

学位論文

選択的聴取における注意機構に
関する心理生理学的研究
— 事象関連電位を指標とした非注意刺激の
処理過程の検討 —

広島大学大学院
教育学研究科
実験心理学専攻

赤井俊幸

目次

第1章 研究の背景と目的 (1)

第1節 注意研究の概観 (3)

第2節 注意と事象関連電位(ERP) (19)

第3節 非注意刺激の処理過程とERP (34)

第4節 研究の目的 (41)

第2章 選択的聴取時の非注意刺激ERP (44)

第1節 刺激間隔の効果(実験1) (45)

第2節 新奇刺激に対するERPの分析(実験2) (64)

第3節 注意刺激と非注意刺激の類似度の効果(実験3) (99)

第4節 非注意刺激の強さの効果(実験4) (114)

第3章 総合考察 (132)

第1節 本研究の成果と意義 (133)

第2節 今後の課題 (141)

引用文献 (145)

謝辞 (171)

第1章 研究の背景と目的

日常の生活において、われわれの外界には多数の刺激が同時に存在している。しかし、ヒトが持つ情報処理能力には限界があることから、全ての刺激を同時に認知することはできず、特定の刺激あるいは刺激群のみが優先的に処理される。特定の刺激を優先的に処理しようとする際には、われわれはその刺激に対して意図的に注意を向ける。刺激選択過程と注意のこのような関わりは、Cherry(1953)が「カクテル・パーティ問題」と表現した現象に素朴な形で現れている。

パーティ会場では、多くの人々の話声は互いに合成され、物理的にみればそこには雑音に近い音が存在しているにすぎない。しかし、自分が聴き取ろうとする音声に意図的に注意を向けることによって、それを音声として明瞭に知覚することができる。一方、それ以外の会話は単なる雑音のままであり、注意が特定の音声に対してさらに集中されると、背景の会話はあたかもそこに存在しないかのように、全く意識に上らない。このような現象は、注意を向けている音声の物理的エネルギーよりも、背景の会話のエネルギーの方が大きい場合でも生じる。なぜ特定の音声に注意を向けることによって、それ以外の会話は意識的な知覚に至らなくなるのであろうか。また、ある音声に注意を向けていても、コップが割れると、その音に対して注意が非意図的に移行してしまうことがある。コップが割れるその時点までは、背景の会話は全く意識的に知覚されていなかったにもかかわらず、なぜコップが割れた音は注意を引きつけることができたのであろうか。

科学としての心理学が興って以来、刺激選択過程における注意の機能に関しては膨大な数の研究がなされ、近年の認知心理学においては最も重要な研究課題の一つとなっている。ところで、これまでの注意研究の多くは、注意が向けられた刺激の処理過程を検討対象としてきたが、一

方，注意が向けられない刺激の処理過程については，方法論的な制約から十分に調べられてはこなかった．しかし，そのような制約を解決することを可能にしたのが，事象関連電位を従属測度とする研究である．本研究は，聴覚モダリティにおける刺激選択過程に関する問題の中でも，注意が向けられない刺激の処理過程について検討し，ヒトの認知過程における注意の機能について，心理生理学的側面から明らかにしようとするものである．

第1節 注意研究の概観

1.1.1. 注意の概念と定義

James(1890)が，"Everyone knows what attention is."(Burkhardt (Ed.), 1981, p. 381)と述べているように，「注意」という用語は，日常生活において非常によく用いられ，直感的に理解しやすい概念ではあるが，多くの心理過程を包含する多義的な用語である．例えば，先述したカクテル・パーティの例では，「注意」とは特定の刺激を優先的に抽出し，その他の刺激を排除する選択機能としてとらえられる．また，「頭部に外傷を負った患者は注意力が低く，そのため周囲の呼びかけに反応しない」という文脈での「注意」は，覚醒水準と言い替えることができる．その他にも様々な心理過程を表現するために，多くの場面で「注意」という用語が使われている．

Moray(1970)は，注意という概念に含まれる心理過程として，(1)精神の集中(mental concentration)，(2)ヴィジランス(vigilance)，(3)選択的注意(selective attention)，(4)探索(search)，(5)活性化(activation)，(6)

構え(set), (7)合成による分析(analysis-by-synthesis; Neisser, 1967)の7つをあげている。また御領(1983)は、これら7つの心理過程に、努力あるいは資源を加えたうえでこれらをまとめ、注意の概念を、(1)選択機能、(2)覚醒水準(強度と持続性)、(3)容量(配分しうる努力・資源の量と作業量の関係)の3つに分類している。

このように、注意という概念には様々な心理過程が含まれることから、注意という用語には様々な定義がなされている。James(1890)は、注意を「同時に存在しうるいくつかの思考の対象や連鎖の中の一つを、明瞭かつ鮮明に心にとらえること」と定義し、意識の焦点化と集中が注意の本質であるとした。Kinchla(1980)は、注意という用語が用いられる範囲の拡大に対応して、「人間の情報処理における選択性に関わる知覚的・認知的メカニズムの全て」とした。また下條・彦坂(1992)は、注意を「なんらかの手がかりや意図的な努力などによる、局所的で一時的な感覚情報処理の選択と促進」と定義した。van der Heijden(1992)は、注意を操作的に定義し、「適切な選択、強調または優位性に関する教示のある条件での検出・再認成績の、そのような教示のない条件での成績に対する優位性」とした。これらの定義は、注意という用語を感覚・知覚レベルに限定するか、あるいは運動や思考にまで範囲を広げるかなど、いくつかの点において相違点がみられるが、少なくとも注意のもつ選択性を強調している点では一致している。

Johnston & Dark(1986)は、注意に関する理論を「原因論的理論」と「結果論的理論」に分けている。前者は、注意が原因となって刺激の選択や、注意刺激の優先的な処理が行われるとする考え方であり、Shiffrin & Schneider(1977)や Broadbent(1971, 1982)の理論が当てはまる。後者では、注意はプライミング効果の結果として自然に生じる受動的副産物

であるとみなされ、James(1890)や Neisser(1976)の理論が当てはまる。Johnston & Dark(1986)は、これら2つの理論を明確に区別することはできないとしているが、研究を進めるうえでは、どちらの立場に立脚するかを明確にしておく必要があるだろう。

本研究は、注意のもつ選択機能を強調し、原因論的立場に基づく Hillyard & Picton(1979)による注意の定義を採用する。すなわち、注意を「知覚的あるいは運動的反応を、他よりも優先的に、1つの刺激カテゴリーあるいは次元に対して選択的な状態にさせうる中枢神経系の機能」と定義する。

1.1.2. 初期の注意研究

1800年代の終わりに科学としての心理学が始まった頃、注意は中心的な研究対象であった。W. Wundt に始まる意識主義的心理学では、注意は意識とほとんど同じ意味として扱われていた。Wundt は、心理学は意識過程を直接に研究対象とするべきであると主張し、Wundt の心理学を継承した E.B. Titchener は、構成主義の立場から、意識内容の構成要素としての感覚および心像に明晰性を与えるものが注意であるとした。また W. James は、機能主義の立場から、注意の本質とは意識の焦点化と集中であるとした(本明, 1992 による)。彼らの研究を含め、この頃の研究では、主に内観法が研究手法として用いられていた。

しかし、内観法という非常に主観的な研究方法を用いた研究は、W.B. Watson たちによる行動主義心理学、そして M. Wertheimer たちによるゲシュタルト心理学から、痛烈な批判を受けた。行動主義心理学は、感覚刺激に対する顕現的反応のみが研究対象となり得ると主張した。そして、注意や意識といった主観的・個人的なものは客観的に測定すること

ができないので、科学的心理学の研究対象とはなり得ないとして、意識主義的心理学を批判した。またゲシュタルト心理学は、刺激の知覚・認知は、近接の要因や類同の要因などのゲシュタルト法則による所産であり、知覚・認知過程に注意という概念を導入する必要は全くないと主張した(注意研究の衰退とゲシュタルト心理学の関係については、柿崎、1983に詳しい)。

こうした経緯で注意の研究はしばらく途絶えてしまったが、1950年代前後に起こった行動主義心理学への批判とともに、注意研究は復活した。そのきっかけの一因は、第二次大戦の際の軍事研究であった(大谷、1972)。人間の内的な心理過程をブラックボックスとみなす行動主義心理学の理論では、刺激-反応間に介在する中枢過程に大きく依存する行動に関する問題、例えば雑音が多い通信をどのようにして聴き取りやすくするか、飛行中の航空機を追従しながらどのようにしてうまく撃ち落とすか、またどのようにして誤りなしにレーダーを監視するかといった実際の課題を解決することはできなかつたのである。一方、その当時から発展してきた情報科学の影響を受け、内的な心理過程をコンピュータと類似した情報処理機構とみなすことによって、心理現象や心的機能を明らかにしようとする認知心理学が興った。コンピュータと同様にヒトの心的活動も、様々な機能を分担するいくつかの下位過程によって実現されると考えることによって、刺激選択過程を客観的に検討できることが保証されたのである。

注意に関する認知心理学的研究の先鞭となったのが、Cherry(1953)やBroadbent(1954)の研究である。彼らが開発した、両耳分離聴(dichotic listening)や追唱(shadowing)、スプリット・スパン(split span)などの手法は、その後の研究でも多く用いられ、刺激選択過程に関する様々な知

見が蓄積された。そして、それらの知見を集約して、刺激選択過程と注意に関する最初の認知心理学的モデルを提出した著作が、Broadbent(1958)による"Perception and communication"である。現在では、注意という概念は認知心理学の中核に位置づけられ(Keele & Neill, 1978)、心理生理学や神経生理学、神経心理学の分野においても主要な研究テーマの一つとなっている。

1.1.3. 認知心理学的注意研究

刺激選択過程と注意に関する初期の認知心理学的研究においては、視覚刺激よりも聴覚刺激が多く用いられた。その第1の理由は、聴覚モダリティでは、非注意刺激があたかも存在しないかのように感じられるほどに、注意の効果が劇的に現れる点である(このことは、カクテル・パーティ現象に如実に表されている)。第2の理由は、注意という中枢機能の検討において、末梢感覚器の構造・機能に由来する交絡的影響を避けることができるという点である(Broadbent, 1958)。複数の視覚刺激を同時に呈示すると、それらは網膜上の異なる場所に投影される。このような場合に、仮に中心窩に投影された刺激が優先的に処理されたとしても、それは注意の効果なのか、あるいは網膜の感受性の空間特性の違いによるものなのかを分離することはできない。このような問題は、中心窩から等距離を隔てた場所に刺激を呈示することで解決できるかもしれないが、その場合には被験者の眼球運動を生じさせないようにするための新たな工夫が必要である。一方、聴覚モダリティにおいては、左右各耳に1つずつの刺激を呈示することによって、このような問題は避けることができる。また、単耳に複数の刺激を同時呈示するとしても、蝸牛基底膜の感受性の空間特性は、網膜の場合ほどには問題にならない。

前述したように、注意研究が盛んになった一つの原因は、Cherry(1953)による「カクテル・パーティ問題」の提出であった。彼は、カクテル・パーティにおける現象をシミュレートするために、両耳分離聴および追唱という研究パラダイムを開発した。この方法は、被験者の両耳に異なる物語の朗読を呈示し、どちらか一方の朗読に追従してそれを発声するように要求するものである。刺激を両耳に分離して呈示することによって注意刺激と非注意刺激の分離を高め、注意刺激を追唱させることによってそれに対する注意の焦点化を強要したのであった。実験の結果、被験者は、注意を向けない耳に呈示された物語については記憶していなかった。また、注意を向けない耳に呈示される物語の変化(例えば、録音テープの回転を逆にすることなど)には気付かなかった。しかし、その物語の朗読者が男性から女性へと変化したり、純音が呈示された場合には、被験者はそれに気付いた。これらの結果は、非注意耳に呈示された刺激の意味内容は分析されないが、物理的特徴は分析されていること、そして非注意耳における物理的特徴の変化は、非注意耳に対して注意を切り替えさせる信号となることを示している。

その後、追唱やスプリット・スパンなどのパラダイムを用いた研究で得られた知見に基づいて、Broadbent(1958)は、刺激選択過程と注意に関する認知心理学的モデルを提案した。そのモデルにおいては、Figure 1Aに示したように、バッファ貯蔵庫(感覚記憶貯蔵庫)と、容量に限界があるチャンネル(短期記憶貯蔵庫)が想定された。そして注意の機能は、バッファ貯蔵庫に一時保持される多くの刺激の中から、特定の刺激のみを限界容量チャンネルへと送出させることであり、この機能は選択的フィルタにたとえられた。この選択的フィルタでは、注意が向けられなかった刺激は完全に排除されてしまう。一方、選択的フィルタを通過した

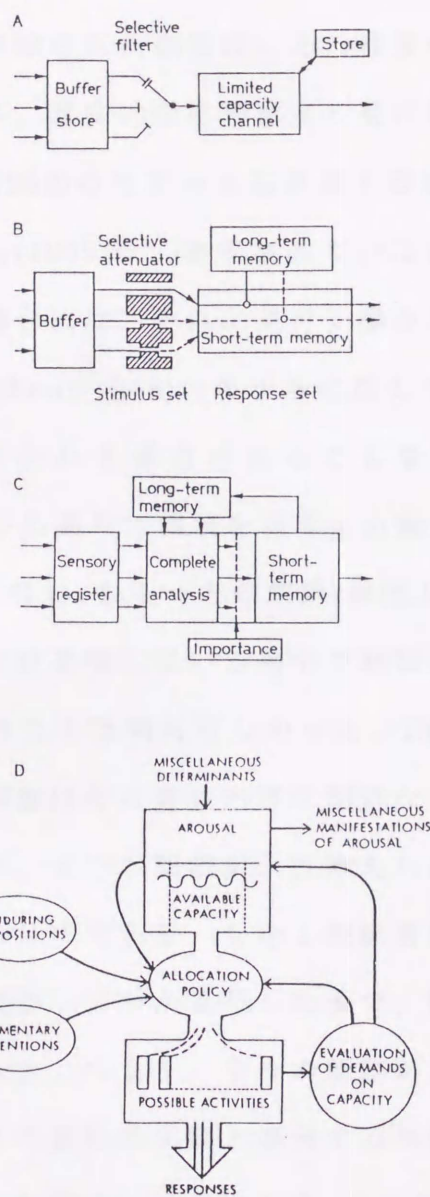


Figure 1 刺激選択過程と注意に関する種々の認知心理学的モデルの模式図(A: Broadbent(1958), B: Treisman(1960, 1964a), C: Deutch & Deutch(1963), Norman(1968), Shiffrin & Schneider(1977), D: Kahneman(1973)).

A, BおよびCは, Hillyard & Picton(1979)の Figure 1 を改変して引用. Dは Kahneman(1973)の Figure 1-2 より引用.

刺激は限界容量チャンネルに到達し、意識的に知覚される。このモデルにおける選択的フィルタは、刺激の物理的な特徴のレベルで選択を行うことから、その段階で排除された刺激は、ある程度の物理的特徴についての分析は受けるものの、意味的な処理は全く受けない。

しかし、Broadbent(1958)のモデルとは矛盾する結果がいくつか提出された。例えば、Moray(1959)は、追唱されていない耳であっても、自分の名前が呈示された場合には、それに気付く場合があることを見出した。この結果は、Broadbent(1958)のモデルに反して、非注意刺激であっても意味的処理が行われる場合があることを示している。また Treisman(1960)は、2つの異なる朗読を両耳に分離呈示し、被験者には一方の朗読(朗読1)を追唱し、もう一方の朗読(朗読2)は無視するように求めた。そして、被験者が追唱している途中で朗読1と朗読2を入れ替えたが、被験者にはこのことは知らせなかった。Broadbent(1958)が主張するように、非注意刺激はその意味内容に関係なく意識的な知覚には全く至らないのであれば、2つの朗読が入れ換えられるとすぐに被験者は朗読2を追唱し始めるはずである。しかし被験者は、非注意耳に入れ換えられた朗読1の単語をいくつか追唱した後で、注意耳に入れ換えられた朗読2を追唱し始めた。つまり、2つの朗読が入れ換えられる前までに追唱していた朗読1の意味的文脈と適合する単語は、非注意耳に呈示されていても意識的に知覚されたのである。この結果は、Moray(1959)の実験結果と同様に、非注意刺激であっても場合によっては選択的フィルタを通過し、意味的な処理が行われ得ることを示している。

Treisman(1960, 1964a)は、これらの実験結果から、フィルタの機能をとらえなおした。つまりフィルタは、非注意刺激を「完全に」排除するのではなく、抑制するのであると考えた(Figure 1B)。そして、この抑

制の強さは、その時々的重要性や関連性によって変化するとした。つまり、非注意刺激があまり重要でない場合には抑制が強く働き、その刺激は非常に弱められ、短期記憶系に入っても意識的な知覚には至らない。一方、自分の名前のように重要性の高い刺激や、注意刺激の意味内容と関連のある刺激に対しては抑制があまり働かず、結果的にそれらは意識的に知覚されるのである。その後、Broadbent(1971)も Treisman(1960, 1964a)と類似した考えを示した。これらのモデルは、刺激処理系における比較的早い段階で刺激選択がなされることを想定しており、初期選択モデルと呼ばれる。

一方、Deutch & Deutch(1963)や Norman(1968), Shiffrin & Schneider(1977)は、Moray(1959)や Treisman(1960)の実験結果を説明するために、初期選択モデルとは異なる刺激選択機構を提案した。彼らのモデルでは、刺激の選択・排除が起こるのは、刺激の物理的特徴だけでなく意味的内容までもが全て自動的に処理された後であると想定された。そして注意は、処理された全ての刺激の中から、反応すべき刺激を決定する際に機能すると考えた(Figure 1C)。これらのモデルは、刺激処理系における比較的遅い段階で刺激選択がなされることを想定しており、後期選択モデルと呼ばれる。

上述の各モデルは、刺激の選択が行われる処理段階については意見が分かれているが、注意の機能を選択フィルタとみなしている点で一致している。一方、これらのフィルタリング・モデルとは全く異なる観点から刺激選択過程を説明しようとするモデルが、Kahneman(1973)や Norman & Bobrow(1975)などによって提案された。Kahneman(1973)のモデル(Figure 1D)では、総量に限界のある注意資源(処理資源あるいは努力)を想定し、種々の心的活動に対してこの注意資源が配分されると考

えられた。注意資源の配分量はその時々々の意図や資源需要の評価に基づいて決定される。このモデルに従えば、刺激の選択は以下のように説明される。つまり、特定の刺激(注意刺激)の処理に対してほとんどの注意資源が配分されるので、その他の刺激の処理に供給できる注意資源は失われる。したがって注意刺激のみが優先的・選択的に処理され、非注意刺激は意識的な知覚に至らないのである。

刺激選択は、聴覚モダリティと視覚モダリティでは異なるメカニズムによって実現されているかもしれない。さらに、これら2つのモダリティ間にまたがって選択が行われる場合についても議論されている(Alho, Woods, Algazi, & Näätänen, 1992; Buchtel & Butter, 1988; Farah, Wong, Monheit, & Morrow, 1989; Quinlan & Bailey, 1995; Spence & Driver, 1994; Woods, Alho, & Algazi, 1992, 1993)。しかし、これまで述べてきた刺激選択過程と注意に関するモデルは、特定のモダリティにのみ限定されたものではなく、大筋においてはいずれのモダリティにも適用できると考えられている。

1980年代初頭までの注意研究における一つの流れは、初期選択モデルと後期選択モデルのいずれが妥当であるかについての論争であった。しかしこの論争は、明確な解答が与えられないままに衰退してしまった。なぜなら、注意の関与する処理段階は課題の性質に応じて柔軟に変動し、刺激選択過程において注意が関与する段階を処理系の一部に局在させる考え方が妥当でないことが示唆されてきたからである(石口, 1983; 岩崎, 1990; Johnston & Heinz, 1979; Tipper, Weaver, & Houghton, 1994)。したがって、今後は刺激選択が行われる段階を規定する要因に関する研究が求められるだろう。

1.1.4. 非注意刺激の処理過程－非注意刺激処理に対する抑制－

刺激選択過程と注意の問題については、注意刺激の処理過程を主な検討課題としたものが非常に多い。一般に、注意を向けられた刺激は、向けられなかった刺激に比べてより深い処理が行われたり、反応時間が短縮することが知られており(岩崎, 1990), 注意は刺激処理に対して促進的に機能すると考えられている。では、注意刺激処理に対する促進と対照的に、非注意刺激処理に対する抑制は存在するのであろうか。

いくつかのモデルでは、非注意刺激処理に対する抑制などの、非注意刺激処理に特異的な付加的処理は想定されておらず、注意の機能を注意刺激処理に対する促進、ないしはそれに対する注意資源の配分としてとらえている。例えば、Broadbent(1958)のモデルでは、注意刺激は選択的フィルタを通過した後、意味的内容の分析などの詳細な処理を受けるが、非注意刺激の表象はバッファ貯蔵庫において、時間経過にともない受動的に減衰すると考えられている。さらに、Deutsch & Deutsch(1963)やShiffrin & Schneider(1977), Kahneman(1973), Näätänen(1990)などのモデルでも同様に、非注意刺激処理に対する抑制は想定されていない。特に Neisser(1976)は、非注意刺激処理に対する抑制の存在を明確に否定している。「積極的にかかわることによって、聞くものを選択するのであって、同時に存在する他のものを閉め出しているわけではない。……それでは、注意のはらわれない情報に対してはどのようなことが生ずるのだろうか。普通、それには何事も起こらないのである。……すなわち、われわれは、ただ、それを抽出しないのである」(古崎・村瀬訳, 1978, Pp. 91-92)。

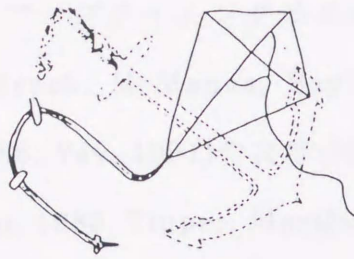
一方、注意の機能には、注意刺激処理に対する促進に加えて、非注意刺激処理に対する抑制が含まれるとする考えがある。前述したように、

Treisman(1960, 1964a)および Broadbent(1971)は, Broadbent(1958)のモデルを修正し, 刺激選択は非注意刺激処理を抑制することによって行われると考えた. さらに, 近年注目を集めているネガティブ・プライミング効果(Tipper, 1985; レビューとしては, Houghton & Tipper, 1994; Fox, 1995)は, 非注意刺激処理に対する抑制の存在を支持する有力な証拠と考えられている.

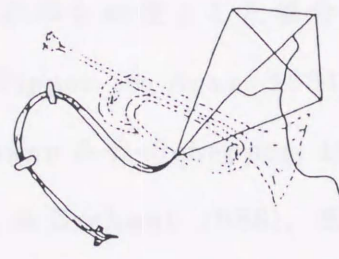
Figure 2には, Tipper(1985)の実験1で用いられた刺激と実験結果を示した. プライム刺激は, 赤色(図では実線)の線画および緑色(図では点線)の線画が重なり合ったものである(呈示時間は35ms). その後, プライム刺激と同様に, 赤と緑の線画が重なり合ったプローブ刺激(40ms)が呈示される. 被験者には, プライム刺激とプローブ刺激のいずれにおいても, 赤い線画に注意し, 緑の線画は無視するよう教示した. そして, 注意プローブ刺激が何であったかをできるだけ早く命名し, その後, 注意プライム刺激が何であったかを報告するよう求めた. 命名すべき注意プローブ刺激(トランペット)とプライム刺激の関連性については, 2条件を設けた. 統制条件(Figure 2 上段左)では, 注意プライム刺激(凧)および非注意プライム刺激(いかり)の両者ともに, 注意プローブ刺激とは関連がなかった. 一方, 非注意刺激反復条件(Figure 2 上段右)では, 非注意プライム刺激(トランペット)が注意プローブ刺激として反復呈示された.

実験の結果, 非注意刺激反復条件における命名潜時(797ms)は, 統制条件における命名潜時(749ms)よりも有意に遅かった. この結果は, 一般的に観察されるプライミング効果とは逆の結果であり, 以前に無視された刺激の処理は遅延することを示すものであった. Tipper(1985)は, この反応遅延をネガティブ・プライミングと命名し, 注意の機能には非

PRIMES

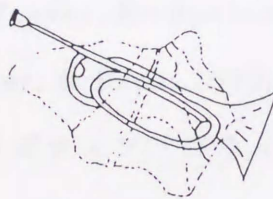


CONTROL



IGNORED REPITITION

PROBE



Mean Naming Latencies

749 ms

797 ms

Figure 2 Tipper(1985)の実験1で用いられた刺激と実験結果.

実験の詳細については本文を参照のこと. Tipper(1985)の Figure 1 を
改変して引用.

注意刺激処理に対する抑制が含まれることを示す証拠と考えた。なぜなら、もし非注意刺激の処理が抑制されていないとすれば、非注意プライム刺激が何であろうと注意プローブ刺激の命名潜時には影響しないと考えられるからである。

ネガティブ・プライミング効果は、線画を刺激とした場合だけではなく、単語(Beech, McManus, Baylis, Tipper, & Agar, 1991; Tipper & Driver, 1988; Yee, 1991)や文字(Neumann & DeSchepper, 1992; Tipper & Cranston, 1985; Tipper, MacQueen, & Brehaut, 1988)、記号(Tipper, Brehaut, & Driver, 1990; Tipper & McLaren, 1990)を刺激としても生起する。また、刺激の命名課題だけではなく、ストローク課題(Neill, 1977; Neill & Westberry, 1987)や記号の呈示位置の同定課題(Shapiro & Loughlin, 1993; Tipper, Weaver, Kirkpatrick, & Lewis, 1991)、文字の異同判断課題(Neill, Lissner, & Beck, 1990; Tipper et al., 1988)、語彙判断課題(Yee, 1991)でもネガティブ・プライミングは生起する。このように、様々な刺激事態および課題においてネガティブ・プライミング効果が観察されるという知見は、非注意刺激処理に対する抑制は、刺激選択過程における基本的な知覚・認知機構であることを示唆している。しかし、通常の促進的プライミング効果に比べて、ネガティブ・プライミング効果が一般的に小さい(20-60ms程度)ことを考えると、刺激選択は非注意刺激処理に対する抑制だけで行われている(Broadbent, 1971; Treisman, 1960, 1964a)のではないと思われる。むしろ、刺激選択においては注意刺激処理に対する促進機構の寄与が大きく、非注意刺激処理に対する抑制は、注意刺激処理に対する促進機構を補足する役割をもつと推測される(Houghton & Tipper, 1994; Keele & Neill, 1978)。

ネガティブ・プライミング効果は、非注意プライム刺激が注意プロー

ブ刺激と同一でなくても、意味的に関連していれば生起する(Driver & Tipper, 1989; Tipper, 1985; Tipper & Baylis, 1987; Tipper & Driver, 1988)ことから、非注意刺激でも意味的处理を受けるとする、注意の後期選択モデル(Deutsch & Deutsch, 1963; Norman, 1968; Shiffrin & Schneider, 1977)を支持する証拠と考えられている。また、ネガティブ・プライミング効果は聴覚モダリティと視覚モダリティ間の選択においても観察される(Driver & Baylis, 1993)ことから、非注意刺激処理に対する抑制は視覚モダリティに限定されるものではないと考えられる。

1.1.5. 行動的測度の限界

刺激選択過程と注意に関する認知心理学的研究が始まってから、およそ40年以上が経過し、注意に関する現在の研究領域は、初期に比べて非常に広範囲にわたっている。現在までに得られた膨大な知見から、刺激選択過程と注意のメカニズムはかなり複雑なものであるということが分かってきた。これまで述べてきたように、刺激選択において、注意は知覚や記憶、反応などの様々な処理系に影響すると推測される。また刺激選択は、注意刺激処理に対する促進と、非注意刺激処理に対する抑制という2つの機構によって実現されていることが示唆される。

刺激選択過程に関する従来の研究においては、反応時間や正答率、信号検出率、再生率などの行動的測度が非常に多く用いられてきた。しかし、刺激選択の複雑なメカニズムを明らかにしていくためには、行動的研究だけでは十分ではなく、別の測度も取り入れる必要があると思われる。行動的測度は、刺激入力以降の様々な処理過程を経た最終結果として得られるので、それだけに基づいてそれぞれの処理過程間の時間的・機能的な相互関係を探ることは必ずしも容易ではない。この困難さの例

としては、刺激の符号化と反応の間の情報の流れに関する議論(例えば、Miller & Hackley, 1992; Miller, Riehle, & Requin, 1992; Mulder, Smid, & Mulder, 1993; Smid, Lamain, Hogeboom, Mulder, & Mulder, 1991; Smid, Mulder, Mulder, & Brands, 1992)がある。各処理段階に要する処理時間を反応時間から推定する場合、その推定は何らかの前提に基づかなければならない。しかし、刺激が完全に符号化された後に反応の選択・準備が始まると仮定する場合と、部分的な符号化情報だけでも反応の選択・準備が始まると仮定する場合では、得られた結果の解釈が異なってくる。

さらに、非注意刺激の処理過程を検討する場合には、注意刺激の処理過程を検討する場合にはない、新たな方法的問題が生じる。つまり、刺激に対して何らかの行動的反応を求めることは、必然的にその刺激に対して意図的に注意を向けさせることになるので、非注意刺激に対する直接的な行動的反応を得ることはできないという点である。両耳分離聴実験では、被験者の追唱反応への非注意刺激の侵入から、非注意刺激処理に対する抑制の存在が推測された。またネガティブ・プライミング実験では、注意プローブ刺激に対する反応に及ぼす非注意プライム刺激の影響に基づいて、非注意刺激処理に対する抑制の様々な特性が示されてきた。しかし、これらの指標は全て間接的なものであり、非注意刺激の処理過程を直接的に調べてはいない。特に、非注意刺激に対する反応時間を測定できないことから、非注意刺激の処理に関する時間的情報を推測することは非常に難しい。本研究では、行動的測度が持つこれらの限界を補う測度として、事象関連電位(event-related potential, ERP)を用いる。以下で述べるように、認知過程、とりわけ非注意刺激の処理過程を探るうえで、ERPは非常に適した指標であると思われる。

第2節 注意と事象関連電位(ERP)

1.2.1. ERPとその構成成分

ヒトの頭皮上に電極を配置し、そこから導出される電位変動を増幅すると、大脳や中脳、脳幹などを構成する多数のニューロンの複合的な電気活動を記録することができる。このようにして記録される脳電位は、脳波(あるいは背景脳波、自発脳波)とERPに大別できる。脳波は、外的事象と直接的には関連しておらず、比較的持続的な脳の状態を反映しており、主に覚醒水準や意識状態、あるいは思考などの全般的な心的活動にともなって変化する。一方、ERPは、刺激や運動、認知的事象に同期して生じる一過的な電位変動である(Hillyard & Picton, 1987)。また、ERPと同じく一過性の脳電位に誘発電位(evoked potential)がある。誘発電位は感覚刺激によって誘発される比較的短潜時の電位変動であり、被験者の内的状態や心的活動の影響を受けにくい。しかし、ERPと誘発電位を厳密に区別することは難しく、誘発電位を包括する概念としてERPという用語を用いる場合が多い。近年になり、ERPは事象関連脳電位(event-related brain potential)と呼ばれることも多くなった。これは、末梢部や大脳への刺激によって、頭皮上以外の部位から神経活動を記録することがあり、このような記録方法と区別するためである。

脳波が20-200 μ V程度の振幅であるのに対し、頭皮上から記録されるERPは一般に脳波よりも振幅が小さく(0.1-20 μ V程度)、単に脳電位を記録しただけでは脳波から区別して観察することはできない。脳波からERPを分離して抽出するためには、大抵の場合、加算平均処理が用いられる。加算平均処理とは、刺激を繰り返し提示し、刺激提示時点を基準として脳電位を加算し、最後に加算回数で除する処理法である。ERP

は刺激呈示と同期して出現する一方、脳波は刺激呈示とは全く関係なくランダムに変動すると仮定する(実際にはこのような仮定は全ての場合に当てはまるわけではない)と、加算平均処理を行うことによって、信号対雑音比(S/N比)は $\sqrt{n} \cdot (a/b)$ となる(ただし、 n は加算回数、 a は加算平均処理後の ERP の平均振幅、 b は加算平均処理後の脳波の平均振幅)。つまり、加算平均処理を行うことによって、脳波の平均振幅は ERP の平均振幅に比べて相対的に減衰し、ERP が観察されるようになる。脳波の減衰の程度は加算回数を増やすほど大きくなるので、原理的には、加算回数が多いほど、より明瞭な ERP が得られる。ただし、加算回数を増やすことはすなわち刺激の呈示回数を増やすことになるので、慣れや疲労などによって ERP 成分の振幅が減衰する可能性がある。そのような成分については、たとえ加算回数を多くしても、S/N 比が改善されるとは限らない。したがって、ERP の記録においては、研究目的に沿った最小限必要な加算回数を設定する必要がある。

Figure 3 に、聴覚刺激によって誘発される ERP の例を示した。頭皮上から記録される ERP 波形には、明瞭な頂点が認められる。ERP 波形の命名法として、極性を表す「N」(陰性)あるいは「P」(陽性)の後に出現の順序、あるいは出現潜時を付記する方法が提言されている。前者に従えば、ERP 波形において最初の明瞭な陰性波は N1 となり、後者に従えば、刺激呈示後 300ms に頂点をもつ陽性波は P300 と命名される。しかし、頂点が明瞭でない波や出現潜時が一定しない波についてはこの方法を適用することは難しく、個々の研究領域で便宜的に定められた呼称を用いる場合が多い。

記録された ERP 上の波は、見かけ上は一つの波であっても、必ずしも単一の脳部位から発生しているわけではない。ERP には、極性や潜時、

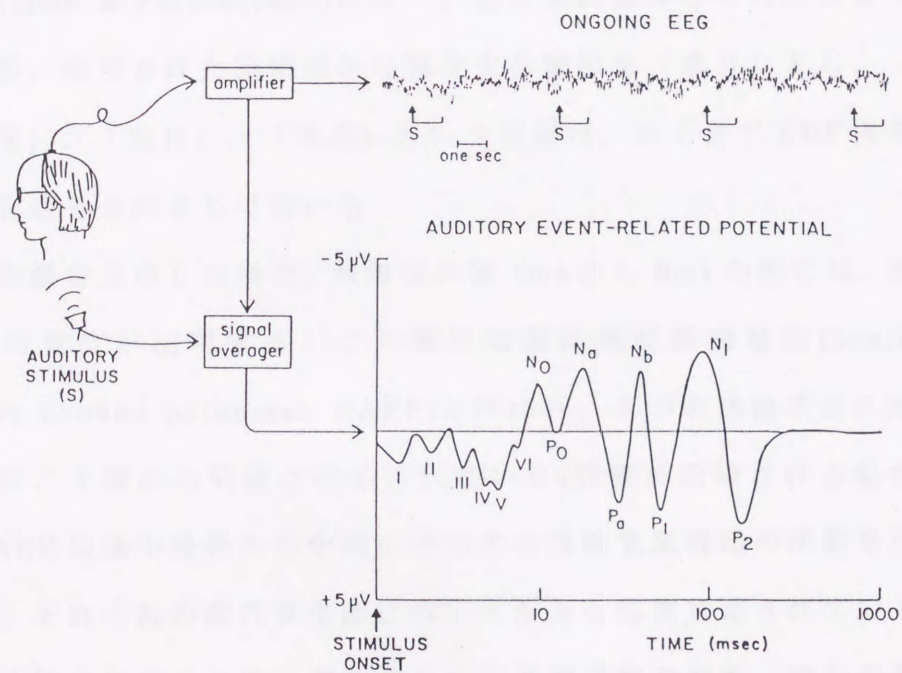


Figure 3 聴覚刺激によって誘発される ERP の模式図.

