

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24800023

研究課題名(和文) 認知の実行制御機構と知覚意思決定の相互作用

研究課題名(英文) Interactive neural mechanisms of executive control and perceptual decision-making

研究代表者

地村 弘二 (Jimura, Koji)

東京工業大学・精密工学研究所・准教授

研究者番号：80431766

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、認知神経科学的手法を用いて、意思決定における認知の実行制御の役割を調べた。代表的な認知の実行制御機能である、作業記憶、反応抑制、課題切り替えに関わる、前頭前野、頭頂葉、大脳基底核の領域が、異時的選択や語彙判別などの意思決定課題においても、重要な役割を持っていることが示唆された。当初予定していたERPの実験は、機材と時間の都合で断念し、fMRI実験のみとなったが、多変量パターン情報の増減を調べたり、階層性混合一般線形モデルを導入するなど、解析において工夫を施し、補う形となった。

研究成果の概要(英文)：This study examined the roles of cognitive executive functions in decision making via cognitive neuroscience methods. The results of the study suggested that working memory, response inhibition, and task switching, representative executive functions, play critical roles in decision making such as intertemporal choice and lexical discrimination decision. Due to the limited facility and time, the study was unable to conduct ERP experiments, but applied novel statistical analysis approaches such as multivariate pattern information analysis and hierarchical mixed-effect general linear models, which could compensate the ERP experiment.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：脳神経科学・神経科学一般

キーワード：意思決定 実行制御

1. 研究開始当初の背景

認知の実行制御(executive control)は、外界からの情報入力がかきつけとなり、目標の達成に必要な情報の更新と維持を行っている。しかし、日常生活においては、外界からの情報が曖昧な場合や、複数の属性にわたって異なる場合があり、その情報に関する意思決定が必要になる場合がある。しかし、これまでの認知制御機構の研究においては、使用される刺激は容易に弁別可能であり、曖昧さや意思決定を含んだ状況下に作動は解明されてこなかった。

この問題を解く一つのアプローチは、大脳皮質・皮質下が関与する意思決定システム(Montague et al., Annu Rev neurosci 2006; Gold and Shadlen, Ann Rev Neurosci 2007; Peters and Buchel Behav Brain Res 2010)と、前頭・頭頂領域が関与する実行制御機構システム(Miller and Cohen, Ann Rev Neurosci 2001; Corbetta and Shulman Nat Rev Neurosci 2002)の関係を調べるという枠組みである。

認知の実行制御の神経基盤は、比較的高い空間解像度で全脳を撮影できる機能的MRIにより局在領域が解明されてきている。また、脳領域間の情報処理様式は、時間解像度の高い電気生理学的研究によって解明されつつある。一方で、情報処理様式は計算モデルによって定式化、アルゴリズム化することができ、時空間情報とあわせて、脳ネットワークの情報処理様式を説明できる(たとえば Boorman et al. Neuron 2009)。

一方で、2 択の単純な意思決定過程は、計算モデルによる理論化が試みられている。たとえば、ドリフト拡散モデル(Ratcliff Psychol Rev 1978)は、符号化された知覚情報の蓄積をドリフト率による時間関数とし、その蓄積がしきい値(決定境界)を超えると意思決定が行われるとしている。このモデルでは、視覚刺激のランダムノイズが増えることにより、ドリフト率が低下するという単純な現象(Palmer J Vis 2005)だけでなく、実行制御をとまなう認知過程も決定境界の変化によって説明できる(Gomez J Exp Psychol Gen 2007; Schmitz J Exp Psychol Hum Perc Perf 2012)。

また、量と獲得までの時間が異なる報酬の選択行動である異時的意思決定では、報酬獲得までの遅延時間が長くなると、主観的価値が単調減少することが知られている。この時間割引は、報酬価値と選択行動のモデルとして理論化が行われてきた(Green and Myerson Psychol Bull 2004)。そして、意思決定における衝動性は、報酬価値における時間割引率によって説明できるとされている(Kirby et al. J Exp Psychol Gen 1999)。これら理論化の試みは、計算モデルを媒介として、意思決定と実行制御機構の相互作用を調べることができる可能性を示唆している。

2. 研究の目的

本研究では、意思決定課題遂行中の脳活動を fMRI で計測し、意思決定の行動理論モデルに一致して活動が変化する脳領域を同定する。そして、領域間のネットワーク構造を明らかにし、実行制御機能との関係を調べることにより、実行制御がどのように意思決定に関わっているのかを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

実験は大きく 2 つに分かれている。

実験 1 では、非ヒト種の行動課題をヒト被験者に適用した(Jimura et al. Psychon Bull Rev 2009; Behav Proc 2011)課題を用いた(n = 43)。この課題ではヒト被験者が、遅延する液体報酬(最大 60 秒の遅延と最大 16ml のジュース)に対し、選択・遅延・消費を直接経験しながら異時的選択行動を行う(Fig. 1)。

