

模倣学習時における社会的ロボットの表出行動の重要性の検証

Verification of Effect of Body Expression of Social Robot in Imitation Learning

安部ゆかり^{1*} 小野哲雄²
Yukari Abe¹ Tetsuo Ono²

¹ 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科

¹ FUTURE UNIVERSITY-HAKODATE

² 北海道大学 大学院情報科学研究科

² Hokkaido University

Abstract: When social robot designed to live with human in home learns, the way of learning is preferable to imitation that same as human. Robots can do the imitation learning without body expression of learning process. But the robots purposely do body expression, so human can estimate inner state of them, and so smooth interaction between robot and human can actualize. In this paper, we describe experiments that robots do body expression in imitation learning between same robots and between different robots each other and we verify effect to human that observed it.

1 はじめに

近年の科学技術の発達にともない、ロボットは人間の代わりに工場で働く産業用ロボットから、人間とインタラクションを行うコミュニケーションロボットへと進化してきた。近年のコミュニケーションロボットの中には、人間のような発達過程を経て実世界に適応していけるロボットを製作し、そのロボットを検証することにより人間の認知機能を解明することを目的とする構成論的方法 [1] に基づき、二足歩行等、外見や機能をより人間に似せて作られているものも多い。このようなロボットは将来さらに進化を遂げ、社会的ロボットとなり、一般家庭において家族の一員として共に暮らすことが考えられる。ここで社会的ロボットとは、人間と一対多のコミュニケーションを取ることが可能であり、家族等の集団の中でペットや家事手伝いと言った何かしらの社会的役割を担う存在であると想定する。このようなロボットが実現した際には、家族等の集団にその一員として認められ溶け込んでいくために、ロボットがその集団のルールを覚え実践していくことが求められる。各集団におけるルールは個々で大きく異なるため、ロボットの製作時に一律でルールを覚えさせることは難しく、ロボットにはなんらかの学習機能が必要となる

と考えられる。そこで本研究では人間の主な発達学習の方法である模倣に着目し、ロボットにも模倣学習の機能を取り入れることを想定した。

人間は生得的に模倣能力を備えており、人間の赤ちゃんは親の模倣をすることによって発声や運動の感覚をつかみ、表情を真似し、表情と感情のつながりを覚え、人間として成長していく [2]。また、人間が模倣を行うのは幼児期だけではなく、横山は友人関係のような狭いコミュニティにおける口癖の模倣や、国単位の広い範囲における社会思想の模倣等に言及し、人間は意識的にも無意識的にも生涯模倣をする生物であると述べている [3]。このような人間の模倣に関連する研究として、Dawkins のミーム理論があげられる [4]。Dawkins によると、ミームとは模倣によって伝えられる文化の一要素であると定義されており、上記の横山が述べたコミュニティ内での口癖もミームである。また駒込らは RobotMeme [5] において人間とロボットでのミーム伝播には人から人、人からロボット、ロボットから人、ロボットからロボットの 4 通りがあると述べ、中でもロボットから人へのミーム伝播、つまり人がロボット特有の行動を模倣することについて検証している。人間からロボットの模倣学習も盛んに研究が行われているが [6][7]、本研究では上記 4 通りの中でロボットからロボットへのミーム伝播、模倣に着目した。ロボット同士の模倣学習では、視覚情報等のセンサ情報を用いるだけでなくデータ通信によって直接モーションデータを共有する等ロボット

*連絡先： 安部ゆかり
公立はこだて未来大学大学院
〒 041-8655 北海道函館市亀田中野町 116 番地 2
E-mail: g2108003@fun.ac.jp

特有の能力を活かすことができ、専門性を持った複数のロボットから模倣学習を行うことによって、オールマイティな機能を持ったロボットを誕生させることも可能となる。また人間の模倣機能構成には型真似レベル、行為単位レベル、目的作業レベルの3つのレベルがあると國吉は述べている [8]。ロボット同士での模倣学習は同種ロボット間だけでなく異種ロボット間でも行われると考えられる。異種ロボット間での模倣学習では、教示側と模倣側で自由度等の身体的構造が異なっている場合が考えられるため、型真似レベルの模倣ではなく目的作業レベルで模倣を行う、つまり作業全体の目標・目的を共有し、それに至る手段は状況に応じて柔軟に変更することによって、身体的構造の違いを乗り越えることが重要であると思われる。

