

# 子供と遊ぶロボット： 他者の状態推定に基づく行動決定モデルの適用

## Robots that play with a child : application of an action decision model based on a state estimation of others

阿部香澄<sup>1\*</sup> 岩崎安希子<sup>1</sup> 中村友昭<sup>1</sup> 長井隆行<sup>1</sup>  
横山絢美<sup>2</sup> 下斗米貴之<sup>2</sup> 岡田浩之<sup>2</sup> 大森隆司<sup>2</sup>

Abe Kasumi<sup>1</sup> Akiko Iwasaki<sup>1</sup> Tomoaki Nakamura<sup>1</sup> Takayuki Nagai<sup>1</sup>  
Ayami Yokoyama<sup>2</sup> Takayuki Shimotomai<sup>2</sup> Hiroyuki Okada<sup>2</sup> Takashi Omori<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学

<sup>1</sup> The University of Electro-Communications

<sup>2</sup> 玉川大学

<sup>2</sup> Tamagawa University

**Abstract:** We propose a model of an action decision based on a state estimation of others. A playmate robot system is realized based on the proposed model so that the robot can play with a child for as long as possible. Our proposed playmate system is implemented as a functionality of the domestic service robot with a high degree-of-freedom. The robot can estimate the child's mental state and select an appropriate action in the course of play to sustain the player's interest in the robot. We carried out experiments in which a child play with the implemented robot, and evaluated the proposed model.

## 1 はじめに

Human-Agent Interaction(HAI)の研究の一つの事例として、子供や高齢者を相手としたロボットの研究が盛んに行われている。その機能は介護ロボットの身体的サポートからペットロボットのような精神的な支援まで幅広くあり、子供と一緒に遊ぶロボットもその一つである。

子供の遊び相手ロボットへの要請の一つは、子供の興味を引き付け、長く遊び続けられることである。これまで、ロボットはこの要請にはうまく応えてきていない。問題は、他者の心的状態に対する理解である。人間の大人は子供の遊び相手をするとき、楽しんでいる・飽きているといった子供の心の状態を自然と観察している。そして外に現れた子供の振る舞いと推定した心の状態にもとづいて行動を探索し、最も効果の高いと思われる行動を選択することで、遊びの継続を実現していると考えられる。飽きやすい子供との遊びの継続のような戦略的なHAIの実現には、ロボットが相手の

意図や心的状態を推定し、他者の目的・特性に合わせて自己の行動を変えるような、他者の心理モデルを適切に運用する機能が必要になると我々は考える。

このような目的ではこれまで、田中ら [1] や神田ら [2] が子供とロボットが長期的にやりとりを続ける試みを行っているが、子供の心的状態を推し量るような仕組みは考えていない。また、Castellanoらはロボットと子供とのチェス遊びを通して子供の没頭具合を測っているが [3]、その測定結果や子供についての知識を用いてロボットの行動を選択することは検討していない。HAI研究としても、他者の心的状態の推定と他者モデルの適用による現実的行動決定は、HAIの最も基本的かつ本質的課題でありながら依然未解決の問題であろう。

このような背景の中で本研究では、他者モデルに基づく相手の状態推定と行動決定の利用によって、子供とより長い時間遊び続けられる遊び相手ロボットのモデル構築・実装・評価を行ったので報告する。2章では、他者モデルを参照しながら行動探索・決定をしていくという行動決定の概念を考える。そして3章以降では、保育士と子供の遊び観察に基づいてロボットに実装可能な行動決定モデルを検討し、実際に行ったロボットと子供との遊び実験と評価について報告する。

\*連絡先:

電気通信大学大学院 情報理工学専攻 知能機械工学専攻  
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1  
E-mail: k.ishii@apple.ee.uec.ac.jp

## 2 他者の意図推定に基づく行動決定

### 2.1 他者の意図推定と行動決定の定義

我々が他者とやりとりをする際、他者の意図推定とそれに基づく行動選択を行っていることは明らかである。他者の意図を推定する方法を考えるにあたり、本稿では、特定の行動にはその裏に何か達成したい意図または目標があると考え、その目標の達成のため我々は、各瞬間に自分の取りうる行動の効果を他者についての知識とその瞬間の他者の状態に基づき予測し、自分の行動を決定すると考える。しかし、我々は他者の意図を直接観測する事は出来ず、ただ他者の置かれている状況とその振る舞いが観測できるのみである。

