

タイムプレッシャーがサイモン課題における 系列効果に及ぼす影響

白石 舞衣子

(2007年10月4日受理)

The Effects of Time Pressure on Sequential Effects in Simon Task.

Maiko Shiraishi

Abstract. The effects of time pressure (TP) on sequential effects in Simon task were investigated using the stimulus locked lateralized readiness potential (LRP), response locked LRP and P300. These event-related potentials (ERPs) were recorded from participants performing a visual Simon task. In this task, participants had to press the left key when an “F” was presented, and the right key when a “J” was presented. The side of the stimulus and the required response side could be compatible or incompatible. TP was manipulated by using moderate or severe response time limits. Reaction times (RTs), stimulus locked LRP latencies and P300 latencies for incompatible stimuli were longer than for compatible stimuli. These Simon effects were observed only when the stimuli followed a compatible trial but not after a incompatible trial. Moreover, initial incorrect activities in stimulus locked LRP were larger after compatible trial than after incompatible trial. These sequential effects in Simon task were not modulated by TP. These results suggest that the cognitive control which suppresses an automatic response is exerted over both stimulus evaluation process and response selection process regardless of the degree of TP.

Key words: time pressure, Simon task, sequential effect, LRP, P300

キーワード：タイムプレッシャー，サイモン課題，系列効果，LRP，P300

我々は、時間的制約を受けて、作業や意思決定をしなければならない時に、タイムプレッシャー（以下、TP）を感じる。本研究では、意思決定などの活動を行う際の時間的制約の認識とそれに伴う焦り、急ぎ、慌てなどを総称してTPと呼ぶ。コンピューターが広く普及した現代社会においては、コンピューター画面に表示された情報をもとに、行動を決定しなければならない場面は非常に多いと考えられる。そのような場

面に時間的制約が課されると、表示された情報をいち早く検出し、受け取った情報を的確に判断し、迅速に行動を決定しなければならなくなる。

人間には目標にあった行動を柔軟に行うために、目標に関連した情報を選択する情報処理を組み立て、最適化するといった認知制御システムがあるとされる(Ridderinkhof, Ullsperger, Crone, & Nieuwenhuis, 2004)。そのような認知制御システムを調べるために用いられる課題としてサイモン課題(Simon, 1990; Lu & Proctor, 1995)が挙げられる。サイモン課題では、刺激が凝視点の左右どちらかに呈示され、色や形といった刺激特徴に対して左右の手による反応が割り当てられる。例えば、参加者は赤色の刺激に対して右手で反

本論文は、課程博士候補論文を構成する論文の一部として、以下の審査委員により審査を受けた。

審査委員：宮谷真人（主任指導教員）、中條和光、

湯澤正通

応し、緑色の刺激に対して左手で反応するよう教示される。その際、赤色の刺激が凝視点の右側に呈示される場合（一致試行）の反応時間（以下、RT）は左側に呈示される場合（不一致試行）のRTよりも短くなり、この現象をサイモン効果と呼ぶ。サイモン効果は知覚から行動までの2つの経路によって説明される（二重経路モデル、Kornblum, Hasbroucq, & Osman, 1990; De Jong, Liang, & Lauber, 1994）。制御経路では適切な反応が意図的に選択され、活性化される。一方、自動経路では刺激が呈示された位置と空間的に一致した反応が自動的に活性化される。刺激と反応の位置が一致している場合は、2経路が正反応を活性化するので、RTが短くなる。刺激と反応の位置が一致していない場合は、2経路が競合する反応を活性化し、正反応を出力するには、この競合を解決する必要があるため、RTが長くなる。

Stürmer, Leuthold, Soetens, Schröter, & Sommer (2002) は、サイモン効果を直前の試行が一致試行の場合と不一致試行の場合に分けて分析を行った。その結果、直前の試行が一致試行の場合にはサイモン効果がみられるが、直前の試行が不一致試行の場合にはサイモン効果が消失した。また、彼らは中枢での運動の活性化が反映される事象関連電位の1つである刺激同期LRP（Lateralized Readiness Potential：偏側性準備電位）も同時に記録した。直前の試行が一致試行の場合には、不一致試行において自動的な誤反応の活性化を示す振幅がみられたものの、直前の試行が不一致試行の場合にはその振幅が小さくなった。さらに、正反応のLRP潜時は一致→一致(235 ms) < 不一致→一致(265 ms) = 不一致→不一致(265 ms) < 一致→不一致(330 ms)の順に長くなった（系列効果）。これらの結果から、不一致試行後では、自動経路による反応の活性化が抑制されることが示唆された。

