

# ヒューマン-ロボット・インタラクションにおける 理想的な相互適応を目指して

## Toward ideal mutual adaptation in Human-Robot Interaction

高岡 勇紀<sup>1\*</sup> 尾関 基行<sup>1</sup> 岡 夏樹<sup>1</sup>  
TAKAOKA Yuki<sup>1</sup> OZEKI Motoyuki<sup>1</sup> OKA Natsuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都工芸繊維大学

<sup>1</sup> Kyoto Institute of Technology

**Abstract:** The purpose of this study is to design a robot that naturally interacts with a human through mutual adaptation with the human. A human guesses the intention and the function of a robot and adapts to the robot, and at the same time, the robot learns from the reactions of the human and adapts to the human. This phenomenon is called mutual adaptation. Our future goal is to propose a learning method for the mutual adaptation robot, and to realize an ideal mutual adaptation between a robot and a human.

### 1 はじめに

現在、実際に人の生活空間で活躍することを目的とした人型ロボットが多く開発されている。これらのロボットの多くが人とコミュニケーションを取ることを前提として開発が進められている。しかし、その多くが予め決められた動作からコミュニケーションに適した動作を選択し実行している。人の生活空間において、ロボットが人とのより自然なインタラクションを行うために、状況に応じて適切な行動を学習により獲得し、適切に実行できることが大切である。特に人と直接インタラクションを行う場合、状況や過去の経験から学習し、人に適応していくことが大切である。このとき、考慮しなければならないこととして、人の適応能力があげられる。人とロボットがインタラクションを行う場面において、人は必ずロボットに適応する。具体的には、ロボットがどのような機能を持っているのかロボットの外見や反応から推測または学習し、自身のロボットに対する行動を変化させる。したがって、人に合わせて学習するロボットが人とインタラクションを行う場合、このような相互適応が常に起こっている。HAI (Human-Agent Interaction) においてこの相互適応現象は重要な課題の一つと考えられ、この現象を考慮したエージェントの学習、行動決定を行うインタラクションの設計をすることが重要と考えられている [1]。

相互適応現象では互いに相手のモデルを獲得し、そ

れにしたがって自身のモデルを変化させる。このため、ある時点で獲得した相手のモデルにしたがって自身のモデルを変化させても、次の時点では相手もモデルを変化させているため、先の適応が正しい適応とは限らないという問題が起こる。例として、ポップアップメニューが挙げられる。システム側の適応として、ユーザがよく使うアイテムを選択しやすいよう上に移動させることが考えられる。しかし、ユーザがよく使うアイテムの位置を覚えようとする適応を行った場合、その位置にはすでにアイテムは存在しない。このように相互適応の場面では相手の変化も考慮に入れた学習を行う必要がある。人の変化を考慮するためには人の変化がどのように起こるか知る必要がある。山田らは人とエージェントが相互適応するときの適応ギャップについて考察している [5]。人がエージェントに適応するためにエージェントのモデル化を行う際、その外見をもとにする。人とエージェントの継続的インタラクションのためには、エージェントの外見から人が作成したエージェントのモデルが持つ機能が実際エージェントが持つ機能よりも低くなるように設計すべきと述べている。

### 2 関連研究

HAI において相互適応を考慮するために様々な研究がされている。相互適応を理解するために参考とするものによって2つに分けることができる。一つは人同士の相互適応を観察しその結果を人とロボット間に応用する研究である。小松らは人間どうしのインタラク

\*連絡先：京都工芸繊維大学 工芸科学研究科 情報工学専攻  
インタラクティブ知能研究室  
〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎橋上町1  
E-mail: takaoka@ii.is.kit.ac.jp

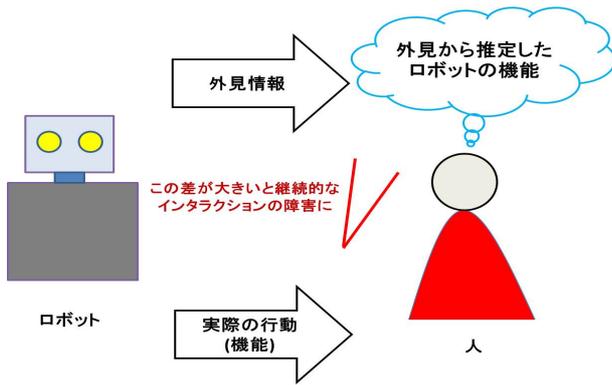


図 1: 適応ギャップ

シヨンの観察結果に基づき、意味獲得モデルを構築した [2]。人との間での相互適応を実現するために、人の適応の仕方を推定し、推定したものと人の発話の韻律情報を利用することでこのモデルを構築している。また、岡らは適応のためのインタラクションを設計するうえで参考になるものとして、母子間のインタラクションを挙げている [6]。母子間インタラクションでは乳幼児が養育者に対し適応するだけでなく、養育者側も乳幼児の能力に応じた振る舞いを行うようになる。この認知能力に相当の差がある 2 者のインタラクションは人とエージェント間のインタラクションを設計するうえでヒントになると述べている。このように、人とインタラクションを行うとき、人の適応をエージェントの言動によって適切な適応に変化させることも、相互適応を考慮したインタラクション設計を考える上で重要である。

