

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 3日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2012

課題番号：21500137

研究課題名（和文） 自然な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） Constructive elucidation of the mechanism of cognitive development through natural 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(和文)：1) 言葉の参照的意味の獲得と機能的意味の獲得の両者をモデル化し、計算機シミュレーション結果と人の発達データの比較や、ヒューマン・ロボット・インタラクション実験を実施した。2) 認知発達の計算モデルとして提案したニューラルネット・モジュールの組換えを基本演算とする計算機構において、モジュールの機能の学習とその組み合わせ方の学習を並行して実行できることを、障害物回避タスクを用いたシミュレーション実験により示した。

研究成果の概要(英文)：1) We proposed a computational model of the acquisition of the referential meaning and the functional meaning of words, compared the simulation results with human data, and conducted human-robot interaction experiments. 2) Simulation experiments in obstacle avoidance tasks demonstrated that the learning of modules themselves and of the combinations of modules can be done concurrently with a modular architecture which was proposed as a computational model of cognitive development.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：認知発達

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

(1) 幼児のように言葉の意味獲得や行動獲得ができるシステムを作る研究が、多数行われ始めていたが、日常的で自然なインタラクションから学習させようとする研究は限られていた。Roy & Pentland (2002) や、Yu & Ballard (2003) は、数少ない研究例の中の代表的なものであったが、これらの研究では、

言葉の社会的な意味は学習対象とせず、学習対象は、「言葉と同時に見せられた物の名前（または動作の名前）」のように強く限定されていた。

(2) 言葉の社会的な意味を学習対象とする研究も限られていた。鈴木、植田、開(2002) は数少ない例の一つであったが、この研究においても、学習対象は、動作の直後に発せられ

た動作方向（上／下／左／右）の名前または動作の評価（よし／だめ）に限定されており、また、言葉に相当する情報は計算機が一定のしかたで生成しており、自然なインタラクションからの学習ではなかった。

(3) 研究代表者は、自然なインタラクションを通して、言葉の社会的な意味を獲得するモデルの構築を目指し、次のような特徴的な学習技術を開発してきた：

①人の側から無意識のうちに発せられる情報（韻律情報や発話の欠如）を利用した学習方式

②自由発話からの学習に特有の、誤りと偏りを含む多種類の少数データからの学習を可能にする、正確な確率計算に基づく学習アルゴリズム

これらの提案により、自然なインタラクションからの、社会的な意味も含む言葉の意味の学習を可能にし、学習速度や精度を有意に改善したが、依然として、学習対象には強い制限（4方向の動作指示と2種類の動作評価のみ）が必要であった。

2. 研究の目的

(1) 次の方針により、よりゆるい制限の下で、自然なインタラクションを通して、言葉の社会的な意味や行動の学習が可能となるモデルを目指す：

①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を採用することにより、要素機能を統合し、知識の自己創出的な獲得を目指す。すなわち、最初の段階で学習対象ではなかった言葉や行動の獲得を、（最初の段階で獲得した知識を利用することにより、）次の段階で可能にしたい。

②モジュールの組換えの自由度は、組合せ的爆発を起こすため、人からの教示を利用して有用な組合せを見つけるべきであると考え。このため、モジュールの組換えという内部動作を外部から指示できるようにする必要があり、まず、内部動作を指す言葉の学習を可能にする方法を研究することから始める。

(2) 以下の項目の研究を行う：

①分節、強化学習、教師有学習、行動決定の各要素機能のモデルを構築し、異種知識を統合利用した行動決定を可能にする。

②内部動作を指す言葉の学習を可能にする。

③相手の使う言葉を誘導することによる高精度の意図識別を可能にする。

④モジュール組換えによる知識の自己創出的な獲得を可能にする。その際、motherese（母親語）や motionese（母親動作）の誘発と利用により知識獲得を加速する。

3. 研究の方法

(1) 平成 21 年度：

①我々はこれまでに、報酬に基づく学習と、共起情報に基づく学習において、それぞれ特徴的な方式の提案をしてきたが、本年度は、これらの異種知識を統合利用することにより、言葉や行動の学習効率を上げる方法を研究する。

②これまでは、音声入力からのフレーズ（意味づけの対象）候補の切り出しは、登録単語による音声認識、または、手作業に頼ってきた。本年度は、音声入力の分節を自動化し、自動分節の精度と、自動分節結果を用いた場合の意味学習の精度を評価する。共起情報を利用した分節の精度向上法も検討する。

③本研究では、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を採用することにより、要素機能を統合し、知識の自己創出的な獲得を目指す計画である。すなわち、最初の段階で学習対象ではなかった言葉や行動の獲得を、（最初の段階で獲得した知識を利用することにより、）次の段階で可能にしたい。しかし、モジュールの組替えの自由度は、組合せ的爆発を起こすため、人からの教示を利用して有用な組合せを見つけるべきであると考え。このためには、モジュールの組換えという内部動作を外部から指示できるようにする必要がある。本年度は、内部動作を指す言葉の学習を可能にする方法を、後半の研究の準備として、先行的に検討する。

