

*Ann. Rep. Asahikawa
Med. Coll.*
1988. Vol.9, 53 ~ 62

暗算作業事態における聴覚刺激に対する 事象関連電位

Event-related Potentials to Acoustic Stimuli
during Mental Calculation.

稲田 尚史・岩渕 次郎 (旭川医科大学・心理学)
竹川 忠男 (札幌医科大学・心理学)

Naofumi Inada, Jiro Iwabuchi (*Department of Psychology, Asahikawa Medical College*)
Tadao Takekawa (*Department of Psychology, Sapporo Medical College*)

Event-related potentials (ERPs) elicited by pure tone and modulated noise were recorded in order to examine the behaviour of ERPs on subjects' attention shift. Eight subjects participated in this experiment by performance or non performance of the mental calculation. The results shows that negative shifts of the ERPs were obtained under certain conditions. These negative shifts might be related to the processing negativity and the mismatch negativity, proposed by Näätänen et. al. (1978). The amplitudes of these negative shifts might reflect the allocation value of the subject's attentional resources. Further more the results showed these negative components might also be the index of the processing of the unattended stimuli just as they are for the attended stimuli. In the processing of the unattended stimuli, it is suggested that not all of the input stimuli are rejected automatically in the preattentive selection process, but are rejected according to the features of stimuli, those remaining are continuously processed in the higher processing stage.

Key words : event-related potential, attention shift, attentional resource, stimulus selection.

は し が き

注意に関する事象関連電位 (ERP) の研究では、これまで主として複数刺激の弁別課題を用いた選択的注意事態でのERP波形の変化の検討が主題とされてきた。

Hillyard ら(1973)は、左右両耳に提示された異なる刺激系列中の標的刺激に対するERPを、標的刺激に注意を向けていた場合と注意を向けていなかった場合とで比較し、前者の方が刺激によって惹起されるERPの N_1 振幅が増大することを示し、この N_1 振幅の増大は、被験者の刺激に対する構えの指標としてとらえられるとした。また、Näätänen ら(1978)は、選択的注意事態でERPが陰性方向へ変化する事を明らかにし、この変化は N_1 の上に重畳した別の成分によるものであると推察した。Okita (1979)は、選択的注意によって生ずるERP波形の振幅変化が N_1 だけではなく P_2 振幅にも生じたことを報告し、これが従来から知られている N_1 成分とは異なるものであるというNäätänen らの考えを支持した。ところで、これまでの報告では、刺激弁別のための注意が標的刺激の含まれる刺激系列に向けられた際のERPに関心が集まり、それ以外の刺激に対するERPについての報告は多くなかった。数少ないそのような研究の一つに、Alho ら(1986)の研究がある。彼らは弁別課題を用いた実験を行ない、標的刺激とわずかに周波数の異なる非標的刺激に対してもERPの陰性変化がみられることを指摘し、この陰性変化について、感覚入力と標的刺激の神経表象との一致を調べる過程での処理を反映するものと推測した。

これらの報告にみられるような特定の刺激を選択する事態の他に、ある課題の遂行中に課題と関連を持たない刺激によって注意の転換がひきおこされることも、日常よくみられることである。本研究は、そのような注意の転換によるERP波形の変化が、従来の諸研究結果とどの様に関連するかを明らかにすることを目的として行なわれた。そこでわれわれは、視覚刺激提示による暗算課題を被験者に課し、その遂行中にそれと無関係に提示される純音バースト、およびノイズバーストに対するERP波形を観察し、単にこれらの刺激音を聴取させるだけで暗算課題を与えない事態で得られたERP波形との比較を行なった。ここで用いたノイズバーストは、純音よりも嫌悪的な音色を持つことから、暗算課題遂行中の被験者に対して妨害的要因として動き、刺激音へ一層注意を向けやすくすると考えられた。