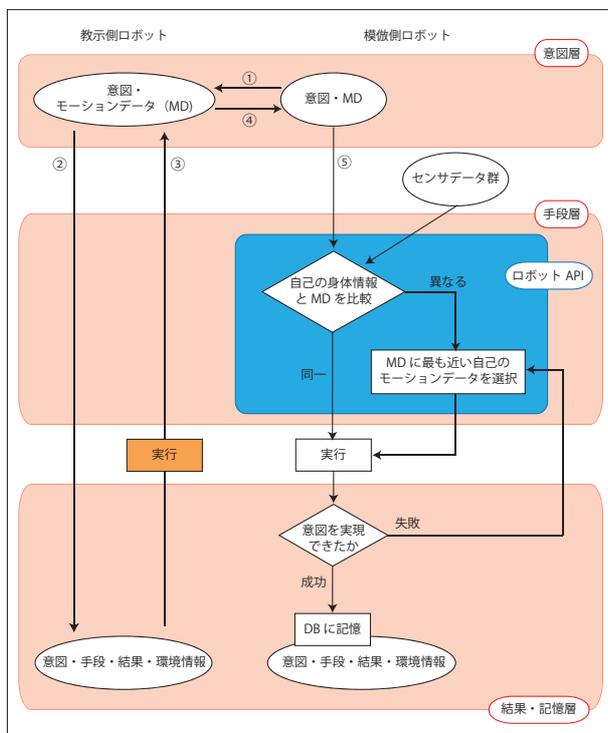


図 1: システムの概要

図 1 にロボット同士の模倣学習システムの概要を示す。この模倣学習システムの詳細および実装については、筆者と同じ研究室に所属する学生が研究を進めているため、別の論文にて詳述される予定である。この模倣学習システムでは、まず模倣側のロボットが作業全体の目的・意図を教示側のロボットへ送信する。次に教示側のロボットがその意図を達成するためのモーションデータを模倣側のロボットへ送信することによって、2体のロボットは意図とモーションデータを共有する。そして模倣側のロボットは受信したモーションデータと自己の身体情報を比較し、もし異なっていた場合は、当初の意図の達成可能性が高く、受信したモーションデー

タに可能な限り近い自己のモーションデータを選択する。このようにしてあるモーションを実行し、その結果当初の意図を達成できた場合にはその意図と手段、結果を関連づけてデータベースに保存する。モーションの実行によって意図が達成できなかった場合には、モーション選択に戻る。このシステムによって異種ロボット間での身体的構造の違いを乗り越えた模倣学習が可能になると考えられるが、上記の流れに沿って模倣学習が行われた際、観察者からは教示側のロボットは全く何もしていないように見える。寺田らは、複雑な人工物には意図を明確に示しながら動作することが求められる、なぜならそれによって人間がその人工物を理解しやすくなり、両者のインタラクションがより行いやすくなるからである、と述べている [9]。そのため本研究では、ロボット同士が模倣学習を行う際にもあえて「学習している」ということを人間にとってわかりやすいように表出することが重要だと考えた。そこで、教示側のロボットがモーションデータを送信する際に、そのモーションをあえて実行し、模倣側のロボットと同じ意図を達成することによって、2体のロボットが模倣学習を行っていることが人間に理解されやすくなると思った。また、「学習している」様子が理解しやすい場合の方が人間はロボットに対して好印象を持つのではないかと考え、その2点を検証する実験を行った。第2章では予備実験、第3章で本実験について述べる。予備実験で同種ロボット間の模倣学習の様子について検証し、本実験では異種ロボット間での模倣学習の様子について検証を行った。

2 予備実験

2.1 実験目的

同種のロボットを2体用いて、以下の2点を目的として予備実験を行った。

- 模倣による学習の様子を人間に観察させ、「学習している」ことを人間が理解できるか検証すること
- お手本を見て学習する場合と、データ通信のみで学習する場合で、ロボットに対する印象が変化するか検証すること