誤反応を生じる可能性のある不一致試行を経験すると、自動的に活性化された反応をそのまま実行すると誤反応になってしまうということを認知制御システムが感知する。その後、適切な反応を選択するために、自動的に活性化された反応を抑制し、意図的な反応を実行する処理様式に切り替わる。この認知制御による抑制の証拠として、自動的な反応の活性化の現れであるLRPの誤反応の振幅が、一致試行後よりも不一致試行後で減衰したことが挙げられる。また、一致試行の刺激同期LRP潜時が、一致試行後よりも不一致試行後で長くなったことも、自動的な反応をしばらく抑制した結果であると考えられる。

ところで、TP下においても、自動的な反応を抑制するために時間を要する認知制御システムが駆動する

ののだろうか。意思決定に費やす時間が十分にある場合には、難なく誤反応を回避することができるが、ごく短い時間で判断しなければならない場合には誤反応を犯す可能性が高い。TP下ではより早く反応しようとする制御が働くと考えられ、これは先述した不一致試行後の自動的な反応を抑制する認知制御とは反対の制御である。もし、TP下では反応抑制の認知制御システムが駆動しないのであれば、より早く意思決定しようとするが故に、自動的な反応が優勢になりミスが多くなると推測される。一方、TP下で反応抑制の認知制御システムが駆動するのであれば、より迅速かつ正確に意思決定しようとするが故に、不一致試行後では自動的な反応が強く抑制されると推測される。

そこで本研究では、異なるTP下でのサイモン課題を実施した実験データを直前試行の種類によって分けて再分析を行うことにより、TP下での認知制御システムの働きについて検討することを目的とした。まず、TP下においても、自動的な反応を抑制する認知制御が駆動するのかどうかを検討した。そのために、Stürmer et al. (2002) の刺激同期LRPで観察された不一致試行後の自動的な誤反応振幅の減衰がTP下で観察されるかどうかを検討した。次に、TP下で反応抑制の認知制御が駆動していた場合、その認知制御はTPの程度によって変調するのかどうかを検討することとした。

さらに、Stürmer et al. (2002) では行動指標および刺激同期LRPを分析しているが、本研究ではそれに加えて、反応同期LRPおよびP300を同時に記録した。LRPは反応選択時の左右の運動野の頭皮上から記録された電位を加工したもので、運動準備や運動実行に密接に関連している（Coles, 1989）。さらに、Osman & Moore (1993) によれば、刺激呈示に同期したLRPは運動の活性化開始前の過程を反映し、反応に同期したLRPは運動の活性化開始後の過程を反映する。前者は刺激に対応した反応手の選択段階に関連し、後者は選択された反応手の実際の運動実行段階に関連していると考えられている。また、P300は刺激評価過程を反映し、反応出力と独立していると考えられている（Kutas, McCarthy, & Donchin, 1977）。P300潜時に対するサイモン効果が確認されており、この現象は反応選択以前の知覚段階での干渉によって生じると考えられている（Valle-Inclán, 1996）。これらの新たな2指標を加え、TP下で不一致試行後の認知制御が駆動するなら、その認知制御が刺激同期LRPに反映される反応選択過程だけでなく、反応同期LRPに反映される反応実行過程やP300に反映される刺激評価過程にも及ぶのどうかを検討した。それ

によって、左右の反応手を選択する段階よりも早い段階から認知制御が働くのか、反応選択後の運動を実行する段階まで認知制御が持続するのかわかることができ、認知制御の性質を理解することができる。

方法

参加者 視力（矯正視力を含む）の正常な右利き成人12名（男性4名、21-25歳）が実験に参加した。そのうち、十分な加算回数を得られなかった2名のデータを分析対象から除外した。

刺激 視覚刺激（縦0.5°×横0.6°の“F”と“J”、観察距離75 cm）を凝視点の左右（凝視点からの距離は1.5°）に呈示されるフレームのどちらかにランダムな順序で呈示した。視覚刺激が呈示されていないもう一方のフレームにはフィラー刺激（0.5°×0.4°の“≡”）を呈示した。凝視点は赤色、視覚刺激およびフィラー刺激は黄色で呈示した。各刺激の呈示時間は300 msであった。刺激間間隔（onset-onset 間隔）は1 050-2 550 msの範囲でランダムとした。

課題 単純反応課題と TP の異なる2つのサイモン課題を実施した。参加者は単純反応課題では、刺激すべてに対して右のキーを押して反応した（単純反応課題は別目的で実施したため、結果の報告は省略する）。サイモン課題では“F”に対して左のキー、“J”に対して右のキーを押して反応した。刺激の呈示位置と反応する手が一致する場合を一致条件、一致しない場合を不一致条件とした。反応制限時間を単純反応課題では400 ms、中 TP サイモン課題では550 msとした。高 TP サイモン課題では練習試行において、各条件での正答率が約60%以上になるように制限時間を設定した（平均444 ms、範囲410-480 ms）。参加者は制限時間内に反応するよう教示された。制限時間内に反応できなかった時にはフィードバック音で知らせた。

