

■S3 群 (脳・知能・人間) - 2 編 (感覚・知覚・認知の基礎)**12 章 身体イメージ**

(執筆者：乾 敏郎・小川健二) [2008 年 5 月 受領]

■概要■

身体イメージは「自己とは何か」ということと密接に関係している。更に最近の認知科学では、自己意識との関連で、自己は narrative self と minimal self から構成されると考えられている¹⁾。narrative self とは永続的に存在する自己、つまり過去の記憶から未来の展望まで含めた自己像である。一方 minimal self とは一時的な自己であり、これは行為の Awareness に対応する。この minimal self は、自己主体感 (sense of self-agency) と自己所有感 (sense of self-ownership) からなると考えられている。自己主体感は行為を自分自身で行っているという感覚であり、自己所有感は自己の身体が正に自己のものであるという感覚である。したがって、身体イメージの研究も minimal self と密接に関係し、これがどのように作りあげられているかという方向で研究が進められている。また脳の主に後部頭頂皮質で、多種の感覚情報や運動指令の遠心性コピーを統合し、統一的な身体イメージが形成されていることが示唆されている。

【本章の構成】

本章では、まず身体イメージの心理 (12-1 節) で心理学的な知見を述べ、身体イメージの生理 (12-2 節) でその神経基盤、身体イメージの病理 (12-3 節) で症例研究、身体イメージと模倣 (12-4 節) で模倣との関連について述べる。

■S3 群 - 2 編 - 12 章

12-1 身体イメージの心理

(執筆者：乾 敏郎・小川健二) [2008年5月 受領]

12-1-1 幻肢と幻肢痛

幻肢とは、手が切断された後も手があるように感じる現象である。幻肢では、既がない手や足に対して様々な感覚が生ずる。例えば顔を触ると、幻肢の上を水が垂れると感ずることがある。更に、幻肢は半年ぐらいの間に徐々に短くなり、最後は消える。この現象を *telescoping*、または *shrinkage* と呼ぶ。このような身体像の錯覚は、体性感覚皮質にある身体部位に対応した脳内地図の再編成によって起こると解釈されている。*Spitzer* はこのような幻肢の機序を、自己組織化マップ (*self-organizing map*; *SOM*) を用いたシミュレーションによって説明しており、これはいくつかの臨時的な所見とも整合性をもつ²⁾。例えば、脊髄から切断された手に対応する *SOM* へのノイズ入力によって幻肢のうずきやかゆみが生ずると考えている。また、感覚入力のなくなった皮質に隣接する皮質からの入力があるために顔を触ると手を触られたような感覚が生ずる。更に地図の再構成が *SOM* によって生じ、*telescoping* や *shrinkage* は長時間をかけて生ずる皮質の表現領域の減少に対応する。

幻肢が消えていく過程で幻肢痛が生ずることが多いが、*Ramachandran* はバーチャルリアリティボックスと呼ばれる装置を用いて、幻肢痛を軽減する方法を提案している³⁾。これは両手を入れる穴の開いた箱であり、手を入れると中央の鏡によって失った手があたかも存在するように見える。この状態で両手を同時に動かしてもらおうと、鏡に映った右手が左手のように見え、左手の無い人では自分の失った手が動いているように見える。これをしばらく続けると、幻肢痛が治まると報告されている。

12-1-2 ゴムの手の錯覚

身体の錯覚の一つに、ゴムの手の錯覚 (*rubber hand illusion*) がある⁴⁾。これは、実験協力者の眼前につくり物の手 (ゴムの手) を置いた状態で、実験者が棒などでゴムの手と協力者の手を同期して叩く。協力者の手は遮蔽物の下に置いているので見えない。そうすると、見えているゴムの手が、あたかも自分の手のように感じるという錯覚である。このことは、身体の視覚情報が、自己身体の所有感 (*sense of self-ownership*) に影響していることを示唆する。ヒトの脳機能イメージングから、この錯覚には主に運動前野がかかわっていることが報告されている⁵⁾。

12-1-3 バイブレータを用いた錯覚

バイブレータで四肢の腱に振動を与えると、あたかも腕が動いたかのような錯覚が得られる。例えば 100 Hz のバイブレータで、腕の筋肉を 4 方向から振動刺激し、うまく調整すると円を描いたり、四角を書いたりしているイメージをつくることができる。また、暗室で点を見て眼筋の下直筋を 100 Hz、40 Hz、20 Hz と周波数を変えて刺激すると、点があたかも上に上がっていくような錯視が生ずる。どのぐらい上に上がって見えるかは刺激の周波数によって変化するが、周波数が高い程、より大きく点が動く。このように見ているものの位置の処理は、身体感覚と密接に関係していることが分かる。*Lackner* は、鼻を人差し指と親指でつ

