

# 「心の内」を計測する

体性感覚と視覚の統合による心的身体イメージの生成と操作の脳内メカニズム

入来篤史

## ■研究のねらい

ヒトの祖先は、環境中の事物を指し示すために個別の身振り・音声を割り当て（象徴的意味表現）、それを他個体に伝達するために共通理解可能な法則（統語・文法構造）を創り出し、それらを自由に構造化すること（象徴操作）を進化させて言語機能を獲得したとする説がある。ヒトの知性を担うのは、「事象を象徴化しそれを心の内でする」能力であり、その萌芽は、身振りなどの行為を担うサル類の脳神経に存在すると期待される。その最も高度な行為の一つが「道具使用」である。道具は物理的・機能的に手の延長となって身体に同化し、身体イメージが変化する。ここには、「自己と周囲の空間の関係を認識し、これを機能に基づいて意識的に構造化し操作する」という柔軟な空間構成能力、あるいは洞察的なゲシュタルト転換能力が要求される。すなわち、道具使用行為の根底にもまた、自己および環境を物理的拘束条件から離れて操作・再構造化する『心の内』の象徴操作過程が想定される。本研究では、高度な認知機能が要求される種々の道具使用課題を訓練したニホンザルを用いて、この様な身体イメージの心的操作過程に対応した神経活動を物理現象として計測することを通して、ヒトの知性の脳内メカニズムの解明に挑戦することをねらった。

## ■研究成果

大脳皮質頭頂葉後下方部領域近傍は、中心後回を後方に向かって逐次階層的に処理の進んできた体性感覚情報と、視覚背側経路を前方に向かって処理されてきた空間視情報とが統合される脳領域である。種々の道具使用課題を訓練したニホンザルのこの脳領域（頭頂間溝前後壁部、図1）から、体性感覚受容野と同時に視覚刺激にも応ずる Bimodal Neuron の活動を慢性的に記録し、それらの受容野特性を解析した。

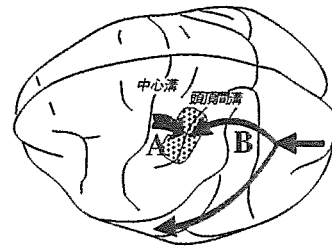


図1：ニューロン活動記録部位を示す模式図。電極を、頭頂間溝前後壁部（陰影部）に刺入した。ここでは、中心後回を後方に向かって階層的に処理される体性感覚情報（A）と、背側経路に沿って前方に向かって処理されてきた空間視情報（B）が統合される。

体性感覚受容野は、軽い触刺激や圧迫、関節の受動的屈伸、腕/手/指の能動的運動に対する反応特性によって同定した（図2 A）。視覚受容野は、空間走査用の視覚刺激プローブ（図2 B aの破線は走査の軌跡を示す）がそのニューロンの発火（bの一点が一発のスパイク電位に対応する）を密に引き起こす空間の範囲（c 陰影部）と定義した。通常、視覚受容野はそのニューロンの体性感覚受容野を包囲する空間に存在し、体を動かして体性感覚受容野が空間内を移動すると、視覚受容野もそれに従って移動した。この脳領域の Bimodal Neuron は、体性感覚と視覚と統合して空間内における身体イメージをコードするものと解釈される。

