

ERPを指標とした競合と反応抑制の量的関係の検討

武澤 友広・中尾 美月・中尾 敬・白石舞衣子・宮谷 真人

(2004年9月30日受理)

An ERP study on the quantitative relation between conflict and response inhibition

Tomohiro Takezawa, Mizuki Nakao, Takashi Nakao, Maiko Shiraishi and Makoto Miyatani

This study examined the hypothesis (Jones, Cho, Nystrom, Cohen, & Braver, 2002) that the amount of conflict raised by incongruent stimuli in a flanker task affects subsequent response inhibition, using event-related potentials. Eleven participants responded selectively with their hands to the stimuli that consisted of a target arrow neighbored by congruent or incongruent distractor arrows. The amount of conflict was manipulated by varying the number of incongruent distractors (i.e. the stimuli included two incongruent distractor arrows for small-conflict condition or four incongruent distractor arrows for large-conflict). The results showed the response times were longer for the large-conflict incongruent stimuli, followed by the small conflict, and then the congruent, suggesting more conflict in large-conflict stimuli. The response times (RTs) in congruent condition became longer when the conflict has been occurred in the preceding trial. But the RTs were almost the same regardless of whether the preceding trial was small-conflict or large-conflict trial. The latency of lateralized readiness potential which can be a measure of response preparation, for congruent condition also showed the delay by presence of conflict in preceding trial, but was not sensitive to the amount of conflict. P300 latency for congruent condition became longer after the conflict trial. These findings suggest that (1) there was no ERP evidence suggesting the quantitative relation between conflict and response inhibition, and (2) response inhibition triggered by conflict detection could contribute to the prolongation of the evaluation time for the stimuli.

Key words : conflict detection process, response inhibition, lateralized readiness potential, P300, flanker task
キーワード : 競合検出処理, 反応抑制, 偏側性準備電位, P300, フランカー課題

人間の反応選択の様式には自動的な反応選択と制御的な反応選択との2種類があり、状況に応じてこれらを使い分けている (Norman & Shallice, 1986; Stürmer, Leuthold, Soetens, Schröter, & Sommer, 2002)。自動的な反応選択は、反応のことをただ考えさえすれば、即座に反応が遂行され、その起動に特に心的努力を必要としない、認知的経済性の高い効率的な反応選択の様式である。ドアを開ける、コップをつかむ、ゴミを拾う、など習慣的な行動の多くはこの自動的な反応選択によって遂行されている。しかし、習慣的な反応を克服したり、誘惑に抵抗しなければいけないときなど、状況によっては自動的な行動選択がエラーにつながることもある。このような時には、自動的な反応選択によって活性化した即座的反応を一旦抑制した後

に、目標に適した反応は賦活し、適さない反応は抑制するという制御的な反応選択を利用する必要がある。

では、人間はいかにしてエラーがおきそうな状況を認知し、自動的な反応選択様式から制御的な反応選択様式に切り替えるのであろうか。Gratton, Coles, & Donchin (1992) のフランカー課題を用いた実験は、反応競合の検出が反応選択様式の切り替えを動機づけることを示唆している。フランカー課題とは、複数の文字からなる文字列 (HHHHHやHHS HH) の中央の標的文字に対して手の反応を仕分ける (例えば、標的文字がHなら左手で、Sなら右手で反応する) 課題である。一般に、不一致刺激 (HHS HH) の試行では反応競合が起きるため、一致刺激 (HHHHH) の試行よりも反応時間が遅く、エラー率が高い。反応競合と