まみ、バイブレータで上腕三頭筋を刺激すると、鼻が高くなる経験をすることを報告した⁶⁾。逆に上腕二頭筋を刺激すると、鼻が顔の中に落ちていくような（縮んでいくような）気がする。このことは、すべての知覚というのは身体の状態と整合するように環境にある物を解釈しているということを示唆する。腕のバイブレータ錯覚には、腕とは対側の一次運動野を含む感覚運動関連野がかかわっていることが報告されている⁷⁾。

12-1-4 内部モデルと自己所有感

随意的に手を動かす場合、手が動くとその感覚フィードバックが返ってくる。脳内には手の内部モデル (internal model) があり、内部モデルが予測した結果と実際のフィードバックを比較しながら正確な運動を実現していると考えられる。またフィードバックがないときは、内部モデルが予測した感覚フィードバックは内的イメージとして使える。また内部モデルは、身体所有感 (sense of self-ownership) の生成にも関与するが、所有感を生み出す機構について二つの経路が存在することが示唆されている。Tsakiris らは、実験協力者の手と他人の手をディスプレイに提示し、どちらの手が自分の手かを当てさせる実験を行った⁸⁾。その際、受動的に指が伸びたり縮んだりする条件では、自分の手かどうかという判定が困難であった。このことは、自己所有感に対して、自己受容感覚だけでは非常にわずかな情報しかなく、自己の運動指令が重要であることを示唆する。彼らは運動指令を直接使って、運動のタイミングだけを測っている経路と、自己受容感覚や視覚情報を予測する経路という 2 経路が存在するのではないかと主張している。

■S3 群 - 2 編 - 12 章

12-2 身体イメージの生理

(執筆者：乾 敏郎・小川健二) [2008年5月受領]

12-2-1 身体の視覚情報を処理する部位

身体の視覚情報処理には、外側後頭葉の有線外皮質身体領野 (extrastriate body area ; EBA) という部位がかかわることが知られている。ヒトの脳からの直接記録 (intracranial recording) を用いた研究から、身体の画像に対して EBA が潜時 200~250 ms で強く応答することが明らかとなっている⁹⁾。また EBA は、顔の視覚処理にかかわる紡錘状回顔領野 (fusiform face area ; FFA) とは対照的に、顔画像に対してはあまり活動しない。一方、上側頭溝 (superior temporal sulcus ; STS) のニューロンは、視線・表情や、歩く・走るなどの全身運動の視覚情報に選択的に応答する。これらはバイオリジカルモーション (biological motion) と呼ばれ、他者とコミュニケーションするときに重要である。更に右の後部 STS は顔のない動物でも応答する。Blair と Frith らは、STS は自分で動くもの、例えば猫や馬、あるいはオートバイなどでも応答するのではないかと提案している¹⁰⁾。

12-2-2 視・触覚情報の統合と身体イメージ

サルの上頭頂小葉の 5 野には、手に対する触覚と視覚の両方の受容野をもつ神経細胞 (bimodal neuron) が存在する。Graziano らの実験では、まず実際の手によく似た偽の手を用意した¹¹⁾。ゴムの手錯覚の条件と同じように、サルの手は黒いプラスチックの板で見えない状態にある。本当の手と偽の手がほぼ重なっている場合、重なっていないときに比べてニューロンは強く手に応答する。したがってこの活動は、偽の手も自分の身体の一部ではないかということ想像する反応であるといえる。またニューロンは手の位置 (実際の手だけでなく偽の手でも) に選択的に応答する。更にこのニューロンの応答は、左手か右手かも区別している。すなわち偽の右手を左の方から伸びているように提示すると応答しない。これらの結果は、5 野のニューロンがもっともらしく肩から伸びているサルの手に見える視覚刺激の位置をコード化することを示唆する。

12-2-3 情報統合と位置の記憶

頭頂葉 5 野と同じく、運動前野腹側部にも触覚と視覚の両方の受容野をもつ bimodal neuron があることが知られている¹²⁾。これらのニューロンの触覚と視覚の受容野は空間的に一致しており、二つの感覚が統合された反応を示す。例えば、顔の一部を触られるとあるニューロンが応答するが、顔の近くに光や物がきても応答する。別のニューロンでは手の周辺に光がくると応答し、かつ、手を触られると応答する。そこで、手を別の位置に動かすと、手を触っても応答するのはもちろん、視覚に反応する場所も手とともに移動し、手の近くに光を出すと応答する。つまり視覚受容野が、手とともに動くのである (低次のニューロンの視覚受容野は、例えば一次視覚野のニューロンのように、網膜位置で決められ、固定されている)。運動前野の腹側部では、このように身体の近いところに物があるということを検出するとともに、身体感覚処理も行っている。

