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¹⁾

広島大学大学院教育学研究科
白石 舞衣子・宮谷 真人

The effects of time pressure and discriminability on P300 and lateralized readiness potential

Maiko SHIRAISHI and Makoto MIYATANI
Department of psychology, Graduate School of
Education, Hiroshima University, 1-1-1, Kagamiyama
Higashi-Hiroshima 739-8524, Japan

The effects of time pressure (TP) on stimulus evaluation and reaction preparation processes were investigated using P300 and the lateralized readiness potential (LRP). Event-related potentials (ERPs) of participants performing visual and auditory discrimination tasks were recorded. TP was manipulated by using moderate or severe response time limits. TP effects on the P300 and LRP latency were compared between two levels of discriminability, which was manipulated by stimulus intensity. Results indicated that P300 latency was reduced by severe TP only when discrimination was difficult. LRP latency was affected by TP regardless of stimulus intensity. These results suggest that the durations of both stimulus evaluation process and reaction preparation process were reduced by TP. (*Japanese Journal of Physiological Psychology and Psychophysiology*, 23(3) : 227-236, 2005.)

Key words: time pressure, P300, lateralized readiness potential

2005.4.11 受稿, 2005.12.27 受理

1) 本研究は科学研究費補助金 (B14310042) により実施した.

【要 約】 本研究ではタイムプレッシャー(以下 TP)が刺激評価過程や反応準備過程に及ぼす影響について、P300 と LRP を指標として検討した。視覚および聴覚刺激を用いた弁別課題を遂行中の参加者から ERP を記録した。TP は反応に許される制限時間の長さで操作し、P300 と LRP の潜時に及ぼす TP の効果を弁別の難易度が異なる 2 つの条件間で比較した。弁別の難易度は刺激強度によって操作した。P300 の潜時は弁別が困難な条件でのみ、TP の影響を受けて短縮した。LRP の潜時は刺激強度にかかわらず TP の影響を受けた。これらの結果は、刺激評価過程と反応準備過程の両方が、TP によって短縮されることを示唆する。

人間は、時間的制約を受けながら何か作業をしたり、意思決定したり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。TP が意思決定などの認知過程に影響を及ぼすことが報告されている。例えば、Orasanu & Connolly (1993) は TP により意思決定者は強いストレスを感じ、疲弊し、注意を欠き、より単純な推論方略を用いて思考するようになることを指摘した。また Sharma & McKenna (2001) は、感情ストループ効果、すなわち単語の色をキー押しで選択する課題の反応時間が中性語に比べて感情語に対して遅延する効果が、TP によって増大することを報告している。災害時での行動選択や遅刻しそうな時の車の運転のように、判断にスピードが求められるような状況では、通常では起こりにくいエラーが生じることがある。このような状況下では、エラーが致命的になる可能性が高いとされる。TP 下の認知活動は、多くの専門的職業においては慢性的な状態であると考えられており (Edland & Svenson, 1993)、TP が認知活動に及ぼす影響の詳細について検討する必要があると考えられる。

人間の意思決定を支える情報処理過程には、刺激入力から運動反応出力までの情報処理の流れがあるとされ、認知(刺激評価)系と反応(運動出力)系に大別される。TP はストレスラーとしてこの情報処理過程に影響を及ぼすと考えられている (Wickens & Hollands, 1999) が、どのような状況で、どの過程に、どのように影響を与えるのかについては十分に検討されていない。認知系と反応系への影響を区別して検討することによって、TP の影響の機序を理解でき、TP のようなストレスラーによるヒューマン・エラーの原因となる情報処理過程を解明できると考えられる。

認知系の過程と反応系の過程への TP の影響を区

別して評価するための有効な手段として、事象関連電位 (event-related potentials: ERP) が挙げられる。P300 は認知系の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)。また、偏側性準備電位 (lateralized readiness potential: LRP) は、反応系の過程である運動の活性化開始(反応準備)を反映していると考えられている (Coles, 1989)。

