

サービスロボットに他者モデルは必要か？ Do Service Robots Need to Have Mental Model of Others?

日永田 智絵[†], 長井 隆行[‡]

Chie Hieida, Takayuki Nagai

[†] 電気通信大学情報理工学研究所, [‡] 電気通信大学人工知能先端研究センター

Faculty of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

Artificial Intelligence Exploration Research Center, The University of Electro-Communications

hieida@apple.ee.uec.ac.jp, tnagai@ee.uec.ac.jp

概要

本稿では、サービスロボットに他者モデルが必要かどうかを議論する。一般にサービスを提供する場合には、顧客に対する「おもてなしの心」が重要であると言われる。「おもてなしの心」は他者モデルに大きく関わっているため、サービスロボットにも他者モデルが求められると考えるのが、最も単純で直観的である。しかし、そもそも他者モデル自体が十分に解明されておらず、それをどのように実現できるかが分からない。今、サービスロボットの实用化という観点で他者モデルが必要かどうかは、明らかではない。本稿では、筆者らの他者モデルに関連する研究を概観しつつ、サービスロボットと他者モデルの関係を整理したい。

キーワード：サービスロボット (service robot), 他者モデル (mental model of others), 意図推定 (intention estimation), 感情 (emotion), 正直シグナル (honest signals)

1. はじめに

近年、ロボットが様々な場面で用いられるようになってきた。特に、公共の場におけるサービスは、タスクが限定しやすく、メンテナンスもしやすいため、今後ますますロボットの進出が期待される。ロボットの技術も格段に進歩し、身体的には様々なことができるようになってきた。本稿では、サービスロボットの例として、レストランで配膳するロボットを考えてみる。配膳ロボットは、数年前から既に中国では実際のレストランに導入され [1, 2], 日本でも最近そうした試みがいくつか見られる。配膳の仕事は基本的には食事をトレーに載せ、対象となる客のところまで移動して提供し、厨房に戻るというサイクルを繰り返すものである。人が行う配膳の場合には、より複雑なタスクや事前に想定し得ないことへの対処も含まれる。現状のロボットは、基本的にはプログラムされた動作を行

うだけであり、特に人の多いレストランのような環境で複雑な判断を要するようなタスクを高い精度でこなすことは容易ではない。一方で、食事を運んで戻るだけを考えてみても、実際にはかなり難しい問題が存在する。例えば、ビュッフェのレストランで皿や飲み物をサーブすることを考えると、非常に人の多い中をぶつかることなく移動する必要がある。問題はそれだけではない。対象となる人に食事をサーブすることはどういうことか？単に近づいてトレーの上のものを取ってもらえればよいのか？もし十分に近づけなかったらどうするのか？他の人に呼ばれたらどうするのか？もし、こぼしてしまったら？こぼした量がほんの少しだけでもだめなのか？…など、考えるときりがなく、こうした様々な問題をどのようにクリアするのか、また、タスクがより複雑になっても汎用的に問題を解決できない限り、ロボットのプログラムを無限に作り続けなければならないという悪夢から逃れることはできない。

ここで一つ重要な視点となり得るのが、他者モデルである。サービスにおいては、客の意図や目的を予測し、その予測を考慮した上でどのような行動を取るかを決めることが重要であると言われる [3, 4]。つまり、他者モデルを使ってよりよく顧客の意図を予測できれば、より良いサービスが提供できることになる。しかし残念なことに、他者モデルについては、まだその実態を含め明らかになっていないことが多い。従って、実際のサービスロボットに搭載して人のような柔軟なサービスを実現することは現状ではできない。そもそも、おもてなしの心は他者モデルによって実現されるのであろうか？こうした問いに正しく答えるために、今後の研究成果を待たなければならない。

