

事象関連電位の早期成分の変化が反応時間に及ぼす影響

西平賀昭*・宮 達夫**・八田有洋*・麓 正樹**・
金田健史**・時任真一郎**・秋山幸代**・和坂俊昭**

Effect of Early Component of Event-related Potentials on Reaction Time

Yoshiaki NISHIHIRA*, Tatsuo MIYA**, Arihiro HATTA*, Masaki FUMOTO**,
Takeshi KANEDA**, Shinichirou TOKITOU**, Sachiyo AKIYAMA**
and Toshiaki WASAKA**

Summary

We investigated the influence of the preceding deviant stimulus on the processing of the subsequent stimulus when the deviant of the preceding stimulus elicited in situations in which the stimulus is presented consecutively, with respect to mismatch negativity (MMN) and P300 potential. As a result, we found a decrease of reaction time in response to the SI deviant, which was different from that in previous studies. It was observed that MMN amplitudes corresponded to that of P300. Moreover, we obtained a decrease of P300 latency, which was not correlated with the magnitude of the deviant.

These findings suggest that the preceding deviant stimulus influences the processing of the subsequent stimulus when the deviant of the preceding stimulus is elicited in the situations in which the stimulus is presented consecutively.

Key words: event-related potentials, early component, mismatch negativity (MMN), P300 potential, deviant stimulus

I. 緒言

身体運動に関与する神経系のメカニズムは、複雑で未だ十分には解明されていないが、Bizzi¹⁾や島津²⁾は身体運動は中枢のプログラムと、感覚系からの情報が統合されることによって成立すると述べている。すなわち外界の状況を感じ器を通して読みとり、学習・経験により集積された記録と照らし合わせて初めて合目的な身体運動が発現するとしている。この立場は身体運動を考える上で、感覚系を検

討していくアプローチの重要性を示唆するものであると言える。

感覚系の機能を構成する一側面として注意機能がある。生体は多くの情報を外界より得て、適切に処理しているが、その際に全ての情報を同時に同程度に処理することは不可能であるとされている。それは人間の情報処理能力には限界があるためであるが、目的の行動を達成するには、必要な情報のみを選択的に処理することが必要とされる。この情報を

* 筑波大学体育科学系 (〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1)

Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

** 筑波大学大学院体育科学研究科

Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

選択する際に注意機能が働くと考えられる⁴²⁾。

この注意機能に関して事象関連電位 (event-related potentials: ERPs) を用いることで検討が可能となる。ERPs は中枢の情報処理過程を非侵襲的に検討する指標であり、感覚刺激の入力、あるいは刺激を手がかりに被験者に課題を遂行させた際に頭皮上から誘発される電位成分の総称である。ERPs 波形が反映している生理学的機序は、呈示刺激による感覚受容器の興奮から、神経インパルスが大脳皮質に到達し直列的または並列的に順次処理され、最終的に運動指令が効果器に到達するまでを示している。複数の陰性、陽性への変動から構成される ERPs 成分は、上記のようなインパルスの流れに対応して次々と賦活された、複数の電位発生源からの電位を頭皮上から記録したものである。ERPs においても注意機能研究は常に中心的テーマの一つであった。ERPs の N1-P2-N2 複合波は感覚刺激の呈示により潜時約 100ms から出現する。

この N1-P2-N2 複合波は選択的注意や刺激弁別といった、先述の注意機能に付随する処理過程と関連があることは知られていた^{14,17)}。しかし Näätänen¹⁷⁾ らによって指摘されたように、これらの成分には多くの異なった成分が混在しており、詳細な検討を行うには指標としてあまりに不安定であった。

減算 (subtraction) 法の導入は、N1-P2-N2 の詳細な検討を可能にし、この帯域に混在する感覚処理過程の研究を大きく進展させた。現在 Nd (negative difference), MMN (mismatch negativity), NA など複数の電位成分が同定されており、それに関する多くの知見が寄せられている。中でも MMN は Näätänen ら¹⁶⁾ によって報告された電位であり、自動的に刺激の変化 (逸脱) を検出する処理過程を反映している¹⁸⁾ とされている。MMN は 2 種類の刺激を一方を高頻度、もう一方を低頻度でランダム順に呈示する刺激系列を用いて誘発する。そして低頻度刺激の呈示、すなわち刺激に逸脱が生じた際に誘発される。

刺激が短間隔で連続呈示されると、先行刺激が後続刺激の処理過程に影響を及ぼすことは古くから知られている^{13,22)}。中でも、先行刺激で変化が生じると後続刺激に対する反応時間 (reaction time: RT) に遅延が観察される^{9,10,19,33)}。そして刺激の間隔が 300ms 以上ではこの現象が観察されないことから³³⁾、この現象は先行刺激の早期処理過程が後続の

刺激処理過程に干渉を及ぼした結果生じたものと考えられる。Schröger²⁹⁾ は先行刺激の逸脱と反応時間の延長の関連について MMN の関与を報告した。そしてその後の研究によっても MMN に反映される早期の刺激処理過程が短間隔で後続する刺激の処理過程に対して干渉を及ぼすというメカニズムが示唆されている³⁾。しかし一方でこれらの報告と異なった報告もなされており^{2,40,41)} 報告数も少ないことから未だ議論の余地があると考えられる。さらに後続する刺激の処理過程に検討を加えた報告は少なく^{2,28,41)}、このメカニズムについて不明な点が多い。先行刺激と後続刺激の両処理過程について同時に検討を加えることで、先行刺激が後続刺激に及ぼす影響について客観的に評価することが可能であり、更に上述の反応時間の遅速に関して検討することが可能であると考えられる。従って本研究として、先行する聴覚刺激に対して MMN を誘発し、また後続の標的刺激に対しては、刺激の認知や評価の程度を表す指標である P300 を測定し、上述の問題点について検討した。

