

1. まえがき

音場に関する理論的枠組みとのアナロジーを用いて知が形成される場の記述を試みた。音という物理的な現象に関する2つの基礎微分方程式である連続の方程式と運動方程式から波動方程式が導かれ、さらに空間領域を想定することによりキルヒホッフ-ヘルムホルツ積分方程式が導かれる。境界音場制御の原理はキルヒホッフ-ヘルムホルツ積分方程式の一つの工学的な解釈であり、三次元音場を創造するための技術を実現するための現実的な解を示す。マイケル・ポランニーが提案した周縁制御の原理を境界音場制御の原理と対比させることにより、それが知の場を形成する空間的な因果関係の記述となりうることを示した。すなわち、知の場において周縁的な状況が境界条件となり、知の構造が形成される。境界条件である周縁が両義的な振る舞いをすることによってランダムに振動し、それが知の構造に流動化をもたらし、新しい文化を創造するのである。音場を形成する媒質は空気であるのに対し、知の場を形成する実体としてミームを想定した [5]。

ミームはニューロンの結合パターンという実体であり、自己複製の機能が文化におけるモノや概念の増殖を実現する。リチャード・ドーキンスによって提案されたミーム(Meme)の概念は遺伝子(Gene)とのアナロジーによって生まれたものである。すなわち動物の身体形成や行動を決定づける原因として遺伝子を中心に語ることができるのと同じ論理で、文化の形成の原因となる実体がヒトの脳内に存在するミームであるという提案がなされたのである。身体および身体動作を決定づける遺伝子にとっても、知の場を形成するミームにとっても最も重視すべき機能は、自己複製である。では一体ミームはどのようにして自己複製を実現するのだろうか。これが本稿の主題である。すなわち音場の物理的な振る舞いを決定づける上述の二つの微分方程式と同じ位置づけとなる知の場のメカニズムを記述するため、自己複製を実現するニューロンのメカニズムについて検討する。

2. ミラーニューロン

かつて神経生理学モデルは視覚や聴覚などの五感情報が統合されて運動系のニューロンに信号が伝搬するというものが一般的な見解であった。しかし、そのモデルを根底から覆しかねない事実をイタリアの研究グループは実験において偶然、発見した。1996年にイタリアの神経生理学者ジャコモ・リゾラッティらのグループはマカクザルの脳内のF5野運動系ニューロンを調査していた。彼らはニューロンの活性化によって生じるパルス音を音に変換する装置を用いていたのだが、これが偉大な発見の幸運をもたらした。実験室で休憩中にジェラードを食べていた彼らは、ジェラードを口に運ぶたびにニューロンの活性化を示す連続的なパルス音に気がついた。そのニューロンは、サル自身がエサを口に運ぶ時に活性化される運動系のニューロンでもあった。外界からの光信号である視覚刺激と自分自身の運動という体性感覚刺激の両方に反応するというのも注目すべきことだが、モノを口に運ぶという動作に関して選択的に反応することが驚くべきことだった。このニューロンは視覚によって捉えた他の個体の特定の身体動作を鏡のように自分自身の身体動作として写し出しているため、ミラーニューロンと呼ばれるようになった。以降、運動系のニューロンへの注目が高まり、ミラーニューロンに関する研究による多くの新しい発見がもたらされている。

当初、ミラーニューロンは身体動作の模倣を行うことが主要な機能と考えられた。模倣と言っても多様なレベルがあり、自分の運動レパートリーに含まれる低レベルなものから、熟練するための学習過程が必要となる高レベルなもの、すなわち技能としての模倣がある。本稿で注目する模倣は後者であるが、だとすればマカクザルに模倣の能力（技能を獲得する能力）はほとんどない。時間をかければ模倣させることが不可能ではないにしてもニューロンの反応スピードでの模倣が必要だとは到底考えられない。現在、説得力のあるミラーニューロンの機能は「意味の理解」である。例えばモノをつかむときにだけ反応するミラーニューロンは実際にモノが存在しない場合には同じ動作をしても反応しないのだ。つまりモノをつかむような身体動作の映像に反応するのではなく、モノをつかむという他者の意図に反応するのである。視覚でとらえた他者の身体動作の意味を理解する場合、視覚信号を連続的な画像の変化として分析的に意味を解釈するよりも、自分の身体動作に置き換えてその意味を解釈する方が圧倒的に素早い。他者が何をしようとしているのか、その意図を素早く判断し、それに応じて適切に行動することが必要である。マカクザルは何かを食べているというヒトの行為を自分の身体に投影することによって理解していたのだ。ミラーニューロンの第一の目的にはそのような解釈が与えられている [1, pp.96-132]。

