

Stop 刺激に対する初期 P3 と後期 P3 の分析

——二重課題法による検討——

伊藤 史*¹⁾ 木田 光郎*²⁾

Stop/NoStop 様式を用いた弁別反応課題とカウント課題を同時に遂行させる二重課題事態を設定し、実験参加者37名の被験者から Stop 刺激に対する事象関連脳電位 P3 を測定・分析した。NoStop 刺激に対する P3 (伊藤・赤嶺・木田, 2008) と同様に、2つの下位成分、初期 P3 (頂点潜時360ms) と後期 P3 (頂点潜時540ms) が出現した。Stop 刺激に対する初期 P3 振幅は、二重課題条件下において困難度・負荷量の増加に伴って減少したが、後期 P3 はその影響を受けなかった。後期 P3 成分に反映される処理機能は、刺激処理機能 (初期 P3) とは異なった資源を使用したものと推測される。また、この結果を二重課題条件下で観察された NoStop 刺激の後期 P3 (振幅増大) および NoGo 刺激の後期 P3 (変化なし) (伊藤・木田, 2006) の結果などから、反応の実行の有無が振幅に影響する要因となる。今後の課題としたい。

キーワード：dual task, Stop/NoStop task, early P3, late P3

従来の P3 研究では、P3 を刺激呈示後 300–600ms 区間の最大陽性電位として定義され分析されてきた。しかし、P3 成分は単一の陽性波ではなく、複数の電位が重畳した成分であるとも考えられている (例えば Kok, 2001 など)。Magliero, Bashore, Coles, & Donchin (1984) は、P300 潜時が刺激評価時間を反映する指標であることを明らかにするために、刺激マトリックスのノイズ量と、刺激と反応の整合性を操作した選択反応課題を行った。その結果、「ノイズあり」刺激条件において記録された後期陽性成分には、350ms 近傍に頂点をもつ陽性波と 650ms 近傍に頂点をもつ陽性波の 2 つの陽性波がみられた。しかし、この研究では 2 つの陽性波を別々に分析していなかった。Falkenstein, Hohnsbein, & Hoormann (1994) は、視覚刺激と聴覚刺激をランダムに呈示する条件下で、単純反応、2 肢および 4 肢選択反応課題を設定し、それぞれの課題条件ごとに、またモダリティ別に ERP の後期陽性成分を分析した。その結果、選択反応課題において生じた後期陽性成分には、390ms 近傍に頂点をもつ陽性波 (P-SR) と 540ms 近傍に頂点をもつ陽性波 (P-CR) の

2 つの陽性波がみられた。P-SR は単純反応課題においても出現するが、P-CR は出現しない。P-CR は Pz 優勢の頭皮上分布を示し、その振幅は 2 肢選択反応課題よりも 4 肢選択反応課題で増大した。彼らは P-SR が刺激評価の処理を反映し、P-CR が刺激評価後の処理 (例えば、反応選択の終結、コレクトネスチェックなど) を反映する成分であると推論している。赤嶺・木田 (2004a) の研究では、画像刺激を用いた弁別反応課題の標的刺激に対する P3 を分析し、Pz 優勢で 380ms 近傍に出現する陽性波 (初期 P3) と、Cz, Pz 優勢で 520ms 近傍に出現する陽性波 (後期 P3) を観察した。また、赤嶺・木田 (2004b) の不快情動刺激を用いた研究においても、380ms 近傍 (初期 P3) と 520ms 近傍 (後期 P3) に陽性波が観察された。彼らは Falkenstein et al. (1994) の知見を踏まえ、初期 P3 は P-SR と類似した成分であり、後期 P3 は P-CR と類似した成分であると述べている。

P3 は複数の電位が重畳した成分であるという知見を踏まえ、伊藤・赤嶺・木田 (2008) は、Stop/NoStop 課題を用いた弁別反応課題とカウント課題を使用して

* 1) 愛知学院大学大学院心身科学研究科

* 2) 愛知学院大学心身科学部心理学科

(連絡先) 〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池12 E-mail: tirol_choco_23@yahoo.co.jp