は、出力をめぐって複数の運動表象が同時に活性化する状況のことである。実際に、不一致試行では正反応となる手とエラー反応となる手の両方から筋運動の準備を示す筋電位が観察される (Coles, Gratton, Bashore, Eriksen, & Donchin, 1985)。Gratton et al. (1992) は、不一致試行を直前の試行が一致試行のものと不一致試行のものとに区別して分析したところ、後者の方が反応時間が短くなり、誤反応率も低くなることを報告した。この結果は、反応競合の検出がきっかけとなって、標的文字に注意を焦点化することで、その入力を促進するような制御的な反応選択への切り替えが行われた結果、後続試行における反応競合が起きにくくなったことを示している (Botvinick, Braver, Barch, Carter, & Cohen, 2001)。また、Gratton et al. (1992) は同時に、一致試行の反応時間は前試行が不一致試行である場合の方が長くなることを報告している。一致試行の妨害文字はエラー反応を引き起こさないため、自動的な反応選択で迅速に反応しうる。したがって、この結果は、反応競合の検出による制御的な反応選択への切り替えのために、自動的な反応選択によって選ばれた即座的な反応が、一旦抑制されたことの証拠だと考えられる。

またStürmer et al. (2002) は、事象関連電位 (Event-Related Potential, ERP) の一種である偏側性準備電位 (Lateralized Readiness Potential, LRP) を用いて競合検出に基づく反応選択の切り替えに伴う即座的反応の抑制過程を検討した。LRPは自発運動に先立って出現する準備電位を加工したものである。その出現潜時は中枢レベルにおける手の選択的準備の開始時点を反映すると考えられている (Coles, Sheffers, & Fournier, 1995)。また、LRPは正反応準備に伴い陰性方向に、エラー反応準備に伴い陽性方向に振れるように算出されるため、正反応準備だけでなく、エラー反応準備の賦活の程度も同時に評価することができる。Stürmer et al. (2002) は、不一致試行の後の一致試行の正反応準備が遅延すること、自動的な反応選択により賦活するエラー反応準備は直前の試行が不一致試行の場合に抑制されることを報告している。これらの結果は、競合検出に基づく即座的な反応の抑制が中枢レベルで行われていることを示唆している。つまり、不一致試行で生じる競合情報は、現在採用している処理様式では将来的にエラーをひきおこす危険があることを警告し、処理様式の切り替えを動機づける。その結果、自動的な反応選択による反応よりも相対的に時間のかかる制御的な反応選択を有効に機能させるために、一致刺激が生じさせるような自動的な反応をしばらく抑制しておく必要が生じる。不一致試行

の直後の一致試行で生じる反応時間の遅延は、以上のような情報処理を反映していると考えられる。

このような競合と反応抑制の間に量的な関係が存在することが、計算モデル研究から指摘されている (Botvinick et al., 2001; Jones, Cho, Nystrom, Cohen, & Braver, 2002)。Jones et al. (2002) のモデルでは、競合検出機構によって競合の量が評価され、その量が多いほど自動的な反応選択機構の影響力が弱くなるという規則が組み込まれている。このような競合と反応抑制の量的関係を想定した計算モデルは、フランカー課題のような反応選択課題のパフォーマンスを高い精度で予測することができる。しかし、競合と反応抑制の量的関係は、あくまでも計算モデルに想定された規則に過ぎず、この規則が実際に人間の情報処理において利用されていることの証拠とはならない。Takezawa and Miyatani (2004) は、フランカー課題を用いて競合と反応抑制の量的関係を検討し、不一致試行で生じる競合が大きいくほど、その直後の一致試行の反応時間が長くなることを見出した。この結果は、競合と反応抑制の量的関係の存在を示唆しているが、この規則が中枢レベルで適用されるのか、それとも末梢レベルで適用されるのかまでは特定できていない。

そこで、本研究では競合と反応抑制の量的関係が中枢レベルにおいて認められるものであるかどうかを、中枢レベルにおける運動準備の開始時点を反映すると考えられているLRPの潜時を指標として検討した。Iwaki, Miyatani, and Toshima (2003) は、フランカー課題における不一致刺激が喚起する反応競合は妨害刺激の数が多いほど大きくなることを報告している。本研究では競合の程度を操作するため、Iwaki et al. (2003) を参考にして妨害刺激の数を変化させた。以下、妨害刺激の数が多い不一致刺激を大競合刺激、妨害刺激の数が少ない不一致刺激を小競合刺激と呼ぶこととする。ただし、本研究では自動的な反応選択と制御的な反応選択の区別を明確にするために、Iwaki et al. (2003) とは異なり、左右の手との結合がより強い左右向きの矢印を刺激として用いた。もし、量的関係が中枢レベルで実現されているのなら、前試行が大競合刺激の場合の方が小競合刺激の場合よりも、後続の一致試行におけるLRPの出現潜時は遅れるであろう。