手続き 各課題は1ブロック200試行（2刺激（F、J）×2条件（一致、不一致）×50試行）で、単純反応課題を1ブロック、サイモン課題の高 TP 条件を3ブロック、中 TP 条件を2ブロック実施した。課題の実施順序は参加者間でカウンターバランスした。同一課題は連続して実施した。各課題終了後に主観的 TP 感を測定するために日本語版 NASA-TLX（芳賀・水上、1996）を実施した。

脳波の記録と分析 銀・塩化銀電極キャップ（Quikcap, NeuroScan）を用い、Fz、F3、F4、Cz、C3、C4、Pz、P3、P4、T5、T6、O1、O2から脳波を、左眼窩上下から垂直眼電図を、左右の眼窩外側縁部か

ら水平眼電図を導出した。左右耳朶にも電極を置き、電位を記録した。電極間抵抗は、5 kΩ以下であった。脳波と垂直および水平眼電図はデジタル脳波計 EEG-1100（日本光電）を用いて増幅した。この脳波計では、記録時の基準電極は C3と C4の平均電位、帯域通過周波数は0.016-300 Hzとなる。サンプリング周波数は1 000 Hzであった。

オフライン処理で両耳朶の平均を基準とする電位を計算し、さらに0.08-15 Hzのデジタルフィルターによって処理したデータを分析した。分析区間は刺激呈示前100 msから呈示後800 msの間とし、刺激呈示前区間をベースラインとして各試行における振幅を算出した。誤反応、制限反応時間よりも RT が長い試行、いずれかのチャンネルで±100 μV以上の振幅を記録した試行を除き、TP（高 TP、中 TP）、前試行の条件（一致、不一致）、および現試行の条件（一致、不一致）を組み合わせた8条件別に加算平均した。各条件の加算回数が十分でなかった参加者のデータは分析から除外し、10名のデータを分析対象とした。

また、C3およびC4の波形から、刺激に同期した LRP および反応に同期した LRP を次式（1）に従って算出した。

$$\text{LRP} = (\text{左手反応時 (C4-C3) 波形} + \text{右手反応時 (C3-C4) 波形}) / 2 \quad (1)$$

刺激に同期した LRP の分析区間は刺激呈示前100 msから呈示後800 msとし、ベースラインは刺激呈示前区間100 msとした。反応に同期した LRP の分析区間は反応前300 msから反応後200 msとし、ベースラインは刺激呈示前区間100 msとした。なお、LRP の潜時の同定は、ジャックナイフ法（Ulrich & Miller, 2001）に準拠した。参加者を1名ずつ除いた総加算平均波形（本研究では10サブサンプル（波形）を条件ごとに算出した。各サブサンプルにおいて、各条件における陰性電位の最大振幅の1/2の振幅に達する時点を LRP 潜時と同定した。分散分析において算出された *F* 値を（参加者-1）の二乗で割った値を *F_c* 値として、*F* 分布確率を求めた。

結果

主観的側面 課題における TP 操作の妥当性を確認するために、高 TP 条件および中 TP 条件の NASA-TLX の下位項目（知的・知覚的要求、身体的要求、TP、作業成績、努力、フラストレーション）の得点（0-100点）について、下位項目ごとに *t* 検定を行った。その結果、知的・知覚的要求 ($t(9) = 2.32, p < .05$),

TP($t(9)=2.46, p < .05$), フラストレーション($t(9)=2.82, p < .05$)の3項目において、中TP条件よりも高TP条件で得点が有意に高かった。

行動測定 各条件の平均RTおよび制限時間を越えた試行の割合をTable 1に示す。サイモン課題におけるRTについて、2(TP:高TP, 中TP)×2(前試行の条件:一致, 不一致)×2(現試行の条件:一致, 不一致)の3要因反復測定分散分析を行ったところ、TPの主効果($F(1, 9)=57.88, p < .001$), 現試行の主効果($F(1, 9)=86.50, p < .001$), 前試行×現試行の交互作用($F(1, 9)=71.73, p < .001$), TP×前試行×現試行の交互作用($F(1, 9)=30.28, p < .001$)が有意であった。高TP条件よりも中TP条件で、現試行が一致条件よりも不一致条件で、RTが長かった。前試行×現試行の交互作用について分析した結果、前試行が一致試行の時にサイモン効果(不一致>一致)がみられたが($F(1, 18)=38.02, p < .01$), 前試行が不一致試行の時にはサイモン効果はみられなかった。なお、交互作用に関する分析にはブールした誤差項を用いた。以下の報告でも同様である。TP×前試行×現試行の交互作用について、前試行の条件別にTPと現試行の効果について調べたところ、前試行が一致試行の時には、TPの単純主効果($F(1, 18)=51.56, p < .01$), 現試行の単純主効果($F(1, 18)=174.13, p < .01$)およびTP×現試行の交互作用($F(1, 18)=22.15, p < .01$)が有意であった。交互作用について分析したところ、TPおよび現試行の単純・単純主効果が全て有意であったため、交互作用対比の検定を行った。その結果、サイモン効果は高TP条件(25.1 ms)よりも中TP条件(40.6 ms)で大きかった($p < .01$)。前試行が不一致試行の時には、TPの単純主効果のみが有意であった

