

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 11 日現在

機関番号：32639

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009 ～ 2011

課題番号：21530773

研究課題名（和文）内発的動機アンダーマイニング効果の脳内機構

研究課題名（英文）Neural basis of the undermining effect on intrinsic motivation

研究代表者

松元 健二（MATSUMOTO KENJI）

玉川大学・脳科学研究所・教授

研究者番号：50300900

研究成果の概要（和文）：内発的動機の脳内メカニズムの解明にはこれまで全く着手されていなかった。本研究では自発的に楽しむことのできる課題を開発し、課題の成績に応じて金銭報酬が貰えることを約束して課題を行ったグループ（報酬群）と、そのような約束なしに課題を行ったグループ（対照群）とに分け、課題を行っている最中の脳活動を計測した。その結果、成績に応じた金銭報酬が内発的動機を低下させる際の脳活動の様子を捉えることに成功した。

研究成果の概要（英文）：The neural basis of intrinsic motivation has been unknown. We introduced a task, in that people voluntarily enjoy performing it, and measured the brain activity while the participants were performing the task. By dividing the participants into “reward group” who experienced performance-based monetary reward and “control group” who did not experience it, we found that the performance-based monetary reward reduced the following brain activity based on intrinsic motivation, correlating with the undermined intrinsic motivation to perform the task.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：動機づけ・自己決定感・fMRI・前頭葉・教育

## 1. 研究開始当初の背景

観察可能な外的報酬が存在しないにも拘わらず行動が始発、維持される現象は「内発的動機づけ」と呼ばれる（E. L. Deci, *Intrinsic Motivation*, Plenum Press, New York, 1975）。内発的動機づけが生じるのは、環境との相互交渉そのものを欲する性質が動物には生来備わっているからだと考えられている（R. W.

White, *Psychol. Rev.* 66, 297, 1959)が、その脳内機構については全く分かっていなかった。しかし、内発的動機づけの脳内機構を考える上で大きなヒントとなる行動学的現象が従来から知られている。行動と結果の因果性が見出せないときに、動物は抑鬱状態に陥るのである（M. E. P. Seligman, *Helplessness: on depression, development, and death*, W.

H. Freeman; trade distributor, Scribner, San Francisco and New York, 1975)。この現象は学習性無力感と呼ばれ、動機づけが異常に低下するうつ病のモデルと考えられてきた。行動と結果との因果性は、ある行動に特定の結果が伴うかどうかという相関関係によって決まるため、「随伴性」と呼ばれる。学習性無力感は、「行動と結果の随伴性」が「動機づけ」に本質的な役割を果たしていることを示唆しているのである。また、「行動と結果の随伴性」は、有機体と環境との間の相互交渉が制御可能であることを示すことから、ここには「自己決定感」が伴うと考えられる。したがって、「行動と結果との随伴性」が「自己決定感」を介して、その行動を内発的に動機づけるとする仮説が導き出される。「行動と結果の随伴性」と内発的動機づけとを結びつける脳内機構は分かっていないが、「行動と結果の随伴性」が、前頭葉内側部の特定の領域（前頭前野内側部）に含まれる一群の神経細胞の発火活動によってコードされていることを、研究代表者らは明らかにした(K. Matsumoto, W. Suzuki, K. Tanaka, *Science* 301, 229, 2003)。ヒトにおいても、前頭前野内側部の活動レベルが「行動と結果の随伴性」と相関していることが最近確認された(S. C. Tanaka *et al.*, *J. Neurosci.* 28, 6750, 2008)。これらの結果は、「行動と結果の随伴性」が動機づけにどのように影響を与えるかを調べることによって、内発的動機づけの脳内機構を明らかにできる可能性を拓いた。

内発-外発を問わず、動機づけレベルの制御に関わる脳部位については、動機づけレベルの異常な低下を主徴とするうつ病患者の脳の変化から有力な情報が得られている。うつ病患者においては、前頭葉内側部の一部（膝下帯状皮質）の容積が健常者と比べて有意に萎縮しており、代謝レベルも有意に低下している(W. C. Drevets *et al.*, *Nature* 386, 824, 1999)。しかも、薬物治療が効かない重篤なうつ病患者の膝下帯状皮質に継続的な電気刺激を与えると症状が緩和されることが発見された(H. S. Mayberg *et al.*, *Neuron* 45, 651, 2005)。これらの所見は、膝下帯状皮質は、動機づけレベルの制御に決定的な役割を果たしていることを示唆している。

## 2. 研究の目的

「行動と結果の随伴性」をコードする前頭前野と動機づけ制御に直接に関わる膝下帯状皮質、それらの領域からの情報を受け、価値表現に関わるとされる線条体、これらの領域の相互作用によって、内発的動機づけが駆動されるとの仮説を検証することが、本研究の目的である。