そこで本研究では、我々は他者意図の推定にあたり、他者の行動と状況を観察し、自己を他者の状況に置いたときに自分であればこのように考えてこう行動する、というように他者の意図を推定すると考える [5]。その過程は、他者意図の推定の深さから以下のように定式化されている。

我々が日常生活で行なう行動決定の戦略には、自己が推定した他者意図に合わせて行動を決める受動的な行動決定と、他者に自己の意図を推定させて、自分にとって望ましい意図や行動を能動的に誘導する方策があると考えられる。

受動的戦略の典型的な処理は、他者の行動から自己がその意図を推定し、それに合わせて自己行動を決定するというものである。我々はこの行動決定過程を「レベル1の戦略」と呼ぶ。ここでレベルとは、他者の意図を推定する深さを表している。他に「自分は他者からどう推定されているか」というように、他者の自分に関わる推定まで一段深く推定する「レベル2の戦略」もある。

一方の能動的戦略は、自己の意図を明示的に他者に見せて他者の意図に影響を与え、結果的に他者の意図を誘導しようとする。この戦略には相手意図の推定が含まれず、我々はこれを「レベル0\*の戦略」と呼ぶ。また、受動的でも能動的でもない処理として、他者の意図推定は行なわず、ただ自己の目標に向かって突き進む戦略もある。我々はこれを「レベル0の戦略」と呼ぶ。

意図推定など相手の内的状態についての判断や予測を伴うレベル0\*以上の戦略では、相手についての知識、すなわち相手のモデルが必須となる。我々は、状況に応じて他者モデルを適切に運用することが、心的な相互作用を含む HAI の基本的な枠組みになると考える。

### 2.2 遊び相手ロボットの行動戦略

我々が想定する、遊び場面における子供・ロボット・遊びの関係を図1に示す。図1(a)では、ロボットも子供もレベル0、すなわち、相手のことは考えず、自分が

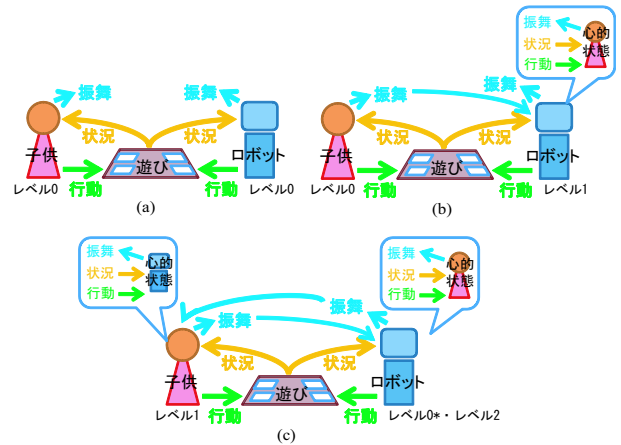


図1: 子供とロボットの行動戦略, (a) 子供もロボットもレベル0, (b) 子供のレベル0, ロボットのレベル1, (c) 子供のレベル1, ロボットのレベル0\*または2

勝つこと・目標を達成することを目指して、遊びの状況だけを見て行動を選択している。この状態は、遊びロボットとしては望ましいものではない。遊び相手として相手を楽しませようとする場合、ロボットは図1(b)のように子供の様子を観察し、遊びの状況と子供の振る舞いからその意図(心的状態)を推測し、さらに自身のとりうる行動の効果を予測して、最も効果的な行動を決定するのが妥当な戦略であろう。これは、レベル1の行動戦略であり、遊び場面の多くの時間はこの状況が続くと考えられる。

しかし、それ以外の状況もある。例えば、子供は大人に褒められることで、楽しくなったり、さらに遊びを続けようという気になったりする。褒めるという行為は、大人が自分の意図を明示的に子供に見せ、子供の意図を誘導しようとする、レベル0\*の戦略の一つと考えられる。また時に、子供がレベル1の戦略をもってロボットの意図を推定する状況も発生すると考えられる。そのとき、ロボットはレベル0\*、あるいはレベル2の戦略をとる必要がある(図1(c))。

このようにロボットと子供の遊びには、他者意図に基づく行動決定について複数のパターンが発生すると考えられる。その場合、課題はどのタイミングでどの戦略をとるか、さらに具体的にどのような子供モデルをどのように運用するのか、ということになる。次章では、ロボットに子供との遊びを実装するための行動決定モデルについて述べる。

