

C-05

抽象的な言葉によるロボットへの動作教示：教えやすさの

実験的検討

Abstract Instructions to a Robot: Experimental Study on Teachability.

坂本 裕太† 荒木 修† 植村 竜也† 更谷 健† 本多 透†
Yuta Sakamoto Osamu Araki Tatsuya Uemura Ken Saratani Toru Honda

尾関 基行† 岡 夏樹†
Motoyuki Ozeki Natsuki Oka

1. はじめに

近年、様々な分野でロボットが活躍ははじめ、日常生活で活躍する知的ロボットの出現も期待されている。しかし、実用に耐えうる知的ロボットを一から人手でプログラミングすることは困難であり、未だ実現できていない。実用的であるためには、常に新しい情報を取り入れ環境に適応していくことが必要であり、学習機能は必須となる。さらに、どのような環境であっても効率良く学習できることが望ましい。我々は、環境に応じてロボットが自律的に動作を学習し変化させるだけでなく、人がロボットに動作を教えることで、より効率良く学習できると考えた。

しかし、ロボットに動作を教える際、マニュアルを見ながら数値を変更したりして教えるといったやり方では、専門の知識を持った人でないとできない。例えば、知的ロボットの応用先として期待されている介護の現場では、お年寄りであってもロボットに動作を教えることができる必要がある。ロボットの扱いに不慣れな人やコンピュータが苦手な人でも簡単に動作を教えることができるようにするためには、人とロボットの自然なやり取りによって動作を教えることができなければならない。そこで我々は、日常会話の中で使われる、抽象的な言葉に注目した。例えば、人が動作を教えるとき、「右手を上げて、もっと速く動かして」といった教え方だけでなく、「右手をふんわりと上げて、てきばき動いて」などといった教え方もする。このような抽象的な表現は、明確な動作そのものを教えるときではなく、少し動作の印象を変えたいといった微妙な教示で起こる。動作の印象は、動作の終端速度や動作全体の速さ、腕の振り方などの動作軌道、一つ一つの動きのリズムなど（これらを動作特徴と呼ぶ）の違いにより変化する。

本研究では、抽象的な言葉を用いてロボットに動作を教える手法を提案し、教えやすさに対する評価実験を行った。これにより、ロボットに抽象語を用いて教示を行うための課題を明らかにすることを目指す。

本論文では、2章で関連研究について述べ、3章で本研究で用いる動作特徴と、抽象語を動作特徴に対応付け

†京都工芸繊維大学

Kyoto Institute of Technology

るための学習システムを説明し、4章で実験方法について説明する。5章では、結果をまとめ考察を行い、6章で今後の展望について述べる。

2. 関連研究

ここでは本研究と関連の深い、田中らの研究[1][2]について説明する。田中らは、ロボットが人との自然なインタラクションを通じて適応していくために、「ロボットが行動を決定してから実行するまでの遅延時間」(以下、実行遅延)に着目した研究を行っている。田中らは、

- (1). 使用者にとってロボットの望ましい行動(学習目標)が明確に定まっており、短期的なインタラクションを通してその望ましい行動を学習する状況。
- (2). 予め学習目標が定まっているわけではなく、長期的なインタラクションを通して望ましい行動がどのようなものであるかが決まり(人だけでなくロボットも主体的に行動する中で、望ましい行動が決まってくる)、それに適応していく状況。

の2つの状況を区別し、(1)の状況において、変化条件(実行遅延を変化させる)は固定条件(実行遅延を変化させない)よりも学習効率が良く、人に教えやすい印象を与えることを明らかにした。また、人の指示を待たずに即座に行動し、多様な行動を行う方が人は生き物らしいと感じることも示した。

3. 抽象的な言葉によるロボットへの動作教示

本章では、動作の印象を変化させる動作特徴について述べ、また、本研究で用いる抽象的な言葉と動作特徴を対応付けるための学習システムについて説明する。

3. 1 動作特徴

動作と人に与える印象の研究は多数行われている。林らの研究[3]では、ものの差し出し動作から3つの感情(平静、親しみ、怒り)についての動作特徴を抽出し、抽出した動作特徴をアニメーションにより実装し評価を行った。

