

Simon 課題におけるタスクスイッチと競合適応の認知制御の関係

小川 昭利 入来 篤史

理化学研究所脳科学総合研究センター象徴概念発達研究チーム

概要: 状況に応じて認知処理を切り替える認知制御は人間の基本的認知機能の一つである。例えば、行動決定のためのルールを変更する（タスクスイッチ）、刺激の 2 つの属性が行動決定に競合的に働く場合にその競合関係を解消するための認知処理を状況により切り替える（競合適応）、が考えられる。それらが同時に要求されたとき、相互抑制的、順次的または並列的に働くのかなど、相互の影響が明らかではない点が多い。そこで本研究では、刺激反応競合課題のひとつである Simon 課題を用いて、タスクスイッチが競合適応の認知制御に与える影響を調べた。実験 1 ではタスクスイッチは必要ないが刺激反応競合が起こる課題を、実験 2 ではタスクスイッチが必要でかつ刺激反応競合が起こる実験を行った。結果、実験 1 では観測された競合適応の効果が実験 2 では観測されなかった。一方で、実験 2 ではタスクスイッチの効果が観測された。これらはタスクスイッチの認知制御と競合適応の認知制御が並列に行われることを示唆する。

キーワード: Simon Effect, Conflict Adaptation, Task Switching, Cognitive Control

Introduction

人間は、様々な方法を用いて状況に行動を適応させることができると同時に、行動ルールを柔軟に変更することができる。本研究で使用する Simon 課題 (Kerns 2006, Egner et al. 2007) をはじめとする刺激反応競合課題においては、呈示される刺激とそれが指示する反応の間の競合関係が行動に影響する。ここでの課題では、呈示される刺激の指示する左右と反応ボタンの左右が競合するか適合するかにより反応時間が影響を受ける。競合する場合には反応時間が長くなり、適合する場合には反応時間が短くなる (Simon 効果)。

刺激反応競合は次試行の行動にも影響を与える。ある試行が競合の場合、次試行では競合の方が適合より反応時間が短くなり、一方、ある試行が適合の場合、次試行では適合の方が競合より反応時間が短くなる (Gratton et al. 1992)。ある試行が刺激反応競合であるかどうか次試行の反応時間に影響することは競合適応効果 (Conflict adaptation effect, CAE) と呼ばれ、刺激反応競合の状況変化に対応した認知制御が行われていることを示す。

タスクスイッチ課題では、同一の視覚刺激に対して特徴ごとに反応決定ルールが異なる場合、例

えば、同一の視覚刺激であっても色と形で異なる反応が要求される場合には、色から形あるいは形から色へと注意を移動させる認知制御が行われる (Gilbert and Shallice 2001)。注意を移動させる場合には、維持する場合に比べて反応時間が長くなることが知られている。これまでの研究では、スイッチ前の課題内容がスイッチ後の課題の反応時間や正反応率に与える影響が主に議論されてきた。

競合適応とタスクスイッチの認知制御は、認知制御が必要な状況であることの認識は共通するが、その認識に基づいた注意の制御などの具体的な処理過程はそれぞれ異なる。競合適応とタスクスイッチが同時に要求されたとき、認知制御は並列に行われるのか、あるいは直列に行われるのか、それとも、どちらか一方が抑制されて残る一方のみが行われるか、など、競合適応とタスクスイッチの関係について明らかではない部分がある。

本研究では、タスクスイッチが競合適応の認知制御に与える影響を調べるため、タスクスイッチが起こらず刺激反応競合のみが起こる実験 (実験 1) とタスクスイッチと刺激反応競合の両方が起こる実験 (実験 2) を行った。実験 1 では、刺激の色が指示する反応と刺激の呈示位置が競合する課題を行い、実験 2 では、刺激の色または形により