Hillyard & Kutas(1983)の Figure 1 を改変して引用.

振幅、発生源などが異なる多くの成分(component)が寄与している。ERP研究では波形を記述するうえで、「成分」や「波」、「電位」、「振れ」、「頂点」などの用語が用いられているが、Näätänen & Picton(1987)は、成分とこれ以外の用語を区別すべきであると主張している。本研究でも Näätänen & Picton(1987)に従い、主に実験操作との対応によって決定される、限局された脳領域から発生する電位を「成分」とし、「波」や「電位」、「振れ」、「頂点」という用語は、あくまでERP波形の現象的な記述を目的として用いる。

聴覚刺激を呈示した場合、刺激呈示後 1ms から 8msの間には、非常に低振幅の電位が出現する。この電位は脳幹聴覚誘発電位(brainstem auditory evoked potential, BAEP)と呼ばれ、6つの陽性頂点に対して出現順に、I波からVI波と命名されている(VII波が記録される場合もある)。BAEPは蝸牛神経から中脳に至る求心性聴覚伝導路の活動を反映しており、それぞれの波の発生源についてもある程度特定されている。また、BAEPは安定性の高い電位であり、覚醒水準や知覚、認知の影響をほとんど受けないので、末梢部の聴覚機能や脳死の診断に用いられている。

BAEPに続いて、刺激呈示後 50ms までには、No, Po, Na, Pa および Nb の5つの波で構成される中潜時反応(middle latency response)が出現する(Picton, Hillyard, Krausz, & Galambos, 1974)。中潜時反応は、内側膝状体や聴放線、大脳皮質聴覚領野などの活動を反映していると推測されているが、明確に特定されてはいない。

刺激呈示後 50ms 以降では、P1波、N1波およびP2波が惹起される(およその頂点潜時は、それぞれ 70ms, 100ms, 200ms)。これらの波のうち、N1波は様々な実験操作の影響を受けることが知られている(レビュー

一としては、Näätänen & Picton, 1987). 一般に N1 波は、刺激が強くと、刺激の立ち上がり時間が短いほど振幅が大きくなり、潜時が短縮する。また、刺激呈示が速くと、刺激の周波数が高いほど N1 波は減衰する。これらの刺激パラメータに加えて、覚醒水準などの被験者要因によっても N1 波は変動する。Näätänen & Picton(1987)によれば、N1 波は機能的意味の異なる 3 成分から構成され、それらは聴覚一次皮質を含む上側頭平面、聴覚連合野を含む上側頭回、そして運動皮質および前運動皮質から発生していると推測されている。また、これらの領域は視床の制御を受けることが示唆されている。

これまで述べてきた電位は、外的な感覚刺激事象によって受動的に誘発される電位であり、外因性(exogenous)成分と呼ばれる。外因性成分は、刺激の強さや周波数などの物理的特徴による影響を大きく受ける。外因性成分の記録にあたっては、被験者に対して特別な課題を与えなくても、単に刺激を呈示するだけでよい。また外因性成分は、一般にモダリティ特異的であり、各モダリティの感覚処理系の機能・構造に対応した頭皮上分布をもって現れる。

一方、内因性(endogenous)成分は、大脳内の心的事象などに大きく依存して生じる電位である。外因性成分が主に刺激の感覚的分析と関連して変動するのに対し、内因性成分は注意や記憶、意味的分析などの、より高次の知覚・認知的分析と関連している。内因性成分を記録するには、大抵の場合、被験者に対して何らかの課題を与える必要がある。代表的な内因性成分(内因性電位)としては、標的刺激の検出にともなって出現する P300 波ないしは P3b 成分(Sutton, Braren, Zubin, & John, 1965)がある。その他にも、期待と随伴陰性変動(contingent negative variation, CNV; Walter, Cooper, Aldridge, McCallum, & Winter, 1964)、逸脱刺

激の自動的検出とミスマッチ陰性電位 (mismatch negativity, MMN; Näätänen, Gaillard, & Mäntysalo, 1978), パターン認知と NA (Ritter, Simson, & Vaughan, 1983), 短期記憶探索と探索陰性電位 (search negativity; Okita, Wijers, Mulder, & Mulder, 1985), 刺激分類と N2 (Ritter et al., 1983), 意味的处理と N400 (Kutas & Hillyard, 1980) など, 様々な認知過程と内因性成分の関連が示されている (外因性成分と内因性成分の分類に関する問題については, Gaillard, 1988; 投石・下河内, 1981; 沖田, 1989 に詳しい).

種々の ERP の分類は, 電位の様相 (潜時, 極性, 出現順序, 頭皮上分布など) や, それを惹起する刺激の物理的特性, 被験者の状態, 課題の特性や心的操作との対応に基づいて決定される (Gaillard, 1988). 外因性電位に関しては, その潜時や頭皮上分布などの変動は小さく, 刺激の物理的特性や被験者の状態との対応も安定していることから, 分類は比較的容易である. 一方, 内因性電位に関しては, その様相は課題や被験者群などの影響を受けて大きく変動し得ることから, 外因性電位の場合に比べて分類は困難である. P300 波を例にとると, 標的刺激の検出が容易な場合には刺激呈示後およそ 250ms の潜時で出現するが, 検出が困難になるにつれて潜時は数百 ms 程度遅延する. また P300 波の頭皮上分布は, 感覚モダリティによっていくぶん異なることも報告されている. このような様相の違いだけに着目すると, 極論すれば実験を行うたびに新しい内因性電位が発見されることになる. したがって, 実験間での様相の違いだけに基づいて, 内因性電位を分類することは妥当ではない. もちろん内因性電位の分類において, 電位間の様相の違いは重要な決定因ではあるが, さらに, 電位が惹起される課題の特性や, 心的操作との対応について十分に検討したうえで, 注意深く分類する必要がある.

1.2.2. 認知過程と ERP

ERP を指標とした認知過程研究の目的は、ある心的機能に対応する ERP 変化(成分)を特定することによって、情報処理機構について検討することにある。この ERP 成分の特定作業は、その振幅や潜時に影響する実験変数を同定することで始まり、次いで変数の特性からその成分が関連する脳機能が推定される(沖田, 1989)。

認知過程に関する研究において ERP を指標とする意義の一つは、情報処理機構を探るための道具として、行動的測度と相補的に使えることである(沖田, 1989)。前述したように、行動的測度のみでは、ある処理に要する時間や、いくつかの処理段階間の時間的關係を知ることは難しい場合がある。しかし、刺激呈示から反応出力に至るまでの各処理段階に対応する ERP 成分を、一つの課題において同時に記録することによって、それらの処理段階の時間的關係を推測することが比較的容易になる。第 2 の意義は、認知過程と脳構造を対応づけられる点である。行動的測度のみでは、脳損傷患者などによるデータを用いない限り、そのような対応づけは非常に困難である。一方、頭皮上の多くの部位から ERP を記録することによって、特定の認知過程と対応する発生源を推定することができる。ただし発生源の推定においては、ERP に比べてさらに空間的分解能の高い、脳磁図(magnetoencephalogram)の記録や MRI(magnetic resonance imaging)、PET(positron emission tomography)などによる知見が必要となる場合もある。第 3 の意義は、臨床領域への応用である。認知機能と関連する ERP 成分が特定されると、その機能低下が基本障害と考えられる神経・精神疾患の客観的指標となる(福田・斎藤・亀山・平松・丹羽, 1988; 亀山・平松・斎藤, 1986; Roth, Tecce, Pfefferbaum, Rosenbloom, & Callaway, 1984; Tueting, Kaskey, Buchsbaum,

Connolly, Perris, & Roemer, 1984).

さらに、非注意刺激の処理過程を検討するうえでのERPの有用性を2つ指摘できる。第1に、被験者が刺激を無視している状態でも、脳内の神経活動という形でERPが記録される点である。したがって、非注意刺激の処理過程を行動的測度に比べて直接的に検討することができる。特に、ERPによって得られる時間的情報は、行動的測度では得られない有用な知見を提供すると考えられる。第2に、神経生理学的研究と認知心理学的研究を関連づける橋渡しとなれる点である(Woods, 1990)。神経生理学の分野では、動物に比較的単純な課題を課し、単一細胞の発火率や誘発電位を記録することによって、非注意刺激処理に対する抑制の神経機構を検討してきた(例えば、Hernández-Peón, Scherrer, & Jouvet, 1956; Oatman, 1976)。一方、認知心理学では、ヒトに複雑な課題を遂行させ、得られた行動的測度に基づいて、刺激選択過程のモデル化を行ってきた。これら2つのアプローチは、対象とする種や課題、測度の違いから互いに影響し合うことはほとんどなかった。しかしERP研究においては、比較的複雑な課題を遂行中のヒトから神経活動を記録できる。ERP研究を仲介とし、神経生理学的アプローチと認知心理学的アプローチを統合することによって、非注意刺激の処理過程と、これに関与する神経機構をより良く理解することができると期待される。

1.2.3. 聴覚的注意とERPに関する研究の概観

聴覚的注意に関する最初期のERP研究は、1960年代半ばに始まる。Spong, Haider, & Lindsley(1965)は、1sの刺激間間隔(interstimulus interval, ISI)で聴覚刺激と視覚刺激を交互に呈示し、被験者には実験者が指定したいずれかの刺激に注意を向けるよう教示した。その結果、聴

覚刺激に対する N1 波は、視覚刺激に対して注意を向ける条件よりも、聴覚刺激に対して注意を向ける条件で増大することが見出された。このような ERP 振幅の増大はその他の実験でも確認され、注意効果とみなされた。しかし、この解釈には問題があることが Karlin(1970)や Näätänen(1975)によって指摘された。すなわち、聴覚刺激(注意刺激)と視覚刺激(非注意刺激)は交互に呈示されたので、被験者は次に呈示される刺激がどちらであるかを予期できる。このことにより、注意刺激の呈示時には被験者の全般的な覚醒水準が高まっている可能性がある。長潜時の ERP 成分は一般的に覚醒水準が高いほど振幅が増大するので、注意刺激に対する N1 波の増大は、注意効果というよりも、注意刺激の予期による覚醒水準の高揚を反映していると解釈できる。実際、注意刺激と非注意刺激を無作為な順序で呈示することによって覚醒水準の影響を避けた実験(Smith, Donchin, Cohen, & Starr, 1970; Wilkinson & Ashby, 1974; Wilkinson & Lee, 1972)では、注意刺激に対する N1 波の増大は認められなかった。

このような方法論的な問題について考慮したうえで、Hillyard, Hink, Schwent, & Picton(1973)は、現在でも広く用いられている実験パラダイムを考案し、聴覚モダリティにおける注意効果を報告した。刺激は、持続時間 50ms、大きさ 50dB SL(sensation level)の純音であり、ヘッドフォンを通して呈示された。刺激の周波数は、左耳呈示刺激では 800Hz、右耳呈示刺激では 1500Hz に設定された。ただし、800Hz 音の約 1/10 は 840Hz 音に、1500Hz 音の約 1/10 は 1560Hz に置き換えられた。左耳呈示刺激(800Hz 音と 840Hz 音)および右耳呈示刺激(1500Hz 音と 1560Hz 音)の数は等しかった。これら 4 種類の刺激は、100-800ms の ISI で無作為な順序で呈示された。被験者の課題は、実験者が指定した耳に注意を

向け、その耳に呈示される高い音(左耳注意条件では 840Hz, 右耳注意条件では 1560Hz)の呈示回数を無言で数えることであつた。このような実験課題は選択的聴取課題と呼ばれる。また、被験者に注意を向けるよう教示した刺激を注意刺激、無視するよう教示した刺激を非注意刺激と呼び(注意刺激および非注意刺激は、それぞれ関連刺激および非関連刺激と呼ばれることもある)、さらに、高頻度で呈示される刺激を標準刺激、低頻度で呈示され、標準刺激とはわずかに異なる刺激を逸脱刺激と呼ぶ。

実験の結果、右耳標準刺激に対する N1 波は、左耳注意条件よりも右耳注意条件でより大きく、左耳標準刺激に対する N1 波は、右耳注意条件よりも左耳注意条件でより大きかつた(Figure 4)。すなわち、注意標準刺激は非注意標準刺激よりも高振幅の N1 波を惹起したのである。Hillyard et al.(1973)の実験では、注意刺激と非注意刺激は無作為な順序で呈示されたので、Karlin(1970)や Näätänen(1975)が指摘した、N1 波振幅に対する覚醒水準変動の影響はないと考えられる。また、注意刺激と非注意刺激は物理的に同一であるので、この N1 波増大は刺激の物理的特性の違いによるものではない。したがって、この N1 波増大は呈示耳を選択手がかりとした注意効果を反映しているとみなされた。

その後、N1 波における注意効果は、N1 波自体の増大ではないことが、Näätänen et al.(1978)によって指摘された。Figure 5 上段には、Hillyard et al.(1973)と類似した実験事態において記録された ERP を示した。注意標準刺激に対する ERP は、非注意標準刺激 ERP に比べて、刺激呈示後 100ms 付近から 500ms 付近にかけて陰性方向へシフトしているのが分かる。Näätänen et al.(1978)は、この陰性シフトは注意刺激に対して内因性陰性電位が出現したことを示すものと考え、この陰性電位を処理陰性電位(processing negativity, PN)と命名した^(注1)。そして、Hillyard

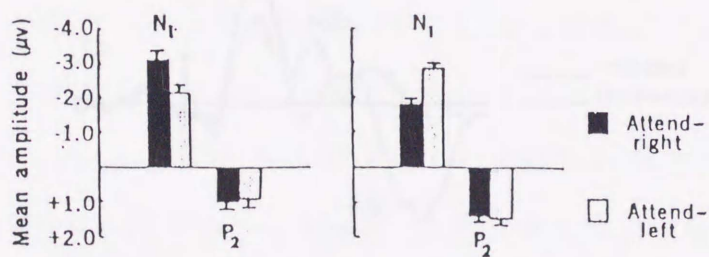
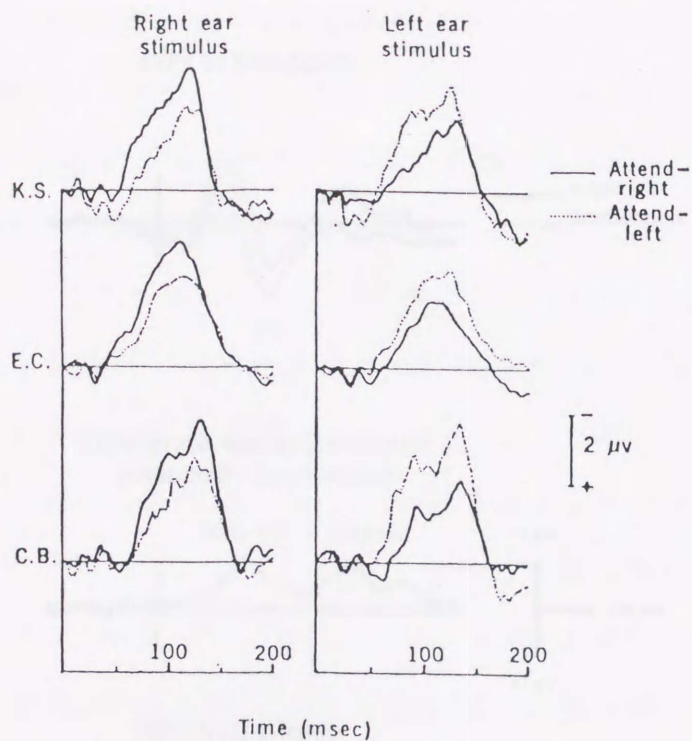


Figure 4 Hillyard et al.(1973)の実験 2 における標準刺激に対する ERP と、N1 波および P2 波の平均頂点振幅。

実験の詳細については本文を参照のこと。Hillyard et al.(1973)の Figure 1 を改変して引用。

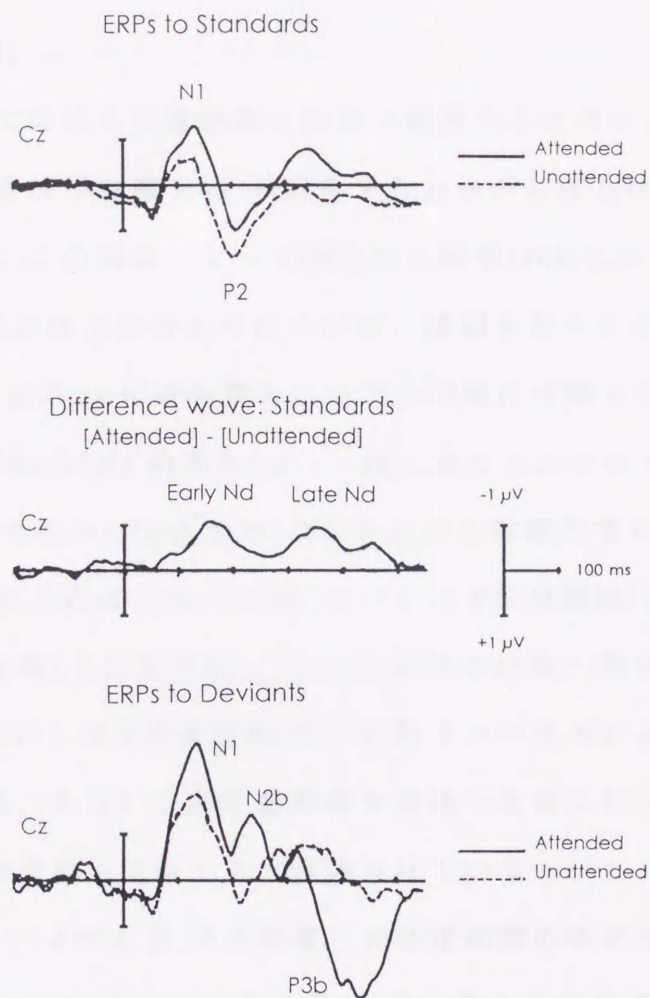


Figure 5 上段：選択的聴取課題において記録された，注意標準刺激(実線)および非注意標準刺激(破線)に対する ERP. 中段：注意標準刺激 ERP から非注意標準刺激 ERP を減算して得られた差波形(Nd). 下段：注意逸脱刺激(実線)および非注意逸脱刺激(破線)に対する ERP.

Alho, Woods, & Algazi(1994)の Figure 1, Figure 2 および Figure 5 を改変して引用.

et al.(1973)が報告した N1 波増大は, N1 波に PN が重畳したことによる見かけ上のものと説明した. Hillyard 自身もこの解釈を受け入れ, 注意刺激に対するこの陰性電位を Nd(negative difference)と呼んだ(Hansen & Hillyard, 1980).

標準刺激 ERP における注意効果を明瞭に観察するために, 注意標準刺激 ERP から非注意標準刺激 ERP を減算する方法がしばしば用いられる. Figure 5 中段には, この減算によって得られた波形(Nd)を示した. Figure 5 上段に示した原波形では分かりにくい, 減算を行うことによって, Nd は刺激呈示後 280ms 付近を境として2つの相に分離していることが分かる. この前半部分(Nd 初期相)は, 一般に頭皮上の中心・前頭部優位に出現するが, 後半部分(Nd 後期相)はそれよりも前頭部寄りに分布する. Näätänen(1982)によれば, Nd 初期相(ないしは PN 初期相)は, 注意刺激の物理的特徴の表象(「注意痕跡」)と入力刺激の比較・照合過程を反映し, Nd 後期相(ないしは PN 後期相)は, 心的リハーサルによって注意痕跡を維持する過程, あるいは非注意刺激を排除した後に行われる, 注意刺激の更なる処理過程を反映すると推測されている.

注意を, モダリティ内注意(注意刺激と非注意刺激の両者が同じモダリティに属する場合)とモダリティ間注意(注意刺激と非注意刺激が異なる

(注1) Näätänen の初期の論文では, PN は注意刺激 ERP から非注意刺激 ERP を減算することによって得られるとされていた(Näätänen et al., 1978; Näätänen, Gaillard, & Varey, 1981). しかし後の論文(Näätänen, 1982)では, PN は注意刺激 ERP から, 全ての刺激を無視させた事態(例えば読書など)における ERP を減算することによって得られると修正された.

モダリティに属する場合)に分けるならば、Nd はモダリティ内注意効果を反映する内因性電位である。また、Nd と類似した内因性陰性電位は、聴覚刺激だけでなく、視覚刺激(Aine & Harter, 1986; Harter, Aine, & Schroeder, 1982; Harter & Guido, 1980; Harter & Previc, 1978; Harter & Salmon, 1972; Hillyard & Münte, 1984; Kenemans, Kok, & Smulders, 1993; Previc & Harter, 1982; Wijers, Lamain, Slopsema, Mulder, & Mulder, 1989; Wijers, Mulder, Okita, & Mulder, 1989; Wijers, Mulder, Okita, Mulder, & Scheffers, 1989), あるいは体性感覚刺激(Desmedt & Robertson, 1977; Michie, 1984; Michie, Bearpark, Crawford, & Glue, 1987)に対しても出現する。

Figure 5 下段には、逸脱刺激に対する ERP が示されている。注意逸脱刺激(標的刺激)に対する ERP を見ると、その検出を反映して、刺激呈示後 220ms 付近に N2b 成分と、420ms 付近に P3b 成分が出現している。標準刺激だけでなく、逸脱刺激も呈示耳手がかりに基づいた選択がなされているので、原理的には逸脱刺激に対しても Nd が出現していると考えられるが、N2b 成分および P3b 成分は Nd よりも振幅が大きく、時間的にも重なっている。したがって、Nd を観察するには、逸脱刺激 ERP は適しておらず、注意効果の検討には、もっぱら標準刺激 ERP が用いられる。

Nd は様々な実験事態で安定して記録することができる。Nd は、刺激呈示位置(Alho, Sams, Paavilainen, Reinikainen, & Näätänen, 1989; McCallum, Barrett, & Pocock, 1989; Näätänen, Gaillard, & Varey, 1981)だけでなく、周波数(Alho, Lavikainen, Reinikainen, Sams, & Näätänen, 1990; Alho, Sams, Paavilainen, & Näätänen, 1986; Hansen & Hillyard, 1980, 1984; Sams, Paavilainen, Alho, & Näätänen, 1985)

や、強さ(Hillyard & Hansen, 1986), 音韻(Hansen, Dickstein, Berka, & Hillyard, 1983)を選択手掛かりとしても出現する。また、呈示位置と周波数の組み合わせを選択手がかりとした選択的聴取課題においても Nd は出現する(Hansen & Hillyard, 1983; Michie, Bearpark, Crawford, & Glue, 1990; Michie, Solowij, Crawford, & Glue, 1993)。

現在までに、Ndを指標として、刺激選択過程と注意に関する様々な問題が検討されてきた。Hillyard et al.(1973)の実験のように、注意刺激と非注意刺激の選択が容易で、しかもISIが短い場合には、Nd初期相は刺激呈示後50ms付近から開始する。この開始潜時の早さは、注意の初期選択モデル(Broadbent, 1971; Treisman, 1960, 1964a)を支持する有力な証拠と考えられている(Hillyard & Picton, 1987; Näätänen, 1982; Woods, 1990)。また、複数の刺激に対して注意を分割する場合にはNd振幅は減衰することが報告されている(Hink, Fenton, Pfefferbaum, Tinklenberg, & Kopell, 1978; Hink, Van Voorhis, Hillyard, & Smith, 1977; Okita, 1979; Parasuraman, 1978, 1980)。この知見は、注意資源の配分量をNd振幅によって推定できることを示唆している。さらに、複数の視覚刺激から特定の刺激を検出する視覚探索課題における結果から、注意は刺激の色や傾きなどの物理的属性をまとめあげるための「のり」としての役割を持つことが示唆されている(Treisman & Gelade, 1980)が、こうした知見と関連して、聴覚刺激においても同様に、刺激属性の統合に関する問題がNdによって検討されている(Woods & Alain, 1993; Woods, Alho, & Algazi, 1991, 1994)。また、精神分裂病などの精神疾患の基盤には様々な認知障害が存在するという考えに基づいて、Ndと注意障害の関連についても調べられている(Baribeau-Braun, Picton, & Gosselin, 1983; Burkhart & Thomas, 1993; Iwanami, Suga, Kato,

Nakatani, & Kaneko, 1993; 金森・須賀・岩波・榛葉, 1995; Karayanidis, Andrews, Ward, & Michie, 1995; Knight, Hillyard, Woods, & Neville, 1980, 1981; Knight, Scabini, & Woods, 1989; Michie, Fox, Ward, Catts, & McConaghy, 1990; Schreiber, Stolz-Born, Kornhuber, & Born, 1993; Towey, Tenke, Bruder, Leite, Friedman, Liebowitz, & Hollander, 1994; Ward, Catts, Fox, Michie, & McConaghy, 1991; Woods & Knight, 1986).

第3節 非注意刺激の処理過程とERP

1.3.1. Ndに関する問題

刺激選択過程と注意に関するこれまでのERP研究は、主にNdを指標としていた。それらの研究は、行動的測度による知見を補完する様々な有用な知見を提供してきた点で評価できる。しかし既に述べたように、刺激選択は注意刺激処理に対する促進と、非注意刺激処理に対する抑制という2つの機構によって実現される(Houghton & Tipper, 1994; Keele & Neill, 1978; Tipper, 1985)という観点に立つと、Ndのみを指標とすることは十分ではない。すなわち、Ndは単にモダリティ内注意効果を反映するのみであり、注意刺激と非注意刺激のそれぞれがどのように異なって処理されているのかという点についての情報をNdから得ることはできないのである。

具体的に言えば、Hansen & Hillyard(1980)やNäätänen et al.(1978)が主張したように、注意刺激に対して内因性陰性電位が出現したとすれば、注意刺激ERPは非注意刺激ERPに比べて陰性方向にシフトし、注意刺激ERPから非注意刺激ERPを減算すれば、結果的にNdが得られる

だろう。しかし、逆に非注意刺激に対して内因性陽性電位が出現したと
考えても、注意刺激 ERP から非注意刺激 ERP を減算すれば、同様に Nd
が得られるはずである。さらに、注意刺激に対しては陰性電位が、非注
意刺激に対しては陽性電位が出現したとしても、結果的に Nd が得られ
るのである。Nd の生起因として、これら 3 つの解釈のいずれを受け入れ
るかによって、刺激選択過程のモデル化が全く異なってくる。第 1 の解
釈は、非注意刺激処理に対する抑制は存在しないとするモデル
(Broadbent, 1958; Deutch & Deutch, 1963; Kahneman, 1973; Näätänen,
1990; Neisser, 1976; Shiffrin & Schneider, 1977) に対する証拠となる。
また、第 2 の解釈は、刺激選択は非注意刺激処理を抑制することによっ
て行われるとするモデル(Broadbent, 1971; Treisman, 1960, 1964a)の妥
当性を示唆する。そして、第 3 の解釈は、注意刺激の処理は促進され、
非注意刺激の処理は抑制されると考えるモデル(Houghton & Tipper,
1994; Keele & Neill, 1978; Tipper, 1985)に対する有利な証拠となる。

このような観点に基づいて ERP 上の注意効果を検討する試みは、後述
するいくつかの研究を除いて、ほとんど見受けられない。大部分の研究
は、Nd を注意刺激に対して陰性電位が出現したことを示すものと考え、
刺激選択過程における注意の促進的機能を重視していたように思われる。

本研究では、新たに統制条件を設けることによって、注意刺激と非注
意刺激のそれぞれに対してどのような電位が出現しているのかについて
調べ、選択的聴取時の非注意刺激の処理過程について検討する。

1.3.2. 非注意刺激に対する陽性電位

ERP を指標とした場合、非注意刺激処理に対する抑制は、非注意刺激
に対する ERP において特異的に観察される変動として現れると考えら

れる。本研究では、抑制過程を反映して変動する可能性のあるいくつかの電位(外因性 N1 成分や、中潜時反応、BAEP)のうち、非注意刺激に対して出現する陽性電位を指標として、非注意刺激の処理過程を検討する。

Alho, Töttölä, Reinikainen, Sams, & Näätänen(1987)は、注意刺激と非注意刺激の類似度が高い場合には、注意刺激だけでなく非注意刺激に対しても PN が出現するという仮説(Näätänen, 1982)を検証するための実験を行った。刺激は 75dB SPL(sound pressure level)の純音であり、410ms に 1 回の割合で被験者の左耳に呈示された。1 つの実験ブロックでは周波数が異なる 2 種類の刺激が呈示され、実験ブロック別に周波数差は 6 段階(500Hz vs. 503, 509, 527, 581, 743, 1229Hz)に設定された。被験者には、実験者が指定した一方の音に注意し、注意音が 4 回連続して呈示された場合に紙上にマークをするよう求めた(聴覚注意条件)。さらに、同一の刺激系列を呈示するが、被験者に読書をさせることによって、全ての刺激を無視させる条件(読書条件)も設けた。読書条件においては、特定の刺激に対して注意が偏ってはいない(つまり、一方の刺激が選択され、もう一方の刺激が排除されているということはない)と想定される。したがって、読書条件で記録された ERP を基準とすることによって、モダリティ内選択によって付加的に出現する内因性電位が得られ、聴覚注意条件で記録された注意刺激 ERP、および非注意刺激 ERP のそれぞれにおける注意効果を評価することができる。

実験の結果、注意刺激 ERP を、読書条件において呈示された同一の刺激に対する ERP と比較すると、N1 頂点付近(刺激呈示後約 100ms)から注意刺激 ERP は陰性方向にシフトしていた。この陰性シフトは注意刺激に対して PN が惹起したことによると考えられた。一方、非注意刺激 ERP を読書条件 ERP と比較すると、周波数差が小さい場合には前者は後者よ

