

2003年7月11日
独立行政法人 理化学研究所

自発的な行動の中枢を前頭葉に発見

- 目的が行動を決めるメカニズム -

理化学研究所（小林俊一理事長）は、自発的に行動する時に行動を決める神経細胞を前頭葉に発見しました。理研脳科学総合研究センター（甘利俊一センター長）認知機能表現研究チームの田中啓治チームリーダーと松元健二研究員らによる研究成果です。

私達が自発的に行動するとき、目的がまず頭に浮かび、次にその目的を実現させる行動を選んで実行します。適切な行動を選ぶことができるのは、私達が行動とその結果の関係を思い浮かべることができるからです。今回、サルを訓練して2種類の行動を行わせ、前頭葉のいろいろな場所から神経細胞活動を記録しました。その結果、特定の目的に向かって特定の行動を行う前に活動し、目的から行動を決める働きをしている一群の神経細胞をサルの脳の前頭葉の一部に発見しました。

この研究をさらに進めることによって、行動における意志のメカニズム解明に発展することが期待されます。

本研究成果は、米国の科学雑誌『Science』7月11日号に掲載されます。

1. 背景

前頭連合野は前頭葉の前半部を占め（図1）、複雑な行動を制御する大脳の領域として知られています。前頭連合野の外側部や腹側部の機能についてはこれまでにいくつかが知られていますが、内側部の機能についてはほとんど分かっていませんでした。

学習心理学では、行動には刺激、行為、結果の3要素があると考えられています。学習心理学の主流は、刺激と行為の連合に重点をおいて研究してきました。ある刺激が与えられたときにある特定の行為をすると報酬が与えられるという経験を何度も繰り返すと、刺激と行為が脳の中で固く結びつき、刺激から行為が自動的に起こるようになっていきます（図2左）。

しかし最近の学習心理学の研究は、動物はもっと目的を意識して行動する場合がありますを示しています。刺激-行為-報酬の関係が頻繁に変化する状況では、刺激が示されるとまずこの刺激に結びついた報酬が意識され、次に行為-報酬関係に基づいて行為が選ばれ実行されます（図2右）。今回の研究では、自発的な行動のメカニズムを明らかにするために、報酬の予測に基づいて行為を選ぶようにサルを訓練し、前頭連合野のいろいろな部位から神経細胞活動を記録しました。

2. 研究手法

サルを訓練した行動課題では、2つの刺激、2つの行為、2つの報酬を用いました（図3）。まず2個の視覚刺激（花1、花2）のどちらかの刺激がテレビに示され、サルは刺激に対応する行為（行為1-レバーを引く、または行為2-真ん中の位置に保

持する)を行います。正しく対応した行為をすると、それぞれの行為に対応する報酬(報酬1-ジュース、または報酬2-音)が与えられます。間違った対応の行為をサルがするとどちらの報酬も与えられません。数十回ごとに刺激—行為—報酬の対応関係を変えました。対応関係が変わるごとに、サルは刺激と行為の対応関係を試行錯誤で学習しなければなりません。

3. 研究成果

いくつかの行動実験でサルの行動を調べた結果、サルが報酬の予測に基づいて行為を選んでいたことが分かりました。

課題遂行中のサルの前頭連合野のいろいろな部位から微小電極を用いて神経細胞の活動を記録したところ、刺激が出た途端に現れる、報酬の予測と行為の意図を同時に表現する神経細胞活動を見つけました(図4)。この活動は、特定の報酬が予想され、さらに特定の行為が行われる条件でだけ起こりました。今回新たに見つかった報酬予測と行為意図の組み合わせを表現する神経細胞活動は、報酬予測に合致する行為と報酬の組み合わせを思い出し、行為を選ぶ過程に対応すると思われ(図5)。

刺激の情報は視覚性の連合野である下側頭葉皮質から前頭連合野の外側部および腹側部に伝えられて予想される報酬の情報に変換されます(図6)。予想される報酬の情報は前頭連合野の内側部に伝えられ、報酬と行為の組み合わせの情報に変換されます。さらに報酬と行為の組み合わせの情報は前頭連合野の外側部や運動性の連合野である補足運動野などに伝えられ、これらの領域は第1次運動野からの行為の出力を制御します。刺激からまず報酬を予想し、次にこの報酬に結びついた行為を選ぶプロセスにおいて、前頭連合野内側部は報酬予測を行為に結び付ける中心的な役割を果たしていたと考えられます。

