

## 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 11 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011 ～ 2012

課題番号：23800033

研究課題名（和文） 神経回路モデルによるロボットの発達的な物体知覚機構の構築と動作生成

研究課題名（英文） Creation of Developmental Object Recognition Mechanism and Motion Generation for Robot using Neural Network Model

研究代表者

西出 俊 (NISHIDE SHUN)

京都大学・白眉センター・特定助教

研究者番号：30613400

研究成果の概要（和文）：本研究ではロボットの物体操作経験に基づく自律的な物体知覚特徴量の抽出と道具使用動作の生成を実現した。ロボットの身体モデルとして再帰神経回路モデルを用い、ロボットの動作とそれに伴う環境変化の関係を学習した。道具使用実験では T 字と I 字の道具使用経験から未学習道具である L 字の道具特性を推定し、対象物体の引き動作を生成することに成功した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we realized autonomous extraction of object recognition features and tool using motion generation based on object manipulation task of a robot. A recurrent neural network was utilized as the robot's body model to learn the robot's motions and the environmental change. During tool using experiments, the robot was capable of identifying the untrained L-shaped tool based on experiences with T- and I-shaped tools, to generate pulling motions for a target object.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
23 年度	1300000	390000	1690000
24 年度	1200000	360000	1560000
年度			
年度			
年度			
総計	2500000	750000	3250000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能ロボティクス

キーワード：神経回路モデル、知能ロボット

## 1. 研究開始当初の背景

近年、環境とのインタラクションに基づく知識・行為の獲得を目標とした研究は盛んに行われている。道具のアフォーダンスに基づ

く道具使用動作の獲得やロボットの能動知覚に基づく物体識別の研究などが例として挙げられる。これらの研究では人間や生物の物体認知をもとに学習モデルを構築したが、

物体を表現する特徴量が事前に設計されていたため、想定外の物体には適応が困難という問題点があった。本研究ではロボットの経験から特徴量を自己組織化することで扱える物体を卓上操作可能な一般物体まで拡張し、柔軟物など挙動予測が困難な物体まで扱えるモデルを構築する。また、ロボットの移動において重要な *traversability* に基づく研究に対し、物体操作において重要な予測可能性に注目したことも本研究の特徴である。

本研究は認知発達ロボティクス分野の一旦を担っている。その中でも特に、人間の発達過程における知覚・行動生成機構の構成論的な理解と構築を目標としている。本研究で実現する発達的な学習システムや、ロボットの経験に基づく知識・行動の獲得は、環境適応能力に優れた知能ロボットの実現に大きく貢献することが期待される。

## 2. 研究の目的

本研究ではロボットの物体操作経験を通じ、発達的な物体認知・物体操作動作の獲得を目的とする。従来の関連研究の問題点は、主に物体知覚と動作生成は人手で設計されていたため、想定していない未知環境に適応することが困難であった。本研究では人間の知覚・行動生成と同様、自身の経験から知識を獲得するモデルを構築することで問題点を解決する。具体的には、

- (1) 物体操作経験に基づく物体表現特徴量の自己組織化
- (2) 道具使用経験に基づく未知道具使用動作の獲得

を通じ、自律的な環境特徴量抽出手法を開発し、道具使用動作応用へと展開する。

## 3. 研究の方法

本研究では(1)、(2)における学習モデルとして、再帰神経回路モデルの一種である

Multiple Timescales Recurrent Neural Network (MTRNN)を用いる。

(1)については、物体画像系列を入力し、物体の動き（倒れるや転がるなど）を表現する特徴量を出力するモデルを構築する。MTRNN は時定数の異なるニューロン群で構成されており、この構成によって情報を階層的に学習することが可能である。本モデルではさらに入力物体画像系列と同じ時定数で次元が小さいニューロン群を付与し、学習時に自己組織的に物体変化を表現する特徴量が抽出できるモデルを構築した（図1）。

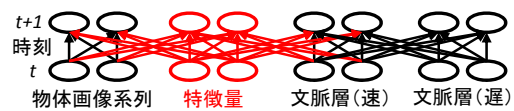


図1：物体特徴量抽出モデル

(2)については、MTRNN で構築したロボットの身体モデルに対し、把持道具によって身体モデルを二次ネットワークによって補正するものを構築する（図2）。本モデル（道具身体化モデル）の学習手法は以下の通りある。