二重課題事態を設定し、NoStop 刺激に対する P3 を分析した。Stop/NoStop 課題とは、“刺激 A には反応するな、A ではない刺激全てに反応せよ”という課題であり、“反応するか否か”の手がかり刺激には“反応しない”ことが要求される。Stop/NoStop 課題において、運動反応が要求される NoStop 刺激に対する P3 には、刺激呈示後 380ms 近傍に出現する陽性波（初期 P3）と 520ms 近傍に出現する陽性波（後期 P3）が観察された。NoStop 刺激に対する初期 P3 振幅は、Pz 優勢であり、単一課題条件より二重課題条件において減衰した。NoStop 刺激に対する後期 P3 振幅は、Pz において最も大きく、Cz、Fz の順に小さかった。また、単一課題条件よりも二重課題条件において増大した。

一方、伊藤・木田（2006, 2007）は、弁別反応課題に Go/NoGo 課題を用いて二重課題事態を設定し、Go 刺激および NoGo 刺激に対する P3 を分析した。その結果、Go 刺激に対して 380ms 近傍（初期 P3）と 500ms 近傍（後期 P3）、NoGo 刺激に対して 400ms 近傍（初期 P3）と 500ms 近傍（後期 P3）にそれぞれ 2 つの陽性波が観察された。Go 刺激に対する初期 P3 振幅は課題負荷量の増加によって減衰し、後期 P3 振幅は増大した。NoGo 刺激に対する初期 P3 振幅は課題負荷量が増加すると減衰し、後期 P3 振幅は課題負荷量が増加してもその振幅は維持された。

伊藤・木田（2006, 2007）や伊藤・赤嶺・木田（2008）によって報告された課題負荷量の増加に伴う初期 P3 振幅の変化は、従来の二重課題研究で示されてきた結果（Wickens, Kramer, Vanasse, & Donchin, 1983; Kramer, Wickens, & Donchin, 1985）と類似していたことから、初期 P3 振幅は知覚—中枢資源から配分される処理資源量を反映し、知覚—中枢資源は 2 つの課題間で分割されることが示唆された。一方、課題負荷量の増加に伴う後期 P3 振幅の変化は、初期 P3 振幅の変化と全く異なっていた。このことから後期 P3 成分に反映される処理機能は初期 P3 成分に反映される処理機能と異なった資源を使用していることが推測された。ヒトが課題を遂行するときの処理過程に知覚処理系、反応処理系およびそれら 2 つを監視するための監視制御系が想定されている（入野野, 2005）。伊藤・赤嶺・木田（2008）は、後期 P3 が Falkenstein et al.（1994）や赤嶺・木田（2004a）によって示唆されているように、反応選択の終結やコレクトネスチェックの処理を反映しているとすれば、後期 P3 は監視制御系と関連した処理を反映しているかもしれないと推論している。

本研究の目的は、Stop/NoStop 課題の手がかり刺激

であり、運動反応の抑制が要求される Stop 刺激に対する P3 を分析することである。P3 を分析する際、Stop 刺激においても P3 に 2 つの下位成分が惹起しているかどうかを確認する。そして、2 つの P3 振幅が、課題負荷量の増加によってどのように変化するのかを検討する。

方 法

参加者 大学生・大学院生 37 名（男性 12, 女性 25 名）が実験に参加した。すべての参加者は、実験終了後に謝金を受け取った。

刺激 下記に示す 2 つの課題で使用する刺激を区別するため、刺激には幾何学図形（三角形、ひし形、五角形、六角形：4 種）と、絵画刺激（女性、木、ライオン：3 種）の 2 カテゴリーからなる視覚刺激を用いた。刺激呈示の制御にはパーソナルコンピュータ（NEC PC9821-Xa13）を使用し、刺激は参加者の前方 1m に位置する CRT ディスプレイ（NEC PC-KM173）に呈示された。刺激呈示時間は 500ms、刺激のオフセット—オンセット間隔は 3500ms とした。刺激の大きさは横 24.5cm、縦 17.5cm に設定した。幾何学図形および絵画刺激の平均輝度はそれぞれ 18.55cd/m²、64.10cd/m²であった。