こうした状況で、サービスロボットの普及という観点から、他者モデルが必要かどうかは必ずしも明らかではない。本稿では、筆者らのグループで行っている

他者モデルに関連する研究を概観しつつ、サービスロボットに他者モデルが必要かどうかを検討してみたい。

2. 他者モデルとは何か？

「他者モデルとは何か？」この問いに答えるために様々な研究が進められている [5]。しかしながら、この問いに完全に答えることは今のところ難しい。筆者らは、自身をドライブするモデルが分化し、他者の意図や振る舞いをよりよく予測するためのモデルが他者モデルであると考えている。つまり、自分を通して他者を見ることで、その裏に隠れた行動の意図や、未来の行動をよりよく予測するメカニズムである。物理的な法則に従う環境中の物体の振る舞いを予測するのと同じやり方では、自分と同じように心を持った存在の振る舞いを予測することは難しい。そこで人間は、自分自身を予測するモデルを他者にも適用することで、予測精度を向上させることに成功したのではないかと考える。ここで問題となるのは、そのようなことがどのようなメカニズムで実現され得るのか、そしてどのように発達するのかということである。おそらく重要なのは、ミラーシステムを基盤とした、自他の同一視による学習と、自他分離であろう。

ここでは、こうした他者モデルを解明・モデル化するために筆者らのグループで行っている試みをいくつか紹介し、そのようなメカニズムの人工物における実現可能性について考えてみる。

2.1 意図とゴールの予測

他者の意図やゴールを推定するためには、どのようなメカニズムが必要であろうか？人間は目標達成という意図によって行動すると直感的に感じるが、神経科学の研究は意図が行動の結果であることを示唆している [7, 8]。この知見に基づく、人間は最初から意図やゴールを持って行動するのではなく、環境の状況や内部の状態に応じて行動した結果からこの結果を説明するために、意図やゴールが生み出されていると考えることができる。逆に言えば、この受動的な行動決定メカニズムにより、自身の意図やゴールを推定する必要性が生まれる。そして、この自身の意図やゴールの推定メカニズムを他者へ適用することによって、他者の意図やゴールの推定とそれを考慮した自身の行動決定につながる。そのため、この受動的な行動決定こそが協調において重要な役割を持つと考えることができる。ここで、行動決定エージェントが環境状況や内部状態に応じて行動を受動的に決定するとする。この二

つの要素の組み合わせをコンテキストと呼ぶ。コンテキストは行動決定する場面に対して、それまでの環境状況や内部状態の時系列の変化の中から有効な情報を持つ表現である。この表現を学習するために、リカレントニューラルネットワーク (RNN) を用いる。RNNの学習データは、エージェントが何らかのタスクを実行する時に環境との相互作用によって得られる情報である。具体的には、エージェントが自分の行動によって知覚できる環境の状況の変化及び自分の内部状態の変化である。この情報を生成するために、まずエージェントは具体的な目標が存在しないため、報酬を未来に渡って最大化する強化学習によって試行錯誤的に行動する。そして、行動することによって得る情報を RNN を用いてモデル化することで、行動のパターンとそれに応じた環境の変化を予測することができるようになる。そうするとコンテキストに応じて行動決定や行動の結果を予測することが可能となるので、コンテキストから意図を推定し、予測する未来が目標であるということになる。文献 [6] では、強化学習の手法として Dueling Deep Q-network (DQN) と RNN の代表的な Long Short-Term Memory (LSTM) を組み合わせた意図と目標を生み出す行動学習モデルを提案している。

このモデルにより、行動の意図やゴールが隠れ層で表現された空間の中で位置づけられるため、自身の受動的な行動に対して意図やゴールを推定することができるようになる。現状ではこのような学習によって他者の意図やゴールが推定できる可能性は示したものの、実際にどのような学習によって、自身の予測と他者に対する予測が可能になるのかは明らかではない。

2.2 正直シグナル

正直シグナルをロボットに実装することで、ロボットの微妙な動きが人の無意識的な印象に影響を及ぼす可能性なども検討している [9]。これは、普段我々が対話を通して無意識に感じ取る部分に注目していることになる。例えば、対話相手の「高圧的な態度」や対話中の「重苦しい空気」といった、対話の中で自然と形成されていく部分にこそ、相手が伝えたい真の意図や目的が隠されているはずである。それらを応用することで、人とロボット円滑なコミュニケーションが実現できる可能性がある。つまりこれは、上述の意図やゴールの予測における一つの手がかりとして、正直シグナルを利用するという位置づけである。

正直シグナルとは、人間同士のコミュニケーション

で無意識的にやりとりされるシグナルのことである [11]。これらは単純な言語情報や非言語情報とは別であり、生物学的な部分に根ざしたものであるため、私達の行動に直接強い影響を与えるコミュニケーションツールである。つまり相手の話す言語や、対話相手の非言語的な行動そのものの意味はわからずとも、相手の意図や目的を理解するための主体となるものである。例えば対話中におこる「重苦しい空気」は、これらのシグナルのやりとりで生まれ、対話中の相手の感情や目的が見え隠れしている。

