

## 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

Brain mechanisms of dynamic image generation based on body schema

乾 敏郎 (INUI TOSHIO)

京都大学・大学院情報学研究科・教授



#### 研究の概要

物体認知, 言語理解, 社会的コミュニケーションなど, 多くの認知過程に関わる重要な心的イメージ操作機能に, 身体化による認知に重要な左右頭頂葉や海馬が関与していることが示唆されている. 本研究はイメージ生成や変換の脳内メカニズムを解明することを目的としている.

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. 研究開始当初の背景

生後2-3歳までの認知機能の獲得過程においてイメージの生成・変換機能の重要性が知られている. また催眠誘導を含む臨床心理学のさまざまな療法もイメージ生成機能が重要な役割を果たしている(たとえば, Blakemore et al., 2003). また最近, 社会的に注目されている離人症などを含む精神疾患においても, イメージ化機能の障害が重要な要因の一つであることが指摘されている. このように思考やコミュニケーション機能の中心的役割を果たすイメージの生成や変換の神経基盤を解明することは, 健全な社会的営みをおくる上でも, 教育や発達を考える上でもきわめて重要である. 一方, 近年認知における身体性(embodiment)の重要性が指摘され, 認知における身体制御の役割が明らかにされつつある. このような研究の流れの中で, イメージ生成や変換に自己の運動制御機能や身体図式が重要な役割を果たしていることが指摘されている(乾, 2007).

#### 2. 研究の目的

具体的には, 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, 上記の諸機能が身体図式を基礎にしていかに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.

#### 3. 研究の方法

上記(1)および(2)において行動実験, fMRI 実験と脳波の同時計測などの方法により, それぞれの実験データを集積する. また実験データに基づき計算論的神経科学の手法を導入し, それぞれの脳内プロセスのモデルを構築する.

#### 4. これまでの成果

##### [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.

##### [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. また, 三次元物体認知において, 手の回しやすさという生体力学的拘束に依存した促進効果が起こることを示し, 物体認知において運動系が関与している証拠を得た.

##### [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. これは空間参照枠が心的イメージの本質的な生成子であることを示唆する.

##### [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.

##### [複数物体認識モデルの提案]

複数的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.

##### [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. 今後は個別の物体と環境空間を統合的に扱うような理論的枠組みに発展することが期待できる.

##### [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, などを世界に先駆けて提出した.

#### 5. 今後の計画

- 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。

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

### 6-1. 受賞

ICONIP 2009 Best Poster Award: Sato, N.  
“Computational model of spatial imagery based on object-centered scene representation”

### 6-2. 発表論文

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, 110, 461, NC2010-147, 119-124, 2011年3月.

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, 110, 461, NC2010-148, 125-130, 2011年3月.

笹岡貴史, 朝倉暢彦, 乾 敏郎: 手の生体力学的拘束に依存した物体の景観比較照合過程への促進効果, 信学技報, 110, 422, HIP2010-87, 45-50, 2011.

Sato, N.: Spatial imagery of novel places based on visual scene transformation. *Cognitive Systems Research*, 2011 (to appear).

Efremova, N., Asakura, N., Inui, T., and Abdikeev, N.: Inferotemporal Network Model for 3D Object Recognition. The 2011 IEEE International Conference on Complex Medical Engineering (CME 2011), May 22-25, 2011.

乾 敏郎, 山口陽子, 佐藤直行, 水原啓暁, 笹岡貴史, 朝倉暢彦: 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(1). 電子情報通信学会技術研究報告, NC2009-73, 13-18, 2010.

Asakura, N. and Inui, T.: Spatial Frames of reference for imaging and perceiving visual motion. The 3rd International Conference on Kansei. February 22-23, 2010.

Sasaoka, T., Asakura, N., and Kawahara, T.: Effect of active exploration of 3D object views on the view matching process in object recognition. *Perception*, 39, 3, 289-308, 2010.

Sato, N.: Integration of visual scenes and motion signals by entorhinal grid cells during spatial imagery. *Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems*, 11, 1, 1-6, 2010.

Sato, N., Ozaki, T. J., Someya, Y., Anami, K., Ogawa, S., Mizuhara, H., and Yamaguchi, Y.: Subsequent memory-dependent EEG theta correlates to parahippocampal BOLD response. *NeuroReport*, 21, 3, 168-172, 2010.

Sato, N.: Integration of visual scenes and motion signals by entorhinal grid cells during spatial imagery. The 17th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP), November 22-25, 2010.

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, June 7, 2010.

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, June 6-10, 2010.

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, 3, 131-140, 2009.

朝倉暢彦, 乾 敏郎: 物体の心的操作における多重の参照枠. 電子情報通信学会技術研究報告, HIP2009-78, 2009, 25-30.

Sasaoka, T., Asakura, N. and Inui, T.: A visuomotor contribution to enhanced object recognition: Compatibility between object rotation and hand movement during active exploration. 32nd Annual Meeting of the European Conference on Visual Perception, August 27, 2009.

Inui, T., and Ashizawa, M.: Temporoparietal network model for 3D mental rotation. The 2nd International Conference on Cognitive Neurodynamics 2009, November 18, 2009.

Mizuhara, H., and Inui, T.: Is mu rhythm an index of the human mirror neuron system? A study of simultaneous fMRI and EEG. The 2nd International Conference on Cognitive Neurodynamics, November 18, 2009.

Mizuhara, H., Sato, N., and Yamaguchi, Y.: Dynamic cortical networks with theta oscillation for the scene memory maintenance: A simultaneous fMRI and EEG study. Society for Neuroscience 2009, October 17-21, 2009.

Mizuhara, H., Sato, N., and Yamaguchi, Y.: Human frontal EEG theta oscillation encodes the visual input sequence of novel scenes into the medial temporal lobe. Human Brain Mapping 2009, June 18-22, 2009.

芦澤 充, 乾 敏郎: 3次元心的回転の双方向型神経回路モデル. 電子情報通信学会技術研究報告, TL2008-45, 7-12, 2008.

Sato, N., and Yamaguchi, Y.: A computational predictor of the human episodic memory based on a theta phase precession network. *PLoS ONE*, 4, 10, e7536, 2009.

Islam, T. and Yamaguchi, Y.: Some Computational Predictions on the Possibilities of Three-Dimensional Properties of Grid Cells in Entorhinal Cortex. *Lecture Notes in Computer Science*, 5863, 26-33, 2009.

Yamaguchi, Y.: Cortical theta synchronization for self-referential process. 2009 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2009), Jun 2009.

乾 敏郎: イメージ脳. 岩波書店, 2009.

ホームページ等

<http://www.cog.ist.i.kyoto-u.ac.jp/>