## 3 実装のための行動決定モデル

### 3.1 遊びの観察

子供と長く遊び続ける行動決定モデルを考えるには、子供の心的状態を推定するために観測されるべき振る舞いや選択されるべき行動を決める必要がある。そこ



図 2: 子供と保育士との遊び観察

で、保育の専門家である保育士と子供が遊ぶ様子を観察する実験を行った。

保育士に子供を飽きさせないよう一定時間遊んでもらい、その様子を映像に記録した。子供は男児と女児の2名で、観察を行う部屋には1人ずつ入室し、保育士と1対1で30分間遊んだ。遊びは、絵本の読み聞かせ、トランプの神経衰弱、積み木などから適宜保育士が選択した。図2に実験の様子を示す。

観察後に、記録した映像を見ながら保育士にインタビューを行い、子供の何をどのタイミングで見たかなど、各場面における行動戦略について聞いた。

### 3.2 遊びにおける子供の状態のモデル化

保育士へのインタビューと子供の様子の変化の観察から、子供が遊んでいる場面を図3のようにモデル化した。「緊張」「慣れ」「楽しい」などは、遊び中の子供の内部状態の変化である。各状態からの出力は、その状態にあるときに子供に見られた特徴的な振る舞いで、入力はその状態において保育士がとった行動である。子供の状態は、基本的には時間と共に自然に移り変わるものと考えられるが、保育士の行動はその時間変化を短縮あるいは延長させる行為と考えられる。

基本的に、子供の行動はレベル0に基づくものであり、対する保育士はレベル1の戦略で子供に対応していたと考えられる。しかし、トランプをめくり終えた直後の、保育士が子供を褒め、子供がそれを受けて喜ぶような場面では、両者の関係は図1(c)のように、子供がレベル1で保育士がレベル0\*であったと考えられる。このように子供が受動的な場面では、子供の行動がレベル1になり、保育士がレベル0\*の戦略で対応していたと考えられる。これに対応してロボットとの遊びでも、子供のレベルは状況に応じて0から1に変化すると考えられ、ロボットもそれに依ってレベル1からレベル0\*に戦略を切り替える必要がある。

また、子供が飽きているときには、トランプをめくる前に子供を焦らし、子供が集中しているときには、それを妨げないよう変化を起こす行動を避けるなど、保育士は子供の遊びへの集中具合に応じた行動選択を行っていたと考えられる。また、子供がトランプをめくったあと、保育士は主に「残念！」などと反応を返すが、

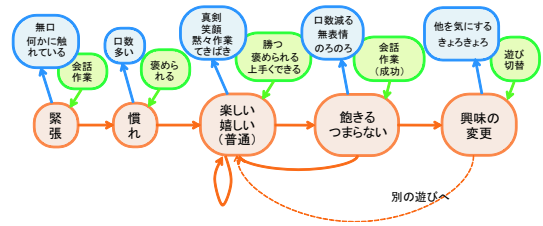


図 3: 遊びにおける子供の状態変化と保育士の行動戦略

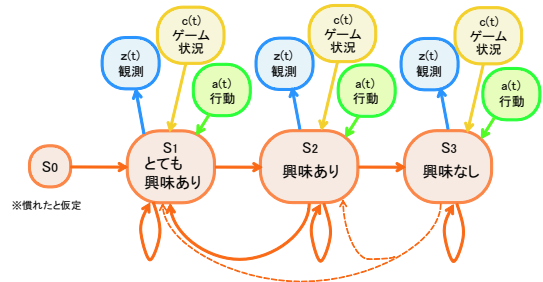


図 4: ロボットに実装した子供の内部状態遷移モデル

何も言わずにすぐに次の遊び行動を続行することもあり、同じ行動の繰り返しを避けるよう行動していたと推測される。

### 3.3 実装のための子供の内部状態遷移モデル

図3のモデルをロボットに実装可能な形に単純化し、図4に示す子供の内部状態遷移モデルを構築した。ロボットはこのモデルを用いて子供の内的状態を推定し、遊びを長続きさせる行動を選択する。

図4の $S_0 \sim S_3$ は子供の内部状態であり、図3での「楽しい」などの状態と対応する。初期の緊張から慣れへの遷移は、遊びの最初にだけ起こり、十分慣れた状態を初期状態 $S_0$ とすれば、子供の状態は $S_1, S_2, S_3$ の3状態間を遷移する。楽しんでいる状態は子供がロボットや遊びに興味がある状態、飽きてしまった状態は興味がない状態に対応する。そこで、子供の内部状態に対応する興味度を定義する。