正直シグナルは単に一つのシグナルではなく、影響力、ミミクリ、活動レベル、一貫性と呼ばれる4つの基礎シグナルから構成されている。一つ目の「影響力」は注意のシグナルであり、主に対話相手への関心や注意レベルを測定できる。これは対話相手の発話タイミングをいかにコントロールできるかで計測する。例えば、自らの発言中、対話相手に喋らせる隙を与えない人は、その対話において影響力は高い人だと言える。二つ目の「ミミクリ」は、他人の行動や発言を反射的に模倣する度合いで計ることのできる共感のシグナルである。例えば、日常の会話の中で見られる相手にOK?と聞かれ、反射的にOK!と答えることもミミクリの一種と言える。三つ目の「活動レベル」は、動きや声の大きさから人間の興奮や関心の度合いを測るシグナルである。興味、関心あるものを目にしてはしゃぎ出す子供は、自律神経が興奮状態にあり、活動レベルが高い状態にあると言える。四つ目のシグナルは「一貫性」と呼ばれるもので、発言に対する決意の強さと精神的集中を示す。これは、声の高さや大きさなどに一貫性があるかどうかで計る。例えば相手を説得する時に自然と話し方にムラが無くなるのは、発言時に自分の思考や決意がしっかりしていることを示している。

これらの基礎シグナルは単独で使われることは少なく、組み合わされて使われることが多い。そうすることで、人間は状況に合わせて四つの役割を対話の中で無意識のうちに演じている。一つ目は「打診」である。相手の興味、関心、思考を探る態度であり、相手と相互作用を深めたい時に演じる役割である。初対面の人間と話す時、相手のことを詳しく知ろうと質問したり、それに対し相手の反応を何うような態度がこの役割にあたる。二つ目は「能動的傾聴」である。これはやりとりのほとんどを聞き手側に回す時に見られるもので、相手の情報をオープンに求める態度を指す。三つ目は「協調」で、主に相手の話や意見への支援や共感を示す役割である。四つ目は「主導」と呼ばれるも

ので、場の流れや話しの意見を自分の思うように導きたい場合に見られる。

文献 [9, 10] では、実際に人同士の対話から正直シグナルをモデルとして取り出し、そのモデルを使ってロボットにシグナルを生成させることで、人がどのように感じるかを調べている。つまりロボットは、インタラクションにおいて自分の果たすべき役割を決めることができれば、それを無意識に人が感じ取れるように振舞う（シグナルを出す）ことができる。もちろん、そうしたことが完璧にできたことを主張する実験結果が得られているわけではないが、原理的にはロボットと接する人が、無意識にロボットの役割を感じ取るようになる可能性は十分にある。

2.3 感情モデル

相手の意図やゴールを推定する上でも、自分のサービスに対する評価という意味でも、感情は非常に重要な要素である。しかしながら、ロボット研究では感情について深く扱えずにいる。それは一般に「ロボット」が感情が無い存在として考えられがちなことからも示唆される。相手の情動を推定する手法 [12] や、情動を表出する方法 [13] については、従来から研究がなされている。しかしながら、こうした研究の情動は作りこみであることが多い。作りこみでは社会的な感情の様な複雑な感情を作ることが困難であり、実際シンプルな基本情動のようなものしか実現できていない [14, 15]。しかし、ロボットが人間社会に受け入れられていくためには、相手の感情を理解・共感し、行動することが必要不可欠であり、シンプルな基本情動のようなものだけでは対応できない。

筆者らは、感情の生成モデルを提案し [16, 17, 18]、そうした感情の本質的なモデルをエージェントが持つことで共感に基づくより豊かなコミュニケーションが実現できると考えている。将来的にはこのモデルを通して、ロボットがどのように複雑な感情を持つか、相手の情動に基づいてどのように感情を変化させるか、そうした相互作用がどのようなコミュニケーションを引き起こすのかといったことを検討することができる。このことは、ロボットに感情を持たせるだけでなく、ロボットが人間の心的状態を真に理解するという意味でも必要不可欠である。これによってロボットが人の多様なあり方に寄り添い、人とロボットの双方が学習し成長していけるような関係性になることを期待している。