($F(1, 18)=60.0, p < .01$)。

RTにみられるTP効果が、制限時間(高TP条件:参加者によって異なり、平均444 ms, 範囲410-480 ms, 中TP条件:550 ms)を設定し、それ以上時間がかかった試行を分析から除外したために生じたものであるかどうかを検討するため、制限時間を超過した試行も合わせて同様の3要因反復測定分散分析を行ったところ、制限時間を超過した試行を含まない分析とほぼ同様の結果が得られた。すなわち、TPの主効果($F(1, 9)=12.27, p < .01$), 現試行の主効果($F(1, 9)=82.25, p < .001$), TP×前試行の交互作用($F(1, 9)=5.53, p < .001$), 前試行×現試行の交互作用($F(1, 9)=181.20, p < .001$)が有意であった。また、TP×前試行×現試行の交互作用($F(1, 9)=4.22, p < .10$)が有意傾向であった。

各条件の正答率をTable 1に示す。サイモン課題における正答率(制限時間内の反応数に対する正答の割合)について、TP×前試行×現試行の3要因反復測定分散分析を行ったところ、TPの主効果($F(1, 9)=100.39, p < .001$), 現試行の主効果($F(1, 9)=33.27, p < .001$), TP×現試行の交互作用($F(1, 9)=5.48, p < .05$), 前試行×現試行の交互作用($F(1, 9)=84.13, p < .001$), TP×前試行×現試行の交互作用($F(1, 9)=34.78, p < .001$)が有意であった。高TP条件よりも中TP条件で、現試行が不一致条件よりも一致条件で正答率が高かった。前試行×現試行の交互作用について分析した結果、前試行が一致試行の時にサイモン効果(一致>不一致)がみられたが($F(1, 18)=19.20, p < .01$), 前試行が不一致試行の時にはサイモン効果はみられなかった。TP×現試行の交互作用について分析した結果、TPおよび現試行の単純主効果が全て有意

Table 1. Mean reaction times, accuracies, P300 latencies, stimulus locked LRP latencies, response locked LRP latencies, and proportion of trials over time limits for each conditions with standard deviations in parentheses

Preceding Trial Current Trial	Severe TP				Moderate TP			
	Compatible		Incompatible		Compatible		Incompatible	
RT (ms)	372.4 (18.7)	397.5 (23.3)	378.6 (19.6)	386.0 (23.5)	416.2 (17.1)	456.8 (15.8)	436.1 (16.8)	439.7 (16.3)
Accuracy (%)	90.8 (5.0)	61.1 (10.8)	80.7 (7.7)	78.5 (9.8)	96.4 (2.8)	79.8 (7.4)	90.6 (6.4)	87.8 (5.8)
P300 latency (ms)	454.3 (37.7)	476.3 (50.2)	467.4 (54.7)	459.9 (30.9)	456.1 (47.7)	492.4 (48.0)	476.0 (31.6)	475.1 (33.4)
Stimulus locked LRP latency (ms)	267.6 (2.2)	356.1 (3.4)	275.4 (2.5)	337.3 (4.2)	263.2 (2.3)	366.2 (2.8)	271.4 (2.3)	359.4 (1.4)
Response locked LRP latency (ms)	-102.1 (2.3)	-55.1 (1.5)	-88.2 (4.1)	-58.0 (2.5)	-105.3 (5.7)	-84.0 (2.2)	-89.2 (3.3)	-75.7 (0.9)
Proportion of trials over time limits (%)	21.6 (10.9)	34.8 (13.5)	28.7 (12.3)	28.6 (10.9)	6.5 (5.9)	11.7 (4.6)	10.8 (5.1)	8.9 (6.0)

であったため、交互作用対比の検定を行った。その結果、サイモン効果は中 TP 条件 (9.7%) よりも高 TP 条件 (16.0%) で大きかった ($p < .05$)。TP×前試行×現試行の交互作用について、前試行の条件別に TP と現試行の効果について調べたところ、前試行が一致試行の時には、TP の単純主効果 ($F(1, 18) = 49.62, p < .01$)、現試行の単純主効果 ($F(1, 18) = 79.67, p < .01$) および TP×現試行の交互作用 ($F(1, 18) = 20.15, p < .01$) が有意であった。交互作用について分析したところ、TP および現試行の単純・単純主効果が全て有意であったため、交互作用対比の検定を行った。その結果、サイモン効果は中 TP 条件 (13.8%) よりも高 TP 条件 (39.1%) で大きかった ($p < .01$)。前試行が不一致試行の時には、TP の単純主効果のみが有意であった ($F(1, 18) = 30.79, p < .01$)。

