



0の戦略」と呼ぶ。

### 3. 対人インタラクションロボット

#### 3.1 遊びロボット

この行動決定戦略に基づき実際に人とインタラクションするロボットを作成し、その評価により本戦略の妥当性を検討するため、家庭用サービスロボットとしての遊びロボットシステムの構築を試みた [3]。この遊びシステムは、単にロボットが遊びのデモをするのではなく、人とロボットが相互に主導権を持ってインタラクティブに遊び、その過程でロボットが人の意図や心的状態を推定して行動決定することを目標とする。

#### 3.2 保育士—子供遊び観察

遊びロボットを実現するにあたり、ロボットはどのような指標をもとに子供の状態を推定し、その意欲を維持する手段の実行や遊びの切り替えなどを行えば良いのだろうか。我々はこの問いを、子供とのインタラクションのエキスパートである保育士はいかにして子供を飽きさせずに遊ぶのか、そこに何か戦略はあるのか、という疑問に置き換え、保育士が初対面の子供を飽きさせずに遊んでいく過程を観察し、その行動戦略を分析した。

観察では、保育士と子供が遊ぶ様子をビデオカメラで撮影し、実験中の子供の注意の程度がどのように変化するか、保育士はどのように子供の興味を回復させるのか、子供のどのような振る舞いをどのタイミングで観測しているのか、どんな対話をするのかなど現実場面における保育士のインタラクション戦略の分析を試みた。

#### 3.3 遊び観察概要

保育士には子供を飽きさせずに遊ぶようお願いし、子供と保育士が遊んでいる様子を記録した。また、実験後には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、実験ビデオを見ながら口述で回想してもらった。観察時間は30分で、次の5つの遊びを行った。

1. どっちに入っているか？  
手に石を隠し、どちらの手に入っているかを当てっこする。
2. 絵本の読み聞かせ  
絵本の読み聞かせをし、その中で「これは何かな？」などと問いかけながら一緒に読み進めていく。
3. カードゲーム10枚のトランプで神経衰弱をする。
4. カブラ（木製積み木）遊び  
細長い板（カブラ）を積み上げたり、組み合わせながら、どれくらい高く積めるかを競争する。
5. 文字遊び（文字カード）  
ひらがなが一字ずつ書かれたカードを使い、様々な単語や文章を作ったり、しりとりをする。

#### 3.4 子どもの行動観察

この遊び観察では、実験環境や保育士など児童にとって初めてのものばかりで、児童は最初はかなりの緊張状態にあった。しかし、保育士との会話や遊びを通して次第にその場の環境に慣れていき、徐々に遊びを楽しむ様子が見られた。しかし、同じ遊びを続けていると次第にその遊びにも飽き、興味が他のも

のへと移っていき、別の遊びがはじまると、再びその遊びに対して楽しい、面白いという状態に戻るといったような状態遷移が観察された（図3赤枠）。

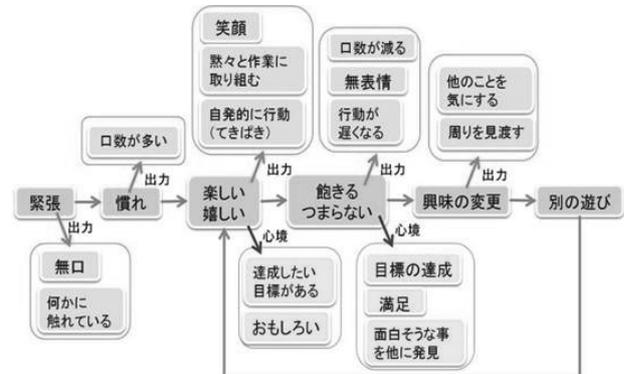


図3: 特徴的な児童の振舞い

また、図3赤枠に示す子供の状態遷移について、それぞれの状態における特徴的な振る舞いも観察できた。例えば、「緊張」状態では口数が少なく手を後ろに組んでいたりと、何かをずっと握っているという行動がよくみられる。また、少し緊張が和らいだ「慣れ」状態では口数が次第に増え、「楽しい/嬉しい」状態では笑顔をみせたり、黙々と作業に打ち込んでいて、話しかけても聞き流すなどの行動が観察された。

