

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：32639

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24240061

研究課題名(和文) 内発的動機づけの生起および変容の神経基盤

研究課題名(英文) Neural basis of generation and modulation of 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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,900,000円

研究成果の概要(和文)：内発的動機づけに脳内で影響を及ぼす要因を明らかにするために、ストップウォッチ課題遂行中の脳活動を機能的磁気共鳴画像法によって計測した。ストップウォッチを自分で選べる「自己選択条件」を人は好み、課題成績も上がった。失敗に対する前頭前野腹内側部の活動低下も、自己選択条件では消失した。失敗を次の成功へと結び付ける機構が前頭前野腹内側部に備わっており、これが、自己決定感が動機づけを高め課題成績を上昇させることを示唆する。また線条体は、失点を回避する成功よりも、得点をアップする成功に強く反応した。成功接近の方が失敗回避よりも脳内報酬系の活性化の度合いが大きく、動機づけ向上の効果が高いことを示唆している。

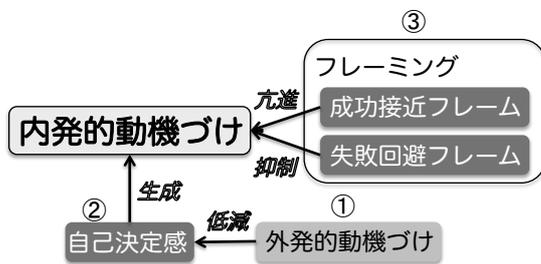
研究成果の概要(英文)：In order to reveal the neural basis of motivational modulation, we measured the brain activity of participants who were performing modified versions of stopwatch task using functional magnetic resonance imaging. The participants preferred the condition where they could choose the stopwatch to play by themselves. In the self-determined choice condition, success rate increased and the drop in the ventromedial prefrontal activity disappeared. These findings suggest that a mechanism that regards a failure as a step for future success exists in the ventromedial prefrontal cortex and this mechanism is recruited in the self-determined choice condition for increase in motivation as well as performance. The striatum was more activated by the success for point increments than by the success for avoiding point decrements. These findings suggest that the reward system in the brain is activated for motivational increase more efficiently in the approaching frame than in the avoidance frame.

研究分野：認知脳科学

キーワード：動機づけ 神経科学 自己決定感 接近/回避 価値

1. 研究開始当初の背景

動機づけは、行動自体を楽しむ内発的動機づけと、外的な報酬を得ることを目的として行動する外発的動機づけとに大別される[1]。アジアの一部を除いて、世界的に経済情勢が悪化している現在、外発的動機づけよりも、内発的動機づけを高めることが、社会的にも非常に重要な課題となっている[2]。内発的動機づけについての心理学研究は1970年代以来の長い歴史があるが、その重要性にもかかわらず、脳計測実験場面で内発的に動機づけられた課題を被験者に繰り返し行って貰うことが難しかったことから、神経科学的研究はほとんどなく、昨年になってようやく研究代表者らによって、外的報酬による内発的動機づけの低減効果(アンダーマイニング効果)についての報告がなされたのが最初である[3] (概念図の①)。この研究によって研究



概念図

代表者らは、外的報酬の期待が内発的動機を低減させることに、前頭前野外側部と線条体との相互作用が重要であることを示唆した。しかし、逆に内発的動機づけを効果的に高めるためには、内発的動機づけを生成、変容させる別の側面について、さらに精力的に研究を進める必要がある。そこで、内発的動機づけの生成と変容の神経機構を解明するために、自己決定感 (概念図の②) および接近/回避フレーム (概念図の③) が、脳内で内発的動機づけにどのように影響を及ぼすかを明らかにするために本研究を提案する。