Falkenstein, Hohnsbein, & Hoormann (1994b) は、簡単な弁別反応課題での刺激評価時間に及ぼす TP の効果について、P300 を指標として検討している。彼らは単純反応課題でみられる P300 や選択反応課題でみられる二峰性の P300 の 1 番目のコンポーネントを P-SR(刺激評価を反映)とし、選択反応課題でのみみられる二峰性の P300 の 2 番目のコンポーネントを P-CR(刺激-反応のマッピングを反映)と区別して TP の影響を調べた。P-CR は直接観察することができない場合があるため、選択反応課題の波形から単純反応課題の波形を引いた差波形によって推測される。その結果、TP によって P-SR 潜時は変化しないが、P-CR 潜時は短縮したため、刺激と反応をマッピングする過程は TP によって加速すると考えられている。また、Van der Lubbe, Jaśkowski, Wauschkuhn, & Verleger(2001) は、刺激-反応マッピングが複雑なサイモン課題での TP の効果について、反応準備過程を反映する LRP を指標として検討している。刺激に同期した 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とされている (Osman & Moore, 1993)。その結果、反応に同期した LRP 潜時が短縮し、TP によって反応準備から反応実行までにかかる時間が短縮すると報告している。

これらの研究から、現在のところ、TP が反応準備過程に影響を及ぼすことが明らかとなっている。一方、TP が刺激評価過程に影響するという報告は

ない。しかし、本当に TP は刺激評価過程に影響を及ぼさないのだろうか。Maule & Edland(1997)によると、TP 下の意思決定では、情報処理の速度やテンポを上げる、より選択的に処理する、優先させる情報処理を変える、意思決定ルールを変更する、といった適応方略が変化すると考えられており、状況によっては TP が刺激評価過程にも影響しうると推測される。Falkenstein et al. (1994b) は刺激評価の易しい刺激を用いており、刺激評価に時間を費やさなくてもよい課題であったために、TP の影響が小さく、刺激評価過程には TP の影響がみられないという結果が生じた可能性がある。TP が刺激評価過程に全く影響を及ぼさないのか、状況によっては影響するのを確認するために、より刺激評価が困難な事態での検討が必要であると考えられる。

そこで本研究では、刺激強度を低下させることによって知覚的符号化を難しくした条件を含む弁別課題を用いて、TP が反応選択の下位過程である刺激評価過程にどのように影響を及ぼすのかについて P300 を指標として検討した。また、すでに報告されている反応準備過程に及ぼす TP の効果が、刺激評価の難易度によって影響を受けるかどうかについて調べた。

方 法

参加者 視力(矯正視力を含む)、聴力の正常な右手利き成人 12 名(男性 5 名, 21 – 33 歳)が実験に参加した。その内、全条件で 20 回以上の加算回数が得られた 9 名のデータを分析対象とした。

刺激 モダリティと評価の難易度、文字の種類を組み合わせた 8 種類の刺激を用いた。視覚刺激(0.2 × 0.5° の“F”と“J”, 観察距離 75 cm)は 26.3 cd/m²(易刺激)および 4.5 cd/m²(難刺激)の灰色の文字であり、背景 2.2 cd/m²の液晶モニターに呈示した。聴覚刺激として、75 dB SPL(易刺激)および 55 dB SPL(難刺激)のデジタル音声(“F”と“J”)を参加者前方のスピーカーから呈示した。これらの刺激の強さは、Verleger, Neukäter, Kömpf, & Vieregge (1991)と Sugg & Polich(1995)に近似した値に設定した。8 種類の刺激をランダムな順序で 200 試行(25 × 8 刺激)連続して呈示した。刺激の呈示時間は視覚刺激が 300 ms、聴覚刺激が 290 ms であった。刺激間隔(onset –

onset 間隔)は、1050 – 2550 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 つの選択反応課題を実施した。参加者は単純反応課題では 8 種類の刺激すべてに対し、右のキーを押して反応した。選択反応課題では視覚および聴覚刺激の“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。制限時間を単純反応課題と高 TP 選択反応課題では 400 ms、中 TP 選択反応課題では 550 ms とし、その時間内に反応するよう参加者に教示した。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 各課題を 4 ブロックずつ(1 ブロック 200 試行)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。同一課題の 4 ブロック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・塩化銀電極を用い、Fz, Cz, C3, C4, Pz, Oz から脳波を、左眼窩上下から垂直眼電図を導出した。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 k Ω 以下であった。脳波と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 1000 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 – 30 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、制限時間よりも反応時間が長い試行、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、刺激(視覚・易、視覚・難、聴覚・易、聴覚・難)と課題(単純反応、高 TP、中 TP)を組み合わせた 12 条件別に加算平均した。各条件の加算回数が 20 回に満たなかった参加者のデータは関連する分析から除外し、9 名のデータを分析対象とした。さらに、各条件において選択反応課題から単純反応課題の波形を引いた差波形を算出した。また、C3 および C4 の波形から、反応に同期