2.2 実験概要

実験環境を図2に示す。予備実験は公立はこだて未来大学の実験室にて実施した。2体のロボットはNEC製のPaPeRo (カラーはピンクと緑)を用いた。以下、それぞれのロボットを「PaPeRo ピンク」(図3右)、「PaPeRo みどり」(図3左)とする。この予備実験はPaPeRo みどりが扇風機の動かし方を学習するという

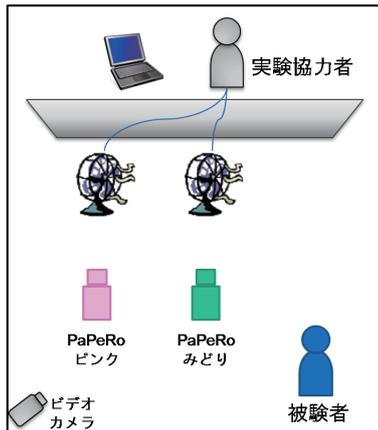


図 2: 予備実験環境

ストーリーであるため、2体のロボットの前にはそれぞれ扇風機を設置した。実験室はパーティションによって2つに区切られ、図2の上部に配置した実験協力者がWizard of Ozによってロボットや扇風機を適切なタイミングで動作させた。実験手順は以下の通りである。

1. PaPeRo みどりが扇風機に向かって動作するが、扇風機のスイッチが入らないという失敗動作を2度繰り返す
2. 実験条件 A の場合は PaPeRo ピンクが扇風機のスイッチを入れるお手本動作を行う。
3. PaPeRo みどりが動作して扇風機のスイッチを入れる

被験者は大学生 10 名（男性 7 名、女性 3 名）で、各実験条件に 5 名ずつランダムに振り分けられた。実験条件は以下の 2 条件である。

条件 A PaPeRo ピンクがお手本動作を行い、扇風機のスイッチを入れる

条件 B PaPeRo ピンクがお手本動作を行わず、扇風機のスイッチを入れない

条件 B では PaPeRo ピンクが見かけ上は全く動作しないが、これをデータ通信によって模倣学習が行われている状態であるとする。

2.3 評価方法

被験者に対し「PaPeRo みどりが成長したと感じたら、PaPeRo みどりを褒めてあげてください」と教示し、被験者が褒める行動をとるか否かを観察した。また実験後にアンケート調査を実施し、ロボットに対する印象評価や被験者自身がとった行動に対する理由等を質問



図 3: PaPeRo ピンク（右）と PaPeRo みどり（左）

した。印象評価については 10 組の形容詞対を用いて、各 6 段階で評価を行った。その他の質問は全て自由回答形式で行った。

2.4 仮説

予備実験では以下の 2 点を仮説とした。

1. 条件 A でのみ、PaPeRo みどりが学習を行ったことが理解される
2. 条件 B に比べ条件 A の方が PaPeRo みどりに対する印象が良くなる

2.5 実験結果

PaPeRo みどりを褒める行動をとった被験者は、条件 A では 5 人中 4 人、条件 B では 5 人中 2 人であった。この結果に対し条件間での統計的有意差は観察されなかった。形容詞対による印象評価については、まず PaPeRo みどりに対して条件間で、「可愛い 可愛くない」「かっこいい かっこ悪い」の 2 組の形容詞対において有意差（ともに $t = 2.92, p < 0.05$ ）が観察された。このことから、条件 A の PaPeRo みどりの方が条件 B の PaPeRo みどりに比べ、より「可愛い」「かっこいい」と感じられたと言える。また PaPeRo ピンクに対して条件間で、「頼りになりそう 頼りにならなそう」「かっこいい かっこ悪い」の 2 組の形容詞対において有意差（前者は $t = 3.50, p < 0.01$ 、後者は $t = 3.14, p < 0.05$ ）が観察された。このことから、条件 A の PaPeRo ピンクの方が条件 B の PaPeRo ピンクに比べ、より「頼りになりそう」「かっこいい」と感じられたと言える。自由回答形式の質問については、「なぜ PaPeRo みどりを褒めたか（もしくは褒めなかったか）」「なぜ PaPeRo みどりは扇風機を動かせたと思うか」という質問に対し、条件 A では「PaPeRo ピンクの真似をした」「PaPeRo ピンクを模倣して学習した」という内容の回答をした被