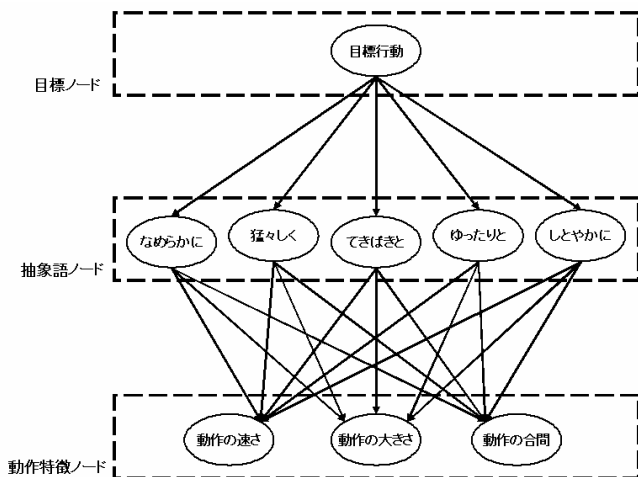


図1：実験用ベイジアンネットワークモデル

また、舞踊学の分野でも、舞踊動作において特定の印象語対に關係する動作を明らかにした研究がある[4].

これらの研究から、動作全体の速さや、動作軌道、一つ一つの動きのリズムなどが、動作から受ける印象に深く関係していることが分かる。本研究では、抽象的な言葉と対応付ける動作特徴として、制御を行う上で調整のしやすい、“動作の速さ”、“動作の大きさ”、“動作の合間”を選んだ。

3. 2 ベイジアンネットワーク

本研究では、抽象的な言葉と動作特徴の関係を、ベイジアンネットワーク[5] (Bayesian Networks: 以下 BN とする) を用いて対応させた。BN は複数の確率変数間の定性的な依存関係をグラフ構造によって表す、グラフィカルモデルの一種であり、確率変数間の条件付独立性を非循環有向グラフによって表現する。グラフのノードが確率変数を、ノード間のアークが確率変数間の依存関係を表す。アークの元のノードを親ノード、アークの先のノードを子ノードと呼ぶ。ノード間の依存関係の強さを条件付き確率により表す。

3. 3 本研究で用いた BN モデル

図1に本研究で用いた BN グラフを示す。ネットワークは3層で構築され、目標ノードはロボットの目標となる行動を表し、抽象語ノードは対応する抽象語が教示として与えられる確率を表し、動作特徴ノードは対応する動作特徴の値を表す。動作特徴の値は、“動作の速さ”で5段階、“動作の大きさ”で3段階、“動作の合間”で4段階と、等間隔に離散化し、値が大きくなるほど、動作が“速く”、“大きく”、“合間が長く”なるようにした。

ロボットは、目標ノードによって定められる目標行動と抽象語との条件付確率を、与えられた抽象語による教示により変化させる。抽象語ノードの条件付確率の変化

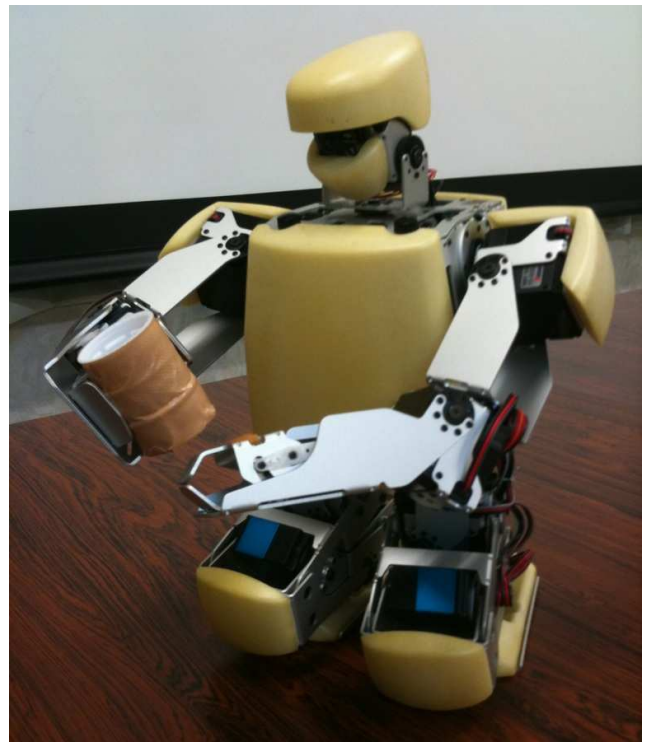


図2：実験で使用したロボット

の影響が、動作特徴ノードに伝播することで動作を調節することを可能にする。

今回、簡単のため、抽象語ノードと動作特徴ノード間の条件付確率は事前に予備実験を行い学習させ、本実験中は目標ノードと、抽象語ノード間の条件付確率のみを更新するようにした。