文献 [16] では、神経科学や心理学等の様々な分野の

文献を基に感情モデルを作成した。感情システムは、無意識のうちに起こる身体反応と、それを感情として認知するという段階に分かれており、生得的なシステムと学習により強化されるシステムが存在していると考えられる。これを踏まえ、情動を刺激によって引き起こされる身体反応のラベル、感情を行動決定のための状態に対するラベル、状態とは刺激と情動及び刺激と情動を用いた原因推論・未来予測の結果と定義し、感情モデルを構築している。また、感情の重要な役割の一つが、行動決定である。そこでこのモデルでは、行動決定を行うための大脳皮質-大脳基底核ループに対応したシーケンス学習と強化学習を導入している。

実際文献 [18] では、行動決定モジュールの実装を convolutional LSTM (long short-term memory)[19] と DDPG (Deep Deterministic Policy Gradient)[20] を用いて行い、エージェントによる母子間インタラクションタスクを行うことで、ポリシーネットワーク上に、感情に相当する表現が表象され、その分化が起きている可能性を示唆する結果を得た。このことは、エージェントの身体性や生得的な刺激に対する反応に基づいて感情が発達する可能性を示しており、サービスロボットが自身の基本的な感情に基づいて物事を判断したり、感謝や嫉妬など社会的な感情を持ち得ることを意味している。

3. 他者モデルは必要か？

3.1 他者モデルへの期待

こうした技術は、レストランロボットが客の身になって意図を予測し、先回りしたサービスをするというほどに進展しているわけではない。しかし、研究が進むことで、サービスロボットにおける本質的な問題が解決するかもしれないという期待がある。例えば、前章で紹介した研究が仮にうまく機能して統合できたとすると、理想的には次のような振る舞いが期待できる。

そのロボットは、経験を積むことで成長することができる。最初は外的な報酬やホメオスタシスなどの報酬や模倣によって、様々な経験をする。意図やゴールは常に後付けであり、何かの目標を持って行動することはない。徐々に行動に関するモデルが学習されると、予測に基づいて行動を計画できるようになる。やがて、他者を自分から分離することでより予測の精度が向上し、他者との協働を通してうまく行動することができるようになる。つまりは、自分の行動による結果や、それに伴う他者の心的状態の予測が可能となる。やがてはサービスの本質的な意味を理解し、自分の振る舞

いによって顧客がどのように感じるかを自身のモデルを使ってシミュレートできる。こうなればこのサービスロボットは、自身の判断で様々なサービスをこなすことが可能である。

一方で、本当に他者モデルは必要であろうかという疑念もある。それは、上述のようなサービスロボットが実現されるまでの道のりが遠すぎるという問題だけでなく、本当にそこまでのものを作る意味があるのかという疑念である。本稿で考えたい重要なことは、むしろその点にある。そもそも「おもてなし」とはどのようなことか？

ここで、レストランの配膳ロボットが人をよけて移動することを想像してみる。タスクとしては人にぶつかることなく、またトレーの上の食事をこぼすことなく移動できればよい。この時に例えば、わざと大きくよけて低い姿勢を取ると、顧客の気分をよくすることができるかもしれない。この行動は、「おもてなし」として本質的なものであろうか？それでは、お客さんと接しないレストランでの掃除はどうか？人がそうした状況で掃除を行う際には、そのレストランで食事をするお客さんを思い浮かべながら、心を込めて掃除をすることが「おもてなし」なのかもしれない。iRobot 社のコリンアングルは、講演で究極の掃除ロボットについて次のように述べていた。「究極の掃除ロボットの姿は、人から見えないものである」。つまり、きれいであることが重要であり、だれがどのように掃除したかは関係がない。こう考えると、これから先のサービスロボットに他者モデルが必要かどうかを考える上で、二通りが考えられる。

3.2 おもてなしの演出

一つは、直接人とインタラクションが必要もしくは、客の目に触れるロボットである。この場合、サービス自体の質よりもむしろ、心的状態を考慮して振舞っていることに気づいてもらうことが重要であり、これはある意味、サービスの演出である。このサービスの演出が、そのロボットの価値を高める可能性がある。