課題 課題は幾何学図形を用いた弁別反応課題と、絵画刺激を用いたカウント課題の 2 種類が用いられた。弁別反応課題は、“幾何学図形のうち呈示された刺激が菱形であればボタンを押さない、菱形以外の全ての幾何学図形に対して、正確にできるだけ速くボタンを押すこと”が求められる課題であった。この課題では、ボタン押し反応の手がかり刺激は菱形（Stop 刺激）であるが、ボタン押しの対象は三角形、五角形、六角形（NoStop 刺激）である。なお、反応ボタンは右手人差し指で押すように教示した。一方、カウント課題として、“絵画刺激のうち女性の出現頻度をカウントすること”を求める課題（Count 1 課題）と、“女性、木、ライオンの 3 種の絵画刺激をそれぞれ別々にカウントすること”を求める課題（Count 3 課題）が設定された。

Control 条件（呈示された刺激を見るのみ）が、下記に示す 3 つの課題負荷条件を行う際に生じる刺激に対する新奇性を取り除くために設定された。課題負荷条件は、単一課題条件として弁別反応課題のみを遂行する RT only 条件、二重課題条件として弁別反応課題と Count 1 課題を同時に遂行する RT+Count 1 条件と、

弁別反応課題と Count 3 課題を同時に遂行する RT+Count 3 条件であった。参加者には RT only 条件において“絵画刺激は呈示されても無視すること”，二重課題条件において“幾何学図形と絵画刺激に対する課題は別であること”，また“カウント課題遂行時，指を使用しないこと”を教示した。

手続き 実験は遮音室で実施された。先行する課題で注意を向けた刺激を，後に続く課題で無視することが難しいといった履歴効果を取り除くために，全ての参加者が Control 条件，RT only 条件，RT+Count 1 条件，RT+Count 3 条件の順に行った。各課題条件とも 4 ブロック施行し，1 ブロックでの刺激呈示回数は 45 回であった。4 ブロックに含まれる各刺激の呈示回数は，Stop 刺激および NoStop 刺激が各 45 回，絵画刺激が各 30 回であった。また，1 ブロックに含まれる各絵画刺激の呈示回数は 5-10 回の範囲であった。全ての課題条件において，7 種の刺激がランダムな順序で呈示された。ブロック間には約 1-3min の休憩期間を設けた。また，RT only 条件と RT+Count 1 条件の間に約 20min の休憩時間を設けた。

ERP の記録と分析 脳波は国際 10/20 法に基づく Fz, Cz, Pz, Oz の 4 部位に Ag-AgCl 電極を装着し，両耳朶結合を基準電極として単極導出した（電極間抵抗は概ね 10k Ω 以下，時定数 3s，高域遮断周波数は 30Hz）。また，まばたきや眼球運動によるアーティファクト混入の監視のため，脳波と同時に右眼窩下部約 1cm に電極を装着し眼電図を記録した。これらの生体電気信号は刺激呈示のトリガー信号とともに FM データレコーダ（TEAC XR-510）に記録し，パーソナルコンピュータ（NEC PC9801RX）でオフライン処理した。サンプリング間隔 2ms で A/D 変換し，分析区間は刺激呈示前 200ms を含む 1000ms 間とした。本研究では，参加者ごとに弁別反応課題の Stop 刺激に対する ERP を課題条件別に算出した。加算平均処理の際，参加者のボタン押し反応の誤りがあった試行や，分析区間にまばたきや眼球運動によるアーティファクトが生じた試行は除外した。また Stop 刺激に対するボタン押し反応の正誤の記録をパーソナルコンピュータ（NEC PC9821-Xa13）を用いて測定，記録した。

結 果

統計的検定 Stop 刺激に対する誤反応率は，課題条件（RT only・RT+Count 1・RT+Count 3）の間で，Stop 刺激に対する初期 P3 および後期 P3 は，課題条件

