

平成21年 5月31日現在

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2005～2008
 課題番号：17500093
 研究課題名（和文） 3項間インタラクションを通じた認知発達メカニズムの構成的解明
 研究課題名（英文） A constructive elucidation of the mechanism of cognitive development through the triadic interaction
 研究代表者
 岡 夏樹 (OKA NATSUKI)
 京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・教授
 研究者番号：20362585

研究成果の概要：人がロボットを誘導する場面において、一定時間、人の発話がないことを肯定的な評価と捉えて利用することにより、誘導する言葉の意味の学習が加速できることを明らかにした。また、人がエージェントを誘導する場面において、繰り返しに注目して音声から意味を付与すべきフレーズの候補を切り出し、共起性や確率計算に基づいてフレーズの機能的な意味（聞き手にどのような影響を与えるか）の学習が可能であることを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	1,300,000	0	1,300,000
2006年度	600,000	0	600,000
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,400,000	450,000	3,850,000

研究分野：人工知能・機械学習

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：(1) 機械学習 (2) 認知科学 (3) 人工知能 (4) 知能ロボティクス
 (5) エージェント

1. 研究開始当初の背景

情報ネットワーク技術の急速な高度化に伴い、複雑化する機器を使いこなしてそれを利用できる人と、そうでない情報弱者の間の格差（デジタル・ディバイド）が現実問題となってきた。本研究を通じて、情報弱者でも使いこなすことができる機器の実現につながる、インターフェイスの基本技術を創出し、デジタル・ディバイドの解消に貢献したいと考えた。

当時、教えることを目的とした場面でなく、日常生活（本研究では特に遊びの場面に注

目）の中での学習・発達の実現を目指す研究は少なかった。また、社会的インタラクションの意味は、状況や個人に個別的であり、一般的な記述が難しいため、これを自動獲得させる意義は大きいだが、この獲得を目指す研究も少なかった。

2. 研究の目的

「人」－「人または発達システム」－「環境」の3項間インタラクションを通じた認知発達メカニズムを、以下の2段階に分けて、構成的に解明する。

- (1) 研究の第1段階：日常生活の個々の場面における学習メカニズムの解明
- (2) 研究の第2段階：統合された自己創出的な発達メカニズムの解明

3. 研究の方法

- (1) 研究の第1段階（日常生活の個々の場面における学習メカニズムの解明）

ボール遊び、手遊びなどの日常的な遊びの場面を設定し、人工発達システムがそこで人と遊ぶことを通して、言語を含む社会的インタラクションの仕方を、個々の場面において独立に獲得することを目指す。ここでは、仮想空間内でのエージェントと人とのインタラクション、および、実空間内での単純なロボットと人とのインタラクションの双方を並行して取り上げる。言語獲得については、言葉の社会的な働き（相手にどんな影響を与えたいか）の獲得に焦点を当てる。

- (2) 研究の第2段階（統合された自己創出的な発達メカニズムの解明）

獲得した知識が次の知識の獲得を促進するという、知識の自己創出的な獲得メカニズムを構成的に解明する。具体的には、第1段階の各場面で獲得した知識が、他の場面の学習をも促進し、しだいに高度な学習が可能になることを目指す。モジュールの組換えを基本操作とする計算機構を構築し、組換えの制御に対応する表象を獲得させることで高度な学習を可能にする。

4. 研究成果

- (1) インタラクションの相手から発せられる暗黙的な情報を利用した学習の加速

日常生活の場におけるロボットは、あらかじめ登録された言葉だけでなく、人が自由に発話した、人により異なる言葉で与えられる指示も学習して利用できるようになることが望ましい。また、人がロボットの一挙手一投足の全てを明示的に評価することは現実的ではないため、ロボットは人の自然な振る舞いの中に含まれる、暗黙的な情報を利用して学習できることが重要となる。我々は、そのような情報の一つとして、ロボットが行動を始めてから一定時間人の発話が無いことを肯定的な評価と捉える No News 規準 (NNC) を提案し、この規準を用いて言葉の意味が効率良く学習できることを明らかにした。