図4における観測 $z(t)$ は、子供の状態推定を行うための観測指標である。各状態での観測指標の出力確率に基づき、 $S_1 \sim S_3$ の状態を決定する。詳細は後述する。

ゲーム状況 $c(t)$ は、遊びの種類・ターン・成功失敗といった遊びの状況を表す。ロボットの行動決定はゲーム状況に依存するため、行動選択時に参照される。

行動 $a(t)$ はロボットの行動で、保育士の戦略に対応する。行動の種類は、(1)わざと間違える：レベル1、(2)相手への反応：レベル0\*、(3)ロボット自身の反応：レベル0\*、(4)じらす：レベル1、(5)変速：レベル1、(6)何もしない(ゲーム行動を続行)：レベル1、(7)遊びを切り替える：レベル1、(8)同じ遊びをする：レベル1、の8つとする。(2)および(3)は「相手に働きか

ける行動」で、褒める行為などを含んだレベル0\*の行動群である．それ以外の行動は「遊びに影響を与える行動」で、レベル1である．相手のターンでトランプはめくれないように、ゲーム状況によってとり得る行動が変わるため、状況  $c(t)$  に応じてとれる行動のセットを事前に決めておき、その中から1つを選択することとする．子供の内部状態遷移モデルにより、ロボットがとる行動に応じて変わる次の時刻の子供の内部状態が予測できる．これを規範として、子供の興味を持続させる、すなわち子供の状態を  $S_1$  か  $S_2$  に留めるよう行動を選択する．

ある行動は、相手を飽きさせないための効力が実行される度に減少し、時間経過でまた効力が戻ると考える．ここでは効力の変化を、各状態の遷移確率の変化で表現する．例えば、子供の  $S_2$  状態で行動  $a_0(t)$  を実行する場合、現在の状態から良い状態 ( $S_1$ ) または同じ状態 ( $S_2$ ) に遷移する確率  $p(S_1|S_2, a_0, c)$  と  $p(S_2|S_2, a_0, c)$  は一定の値で減少し、現状態より悪くなる  $S_3$  への遷移確率  $p(S_3|S_2, a_0, c)$  は増加する．そして、この確率変化は時間経過と共に線形に回復するとした．

ロボットの戦略は、3.2節で述べたように、子供の戦略レベルに合わせて切り替える必要がある．子供のレベルが0のときは、ロボットの行動戦略はレベル1で、子供のレベルが1の場合は、ロボットはレベル0\*の行動をとる．ロボットの行動セットは、子供が遊びの状況に応じてレベル1になることを考慮して設計した．さらに、ロボットの戦略で重要なのは、同じような行動を繰り返さないようにしつつ、子供の集中具合に応じて有効な行動を選択することである．提案するモデルでは、行動の繰り返しを避けることが行動の効力の変化を反映した状態遷移確率の操作で実現されており、集中具合に応じた行動選択は、各行動に対する状態遷移確率の違いによって実現されている．

### 3.4 内部状態「興味度」の推定

子供の内部状態を推定するための行動指標には、視線、笑顔度、動き、凝視度の4つの特徴量を用いた．この指標は、保育士と子供の遊び観察実験 [5] とロボットと子供との遊び予備実験 [4] の観察に基づいている． $S_1 \sim S_3$  の各状態で各指標が発生する出力確率を計算し、それらを掛け合わせた尤度が最も高い状態をそのときの内部状態とした．例えば、視線  $d_0$ 、笑顔  $s_0$ 、動き  $m_0$ 、凝視度  $g_0$  が得られたとき、 $S_1$  である尤度は  $p(d_0|S_1) \times p(s_0|S_1) \times p(m_0|S_1) \times p(g_0|S_1)$  である．

視線は、一定時間内に子供の顔がロボットまたは遊びの対象領域に向いている程度であり、顔の向きを追跡することで算出した．表情は、笑顔の尤度から計算した笑顔度を用いた．図5に顔の追跡と笑顔度の検出例を示す．動きには、顔の中心座標の移動距離を目の幅で正規化した値を用いる．凝視度は、領域内を真顔