りも陰性方向にシフトしていたが、周波数差が大きい場合にはこのような陰性シフトは認められず、Näätänen(1982)の仮説が支持された。

さらに、非注意刺激 ERP を読書条件 ERP と比較することによって、選択的聴取時の非注意刺激には、それまでの ERP 研究ではほとんど注目されていなかった新たな電位が出現することが分かった。つまり、注意刺激と非注意刺激の間の周波数差が大きい場合には、非注意刺激 ERP は読書条件 ERP に比べて、N1 頂点以降で陽性方向にシフトしていたのである。Alho et al.(1987)は、この結果から、非注意刺激は内因性陽性電位を惹起すると考えた。

Alho et al.(1987)が用いた課題は、Hillyard et al.(1973)によって開発された選択的聴取課題とは大きく異なっている。しかし、この陽性電位は Alho et al.(1987)の課題に特異的なものではなく、Hillyard et al.(1973)と類似した選択的聴取課題でも出現することが確認されている(Alho, Woods, & Algazi, 1994; Berman, Heilweil, Ritter, & Rosen, 1989; Michie, Bearpark, et al., 1990; Michie et al., 1993; Novak, Ritter, & Vaughan, 1992b; 沖田・小西・松永, 1989; Solowij, Michie, Crawford, & Glue, 1990)。Figure 6 第 1 段には、Hillyard et al.(1973)と類似した実験事態における ERP を示した(この図の注意刺激 ERP および非注意刺激 ERP は、Figure 5 上段のものと同じである)。Figure 6 第 1 段に示されている点線の波形は、選択的聴取課題で呈示した刺激系列を呈示するが、視覚刺激に注意を向けさせることによって、聴覚刺激を全て無視させた条件(視覚注意条件)で得られた ERP である。視覚注意条件 ERP に比べて、非注意刺激 ERP は N1 頂点付近から陽性方向へシフトしているのが分かる。この陽性電位は、選択的聴取課題だけではなく、オドボール課題(刺激呈示確率が 80% 程度の高頻度刺激と、20% 程度の低頻度刺激

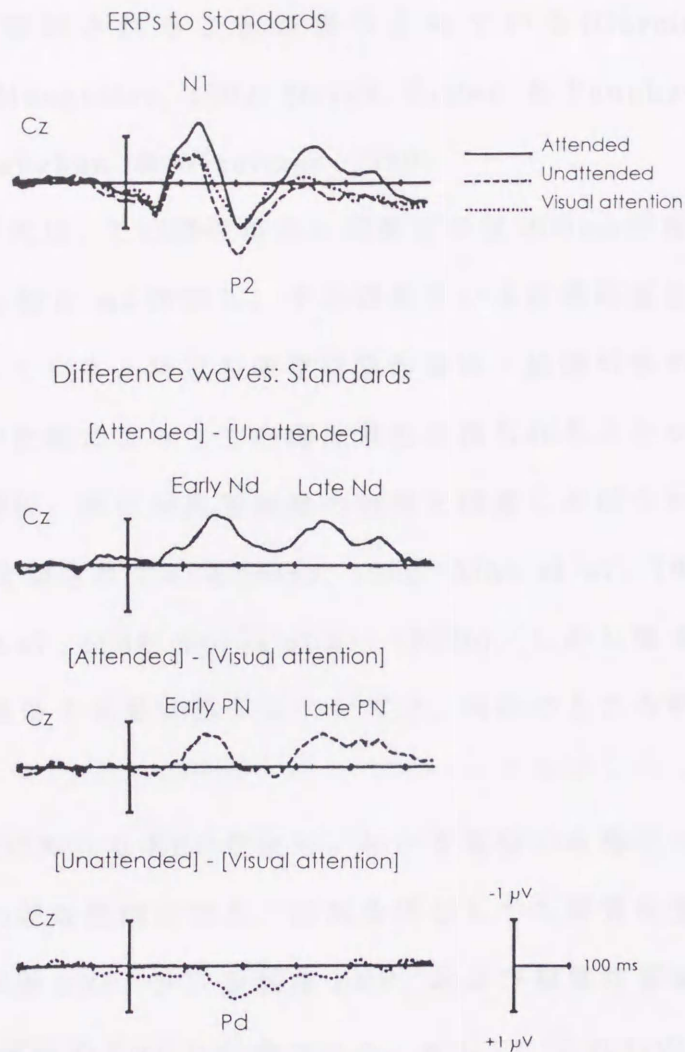


Figure 6 第1段：選択的聴取課題において記録された，注意標準刺激（実線），非注意標準刺激（破線）および視覚注意条件における標準刺激（点線）に対するERP。第2段：注意標準刺激ERPから非注意標準刺激ERPを減算して得られた差波形(Nd)。第3段：注意標準刺激ERPから視覚注意条件における標準刺激ERPを減算して得られた差波形(PN)。第4段：非注意標準刺激ERPから視覚注意条件における標準刺激ERPを減算して得られた差波形(Pd)。

Alho et al.(1994)の Figure 1および Figure 2を改変して引用。

が呈示され、低頻度刺激を検出させる課題)においても、無視すべき高頻度刺激によって惹起されることが報告されている (García-Larrea, Lukaszewicz, & Mauguière, 1992; Novak, Ritter, & Vaughan, 1992a; Novak, Ritter, Vaughan, & Wiznitzer, 1990).

これらの先行研究は、この陽性電位が刺激呈示後 200ms 前後で立ち上がり、100ms から数百 ms 持続し、中心部あるいは前頭部優位の分布をもつことを報告している。特定の聴覚刺激の選択・排除が求められていない統制条件との比較によってこの陽性電位が得られることから、この陽性電位は刺激選択、特に非注意刺激の処理と関連した何らかの認知過程を反映すると推測されている (Alho, 1992; Alho et al., 1987, 1994; García-Larrea et al., 1992; Novak et al., 1992b)。しかし第 4 節で述べるように、Pd が反映する認知過程については、現在のところ明らかではない。

ここで、本研究における ERP 差波形における電位の名称について説明しておく。選択的聴取課題に加え、統制条件としての視覚注意条件を設けた場合、注意刺激 ERP、非注意刺激 ERP、および視覚注意条件における ERP という 3 種類の ERP が記録される。そして、これらの ERP を相互に減算すると、3 種類の ERP 差波形が得られる。第 1 に、[注意刺激 ERP] - [非注意刺激 ERP] の減算によって得られる陰性電位(刺激呈示後およそ 60ms から出現)については、Hansen & Hillyard(1980)に従い、Nd と呼ぶ (Figure 6 第 2 段)。第 2 に、[注意刺激 ERP] - [視覚注意条件 ERP] の減算によって得られる陰性電位(刺激呈示後およそ 80ms から出現)は、Näätänen(1982)に従い、PN と呼ぶ (Figure 6 第 3 段)。そして、[非注意刺激 ERP] - [視覚注意条件 ERP] の減算によって得られる陽性電位(刺激呈示後およそ 130ms から出現)については、現在の

ところ特定の名称は付けられていないが，本研究では Pd(positive difference, 陽性差波形を意味する)と呼ぶ(Figure 6 第4段).

1.3.3. 統制条件に関する問題

Pd を得るためには，比較対象としての統制条件が必要となるが，Michie, Bearpark, et al.(1990)は，統制条件を設定する際の3つの必要条件をあげている．第1に，特定の聴覚刺激の選択・排除を求めていることである．第2に，統制条件では，選択的聴取課題で呈示される刺激と同じ刺激が呈示されることである．したがって，Alho et al.(1987)のように，選択的聴取課題では聴覚刺激のみを呈示し，統制条件ではさらに視覚刺激(書籍の文字)を呈示することは適切でない．なぜなら，呈示刺激が違ふことの効果と注意効果が交絡するからである．第3に，覚醒水準が選択的聴取課題と統制条件の両方で等しいことである．覚醒水準の違いは ERP 成分に影響し，条件間の ERP 変化として現れる可能性がある．また，覚醒水準が低い場合には，背景脳波の α 波振幅が増大することによって加算平均波形の S/N 比が低くなり，ERP が正しく得られなくなる可能性がある．したがって，統制条件において特に課題を設けず，ただ単に無視させることは不適切である(例えば，García-Larrea et al., 1992).

本研究においては，これらの必要条件を満たす統制条件を設定した．すなわち，選択的聴取課題と統制条件の両者において，同一の聴覚刺激系列および視覚刺激系列を呈示した(上記の必要条件2を満たす)．そして，統制条件においても，選択的聴取課題(例えば，呈示耳に基づく選択と，注意耳内の周波数に基づく選択)と同様の選択課題(例えば，色に基づく選択と，注意色内の形に基づく選択)を設けることによって，課題の

困難度をできるだけ等しくし、覚醒水準の違いが影響しないようにした(必要条件3を満たす)。また、統制条件では視覚刺激に注意を向けさせ、全ての聴覚刺激を等しく無視させた(必要条件1を満たす)。

第4節 研究の目的

本研究では、聴覚モダリティにおける刺激選択過程と注意の問題、特に非注意刺激の処理過程について、ERPを指標とすることによって検討する。

行動的研究は、非注意刺激の処理が抑制されることを示唆してきた。しかし既に指摘したように、行動的測度では非注意刺激の処理過程を直接的に調べることは非常に難しく、処理段階間の時間的・機能的関係を推測することは容易ではない。一方、ERPは認知過程を検討するうえで、行動的測度にはない利点を備えていることについても述べた。では、Pdは非注意刺激の処理過程を探るための有用な指標となり得るだろうか。また、Pdは刺激選択過程において、どのような認知過程を反映しているのだろうか。

認知過程に関するERP研究においては、ERP成分に影響する実験変数を同定することによって、その成分が反映する心的機能を特定する作業が必要である。しかし、Pdが反映する認知過程に関しては、現在のところ明らかではない。Pdを最初に報告したAlho et al.(1987)は、Pdが反映する認知過程の候補の一つとして、注意痕跡と非注意刺激が不一致を生じた後に行われる、非注意刺激処理に対する抑制をあげた。さらに、入力刺激が非注意刺激であるという判断をPdが反映するとの推測も示

した。しかし Alho は、最近の論文(Alho, 1992; Alho et al., 1994)においては、Pd は非注意刺激の排除と関連する電位であるとして、Pd が反映する詳細な認知過程についての明言を避けている(Novak et al., 1992b も同様の見解を示している)。

Alho が、Pd を非注意刺激の処理に特異的な電位とみなしているのに対し、García-Larrea et al.(1992)は異なる見解を示している。つまり、無視すべき刺激だけではなく、検出を求められる刺激に対しても Pd が出現すると考え、Pd は非注意刺激処理に特異的な電位ではなく、注意の自動的的定位あるいは刺激分類過程を反映すると推測している。さらに、Michie et al.(1993)は、Pd は内因性陽性電位ではなく、外因性 P2 成分の増大である可能性を示している。

いずれにせよ、Pd を報告した先行研究では、実験操作にともなう Pd の変動と、それが反映する認知過程の対応付けが十分ではない。そこで本研究では、様々な実験事態における Pd の現れ方を調べることによって、Pd が反映する認知過程を特定しようと試みた。まず、Pd が非注意刺激の処理に特異的な何らかの認知過程を反映する電位であることを示すために、実験 1 と実験 2 を行った。実験 1 では、Pd が先行刺激 ERP の重畳によるアーティファクトではないことを示した。実験 2 では、注意の自動的的定位を反映すると推測されている P3a 成分(Squires, Squires, & Hillyard, 1975)と Pd が異なる電位であることを示した。続いて、実験 3 と実験 4 では、Pd が非注意刺激処理に対する抑制を反映するかどうかを調べるために、抑制が起こりやすい状況と起こりにくい状況の間で Pd 振幅を比較した。実験 3 では、注意刺激と非注意刺激の類似度の効果について、実験 4 では非注意刺激の強さの効果について検討した。最後に、これらの実験の結果に基づき、Pd が反映する認知過程と注意機構の

関わりについて考察した。

第2章 選択的聴取時の非注意刺激

ERP

第2章 選択的聴取時の非注意刺激 ERP

第1節 刺激間隔の効果(実験1)

2.1.1. 目的

非注意刺激に対して出現する Pd は、非注意刺激処理と関連した何らかの認知過程を反映すると推測されている(Alho, 1992; Alho et al., 1987, 1994; García-Larrea et al., 1992; Novak et al., 1992b). しかし、そのように解釈する前に、検討しておくべき問題がある。それは、ある試行の前に呈示された刺激によって惹起されたERPの重畳の可能性である。

一般に選択的聴取課題においては、注意刺激に対して注意を集中させるために、比較的短い ISI(200ms から 500ms 程度)を用いることが多い(Alho et al., 1994; Michie, Bearpark, et al., 1990; Michie et al., 1993; Novak et al., 1992b; 沖田他, 1989; Solowij et al., 1990). ERP はしばしば刺激呈示後 800ms 付近まで変動し続けるので、ISI が短い場合には、ある試行の前に呈示された刺激によって惹起された ERP が、その試行における ERP に重畳する可能性がある(Alho et al., 1994; Michie, Bearpark, et al., 1990; Michie et al., 1993). そのような重畳を避けるためには、ISI を無作為に設定することによって、先行刺激に対する ERP を打ち消し合わせる方法が一般に用いられる。しかし、そのような方法を用いても、先行刺激 ERP の重畳を完全に除去することは難しい。例えば、ISI を無作為に設定した Michie, Bearpark, et al.(1990)や Michie et al.(1993), Solowij et al.(1990)の結果を見ると、刺激呈示前の基線区間において、先行刺激 ERP の影響とみなせる陽性方向への変動が存在している。このことは、ISI を無作為に設定しても、先行刺激 ERP が次の試行における ERP に重畳する可能性があることを示している。

具体的に、先行刺激 ERP の重畳が非注意刺激 ERP の陽性シフトとし

て現れる可能性としては、先行刺激が注意刺激であった場合には、注意刺激に対して出現した PN の陽性方向への基線復帰が考えられる (Hansen & Hillyard, 1988). さらに、注意刺激の呈示に対する期待にもなって発達した CNV 様の陰性電位が、非注意刺激の呈示によって終結した際に生じる基線復帰陽性電位も考えられる (Karlin, 1970). PN や CNV 様陰性電位は選択的聴取課題で出現する一方、統制条件では出現しないので、これらの電位の重畳は、結果的に非注意刺激 ERP の陽性シフト (Pd) として現れるだろう. もし Pd が先行刺激 ERP の重畳によるものであるとすれば、非注意刺激の処理過程を検討するための指標として Pd を用いる意義はないことになる.

本研究の目的は、Pd が先行刺激 ERP の重畳によるアーティファクトであるのかどうかについて検討することである. 具体的には、先行研究と同等の ISI で刺激を呈示する条件(短 ISI 条件)と、先行刺激 ERP が重畳しない程度の ISI で刺激を呈示する条件(長 ISI 条件)を設け、長 ISI 条件においても Pd が観察されるかどうかについて調べた.

2.1.2. 方法

被験者 右手利きの成人 12 名(女 8 名, 21.2-25.7 歳)が実験に参加した. 全ての被験者が、聴力および視力(矯正視力も含む)は正常範囲内であると報告した. 類似の実験に参加した経験をもつ被験者は 1 名のみであった.

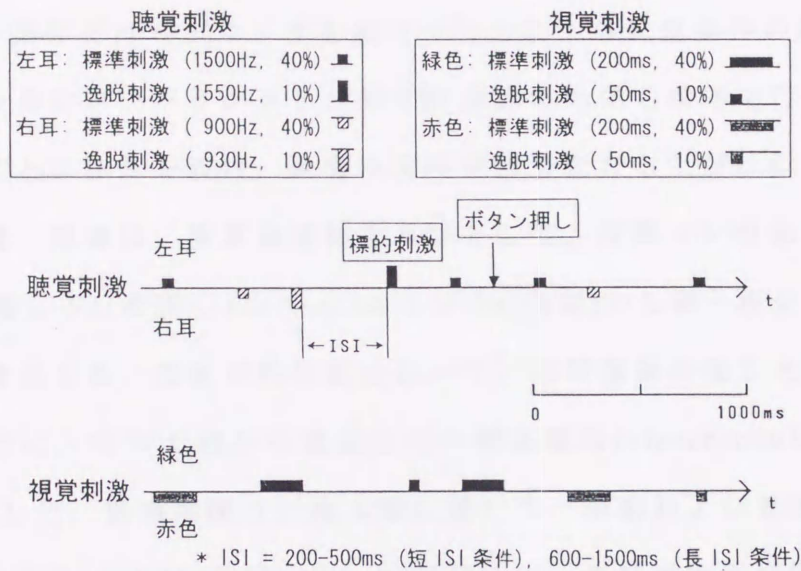
刺激 聴覚刺激としては、900Hz, 930Hz, 1500Hz および 1550Hz の純音(持続時間 50ms, 立ち上がり・減衰時間各 5 ms, 約 40dB SPL)を用いた. 900Hz 音および 930Hz 音は右耳に、1500Hz 音および 1550Hz 音は左耳に、ステレオ・イヤフォンを通して無作為な順序で呈示した(本実

験で用いた刺激と課題は、Figure 7に模式的に示した)。視覚刺激としては、緑色あるいは赤色に塗りつぶされた小円(視角約 26')を用い、50ms あるいは 200ms の呈示時間で、被験者の 1 m 前方に設置された CRT 中央に無作為な順序で呈示した。刺激の呈示確率は、900Hz 音、1500Hz 音、呈示時間 200ms の緑円および赤円をそれぞれ 40%とし、930Hz 音、1550Hz 音、呈示時間 50ms の緑円および赤円をそれぞれ 10%とした(本実験では、40%で呈示される刺激を「標準刺激」、10%で呈示される刺激を「逸脱刺激」と呼ぶ)。聴覚刺激系列および視覚刺激系列は、時間的關係をもたないように、2台のコンピュータによって互いに独立に呈示した。

手続き 実験は、防響室内に設置され、薄暗く照明されたシールド・ルーム内で行った。聴覚注意条件として、右耳注意条件と左耳注意条件を設定した。被験者には、聴覚注意条件では、視覚刺激を凝視しながら、指定された耳に注意を向けるよう教示した。そして、注意耳に呈示される逸脱刺激に対して、できるだけ素早くかつ正確に右手母指で反応ボタンを押すように教示した。非注意刺激はできるだけ無視することを強調した。視覚注意条件では、緑色の逸脱刺激に対して反応ボタンを押させた。また、左右耳に呈示される聴覚刺激のいずれか一方が選択あるいは排除されることを防ぐために、全ての聴覚刺激をできるだけ無視することを強調した。

ISI 条件として2種類を設定した。短 ISI 条件では、聴覚刺激系列および視覚刺激系列ともに 200-500ms の無作為な ISI とし、長 ISI 条件では 600-1500ms とした。1 ブロックの刺激数は、聴覚刺激系列および視覚刺激系列ともに、短 ISI 条件では 201 個、長 ISI 条件では 66 個とした。

被験者の半数は、短 ISI 条件を全て行った後に長 ISI 条件を行い、残



「視覚刺激を凝視しながら、左耳に注意を向けてください。そして、左耳の高い音に対してボタンを押してください。右耳の刺激は全て無視してください」

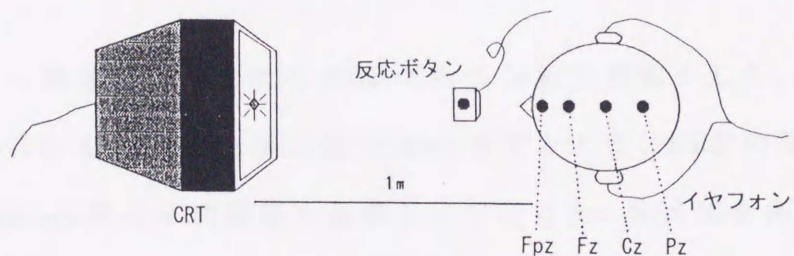


Figure 7 実験1で用いられた刺激と課題.

この図では、聴覚注意条件における左耳注意時について例示してある.

りの半数は逆順序で行った。短 ISI 条件における各注意条件(右耳注意条件, 左耳注意条件, 視覚注意条件)は, 2 ブロックを連続して行った。同様に, 長 ISI 条件では 6 ブロックを続けて行った。各注意条件の順序は, 被験者間でカウンターバランスし, 両 ISI 条件とも同じ順序で行った。6 ブロックごとに休憩を設け, 練習は実験条件が変わるたびに行った。

脳波の記録 脳波は, 両耳朶連結を基準として, 国際 10-20 法に基づく Fpz(前頭極), Fz(前頭), Cz(中心)および Pz(頭頂)から銀・塩化銀皿電極を用いて導出した。加算平均処理において, 眼球運動の生じた試行を除外するために, 右眉上部から垂直方向の眼球電図(electrooculogram, EOG)も記録した。接地電極は左眉上部に置いた。脳波および EOG は, 脳波計(NEC 三栄 1A97A)を用いて, 時定数 3.2s, 高域遮断周波数 30Hz で増幅し(60Hz ハム・フィルタ使用), デジタル・レコーダ(TEAC DR-F1-3A)を用いて, オンラインで A/D 変換した(サンプリング周波数 200Hz)。

脳波の分析 聴覚刺激に対する ERP のみを分析の対象とした。分析区間は, 刺激呈示前 150ms から呈示後 750ms までとした。ERP の算出は, 刺激呈示前 150ms 間の平均振幅を基準として行った。S/N 比を高めるため, 左耳呈示刺激および右耳呈示刺激に対する脳波は込みにして加算平均した。したがって, 聴覚注意条件では, 注意標準刺激, 非注意標準刺激, 注意逸脱刺激および非注意逸脱刺激の 4 種類に分けて, 視覚注意条件では, 標準刺激および逸脱刺激の 2 種類に分けて加算平均処理を行った。加算平均処理においては, 各ブロックの第 1 試行, EOG や筋電位などの混入により $\pm 100 \mu V$ を超える電位を示した試行, および注意逸脱刺激が呈示された次の試行を除外した。注意逸脱刺激に関しては, 刺激呈示後 200-1200ms 間にボタン押し反応がなされなかった場合には加算

平均処理から除外した。なお、注意逸脱刺激に対する ERP には N2b-P3b 成分が大きく出現し、Pd や PN などの検討には適当ではないので、本実験では標準刺激に対する ERP のみを報告する。

統計分析 原波形における注意の効果は、記録部位別に ISI(短 ISI, 長 ISI)×注意(注意, 非注意, 視覚注意)の 2 要因反復測定分散分析を行うことによって統計的に検定した。交互作用が有意であった場合には、注意の単純主効果について検定した。その後、注意の主効果あるいは単純主効果が有意であった区間について多重比較を行った。従属変数は、刺激呈示後 0ms から 300ms までの区間については 50ms ごとの、300ms から 700ms までの区間については 100ms ごとの平均振幅とした。

ERP の発生源の ISI 条件間の違いについて検討するために、ISI 条件間で ERP の頭皮上分布を比較する際には、ISI×記録部位の 2 要因反復測定分散分析を行って検討した。ただし、無修正の電位に対して分散分析を適用した場合、ERP の発生源が条件間で同じであっても交互作用が有意となる可能性がある(McCarthy & Wood, 1985)。そこで、各記録部位における振幅をベクトル長(各記録部位における振幅の自乗を総和し、平方根を求めた値)によって規準化したうえで、ISI×記録部位の分散分析を行い、その場合にも有意である場合にのみ、ISI 条件間で頭皮上分布が異なるものとみなした。

ところで、反復測定実験計画においては、分散・共分散行列の非対称性によって第 1 種の過誤の確率が増加することが指摘されている(Jennings & Wood, 1976; Keselman & Rogan, 1980; Vasey & Thayer, 1987)。これに対処するために、本実験では全ての分散分析において自由度を 1/11 に設定し、 $p < .05 (F > 4.84)$ の場合に有意とした(Greenhouse & Geisser, 1959)。全ての分散分析を同じ自由度で行ったので、F 値の記述

においては自由度は省略した。分散分析における有意水準は5%とした。多重比較はRyan法(Ryan, 1959)を用いて行い、有意水準は5%に設定した。

2.1.3. 結果

標準刺激 ERP における注意効果

Figure 8 には、注意標準刺激、非注意標準刺激、および視覚注意条件における標準刺激に対する全被験者平均 ERP を ISI 条件別に示した。短 ISI 条件における非注意標準刺激 ERP を見ると、Fpz, Fz および Cz では、視覚注意条件における標準刺激 ERP に比べて、N1 波の下行脚付近から陽性方向にシフトしている。この陽性シフトは、短 ISI 条件だけでなく、長 ISI 条件においても認められる。なお、この陽性シフトは、長 ISI 条件では刺激呈示後 300ms 付近で終結している一方、短 ISI 条件では前頭部において 300ms 以降も持続しているが、これは1人の被験者の極端に大きな値(300-700ms 平均振幅が $4.9 \mu V$)によるものである(注2)。一方、注意標準刺激 ERP を見ると、非注意標準刺激 ERP および視覚注意条件における標準刺激 ERP に比べて、N1 頂点以降で陰性方向にシフトしているのがわかる。

これらの注意効果を統計的に検定するために、記録部位(Fpz, Fz, Cz,

(注2) この被験者の非注意標準刺激 ERP は、振幅が大きいことを除けば、形状や潜時、頭皮上分布などは他の被験者と類似していた。さらに、この被験者を除いたうえで行った統計分析の結果も、込みにした場合とほとんど同じであったので、本実験ではこの被験者のデータを用いた結果を報告する。

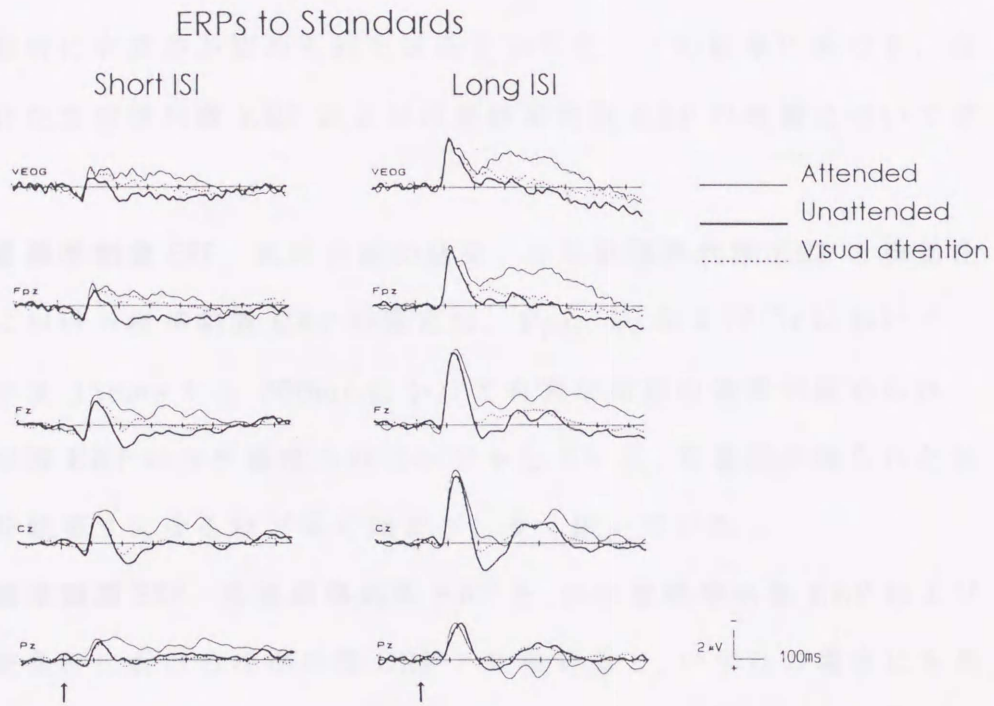


Figure 8 標準刺激に対する全被験者平均 ERP(左: 短 ISI 条件, 右: 長 ISI 条件).

細線: 聴覚注意条件における注意標準刺激に対する ERP. 太線: 聴覚注意条件における非注意標準刺激に対する ERP. 点線: 視覚注意条件における標準刺激に対する ERP. 矢印は刺激呈示時点を示し, VEOG(vertical electrooculogram)における波形は, 右眉上部から記録された電位変動を表している(以下の図でも同様).

Pz)別に ISI×注意の 2 要因分散分析を行った。Table 1 には、注意の主効果、ISI×注意の交互作用、そして注意の単純主効果が有意であった区間と F 値を示した。また Table 2 には、多重比較の結果、注意標準刺激 ERP、非注意標準刺激 ERP、および視覚注意条件における標準刺激 ERP の各比較対に有意差が認められた区間を示した。この結果に基づき、以下では非注意標準刺激 ERP および注意標準刺激 ERP の特徴について述べる。

非注意標準刺激 ERP 統計分析の結果、非注意標準刺激 ERP と視覚注意条件における標準刺激 ERP の間には、Fpz, Fz および Cz において、刺激呈示後 150ms から 300ms にかけて有意な注意の効果が認められ、非注意刺激 ERP の方が陽性方向にシフトしていた。有意差の得られた区間は、前頭寄りになるほど早く始まり、長く続いていた。

注意標準刺激 ERP 注意標準刺激 ERP を、非注意標準刺激 ERP および視覚注意条件における標準刺激 ERP と比較すると、いずれの場合にも長 ISI 条件では、前頭部において有意な注意の効果が認められた区間が長く続き、先の視察内容が統計的に支持された。陰性シフトの開始潜時には、ISI 条件間で差異はみられなかった。

差波形における ISI の効果

原波形の分析だけでは、注意標準刺激および非注意標準刺激によって惹起された ERP の振幅や頭皮上分布などについて明らかにすることは難しい。そこで、差波形を求めることによって詳細に検討する。Figure 9 には、[注意標準刺激 ERP] - [非注意標準刺激 ERP]、[注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP]、および [非注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP] の各減算を行

Table 1 標準刺激 ERP の平均振幅を従属変数とした ISI×注意の分散分析において、注意の主効果、ISI×注意の交互作用および注意の単純主効果が有意 ($p < .05$) であった区間と F 値

Electrode	Interval (ms)	F (2, 22)
ATTENTION main effect		
Fpz	150-600	7.02-21.95
Fz	100-700	6.38-39.27
Cz	100-250, 400-600	6.44-26.91
Pz	150-200	9.83
ISI X ATTENTION interaction		
Fpz	500-700	6.66- 6.81
Fz	500-700	5.35- 6.56
Cz	300-400	7.19
Pz	150-200, 250-700	6.01-12.34
ATTENTION simple effect at the Short ISI condition		
Fpz	---	-----
Fz	---	-----
Cz	300-400	11.08
Pz	150-200, 500-600	5.67-16.21
ATTENTION simple effect at the Long ISI condition		
Fpz	500-700	5.67-12.83
Fz	500-700	13.22-17.33
Cz	---	-----
Pz	300-400	8.14

Table 2 多重比較の結果，注意標準刺激 ERP，非注意標準刺激 ERP および視覚注意条件における標準刺激 ERP の間に有意差が認められた区間

Comparison	Electrode	Interval (ms)	
		Short ISI	Long ISI
Attended Standard vs.	Fpz	150-500	150-700
	Fz	100-500	100-700
Unattended Standard	Cz	100-250, 300-600	100-250, 400-600
	Pz	150-200, 500-600	300-400
Attended Standard vs.	Fpz	150-200, 300-500	150-200, 300-600
	Fz	100-250, 300-500	100-250, 300-700
Visual attention Standard	Cz	100-200, 300-600	100-200, 400-600
	Pz	150-200, 500-600	300-400
Unattended Standard vs.	Fpz	150-300	150-300
	Fz	200-300	200-300
Visual attention Standard	Cz	200-250	200-250
	Pz	---	---

Difference waves: Standards

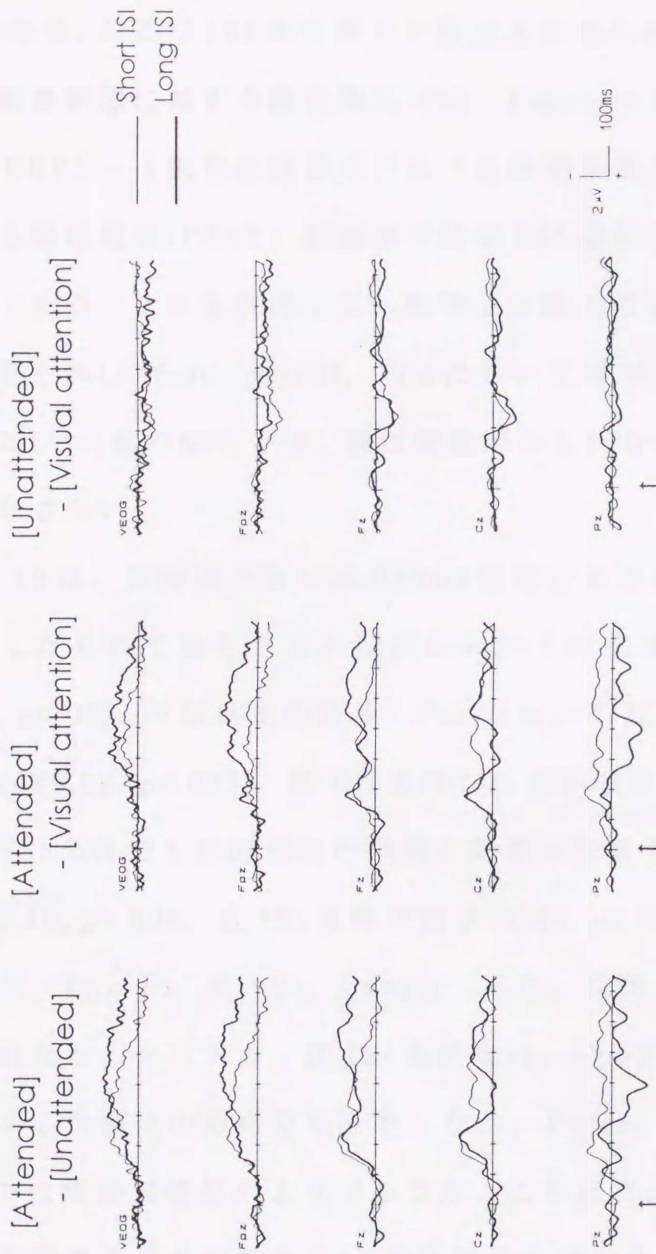


Figure 9 左: 注意標準刺激 ERP から非注意標準刺激 ERP を減算して求めた差波形. 中央: 注意標準刺激 ERP から視覚注意条件における標準刺激 ERP を減算して求めた差波形. 右: 非注意標準刺激 ERP から視覚注意条件における標準刺激 ERP を減算して求めた差波形.