指示される反応と刺激の呈示位置が競合し、かつ、反応を指示する刺激の特徴がスイッチする課題を行った。ただし、実験 1 では 40 試行ごとに色と反応の対応のスイッチを行い、実験 2 では各試行でランダムにスイッチさせ、刺激と反応の 2 つの対応が同試行数となるようにした。実験課題には Simon 課題を変形させたものを用いて、Simon 効果と競合適応効果を指標としてタスクスイッチと競合適応の関係を検討したところ、タスクスイッチと競合適応が同時に起こり得る場面においては、タスクスイッチの効果が競合適応の効果を抑制することを実験結果は示した。

Experiment 1

Task

実験 1 は 1 ブロック 40 試行で 20 ブロック行い、各試行ではブランク画面が 600~800ms 続いたのち標的刺激を呈示した。標的刺激は青または赤の四角形で、画面中央の右側または左側に表示した。呈示位置に関係なく、色に応じて右または左ボタンを押すよう被験者に教示した。左ボタンはキーボード (ELECOM 社製 TK-UP87MPBK) の "a"、右ボタンは "]" とし、色とボタンの組合せは被験者ごとにカウンターバランスした。標的刺激の呈示後できるだけ早くボタンを押すように被験者に教示した。ボタンが押されると、画面に標的刺激を囲う位置に白枠が表示され、被験者の選択内容がフィードバックされた。

課題では、ボタン押しの位置と画面上に白枠で表示される選択の組み合わせをブロックごとに逆転させた。つまり、左ボタンを押すと画面左に、右ボタンを押すと画面右に白枠が表示される順条件と、左ボタンを押すと画面右に、右ボタンを押すと画面左に白枠が表示される逆条件を交互に繰り返した。例えば図 1(a) では、被験者の選択は左であり、順条件ならば左のボタンを、逆条件ならば右のボタンを押したということである。順条件か逆条件かにかかわらず、標的刺激の色と白枠が表示される位置は実験を通じて一定になるように教示した。

Subjects

21 名 (女性 10 名, 平均 30.6 歳) が書面による同意ののち実験に参加した。

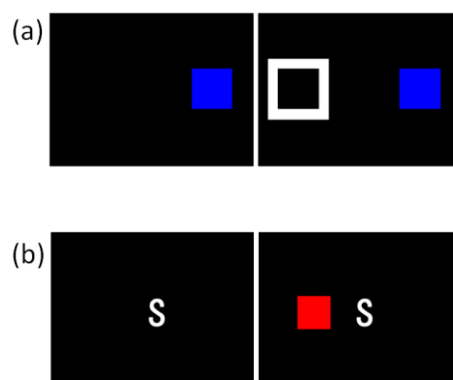


図 1. (a)実験 1 のタスク。刺激が呈示され (左), 被験者の選択は白枠で表示される (右)。 (b)実験 2 のタスク。Color と Shape のどちらに対応して反応するかが先行刺激 (左) により示されたのち、標的刺激が呈示される (右)。

Result

全体の平均反応時間は 475ms, 適合条件の平均反応時間が 459ms, 競合条件の平均反応時間が 491ms であり, 32ms の Simon 効果が計測された (図 2 左, $p < .001$)。順条件と逆条件の平均反応時間の差は 24ms であった (図 2 右, $p < .001$)。順条件と逆条件のそれぞれで 36ms と 30ms の Simon 効果が計測された。順条件と逆条件の Simon 効果の間には有意差はなかった ($p > .05$)。

前試行と現試行の適合/競合条件の平均反応時間に有意な交互作用が見られ ($p < .001$)、多重比較 (Tukey's HSD) の結果、前試行が適合の場合は現試行が競合よりも適合のときに反応時間が有意に短く ($p < .001$)、前試行が競合の場合は現試行が適合よりも競合のときに反応時間が有意に短かった ($p < .001$)。それぞれ 36ms と 33ms の反応時間差があり、競合適応効果が観測された。順条件と逆条件の競合適応効果は、それぞれ、36ms と 34ms, 34ms と 31ms であった。順条件と逆条件での競合適応効果には有意差はなかった ($p > .05$)。

Discussion

同程度の Simon 効果と競合適応効果が順条件と

逆条件それぞれで観測されたことは、順条件と逆条件はともに両効果に影響しないことを示す。順条件と逆条件には平均反応時間の差があることから、両条件が繰り返される場合には Simon 効果と競合適応効果は相互に影響しないといえる。