した LRP を算出した。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。

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、TP の項目において、中 TP 条件よりも高 TP 条件で得点が有意に高かった ($t(8) = 3.09$, $p < .05$)。

行動測定 各条件の平均反応時間および制限時間を超えた試行の割合を Table 1 に示す。単純反応課題における反応時間について、モダリティ (聴覚, 視覚) × 刺激強度 (易刺激, 難刺激) の 2 要因分散分析を行ったところ、モダリティの主効果 ($F(1, 8) = 123.63$, $p < .0001$), 刺激強度の主効果 ($F(1, 8) = 410.3$, $p < .0001$), モダリティ × 刺激強度の交互作用 ($F(1, 8) = 33.06$, $p < .001$) が有意であった。反応時間は聴覚刺激よりも視覚刺激に対して、易刺激よりも難刺激に対して長かった。また、難刺激に対する反応時間の遅延は視覚条件よりも聴覚条件で大きかった。

選択反応課題における反応時間について、TP (高 TP,

中 TP) × モダリティ × 刺激強度の 3 要因分散分析を行ったところ、TP の主効果 ($F(1, 8) = 250.99$, $p < .0001$), モダリティの主効果 ($F(1, 8) = 51.72$, $p < .0001$), 刺激強度の主効果 ($F(1, 8) = 301.65$, $p < .0001$), TP × 刺激強度の交互作用 ($F(1, 8) = 34.18$, $p < .001$) が有意であった。高 TP 条件よりも中 TP 条件で、聴覚刺激よりも視覚刺激に対して、刺激強度が大きく弁別が易しい条件よりも難しい条件で、反応時間が長かった。TP による反応時間の短縮 (TP 効果) は、弁別が易しい条件よりも難しい条件で大きかった。

反応時間にみられる TP 効果が、制限時間 (高 TP 条件: 400 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 要因分散分析を行ったところ、制限時間超の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 ($F(1, 8) = 59.12$, $p < .0001$), モダリティの主効果 ($F(1, 8) = 42.92$, $p < .001$), 刺激強度の主効果 ($F(1, 8) = 470.62$, $p < .0001$), TP × モダリティの交互作用 ($F(1, 8) = 8.32$, $p < .05$), TP × 刺激強度の交互作用 ($F(1, 8) = 9.63$, $p < .05$) が有意であった。制限時間内の反応時間の分析では得られなかった TP × モダリティの交互作用に関して下位検定を行った結果、TP 効果は視覚条件よりも聴覚条件で大きかった。

選択反応課題における各条件の正答率 (制限時間

Table 1. Mean reaction times, accuracies, P300 latencies, P300 amplitudes, P-CR latencies, LRP latencies and proportion of trials over time limits for each stimulus in each task with standard deviations in parentheses

	Choice reaction under severe TP				Choice reaction under moderate TP				Simple reaction			
	auditory		visual		auditory		visual		auditory		visual	
	easy	difficult	easy	difficult	easy	difficult	easy	difficult	easy	difficult	easy	difficult
RT (ms)	285.3 (13.8)	319.7 (6.8)	329.8 (11.4)	355.7 (9.5)	357.8 (29.0)	414.1 (15.7)	396.1 (16.6)	442.9 (20.2)	221.9 (25.0)	280.8 (18.4)	284.5 (12.8)	327.2 (11.4)
Accuracy (%)	77.2 (11.3)	76.4 (10.7)	72.2 (7.8)	66.5 (5.4)	89.3 (4.6)	87.4 (6.2)	85.1 (6.4)	81.3 (7.5)				
P300 latency (ms)	357.1 (63.8)	408.0 (55.8)	401.7 (29.6)	441.4 (30.1)	358.7 (65.0)	482.6 (71.8)	424.1 (22.7)	505.9 (47.6)	333.0 (35.0)	371.9 (47.0)	364.0 (30.3)	414.3 (31.9)
P300 amplitude (μV)	9.0 (2.9)	8.2 (2.3)	13.4 (3.4)	14.7 (4.0)	8.5 (3.3)	8.0 (2.8)	12.9 (2.9)	13.0 (2.5)	5.9 (4.3)	5.2 (2.7)	10.9 (5.1)	11.4 (5.4)
P-CR latency (ms)	418.8 (51.0)	465.3 (68.0)	466.3 (69.7)	486.9 (85.2)	431.4 (63.7)	509.4 (40.4)	500.7 (42.2)	551.1 (59.5)				
LRP latency (ms)	-57.6 (17.5)	-67.0 (10.3)	-56.4 (15.2)	-59.6 (23.9)	-77.3 (16.7)	-84.4 (17.6)	-69.8 (16.5)	-72.8 (18.2)				
Proportion of trials over time limits (%)	12.1 (9.8)	30.3 (15.7)	21.2 (13.1)	48.3 (13.4)	6.1 (5.3)	15.1 (9.0)	3.8 (3.1)	19.3 (10.1)	2.4 (1.3)	10.3 (6.3)	7.1 (2.9)	30.2 (8.8)