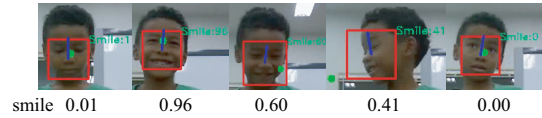


図5: 顔のトラッキングと笑顔度の検出例



図6: 実験風景、左はカードゲーム、右はじゃんけん

で動かずじっと見ているとき高くなる値で、視線と笑顔度の逆数と動きの逆数より求める．指標の出力確率  $p(z(t)|S_n(t))$  は、予備実験のデータを基に正規分布で近似した．

## 4 内部状態遷移モデルの検証

### 4.1 遊び相手ロボット

遊び相手ロボットは、家庭用サービスロボット”DiG-ORO”を用いて実現した．子供は、3歳くらいまでは一人遊びが基本であり、4~5歳で「心の理論」を習得するにつれて他人と一緒に遊ぶようになる．そこで、遊び相手ロボットの対象年齢は、4歳以上を想定した．ロボットには、一部未完成のものも含め、対話、カードゲーム、お絵描き、じゃんけん、絵本の読み聞かせの機能が実装されており、今回の実験では、カードゲーム（神経衰弱）とじゃんけんを使用した（図6）．

### 4.2 実験方法

実験では、子供はロボットの前に座り、ロボットと遊んだ．実験協力者の子供は4~6歳の6名（男3、女3）であった．3名に対してはロボットの行動選択に内部状態推定モデルを適用して遊び、残りの3名はモデルを適用せず各瞬間の状況  $c(t)$  に適用可能な行動セットからランダムに選択するという条件で遊んだ．この2条件での子供の振る舞いの観察と、提案モデルの有効性の検証が目的である．

実験は、子供が入室してから、慣らし（5分）、遊び（~25分）、退室という流れで行い、実験時間は一人あたり最長30分とした．慣らしでは、遠隔操作によるロボットとの会話と顔の登録のための遊びを行った．実験中は、おもちゃを使うトランプの神経衰弱と、身体を使うじゃんけんを、状況に応じて切り替えた．対話中など、テーブルや手先を見る必要のない時は、ロボットは顔追跡でアイコンタクトを行った．行動選択はロボットが行動指標に基づいて自律的に行い、その

行動の実行タイミング決定と対話の部分についてはオペレータが遠隔操作した。

### 4.3 幼稚園教員による子供の状態の評価

実験中の子供の様子を正面から撮った映像を見ながら、幼稚園の教員3名に子供の心的状態を評価してもらった。教員は全員、色々な子供の保育経験があり、協力者の子供についても事前から知っていた。子供の状態は、子供がロボットまたは遊びに興味を持っている程度（興味度）として、「興味がない」、「やや興味がない」、「普通」、「やや興味がある」、「興味がある」の5段階で、映像を見ながら連続的に評価してもらった。また、各子供の評価直後に、その子供についてのアンケートに回答してもらった。アンケートは、ロボットや実験に関する質問と被験者の性格に関する質問が23項目あり、SD法による5段階評価とした。

## 5 実験結果

6名の子供のうち、4名（モデル適用2名、ランダム2名）は実験時間いっぱいまで遊び、2名（モデル適用1名、ランダム1名）は子供が途中で遊びの続行を拒んだため中断した。遊びを続行できなかった理由は、1名は自分が座っている椅子の高さとロボットを怖がっていたことが挙げられる。もう1名は、幼稚園教員によると、初対面の人に対し相手がどう出るか、どういふ人かを試すタイプであり、ロボットにも相手を試す行動（机を揺らす、自分の怪我を見せるなど）をとった。こうした想定外の行為にロボットが対応できず、この子には遊び自体が成立しなかった。

### 5.1 観測指標に基づく状態推定

教員3名の評価を5秒毎に平均し、それを子供の状態評価の基準値（基準興味度）とした。5段階の基準値を均等に3分割して3段階評価に変換し、観測指標に基づく推定興味度と比較した。全時間のうち基準興味度と推定興味度の値が同じ割合は、全被験者の平均で約4割であった。3状態での一致度のチャンスレベルは33%であり、高い値とは言えない。

