

心理学者による 脳科学研究のリアル

常磐大学人間科学部コミュニケーション学科 准教授
高木幸子 (たかぎ さちこ)

Profile—高木幸子

2009年、早稲田大学大学院文学研究科修了。博士(文学)。早稲田大学高等研究所リサーチアシスタント、東京女子大学大学院人間科学研究科特任研究員を経て現職。東京女子大学現代教養学部研究員を兼任。専門は実験社会心理学、認知心理学。著書は『認知心理学ラボラトリー』(分担執筆, 弘文堂)など。



脳のはたらきが、ヒトの認知や行動と密接な関連をもつことはよく知られている。近年では文理の枠を超えて、脳科学と心理学や認知科学などの融合研究が目覚ましい発展を遂げ、われわれのこころの神経基盤に関する興味深い知見が多々得られている。心理学領域でも、fNIRSやfMRIといった装置をツールとして用いた論文が多々発表されている。図書館や書店では、各装置の使用法や取得したデータの解析法に関するマニュアル本を手にすることができる。さらには、文系研究者や初学者を対象として、さまざまな機関がこうした装置を用いた研究手法の基礎と応用を実践的に学ぶ機会を提供している。つまり、今日では、脳科学以外を専門とする研究者がそれを専門とする研究者と共同研究をおこなうことはもとより、そのノウハウを自ら学んで実践することは比較的容易になった。

しかし、想像してほしい。あなたが心理学を専門とし、主に心理実験による行動データを指標とした研究に取り組むポストドクだったとする。神経基盤を検討した先行研究を読むことはあるが、実際に着手したことはない。いつかそんな機会があったらいいとか、そのうち腰を据えて勉強しようと思うことはある。ある春の日、エクセル上で行動データをいじっていると、プロジェクトリーダーから声をかけられる。「先日からはまったfMRIを使った共同研究だけど、行動データの解析だけじゃなくて、実験とイメージングデータの解析も担当してね」と。そのときあなたは、何をすればいいかすぐに思い浮かぶだろうか。これは、数年前の筆者の体

験である。本稿ではその赤裸々な体験談から心理学者による脳科学研究のリアルな現状(惨状)を紹介し、脳科学との発展的な融合研究における心理学者の貢献と課題について考える。

すべてがブラックボックス

筆者はヒトのコミュニケーション活動に関心があり、われわれの表情や音声の抑揚といった非言語的な側面がコミュニケーションにおいてどのような役割を担うのか、また社会的文脈が表出される非言語行動にいかなる影響を与えるのか、を主に心理実験を用いて研究してきた。ここでは、当時の筆者が本当に脳科学研究の初学者であったことを記しておきたい。先の声かけに対しては、うっかり「はい」と返事をしてしまった。そこで、どのような知識が足りないのかを整理してみた。すぐに思いついたのは、①脳の解剖学的知識、②fMRI装置の仕組み、③解析手法、の3点である。①は、それまでの研究活動で触れた書籍や論文から、たとえば前頭前野が高次な判断を司るであるとか、扁桃体のはたらきが情動判断に関与しているなどの知識は得ていた。しかし、座標で示せといわれたら、そもそも原点がどこなのか曖昧だ。よって、脳の解剖学的知識はないも同然である。②は、BOLD信号とかインパルス応答関数といった単語は浮かぶが、これまた大きな磁石の中に入るとなぜ脳活動が測定できるのかは結局のところよくわからない。③も、SPM (statistical parametric mapping) というソフトウェアの名称は知っているが、どうやって画像をもとに

統計的検定をおこなうのかと考えてみると不明である。ここまでで明らかになったことは、fMRIを用いた研究をするにあたり、筆者にとってfMRIにまつわるすべての部分がブラックボックスであるということだった。この時点では初学者どころか、ポンコツである。もちろん共同研究であるから、fMRIについて専門的知識を有した経験豊富な方々が、すべての局面で有益なアドバイスをくれるであろう。お任せしたら、ちょっと寝ている間にデータが上がってくるかもしれない。しかし、この有り様では解析の結果を自ら確認できないだろうし、考察などもってのほかである。そしてなにより、これでは共同研究とはいえない。

このような状態のまま、共同研究の打ち合わせに参加した。fMRIの箇所をご担当いただく先生方には「これから勉強します」と宣言し、とりあえずは心理実験の課題や行動データのみの予測に関してディスカッションし、準備を進めた。そして夏に、自然科学研究機構生理学研究所が主催する生理科学実験技術トレーニングコース「ヒト脳機能マッピングにおけるデータ解析入門」に参加した。ここで、fMRIで取得した画像データのSPMによる前処理や統計解析（個人解析・集団解析）の理論と実際に関し、5日間の講義と実習を通じて学んだ。これによって、上述の②と③は、ポンコツから初学者へと成長した。本当に充実した5日間だった。以前は論文を読んでも、TE (Echo Time) やTR (Repetition Time) が何を指すのか不明なため、手続きや実験デザインにおける著者らの工夫が理解できなかった。しかし、fMRIという装置の特性を知り、解析の過程をシミュレーションできるようになるにつれて、論文の細部が読めるようになっていった。ブラックボックスである部分が徐々に減り、それに伴って少しずつ共同研究者の発言の意図が具体的に把握できるようになった。そして、質問に質問を重ねながら、共同研究が進んでいった。