方 法

装置 Fig. 1 に本研究で用いられた実験装置のブロックダイアグラムを示す。刺激音は、発振器 (NF回路設計ブロック FG-122) から発生させた純音と、シンセサイザーによって生成された変調ノイズの二種類であった。これらのふたつの信号を、音の持続時間・立ち上がり時間・減衰時間を予め設定してある電子スイッチ (リオン) に導き、信

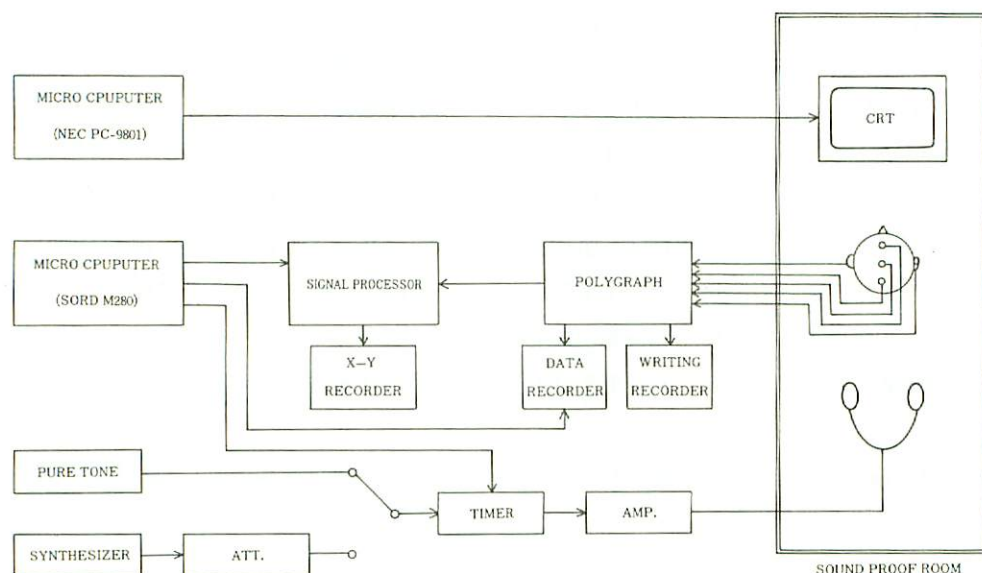


Fig.1 Block diagram of stimulus generation and data recording system.

号刺激を生成した。電子スイッチは、パーソナルコンピュータ (SORD M280) によって作動させた。刺激音は、両刺激音の大きさを等しくするための減衰器を通した後増幅され、ヘッドホン (TDH-40H) により被験者の両耳に提示された。

一方、暗算課題の提示には、被験者の前方約50cmに設置したディスプレイを用い、パーソナルコンピュータ (日本電気 PC9801E) によってランダムに生成される数字をその画面上に表示するようにした。

脳波は、Fz,Cz,Pzに置いた銀塩化銀電極から誘導した。なお、右耳朶を基準電極、左耳朶を接地電極とした。脳波は、時定数1.5sec、カットオフ周波数30Hzのローパスフィルターを通す様に設定されたポリグラフ (三栄測器 140システム) で増幅された後、デジタルデータレコーダー (NF回路設計ブロック RP-880) に記録された。ERP波形を得るためにデータレコーダーを再生し、シグナルプロセッサ (三栄測器 7T07A) を用いて加算平均された。

刺激 刺激として用いられた純音は500Hz、90dB SPLのバーストで、立ち上り、減衰時間はともに2msec、持続時間は1secである。また、シンセサイザーによって発生した変調ノイズの時間的条件は純音と同じにした。実験開始前に純音とノイズを交互に被験者に提示し、ノイズの大きさが純音と等しく聞こえるように減衰器を操作して調整するように求めた。刺激間隔時間は、2secから6secの間でランダムに変化させた。暗算課題条件では、1から3までの数字を被験者前方のディスプレイに視角2.9°の大きさに提示した。