II. 実験方法

A. 対象

被験者は健康成人 9 名で全員右利きであった。いずれの被験者も聴覚に異常が認められず、対象者には研究目的につき口頭で説明した上で実験参加の同意を得た。被験者は電氣的に遮断されたシールドルームに設置された実験用安楽椅子に腰掛けた状態にした。

B. 刺激と課題

本研究において刺激は、短間隔で連続する刺激対 (S1→S2) として呈示され、先行する刺激 (S1) として聴覚刺激が、後続する刺激 (S2) として体性感覚刺激が用いられた (Fig. 1, 上段)。聴覚刺激は 500Hz, 1000Hz, 2000Hz の 3 種類の純音を用い、音圧 50dB SPL, 持続時間 120ms で、被験者の頭部の 50cm 後方に設置したスピーカーより呈示された。体性感覚刺激はリング電極を用いて被験者の左手第 II 指と第 V 指に持続時間 0.2ms の単相矩形波で交流刺激し、刺激強度は感覚閾値の 1.5~2 倍程度 (2~4.2V) で痛みを伴わないようにした。また第 II 指 (標準刺激) と第 V 指 (標的刺激) の刺激強度が同等になるように調整した。刺激間隔 (S1→S2)

事象関連電位の早期成分の変化が反応時間に及ぼす影響

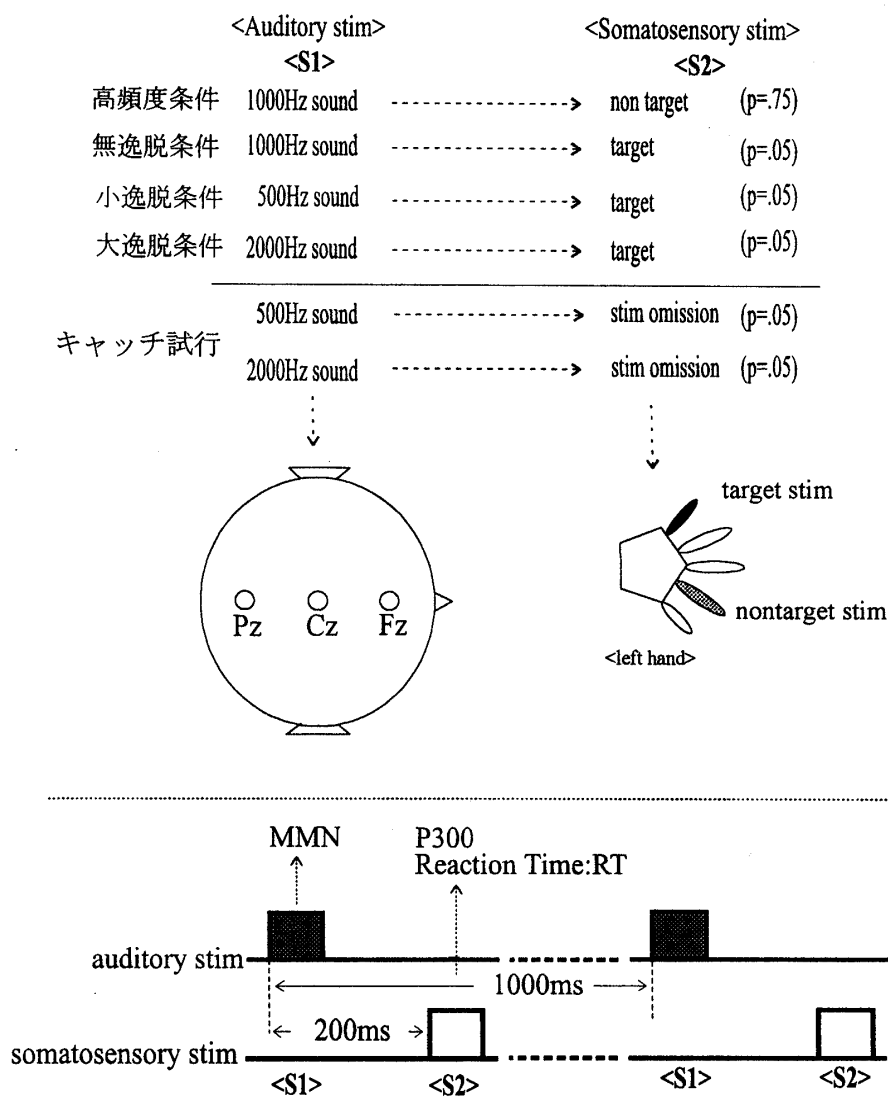


Fig. 1. The experimental condition (upper) and stimulus condition (bottom).