4. 実験

本研究で行った実験の概要を説明する。本研究では、動作を学習するためのロボットとして Robovie-PC (図2) [6]を用いた。お茶を差し出す動作について、目標となる動作特徴になるよう被験者に教えてもらう実験を行った。次節以降、事前に学習させた抽象語ノードと動作特徴ノード間の条件付確率の説明を行い、続いて本実験の内容と評価に用いたアンケートについて説明する。

4. 1 予備実験：抽象語と動作特徴との対応付け

予備実験により学習した抽象語ノードと、動作特徴ノード間の対応付けについて説明する。予備実験は被験者にビデオで、動作特徴パラメータの組合せ(動作の速さ5段階、動作の大きさ3段階、動作の合間4段階の計60パターン)を変え、それぞれ、図1にある抽象語に対して、動作から抽象語のイメージを感じるかどうかのアンケートを行い、アンケートの結果を学習データとした。このとき、ビデオで見せる動作特徴の順番はランダムにした。この実験により、例えば、動作の速さが1段階目、動作の大きさが2段階目、動作の合間が1段階目のとき、“なめらかに”でかつ、“ゆったり”しているという印象を受けた場合、速さ：1、大きさ：2、合間：1、なめらかに、ゆったりと：感じる、猛々しく、てきぱきと、しとやかに：感じない、といったデータが得られることになる。

死んでいる	1	2	3	4	5	生きている
教えにくい	1	2	3	4	5	教えやすい
嫌い	1	2	3	4	5	好き
無能な	1	2	3	4	5	有能な
親しみにくい	1	2	3	4	5	親しみやすい
固定的な	1	2	3	4	5	適応的な
活気のない	1	2	3	4	5	生き生きとした
覚えが悪い	1	2	3	4	5	飲み込みが早い
不親切な	1	2	3	4	5	親切な
無知な	1	2	3	4	5	物知りな
受動的な	1	2	3	4	5	自発的な
機械的な	1	2	3	4	5	有機的な
わがままな	1	2	3	4	5	従順な
不愉快な	1	2	3	4	5	愉快的な
気ままな	1	2	3	4	5	真面目な
人工的な	1	2	3	4	5	生物的な
無責任な	1	2	3	4	5	責任のある
優柔不断な	1	2	3	4	5	即決即断な
不活発な	1	2	3	4	5	対話的な
知的でない	1	2	3	4	5	知的な
無関心な	1	2	3	4	5	反応のある
ためらいがちな	1	2	3	4	5	きっぱりした
ひどい	1	2	3	4	5	良い
愚かな	1	2	3	4	5	賢明な

図3：評価アンケート項目

以上の実験を7人の情報系の大学生・大学院生（20代の男性6名、女性1名）に対して行い、本実験で用いるBNの条件付確率表を学習させた。

4.2 本実験：抽象的な言葉による教えやすさの検討

本研究では、抽象的な言葉による教えやすさを検討するため、抽象語のみで教える場合と、動作特徴を直接指示する場合と2つのパターンで被験者にお茶を差し出す動作を教えてもらった。それぞれ教える時間は10分間とし、ビデオで目的となる動作特徴の動作を被験者に見せ、それと同じ動作になる様に、ロボットに動作を教えてもらった。このとき、ロボットの動作がビデオの動作と一致したかは、被験者の判断に任せ、被験者が一致したと判断すれば、次の異なる動作特徴をもつ動作を教えてもらうようにした。

4.2.1 抽象的な言葉による教示方法

抽象的な言葉を用いて教示する方法について説明する。被験者には、GUI上に、本実験で使用する5つの抽象語（図1参照）に対応したボタンが表示されているので、それを用いて、ロボットに指示を与えてもらうようにした。指示は一度に複数種類与えることも可能にした。