基準興味度で  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  状態と分類されたそれぞれの映像部分の笑顔度や顔向きなどを見ると、 $S_1$  と  $S_2$  では分布に大きな差が見られなかった。すなわち、モデルで考えた3状態のうち  $S_1$  と  $S_2$  は実際の観測値の差異が小さく、今回使用した特徴量だけでは判別が困難であった。実際、 $S_1$  の「とても興味あり」と  $S_2$  の「興味あり」は、両方とも子供が遊びに興味を持っている状態であり、どちらともロボットの行動セットは興味がある中で相手をより楽しませようとする働きかけであった。つまり、この2状態の分離はあまり意味が

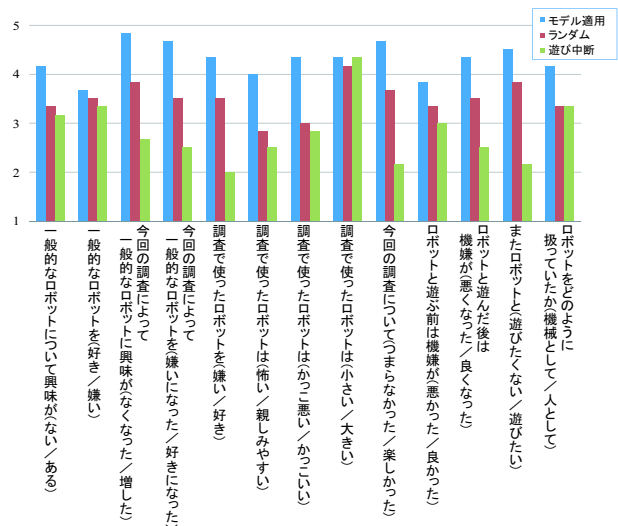


図 7: アンケート平均：ロボットや実験に関する質問

表 1: モデル適用とランダムでのアンケート有意差

有意差なし	有意差あり
一般的なロボットに興味がある 一般的なロボットを好き	今回の調査で一般的なロボットに興味が増した 今回の調査で一般的なロボットを好きになった 調査で使ったロボットを好き

なく、飽きて興味なくなった  $S_3$  状態との区別が、遊びの維持に重要であると考えられる。

そこで、 $S_1$  と  $S_2$  を合わせ  $S'_1$  とし、 $S'_1$  と  $S_3$  の2状態で子供の状態推定を行ったところ、一致度は約7割であった。チャンスレベルが50%であることから、モデルによる子供の興味度の推定はある程度できていると考えられる。今後、実験を継続し、データを増やしてパラメータを調整することで、推定の精度をより向上できると考えている。

### 5.2 モデル適用とランダムの差異

モデル適用で最後まで遊んだ2名、ランダムで遊んだ2名、遊びを中断した2名の3グループについて教員によるアンケートの各項目の平均得点を図7に示す。モデル適用とランダムのグループの平均値の差についてt検定を適用したところ、表1の質問項目に有意差（有意水準5%）があった。ロボットに対する一般的な質問項目では、モデル適用グループとランダムグループの間で差はないのに対し、今回の調査に関する質問では差があった。図7でも、モデル適用グループの方がランダムグループより、全体的に平均値が高く、モデルを適用して遊んだ方がロボットや実験に対する印象が良くなっていた。

図8(a), (b)は教員評価による基準興味度の推移、図8(c), (d)は子供がロボットを見ている頻度と机を見ている頻度の移動平均で、(a), (c)はモデル適用で遊んだ女兒1名、(b), (d)はランダムで遊んだ女兒1名の結

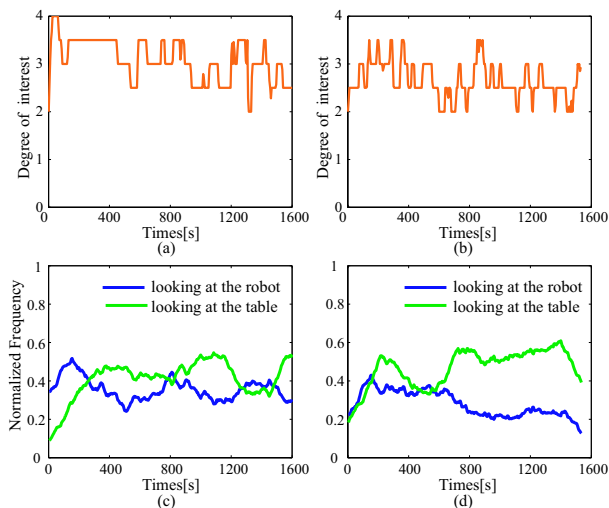


図 8: 興味度と視線頻度の時間推移, (a)(b) 教員評価による基準興味度, (c)(d) ロボットまたは机に視線を向ける頻度, (a)(c) モデル適用の女兒 1 名の結果, (b)(d) ランダムの女兒 1 名の結果