また顔のある位置に触覚受容野と視覚受容野もあるニューロンに対して、視覚受容野内に

光刺激を提示すると、まずその刺激に対してニューロンは応答する。そこで光を消すと、一部のニューロンでは光を消してもなお活動が続く。更にサルは気がつかれないように、光を消した状態で刺激を移動させた際にも、ニューロンは持続的に応答する。すなわちこのニューロンは物の位置が見えなくなっても、対象物がその場所にあり続ける（物体の永続性と呼ばれる）という認識に貢献している。

12-2-4 道具使用と身体イメージ

Iriki らはサルに道具使用を学習させた際に、頭頂葉の視覚と触覚の *bimodal neuron* の視覚受容野が道具、あるいはスクリーン上の映像にまで延長することを報告している¹³⁾。このような受容野の変化は、身体の拡張としての柔軟な道具使用を可能にしていると考えられる。Ogawa と Inui はコンピュータマウスを用いて、自分が生成した運動と、自分の運動とは関係ない外部運動に対する内的推定の違いを検討した¹⁴⁾。実験協力者は、マウスカーソルを使ってスクリーン上を動くターゲットの追従運動を行った。その際にカーソルあるいはターゲットの動きを視覚遮断した。遮断中には、見えないカーソルまたはターゲットの動きを推定しながらトラッキングを続けてもらった。結果から、カーソルが視覚遮断される条件では左半球の後部頭頂皮質の活動増加が見られ、ターゲットが視覚遮断される条件では右半球の後部頭頂皮質の活動増加が見られた。このことから、自分の運動と関連のあるカーソルの運動推定には左半球の後部頭頂皮質が、自分の運動とは関係ないターゲットの動きを推定する際には右半球の後部頭頂皮質が主にかかわることが示唆された。

12-2-5 身体のメンタルローテーション

身体のメンタルローテーション（心的回転）には後部頭頂皮質が関与することが知られている。例えば、相手の手のひらは右手かどうか手を出して触ってもらう課題や、上半身の図に対して指定された手が左手か右手かを判定させる課題、あるいは四つの物体の真ん中で観察者が回転するイメージや四つの物体の周りを移動するイメージの生成させる課題や、非典型的な景観からの物体の認知ということすべてに、左の頭頂葉が密接に関係していることが明らかとなっている。Keekner らは、メンタルローテーションとメンタルナビゲーション（心的移動）との神経基盤の違いを調べた¹⁵⁾。課題では最終的な視点から見て、ボールは左にあるか右にあるかを判断させた。この場合、自分がテーブルの周りをここまで移動するイメージをつくるということを指定する場合と、ターンテーブルを動かして、ここにもってくるイメージをつくるという二つの条件を比較している。これによって心的に対象物を動かすという操作と、心的に自分が移動する処理（視点取得）とがどのような関係にあるのかを調べることができる。結果から、対象操作の条件では右の頭頂葉は角度に応じて血流が上昇するが、視点取得の条件では同じ右の頭頂葉の血流が逆に低下することを報告している。

■S3 群 - 2 編 - 12 章

12-3 身体イメージの病理

(執筆者：乾 敏郎・小川健二) [2008年5月 受領]

12-3-1 幽体離脱と自己所有感

Blanke らは、右の側頭頭頂接合部 (temporo-parietal junction ; TPJ) を刺激すると幽体離脱 (out-of-body experience ; OBE) が生ずることを報告した¹⁶⁾。幽体離脱とは、多くの場合寝ているとき実際の身体から自分の体のイメージが抜け出ていって、上から自分を見下ろしているような錯覚である。つまり幽体離脱では、物理的な身体から身体イメージが抜け出て、離れたところに視点があって自分を見ているという状態が起こる。この TPJ に障害がある患者は、幽体離脱や自己幻視現象 (autosopic phenomenon) が生ずる。自己幻視現象では、自己周辺空間 (peripersonal space) にもう一人の自分が見える。すなわち視点が自分の体のなかにあって、もう一人の自分が見えるのである。このような現象は、子供によく起こる現象である。このような現象が生ずる機序について Blanke は、触覚、前庭感覚、及び視覚の統合機能に異常であると提案しており、統一的な身体イメージの形成の障害であることが示唆される。