内の反応数に対する正答の割合)を Table 1 に示す。TP × モダリティ × 刺激強度の 3 要因分散分析を行ったところ、TP の主効果 ($F(1, 8) = 43.55, p < .0001$)、モダリティの主効果 ($F(1, 8) = 10.63, p < .05$)、刺激強度の主効果 ($F(1, 8) = 23.06, p < .001$) が有意であった。中 TP 条件よりも高 TP 条件で、聴覚条件よりも視覚条件で、刺激強度が大きく弁別が易しい条件よりも難しい条件で、正答率が低かった。なお、単純反応課題の正答率(制限時間内の反応)については、聴覚・易刺激に対する正答率が非常に高く、条件間で *SD* の大きさが大きく異なっていたので、統計的検定は行わなかった。モダリティと刺激強度の効果の現れ方は、選択反応課題と同様であった。

ERP Figure 1 に、異なる課題で得られた 3 波形(Pz)を重ね書きして、刺激条件別に示した。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、その潜時と振幅を条件別に測定した (Table 1)。単純反応課題における P300 潜時

についてモダリティ × 刺激強度の 2 要因分散分析を行ったところ、モダリティの主効果 ($F(1, 8) = 9.18, p < .05$) と刺激強度の主効果 ($F(1, 8) = 64.97, p < .0001$) が有意であった。聴覚刺激よりも視覚刺激に対する P300 潜時が長く、易刺激よりも難刺激に対する P300 潜時が長かった。P300 振幅について同様の分析を行った結果、モダリティの主効果 ($F(1, 8) = 35.24, p < .001$) のみが有意で、視覚刺激に対する P300 が聴覚刺激に対する P300 より高振幅であった。

選択反応課題における P300 潜時について TP × モダリティ × 刺激強度の 3 要因分散分析を行ったところ、TP の主効果 ($F(1, 8) = 62.15, p < .0001$)、モダリティの主効果 ($F(1, 8) = 7.24, p < .05$)、刺激強度の主効果 ($F(1, 8) = 88.20, p < .0001$)、TP × 刺激強度の交互作用 ($F(1, 8) = 34.51, p < .001$) が有意であった。聴覚刺激よりも視覚刺激に対して、弁別が易しい条件よりも難しい条件で、P300 潜時が長かった。また、弁別が難しい条件でのみ、高 TP 条件よりも中 TP 条件で P300 潜時が長かった。なお、P300 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 の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

Figure 1. Grand average of ERPs at Pz plotted with overlapping waveforms for the simple reaction, severe TP, and moderate TP conditions. Waveforms for the easy stimuli and difficult stimuli are shown at the top and bottom, and waveforms for auditory stimuli and visual stimuli are shown at left and right.

Figure 2. Grand average of the waveshapes for the difference between the ERPs of choice and simple reactions at Pz plotted with overlapping waveforms for the severe TP and moderate TP conditions. Waveforms for the easy stimuli and difficult stimuli are shown at the top and bottom, and waveforms for auditory stimuli and visual stimuli are shown at left and right.

Figure 3. Grand average of the response locked LRPs plotted with overlapping waveforms for the severe TP and moderate TP conditions. Waveforms for the easy stimuli and difficult stimuli are shown at the top and bottom, and waveforms for auditory stimuli and visual stimuli are shown at left and right.