ところでモノをつかむというような他動詞的な（目的語が存在するような）身体動作のみならず自動詞的な（目的語が存在しないような）身体動作についてもミラーニューロンが見つかっている。例えば唇や舌を突き出すという行為に反応するミラーニューロンである。これはコミュニケーションに関連深いためコミュニケーション・ニューロンと呼ばれる。またヒトのミラーニューロンに関しては、脳波（EEG）、脳磁図（MEG）、機能的磁気共鳴画像法（fMRI）などにより、ニューロンが活性化する様子を画像として捉える方法によって研究が進められている。それらの中では技能に関わる研究も行われており、

例えば教師がギターのコードを弾くところを被験者に観察させたとき、被験者に模倣の意図をもたせたときに活性化するミラーニューロン回路の存在が示されている。また言語素材としての音声を聞かせながら、舌の筋肉の運動誘発電位（MEP）を調べる研究において、FF（舌を使わない摩擦音）を含む音に比較して、RR（舌を使う摩擦音）を含む音を聞かせたときに舌の筋肉の MEP が顕著に増加することがわかっている。さらに情動に関しては他者の嫌悪感に反応する運動系のニューロンもみつかり、それが内臓運動の統合中枢でもあることは注目に値する。我々は他者が嫌悪感を持っているかどうかを内臓で判断しているのだ。これらの多様な実験アプローチによってミラーニューロンの機能が明らかになるとともに、他者の行為を意味として理解する脳内メカニズムがわかりつつある [1, pp.160-188]。

3. 空間を身体化するニューロン

触覚、痛覚、圧覚、冷覚、運動感覚を総じて体性感覚と呼ぶ。体性感覚と視覚に反応するニューロンは二重様相（バイモーダル）ニューロンとも呼ばれ、また最近では体性感覚と視覚・聴覚に反応する三重様相（トリモーダル）ニューロンについても報告されている。F4 野と呼ばれる脳の部位の体性感覚ニューロンのほとんどは、体のある部分の表面の触覚刺激によって活性化する。その受容野は肩、腕、胸、顔全体、顔の左半分、右半分、口元、額、目元など体の各部分ごとに存在する。F4 野には多くのバイモーダル・ニューロンが発見されているが、その注目すべき特徴は、ある物体が身体表面から 40～50cm の範囲内に近付くと、その身体部位に対応する体性感覚受容野が反応することである。これは物体の接触を予期させる視覚刺激が触覚刺激として反応すると捉えることができる。何かが体に触れそうになったときに、まだ触れていないのに、あたかも触れたような感覚が生じる経験からも理解できる。F4 バイモーダルニューロンに関する特徴から身体と空間の関係について二つの重要な事実が示唆される。一つ目は身体近傍の空間に存在するモノの位置は、網膜に映った二次元画像から座標変換されて得られるわけではなく、身体各部位との位置関係からわかるということである。二つ目は身体近傍の空間は身体化されているということである。これは脳内において身体近傍の身体化可能な空間範囲（近位空間）と、遠方の身体化されない空間範囲（遠位空間）が明確に分かれていることも示している [1, pp.68-80]。さらに近位空間は道具の使用により変化することが報告されている。サルに小さな熊手を使って食べ物をとる訓練をさせたところ、熊手を繰り返し使うときに手と熊手の両方の周りで近位空間が生じたのである。熊手を使わずに握りしめているだけのときは手の周りのみが近位空間となるのだ [1, pp.87-90]。このバイモーダル・ニューロンは熊手を手の延長として身体化する神経メカニズムの一部を担っていると考えてよい。すなわち、熊手を使用する技能とは、手の延長として熊手を身体化する神経メカニズムの成立を意味しており、それは暗黙知理論の用語で表現すると道具への潜入にほかならない。熊手や金づちなどのように握りしめて使用する道具は手の延長として身体化することが可能であるとすれば、もっと高度な道具、例えば自転車の身体化も可能であろう。また近位空間が固定化されていないとすれば、我々は様々な技能を使用することにより、身体化可

能な空間範囲を変化させることが可能であろう。音響心理学的な考察から室内空間は身体化可能であると論じたが、その神経メカニズムの存在をF4バイモーダルニューロンは予感させる。

4. 自己の身体表象

ミラーニューロンは他者の行為を素早く理解するために有用であることはわかるが、模倣（ここでは技能の獲得を意味する）までを含めたモデルを確立するためにはミラーニューロンとは別の神経メカニズムが必要となる。よくサルマネという表現を使うが、実際にはサルが何の報酬もなく他の個体を模倣することはない。すなわちミラーニューロンはヒト以外の霊長類ももつが、模倣はヒト特有の能力だと言ってよい。

