

社会能力と『未来』

Social Cognition and “Future”

定藤 規弘*

Norihiro Sadato

生理学研究所の定藤です。私は、現在、社会能力ということに非常に興味を持っています。そこから出てくるデータを、「未来」というキーワードで見直してみたときに、どういうことがわかってくるかを皆さんと一緒に考えていきたいと思っています。

「未来は、自己ないしは他者の行動予測から発生する」という仮説からスタートします。社会能力は、「他人の性質あるいは意図を正確に認知するための情報処理過程」と言われています。この社会能力の発達には、他者との関係において、子どもが示す行動パターン、感情、態度、概念と、それらの経時的な変化として観察されます。子どもの発達は、連続的に見えて、非常に重要かつ大きな、量的変化が起こります。特徴的な要素的な行動特性を0歳から学童まで記載したのがこのスライドです。

まず、特徴的な点は、われわれは、生まれたときから社会的な存在だということです。生まれたばかりの子どもは、われわれ同類である人間の顔の動かし方をまねることができ、これを「新生児模倣」と呼びます。学習なしでこのようなことが出来ることから、われわれは、もともと、同類と行動が同調するようにできているらしいと考えられています。

その次に、重要な行動特性として共同注意があります。共同注意とは、2個人がある特定の物体への注意を共有することです。通常、これは視線を介した共有です。

このスライドにお示しする場合には、お母さんと子どもがコスモスの花を注意として共有しています。指を指して、これを見ます。お母さんも、これを見ます。そして、この2人がまた目を合わせます。これによって、この2人は、コスモスという物体への注意を共有することになります。

共同注意は、大体6カ月から12カ月頃に出現し、他人の意図を付度する能力（心の理論）の萌芽と考えられていて、さらに、言語発達の前駆とも位置付けられています。そして、その欠如は自閉症の早期兆候として認知されています。

われわれの社会的能力の一つの重要な行動指標として自己の認知があります。自分をいつ認

* 自然科学研究機構生理学研究所教授

知できるかは、かなり難しい問題です。自分というものがわかっていることを他人が見てどう判断するかという問題です。

これには、先行研究があります。「チンパンジーには自己という概念があるか」という疑問に応えるための研究で、そのために工夫されたテストがあります。このスライドに映っているのはお子さんですけれども、仮に、この子がチンパンジーだったと思ってください。チンパンジーが寝ている最中に、顔に紅を少し塗って、印を付けておきます。それで、鏡で顔を見せます。鏡の中の自分が自分だと認知できれば、紅を取るでしょう。認知できなければ、それ以外の行動をします。例えば、裏側に手を回したりするでしょう。このように、鏡の中の自己を自己として認知できることをもって自己認知と考えるという巧妙なテストを使って、幼児が自己認知をいつ頃できるかを調べられたのです。そうすると、大方の子どもは、大体1歳半から2歳でこのテストを通過できることがわかりました。

4歳から5歳になると、他者の行動は、その人の心の中にある信念によって決まっていることを理解できるようになります。仮に、その信念が現状と合っていないとしても、人間の行動は、心の中にある信念によって決まるという理解ができるようになります。

心の理論の神経基盤は、15年ぐらい前から繰り返し検討されていますけれども、まず、頭の前方の内側の内側前頭前野という領域が重要になっていることが知られています。

先にお示しした通り社会能力は「他人の性質あるいは意図を正確に認知するための情報処理過程」と定義されていますが、意図を認知するということは、実は、行動の予測を含意しています。つまり他者がどういう行動を起こすかという予測を含意していることが重要なのです。そうすると、他者の意図をどう認知するかという問題になります。

その前に、そもそも「意図とは、いったいどういうものか」という疑問が出てきます。意図と行為の間の関係性に関する哲学的論考を紹介します。

これはウィットゲンシュタイン (Ludwig Wittgenstein) という方の言明ですが、「私が腕を挙げるとき、腕は持ち上がる」。当たり前のことです。「そこで問題が発生する。私が腕を挙げるという事実から、腕が持ち上がるという事実を差し引くと何が残るのか」。その答えが意図です。