一方、「飽きる/つまらない」状態では、「楽しい/嬉しい」状態と比べて口数は減少し、無表情になったり、周りを気にするなどの行動が多く見られた。

これらの行動観察から、子供は「楽しい/嬉しい」状態においては、何か達成したい目標がある、遊び自体がとても面白いという心境にあり、反対に「飽きた/つまらない」状態では、目標を達成し終えて満足した、他に面白そうな事を見つけたなどの心境にあると考えられる。これらの状態は、例えば保護者や保育者は動画像からでもある程度の推定が可能であり、子供の状態表現の指標として有効である可能性が高い。

#### 3.5 保育士の行動戦略

図3に示す児童の状態は、基本的には時間の遷移とともに自然に移り変わるものと考えられる。それに対し、保育士が取った行動はこれらの時間変化を短縮あるいは延長させる行為ととらえることができる。

例えば、児童が緊張状態にある時には、会話や共同作業などを通して緊張→慣れ、慣れ→楽しいというように、次の状態へ移る時間を短縮させていたと捉えることができる。また、楽しい状態では、勝たせたり、褒めたりすることで楽しいという状態を引き延ばしている。一方、児童が飽き状態になりつつある際に、「間違えてももう一回できるよ」などと声をかけて児童の状態を楽しむ状態へと戻す新たなパスを作るという行為も観察された。

さらに、観察後に行った回想報告からは、保育士がこの遊びの時間全体を通じて子供の遊びに対する姿勢を推定し、その後の遊び戦略を考えていたことが窺われた。例えば、カードゲームでは子供がこの遊びをどの程度理解しているかを判断して手加減の程度を決めたり、絵本を読み聞かせながら、どの程度ひらがなが読めるかなどを判断し、文字遊びで用いる単語数を決めるなどの戦略を用いていた事が明らかとなった。

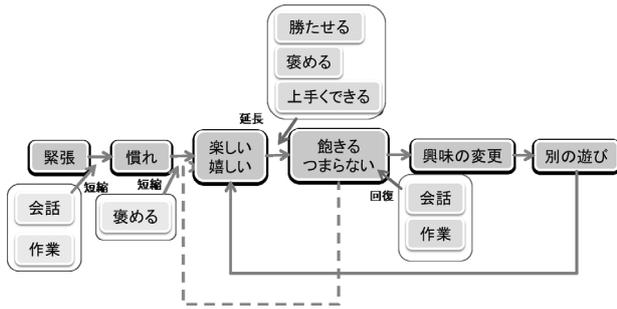


図 4: 保育士の行動決定戦略

## 4. ロボットへの実装

### 4.1 人の顔情報を用いた興味度推定

保育士と子供の遊びの観察により、子供の状態推定の指標として、顔情報、行動パターン、会話情報が使えそうであることが判った [4]。そこで、我々は人の顔情報に注目し、顔表情検出ソフト OKAO Vision (オムロン株式会社) の顔向き検出機能および笑顔度評価機能を使用して、子供の遊びに対する興味度を計測した。

我々は OKAO Vision を使い、ロボットと子供が向き合った状態で、子供の視線がロボットまたは遊びの対象領域に向いていれば、子供は遊びに注意を向けていると考え、その視線方向を顔向きのトラッキングにより推定した。そして本研究では、興味度  $d(t)$  を以下のように定義した。

$$d(t) = t + \sum l - 1k = t(h(k) + s(k))/2l \quad (1)$$

ここで、 $s(t)$  は時刻  $t$  における笑顔度、 $h(t) \in 0, 1$  は顔向きである。 $h(t)$  はプレイヤーがロボットまたは遊びの対象領域を向いている場合を 1 とし、それ以外を 0 とする。 $l$  はフレーム長である。

## 5. 興味度測定指標の検討

### 5.1 ロボットとのチャット実験

この興味度指標が、タスクに対する被験者の興味をどの程度計測可能であるか評価するため、ロボットと児童による対話実験を行った [5]。

被験者 (6 歳児, 男女各 1 名) にはロボットの前に座って対話をしてもらい、その間の被験者の状態を計測した。また、我々はこの実験を通して、ロボットとの会話に対する子供の興味度がどのように変化していくのか、その変化の様子を観察するため、ロボットの会話戦略として、次に示す 3 つのフェーズを用意した。