4. 今後の期待

報酬予測を表す神経活動が前頭連合野の広い領域に現れることは既に分かっていたが、今回の研究は、報酬予測から適切な行為を選ぶプロセスが前頭連合野の内側部で起こっていることを明らかにしました。報酬の予測は目的の最も単純な形態です。前頭連合野の内側部は特定の目的と行為の組み合わせを表す神経細胞集団を持つことによって、目的から行為を決めるプロセスに中心的な役割を果たすと考えられます。

号令に従って行動するのではなく、目的を意識して目的に合った行動を自分で選んで行うとき私たちは自発的に行動していると感じます。前頭連合野内側部は目的から行動を決める機能を持ち、自発的な行動に中心的役割を果たしている可能性が出てきました。今回のサルの研究では目的は単純な報酬の期待でしたが、私たち人間はしばしば認知的あるいは精神的な目的に向かって行動します。今後さらに、このような認知的な目的が前頭連合野の中でどのように表現されるか、そしてその目的から行動がどうやって選ばれていくかを研究していくことによって、自由な意志とは何かが次第に解明されていくことが期待されます。

(問い合わせ先)

独立行政法人理化学研究所 脳科学総合研究センター
認知機能表現研究チーム

チームリーダー 田中 啓治

研究員 松元 健二

Tel : 048-467-9342 / Fax : 048-462-4651

脳科学研究推進部

宮本 寛

Tel : 048-467-9596 / Fax : 048-462-4914

(報道担当)

独立行政法人理化学研究所 広報室

駒井 秀宏

Tel : 048-467-9272 / Fax : 048-462-4715

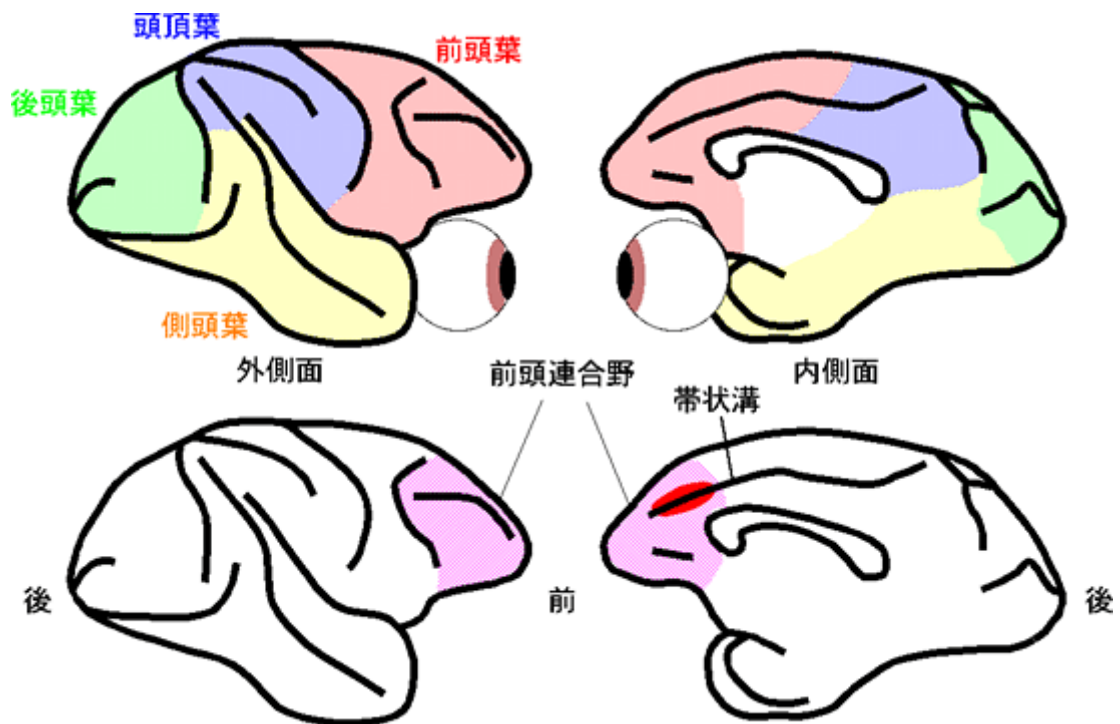


図1 ニホンザルの大脳右半球を外側(左)と内側(右)から見た図。前頭葉、側頭葉、頭頂葉、後頭葉を色分けして示す(上)。前頭連合野を斜線で示す(下)。赤(塗りつぶし)で特定の報酬予測と行為意図の組み合わせに対応して反応した神経細胞が記録された内側部の部位を示す。

習慣的行動
(目的を意識しない行動)

自発的行動
(目的を意識した行動)