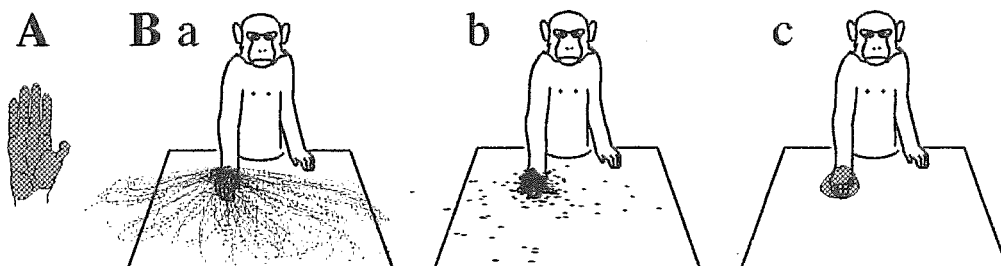


図2：体性感覚（A）、および視覚受容野（B）の同定方法を示す模式図。

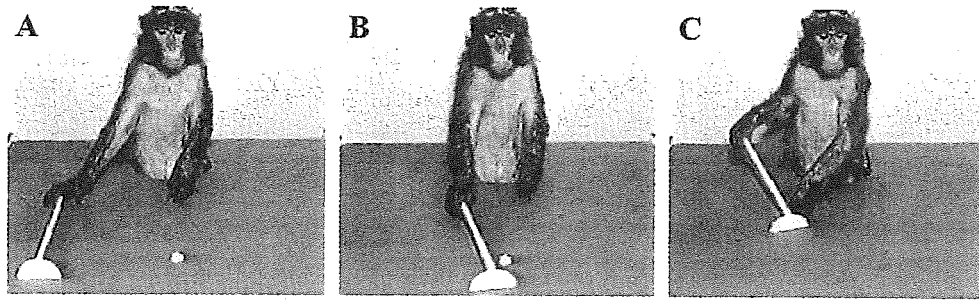


図3：ニホンザルの道具使用行動。餌（リンゴの角片）を手の届かない距離に置くと、手直にある熊手状の道具を取り上げて（A）、その先で餌に到達し（B）、手元に引き寄せて反対側の手で餌を取り上げる（C）。

熊手状の道具を使って遠くの餌をとるように訓練したニホンザル（図3）の頭頂間溝前壁部の手/前腕に体性感覚受容野のある Bimodal Neuron では、サルが道具を使用する時には、素手のときには手/前腕の周囲の空間にあった視覚受容野が道具に沿って延長した（図4；視覚受容野を陰影によって示す、以下の図も同様）。これらの変化は、サルが道具を使用しようとする意図にのみ関連してひきおこされた。これらのニューロン活動特性は、道具使用時に身体イメージが変化して道具が手に同化するという心理学的経験に対応する神経生理学的現象を計測したものと解釈される。

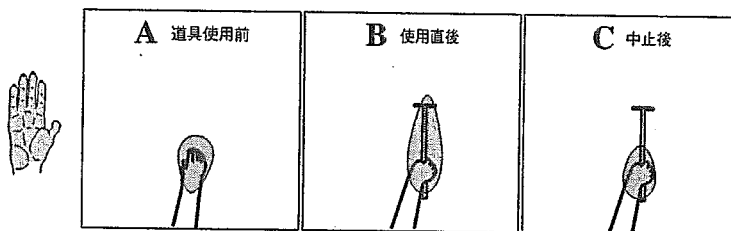


図4：手に存在する体性感覚受容野を包含する視覚受容野（A、手のイメージをコードすると解釈される）は、道具使用直後には道具に沿って拡大し（B）、道具使用中止後には再び縮小した（C）。これは、道具が心理的に手の延長になったことを反映すると考えられる。左挿入図は、体性感覚受容野。

熊手を持つと到達距離が延長する。これをサルが正確に理解しているらしいことは、図5に示す行動から推察される。道具を使えば届くが素手では届かない距離に餌が提示されると、サルは迷うことなく熊手を使ってそれをとる（図5 B）。しかし、素手でも届く近距離に提示されると道具をもたずに直に手で取りに行く（図5 A）。また、道具を使っても到達出来ない遠方に提示すると諦めて道具も放棄してしまう（図5 C）。これらの”間合い”の判断は、実際に道具を使って試してみることなしに、餌の置かれた位置を一瞥しただけで即座に下される。したがって、サルは状況に応じて到達できる距離を把握しているものと推察される。