（RT only・RT+Count 1・RT+Count 3） \times 部位（Fz・Cz・Pz）の繰り返しのある 2 要因分散分析を行った。自由度は Greenhouse-Geisser の ϵ を用いて調整した。多重比較には Bonferroni 法を用いた。

Stop 刺激に対する誤反応率 Stop 刺激に対する平均誤反応率は，RT only 条件，RT+Count 1 条件，RT+Count 3 条件の順に，6.5%，2.9%，2.0% であった。Stop 刺激に対する誤反応率について分散分析を行った結果，課題条件の主効果（ $F(2,72)=20.55$ ， $\epsilon=.88$ ， $p<.001$ ）が有意であった。Stop 刺激に対する誤反応率は，単一課題条件より二重課題条件において有意に低かったが，二重課題条件間に差はなかった。

Stop 刺激に対する ERP Figure 1 は各課題条件で記録された平均 ERP 波形である。Stop 刺激に対する ERP を視察すると，刺激呈示後 90ms 近傍と 130ms 近傍に 2 つの頂点振幅をもつ陰性電位（N1）が出現した。N1 に続いて，180ms 近傍に陽性電位（P2），240ms 近

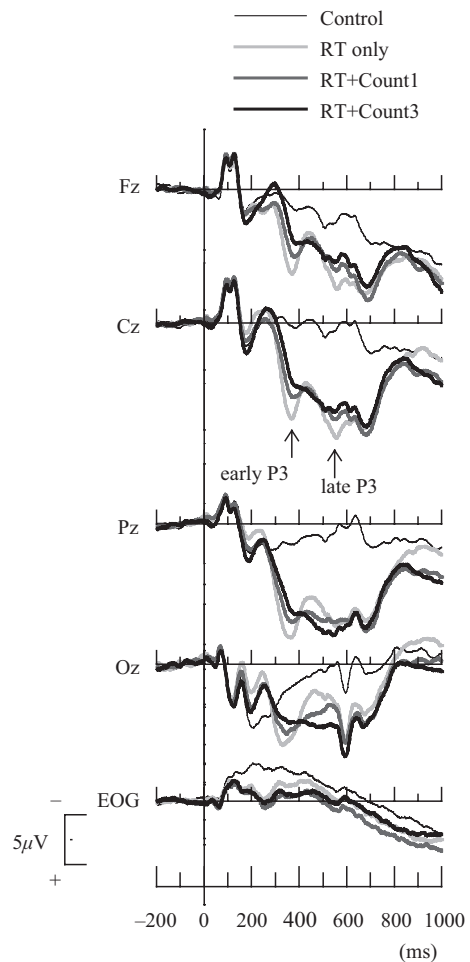


Figure 1. Grand mean ERPs elicited by Stop stimuli (N=37)

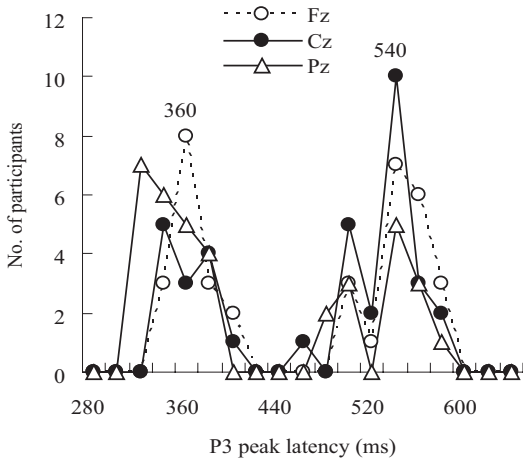


Figure 2. Distribution of Stop-P3 peak latency in RT only task condition among 37 participants.