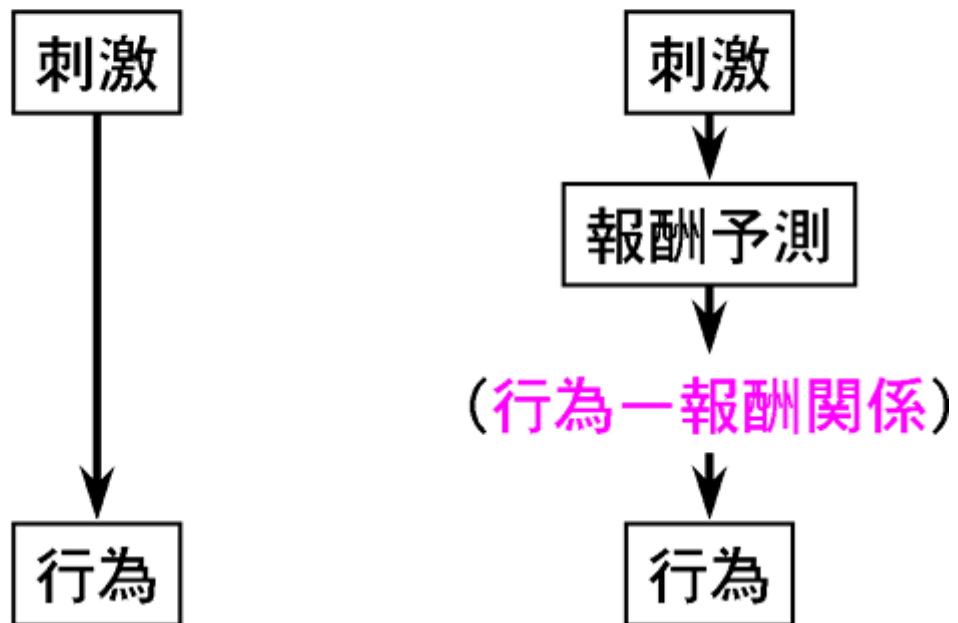
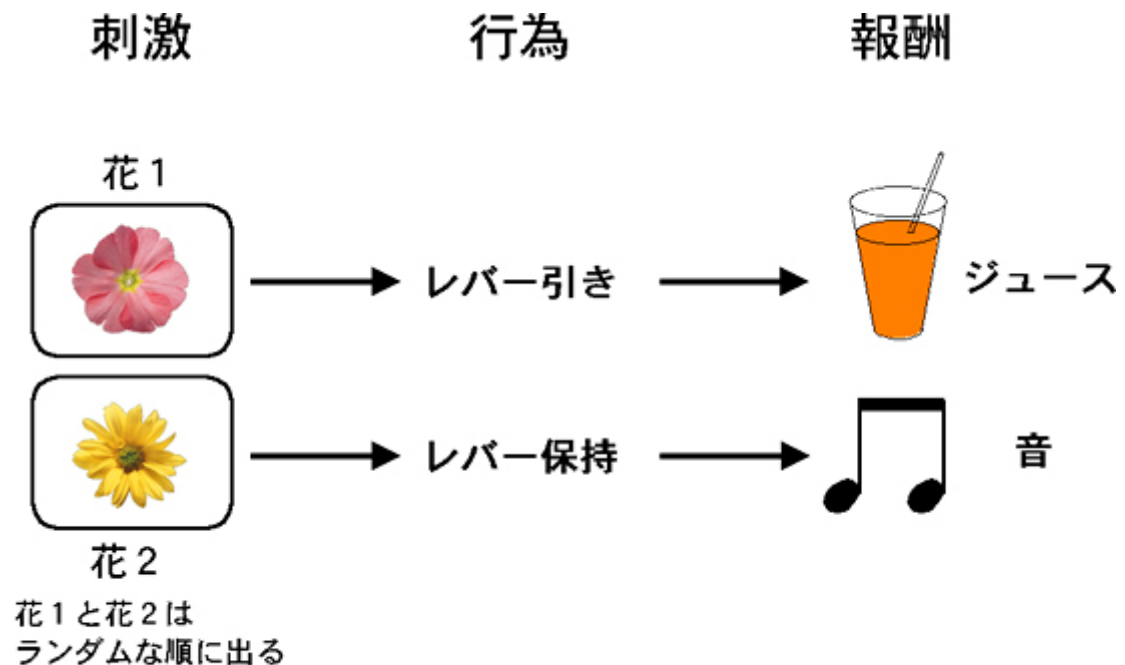


図2 習慣的行動と自発的行動のブロック図



数十回ごとに刺激-行為-報酬の対応関係を変える

図3 サルに訓練した行動課題。刺激に応じてレバー引きまたはレバー保持のどちらかの行為を行う。刺激に正しく対応した行為にはジュースまたは音が報酬として与えられる。間違った対応の行為にはどちらの報酬も与えられない。