2. 研究の目的

(1) 自己決定感が内発的動機づけに影響を与える神経基盤

アンダーマイニング効果が起こる理由として、最も有力な説は、外的報酬を約束されることにより、その課題の遂行を自分で決めているという自己決定感が失われたとするものである(自己決定感理論)[4]。自己決定感自体に関連する研究としては、サル¹の神経細胞活動記録や機能的磁気共鳴画像法(fMRI)を用いたヒト脳機能イメージングによって、行動と結果との随伴性が前頭前野内側部や線条体で表現されているという報告がある[5-7]ほか、ごく最近、自分で選択すること自体が報酬として働き、自己決定感が生まれていることが、fMRIを用いたヒト脳機能イメージングによって報告された[8]。しかし、自己決定感が内発的動機づけに影響を与える脳内メカニズムについてはいまだ研究がな

い。自己決定感の内発的動機づけへの影響の神経基盤を解明するために、本研究では、研究代表者らが開発した、内発的動機づけに応じた脳活動を起こすことのできる課題を改変し、自己決定感を付加した場合と付加しない場合という条件間で、脳活動を比較することにより、自己決定感のあるなしによって、内発的動機づけがどのように影響されるか、その脳内過程を明らかにする。

(2) 「接近/回避フレーム」が内発的動機づけに影響を与える神経基盤

内発的動機づけを促進/抑制するもう一つの重要な要因として提唱されているのは、成功接近欲求と失敗回避欲求である。成功接近のフレームの中では内発的動機は促進され、失敗回避のフレームの中では内発的動機は抑制されるとする説が提出されている[9]。接近/回避フレームの意思決定への影響は、行動経済学においてフレーミング効果と呼ばれ、その効果の重要性が注目されており、その神経基盤についても、すでにヒト脳機能イメージングを用いて、扁桃核、前頭葉内側部および眼窩部が重要な役割を果たしているとする報告がある[10]。しかし、内発的動機づけにおけるフレーミング効果の神経基盤については、いまだ研究がない。内発的動機づけにおける接近/回避フレーミング効果の神経基盤を解明するために、本研究では、研究代表者らが開発した、内発的動機づけに応じた脳活動を起こすことのできる課題を改変し、被験者に成功接近を意識させるフィードバックと失敗回避を意識させるフィードバックとを分けて使い、条件間で脳活動を比較することにより、内発的動機づけが成功接近欲求と失敗回避欲求にどのように影響されるか、その脳内過程を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 自己決定感が内発的動機づけに影響を与える神経基盤

自己決定感の内発的動機づけへの影響を調べる課題(図1)を作成し、31名の被験者で行動実験を行った。この実験では、毎試行で呈示される2つの異なるデザインのストップ



図1

ウォッチのうち、その試行で使うストップウォッチを自分で選べる自己選択条件と、コンピュータによって選ばれる強制選択条件とがランダムな順序で用意された。事後的にどちらがより楽しかったかを尋ねた。31名のうち27名については、課題遂行中の脳活動をfMRIによって測定した。使うストップウォッチを自分で選べる自己選択条件と、コンピュータによって選ばれる強制選択条件と

で、脳活動を比較した。

(2)「接近／回避フレーム」が内発的動機づけに影響を与える神経基盤

「接近／回避フレーム」が内発的動機づけに影響を与える神経基盤を明らかにするため、成功すると得点がアップする「成功接近ブロック」、失敗すると得点がダウンする「失敗回避ブロック」、得点が変わらない「対照ブロック」を含むように改変したストップウォッチ課題(図2)を、19名の被験者に行って



図2

貰った。課題遂行中の脳活動を fMRI によって測定し、成功接近ブロックと失敗回避ブロックとで、脳活動を比較した。

4. 研究成果

(1) 自己決定感が内発的動機づけに影響を与える神経基盤

自己選択条件の方が楽しかったと答えた被験者が有意に多かった ($p < 0.0001$, binomial test)。また、課題自体の困難度は条件間で全く差が無かったにも関わらず、成功率も自己選択条件の方が、強制選択条件よりも有意に高かった ($p < 0.05$, t-test)。