本研究のもうひとつの目的は、競合検出によって引き起こされる処理様式の切り替えを、刺激評価系の動きを反映すると考えられているERP成分であるP300を指標として捉えることである。P300の潜時は、運動関連処理系とは独立した刺激評価系の処理に関係す

ると考えられている (McCarthy & Donchin, 1981)。もし、迅速に反応を出力する自動的な反応選択から刺激評価処理を十分に行ってから反応を出力する制御的な反応選択への切り替えが、競合検出によって引き起こされているのならば、P300潜時は直前の試行が不一致試行である場合の方が直前の試行が一致試行である場合よりも遅延するであろう。

方法

参加者 視力 (矯正視力を含む) の正常な、右利きの大学生14名 (21-33歳) が実験に参加した。このうち、3名については十分な加算回数を得られず (35回未満)、LRP波形が不明瞭だったため、分析から除外した。したがって、分析の対象となったのは残りの11名 (21-33歳) であった。

刺激 標的刺激は左か右の方向を指す矢印で、その上下に2つずつ呈示される妨害刺激の種類により刺激条件を設定した。全ての妨害刺激が標的刺激と同方向の矢印である場合を一致条件、標的刺激と隣接した妨害刺激は標的刺激と同方向の矢印だが、その上下の妨害刺激は標的刺激と逆方向の矢印である場合を小競合条件、全ての妨害刺激が標的刺激と逆方向の矢印である場合を大競合条件とし、それぞれ等確率でランダムに呈示した。刺激に用いられた矢印の大きさは、縦16 mm × 横28 mm (視角で1.5度 × 2.7度) で、刺激間の距離は視角で約1度であった。刺激は17インチCRTディスプレイ (T 565, ナナオ) の画面上に呈示した。刺激の色は灰色 (光度で17.7 cd/m²)、背景は黒 (光度で0.94 cd/m²) であった。刺激を呈示するディスプレイは、被験者の前方約62 cmの位置に配置した。

手続き 各試行では、凝視点の呈示から1 000 ms後に標的刺激および妨害刺激を100 ms間呈示した。被験者の課題は標的刺激の矢印の向きが左なら左手側、右なら右手側の反応キーをできるだけ早く、正確に押し分けることであった。試行間間隔は2 500-3 500 msであった。1つの実験系列は、連続する試行間の刺激条件の組み合わせが一回ずつ全て出現する最短の試行数 (12試行) で構成し、全部で96実験系列を実施した。

脳波の記録と分析 脳波は、国際10-20法におけるFp1, Fp2, F3, F4, P3, P4, O1, O2, Fz, Cz, Pzの11部位から、左耳朵を基準電極として導出した。さらにLRPを算出するため、C3' (CzからC3の方向へ4 cm) とC4' (CzからC4の方向へ4 cm) からも脳波を導出した。実験終了後、オフラインの分析において、両耳朵の平均値が基準になるように再計算した。なお、C3'とC4'の位置は、Gratton et al.

(1992) の研究に準拠した。電極には銀皿電極を用いた。眼球電図 (Electrooculogram, EOG) はFp1-左眼窩下間から導出した。電極間抵抗値は5 kΩ以下であった。帯域通過周波数0.05-30 Hzで増幅し、500 Hzのサンプリング周波数でA/D変換した。加算平均区間は刺激呈示前100 msから後800 msまでとし、刺激呈示前100 ms間の平均電位を基線とした。