験者が5人中5人であったが、条件Bでは「わからない」「実はPaPeRoピンクが動かしていたと思う」等と回答されており、「PaPeRoみどりがPaPeRoピンクを模倣し、学習した」という内容に触れる回答をした被験者は0人であった。

2.6 考察

実験結果より、アンケート調査において「PaPeRoみどりはPaPeRoピンクの真似をして学習し、扇風機を動かせるようになった」という内容を条件Aの被験者全員が回答し、条件Bの被験者は1人も回答していないことから、仮説1の「条件AでのみPaPeRoみどりが学習を行ったことが理解される」が支持されたと考えられる。つまり、同種ロボット間において、ロボットが表出行動をとることによってロボットの模倣学習を人間が理解できたと言える。また、形容詞対による印象評価において、条件AのPaPeRoみどりが条件Bに比べ、より「可愛い」「かっこいい」と感じられたことから、仮説2の「条件Bに比べ条件Aの方がPaPeRoみどりに対する印象が良くなる」が支持されたと考えられる。

3 実験

3.1 実験目的

異種のロボット2体を用いて実験を行った。この実験では、同種ロボットを用いて行った予備実験と同様に、以下の2点を目的とした。

- 模倣による学習の様子を人間に観察させ、「学習している」ことを人間が理解できるか検証すること
- お手本を見て学習する場合と、データ通信のみで学習する場合で、ロボットに対する印象が変化するか検証すること

3.2 実験概要

実験環境を図4に示す。実験は公立はこだて未来大学の実験室にて実施した。ロボットはNEC製のPaPeRo（予備実験で用いた「PaPeRoみどり」である）と、京商製のMANOI（以下「マノイ」とする。図5）を用いた。予備実験と同様、PaPeRoみどりが扇風機の動かし方を学習するというストーリーであるため、2体のロボットの前にはそれぞれ扇風機を設置した。実験室はパーティションによって2つに区切られ、図4の上部に配置した実験協力者がWizard of Ozによってロボットや扇風

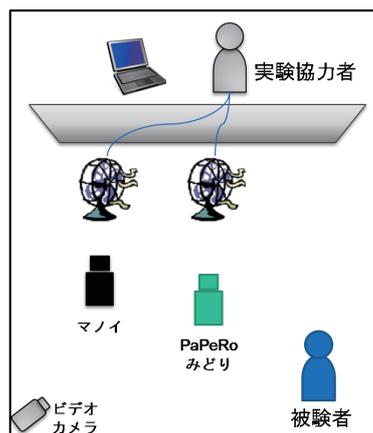


図4: 実験環境

機を適切なタイミングで動作させた。実験手順は予備実験と同様、以下の通りである。

1. PaPeRoみどりが扇風機に向かって動作するが、扇風機のスイッチが入らないという失敗動作を2度繰り返す
2. 実験条件Aの場合はマノイが扇風機のスイッチを入れるお手本動作を行う。
3. PaPeRoみどりが動作して扇風機のスイッチを入れる

ロボットが扇風機のスイッチを入れる動作を行う際は、各自設置された扇風機の方を向き、お手本となるマノイは右腕を上下に2度振る動作（図5）、模倣するPaPeRoみどりは首を上下に2度振る動作（図6）を行う。被験



図5: マノイ



図6: PaPeRoみどり

者は大学生20名（男性18名、女性2名）で、各実験条件に10名ずつランダムに振り分けられた。実験条件は以下の2条件である。

条件A マノイがお手本動作を行い、扇風機のスイッチを入れる

条件 B マノイがお手本動作を行わず, 扇風機のスイッチを入れない

条件 B ではマノイが見かけ上は全く動作しないが, これをデータ通信によって模倣学習が行われている状態であるとする.

3.3 評価方法

予備実験と同様に, 被験者に対し「PaPeRo みどりが成長したと感じたら, PaPeRo みどりを褒めてあげてください」と教示し, 被験者が褒める行動をとるか否かを観察した. また実験後にアンケート調査を実施し, ロボットに対する印象評価や被験者自身がとった行動に対する理由等を質問した. 印象評価については 20 組の形容詞対を用いて, 各 6 段階で評価を行った. 20 組の形容詞対はそれぞれ, 力本性 (活動性), 社会的望ましさ, 個人的親しみやすさの 3 つの特性に分類される [10]. その他の質問は全て自由回答形式で行った.