ここで筆者らのグループが行った、関連する研究をもう一つ紹介したい。この研究は、ロボットが子どもとの遊びを通していかに関係性を構築できるかというものである [21]。このロボットは、子どもとトランプをして遊ぶのであるが、単にルールに従って相手をするのではなく、子どもの様子をうかがいながら、より楽しくなるよう行動を選択する。例えば、わざと間違ったカードを選択したり、少し動きのスピードを変

えてみたりする。また、飽きている様子が見られれば違う遊びを提案したりする。こうした、ある種の他者モデルを持ったロボットを設計し、実際に子どもと遊ばせることで、非常に興味深い現象に遭遇した。それは、子どもの視線に明確に表れる。他者モデルを持ったロボットと遊んだ子ども達は、ロボットの顔を頻繁に見るが、そうでない淡々とゲームをするロボットと遊んだ子ども達は、次第にロボットの顔を見なくなったのである。ロボットが自分のことを考えてくれているという「おもてなしの心」を感じることで、子どもはロボットを顔色をうかがう価値のある存在であると認めたのである。逆に単なるゲームロボットの顔色をうかがう必要はない。なぜなら、そのロボットの行動は、ゲームの状況のみによって決まり、心的な予測は全く無意味である。心を持った存在であると感じたロボットの顔を見ようとしているところが、興味深い所でもある。これは、相手の心の内を予測するためには、やはり顔を見るのが一番であるという無意識の行動であると考えられる。

子どもの遊びとサービスは、大きく違うようでありながら本質的には共通することが多い。この研究で筆者らが学んだのは、相手を思う気持ちがその振る舞いにシグナルとして現れ、そのシグナルを無意識に相手が受け取ることが重要なことである。

3.3 消えゆく実態

二つ目は、直接インタラクションしないロボットであり、この場合、上記の理屈からすると、他者モデルは必要とされない。むしろ、大量のデータで行動を学習することで、高い精度でタスクを実行すればよい。他者を物と同一視して行動を計画しても、全く問題がない。サーブする側の「おもてなしの心」は、他者のことを最大限に考えて奉仕しているという、自身に対する一つの自己肯定感であり、それがその人の仕事の質の向上に直接的につながっていると考えられることのできるであろう。自己肯定感の必要のないロボットにとって、こうした仕組みが必要である理由はなく、むしろ、全く人に気づかれない世界で黙々と正確に仕事をこなすのがあるべき姿である。他者モデルが必要であるとすれば、他者の意図やゴールをより良く予測して、自身のタスクの精度を上げることができるとある。これは道具としてのAIやロボットとしては当然の帰結かもしれない。

こうした人からは直接的に見えないロボットは、これからの社会で増えていくように思われる。そうした

ロボットに他者モデルが不要かどうかを、別の視点から再度考えてみたい。実はここまでの議論は、ロボット側の問題ではなくむしろ我々人間側の問題である。「おもてなしの心」とは、実態はなくともその存在と献身的な心を感じることであり、それはサービスを受け取る側に存在する。これは、エントロピー減少の裏に潜む力とその理由を予測してしまう人間の性でもあり、どのようなロボットであるかには全く関係がない。そしてロボットが、顧客のことを全く考えなくとも成立する。子どもと遊ぶロボットの例も当然のことながら、ロボットが本当に子どものことを思っているわけではない。それでもなお、成立させることができたのは、遊びというドメインの限定が主な理由である。つまり子どもの振る舞いをモデル化し、ロボットの振る舞いを比較的容易にデザインできたことが重要なポイントである。

こう考えると、もう一つ、ロボット側の問題が重要になってくる。ロボットが状況に柔軟に対応して、複雑な仕事をこなすことができるかどうかという問題である。これは中国語の部屋問題でもある。つまり、理解のできない言語に対応するための膨大な手順書が存在しなければ、部屋の中の人間が正しい答えを出すことができないのと似た問題である。複雑な仕事を完璧にこなすための手順書を用意することは、実質的には不可能である。またロボットには、今性のような時間的な制約があり、その中で手順書に従ってタスクを正しくこなすのは至難の業であると考えられる。こうして考えてみると、他者モデルが必要な理由は、むしろロボットが柔軟にタスクをこなせるか否かの問題であり、それがおもてなしの心であるかどうかは、ひとえに人間側の想像力の問題である。

