

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 13 日現在

機関番号：34416

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22700203

研究課題名（和文）

道具使用と統語法に共通する階層的な制御構造の理解へのロボットからのアプローチ

研究課題名（英文）Robotics approach toward understanding of common neural architecture in tool-use and language

研究代表者

荻野 正樹（OGINO MASAKI）

関西大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：00397639

研究成果の概要（和文）：ヒトが他の生物から際立っている能力として、道具と言語の使用があげられる。この二つの能力はミラーニューロンの発見により密接な関連していることが指摘されている。本研究では、道具使用と言語の間にある情報処理メカニズムの共通性に着目し、時間的に入れ子構造の表現が可能になる階層ネットワークの提案を行い、ロボットモデルによって入れ子構造的な道具使用が実現できることを示した。また、時系列情報の階層的ネットワークによる表現についての基礎的な研究を行った。

研究成果の概要（英文）：It is suggested that mirror neuron system takes important role in the faculty to treat the hierarchical structure of both language and tool. In this study, as the sharing information processing in tool-use and language processing, we proposed a layered network that enables nesting procedure. The model was validated by demonstration of nesting tool-use with a simulation robot model. For the further application of temporal information, the fundamental characteristics in application of the layered network were investigated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：行動環境認識

1. 研究開始当初の背景

言語の起源について、長らく言語に先立って身振りや手振りの運動が先行して進化し、その後、そのシステムが言語能力の獲得を可能にしたとする説が唱えられてきた。この説は、ミラーニューロンが言語野に相当する領域と重なっていることが明らかになって以来、ミラーニ

ューロンは、言語の発達と言語の進化になくしてはならない重要な脳細胞であると考えられるようになってきている。

発達中の子どもの運動能力と言語能力についての研究では、子どもの手の活動（玩具や道具を扱う動き）においても、会話においても階層構造の現れる頻度が平衡して高くなっていくことが明らかになっており、さ

らには、階層性のある操作行動を見ているとき程、ミラーニューロンの活動が高くなることが報告されている。

このように道具使用等の複雑な運動を可能にするメカニズムと、言語の階層的な性質である統語能力の共通性が、脳活動としても、行動観察としても明らかになりつつあり、そのメカニズムの解明は、言語の起源の面からも、あるいは言語発達のメカニズムの解明の面からも極めて興味深い問題である。

言語獲得に関する機械学習モデルについては、既に国内外で多くのモデルが提案されているが、統語的情報処理に関する時系列情報処理のメカニズムと運動処理のメカニズムと結びつけた研究はほとんど見当たらない。そのような問題を扱った数少ない研究としては、杉田らの研究がある。杉田らは、再帰的なニューラルネットワークに動作の操作性と言語情報を学習させることで、統語的な関係がニューラルネットワークのパラメータの関係として表象されると主張している。しかし、この研究においても、運動の種類と対象となる物体の情報の組み合わせを扱っているに過ぎず、道具使用のような階層性を含んだ複雑な運動までは扱っていない。

2. 研究の目的

ヒトが他の生物から際立っている能力に道具と言語の使用があげられる。この二つの能力はミラーニューロンの発見により密接な関連が指摘されているが、今なおその脳内で行われているメカニズムについては未解明な部分が多い。本研究では、物体認識と場所の注意、時間順序の階層的な運動制御に着目し、道具使用が可能な運動制御モデルを構成すること、さらに同じモデルを利用して言語の統語機構のモデル化を行うことにより、道具使用と言語の間にある情報処理メカニズムの共通性を構成的に示すことを目的とする。

3. 研究の方法

研究は(1)道具使用が可能なハンドの開発、(2)道具使用を可能とする階層的な想起型ネットワークの構築、(3)階層的な想起型ネットワークによる統語理解の学習の3つからなる。(1)では触覚を持つバイオメタルを利用した小型ハンドの開発を行い、小型ヒューマノイドロボットでの実装を目指す、(2)(3)では想起型ネットワークを階層的に構成し、上位からの意志的な信号と下位のセンサー信号に基づいたカテゴリー判断がやりとりをしながら、ネットワーク全体の振る舞いを決定するネットワークの構築を行い、道具使用、統語理解への応用を行う。