は200ms, 刺激対間隔 (S1→S1) は1000msでそれぞれ一定であった (Fig. 1, 下段)。また被験者には, S1に対しては注意を向けず, S2における標的刺激の呈示に対して, できるだけ素速いボタン押し反応を右手第Ⅱ指で行うよう教示した。刺激回数はS1が600回, S2が540回 (刺激非呈示のキャッチ試行が60回) であった (Fig. 1, 上段)。

C. 誘発電位, 行動指標記録

脳波の記録は国際10-20法に準じてFz, Cz, Pzの3部位に銀-塩化銀電極を配置し, 両耳朶連結を基準電極として単極導出した。また同時に水平眼球運動もEOGにより記録した。遮断フィルタは0.15Hz~60Hzに設定した。脳波は磁気テープに記録しオ

フラインで解析し, 脳波 (EEG) 及びEOGの電圧が $50\mu\text{V}$ を越えるもの, 及び反応時間における正反応以外は加算平均処理の対象外とした。サンプリング周波数は250Hzであり, 解析区間は聴覚刺激前100msから刺激後800msであった。基線は聴覚刺激提示前100msの平均電位とした。反応時間は標的刺激 (S2) の呈示からボタン押しによる機械曲線の立ち上がりまでの潜時とした。正反応は被験者の反応 (機械曲線の立ち上がり時点) が100ms~500msの区間にあるものとした。また, 誤反応率についても測定し, 被験者の反応時間が500ms以上あるいは反応がなされなかったものを分析対象とした。誤反応率は誤反応回数を全反応遂行回数で除した。

D. 解析及び統計処理

本研究においては刺激対が合計6パターン設定され、キャッチ試行を除いた4パターンを分析対象とした。各刺激対のパターンは高頻度条件 (frequent condition), 無逸脱条件 (zero deviant condition), 小逸脱条件 (small deviant condition), 大逸脱条件 (large deviant condition) であり (Fig. 2, 上段), 各条件ごとに加算平均処理 (13~29回: 無逸脱条件, 小逸脱条件, 大逸脱条件) を行い ERPs 波形を求めた。MMN, P300に関しては高頻度条件で得られた波形から, 無逸脱条件, 小逸脱条件, 大逸脱条件で得られた波形を減算処理し, 得た。MMN は S1 呈示後約100ms ~200ms を分析範囲とし, 基線からの最大振幅を示した時点を MMN 振幅とした。P300 に関しては S2 呈示後250ms ~500ms を分析範囲とし, 基線からの最大振幅を示した時点を P300 振幅とした。また P300は潜時についても分析し, S2の呈示時点から P300 振幅までの潜時を P300潜時とした。

統計処理は分散分析を用い, 主効果が見られた場合に関しては多重比較を, 交互作用が見られた場合には下位検定を行った。また分散分析を用いるにあたって Greenhouse & Geisser の自由度の修正を行い, 5%以下を有意水準とした。

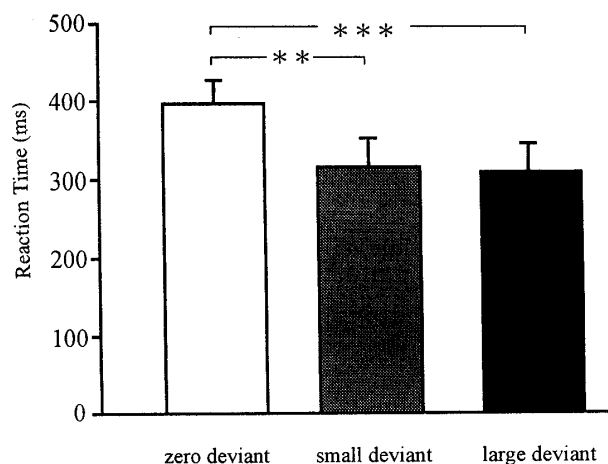


Fig. 2. Mean reaction times, separately for the preceding stimulus type in the S1, that is, the zero deviant, the small deviant, and the large deviant.
** : $p < .01$, *** : $p < .001$

III. 結果

A. 反応時間 (reaction time: RT)

Fig. 2は平均反応時間について示したものである。無逸脱条件, 小逸脱条件, 大逸脱条件の順に $394.2 \pm 30.4\text{ms}$, $313.5 \pm 36.2\text{ms}$, $307.2 \pm 45.8\text{ms}$ であった。各条件間で一要因分散分析を行ったところ主効果が認められた ($p < .001$)。そして多重比較を行ったところ無逸脱条件と小逸脱条件 ($p < .01$), 無逸脱条件と大逸脱条件 ($p < .001$) 間で有意な反応時間の短縮が認められた。しかし小逸脱条件と大逸脱条件間には有意な差が認められなかった。

B. 誤反応率 (error rate)

Fig. 3は誤反応率について示したものである。各条件間で一要因分散分析を行ったところ主効果が認められた ($p < .001$)。そして多重比較を行ったところ無逸脱条件と小逸脱条件 ($p < .001$), 無逸脱条件と大逸脱条件 ($p < .001$) 間で有意な誤反応率の減少が認められた。しかし小逸脱条件と大逸脱条件間には有意な差が認められなかった。

C. 事象関連電位 (ERPs)

Fig. 4は減算処理前の ERPs 波形について示したものである。聴覚刺激 (S1) の呈示に対して明瞭な N100成分 (S1後75ms ~150ms) の出現が認めら

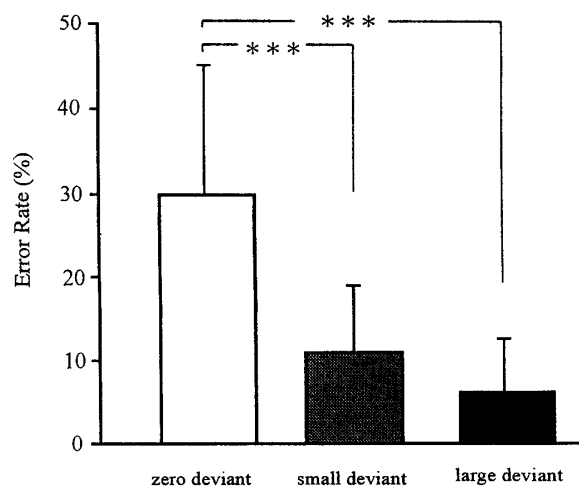


Fig. 3. Mean error rates, separately for the stimulus type in the S1, that is, the zero deviant, the small deviant, and the large deviant.
** : $p < .001$