条件 1: 一度きりの質問の連続 (約 5 分間)

質問を投げかけるばかりで、子供の返事や問いに対する応答はしない。

条件 2: 一度だけ返答 (約 3 分間)

一度きりの会話に加え、子供からの発話に対して 1 度だけ応答。

条件 3: オペレータとの会話 (約 3 分間)

チャット機能を用いてほぼ自由に対話する。

条件 1 では、子供ははじめはロボットとの会話に興味を示すが、ロボットの会話パターンが一定であるため、次第に子供は何か言いたくなって様々な会話を始める。しかし、その会話に対してロボットは応答をしないため、次第に面白くなくなり「飽き」状態へ遷移する。

子供の状態が「飽き」になったところでロボットの会話戦略が条件 2 に移り、これまで話しかけても応答しなかったロボットが、一度だけ応答をするようになる。これにより、子供の興味度は一時的に回復するが、ロボットが応答をするのは 1 度きりであるため、再び「飽き」状態に戻る。

そこで、今度はロボットの会話戦略が条件 3 に移り、子供からの会話にロボットが興味を示すようになる。すると、会話が自然と弾み、ロボットに対する子供の注目度が向上すると同時に、ロボットとの会話に対する興味度も回復した。図 5 に被験者の興味度を前記の式で評価した結果を示す。

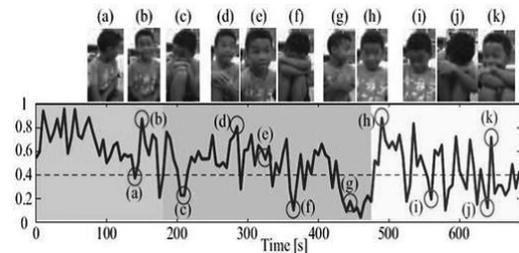


図 5: チャット実験結果

図 5 は縦軸が興味度、横軸が経過時間を示し、5 秒毎に興味度を計算してプロットした。経過時間は実験開始から 300 秒まで (赤部分) は条件 1 区間、300 秒から 480 秒まで (青部分) は条件 2 区間、480 秒以降 (黄部分) は条件 3 区間である。この結果、500 秒付近で興味度が急上昇している。実際に、フェーズ 3 の開始は約 480 秒程度であり、ロボットの会話方略が変わった効果と考えられる。

また、(a)~(k) は実験中の被験者の様子を示したものであり、これらの状態と興味度の結果もおおむね一致していた。

次に、実験のビデオを見ながら、人間がプレイヤーの状態を興味あり/なしに手動でラベル付けを行った。そして、この人間の評価と閾値で興味度を興味あり/なしに分類した結果を比較した結果を図 6 に示す。

顔向きと笑顔度から算出した興味度について、その値が 0.45 よりも大きい場合を興味あり、0.45 よりも小さい場合を興味なしと設定した場合に、人間の評価による興味度と最も一致した。特に条件 3 の開始前 (450 秒付近) の被験者の飽きが計測できていることが分かる。これらの事より、顔向きと笑顔度による興味度でプレイヤーの状態を推定することはある程度は可能であると考えられる。

### 5.2 ロボットとのカードゲーム

ロボットに実装する遊びの一つとして、子供とロボットによるカードゲーム (神経衰弱) を行った。ロボットの行動パターンとして「ゲームの初めにじゃんけんをして順番を決める」、「相手の順番で相手の引いたカードに合わせて喜ぶ (悲しむ)」,