被験者が反応位置（押すボタン）を決定するには 2 つの方略が考えられる。ひとつは、標的刺激から直接に反応位置を決める方略で、もう一つは、標的刺激から選択位置（白枠の表示される位置）を決定してそれに対応する反応位置を決定する方略である。もし、被験者が後者ではなく前者により反応していたとしたら、順条件と逆条件では反応位置と刺激呈示位置の競合関係が反対のために、順条件と逆条件で Simon 効果と競合適応効果が相殺されたはずである。しかし、順条件と逆条件ともに Simon 効果と競合適応効果が見られた。このことから、被験者はまず選択位置を決定してそれに対応する反応位置を決定していたと考えられる。順条件と逆条件の反応時間差は選択位置から反応位置を計算するための処理時間に相当すると考えられる。

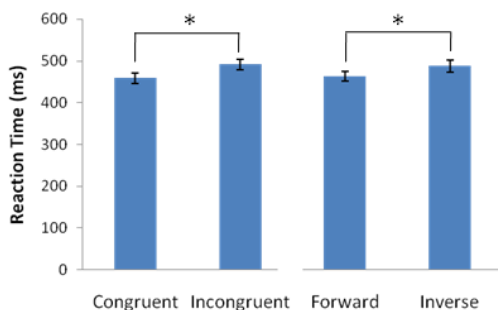


図 2. 実験 1 の反応時間の比較. 誤差範囲は標準誤差である。

Experiment 2

Task

各試行では、ブランク画面を 1200~1500ms, 先行刺激を 500~1000ms 呈示した後、標的刺激を呈示した。先行刺激は標的刺激の色または形に対応して反応を決定することを指示し、それぞれ”C”または”S”を画面中央に呈示した（図 1(b)左）。標的刺激は青または赤の円形または四角とし、画面中央

の左側または右側に呈示した（図 1(b)右）。呈示位置に関係なく、先行刺激が指示する色または形に対応して右または左ボタンを可能な限り早くかつ正確に押すよう被験者に教示した。ボタンは実験 1 と同じものを使用した。色・形とボタンの対応は被験者ごとにカウンターバランスした。反応が正反応か誤反応であったかを音によりフィードバックした。実験は 1 ブロック 40 試行として 20 ブロック行った。

Subjects

12 名（女性 5 名、平均 32.1 歳）が書面による同意ののち実験に参加した。

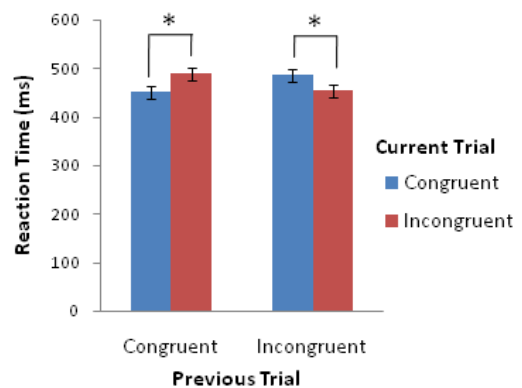


図 3. 実験 1 の競合適応効果。

Result

全体の平均反応時間は 660ms, 適合条件の平均反応時間は 659ms, 競合条件での平均反応時間は 661ms で、適合条件と競合条件の反応時間の差、すなわち Simon 効果は有意ではなかった ($p > .05$)。また、Shape 条件の平均反応時間は 660ms, Color 条件の平均反応時間は 662ms で、このふたつの条件間で反応時間の有意差はなかった ($p > .05$)。また、適合条件と競合条件が切り替わった場合（平均反応時間 661ms）と 2 試行連続した場合（平均反応時間 651ms）との反応時間の差である、競合適応効果は有意ではなかった ($p > .05$)。

Shape/Color 条件がスイッチしたときの平均反応時間（685ms）が繰り返されたときの反応時間（628ms）よりも有意に長かった ($p < .001$)。多重比較 (Tukey's HSD) の結果、Shape と Color のどちらの条件においても、条件がスイッチしたときの

反応時間は繰り返しのときの反応時間に比べて有意に長かった (図 4, それぞれ $p < .01, p < .01$).