新生児の模倣行動に関する研究は多くの示唆を与えてくれる。新生児模倣を実証的に示してきた Meltzoff と Moore はヒトは生得的に「アクティブ・インターモーダル・マッピング (AIM)」の機能をもつために模倣能力があるという仮説を提案している。つまり、模倣行動が可能なのは自己の身体表象が存在するためであり、自己の身体表象といったん照らし合わせた結果に基づいて運動パターンの出力を行うという説明である。その証拠としてあげているのが、(1) 新生児が記憶に基づいて模倣できること、(2) 模倣を自己修正できること、(3) 自分が模倣されていることを認識できることなどである。例えば舌を正面に突き出すという模倣ができる乳児に、舌を横方向に突き出すという行為をはじめて見せると、それに対応させて少しずつ舌を出す方向を修正するのだ。これは自己の身体表象といったん照らし合わせた結果、差があるということが認識されてはじめて可能となる。自己の身体表象をもつことの有力な証拠である。従来の認知発達理論における「誕生時は自己と他者が未分化の状態である」という定説は消えゆく方向にある [2]。

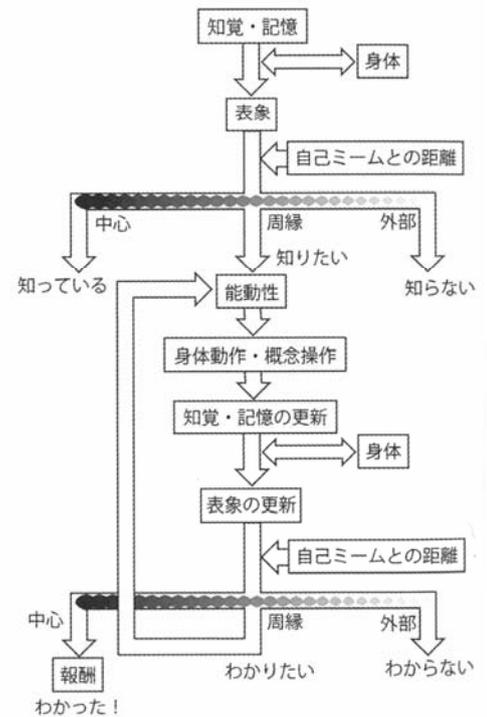


図1 知の認知メカニズム

5. 知の認知モデル

これまでの議論 [3-5] を元に提案する知の認知メカニズムを図1、図2に示す。外部から与えられた知覚、あるいは記憶に内在する心的イメージは、自己の身体との関係（ミラーニューロン）に助けられながら、表象となる。表象は自己ミームとの結合密度の高さから、自己ミームとの距離空間上に位置づけられる。すなわち、表象と自己ミームとの結合密度が高ければ、表象は中心領域に現れ、結合密度が低ければ外部領域に現れる。表象と自己ミームとの結合密度の高さには限度があり、結合密度が最高限度に近い表象がそれ以上に高くなる可能性は小さい。また、自己ミームとの結合密度が小さい場合、自己との関係性が得られず、自分の知識の一部として位置づけられる

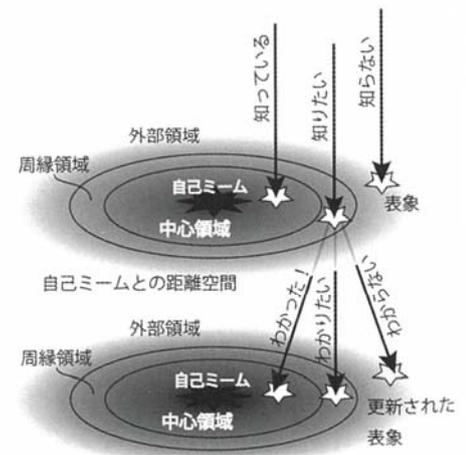


図2 表象の遷移

可能性が低くなる。したがって、自己ミームとの結合密度が最高限度の半分程度の表象が結合可能性が高く、周縁領域に位置づけられる表象となる。周縁領域に位置づけられる表象には中心領域への引力が働き、身体動作、概念操作を駆動するための能動性が生じる。身体動作、概念操作により知覚および記憶が更新され、それにともない再度身体との関係に助けられながら表象が現れる。その表象が中心領域に移動していれば、自己ミームとの結合が密になり、結果として自己ミームは拡大する。その場合、身体動作、概念操作は成功であり、報酬として「わかった！」や「できた！」の快感を身体は獲得する。表象が周縁領域に留まっていれば、引き続き身体動作、概念操作を駆動するための能動性が生じ、新たに知覚や記憶を更新するべくなんらかの行為が生じる。表象が外部領域に移動することもあり、その場合は「知りたい」という気持ちによって、身体動作・概念操作が駆動されたにも関わらず、「わからない」という結果に終わる。わかりそうだったものが、よく考えてみるとやっぱりわからないものだったというケースがこれに相当する。

