

意思決定における報酬情報処理

山本 愛実

玉川大学脳科学研究所，東京大学総合文化研究科

通常、意思決定を行うとは、意識の上で自分自身のコントロールの元に行っている行為であると考えられてきた。しかしながら、このような一般常識に対して、近年では心理学や脳科学の分野において意思決定を行う際には、意識に上ったものだけではなく、無意識のプロセスが関与していることが指摘されている。Shimojo ら(2003)は意思決定について次のような実験を行った。被験者に2枚1組になった異性の写真を見せ、どちらの写真の人物がより魅力的かを答えさせ、実験中の眼球運動を測定した結果、多くの被験者は、最終的にどちらが良いかを意識的に判断する前に、結果的に選ぶことになる写真のほうを見ている場合が多かった。そのことから、無意識的な決定が先で、意識的な判断はその結果を受けているに過ぎない場合もあることを示唆した。スウェーデンの Johansson ら(2005)は、意思決定における意識的判断の意味を問い直す実験を行った。下條らの実験と同様に2枚1組の異性の写真の中からどちらが好みかを選ばせた。このとき、何試行かに一回、選んでいないほうの写真を呈示して、この写真が良い理由を答えさせた。かなりの確率で被験者は選んでないほうの写真が呈示されたことには気づかず、なぜその写真が好みかを述べた。このことは、好みについての選択とその意識的理由付けが必ずしも常に一致しているわけではないことを示唆した。このような選好課題での意思決定において、Kim ら(2007)は、大脳基底核下部の応答は無意識の選択に関係しており、前頭前野の応答は意識的理由付けを反映するものではないかと考えた。このような一連の研究結果から、意思決定においては、まず皮質下の報酬情報処理に関わる回路で潜在的にどちらが良いかを選び、その結果が前頭前野に送られて顕在化される。しかし、前頭前野は皮質下の領域が判断したときの材料とは異なる材料で、この決定を理由付けなければならないときがあり、その判断は時には皮質下の判断とは一致しない。

意思決定とは与えられた環境において、多くの場合、報酬の最大化をめざして行う行動選択であるため、報酬情報処理とは極めて密接な関係がある。動物は初期段階では、その環境においてどのような行動をとればいいのかわからないため、その環境へ適応するための行動を学習する必要がある。動物の学習メカニズムにおいて代表的なものに古典的条件付けがあげられるが、刺激 - 報酬の関係が変化することのある実際の状況では、予測とは異なる結果が生じることがある。このような予測と実際の報酬との差を報酬予測誤差という。このような報酬予測誤差は、ドパミン神経系によって作りだされていると考えられている(Schultz et al., 1997)。学習は報酬予測誤差によって更新され、そのことは強化学習の基礎となる。

社会環境における複雑な報酬情報処理については、単純な条件付けや強化学習だけでは説明が難しい。私たちは過去の経験や未来に起こるであろうことをふまえ、さらに時々刻々と変化する異なる状況を考慮にいれて報酬情報処理を行うこともできる(Tanaka et al., 2004; McClure et al., 2007)。このような複雑な状況における報酬予測においては、内側前頭皮質

が関与しているという報告もある(Hampton et al., 2006)。

このように、我々動物は確率に依存した強化学習により報酬予測を行う一方、同時に複雑な内部モデルを使った報酬予測も行っている。Dawら(2005)は2つの異なる規則に基づく学習をモデルフリー、モデルベースな行動学習則と呼び、それぞれが大脳基底核、前頭皮質にかかわる異なるメカニズムをもつ存在であることを提唱した。モデルフリーな行動学習則は、古典的条件付けに代表されるように刺激と報酬の関係を確率的に学習し、潜在的な処理を行っていると考えられている。一方、モデルベースな行動学習則は、過去に学習した経験を使った推論などの思考機能を働かせてモデルを作り報酬予測をするシステムであり、これは意識の密接な関与があると考えられている。

本研究では刺激の明瞭度を実験的に操作することにより、ヒトを被験者としてランダムドットモーション刺激に対する報酬予測時の脳活動を fMRI により計測した。被験者にランダムドットモーションを見せ、その動きの方向(左あるいは右)を判断させた。ランダムドットモーションは、一致して動くドットの%(コヒーレンス)を変えることで、弁別の難易度を変えることができるが、実験では高コヒーレンス刺激(正答率90%相当)と低コヒーレンス刺激(正答率60%相当)の2種類が使われた。このとき、一方方向の動き刺激には報酬が、反対方向の動き刺激には非報酬が伴った。この実験では、報酬は、被験者の反応の正答・不正答にかかわらず、ランダムドットの動きの方向に関連して与えられた。したがって、被験者は、ランダムドットの動きの方向を弁別しながら、同時に報酬の有無も予測することになる。刺激がはっきりしている高コヒーレンス条件のとき、大脳基底核の尾状核において、刺激に基づき報酬を予測する脳活動が見られた。この応答は、被験者がランダムドットの動きの方向を誤って判断したときでも、その判断の影響は受けず、実際の刺激の方向に依存したものであった。一方、前頭前野内側部における報酬予測活動は、刺激があいまいな低コヒーレンス条件で強く、被験者が誤った判断をした場合は、その判断に依存した形のものとなった。このことは、前頭前野が内部モデルに依存した報酬予測情報の生成に関係していることを示唆する。一方、皮質下の報酬情報処理に関わる回路は、潜在的(無意識的)に、また確率的に対象の報酬面を計算していることが示唆された。

このように私たちの意思決定は、大脳基底核における事象間の経験的關係を客観的・確率的に結び付けるモデルフリーシステムと、特定の環境での生体の行動に関する内部モデルを形成することで、行動決定に先立ってシミュレーションを可能にし、直接経験していない事象の予測も可能にする前頭前野内側部におけるモデルベースシステムとの協調と競合によって成り立っていると考えられる。私たちの意思決定は必ずしも顕在的に行われているわけではなく、顕在的意思決定を前提とした我々の社会・制度の在り方は、今後脳科学的知見をふまえ議論が必要となるであろう。