4. 研究成果

(1)「道具使用が可能なハンドの開発」
バイオメタルをヒトの筋骨格構造を模して配置したハンドの試作機の開発を行った。バイオメタルは金属に電流を流すと収縮し、また両端にかかる力によって抵抗値が変化する性質を持つため、それを利用して制御を行うことを予定していたが、筋肉が弛緩するための放熱に時間がかかるため、動作を一定以上早くすることはできなかった。また、収縮率も小さいため、当初予定していたヒューマノイドに搭載可能な大きさのものを開発することが困難であることが明らかになった。このため、ハンドのハードウェア開発をとりやめて、シミュレーター上にハンドモデルを構築した。このシミュレーターでは、把持に関わる触覚や関節角度、視覚情報などを統合し、カテゴリー化を行う発達モデルの構築を行った。

(2)「道具使用を可能とする階層的な想起型ネットワークの構築」
状況に応じて物体を道具として扱い適応的に道具を使用するためには、まず(a)環境から道具となる効果器を自律的に発見し、感覚を統合して道具を自身の手のように扱えるようになること(効果器の自律的抽出と感覚統合)が重要である。そして更に、(b)状況に合わせて複数の効果器を組み合わせることで適切な運動の手順を計画し、その手順に従って運動を生成すること(運動の手順の計画と生成)が必要である。これらの問題についてロボットでの学習可能性を考えて獲得モデルの提案を行った。

(a)「視覚的注意に基づく手先の感覚統合による身体表現の獲得」
視覚情報の中から自己の身体を発見することは身体表象の最も基本的な機能の一つである。脳科学においては、ニホンザルを使った実験において頭頂間溝において自己の身体部位に視覚的に注意したときに活動するニューロンが発見されており、道具使用の訓練後は、道具に注意したときにも同じニューロンが活動するようになることが知られている。そこで、このニューロン活動を説明するために、注意のボトムアップな要素に焦点を当て、顕著性に基づいた視覚的注意により視覚受容野を発見し、触覚情報を契機に視覚受容野と体性感覚情報を統合しクロスモーダルな身体表現を獲得するシステムを提案した。さらに、本モデルを赤ちゃんロボットへ適用し、ニホンザルでの実験結果と相同な結果を再現した。

(b)「道具使用における入れ子的処理を可能にする階層的想起型ニューラルネットワークモデル」
「手で道具をとり、手にとった道具でエサ

をとる」という場合、最初は効果器は手であり、目標物は道具であるが、道具を手にした後は、効果器は道具となり、目標物はエサとなる。このとき、現在の効果器が何であるかによって、関節角度は上位からの修飾を受けて調節される必要がある。マカクザルの知見においても、同一のニューロンの視覚受容野の反応が意図によって切り替えられていることが発見されており、脳科学的にも上位の情報によって下位の情報に再帰的に処理している構造の重要性が示唆されている。このような入れ子構造的な情報処理は言語情報の処理との関連でも注目されている。このような道具使用時の再帰的処理に着目し「効果器を対象物の組み合わせ」の入れ子構造によって記述するモデルを提案する。提案モデルは階層的な想起型ネットワークによって構成される。提案モデルは環境の状況に応じて適切な入れ子構造を判断し、その入れ子構造にしたがって効果器と関節角度を算出することで、状況に応じた腕の運動を実現することができる。入れ子構造の階層がさまざまな状況において学習を行い、学習後ロボットをさまざまな環境においたとき、その状況に応じて適切な入れ子構造を判断し、入れ子構造にしたがって腕関節角度を算出することで、適切な腕の運動を生成できるようになることを示した。

(3)「階層的な想起型ネットワークによる統語理解の学習」

時系列情報を扱うモデルとして3つのモデルの認知的応用の研究を行った。

一つは身体表現に関するモデルである。この研究では上位層のニューロンほど時間的、空間的に広い情報を表現するという仮説のもとに、ロボットが環境との相互作用の経験から得られるセンサ情報を階層的に統合するモデルを提案した。センサ情報から低速に変化する特徴量を抽出することにより、自律的にマルチモーダルな表現を獲得可能であること、また獲得された表現を用いて自己の状態から報酬を予測可能であることを簡単なタスク学習によって示した。更に、提案モデルによって統合されたマルチモーダルな情報を適切に用いることにより状態価値推定のパフォーマンスが上昇することを示した。簡単なシミュレーションによってモデルの実用性を検証し、次に多数のセンサを有し人間に類似した身体特性を持つヒューマノイドロボットに実装することで提案モデルが実環境に適用可能であることを示した。