12-3-2 自己身体部位失認と他者身体部位失認

主に左の後部頭頂皮質の障害によって、自己身体部位失認 (autotopagnosia) や他者身体部位失認 (heterotopagnosia) が生ずることが知られている¹⁷⁾。自己身体部位失認とは、自分の身体を正しくポインティングできない症例であり、身体の知識である身体図式の異常によって生ずると考えられている。一方、他者身体部位失認では、自分の身体に対するポインティングはできるが、例えば、相手の肩をポインティングして下さいと言ったとき、それができずに自分の肩をポインティングしてしまう。しかし、視線方向は正しく相手の肩に向いており、すなわち手と眼球運動では解離が見られることも報告されている¹⁸⁾。一方、主に右の頭頂葉損傷では、反対側の腕の麻痺を否認する病態失認 (anosognosia) という症例が見られる¹⁹⁾。

12-3-3 運動イメージの障害

後部頭頂皮質の損傷によって、内的な運動イメージの障害が生ずることが知られている。例えば 2 点間を往復するポインティング運動を連続的に行かせた際に、健常者では実際の運動実行と運動を伴わないイメージ化の両方で Fitt's Law と呼ばれる運動速度と正確さのトレードオフが観察される。しかし後部頭頂皮質損傷の患者では、損傷部位と反対側の手のイメージ化では Fitt's Law の関係性が見られないことが報告されており、内的な運動イメージが障害されていることが示唆される²⁰⁾。またこのような内的な運動イメージの障害は、実際の運動実行にかかわる一次運動野や大脳基底核の損傷では見られない。このことは後部頭頂皮質が運動イメージ、すなわち内的な運動シミュレーションにかかわっていることを示唆する。また、同じく左後部頭頂皮質の損傷によって視覚入力がない際に右腕の感覚が失われていく症例も報告されており、後部頭頂皮質が腕の現在の状態の保持にかかわっていることが示唆される²¹⁾。

■S3 群 - 2 編 - 12 章

12-4 身体イメージと模倣

(執筆著者：乾 敏郎・小川健二) [2008年5月 受領]

12-4-1 多種情報統合と新生児模倣

模倣では、視覚情報から自己の運動情報への変換（見まね，ジェスチャーの理解）や聴覚情報から自己の運動情報（構音指令）への変換（聞きまね，復唱）が必要である。すなわち模倣には、身体イメージを構成する多種感覚情報の統合が重要となる。生まれたばかりの新生児においても、様々な顔や手の自動詞的な運動を模倣することから、模倣行動が視覚的に知覚された入力と運動出力が直接的な照合を引き起こす証拠であると考えられてきた。このような新生児模倣に対する説明として Meltzoff らは、能動的異種情報間写像理論 (active intermodal mapping theory ; AIM) を提案しており、人間は生まれながらにして他者の視覚的に捉えられる動きを自己の運動感覚と照合できる能力をもっていると考えた。この理論は、視覚情報と自己が生成した行為の自己受容感覚を照合するための単一モダリティを超えた表象システム (supramodal representational system) を仮定している。更に AIM を介した自己と他者との身体動作の相互模倣は、自己と他者が似ている存在であること (自他等価性) の認識へとつながり、コミュニケーション機能のような社会的認知の基盤となっていると彼らは提案している²²⁾。

12-4-2 ミラーニューロンと直接マッピング仮説

ミラーニューロン (mirror neuron) とは、特定の動作を自身で実行するときのみならず、同じ動作を他者が行っているところを観察している際にも発火するニューロンであり、最初にサルの前運動野で発見された。ヒトでも、主に脳機能イメージング法を用いて、他者の動作観察の際に、自己の運動制御にかかわる前運動野や後部頭頂皮質が活動することが報告されており、ミラーニューロン・システム (mirror neuron system ; MNS) と呼ばれている。Rizzolatti らは、ミラーニューロンによって観察した他者の動作表象を自己の既に獲得された運動レパートリーに直接的にマッピングを行うことで、他者の行為の意味や意図の理解を可能にしていると提案しており、これは直接マッピング仮説 (direct matching hypothesis) と呼ばれている²³⁾。Iacoboni らは、ヒトで自動詞的な指運動を模倣させた際に、MNS を構成する前運動野と後部頭頂皮質で活動が見られることを報告しており、MNS に加えて身体運動の視覚処理にかかわる STS (本章 12-1-2 項参照) を含めた経路を、模倣の核回路 (core circuitry of imitation) と呼んでいる²⁴⁾。模倣では、視覚的に捉えた他者の身体と自己の身体との対応を考慮する必要があるが、MNS と自己他者間の身体イメージ変換との関連については不明であり、今後の検討が必要である。

