

円滑な間主観的インタラクションを可能にする神経機構

乾 敏郎 (京都大学大学院情報学研究科教授)

Toshio INUI



1950年生まれ。大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了。文学博士、工学修士。ATR視聴覚機構研究所主幹研究員、京都大学文学部哲学科心理学教室助教授、同教授を経て現職。日本認知心理学会常務理事、日本神経心理学会理事。言語・非言語コミュニケーション機能の認知神経科学的研究に従事。健常成人の研究のみならず、発達原理の解明に向けた研究やコミュニケーション障害の脳内メカニズムに関する研究なども行っている。著書に『イメージ脳』(岩波書店)、訳書に『脳の学習力——子育てと教育へのアドバイス』(岩波書店)ほか多数。

われわれは、互いに理解し合ったり、他者の気持ちを推し量ったり、あるいは他者の考えを変えるために説得したりしながら社会生活を営んでいる。このような社会生活を送る上で基本となる機能は何か、またそれはどのようにして作り上げられているのかを脳内ネットワークのレベルで理解することを目的に、筆者らは研究を進めてきた。

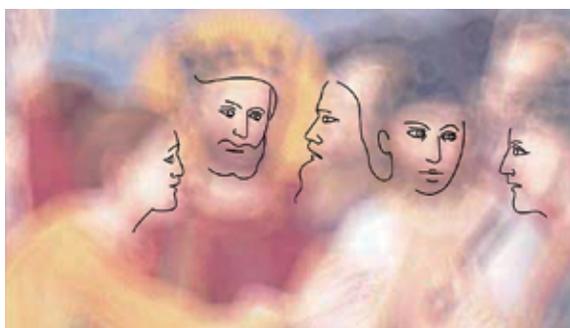


図1 他者とともに営む社会生活

1 円滑なコミュニケーションを行うための3つのシステム

われわれは、円滑なコミュニケーションを行う上で以下の3つのシステムが必要不可欠であると考えている。

- 1) like-me システム
- 2) different-from-me システム
- 3) 予測とモニタリングシステム

like-me システムは、他者と自己が共通の知識を持つことによって、他者動作や意図を理解するシステムで、ミラーニューロンシステムと呼ばれるネットワークによって支えられている (Rizzolatti and Sinigaglia, 2008)。ミラーニューロンは、ある行為を行う運動指令を出すニューロンであると同時に、同じ行為を他者が行っているのを見るだけでも応答する性質を持つ。すなわち、ミラーシステムは行為のマッチングシステムである。他者の動作は画像として視覚的にマッチングするのではなく、自己の身体を制御するシステムによってマッチングし理解されているのである。したがって、ミラーニューロンは他者の行為を模倣するときに重要な役割を果たす。さらに近年、ミラーニューロンは他者の単一行為が直接向かうゴールを認識するの

も深く関わるとされる。他者動作を観察しているときに脳-脳カップリングが生じ、自己と他者の脳システムが共鳴することにより、他者と理解し合えるのである。ミラーシステムが同期して働くことが、二者の脳活動の同時計測によって実際に確認されている (Schippers et al., 2010)。

一方、different-from-me システムは他者のこのころを読む機能であり、他者の視点で物事を考えたり、外見には見えない他者の心の内を推測したりする働きを持つ。like-me システムが他者の外面的な動作を理解する機能を担うのに対し、different-from-me システムは他者の内面的なこのころの状態を推定する機能を担う。パントマイムやごっこ遊び・ふり遊びなどを成り立たせる分離表象(動作主が考えている、見かけの動作とは異なる表象)は、この機能によって形成される。

ところで、われわれが行為を円滑に行うためには、どのような行為でも、予測機能が必要である。その理由は、神経系による情報処理には大きな遅延があるからである。たとえば、視覚刺激が呈示されてから後頭葉に伝わるまでの時間は約100ミリ秒である。そこから視覚の形態分析などが側頭葉で処理されるために

は、さらに長い時間が必要となる。また、運動指令が運動野から出て筋肉が収縮するまでも約100ミリ秒かかるとされる。このように、神経系の情報伝達には大きな遅延があり、