手続 各被験者に対して、刺激音2条件と課題の有無とを組み合わせた計4条件下でのERPを測定した。それぞれの条件で、被験者は安静開眼状態で椅子に座り、実験中の体動や眼球運動はできるだけ少なくするように教示された。ERPは、刺激音提示前128msecから1024msecの間の脳波を32回加算平均することにより得られた。課題条件では、ディスプレイに提示される数を順次暗算で加算させた。数の提示間隔時間は、被験者が無理のない範囲で最も早く加算が行えるように被験者自身によって設定された。設定された提示間隔は1.20secから2.75secで、平均1.95secであった。各試行終了後正答をディスプレイに提示し、被験者の作業結果と照合できるようにした。

被験者 聴覚正常な男子大学生及び大学院生10名。年齢は、20～28才で平均22.9才であった。

波形の測定 刺激音提示前128msecの間の脳波の平均電位を基準として各成分の頂点までの電位を測定した。

結 果

Fig. 2 に暗算課題を与えない条件（無課題条件）と課題を与えた条件（課題条件）の

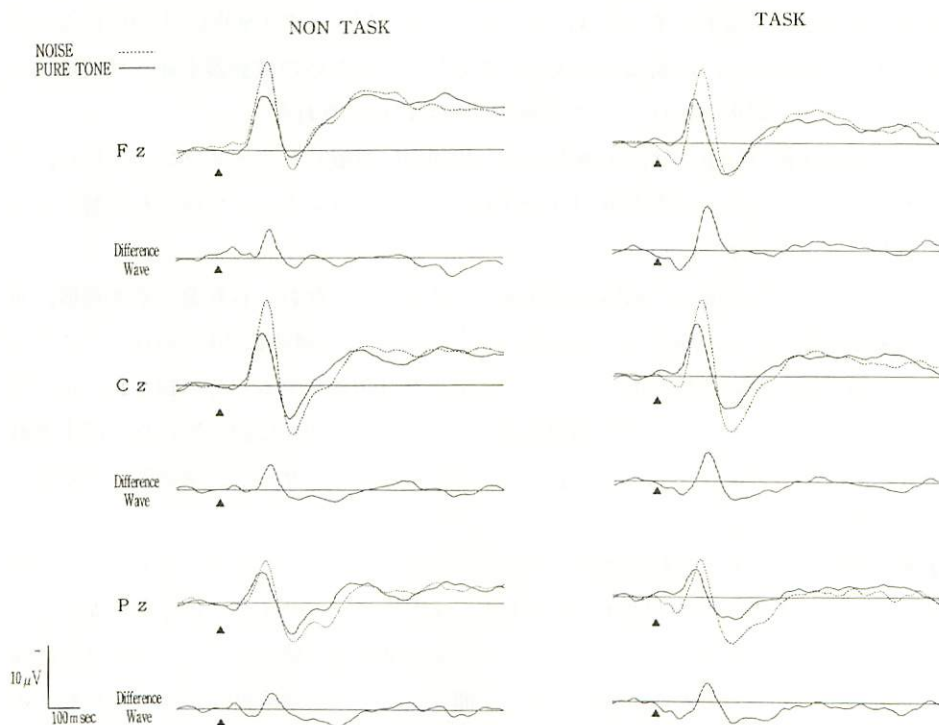


Fig. 2 Grand average ERPs under the task and non task condition at Fz, Cz and Pz, with difference waves. The difference waves were obtained by means of subtracting ERP to pure tone from ERP to noise.