本研究では、被験者の中枢レベルにおける反応準備状態をLRPにより評価した。LRPはC3'およびC4'から導出した脳波を次の式 (1) にしたがって算出した。

$$\text{LRP} = [\text{左手反応時の差分波形 (C4'-C3')} \text{の加算平均波形} + \text{右手反応時の差分波形 (C3'-C4')} \text{の加算平均波形}] / 2 \dots (1)$$

なお、LRPの算出方法はColes (1989) に準拠した。LRP 潜時の同定はSmulders, Kenemans, & Kok (1996) にしたがって、全被験者の総加算平均波形を算出し、その最大振幅値の1/2の振幅にあたる時点を潜時とした。

P300は頭頂部 (Pz部位) において測定した。P300の頂点潜時は、刺激呈示後300-550 ms区間において最大陽性振幅値を示した時点とした。

結果

本研究では競合検出による反応時間の遅延を扱うため、エラー試行直後の試行における反応時間の遅延 (Rabbitt, 1966) の影響を除く必要があった。そこで、前試行がエラーであった試行は分析対象外とした。図1に各条件の反応時間の中央値とエラー率を示した。

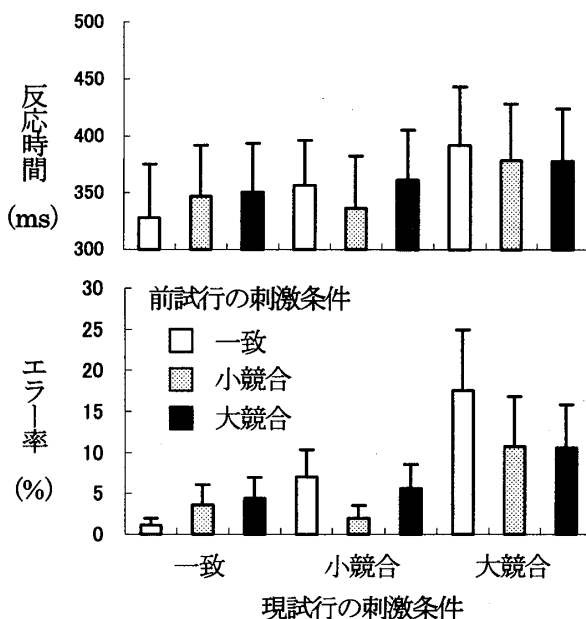


図1 反応時間の中央値とエラー率 (誤差棒は標準偏差)

反応時間 3 (前試行の刺激条件：一致条件, 小競合条件, 大競合条件) × 3 (現試行の刺激条件：一致条件, 小競合条件, 大競合条件) の分散分析を行った結果, 前試行の刺激条件 (一致条件 vs. 小競合条件 vs. 大競合条件 : 359 ms vs. 354 ms vs. 363 ms, $F(2, 20)=11.81, p<.0005$), 現試行の刺激条件 (一致条件 vs. 小競合条件 vs. 大競合条件 : 342 ms vs. 352 ms vs. 383 ms, $F(2, 20)=53.38, p<.0001$) のそれぞれに有意な主効果が認められ, 交互作用も認められた ($F(4, 40)=21.60, p<.0001$)。交互作用に関する下位検定の結果, 現試行が一致条件の場合の反応時間は, 前試行が小競合条件の場合 (347 ms) または大競合条件の場合 (350 ms) に, 一致条件の場合 (328 ms) よりも有意に遅延したが, 小競合条件の場合と大競合条件の場合の間には有意な差は認められなかった。一方, 現試行が小競合条件の場合の反応時間は, 前試行が小競合条件の場合 (336 ms) に, 一致条件の場合 (357 ms) または大競合条件の場合 (362 ms) よりも短かった。また, 現試行が大競合条件の場合の反応時間は, 前試行が小競合条件の場合 (378 ms) または大競合条件の場合 (378 ms) に, 一致条件の場合 (392 ms) よりも短かった。