周縁領域に現れる表象に対して、中心方向への引力が生じるのは、自己ミームが拡大する力をもつためである。すなわち、周縁領域に現れる表象は自己ミームと新たに結合するように身体を駆動する。この力が、文化、経済、学問などあらゆる文化的な活動の根底に存在すると私は考える。自己ミームの初期状態は原自己ミームとして生得的、あるいは生理的に脳内に存在する。乳児期の学習能力はそれによって説明可能となる。

6. モノの送受における自己ミームの複製

対等な関係のヒトの間でモノが渡されるとき自己ミームのふるまいについて考える。初期状態においてモノは送り手の身体の一部であるが、受け手に渡ることにより受け手の身体の一部となる。すなわち、モノは送り手の身体の一部から受け手の身体の一部へと変化する。両者はモノが渡されたという記憶をともにもつ。

1. 送り手の表象が受け手の周縁領域に現れる。つまり送り手の存在が受け手の脳内に強く刻み込まれ、送り手の自己ミームが受け手に複製されたことになる。送り手のミームが周縁領域に現れたため、受け手の自己ミームは相対的に縮小する。

2. 受け手はモノを自分の身体の一部として受け入れる。送り手側からみれば、受け手は過去に送り手の身体の一部だったモノの一部となる。したがって、送り手の脳内では自己ミームの一部として受け手の表象が中心へ引き寄せられる。その結果、送り手の自己ミームは増大する。

3. モノの送受の結果、送り手の自己ミームは増大し、受け手の自己ミームは縮小する。送り手はモノを送ることにより、受け手の脳内に自己ミームの複製に成功する。その結果、送り手は受け手に対して優位を感じ、逆に受け手は劣位を感じる。その不均衡を打ち消すために逆方向へのモノの移動が生じ、交換が行われる。このように互酬の関係は自己ミームの増大、複製というメカニズムで説明が可能となる。

7. むすび

脳内に生じた神経細胞の過度な増殖はその生き残り戦略として自己ミームを増大するメカニズムを採用した。その結果、自己ミームの複製と同時に、他の数々のミームが自己複製し、文化の創造が可能となった。我々は自分自身の存在を確信するためには、自己ミームを増大させる方向へ神経細胞を結合する必要がある。最近、うつ症状に悩む学生が増えていることを実感するが、彼らを見ていると自分自身の存在を確信できなかった私の過去の姿が重なる。アルコール依存、ニコチン依存、薬物依存、賭博依存、恋愛依存、買い物依存などの逃げ道は一時しのぎになるが、長期的に考えれば学問依存、モノづくり依存という逃げ道は自己ミームの増大、複製が行われる正しい方向である。本稿もその結果として生じている。

参考文献

- [1] 伊藤毅. 音響工学原論, pp.583-592. コロナ社, 東京, 1957.
- [2] G. Malyuzhinets. "An inverse problem in the theory of diffraction". Soviet Physics Doklady, 14, pp.118-119, 1969.
- [3] M. Camras. "Approach to recreating a sound field". J. Acoust. Soc. Am., 43, pp.1425 - 1431, 1968.
- [4] S. Ise, H. Yano, and H. Tachibana. "Basic study on active noise barrier". J. Acoust. Soc. Jpn., 12 (6), pp. 299-306, 1991.
- [5] 伊勢史郎. "キルヒホッフ-ヘルムホルツ積分方程式と逆システム理論に基づく音場制御の原理". 日本音響学会誌, 53, pp. 706-713, 1997.
- [6] 金慎也, 仲島崇博, 井本桂右, 伊勢史郎. "アクティブノイズリフレクションユニットの性能評価 - ANRU 周辺でのインテンシティ分布の測定 -". 日本音響学会講演論文集, pp.1091-1092, 3 2008.
- [7] 榎本成悟, 池田雄介, 伊勢史郎, 中村哲. "境界音場制御の原理を用いた音場再現システムにおける再現領域の物理的な評価". 日本音響学会講演論文集, pp. 855-856, 3 2008.
- [8] マイケル・ポラニー. "暗黙知の次元". 紀伊國屋書店, 1980.
- [9] 山口昌男. "文化と両義性". 岩波現代文庫, 2000.
- [10] リチャード・ドーキンス. "延長された表現型". 紀伊國屋書店, 2000.