

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 Dual Modulation Mechanism of Cognitive Control for the Environmentally Adaptive Behavior

(環境適応行動を導く認知制御の二重変調機構)

氏 名 長谷川 国大

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、人の環境適応行動の実現に重要な役割を果たすとされている認知制御の変調機構を、一過性変調機構と持続性変調機構が同時並列的に働くシステムとして捉えることで統合的に理解できることを実験的に検証したものである。

第 1 章では、研究対象となる認知制御の変調機構に関する現象と従来知見が整理され、本研究の検討課題と解決手法が提示された。認知制御とは、環境中の複数の刺激がそれぞれ異なる反応を導くことで生じる競合事態を解消するための認知機能であり、実験室的には、認知的競合課題における適合性効果を指標として検討されてきた。適合性効果とは、課題関連情報と課題無関連情報が異なる反応を駆動する場合（不適合試行）、両情報が同じ反応を駆動する場合（適合試行）よりも成績が低下する現象を指す。これまで、認知制御の働きは常に一定ではなく、環境文脈に応じて柔軟に変調するシステムを持つことが議論されてきた。これは、適合性効果が、直前試行における一度の競合の経験（一過性文脈）あるいは比較的長期にわたる高頻度の競合経験（持続性文脈）によって変化することから示されてきたが、その変化のメカニズムについては諸説あり合意が得られていない。たとえば、競合検出理論 (Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001) は競合検出と制御水準の変調を繰り返すフィードバックループにより適合性効果の変化を説明するが、具体的に変調される情報処理機構として課題関連情報処理経路の促進を想定する促進説 (Egner & Hirsch, 2005) と、課題無関連情報処理経路の抑制を想定する抑制説 (Stürmer, Leuthold, Soetens, Schröter, & Sommer, 2002) が対立している。また、随伴性学習説 (Schmidt, 2013) は、既存の刺激-反応間の結びつきに加え、競合事態の経験により学習される新たな結びつきによって適合性効果の変化を説明する。さらに、特徴結合説 (Hommel, Proctor, & Vu, 2004) では、経験された課題関連情報と課題無関連情報、そして反応出力の 3 特徴がイベントファイルとして一時的に保持され、これらの特徴がすべて繰り返さ

れる場合には競合の生起が回避されると主張する。最近では、これらのメカニズムが必ずしも排他的ではなく、それぞれ異なる背景機構により生じている可能性も指摘されている。そこで本研究では、① 二つの情報処理経路（課題関連経路、課題無関連経路）のうちどちらの経路が変調されるのか、②（①で回答が得られた課題無関連経路が）どのように変調されるのか、③（②で明らかにされた変調過程は）意識的な気づきを伴う過程か否か、という三つの検討課題を順次設定し、以降の第2章から第4章で報告される5つの実験を通じて検討が試みられた。

第2章では、認知的競合課題の遂行に関わる課題関連情報処理経路と課題無関連情報処理経路という二つの処理系のうち、どちらが一過性変調および持続性変調を引き起こしているかを明らかにするため、課題切り替え手続きを用いた検討が行われた。課題切り替え手続きでは、二つの異なる認知的競合課題が1試行ずつ交互に実施されるが、この2課題に共通する課題属性を課題関連情報（関連条件）または課題無関連情報（無関連条件）のいずれかに設定し、課題遂行における適合性効果の変調の程度が比較された。関連条件では課題関連情報は同じで課題無関連情報が異なる2課題が組み合わせられた。したがって、課題関連情報処理経路で変調が生じているのであれば、これを共有する2課題間に変調の影響が及ぶと予想された。一方、無関連条件では課題関連情報が異なり課題無関連情報は同じ2課題が組み合わせられた。したがって、課題無関連情報処理経路で変調が生じているのであれば、これを共有する2課題間に変調の影響が及ぶと予想された。以上の条件比較を、実験1では一過性変調、実験2では持続性変調の実験文脈でそれぞれ検討した。すなわち実験1では、組み合わせる2課題の適合試行と不適合試行の出現比率を等しくした上で、直前試行（分析対象外課題）の試行タイプ別に分析対象課題の成績が分析された。実験2では、分析対象外課題の試行タイプがセッション内ですべて適合試行、もしくはすべて不適合試行とされ、セッション内での適合試行／不適合試行の比率を不均等に操作した場合の分析対象課題の成績が比較された。実験の結果、実験1、実験2ともに、分析対象課題の成績（適合性効果）に影響が見られたのは無関連条件のみであった。したがって、一過性変調と持続性変調ともに課題無関連情報処理経路で変調が生じていることが示された。