細線は短 ISI 条件における ERP を, 太線は長 ISI 条件における ERP を示す.

って得られた差波形を示した。それぞれの差波形について、原波形で短 ISI 条件、長 ISI 条件のいずれか、あるいは両者で注意の効果が得られた区間 (Table 1) の平均振幅を求め、ISI × 記録部位の 2 要因分散分析を行い、ISI の効果、および ISI 条件間での頭皮上分布の違いについて調べた。

非注意標準刺激に対する陽性電位 (Pd) Figure 9 をみると、[非注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP] の差波形上に認められる陽性電位 (Pd) は、前頭部では短 ISI 条件の方が立ち上がり早いようである。これを支持して、刺激呈示後 150-200ms 区間で ISI の主効果が得られ ($F=6.36, p<.05$)、Fpz において短 ISI 条件の方が振幅が大きかった (その他の部位では、陽性電位がみられないので、意味のある差とはみなさない)。

Figure 10 は、刺激呈示後 200-250ms 区間における平均振幅を ISI 条件別に示したものである。この区間においては交互作用が認められた ($F=10.52, p<.01$)。下位検定の結果、Fpz において ISI の単純主効果が有意であり ($F=8.02, p<.025$)、短 ISI 条件の方が振幅が大きかった。また、どちらの ISI 条件でも記録部位の単純主効果が有意であった (短 ISI 条件では $F=17.19, p<.005$ 、長 ISI 条件では $F=5.88, p<.05$)。短 ISI 条件での平均振幅は、Fpz > Pz, Fz > Pz, Cz > Pz であり、前頭・中心部間には有意差がみられなかった。一方、長 ISI 条件では、Cz > Fpz, Fz > Pz, Cz > Pz であり、中心部優位の分布を示した。なお、Figure 10 を見る限り、短 ISI 条件では前頭部優位のようなものであるが、これは先に記した 1 人の被験者の大きな値によるものである (その被験者を除いた場合の平均振幅は、Fpz = 1.2 μ V, Fz = 1.1 μ V, Cz = 0.8 μ V, Pz = -0.1 μ V)。前頭部における 300-700ms 区間についても同じ理由によるものである。

刺激呈示後 250-300ms 区間については、ISI の主効果 ($F=.21$) および交

[Unattended] - [Visual attention]:
Standards: 200-250 ms

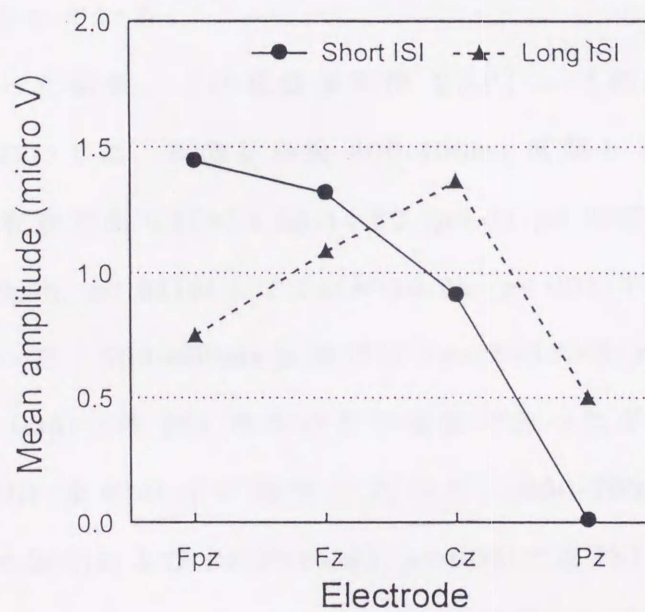


Figure 10 非注意標準刺激 ERP から視覚注意条件における標準刺激 ERP を減算して求めた差波形の, 刺激呈示後 200-250ms 区間の平均振幅. 実線は短 ISI 条件における平均振幅を, 破線は長 ISI 条件における平均振幅を示す.

相互作用($F=3.03$)ともに有意ではなかった。

注意刺激に対する陰性電位 Figure 9をみると, [注意標準刺激 ERP] - [非注意標準刺激 ERP] および [注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP] の減算で得られた陰性電位(前者は Nd, 後者は PN を表す)の初期部分(刺激呈示後 100-300ms)には ISI の効果はないが, 後期部分(300ms 以降)については, 前頭部において長 ISI 条件の方が長く持続している。また Cz においては, 長 ISI 条件の方が後期部分の開始潜時が遅くなっている。

分散分析を行った結果, [注意標準刺激 ERP] - [非注意標準刺激 ERP] 差波形においては, 刺激呈示後 300-400ms 区間と 500-700ms 区間で交互作用が有意であり ($F=11.68-14.52$, $p<.01-p<.005$), 300-400ms 区間では Cz($F=9.85$, $p<.01$)および Pz($F=19.25$, $p<.005$)で, 短 ISI 条件の方が陰性であった。500-600ms 区間では Fpz($F=13.45$, $p<.005$)および Fz($F=13.21$, $p<.005$)で長 ISI 条件の方が陰性であったが, Pz($F=4.89$, $p<.05$)では短 ISI 条件の方が陰性であった。600-700ms 区間では Fpz($F=12.97$, $p<.005$)および Fz($F=15.69$, $p<.005$)で長 ISI 条件の方が陰性であった。また, [注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP] 差波形においては, 300-700ms 区間で交互作用が有意であり ($F=12.62-22.61$, 全て $p<.005$), 400-500ms 区間において Fpz($F=10.07$, $p<.01$)で長 ISI 条件の方が陰性であった以外は, [注意標準刺激 ERP] - [非注意標準刺激 ERP] 差波形と同様の結果が得られた。これらの結果から, 先の視察内容が統計的に支持された。

課題遂行成績

聴覚注意条件および視覚注意条件における反応時間と正反応率を, 刺

刺激呈示後 200-1200ms 間に行われたボタン押し反応について算出し、1 要因 (ISI) の反復測定分散分析を行った。その結果、反応時間については、聴覚注意条件では長 ISI 条件の方が遅かった (短 ISI 条件で 454ms, 長 ISI 条件で 535ms, $F=59.47$, $p<.005$) が、視覚注意条件では有意差はなかった (短 ISI 条件で 512ms, 長 ISI 条件で 524ms)。正反応率については、聴覚注意条件では有意差はなかった (短 ISI 条件で 88.7%, 長 ISI 条件で 90.9%) が、視覚注意条件では長 ISI 条件の方が高かった (短 ISI 条件で 83.1%, 長 ISI 条件で 92.9%, $F=16.00$, $p<.005$)。

2.1.4. 考察

本実験では、先行刺激 ERP が重畳しない程度の ISI で刺激を呈示した場合にも Pd が観察されるかどうかについて調べることを目的とした。短 ISI 条件における非注意標準刺激 ERP は、視覚注意条件における標準刺激 ERP に比べて、刺激呈示後 200-300ms 潜時帯で陽性方向にシフトしており、Pd を報告した先行研究 (Alho et al., 1994; Michie, Bearpark, et al., 1990; Michie et al., 1993; Novak et al., 1992b; 沖田他, 1989; Solowij et al., 1990) の結果を確認できた。さらに、本実験で新しく設けた長 ISI 条件においても、非注意標準刺激 ERP は短 ISI 条件と同様の潜時帯で陽性方向へシフトしていた。

非注意標準刺激 ERP の陽性シフト (Pd) を構成するものとして、第 1 に、PN や CNV 様陰性電位の基線復帰電位のような、先行刺激 ERP の重畳の可能性について考える。

長 ISI 条件での、Cz における聴覚注意条件 ERP (注意標準刺激 ERP および非注意標準刺激 ERP) を見ると、刺激呈示後 600ms で基線に戻った後、その状態を維持していることから、少なくとも Cz においては、先

先行刺激 ERP の影響はないと考えることができる。一方、Fpz および Fz においては、聴覚注意条件 ERP は、記録区間以降も陽性方向へ向かう傾向にあることから、これらの部位においては、Pd に対する先行刺激 ERP の影響が全くないとはいえない。しかし、Cz における Pd と、Fpz および Fz における Pd を比較すると、その様相はほとんど同じである。したがって、長 ISI 条件においては、Fpz, Fz および Cz のいずれの部位でも、Pd は先行刺激 ERP の重畳によるものではないと考えられる。

一方、短 ISI 条件においては、先行刺激 ERP の重畳はある程度存在しているかもしれないが、短 ISI 条件における Pd を見ると、その出現潜時帯や形状は長 ISI 条件で得られた Pd と類似している。このことから、先行刺激 ERP の重畳のみで短 ISI 条件における Pd が構成されているとは考えにくい。したがって、どちらの ISI 条件においても、Pd は先行刺激 ERP の重畳によるアーティファクトではないとみなすことができる。

第 2 に、Pd は刺激呈示後 200-300ms 潜時帯で現れたことから、外因性 P2 成分の増大による可能性 (Michie et al., 1993) も考えられる。しかし、Fpz においてはどちらの ISI 条件でも Pd が出現した一方、主に外因性成分によって構成されていると考えられる視覚注意条件 ERP の Fpz における波形を見ると、短 ISI 条件および長 ISI 条件のいずれにおいても、明瞭な P2 波は認められない。このことから、Pd は外因性 P2 成分の増大によるものではないと考えられる。

以上のことから、短 ISI 条件および長 ISI 条件のどちらにおいても、Pd を構成しているものは、非注意刺激の排除と関連した何らかの認知過程を反映する内因性陽性電位であると考えられる。

本実験においては、ISI 条件間で Pd の頭皮上分布に違いがみられた。Pd が最も顕著に現れた刺激呈示後 200-250ms 区間において、短 ISI 条件

では前頭部と中心部との間に統計的な有意差はなく、Alho et al.(1994)や Michie, Bearpark, et al.(1990), Michie et al.(1993)と類似した結果であった。一方、長 ISI 条件では前頭部と中心部との間に有意差が得られ、中心部で最大であった。この分布の違いの原因として、1つには、短 ISI 条件では、前頭部において眼球運動による EOG がわずかに混入している可能性がある。すなわち、緩徐な眼球運動によって前頭部の脳波は陽性方向へドリフトするが、実験中の脳波を視察すると、眼球運動は視覚注意条件よりも聴覚注意条件でより多く生じていた。加算平均処理の除外規準に満たない振幅($\pm 100 \mu V$)の脳波のドリフト区間中には、短 ISI 条件では長 ISI 条件よりも多くの刺激が呈示される。したがって、加算平均処理後の ERP は長 ISI 条件よりも短 ISI 条件で、より陽性方向へシフトするだろう。第2の原因としては、短 ISI 条件では長 ISI 条件よりも注意の集中度が高いと推測されることから、その違いが Pd の頭皮上分布に影響を及ぼしている可能性もある。これらの要因の影響については、Fpz における短 ISI 条件と長 ISI 条件との間の Pd 開始潜時の違いも含めて、実験2で検討する。また、Pd の頭皮上分布は、比較対象としての視覚注意条件における ERP によっても変化する可能性があることから、Michie, Bearpark, et al.(1990)も示唆しているように、視覚注意時の ERP に及ぼす課題の困難さや覚醒水準などの要因の影響も検討する必要があるだろう。

最後に、注意標準刺激に対して出現した陰性電位(Nd)に及ぼす ISI の効果について考察する。Nd 初期相の開始潜時は、注意刺激と非注意刺激の選択が終結した時点を表すと考えられている(Näätänen, 1982)。Hansen & Hillyard(1984)は、2種類の ISI 条件(250-550ms および 1250-2750ms)を設定し、Nd 初期相(刺激呈示後 100-300ms)の開始潜時

が長 ISI 条件で遅れることを見出した。同様の結果は、400-800ms および 750-1500ms の ISI を用いた Parasuraman(1980)も報告している。一方、Näätänen et al.(1981)は、3種類の ISI 条件(250, 800, 2000ms)の間で Nd 初期相の開始潜時を比較したが、有意差は認められなかった。これらの研究間の違いの原因として、Hansen & Hillyard(1984)は ISI がランダムか一定かという要因をあげた。つまり、Näätänen et al.(1981)のように一定の ISI を用いた場合には刺激呈示を予測しやすく、刺激をより早く処理できるために、ISI 条件間で刺激選択に要する時間が変化しなかったと説明した。しかし本実験では、Hansen & Hillyard(1984) および Parasuraman(1980)と同じく、変動する ISI を用いたにもかかわらず、Nd 初期相の開始潜時には ISI 条件間で差がなかった。このことは、Hansen & Hillyard(1984)の解釈が妥当でないことを示唆している。刺激選択に要する時間を規定する要因としては、ISI の変動性に加えて、選択手がかりの属性(呈示耳や周波数など)や刺激の強さなども影響すると考えられる。したがって、Nd 初期相の開始潜時にはこれらの要因が複合的に影響していると考えられるべきであろう。

本実験における Nd 後期相の振幅は、Hansen & Hillyard(1984)と一致して、ISI が長いほど増大した。Nd 後期相が反映する認知機能の候補の一つとして、Näätänen(1982)は、注意刺激と非注意刺激を分ける特徴を復唱することによって、注意刺激の表象(注意痕跡)を維持する過程を推測している。これに従えば、本実験の短 ISI 条件では注意刺激が頻繁に呈示されるので、それほど復唱しなくても注意痕跡は容易に維持されるが、長 ISI 条件では注意刺激が頻繁には呈示されないため、注意痕跡の維持に対して復唱がより大きく関わったと解釈できる。

第2節 新奇刺激に対するERPの分析(実験2)

2.2.1. 目的

本実験では、注意の自動的定位を反映すると推測されているP3a成分とPdが同じ電位であるかどうかについて検討する。

García-Larrea et al.(1992)は、1000Hz刺激が90%で、2000Hz刺激が10%で呈示されるオドボール刺激系列を平均1250msのISIで呈示し、被験者に2種類の課題を行わせた。第1の課題は受動的課題であり、被験者には刺激系列を聞き流すよう教示した。第2の課題は能動的課題であり、逸脱刺激(2000Hz刺激)を標的として検出し、計数するよう教示した。さらに第3の課題として、1000Hz刺激だけを呈示したうえで、被験者には刺激系列を聞き流させる条件(彼らの用語では中立条件)も設けた。実験の結果、能動的課題における高頻度刺激(1000Hz刺激)に対するERPから、中立条件における1000Hz刺激に対するERPを減算すると、刺激呈示後250ms付近に頂点をもち、中心部優位に分布する陽性電位(彼らの用語ではP250)が認められた。

García-Larrea et al.(1992)は、P250とAlho et al.(1987)のPdを比較し、両者ともに課題非関連の刺激に対して出現すること、そして潜時帯や頭皮上分布が類似していることから、P250とPdを同じ電位とみなした。しかし、Pdが非注意刺激処理に対する積極的な抑制を反映するというAlho et al.(1987)の仮説については、以下の2つの実験結果を根拠として否定した。第1に、受動的課題における高頻度刺激(1000Hz刺激)に対するERPから、中立条件における1000Hz刺激に対するERPを減算した場合にもP250を認めた点である(ただし、能動的課題におけるP250よりも振幅は小さい)。受動的課題では特定の刺激の排除は求めら

れていないことから、P250が非注意刺激の排除と関連する電位であると解釈することはできないと考えたのである。第2に、10名中4名の被験者では、能動的課題における低頻度刺激(標的刺激)にもP250が出現した点である。標的刺激は排除されてはならない刺激であり、Alho et al.(1987)の仮説とは矛盾すると考えたのである。

ところで、オドボール刺激系列における低頻度刺激に対しては、P3aと呼ばれる中心・前頭部優位の成分が刺激呈示後200msから300ms付近で出現することが知られており(Ford, Roth, & Kopell, 1976a, 1976b; O'Donnell, Friedman, Swearer, & Drachman, 1992; Polich, 1987, 1989; Roth & Kopell, 1973; Squires, Donchin, Herning, & McCarthy, 1977; Squires et al., 1975), この成分は注意の自動的定位置を反映していると推測されている(Näätänen, 1992)。García-Larrea et al.(1992)は、P250の潜時および頭皮上分布がP3a成分と類似している点、そしてP250およびP3a成分の両者ともに、低頻度標的刺激の検出にともなって出現するP300波の直前に認められる点を根拠として、P250はP3a成分と同じ電位である可能性を示唆した。もしこの推測が妥当であるならば、Pdは注意の自動的定位置を反映していることになる。そして、P3a成分は非注意刺激に特異的な電位ではなく、注意刺激に対しても出現する(Woods, 1992)ことから、Pdを非注意刺激の処理過程を検討するための指標として用いる意味はないことになる。

本実験では、実験1と同様に刺激呈示耳を選択手がかりとした選択的聴取課題において、新奇刺激(注³)を呈示し、これに対するERPを記録することによって、PdとP3a成分が同一の電位であるかどうかについて検討する。具体的には、非注意耳に呈示される新奇刺激に対して、PdとP3a成分が分離して出現するかどうかについて調べる。

実験 1 では、非注意耳に呈示される標準刺激に対して、刺激呈示後 200-300ms 間で Pd が出現することが示されたが、Pd が刺激呈示耳手がかりに基づく選択と関連した電位である以上、標準刺激だけでなく新奇刺激に対しても Pd が出現すると考えられる。また、選択的聴取課題においては、非注意新奇刺激に対する P3a 成分はオドボール課題よりも遅れて出現する(刺激呈示後 300-350ms)ことが報告されている(Woods, 1992)。これらのことから、以下の仮説が立てられる。もし Pd が P3a 成分と同一の電位ならば、非注意新奇刺激に対しては刺激呈示後 300-350ms 間で P3a 成分のみが出現すると考えられる。一方、もし Pd と P3a 成分が異なる電位であるならば、刺激呈示後 200-300ms 間では Pd が、そして刺激呈示後 300-350ms 間では P3a 成分が出現すると予想される。

本実験の第 2 の目的は、Pd が先行刺激 ERP の重畳によるアーティファクトであるのかどうかについて、再検討を加えることである。実験 1 では、長 ISI 条件において Pd が出現することを確認し、短 ISI 条件における Pd が長 ISI 条件における Pd と類似していることから、どちらの ISI 条件においても、Pd は先行刺激 ERP の重畳によるものではないと推測した。しかし短 ISI 条件における Pd の構成因を考えるうえで、このような方法は間接的なものである。本実験では、先行刺激 ERP の重畳電位を「Adjar 法(Adjacent response technique, Woldorff, 1993)」によって推定することによって、短 ISI 条件における Pd の構成因について、より

(注 3) 高頻度で呈示される標準刺激とは大きく異なり、しかも低頻度で呈示される刺激。低頻度で呈示されるという点で、新奇刺激と逸脱刺激は類似しているが、逸脱刺激は標準刺激とわずかにしか違わない点で新奇刺激とは異なる。

直接的に検討する。Adjar 法とは、時間的に近接して呈示された刺激によって惹起された ERP の重畳電位を推定する信号処理手法である。この手法を用いることによって、短 ISI 条件における Pd には先行刺激 ERP の重畳が含まれるのか、そして含まれるとするならば、それはどの程度なのかという点を具体的に検討することができる。

2.2.2. 方法

被験者 右手利きの成人 14 名が実験に参加した。その内、眼球運動が多かった 2 名を除いた 12 名(女性 2 名, 21.6-28.4 歳)を分析の対象とした。全ての被験者が、聴力および視力(矯正視力を含む)は正常範囲内であると報告した。類似の選択的聴取実験に参加した経験をもつ被験者は 2 名であった。

刺激 聴覚刺激は、持続時間 50ms, 立ち上がり・減衰時間各 5 ms, 70dB SPL の純音および新奇音(後述)であり、ステレオ・ヘッドフォンを通して、疑似無作為な順序で被験者の左右耳に呈示した。各耳に呈示される刺激は、「標準刺激」, 「逸脱刺激」および「新奇刺激」で構成され、Table 3 に示した確率で呈示した。標準刺激は、左耳では 1500Hz, 右耳では 900Hz の純音であった。逸脱刺激は、標準刺激よりもわずかに周波数が高い純音であり、その周波数は被験者ごとに設定した。その理由は、標準刺激と逸脱刺激の弁別の困難度を、各被験者が「適度に難しい」と報告する程度に設定することによって、被験者の注意をできるだけ注意耳に焦点化させるためであった(Wagner, Alho, Lavikainen, Reinikainen, Teder, & Näätänen, 1993; Woldorff & Hillyard, 1991)。この手続きにより、逸脱刺激の周波数は左耳で 1533Hz から 1633Hz, 右耳で 920Hz から 980Hz となった。新奇刺激としては、白色雑音, 100Hz

Table 3 実験 2 で用いられた刺激の呈示確率

Auditory stimuli		Standard (Sinusoidal)	Deviant (Sinusoidal)	Novel
Ear	Left	42% (1500Hz)	4% (1533-1633Hz)	4%
	Right	42 (900Hz)	4 (920- 980Hz)	4
Visual stimuli		Standard (● 200ms)	Deviant (●50ms)	Novel (▲50ms)
Color	Green	42%	4%	4%
	Red	42	4	4

* Auditory and visual stimuli were presented in parallel.

の矩形波，および 3333Hz のサイン波で振幅変調された 3000Hz の矩形波の 3 種類を用いた．これら 3 種類の新奇刺激は等確率で呈示した．

視覚刺激は，被験者の 1 m 前方に設置された CRT 中央に呈示し，視角は 0.74° とした．刺激の半数は緑色で，残りは赤色であった．聴覚刺激と同様に，それぞれの色の刺激は標準刺激，逸脱刺激および新奇刺激で構成された．標準刺激は呈示時間 200ms の円，逸脱刺激は呈示時間 50ms の円，新奇刺激は呈示時間 50ms の正三角形であり，Table 3 に示した確率で呈示した．聴覚刺激系列と視覚刺激系列は，2 台のコンピュータによって，時間的關係をもたないように互いに独立して呈示した．

聴覚刺激系列および視覚刺激系列ともに，実験ブロックの最初の 5 試行では逸脱刺激および新奇刺激は呈示されず，逸脱刺激および新奇刺激の後には少なくとも 2 個の標準刺激が呈示されるように，刺激呈示順序を決定した．

手続き 実験は，防響室内に設置され，薄暗く照明されたシールド・ルーム内で行った．聴覚注意条件として，右耳注意条件と左耳注意条件を設けた．被験者には，聴覚注意条件では，視覚刺激を凝視しながら，指定された耳に注意を向けるよう教示した．そして，注意耳に呈示される逸脱刺激に対して，できるだけ素早くかつ正確に母指で反応ボタンを押すように教示した(反応手は被験者間でカウンターバランスした)．非注意刺激はできるだけ無視することを強調した．視覚注意条件では，緑色の逸脱刺激に対して反応ボタンを押させた．また，左右耳に呈示される聴覚刺激のいずれか一方が選択あるいは排除されることを防ぐために，全ての聴覚刺激をできるだけ無視することを強調した．

ISI 条件として，実験 1 と同じ 2 種類を設定した．短 ISI 条件では，聴覚刺激系列および視覚刺激系列ともに 200-500ms の無作為な ISI とし，

長 ISI 条件では 600-1500ms とした。1 ブロックで呈示される聴覚刺激の数は、短 ISI 条件では 850 個、長 ISI 条件では 300 個とした(なお、定められた数の聴覚刺激が呈示された時点でブロックが終了するので、視覚刺激の数はブロックによって変化した)。

被験者の半数は、短 ISI 条件を全て行った後に長 ISI 条件を行い、残りの半数は逆順序で行った。左耳注意条件、右耳注意条件および視覚注意条件は、短 ISI 条件では 1 ブロックずつ、長 ISI 条件では 3 ブロックずつを連続して行った。各注意条件の順序は被験者間でカウンターバランスし、両 ISI 条件ともに同じ順序で行った。各ブロックの間には 4 分程度の休憩を設け、練習は実験条件が変わるたびに行った。

脳波の記録 両耳朶連結を基準として、Fpz, Fz, Cz および Pz から、銀・塩化銀皿電極を用いて脳波を導出した。同時に、右眉上部から垂直 EOG も記録した。接地電極は左眉上部に置いた。脳波および EOG は、脳波計を用いて、時定数 3.2s, 高域遮断周波数 30Hz で増幅し(60Hz ハム・フィルタ使用), デジタル・レコーダを用いてオンラインで A/D 変換した(サンプリング周波数 200Hz)。

脳波の分析 聴覚刺激に対する ERP のみを分析の対象とした。分析区間は、刺激呈示前 200ms から呈示後 1350ms とした。ERP の算出は、刺激呈示前 200ms 間の平均振幅を基準として行った。S/N 比を高めるため、左耳呈示刺激および右耳呈示刺激に対する脳波は込みにして加算平均した。したがって、聴覚注意条件では、注意標準刺激、非注意標準刺激、注意逸脱刺激、非注意逸脱刺激、注意新奇刺激および非注意新奇刺激の 6 種類に分けて、視覚注意条件では、標準刺激、逸脱刺激および新奇刺激の 3 種類に分けて加算平均処理を行った。各ブロックの第 1 - 第 5 試行、および $\pm 50 \mu V$ を超える電位を示した試行は、加算平均処理から除

外した。また注意逸脱刺激に関しては、刺激呈示後 200-800ms 間にボタン押し反応がなされなかった場合、注意逸脱刺激以外の刺激に関しては、この区間でボタン押し反応がなされた場合は加算平均処理から除外した。さらに、標準刺激に関しては、逸脱刺激および新奇刺激の直後に呈示された場合は加算平均処理から除外した。なお、注意逸脱刺激に対する ERP には N2b-P3b 成分が大きく出現し、Pd や PN などの検討には適当ではないので、本実験では標準刺激および新奇刺激に対する ERP のみを報告する。

短 ISI 条件における標準刺激 ERP については、Woldorff(1993)による Adjar 法によって、先行刺激 ERP の重畳電位の推定値を求めた。Adjar 法には、先行刺激 ERP の重畳を推定するレベル 1 と、先行刺激 ERP および後続刺激 ERP の両者の重畳を推定するレベル 2 があるが、本実験ではレベル 1 を用いた。その理由は、直後刺激は、ほとんどの試行において、本実験での主要な観点である Pd の出現潜時帯よりも遅く呈示されるからである。なお、Adjar 法では、最初に算出された ERP の区間(すなわち刺激呈示前 200ms から呈示後 1350ms)のうち、遅い区間については先行刺激 ERP の重畳を推定することはできない(推定できない区間は ISI によって決定される。本実験では、刺激呈示後 800-1350ms 区間については推定できない)。したがって、刺激呈示前 200ms から呈示後 800ms までの ERP を分析の対象とした。

統計分析 原波形における注意の効果は、記録部位別に ISI×注意の 2 要因反復測定分散分析を行うことによって統計的に検定した。交互作用が有意であった場合には、注意の単純主効果について検定した。本実験では、注意効果の時間的推移をより詳細に調べるために、実験 1 よりも測定区間を短くし、刺激呈示後 0ms から 800ms 間の 20ms ごとの平均

振幅を従属変数として分析を行った。なお、このように測定区間を短くすると、測定の反復回数の増加によって第1種の過誤の確率が増加する。また、本実験では比較的長く持続する注意効果が検討対象であるため、隣接する2つ以上の区間で有意であった場合のみを記載した(Woods, 1992)。

ERPの頭皮上分布をISI条件間で比較する際には、ISI×記録部位の2要因反復測定分散分析を行って検討した。有意な交互作用が認められた場合には、各記録部位における区間平均振幅をベクトル長で規準化(McCarthy & Wood, 1985)して同じ分析を行い、この場合にも交互作用が有意であれば、ISI条件間で頭皮上分布が異なるものとみなし、ISIおよび記録部位の単純主効果について検定した。

以上の分散分析では、分散・共分散の非対称性による第1種の過誤の確率の増加に対処するために、Greenhouse & Geisser(1959)による ϵ によって自由度を修正したうえで有意水準を判定した。分散分析における有意水準は5%とした。多重比較には、Ryan-Einot-Gabriel-Welsch多重範囲検定(Einot & Gabriel, 1975; Ryan, 1959, 1960; Welsch, 1977)を用い、有意水準は5%に設定した。これらの統計分析は、SAS Institute Inc.(1988)によるSAS/STATプログラムのANOVAプロシジャを用いて行った。

2.2.3. 結果

Adjar法の適用について

Figure 11に、Adjar法を適用する前の、短ISI条件における標準刺激ERP(Figure 11左)、Adjar法によって推定された先行刺激ERPの重畳波形(Figure 11中央)、および重畳波形を除去した後のERP波形(Figure

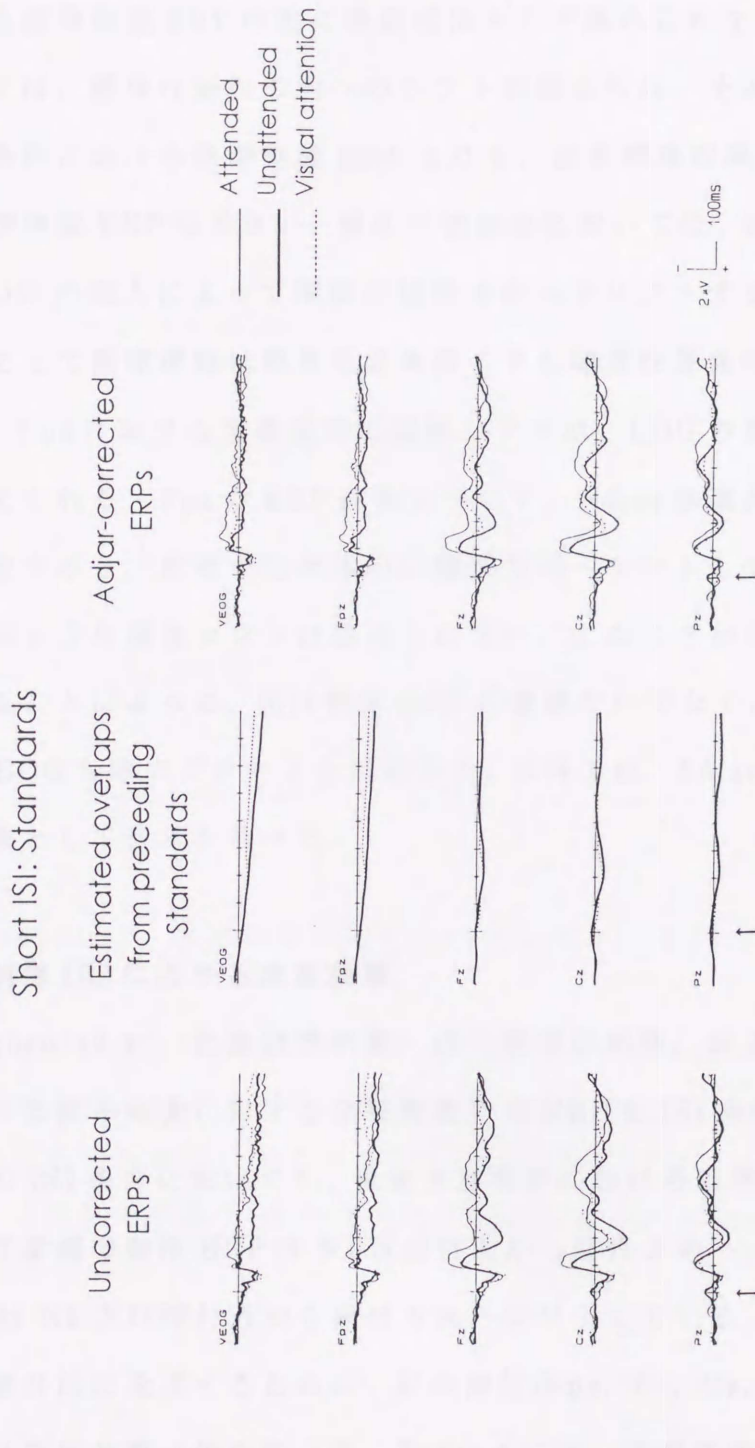


Figure 11 左: Adjcar 法を適用する前の, 短 ISI 条件における標準刺激 ERP. 中央: Adjcar 法によって推定された先行刺激 ERP の重畳波形. 右: Adjcar 法適用前の標準刺激 ERP から先行刺激 ERP の重畳電位を減算して求めた差波形.