実験デザイン立案における課題と貢献

ここからは、紆余曲折を経る中で感じた、脳

科学と心理学の融合研究における心理学者の貢献と課題について述べていきたい。

fMRI研究に着手しようとする心理学者の関心は、自身の、あるいは従来の研究で明らかにされた心理的事象の神経基盤を探るという点にあるだろう。心理実験を計画する際、一般的に、心理学者は洗練された刺激の作成はもとより、刺激間隔、回答時間、刺激呈示の繰り返し回数などをすべて統制し、綿密に実験デザインを練り上げる。こうしたスキルは、fMRI研究において非常に役立つ。fMRIの実験デザインには、大きく分けてブロックデザインと事象関連デザインの2つがある（菅阪・矢追, 2015）。前者では、特定の条件の課題を一定の時間繰り返しおこなう課題ブロックと、レスト（休止）ブロックが交互に繰り返され、課題の自由度は低い。後者では課題の自由度が高く、各試行がランダム化された課題や、繰り返しが不向きな課題を用いることができる。この場合、試行開始時点や刺激呈示時間といったさまざまなタイミングを起点として、BOLD信号の変化強度が記録される。取得された画像データは、このタイミングに基づいて解析されることになる。そのため、実験デザインの立案時に、すべてのタイミングを厳密に管理しなければならない。この点において、心理学者がこれまで培ってきた実験デザインを練るスキルは、fMRIを用いた研究でも貢献度が高いと考えられる。

一方で、心理学者は、fMRI装置の中でもこれまでとまったく同じ心理実験を実施したいと望むだろう。すべての条件が同じであれば、心理実験に基づく先行研究との比較が容易になるし、行動データが先行研究の結果を支持しなくなることを恐れなくてよい。しかしながら、実験デザインが複雑なときには、以下の2つの観点から、それが不可能な場合がある。第一は、fMRI装置の特性という観点である。たとえば、視知覚に関する実験では、刺激の見えを制御するために、とっておきのCRTモニターで刺激を呈示したりする。しかし、撮像室にそうした機材は自由に持ち込めない。磁性体部品を含む機材は故障し、かつ磁場に引き込まれて大事故

につながる可能性があるからである。また、先に述べたように、fMRIの実験デザインにもさまざまな種類があるから、それらを使い分ければ、条件が複雑な心理実験もある程度は実施できる。たとえば、難易度や刺激間感覚が異なる試行がランダム化された心理実験も、事象関連デザインを用いれば可能かもしれない。しかし、刺激提示時間や刺激間隔の設定だけでなく、1試行の処理に応じて上昇したBOLD信号がベースラインに戻るまでの時間についても考慮する必要がある。BOLD信号の変化強度は試行の難易度に応じて変化し、ベースラインに戻るまでの時間は変化強度に依存する。ベースラインに戻るのを待たずに次の試行の処理に進めば、最終的には脳画像データの解析結果に影響を及ぼす。ゆえに、いろいろな条件のタイミングが複雑な心理実験は、そのまま実施できず、デザインの変更が必要になることがある。

第二は、倫理的配慮という観点である。前述のように実験デザインが要変更となったとき、行動データにおいて先行研究と同様の効果を得るため、試行回数を増やそうとすることがある。しかし、それでは実験全体が長引いてしまう。実験の間、参加者は薄暗く狭い筒の中で、できる限り頭部を動かさないように求められている。この問題には、高速事象関連 (rapid event related) デザインを用いる (荻原・矢追, 2015) という解決策もあるが、実験参加者の身体的負担を考えれば、おのずと実験時間は制約される。また、心理実験では、課題開始前の実験参加者に十分な暗順応を求めたりする。しかし実験参加者の心理的負担を考えれば、fMRI装置内のすべての照明を落とすことはできないだろう。ゆえに、先行研究と同じレベルでの暗順応を期待することはできない。このように、心理行動実験ではたやすく実施できる操作も、倫理的観点から不可能なケースがある。

つまり、fMRI装置を使う場合の実験デザインは、心理行動実験以上にシンプルで洗練されていることが望ましい。もともとの実験デザインが複雑ならば、脳科学研究者と相談しながら、重要な条件を除いたすべての条件を可能な

限り単純化した方がよい。fMRI装置の特性とそれに基づく制限を受け入れた上で、心理学者ならではの実験デザイン構築のスキルを発揮しよう。さらに、fMRIの中でおこなう実験デザインが完成したら、心理行動実験として予備実験をおこない、まずは行動データのみで仮説が検証されるのかを確認すべきである。そうすれば、実験が終わってしまってから、データの解釈に悩まされるリスクは必ず減る。