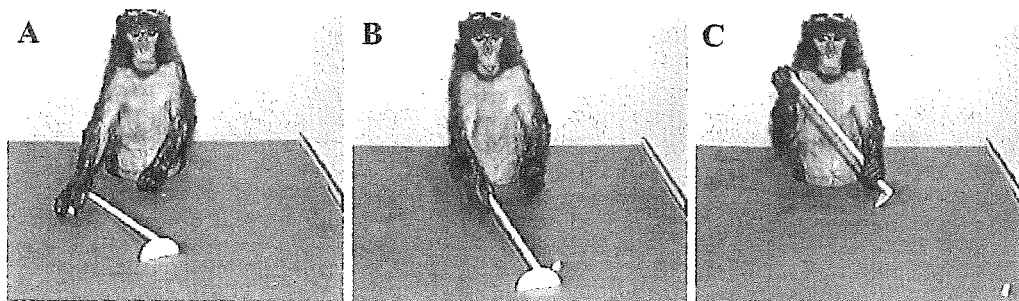


図5：餌との距離による行動の違い。A：餌が手の到達距離内にあると道具は使わない。B：手の到達距離を超えると熊手を使って餌をとる。C：道具の到達距離をも超えると試みることなく放棄する。

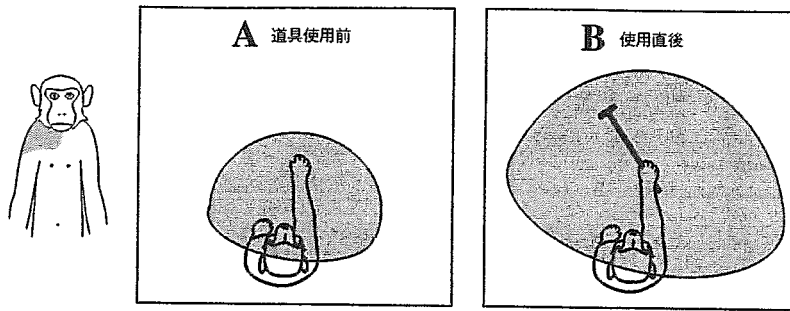


図6：上腕よりも近位に体性感覚受容野のあるニューロンでは、道具使用前には手の到達範囲に存在した視覚受容野（A）は、道具使用直後には道具を持って到達することの出来る範囲に拡大した（B）。左挿入図は、体性感覚受容野。

図6に示すのは、視覚刺激が到達範囲に侵入してきたときにだけ活動するニューロンの視覚応答様式である。このニューロンの体性感覚受容野は、近位上腕および肩周囲の皮膚に存在し、手に道具を持っていないときには、腕の届く範囲の空間に視覚刺激が侵入したときに強く応答した（図6 A、陰影の範囲）。道具を手を持って使用した直後には、このニューロンの視覚受容野は道具の届く範囲の空間に拡大した。（図6 B、陰影の範囲）。したがって、このニューロンはその状況における到達範囲をコードしていると考えられる。

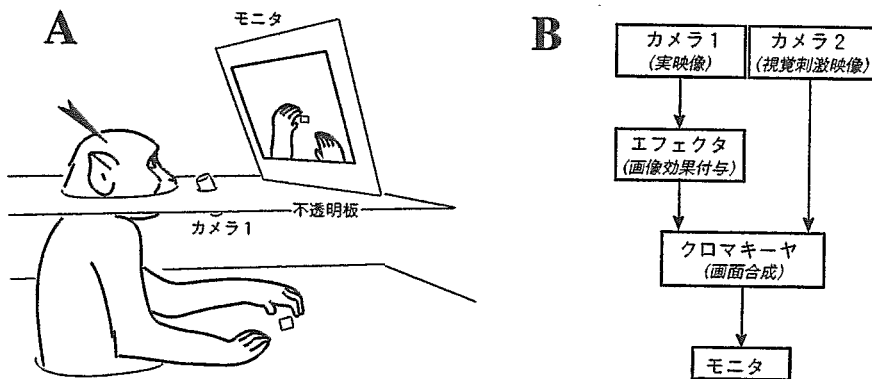


図7：モニタ内への身体イメージの投影を調べる実験システム。眼下の不透明板に遮られて手元を直視できないので、モニタの映像のみを見ながら餌をとる（A）。映像効果用のビデオ信号経路をBに示す（カメラ1で撮影した実映像をエフェクタで加工した後、カメラ2で撮影した視覚刺激映像をクロマキーヤを用いてはめ込み合成して、モニタに提示する）。

