

## 自己評価報告書

平成 23年 4月 25日現在

機関番号： 14301  
 研究種目： 基盤研究（S）  
 研究期間： 2008年 ～ 2012年  
 課題番号： 20220003  
 研究課題名（和文） 身体図式を基礎とした動的イメージの生成の脳内メカニズムの解明に関する研究

研究課題名（英文） Brain mechanisms of dynamic image generation based on body schema

研究代表者 乾 敏郎（Inui Toshio）  
 京都大学・情報学研究科・教授

研究者番号： 30107015

研究分野： 認知神経科学  
 科研費の分科・細目： 情報学・認知科学  
 キーワード： 脳認知科学・身体性情報学

## 1. 研究計画の概要

本研究では2つの機能，すなわち

- (1) 物体認知におけるイメージ生成・変換・照合過程の解明
- (2) 認知地図の動的形成過程とイメージ変換過程の解明

を並行して研究を進め，これらの共通性と差異を明確にすることにより，身体図式を基礎としていかにこれらの機能が実現されているかを明らかにする．さらに脳機能イメージングの新技术を創出するとともに，これを用いて心的イメージの生成・変換・比較照合といった機能の神経基盤を明らかにする．また組織導電率の順モデルを用いた fMRI 解析結果に基づく電位分布推定と，脳波の多層因子分解法を組み合わせることにより，

- (3) 新たな脳波と fMRI の統合化解析手法の構築をめざし，脳機能イメージングの新技术を創出するとともに，これを用いて心的イメージの生成・変換・比較照合といった機能の神経基盤を明らかにする．

## 2. 研究の進捗状況

- (1) イメージ変換時の時空間特性  
 脳波と fMRI の同時計測を行うことにより，心的イメージの変換時における脳内ネットワークの時空間特性を明らかにした．
- (2) イメージ生成子としての空間参照枠  
 新たに考案した回転軸が曖昧な心的回転刺激を用いた行動実験により，環境内での物体回転の内部モデルに空間参照枠が取り入れられ，その内部モデルによって物体の異なる視点からの見えが予測されることを示した．
- (3) 心的回転の大規模ネットワークモデル  
 側頭葉-運動前野-頭頂葉-視覚野にわたる大規模な神経回路モデルを構築し，このモデルが心的回転を実現することを示すと同時に，脳の各領域における

神経生理学的特性や物体認識の行動実験結果，および心的イメージ生成時の視覚野の活動ともうまく対応することを示した．

- (4) 脳波と fMRI の同時計測技術  
 脳波と fMRI を同時計測することで，脳波の時間分解能を有し，かつ fMRI の空間分解能を有する脳機能イメージング手法を構築した．また，本手法を構築する際に，ミラーニューロンと関連して議論されている脳波成分の発生源を特定することに成功した．
- (5) 複数物体認識モデルの提案  
 複数の一般化動径基底関数ネットワークの間に競合学習のメカニズムを取り入れた神経回路モデルを構築し，複数物体の脳内表現を教師無し学習によって獲得できることを示した．
- (6) 未経験場所のイメージ生成の計算論  
 私たち人間が日常行っている未経験の場所（未踏地）に関するイメージ生成に関し，海馬に保持された視覚シーンの変換によりイメージ生成が達成されると仮定し，計算理論の提案を行った．
- (7) 内嗅野グリッド細胞のモデル  
 グリッド細胞と海馬閉回路のコラム構造に関する理論モデル，グリッド細胞による3次元空間表現の理論モデル，グリッド細胞表現における記憶想起とよるナビゲーションの理論モデルなどを提出した．

## 3. 現在までの達成度

〈区分〉①当初の計画以上に進展している。  
 (理由)

本研究の第1の目的に掲げた物体認知におけるイメージ生成・変換・照合過程の解明については，身体図式を基礎とした物体の動的イメージ生成過程を明らかにしたという点において，当初の目標を達成する成果を挙げている。

また本研究の第2の目的に掲げた認知地図の動的形

成過程とイメージ変換過程の解明については、環境の空間構造と身体性を取り込んだ認知地図モデルを構築することに成功したという点において、当初の目標を達成する成果を挙げている。

さらに本研究の第3の目的に掲げた新たな脳波とfMRIの統合化解析手法の構築については、新技術の創出により心的イメージ機能の神経基盤を明らかにするという当初の目的を達成する成果を挙げている。