エラー率 反応時間と同様の 2 要因の分散分析を行った結果, 前試行の刺激条件 (一致条件 vs. 小競合条件 vs. 大競合条件 : 8.64 % vs. 5.45 % vs. 6.89 %, $F(2, 20)=17.82, p<.0001$), 現試行の刺激条件 (一致条件 vs. 小競合条件 vs. 大競合条件 : 3.08 % vs. 4.90 % vs. 13.00 %, $F(2, 20)=33.99, p<.0001$) のそれぞれに有意な主効果が認められ, 交互作用も認められた ($F(4, 40)=13.32, p<.0001$)。交互作用に関する下位検定 (Ryan法, $p<.05$) の結果, 現試行が一致条件の場合のエラー率は, 前試行が小競合条件の場合 (3.67 %) または大競合条件の場合 (4.40 %) に, 一致条件の場合 (1.18 %) よりも有意に増加した。一方, 現試行が小競合条件の場合の反応時間は, 前試行が小競合条件の場合 (1.93 %) に, 一致条件の場合 (7.12 %) または大競合条件の場合 (5.65 %) よりも低かった。また, 現試行が大競合条件の場合のエラー率は, 前試行が小競合条件の場合 (10.76 %) または大競合条件の場合 (10.62 %) に, 一致条件の場合 (17.63 %) よりも低かった。

ERP 不一致刺激の試行の直後の不一致刺激の試行では, 競合検出処理により引き起こされる反応抑制の効果とは別に, 同様に競合検出処理により引き起こされる競合を低減するための制御処理 (例えば選択的注意) の影響が現れることが指摘されている (Botvinick et al., 2001; Cohen, Botvinick, &

Carter, 2000; Durston, Davidson, Thomas, Worden, Tottenham, Martinez, Watts, Ulug, & Casey, 2003)。本研究でも, 小競合条件および大競合条件の反応時間は前試行が競合条件の場合に短縮し, さらにエラー率も減少しているため, 競合条件では競合に対する制御処理の影響が現れていると推察される。本研究は競合検出処理により引き起こされる反応抑制過程のみを検討対象にしているため, 刺激が競合を引き起こさず, 競合に対する制御処理の影響が現れないと考えられる一致条件に対するERPのみを分析対象とした。

図2に, 前試行の刺激条件別の一致条件のLRPの総加算平均波形を示した。LRP潜時に関して, 1 要因 3 水準 (前試行の刺激条件：一致条件, 小競合条件, 大競合条件) の分散分析を行った結果, 有意傾向ではあったが ($F(2, 20)=3.40, p<.1$), 前試行が小競合条件の場合 (242 ms) および大競合条件の場合 (248 ms) に, 前試行が一致条件の場合 (218 ms) よりも潜時が長かった。

図3に, 前試行の刺激条件別の一致条件のERP加算平均波形を示した。P300潜時に関して, LRP潜時と同様の 1 要因の分散分析を行った結果, 前試行が小競合条件の場合 (388 ms) および大競合条件の場合 (393 ms) に, 前試行が一致条件の場合 (370 ms) よりも有意に潜時が長かった ($F(2, 20)=5.97, p<.01$)。