図1に、学習速度の比較実験の代表的な結果の一例を示した。アルゴリズム1とアルゴリズム2の比較により、明示的な評価教示が利用可能な場合、NNCによって学習が加速されることが分かる。また、アルゴリズム3と初期状態の比較により、明示的な評価教示が利用できない場合、NNCだけで学習が可

能なことが分かる。

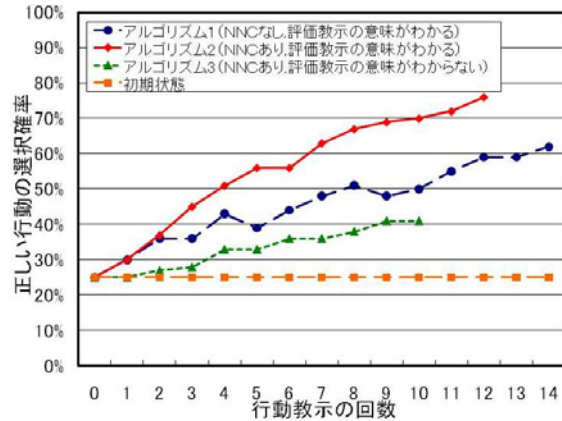


図1 NNCの有効性を示す学習速度の比較実験結果の一例

さらに、様々な条件下における誘導教示の意味学習実験を実施し、その結果を分析することで、1) 一つの動作の継続を指示する言葉の意味を学習する場合に NNC が特に有効に働くこと、2) NNC の判定基準とする時間は、明示的な評価と併用する場合は短めに、NNC のみを利用する場合は長めに設定することで NNC がより有効に働くことを示した。

- (2) 自然な音声発話からの語候補の切り出しと語候補への意味づけ

人がエージェントを誘導する場面において、繰り返しに注目して音声から意味を付与すべきフレーズの候補を切り出し、共起性や確率計算に基づいてフレーズの機能的な意味（聞き手にどのような影響を与えるか）の学習が可能であることを示した。

迷路内のエージェントを音声で自由に誘導するタスクを設定し、そこでのインタラクションを通じて誘導教示の意味を獲得するアルゴリズムを提案した。自由発話からの学習では、誤りを含み、頻度に偏りがある、多種類の少数データからの学習が求められる。本研究では、Fisher の直接確率計算法を用いることにより、そのような性質を持つデータの中から、共起頻度が有意に高い言葉と状況（意味）の対を精度良く見つける方法を提案した。

ここで状況とは、「次にとるべき行動は上/下/左/右への移動である」「直前の行動は適切/不適切であった」の6種類を想定した。対応づけのために、周辺度数（ある言葉の度数やある状況の度数）から特定の組度数（ある言葉とある状況が共起する度数）のパターンが得られる確率を、Fisher の直接確率計算法を用いて算出する。この確率が小さいということは、ある言葉とある状況が特異な共起関係にあることを示すため、この確率が

小さい程、その言葉の意味がその状況と対応する可能性が高いというのが、本アルゴリズムの基本的なアイデアである。

本研究において提案した学習アルゴリズムと、先行研究で用いられた学習アルゴリズムとを、インタラクション実験により収集したデータに適用し、その学習性能を比較検討した。実験結果を図2に示す。図2は、先行研究のアルゴリズム（鈴木らのアルゴリズム）と、提案アルゴリズム（6通りのパラメータ設定）の学習精度を比較したものであり、実験協力者DやEの場合のように学習データがある程度多くなれば、提案アルゴリズムの正答率はパラメータの変化に対してロバストになり、安定して先行研究のアルゴリズムの正答率を上回る傾向があることが分かる。