3.4 仮説

予備実験と同様に, 以下の 2 点を仮説とした.

1. 条件 A でのみ, PaPeRo みどりが学習を行ったことが理解される
2. 条件 B に比べ条件 A の方が PaPeRo みどりに対する印象が良くなる

3.5 実験結果

PaPeRo みどりを褒める行動をとった被験者は, 条件 A では 10 人中 10 人, 条件 B では 10 人中 5 人であった. この結果に対し条件間での統計的分析を行ったところ, 有意差が観察された ($\chi^2 = 6.67, p < 0.01$). 形容詞対による印象評価については, まず PaPeRo みどりに対して条件間で, 「無責任な 責任感のある」「無気力な 意欲的な」「不親切な 親切な」の 3 組の形容詞対において有意傾向 ($p < 0.1$) が観察された. このことから, 条件 A の PaPeRo みどりの方が条件 B の PaPeRo みどりに比べ, より「無責任」で「意欲的」で「不親切」であると感じられたと言える. またマノイに対して条件間で, 14 組の形容詞対において有意差が観察された (そのうち 11 組は $p < 0.01$, 3 組は $p < 0.05$). このことから, 条件 A のマノイの方が条件 B のマノイに比べ, 力本性, 社会的望ましさ, 個人的親しみやすさのいずれにおいても高く感じられたと言える. 自由回答形式の質問については, 「PaPeRo みどりは何をしようとしていたと思うか」という質問に対し, 「扇風機をつけよう

としていた」と答えた被験者が条件 A, B 共に 10 人中 6 人であった. このことから, 多くの被験者が実験者が設定した PaPeRo みどりの意図を理解していたと言える. また, 「なぜ PaPeRo みどりを褒めたか (もしくは褒めなかったか)」「なぜ PaPeRo みどりは扇風機を動かせたと思うか」という質問に対し, 条件 A では「マノイの真似をした」「マノイの模倣をして学習した」という内容の回答をした被験者が 10 人中 10 人であったが, 条件 B では「赤外線や電波を用いた」「たまたま扇風機が動いただけ」等と回答されており, 「PaPeRo みどりがマノイを模倣し, 学習した」という内容に触れる回答をした被験者は 0 人であった.

3.6 考察

実験結果より, アンケート調査において「PaPeRo みどりはマノイの真似をして学習し, 扇風機を動かせるようになった」という内容を条件 A の被験者全員が回答し, 条件 B の被験者は 1 人も回答していないことから, 仮説 1 の「条件 A でのみ PaPeRo みどりが学習を行ったことが理解される」が支持されたと考えられる. これにより, 予備実験における同種ロボット間の場合と同様に異種ロボット間においても, ロボットが表出行動をとることによって人間がロボットの模倣学習を理解できたと言える. また, 形容詞対による印象評価において, 条件 A の PaPeRo みどりが条件 B に比べ, より「無責任」で「意欲的」で「不親切」であると感じられたことから, 仮説 2 の「条件 B に比べ条件 A の方が PaPeRo みどりに対する印象が良くなる」は支持されなかったと考えられる. これは, PaPeRo みどりがマノイを観察, 模倣して学習したことに対して被験者は「意欲的」と感じたが, PaPeRo みどりが独力で目的を達成しなかったことに対して「無責任」であり「不親切」であると被験者が感じたことが要因ではないかと考えられる. また, 条件 A のマノイが条件 B に比べ全体的に高評価であることについては, わざわざ扇風機を動かす動作を行いお手本を見せてくれる条件 A のマノイの方が, 全く動作しない条件 B のマノイに比べ好意的に見られることは予想できた結果であるため, この結果は当然とも言える.