事象関連電位の早期成分の変化が反応時間に及ぼす影響

れた。また S2 に関しては、標的刺激に対して刺激呈示後約 300ms に明瞭な陽性への変動が認められた。

Fig. 5 は減算処理後の ERPs 波形について示したものである。MMN 出現区間 (S1 呈示後 100~200ms) では、無逸脱条件では陰性の変動が確認できなかったが、小逸脱条件、大逸脱条件で明瞭な陰性への変動が観察された。P300 に関しては無逸脱条件、小逸脱条件、大逸脱条件いずれの条件においても標的刺激に対して、その出現が確認できた。

D. MMN 振幅 (Mismatch Negativity amplitude)

Fig. 6-A は MMN の振幅について示したものである。MMN 振幅は Fz では無逸脱条件 < 小逸脱条件 < 大逸脱条件の順であった。MMN 振幅に関して導出部位 (Fz, Cz, Pz) × 条件 (無逸脱条件, 小逸脱条件, 大逸脱条件) の二要因分散分析を行ったところ導出部位 ($p < .01$), 条件 ($p < .001$) とともに主効果が見られた。また各導出部位ごとに多重比較を

行ったところ Fz では無逸脱条件と小逸脱条件 ($p < .01$), 無逸脱条件と大逸脱条件 ($p < .001$) 間で, Cz では無逸脱条件と小逸脱条件 ($p < .01$), 無逸脱条件と大逸脱条件 ($p < .001$) 間で, Pz では無逸脱条件と小逸脱条件 ($p < .05$), 無逸脱条件と大逸脱条件 ($p < .01$) 間で有意な差が認められた。

E. P300 振幅 (P300 amplitude)

Fig. 6-B は P300 の振幅について示したものである。P300 振幅は Pz では大逸脱条件 < 小逸脱条件 < 無逸脱条件の順であった。P300 振幅に関して導出部位 (Fz, Cz, Pz) × 条件 (無逸脱条件, 小逸脱条件, 大逸脱条件) の二要因分散分析を行ったところ, 導出部位 ($p < .001$), 条件 ($p < .01$) とともに主効果が見られた。また各導出部位ごとに多重比較を行ったところ Fz および Cz について, 無逸脱条件と大逸脱条件 ($p < .05$) 間で有意な差が見られたが, Pz においては有意な差は認められなかった。

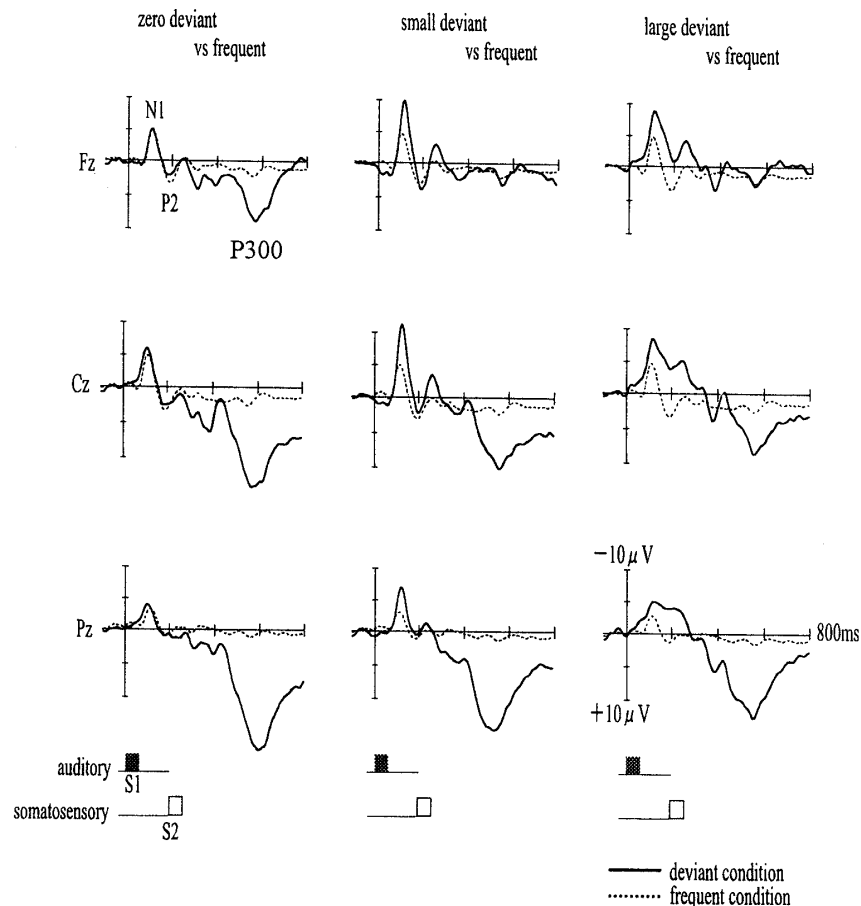


Fig. 4. Grand average ERP waveforms at Fz, Cz, Pz to the stimulus pairs, separately for the different S1/S2 combinations.

