

シンボル操作の脳内機構

Brain Mechanisms of Symbol Manipulation

(研究プロジェクト番号: JSPS-RFTF 96L00208)

プロジェクトリーダー

入来 篤史 東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科・教授

コアメンバー

岩村 吉晃 東邦大学医学部・教授

小島 久幸 東邦大学医学部・講師

田中美智雄 東邦大学医学部・助手



1. 研究目的

状況に応じた自在な道具使用という、霊長類以上に特有な高次脳機能の特性を生かした学習課題を訓練したニホンザルを一貫して用いて、ヒトでその損傷により失象徴症(象徴的概念の操作の傷害)が引き起こされることからシンボル操作能力の中核として想定される大脳頭頂間溝部皮質(図1;赤枠部)に焦点を絞り、シンボル操作の脳内メカニズムを原理的・物質的に解明しようと試みた。本研究の成果は、より高度なシンボル機能であるヒトの言語機能の脳内メカニズムの解明へ発展する可能性を持ち、さらにはシンボル操作による論理的概念思考のメカニズムを知り、それに基づいて形成される文化・社会の特性を理解することにも貢献すると期待される。

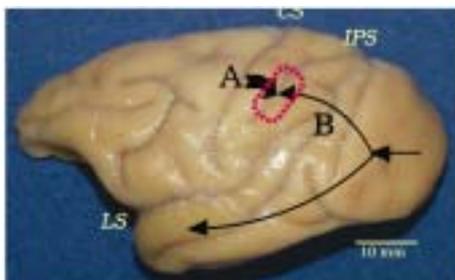


図1: ニホンザル左大脳半球・頭頂間溝部皮質(赤枠部)で、体性感覚情報(A)と空間視情報(B)が統合される。

2. 研究成果概要

2.1 行動学・神経生理学的解析

ヒトの世界に関する内部表象は、どのような身体や脳の活動を通して獲得されるかによって、成長と共に「動作的」、「映像的」、「象徴的」なものへと変化・付加される(図2)。ニホンザルも、2週間程の訓練(図5B)によって、道具使用(図3A)やビデオモニタ内への自己意識の投影(図4A)などが可能なことが明らかになった。このとき、体性感覚と視覚を統合して身体イメージをコードする頭頂間溝部皮質のニューロンの視覚受容野が変化して、道具使用(図3C)やモニタ使用(図4B)に伴う身体像の内観的な変更をコードすることを見出した。これらのスキルが一旦修得されると1~数日の訓練により計画的・複合的な道具使用(図6)も出来るようになるが、このような論理

的な推論を要する課題には、身体像の象徴的表象を操作する心的過程が必須だと想定される。

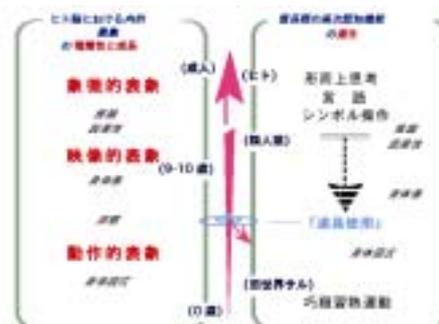


図2: ヒト認知能力の発達(左)と霊長類高次認知機能(右)の対照比較。

2.2 解剖学・脳機能画像解析

約2週間の道具使用学習に伴って、視覚入力が入力された体性感覚連合皮質に侵入・強化されて、ニューロン活動様式が変化することに対応する皮質間結合の変化を、神経標識法によって確かめた。また、道具使用に伴う身体像操作に関する脳部位(図3B)を、非拘束サルを用いた無侵襲脳機能画像解析(ポジトロンCT、PET)によって同定し、前項の神経活動記録部位が関与することを確認した。さらに、応用的道具操作に関する脳部位(図6B)も同様の手法にて同定した。

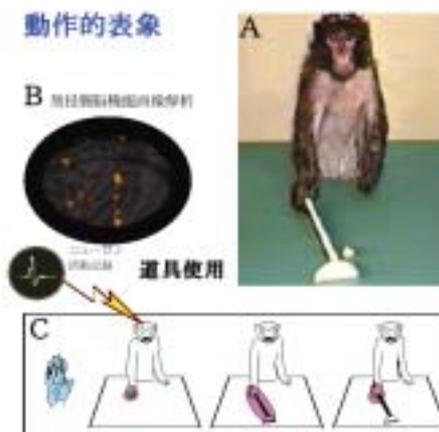


図3: 道具使用時(A)の身体像の動作的表象の変化をコードすると考えられる脳部位(B)と神経活動様式(C; 青-触覚受容野、赤-視覚受容野)。

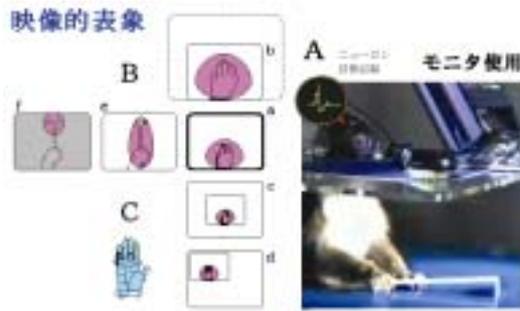


図4：ビデオモニター使用時(A)の身体像の映像的表象の変化をコードすると考えられる頭頂葉皮質ニューロン活動様式。B；視覚受容野一映像(a)の拡大(b)縮小/移動(c,d)につれて変化し、道具を持つと延長(e)、先端のみ残すとシフト(f)した。C；体性感覚受容野。