2つ目は言語獲得に関して、運動の記述に関して多様な運動軌道を言葉と結びつけるために Talmy らによって提案されている Force Dynamics 理論を実装し、運動軌道の抽象化と言語と親和性を結びつける研究を行った。Multiple timescales recurrent neural network を使ったネットワークを構築し、シミュレーションによる単純な状況での物体の近づき方と言語の対応付

けの学習を行った。

3つ目は、ラットの T 字迷路タスクをもとに海馬の記憶と想起を表現し、場所の状態価値を TD 学習で表現することで、海馬のナビゲーションシステムと報酬予測のメカニズムの理解を目指す。提案モデルではラットが分岐点へアプローチする場合の想起、分岐構造を反映した反復想起を表現でき、ラットの研究の解析結果と類似した結果が得られていることを示した。また、分岐点では海馬の反復想起と TD 学習による状態価値を合わせることで報酬予測を表現できること、さらに学習が進行することで報酬予測の時間が短縮することを示した。この結果は意思決定を早くできることを示唆する。そして、海馬の想起による報酬予測と強化学習による行動選択の比較から、海馬による報酬予測が報酬学習を促進させることを示した。

これらのモデルでは階層的な時系列ネットワークの性質について調べたものの、道具使用や統語理解について直接的に適用して、その特徴を調べるには至らなかった。本研究で得た成果をもとに、引き続き今後の研究において文構造と道具使用を扱う共通モデルの構築を行っていく予定である。

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)

[学会発表] (計 10 件)

[1] Masaki Ogino, Mai Hikita, Sawa Fuke, Minoru Asada: Generation of condition-dependent reaching movements based on layered associative networks, IEEE Conference on Development and Learning-EpiRob, サンディエゴ, アメリカ. 2012 年 11 月 8 日.

[2] 鈴木 遵自, 荻野 正樹, 浅田 稔, 静止画像における奥行き予測のための空間情報抽出, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, アクトシティ浜松 (静岡県), 2012 年 5 月 29 日.

[3] Akihiko Nishikawa, Masaki Ogino, and Minoru Asada . Acquiring Body Representation for Reinforcement Learning Based on Slow Feature Analysis . In Proceedings of the 21st Annual Conference of the Japanese Neural Network Society (JNNS2011), pp. 194--195, 沖縄科学技術大学院大学, 2011 年 12 月 17 日.

[4] 荻野 正樹, 西川 輝彦, 浅田 稔. Slow Feature Analysis を利用したマルチモーダル情報の統合による身体表現の獲得. 第 27

回ファジィシステムシンポジウム講演論文集,
CD-ROM, 福井大学, 2011年9月12日.

[5] 西川 輝彦, 港 隆史, 荻野 正樹, 浅田 稔.
速度分散最小化変換によるマルチモーダル情報
からの状態表現の獲得. ロボティクス・メカト
ロニクス講演会2011講演論文集, Vol.DVD-ROM,
2P2-M02, 岡山コンベンションセンター, 2011
年5月28日.

[6] Masaki Oginno, Ryuzo Nakata, Minoru Asada,
Hierarchical Neural Network with Multiple
Sparsenesses for Global-to-Fine
Categorization in Inferior Temporal Cortex,
The 15th International Conferene on
Cognitive and Neural Systems, ボストン大学,
アメリカ, 2011年5月12日.

[7] 荻野 正樹, 疋田 麻衣, 福家 佐和, 浅
田 稔 道具使用から考える身体表現の獲得と
階層的情報処理モデル, 生理研研究会「認知神
経科学の先端」身体性の脳内メカニズム, 2010
年10月22日 岡崎生理学研究所

[8] 荻野 正樹, 疋田 麻衣, 福家 佐和, 浅
田 稔. 階層的想起型ニューラルネットワーク
を利用した状況依存型手先運動生成モデル. 第
28回日本ロボット学会学術講演会, 名古屋工
業大学, 2010年9月23日.

[9] Ryuzo Nakata, Masaki Oginno, and Minoru
Asada. Hierarchical Neural Network Model of
Global-to-Fine Categorization in Inferior
Temporal Cortex. Neuro2010, Vol. CD-ROM,
P2-q09, 神戸コンベンションセンター, 2010
年9月4日.

[10] 荻野 正樹, 疋田 麻衣, 福家 佐和, 浅
田 稔. 階層的想起型ニューラルネットワークを
利用した状況依存型手先運動生成モデル. 日本
赤ちゃん学会第10回学術集会, 東京大学本郷
キャンパス, 2010年6月12日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荻野 正樹 (OGINO MASAKI)

関西大学・総合情報学部・准教授

研究者番号 : 00397638