もう一つは人ロボット同士の相互適応を実現させ、ヒトの認知過程のモデルを構築する研究である。長田らはエージェント同士の意図推定に基づく協調行動の計算モデルを、行動決定レベルの選択というアイデアに基づいて構築している。行動決定過程として、他者意図の推定に基づく行動決定 (レベル 1) だけではなく、自身の意図を変更しないこと (レベル 0) と、「他者による自己の意図の推定」の推定 (レベル 2) を組み合わせ、これらを適切に選択するメタ戦略モデルを提案している [3]。

### 3 想定する相互適応場面

我々は人とロボットが相互適応をするための場面として、ロボットから人への意図伝達場面を想定している。この場面において、ロボットは自身の意図を伝えるための行動を人とのインタラクション中に学習し、変化させていく必要がある。ある程度機能が限定され、伝えるべき意図が限られている場面で使用するロボット

ならば、あらかじめ意図を伝える行動を組み込み、その行動が表す意図を人に覚えてもらうという設計が考えられる。しかし、人の生活空間で活躍するためには伝えるべき意図が多くなり、あらかじめ組み込むことは困難であると考えられる。また、ロボットが先に意図を伝えるための行動を決定した場合、ロボットは自身の意図が人に正しく伝わるまで同じ行動を繰り返す必要がある。意図伝達場面ではこれまで伝えたことがない意図をロボットから人に伝える場合、どのように人とインタラクションを行えば人の負担をおさえつつ意図を正確に伝えるための行動を獲得できるかを考える必要がある。

横山らは自己と他者が互いに働きかける双方向の社会的インタラクション場面はお互いに他者のモデルを持ちそれに対して心的な働きかけをすることで他者の状態を自己の目的に合うように誘導しようとする計算過程として表すことが出来るとし、これを能動的な他者意図理解と定義している [4]。

我々は実験において相互適応を行うために、ロボットへの適応を人に促す必要がある。実験協力者に対し、ロボットが何らかの意図を伝えようとしていると教示しておくことで、実験協力者はロボットの意図を読み取ろうとロボットに適応しやすくなると考えられる。また、人へ意図を伝える場面ではロボットの行動の変化によって人の適応もしくはインタラクションの形をある程度誘導できると考えている。

例えば、意図を伝えるための行動をロボットにあらかじめ組み込んでおく場合、ロボットは意図が伝わるまで同じ行動を繰り返す。人はロボットの行動が同じ意図によるものとインタラクションを通して判断する。この判断がされたとき、この後のロボットの行動に対し人はロボットの行動とロボットが伝えたい意図の対応を覚える適応を行うと考えられる。また他の設計として、ロボットが意図を伝えるためある行動をとり、それに対する人の反応から学習によって行動を変化させる方法が考えられる。この場合において、ロボットは自身の取った行動は人にどの意図として判断されるかを学習するため、人が持っていると考えられるロボットの意図を推定するための基準に沿った行動が学習できると考えられる。人の適応を促すことができ、ロボットの行動の変化によって人の適応を推測しやすくなる可能性があることから、我々はロボットから人への意図伝達場面を想定し実験を行っている。

相互適応現象を考慮したロボットの学習方法として、これまで我々はロボットの適応方法を変化させ人の変化に対応する学習方法を提案した [7]。ロボットの適応方法として人のみ適応する場合、ロボットのみ適応する場合、人とロボットの双方が適応する場合の 3 つを人とのインタラクション中に変化させる方法を提案した。

人のみ適応する場合 (レベル 0) : ロボットは自身の意図を伝えるために決められた行動をとる.

ロボットのみ適応する場合 (レベル 1) : 人の反応から人の判断基準を推定し, その推定した人の判断基準に従ってロボットの行動を決定する.

人とロボットの双方が適応する場合 (レベル 2) : レベル 1 同様, 推定した人の判断基準に従ってロボットの行動を決定する. レベル 2 ではさらに実行した行動に対する相手の学習内容を推定し, 自身の行動決定に反映させる.

ロボットがインタラクション中に自身のレベルを変化させることで相互適応現象を考慮した学習ができると考えた. そこでまずレベルごとに人の適応 (印象) に変化があるか, 学習がどのように進むか, 実験を行い確かめた. 意図ごとに行動を決定するためのロボットの学習には多変量正規分布のベイズ推定を用いた. 実験の結果, 人への意図伝達の成功率がレベル 0, レベル 1, レベル 2 の順に低くなる可能性があることが示唆された. また, レベル 2 のロボットの方が他のレベルのロボットに比べ, より人らしい印象を与えることが分かった.