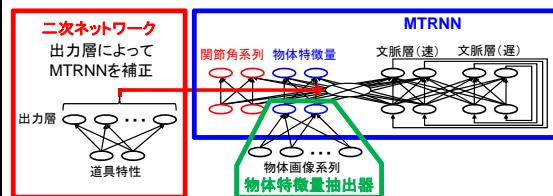


図2：道具身体化モデル

- ① 道具未把持状態で物体操作経験を行い、ロボットの身体ダイナミクスと対象物体のダイナミクスを MTRNN で学習する。また、物体特徴量抽出器も学習する。
  - ② 学習用道具を把持し、MTRNN を補正する二次ネットワークを学習する。
- 道具使用動作の生成は以下の手順で行う。
- ③ 腕の振り動作による視覚変化をもとに把持道具の特性推定。
  - ④ MTRNN を二次ネットワークによって補正し、目標画像を実現するロボットの関節角系列を求める。

- ⑤ 求めた関節角系列に基づいてロボット動作を生成する。

#### 4. 研究成果

(1) ロボット Robovie II-s を用い、図3に示す様々な卓上物体に対して押し動作を行った。ロボットの押し動作に対し、物体は滑る (Slide)、倒れる (Fall Over)、跳ねる (Bounce)、転がる (Roll) 挙動を生成した。ロボットの関節角と押し動作中に取得した物体画像系列を取得し、図1のモデルを学習した。文脈層 (遅) の空間を解析すると、物体挙動の種類によって物体挙動系列が自己組織化学習されたことが確認された。また物体特徴量の系列は4動作においてそれぞれ異なる特徴が見られ、挙動特徴量を自己組織化する機能を示唆する結果が得られた。



図3：実験用物体

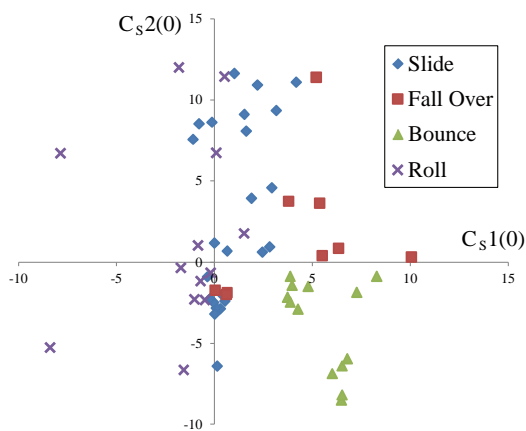


図4：文脈層 (遅) の空間

(2) 人間型ロボット HRP-2 を用い、T字道具、I字道具を学習用道具とし、L字道具を未学習道具として実験を行った。道具使用動作を生成する際、③の道具特性を推定した結果、図5に示すように二つの特徴が確認された。まず、ロボットは道具未把持状態と道具把持状態で大きく身体特性が異なることを学習した。また、未学習のL字道具がI字道具とT字道具の中間的な特性を持つことを学習した。

さらに対象物体を引き寄せる目標画像を与え、ロボットの動作生成を行った。学習道具であるT字道具ではフック形状を用いて引き寄せる動作が生成できたが、I字では引き寄せる動作は未経験だったため、失敗した。未学習のL字道具ではT字と同様、フック形状を用いて対象物体を引き寄せることに成功した (図6)。