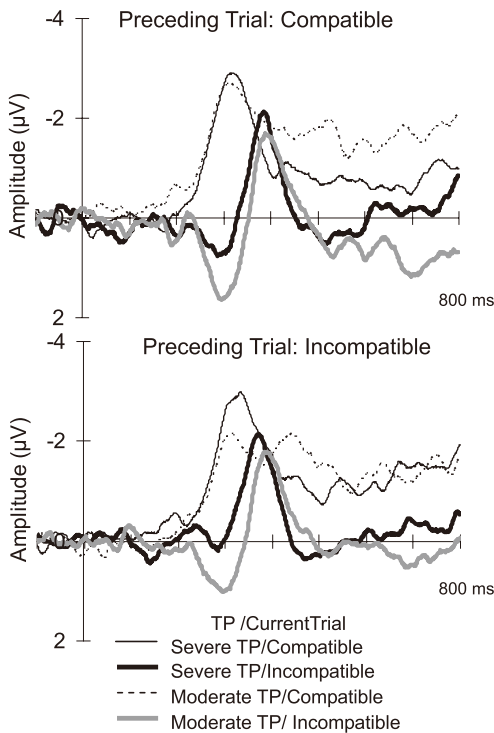


Figure 1. Grand average of stimulus locked LRPs plotted with overlapping waveforms for severe TP and moderate TP conditions and for compatible and incompatible current trials. Waveforms for the compatible and incompatible preceding trials are shown at the top and bottom.

ERP サイモン課題時の刺激および反応に同期して算出した LRP 総加算平均波形を条件別に Figure 1 および Figure 2 に示す。刺激同期 LRP では刺激呈示後 300 ms 付近で、反応同期 LRP では反応前 200-100 ms 付近で、現試行が不一致条件の時に誤反応の活性化を示す陽性振幅が見られた。刺激同期 LRP の誤反応振幅について、TP×前試行の 2 要因分散分析を行ったところ、前試行の主効果 ($F(1, 9) = 7.54, p < .05$) が有意であり、前試行が一致条件よりも不一致条件で誤反応振幅が小さかった。反応同期 LRP の誤反応振

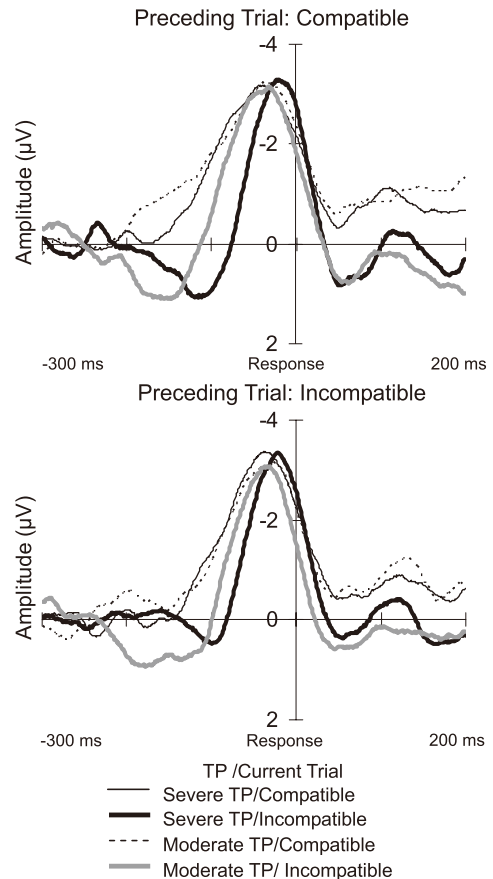


Figure 2. Grand average of response locked LRPs plotted with overlapping waveforms for severe TP and moderate TP conditions and for compatible and incompatible current trials. Waveforms for the compatible and incompatible preceding trials are shown at the top and bottom.