それぞれに分けて、各被験者から得られた刺激音に対する加算平均波形の平均、すなわち総加算平均波形を示した。これを調べると、どちらの条件においてもノイズに対する N_1-P_2 振幅が純音に対するものよりも大きかった。Fig.3には、純音とノイズの別に課題・無課題の両条件での総加算平均波形を示した。これによると、課題の有無にかかわらず、純音、ノイズのいずれの刺激音に対しても N_1-P_2 振幅は一定であった。また、無課題条件のFzで、両刺激音に対する N_1 振幅の増大と P_2 振幅の減少がみられた。すなわち、 N_1 , P_2 の両成分の陰性方向への偏移は特に純音刺激に対して顕著であった。また、各被験者ごとに求めた加算平均波形についても、これと同様の結果が認められた。

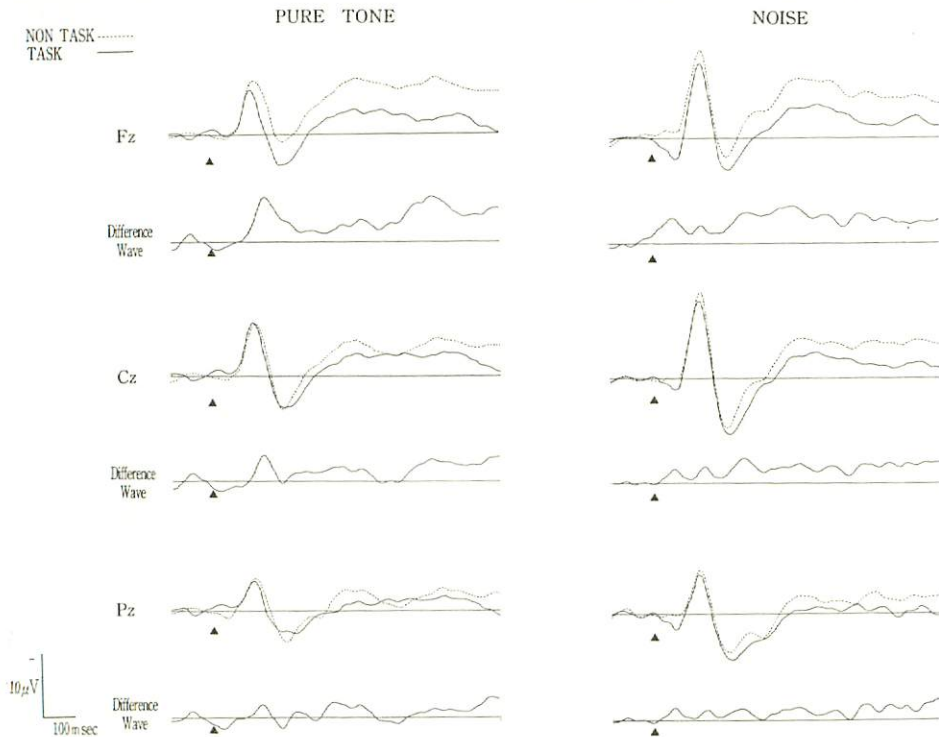


Fig. 3 Grand average ERPs to pure tone and noise at Fz, Cz and Pz, with difference waves. The difference waves were obtained by means of subtracting ERP under non task conditions from ERP under task conditions.

N_1-P_2 振幅について、被験者、刺激音の種類、課題の有無、導出部位を要因とする 4 元配置の分散分析を行なったところ、被験者 ($F(7,14)=84.12$ $p<.01$)、刺激音の種類 ($F(1,14)=458.96$ $p<.01$)、導出部位 ($F(2,14)=425.63$ $p<.01$) の主効果は有意であったが、課題の有無による主効果は認められなかった。また、 N_1 振幅、 P_2 振幅のそれぞれについても同様な分散分析を行なったところ、 N_1 振幅、 P_2 振幅共にすべての要因についての主効果が有意であった (N_1 振幅；被験者 ($F(7,14)=46.08$ $p<.01$)、刺激音の種類 ($F(1,14)=142.96$ $p<.01$)、課題の有無 ($F(1,14)=27.51$ $p<.01$)、導出部位 ($F(2$

,14)=205.10 $p<.01$) P_2 振幅;被験者 ($F(7,14)=4.14$ $p<.05$), 刺激音の種類 ($F(1,14)=20.38$ $p<.01$), 課題の有無 ($F(1,14)=9.44$ $p<.01$), 導出部位 ($F(2,14)=25.91$ $p<.01$)。))。