(2) 平成 22 年度：

①内部動作を指す言葉の獲得については、獲得した言葉（表象）を操作して新しい表象を作り出す機能（模倣や計画）を持たせることにより、外部状態と直接つながりがない内部動作を指す言葉の獲得を可能にする。

②相手の言葉を誘導する機能を用いて、音声入力の分節精度の向上を図る。

③精度が向上した意図識別機能を用いて、模倣の効率向上を実現する。

④意図識別機能を利用して、足場を利用した行動獲得の残りの課題を解決する。

(3) 平成 23, 24 年度：平成 21, 22 年度の成果と、本研究と並行して別に進める計画の研究の成果（幼児相手であるかのような反応を誘発する技術、および、視線や表情、ジェスチャーを認識する技術）を統合して、次の研究を進める。

①モジュール組換えによる自己創出的な知識獲得モデルの構築：前年度までに開発してきた要素機能を、モジュール組換えアーキテクチャを用いて統合し、自己創出的な知識獲得を実現する。

②motherese, motionese の利用による知識獲得の加速：前年度までに、本研究の計画外で開発してきた技術を用いて、幼児相手であるかのような motherese（母親語）や motionese（母親動作）を誘発し、また、同

じく本研究の計画外で開発してきた視線や表情等の認識技術を用いて、motherese や motionese から、学習に有用な情報（繰り返しや強調部分等）を抽出する。以上により、自己創出的な知識獲得を加速する。

4. 研究成果

(1) 1年目の成果

①これまでは、音声入力からのフレーズ（意味づけの対象）候補の切り出しは、登録単語による音声認識、または、手作業に頼ってきた。本年度は、音声入力の分節を自動化し、自動分節の精度と、自動分節結果を用いた場合の意味学習の精度を評価した。まだ十分な精度ではないが、自動分節とそれに基づく意味学習が可能であることを示した。

②ゴールに至る試行において、ある状況で最終的にとった行動が最適な行動である可能性が高いことに注目し、この情報を言葉の意味獲得に用いる方法を提案した。提案方法を、最適行動に関する知識をあらかじめ与える場合と比較し、同程度の意味学習性能が得られることを実験的に示した。

③発話が無いという情報に着目した、韻律情報の意味獲得方式を提案し、試作実験を行った。

④平成 23, 24 年度には、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を採用することにより、知識の自己創出的な獲得を目指す計画である。しかし、モジュールの組替えの自由度の高さは、組合せ的爆発を起こすため、人からの教示を利用して有用な組合せを見つけるべきであると考え、本年度は、内部動作を指す言葉の学習を可能にする方法を、先行的に検討した。抽象的な教示を利用して内部動作を強化学習により獲得する機構を試作し、動作試験を行った。

⑤発達システム（ロボット）が、自身の学習の進行に応じて動作の「間」を適切に変化させることにより、学習効率が上がり、また、相手をする人に対して教えやすい印象を与えることを実験的に示した。

(2) 2年目の成果

①語意獲得メカニズムの解明：言葉の参照的意味（もの等を指し示す働き）と機能的意味（聞き手に影響を与える働き）の獲得をそれぞれ行うモデルを構築した。具体的には食卓を囲むインタラクションを模擬するシミュレータを構築し、その上で、「味噌汁」等の参照的意味を共起度数に基づいて推定し、「ごはんちょうだい」等の機能的意味を強化学習により獲得する実験システムを試作した。

②愛着を引き出すインタラクションの設計：次年度以降の自己創出モデルの構築に向けて、本年度は、人に相手をしてもらいながら知識獲得を長期間続けるために必要とな

る、愛着を引き出すインタラクションの設計を試みた。ロボットが母親語の韻律特徴の一部を識別し、母親語に対して選択的に反応する設計とすることにより、人が母親語を使うように誘導することを試みた。この誘導を通じて愛着を引き出すことができるかを調べる予備実験を実施し、引き出せる可能性があることを示した。

③内部状態を指す言葉の意味の学習：次年度以降の自己創出モデルの構築は、モジュールの組換えを基本演算とする計算機構により実現する計画であるが、この計算機構における、新しい行動の試行錯誤なしの実行を可能にするための、内部状態を指す言葉の意味の学習方式を先行的に検討した。

④「間」の設計方式の検討とその導入効果の検討：人とロボット（やエージェント）の間の自然なインタラクションの実現にとって重要であると考えられる「間」の設計方式を検討し、設計した「間」を持たせることで、ロボットの学習効率が向上し、また、教えやすい印象が生じることを示した。

(3) 3年目の成果

①語意獲得メカニズムの解明：言葉と状況の共起度数に基づいて、普通名詞（物の名前）の意味と指示詞の意味を並行して獲得するモデルを用いて、様々な条件下における学習の進行のしかたを実験的に調べた。また、語彙爆発の学習曲線を説明できるモデルの構築を行った。さらに、動作を命令する言葉の意味を組合せ合成可能な形で獲得できる方式の検討を開始し、終助詞の意味獲得モデルの構築にも着手した。