## 4 研究方針

これまでの研究において, レベルごとの違いを確かめることができた. レベルの適切な変化によって, 人らしい印象を人に与えつつ学習が進むことを実験によって確かめることができれば, 相互適応を考慮したロボットの学習方法の設計という目的の一つの解を示すことができると考えらる. 相互適応現象では互いに相手のモデルを獲得し, それにしたがって自身のモデルを変化させる. しかし, 我々がこれまで提案したレベルを変化させる学習方法において明確な人のモデルというものを考慮していない. また, 相互適応現象では, 相手のモデルを獲得するだけでなく, 相手がどのように自分に適応してくるのかという適応のモデルも獲得する必要がある. これらを明確に定義した学習方法の提案を行いたいと考えている.

インタラクションの流れは図 2 のような流れを想定している. インタラクションの場面としてはロボットから人への意図伝達場面を想定している. ロボットがもつ人のモデルは自身の意図を伝えるための行動を決定するために, 人とのインタラクションによって更新する. 人もまたロボットのモデルを持っていると考えられ, ロボットとのインタラクション中に変化していくものと考えられる. 流れ図に示した「お互いに相手の更新内容を推測」が行われた場合, 相互適応の問題例としてあげたポップアップメニューの例を解決できな

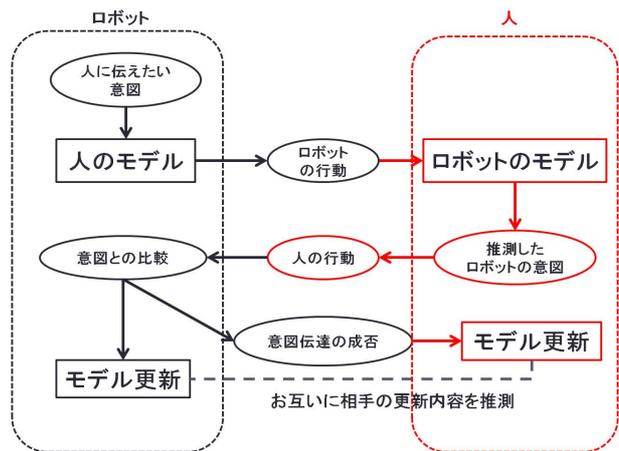


図 2: 状態遷移

い. お互いに相手の更新内容を推測する場面では, 「相手の推測」の推測」のようにどこまで相手の更新内容を推測するかを考える必要がある. この問題はインタラクションを行う者同士の推測の深さが等しい場合に起こると考えられる. そのためこの問題を解決するためには人の推測の深さと異なる推測をロボットが行う必要がある.

人のモデル及びモデルの更新についてはこれまでの研究における人の判断基準の推定結果をロボットが持つ人のモデルとすることを考えている. また, モデルの更新方法はこれまでの研究においてレベルとして分けた 3 つの学習方法から人の反応によって選択する方法を提案する. 人の推測の深さをある程度推測できれば, 上述のどこまで相手の更新内容を推測するかという問題について, 3 つの学習方法から適宜選択することで解決できると考えている. この学習方法をロボットに実装し, 実験で効果を確認することを考えている.

## 5 まとめ

本稿では, 人とロボットのインタラクションにおける相互適応現象について, 関連研究及び我々のこれまでの研究について紹介した. さらに, 本研究の目的であるロボットから人への意図伝達場面における相互適応を考慮したロボットの学習方法の提案について説明し, 今後の研究方針を示した.

## 参考文献

- [1] 山田 誠二: 人とロボットの「間」をデザインする, 東京電機大学出版局 (2010)

- [2] Takanori Komatsu, Atushi Ustunomiya, Kentaro Suzuki, Kazuhiro Ueda, Kazuo Hiraki, Natsumi Oka: experiments toward a mutual adaptive speech interface that adopts the cognitive features humans use for communication and induces and exploits users' adaptations, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol. 18, No. 3, pp. 243-268 (2005)
- [3] 長田 悠吾, 石川 悟, 大森 隆司, 森川 幸治: 意図推定に基づく行動決定戦略の動的選択による協調行動の計算モデル化, *Cognitive studies*, Vol. 17, No. 2, pp. 270-286 (2010)
- [4] 横山 絢美, 岡田 浩之, 大森 隆司, 石川 悟, 長田 悠吾: 自者と他者の双方向行動調節による社会的インタラクションのモデル化, 人工知能学会全国大会論文集 (CD-ROM), Vol. 21, 2C5-7(2007)
- [5] 山田 誠二, 角所 考, 小松 孝徳: 人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ, 人工知能学会誌, Vol. 21, pp. 648-653 (2006)
- [6] 岡 夏樹, 山田 誠二: 適応のためのインタラクション設計, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 642-647 (2006)
- [7] 高岡 勇紀, 尾関 基行, 岡 夏樹: 人とロボットの相互適応は意思疎通の成立を促進するか: 「手さし」によるロボットから人への意図伝達場面における実験的検討, 人工知能学会全国大会論文集 (CD-ROM), Vol. 27, 1M3-OS-18a-2(2013)