4 議論

予備実験および本実験の結果から, 同種, 異種に関わらず, ロボットが表出行動をとることによって人間に模倣学習が理解されることが示された. しかし, 同種ロボット間では表出行動をとった A 条件で 2 体のロボットがそれぞれ B 条件に比べ高評価を受けたが, 異種ロボット間では模倣側のロボットに対してそのような差

は見られなかった。これについては、予備実験と本実験とでアンケート調査に用いた形容詞対が異なっていたこと、異種ロボット間での模倣学習であること自体が要因として考えられる。今後は教示側ロボットに PaPeRo みどり、模倣側ロボットにマノイを用いて教示と模倣の立場を逆にして実験を行うことによって、この要因を検証していけると思われる。また、異種ロボット間では模倣側のロボットは高評価を得られなかったが、教示側であるマノイが表出行動をとることによって本実験で用いた形容詞対の3つの特性全てにおいて高評価を得ていることから、教示側のロボットと円滑なインタラクションを実現するために、表出行動が重要であると言えるであろう。また、本実験の条件 B では扇風機のスイッチを入れようとしていたという PaPeRo みどりの意図を理解しながら、実際にはなぜ扇風機を動かすことができたかわからない被験者が多かったと考えられる。このような被験者には釈然としない気持ちがあると思われるが、実際にはその被験者の感情を評価、観察できていない。しかし、今後は条件 B の被験者にはそのような感情があること、そしてロボットの表出行動によってその感情を改善できると示すことで、ロボットが表出行動をとることの重要性がより明確になると考えられる。

5 まとめと今後の展望

本研究では社会的ロボットが人間社会に適応していくためにはなんらかの学習機能が必要であると考え、人間の主な発達学習の方法である模倣に着目した。そしてロボット同士で模倣学習を行う場合を想定し、学習時の表出行動の重要性について実験を行い検証した。その結果、同種ロボット間、異種ロボット間に関わらずロボットが表出行動をとることによって、人間に模倣学習が理解されること、教示側のロボットの評価が高くなることが示された。また、模倣側のロボットへの評価は同種間、異種間により別れたが、ロボットの立場を教示側、模倣側で交換すること等によりその要因を追及することが今後の課題の1つである。また、先にも述べたとおり、ロボットの意図は理解できたがなぜそのような行動を取ることができたか理解できない、といった際の人間の釈然としない感情を実験を通して定量的に評価し、それをロボットの表出行動によって改善できると示すことが今後の課題となる。

また人間の模倣学習には

1. 注意（観察）
2. 記憶
3. 運動再生（記憶を再現する）

4. 動機づけ（行動結果を予想し、実行するか否かを決定する）

という流れが存在し [11]、人間は上記3の運動再生の段階で「実行してみて失敗する」という経験を繰り返すこともある。今回の実験では運動再生の過程を1度で成功するよう設定したが、失敗を何度か繰り返したのちに成功する、というように運動再生の過程を丁寧に表出することがロボットにとって重要となるか否かを今後検証していきたい。

謝辞

実験協力者の岩附千晴氏、丸山有希氏、岡山明弘氏に感謝します。

参考文献

- [1] 瀬名秀明, 他: 講談社, 知能の謎: 認知発達ロボティクスの挑戦 (2004)
- [2] 大藪泰: バイオメカニズム学会誌, 赤ちゃんの模倣行動の発達: 形態から意図の模倣へ, Vol. 29, No. 1, pp. 3-8 (2005)
- [3] 横山滋: 丸善, 模倣の社会学 (1991)
- [4] Dawkins R.: Oxford University Press, The Selfish Gene (1976)
- [5] 駒込大輔, 他: ヒューマンインタフェース学会誌, RobotMeme: 模倣による人 ロボットの周辺の相互適応, Vol. 10, No. 1, pp. 47-58 (2008)
- [6] 大西正輝, 他: IEEJ Trans, 環境と接するロボットの感覚運動統合による動作模倣, Vol. 125, No. 6, pp. 856-862 (2005)
- [7] 稲岳哲也, 他: 日本ロボット学会誌, ミメシス理論に基づく見まね学習とシンボル創発の統合モデル, Vol. 22, No. 2, pp. 256-263 (2004)
- [8] 國吉康夫: バイオメカニズム学会誌, ロボット模倣の創発・発達の構成論にむけて, Vol. 29, No. 1, pp. 20-25 (2005)
- [9] 寺田和憲, 他: HAI シンポジウム 2006, 人工物に対する意図性の付加が機能発現に及ぼす影響, (2006)
- [10] 林文俊: 名古屋大学教育学部紀要, 対人認知構造の基本次元についての一考察, 教育心理学科 25, pp. 233-247 (1978)
- [11] 井上隆二, 他: ナツメ社, 図解雑学 社会心理学, (2000)