言語哲学者であるサール (John Searle) という方がウィットゲンシュタインの考察をまとめています。「意図は、二つに分けたほうがいいのではないか。意図は、行為に先立ち、行為を因果する何かだ」という考えでいくと、因果関係は二つあるだろう」。すなわち、行為の中には、身体運動と、その身体運動の裏側に張り付いている行為内意図があり、それが因果作用を起こします。また、これを二つ合わせた行為に対して、さらに因果作用があります。これが事前意図です。これは行為と同時にすけれども、これは先立つものという意味で「事前」です。「われわれは、意図を理解するときに、この二つを分けて考えないといけない」と言うわけです。これは哲学的考察ですけれども、われわれ神経科学をやっている者としては、当然、それを実験にどう乗せるかを考える必要があります。

この神経科学的展開は、フランスのジャンヌロー (Marc Jeannerod) という方が考えた話で

すけれども、先ほどの「行為」の行為内意図に行為表象という概念を持ち込んでいます。行為表象の中身は、逆モデルと順モデルによって形成されています。行為表象とは、考えられ、計画され、意図され、組織化され、理解され、学習され、そして模倣される、そのされ方、と定義されています。行為表象は実際の行為と似ているが、実際に遂行されないかもしれないという点が異なります。

行為表象を運動制御モデルとして捉えたらどうかというのがジャンヌローの考えです。運動は、命令とその結果から出来ています。運動命令から結果を予測するプロセスを「順モデル」と呼び、結果から命令を制御するものを「逆モデル」と言います。これが先ほどの順モデルと逆モデルの考えです。

もう一つ、非常に重要なのは、行為表象そのものは、外部と内部のいずれからも自動的に生成され得ることが実験データでわかっているということです。すなわち、これは日常的によく観察されることですけれども、動作観察は運動遂行に影響を及ぼします。

ここにお示した実験では、異なる合図でもって手の指を動かしますが、動かすときのキューが違います。相手が人差し指を押せば、それに合わせて人差し指を押すというように、見たとおりに指を動かすと、非常に速く動かします。では、「1番の指を押してください」、「2番の指を押してください」、「3番の指を押してください」というように数字でやると、どうなるかという話です。一般的に言うと、数字に従って動作すると、反応の時間が少し遅くなります。もう一つのポイントは、数字に従って動作しているときに、数字が指し示している指と見ている指が違っていると、反応が遅くなります。不一致の場合には遅くなり、一致している場合には速くなります。すなわち、動作観察が運動遂行に影響を及ぼしていることになります。

この現象を説明するときに考えられたのが運動のシミュレーション仮説です。つまり観察者の脳が他人の行為を見てシミュレート（模擬）できるならば、その行為表象は観察者によって共有されることになり、その内容が理解できるという考えです。

先ほどのモデルでは、ここに「自己の意図」が入っていたわけですけど、ここに「他人の行為」を入れて、先ほどの実験をこういう行為のモデルで考えるならば、この順モデルと逆モデルの場所で影響が起こったことを意味します。すなわち、行為表象そのものが、他者と自分の接点になるという考えです。最近、よく出てくるミラーニューロン仮説の中身は、こういうことです。

こういう文脈で考えると、運動系は、他者との相互作用によって外界の新知識を収集するための探索子として機能すると考えることができます。すなわち、他人の意図の理解も、運動系を探索子（プロブ、probe）として理解することになります。

私たちは、こういう概念だけで止まっているわけにはいきませんので、行為表象の神経基盤を実際に実験に乗せる必要があります。われわれがやった実験はどんなものかということ、先ほどの指を動かす実験とよく似ています。

健身球という球があります。これは、神戸の中華街などで売っている鈴入りの鉄の玉で、く

るくる回すと、頭がよくなるという代物です。本当に頭がよくなるかどうかはわからないけれども、私たちは、これを実験でよく使います。30分から40分練習していると、大体上手になるので、運動学習の一つのモデルとして、割と使いやすいのです。あまり早く上手になるような運動の課題では、学習の観察の時間が短くなります。ですから、これは手頃な運動学習モデルなのです。

今回は、学習というよりは、「自分がくるくる回しているという視覚的な刺激が入っているときに、視覚的な刺激が課題成績にどう影響を及ぼすか、あるいは、そのときの神経活動がどうなるかを調べましょう」ということです。この行為表象は、今のモデルの中では、見ても、やっても活動します。すなわち、他人の行為を見ても、あるいは自分がそれを意図しても活動するはずですから、その神経基盤は、当然、見ても、やっても活動することが予想されます。実際、球を回しているのを見ている状態と、自分がやっている状態をいくつか組み合わせます。やっているかやっていないかで2通り、見ているか見ていないかで2通りですから、4通りが存在します。その各々で神経活動を見てみます。

