

社会脳科学とコホート調査

定藤 規弘*

Norihiro Sadato

今日は、「社会脳科学とコホート調査」ということでお話しをします。発達コホート研究は観察研究であり、一定期間前向きに追跡して、発達指標を計量比較します。そして、曝露と結果の関係を定量的に評価して、原因と結果の関係を明らかにします。曝露要因として子どもの発育をアウトカムとする仕事が米国でされていました。JSTの「すくすくコホート」で曝露要因の一つとしての〈ほめ〉を検討したことは、先ほど安梅先生からお話がありました。その際に、社会能力に対して〈ほめ〉がどういう影響を及ぼすかという話でしたが、社会能力とはどういう定義であるかを確認しておきます。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になります。社会能力の発達は、今まで基本的に行動の記載というかたちで内容が解析されてきました。

これは先ほどお話があったことで、〈ほめ〉が社会能力の発達に影響するというのが結論ですが、その際に、応答性、主体性、共感性、感情制御、運動制御を直接観察して解析したところが重要な点です。この場合の曝露要因としての〈ほめ〉はいったい何かということが、脳科学における設問の一つです。結論を言うと、これは報酬であるということです。社会報酬というのは、実は、人間に特有、あるいは非常に特徴的な行動である向社会行動と密接に関係しているということがあります。

向社会行動は利他行為であり、遺伝的に無関係な個体間の役割分担と共同ということに非常に重要な役割があり、私どもが社会を形成する要因の一つと考えられています。その動因の一つに社会報酬があるということをお話しします。

われわれ個人の行動が何によって決まるかということに関してはいろいろなモデルがありますが、一つは、経済理論における基本的な仮説です。すなわち、金銭報酬とそれに係る金銭コストの比を最大にするべく理性的に振る舞うのが人間であるというモデルです。ただし、このモデルでは、基本的に利己的な行動の説明はできても、利他行動は説明できません。

* 生理学研究所教授

そういうモデルを拡張する必要があるということで、社会心理学者から社会交換モデルが提案されました。すなわち、報酬は金銭に限らないということです。先ほどのモデルを少し改定すると、人間は、社会報酬とそれに係るコストの比を最大にすべく振る舞うということになります。

実際にこういうモデルが出てくるにはそれなりの観察があります。これは、一つの社会実験ですが、向社会行動を定量的に測る取り組みがありました。無人販売所でものを買うときの売り上げです。店員がいないので、ものに対してお金を払う金額は、向社会行動に関する定量的な計測値であると考えられます。

無人販売所が大学のカフェテリアに既に設置されている場所で、一つの社会実験をします。この場合には、販売所のお金を入れるところの前に、奇数週には目のポスターを貼って、偶数週には花のポスターを貼ります。そうすると、奇数週のときに売り上げが断然上がりました。

これはこの手の実験の一つですが、同じ所見は繰り返し観察されており、他人からのよい評判あるいは評価の予測が行動に影響したと解釈されています。要するに、〈ほめ〉を期待しているということです。

他人からのよい評価あるいは評判は、このような現実の社会心理学における観察のほかに、利他性の進化という理論的研究でも注目されています。すなわち、血縁関係にもなく直接のお返しも期待できない他人に利益を与える行為が利他行為ですが、どうしてこのような行為が自然淘汰を通して進化し得るのかという問題です。

これに対する解答の一つとして、「互惠性の導入」という概念があります。互惠性は、助けられたら助けるということで、「A」が「B」を助けたら、それが故に「B」が「A」を助けます。これが直接互惠性と言われています。

しかしながら、この関係では淘汰圧に勝てないことがシミュレーションで示されています。ここで導入されたのが間接互惠性です。これは、「A」が「B」を助けると、それが故に関係のない「C」が「A」を助ける、これが間接互惠性です。このような関係性が成立するためには、「A」が協力的であるという評判のシステムが必要になります。よい評判という報酬が協力関係を成立させるという概念です。

ここで「報酬」という言葉が出てきますが、報酬とは、それを得るための行動を強化する因子で、二つの要因があります。一つは、得るとうれしいということで「快楽要素」と言います。もう一つは、それを得ようと行動するという動機付けの要素です。この二つが見られると、〈ほめ〉を報酬と考えていいだろうということになりますが、そのときに、神経学的な手法を使って検証してみようということを試みました。すなわち、評判は報酬として線条体で処理されているのか、という設問を立てたのです。

線条体が報酬系の一部分であることは、さまざまな神経科学的な所見によって既に知られています。お金でもそういう領域が活性化することが知られているので、もし、〈ほめ〉が報酬であるならば、報酬系を同じように賦活してもいいだろうということで、実際にそういう実験