幅について、TP×前試行の2要因分散分析を行ったところ、有意な効果はみられなかった。

刺激同期 LRP 潜時について、TP×前試行×現試行の3要因反復測定分散分析を行ったところ、現試行の主効果 ($F_c(1, 9) = 342.23, p < .001$), TP×現試行の交互作用 ($F_c(1, 9) = 6.06, p < .05$), 前試行×現試行の交互作用 ($F_c(1, 9) = 6.40, p < .05$) が有意であった。現試行が一致条件よりも不一致条件のほうが刺激同期 LRP 潜時が長かった。

TP×現試行の交互作用について分析した結果、現試行の単純主効果がみられ、サイモン効果は高 TP 条件 (75.2 ms) よりも中 TP 条件 (95.5 ms) で大きかった ($p < .05$)。前試行×現試行の交互作用について分析した結果、前試行が一致試行の時にも前試行が不一致試行の時にもサイモン効果 (不一致 > 一致) がみられ (一致試行: $F_c(1, 18) = 120.15, p < .01$, 不一致試行: $F_c(1, 18) = 73.62, p < .01$), サイモン効果は前試行が不一致試行の時 (75.0 ms) よりも一致試行の時 (95.8 ms) に大きかった ($p < .01$)。

反応同期 LRP 潜時について、同様の分析を行ったところ、現試行の主効果 ($F_c(1, 9) = 18.34, p < .01$), 前試行の主効果 ($F_c(1, 9) = 11.96, p < .01$) が有意であった。現試行が不一致条件よりも一致条件の場合に、前試行が不一致条件よりも一致条件の場合に、反応同期 LRP 潜時が長かった。

Figure 3に、サイモン課題で得られた Pz 部位の総加算平均波形について、前試行の刺激条件別に、TP と現試行の刺激条件を組み合わせた4条件を重ね書きして示した。全部位および全条件において、刺激後 300–500 ms 付近で最大振幅を示す陽性電位が出現した。この陽性電位は Pz で優勢であり、出現潜時や頭皮上分布から P300 であると考えられる。

P300が最も顕著に出現した Pz 波形について、刺激呈示後 300–600 ms 区間で最大の陽性電位を示した点を P300 頂点とし、その潜時を条件別に測定した (Table 1)。P300 潜時について、TP×前試行×現試行の3要因反復測定分散分析を行ったところ、TP の主効果 ($F(1, 9) = 5.73, p < .05$), 現試行の主効果 ($F(1, 9) = 17.03, p < .01$), 前試行×現試行の交互作用 ($F(1, 9) = 5.25, p < .05$) が有意であった。高 TP 条件よりも中 TP 条件で、現試行が一致条件よりも不一致条件で P300 潜時が長かった。前試行×現試行の交互作用について分析した結果、前試行が一致試行の時にサイモン効果 (不一致 > 一致) がみられたが ($F(1, 18) = 6.08, p < .01$), 前試行が不一致試行の時にはサイモン効果はみられなかった。

なお、P300 潜時、刺激同期 LRP 潜時および反応同

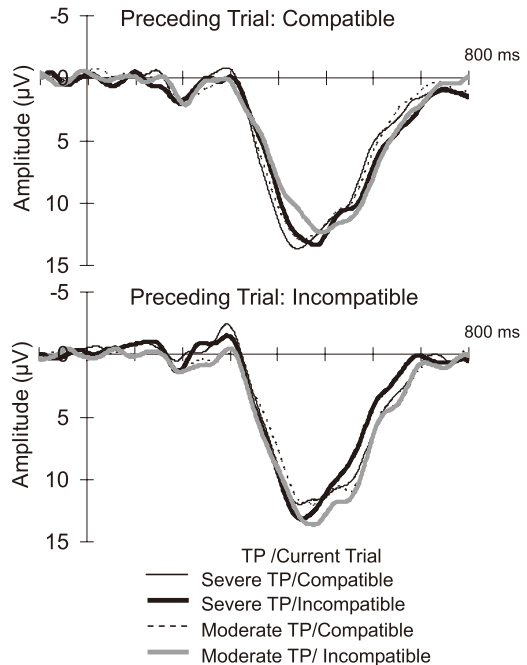


Figure 3. Grand average of ERPs at Pz plotted with overlapping waveforms for severe TP and moderate TP conditions and for compatible and incompatible current trials. Waveforms for the compatible and incompatible preceding trials are shown at the top and bottom.

期 LRP 潜時については、制限時間を越えた試行を含めた分析は行わなかった。本実験では制限時間を越えた時点でフィードバック音を呈示しており、P300 および LRP 出現時間帯にフィードバック音による ERP が重複して惹起されるため、適切な分析が行えないためである。

考 察

本研究では、TP 下においても、自動的な反応を抑制する認知制御が駆動するのかどうかを検討した。さらに、認知制御システムが情報処理過程の下位過程である刺激評価過程、反応選択過程、反応実行過程に及ぼす影響、およびそれらに及ぼす TP 効果についても検討した。まず、NASA-TLX による主観的側面の評価において、TP の項目の得点が中 TP 条件よりも高 TP 条件で高かった。このことから、参加者は中

TP 課題よりも高 TP 課題においてより強く TP を感じており、TP の操作は妥当であったと言える。同時に、中 TP 課題よりも高 TP 課題において、知的・知覚的要求、フラストレーションといった他の精神的負荷（負担）もより強く感じていたことが示された。