先行研究[8]と一致して、どちらの条件かを示す手がかり刺激提示期に、自己選択条件で有意に高い活動が、帯状回前部、島皮質、線条体、および中脳において見られた。また、成功／失敗の結果が呈示される期間の活動では、失敗に対する前頭前野腹内側部における活動低下が、自己決定感によって消失することが分かった。これらの結果は、失敗を次の成功へと結びつける機構が前頭前野腹内側部に備わっており、これが、自己決定感が動機づけを高め課題成績を上昇させることを示唆する。この成果は、英国の科学雑誌“Cerebral Cortex”に掲載された[11]。

(2)「接近／回避フレーム」が内発的動機づけに影響を与える神経基盤

成功したときに、成功接近ブロックにおいて獲得できる得点が高いことが分かったときも、失敗回避ブロックにおいて損失を回避できる得点が高いことが分かったときも、線条体を中心とする報酬系の活動は高かった。一方、成功／失敗の結果が分かったときの線条体の活動は、成功接近ブロックで成功して高い得点を獲得したときには高い活動を示したが、失敗回避ブロックで成功して高い得点の損失を回避したときには、そのような活動は見られなかった。これらの所見は、目標達成から遠ざかることからの回避よりも、目標

達成に近づくことへの成功の方が、線条体を中心とする脳内の報酬系の活性化の度合いが大きいことにより、成功接近／失敗回避フレームの違いが課題に対する動機づけを変化させることを示唆している。

内発的動機づけには、自らの能力についての自信(自己効力感)も大きな影響を与える。そこで、特性的自己効力感の質問紙指標と脳構造との関係を、voxel-based morphometry (VBM)法を用いて調べたところ、楔前部の灰白質体積が、特性的自己効力感の高さと有意な正の相関を示すことが分かった。この所見は線条体や前頭葉における内発的動機づけに、楔前部からの入力の影響を与える可能性を示唆するものであり、本成果は国内外の学会で発表した。

<引用文献>

- [1] Deci EL & Flaste R (1995). *Why we do what we do: the dynamics of personal autonomy* (Putnam's Sons, New York) pp viii, 230 p.
- [2] Pink DH (2009). *Drive: the surprising truth about what motivates us* (Riverhead, New York) 1st Ed p 256.
- [3] Murayama K, Matsumoto M, Izuma K, & Matsumoto K (2010). Neural basis of the undermining effect of monetary reward on intrinsic motivation. *Proc Natl Acad Sci U S A* 107(49):20911-20916.
- [4] Deci EL & Ryan RM (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior* (Plenum, New York) pp xv, 371.
- [5] Matsumoto K (2005). Learning facilitation by differential outcomes and its underlying brain mechanisms. *IEICE Technical Report* 104(636):1-6.
- [6] Samejima K, Ueda Y, Doya K, & Kimura M (2005). Representation of action-specific reward values in the striatum. *Science* 310(5752):1337-1340.
- [7] Tanaka SC, Balleine BW, & O'Doherty JP (2008). Calculating consequences: brain systems that encode the causal effects of actions. *J Neurosci* 28(26):6750-6755.
- [8] Leotti LA & Delgado MR (2011). The inherent reward of choice. *Psychol Sci* 22(10):1310-1318.
- [9] Elliot AJ & Harackiewicz JM (1996). Approach and avoidance achievement goals and intrinsic motivation: a mediational analysis. *J Pers Soc Psychol* 70(3):461-475.
- [10] De Martino B, Kumaran D, Seymour B, & Dolan RJ (2006). Frames, biases, and rational decision-making in the human brain. *Science* 313(5787):684-687.

[11] Murayama K, et al. (2015). How self-determined choice facilitates performance: a key role of the ventromedial prefrontal cortex. *Cereb Cortex* 25(5):1241-1251.