これらの成果に加えて、観察された手の運動の自己帰属を担う神経基盤を明らかにした。また、グリッド細胞を基礎とした認知地図形成については、3次元空間において認知地図が形成される神経活動をモデル化した3Dグリッド細胞の理論を構築した。

以上の成果は、身体図式を基礎とした動的イメージ生成の神経基盤を明らかにするに留まらず、その機能が外界への働きかけに対してどのように発現するかを明らかにしつつあるという点において、今後の研究で予定以上の成果が挙げられるものと考えられる。

#### 4. 今後の研究の推進方策

- (1) 理論モデルと脳機能イメージング実験の両面から、視点移動時の海馬記憶の動的形成過程を解明する。
- (2) 心的イメージ生成・変換・比較照合過程および身体運動情報を統合した新しいモデルの構築を目指す。
- (3) 物体形状および環境構造の学習が、能動的な身体動作に伴った心的イメージ生成によりどのように修飾されるかを検討する。
- (4) 単物体イメージと多物体イメージの数理モデルの共通点を明らかにし、ヒト脳活動の実験結果との対応を考慮しつつ、より一般的なイメージ生成の理論的枠組みを提案する。
- (5) 他者中心座標の認知地図は記憶想起されることで個体の視覚情報の認識に対して拘束条件を与えることで、物体に意味がいたり、高度な操作が可能になる。また、記憶想起の制御として前頭葉の中央実行系が海馬の活動の選択に必要である。この2つの系はシータリズムで同期して働くことが既に実験的に検証されている。そこで、これらのモデル化を行う。

#### 5. 代表的な研究成果

(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20件)

- ① 朝倉暢彦, 水原啓暁, 笹岡貴史, 乾 敏郎: 身体図式を基礎とした動的イメージ生成の脳内メカニズム(2) - 物体のイメージ機能と認識 - . 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, 461, 119-124, 2011年.
- ② 佐藤直行, タンビル・イスラム, 乾 敏郎, 山口陽子: 身体図式を基礎とした動的イメージ生成の脳内メカニズム(3) - 内嗅野グリッド細胞を考慮した空間情報処理の計算論 - . 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, 461, 125-130, 2011年.
- ③ Sato, N.: Spatial imagery of novel places based on visual scene transformation. *Cognitive Systems Research*, 査読有, 2011 (to appear).
- ④ Sasaoka, T., Asakura, N., and Kawahara, T.: Effect of active exploration of 3D object views on the view

matching process in object recognition. *Perception*, 3, 289-308, 査読有, 2010.

- ⑤ Sato, N., and Yamaguchi, Y.: Spatial-area selective retrieval of multiple object-place associations in a hierarchical cognitive map formed by theta phase coding. *Cognitive Neurodynamics*, 2, 査読有, 131-140, 2009.

[学会発表] (計38件)

- ① Efremova, N., Asakura, N., Inui, T., and Abdikeev, N.: Inferotemporal Network Model for 3D Object Recognition. The 2011 IEE International Conference on Complex Medical Engineering (CME 2011), in Harbin, China, May 22-25, 2011.
- ② Asakura, N. and Inui, T.: Spatial Frames of reference for imaging and perceiving visual motion. The 3rd International Conference on Kansei. in Fukuoka, Japan, February 22-23, 2010.
- ③ Sasaoka, T., Mizuhara, H., and Inui, T.: Dynamic parieto-premotor network for mental imagery transformation: A simultaneous EEG-fMRI study. The 16th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, in Barcelona, Spain, June 7, 2010.
- ④ Mizuhara, H., Inui, T.: The origin of scalp EEG during a motor execution task: A new method for simultaneous fMRI and EEG. 16th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping, in Barcelona, Spain, June 6-10, 2010.
- ⑤ Inui, T., and Ashizawa, M.: Temporoparietal network model for 3D mental rotation. The 2nd International Conference on Cognitive Neurodynamics 2009, in Hangzhou, China November 18, 2009.

[図書] (計3件)

- ① 乾 敏郎: 記憶の数理モデル, 現代の認知心理学2 記憶と日常, 北大路書房, 2011. (印刷中)
- ② 乾 敏郎: イメージ脳. 岩波書店, 114頁, 2009.
- ③ Sato, N.: Springer-Verlag. Dynamic Brain-from Neural Spikes to Behaviors. 12th International Summer School on Neural Networks, Erice, Italy, December 5-12, 2007, Revised Lectures, 13-27, 2008.