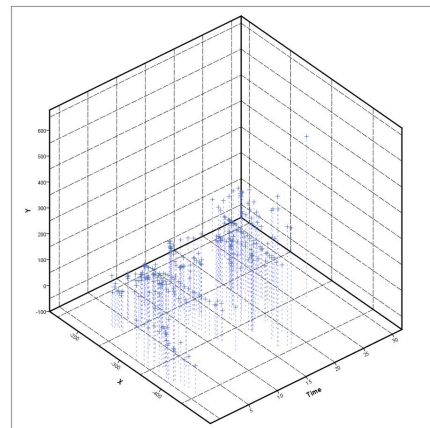
図 11 (a-c) に被験者ごとの「マコにて」との距離の分布を示す。また、図 11 (d)にすべての被験者の距離の分布をまとめたものを示す。図 11 (a-c) から被験者ごとに「マコにて」との距離の取り方の分布が異なっていることがよみとれる。

4.3 考察

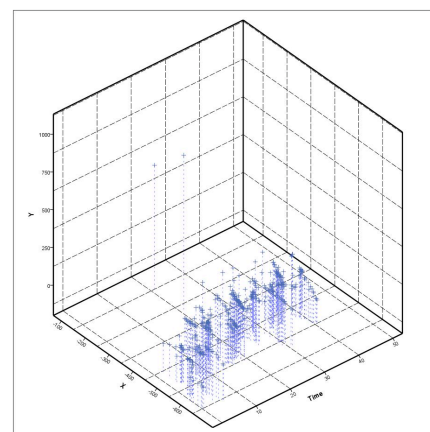
図 10 より、被験者のいる位置は「マコにて」の移動速度によって変わるものではないようであると考えられる。これは、被験者はどのような速度であっても「マコにて」に対して、ある一定の範囲内にいようとするためではないかと考えられる。図 9 と図 11 から被験者ごとに、この範囲が違うようであることがわかる。これは、「マコにて」と被験者にとって固有の Comfortable Zone であるといえることができる。以上から、前章で述べたような相互適応のための学習モデルの構築が可能であると考えられる。今回の調査実験から、学習モデル構築において以下の点が明らかになった。

- ・被験者の距離分布の平均を「マコにて」の初期の Comfortable Zone として利用できる。
- ・被験者ごとの領域の誤差は、行動選択確率を変化させるパラメータの設定に参考となる。

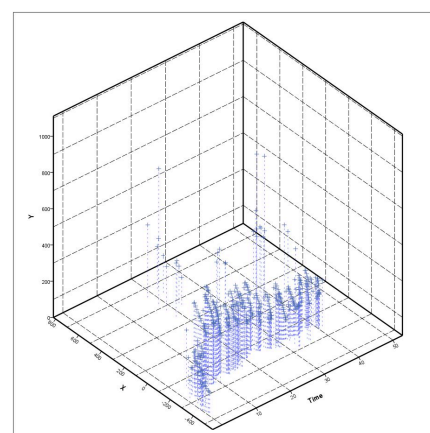
また、実験中に被験者がアームを引っ張って「マコにて」の振り舞いを調整しようとしていたことから、報酬系の一つとして利用できることが示唆される。



(a) 被験者 A 1回目の試行



(b) 被験者 B 4回目の試行



(a) 被験者 C 3回目の試行

図 9 ある試行で被験者が時間経過ごとの「マコにて」からの位置座標

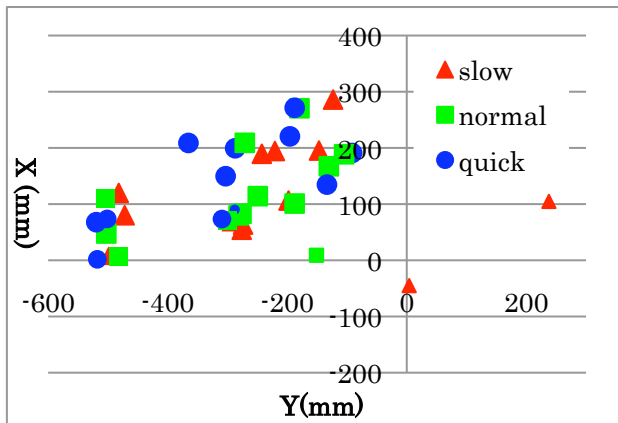


図 10 3 段階の速度に対する被験者の平均位置座標 (12 試行)