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5件)

- ① Ryuta Aoki, Yukihito Yomogida, and Kenji Matsumoto. The neural bases for valuing social equality. *Neurosci. Res.* 90C: 33-40, 2015. 査読有. DOI:10.1016/j.neures.2014.10.020
- ② 青木隆太、松元健二、「機会の平等」の神経基盤、*臨床神経科学* 33 (2): 169-171、2015、査読無.
- ③ 村山航、松元健二、やる気-内発的動機づけの神経科学、*生体の科学* 66(1): 19-23、2015、査読無.
- ④ Kou Murayama, Madoka Matsumoto, Keise Izuma, Richard M. Ryan, Edward L. Deci, and Kenji Matsumoto. How self-determined choice facilitates performance: A key role of the ventromedial prefrontal cortex. *Cerebral Cortex* 25: 1241-1251, 2015. 査読有. DOI:10.1093/cercor/bht317
- ⑤ 松元健二、やる気と脳-価値と動機づけの脳機能イメージング、*高次脳機能研究* 34(2): 165-174、2014、査読無.

[学会発表] (計17件)

- ① Ayaka Sugiura, Ryuta Aoki, Yukihito Yomogida, Madoka Matsumoto, Kou Murayama, Keise Izuma, Tomoki Haji, Atsuko Saito, Toshikazu Hasegawa, and Kenji Matsumoto. The neuroanatomical basis of general self-efficacy. Society for Neuroscience 2014, 2014.11.19. Washington DC, USA.
- ② Ayaka Sugiura, Ryuta Aoki, Yukihito Yomogida, Madoka Matsumoto, Kou Murayama, Keise Izuma, Tomoki Haji, Atsuko Saito, Toshikazu Hasegawa, and Kenji Matsumoto. The neuroanatomical basis of general self-efficacy. Society for Social Neuroscience 2014 Annual Meeting, 2014.11.14. Washington DC, USA.
- ③ Kenji Matsumoto. Neural basis of intrinsic motivation, self-determination, and opportunity equality. RIKEN Mini Symposium, 2014.10.7. 理化学研究所 (埼玉県和光市)
- ④ Kaosu Abe, Yukihito Yomogida, Ryuta

Aoki, Ayaka Sugiura, Adam N. Phillips, Yasuharu Koike, and Kenji Matsumoto. Elimination of a market anomaly in auctions is only apparent due to incorrect estimations. Society for Neuroeconomics 2014, 2014.9.27. Miami, USA.

- ⑤ 杉浦綾香、青木隆太、蓬田幸人、松元まどか、村山航、出馬圭世、土師知己、齋藤慈子、長谷川寿一、松元健二、特性的自己効力感の神経基盤、第37回日本神経科学大会、2014.9.12、パシフィコ横浜 (神奈川県横浜市)
- ⑥ Ryuta Aoki. Evolution of social cognitive ability based on neural coding of fictive and other's outcomes. Hokkaido Neuroethology Workshop 2014, 2014.7.27. 北海道大学 (北海道札幌市)
- ⑦ 松元健二、やる気と脳-価値と動機づけの脳機能イメージング、第37回日本高次脳機能障害学会学術総会、2013.11.29、島根県民会館 (島根県松江市)
- ⑧ Adam N. Phillips, Yukihito Yomogida, Ryuta Aoki, Ayaka Sugiura, Kaosu Abe, and Kenji Matsumoto. The neural basis of scarcity value for conspicuous products. Neuroscience 2013, 2013.11.13. San Diego, USA.
- ⑨ Ryuta Aoki, Ayaka Sugiura, Yukihito Yomogida, Madoka Matsumoto, Kou Murayama, Keise Izuma, and Kenji Matsumoto. Neuroanatomical correlates of general self-efficacy: a voxel-based morphometry study. Neuroscience 2013, 2013.11.10. San Diego, USA.
- ⑩ Adam N. Phillips, Yukihito Yomogida, Ryuta Aoki, Ayaka Sugiura, Kaosu Abe, and Kenji Matsumoto. Neural basis of the scarcity effect for conspicuous items. Neuroeconomics 2013, 2013.9.27. Lausanne, Switzerland.
- ⑪ Ayaka Sugiura, Kou Murayama, Madoka Matsumoto, Keise Izuma, Yukihito Yomogida, Ryuta Aoki, Atsuko Saito, and Kenji Matsumoto. Neural basis of persistence after failure in relation with self-efficacy. MCC 2013-Neural circuits for adaptive control of behavior, 2013.9.24-26. Paris, France.
- ⑫ Ayaka Sugiura, Kou Murayama, Madoka Matsumoto, Keise Izuma, Yukihito Yomogida, Ryuta Aoki, Atsuko Saito, and Kenji Matsumoto. Neural basis of persistence after failure in relation with self-efficacy. 包括脳夏のワークショップ, 2013.8.31, 名古屋国際会議場 (愛知県名古屋)