被験者はロボットの動作を見て、抽象語による指示を与えるというサイクルを繰り返してもらい、ロボットに動作を教えてもらった。

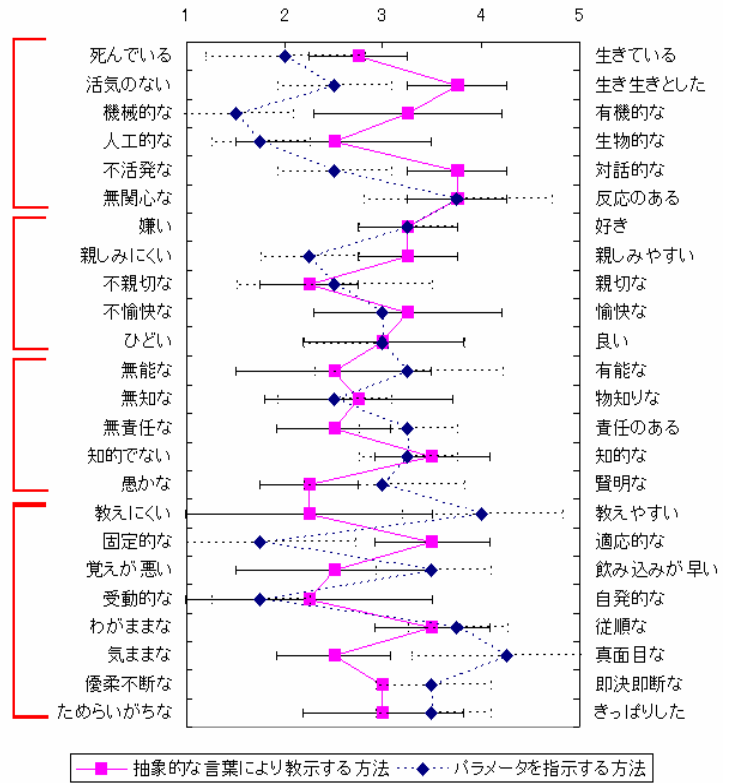


図4：抽象的な言葉による教示方法のアンケート結果

4.2.2 動作特徴パラメータを直接指示する方法

動作特徴を直接指示する教示方法について説明する。被験者には、現在の各動作特徴パラメータの値が情報として与えられ、その値と、ロボットの動作を見ながら、パラメータの値を変え、目標となる動作になるように教えてもらった。各動作特徴の値は、BNの動作特徴ノードと同じで、“動作の速さ”が5段階、“動作の大きさ”が3段階、“動作の合間”が4段階である。

4.3 評価アンケート

本実験の評価には、田中の、ロボットの教えやすさに対する評価アンケート（図3）[1]を用いた。これはSD法によるアンケートで、Bartneckのロボットに対する人の印象を測るためのアンケート[7]を基に作成したものである。2回の実験後、それぞれの教示方法について、図3のアンケートに回答してもらった。また、この実験に対する感想も自由に記入してもらった。

5. 結果・考察

被験者は4名でいずれも、情報系で20代の大学生・大学院生である（男性2名、女性2名）。実験順による影響を考慮して、先に抽象語により教示する方法から行う人と、先に動作特徴パラメータを直接指示する方法から行う人との割合は等しくなるようにした。

抽象的な言葉で教示する方法と、動作特徴パラメータを直接指示する方法それぞれについて、4人の被験者の評価結果を図4に示す。図4の実践は抽象的な言葉で教示する方法について、破線は動作特徴パラメータを直接指示する方法についてのアンケート結果の平均値と標準偏差を示したものである。

教えやすさの各項目に注目すると，“教えやすい”の項目について，4人中3人が，パラメータを直接指示するほうが教えやすいという結果となった．この様な結果になった原因として，イメージしやすい抽象語としにくい抽象語があるのではないかと考える．これは，パラメータを直接指示するほうが教えやすいとした人から共通して，抽象語からどのような動作になるかのイメージがつかみづらい，という感想が得られたのに対し，抽象語で教えるほうが教えやすいとした被験者からは，抽象語の方が直感的に教えられるという逆の感想が得られたからである．また，今回の実験では，指示するパラメータ数が3つと，少ないため，ロボットの動作とパラメータの対応が理解しやすいことも，原因だと考えられる．