さらに、直接手元を見る代わりにモニタ上に写された自分の手のビデオ映像を見ながら餌をとるようニホンザルを訓練すると（図7）、上記ニューロンの視覚受容野はモニタ上に映写された手の周囲に出現した（図8）。

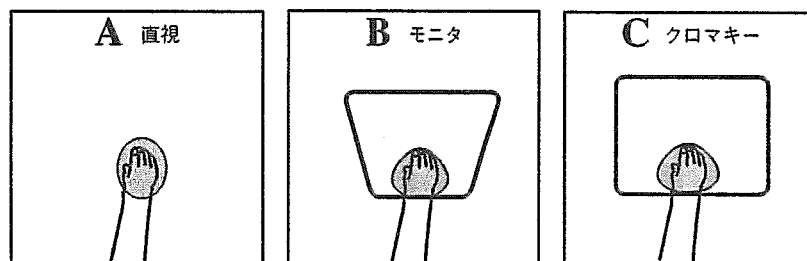


図8：直視下では手の周囲にあった視覚受容野（A）は、不透明板で視野を遮るとモニタを通して見た手の周囲に残存し（B）、クロマキーで画面内だけに視覚刺激を合成して提示すると画面の中の手の周囲に形成された（C）。太線枠はモニタフレームを示す。左挿入図は、体性感覚受容野。

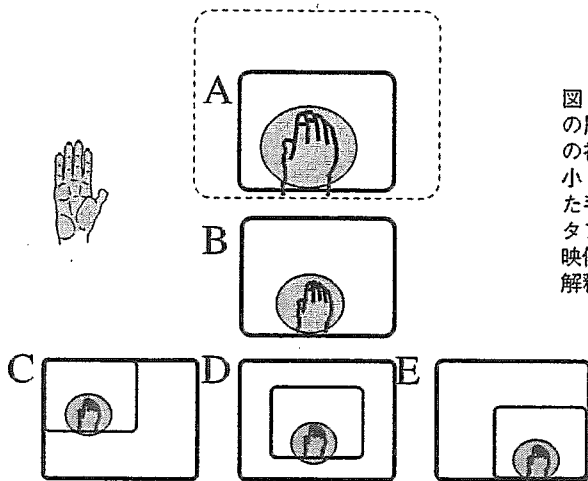


図9：視覚受容野はモニタ上に映写された手の周囲の画面内に形成された(B)。画面内の視覚受容野は、手の映像を拡大(A)、縮小(D)や位置移動(C、E)すると変化した手の映像に対応して変化した。太枠はモニタフレームを表す。これは、モニタ上の身体映像を自己と認識したことを反映するものと解釈される。左挿入図は、体性感覚受容野。

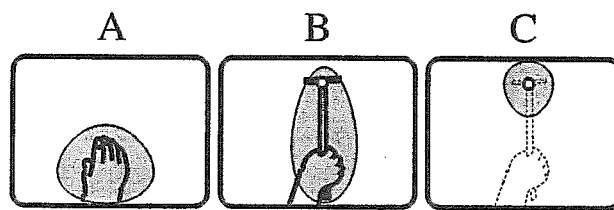


図10：ビデオモニタに映る手の周囲に形成された視覚受容野(A)は、道具を持つと手から道具周囲を含む映像領域に延長し(B)、映像効果により手を消去し道具先端のみ映写すると視覚受容野はその点を中心とした領域に移動した(C)。

モニタ内に形成された視覚受容野は、映像の拡大/縮小や位置の移動に従って変化した(図9)。これは、モニタ上の身体映像を自己と認識して、身体イメージがモニタ上に投影されたことを反映するものと解釈される。