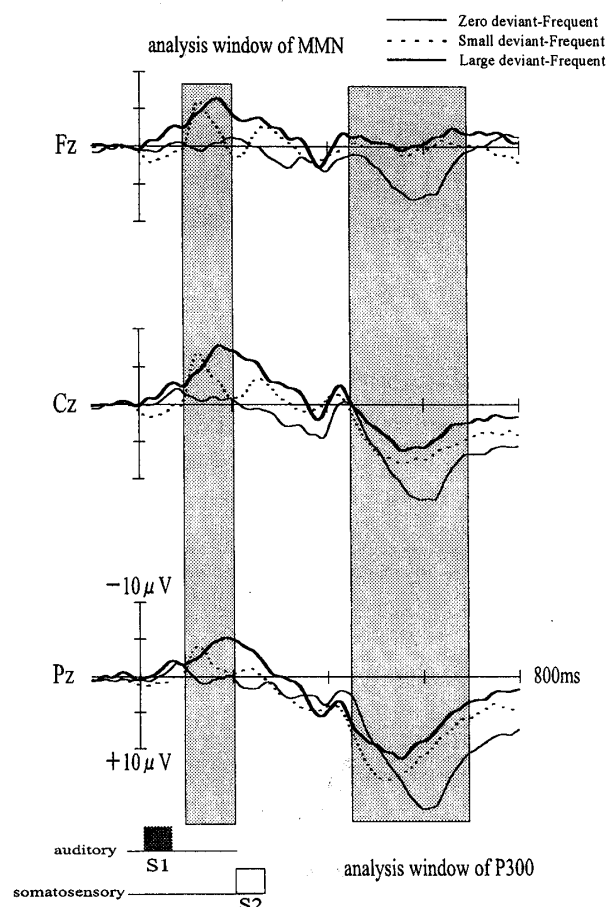


Fig. 5. Subtraction waveforms at Fz, Cz, Pz to the standard were subtracted from those to the zero deviant, small deviant and large deviant respectively.

F. P300潜時 (P300 latency)

Fig. 7はP300潜時について示したものである。P300潜時に関して導出部位 (Fz, Cz, Pz) ×条件 (無逸脱条件, 小逸脱条件, 大逸脱条件) の二要因分散分析を行ったところ, 条件 ($p < .01$) に主効果が見られた。また各導出部位ごとに多重比較を行ったところPzにおいて, 無逸脱条件と小逸脱条件 ($p < .01$), 無逸脱条件と大逸脱条件 ($p < .01$) 間に有意な差が認められた。Fz, Czでは有意な差は見られなかった。

IV. 考察

本研究では, 刺激が連続呈示される状況で, 先行刺激に逸脱が生じた際にそれが後続刺激の処理過程にどのように働くのかを検討した。刺激の逸脱に対する中枢の反応の指標としてMMNを, また後続刺

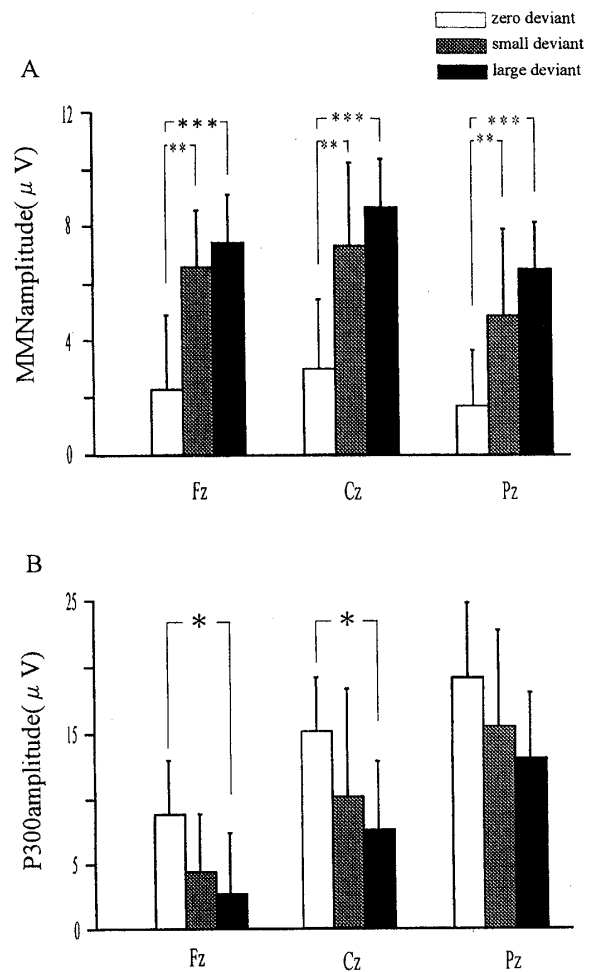


Fig. 6. Mean amplitude of ERPs component. (A) means MMN amplitudes at Fz for S1 deviation. (B) mean P300 amplitudes at Pz for S2 target stimulus.

* : $p < .05$, ** : $p < .01$,
*** : $p < .001$

激の処理過程に関しても検討を加えるため, P300も測定した。

刺激が短潜時で連続呈示され, 先行刺激に逸脱が生じた際に反応時間に遅延が生じることは知られている^{9,10,19,33}). 更に先行刺激と後続刺激の間隔が300ms以上の状況ではこの現象は観察されなくなることから³¹), 先行刺激の早期処理過程の関与が考えられる。本研究では早期感覚処理過程の指標であるMMNを用いてこの現象に生理学的な検討を加えた。先行研究においてSchroger²⁸)は先行する逸脱に対して出現したMMNと反応時間に対応した関連を見出した。彼はS1として700Hzの純音を呈示し, 6%の呈示確率で50Hz (small deviant) か200Hz