これは主に右手を使っているので、活動は、ほとんど左半球の外側に存在します。実際に回していると、一次運動野、運動前野および小脳という、運動実行のときに活動する領域として知られた領域が活動します。

では、他人が手を使って球を回す状態を観察しているときに、どこが活動するか。もちろん、視覚領域は非常にたくさん活動します。その中でも、「MT/V5 (middle temporal area)」, 「上側頭溝 (STS; superior temporal sulcus)」という領域が含まれていることがわかります。上側頭溝領域は、さまざまな生物学的な動き、例えば、手の動きとか、顔の表情とか、視線とか、生物に特有な動きを符号化している場所として知られています。

見ても、やっても活動する場所はどこにあるかという、頭頂葉にある「下頭頂小葉」と言われる領域に当たります。ブロードマン (Korbinian Brodmann) で言うと「40」です。

これらの領域を簡単に図示すると、ここに一次運動野、腹側の運動前野、下頭頂小葉があります。頭頂葉では下頭頂小葉に加えて、頭頂間溝 (Intraparietal sulcus) 前方部が運動遂行、観察時に共通して活動していて、前方の運動関連領域の部分は、運動のときだけ活動し、後方の視覚関連領域の部分は、見ているときだけ活動します。

われわれは、こういう活動があるというだけではなくて、この間の関係性がどうなるかを予測したいし、その予測が実際に当たっているかどうかを調べたいので、領域間結合の評価をします。これは、いろいろな行動を表している神経の活動は、決して1カ所の活動だけで決まっているわけではなくて、いくつかの領域の間の活動の関係性によって決まっているという考えから来ています。

ここには、そのときに用いた手法の詳細が書いてあります。入力課題遂行の合図、出力は、脳血流が増えるかどうかで計測している、MRIの信号です。われわれが知りたいのは直接には観察できていない、神経活動によって表象される各領域間の関係性です。関係性の

強度を潜在変数として、MRIの信号の時系列データから、領域間の関係性を推定するという統計数理的な手法を使って結合の度合いを調べることができます。

特に、腹側前頭前野は、運動の命令を符号化している場所としてよく知られています。これは、既にたくさんの電気生理的な実験があります。先ほど言いましたように、上側頭溝(STS)の領域は、その個体の生物学的な運動の結果を符号化している場所です。

実行している最中には、当然、命令から結果を出すはずなので、この方向の情報の流れがあるはずです。逆に、観察しているときには、逆モデルとして、命令の方向へ情報が流れるはずです。それを神経活動が表象しているならば、結合の強さは、情報の流れに沿うはずだというのが、われわれの予想です。そして、実際に、そうになりました。この図において赤は、運動しているときに結合の強くなった方向を示しています。

主に運動に関係する領域の結合が強くなっていることがわかります。

さらに、先ほどの運動の結果をコードしているSTSという場所に向かっての結合が、頭頂葉の「IPL(下頭頂小葉)」というところを介して上がっていることがわかりました。

一方で、観察している場合には、視覚の処理をする領域の活動と頭頂葉の活動が強くなっているのは予想されたとおりですけれども、それに加えて、腹側前頭前野へ向かう結合が増強しています。これも、先ほどのIPL(下頭頂小葉)のところの活動を介して、結合が増強していることがわかります。

さらに、動作と観察の相互作用は、頭頂葉の領域から一次運動野へ直接結合を増強させています。これは何を意味するかというと、動作表象は感覚系に埋め込まれているのではなくて、動作系に埋め込まれているということです。

このスライドは、玉を回しているときの筋肉の電気活動の状態を調べています。本人のコントロールとは無関係に、筋肉の活動の強さに差が出てきていることを示しています。ですから、これは決して意図的なコントロールではなくて、視覚入力による自動的な反応と考えられます。

まとめると、運動と観察の両者に共通して活動した場所後部頭頂葉(IPL, aIPLS)を経由して、運動領域(PMv)と感覚領域(STS)を含む神経領域の回路が、順モデルと逆モデルの結合としての運動表象に対応することがわかりました。ですから、概念的に出ていた運動表象の神経基盤の一端がわかったことになります。

今の話の中で、こういう運動表象によって自他の理解が起こるとした場合、同じシミュレーションの回路を自分からの入力でも他人からの入力でも同じように回すから理解できるという話です。