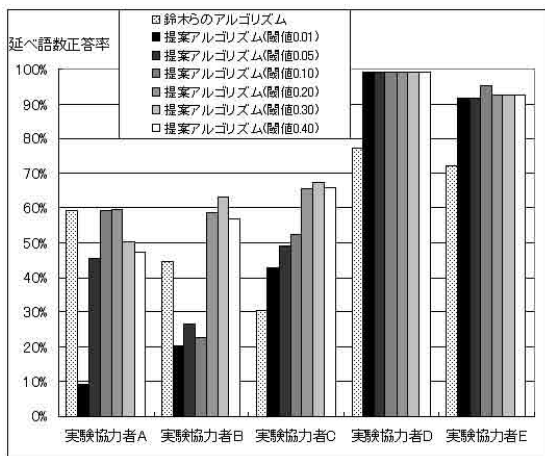


図2 提案アルゴリズムと先行研究のアルゴリズムの学習精度の比較

(3) 人とロボットの間インタラクションを通して、段階的に発達するメカニズムの提案と実装

人と大型ロボットが、人とペットのようなインタラクションを行う場面において、そのインタラクションを通じて、生き物のように感じられる学習を行うシステムを構築し、特に、ロボットの感情表出のタイミングがユーザとのインタラクションに与える影響について評価した。

つづいて、人とロボットが日常的な遊びをする場面において、人がロボットの学習の足場を次々に与えていく **scaffolding** (足場づくり) に注目し、「基本的なインタラクションの仕方の獲得が、さらに次の高度なインタラクションの仕方の獲得を促進する」ことを実現するメカニズムの一部をロボットに実装した。このロボットと人とのインタラクションの様子の観察・分析により、**scaffolding** が実際に生じ、その一部をロボットが利用できることを示した。

さらに、人とロボットがインタラクションする場面において、ロボットの応答遅れ時間を、ロボットの学習の進行度に合わせて制御することにより、学習速度が向上し、教えやすさの印象も良くなることを実験的に示した。

(4) モジュール組換えアーキテクチャの提案と評価実験

車輪移動ロボットが人とのインタラクションを活用して目標動作を獲得する場面において、ロボットが自律的に獲得した知識と、人とのインタラクションを通してアドバイスに基づき獲得した知識を統合する方式を検討し、ニューラルネット・モジュールの組換えを基本演算とする計算機構上で基本部分を実装した。評価実験を実施し、環境が変化する場合でもアドバイスが有効に働くことを確認した。

さらに、ニューラルネット・モジュールの組換えを基本演算とする計算機構上に、予測機能を実装し、繰り返し予測を行うことにより、行動学習の能力が既存の手法と比べて向上することを示した。

また、モジュール組換えアーキテクチャを用いて、人とロボットの間インタラクションを通じてモジュールの組換え系列を獲得するアルゴリズムを考案し、モジュール数が限られ、組換え系列が単純な場合は、獲得可能であることを実験的に示した。モジュールの組み合わせ方が制限された中での組み合わせ学習の研究は既存のものがあるが、自由な組み合わせを許す研究はこれまでに例がない。大規模な問題を扱えるようにすることは今後の課題である。

(5) その他の研究成果

ボール遊び場面において、意図した動作とそうでない動作を判別し、意図した動作のみを模倣するアルゴリズムを考案し、十分とは言えないがある程度の精度で模倣できることを確認した。意図の判別精度が不十分であったため、自らの行動によって相手の行動を誘導し、意図の推定精度を高める方式を検討するための予備実験を行った。

また、複数のモダリティの自然な発話がなされる状況で、行動を指示する発話と評価発話の意味を学習する機能に関して、行動学習により得られる知識を前提にせず、行動を指示する発話と評価発話の意味を学習することができるアルゴリズムを提案し、自然な発話データに適用して評価した。各状況における最終行動に着目し、それが正しい可能性が高いことを利用して発話の意味を学習することが特徴であり、実験的に提案手法の有効性を示した。さらに、ロボットにおける行動の獲得と言語の獲得が互いに他方の獲得

を促進するメカニズムの基礎検討を行った。

また、音声インタラクションにおいて、時間的随伴性を有する応答のしかたを学習により獲得する機能の方式検討を行った。相手の応答の時間的随伴性を、直前の自分の応答に対する評価情報として用いることを特徴とする。