Fig. 2の各導出部位ごとの総加算平均波形の下に、ノイズに対するERP波形から純音に対する波形を差し引いた差波形を示した。この差波形は刺激音間の差異を明確に示すもので、刺激音の効果を検討するのに有効である。ここでは、課題・無課題両条件でノイズに対する波形が刺激音提示後約150msecを中心として陰性方向に偏移していることが示された。また、この陰性波の頭皮上分布は、前頭部より頭頂部にかけて優位である。課題条件と無課題条件とで差波形を比較すると、課題条件での差波形の振幅が無課題条件でのものよりもやや大きい。これは、各被験者ごとに求めた差波形についても認められた。

約150msecで頂点に達する差波形の頂点潜時ならびに振幅について被験者・課題の有無・導出部位を要因とする3元配置の分散分析を行なったところ、潜時では、被験者 ($F(7,14)=6.86$ $p<.01$), 課題の有無 ($F(1,14)=5.23$ $p<.05$) の各要因での主効果と、被験者×課題の有無の交互作用 ($F(7,14)=6.31$ $p<.01$) が有意であった。振幅では、被験者 ($F(7,14)=13.08$ $p<.01$), 課題の有無 ($F(1,14)=5.52$ $p<.05$), 導出部位 ($F(2,14)=13.18$ $p<.01$) のそれぞれについての主効果と被験者×課題の有無の交互作用 ($F(7,14)=12.61$ $p<.01$) が有意であった。

Fig. 3の総加算平均波形の下に、無課題条件のERP波形から課題条件での波形を差し引いた差波形を、刺激音及び導出部位ごとに示した。差波形をみると、無課題条件での陰性偏移の様相が、純音、ノイズの両刺激間で異なっていることがわかる。すなわち、純音条件での陰性偏移は、刺激音提示後約80msecで始って約160msecで頂点に達し、その後長きにわたって持続している。それに対してノイズ条件での陰性偏移は、刺激提示前後から始まり、純音条件同様長期間持続しているが、純音条件にくらべてその頂点がはっきりしない。また、これらの陰性偏移の振幅はともにFzで優位であるが、刺激音提示後約160msecで頂点をもつ初期の陰性偏移量は、純音条件で大きくなった。また、この傾向は被験者ごとに求めた差波形についても認められた。

差波形の初期陰性偏移の頂点潜時および頂点振幅について、被験者・刺激音の種類・導出部位の3要因の分散分析を行なったところ、潜時では、被験者 ($F(7,14)=3.15$ $p<.05$), 刺激音の種類 ($F(1,14)=9.41$ $p<.01$) の主効果および被験者×刺激音の種類の交互作用 ($F(7,14)=6.45$ $p<.01$) が有意であった。振幅では、被験者 ($F(7,14)=4.73$ $p<.01$), 刺激音の種類 ($F(1,14)=47.33$ $p<.01$), 導出部位 ($F(2,14)=12.07$ $p<.01$) の3要因すべての主効果および被験者×刺激音の種類の交互作用 ($F(7,14)=24.86$ $p<.01$) が有意であった。

考 察

本研究では、物理的特性の異なる2種類の刺激音に対するERP波形を、暗算作業を課した条件と課さない条件とで測定した。その結果、ノイズに対する N_1-P_2 振幅が純音に対するものよりも大きかったが、両刺激音に対する N_1-P_2 振幅は、どちらも課題の有無の影響を受けずに一定であった。一方、 N_1 振幅および P_2 振幅は、無課題条件で陰性方向への偏移を示した。