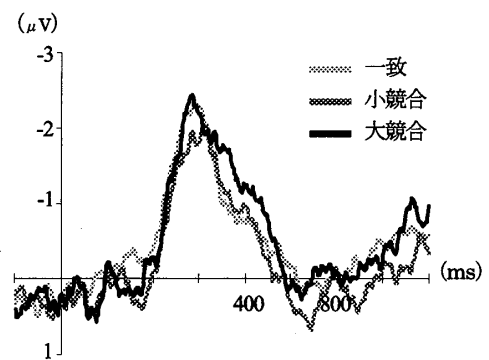


図2 前試行の刺激条件別の一致条件のLRP波形

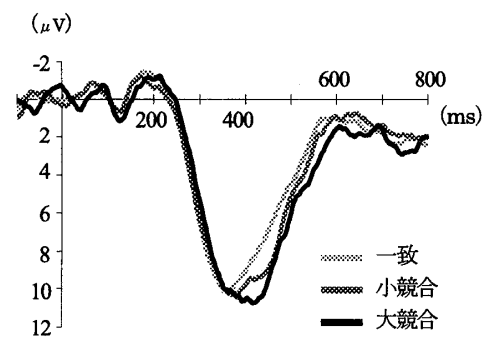


図3 前試行の刺激条件別の一致条件のERP波形

考 察

本研究の主たる目的は、前試行において生起する競合が大きいほど後続試行の反応の遅延の程度が増大するという競合の大きさと反応抑制の強さの間の量的関係が中枢レベルで認められるかについて、中枢レベルにおける反応準備過程を反映するLRP潜時を指標として検討することであった。反応時間は一致条件<小競合条件<大競合条件の順に長かったことから、競合の大きさはこの順に大きかったことは確かめられた。しかし、前試行が小競合条件の場合と大競合条件の場合とを比較しても、一致条件の反応時間やLRP潜時に有意な差を認めることができなかつた。つまり、Takezawa and Miyatani (2004) において認められた量的関係は本実験では確認することができなかつた。

本実験において量的関係が認められなかつた原因として、Takezawa and Miyatani (2004) で認められた量的関係は競合の大きさではなく、競合刺激により喚起される知覚競合やエラー反応準備の大きさと関係している可能性を指摘できる。Takezawa and Miyatani (2004) では、一致条件<小競合条件<大競合条件の順にエラー率が高かったが、本研究では一致条件と小競合条件の間にはエラー率の差が認められなかつた。つまり、前者ではエラー反応準備の喚起の程度が刺激条件間で明確に違っていたのに対し、後者では一致条件と小競合条件の間にはエラー反応準備の大きさに差がなかつたと推察される。また、競合条件と一致条件の反応時間やエラー率の差は、正反応準備と競合するエラー反応準備の大きさだけでなく、標的刺激と妨害刺激の一致性がもたらす知覚的な競合の効果も重畳して現れることが指摘されており (Grice, Canham, & Schafer, 1982; Van' t Ent, 2002; Zang, Zhang, & Kornblum, 1999), 反応時間の遅延の程度はエラー反応準備の大きさをそのまま反映するわけではない。したがって、Takezawa and Miyatani (2004) で認められた量的関係は反応競合の大きさと反応抑制の強さとの関係ではなく、実は知覚競合やエラー反応準備の大きさと反応抑制の強さとの関係であった可能性がある。今後、知覚競合の大きさやエラー反応準備の大きさと反応抑制の強さとの関係を、エラー反応準備の大きさを独立変数とした実験において確かめる必要がある。

競合の大きさと反応抑制の量的関係がエラー反応準備の大きさと関係に基づいているとすれば、反応選択様式の切り替えに伴う反応抑制の強さは競合の大き

さを評価する機構ではなく、エラー反応準備の大きさに基づきエラーのリスクを査定する機構によって規定されるのかもしれない。Damasio (1994, 田中訳, 2000) が主張しているように、不快情動は不快な結果をもたらす確率の高い反応と結びつくことによって危険信号として機能し、反応選択様式の切り替えを動機づける役割を担っていると考えられている。エラーのリスクの査定機構の存在の証拠を見つけることができれば、この主張が想定するような反応選択における情動の役割について考察することができる。また、競合に基づく反応抑制という現象にしても、エラーが起こりそう、という情報として利用できる競合が不快情動を喚起し、その情動が反応選択様式の切り替えを引き起こした結果なのかもしれない。

競合検出処理に基づく処理様式の切り替えをP300潜時でとらえることが本研究のもう1つの目的であった。競合条件の直後の一致条件と一致条件の直後の一致条件のP300潜時を比較したところ、前者の方が長かったことから競合試行の直後には刺激評価系の処理時間の短い自動的な反応選択から処理時間の長い制御的な反応選択に移行したことが示唆された。競合条件の直後の競合条件では一致条件の直後の競合条件と比較して反応時間が短く、エラー率も少なかったことは、制御的な反応選択により反応競合がおきにくくなっていたことを示し、競合検出に基づく反応選択様式の切り替えを裏付けている。しかし、一致条件のエラー率は前試行が競合条件であった場合にむしろ上昇しており、制御的な反応選択の様式への切り替えを疑わせる結果も同時に得られた。この現象が頑健に確かめられるかどうかについて追試を重ねるとともに、制御的な反応選択への移行がなぜ一致条件のエラーを増大させる結果を招くのかについても検討していく必要がある。