サイモン効果についてみてみると、行動指標および生理指標のすべてにおいて、サイモン効果が観察された。つまり、RT、P300 潜時、刺激同期 LRP 潜時は、一致試行よりも不一致試行で短かった。反応同期 LRP 潜時は一致試行よりも不一致試行で短く、正答率は不一致試行よりも一致試行で高かった。これらの結果は、従来の研究と一致し、TP 下においてもサイモン効果が生じることを示している。

サイモン課題における系列効果に関しては、RT、正答率、P300 潜時において、直前の試行の影響がみられ、一致試行後ではサイモン効果がみられたものの、不一致試行後ではサイモン効果が消失した。刺激同期 LRP 潜時は一致試行後でも不一致試行後でもサイモン効果がみられ、そのサイモン効果の程度が不一致試行後よりも一致試行後で大きいという直前の試行の影響がみられた。RT や正答率に関しては、Stürmer et al. (2002) の結果と一致している。

Stürmer et al. (2002) のように、刺激同期 LRP では直前の試行が不一致試行である場合に、自動的な誤反応の活性化が消失することはなかったものの、直前の試行が一致試行である場合よりも誤反応振幅は小さかった。刺激の呈示位置から自動的に活性化された自動的反応が、直前に不一致試行を経験することで、Stürmer et al. (2002) ほど強くはないが、ある程度は抑制されたと考えられる。一方、反応同期 LRP ではこのような抑制現象はみられなかったことから、反応が選択されてから、実際に反応を実行する段階においては、自動的な反応の抑制は生じていないと考えられる。

刺激同期 LRP 潜時に関しては、本研究では不一致試行後でもサイモン効果がみられ、Stürmer et al. (2002) と異なる結果を得た。その理由として、不一致試行後の誤反応の活性化が挙げられる。Stürmer et al. (2002) では、不一致試行後の誤反応の活性化はほとんどみられず、現試行が一致試行の場合と不一致試行の場合の LRP 波形がほとんど重なっていた。それに対し、本研究では不一致試行後の不一致試行で誤反応の活性化がみられ、その分正反応の活性化が遅れ、一致試行よりも不一致試行の刺激同期 LRP 潜時が長くなり、サイモン効果が生じたと考えられる。

P300 におけるサイモン効果は、反応選択以前の知覚段階での干渉によると考えられている (Valle-Inclán,

1996)。本研究では、直前の試行が一致している時にはサイモン効果はみられたが、直前の試行が一致していない時にはサイモン効果が消失した。この P300 潜時における系列効果は新たに得られた知見であり、自動的な反応の抑制という認知制御は反応選択段階よりも早い段階から生じていると考えられる。サイモン課題における自動的な反応は刺激呈示時点から開始されると考えられるので、認知的制御の影響が P300 に反映される可能性はあるだろう。

次に、TP 効果についてみてみると、TP の増加に伴って RT が短くなった。この TP 効果は、制限時間を超過した試行を含めた分析でもみられたことから、制限時間の操作の結果として、分析した試行に RT の短い試行が多く含まれていたから生じた擬似的な効果ではなく、TP の増加により、参加者が意図的に早く反応しようとした結果であると考えられる。また、TP の増加に伴って正答率が低くなることと合わせて考えると、TP による速度と正確性のトレード・オフが生じていたと考えられる。RT と同様に、TP の増加に伴って P300 潜時および刺激同期 LRP 潜時が短くなった。このことから、サイモン課題における TP 効果は刺激評価過程および反応選択過程に及ぶことが示唆された。さらに、刺激同期 LRP 潜時におけるサイモン効果は、高 TP 条件よりも中 TP 条件で大きかった。この結果は、一致試行では TP 効果がみられなかったが（高 TP : 271.5 ms, 中 TP : 267.3 ms）、不一致試行では TP 効果がみられた（高 TP : 346.7 ms, 中 TP : 362.8 ms）ことが原因であった。すなわち、サイモン課題において、反応選択が困難な不一致試行のみで反応選択過程に TP の影響がみられ、TP が情報処理過程に及ぼす影響は課題の難易度などの状況によって異なることを示した白石・宮谷 (2005) を支持する結果が得られた。

本研究の TP は制限時間の違いによって操作し、高 TP および中 TP の両条件において、参加者は TP を感じる設定となっていた。TP を感じている状況において、行動指標および生理指標、特に刺激同期 LRP 誤反応振幅にサイモン課題における系列効果がみられたことから、TP 下でも自動的な反応を抑制する認知制御システムが駆動することが明らかとなった。いずれの指標においても系列効果は TP の程度（高 TP vs. 中 TP）によって変調しなかった。しかし、TP の無い Stürmer et al. (2002) では不一致試行後に誤反応がほぼ完全に抑制された一方、TP 下の本研究では不一致試行後に誤反応は抑制されても、自動的な誤反応が活性化しないわけではないことが示された。このことから、TP の有無（本研究 vs. Stürmer et al. (2002)）