細線は注意標準刺激に対する ERP を, 太線は非注意標準刺激に対する ERP を, 点線は視覚注意条件における標準刺激に対する ERP を示す.

11右)を示した。FzからPzにかけては、重畳波形の振幅は非常に小さく、しかも注意標準刺激ERP、非注意標準刺激ERP、および視覚注意条件における標準刺激ERPの間に差異はほとんど認められない。一方、Fpzにおいては、緩徐な陽性方向へのシフトが認められ、そのシフト量は視覚注意条件における標準刺激ERPよりも、注意標準刺激ERPおよび非注意標準刺激ERPで大きい。数名の被験者においては、眼球運動にともなうEOGの混入によって脳波が陽性方向へドリフトする傾向にあったこと、そして眼球運動は視覚注意条件よりも聴覚注意条件で多かったことから、Fpzにおける重畳波形の陽性シフトは、EOGの混入が原因であると考えられる。FpzのERP波形について、Adjar法適用前と適用後の間で比較すると、前者では全体的に陽性方向へシフトしているが、後者ではそのような陽性シフトは認められない。このことから、Adjar法を適用することによって、先行刺激ERPの重畳だけでなく、眼球運動にともなうEOGも除去できたことがわかる。以降では、Adjar法適用後のERPを対象として分析を行った。

標準刺激ERPにおける注意効果

Figure 12に、注意標準刺激、非注意標準刺激、および視覚注意条件における標準刺激に対する全被験者平均ERPをISI条件別に示した。どちらのISI条件においても、視覚注意条件における標準刺激ERPに比べて、注意標準刺激ERPはN1頂点付近から陰性方向へ、非注意標準刺激ERPはN1下行脚付近から陽性方向へシフトしている。これらの注意効果を統計的に検定するために、記録部位(Fpz, Fz, Cz, Pz)別にISI×注意の2要因分散分析を行った。Table 4には、注意の主効果、ISI×注意の交互作用、そして注意の単純主効果が有意であった区間とF値を示し

ERPs to Standards

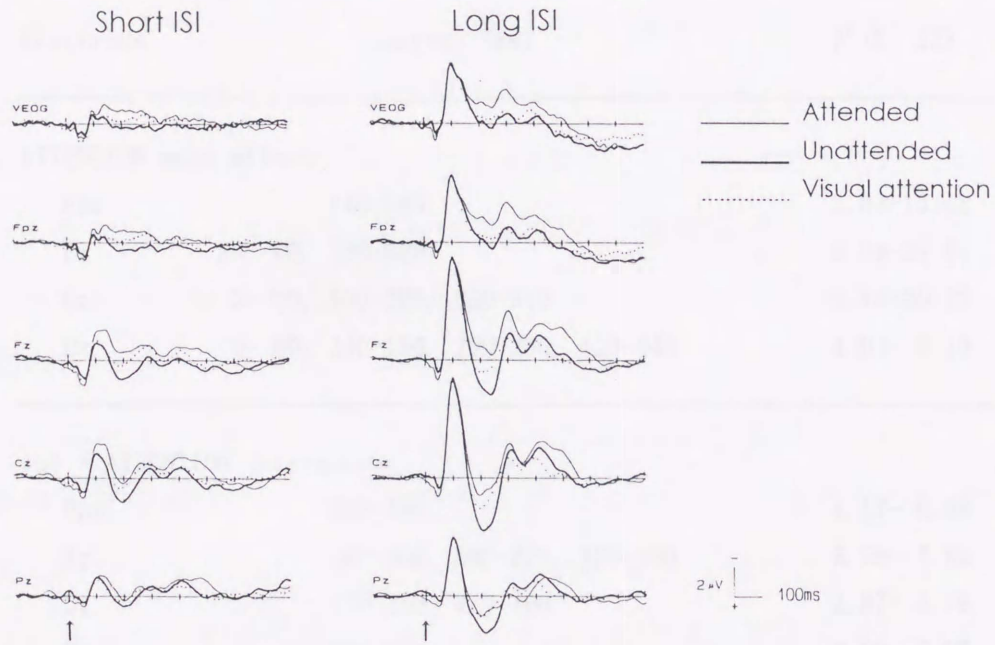


Figure 12 標準刺激に対する全被験者平均 ERP(左: 短 ISI 条件, 右: 長 ISI 条件).

細線: 聴覚注意条件における注意標準刺激に対する ERP. 太線: 聴覚注意条件における非注意標準刺激に対する ERP. 点線: 視覚注意条件における標準刺激に対する ERP. 短 ISI 条件における ERP は, Adjar 法によって先行刺激 ERP の重畳を除去した後の波形である.

Table 4 標準刺激 ERP の平均振幅を従属変数とした ISI×注意の分散分析において、注意の主効果, ISI×注意の交互作用および注意の単純主効果が有意 ($p<.05$)であった区間と F 値

Electrode	Interval (ms)	F (2, 22)
ATTENTION main effect		
Fpz	140-540	3.83-13.62
Fz	20-60, 120-620	4.04-27.83
Cz	0-60, 100-280, 380-540	3.78-20.32
Pz	0-60, 140-180, 200-260, 420-540	4.01-9.19
ISI X ATTENTION interaction		
Fpz	260-340	4.17-6.96
Fz	120-160, 280-320, 420-500	3.59-7.58
Cz	200-240, 420-460	3.87-5.79
Pz	200-260	4.00-5.96
ATTENTION simple effect at the Short ISI condition		
Fpz	260-300	7.16-14.59
Fz	120-160, 280-300, 420-500	5.45-15.46
Cz	200-240, 420-460	5.12-9.27
Pz	---	-----
ATTENTION simple effect at the Long ISI condition		
Fpz	260-340	6.29-7.93
Fz	120-160, 280-320, 420-500	7.30-22.11
Cz	200-240, 420-460	13.16-19.84
Pz	200-260	6.99-8.79

た。また Table 5には、多重比較の結果、注意標準刺激 ERP、非注意標準刺激 ERP、および視覚注意条件における標準刺激 ERP の各比較対に有意差が認められた区間を示した。この結果に基づき、以下では非注意標準刺激 ERP および注意標準刺激 ERP の特徴について述べる。

非注意標準刺激 ERP 統計分析を行った結果、視覚注意条件における標準刺激 ERP に比べて、非注意標準刺激 ERP は刺激呈示後 200ms 付近から 280ms 付近にかけて有意に陽性方向へシフトしていることが分かった。ただし、この陽性シフトが出現する部位は ISI 条件間で異なっていた。すなわち、Fz および Cz では両 ISI 条件で有意な陽性シフトが観察されたが、Fpz においては短 ISI 条件のみ、Pz においては長 ISI 条件のみで認められた。

また、長 ISI 条件においては、非注意標準刺激 ERP は視覚注意条件における標準刺激 ERP に比べて、刺激呈示後 420-460ms 区間で中心部優位に陰性方向へシフトしていた。一方、短 ISI 条件においては、Pz の 420-460ms 区間で有意差が認められたものの、その振幅差は非常に小さなものであり、実質的には長 ISI 条件のような陰性シフトは観察されなかった。

注意標準刺激 ERP 注意標準刺激 ERP を視覚注意条件における標準刺激 ERP と比較すると、ISI 条件および記録部位によって潜時帯はやや異なるが、(1)刺激呈示直後から 60ms まで続く陽性シフト、(2)120ms 前後から 240ms 付近まで続く陰性シフト、および(3)260ms から 420ms で開始し、540ms 付近まで持続する陰性シフトが認められた。また、注意標準刺激 ERP を非注意標準刺激 ERP と比較した場合にもこれらと同様の電位変動が認められたが、120ms 前後から開始する陰性シフトの終結がいくぶん遅れる点が異なっていた。この陰性シフトは、どちらの ISI 条

Table 5 多重比較の結果，注意標準刺激ERP，非注意標準刺激ERPおよび視覚注意条件における標準刺激ERPの間に有意差が認められた区間

Comparison	Electrode	Interval (ms)	
		Short ISI	Long ISI
Attended Standard vs.	Fpz	140-300,	340-520
	Fz	20-60, 120-300,	20-60, 140-620
Unattended Standard	Cz	0-60, 120-280,	0-60, 120-280, 420-540
	Pz	0-40, 140-180,	0-40, 140-180, 200-260, 440-540
Attended Standard vs.	Fpz	140-260,	420-520
	Fz	20-60, 120-240,	20-60, 120-240, 260-560
Visual attention Standard	Cz	0-60, 100-180,	0-60, 100-180, 380-540
	Pz	0-60,	0-60, 420-540
Unattended Standard vs.	Fpz	240-300	---
	Fz	180-300	180-280, 420-460
Visual attention Standard	Cz	160-280	160-280, 420-460
	Pz	420-460	200-260, 420-460

件においても刺激呈示後 140ms 付近から開始していた。

差波形の分析

原波形の分析だけでは、注意標準刺激および非注意標準刺激によって惹起された ERP の振幅や頭皮上分布などについて明らかにすることは難しい。そこで、差波形を求めることによって詳細に検討する。Figure 13 には、[注意標準刺激 ERP] - [非注意標準刺激 ERP]，[注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP]，および[非注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP] の各減算を行って得られた差波形を示した。そしてそれぞれの差波形について、ISI × 記録部位の 2 要因分散分析を行い、ISI の効果、および ISI 条件間の頭皮上分布の違いについて調べた。

非注意標準刺激に対する陽性電位 (Pd) [非注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP] 差波形を見ると、短 ISI 条件においては、刺激呈示後 150ms 付近から始まり、250ms 付近で頂点をもつ陽性電位 (Pd) が前頭・中心部優位に認められる。一方、長 ISI 条件においては、これと同じ潜時帯で陽性電位が認められるが、短 ISI 条件よりも頭頂寄りに分布しているようである。また Pd の振幅は、短 ISI 条件よりも長 ISI 条件の方が全体的に大きく見える。Figure 14 には、Pd が顕著に現れた 200-280ms 区間の平均振幅を ISI 条件別に図示した。

これらの視察を統計的に検討するために、刺激呈示後 200-280ms 区間の平均振幅を従属変数として、ISI × 記録部位の 2 要因分散分析を行った。その結果、交互作用 ($F[3, 33]=8.63, p<.005, \epsilon=.62$) が有意であったので、各記録部位における ISI の単純主効果を検定したところ、Pz では長 ISI 条件の方が短 ISI 条件よりも振幅が大きかった ($F[1, 11]=5.90, p<.05$)。

Difference waves: Standards

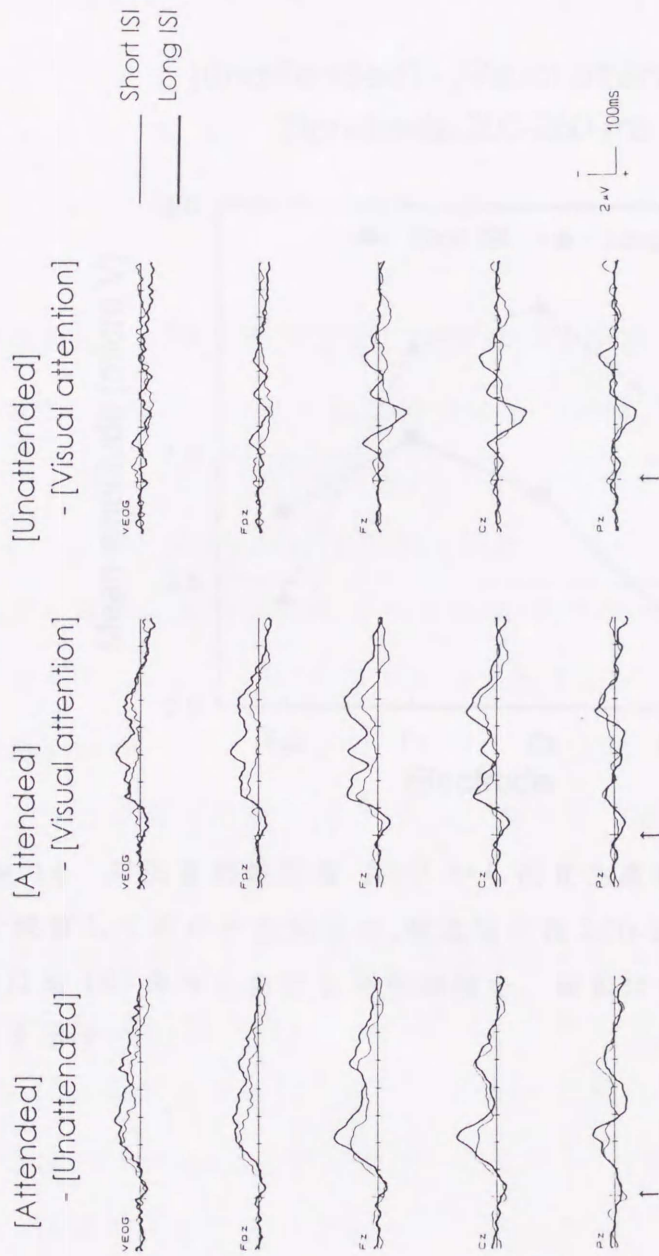


Figure 13 左：注意標準刺激 ERP から非注意標準刺激 ERP を減算して求めた差波形．中央：注意標準刺激 ERP から視覚注意条件における標準刺激 ERP を減算して求めた差波形．右：非注意標準刺激 ERP から視覚注意条件における標準刺激 ERP を減算して求めた差波形．

細線は短 ISI 条件における ERP を，太線は長 ISI 条件における ERP を示す．

[Unattended] - [Visual attention]:
Standards: 200-280 ms

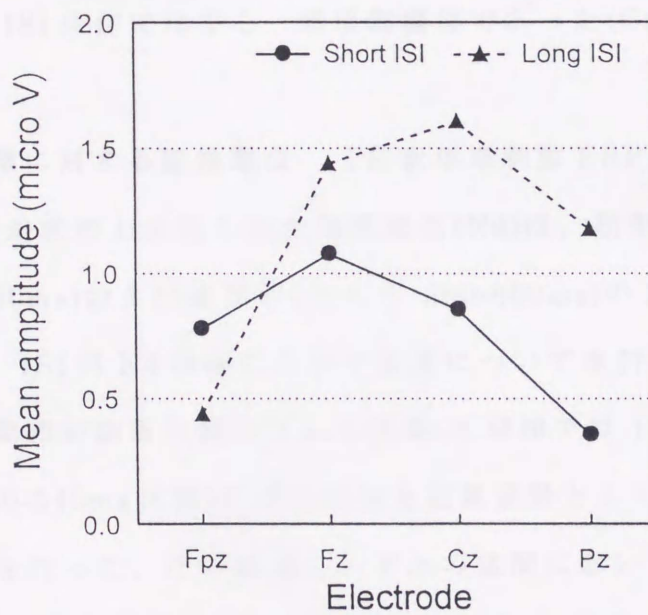


Figure 14 非注意標準刺激 ERP から視覚注意条件における標準刺激 ERP を減算して求めた差波形の, 刺激呈示後 200-280ms 区間の平均振幅. 実線は短 ISI 条件における平均振幅を, 破線は長 ISI 条件における平均振幅を示す.

これは、原波形の分析において、Pzにおける非注意標準刺激ERPの有意な陽性シフトが長ISI条件でのみ認められたことと対応する。その他の部位ではISIの効果は有意ではなかった。続いて、各ISI条件における記録部位の単純主効果を検定したところ、短ISI条件($F[3, 33]=4.62$, $p<.05$, $\epsilon=.48$)および長ISI条件($F[3, 33]=14.79$, $p<.0001$, $\epsilon=.67$)の両者で有意であり、短ISI条件では前頭・中心部優位であった($Fz>Pz$, $Cz>Pz$)が、長ISI条件では中心・頭頂部優位であった($Cz>Fpz$, $Fz>Fpz$, $Pz>Fpz$)。

注意標準刺激に対する陰性電位 [注意標準刺激ERP] - [非注意標準刺激ERP] 差波形上に見られる陰性電位(Nd)は、初期相(刺激呈示後およそ100-300ms)および後期相(およそ300-600ms)の2つの相から構成されている。ISIがNd振幅に及ぼす効果について検討するために、初期相および後期相が顕著に観察される区間(初期相では120-300ms区間、後期相では400-540ms区間)の平均振幅を従属変数として、ISI×記録部位の分散分析を行った。その結果、いずれの区間においても、ISIの主効果および交互作用は有意ではなく、ISI条件間でNd振幅に差がないことが分かった。

[注意標準刺激ERP] - [視覚注意条件における標準刺激ERP] 差波形上の陰性電位(PN)を見ると、3つの相から構成されていることが分かる。すなわち、刺激呈示後およそ120-240ms区間、280-360ms区間および400-540ms区間の陰性電位である。このうち、280-360ms区間の陰性電位は長ISI条件でのみ認められる。

新奇刺激ERPにおける注意効果

Figure 15に、注意新奇刺激、非注意新奇刺激、および視覚注意条件

ERPs to Novels

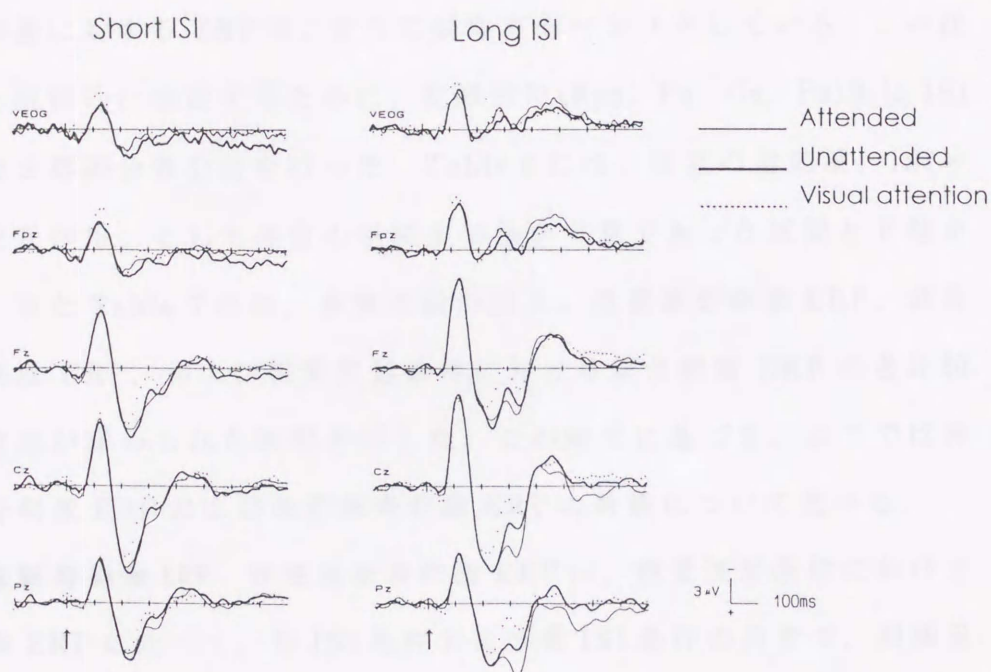


Figure 15 新奇刺激に対する全被験者平均 ERP(左: 短 ISI 条件, 右: 長 ISI 条件).

細線: 聴覚注意条件における注意新奇刺激に対する ERP. 太線: 聴覚注意条件における非注意新奇刺激に対する ERP. 点線: 視覚注意条件における新奇刺激に対する ERP.

における新奇刺激に対する全被験者平均 ERP を ISI 条件別に示した。視覚注意条件における新奇刺激 ERP を見ると、刺激呈示後 200ms 付近には大きな陽性頂点(P2波)が、そして 320ms 付近には低振幅の陽性頂点が認められる。これらの陽性波に重畳する形で、注意新奇刺激および非注意新奇刺激に対する ERP は、さらに陽性方向へシフトしている。この注意効果を統計的に検定するために、記録部位(Fpz, Fz, Cz, Pz)別に ISI × 注意の 2 要因分散分析を行った。Table 6 には、注意の主効果、ISI × 注意の交互作用、そして注意の単純主効果が有意であった区間と F 値を示した。また Table 7 には、多重比較の結果、注意新奇刺激 ERP、非注意新奇刺激 ERP、および視覚注意条件における新奇刺激 ERP の各比較対に有意差が認められた区間を示した。この結果に基づき、以下では非注意新奇刺激 ERP および注意新奇刺激 ERP の特徴について述べる。

非注意新奇刺激 ERP 非注意新奇刺激 ERP は、視覚注意条件における新奇刺激 ERP に比べて、短 ISI 条件および長 ISI 条件の両方で、刺激呈示後 220-280ms 区間で有意に陽性方向にシフトしていた。さらに長 ISI 条件においては、この陽性シフトに続いて、280-360ms 区間においても有意な陽性シフトが認められた。

注意新奇刺激 ERP 注意新奇刺激 ERP には、非注意新奇刺激 ERP と同様の特性をもつ 2 つの陽性シフトが認められた。すなわち、注意新奇刺激 ERP は視覚注意条件における新奇刺激 ERP に比べて、刺激呈示後 200-280ms 区間(両 ISI 条件に共通)および 280-360ms 区間(長 ISI 条件で顕著)で有意に陽性方向にシフトしていた。

差波形の分析

刺激呈示後 200-360ms 区間において、注意新奇刺激 ERP および非注

Table 6 新奇刺激 ERP の平均振幅を従属変数とした ISI×注意の分散分析において、注意の主効果、ISI×注意の交互作用および注意の単純主効果が有意 ($p < .05$) であった区間と F 値

Electrode	Interval (ms)	F (2, 22)
ATTENTION main effect		
Fpz	240-280	5.88- 6.11
Fz	240-360, 640-680	3.67-33.40
Cz	220-360	5.99-35.05
Pz	220-360, 520-580	3.59-14.49
ISI X ATTENTION interaction		
Fpz	---	----
Fz	---	----
Cz	300-360, 440-480	3.58- 4.97
Pz	280-380, 440-480	4.23-10.31
ATTENTION simple effect at the Short ISI condition		
Fpz	---	----
Fz	---	----
Cz	300-320	8.53
Pz	---	----
ATTENTION simple effect at the Long ISI condition		
Fpz	---	----
Fz	---	----
Cz	300-360	7.66-16.61
Pz	280-380, 440-480	5.20-18.79

Table 7 多重比較の結果，注意新奇刺激 ERP，非注意新奇刺激 ERP および視覚注意条件における新奇刺激 ERP の間に有意差が認められた区間

Comparison	Electrode	Interval (ms)	
		Short ISI	Long ISI
Attended Novel	Fpz	240-280	240-280
vs.	Fz	280-320	280-320
Unattended Novel	Cz	280-320	280-360
	Pz	---	280-380, 440-480
Attended Novel	Fpz	---	---
vs.	Fz	240-360	240-360
Visual attention	Cz	220-320	220-360
Novel	Pz	240-280	240-380
Unattended Novel	Fpz	240-280	240-280
vs.	Fz	240-360, 640-680	240-360, 640-680
Visual attention	Cz	220-300	220-320
Novel	Pz	220-280	220-340

意新奇刺激 ERP の両者で認められた陽性シフトの性質を調べるために、
[注意新奇刺激 ERP] - [視覚注意条件における新奇刺激 ERP] , およ
び [非注意新奇刺激 ERP] - [視覚注意条件における新奇刺激 ERP] の
各減算を行い、差波形を求めた (Figure 16). なお、これらの差波形の
200-360ms 区間に認められる陽性電位を、以下では便宜的に P200-360
と呼ぶ。

非注意新奇刺激に対する P200-360 Figure 17 の下段には、非注意新
奇刺激に対する P200-360 の前半部分 (刺激呈示後 200-280ms 区間) およ
び後半部分 (280-360ms 区間) の平均振幅を示した。非注意新奇刺激に対
する P200-360 の前半部分 (Figure 17 左下) では ISI 条件間で振幅差はな
いが、後半部分 (Figure 17 右下) では長 ISI 条件の方が大きいようである。
この視察を統計的に検定するために、まず 200-280ms 区間の平均振幅に
ついて ISI × 記録部位の 2 要因分散分析を行ったところ、記録部位の主
効果のみが有意であり ($F[3, 33]=10.49, p<.0005, \epsilon=.70$), 中心・前頭部
優位の分布が示された ($Cz>Pz, Cz>Fpz, Fz>Fpz$)。ISI の主効果 ($F[1,$
 $11]=.00$) および交互作用 ($F[3, 33]=.81$) は有意ではなかった。

一方、刺激呈示後 280-360ms 区間では交互作用 ($F[3, 33]=4.77, p<.05,$
 $\epsilon=.53$) が有意であったので、ISI の単純主効果について検定したところ、
Pz では長 ISI 条件の方が振幅が大きかった ($F[1, 11]=8.38, p<.05$)。続い
て記録部位の単純主効果について検定したところ、短 ISI 条件では有意
でなかった ($F[3, 33]=3.38$) が、長 ISI 条件では有意であった ($F[3,$
 $33]=5.14, p<.05, \epsilon=.45$)。長 ISI 条件において多重比較を行った結果、
Fpz では他の 3 部位 (Fz, Cz, Pz) よりも振幅が小さかったが、Fz, Cz
および Pz の間には有意差は認められなかった。

注意新奇刺激に対する P200-360 Figure 17 上段には、注意新奇刺激

Difference waves: Novels

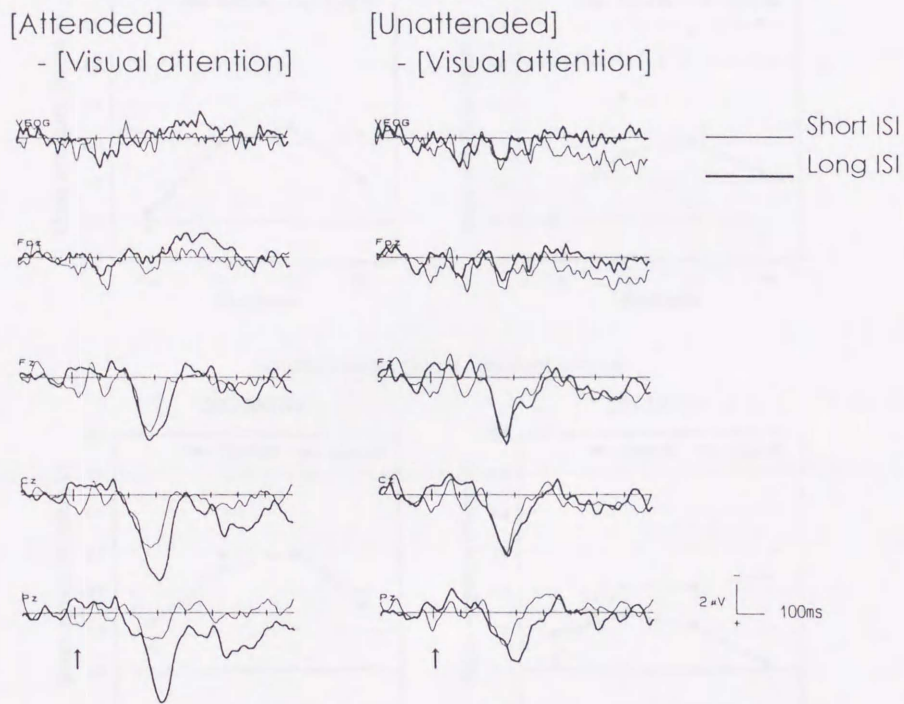


Figure 16 左：注意新奇刺激 ERP から視覚注意条件における新奇刺激 ERP を減算して求めた差波形。右：非注意新奇刺激 ERP から視覚注意条件における新奇刺激 ERP を減算して求めた差波形。

細線は短 ISI 条件における ERP を，太線は長 ISI 条件における ERP を示す。

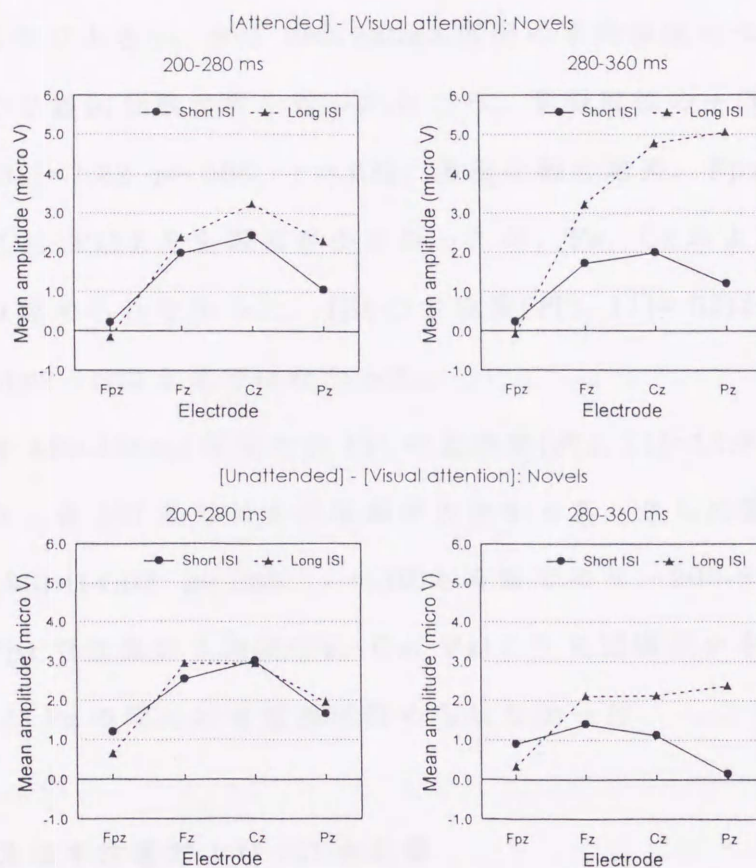


Figure 17 上段：注意新奇刺激 ERP から視覚注意条件における新奇刺激 ERP を減算して求めた差波形の，刺激呈示後 200-280ms 区間(左)および 280-360ms 区間(右)の平均振幅．下段：非注意新奇刺激 ERP から視覚注意条件における新奇刺激 ERP を減算して求めた差波形の，刺激呈示後 200-280ms 区間(左)および 280-360ms 区間(右)の平均振幅．

実線は短 ISI 条件における平均振幅を，破線は長 ISI 条件における平均振幅を示す．

に対する P200-360 の前半部分(刺激呈示後 200-280ms 区間)および後半部分(280-360ms 区間)の平均振幅を示した。非注意新奇刺激に対する P200-360 と同じく、注意新奇刺激に対する P200-360 も前半部分(Figure 17 左上)では ISI 条件間で振幅差は小さいが、後半部分(Figure 17 右上)では長 ISI 条件で大きい。まず 200-280ms 区間の平均振幅について、ISI × 記録部位の 2 要因分散分析を行ったところ、記録部位の主効果が有意であり ($F[3, 33]=7.82, p<.005, \epsilon = .68$)、多重比較の結果、Fpz では他の 3 部位(Fz, Cz, Pz)よりも振幅が小さかったが、Fz, Cz および Pz の間には有意差は認められなかった。ISI の主効果($F[1, 11]=.52$)および交互作用($F[3, 33]=2.71$)は有意ではなかった。

刺激呈示後 280-360ms 区間では ISI の主効果($F[1, 11]=13.84, p<.005$)が有意であり、長 ISI 条件の方が振幅が大きかった。さらに記録部位の主効果($F[3, 33]=14.03, p<.005, \epsilon = .40$)も有意であり、200-280ms 区間と同じく、Fpz では他の 3 部位(Fz, Cz, Pz)よりも振幅が小さかったが、Fz, Cz および Pz の間には有意差は認められなかった。

P200-360 に及ぼす注意および ISI の効果

P200-360 の後半部分(刺激呈示後 280-360ms 区間)は、新奇刺激が非注意耳に呈示された場合に比べて、注意耳に呈示された場合に増大しているようであるが、前半部分(200-280ms 区間)では注意の効果はないようである。さらに、後半部分は、短 ISI 条件よりも長 ISI 条件で増大しているが、前半部分には ISI の効果はほとんど認められない。そこで、これら 2 つの区間の平均振幅について、注意 × ISI × 記録部位の 3 要因反復測定分散分析を行った。200-280ms 区間では、記録部位の主効果のみが有意($F[3, 33]=9.73, p<.005, \epsilon = .71$)であり、Cz, Fz および Pz の 3 部位

と Fpz の間に有意差が見出された。

一方、刺激呈示後 280-360ms 区間では、注意×記録部位の交互作用が有意であり ($F[3, 33]=10.20, p<.005, \epsilon =.41$), Cz($F[1, 11]=15.49, p<.005$)および Pz($F[1, 11]=12.17, p<.01$)では、新奇刺激が注意耳に呈示された場合にこの区間の振幅は増大していた。さらに ISI×記録部位の交互作用も有意であり ($F[3, 33]=12.45, p<.0001, \epsilon =.60$), Cz($F[1, 11]=6.99, p<.05$)および Pz($F[1, 11]=21.83, p<.001$)では、短 ISI 条件に比べて長 ISI 条件で増大していた。

非注意標準刺激に対する Pd と非注意新奇刺激に対する P200-360 の比較

刺激呈示後 200-280ms 区間では、非注意標準刺激に対しては Pd が、非注意新奇刺激に対しては P200-360 が出現した。これらの陽性電位の特性を比較するために、200-280ms 区間の平均振幅について、刺激×ISI×記録部位の 3 要因反復測定分散分析を行った。その結果、刺激の主効果 ($F[1, 11]=9.07, p<.05$) が有意であり、新奇刺激に対する陽性電位の方が Pd よりも振幅が大きかった。さらに記録部位の主効果 ($F[3, 33]=14.48, p<.0005, \epsilon =.62$) が有意であり、両者ともに中心・前頭部優位に分布していた (Cz>Pz, Cz>Fpz, Fz>Pz, Fz>Fpz)。

課題遂行成績

聴覚注意条件および視覚注意条件における反応時間と正反応率を、刺激呈示後 200-800ms 間に行われたボタン押し反応について算出し、1 要因 (ISI) の分散分析を行った。その結果、反応時間については、聴覚注意条件では長 ISI 条件の方が遅かった (短 ISI 条件で 476ms, 長 ISI 条件で 521ms, $F[1, 11]=24.24, p<.0005$) が、視覚注意条件では有意差はなかつ

た(短 ISI 条件で 563ms, 長 ISI 条件で 572ms, $F[1, 11]=.45$). 正反応率については, 聴覚注意条件では有意差はなかった(短 ISI 条件で 87.3%, 長 ISI 条件で 87.7%, $F[1, 11]=.04$)が, 視覚注意条件では長 ISI 条件の方が高かった(短 ISI 条件で 69.3%, 長 ISI 条件で 84.5%, $F[1, 11]=15.15$, $p<.005$). これらの結果は, 実験 1 の結果と同じであった.