るため、適切な分析が行えないためである。

P300 振幅について同様の分析を行ったところ、TP の主効果 ($F(1, 8) = 9.70, p < .05$)、モダリティの主効果 ($F(1, 8) = 54.01, p < .0001$)、モダリティ×刺激強度の交互作用 ($F(1, 8) = 6.98, p < .05$) が有意であった。中 TP 条件よりも高 TP 条件で、聴覚条件よりも視覚条件で、P300 振幅が大きかった。モダリティによる P300 振幅の差は、刺激強度が大きく弁別が易しい条件よりも難しい条件で大きかった。

高 TP 選択反応課題および中 TP 選択反応課題から単純反応課題を引いた差波形 (Pz) を重ね書きして、刺激別に Figure 2 示す。Falkenstein et al. (1994b) にならって、刺激後 300 – 700 ms 区間で最大の陽性電位を示した点を P-CR 頂点とし、その潜時を条件別に測定した (Table 1)。P-CR 潜時について TP×モダリティ×刺激強度の 3 要因分散分析を行ったところ、TP の主効果 ($F(1, 8) = 8.85, p < .05$)、モダリティの主効果 ($F(1, 8) = 8.90, p < .05$)、刺激強度の主効果 ($F(1, 8) = 51.72, p < .0001$) が有意であった。高 TP 条件よりも中 TP 条件で、聴覚刺激よりも視覚刺激に対して、弁別が易しい条件よりも難しい条件で、P-CR 潜時が長かった。

反応に同期して算出した選択反応課題時の LRP の総加算平均波形を刺激別に Figure 3 に示す。陰性電位の最大振幅の 1/2 に達した最初の時点と反応同期 LRP 潜時とし、条件別に測定した。TP×モダリティ×刺激強度の 3 要因分散分析を行ったところ、TP の主効果 ($F(1, 8) = 14.32, p < .01$) と刺激強度の主効果 ($F(1, 8) = 8.63, p < .05$) が有意であった。中 TP 条件よりも高 TP 条件で、弁別が難しい条件よりも易しい条件で、反応同期 LRP 潜時とキー押し反応との時間間隔が短かった。

考 察

本研究は、刺激評価の難易度によって、TP が P300 に及ぼす影響が異なるかどうかを調べる目的で行った。参加者が実際に TP を感じていたかを確認したところ、NASA – TLX による主観的測定において、TP の項目得点のみが中 TP 条件よりも高 TP 条件で高くなっていた。このことから、参加者は中 TP 条件よりも高 TP 条件でより強く TP を感じており、TP の操作は妥当であったといえる。

単純反応課題においても選択反応課題においても、刺激強度が大きい刺激よりも小さい刺激に対して反応時間と P300 潜時が長くなっている。聴覚刺激については、Sugg & Polich (1995) の、視覚刺激については、Verleger et al. (1991) の刺激強度の低下によって知覚的符号化が難しくなり、P300 潜時が増加するという報告と一致している。さらに視覚刺激のほうが聴覚刺激よりも反応時間が長いという Falkenstein et al. (1994b) と同様のモダリティ効果が認められている。これらのことから、実験で用いた刺激とその強度の操作は、従来の研究結果と本実験の結果を比較する上で適切であったと考えられる。

選択反応課題において、Falkenstein et al. (1994b) と同様に、TP の増加に伴って反応時間が短くなった。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、分析した試行に反応時間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 の増大により、参加者が意図的に速く反応しようとした結果であると考えられる。

P300 潜時に関しては、反応時間と異なり、Falkenstein et al. (1994b) と本実験の結果は一致していない。本実験の易条件においては、彼らの結果 (P-SR) と同様、P300 潜時は TP の影響を受けなかった。しかし、難条件では、TP による P300 潜時の短縮が観察された。Falkenstein et al. (1994b) は、P300 を構成する 2 つの下位成分を区別し、刺激評価を反映する P-SR は TP の影響を受けず、反応選択過程を反映する P-CR が TP によって短縮すると主張している。それに対し、本実験の知覚的符号化が難しい条件においては TP によって P300 潜時が短縮した。Falkenstein et al. (1994b) の主張が正しく、しかも本実験で観察された P300 が P-CR に相当するものであれば、その潜時の短縮が刺激評価過程への TP の影響を反映すると結論することはできない。しかし、本実験の P300 は、Falkenstein et al. (1994b) のいう P-CR であるとは考えにくい。その理由の第 1 は、P300 潜時および P-CR 潜時、LRP 潜時に及ぼす TP の影響の違いである。本実験でも Falkenstein et al. (1994b) と同様の方法で同定した P-CR 潜時は、TP の増加に伴って短縮した。P-CR 潜時に関する TP×刺激強度の交互作用は得られず、P-CR 潜時に対す