2.3 分子遺伝学的解析

学習依存的な皮質神経回路形成に關与する分子遺伝学的メカニズム解明に供するサル脳の学習修得段階を客観的に特定するために、訓練中の道具使用パターンを定量化した結果(図5)この学習過程が1)感覚学習期、2)運動パターン形成期、3)運動習熟期に分けられることが判った。さらに、感覚学習期には最初期遺伝子(zif-268;図5D)や神経栄養因子(BDNF,NT3)が頭頂間溝部皮質で特異的に、反対側の同一脳領域に比べて発現が増大することが明らかとなった。この発現は学習完成後には対照値にもどった。

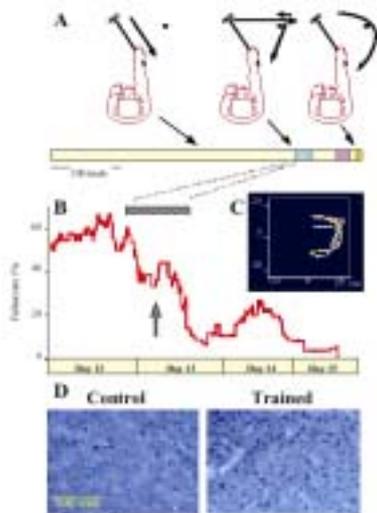


図5：道具使用修得過程の典型的行動パターン(A)と道具運用軌跡(C)。学習曲線(B)の認知学習期()では、頭頂葉皮質で最初期遺伝子タンパク(Zif-268)の発現が対側同一部位に比べて増大する(D)。

象徴的表象 計画的道具複合使用

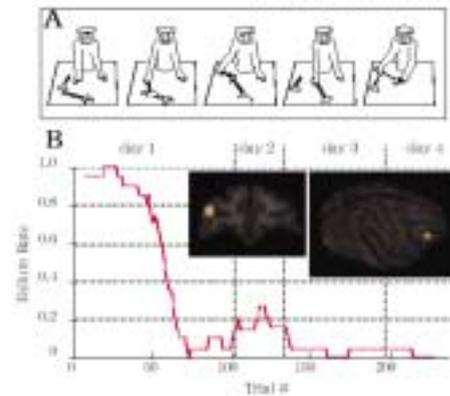


図6：身体像の象徴的表象の操作を要する、計画的道具複合使用(A)の学習曲線と脳活動(B)。

3. 結論

頭頂間皮質での多種感覚統合により身体イメージなどの表象が種々の形式で生成・操作されることが判明し、その神経生物学的基盤の物質レベルでの解明の手がかりを得た。この部位で成立した表象をさらに高度なシンボル操作的に應用する脳機構も判りつつある。

主な発表論文

- (1) Taoka, M., Toda, T., Iriki, A., Tanaka, M., Iwamura, Y. (2000). Bilateral receptive field neurons in the hindlimb region of the postcentral somatosensory cortex in awake macaque monkeys. *Exp Brain Res.*, **134**, 139-46.
- (2) Obayashi, S., Tanaka, M., Iriki, A. (2000). Subjective image of invisible hand coded by monkey intraparietal neurons. *Neuroreport.*, **16**, 3499-505.
- (3) Ishibashi, H., Hihara, S., Iriki, A. (2000). Acquisition and development of monkey tool-use: behavioral and kinematic analyses. *Can J Physiol Pharmacol.*, **78**, 958-66.
- (4) Iriki, A., Tanaka, M., Obayashi, S., Iwamura, Y. (2001). Self-images in the video monitor coded by monkey intraparietal neurons. *Neurosci Res.*, **40**, 163-73.
- (5) Obayashi, S., Suhara, T., Kawabe, K., Okauchi, T., Maeda, J., Akine, Y., Onoe, H., Iriki, A. (2001). Functional brain mapping of monkey tool use. *Neuroimage.*, **14**, 853-61.
- (6) Iwamura, Y., Taoka, M., Iriki, A. (2001). Bilateral activity and callosal connections in the somatosensory cortex. *Neuroscientist*, **7**, 419-29.
- (7) Ishibashi, H., Hihara, S., Takahashi, M., Heik,e T., Yokota, T., Iriki, A. (2002). Tool-use learning selectively induces expression of brain-derived neurotrophic factor, its receptor trkB, and neurotrophin 3 in the intraparietal cortex of monkeys. *Cogn. Brain Res.*, (in press).
- (8) Ishibashi, H., Hihara, S., Takahashi, M., Heik,e T., Yokota, T., Iriki, A. (2002). Tool-use learning induces BDNF in a selective portion of monkey anterior parietal cortex. *Mol. Brain Res.*, (in press).
- (9) Kumashiro, M., Ishibashi, H., Itakura, S., Iriki, A. (2002) Bidirectional communication between a Japanese monkey and a human through eye gaze and pointing. *Curr. Psychol. Cogn.*, (in press).