第3章では課題無関連情報処理経路がどのように変調されているかが検討された。先行研究において、課題無関連情報処理経路の変調機構として、競合検出理論における経路の抑制強化と随伴性学習という二つの説明が提起されていた。本研究では、サイモン課題に一定割合で挿入されるNo-Go試行における虚警報（False Alarm; FA）反応を指標として、実験3で持続性文脈、実験4で一過性文脈における変調が、それぞれ上記のいずれの説明とより整合するかを検討した。サイモン課題では、通常、提示される刺激の非空間情報を課題関連情報、空間情報を課題無関連情報とした上で空間的反応が求められるが、No-Go試行では課題無関連情報のみが与えられるため、実験参加者は反応そのものを抑制しなければならない。ここで、もし課題無関連情報処理経路の抑制が強化されていれば、No-Go試行における誤反応であるFA反応の発生頻度が低下すると予想された。一方、随伴性学習により課題関連情報と反応の間の新たな結びつきが学習されていれば、学習された結びつきに基づく特異なFA反応が見られると予想された。結果より、持続性文脈の効果を検討した実験3ではFA反応の頻度低下は見られず、画面

右に提示された刺激に対する左手の反応など、通常はみられない FA 反応が多く生じた。これは随伴性学習を支持する結果であった。一方、一過性文脈の効果を検討した実験 4 では、適合試行直後に比べ不適合試行直後の FA 反応は少なく、課題無関連情報処理の抑制強化が支持された。したがって、一過性文脈に対しては課題無関連情報処理経路の抑制強化、持続性文脈に対しては随伴性学習による新しい経路の学習という、異なる適応的変調システムの存在が示唆された。

第 4 章では一過性変調と持続性変調における意識的気づきの役割が検討された。競合検出理論では競合に対する気づきが引き金となって後の制御変調を導くとする一方、随伴性学習では最終的に出力された反応と刺激の関係が無意識的に学習されるとする。そこで実験 5 では、閾下プライミングを用いた認知的競合課題により、競合への気づきが生じない事態における一過性文脈および持続性文脈の影響が検討された。その結果、一過性変調効果は見られなかったが、持続性変調効果は見られた。これは、第 3 章で導かれた一過性変調は競合検出による経路抑制強化、持続性変調は随伴性学習に基づくとする考えを支持する結果であった。

最後に第 5 章では、第 2 章から第 4 章までの実験的検討から得られた知見を総括した上で、これに基づく認知制御の二重変調機構モデルが提示され、その機能的意義が議論された。実験的検討より、一過性変調の基盤としての競合検出および経路抑制強化、持続性変調の基盤としての随伴性学習が示されたことから、これらが並列的に働く二重変調機構が想定された。これにより、既存の刺激反応経路が適応的に働かなくなるような大きな環境変化に再適応する仕組みを備えると同時に、持続的な環境変化を伴わない偶発的な競合事態には既存の刺激反応経路を維持したまま一時的に適応することが可能になると考えられた。一方で、本研究では認知的競合課題として主としてサイモン課題を用いてきたため、他の課題事態を含めた知見の一般化可能性の検討が必要であることなどが今後の課題として残された。

Reference

- Botvinick, M. M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, *108*, 624–652.
- Egner, T., & Hirsch, J. (2005). Cognitive control mechanisms resolve conflict through cortical amplification of task-relevant information. *Nature Neuroscience*, *8*, 1784–1790.
- Hommel, B., Proctor, R. W., & Vu, K.-P. L. (2004). A feature-integration account of sequential effects in the Simon task. *Psychological Research*, *68*, 1–17.
- Schmidt, J. R. (2013). Questioning conflict adaptation: Proportion congruent and Gratton effects reconsidered. *Psychonomic Bulletin and Review*, *20*, 615–630.
- Stürmer, B., Leuthold, H., Soetens, E., Schröter, H., & Sommer, W. (2002). Control over location-based response activation in the Simon task: Behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Experimental Psychology*, *28*, 1345–1363.