また、リカレント・ネット中に獲得された知識の操作可能性についての基礎検討を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ①_r 岡夏樹, 対称性の成立を調べる簡単な実験手続きの提案, 認知科学, 査読有, Vol. 16, No. 1, pp. 179-184, 2009.
- ②_r Tanaka, K. and Oka, N., A robot that learns in stages utilizing scaffolds: toward an active and long-term human-robot interaction, Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology 2008, 査読有, pp. 195-198, 2008.
- ③_r 田中一品, 岡夏樹, Scaffolding (足場づくり) を利用した学習系の構築, 第 7 回情報科学技術フォーラム講演論文集 (第 3 分冊), 査読有, pp. 47-50, 2008.
- ④_r 岡夏樹, 増子雄哉, 林口円, 伊丹英樹, 川上茂雄, Fisher の直接法を用いたインタラクションデータからの意味学習, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), 査読有, Vol. 20, No. 4, pp. 461-472, 2008.
- ⑤_r 左祥, 田中一品, 嵯峨野泰明, 岡夏樹, "No news is good news" 規準を利用した行動教示の学習, 情報科学技術レターズ, 査読有, pp. 319-322, 2007.
- ⑥_r Tanaka, K., Zuo, X., Sagano, Y., and Oka, N., Learning the Meaning of Action Commands Based on "No News Is Good News" Criterion, Proceedings of the Workshop on Multimodal Interfaces in Semantic Interaction, 査読有, pp. 9-16, 2007.

[学会発表] (計 16 件)

- ①_r 田中一品, 人-ロボットインタラクションにおける「ためらう」ロボットの実験的評価, HAI シンポジウム 2008, 2008. 12. 4, 横浜市.
- ②_r 林口 円, 自由発話の音声信号から語句候補を切り出し意味付けするアルゴリズムの精度評価, HAI シンポジウム 2008,

2008. 12. 4, 横浜市.

- ③_r 林口 円, 自由発話の音声信号から語句候補を切り出し意味付けするアルゴリズムの実装, 平成 20 年度情報処理学会関西支部支部大会, 2008. 10. 24, 京都市.
- ④_r 伊丹英樹, 報酬の遅れが大きい状況下での強化学習の学習速度の検討, 2008 年度人工知能学会全国大会 2008. 6. 12, 旭川市.
- ⑤_r 田中一品, Scaffolding (足場づくり) を利用した学習系の構築, 2008 年度人工知能学会全国大会, 2008. 6. 11, 旭川市.
- ⑥_r 西田知史, 効果線を用いた描画と擬音語・擬態語の対応付け学習における概念獲得モデル, フレッシュマンのための人工知能研究交流会, 2008. 3. 12, 東京都.
- ⑦_r 岡夏樹, 自由発話による誘導教示からの言葉の意味の獲得, HAI シンポジウム 2007, 2007. 12. 6, 横浜市
- ⑧_r 伊丹英樹, 最終行動ヒューリスティクスに基づく教示意味の学習, 平成 19 年度情報処理学会関西支部支部大会, 2007. 10. 29, 大阪市.
- ⑨_r 住井泰介, リカレントネットを用いた翻訳と記号操作的処理の探求, 第 6 回情報科学技術フォーラム (FIT2007), 2007. 9. 6, 豊田市.
- ⑩_r 住井 泰介, リカレントネットワークを用いた機械翻訳の試み, 2007 年度人工知能学会全国大会, 2007. 6. 21, 宮崎市.
- ⑪_r 田中一品, ペットロボットによる感情表出のタイミングがユーザとのインタラクションに与える影響, HAI シンポジウム 2006, 2006. 12. 12, 横浜市.
- ⑫_r 高橋昌生, サッカーシミュレータ環境における模倣による行動の学習, 2006 年度人工知能学会全国大会, 2006. 6. 7, 東京都.
- ⑬_r 田中一品, 躰による人間とペットロボットの関係の改善, 2006 年度人工知能学会全国大会, 2006. 6. 9, 東京都.
- ⑭_r 松村宗洋, 交替潜時と韻律情報に基づく随伴的な応答パターンの生成, 電子情報通信学会 人工知能と知識処理研究会, 2006. 3. 7, 大阪市.
- ⑮_r 田中一品, ペットロボットによるユーザの意図理解, 人工知能学会 人工知能基本問題研究会, 2005. 11. 24, 京都市.
- ⑯_r 山田恭士, 教師なし学習による意図的動作と偶発的動作の判別, 第 4 回情報科学技術フォーラム (FIT2005), 2005. 9. 7, 東京都.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡 夏樹 (OKA NATSUKI)
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・教授
研究者番号：20362585

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者