これまでに行なわれた注意に関するERP研究では、このような陰性偏移についてふたつの見方がなされている。そのひとつは、緩反応成分自体の変化としてとらえるもの(Hillyardら, 1973)であり、もう一つは、緩反応成分自体は変化せず、その上に内因性成分が重畳した結果によるものというNäätänenら(1978)やHansenとHillyard(1980)などの考え方である。本研究結果では、それぞれの刺激音に対する N_1-P_2 振幅は課題の有無にかかわらず一定であり、かつ N_1 振幅および P_2 振幅の陰性偏移は、 N_1 成分、 P_2 成分の頭皮上分布と異なり前頭部で大きかった。このことから、ここでみられた陰性偏移は、 N_1 や P_2 自体の変化ではなく、Näätänenらの示したような内因性の成分の重畳の結果と考えるほうが妥当であろう。

ノイズに対する N_1-P_2 振幅は、純音に対する振幅よりも大きかった。これは、純音とノイズの大きさを等しくする作業が非常に困難であったとの被験者の内観報告から考えると、被験者がノイズの大きさを純音の大きさよりも大きく設定したことによって生じた可能性もある。

課題の有無と刺激音の種類別の各波形では、4条件のいずれでも前頭部から頭頂部にかけて優位な陰性偏移が認められた。この陰性偏移はふたつの成分に分けることができる。一つは、刺激音提示後約150msecから160msecを頂点とする初期の成分であり、もう一つはそのあと長期にわたって持続する後期の成分である。このふたつの陰性偏移成分は、それぞれこれまでに報告されている注意関連陰性電位の潜時や頭皮上分布と類似している。

Näätänenら(1978)およびNäätänen(1985)は、その初期成分を“Processing Negativity”、後期成分を“Mismatch Negativity”と名づけ、前者は、先行する選択過程の処理によって生ずるものであるとし、後者は、頻度の高い標的刺激の神経表象と頻度の低い刺激入力と比較選択する過程を反映するもので、被験者の注意の方向とは無関係に生じるものとしている。また、GaillardとVerduin(1985)は、初期成分を刺激を類別する過程に関連するものとみなし、これを“Early Negativity”と名付け、一方、後期成分については刺激の符号化の過程と関連するものと考えている。さらにOkita(1979)は、これらの陰性成分の振幅が、注意の資源配分量を反映するものであると述べている。

本研究で用いられた刺激音や実験条件が、これまでの他の研究と異なっているにもか

かわらず、それらの結果が類似したものとなったことは注目に値する。われわれの研究では、被験者は特に刺激音に対して注意を向けるような指示を与えられてはいなかった。しかし、いずれの刺激音や条件であっても、提示された刺激音に対しては何らかの注意資源の配分が行なわれていたはずであり、実験条件によって配分の程度が変化すると考えられる。すなわち、無課題条件では刺激音に対する注意配分量だけが問題となるのに対し、課題条件では刺激音以外に暗算作業への注意配分量が多くなるため、相対的に刺激音への注意配分量が少なくなると推定される。この際、刺激特性によっても配分量が異なり、ノイズは被験者に不快感をもたらす程度が大きいため、それに注意が向けられ配分量も多くなると考えられる。このことがERP波形の陰性偏移量の差となって現われると考えられる。このようなことから、本研究で得られたERPの陰性変化を反映している処理は、これまでに報告された注意陰性電位の示す刺激処理と極めて類似しているように思われる。

無課題条件での差波形にみられるノイズと純音に対するERPの電位差は、刺激音の物理的差異に伴う注意配分量と関連するのに対し、課題条件での差波形の振幅の増大は、課題条件での被験者の純音とノイズに対する両注意配分量の差の増大として現われていると考えることができよう。また、この差が初期陰性成分のものであることから、刺激の初期選択を経た、より高次の刺激処理がノイズに対して行なわれていることが示唆される。無課題・課題両条件での差波形における後期の陰性成分の欠落は、純音、ノイズの双方に対する刺激の初期選択が、課題の有無にかかわらず同じように行なわれているために、双方で生じているはずの後期陰性成分が相殺されたと解釈することができれば、これまでに得られた知見との一貫性が保たれる。