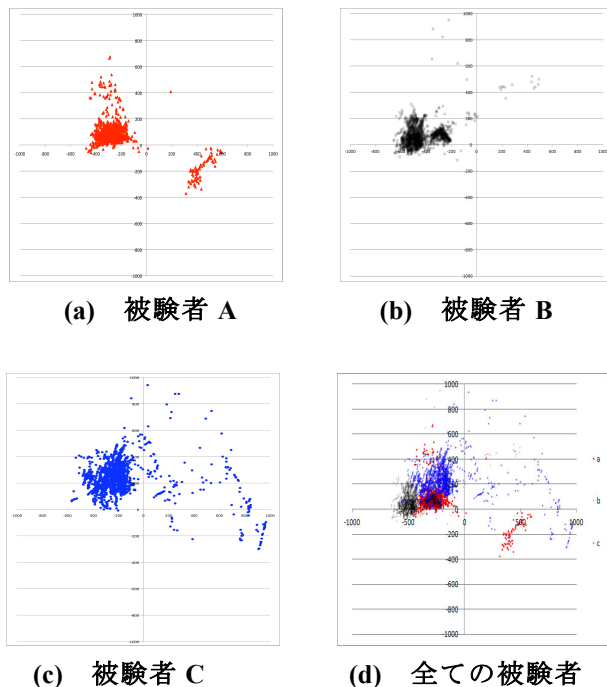


図 11 ある試行で被験者が時間経過ごとにとった「マコにて」からの位置座標

5. まとめ・今後の展開

本研究では、人とロボットとの「並ぶ関係」でのコミュニケーションについて議論をするためのプラットフォームとして、手をつないで一緒に並んで歩くだけのロボット「マコにて」を構築している。人と「マコにて」が互いになり込み、二者が一体となった様相を評価するものとして、間身体的な関係の現れとしてのパーソナルスペースを用いた。

相手の思考や身体的な要素のすべてに対して「なり込み」を考えるのではなく、その一部の要素だけ

で十分に「並ぶ関係」でのコミュニケーションを議論できると考え、ここでは原初的な領域で「相互のなり込み」の可能性について考え、それを相互適応の枠組みで捉えた。

本研究では、私たちは誰かと一緒に歩くと、相手にいて欲しい最適な領域 (Comfortable Zone) を互いに合わせて変化させ、適合させていると考えた。この適応メカニズムを Actor-Critic 手法を用いて「マコにて」において実現を目指し、人の「マコにて」に対する Comfortable Zone の調査を行い、学習モデル構築においての有用性を確認した。

今後は、今回の調査で明らかにした。人が「マコにて」の振る舞いを意識し、調整する範囲 (Comfortable Zone) を「マコにて」からの適応学習アルゴリズム (Actor-Critic 手法) に実装をおこなっていく。

謝辞

本研究の一部は、科研費補助金 (基盤研究 (B) 21300083) の助成による。

参考文献

- [1] 鯨岡峻:『原初的コミュニケーションの諸相』, ミネルヴァ書房 (1997).
- [2] Edward T. Hall The Hidden Dimension(日高敏隆, 佐藤信行訳)
- [3] N. Matsumoto, H. Fujii, M. Goan and M. Okada: Minimal Design Strategy for Embodied Communication Agents, in In Proceedings of the 14th IEEE International Workshops on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN' 05), pp. 335-340 (2005)
- [4] Richard S. Sutton, Andrew G. Barto (三上貞芳, 皆川雅章訳):『強化学習』; 森北出版 (2003)