4. おわりに

今後のエージェント技術を考える上で、他者モデルは重要なキーワードになると考えられる。本稿では特に、サービスロボットという視点で、他者モデルの必要性を議論した。サービスロボットは実世界では様々な場面で用いられる可能性があり、こなすべきタスクによって、求められるものが異なる。中でも、人との直接的な関わりの有無がサービスロボットの性質を分ける要素であると考えられる。しかし結果的には、いずれの場合も「他者モデル」を持つことは有用であり、それなしで本当の意味で使えるサービスロボットを実現することは難しいと考えられる。これは、他者モデルによる意図や行動の予測がサービスの本質であるためであり、ある意味当然の帰結でもある。今後エー

ジェント技術が実用化，さらに普及するためには，他者モデルの構築は重要なポイントとなると考える．さらに言えば，エージェントが人間の世界に溶け込み，人と共存関係を築くためには，他者モデルを持つことが必須になるのではないと思われる．

文献

- [1] 裴雅超, 長井隆行, "実レストランにおけるロボットナビゲーション実験," 第34回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2016AC3G2-02, 2016
- [2] 日経ロボティクス, 中国で急速に普及するレストラン向けサービスロボ, pp.10-12, 2017.01
- [3] 渡部啓子, 接客サービスの超基本, 同文館出版株式会社, 2007
- [4] 福島規子, "配慮行動から生成されるハイコンテキストとサービスの基礎の研究", サービスロジー, 1/4, pp.14-19, 2015
- [5] 植田一博, 小野哲雄, 今井倫太, 長井隆行, 竹内勇剛, 鮫島和行, 大本義正, "意思疎通のモデル論的理解と人工物設計への応用", 人工知能学会誌, vol. 31(1), pp.3-10, 2016
- [6] ゲンアントゥアン, 日永田智絵, 長井隆行, "人とロボットの協働に向けた意図の生成と共有のモデル化", 第31回人工知能学会全国大会, 2017
- [7] Libet B et al: Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential), The unconscious initiation of a freely voluntary act. Brain 106, pp.623-642, 1983
- [8] Haggard, P.: Conscious intention and motor cognition, TRENDS in Cognitive Sciences 9(6), pp.290-295, 2005
- [9] 片上祐介, 阿部香澄, Attamimi Muhammad, 長井隆行, 中村友昭, "階層ディリクレ過程隠れマルコフモデルを用いた正直シグナルのモデル化", HAI シンポジウム, 2015
- [10] M.Attamimi, Y.Katakami, K.Abe, T.Nagai, T.Nakamura, "Modeling of Honest Signals for Human Robot Interaction", ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2016
- [11] A.Pentland, HONEST SIGNALS -How They Shape Our World-, The MIT Press, 2008
- [12] R.Picard, Affective Computing, The MIT Press, Cambridge, 1997
- [13] C.Breazeal, Designing Sociable Robots, The MIT Press, Cambridge, 2002
- [14] N.Masuyama, C.K.Loo, "Robotic emotional model with personality factors based on Pleasant-Arousal scaling model", IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 19-24, 2015
- [15] J.Woo, J.Botzheim, N.Kubota, "Verbal conversation system for a socially embedded robot partner using emotional model", IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp.37-42, 2015
- [16] C.Hieida,T.Nagai, "A Model of Emotion for Empathic Communication", ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2017
- [17] C.Hieida, T.Horii, T.Nagai, "Decision-Making in Emotion Model", ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction, 2018
- [18] C.Hieida, T.Horii, T.Nagai, "Emotion Differentiation based on Decision-Making in Emotion Model", IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication, 2018
- [19] S.Xingjian, Z.Chen, H.Wang, D.-Y.Yeung, W.-K.Wong, W.-C.Woo, "Convolutional LSTM network: A machine learning approach for precipitation now-casting", in Advances in neural information processing systems, pp.802-810, 2015
- [20] T.P.Lillicrap, J.J.Hunt, A.Pritzel, N.Heess, T.Erez, Y.Tassa, D.Silver, D.Wierstra, "Continuous control with deep reinforcement learning", arXiv preprint arXiv:1509.02971, 2015
- [21] 阿部香澄, 岩崎安希子, 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, "子供と遊ぶロボット: 心的状態の推定に基づいた行動決定モデルの適用", 日本ロボット学会誌, 31(3), pp.263-274, 2013