事象関連電位の早期成分の変化が反応時間に及ぼす影響

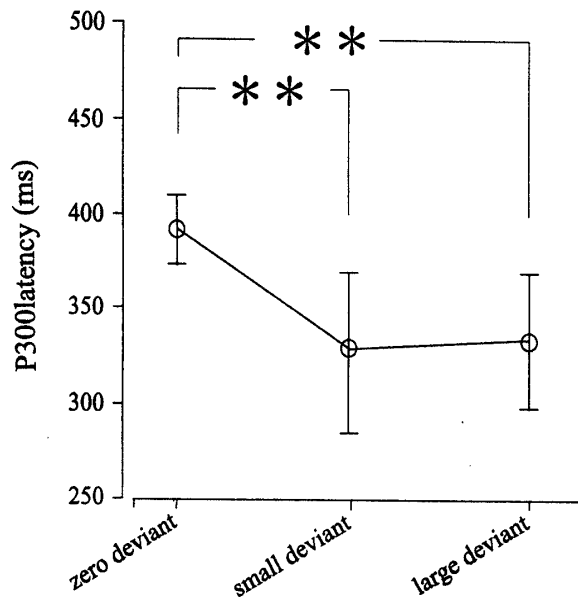


Fig. 7. Mean P300 latencies at Pz for S2 target stimulus.

*** : $p < .01$

(large deviant) の逸脱が起こるように設定した。また S2 として 70dB と 80dB の 2 種類設定し、被験者には S1 に対しては注意を向けず、S2 のどちらか一方の刺激に対してボタン押しを行うよう教示した。そして S1 の逸脱に対して MMN を誘発し、MMN 振幅の増大に伴った反応時間の遅延が観察されたことを報告している。本研究では S1 で生じた逸脱に対して反応時間の延長は観察されず、先行研究と異なった結果が得られた。しかし一方で Alho et al.²⁾ や Woods et al.⁴¹⁾ は同様に ERPs を用いた研究において、先行刺激の逸脱が反応時間に影響を及ぼさないことを報告し、本研究と同様の知見を示している。この知見の不一致に関して Schröger and Wolff²⁹⁾ は、この現象は S1 と S2 で用いる刺激の類似性による影響を受けると考えた。すなわち Alho et al.²⁾ や Woods et al.⁴¹⁾ の様に異なった刺激モダリティを用いた状況では、S1、S2 の刺激の類似性が大きく異なり、従ってこの現象は観察されないと考えた。本研究においても聴覚刺激 (S1) と体性感覚刺激 (S2) を用いており、S1 と S2 の刺激の類似性が大きく異なっていた。これにより S1 で生じた逸脱に対して反応時間の延長が観察されなかったと考えられ、本研究で得られた反応時間に関する知見は Schröger and Wolff²⁹⁾ の仮説を支持する結果であると考えられる。

しかし一方で本研究では先行する刺激の逸脱に対

して反応時間の短縮を観察しており、これに関しては新しい知見であると考えられる。標的刺激 (S2) に先行して予告刺激 (S1) が呈示されると反応時間が短縮することが知られている³⁷⁾。本研究においても S1-S2 は刺激対で呈示しており、得られた反応時間の短縮は刺激呈示条件 (S1-S2) の効果による可能性が考えられる。しかし、本研究では、1) S1 は課題遂行の手掛かりとしての意味合いを持っておらず、また 2) S1-S2 の刺激間隔が 200ms と短かく、更に 3) キャッチ試行も設定していた。従って被験者が S1 を完全に手掛かりとして課題を遂行していた可能性は低く、反応時間の短縮は単に S1 刺激が呈示されたことによる効果ではなく、別の要因の関与が考えられる。しかし、その要因に関して今後の詳細な検討の余地があると考えられる。

MMN は前頭部優勢に出現し^{1,16,20,21)}、その発生源としてシルビウス溝 (Sylvius fissure) 近傍の一次聴覚野が考えられている。また MMN は逸脱の大きさに依存してその振幅が増大することが知られている^{15,27)}。本研究においても、S1 の逸脱に対して前頭部から中心部優勢に MMN が出現し、逸脱の増大に伴って振幅が増大する傾向が観察され、先行研究を支持する結果であった。S2 では標的刺激の呈示に対して P300 が出現していた。P300 は刺激の認知と関連した内因性の成分であり、頭頂部優勢の分布を示す³⁹⁾ことが知られている。本研究において P300 は頭頂部優勢の頭皮上分布を示した。更に、有意な差は観察されなかったものの、先行する逸脱の増大に伴い振幅の減少が観察された。被験者にとって、いずれの条件でも標的刺激の難易度や呈示確率は同様であり、従って P300 の変動は先行する逸脱の効果によるものと考えられる。この結果は先行刺激の変化が、後続刺激の処理過程に影響を及ぼすという先行研究^{9,10,19,31,33)}を支持するものであり、本研究では ERPs を用いてそれを定量的に示した。また P300 と MMN が逆の変化傾向を示したことから、先行刺激の処理過程の中でも特に MMN が、後続刺激の処理過程に影響を与えた可能性が考えられる。P300 の振幅は刺激の物理的特性や反応の内容には感受性がなく、情報特性そのもので決定される。現在までに出現頻度^{36,38)}、標的効果^{7,32)}、課題関連性^{7,8)}といった変数の操作により P300 振幅が変動することが報告されている。情報理論的な観点では、刺激呈示前に被験者が持つ不確定性 (uncertainty) が、刺激の呈

示によって解消されることで P300 が惹起されると考えられている^{11,35,36)}。更に P300 振幅は不確定性の程度と、解消される程度の両者の相関関係によって決定されるとしている。本研究における P300 振幅の減少は、S1 で生じた逸脱により、S2 で次に標的刺激と標準刺激のどちらが呈示されるかという不確定性が一部解消されていた可能性が考えられる。