では、この区別は、いったいどのようになされるのか。もしこの回路が完全に同じだったら、区別はつきません。入力が違って、同じ回路が回って、動作表象を理解するわけですが、でも、われわれは簡単に区別します。

予想としては、自他動作によって賦活する領域に、きっと違う部分があるはずだということ

が挙げられます。すなわち、自分の運動を発生させるときには事前意図があって、行為表象を回転させます。他人の行為でも同じ回路を回しますが、自分の運動の場合には、身体運動が必ず付いてきますから、ここで恐らく比較が起こるはずで、そこで、「この領域があるはずだから調べてみよう」というのが次の実験です。

自分のほうで「1」とか「3」という数字を出し、相手にも「1」とか「3」という数字を出してもらいます。そして、順序を交代します。例えば、向こうが「1」を出したときに、こちらが「1」を出します。あるいは、向こうが「3」を出したときに、こちらは違う「2」を出します。こういう実験をします。条件としては、自分が先に出すかあとに出すかで2通り、相手と同じか違うかで2通り、「2 × 2」の実験を組むことができます。

このような実験をして、われわれが知りたかったのは、自分と他人が同じことをやっているときに、特に活動する領域がどこにあるかです。そうすると、興味深いことに、そういう場所が視覚領域に出てきました。これを「Extrastriate body area (EBA)」と言います。

視覚領域の中には、特定の視覚処理をする場所がたくさんあることが知られていますが、そのうちの一つのEBAは、顔以外の人間のパーツ、例えば、手、肩、胴、足などに特異的に反応する場所として知られています。自分が出した指の本数と相手が出した指の本数が同じときには、この領域が強い活動をするということがわかりました。

もう一つ興味深いのは、こちら側に示したスコアです。これは、自閉症傾向と逆相関することがわかります。自閉症傾向とは、もちろん、自閉症そのものの診断とは直接関係しません。自閉症の行動特性は、われわれ一般の人間の中にも必ず入っているので、どのくらいの自閉症傾向があるかをスコア化することができます。その傾向とEBAにみられた同一性効果は逆相関することがわかったのです。

自閉症は、自他との関係性にトラブルがある疾患と考えられるので、EBAは、そういう意味での社会的相互作用に重要な役割、すなわち、自他区別あるいは自他同一性の評価を果たしている可能性があります。

ここまでは行為内意図を理解するための神経基盤はどこかという話です。基本的には、それは模擬（シミュレーション）であろうというのが、結論です。次は、事前意図ということですが、これを理解するときにはどういう問題点があるかということですが、事前意図を特定のゴールに到達する行動の一連のシーケンス（sequence）と考えるならば、それを充足する経路は複数あります。これは、普通、「motor equivalence」という言い方をしますけれども、例えば、ゴールへ到達するとき、経路は必ずしも一つではないということと同じです。

こういう事前意図を理解するためには、いったい何が必要になってくるだろうか。特に、個体の行動を予測する際には、一つは、行為者の行動特性と文脈の理解あるいは知識が必要になってきます。先ほどの行為内意図の理解のメカニズムの中には、こういう部分は入ってきませんので、別に存在するはずだと考えられます。

ここで、少し唐突ですが語用論という言葉の話に飛びます。語用論とは、社会的文脈の中で

言葉を使うことです。その具体的な例としては、比喩あるいは皮肉があります。これは、文字どおりではない言語使用の非常に典型的な例です。これを使う、あるいは理解するためには、話者の意図を正確に認知することが必要なのです。ですから、語用論あるいは比喩・皮肉の神経基盤は、事前意図理解に重要な役割を果たしている領域をピックアップできる可能性があります。

実際、社会能力の発達を見てみると、比喩あるいは皮肉の理解は、あとのほうで出現します。すなわち、誤信念課題を通過した学童期、7歳ぐらいにならないと、比喩あるいは皮肉を理解できないことが知られています。ですから、社会能力の中では、かなり高次の機能と考えられます。

皮肉は間接的に感情を伝える話法で、文字どおりの意味とは反対の意味です。そして、相手に対する暗黙の批判・非難・軽蔑を伴います。例えば、拓也は服を脱ぎ散らかして、部屋を汚くしています。拓也の部屋を見たお母さんは、「いつもきちんとしているわね」と言います。