る TP 効果は刺激強度によって変化しなかった。LRP 潜時についても P-CR 潜時と同様であった。一方、反応時間および P300 潜時に対する TP 効果は刺激強度によって変化した。このように、P300 潜時と P-CR および LRP 潜時に対する TP の影響の仕方は同じでなく、本研究における P300 と Falkenstein et al. (1994b) の P-CR が同じ過程を反映しているとは考えにくい。

理由の第 2 は、P300 振幅に及ぼす TP の影響である。Falkenstein et al. (1994b) では、中 TP 条件よりも高 TP 条件で P300 振幅が大きくなっており、この効果は、P-SR と P-CR の 2 つのコンポーネントの重複が中 TP よりも高 TP で大きいために生じたと考えられている。P-CR と同等のコンポーネントである P4 について検討した Christensen, Ivkovich, & Drake (2001) では、P4 は正確性を強調した教示下で、刺激の示すサイドと反応する手のサイドが異なる条件下、すなわち反応時間が遅い試行でのみ P4 が観察されており、TP の増大による P-SR と P-CR の重複を示唆する結果であるといえる。本実験でも、中 TP 条件よりも高 TP 条件で P300 振幅が大きいという結果は再現された。もしもこれが P-SR と P-CR の重複によってもたらされたものであれば、P300 振幅上の TP 効果は、刺激評価が難しい条件で大きいはずである。なぜならば、反応時間の分析で、TP による反応時間の短縮は、評価が易しい条件よりも難しい条件で大きかった (TP × 刺激強度の交互作用) からである。Table 1 を見ると、視覚刺激に対する P300 振幅では、易条件 ($13.4-12.9=0.5 \mu V$) に比べて難条件で ($14.7-13.0=1.7 \mu V$) TP 効果が大きい。聴覚条件 (易条件: $1.5 \mu V$, 難条件: $0.2 \mu V$) では、その逆の結果となっている。また、統計的にも P300 振幅に関して TP × 刺激強度の有意な交互作用は得られていない。したがって、TP による P300 潜時の変化を、P-CR のみの潜時変化で説明するのは適切でないと考えられる。

本実験の P300 変化を P-CR の変化であると考えにくい理由の第 3 は、TP が RT に及ぼす効果と P300 潜時に及ぼす効果の大きさの比である。Verleger (1997) は、独立変数の操作による RT の変化量に対する P300 潜時の変化量の比 (P300/RT 比) を指標として、RT を変化させる変数に対する P300 潜時の

感度を比較した。その結果、P300 潜時が刺激評価過程を反映すると仮定 (例えば、Kutas et al., 1977) した場合は、刺激評価過程への影響が想定される独立変数 (刺激の劣化など) に対する P300/RT 比は、フランク・課題など反応過程への影響が強い課題で得られる P300/RT 比よりも大きくなるはずであると考えた。しかし、実際の研究報告に基づいて計算された P300/RT 比は必ずしもそのようにならないことから、P300 潜時が刺激評価過程を反映するという仮定の妥当性を否定している。Verleger (1997) は、P300 潜時の変化をもたらす要因として、刺激同定過程と刺激同定後の過程を挙げている。そして、前者が変化した場合には P300/RT 比は大きい (67% 以上) が、前者が変化せずに後者のみが変わった場合には、P300/RT 比は中程度 (33-67%) 以下になり、反応時間が長くなるほどその比は小さくなるというモデルを提案している。Table 1 から TP 効果に関する P300/RT 比を計算すると、視覚・易条件では 33.8% ($[424.1-401.7]/[396.1-329.8]$)、視覚・難条件では 74.0% ($[505.9-441.4]/[442.9-355.7]$) となる。つまり、反応時間が長い条件で大きな P300/RT 比が得られたことになり、Verleger (1997) のモデルによって説明できない。したがって、本実験の TP による P300 潜時の変化が刺激同定後の過程を反映すると考える根拠は薄いといえる。