実験は 2 日間にわたって行われ、1 日目

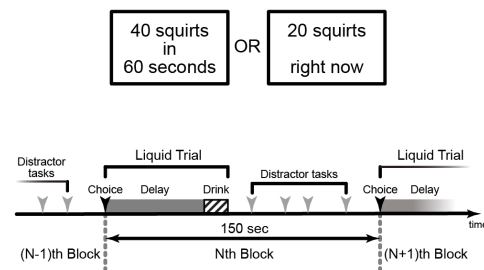


Figure 1

では、各被験者の時間割引率を推定するようなデザインにし、2 日目ではその時間割引率を基に、被験者が遅延報酬を選択するように、即時報酬量の調整を行った(Jimura et al. J Neurosci 2013)。そして、遅延報酬を選択したときの、遅延期間中の脳活動を計測し、双曲線関数による主観的価値減衰の時間割引モデルから予想される時間動態を示す脳領域を同定した(Fig. 2)。モデルには 2 種類あり、1 つは主観的価値(subjective value)、もう 1 つは期待効用(anticipatory utility; Loewenstein Econ J 1987)である。

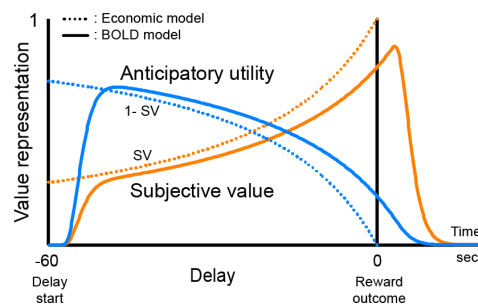


Figure 2

実験2では、被験者(n=41)は、fMRI 撮像中に、スタンバーグ型作業記憶課題 (Sternberg Science 1966; Jimura et al. PNAS 2010) と、異時的意思決定課題 (Jimura et al Behav Proc 2011) を遂行した。異時的意思決定課題は金銭報酬を仮想状況下で、2 日間にわたって行った。1 日目は各被験者の時間割引率を推定するようなデザインにし、2 日目ではその時間割引率を基に、各試行において、遅延報酬の主観的価値の均衡点からのずれに依存して、意思決定の難しさが変わるような操作を行った。

4. 研究成果

実験1における遅延期間中の脳活動の時間パターンを調べたところ、前頭前野内側面と腹側線条体に主観的価値、前部前頭前野においては、期待効用に関連した活動が見られた (Fig 3)。

また、この3領域における機能ネットワーク構造を解析した。このモデルは、線条体の活動が、前頭前野内側面と前部前頭前野からの入力を受け、これらの入力は被験者の時間

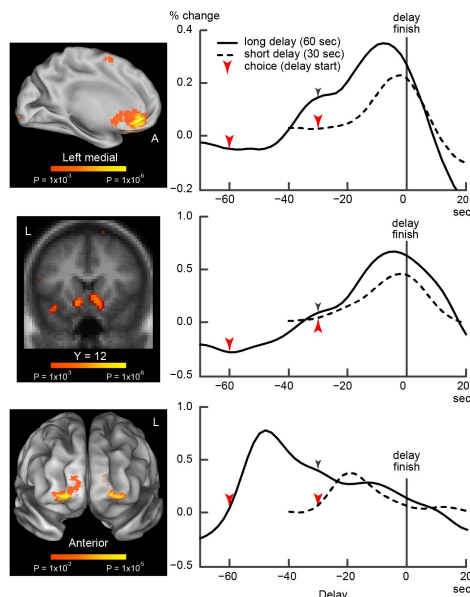


Figure 3

割引率と、即時報酬の量の調整をうける。階層性混合効果一般線形モデルを用いて、推定したところ、1) 前頭前野内側面から正の入力を受け、それが即時報酬量の調整を受け、2) 前部前頭前野から負の入力を受け、時間割引率と即時報酬の量の調節を受ける、機能結合が確認された (Fig 4)。これらの機能ネットワークは、遅延期間中だけでなく、選択行動を行っているときにも観察された。

これらの結果は、前頭前野・皮質下における意思決定に関わる脳機能ネットワークの時間動態を示唆しており、前頭前野の全部領域における自己制御信号が、衝動性にかかわる腹側線条体の活動を抑制している可能

性を示している。

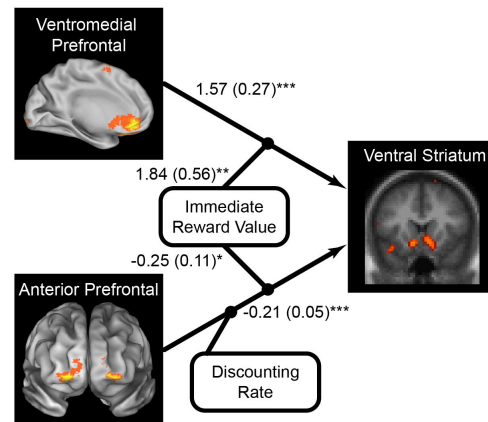


Figure 4

次に、実験2の作業記憶と仮想的状況下での異時的選択課題の関係を調べた。まず、前部前頭前野領域において、異時的決定の難しさと、作業記憶の負荷効果の連合効果が見られた (図5左)。さらにこの領域において、被験者間で両効果の関係を調べたところ、正の相関が見られた (図5右)。これは、作業記憶の負荷効果が大きい被験者は意思決定の難度効果も大きいことを示し、両者の機能的な関係を示唆している。