道具を使って餌をとる行動をモニタで見ながら行くと、先に直視下で道具を使ったときに見られたのと同様に、手の周囲にあった視覚受容野は道具に沿って延長した(図10B)。さらに、映像効果装置によって、道具の先端のみを残して手の映像を消去すると、視覚受容野は道具の先端を中心とした領域に移動した。これは、手のイメージが画面上の手がかりにシフトしたことに対応するものと考えられる。

これらのニューロン活動は、訓練により学習が成立したサルでのみ観察された。したがって、この領域のニューロンは、多種感覚の統合によって手の機能的意味/象徴をコードし、それを意図によって自由に操作する能力を、訓練により獲得したものと考えられる。

#### ■今後の展開

本研究の成果を発展させることによって、より高度な心的象徴操作機能であるヒトの言語機能の脳内メカニズムの解明へと発展する可能性を開き、さらには形而上的な論理的概念思考の脳内メカニズムを知り、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できるものと期待している。

#### ■成果リスト

- 1) Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y: Attention-induced neuronal activity in the monkey somatosensory cortex revealed by pupillometrics. *Neurosci. Res.* 25: 173-181, 1996.
- 2) Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y: Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurons. *Neuroreport* 7: 2325-2330, 1996.

- 3) 入来篤史: サル頭領間溝腹側部における体性感覚と視覚の統合. 生理学研究所研究会「運動及び行動発現のストラテジー: 感覚認知、自律神経/常道及び運動各経の相互連関」1996.
- 4) Iwamura Y, Iriki A, Tanaka M: Integration of somatosensory signals and visual-somatosensory convergence in the parietal cortex. 1st FAONS Cong., IBRO Region. Cong. Abstr: 44, 1996.
- 5) Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y: Tool use-induced modification of peripersonal space coding in the monkey posterior postcentral area. *Neur. Cont. Mov.* 6: CI-7, 1996.
- 6) Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y: Assimilation of a tool to the hand: its neuronal correlates in monkeys. *Soc. Neurosci. Abstr.* 22: 1855, 1996.
- 7) Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y: Modification of postcentral visual responses in monkeys during tool use. *Jpn. J. Physiol.* 46 (Suppl) S152, 1996.
- 8) Taoka M, Toda T, Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y: Receptive field properties of the neurons in the second somatosensory cortex of the awake monkey. *Neurosci. Res.* 20 (Suppl): S216, 1996.
- 9) Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y: Self image in the video monitor is coded by parietal neurons. *Soc. Neurosci. Abstr.* 23: 211, 1997.
- 10) Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y: Monkey postcentral neurons coding self image in the video screen. *Neurosci. Res.* 21 (Suppl), 1997.
- 11) Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y: Modified body schema during tool-use is coded by postcentral neurons. *JST Mind Articulation Project Workshop*, 9, 1997.
- 12) 入来篤史: 視覚と触覚の統合と身体像. 文部省科学研究費重点領域研究「人工現実感に関する基礎的研究—仮想空間の生成と人間との相互作用に関する研究—」平成9年度第一回全体会議予行集. p3, 1997.
- 13) 入来篤史: サルの道具使用と身体像 *神経進歩* 42: 98-105, 1998.
- 14) Obayashi S, Tanaka M, Iwamura Y, Iriki A: Postcentral neurons responding to visual stimuli presented near the invisible forearm. *Neurosci. Res.* 22 (Suppl): S186, 1998.
- 15) Obayashi S, Tanaka M, Iwamura Y, Iriki A: Parietal neurons coding the image of the invisible forearm. *Soc. Neurosci. Abst.* 24: 435, 1998.
- 16) Taoka M, Toda T, Iriki A, Tanaka M, Iwamura Y: Hierarchical organization of bilateral neurons in the second somatosensory cortex of awake macaque monkeys. *Soc. Neurosci. Abst.* 24: 1381, 1998.