## 3. 研究の方法

実験課題としては、ストップウォッチ課題を用いた。この課題は、ストップウォッチを手にする多くの方がついやってしまう、ストップウォッチを正確な時間で止めてみるという遊びを課題にしたもので、内発的に動機づけられる行動の典型である。具体的には、モニター上にストップウォッチが現れ、自動的にスタートする。そして、一定の時間（例えば5秒ジャスト）で押しボタンを押してストップウォッチを止めて貰う。0.05秒以内の誤差でストップウォッチを止めることができたら成功とし、ポイントを加算した。刺激や行動はできるだけ保ったまま、動機づけをできるだけ除去したコントロール課題も導入した。コントロール課題ではストップウォッチが自動的にスタートした後、一定時間後に適当な誤差を含んで自動的に止まる。そしてストップウォッチが止まるのを確認してから、押しボタンをできるだけ早く押し貰うという課題である。ストップウォッチ課題とコントロール課題との差分によって、内発的動機づけに関連して活動する脳部位をある程度絞り込むことができる。二つのうちのどちらの課題かは試行毎に手がかりを呈示し、その順序は疑似ランダムとし、それぞれ各セッションで30試行を含めた。

被験者を外的報酬群と統制群に分けた。いずれの群も2セッションの実験を行った。外的報酬群では、第1セッションの直前に、成功数に応じて、金銭報酬が得られることを教示し、その報酬を第1セッション終了直後に与えた。そして第2セッションでは金銭報酬は得られないことを直前に教示した。この外的報酬の教示および獲得により、第2セッションにおける内発的動機づけを低減させることができる(アンダーマイニング効果)(E. L. Deci, *J. Pers. Soc. Psychol.* 18, 105, 1971; E. L. Deci, *Intrinsic Motivation*, Plenum Press, New York, 1975)。統制群では、金銭報酬が得られることは、実験中は一切教示しなかったが、第1セッション直後に、外的報酬群のうちの一人と同額の金銭報酬を与えた。

実際に外的報酬群で内発的動機づけの低減が起こったかどうかは、課題への興味についての質問紙ならびに行動指標から確認した。行動指標は、第1セッション後の休息時、ならびに第2セッション終了後に、3分間の待ち時間を設定し、その時間内にストップウォッチ課題とコントロール課題を自由に行えるようにしておき、一定時間内にストップウォッチ課題をどれだけ行うかをカウントすることで得た。それにより外的報酬群においてアンダーマイニング効果が実際に起きたかどうかを確認できる。アンダーマイニング効果に伴って、脳活動がどのように変化したかを、第1および第2セッション中にfMRIを用い

た脳画像計測によって調べた。脳画像解析は、fMRI 画像解析に標準的に用いられる、ロンドン大学が無償で提供している Matlab ベースの解析ソフト、SPM8 を用いて行った。動機づけに関与していると思われる前頭葉と線条体の脳活動に特に注目して解析した。

#### 4. 研究成果

第1セッション後に金銭報酬を貰った直後の3分間および第2セッション終了後の3分間の、いずれの待ち時間においても、統制群に比べて外的報酬群では、ストップウォッチ課題で自発的に遊ぶ頻度が有意に低かった。このことは、報酬群の内発的動機づけが、第1セッション後も第2セッション後も(対照群に比べて)低下していたことを示している。報酬群の被験者たちが、第1セッション中、約束してあったボーナス獲得を目的として課題に取り組んだ結果、アンダーマイニング効果が生じ、ストップウォッチ課題で成功することそのものの報酬としての価値が低減されたことによると考えられる。

脳活動としては、外的報酬群、対照群とも、線条体前部において、ストップウォッチ課題で「成功」したときに「失敗」したときと比べて有意に高い活動が見られた。この線条体前部の活動を群間で比較してみると、外的報酬群で対照群よりも有意に高かった。このことは、第1セッション中、報酬群では「成功」が外発的な金銭報酬に結びついており、この金銭報酬に対する活動が、高い活動を引き起こしたものと考えられる。一方、第2セッションでは、両群とも同様に金銭報酬は貰えないという全く同じ条件であったにもかかわらず、第1セッションとは逆に、線条体前部において、対照群で外的報酬群よりも有意に高い活動が見られた。このことは、外的報酬群では、ストップウォッチ課題の「成功」自体の内発的な報酬としての価値が低減しているが、対照群では、そのような低減が見られなかったことを反映していると考えられる。