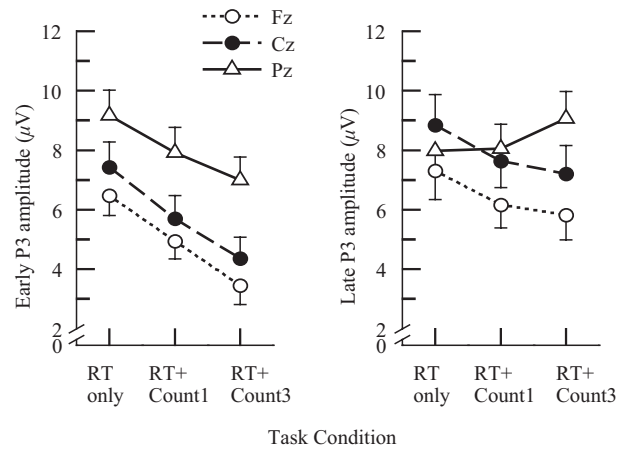


Figure 3. Mean early P3 and late P3 amplitude (and SE) for Stop stimuli.

傍に陰性電位 (N2) が出現した。その後、各部位、各課題条件によって異なるが、360ms 近傍と 540ms 近傍に陽性電位が観察された。

Stop 刺激に対する P3 従来、P3 は刺激呈示後 300–600ms 区間に出現する最大陽性電位として定義されている。その基準に基づいて、参加者ごとに P3 の頂点潜時を求めた (Oz に関しては、電位の頂点が明瞭でない参加者が少なからずいたため、以下の分析から除いた)。Figure 2 は参加者 37 名の P3 頂点潜時の分布を示したものである。Figure 2 に示したように、P3 頂点潜時は個人差が著しく、刺激呈示後 360ms 近傍に P3 最大振幅を示す群と 540ms 近傍に P3 最大振幅を示す群に二分された。

各参加者の ERP を視察すると、刺激呈示後 300–600ms 区間に頂点の同定可能な 2 つの陽性波を示す参加者がいたが、全ての参加者の ERP において二峰性の陽性電位が同定可能であったというわけではない。しかしながら、二峰性の陽性電位が明瞭ではない参加者の ERP には多くの場合、340–390 ms あるいは 510–560ms の区間、すなわち二峰性の陽性電位をもつ参加者が示したいずれか一方の頂点近傍に段丘状の電位変動が生じていた。このような各参加者の ERP 視察に基づくと、P3 の出現潜時に大きな個人差が生じたとみなすよりも、この区間に出現する陽性電位は 2 種の陽性波から構成されていると考えることの方が理にかなっているように思われる。おそらく、参加者によって P3 潜時が異なるのは、2 種の陽性波の一方が増強 (もしくは減弱) したことによるものであり、また、段丘状の電位変動は一方の陽性波の勢力に押されて変

形した、他方の陽性波の痕跡と推測できる。したがって、ここでは刺激呈示後 360ms 近傍に頂点をもつ陽性電位を初期 P3、540ms 近傍に頂点をもつ陽性電位を後期 P3 と呼び、340–390ms および 510–560ms の区間平均電位をそれぞれの振幅値とした。

Stop 刺激に対する初期 P3 Figure 3 は Stop 刺激に対する初期 P3 と後期 P3 の平均振幅値を示したものである。Stop 刺激に対する初期 P3 振幅について分散分析を行った結果、課題の主効果 ($F(2,72)=18.21, \epsilon=.94, p<.001$) と部位の主効果 ($F(2,72)=21.85, \epsilon=.77, p<.001$) が有意であった。下位検定の結果、Stop 刺激に対する初期 P3 振幅は、全ての課題条件間に有意な差があり、RT only 条件の初期 P3 振幅が最も大きく、RT+Count 1 条件、RT+Count 3 条件の順に小さかった。Stop 刺激に対する初期 P3 振幅は、Fz、Cz より Pz において有意に大きかったが、Fz と Cz の間に差はなかった。