をやります。

金銭報酬、これはギャンブル課題を設定します。そして、もう一つは、他人からほめられるという状況を作ります。そうすると、線条体の特に腹側の領域が、得た金銭の多さに応じて活動する、同じ場所で、他人からの評価が高ければ高いほどよく活動することがわかりました。

これは快楽要素としての社会報酬の神経活動ですが、実際に向社会行動を起こすかどうかを調べました。これは、機能的MRIをやっている最中に寄付行為を行います、他人の目の効果によって寄付の量が増えます。もう一つは、それに合わせて実際に線条体での活動が増加します。

このことから、〈ほめ〉は、金銭報酬と同様に報酬であると考えていいわけですが、社会報酬と金銭報酬の違いがどこにあるかという問題があります。実際に評判あるいはほめを理解するためには、他人が自分を評価しているという理解が必要です。この場合には、他者の心的な状態を理解する必要があります。

他者の心的状態の付度は、特に内側前頭前野の領域が重要であることが既に知られています。実際に金銭報酬実験をやったときに、〈ほめ〉の場合には内側前頭前野が非常に強く活動する一方、金銭報酬では全く活動しないことがわかりました。

ほかにもいくつかの実験を進めていますが、〈ほめ〉と向社会行動の間の関係は、内省、自己参照と他人からどう見られるかという比較が報酬系を活性化して、向社会行動につながるという関係が成立すると理解されています。実験で得られた所見を教育等に応用する際には、発達コホート研究は検証の場を与えることが出来る、ということが、安梅先生のお話にもあり、コホート研究は応用における重要性が強調されてきました。

しかしながら、発達コホートは応用だけにとどまらず、その基礎にあるものがいったいどういうものかという問に対して、非常に大きな示唆を与えてくれるプラットフォームであることが示されました。ですから、発達コホートは、応用と基礎の連携研究の場になり得ることをお示ししたかったわけです。

先ほどの〈ほめ〉の実験は、人文科学系でよく検討されていたモデルである。社会交換理論を実験に埋め込んで報酬系の活動を同定したという構造になります。これは、イメージングという手法を用いて人文科学と脳科学を結び付けたということであり、領域架橋の一つの例であると考えられます。すなわち、社会脳科学とコホート調査の間の関係の第二点として、人文科学と脳科学の連携を挙げることができます。イメージング研究はそれらの接点として、人文科学で与えられたモデルの検証系として働いたことを意味します。

安梅先生の所見に戻りますが、ここでは、応答性、主体性、共感性、感情制御、運動制御を直接観察しています。これはアウトカムメジャー（結果の計測）です。つまり結果としての社会能力をどのように計測するかという問題があります。「すすくコホート」でされたのは、基本的には行動解析です。

神経科学的には、その行動の背後にある生物学的な機序が何であるかが大きな設問です。こ

れは、純粋にどういう機序であるかを知りたいということ以外に、神経科学的研究で得られた所見が、アウトカムメジャーとして実際にコホートで使えるかどうかということが、もう一つ重要な観点としてあります。

社会行動あるいは社会能力に関する生物学的な指標のことを「Social Brain Marker」と言います。それには、遺伝子レベルから行動レベル、あるいは機能的 MRI のようなデータなどいくつかあります。こういうものは、もちろん疾患の病態生理あるいは診断、治療効果判定に非常に有用で、疾患との比較が重要になります。

社会能力の発達の中で、自己認知というのがあります。大体1歳半から計測することができます。どういうものかという、鏡の中の自分が自分であると認知できるということです。

このお子さんの頭に、本人に気付かれないようにこういうスティッキーを付けて、その状態で鏡を見せます。鏡の中の自分が自分であると認識できるならば、手をスティッキーへ持ってきてこれを取ります。これは、自己というものの理解が、チンパンジー等人間以外の生物でも存在するのかどうかを調べるために考案された実験系ですが、子どもにも適用されます。大体1歳半になると、こういうことのできる事がわかっています。

ここで一つ重要な反応は、定型発達のお子さんでは、鏡の中の自分が自分だとわかるとともに、恥ずかしがるなどの自己を意識した情動反応を示すことです。ところが、社会能力に障害のある自閉症児においては、自己認知は可能ですが、自己を意識した場合の情動的な反応が欠如するという報告がたくさんあります。その神経基盤は何かを調べるといったことをしました。