2.2.4. 考察

本実験の主たる目的は, 非注意新奇刺激に対して P3a 成分と Pd が分離して出現するかどうかを調べることによって, この 2 つの陽性電位の異同について検討することであった. しかし, 新奇刺激に対して Pd が出現したかどうかを検討するためには, 非注意標準刺激に対する Pd と比較する必要がある. そこで, まず非注意標準刺激 ERP における注意効果について述べる.

非注意標準刺激 ERP における注意効果

本実験の目的の一つは, 短 ISI 条件における Pd が, 先行刺激 ERP の重畳によるアーティファクトであるかどうかについて, 先行刺激 ERP の重畳電位を除去したうえで検討することであった. Adjar 法(Woldorff, 1993)を用いて先行刺激 ERP の重畳電位を推定した結果, 先行刺激 ERP の重畳は低振幅ながら認められた. しかし, その重畳電位の振幅は, (EOG の混入が認められた Fpz を除いて)注意条件間でほとんど差異がなかった. したがって, 先行刺激 ERP の重畳電位を除去する前と同じく, 除去後においても非注意標準刺激 ERP は, 視覚注意条件における標準刺激 ERP に比べて刺激呈示後およそ 160-300ms 潜時帯で陽性方向へシフトしていた. このことから, Pd が先行刺激 ERP の重畳によるアーティフ

ァクトではなく、非注意刺激の排除と関連した何らかの認知過程を反映する内因性陽性電位であることを示した実験1の結論は支持された。

新奇刺激 ERP における注意効果

注意新奇刺激および非注意新奇刺激の両者が、刺激呈示後 200-360ms 潜時帯で陽性電位 (P200-360) を惹起した。P200-360 の前半部分 (200-280ms) の振幅は、注意および ISI の影響を受けなかったが、後半部分 (280-360ms) は頭頂・中心部において、注意時に大きく、また長 ISI 条件でより発達した。

いくつかの先行研究における結果から考えると、P200-360 の後半部分は P3a 成分と同定される。Woods(1992) は、本研究と類似した選択的聴取課題を行い、注意新奇刺激および非注意新奇刺激には本実験と類似した潜時 (刺激呈示後およそ 340ms) に頂点をもつ P3a 成分が認められること、そして注意新奇刺激の方が非注意新奇刺激よりも大きな P3a 成分を惹起することを報告した。この知見は、本実験の P200-360 の後半部分の特徴と一致している。また、Squires et al.(1975) は、特定の課題が与えられず、全ての聴覚刺激を無視している場合でも、高頻度刺激と大きく異なる低頻度刺激は P3a 成分を誘発すると報告している。本実験においても、視覚注意条件における新奇刺激は、P200-360 の後半部分と同じ潜時帯で陽性電位を惹起した。

Näätänen(1992) は、P3a 成分は低頻度刺激に対する注意の自動的定位と関連していると推測している。これに従えば、本実験における P200-360 の後半部分が、短 ISI 条件よりも長 ISI 条件で、そして非注意時よりも注意時に増大したことは、ISI が長く、刺激に注意が向けられている場合には、より多くの処理資源が新奇刺激に対して配分されることを

示唆している。

P200-360の前半部分は、非注意標準刺激に対するPdと出現潜時帯が類似していた。また頭皮上分布について、非注意新奇刺激に対するP200-360の前半部分と標準刺激に対するPdを直接比較した場合、有意差が見出されなかった(ただし、標準刺激のみで分析を行った場合、短ISI条件におけるPdは長ISI条件におけるPdよりも前頭寄りに移行していた)。これらのことから、P200-360の前半部分はPdとみなされる。標準刺激に対しては、Pdは非注意時にのみ観察されたが、新奇刺激に対しては非注意時だけでなく注意時にも認められた。沖田(1993)は、注意耳に呈示される母音刺激から特定の母音刺激を標的として検出する課題において、母音と大きく異なるトーン・ピップ刺激が、本実験の注意新奇刺激に対するPdと類似した陽性電位を惹起することを報告している。本実験の非注意新奇刺激に対するPdは、刺激呈示耳手がかりに基づく非注意刺激の排除と関連しているのに対し、注意新奇刺激に対するPdは、注意耳内のスペクトル手がかりに基づく新奇刺激の排除と関連して出現したと考えられる。また、新奇刺激に対するPdは、非注意標準刺激に対するPdよりも振幅が大きかった。このことは、非注意標準刺激の処理よりも新奇刺激の処理に対して、付加的な認知処理がより強く行われたことを示すものかもしれない。ただし、新奇刺激に対するPdには、その後に出現したP3a成分がいくぶん重畳している可能性があり、その結果、新奇刺激に対するPdが見かけ上増大した可能性がある。さらに、ERPの振幅は加算回数が少ないほど増大する傾向があることから、このことが新奇刺激に対するPdの増大に影響しているのかもしれない。

新奇刺激に対する陽性電位についての上記の考察から、PdとP3a成分は異なる電位であると考えられる。P3a成分が注意の自動的定位置を反映

している(Näätänen, 1992)と考えれば, Pdは P3a成分よりも早く出現することから, 注意が刺激に対して移行する以前に行われる認知過程を反映するといえる. また, 非注意刺激処理に対する抑制は, 非注意刺激に注意が移行する以前に行われると想定されていることを考えあわせると, Pdが抑制を反映していると推測できる. ただし, Pdが反映する認知過程については, 更なる実験的検討が必要である. この点については, 実験3および実験4で検討する.

Pdの頭皮上分布

非注意標準刺激に対するPdの頭皮上分布は, 実験1と同様に, 長ISI条件では中心部優位であったが, 短ISI条件ではそれよりも前頭寄りに移行していた. 実験1では, ISI条件間の頭皮上分布の違いの原因として, EOGの混入が推測された. しかし本実験では, Adjar法を用いることによってEOGの混入が除去されたことから, この推測は否定される.

したがって本実験の結果は, ISI条件間でPdの発生源が異なることを示すものと考えられる. Pdが2つの脳部位から発生する電位の合成波であると考えれば, 前頭部優位に分布する下位成分と, 中心部優位に分布する下位成分からPdが構成されており, 実験1で示唆されたように, 前者はISIが短く, 注意の集中度が高い場合に増大するのかもしれない. ただし, 新奇刺激に対するPdの頭皮上分布を考慮すると, 前頭部優勢に分布する下位成分の振幅は, 刺激系列の全体的なISIに依存するのではないようである. なぜなら, 仮に全体的なISIに依存するのであれば, 短ISI条件における新奇刺激に対するPdは, 短ISI条件における標準刺激に対するPdと同じく, 前頭部優勢になると予想されるからである. しかし, 新奇刺激に対するPdは, いずれのISI条件でも中心部

優位であった。したがって、前頭部優勢に分布する下位成分の振幅は、刺激系列の全体的な ISI ではなく、非注意刺激が呈示される間隔に依存しているものと思われる。

Brunia(1993)や、Knight et al.(1980, 1981, 1989), Skinner & Yingling(1977), Woods & Knight(1986), Yingling & Skinner(1976, 1977)は、非注意刺激処理の抑制の制御に前頭野が大きく関与することを示唆している。このことを考慮すると、抑制にともなう前頭野の活性化を Pd の前頭下位成分が反映しているのかもしれない。ただし、Pd 下位成分の発生源や、それらと抑制機構の関わりについての推測は、双極子源分析(本間, 1994; Scherg & von Cramon, 1986)や電流源密度分析(Perrin, Pernier, Bertrand, & Echallier, 1989), 脳磁場記録(賀戸, 1988; Kaufman & Williamson, 1982), 脳深部直接記録などの方法によって確認される必要がある。しかし本実験の結果は、少なくとも、非注意刺激の処理が複数の脳内処理系によって実現されていること、そして、それらの処理系は注意の性質による影響の受け方が異なることを示唆するものといえよう。

これらの議論を考慮したうえで、実験 1 における Pd の頭皮上分布について再検討すると、次のような考察が可能となる。実験 1 では、短 ISI 条件では、Fpz, Fz および Cz の間で統計的有意差は認められなかったものの、非注意標準刺激に対する Pd は Fpz で最大であった。また、Fpz における Pd の開始潜時は他部位よりも早かった。本実験で推定した先行刺激 ERP の重畳波形を見ると、Fpz では眼球運動にともなう陽性電位が混入し、その振幅は視覚注意条件よりも聴覚注意条件で大きいことが分かった。したがって、Adjar 法を用いなかった実験 1 では、Fpz において EOG が混入し、そのために見かけ上、非注意標準刺激に対する Pd

の振幅が増大し、開始潜時が短縮したと考えられる。

先行研究との関連

本実験における結果を踏まえて、García-Larrea et al.(1992)の報告について検討してみる(注4)。彼らは、オドボール刺激系列を聞き流すだけの受動的課題においても Pd が出現すると報告した。このような無課題の状況では、被験者には特に教示を与えなくても、刺激系列に注意を向け、時々低頻度刺激の検出および高頻度刺激の排除を行っていることは十分考えられる。彼らを用いた刺激系列は、1000Hz 高頻度刺激と2000Hz 低頻度刺激から構成されており、周波数の弁別性が高いこともこうした推測を支持する。したがって、Pdが非注意刺激の排除と関連した認知過程を反映すると考えても、彼らの結果とは矛盾しない。また彼らは、能動的課題における標的刺激にも Pd が出現すると報告した。しかし、標的刺激に対する ERP の加算回数は20回程度と非常に少ないことから、加算平均によっても除去できなかった背景脳波(特に α 波)が、10名中4名の被験者で Pd と類似した様相で現れたと思われる。

Nd に及ぼす ISI の効果

実験1と同様に本実験でも、Nd初期相の開始潜時はISI条件間で差はなく、どちらの条件でも刺激呈示後120ms付近からNd初期相は開始した。Hansen & Hillyard(1984)は、ISIの延長によるNd初期相の開始潜時の遅延は、ISIがランダムな場合に生じると推測したが、実験1およ

(注4)ここでの論議は、投石保広氏の私信(1992年11月)に負うところが大きい。

び本実験の結果はこの推測が妥当でないことを示している。

一方、実験1とは異なり、本実験ではNd後期相の振幅にISIの効果が見られなかった。この原因としては、実験1よりも刺激が強かった(実験1では約40dB SPL, 本実験では70dB SPL)ことが考えられる。刺激が弱く、かつISIが長い場合には刺激表象が減衰しやすいことから、明瞭な注意痕跡を維持するためには、ISIが短い場合に比べて、注意刺激と非注意刺激を区別する特徴を余計に復唱する必要があるだろう。そのために、実験1では長ISI条件でNd後期相が増大したと考えられる。一方、刺激が強い場合には、弱い場合に比べて明瞭な刺激表象が得られることから、余計に復唱をしなくても長ISI条件において短ISI条件と同等の明瞭度の注意痕跡が維持されるであろう。その結果、本実験では、Nd後期相の振幅にISIの効果が見れなかったと考えられる。

中潜時帯における注意効果

本実験では、注意標準刺激ERPは、非注意標準刺激ERPおよび視覚注意条件における標準刺激ERPに比べて、刺激呈示直後から60msにかけて陽性方向にシフトしていた。Woldorff & Hillyard(1991)は、注意刺激と非注意刺激が非常に大きく異なり、しかもISIが非常に短い(120-320ms)場合には、注意標準刺激ERPは非注意標準刺激ERPに比べて刺激呈示後20-50msで陽性方向にシフトすること(P20-50効果)を報告している。しかし本実験における中潜時帯の注意効果は、短ISI条件だけではなく、長ISI条件でも認められたことを考慮すると、これをP20-50効果とみなすことはできないと考えられる。別の原因としては、注意刺激に対して後外耳筋反射(post-auricular muscle reflex)が増大した可能性もある。しかし、後外耳筋反射は陰性-陽性の二相性であり、本実験

で陽性方向にのみ注意効果が現れたこととは一致しない。中潜時帯のように非常に早い時点で生じる注意効果は、注意の初期選択モデル (Broadbent, 1971; Treisman, 1960, 1964a) に対する非常に有力な証拠と考えられている (Woldorff & Hillyard, 1991) が、本実験の結果の解釈については今後の検討が必要である。

第3節 注意刺激と非注意刺激の類似度の効果(実験3)

2.3.1. 目的

実験1および実験2から、Pdが先行刺激ERPの重畳によるアーティファクトではないことが示された。本実験では、注意刺激と非注意刺激の類似度を操作することによって、Pdが非注意刺激処理と関連した認知過程を反映するのかどうかについて、より直接的に検討する。いくつかのERP成分は、刺激の類似度の操作による認知過程の変容にともなって変動することが知られている。例えば、入力刺激と注意痕跡の比較・照合過程を反映すると推測されているPN初期相は、注意刺激と非注意刺激の類似度が低い場合には注意刺激に対してのみ出現するが、類似度が高い場合には非注意刺激に対しても出現し、その振幅は類似度と比例することが知られている (Alho et al., 1986, 1987)。また、逸脱刺激の自動的検出と関連して出現するMMNの振幅は、標準刺激と逸脱刺激の類似度が低いほど増大する (Näätänen, Paavilainen, Alho, Reinikainen, & Sams, 1989; Paavilainen, Karlsson, Reinikainen, & Näätänen, 1989; Sams et al., 1985)。このようなことを踏まえると、Pdが刺激の類似度の操作にともなって変動すれば、Pdは非注意刺激処理と関連した何らか

の認知過程を反映すると考えることができる。

さらに、類似度の効果を調べることによって、Pdの反映する認知過程が非注意刺激処理に対する抑制であるかどうかについての示唆を得ることができる。Woods(1990)は、ある刺激に対して注意を集中する場合、その刺激と類似した刺激の処理はある程度促進され、その範囲(「注意のスポットライト」)を外れる領域では、刺激処理は抑制を受けると想定している。これに従えば、注意刺激との類似度が高い(つまり注意のスポットライトに近接する)場合には、非注意刺激に対する抑制は行われにくく、注意刺激との類似度が低い(つまり注意のスポットライトから遠く離れている)場合には、抑制は強く行われると考えられる。したがって、もしPdが非注意刺激処理に対する抑制を反映しているのであれば、注意刺激と非注意刺激の類似度が高いほどPd振幅は減衰すると予想される。

しかし、注意刺激と非注意刺激の類似度がPd振幅に及ぼす効果については、一致した結果が得られていない。Alho et al.(1987)は、実験ブロック別に6種類の周波数差(500Hz vs. 503, 509, 527, 581, 743, 1229Hz)を設定し、注意刺激が4回連続して呈示された場合に紙上にマークする課題を被験者に行わせたところ、類似度が高くなるほどPd振幅が減衰することを見出した。しかしMichie et al.(1993)の実験では、2種類の周波数差(900Hz vs. 960, 2000Hz)の間でPd振幅に差は認められなかった。これらの実験では、次のような問題点が考えられる。まずAlho et al.(1987)の実験では、CNV様陰性電位が生じやすい課題であったために、PdにCNV様陰性電位の基線復帰陽性電位が重畳し、真のPd振幅が測定されていない可能性がある。またMichie et al.(1993)の実験では、設定した2種類の周波数差の違いが小さかったために類似度の効果が現れなかったのかもしれない。さらに両者とも、実験ブロック間で

周波数差を操作していたことから、類似度の効果と、課題の困難さの違いにともなう覚醒水準の変動の効果が交絡している可能性がある。そこで本実験では、これらの問題点を改善したうえで、注意刺激と非注意刺激の類似度が Pd 振幅に及ぼす効果について検討した。

2.3.2. 方法

被験者 右手利きの成人 17 名が実験に参加した。その内、 α 波振幅が非常に大きい 4 名および課題遂行成績が極端に低かった 1 名を除いた 12 名(女性 6 名, 20.8-26.1 歳)を分析の対象とした。全ての被験者が、聴力および視力(矯正視力も含む)は正常範囲内であると報告した。類似の実験に参加した経験をもつ者は 3 名であった。

刺激 聴覚刺激としては、3 種類の周波数(1000Hz, 1040Hz, 4000Hz)と 2 種類の持続時間(50ms, 100ms)を組み合わせた 6 種類の純音(立ち上がり・減衰時間各 5 ms, 約 40dB SPL)を用い、ヘッドフォンを通して両耳に同時呈示した。視覚刺激としては、3 種類の色(赤, 赤紫, 緑)と 2 種類の形(円形, 正方形)を組み合わせた 6 種類の刺激(視角約 26', 呈示時間約 50ms)を用い、被験者から 1 m 前方に設置された CRT 中央に呈示した。これら 12 種類の刺激を、150-350ms の ISI(矩形分布)でランダムに呈示した^(注 5)。刺激の呈示確率は Table 8 に示した通りである(本実験では、13.3%で呈示される刺激を「標準刺激」、3.3%で呈示される刺激を「逸脱刺激」と呼ぶ)。1 ブロックの刺激数は 900 個とした。

(注 5) 実験 1 および実験 2 では、聴覚刺激系列と視覚刺激系列に分け、それぞれを並行的に呈示したが、本実験および実験 4 では聴覚刺激と視覚刺激を混合し、継時的に呈示する系列を用いた。

Table 8 実験3で用いられた刺激の呈示確率

Auditory stimuli		Duration	
		50ms (Standard)	100ms (Deviant)
Frequency	1000Hz	13.33%	3.33%
	1040Hz	13.33	3.33
	4000Hz	13.33	3.33
Visual stimuli		Shape	
		● (Standard)	■ (Deviant)
Color	Red	13.33%	3.33%
	Magenta	13.33	3.33
	Green	13.33	3.33

このように、実験ブロック内で刺激の周波数差を操作した理由は、実験ブロック間で周波数差を操作した場合に生じ得る覚醒水準変動の影響を避けるためである。

手続き 実験は、防響室内に設置され、薄暗く照明されたシールド・ルーム内で行った。注意条件として、聴覚注意条件と視覚注意条件を設けた。聴覚注意条件では、視覚刺激を凝視しながら 1000Hz 刺激に注意を向け、1000Hz 逸脱刺激(1000Hz・100ms 刺激)に対してできるだけ素早くかつ正確に右手母指で反応ボタンを押すよう教示した。非注意刺激はできるだけ無視することを強調した。視覚注意条件では、赤色の逸脱刺激(赤・正方形刺激)に対して反応ボタンを押し、全ての聴覚刺激を無視するよう教示した。被験者の半数は、聴覚注意条件、視覚注意条件の順に行い、残り半数は逆順序で行った。各注意条件の実施の前には練習を行い、その後 3 ブロックの本試行を行った。各ブロックの間には、4 分程度の休憩を設けた。

脳波の記録 両耳朶連結を基準として、Fpz, Fz, Cz, Pz および Oz から、銀・塩化銀皿電極を用いて脳波を導出した。同時に、右眉上部から垂直 EOG も記録した。接地電極は左眉上部に置いた。脳波および EOG は、脳波計を用いて、時定数 3.2s, 高域遮断周波数 30Hz で増幅し(60Hz ハム・フィルタ使用), デジタル・レコーダを用いて、オンラインで A/D 変換した(サンプリング周波数 200Hz)。

脳波の分析 分析区間は、聴覚刺激の呈示前 200ms から呈示後 800ms までとした。ERP の算出は、刺激呈示前 200ms 間の平均振幅を基準として行った。脳波の加算平均処理においては、各ブロックの第 1 - 10 試行、 $\pm 100 \mu V$ を超える電位を示した試行、注意逸脱刺激が呈示された次の試行は除外した。また注意逸脱刺激に関しては、刺激呈示後 200-800ms

間にボタン押し反応がなされなかった場合，注意逸脱刺激以外の刺激に関しては，この区間でボタン押し反応がなされた場合は加算平均処理から除外した．なお，注意逸脱刺激に対する ERP には N2b-P3b 成分が大きく出現し，Pd や PN などの検討には適当ではないので，本実験では標準刺激に対する ERP のみを報告する．

統計分析 原波形における注意の効果は，Cz から記録された ERP を対象として，周波数(1000Hz, 1040Hz, 4000Hz)×注意条件(聴覚注意，視覚注意)の 2 要因反復測定分散分析を行うことによって統計的に検定した．交互作用が有意であった場合には，注意条件の単純主効果について検定した．従属変数は，刺激呈示後 0ms から 500ms 間を 50ms ごとに区切った区間の平均振幅とした．分散分析では，分散・共分散の非対称性による第 1 種の過誤の確率の増加に対処するために，Greenhouse & Geisser(1959)による ϵ によって自由度を修正したうえで有意水準を判定した．分散分析における有意水準は 5% とした．多重比較には，Ryan 法(Ryan, 1959)を用い，有意水準は 5% に設定した．

2.3.3. 結果

標準刺激 ERP における注意効果

Figure 18 に，聴覚注意条件および視覚注意条件における標準刺激に対する全被験者平均 ERP を示した．4000Hz 標準刺激に対する ERP(Figure 18 右)をみると，視覚注意条件に比べて聴覚注意条件では，中心部から前頭部にかけて，N1 頂点以降から刺激呈示後 500ms 付近まで陽性方向へシフトしている．一方，1040Hz 標準刺激に対する ERP(Figure 18 中央)をみると，そのような陽性シフトは刺激呈示後約 300ms においてわずかに観察されるのみである．また，この陽性シフト

ERPs to Standards

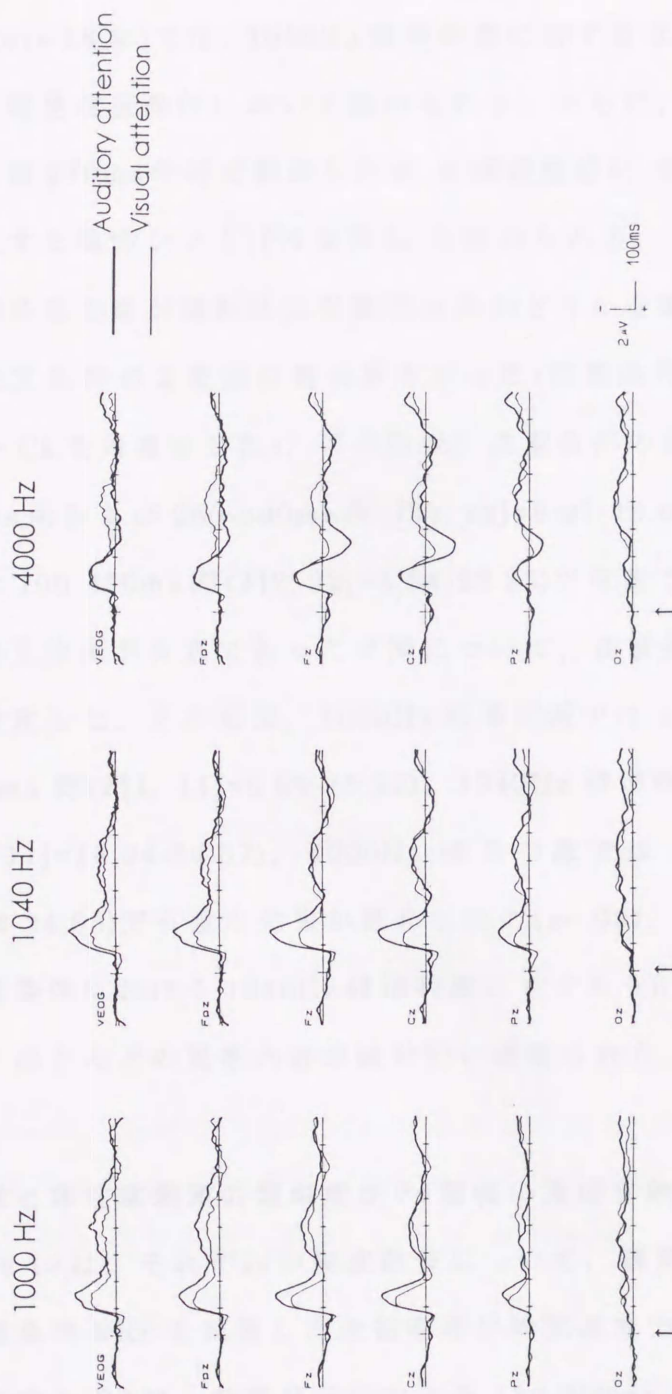


Figure 18 1000Hz 標準刺激(左), 1040Hz 標準刺激(中央)および 4000Hz 標準刺激(右)に対する全被験者平均 ERP.

太線は聴覚注意条件における ERP を, 細線は視覚注意条件における ERP を示す.

の前には，刺激呈示後 100ms 以前に始まる陰性シフト(PN 初期相)が，Fpz から Pz にかけて大きく認められる．1000Hz 標準刺激に対する ERP(Figure 18 左)では，1040Hz 標準刺激に対する ERP と同様の陰性シフトが，聴覚注意条件において認められる．さらに，この陰性シフトが刺激呈示後 270ms 付近で終結した後，前頭部優位に，刺激呈示後約 700ms まで持続する陰性シフト(PN 後期相)も認められる．

上述の注意効果が統計的に有意であるかどうかを確かめるために，周波数×注意条件の 2 要因分散分析を行った(注意条件間で波形の差が最も大きい Cz を対象とした)．その結果，注意条件の主効果は刺激呈示後 50-200ms 間および 250-300ms 間($F[2, 22]=6.97-19.68$ ， ϵ 値は省略)，交互作用は 100-450ms 間($F[2, 22]=4.94-27.23$)で有意であった($p<.05$)．続いて，交互作用が有意であった区間について，注意条件の単純主効果について検定した．その結果，1000Hz 標準刺激では 100-200ms 間および 350-400ms 間($F[1, 11]=6.69-15.22$)，1040Hz 標準刺激では 100-200ms 間($F[1, 11]=16.94-54.37$)，4000Hz 標準刺激では 150-450ms 間($F[1, 11]=9.84-34.63$)で有意な効果が認められた($p<.05$)．これらの分析から，聴覚注意条件における 1040Hz 標準刺激に対する ERP の陽性シフトを除いては，ほとんどの視察内容が統計的に確認された．

注意刺激と非注意刺激の類似度が Pd 振幅に及ぼす効果

Figure 19 は，それぞれの周波数音について，聴覚注意条件 ERP から視覚注意条件 ERP を減算した全被験者平均差波形である．4000Hz 標準刺激に対する Pd は，刺激呈示後およそ 150-500ms 間で認められるが，約 300ms を境として 2 つの相に分かれている．初期相は Cz および Fz で優位であるが，後期相は Fpz および Fz で優位であるように見える．

Difference waves: [Auditory attention]
- [Visual attention]: Standards

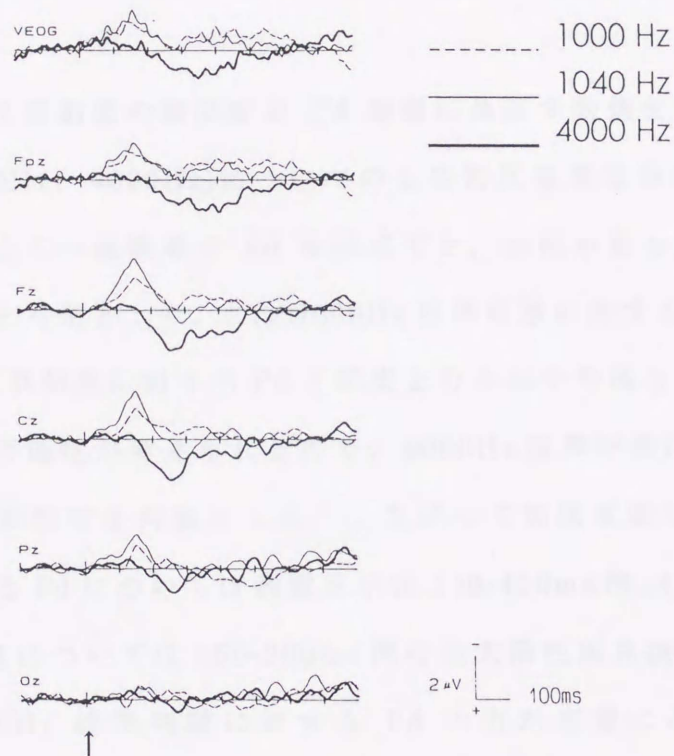


Figure 19 聴覚注意条件における標準刺激 ERP から視覚注意条件における標準刺激 ERP を減算して求めた差波形(破線: 1000Hz 標準刺激, 細線: 1040Hz 標準刺激, 太線: 4000Hz 標準刺激).

