

身体運動と脳の学習・適応メカニズム

～運転行動を支える脳のネットワーク～

東京大学大学院 人文社会系研究科 心理学研究室 教授 今水 寛

人間は目や耳などの感覚器官から外部世界の情報を取り込み、脳で適切な情報処理を行い、運動器官を操作して外部世界に働きかけている。目の前にあるものに手を伸ばすとき、どの筋肉をどれくらい収縮させるかなどと考えなくても、一瞬で正確に手を伸ばすことができる。このようなことが可能であるのは、感覚情報と運動情報の結びつきを、長い時間をかけて学習・記憶しているからと考えられる。

内部モデル 速く巧みな身体運動を支えているのは、脳の内部にある外界のモデル（内部モデル）であると言われている。例えば、使い慣れたコンピュータマウスならば、マウスをどのように動かせば（マウスへの入力）、画面のカーソルはどう動くか（コンピュータの出力）を予測できる。身体運動の場合も同様に、脳は身体に対して、どのような運動指令を出せば（身体への入力）、どのように身体が動くか（身体からの出力）を、ほぼ完璧に予測できる。このように、内部モデルは、身体や道具における入力と出力の関係を記憶し、運動や操作を実行する前に、予測・シミュレーションを行うことを可能にすると考えられている。

内部モデルと小脳 内部モデルを獲得するのに重要な役割を果たしているのが、小脳という神経機構であると言われてきた。私たちは、機能的磁気共鳴画像 (fMRI) 装置という脳活動計測装置を用いて、新しい道具（マウスが動く方向とカーソルが動く方向が一定角度でずれるマウス）の使い方を学習しているときの小脳活動を計測した。学習を始めたばかりの時は、マウスの使い方に不慣れなため、あやまち（誤差）が頻繁に生じる。小脳の大部分では、この誤差と正確に比例して脳の活動が上昇し、小脳に誤差の情報が正確に伝えられている様子が、明らかになった。さらに学習を続けると、小脳の一部分で、誤差とは無関係に活動が上昇する部分があることがわかった。この結果は、試行錯誤で覚えた内部モデルが小脳に蓄積されること、内部モデルの学習には誤差の情報が重要な役割を果たすことを示している。

複数の内部モデル 次に、操作の仕方が異なる2種類のマウスの使い方を十分に学習してもらった後で、それぞれのマウスを使っているときの脳活動を計測した。その結果、使っているマウスの種類によって小脳の異なる場所で活動が見られた。活動場所の違いは、マウスを使うときの手の動かし方の違いなどでは説明できず、異なる操作の仕方を反映する内部モデルが、小脳の異なる場所に蓄積されていることが明らかになった。

内部モデルの切り替え 2種類のマウスを切り替えながら使うとき、切り替わるタイミングで前頭葉（前頭前野・島皮質）、頭頂葉の活動が一時的に上昇することも解った。人間は、箸を使った後ですぐにはさみを使うなど、異なる種類の道具を、状況に応じて柔軟に使い分けることができる。このようなことが可能であるのは、1) それぞれの道具の内部モデルが、小脳の異なる場所に蓄えられて、互いに干渉しないような仕組みになっていること、2) 前頭葉、頭頂葉、小脳を含むネットワークが、必要とされている内部モデルを適切に選択することが重要であると考えられる。

運転行動を支える内部モデル トヨタ自動車株式会社との共同研究において、fMRI装置の中で使用可能な運転シミュレータを開発し、運転行動における内部モデルの切り替えメカニズムを調べた。運転中にクルマの操作特性（アクセル感度）が変化したときに、人間の脳はどのように対応するのであろうか？ アクセル感度が変化すると、まず前頭葉と頭頂葉の活動が上昇することが解った。そして、この領域の活動が高いほど、小脳の活動パターンは大きく変化することも明らかになった。このことは、前頭葉と頭頂葉の活動がきっかけとなり、小脳に獲得された運転特性の内部モデルが切り替わることを示している。状況の変化に応じて、適切に内部モデルを切り替えながら運転することは、運転の上級者にとって、クルマを運転する大きな喜びにつながるのではないかと考えている。