行為意図と報酬予測の組み合わせ

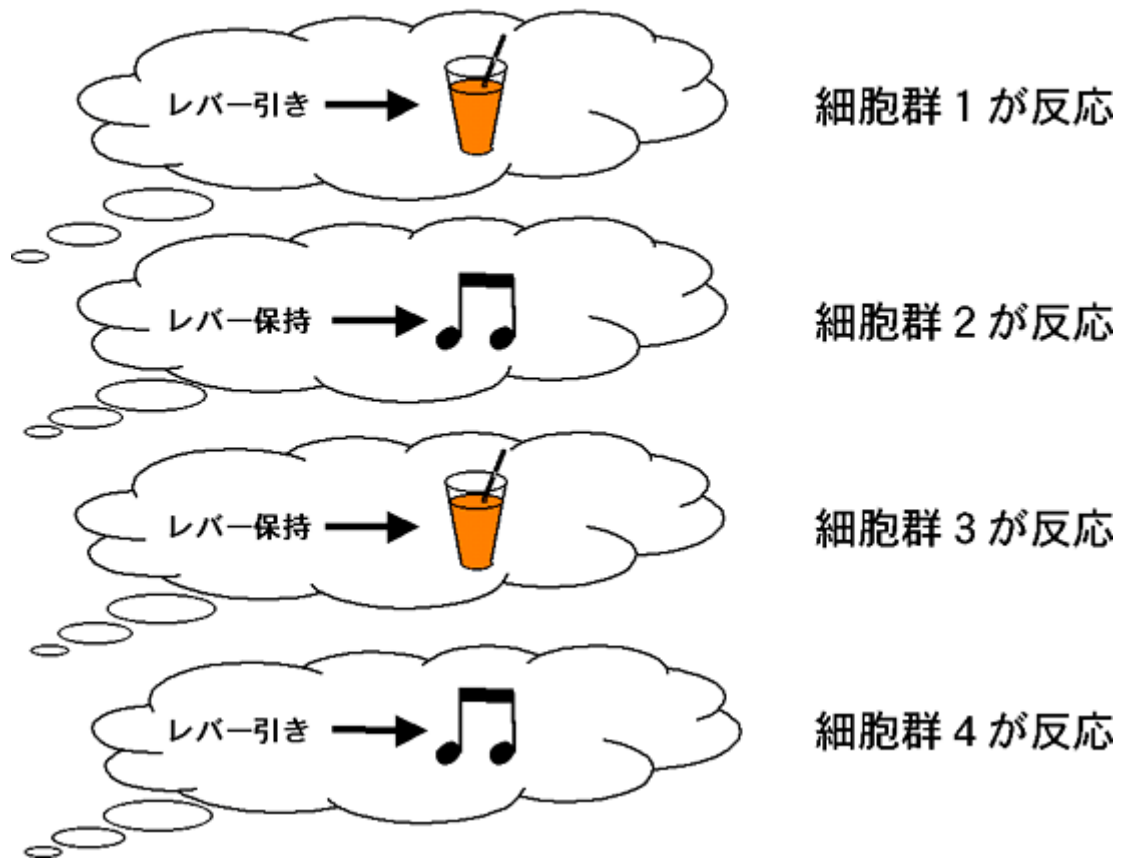


図 4 特定の行為意図と報酬予測の組み合わせに対応する神経細胞の反応。
細胞群 1~4 は混じりあって前頭連合野内側部に存在した。

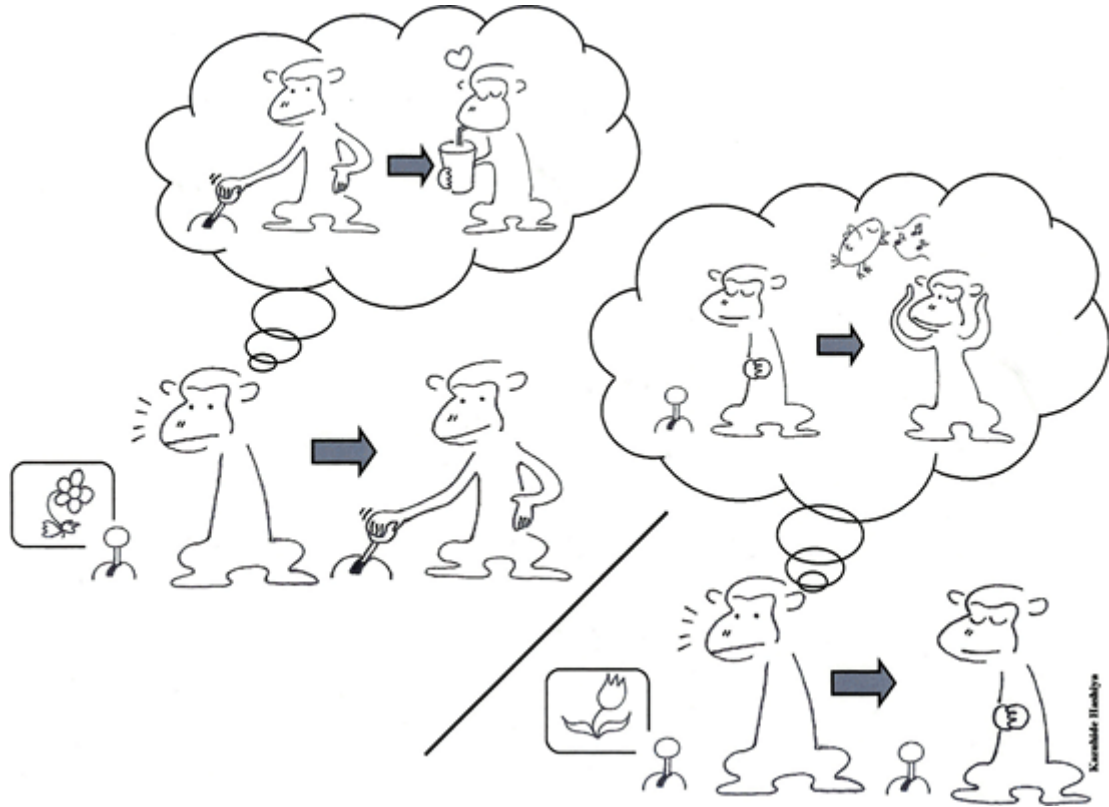