1040Hz 標準刺激に対する Pd は、4000Hz 標準刺激に対する Pd よりも小さく、刺激呈示後 300ms 付近で Cz 優位に認められる。

ERP 原波形の統計分析においては、1040Hz 標準刺激では有意な非注意刺激 ERP の陽性シフトが認められなかった。その原因として Pd 出現潜時の被験者間の揺らぎが考えられるので、ここでは特定の区間における最大陽性頂点を Pd 頂点として被験者毎に同定し、これを対象として分析を行った。

注意刺激と非注意刺激の類似度が Pd 振幅に及ぼす効果を調べるために、周波数(1040Hz, 4000Hz)についての 1 要因反復測定分散分析を行った。分析は、全ての被験者で Pd を同定でき、振幅が最も大きかった Cz における Pd を対象とした。また 4000Hz 標準刺激に対する Pd の後期相は、1040Hz 標準刺激に対する Pd と頭皮上分布がやや異なっており、別の成分である可能性が考えられるので、4000Hz 標準刺激に対する Pd についてはその初期相を対象とした。したがって従属変数は、1040Hz 標準刺激に対する Pd については刺激呈示後 150-450ms 間、4000Hz 標準刺激に対する Pd については 150-300ms 間の最大陽性頂点振幅とした。その結果、1040Hz 標準刺激に対する Pd の方が有意に小さかった(1040Hz 標準刺激に対する Pd は $1.90 \mu\text{V}$ 、4000Hz 標準刺激に対する Pd は $2.51 \mu\text{V}$ 、 $F[1, 11]=8.08$, $p<.05$)。

注意刺激と非注意刺激の類似度が Pd 潜時に及ぼす効果

Figure 19 に認められるように、1040Hz 標準刺激に対する Pd は、4000Hz 標準刺激に対する Pd に比べて出現潜時が遅いようである。そこで、Cz における開始潜時(基線よりも陽性側に最初に振れた潜時)および頂点潜時を従属変数として、周波数についての 1 要因反復測定分散分析

を行った。その結果、開始潜時(1040Hz 標準刺激に対する Pd は 263ms, 4000Hz 標準刺激に対する Pd は 145ms, $F[1, 11]=12.82, p<.005$)および頂点潜時(1040Hz 標準刺激に対する Pd は 318ms, 4000Hz 標準刺激に対する Pd は 235ms, $F[1, 11]=13.62, p<.005$)の両者に有意差が認められた。

4000Hz 標準刺激に対する Pd の頭皮上分布

前述したように、4000Hz 標準刺激に対する Pd は、刺激呈示後約 300ms を境として 2 相に分かれており、後期相は初期相よりも前頭寄りに分布しているようである(Figure 20)。この頭皮上分布の違いを統計的に調べるために、Pd の種類(4000Hz 標準刺激に対する Pd の初期相および後期相)×記録部位の 2 要因反復測定分散分析を行った。先に行った Pd 振幅についての分析では頂点振幅を対象としたが、4000Hz 標準刺激に対する Pd の後期相では頂点を同定することが困難であったため、ここでは区間平均振幅を従属変数とした。すなわち、初期相については刺激呈示後 200-300ms 間、後期相については 300-450ms 間の平均振幅を従属変数とした。

分散分析の結果、有意な交互作用($F[4, 44]=8.62, p<.005, \epsilon =.42$)が認められた。交互作用は、ベクトル長で規準化(McCarthy & Wood, 1985)した場合にも有意であった。続いて、記録部位の単純主効果について検定したところ、初期相($F[4, 44]=7.17, p<.01, \epsilon =.45$)および後期相($F[4, 44]=8.12, p<.005, \epsilon =.42$)の両者で有意であった。多重比較の結果(注6)について、両者が明瞭に観察された Fpz, Fz および Cz に着目すると、

(注6) 初期相では、 $Cz>Fpz, Cz>Pz, Cz>Oz, Fz>Fpz, Fz>Oz$ であり、後期相では、 $Fpz>Pz, Fpz>Oz, Fz>Pz, Fz>Oz, Cz>Oz$ であった。

[Auditory attention] - [Visual attention]:
4000 Hz Standards

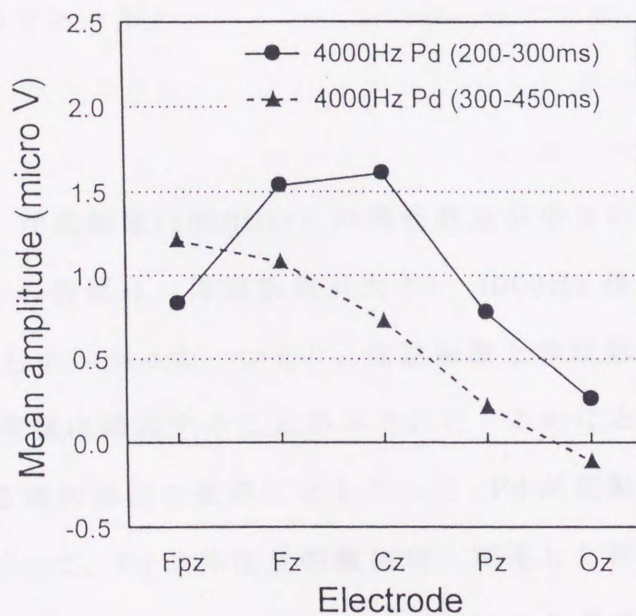


Figure 20 聴覚注意条件における4000Hz標準刺激ERPから視覚注意条件における4000Hz標準刺激ERPを減算して求めた差波形の、刺激呈示後200-300ms区間(実線)および300-450ms区間(破線)の平均振幅。

初期相は Fpz で減衰したが，後期相ではこれらの 3 部位間に有意差はなかった。

課題遂行成績

刺激呈示後 200-800ms 間に行われたボタン押し反応について平均反応時間を算出した結果，聴覚注意条件では 544ms，視覚注意条件では 494ms であった。平均正反応率は，聴覚注意条件では 76.7%，視覚注意条件では 87.3% であった。

2.3.4. 考察

実験の結果，注意刺激(1000Hz)との周波数差が小さい 1040Hz 標準刺激に対する Pd の振幅は，周波数差が大きい 4000Hz 標準刺激に対する Pd の振幅よりも小さかった。つまり，注意刺激と非注意刺激の類似度が高いほど，Pd 振幅は減衰することが示された。このことは，刺激の類似度の操作による認知過程の変容にともなって，Pd が変動することを示している。したがって，Pd は非注意刺激処理と関連した何らかの認知過程を反映すると考えられる。また Woods(1990)による注意のスポットライト・モデルの観点に立てば，Pd が非注意刺激処理に対する抑制を反映することが示唆される。

本実験では，Alho et al.(1987)および Michie et al.(1993)と同じく，注意刺激と非注意刺激の類似度が高いほど Pd の開始潜時は遅延した。さらに，Pd の頂点潜時も遅れることが見出された。これらの知見は，注意刺激と非注意刺激の類似度が高い場合には，両者の弁別に多くの時間を要した結果，非注意刺激処理が抑制される時期が遅延したことを示唆するものである。

本実験の結果は、注意刺激と非注意刺激の類似度の効果を認めなかった Michie et al.(1993)と異なる。先に指摘したように、彼女らが設定した2種類の周波数差では、その違いが小さかったために類似度の効果を見出せなかったのであろう。Alho et al.(1987)は本実験と同じ結果を得ているが、CNV様陰性電位の基線復帰陽性電位がPdに重畳したことによって、真のPd振幅が測定されていない可能性がある(彼ら自身もこのことを認めている)。しかし、本実験ではCNV様陰性電位が生じない課題(沖田他, 1989)を用いたため、その基線復帰陽性電位の影響なしにPd振幅を測定できたと考えられる。また本実験では、実験ブロック内で周波数差を操作したことから、実験ブロック間の覚醒水準変動の影響を排除したうえで、注意刺激と非注意刺激の類似度がPd振幅に及ぼす効果を示すことができた。

上述のように、本実験では類似度が高い非注意刺激(1040Hz)と類似度が低い非注意刺激(4000Hz)の違いを大きくし、さらに両刺激を同一ブロック内で呈示することによって、先行研究における問題点を取り除いたうえで、Pd振幅に及ぼす類似度の効果を検討することができた。しかし、このような手続きを用いたために、類似度の効果と交絡する可能性のある新たな要因が生じた。第1の要因は、主観的な呈示確率の効果である。例えば、MMNやP3a成分のように、呈示確率の減少によってERP成分が増大する場合がある(Näätänen, 1992; Squires et al., 1975)。本実験では、2種類の非注意刺激を同一ブロック内で呈示したために、1000Hz刺激と1040Hz刺激がまとまって高頻度刺激、4000Hz刺激が低頻度刺激として聴取された結果、主観的な呈示確率の効果によって4000Hz標準刺激に対するPdが大きく現れたのかもしれない。第2の要因としては、PN初期相の影響である。1040Hz標準刺激に対するPdの直前には、PN

初期相が出現したが、4000Hz 標準刺激に対しては PN 初期相は出現しなかった。1040Hz 標準刺激に対する Pd が減衰を示したのは、PN 初期相によって ERP が全体的に陰性方向へシフトしたことによる見かけ上のものかもしれない。これらの要因の影響については、実験 4 でさらに検討する。

最後に、Pd の出現様相について検討する。Michie, Bearpark, et al.(1990)や Michie et al.(1993), 沖田他(1989)では、Pd は刺激呈示後 150-200ms で立ち上がり、数百 ms 持続する 1 つの波として現れていたが、本研究の実験 1 および実験 2 や García-Larrea et al.(1992)では、約 300ms で終結していた。一方、本実験では、4000Hz 標準刺激に対する Pd は約 500ms まで持続したが、約 300ms を境として、頭皮上分布の異なる 2 相に分かれていた。本実験の結果を踏まえると、Michie, Bearpark, et al.(1990)や Michie et al.(1993), 沖田他(1989)の結果は、Pd 初期相および後期相が分離せずに現れた結果であり、本研究の実験 1 および実験 2 や García-Larrea et al.(1992)の結果は、Pd 後期相が現れなかったことによるものと推測できる。ただし、Pd 後期相の分布や、どのような場合に Pd 後期相が現れなくなるのかについては、現時点では結論するに十分なデータが蓄積されておらず、今後の課題として残される。いずれにせよ本実験の結果は、実験 1 および実験 2 と同様に、Pd には複数の発生源が寄与していることを示唆するものといえる。

第4節 非注意刺激の強さの効果(実験4)

2.4.1. 目的

実験2および実験3において、Pdが非注意刺激処理に対する抑制を反映していることが示唆された。本実験では、この点について、非注意刺激の強さがPd振幅に及ぼす効果について調べることによってさらに検討する。Houghton & Tipper(1994)は、刺激選択は、注意刺激処理に対する促進と、非注意刺激処理に対する抑制という2つの機構によって行われると想定した。そして、注意刺激が強く、非注意刺激が弱い場合よりも、それとは逆に、注意刺激が弱く、非注意刺激が強い場合に、非注意刺激処理に対する抑制は強く行われると考えた。これに従えば、もしPdが抑制を反映するのであれば、非注意刺激が強いほどPd振幅は増大すると予想される。

ところで実験3では、注意刺激と非注意刺激の類似度が高いほどPd振幅は減衰したが、その原因の一つとして、主観的な呈示確率の効果が考えられた。本実験の第2の目的は、注意刺激と非注意刺激を等確率で呈示することによって、注意刺激と非注意刺激の類似度の効果について検討することである。

2.4.2. 方法

被験者 右手利きの成人16名(女性8名, 20.4-25.4歳)が実験に参加した。全ての被験者が、聴力および視力(矯正視力を含む)は正常範囲内であると報告した。類似の選択的聴取実験に参加した経験をもつ被験者は9名であった。

刺激 実験条件として、聴覚刺激の強さおよび視覚刺激の色の類似度

が高い条件(高類似度条件)と,類似度が低い条件(低類似度条件)を設けた. 高類似度条件では,聴覚刺激として,2種類の強さ(40dB SPL, 55dB SPL)と2種類の周波数(1000Hz, 1040Hz)を組み合わせた4種類の純音(持続時間 50ms, 立ち上がり・減衰時間各 5 ms)を用い,ステレオ・ヘッドフォンを通して両耳に同時呈示した. 視覚刺激としては,2種類の色(赤, 赤紫)と2種類の形(円形, 正方形)を組み合わせた4種類の刺激(視角約 26', 呈示時間約 50ms)を用い,被験者から 1 m 前方にある CRT 中央に呈示した. 低類似度条件では,55dB の聴覚刺激は 63dB に,赤紫色の視覚刺激は緑色に置き換えた.

いずれの類似度条件においても,上記の8種類の刺激を,150-350ms(矩形分布)の ISI で疑似無作為な順序で呈示した. 刺激の呈示確率は Table 9 に示した通りである(本実験では,22.5%で呈示される刺激を「標準刺激」,2.5%で呈示される刺激を「逸脱刺激」と呼ぶ). 1ブロックの刺激数は 1000 個とした. 実験ブロックの第 1 試行および第 2 試行では,注意逸脱刺激は呈示されず,注意逸脱刺激の後には,注意逸脱刺激以外の刺激が少なくとも 2 回呈示されるように刺激呈示順序を設定した.

手続き 実験は,防響室内に設置され,薄暗く照明されたシールド・ルーム内で行った. 実験条件として,類似度条件(高, 低)×注意モダリティ(聴覚, 視覚)×注意を向ける強さ(40dB, 55dB[63dB])あるいは注意を向ける色(赤, 赤紫[緑])の 8 条件を設けた. 聴覚注意条件では,視覚刺激を凝視しながら,いずれか一方の強さの刺激に注意を向け,その強さの逸脱刺激(1040Hz 刺激)に対してできるだけ素早くかつ正確に右手母指で反応ボタンを押すように教示した. 非注意刺激はできるだけ無視することを強調した. 視覚注意条件では,いずれか一方の色に注意を向け,

Table 9 実験4で用いられた刺激の呈示確率

Auditory stimuli		Frequency	
		1000Hz (Standard)	1040Hz (Deviant)
Intensity	40dB SPL	22.5%	2.5%
	55dB SPL	22.5	2.5
	(63dB SPL)		
Visual stimuli		Shape	
		● (Standard)	■ (Deviant)
Color	Red	22.5	2.5
	Magenta	22.5	2.5
	(Green)		

その色の逸脱刺激(正方形刺激)に対して反応し、全ての聴覚刺激をできるだけ無視するように教示した。

実験は2日に分け、8つの実験条件を1日に1ブロックずつ行った。実験条件の実施順序は、ラテン方格に基づき被験者間でカウンターバランスした。実験条件の実施順序は2日とも同じであった。各ブロックの間には4分程度の休憩を設け、練習は実験条件が変わるたびにを行った。

脳波の記録 両耳朶連結を基準として、Fpz, Fz, F4, F8, Cz, C4, T4, Pz, P4, T6およびOzから、銀・塩化銀皿電極を用いて脳波を導出した(ただし、正中線上部位から記録されたERPを主に報告する)。同時に、右眉上部から垂直EOGも記録した。接地電極は左眉上部に置いた。脳波およびEOGは、脳波計を用いて、時定数3.2s、高域遮断周波数30Hzで増幅し(60Hzハム・フィルタ使用)、デジタル・レコーダを用いて、オンラインでA/D変換した(サンプリング周波数200Hz)。

脳波の分析 分析区間は、聴覚刺激の呈示前200msから呈示後800msまでとした。ERPの算出は、刺激呈示前200ms間の平均振幅を基準として行った。脳波の加算平均処理においては、各ブロックの第1-10試行、 $\pm 100 \mu V$ を超える電位を示した試行は除外した。また注意逸脱刺激に関しては、刺激呈示後200-1000ms間にボタン押し反応がなされなかった場合、注意逸脱刺激以外の刺激に関しては、この区間でボタン押し反応がなされた場合は加算平均処理から除外した。視覚注意条件ERPの算出においては、低類似度・赤色刺激注意条件におけるERPと低類似度・赤紫色刺激注意条件におけるERPの間には明瞭な差異が認められなかったため、両者を込みにした。高類似度条件においても同様に、赤色刺激注意条件におけるERPと緑色刺激注意条件におけるERPの両者を込みにして、視覚注意条件ERPを算出した。なお、注意逸脱刺激に対する

ERPにはN2b-P3b成分が大きく出現し、PdやPNなどの検討には適当ではないので、本実験では標準刺激に対するERPのみを報告する。

統計分析 原波形における注意の効果は、Czから記録されたERPを対象として、類似度条件および刺激の強さ別に注意(注意, 非注意, 視覚注意)についての1要因反復測定分散分析を行うことによって統計的に検定した。従属変数は、刺激呈示後0msから500ms間を50msごとに区切った区間の平均振幅とした。分散分析では、分散・共分散の非対称性による第1種の過誤の確率の増加に対処するために、Greenhouse & Geisser(1959)による ϵ によって自由度を修正したうえで有意水準を判定した。分散分析における有意水準は5%とした。多重比較には、Ryan-Einot-Gabriel-Welsch多重範囲検定(Einot & Gabriel, 1975; Ryan, 1959, 1960; Welsch, 1977)を用い、有意水準は5%に設定した。これらの統計分析は、SAS Institute Inc.(1988)によるSAS/STATプログラムのANOVAプロシジャを用いて行った。

2.4.3. 結果

標準刺激ERPにおける注意効果

Figure 21には、類似度条件および刺激の強さの別に、注意標準刺激、非注意標準刺激、および視覚注意条件における標準刺激に対する全被験者平均ERPを示した。刺激の強さの効果はN1波に顕著に現れており、刺激が強いほど振幅が大きくなっている。

注意の効果は、N1波頂点付近から開始しており、注意標準刺激ERPおよび非注意標準刺激ERPの両者は、視覚注意条件における標準刺激ERPよりも陰性方向にシフトしている。両ERPの陰性シフトは、類似度条件および刺激の強さに関係なく出現している。低類似度条件では、

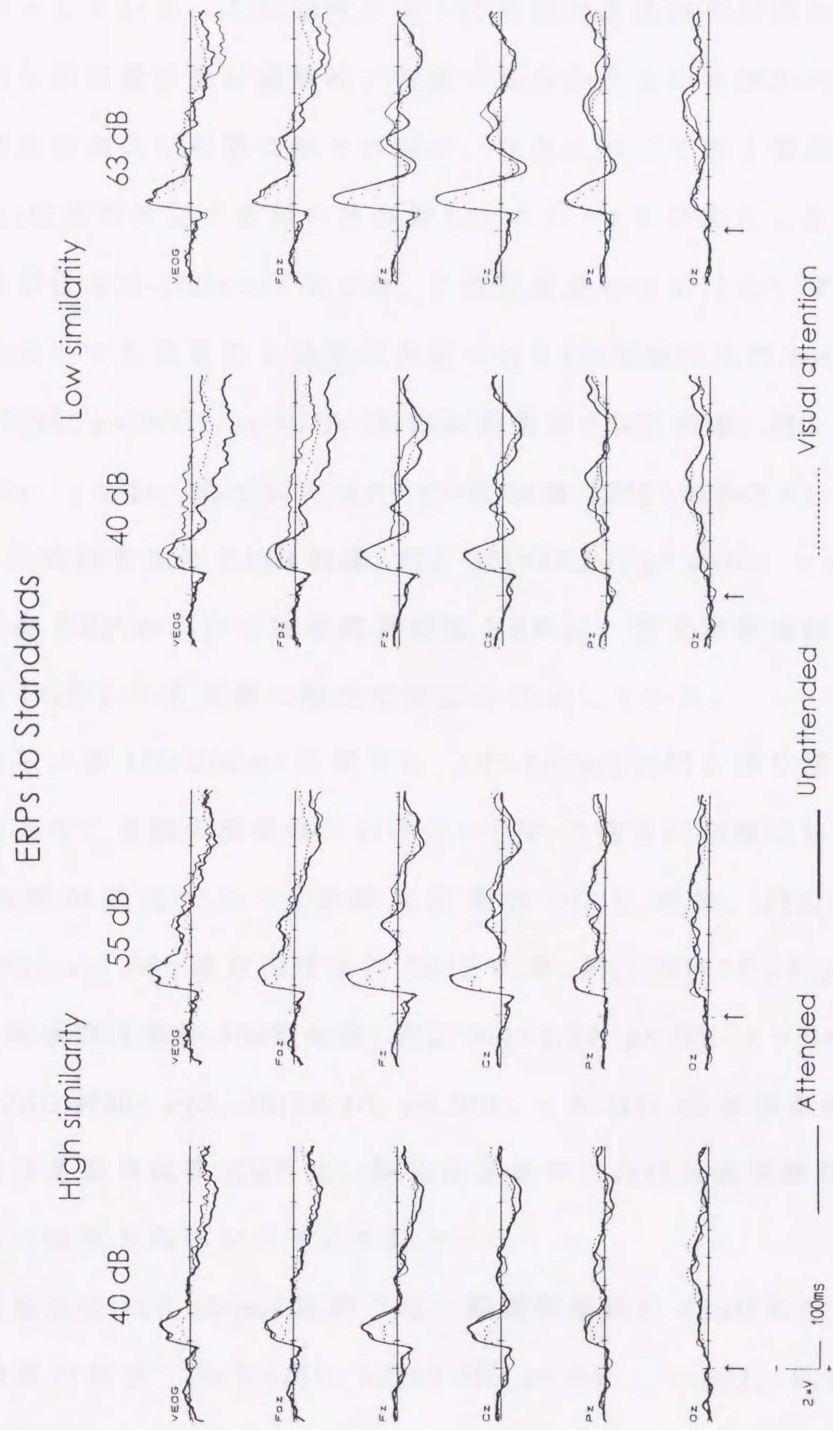


Figure 21 高類似度条件 40dB 標準刺激(第 1 列), 高類似度条件 55dB 標準刺激(第 2 列), 低類似度条件 40dB 標準刺激(第 3 列)および低類似度条件 63dB 標準刺激(第 4 列)に対する全被験者平均 ERP.

細線は注意時の ERP を, 太線は非注意時の ERP を, 点線は視覚注意条件における ERP を示す.

刺激呈示後 200-300ms 潜時帯で，低振幅ではあるが，非注意標準刺激 ERP は視覚注意条件における標準刺激 ERP よりも，Cz 優位に陽性方向にシフトしている．この陽性シフトは高類似度条件では認められない．

これらの注意効果が統計的に有意であるかどうかを確かめるために，類似度条件および刺激の強さの別に，注意についての 1 要因分散分析を行った(注意条件間で波形の差が最も大きい Cz を対象とした)．その結果，刺激呈示後 100-150ms 区間では，各類似度条件におけるいずれの強さの刺激においても注意の主効果が有意であり(高類似度条件 40dB 刺激: $F[2, 30]=17.06$, $p<.0001$, $\epsilon =.75$; 高類似度条件 55dB 刺激: $F[2, 30]=24.21$, $p<.0001$, $\epsilon =.86$; 低類似度条件 40dB 刺激: $F[2, 30]=7.40$, $p<.005$, $\epsilon =.99$; 低類似度条件 63dB 刺激: $F[2, 30]=14.51$, $p<.0001$, $\epsilon =.84$)，注意標準刺激 ERP および非注意標準刺激 ERP は，視覚注意条件における標準刺激 ERP よりも有意に陰性方向にシフトしていた．

刺激呈示後 150-200ms 区間でも，100-150ms 区間と同じ結果が得られた．つまり，各類似度条件におけるいずれの強さの刺激においても注意の主効果が有意であり(高類似度条件 40dB 刺激: $F[2, 30]=11.54$, $p<.0005$, $\epsilon =.98$; 高類似度条件 55dB 刺激: $F[2, 30]=16.64$, $p<.0001$, $\epsilon =.95$; 低類似度条件 40dB 刺激: $F[2, 30]=4.57$, $p<.05$, $\epsilon =.98$; 低類似度条件 63dB 刺激: $F[2, 30]=8.40$, $p<.005$, $\epsilon =.71$)，注意標準刺激 ERP および非注意標準刺激 ERP は，視覚注意条件における標準刺激 ERP よりも有意に陰性方向にシフトしていた．

刺激呈示後 200-250ms 区間では，低類似度条件 63dB 刺激でのみ注意の主効果が有意であり($F[2, 30]=4.56$, $p<.05$, $\epsilon =.86$)，低類似度条件 40dB 刺激($F[2, 30]=2.46$)や高類似度条件 40dB 刺激($F[2, 30]=.40$)，高類似度条件 55dB 刺激($F[2, 30]=.85$)では注意の主効果は有意ではなかった．

低類似度条件 63dB 刺激について多重比較を行ったところ、非注意標準刺激 ERP は視覚注意条件における標準刺激 ERP よりも有意に陽性方向にシフトしていた。Figure 21 を見ると、低類似度条件における 63dB 刺激では、注意標準刺激 ERP は視覚注意条件における標準刺激 ERP に比べてわずかに陽性方向にシフトしているが、両 ERP 間には有意差は認められなかった。

これらの統計分析から、N1 波頂点以降に出現する陰性シフト(PN 初期相)については、先に行った視察が支持された。一方、この陰性シフトに続いて出現する非注意標準刺激 ERP の陽性シフト(Pd)については、低類似度条件 63dB 刺激では有意に出現したが、低類似度条件 40dB 刺激では出現しなかったといえる。なお、刺激呈示後 0-100ms 区間および 250-500ms 区間においては、いずれの類似度条件、そしていずれの強さの刺激でも、注意の主効果は有意ではなかった。

非注意刺激の強さが Pd 振幅に及ぼす効果

非注意刺激 ERP 上の注意効果をより詳しく吟味するために、類似度条件および刺激の強さの別に、[非注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP] の減算を行い、差波形を求めた(Figure 22)。

ERP 原波形の統計分析によって、低類似度条件における 63dB 標準刺激は、それが無視されている場合には統計的に有意な Pd を惹起するが、低類似度条件における 40dB 刺激は無視されていても統計的に有意な Pd を惹起しないことが分かった。この結果は、非注意刺激が強いほど Pd 振幅が増大することを示している。ここでは、この点について、Pd の頂点振幅を比較することによって確認する。低類似度条件における [非注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP] 差波形の、

Difference waves: [Unattended] - [Visual attention]: Standards

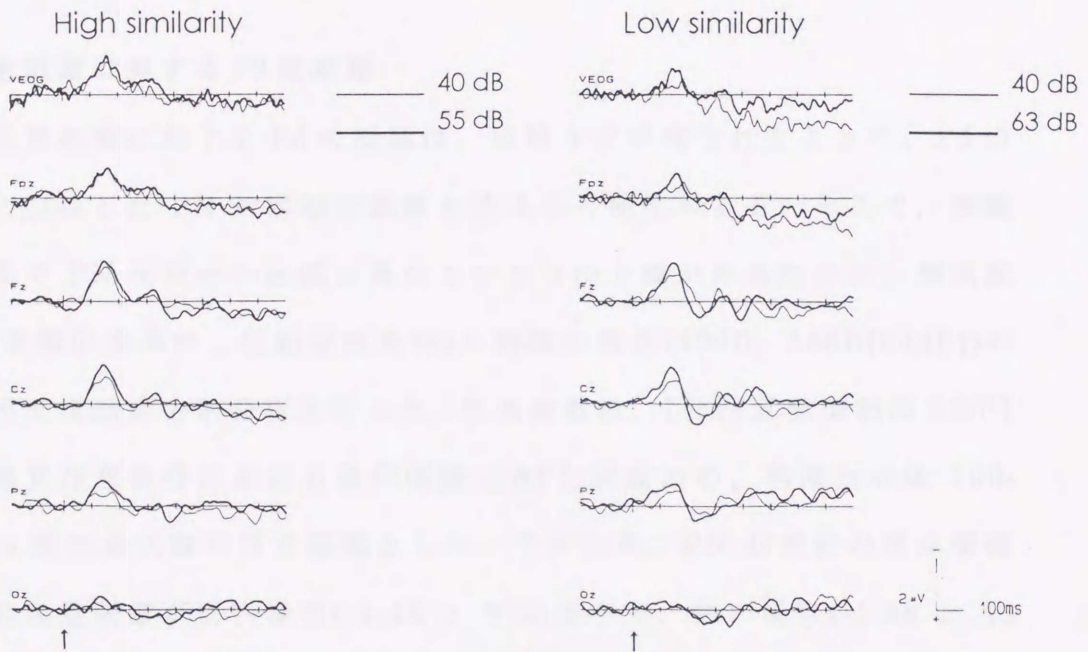


Figure 22 非注意標準刺激 ERP から視覚注意条件における標準刺激 ERP を減算して求めた差波形(左: 高類似度条件, 右: 低類似度条件).

刺激呈示後 200-300ms 間の最大陽性頂点振幅を従属変数として、刺激の強さ(40dB, 63dB)についての 1 要因反復測定分散分析を行った。その結果、63dB 刺激に対する Pd は、40dB 刺激に対する Pd よりも大きい傾向にあった(40dB 刺激に対する Pd は $0.79 \mu\text{V}$, 63dB 刺激に対する Pd は $1.45 \mu\text{V}$, $F[1, 15]=3.34$, $p=.088$)。

非注意刺激に対する PN 初期相

非注意刺激に対する Pd の振幅は、実験 3 で示唆されたように、Pd の直前に出現した PN 初期相の影響を受ける可能性がある。そこで、実験条件間で PN 初期相の振幅が異なるかどうかを確かめるために、類似度条件(高類似度条件, 低類似度条件)×刺激の強さ(40dB, 55dB[63dB])の 2 要因反復測定分散分析を行った。従属変数は、[非注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP] 差波形の、刺激呈示後 100-200ms 間の最大陰性頂点振幅とした。その結果、PN 初期相の頂点振幅は、非注意刺激が弱い場合($-1.48 \mu\text{V}$)に比べて、強い場合($-1.98 \mu\text{V}$)に大きい傾向にあった($F[1, 15]=4.32$, $p=.055$)。類似度の主効果($F[1, 15]=.04$)および交互作用($F[1, 15]=.06$)は有意ではなかった。

低類似度条件における注意 63dB 標準刺激および非注意 63dB 標準刺激に対する PN 初期相

低類似度条件 63dB 刺激は、それが無視されている場合には Pd を惹起したが、注意時には Pd を惹起しなかった。この結果の原因として、Pd 直前に出現した PN 初期相が影響した可能性が考えられるが、Figure 21 を見る限り、注意 63dB 標準刺激および非注意 63dB 標準刺激に対する PN 初期相の振幅に差異はないようである。これを確認するために、[注

意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP] 差波形, および [非注意標準刺激 ERP] - [視覚注意条件における標準刺激 ERP] 差波形における, 刺激呈示後 100-200ms 間の最大陰性頂点振幅を従属変数として, 注意(注意, 非注意)についての 1 要因反復測定分散分析を行った. その結果, 両者の間に有意差は認められず ($F[1, 15]=.00$), 先の視察が確認された.

P2 波と Pd の比較

Figure 23 には, Cz を通る右半球冠状線上 3 部位 (Cz, C4 および T4) から記録された, 低類似度条件における視覚注意条件 63dB 標準刺激に対する ERP 原波形と, [非注意 63dB 標準刺激 ERP] - [視覚注意条件 63dB 標準刺激 ERP] の差波形を示した. 視覚注意条件における ERP 原波形の, 刺激呈示後およそ 200-300ms 間に認められる P2 波の振幅は, これらの 3 部位間でほとんど差がない一方, 差波形の刺激呈示後およそ 200-300ms 間に認められる Pd は, Cz から T4 にかけて減衰しているように見える. この視察を統計的に検討するために, Cz において Pd が有意に出現した刺激呈示後 200-250ms 区間の平均振幅を従属変数として, 電位の種類 (P2, Pd) × 記録部位 (Cz, C4, T4) の 2 要因反復測定分散分析を行ったところ, 交互作用が有意であった ($F[2, 30]=4.05, p<.05, \epsilon =.64$). この交互作用は, ベクトル長で規準化 (McCarthy & Wood, 1985) した場合にも有意であった. 下位検定を行ったところ, P2 波については 3 部位の間で有意差は認められなかったが (Cz では $.64 \mu V$, C4 では $.59 \mu V$, T4 では $.63 \mu V$, $F[2, 30]=.23$), Pd については記録部位の単純主効果が有意であり ($F[2, 30]=13.02, p<.0005, \epsilon =.87$), Cz ($.73 \mu V$) では C4 ($.38 \mu V$) および T4 ($.13 \mu V$) よりも大きかった.

Low similarity, 63 dB Standards

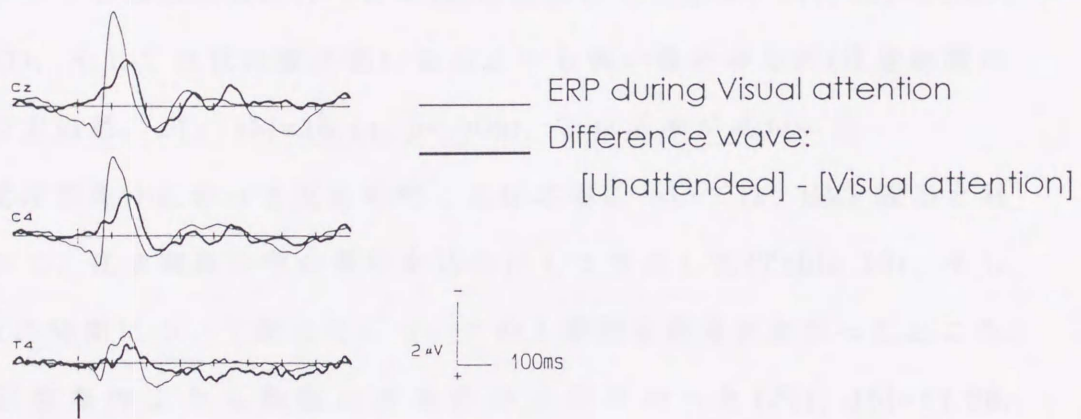


Figure 23 視覚注意条件における 63dB 標準刺激 ERP(実線), および非注意 63dB 標準刺激 ERP から視覚注意条件における標準刺激 ERP を減算して求めた差波形(破線).