実験では、ストップウォッチ課題と、統制課題であるウォッチストップ課題に先行して、手がかり語が提示されていた。この手がかり語に対する脳活動を調べてみると、前頭前野で、先ほどの線条体の活動と同じパターンの脳活動がみられた。すなわち、第1セッションでは対照群に比べて外的報酬群の活性化が高いが、第2セッションでは外的報酬群は対照群よりも前頭前野外側部の活性化を低下させたのである。このことは、どちらの課題かという認知情報が、ストップウォッチ課題における「成功」自体の内発的報酬としての価値の影響を受けた形で前頭前野外側部に表現され、これが線条体前部におけるストップウォッチ課題の「成功」という内発的報酬の価値に影響を与えるというメカニズムが、皮質-

基底核ループを通して機能している可能性を示している。

これらの結果は、脳内の認知処理の中核である前頭前野と価値計算の中核である線条体とが協同することによって、内発的動機が支えられていることを示唆すると同時に、行動実験でしか認められていなかった内発的動機のアンダーマイニング効果の実在性を脳科学的に強く示唆している。本研究成果は、当該分野である神経科学だけでなく、心理学や経済学、教育学などの分野にも大きな影響を与える研究成果として、2010年11月15日、米国科学アカデミー紀要に掲載された他、国内でも産経新聞や共同通信、時事通信で広く社会に報道され、経営者が主な読者層である『人材教育』2010年12月号に採り上げられた。

内発的動機づけの重要性は、世界的なベストセラーとなっているダニエル・ピンク著『モチベーション 3.0』で扱われている中心テーマであり、経済不安が広がる現代社会においては、その重要性はますます強く認識されてきている。内発的動機づけの主要因と考えられる「自己決定感」が、どのように内発的動機づけに影響を与えているかについての神経基盤など、まだ明らかになっていない重要課題があり、更なる研究の展開が必要である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 松元健二、松元まどか、村山航、出馬圭世  
目標指向行動と内発的動機の神経機構  
基礎心理学研究  
査読有、19 巻、2011 年、p. 164-170  
<http://psychonomic.jp/journal/2902.html>
- ② 村山航、松元まどか、出馬圭世、松元健二  
Neural basis of the undermining effect of monetary reward on intrinsic motivation.  
PNAS  
査読有、107 巻、2010 年、20911-20916  
DOI: 10. 1073/pnas. 1013305107

[学会発表] (計 19 件)

- ① 発表者名：松元まどか  
発表表題：Neural basis of setting achievement goals and its effects on motivation.  
学会等名：Neuroscience2011  
発表年月日：2011 年 11 月 17 日  
発表場所：Washington D. C., USA

② 発表者名：松元まどか  
発表表題：Achievement goals and motivation: neural basis of setting a goal standard.  
学会等名：Neuroeconomics2011  
発表年月日：2011年9月30日  
発表場所：Evanston, IL, USA

③ 発表者名：松元健二  
発表表題：Neural correlates of the undermining effect of expected monetary rewards on intrinsic motivation.  
学会等名：第40回北米神経科学大会  
発表年月日：2010年11月17日  
発表場所：アメリカ・サンディエゴ

④ 発表者名：松元健二  
発表表題：Monetary reward and intrinsic motivation: neural basis of motivation crowding-out effect.  
学会等名：Neuroeconomics 2010  
発表年月日：2010年10月15日  
発表場所：アメリカ・シカゴ

⑤ 発表者名：松元健二  
発表表題：Neural basis of undermining intrinsic motivation by monetary rewards.  
学会等名：第33回日本神経科学大会  
発表年月日：2010年9月3日  
発表場所：神戸コンベンションセンター（兵庫県）

⑥ 発表者名：村山航  
発表表題：Performance-contingent monetary reward decreases motivation: Neural correlates of undermining effect.  
学会等名：The 16th Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping.  
発表年月日：2010年6月8日  
発表場所：スペイン・バルセロナ

⑦ 発表者名：松元まどか  
発表表題：Two separate decision systems affected by the value of subliminal and supraliminal stimulus in human brain.  
学会等名：Neuroscience 2009  
発表年月日：2009年10月20日  
発表場所：Chicago, USA

⑧ 発表者名：松元まどか  
発表表題：Subliminal and supraliminal stimulus value affects action election separately in human brain.  
学会等名：第32回日本神経科学大会  
発表年月日：2009年9月17日  
発表場所：名古屋国際会議場（愛知県）

〔図書〕（計1件）

① 松元健二  
オーム社  
イラストレクチャー認知神経科学  
2010年、161-178

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.tamagawa.ac.jp/brain/news/101206\\_01.html](http://www.tamagawa.ac.jp/brain/news/101206_01.html)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松元 健二 (MATSUMOTO KENJI)  
玉川大学・脳科学研究所・教授  
研究者番号：50300900