- ③ Kenji Matsumoto. Neural basis of intrinsic motivation and self-determination. 脳と心のメカニズム 第13回冬のワークショップ, 2013.1.9. ルスツリゾート (北海道虻田郡)
- ④ Ayaka Sugiura, Kou Murayama, Madoka Matsumoto, Keise Izuma, Yukihito Yomogida, Ryuta Aoki, Atsuko Saito, and Kenji Matsumoto. Neural basis of self-efficacy in relation with persistence after failure. Neuroscience 2012, 2012.10.17. New Orleans, USA.
- ⑤ Ayaka Sugiura, Kou Murayama, Madoka Matsumoto, Keise Izuma, Yukihito Yomogida, Ryuta Aoki, Atsuko Saito, and Kenji Matsumoto. Neural basis of self-efficacy in relation with persistence after failure. Annual meeting of Society for Social Neuroscience 2012, 2012.10.12. New Orleans, USA.
- ⑥ Ayaka Sugiura, Kou Murayama, Madoka Matsumoto, Keise Izuma, Yukihito Yomogida, Ryuta Aoki, Atsuko Saito, and Kenji Matsumoto. Neural basis of persistence after failure associated with self-efficacy. 第35回日本神経科学大会, 2012.9.19. 名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市)
- ⑦ Kenji Matsumoto. Neural correlates of motivation and performance enhancement by self-determination. 第35回日本神経科学大会, 2012.9.18. 名古屋国際会議場 (愛知県名古屋市)

[図書] (計1件)

- ① 松元健二、誠信書房、本当のかしこさとは何か：感情知性 (EI) を育む心理学、第7章 “こころの知能” (EI) と意思・動機づけとの関係—脳科学の視点 (日本心理学会監修、箱田裕司・遠藤利彦編) pp. 116-133、2015

[その他]

ホームページ等

http://www.tamagawa.ac.jp/teachers/matsumot/matsumoto_lab_jp/

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

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

村山航 (MURAYAMA, Kou)
 University of Reading, Lecturer
 Edward L. Deci
 University of Rochester, Professor
 Richard M. Ryan
 University of Rochester, Professor
 Andrew J. Elliot
 University of Rochester, Professor
 Adam N. Phillips
 理化学研究所・准事務基幹職員
 蓬田幸人 (YOMOGIDA, Yukihito)
 玉川大学・嘱託研究員
 青木隆太 (AOKI, Ryuta)
 日本学術振興会・特別研究員 (PD)
 飯島和樹 (IIJIMA, Kazuki)
 日本学術振興会・特別研究員 (PD)
 松元まどか (MATSUMOTO, Madoka)
 玉川大学脳科学研究所・特別研究員
 出馬圭世 (IZUMA, Keise)
 University of York, Lecturer
 榑美知子 (SAKAKI, Michiko)
 University of Reading, Lecturer
 阿部嘉織好 (ABE, Kaosu)
 東京工業大学・大学院生
 杉浦綾香 (SUGIURA, Ayaka)
 東京大学・大学院生