これらを総合的に考慮すると、本実験で観察された TP による P300 潜時の短縮は、刺激評価過程の短縮を反映すると考えられる。つまり、従来は、TP によって刺激評価過程は影響されないと考えられてきたが、本実験のように知覚的符号化が困難で刺激評価が難しい状況では、TP によって P300 潜時が短縮し、TP の影響が刺激評価過程にも及ぶという新しい知見が得られたといえる。Falkenstein et al. (1994b) では、知覚的符号化が容易な条件設定であったため、このような TP 効果が現れなかったと考えられる。課題遂行に最も関連した処理過程に対する課題要求が増すと、TP の影響が顕著に現れる可能性が示唆される。

TP の増大による刺激評価過程の短縮の原因としては、刺激の処理速度そのものの増加と、刺激評価が十分に行われる前に途中で反応が行われた可能性との 2 つが考えられる。Table 1 を見ると、TP の増

加に伴い、速度－正確性のトレード・オフが生じている。すなわち、反応時間が短くなると同時に、正答率も低下した。このトレード・オフは、刺激強度に関しては認められず、TP 効果に固有のものであると考えられる。選択反応課題を行う際の情報処理過程については、刺激評価過程と反応準備過程は直列的ではなく、並列的であるとされる(松岡, 1997)。本実験では、刺激の処理速度を推測できないため、処理速度の増加の有無に関して結論づけることはできないが、もう1つの可能性である刺激評価途中での反応は生じていたと考えられる。高 TP 下では十分な時間がないために、刺激評価が十分に行われないうまま反応選択が行われた結果、正答率が低下したと考えることができる。

なお、Falkenstein et al. (1994b) のように P300 を P-SR および P-CR の下位コンポーネントに分解することについては、以下のような問題があると考えられる。まず、参加者別の波形についても、総加算平均波形についても、二峰性の P300 が直接観察できない場合が多く、P-SR と P-CR を完全に区別して同定することが困難である点が挙げられる。次に、選択反応課題の EPP 波形から単純反応課題の ERP 波形を引き算し、P-CR を推定する方法に関して、選択反応と単純反応では課題の質が明らかに異なり、それらを引き算して得られた波形が何を反映するのかわかり不明である。さらに、P-SR や P-CR が反映する心理過程についても疑問がある。Falkenstein et al. (1994b) は P-SR は刺激評価(同定)を反映し、P-CR は認知的な反応選択(特定の刺激に対して、特定の反応を割り当てる)を反映していると主張している。また、RT よりも P-CR 潜時が長いことから、P-CR は反応選択自体ではなく、反応選択の終了あるいは選択反応後の正確性のチェック(の終了)と関連しているかもしれないとも述べている(Falkenstein, Hohnsbein, & Hoormann, 1994a)。それに対し、P300/P-CR は反応選択ではなく、刺激の分類を反映している(Dien, Spencer, & Donchin, 2004)という主張もあり、P300 を構成する成分やそれぞれが反映する心理過程については議論も多く、さらに検討が必要である。

反応同期 LRP 潜時の結果から、反応準備開始から反応実行までにかかる時間は、中 TP 条件よりも

高 TP 条件で短くなっていたことが推測でき、本実験でも Van der Lubbe et al. (2001) と同様、TP の増加に伴って反応準備過程が短縮していたことが示唆された。また、反応準備開始から反応実行までにかかる時間は、刺激強度が大きく弁別が易しい条件よりも難しい条件で長くなっていたことから、知覚的符号化の困難性による遅延の影響が反応準備過程にも及んでいると考えられる。一方、Miller, Ulrich, & Rinkenauer(1999) は、刺激強度は知覚過程後の反応準備過程を反映する反応同期 LRP には影響しないと報告しており、本実験の結果とは異なる。LRP を指標として、速度－正確性のトレード・オフが生じる過程を探索した Rinkenauer, Osman, Ulrich, Müller-Gethmann, & Mattes(2004) によれば、トレード・オフは知覚符号化段階すなわち、刺激評価過程で生じているだけでなく、反応準備過程でも生じており、参加者はスピードストレス(本研究での TP) に適応するために、推測によって反応する、情報を蓄積し反応を実行するための決定基準をコントロールする、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など、いくつかの方略を用いていると考えられている。本実験と Rinkenauer et al. (2004) の参加者が主観的に感じる TP が異なっていたとすれば、課題遂行のために用いられる方略も異なっていた可能性が高い。本実験のように選択反応が困難な事態下では、参加者は複数の方略を用いて TP に適応しようとしたため、刺激評価過程においても反応準備過程においても TP の影響がみられたと推測される。