■参考文献■

- 1) Gallagher, I.L., "Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science," Trends Cogn Sci, vol.4, no.1, pp.14-21, 2000.
- 2) Spitzer, M., "Phantom Limbs, Self-Organizing Feature Maps, and Noise-Driven Neuroplasticity," in Neural Modeling of Brain and Cognitive Disorders, ed. Reggia, J.A., Ruppini, E., and Berndt, R.S, World Scientific:

- Singapore, pp.273-282, 1996.
- 3) Ramachandran, V.S., Rogers-Ramachandran, D., and Cobb, S., "Touching the phantom limb," *Nature*, vol.377, no.6549, pp.489-490, 1995.
 - 4) Botvinick, M. and Cohen, J., "Rubber hands 'feel' touch that eyes see," *Nature*, vol.391, no.6669, pp.756, 1998.
 - 5) Ehrsson, H.H., Spence, C., and Passingham, R.E., "That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb," *Science*, vol.305, no.5685, pp.875-877, 2004.
 - 6) Lackner, J.R., "Some proprioceptive influences on the perceptual representation of body shape and orientation," *Brain*, vol.111, no.2, pp.281-297, 1988.
 - 7) Naito, E., et al., "Illusory arm movements activate cortical motor areas: a positron emission tomography study," *J Neurosci*, vol.19, no.14, pp.6134-6144, 1999.
 - 8) Tsakiris, M., et al., "Neural Signatures of Body Ownership: A Sensory Network for Bodily Self-Consciousness," *Cereb Cortex*, 2006.
 - 9) Pourtois, G., et al., "Direct intracranial recording of body-selective responses in human extrastriate visual cortex," *Neuropsychologia*, vol.45, no.11, pp.2621-2625, 2007.
 - 10) Blair, R.J., et al., "Fractionation of visual memory: agency detection and its impairment in autism," *Neuropsychologia*, vol.40, no.1, pp.108-118, 2002.
 - 11) Graziano, M.S., Cooke, D.F., and Taylor, C.S., "Coding the location of the arm by sight," *Science*, vol.290, No.5497, pp.1782-1786, 2000.
 - 12) Graziano, M.S., Hu, X.T., and Gross, C.G., "Coding the locations of objects in the dark," *Science*, vol.277, no.5323, pp.239-241, 1997.
 - 13) Maravita, A. and Iriki, A., "Tools for the body (schema)," *Trends Cogn Sci*, vol.8, no.2, pp.79-86, 2004.
 - 14) Ogawa, K. and Inui, T., "Lateralization of the Posterior Parietal Cortex for Internal Monitoring of Self- versus Externally Generated Movements," *J Cogn Neurosci*, vol.19, no.11, pp.1827-1835, 2007.
 - 15) Keehner, M., et al., "Modulation of neural activity by angle of rotation during imagined spatial transformations," *Neuroimage*, vol.33, no.1, pp.391-398, 2006.
 - 16) Blanke, O., et al., "Stimulating illusory own-body perceptions," *Nature*, vol.419, no.6904, pp.269-270, 2002.
 - 17) Ogden, J.A., "Autopagnosia. Occurrence in a patient without nominal aphasia and with an intact ability to point to parts of animals and objects," *Brain*, vol.108, no.4, pp.1009-1022, 1985.
 - 18) Degos, J.D., et al., "Selective inability to point to extrapersonal targets after left posterior parietal lesions: an objectivization disorder?," *Neurocase*, vol.3, no.1, pp.31-39, 1997.
 - 19) Haggard, P. and Wolpert, D., "Disorders of Body Scheme," in *Higher-Order Motor Disorders*, ed. Freund, H., et al., Oxford University Press: Oxford, pp. 261-272, 2005.
 - 20) Sirigu, A., et al., "The mental representation of hand movements after parietal cortex damage," *Science*, vol.273, no.5281, pp.1564-1568, 1996.
 - 21) Wolpert, D.M., Goodbody, S.J., and Husain, M., "Maintaining internal representations: the role of the human superior parietal lobe," *Nat Neurosci*, vol.1, no.6, pp.529-533, 1998.
 - 22) Meltzoff, A.N., "Like me": a foundation for social cognition," *Dev Sci*, vol.10, no.1, pp.126-134, 2007.
 - 23) Rizzolatti, G., Fogassi, L., and Gallese, V., "Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action," *Nat Rev Neurosci*, vol.2, no.9, pp.661-670, 2001.
 - 24) Iacoboni, M., "Neural mechanisms of imitation," *Curr Opin Neurobiol*, vol.15, no.6, pp.632-637, 2005.