Discussion

競合適応効果と Simon 効果が観測されないことと、タスクスイッチした後の試行では反応時間が長いことから、この実験では競合適応効果はタスクスイッチの効果により抑制されたと考えられる。タスクスイッチと競合適応が直列に行われるとすれば競合適応効果が観測されるはずだから、タスクスイッチと競合適応は並列に行われると考えられる。このことは、認知制御の神経基盤はひとつではなく複数存在することを示唆する。

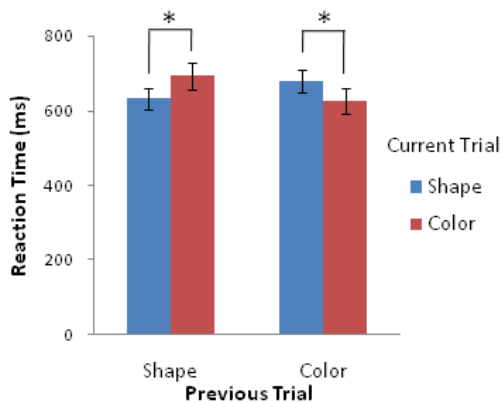


図 4. 実験 2 における、前試行の Shape/Color 条件が現試行の Shape/Color 条件での反応時間に与える影響。

General Discussion

実験 1 においては試行間でのタスクスイッチがなくかつ Simon 効果と競合適応効果が見られること、実験 2 においては試行間でのタスクスイッチがありかつ Simon 効果と競合適応効果が見られない。また、実験 1 ではふたつの刺激と反応の組合せが同試行数であることから、Simon 効果と競合適応効果を抑制したのはタスクスイッチの効果であるといえる。

実験 2 で競合適応効果が観測されなかったのは、全体の平均反応時間が実験 1 に比べて長くなっていることから、タスクスイッチに必要な時間に競合適応効果が隠れてしまったのではないかと考えられる。このことから、競合適応効果が見られなかったのは、タスクスイッチの認知処理が競合適

応を抑制したか、あるいは、タスクスイッチと競合適応が並列に処理されるために、より短い時間で処理が終了すると考えられる競合適応の効果がタスクスイッチの効果に隠れたのではないかと考えられる。被験者はタスクを達成しており (平均正反応率 95.5%), そのための競合適応の認知制御を行っていたと考えられるから、タスクスイッチと競合適応は並列に処理されると考えられる。

これらの結果は、タスクスイッチと競合適応効果を実現している認知神経メカニズムがそれぞれ存在することを示唆する。これまでに行われてきた研究は前部帯状回や前頭前野背外側部がタスクスイッチと競合適応に関係することを示している (Ridderinkhof et al. 2004) が、それぞれの領野内にタスクスイッチと競合適応に特異的に活動する部分があるかどうかは明らかではない。タスクスイッチと競合適応を同時に行う課題中の脳機能計測を高解像度で行うことにより、それぞれの認知制御に関係する脳領域を明らかにできるだろう。

References

- Cole M.W., and Schneider W. (2007). The cognitive control network: integrated cortical regions with dissociable functions. *NeuroImage* 37:343-360.
- Egner T., Delano M. and Hirsch J. (2007). Separate conflict-specific cognitive control mechanisms in the human brain. *NeuroImage* 35:940-948.
- Gilbert S.J. and Shallice T. (2001). Task switching: a PDP model. *Cognitive Psychology* 44:297-337.
- Gratton G., Coles M.G. and Donchin E. (1992). Optimizing the use of information: strategic control of activation of responses. *J. Exp. Psychol. Gen.* 121:480-506.
- Kerns J.G. (2006). Anterior cingulate and prefrontal cortex activity in an fMRI study of trial-to-trial adjustments on the Simon task. *NeuroImage* 33:399-405.
- Ridderinkhof K.R., Ullsperger M., Crone E.A. and Nieuwenhuis S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science* 306:443-447.