図2 共鳴する自己と他者の脳システム

どのような行為でもその結果はある一定の時間だけ必ず遅れて伝わることになる。ところが、遅れて伝わる行為の結果を待ってから行為を評価している、円滑さを実現できない。そこで円滑な行為を行おうとすると、行為の予測とモニタリングシステムが不可決なのである。

2 模倣、共感と社会性機能

対人場面で、ある人が自らの動作を相手に模倣されると、相手への親和性や好みが向上するだけでなく、同じ状況に加入する新たなメンバーに対しても協力的にふるまうことが、社会心理学で明らかにされている (Chartrand and van Baaren, 2009)。幼児のコミュニケーション機能の発達においても模倣はきわめて重要である。たとえば模倣される頻度が高い子どもは他者の模倣をより多く行い、これが対話や社会的役割交代などの機能の発達につながると考えられている (Nadel-Brulfert and Baudonniere, 1982)。

模倣行動は特に言語や共同注意機能の発達に重要である。たとえば、Stone & Yoder (2001) は35名の自閉症児を対象に2歳で言語スキルを統制した後、追跡して調査したところ、言語療法の時間数と運動模倣能力だけが4歳における言語能力を有意に予測することを見いだしている。また自閉症児において対象物を操作する他動的模倣と共同注意機能が互いに相関することも報告されている。さらに、自閉症児の動作を初対面の成人がまねをすると児がその人の行為に関心を持ち、その後の社会性に関する能力が上昇することも示されている (Escalona et al., 2002)。他者に対する共感もミラーニューロンシステムが主な役割を果たす。共感には、情動的共感と認知的共感があり、前者はこのミラーシステムによるところが大きい。

3 システム間相互作用

like-meシステムはすでに述べたように、他者の動作を自己の運動指令に置き換えて、自己の体を使って行為の直接的なゴールを理解するシステムである。それはいわば自己と他者との境界が取り払われて自己と他者が混同した状態であり、このままでは一種の混乱状態になってしまう。そこで自分とは違う個体であるという認識も重要である。そのためにはlike-meシステムを直接または間接的に抑制する必要がある。ここで作動するのがdifferent-from-meシステムである。これによって、自分とは異なる他者の、表面上には現れない意図や動作系列のゴールを推定する。したがって、このシステムを駆動するときは、like-meシステムを抑制しなければならない。

3-1 両システムからなるネットワークの構成

ここで、両システムがどのような脳内メカニズムで構成されているかを見てみる。like-meシステムは、下前頭回 (IFG)・下頭頂小葉 (IPL)・上側頭溝 (STS) からなるシステムである (図3)。他者動作の視覚情報はまずSTSで処理され、IPLを経てIFGに伝わる。このうちIFGやIPLにはミラーニューロンが存在するが、それぞれ機能が異なる。観察された動作はまず視覚野での処理の

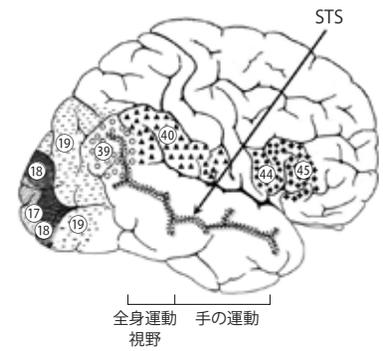


図3 like-me-システム
右が脳の前方、左が後方である。17野、18野、19野が後頭葉で、視覚情報処理を行う。44野と45野がIFG。39野と40野がIPL。側頭葉から頭頂葉に伸びる脳溝がSTS。

後、IPLで行為と物体、および操作する手に関する情報が抽出され、さらにIFGで視点や効果器の左右によらない行為の抽象的表象が符号化される (Ogawa and Inui, 2011, 2012)。これら3つの部位は相互に結合しており、IFGやIPLからSTSへトップダウン信号も伝えられる。さらにIFGは図4に示すように、前島 (AI) を経由して辺縁系と通じているので、他者の行為を見たときにそれに伴う情動を生成することも可能な仕組みになっている。すなわちIFGがAIや扁桃体をトップダウン的に賦活させることにより、情動的共感が生じると考えられる。図4に書かれている視床は、視覚・聴覚・体性感覚などの感覚入力的大脑皮質へ中継する役割を担っている。また視床には、自律神経 (交感神経と副交感神経) の情

