

「しかるな、ほめろ、コミットさせろ」 -左脳の活動から見る報酬系の賦活-

○小谷泰則 大上淑美

(東京工業大学 リベラルアーツ研究教育院)

Key words : 左前部島皮質、報酬系、機能的磁気共鳴画像法

はじめに

1. 報酬系の活動指標となる左脳の活動

左前頭葉に損傷を受けた患者の多くは、左脳が活動しないためにうつ病を発症する。一方で、右前頭部に損傷を受けた患者は左脳のみが活動するために、躁（そう）状態を示すことが報告されている（Morris et al., 1996; Paradiso et al., 1999; Sackeim et al., 1982）。これらの知見から、左脳はポジティブな感情の発生に関与しているという仮説が示されている（Davidson, 1992）。また、報酬と関係する神経伝達物質であるドーパミンの受容体の結合性は、右脳よりも左脳の方が高くなることが示されている（Tomer et al., 2014）。さらに、視覚偏光プリズムを利用して右空間へ注意を向けることにより、反対側の左脳が刺激され、報酬による学習がより進むことも示されている（Schintu et al., 2018）。これらの研究は、左脳の活動が、脳の報酬系の活動の指標になることを示している。すなわち、報酬系が賦活することによって、その行動が繰り返され強化されることから、左脳の活動は「動機づけ」・「やる気」の指標になり得ると考えられる。

2. 罰は左脳を賦活させない

人間の行動を修正する要因として、「報酬」のほかに「罰」があげられる。スポーツの指導場面では、多くの指導者がしかることによる「罰」を与えることが多い。しかし、罰は報酬系の指標となる左脳を活性化させるのであろうか。我々が行った SPN (stimulus preceding negativity) と呼ばれる脳波を用いた実験では、金銭報酬を与えた場合には左脳の活動が増加したのに対し、金錢的な罰を与えたときには、左脳の活動増加は認められなかった（Ohgami, Kotani et al., 2006）。このことは、罰は報酬系を活動させないことを示唆しているものと考えられる。一方で、我々が行った fMRI (機能的磁気共鳴画像法) 研究では、罰に相当する不快刺激を与えた場合には、情動中枢である扁桃体が早く強く反応するのに対し、報酬に相当する快刺激に対しては、扁桃体はゆっくりと反応するという negativity bias（「しかる」のは「ほめる」よりも早く強く効果を示す）を示すことがわかった（Yoshida, Kotani et al., 2021）。これらの結果は、罰は報酬系を賦活させるのではなく、情動中枢を早く強く刺激すること

により、早く強い不快感を発生させ、行った行動を回避させることにより、行動を修正させていることを示唆している。

3. 報酬系へのコミットメントの影響

近年の報酬に関する研究では、自分で課題を行って報酬を得る場合と、コンピュータが報酬を自動的に決定する場合とでは、同じ報酬額を得る場合でも、自分で課題を行った場合の方が報酬系の活動が大きくなることが報告されている（Harmon-Jones et al., 2024; Mühlberger et al., 2017）。この現象は、action-outcome contingency、self-involvement、perceived control という概念で説明されているが、言い換えれば実験参加者の課題への「コミットメント」を反映しているものと考えられる。これらの研究は、行動を行う者が、その行動に對してコミットメントが高くなるほど、報酬系の活動が高くなることを示している。

4. 目的：報酬情報によるコミットメントの操作と左脳の活動

コミットメントによって報酬系の活動が変化するのであれば、報酬系の活動を反映する左脳の活動もコミットメントの程度によって変化することが考えられる。本研究では、まず、左脳の活動が報酬系の活動を反映するかを確認するために、（1）報酬条件の左脳の活動が、無報酬条件での活動よりも高くなるかという点について調べる。さらに、報酬情報呈示のタイミング（課題反応「前」に報酬の有無を呈示=コミットメント低、課題反応「後」に報酬の有無を呈示=コミットメント高）を操作し、（2）コミットメントが高まった場合に、左脳の活動が高まるかという点についても検討する。脳活動は fMRI を用いて測定し、実験 1 では報酬情報（報酬の有無）を課題反応「前」に呈示した。実験 2 では報酬情報（報酬の有無）を課題反応「後」に呈示した。分析では、脳波 (SPN) の研究（Ohgami, Kotani et al., 2006）を参考に島皮質（とうひしつ）の活動値を算出した。実験は倫理委員会の承認を得て行い、書面にて実験参加者の同意を取得した。