本実験は、知覚的符号化の困難さにより刺激評価が難しい事態下では、TP が刺激評価過程に影響を及ぼし、刺激評価にかかる時間が短縮することを示すことができた。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が示されたと言える。ストレス者としての TP が認知的行動を支える過程に及ぼす影響について、系統的に検討していく必要があると考えられる。さらに、本研究でみられた処理の困難性と TP の影響の関連性が、刺激評価過程以外の処理過程についてもあてはまるのかどうかを検討することは、TP の影響のメカニズムを知る上で重要であると考えられる。

引用文献

- Christensen, C. A., Ivkovich, D., & Drake, K. J. 2001 Late positive ERP peaks observed in stimulus-response compatibility tasks tested under speed-accuracy instructions. *Psychophysiology*, **38**, 404-416.
- Coles, M. G. H. 1989 Modern mind-brain reading: Psychophysiology, physiology, and cognition. *Psychophysiology*, **26**, 251-269.
- Dien, J., Spencer, K. M., & Donchin, E. 2004 Parsing the late positive complex: Mental chronometry and the ERP components that inhabit the neighborhood of the P300. *Psychophysiology*, **41**, 665-678.
- Edland, A., & Svenson, O. 1993 Judgment and decision making under time pressure: Studies and findings. In O. Svenson & A. J. Maule (Eds.), *Time pressure and stress in human judgment and decision making*. New York, NY, US: Plenum Press. pp. 27-40.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., & Hoormann, J. 1994a Effects of choice complexity on different subcomponents of the late positive complex of the event-related potential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **92**, 148-160.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., & Hoormann, J. 1994b Time pressure effects on late components of the event-related potential (ERP). *Journal of Psychophysiology*, **8**, 22-30.
- 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.
- Kutas, M., McCarthy, G., & Donchin, E. 1977 Augmenting mental chronometry: The P300 as a measure of stimulus evaluation time. *Science*, **197**, 792-795.
- 松岡洋夫 1997 刺激弁別と事象関連電位 丹羽真一・鶴 紀子 (編) 事象関連電位 新興医学出版社 pp. 51-64.
- Maule, A. J., & Edland, A. C. 1997 The effects of time pressure on human judgement and decision making. In R. Ranyard, W. R. Crozier, & O. Svenson (Eds.), *Decision making: cognitive models and explanation*. London: Routledge & Kegan Paul, pp. 189-204.
- Miller, J., Ulrich, R., & Rinkenauer, G. 1999 Effects of Stimulus intensity on the lateralized readiness potential. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **25**, 1454-1471.
- Orasanu, J., & Connolly, T. 1993 The reinvention of decision making. In G. A. Kein, J. Orasanu, R. Calderwood, & C. E. Zsombok (Eds.), *Decision making in action: Models and methods*. Norwood, NJ: Ablex, pp. 3-20.
- 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.
- 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 the lateralized readiness potential. *Journal of Experimental Psychology: General*, **133**, 261-282.
- Sharma, D., & McKenna, F. P. 2001 The role of time pressure on emotional Stroop task. *British Journal of Psychology*, **92**, 471-481.
- Sugg, M. J., & Polich, J. 1995 P300 from auditory stimuli: Intensity and frequency effects. *Biological Psychology*, **41**, 255-269.
- Van der Lubbe, R. H. J., Jaśkowski, P., Wauschkuhn, B., & Verleger, R. 2001 Influence of time pressure in a simple response task, a choice-by-location task, and the Simon task. *Journal of Psychophysiology*, **15**, 241-255.
- Verleger, R. 1997 On the utility of P3 latency as an index of mental chronometry. *Psychophysiology*, **34**, 131-156.
- Verleger, R., Neukäter, W., Kömpf, D., & Vieregge, P. 1991 On the reasons for the delay of P3 latency in healthy elderly subjects. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, **79**, 488-502.
- Wickens, C. D., & Hollands, J. G. 1999 Stress and Human Error. In C. D. Wickens & J. G. Hollands (Eds.), *Engineering psychology and human performance*. 3rd ed. NJ: Prentice Hall. pp. 480-512.