Stop 刺激に対する後期 P3 Stop 刺激に対する後期 P3 振幅について分散分析を行った結果、部位の主効果 ($F(2,72)=9.76, \epsilon=.72, p<.001$) と課題条件 × 部位の交互作用 ($F(4,144)=11.58, \epsilon=.62, p<.001$) が有意であった。課題条件 × 部位の交互作用について、プールした誤差項を用いて単純主効果の検定を行った結果、RT+Count 3 条件における部位の効果が有意であった ($F(2,324)=4.71, p<.01$)。RT+Count 3 条件の後期 P3 振幅は、全ての部位間に有意な差があり、Pz の後期 P3 振幅が最も大きく、Cz、Fz の順に小さかった。

考 察

本研究では、弁別反応課題に Stop/NoStop 課題を用いて二重課題事態を設定し、Stop 刺激に対する P3 を分析した。Stop 刺激に対して、刺激提示後 360ms 近傍に頂点をもつ Pz 優勢の初期 P3 と、540ms 近傍に頂点をもつ Cz・Pz 優勢の後期 P3 が出現した。Stop 刺激に対する初期 P3 振幅は、全ての課題条件間に有意な差があり、RT only 条件の初期 P3 振幅が最も大きく、RT+Count 1 条件、RT+Count 3 条件の順に小さかった。一方、Stop 刺激に対する後期 P3 振幅は、課題負荷量が増加しても課題条件間に差はなく、課題負荷量の増加による影響を受けなかった。

Stop 刺激に対して出現した初期 P3 と後期 P3 は、その出現潜時や頭皮上分布から、Falkenstein et al. (1994) によって報告された P-SR と P-CR、あるいは赤嶺・木田 (2004a, 2004b) によって報告された初期 P3 と後期 P3 に類似した成分とみなされる。Stop 刺激に対する初期 P3 は従来 P3b と呼ばれている成分と同じ成分であり刺激評価の処理に関連し、後期 P3 は刺激評価後の処理(反応選択の終結・コレクトネスチェック)に関連するものと推測される。

Stop 刺激に対する初期 P3 振幅は、従来の二重課題事態における P3 研究の結果と類似していたことから、初期 P3 振幅は知覚—中枢資源から配分される処理資源量を反映し、知覚—中枢資源は 2 つの課題間で分割されたことが示唆された。一方、課題負荷量の増加に伴う Stop 刺激の後期 P3 振幅の変化は、初期 P3 振幅の変化と異なっていた。このことから後期 P3 成分に反映される処理機能は初期 P3 成分に反映される処理機能と異なった資源を使用していることが推測された。

NoStop 刺激、NoGo 刺激に対する初期 P3 と後期 P3 との比較 伊藤・赤嶺・木田 (2008) の研究では、Stop 刺激に対する P3 と同様に、NoStop 刺激に対して刺激呈示後 380ms 近傍 (初期 P3) と 520ms 近傍 (後期 P3) に 2 つの陽性波が観察された。NoStop 刺激に対する初期 P3 振幅は、単一課題条件より二重課題条件において減衰した。一方、NoStop 刺激に対する後期 P3 振幅は、単一課題条件より二重課題条件において増大した。

課題負荷量の増加による初期 P3 振幅と後期 P3 振幅の変化の仕方について、Stop 刺激と NoStop 刺激を比較してみると、Stop 刺激と NoStop 刺激の初期 P3 振幅は、ともに課題負荷量の増加によって減衰した。一

方、Stop 刺激に対する後期 P3 振幅は、課題負荷量が増加してもその振幅は維持され、NoStop 刺激に対する後期 P3 振幅は、課題負荷量の増加によって増大した。Stop 刺激と NoStop 刺激によって惹起される後期 P3 振幅は、課題負荷量の増加によって異なった変化の仕方をした。

Stop 刺激と NoStop 刺激とでは、刺激に対して要求される反応様式が異なっている。Stop 刺激と同様に、運動反応の抑制が要求される NoGo 刺激について、二重課題事態における P3 を分析した結果、NoGo 刺激に対する初期 P3 振幅は、課題負荷量が増加すると減衰し、NoGo 刺激に対する後期 P3 振幅は課題負荷量が増加してもその振幅は維持された (伊藤・木田, 2006)。NoGo 刺激に対する初期 P3 振幅と後期 P3 振幅の結果は、本研究で示された Stop 刺激に対する初期 P3 と後期 P3 の結果と類似していた。これらのことから、運動反応の実行が要求される刺激の後期 P3 振幅は、課題負荷量の増加によって増大し、運動反応の抑制が要求される刺激の後期 P3 振幅は、課題負荷量の増加による影響を受けないことが推測された。