図5 サルは手掛かり刺激からまず特定の報酬を予測し、次にその報酬と特定の行為の関係（吹き出し）を思い出して行為を選んだ。報酬と行為の関係は前頭連合野内側部に現れた

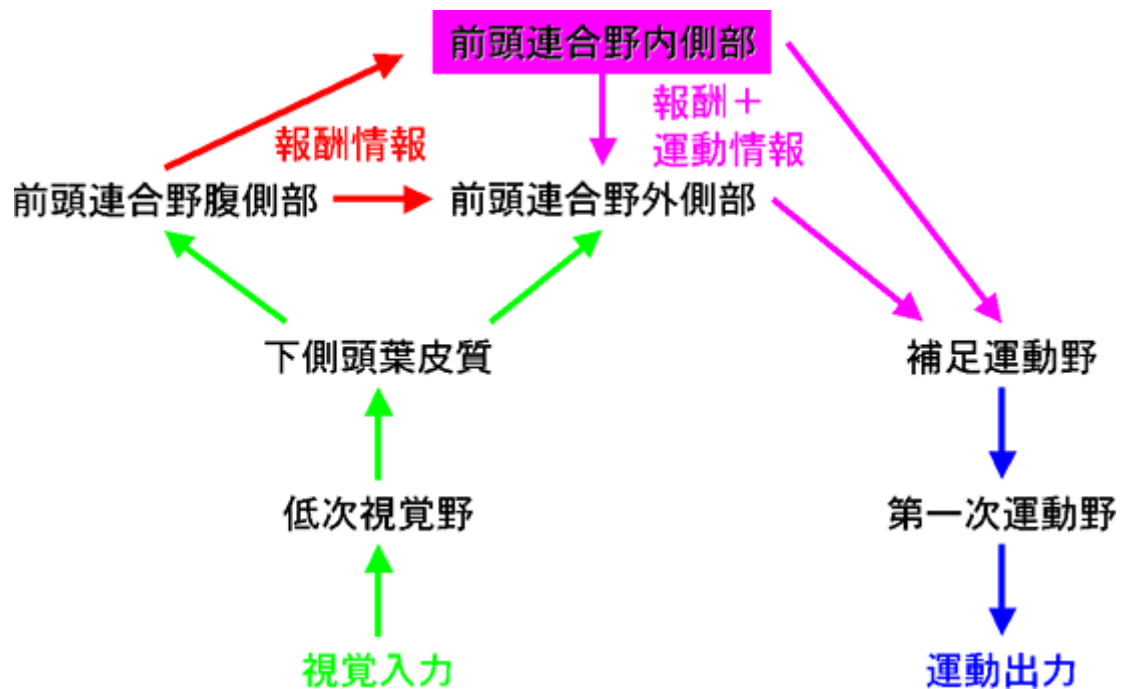


図6 自発的行動における情報の流れ