本研究において P300 潜時と反応時間は類似した変化傾向を示し、更に有意な差が観察された条件間も同様であった。P300 潜時と反応時間の関連について、先行研究では両者に直接的な関連はなく、反応時間は反応選択に関する時間的な側面を反映しており、P300 潜時は刺激評価に関する時間的な側面を反映すると考えられている^{12,25,26,34)}。しかし刺激-反応整合性 (Stimulus-Response compatibility: S-R compatibility) 等の課題操作を行った一部の先行研究^{23,24)}では、両者に相関を認めており知見に相違が見られる。この知見の不一致に関して、後者の報告は課題の操作が刺激評価過程と反応選択過程の両者に作用していたと考えられている。本研究においても P300 潜時が直接的に反応時間の短縮を説明するのではなく、S1 の逸脱の効果が P300 潜時と反応時間両者に作用した結果であると考えられる。P300 潜時に関して、反応時間が P300 に先行して出現するという報告も見られることから Desmedt and Debecker⁹⁾ は P300 潜時は刺激評価の完了 (post-decision closure) をより反映するとしているとしており、その後の Desmedt⁹⁾ の報告により支持されている。従って本研究での P300 潜時の短縮は、刺激評価時間の短縮を反映していると考えられる。すなわち S1 で逸脱が生じた際に、被験者に次に標的刺激が呈示されるという構えが生じていると仮定すると、標的刺激が呈示された際にはその評価時間は短時間で終了すると考えられる。また、この仮説は前述の振幅の減少を一部支持するものであると考えられる。

課題遂行に伴う被験者の方略としては、標的刺激の入力を期待し、標的刺激の入力に伴いできるだけ速く反応動作を開始させるというものと、常に反応しようとして構えており、標準刺激の入力により反応動作の遂行をキャンセルするという二つの候補が考えられる。誤反応率の変化傾向からも、本研究における被験者の課題遂行の方略としては後者が有力である。すなわち、逸脱が生じたことにより被験者は反

応遂行の準備を整えており、標的刺激が呈示された際には反応の遂行、標準刺激が呈示された際には反応遂行のキャンセルを行っていたと考えられる。誤反応率が無逸脱条件と小逸脱条件、無逸脱条件と大逸脱条件間で有意な差が観察された理由として逸脱の有無が作用していたと考えられ、逸脱が無かった無逸脱条件では被験者は運動遂行の構えが構築されなかったために反応時間の遅延、無反応といった誤反応の増大が観察された可能性が考えられる。競技場面においても、陸上競技の短距離走のスタートのような状況では、構築された反応動作が開始されないように常にストップをかけていると考えられる。スタートの失敗例であるフライングはそのストップをかけることに失敗したことより生じるものである。反応動作の開始潜時がパフォーマンスを左右する競技は多く見られるが、そのような種目では反応動作の構築がなされ、それが開始されないようストップをかけている方略が有効である可能性を本研究は示唆するものである。

V. 要約

本研究では刺激が連続呈示される状況下において先行刺激に逸脱が生じた際にそれが後続刺激の処理にどのように影響を及ぼすかを、ERPs (MMN, P300) を用いて生理学的に検討を加えた。その結果、

1. 先行研究とは異なり、S1 の逸脱に対して反応時間の短縮が観察された。
2. S1 に対する MMN 振幅と、S2 に対する P300 振幅が対応した変化傾向を示した。
3. P300 潜時に短縮が観察されたが、逸脱の大きさとの関連は低かった。

以上のことから、刺激が連続呈示される状況において、S1 の逸脱により生じた処理過程 (MMN) が後続刺激の処理過程 (P300) に影響を及ぼしていた可能性が示された。

引用文献

- 1) Alho K, Paavilainen P, Reinikainen K, Sams M, Näätänen R (1986) Separability of different negative components of the event-related potential associated with auditory stimulus processing. *Psychophysiology*, 23(6), 613-623
- 2) Alho K, Woods D L, Algazi A, Näätänen R