他に，注目すべき結果として，抽象的な言葉で教えるほうが，パラメータを指示するほうにくらべて，生き物らしいと感じる．という結果と，パラメータを指示するほうが教えやすいとした被験者から，感性的に，あるいは，精密に教えなくて良いときは，抽象的な言葉を用いて教えるほうが向くが，今回のように，ビデオの動作にきちんと合わせようとするとうかかないといった感想が得られた．という結果が挙げられる．以上の結果について，2章で説明した関連研究とからめて考察を行う．今回の実験設定は，2章で説明した，(1)の状況（学習目標が明確に定まっている）に該当するものであるといえる．田名らの研究では(1)の状況において，変化条件は固定条件よりも学習効率が良く，人に教えやすい印象を与えるという結果と，人の指示を待たずに即座に行動し，多様な行動を行うほうが人は生き物らしいと感じる．という結果が出ている．まとめると，本研究の，A) 抽象的な言葉による教示と，B)パラメータを直接指定する方法，と田中らの研究の C)遅延時間を変化させる方法，と D)遅延の無い即座の行動をとる方法について，A)と D)の条件で人はロボットを生き物らしいと感じ，B)と C)の条件で人はロボットに対して教えやすい印象を持つ．という様に，同様の効果を持つことが分かる．特に B)と C)について，C)の遅延時間を変化させる方法では，アンケートの結果で人は，“教えやすい”という点意外でも，“固定的な”，“受動的な”，“真面目な”という印象を受けたという点も共通しており，これらの項目が生き物らしさの印象に深く関係しているのではないかと推測できる．

また，パラメータを一つ一つ指示するのは面倒だという感想と，反対に，細かく指示できるのが好いという感想が得られたことから，ロボットに動作を教える場面に応じて，抽象語により教える方法と，パラメータを直接指示する方法とが使い分けられると便利ではないかと考えられる．

6. おわりに

本研究は，専門の知識を持たない人でも，ロボットに動作を教えることを可能にするために，抽象語に注目し，抽象語でロボットに動作を教えられるようにするための課題を明らかにすることを目的とした．評価実験の結果から，今後取り組むべき課題として，

- 今回は2章で説明した(1)の状況（目標が明確に定まっている状況）でしか実験を行っておらず，

さらに，被験者から「感性的に教える方法には適しているが，明確な目標を教える場合には向かない」という感想が得られていることから，(2)の状況（予め学習目標が定まっていない状況）において，同様の実験を行う．

- 前節の A)と D)，B)と C)に共通の性質があるのかを明らかにする．
- ロボットがどのような動作をするかイメージのしやすい抽象語を検討する．

が挙げられる．将来的には，抽象的な言葉を用いて教える方法と，パラメータを直接指示する方法とを組み合わせる手法についても取り組みたい．

謝辞

本研究は科研費(20300037)の助成を受けたものである．

参考文献

- [1] 田中一晶，尾関基行，荒木雅弘，岡夏樹，“ロボットへの教示場面における「間」の重要性：ロボットの行動の遅れは学習効率を向上させ教えやすい印象を与える”，人工知能学会論文誌，Vol. 25, No. 6, 2010, in press.
- [2] 田中一晶，岡夏樹，“人-ロボットインタラクシオンにおける「ためらう」ロボットの実験的評価”，HAIシンポジウム2008，2B-2，6 pages
- [3] 林弘子，宮本博幸，“感情の伝わる動作起動の検討”，信学技報，Vol.102，No.594，pp.13-17，2003
- [4] 沼口直紀，中澤篤志，竹村治雄，“印象語による舞踊動作データの分類法”，情報処理学会研究報告，Vol.2009-CVIM-167，No.35，pp.1-6，2009
- [5] 本村陽一，“ベイジアンネットワーク．”，信学技報 NC，2003-38(2003):25-30
- [6] Robovie-PC，<http://www.vstone.co.jp/robot/roboviepc/>
- [7] Bartneck, C., Kulić, D., Croft, E., and Zoghbi, S.: Measurement Instruments for the Anthropomorphism, Animacy, Likeability, Perceived Intelligence, and Perceived Safety of Robots, International Journal of Social Robotics, Vol. 1, No. 1, pp. 71–81 (2009)