方 法

実験 1：教示刺激における報酬情報の有無による左脳への影響

参加者 成人男女 25 名（男性 22 名・女性 3 名、平均年齢 26.4 才）

実験課題 Kotani & Aihara (1999) を参考に、時間評価課題を用いた。この課題では、教示刺激として、評価する秒数（3秒・5秒・7秒）を示す刺激を呈示した。参加者は教示刺激で指定された秒数が経過したなら、右手人差し指でボタンを押すよう求められた。さらに、ボタン押し (BP) の3秒後に時間評価のパフォーマンスに関するフィードバック (Feedback) 情報 (BPが指定された時間内であつたか否か) を呈示した。実験条件は以下の2つを設定した。(1) 報酬条件：正しい時間評価を行った場合には、10円・100円・1000円のいずれかが報酬として与えられた。(2) 無報酬条件：正しい時間評価であっても報酬は与えられなかった。その試行で得られる報酬額（報酬情報）は、教示刺激とともに呈示されたために、課題反応の前に呈示された。fMRIの測定 (Siemens 3-T MRI machine、TR = 2 sec、20 trials × 3 condition × 2 runs) を行った後に、報酬情報（教示刺激）に対する左脳の前部島皮質における活動値（ β 値）を抽出した。さらに抽出された β 値に対して、対応のある t 検定（報酬条件・無報酬条件の比較）を行った。その結果、報酬条件における左脳の前部島皮質の活動値が、無報酬条件よりも有意に高くなつた ($p < 0.001$)。

実験2：報酬情報呈示のタイミングによる左脳への影響

参加者 31名（女性6名・男性25名、平均年齢22.4歳）実験課題は実験1と同様に時間評価課題を用いた。実験1では報酬情報はボタン押しの「前」に呈示されたのに対し、実験2では参加者の報酬情報刺激に対するコミットメントを高めるために、ボタン押しの「後」に報酬の有無に関する刺激（報酬情報刺激）を呈示した。報酬情報刺激では、その試行が報酬条件（正答につき100円の報酬が与えられる条件）か、無報酬条件（報酬が付与されない条件）が呈示された。

fMRI測定は実験1と同様に行い、報酬情報刺激に対する左脳の島皮質について活動値（ β 値）を算出した。算出された β 値に対して、対応のある t 検定（報酬条件・無報酬条件の比較）を行った。その結果、報酬条件における左脳の前部島皮質の β 値が、無報酬条件よりも有意に高くなつた ($p < 0.001$)。さらに、実験1との比較（課題反応の「前」の報酬情報の呈示と、課題反応「後」の報酬情報の呈示の比較）のために、実験1と実験2の報酬条件における報酬情報刺激に対する左脳の活動値（ β 値）に対して、対応のない t 検定を実施した。その結果、課題反応「後」の報酬情報の呈示の方が有意に高い活動値を示した ($p < 0.001$)。

考 察

1. 報酬とコミットメントの左脳の活動への影響

本研究では、左脳（左前部島皮質）の活動が「報酬系」の活動の

指標になり得るかという仮説について、報酬の有無を操作し、左脳の活動への影響を調べた。その結果、2つの実験において、報酬条件の方が、無報酬条件よりも左脳の活動が高くなることが示された。このことは、左脳の活動が「報酬系」の活動の指標となり、「動機づけ」や「やる気」の指標となり得ることを示している。

また、本研究では、「コミットメント」の程度が左脳の活動に影響を与えるかを調べるために、報酬情報の呈示を反応の「前」（まだ課題に反応していない状態）と、反応の「後」（課題に反応しコミットメントが高まった状態）に呈示した。その結果、コミットメントが高まっていると考えられる反応の「後」の方が、左脳の活動が高くなることが示された。この結果は、課題へのコミットメントが報酬系の活動を高めるという先行研究の結果を支持するとともに、左脳の活動がコミットメントによる報酬系の影響を示す指標となり得ることを示唆している。

2. 賞罰の左脳の活動への影響

冒頭において述べた通り、スポーツの指導場面では、しかること（罰）とほめること（報酬）が用いられる。「しかる」ことは、早くして強い不快感情を惹起させることにより行動が修正される。しかし、罰は左脳の活動を増加させないことがわかっている（Ohgami et al., 2006）。また、罰を受け続けた場合、無力感を学習し（学習者無力感）、罰を無気力に受け続けるだけで、罰に対する回避行動を取らなくなることも知られている（Seligman & Maier, 1967）。そのため、罰を長期間にわたり用いる事は、結果的には「無気力」の醸成につながってしまう可能性がある。

一方、報酬は、ドーパミン受容体の連結性の高い左脳の活動を高めることができ本研究によって示された。ドーパミンは快感情を発生させるとともに、その行動を強化する働きがある。また、本研究の結果から、単に報酬を与えるのではなく、行動を行う本人のその行動へのコミットメントが高い場合には、より左脳の活動が高くなることが示された。このような知見は、スポーツの指導場面における、自主性（コミットメント）と報酬（ほめること）の組み合わせが、行動変容や運動学習にとって非常に重要である事を示唆している。しかし、一方で、我々の研究から、(1)「ウソのほめ」（ウソのフィードバック）は、脳の活動を高めないこと（Tsukamoto, Kotani et al., 2006）や、(2)「詳しくて正しいほめ（フィードバック）」が脳活動（脳波・SPN）を高め、報酬の効果を高めることなどが示されている。このことは、「ほめること」による報酬は重要であるものの、単にほめれば良いということではなく、「何がどのように良かったのか」という的確で情報量の豊富なほめ方が重要である事を示唆している。