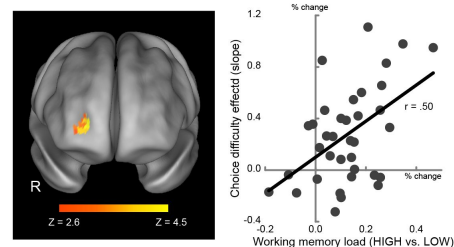


Figure 5

さらに、作業記憶の負荷効果を示す前頭前野の背外側領域では、意思決定の難度効果が、被験者の時間割引率に依存していることが観察された (Fig. 6)。この領域では、より自己制御がある (時間割引が小さい) 被験者は

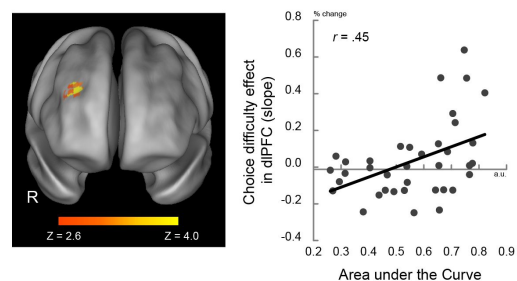


Figure 6

ど、難度効果が大きい。さらに、この領域では、難度が大きい試行において、遅延報酬を

選択した時、自己制御がある被験者において、活動が亢進することが観察された(Fig 7).

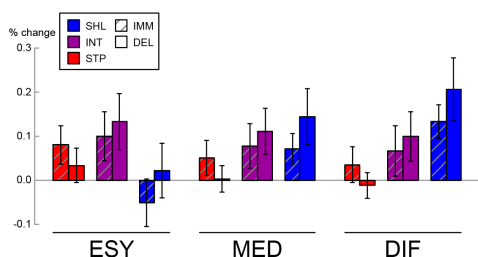


Figure 7

また、これらの前部および背外側前頭前野の2領域には正の機能結合があり(Fig 8), 前頭前野の実行機能ネットワークが意思決定に関与していることを示唆している.

以上の結果は、前頭前野の実行制御機能

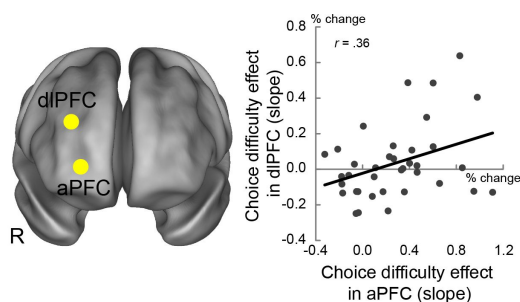


Figure 8

ネットワークが、意思決定の自己制御に関係しており、衝動性のある選択行動を抑制していることを示唆している。また、意思決定における外的情報の評価と操作が、前頭前野を中心とした作業記憶機能と関係があることを示唆している。

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. Jimura, K., Chushak, S. M., Braver, T. S. (2013) Impulsivity and self-control during intertemporal decision-making linked to the neural dynamics of reward value representation. *The Journal of Neuroscience* 33, 344-357. (査読あり).
2. Hirose, S., Kimura, H. M., Jimura, K., Kunimatsu, A., Abe, O., Ohtomo, K., Miyashita, Y., Konishi, S. (2013) Dissociable temporo-parietal memory network revealed by functional connectivity during episodic retrieval. *The Public Library of Science ONE* 8, e71210.

[学会発表](計 3 件)

1. Jimura, K. (2013/6/22) fMRI correlates of response inhibition. Paper presented at a symposium "The frontal lobe and inhibitory function: Present and future of response inhibition research" 第36回日本神経科学大会(京都国際会議場)
2. Jimura, K. (2013/3/21) Exploration of brain function using Rorschach: Response generation mechanisms and individual differences in determinant variables. Paper presented at the Master Lecture at 75th Annual Meeting of Society for Personality Assessment, San Diego CA, USA.
3. Jimura, K., Stover, E. R. S., Cazalis, F., Poldrack, R. A. (2012/9/19) Learning mechanisms of visual cognitive skill and skill switching. 第35回日本神経科学大会(名古屋国際会議場)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

地村 弘二 (JIMURA, Koji)
東京工業大学・精密工学研究所
特任准教授
研究者番号: 80431766