刺激音別のERPの陰性偏移は課題の有無によって異なっている。すなわち、純音に対しては、無課題条件で150msecを頂点とする初期陰性成分とそれに引き続いて長期にわたり持続する後期陰性成分がみられるのに対し、ノイズに対しては初期の陰性成分がはっきりせず、刺激音提示前後から明らかな頂点を持たない陰性偏移が持続している。これは、課題の有無の刺激処理に及ぼす影響が純音とノイズで異なっていることを示すものである。すなわち、純音の場合、無課題条件では暗算作業に注意資源を配分する必要がないので、刺激音に対する注意資源の配分が課題条件よりも多く行なわれ、初期選択後の高次処理まで行なわれる一方、課題条件では、暗算作業に注意が多く向けられるため、処理が初期選択段階で終了することが多いと思われる。それに対しノイズでは、課題・無課題両条件を通じて注意配分量がほぼ等しいために初期陰性成分が相殺され、頂点がはっきりしない結果となったと思われる。

本研究では、被験者の受動的な注意の転換によっても刺激弁別をとまなう選択的注意事態と同様のERPの陰性偏移が生じることが明らかとなった。また、注意を向けて

いない刺激音に対しては、その処理が初期の段階である選択過程だけにとどまるのではなく、刺激音の物理的特性によってはさらに高次の処理まで行なわれる可能性が示唆された。これは、Alhoら(1986)の結果を支持するものであるが、彼らのいう神経表象とは標的刺激の雛形としてのものであり、本研究ではそれが存在しない点で異なっている。この相違は、初期の陰性偏移が、弁別課題における標的刺激の短期的な神経事象と感覚入力との符合に基づいて刺激を類別することだけではなく、記憶痕跡のような長期にわたって蓄積された神経事象とのより広範な符合類別をも反映することを示唆するものである。

要 約

8人の被験者について、純音およびノイズに対するERP波形を暗算による加算作業課題条件と無課題条件において記録し、注意の転換におけるERPの変化について検討を行なった。その結果、これまでに報告されている選択的注意事態での研究と同様のERP波形の陰性変化が認められた。この陰性変化は、150msecから160msecの間に頂点をもつ初期の陰性成分と、その後長期にわたって持続する後期の陰性成分との二つに分けられた。これらの成分はそれぞれ、Näätänenら(1978)の“Processing Negativity”と“Mismatch Negativity”に対応し、振幅は、被験者の注意資源の配分量を反映しているものと考えられた。これらの結果から陰性成分が、刺激の弁別を必要としない注意の転換でも、被験者によって注意が向けられていない刺激の処理についての指標となることが示唆された。また、注意を向けていない刺激の処理は、初期の段階である選択過程だけではなく、刺激の物理的特性によっては、さらに高次の段階まで行なわれている可能性が示された。

引用文献

- Alho, K., Sams, M., Paavilainen, P., & Näätänen, R. 1986 Small pitch separation and the selective-attention effect on the ERP. *Psychophysiology*, **23**, 189-197.
- Gaillard, A.W.K. & Verduin, C.J. 1985 Comparisons across paradigms: An ERP study. In Posner, M.I. & Marin, O.S. (Eds) *Attention and performance XI* (pp.375-388). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hansen, J.C. & Hillyard, S.A. 1980 Endogenous brain potentials associated with selective auditory attention. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, **49**, 277-290.
- Hillyard, S.A., Hink, R.F., Schwent, V.L., & Picton, T.W. 1973 Electorical signs of selective attention in the human brain. *Science*, **182**, 177-180.
- Näätänen, R. 1985 Selective attention and stimulus processing: Reflections in event-related potentials, magnetoencephalogram, and regional cerebral blood flow. In Posner, M.I. & Marin, O.S. (Eds) *Attention and performance XI* (pp.355-373). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Näätänen, R., Gaillard, A.W.K., & Mäntysalo, S. 1978 Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, **42**, 313-329.
- Okita, T. 1979 Event-related potential and selective attention to auditory stimuli varying in pitch and localization. *Biological Psychology*, **9**, 271-284.