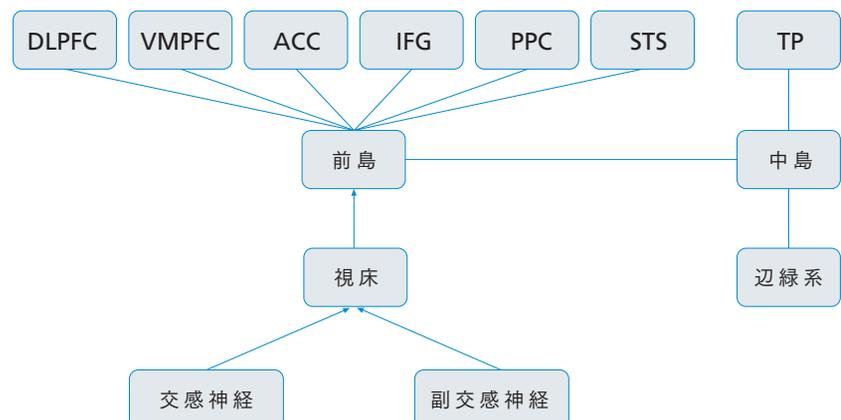


図4 島とつながる脳部位

報が伝達される。自律神経は意志とは無関係に働き、血管や内臓などを調節する。図4のように島はさまざまな部位から生理信号を得て、身体の状態や情動に関する情報を統合している。

一方、different-from-me システムは、背内側前頭前野 (dmPFC)、側頭極 (TP)、側頭頭頂接合部 (TPJ)、楔前部 (precuneus) から構成される。後部楔前部と側頭極はエピソード記憶の想起に重要な役割を果たす (図5、図6)。TPJは視点変換 (視点取得) に関わり、左TPJが自己視点、右TPJが他者視点でのイメージ生成に関わる (乾, 2007)。他者のこころを読んだり行為系列のゴールを推定したりする場合、あるいは自己の評価を行う場合には、過去の記憶情報の想起と文脈情報から推論しなければならない。これに関わるのがdmPFCである。この部位は中央処理装置として情報の統合と後部の脳部位 (たとえば頭頂葉) の活動制御を行っていると考えられているが、具体的には事象系列の記録、推論の前提条件の統合、知識の運用、さらには帰納的推論などに関わっている。

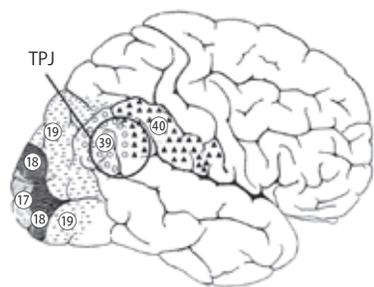


図5 円内の領域が右のTPJ
39野と40野が下頭頂小葉 (IPL)。

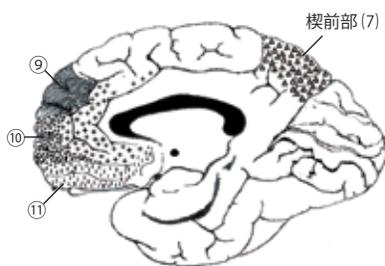


図6 右脳の内側面
10野のほぼ中央より上の領域がdmPFC (9野、10野、32野)、下がvmPFC (10野、11野、32野)。

3-2 内側前頭前野による抑制性制御

さまざまな情報を集積し矛盾なく統合して、ある結論を推論するためには、情報を取捨選択することが必要である。内側前頭前野 (mPFC) にはこのために、行為の条件や推論の選択肢を抑制する働きもある。たとえば、「他者はこの事実を知らない」と指示して他者の行動を推測させたり、「この情報は推論には使用してはいけない」と指示して推論させたりすると、dmPFCが活動する (横井ら, 2007)。また自己視点や他者視点でイメージを作ると、他者視点でイメージするときmPFCが左のIPLの活動を抑制する。IPLはlike-meシステムの一部であることから、これは他者視点をとるために自己視点を抑制しているものと考えられる。模倣抑制課題において協力者が他者の行為を模倣せず別の行為を行うときにも、mPFCが活動する (Brass et al., 2005)。これらの事実からdmPFCはコミュニケーションの際に意図的にlike-meシステムを抑制したり、情報統合においてある情報を無視したりする信号を出していると考えられる。この考えに基づくと、自閉症児などにも見られるエコラリアはこのようなlike-meシステムへの抑制が適切に働かないための現象と考えられる。