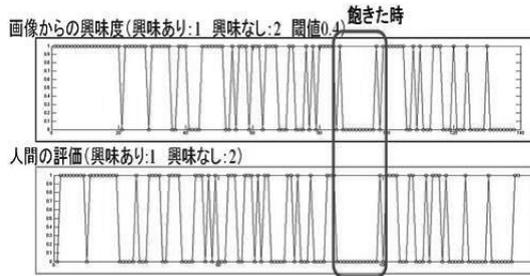


図 6: チャット実験における興味度評価

「ロボットの順番の時に一致する 2 枚のカードを選ぶ」などを用意した。

ただ、使用したロボットのハンドではテーブル上のカードはつかめないため、ロボットはカードを指差して被験者に裏返してくれるよう頼んだ。

### 5.3 実験結果

カードゲーム中の被験者の興味度を画像から 5 秒間隔で計測し、人間の判断による評価と比較した結果を図 7 に示す。

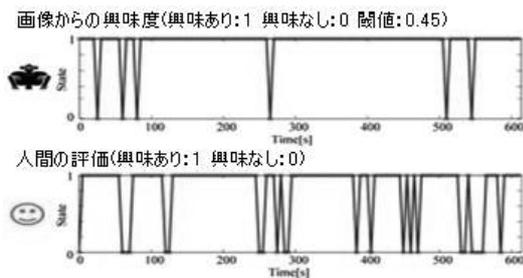


図 7: 興味度評価の比較

図 7 の上段は興味度指標を用いた評価、下段は人手による評価の結果であり、チャット時と同様に閾値を 0.45 に設定した。上下のグラフを比較すると、チャット実験結果よりも一致率が低い事が分かる。この差について、カードゲームではカードをめくるなど、ロボットが動いたため、被験者は最初ロボットを怖がって、笑顔が見られなかった事によると考える。この事は、実験中の被験者の表情変化からも明白である (図 8)。

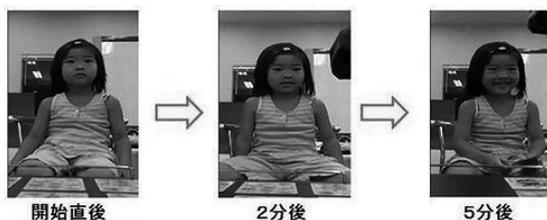


図 8: 表情変化

## 6. 考察

ロボットと子供の遊び実験を通し、子供と遊べる遊びロボットシステムの基礎的機能を評価した。このシステムを利用すれば、例えば興味度が低い値を連続して示している場合、ロボットは遊びを切り替えて、子供を飽きさせずに長時間遊べる事が期待される。

また、提案した顔情報を用いた興味度推定指標はある程度は子供の状態を推定できることが示された一方で、過度の緊張状態などでは表情に状態が現れにくいことがあり、改善すべき点があることも明らかになった。より適応度の高いロボットの実現のためには、顔情報を用いた興味度の推定以外の指標も必要となるだろう。

保育者が子供の興味を維持するためにとった行動戦略は、子供モデルにもとづく行動探索であった。概念的にはその処理は従来の人工知能的な行動探索で説明できるが、一方でその子供モデルとはどういうものなのかという点については本研究では明らかにはならなかった。ロボットと子供の遊びを実装するうえでその知識の表現は極めて重要であり、現象観察と構成的手法の双方から追及すべき問題である。

## 7. まとめ

本稿では高度な対人支援ロボットを実現するため、受動的/能動的な行動決定といった他者の意図推定に基づく行動決定過程を計算モデル化し、高度な対人支援に必要な要素機能を検討した。

また、保育士と子供の遊び観察により、ロボットに実装する際に必要な他者の状態推定指標を検討し、人の行動決定過程の仕組みをモデル化した。また、提案した興味度推定の指標を、人とロボットによるインタラクション実験で評価をし、子供の状態を推定できる可能性が示唆された。

今後は、ロボットと人によるインタラクション実験により、被験者の状態推定指標や人間行動をベースとしたロボットの行動決定モデルの確立を目的とし、対人支援のような高度なサービス機能をロボットで実現するため、相手の意図を推定し、状況に応じて行動決定を行うような、人間の柔軟な行動決定過程の理解を目指す。

## 参考文献

- [1] 長田悠吾, 石川悟, 大森隆司, 森川幸治: 他者意図の推定に基づく協調行動の計算モデル化, 第 20 回人工知能学会全国大会, 1B4-2(2006).
- [2] 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 A, Vol. J92-A, No. 11, pp. 734-742, Nov. 2009
- [3] 阿部香澄, 中村友昭, 長井隆行, 横山絢美, 下斗米貴: 之, 岡田浩之, 大森隆司: 子供や高齢者の遊び相手をする Playmate robot の実現と課題, 電気学会計測研究会, IM-10-081, 2010
- [4] Ayami Yokoyama, Takashi Omori: Modeling of Human intention estimation process in social interaction scene, WCCI2010, Fuzzy Decision/MMI #247, July.2010