事象関連電位の早期成分の変化が反応時間に及ぼす影響

- (1992) Intermodal selective attention. II. Effects of attentional load on processing of auditory and visual stimuli in central space. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 82, 356-368
- 3) Alho K, Escera C, Díaz R, Yago E, Serra M J (1997) Effects of involuntary auditory attention on visual task performance and brain activity. *Neuroreport*, 8, 3233-3237
 - 4) Bizzzi E (1976) 中枢プログラミングと末梢フィードバック—サルの眼球と頭部運動協調について—. *生体の科学*, 27(4): 314-319
 - 5) Desmedt J E (1980) P300 in serial tasks: an essential post-decision closure mechanism. *Progress in Brain Research*, 54, 682-686
 - 6) Desmedt J E, Debecker J (1979) Wave form and neural mechanism of the decision P350 elicited without prestimulus CNV or readiness potential in random sequences of near-threshold auditory clicks and finger stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 47, 648-670
 - 7) Duncan-Johnson C C, Donchin E (1977) On quantifying surprise: The variation of event-related potentials with subjective probability. *Psychophysiology*, 14: 456-467
 - 8) Donchin E and Cohen L (1967) Averaged evoked potentials and intramodality selective attention. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 22: 537-546
 - 9) Hikosaka O, Miyauchi S, Shimojo S (1993a) Visual attention revealed by an illusion motion. *Neuroscience Research*, 18: 11-18
 - 10) Hikosaka O, Miyauchi S, Shimojo S (1993b) Voluntary and stimulus-induced attention detected as motion sensation. *Perception*, 22: 517-526
 - 11) Klinker R, Frühstorfer H, Finkenzeller P (1968) Evoked responses as a function of external and stored information. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 25: 119-122
 - 12) McCarthy G, Donchin E: A Metric for thought (1981) A comparison of P300 latency and reaction time. *Science*, 211(2): 77-80
 - 13) Miyauchi S, Hikosaka O, Okamura H (1993) Voluntary somatosensory attention activates the ipsilateral second somatosensory cortex (SII) in humans. *Neuroscience Research*, 18: 208
 - 14) Näätänen R (1986) N2 wave of the evoked potential: Scalp reflection of neural mismatch of orienting theory? In: *The Biological Bases of Personality and Behavior 2: Psychophysiology, Performance and Application* (Eds Strelau J, Farley FH, Gale A), pp.59-75, Hemisphere, New York
 - 15) Näätänen R, Gaillard AWK (1983) The orienting reflex and the N2 deflection of the event-related potential (ERP). In: *Tutorials in Event Related Potential Research: Endogenous Components. Advances in Psychology 10* (Ed Gaillard AWK, Ritter W). pp.119-141. North-Holland, Amsterdam
 - 16) Näätänen R, Gaillard A W K, Mantysalo S (1978) Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 42: 313-329
 - 17) Näätänen R and Picton T (1987) The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound: A review and an analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24: 357-425
 - 18) Näätänen R and Picton T (1986) N2 and automatic versus controlled processes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Supplements*, 38: 169-186
 - 19) Nakayama K and Mackeben M (1989) Sustained and transient components of focal visual attention. *Vision Research*, 29: 1631-1647
 - 20) Novak B, Ritter W, Vaughan H G Jr, Winzitzer ML (1990) Differentiation of negative event-related potentials in an auditory discrimination task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75: 255-275
 - 21) Paavilainen P, Alho K, Reinikainen K, Sams M, Näätänen R (1991) Right-hemisphere dominance of different mismatch negativities. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 78(6): 466-479
 - 22) Posner M I and Cohen Y (1984) Components of visual orienting. In Bouma H, Bouwhuis D: *Attention and Performance X*. Lawrence Erlbaum Associates. pp.531-556
 - 23) Ragot R and Lesevre N (1986) Electrophysiological study of intrahemispheric S-R compatibility effects elicited by visual directional cues. *Psychophysiology*, 23(1): 19-27
 - 24) Ragot R and Renault B (1985) P300 and S-R Compatibility: A reply to Magliero et al. *Psychophysiology*, 22(3): 349-352
 - 25) Ritter W, Simson R, Vaughan Jr H G, Macht M (1982) Manipulation of event-related potential manifestations of information processing stages. *Science*, 218(4575): 909-911
 - 26) Ritter W, Simson R, Vaughan Jr H G (1972) Asso-

- ciation cortex potentials and reaction time in auditory discrimination. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 33: 547-555
- 27) Sams M, Hamalainen M, Antervo A, Kaukoranta E, Reinikainen K, Hari R (1985) Cerebral neuro-magnetic responses evoked by short auditory stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 61(4): 254-266
- 28) Schröger E (1996) A neural mechanism for involuntary attention shifts to changes in auditory stimulation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8: 527-539
- 29) Schröger E and Wolff C (1998) Behavioral and electrophysiological effects of task-irrelevant sound change: A new distraction paradigm. *Cognitive Brain Research*, 7: 71-87
- 30) 島津 浩 (1977) 高次脳機能と中枢プログラミング-中枢プログラミング研究の現状-, 現代の神経科学 3 : 3-11, 高次脳機能と中枢プログラミング. 伊藤正男, 島津 浩編 産業図書, 東京
- 31) Shimojo S, Miyauchi S and Hikosaka O (1997) Visual motion sensation yielded by non-visually driven attention. *Vision Research*, 37(12): 1575-80
- 32) Smith D B D, Donchin E, Cohen L and Starr A (1970) Auditory averaged evoked potentials in man during binaural listening. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 28: 146-152
- 33) Spence C J and Driver J (1994) Covert spatial orienting in audition: Exogenous and endogenous mechanisms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20: 555-574
- 34) Squires N K, Donchin E, Squires K C, Grossberg S (1977) Bisensory stimulation: inferring decision-related processes from the P300 component. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3(2): 299-315
- 35) Sutton S, Tueting P, Zubin J, John E R (1967) Information delivery and the sensory evoked potential. *Science*, 155(768): 1436-1439
- 36) Sutton S, Braren M, Zubin J, John E R (1965) Evoked-Potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150(700): 1187-1188
- 37) Teichner W H (1954) Recent studies of simple reaction time. *Psychological Bulletin*, 51: 128-149
- 38) Tueting P, Sutton S, Zubin J (1970) Quantitative evoked potential correlates of probability of events. *Psychological Physiology*, 7: 385-397
- 39) Vaughan H G and Ritter W (1970) The sources of auditory evoked responses recorded from the human head. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 28: 360-367
- 40) Winkler I, Cowan N, Csépe V, Czigler I and Näätänen R (1996) Interaction between transient and long-term auditory memory as reflected by the mismatch negativity ERP component. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(5): 403-415
- 41) Woods D L, Alho K, Algazi A (1992) Intermodal selective attention I.: Effects on event-related potentials to lateralized auditory and visual stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 82: 341-355
- 42) 山口修平 (1988) 選択的注意と事象関連電位. 脳波と筋電図 26(6): 371-380
(平成12年1月7日受付, 平成12年3月2日訂正,
平成12年3月20日受理)