によって認知制御の強さが変化する可能性が示唆された。本研究では自動的な反応を抑制する認知制御は、活性化した反応をすぐに出力せずに、反応のチェックを行い適切な反応を出力するメカニズムが駆動するため、反応が遅くなる。一方、TPに適応するための参加者の方略の1つに、選択した反応の再チェックをスキップもしくは縮小するという方略がある(Rinkenauer, Osman, Ulrich, Müller-Gethmann, & Mattes, 2004)。これは自動的な反応の抑制とは逆の制御であるため、TP下で認知制御が駆動しても、TPによってその制御の効果が弱められてしまったと推測できる。

しかし、本研究と Stürmer et al. (2002) は課題や LRP 潜時の分析方法が異なる上、上述の両研究の比較は統計的分析に基づいたものではないので、今後の課題として TP の有無によって、サイモン課題における系列効果が変化するのかどうかを検討する必要があるだろう。本研究の限界点として、ERP の加算回数を確保するために、系列効果に影響を及ぼすと考えられているエラー後の行動制御の影響 (Gehring, Goss, Coles, Meyer, & Donchin, 1993) や、刺激反復による促進効果 (Mayr, Awh, & Laurey, 2003) を除去していない点が挙げられる。また、左右に刺激呈示した標準的なサイモン課題中の LRP の誤反応振幅が、後頭部の N180や N270といった左右の刺激呈示位置に関連して惹起される ERP 成分に影響される (Valle-Inclán, 1996) ため、近年は上下に刺激を呈示するサイモン課題が採用されている (Stürmer et al., 2002)。これらの点を克服した上で、サイモン課題における系列効果に及ぼす TP の影響を検討することによって、認知制御のメカニズムについて理解が深まるだけでなく、TP下での方略やエラーが増加するメカニズムを捉えることが可能になるだろう。

【引用文献】

- Coles, M.G.H. (1989). Modern mind-brain reading: Psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology*, *26*, 251-269.
- De Jong, R., Liang, C.-C., & Lauber, E. (1994). Conditional and unconditional automaticity: A dual process model of effects of spatial stimulus-response correspondence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*, 731-750.
- Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., & Donchin, E. (1993). A neural system for error detection and compensation. *Psychological Science*, *4*, 385-390.
- 芳賀 繁・水上直樹 (1996) . 日本語版 NASA-TLX によるワークロード測定：各種室内実験課題に対するワークロード得点の感度 人間工学, *32*, 71-79.
- Kornblum, S., Hasbroucq, T., & Osman, A. (1990). Dimensional overlap: Cognitive basis for stimulus-response compatibility - A model and taxonomy. *Psychological Review*, *97*, 253-370.
- Kutas, M., McCarthy, G., & Donchin, E. (1977). Augmenting mental chronometry: The P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science*, *197*, 792-795.
- Lu, C.-H., & Proctor, R. W. (1995). The influence of irrelevant location information on performance: A review of the Simon and spatial Stroop effects. *Psychonomic Bulletin & Review*, *2*, 174-207.
- Mayr, U., Awh, E., & Laurey, P. (2003). Conflict adaptation effects in the absence of executive control. *Nature Neuroscience*, *6*, 450-452.
- Osman, A., & Moore, C. M. (1993). The locus of dual-task interference: Psychological refractory effects on movement-related brain potentials. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *19*, 1292-1312.
- Ridderinkhof, K., Ullsperger, M., Crone, E. A., & Nieuwenhuis, S. (2004). The role of the medial frontal cortex in cognitive control. *Science*, *306*, 443-447.
- Rinkenauer, G., Osman, A., Ulrich, R., Müller-Gethmann, H., & Mattes, S. (2004). On the locus of speed-accuracy trade-off in reaction time: Inferences from lateralized readiness potential. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*, 261-282.
- 白石舞衣子・宮谷真人 (2005). タイムプレッシャーが弁別難易度の異なる弁別反応時の P300と LRP に及ぼす影響 生理心理学と精神生理学, *23*, 227-236.
- Simon, J.R. (1990). The effects of an irrelevant directional cue on human information processing. In R. W. Proctor & T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus-response compatibility: An integrated perspective* (pp.31-86). Amsterdam: Elsevier.
- Stürmer, B., Leuthold, H., Soetens, E., Schröter, & 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.

Ulrich, R. & Miller, J. (2001). Using the jackknife-based scoring method for measuring LRP onset effects in factorial designs. *Psychophysiology*, **38**, 816-827.

Valle-Inclán, F. (1996). The locus of interference in the Simon effect: An ERP study. *Biological Psychology*, **43**, 147-162.