後期 P3 の働き 伊藤・赤嶺・木田 (2008) は、後期 P3 が監視制御系の処理 (反応選択の終結・コレクトネスチェック) に関連しているとし、課題負荷量の増加による後期 P3 振幅の増大は、監視制御系の強化と関連していると推測している。本研究において、監視制御系の強化は、運動反応の実行が要求される場合に生じ、運動反応の抑制が要求される場合は、監視制御系の強化が生じないことが推測された。しかし、今後、後期 P3 が制御監視系の処理を反映しているのかどうか、さらに検討する必要がある。

引用文献

- 赤嶺亜紀・木田光郎 (2004a). Go/NoGo 課題と Stop/NoStop 課題における P3 の下位成分 生理心理学と精神生理学, **22**, 225–236.
- 赤嶺亜紀・木田光郎 (2004b). 不快情動刺激に対する ERP・P3 [抄録] 生理心理学と精神生理学, **22**, 183.
- Falkenstein, M., Hohnsbein, J., & Hoormann, J. (1994). Effect of choice complexity on different subcomponents of the late positive complex of the event-related potential. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, **92**, 148–160.
- 伊藤史・赤嶺亜紀・木田光郎 (2008). 二重課題事態におけるタイプ A 群とタイプ B 群の処理資源配分の違いについて 生理心理学と精神生理学, **26**, 205–215.

- 伊藤史・木田光郎 (2006). タイプA行動特性の認知処理過程—二重課題遂行時の事象関連脳電位からの接近 [抄録] 日本心理学会第70回大会発表論文集, 487.
- 伊藤史・木田光郎 (2007). 二重課題事態における処理資源の配分について—初期P3と後期P3の分析—愛知学院大学心身科学部紀要, **2**, 45–51.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, **38**, 557–577.
- Kramer, A. F., Wickens, C. D., & Donchin, E. (1985). Processing of stimulus properties: Evidence for dual-task integrality. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, **11**, 393–408.
- Magliero, A., Bashore, T.R., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1984). On the dependence of P300 latency on stimulus evaluation processes. *Psychophysiology*, **21**, 171–186.
- 入野野宏 (2005). 心理学のための事象関連電位ガイドブック 北大路書房
- Wickens, C. D., Kramer, A. F., Vanasse, L., & Donchin, E. (1983). Performance of concurrent task: A psychophysiological analysis of the reciprocity of information-processing resources. *Science*, **221**, 1080–1082.

最終版平成21年12月25日受理

Analysis of early P3 and late P3 for Stop stimuli —An examination by dual-task paradigm—

Fumi ITO, Mitsuro KIDA

Abstract

The participants (N=37) performed a discriminative reaction task under the Stop/NoStop task in a dual-task paradigm. Two subcomponents of P3 for the Stop stimuli in a discriminative reaction task were measured: early P3 (peak latency 360 ms) and late P3 (peak latency 540 ms). Under the RT only condition, participants performed just the reaction time task, whereas under the dual-task condition, they concurrently performed the reaction time task and the mental counting task. The dual task consisted of two conditions differing in task difficulty. For Stop stimuli, the early P3 amplitude was reduced systematically as counting task becomes difficult, but the late P3 amplitude was not different between task conditions. The differences in the early and late P3s elicited by Stop and NoStop stimuli (Ito, Akamine, & Kida, 2008) appeared in late P3 amplitude. The early and late P3s elicited by the Stop and NoGo stimulus (Ito & Kida, 2006) which participants are required not to make a motor response were similar.

Keywords: dual task, Stop/NoStop task, early P3, late P3