果である。基準興味度では、ランダムの方が特に飽きているような傾向はなく、どちらも遊びを楽しんでいたと推定される。しかし、子供がロボットを見ている頻度、机を見ている頻度を見ると、モデル適用の子供はロボットと机を同程度（机 54%、ロボット 46%）で見ているのに対し、ランダムの子供は時間が経つにつれてロボットをあまり見なくなった（机 62%、ロボット 38%）。同様の傾向は、残りの 2 名の子供にも見られた。これと、アンケートでモデル適用の方がロボットに対する印象が良くなったとされたことから、ロボットへ視線を向ける頻度が子供とロボットの関係性を良く表していると考えられる。

図 8(c) の 750 秒付近と 1300 秒付近、および図 8(d) の 500 秒付近は、神経衰弱が終わった場面で、このときロボットを見る頻度と机を見る頻度が逆転している。レベル 1 の戦略では、相手の意図を推定するために相手を観測する必要がある。事前に行った保育士と子供の遊び観察では、子供が何かを成し遂げた後に、褒められることを期待して、自ら保育士を見る状況が観察された。今回の実験でも、子供がロボットの存在をしっかりと意識している場合は、トランプに没頭している状態が終わるとレベル 1 の行動に移り、ロボットの意図を観察するためにロボットを見るようになったと思われる。ところが、図 8(d) では 1050 秒で神経衰弱が終わっているが、ロボットを見る頻度はさほど上がっていない。ランダムの場合、子供は遊びの間にロボットに意図を感じなくなり、子供が受動的になる場面においても探索戦略がレベル 1 に移行せず、したがってロボットを見る頻度が増えなかったと推測される。

## 6 おわりに

本稿では、他者モデルに基づいた行動決定の概念について述べた。コミュニケーション行動では心理的な状態の相互作用が本質的であり、その実現には他者モデルの利用が必須であると考えられる。その行動決定モデルを用いて、実際に人とインタラクションする遊び相手ロボットを実装し、その評価により本戦略の妥当性を検討した。結果として、遊びに関しては 6 名中 4 名の子供に対して成功し、子供とロボットの関係性に関してはモデルを適用した方がランダムより良くなった。ロボットの振る舞いが心理的な意味で適切であれば、ロボットと子供との関係性を良好に保つことができるというのが本研究の示唆であろう。この解析から、遊びには興味度で表わされる「遊びへの興味や飽き」という要素の他に、ロボットへの視線の頻度で表わされる「ロボットとの関係性」という要素が存在することが判明した。ともに「一緒に遊ぶ」インタラクションとして重要な要素であると言える。

現状では被験者の数が少ないため、今後、さらに多くの被験者で実験を行う必要がある。また、他者の心的状態という計測困難な状態量を扱うため、今回は子供を知る幼稚園教員の評価を基準値とした。心的状態の評価方法についても検討を進めていく必要がある。

## 謝辞

実験にご協力いただいた玉川学園幼稚園部の飯塚先生をはじめとする教員の方々に、心より感謝いたします。本研究は、科研費（基盤 (C) 23500240）及び新学術領域研究「伝達創成機構」の助成を受け実施したものである。

## 参考文献

- [1] F.Tanaka, et al.: Socialization between toddlers and robots at an early childhood education center, *in Proc. of the National Academy of Sciences*, Vol. 104, No. 46, pp. 17954–17958 (2007)
- [2] 神田 他: 対話型ロボットによる小学校での長期相互作用の試み, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol. 7, No. 1, pp. 27–38 (2005)
- [3] G.Castellano, et al.: Detecting user engagement with a robot companion using task and social interaction-based features, *in Proc. of the 2009 international conference on Multimodal interfaces*, pp. 119–126 (2009)
- [4] 阿部 他: 子供や高齢者の遊び相手をする Playmate robot の実現と課題, *電気学会研究会資料*, 2010, pp. 53–58 (2010)
- [5] 横山 他: 子供と遊ぶ: 飽きやすい相手の意欲を維持するメタ戦略のモデル化, 第 25 回人工知能学会全国大会, 2D1-OS5a-1 (2011)