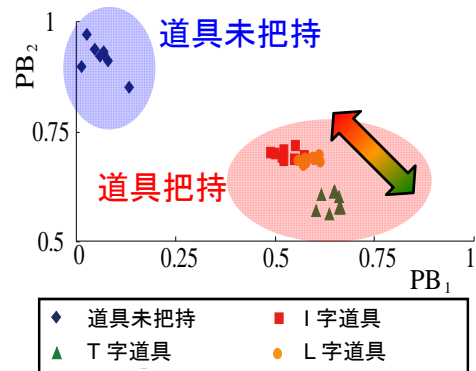


図5：道具特性の推定

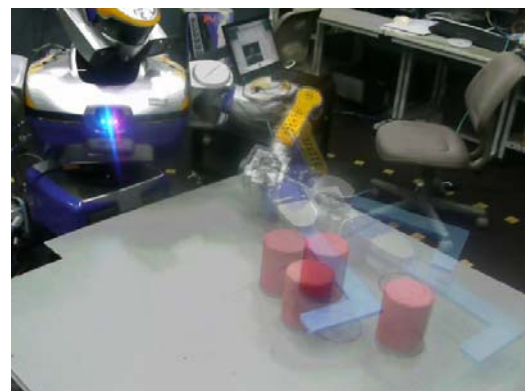


図6：L字道具を用いた引き寄せ動作

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 Shun Nishide, Jun Tani, Toru Takahashi, Hiroshi G. Okuno, Tetsuya Ogata, “Tool-Body Assimilation of Humanoid Robot Using a Neurodynamical System,” IEEE Trans. on Autonomous Mental Development, Vol. 4, pp. 139-149, 2012. (査読あり)  
doi:10.1109/TAMD.2011.2177660
- ② Shun Nishide, Jun Tani, Hiroshi G. Okuno, Tetsuya Ogata, “Towards Written Text Recognition based on Handwriting Experiences using Recurrent Neural Network,” Advanced Robotics, Vol. 25, pp. 2173-2187, 2011. (査読あり)  
doi:10.1163/016918611X59476
- ③ Yang Zhang, Tetsuya Ogata, Shun Nishide, Toru Takahashi, Hiroshi G. Okuno, “Classification of Known and Unknown Environmental Sounds based on Self-organized Space using Recurrent Neural Network,” Advanced Robotics, Vol. 25, pp. 2127-2141, 2011. (査読あり)  
doi:10.1163/016918611X595017

[学会発表] (計 19 件)

- ① Keita Mochizuki, Harumitsu Nobuta, Shun Nishide, Hiroshi G. Okuno, Tetsuya Ogata, “Developmental Human-Robot Imitation Learning with Phased Structuring in Neuro Dynamical System,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop on Cognitive Neuroscience Robotics, October 12, 2012, Vilamoura, Algarve, PORTUGAL.
- ② Yuki Yamaguchi, Harumitsu Nobuta, Shun Nishide, Hiroshi G. Okuno, Tetsuya Ogata, “Tool-Body Assimilation Model using Neuro-Dynamical System for Acquiring Representation of Tool Function,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Workshop on Cognitive Neuroscience Robotics, October 12, 2012, Vilamoura, Algarve, PORTUGAL.
- ③ Shun Nishide, Jun Tani, Hiroshi G. Okuno, Tetsuya Ogata, “Self-organization of Object Features Representing Motion Using Multiple Timescales Recurrent Neural

Network,” International Joint Conference on Neural Networks, June 10-15, 2012, Brisbane, AUSTRALIA.

- ④ Harumitsu Nobuta, Kenta Kawamoto, Kuniaki Noda, Kohtaro Sabe, Shun Nishide, Hiroshi G. Okuno, Tetsuya Ogata, “Body area segmentation from visual scene based on predictability of neuro-dynamical system,” International Joint Conference on Neural Networks, June 10-15, 2012, Brisbane, AUSTRALIA.
- ⑤ Harumitsu Nobuta, Shun Nishide, Hiroshi G. Okuno, Tetsuya Ogata, “Identification of self-body based dynamic predictability using neuro-dynamical system,” IEEE/SICE International Symposium on System Integration, December 20-22, 2011, Kyoto, JAPAN.
- ⑥ Hiromitsu Awano, Shun Nishide, Hiroaki Arie, Jun Tani, Toru Takahashi, Hiroshi G. Okuno, Tetsuya Ogata, “Use of a Sparse Structure to Improve Learning Performance of Recurrent Neural Network,” International Conference on Neural Information Processing, November 14-17, 2011, Shanghai, CHINA.
- ⑦ Shun Nishide, Jun Tani, Hiroshi G. Okuno, Tetsuya Ogata, “Handwriting Prediction Based Character Recognition using Recurrent Neural Network,” IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, October 12, 2011, Anchorage, U. S. A.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：

番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://winnie.kuis.kyoto-u.ac.jp/members/nishide/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西出 俊 (NISHIDE SHUN)  
京都大学・白眉センター・特定助教  
研究者番号：30613400

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：