またdmPFCは模倣を抑制する場合だけでなく、モデルが協力者にアイコンタクトを取る場合にも活動する。アイコンタクトの最中には、自己・他者境界を明確にしたり、他者視点で処理を行ったりしているようである。モデルが協力者にアイコンタクトを取る場合にはdmPFCが活動するが、協力者に対して社会的な相互作用を求める表情、たとえばほほえみやウィンクなどに対してはvmPFCの活動がみられる (Schilbach et al., 2006)。vmPFCは扁桃体との相互作用があり、感情のモニタリングの機能を持っている。二者間のインタラクションにおいて、感情的な相

相互作用がより重要な場合にはmPFCが、単なる共同作業的な相互作用の場合には下前頭回が主に活動するのだが、いずれの相互作用においても右TPJが重要な役割を果たす。

古代ローマ帝国の五賢帝の1人で哲学者でもあるマルクス・アウレリウス・アントニヌスは、次のような言葉を残している。

最も完全な復讐は、侵略者の真似をせざることなり

他者の真似を抑制することは、自らの感覚や情動、さらには意志を確かに働かせて自己を確立するために最も重要であると教えてくれているようだ。

4 予測とモニタリングシステム

ここで行為の遂行における予測の重要性を考えるために、到達把持運動や曲線のトレースといった、視覚と運動の協調における予測制御について考えてみよう。対人的な行動とは異なるレベルであるが、運動を適切に実行する、すなわちできるだけエラーなく思いどおりに実行するプロセスには予測の働きが不可欠であることがわかる。運動野から運動指令が出ると同時に、脳内ではその運動指令を使って感覚フィードバックを予測すると考えられている。この感覚フィードバックは手の筋肉に存在する自己受容器のフィードバック信号や自己の手の視覚情報などである。つまり運動を実行すると、自己の手にに関する情報が必ず中枢に帰ってくるのだが、この感覚フィードバックを予測しているのである。このような予測は、自分の手の内部モデル (これを順モデルと言う) を学習し脳内に持つことにより可能である。こうして予測した感覚フィードバック (遠心性コピーと言う) と行為の結果実際に生じた感覚情報 (再帰性感覚信号 <reafferent> と言う) を比較する。このとき、もし予測どおりであれば、われわれはほとんど無意識

に運動を行う。しかし両者の間に誤差があれば、より正しい運動を行うように注意を払って意識的に運動を調整すると考えられる。この誤差をオンラインで利用することで、より正しく予測することができる。つまり、手の状態を時々刻々モニタリングするのである。3-2でvmPFCが感情のモニタリングに関係することを述べたが、vmPFCは扁桃体や島との相互結合の中でこれと同様の機構によって扁桃体や島の活動をモニタリングしていると考えられる。

Ogawa and Inui (2007) は曲線のトレース課題を用いて、このような予測機能が脳内のどのような部位で実現されているかを調べた。その結果、手の運動に関しては、左頭頂間溝 (IPS) は誤差の測定に、左下頭頂小葉 (IPL) は運動予測に、右頭頂側頭接合部 (TPJ) は手の運動の予測の更新にそれぞれ関与することがわかった。一方、外部刺激の運動予測には右 IPL が関わっていた。このような運動予測の機構についてのモデル化も進められている。