脳画像データにおける誤差

解析の練習がてら初めて自分の解剖画像を見たとき、手元にある欧米人の解剖画像と比較するといかに自分が絶壁であるかを目の当たりにし、思わず後頭部をさすった。このように、脳の形状はもちろんのこと、各部位の構造的な位置にも個人差がある。これは、SPMでの個人解析後に、実験参加者の解剖画像をズラリと並べて表示すると明らかである。また、脳の活動には、実験参加者の意識的な行動のみならず、呼吸、心拍、瞬きといったすべての生理的な反応が影響を及ぼし、個人差を生み出す。こちらは、個人解析において、ある特定のコントラストを実験参加者ごとに取り出して並べるとよくわかる。メインで活動する部位には共通点もあるが、実験参加者ごとにその位置に微妙なずれがあることや、活動する部位には相違点があることが確認できる。

筆者は、fMRIで測定された脳活動のデータは、誤差が少なく、頑健なものだという印象を抱いていた。先行研究に掲載された特徴的な活動を示した脳画像はとてもロバーストな結果を示しているように見えたし、意識的な判断の背後にある脳活動は実験参加者ごとにほぼ共通であるからこそ、神経基盤からメカニズムを検討することに価値があると考えていた。しかし、自ら解析してみると、その誤差は想像以上に大きかった。さらに問題なのは、こうした個人差のどこまでが許容範囲といえるのか、まったく当たりがつかなかったことである。繰り返し扱ってきた行動データであればある程度予想がつくが、初めての脳画像データではどこに着

目すべきか見当がつかない。

この点については、質問と確認を繰り返した。fMRI装置の中での実験参加者の動きはxyz方向それぞれどの程度なら許されるのか、課題遂行時の不備はどの脳部位の活動に着目すればわかるのかを質問し、データの除外基準をひとつずつ確認した。その上で、集団解析をやり直すたびに、結果は根拠に基づいて解釈可能な形に変化していった。もしあなたが脳画像データに不慣れであるなら、集団解析の結果だけに目を通すのではなく、集団解析に移行する前の脳画像データにおける誤差を目で確認することは非常に大切だと思う。脳画像データにも多くの個人差がある。これを根拠に基づいて整理してから、行動データへのアプローチと同様に解析の工夫を考えることが重要である。

行動データの重要性

脳画像データの解析結果を眺めているとき、課題の性質とは無関連と推測される運動野に活動が見られることに気づいた。まったく解せぬがもしかしたら価値があるかもしれない、としばらく検討を重ねた。満を持して報告したところ、「ボタン押しですね!」と即答され、危うく筆者自身がレスト状態に入りかけた。前述のように、心理学でも脳科学でも解析へのアプローチ姿勢は同様であるし、両方のデータはともに貴重である。しかし、行動データの解析なら気合いを入れれば数日で終わるが、脳画像データの解析にはスキル不足もあいまってその倍以上の時間と手間がかかる。すると、どうしても脳画像データの解析結果を中心に解釈の筋道を立てたくなる。これでは心理学者自らが心理実験による行動データを尊重していないことになってしまう。

行動データと脳画像データは、新たな知見を得るために相互補完的に用いられるべきである。ただし、脳画像データの結果は、行動データの結果に基づいて解釈されなければならない。なぜなら、fMRI装置を使って心理的事象を検討する際の基本的関心は、行動データによってあらかじめ特性が解明された課題遂行時

の脳活動の観察から、行動データの示す特性が脳のどの領域の活動に反映されるかを知ることにあるからだ。筆者が解析のスキル不足による遅れを取り戻すために脳画像データからすべての結果を解釈しようと急ぐたびに、共同研究者の先生方から注意を受けた。fMRI研究において、心理実験は非常に重要であり、特に行動データにおいて仮説が検証され、適切な解釈がなされることは不可欠である。脳科学との融合研究では、この点においてもっとも心理学者の貢献が期待されるだろう。

おわりに

現在の筆者は、いまだ初級レベルをうろついている。少し解析を進めては不安になり、相変わらず質問を繰り返している。解剖学的な知識も、解析で活動が見られたと喜んでアトラスを紐解いては「ちょうどこの間の部位名が知りたいのです」と呟いている。それでも、当初よりははるかに成長したと自負している。そして、自分自身がデータを正しく扱えているという実感をもって解析を進めるのはとても楽しい。

本稿で述べたことは、fMRI研究および他のツールを用いた脳科学研究に少しでも携わった心理学者にとっては至極当たり前であることを、筆者は十分に承知している。一方で、これから研究に着手する、あるいは着手したばかりの心理学者の中には、筆者と同じような不安を抱えて必死な者も少なくないのではないかと考えている。本稿を通じて、そうした方々の不安が減り、心理学者としての経験とスキルを存分に発揮しながら脳科学との融合研究で相乗的な効果を上げることにつながれば幸いである。

謝辞

東京女子大学の田中章浩先生、共同研究の貴重な機会をいただきありがとうございます。自然科学研究機構生理学研究所の定藤規弘先生、原田宗子先生、いつも質問に丁寧にご回答いただき、大変感謝しております。

文献

亭阪直行・矢追健 (2015) 実験心理学からみた機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) による脳画像解析. 『基礎心理学研究』34, 184-191.