引用文献

- Botvinick, M., Braver, T. S., Barch, D. M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2001). Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, **108**, 624-652.
- Cohen, J. D., Botvinick, M., & Carter, C. S. (2000). Anterior cingulate and prefrontal cortex: Who's in control? *Nature Neuroscience*, **3**, 421-423.
- Coles, M. G. H. (1989). Modern mind-brain reading: Psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology*, **26**, 251-269.
- Coles, M. G. H., Gratton, G., Bashore, T. R., Eriksen,

- C. W., & Donchin, E. (1985). A psychophysiological investigation of continuous flow model of human information processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **11**, 529-553.
- Coles, M. G. H., Scheffers, M. K., & Fournier, L. (1995). Where did you go wrong? Errors, partial errors, and the nature of human information processing. *Acta Psychologica*, **90**, 129-144.
- ダマシオ A. R. 田中三彦 (訳) 2000 生存する脳—心と脳と身体の神秘—講談社
- (Damasio, A. R. (1994). *Descartes' error: Emotion reason, and the human brain*. William Morris Agency.)
- Durston, S., Davidson, M. C., Thomas, K. M., Worden, M. S., Tottenham, N., Martinez, A., Watts, R., Ulug, A. M., & Casey, B. J. (2003). Parametric manipulation of conflict and response competition using rapid mixed-trial event-related fMRI. *NeuroImage*, **20**, 2135-2141.
- Gratton, G., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1992). Optimizing the use of information: Strategic control of activation of responses. *Journal of Experimental Psychology: General*, **121**, 480-506.
- Grice, G. R., Canham, L., & Schafer, C. (1982). Development of associative and perceptual interference. *Perception & Psychophysics*, **32**, 375-387.
- Iwaki, N., Miyatani, M., & Toshima, T. (2003). A psychophysiological study on the function of the response-stop in the Eriksen task. *Japanese Psychological Research*, **45**, 100-108.
- Jones, A. D., Cho, R. Y., Nystrom, L. E., Cohen, J. D., & Braver, T. S. (2002). A computational model of anterior cingulate function in speeded response tasks: Effects of frequency, sequence, and conflict. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, **2**, 300-317.
- McCarthy, G., & Donchin, E. (1981). A metric for thought: A comparison of P300 latency and reaction time. *Science*, **211**, 77-80.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation* (pp.1-18). New York: Plenum Press.
- Rabbitt, P. M. A. (1966). Errors and error correction in choice-response tasks. *Journal of Experimental Psychology*, **71**, 264-272.
- Smulders, F. T. Y., Kenemans, J. L., & Kok, A. (1996). Effects of task variables on measures of the mean onset latency of LRP depend on the scoring method. *Psychophysiology*, **33**, 194-205.
- 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: Human Perception and Performance*, **28**, 1345-1363.
- Takezawa, T., & Miyatani, M. (2004). A quantitative relation between conflict and response inhibition in the flanker task. Manuscript submitted for publication.
- Van't Ent, D. (2002). Perceptual and motor contributions to performance and ERP components after incorrect motor activation in a flanker reaction task. *Clinical Neurophysiology*, **113**, 270-283.
- Zang, H., Zang, J., & Kornblum, S. (1999). A parallel distributed processing model of stimulus-stimulus and stimulus-response compatibility. *Cognitive Psychology*, **38**, 386-432.
- 付記 本研究は、科学研究費補助金（基盤研究B，課題番号：14310042，研究代表者：宮谷真人）の補助を受けた。本研究の実施にあたりご協力いただいた吉村奈緒さん，梨和ひとみさん，久保賢太さんに感謝いたします。