ミラーニューロンシステムもまた、予測機能を有している。たとえば、他者動作の直接的なゴールが見えなくてもそのゴールを推測するだけでなく、他者の動作を予想できる状況であれば、動作が起こる前にその動作に対応した脳活動を活性化することもできる (Kilner et al., 2004)。こうした予測機能は高次認知機能のあらゆるレベルで働いていると考えられる。言語理解においても言語の生成系によって、相手が次に何を発話しそうかを予測的に理解していると考えられている (Pickering and Garrod, 2007)。最近、話者と聞き手の間の神経カップリングが調べられ、わずかな時間的ずれを無視すると、話者と聞き手の活動する部位がおおよそ一致することがわかった (Stephens et al., 2010)。これは生成と理解においては相手と、前述のミラーニューロンを含んでほぼ同じ部位が使われるこ

とを示している。正確には、ある事象の系列を話す話者と聞き手の時間的カップリングは脳部位によって異なり、楔前部では発話者の脳活動が聞き手の脳活動より先行したのに対し、mPFCやdlPFCでは聞き手の脳活動の方が先行した。さらに後者の聞き手の予測的反応は理解度と密接に関係していた。mPFCはdifferent-from-me システムの一部であることから、different-from-me システムにも系列の事象を先読みする予測機能が備わっているのかもしれない。

5 まとめ

間主観的コミュニケーションには、自己・他者を同一視する like-me システムが重要である。しかしながら、自己と他者を明確に区別し、自己を基準として他者や世界を捉えることも同時に重要である。このはたらきは、different-from-me システムによって可能となる。他者の見えない行為系列のゴールの推論や視点取得などもこのシステムが中心的役割を果たす。オンラインのコミュニケーションにおいては、この2つのシステムをうまく切り替えながら他者の理解や説得などを進める必要がある。また円滑にコミュニケーションを進めるためには、あらゆるレベルで情報のモニタリングを行い、予測を的確に行う必要がある。本稿では紙面の都合で、これら3つのシステムの障害によって生じる疾患に対する考察や予測のメカニズムと精神疾患との関係、さらにはこれらのシステムの発達機構など重要な研究を紹介できなかった。この点については稿を改めて論じたい。

参考文献

- Brass, M., Ruby, P., and Spengler, S. (2009). Inhibition of imitative behaviour and social cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, B, 364, 2359-2367.
- Chartrand, T. L., and van Baaren, R. (2009). Human mimicry. *Advances in Experimental*

- Social Psychology*, 41, 219-274.
- Escalona, A., Field, T., Nadel, J., and Lundy, B. (2002). Brief report: imitation effects on children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 32, 2, 141-144.
- Kilner, J. M., Vargas, C., Duval, S., Blakemore, S.-J., and Sirigu, A. (2004). Motor activation prior to observation of a predicted movement. *Nature Neuroscience*, 7, 1299-1301.
- Nadel-Brulfert, J., and Baudonniere, P. M. (1982). The social function of reciprocal imitation in 2-year-old peers. *International Journal of Behavioral Development*, 5, 95-109.
- Ogawa, K., and Inui, T. (2007). Lateralization of the posterior parietal cortex for internal monitoring of self-versus externally generated movements. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 1827-1835.
- Ogawa, K., and Inui, T. (2011). Neural representation of observed actions in the parietal and premotor cortex. *Neuroimage*, 56, 2, 728-735.
- Ogawa, K., and Inui, T. (2012). Multiple neural representations of object-directed action in an imitative context. *Experimental Brain Research*, 216, 1, 61-69.
- Pickering, M. J., and Garrod, S. (2007). Do people use language production to make predictions during comprehension? *Trends in Cognitive Science*, 11, 3, 105-110.
- Rizzolatti, G., and Sinigaglia, C. (2008). *Mirrors in the brain: How our minds share actions and emotions*. Oxford University Press. 柴田裕之訳 (2009). 『ミラーニューロン』 紀伊國屋書店.
- Schippers, M. B., Roebroeck, A., Renken, R., Nanetti, L., and Keysers, C. (2010). Mapping the information flow from one brain to another during gestural communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 20, 9388-9393.
- Stephens, G. L., Silbert, L. J., and Hasson, U. (2010). Speaker-listener neural coupling underlies successful communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 32, 14425-14430.
- 乾敏郎 (2009). 『イメージ脳』 岩波書店.
- 横井隆ら (2007). 視点取得と情報抑制に基づく他者の心的状態推測の神経基盤, 電子情報通信学会技術研究報告, NC2007-41, 45-50.