②愛着を引き出すインタラクションの設計：自己創出的な発達の実現のために、人に相手をしてもらいながら知識獲得を長期間続けることが必要であると考え、愛着を引き出すインタラクションの設計を試みた。ロボットが母親語の韻律特徴の一部を識別し、母親語に対して選択的に反応する設計とすることにより、人が母親語を使うように誘導することを試み、また、この誘導を通じて愛着を引き出すことができるかを調べる実験を実施した。その結果、母親語の誘導はできなかったものの、母親語の特徴の一部を持つ発話は、ロボットに対する印象を良くする可能性があることが示された。

③モジュール組換えアーキテクチャにおける新たな組換えの創出方式の検討：自己創出モデルの構築は、モジュールの組換えを基本演算とする計算機構により実現する計画であるが、この計算機構において、モジュールの機能の学習とその組み合わせ方の学習を並行して実行できることを、障害物回避タスクを用いたシミュレーション実験により示した。モジュールの組合せが自由にできるモデルにおいて、モジュールの機能の学習とそ

の組み合わせ方の学習を並行して実行できることは、我々が調べた範囲では、これまでに示されたことはない。

(4) 4年目の成果

①語意獲得メカニズムの構成的解明：言葉の参照的意味の獲得を、言葉とその参照対象候補の間の共起頻度パターンの統計情報に基づく計算としてモデル化し、赤ちゃんの語彙獲得速度データと、提案モデルによる語彙獲得速度変化の間の比較実験を実施し、語彙獲得の停滞期間が存在することを説明できることを示した。また、「りんごだよ」「みかんだね」に含まれる終助詞「よ／ね」のような、話者の意図を表す機能語の意味の獲得実験を行い、話者の意図に対応するロボットの行動の獲得が概ね可能であることや、個人適応が必要であることを示した。ロボットの内部情報処理の獲得や大規模化への対応は今後の課題である。

②愛着を引き出すインタラクションに関する実験的研究：人に相手をしてもらいながら知識獲得を長期間続けるために必要となる、愛着を引き出すインタラクションに関する実験的検討を行った。基本周波数が通常より高いという母親語の特徴を持つ音声を相手が発したとき動作が大きくなるようロボットを制御することにより、母親語を使うように相手を誘導でき、さらに、この誘導を通じて愛着を引き出すことができることを短期のインタラクション実験により検証した。ロボットの認識性能・反応速度の向上や、中長期的なインタラクション実験による検証は今後の課題である。

③モジュール組換えアーキテクチャにおける新たな組換えの創出方式の検討：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（アーキテクチャ）を用いて、自己創出モデルを実現することを目指し、本年度は、内部情報処理であるモジュールやモジュールの組み合わせ方と、外部からそれを参照または操作することができる言葉との対応関係を、学習により獲得させるための計算方式を検討した。本方式の実装と動作検証実験の実施、および、大規模化は今後の課題である。

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3件)

- ①岡 夏樹, 「7日間以上新しい語を発話しない期間」をどうとらえるか, ベビーサイエンス 2012, vol.12, pp. 59-60, 2013, 査読あり
- ②田中 一品, 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, pp.703-711, 2010, 査読あり

- ③田中一品, 左祥, 嵯峨野泰明, 荒木雅弘, 岡 夏樹, No News 規準が有効な条件: 誘導教示の意味学習場面での実験的検討, 電子情報通信学会論文誌 A Vol. J92-A, No.11, pp. 784-794, 2009, 査読あり

[学会発表] (計41件)

- ①Oka Natsuki, Meaning acquisition of sentence-final particles 'yo' and 'ne' through human-robot interaction, The First International Conference on Human-Agent Interaction, August 7th-9th, 2013, Sapporo.
- ②Shibata Ryoko, How does the continuous use of infant-directed speech to a robot influence the user?, The First International Conference on Human-Agent Interaction, August 7th-9th, 2013, Sapporo.
- ③Araki Osamu, A possible cause of the occurrence of the stepwise shape of word learning curves, The 14th International Conference on the Processing of East Asian Languages (ICPEAL 2012), October 26th, 2012, Nagoya.
- ④Shibata Ryoko, Does Talking to a Robot in a High-Pitched Voice Create a Good Impression of the Robot? The 13th ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD 2012), August 9th, 2012, Kyoto.
- ⑤Shibata Ryoko, Does Talking to a Robot in a High-Pitched Voice Strengthen an Attachment? Poster presented at the 34th Annual Conference of the Cognitive Science Society, August 4th, 2012, Sapporo.
- ⑥Oka Natsuki, Computational model of the meaning acquisition of sentence-final particles, Poster presented at the 34th Annual Conference of the Cognitive Science Society, August 2nd, 2012, Sapporo.
- ⑦Oka Natsuki, A computational model of conscious and unconscious level processing: Consciousness is module combinations formed on the fly, The 15th annual meeting of the ASSC, June 11th, 2011, Kyoto.
- ⑧Kazuaki Tanaka, The hesitation of a robot: a delay in its motion increases

learning efficiency and impresses humans as teachable, The 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI 2010), March 3rd, 2010, Osaka.

[その他]

<http://www.ii.is.kit.ac.jp/oka/>

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

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：