これを少し分析すると、拓也の考えに対する母親の考えは、文意と逆さまです。拓也は、自分の部屋が汚いことを知っていて、きれいにしません。お母さんは、これをきれいにすべきだと考えています。拓也の考えに対して、お母さんは、とても不満です。こういう不満を相手に伝えるのが皮肉の目的になります。ですから、この皮肉を拓也が理解するためには、お母さんの評価的態度を付度する過程が必要になってきます。

では、比喩はどうか。「My lawyer is a shark（私の弁護士はサメだ）」。これは二重の意味があります。具体的な魚の「shark」と、もう一つは、略奪的生物という抽象的なカテゴリーです。法律家あるいは弁護士とサメという、通常は無関係なカテゴリーを関連付けるプロセスをして、これ以外では伝えにくいニュアンスを伝えるのが比喩のポイントです。

それを図式化すると、こうなります。文意どおりの場合には、言ったことと話者の意図は同じです。皮肉の場合には逆です。比喩の場合には、文意以外の何かになります。そうすると、文意どおりの場合には、文意のモニターの神経基盤が活動するはずで、皮肉の場合には心の理論、比喩の場合には連合形成と選択が重要になってきます。

実際に、比喩あるいは皮肉を文脈によって生成させることができます。すなわち、同じ文章だけれども、文脈によって、それが皮肉になったり、比喩になったり、どちらでもなかったりという条件を作ることができます。比喩・皮肉理解で共通して活動する場所は、前頭前野の内側、内側前頭前野と呼ばれる領域です。これは、言語的整合性のモニターとは異なる場所に出てきます。

内側前頭前野が、いったい何をやっているかが重要になってくるわけですが、これは、たくさんの研究があり、基本的には「考えの考え」の形成に関与していると言われていています。例えば、心の理論は、他人の考えに対する考えという意味でメタ表象です。自分はどんな人間であるかという内省、あるいは、他人は自分のことをどう思っているかという自己知識の課題をやると、共通して内側前頭前野が出てきます。

この図のなかで示された内側前頭前野における点の1個は、一つの研究で活動の見られた場所を示しているのです。既に非常にたくさんの研究が集積されていることを意味しています。

先行意図の理解の中で、「事前知識が必要である」と言いましたけれども、そのなかでも特に文脈が重要です。文脈としての社会事象知識が定義されています。これは具体的な社会生活の経験に由来する抽象的な概念で、その内容は、他者との相互作用によって発生します。すなわち、他人との関係によって出てきて、実社会に対する理解を形成します。これは、順序を含む構造を持ちます。すなわち、社会事象知識を用いて他人の行為理解と予測をするのではなからうかというのが現在持っている仮説です。

これに関しては、少し理論的な枠組みがありますが、まだ実証データは十分ではありません。例えば、パーティーを開催するときに、どういう社会事象知識が形成されるかということです。要素として、例えば、出来事の時系列は、招待して、ケーキを用意して、ろうそくを点灯し、歌を歌います。行動主体は、ホストと客と誕生日を迎える子です。行為としては、ケーキの準備、ろうそくの点灯です。対象物は、ケーキとろうそくです。心的状況としては、喜びあるいは幸せです。こういうもののシーケンスを形成して、それを一度模擬する働きをしているのが内側前頭前野ではないかというモデルの提唱があります。

この人たちの調査によると、内側前頭前野には、目的を表象する領域と、特定の行動に対する結果をモニターする経路と、最後に最も前方のほうに、その両者の統合の領域があるということです。この領域は、他人の行動理解と予測に役立つのみならず、恐らく自分自身の行動計画やモニターにも関係していることが予想されます。これは自己を知ることは、さまざまな他者の一人として自分を知ることだから、という概念から来ています。

要約すると、他者の意図理解からの予測に関して、意図には二つあります。すなわち、行為内意図と先行意図です。行為内意図は、行為そのものの模擬であり、先行意図は、事象の模擬です。それに対応する領域は、大まかに脳の外側と内側に分けられそうです。

他者行為の自己への適用において、行動主体としての自他区別に関しては、上のシミュレーションの一部分が関与しています。そして、時間軸を含む自己形成には、恐らく内側前頭前野が関与しています。ただし、これは、まだ十分な証拠があるわけではありません。この詳細は、今後の研究の対象になるかと考えています。

結論を言うと、行為内意図と事前意図の推測にかかわる神経基盤が明らかになりつつあります。現在、われわれが持っている仮説は、内側前頭前野のかかわる事前意図の推測に、心理学的な未来の起源のあることが予想されるということです。以上です。ご清聴どうもありがとうございました。