この実験を簡単に説明すると、自分の顔あるいは他人の顔を繰り返し見せます。その際に写真は、自己紹介をしたときのビデオの画像から切り出します。動きがあるので、タイミングによっては非常にきれいに撮れている場合もあれば、写真映りの悪いときもあります。これを自分の写真と他人の写真を交ぜて見せます。

実験の最中は、写真映りがよいか悪いかという写真映りの程度を判定する認知的な作業をしてもらい、そのあと、この顔がどれだけ恥ずかしいかを評価してもらいます。他人の写真は恥ずかしくないけれど、自分の写真は恥ずかしいという状態で、自己顔の認知と、自己顔を認知したときに発生する恥ずかしさを計測することができます。正常人でこれをやった場合に、自己認知とそれにかかわる情動は、主に右の前頭葉で表象されることがわかりました。

もう一つの主題である自閉症患者群とどこに差があるのかということですが、2カ所に差があります。一つは、後部の「帯状回」と言われるところです。もう一つは、右の「島」と言われるところで、特にこちらのほうが重要です。どういう点で重要かということ、参加していただいた人々には、実験中に2つのプロセスが心のなかで進行していると考えられます。すなわち、写真映りを判定するという認知的な作業と、そのときの写真映りによって出てくる情動のぶれ、恥ずかしいという気持ちです。

普通、一般には、自分の写真映りがより悪ければより恥ずかしいという気持ちが出てくるの

で、この両者の間には強い相関があります。その相関の強さと脳活動の強さを調べたところ、自閉症の人たちでは、恥ずかしさと認知の間の結合が弱く、その弱さは、右の島の活動の弱さと相関することがわかりました。この領域は、恐らく、認知と情動の処理の両方に係る複数のネットワークの要として働いていると考えられます。

さらに言うと、自閉症の人たちは、正常人に比べると右の島の領域が小さいことが判明しました。これらから、島という部分は、機能的にも形態上でも自己評価に際して非常に重要だとわかりました。

今お示したのは、自閉症患者で特に著明だった認知と情動の間の結合の弱さですが、これは、行動上、鏡の中の自分を見たときに、恥ずかしい顔があたかも他人のことであるかのような行動上の所見というものの神経基盤を見た、すなわち、行動の裏側にある神経活動を見たことになります。ですから、この場合は、社会的な行動あるいは能力に関する生物学的指標の一部を、イメージングで解析したことになります。

先ほど少しお話ししましたが、こういう所見の重要さは、発達コホートでのアウトカムメジャーとなり得ることにあります。イメージングの所見は脳科学研究の結果ですが、これを人間の社会行動そのものとどうやって結び付けるかという問題と直接に関わってきます。

実際にわれわれの行動で表れているものを「表現型」、一番基にあるものを「遺伝子型」と言いますが、その間に何も対応物がなくていきなりつながるわけではありません。恐らく中間表現型というものが、遺伝子のあと、細胞レベルあるいは回路レベルあるいは領域レベルで表現されるはずです。

そういうものは、基本的には動物の疾患モデルでしか見ることはできません。そして、神経科学の7割ぐらいは、齧歯類（げっしうい）の実験から出ていることがわかっていますので、動物疾患モデルで得られた知見をどうやって人間の表現型まで結び付けるかということが非常に重要です。

同じ動物といっても細胞、回路あるいは領域というように、それぞれ階層が異なります。今後は、これをどうつないでいくかが学問上の非常に重要な挑戦になります。一つの方法としては、人間から下に行くのは非常に難しいので、逆に動物にヒト疾患の原因遺伝子を入れて、そこから上のほうに上がっていきます。

もちろん、最終的な人間の社会行動の表現型を動物で完全に再現することはあり得ないので、その手前の中間表現型を動物で確認します。こういう領域の研究においては、これが極めて重要だと考えられます。

3つをまとめると、こういうことになります。発達コホートは、まず、実社会との連携をもたらす良いプラットフォームとなりえます。そして、社会脳科学と人文科学の連携によって、こういう社会能力の心理モデルを検証することが出来ます。疾患研究と種差は、脳科学におけるレベル縦断研究を展開するうえで非常に重要な挑戦となります。それに応えるためには、原因遺伝子について、人と共有性を有するモデル動物を使って階層をつなぐイメージング技術

で、システムから分子レベルまでの各階層の社会能力の中間表現型を探索することが重要です。そして、その結果が発達コホートにおけるアウトカムメジャーに使えます。

こういうサイクルを形成することによって発達コホート調査は、人の社会能力について、物質レベルから行動レベルに至る統合的な理解を目指すための真に学際的な研究推進を行うための基盤となり得ると考えています。

以上です。ご清聴どうもありがとうございました。