課題遂行成績

聴覚注意条件における反応時間と正反応率を、刺激呈示後 200-1000ms 間に行われたボタン押し反応について算出した (Table 10). 反応時間について、類似度×注意刺激の強さの 2 要因分散分析を行ったところ、交互作用が有意であった ($F[1, 15]=20.82, p<.0005$). この交互作用は、低類似度 63dB 注意条件が他の 3 条件よりも反応時間が短いことによるものであった. 正反応率についても同じ分散分析を行ったところ、高類似度条件よりも低類似度条件の方が (類似度条件の主効果, $F[1, 15]=10.05, p<.001$), そして注意刺激が弱い場合よりも強い場合の方が (注意刺激の強さの主効果, $F[1, 15]=16.11, p<.005$), 正反応率が高かった.

視覚注意条件における反応時間と正反応率については、ERP 波形と対応づけて、注意刺激の色の条件を込みにして算出した (Table 10). そして、反応時間について類似度についての 1 要因分散分析を行ったところ、高類似度条件よりも低類似度条件の方が早かった ($F[1, 15]=17.98, p<.001$). 正反応率についても同じ分散分析を行ったところ、高類似度条件よりも低類似度条件の方が高かった ($F[1, 15]=6.45, p<.05$).

2.4.4. 考察

本実験の第 1 の目的は、非注意刺激の強さが Pd 振幅に及ぼす効果について検討することであった. 低類似度条件においては、非注意標準刺激に対する ERP は、視覚注意条件における標準刺激 ERP よりも、刺激呈示後 200-300ms 潜時帯で陽性方向にシフトしていた. しかし両 ERP を統計的に比較したところ、非注意 63dB 標準刺激では 200-250ms 区間で有意な注意効果が認められたが、非注意 40dB 標準刺激では有意差は認められなかった. つまり、低類似度条件 63dB 刺激では有意な Pd が出

Table 10 全被験者平均反応時間と正答率(実験4)

		Similarity			
		High		Low	
		Reaction time (ms)	HIT (%)	Reaction time (ms)	HIT (%)
Auditory attention condition					
Intensity	40dB SPL	577.7	78.6	555.1	82.7
	55dB SPL (63dB SPL)	568.2	83.8	494.0	95.4
Visual attention condition					
		528.7	86.8	493.6	93.3

現したが、低類似度条件 40dB 刺激では出現しなかったといえる。このことをさらに確認するために、Pd 頂点振幅について、非注意 63dB 標準刺激と非注意 40dB 標準刺激の間で比較したところ、前者で大きい傾向が認められた。

この結果の原因の一つとして、Pd 直前に出現した PN 初期相の影響について考える。仮に、非注意 40dB 標準刺激および非注意 63dB 標準刺激に対して同程度の振幅の Pd が出現したとしても、前者に対する PN 初期相の方が後者に対する PN 初期相よりも大きければ、非注意 40dB 標準刺激に対する Pd は見かけ上減衰する可能性がある。しかし、PN 初期相の頂点振幅について、非注意 40dB 標準刺激と非注意 63dB 標準刺激の間で比較したところ、むしろ後者で大きい傾向にあった。このことは、非注意 40dB 標準刺激に対する Pd 振幅の減衰を PN 初期相の影響では説明できないことを示している。

第 2 の可能性として、順向性および逆向性マスキングの効果について考える。非注意 40dB 標準刺激に対する Pd が減衰したのは、注意 63dB 刺激によってマスクされ、非注意 40dB 刺激が意識的な知覚に至らなかった結果、Pd に反映される認知過程が機能しなかったことによるものかもしれない。マスキングに関する研究では、一般に 1 つずつのマスキャーおよびテスト刺激という単純な刺激事態が用いられており、本実験のように多くの種類の刺激が連続して呈示される事態でのマスキング効果については、筆者の知る限り報告されてはいない。しかしツヴィッカー (1982 山田訳, 1992) は、先行するマスク刺激が 500ms の白色雑音、後続するテスト刺激が 20 μ s のパルス刺激という事態において、順向性マスキング効果は、マスク刺激とテスト刺激の間隔が約 200ms 以内の場合にのみ生じるとしている。このように比較的マスキングが生じやすい事態

でも ISI が 200ms 以上になると、マス킹効果が観察されないのであるから、本実験の ISI(最低でも 150ms)および刺激の持続時間(どの刺激も 50ms)では順向性マス킹はほとんど生じていないと考えられる。また逆向性マス킹効果は一般に 20ms 程度しか持続しない(ツヴィッカー, 1982 山田訳, 1992)ことから、本実験の結果には影響しない。したがって、非注意 40dB 標準刺激に対する Pd の減衰は、マス킹効果によるものではないと考えられる。

これらのことから、非注意刺激が強いほど Pd 振幅は増大するといえる。したがって、Houghton & Tipper(1994)のモデルに基づけば、Pd が非注意刺激処理に対する抑制を反映していることが示唆される。

本実験の第 2 の目的は、注意刺激と非注意刺激を等確率で呈示したうえで、注意刺激と非注意刺激の類似度が Pd 振幅に及ぼす効果について検討することであった。実験 3 では、注意刺激と非注意刺激の類似度が高いほど Pd 振幅は減衰したが、その原因として、主観的な呈示確率の効果と、PN 初期相の影響が疑われた。本実験においては、低類似度条件では非注意 63dB 標準刺激に対して Pd が出現したものの、高類似度条件では非注意刺激の強さに関係なく Pd は観察されなかった。したがって、実験 3 における 4000Hz 刺激 Pd の振幅増大を主観的な呈示確率の効果のみで説明することはできないと考えられる。また、Pd 直前に出現した PN 初期相の頂点振幅について、高類似度条件と低類似度条件の間で比較したところ、有意差は認められなかった。したがって、実験 3 において、1040Hz 標準刺激に対する Pd が減衰した結果の全てを、PN 初期相の影響に帰することはできないと考えられる。

以上のことから、注意刺激と非注意刺激の類似度が高いほど Pd 振幅は減衰するといえる。さらに、Woods(1990)による注意のスポットライ

ト・モデルの観点に立てば、Pdが非注意刺激処理に対する抑制を反映することが示唆される。

しかし、Pdが非注意刺激処理に対する抑制を反映するかどうかについては、さらに実験的検討を重ねる必要があると思われる。ただし以下の結果から、Pdが少なくとも非注意刺激に特異的に出現する電位であるということは言えるだろう。すなわち、低類似度条件における注意 63dB 標準刺激および非注意 63dB 標準刺激の両者が、同程度の振幅のPN初期相を惹起したが、Pdは非注意 63dB 標準刺激に対してのみ出現したという結果である。

本研究の実験 1 から実験 3 を含め、先行研究(Alho et al., 1994; Michie, Bearpark, et al., 1990; Michie et al., 1993; 沖田他, 1989; Solowij et al., 1990)では、注意刺激に対してはPN初期相が出現したが、非注意刺激に対しては出現しなかった。このような場合には、仮に注意刺激に対してPdが出現したとしても、Pd直前のPN初期相の影響によって、ERP波形が全体的に陰性方向にシフトするため、見かけ上は注意刺激に対してPdが出現していないように見える可能性がある。しかし上述した本実験の結果は、Pdが出現するかどうかはPd直前のPN振幅に依存せず、Pdは非注意刺激に特異的に出現することを示している。したがって、Pdが非注意刺激に特異的な電位ではなく、注意刺激と非注意刺激の両者に対して行われる処理(注意の自動的的定位や刺激分類過程)を反映するという説(García-Larrea et al., 1992)は、妥当ではないと考えられる。

また、主に外因性成分で構成されていると考えられる視覚注意条件におけるP2波と、非注意刺激に対するPdの振幅について、Cz, C4およびT4部位間で比較したところ、前者は3部位間で変化が認められなかったが、後者はT4において減衰した。もしMichie et al.(1993)が示唆し

たように，Pd が外因性 P2 成分の増大によるものであるとすれば，このような頭皮上分布の違いは観察されないはずである．したがって，Pd は外因性 P2 成分そのものの増大ではなく，非注意刺激処理にともなって付加的に出現する内因性陽性電位であるといえる．

第3章 総合考察

第3章 総合考察

本研究では、刺激選択過程に関する問題の一つである、非注意刺激処理の抑制について扱った。そして、行動的測度が持つ方法論的な限界を補うための測度として、ERPを用いた。4つの実験の結果から、先行研究で報告されていた、非注意刺激に対して出現する陽性電位(Pd)が、単なるアーティファクトではなく、非注意刺激に特異的な認知過程、おそらくは非注意刺激処理に対する抑制を反映する内因性陽性電位であることを示した。そこで本章では、Pdが反映する認知過程と注意機構の関わりについて総合的に考察する。

第1節 本研究の成果と意義

3.1.1. 本研究で得られた知見

先行研究では、Pdが非注意刺激の処理と関連する何らかの認知過程を反映すると推測されていた一方で、Pdが先行刺激ERPの重畳によるアーティファクトである可能性も示唆されていた(Alho et al., 1994; Hansen & Hillyard, 1988; Michie, Bearpark, et al., 1990; Michie et al., 1993)。実験1では、先行刺激ERPが重畳しない程度のISIで刺激を呈示した場合にもPdが観察されるかどうかを調べることによって、Pdが先行刺激ERPの重畳の結果であるのかどうかについて検討した。その結果、先行刺激ERPがほとんど重畳しないと考えられる長ISI条件でもPdが観察されたことから、Pdは単なるアーティファクトではなく、非注意刺激の処理と関連した何らかの認知過程を反映する内因性陽性電位であると推測した。さらに実験2では、先行刺激ERPの重畳電位をAdjar法(Woldorff, 1993)を用いて推定することによって、Pdが先行刺激ERP

の重畳によるものかどうかについて、より直接的に検討した。その結果、ISIが短い場合には、先行刺激 ERP が確かに重畳してはいたが、その振幅は非常に小さく、しかも非注意刺激 ERP と視覚注意条件 ERP の間に重畳電位の差はほとんどなかった。このことから、Pd が先行刺激 ERP の重畳によるものではなく、非関連刺激の処理と関連した何らかの認知過程を反映する内因性陽性電位であるという実験 1 の推測が支持された。

この推測は、以下の結果からも支持された。実験 4 では、注意刺激および非注意刺激の両者に対して同等の PN 初期相が出現したが、Pd は非注意刺激に対してのみ出現したことから、Pd の出現は PN 初期相の振幅に依存せず、非注意刺激に対して特異的に Pd が出現することがわかった。この結果は、Pd は注意刺激と非注意刺激の両者に対して出現し、刺激分類過程を反映するとの説 (García-Larrea et al., 1992) が妥当でないことを示唆していた。さらに、P2 波が出現しない Fpz で Pd が出現した (実験 1) こと、Pd の出現は P2 波よりも遅かったこと (実験 3)、そして P2 波と Pd の頭皮上分布が異なる (実験 4) ことから、Pd が外因性 P2 成分の増大 (Michie et al., 1993) ではないことが示された。

実験 3 および実験 4 では、Pd が非注意刺激処理に対する抑制を反映するのかどうかについて検討した。2つの実験では、注意刺激と非注意刺激が類似しているほど抑制は行われにくいと仮定し、注意刺激と非注意刺激の類似度が Pd 振幅に及ぼす効果について調べた。その結果、類似度が高いほど Pd 振幅は減衰したことから、Pd が非注意刺激処理に対する抑制を反映することが示唆された。さらに実験 4 では、非注意刺激が強いほど抑制が強く行われると仮定し、非注意刺激の強さが Pd 振幅に及ぼす効果について調べた。その結果、非注意刺激が強いほど Pd 振幅は増大したことから、Pd が非注意刺激処理に対する抑制を反映すること

が示唆された。

実験 2 では、注意の自動的定位置を反映すると推測されている P3a 成分と Pd の異同について検討した。非注意新奇刺激に対する ERP の分析から、両電位が時間的に分離して出現すること、そして ISI の影響の受け方がそれぞれの電位で異なることから、Pd が P3a 成分と同一の電位であるとの説 (García-Larrea et al., 1992) は妥当でないことが示された。また、Pd が P3a に先行して出現することから、注意が入力刺激へと移行する以前の何らかの認知過程を Pd が反映していると考えられた。そして、非注意刺激処理に対する抑制は、非注意刺激に注意が移行する前に行われると想定されることから、Pd は抑制を反映していると推測した。

本研究の結果は、Pd が単一の脳部位から発生する電位ではなく、複数の発生源が Pd に寄与していることを示唆した。実験 1 および実験 2 では、ISI が短いほど Pd の頭皮上分布は前頭部に移行した。また実験 3 では、注意刺激との類似度が低い場合には、刺激呈示後 200-300ms 間では Pd は中心部優位の分布を示し、300-450ms 間ではそれよりも前頭寄りの分布を示した。複数の発生源が Pd に寄与しているということは、非注意刺激処理に対する抑制が複数の脳内処理系の連携によって実現されていることを示唆している。そして、ISI や類似度の操作によって、それらの Pd 下位成分の様相が変化することから、注意の性質や課題特性による影響の受け方が、下位成分のそれぞれが反映する処理系によって異なることが推測される。

以上を要約すると、本研究は、Pd が非注意刺激処理に対する抑制を反映すると推測し、その抑制過程は複数の脳内処理系の連携によって実現されていることを示唆した。この結論については、今後の実験的検討によってさらに確認する必要があるが、少なくとも本研究は、Pd が非注意

刺激処理と関連した何らかの認知過程を反映することを明らかにし、Pdに反映される認知過程が刺激や課題特性に応じて様々に変化することを示した。このことは、非注意刺激の処理過程や、それに関与する神経機構を探るうえでPdが有用な指標となり得ることを示すものである。注意に関する従来のERP研究では、様々な認知過程と関連したいくつかの電位(N1やPNなど)が報告されてきたが、非注意刺激処理に特異的に関連する電位はほとんど注目されてこなかった。その意味において、本研究は、刺激選択過程と注意の関わりに関するERP研究に対して、従来にはない新しい視点を提供した点で意義がある。

3.1.2. Näätänen(1990)のモデルの修正

Näätänen(1990)は、外因性N1成分やPN、MMNなどに関する研究結果を基にして、聴覚刺激処理における、処理の自動性と注意に関するモデルを提出した(Figure 24)。このモデルでは、非注意刺激処理の抑制という側面は取り入れられていない。そこで、Pdが非注意刺激処理に対する抑制を反映すると想定したうえで、このモデルの修正を試みる。

このモデルでは、聴覚刺激の処理様式は2つに分けられる。すなわち、課題とは無関連に行われる基本的な感覚分析と、何らかの規準と合致する聴覚刺激を認識するための、課題依存的な感覚分析である。前者は入力刺激がどのような刺激であるか(周波数や強さなど)を分析し、後者は入力刺激が、選択することをあらかじめ要求されていた刺激(すなわち注意刺激)であるかどうかを分析する。これら2つの処理様式は部分的には並列しており、注意による刺激選択は後者の処理様式に依存している。

課題独立的な感覚分析は、刺激の物理的特徴を検出するシステム(permanent feature-detector system, PFDS)と、刺激の開始や終了など

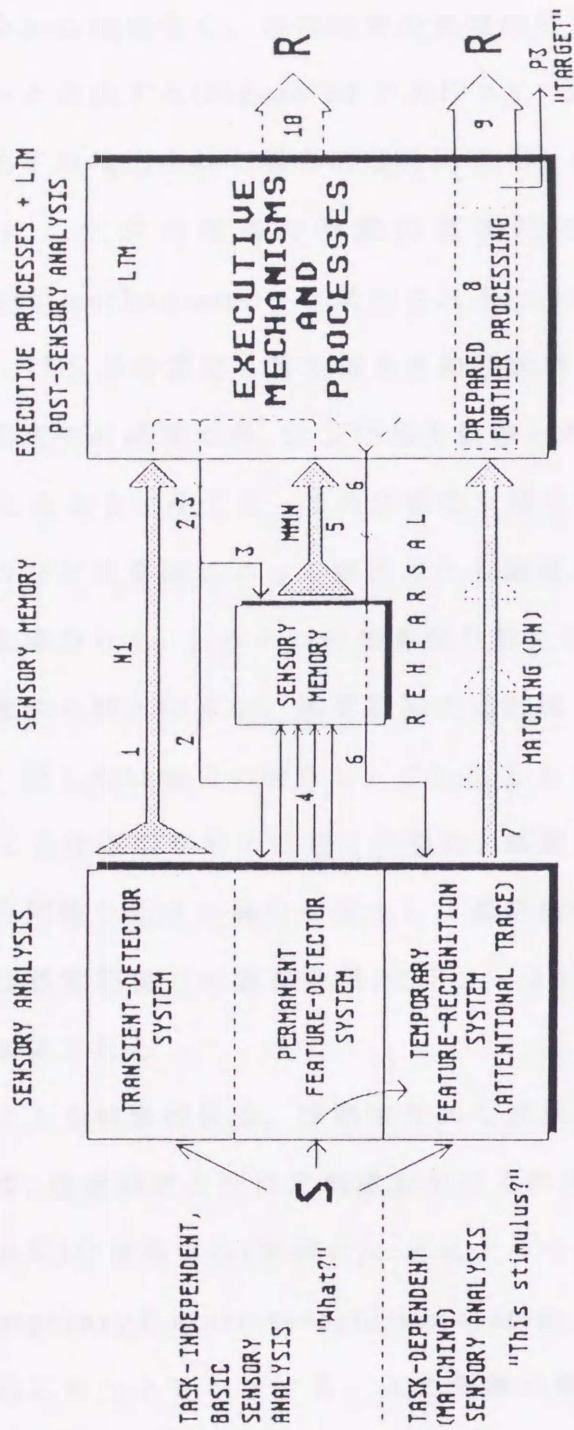


Figure 24 聴覚刺激処理における処理の自動性と注意に関する Näätänen(1990)のモデル。
 Näätänen(1990)の Figure 26 より引用.

の刺激の一過的变化を検出するシステム(transient-detector system, TDS)から構成される。PFDSは、入力刺激が注意刺激であるか非注意刺激であるかに関係なく、常に刺激の物理的特徴を抽出し、その情報を感覚記憶へと送出する(Figure 24の矢印4)。また、TDSによって刺激の開始や終了が検出された場合には外因性N1成分が惹起され、刺激検出の情報は、注意の制御や刺激の意味的処理などを行う統括機構(executive mechanisms)へと送出される(矢印1)。入力刺激の意識的な知覚は、TDSが注意切り替え信号を統括機構に送出した結果、PFDSにおいて進行中の感覚処理、および感覚記憶の内容を統括機構が参照(矢印2・3)した場合に生じる。この注意切り替え信号は、刺激の強さや被験者の期待などの要因によって規定される閾値を超えた場合に送出される。

感覚記憶からも、もう一つの注意切り替え信号が送出される(矢印5)。この注意切り替え信号は、感覚記憶内に貯蔵されている刺激表象と入力刺激が一致しない場合に発生し、これにともなってMMNが惹起される。TDSによる注意切り替え信号と同様に、感覚記憶による注意切り替え信号もある閾値を超えた場合に発生し、統括機構がPFDSにおける感覚処理および感覚記憶の内容を参照(矢印2・3)した場合に、入力刺激が意識的に知覚される。

注意による刺激選択は、課題依存的な感覚分析によって行われる。統括機構は、注意刺激と非注意刺激を分ける物理的特徴(実験1を例にとると、呈示耳)を復唱する(矢印6)ことによって、注意刺激を認識するシステム(temporary feature-recognition system, TFRS,あるいは注意痕跡)を一時的にセットアップする。入力刺激の物理的特徴は、TDSおよびPFDSによって分析されるが、これと並行して、入力刺激と注意痕跡の比較・照合(矢印7)も行われる。この比較・照合過程はPN初期相に反映

され、入力刺激と注意痕跡が類似しているほど PN 初期相の振幅は増大する。入力刺激が注意刺激であった場合には、両者が一致したという情報が統括機構に到達し、その後の意味的処理や反応などの詳細な処理が行われる。

本研究の実験 3 および実験 4 や先行研究(Alho et al., 1987; Michie et al., 1993; Novak et al., 1990, 1992a, 1992b)では、Pd は PN 初期相に続いて出現した。したがって、Pd に反映される非注意刺激処理に対する抑制は、非注意刺激と注意痕跡が一致しないという結果を受けて行われると考えられる。

ところで、本研究で想定されている抑制は、非注意刺激が意識的に知覚されることを阻止するための機能である。では、Näätänen(1990)のモデルにおける、どの機能を抑制することによって、非注意刺激の意識的知覚を阻止しているのであろうか。可能性としては 2 つある。第 1 に、TDS および感覚記憶による注意切り替え信号の送出を抑制することによって、PFDS において進行中の感覚処理、および感覚記憶の内容を統括機構が参照(矢印 2・3)することを阻止している可能性である。第 2 に、TDS および感覚記憶からの注意切り替え信号は統括機構へと到達するが、その後、統括機構が PFDS において進行中の感覚処理、および感覚記憶の内容を参照(矢印 2・3)することを抑制している可能性である。

第 1 の可能性のうち、まず感覚記憶に対する抑制について考える。モデルによれば、感覚記憶からの注意切り替え信号の送出にともなって MMN が惹起される。MMN は一般に刺激呈示後 100ms 前後から出現することから、感覚記憶による注意切り替え信号はその時点で既に送出され始めていると考えられる。一方、Pd の開始潜時は刺激呈示後 200ms 前後であり、この注意切り替え信号の送出の開始よりも遅い。このよう

な時間的關係を考慮すると、注意切り替え信号を送出する感覚記憶が抑制されているとは考えられない。同様に、TDSを抑制している可能性も考えられない。なぜなら、TDSが送出している注意切り替え信号にともなって出現する外因性N1成分は、刺激呈示後50ms前後から開始するからである。

したがってPdに反映される抑制は、統括機構の参照機能に対して行われていると思われる。本研究の4つの実験や、Pdを報告した先行研究(Alho et al., 1994; García-Larrea et al., 1992; Michie, Bearpark, et al., 1990; Michie et al., 1993; Novak et al., 1990, 1992a, 1992b; Solowij et al., 1990)の結果を見ると、PdはN1波の頂点潜時よりも早く開始することではなく、この点からも、抑制はTDSによる注意切り替え信号の送過後に行われていると推測される。

Näätänen(1990)のモデルの妥当性については、様々な観点からの論争が続けられており(Näätänen, 1990, Pp. 233-261)、このモデルとPdの関連については新たな検討を要する問題である。また、Pdが非注意刺激処理に対する抑制を反映しているという本研究の結論が妥当であるかどうかについても、さらに検討を加えなければならない。しかし少なくとも、刺激選択過程と注意の問題に関する今後のERP研究では、Pdと非注意刺激の処理過程の関わりも考慮した検討を行う必要があるといえよう。

第2節 今後の課題

3.2.1. Pdが反映する認知過程の特定

本研究では、Pdが非注意刺激処理と関連した何らかの認知過程を反映していることが明らかになり、特に非注意刺激処理に対する抑制を反映すると推測された。ただし、この結論を確かめるためには、更なる実験的検討が必要である。本研究では、先行研究との比較のために、比較的短いISI(150msから500ms)を用いてPdを記録した。しかし、この程度のISIでは、非注意刺激が意識的に知覚されやすいことは否定できない。したがって、Pdが刺激の意識的知覚以前の認知過程(抑制など)を反映しているのか、それとも非注意刺激が意識的に知覚された後の認知過程を反映しているのかを明確に結論することは難しい。実際、Alho et al.(1987)は、入力刺激が非注意刺激であるという判断をPdが反映している可能性を示唆している。

この問題について検討するためには、注意がより高度に焦点化され、非注意刺激が明瞭に知覚されにくい実験事態を設けることが必要であると思われる。そのような実験事態の一つとしては、行動的研究(例えば、Cherry, 1953; Egan, Carterette, & Thwing, 1954; Moray, 1958, 1959; Sullivan, 1976; Treisman, 1964b; Treisman & Geffen, 1967)で用いられたような、両耳分離聴課題や追唱課題があげられる。さらに、ISIを非常に短くすることも一つの方法である。いくつかの研究(Hackley, Woldorff, & Hillyard, 1987; 本城・沖田, 1981; Näätänen, Teder, Alho, & Lavikainen, 1992; Teder, Alho, Reinikainen, & Näätänen, 1993; Woldorff & Hillyard, 1991; Woods, Hillyard, & Hansen, 1984)は、そのような実験事態でERPを記録しているが、統制条件を設けていないため、

Pd が出現しているのかどうかは不明である。このような場合に Pd が出現するのかどうか、現れるのならば他の ERP 成分における注意効果とどのような関連にあるのかを検討することによって、Pd が反映する認知過程の性質について明らかにできる可能性がある。

Pd が反映する認知過程を特定するためには、精神疾患をもつ患者における ERP の検討も有効であろう。例えば、精神分裂病患者や分裂気質性の高い健常者においては、健常者に比べてネガティブ・プライミング効果が減少し、非注意刺激処理が十分に抑制されていないことが示唆されている (Beech, Baylis, Smithson, & Claridge, 1989; Beech & Claridge, 1987; Beech et al., 1991; Beech, Powell, McWilliam, & Claridge, 1989; Claridge, Clark, & Beech, 1992; Laplante, Everett, & Thomas, 1992)。一方、分裂病患者を被験者とした選択的聴取課題において、非注意刺激 ERP は Pd 潜時帯で陽性方向への振れが減衰することが示されている (金森他, 1995; Michie, Fox, et al., 1990; Ward et al., 1991)。これらの研究では、統制条件が設けられていないために実際に Pd が減衰しているのかどうかについては明らかでない。しかし、もし抑制機能の低下と対応して Pd が減衰しているのであれば、Pd が抑制を反映していることを支持する証拠といえよう。

3.2.2. 非注意刺激処理の抑制と外因性 ERP 成分の関連

本研究では、非注意刺激処理に対する抑制を反映する可能性のある ERP 成分として、Pd という内因性陽性電位を取り上げ、Pd が実際に抑制を反映しているのかどうかについて検討した。一方、いくつかの研究 (Brix, 1984; Hackley et al., 1987; 本城・沖田, 1981; Lukas, 1980, 1981; McCallum, Curry, Cooper, Pocock, & Papakostopoulos, 1983; Woldorff

& Hillyard, 1991)は、刺激が無視されている場合には外因性 N1 成分や中潜時反応、BAEP などの外因性 ERP 成分が減衰することを報告し、これらの成分が非注意刺激処理の抑制を反映して変動する可能性を示唆している。

外因性 ERP 成分における注意効果を調べることは、非注意刺激処理の抑制を検討するうえで非常に重要な指標である。なぜなら、入力刺激による受動的(自動的)神経活動の大きさを表していると考えられる外因性成分の振幅が、刺激を無視することによって減衰を示せば、感覚器や感覚伝達経路、脳内感覚処理系に対して遠心性の抑制制御が注意の機能に含まれることの証拠となるからである。Näätänen(1990)のモデルに即して言えば、刺激の無視にともなう外因性 ERP 成分の減衰は、TDS あるいは PFDS の機能が抑制されることを示唆するものであり、Pd に反映される統括機構の抑制とは別の抑制系が存在していることの証拠となり得る。実際、ネコの周波数対応反応(*frequency-following response*)、および聴覚皮質や蝸牛核、聴神経から記録される誘発電位を指標とした実験から、そのような遠心性の抑制系が存在することが示唆されている(Glenn & Oatman, 1977; Oatman, 1971, 1976; Oatman & Anderson, 1977, 1980; Skinner & Yingling, 1977; Yingling & Skinner, 1976, 1977)。またヒトにおいても、蝸牛の外有毛細胞の運動活動を反映していると推測される誘発耳音響放射(*evoked otoacoustic emission*)を指標とした実験から、末梢における感覚分析の段階で非注意刺激の処理は抑制されることが示唆されている(Froehlich, Collet, Chanal, & Morgon, 1990; Meric & Collet, 1992; Puel, Bonfils, & Pujol, 1988)。

現在のところ、外因性 N1 成分や中潜時反応、BAEP における注意効果を報告した研究は少なく、その注意効果の特徴については明らかでは

ない。また統制条件が設けられていないことから、それらの外因性 ERP 成分における注意効果が、実際に非注意刺激処理の抑制を反映しているのかどうかについても推測の域を出ない。しかし、これらの外因性成分における注意効果と Pd の関連を調べることによって、Pd が反映する認知過程や非注意刺激の処理過程を明らかにできる可能性がある。さらに、注意刺激に対して出現する PN や N2b, P3b などの電位に関する知見も総合することによって、刺激選択過程と注意の関わりについての理論構築をさらに進めることができると思われる。

引用文献

- Aine, C.J., & Harter, M.R. 1986 Visual event-related potentials to colored patterns and color names: Attention to features and dimension. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 64, 228-245.
- Alho, K. 1992 Selective attention in auditory processing as reflected by event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 29, 247-263.
- Alho, K., Lavikainen, J., Reinikainen, K., Sams, M., & Näätänen, R. 1990 Event-related brain potentials in selective listening to frequent and rare stimuli. *Psychophysiology*, 27, 73-86.
- Alho, K., Sams, M., Paavilainen, P., & Näätänen, R. 1986 Small pitch separation and the selective-attention effect on the ERP. *Psychophysiology*, 23, 189-197.
- Alho, K., Sams, M., Paavilainen, P., Reinikainen, K., & Näätänen, R. 1989 Event-related brain potentials reflecting processing of relevant and irrelevant stimuli during selective listening. *Psychophysiology*, 26, 514-528.
- Alho, K., Töttölä, K., Reinikainen, K., Sams, M., & Näätänen, R. 1987 Brain mechanism of selective listening reflected by event-related potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 68, 458-470.
- Alho, K., Woods, D.L., & Algazi, A. 1994 Processing of auditory stimuli during auditory and visual attention as revealed by event-related potentials. *Psychophysiology*, 31, 469-479.

- Alho, K., Woods, D.L., Algazi, A., & Näätänen, R. 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.
- Baribeau-Braun, J., Picton, T.W., & Gosselin, J.-Y. 1983 Schizophrenia: A neurophysiological evaluation of abnormal information processing. *Science*, 219, 874-876.
- Beech, A., Baylis, G.C., Smithson, P., & Claridge, G. 1989 Individual differences in schizotypy as reflected in measures of cognitive inhibition. *British Journal of Clinical Psychology*, 28, 117-129.
- Beech, A., & Claridge, G. 1987 Individual differences in negative priming: Relations with schizotypal personality traits. *British Journal of Psychology*, 78, 349-356.
- Beech, A., McManus, D., Baylis, G., Tipper, S., & Agar, K. 1991 Individual differences in cognitive processes: Towards an explanation of schizophrenic symptomatology. *British Journal of Psychology*, 82, 417-426.
- Beech, A., Powell, T., McWilliam, J., & Claridge, G. 1989 Evidence of reduced 'cognitive inhibition' in schizophrenia. *British Journal of Clinical Psychology*, 28, 109-116.
- Berman, S.M., Heilweil, R., Ritter, W., & Rosen, J. 1989 Channel probability and Nd: An event-related potential sign of attention strategies. *Biological Psychology*, 29, 107-124.
- Brix, R. 1984 The influence of attention on the auditory brain stem evoked responses. *Acta Otolaryngologica (Stockholm)*, 98, 89-92.

- Broadbent, D.E. 1954 The role of auditory localization in attention and memory span. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 191-196.
- Broadbent, D.E. 1958 *Perception and communication*. Oxford: Pergamon Press.
- Broadbent, D.E. 1971 *Decision and stress*. London: Academic Press.
- Broadbent, D.E. 1982 Task combination and selective intake of information. *Acta Psychologica*, 50, 253-290.
- Brunia, C.H.M. 1993 Waiting in readiness: Gating in attention and motor preparation. *Psychophysiology*, 30, 327-339.
- Buchtel, H.A., & Butter, C.M. 1988 Spatial attentional shifts: Implications for the role of polysensory mechanisms. *Neuropsychologia*, 26, 499-509.
- Burkhardt, M.A., & Thomas, D.G. 1993 Event-related potential measures of attention in moderately depressed subjects. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 88, 42-50.
- Cherry, E.C. 1953 Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, 25, 975-979.
- Claridge, G.S., Clark, K.H., & Beech, A.R. 1992 Lateralization of the 'negative priming' effect: Relationships with schizotypy and with gender. *British Journal of Psychology*, 83, 13-23.
- Desmedt, J.E., & Robertson, D. 1977 Differential enhancement of early and late components of the cerebral somatosensory evoked potentials during forced-paced cognitive tasks in man. *Journal of Physiology (London)*, 271, 761-782.

- Deutsch, J.A., & Deutsch, D. 1963 Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.
- Driver, J., & Baylis, G.C. 1993 Cross-modal negative priming and interference in selective attention. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 31, 45-48.
- Driver, J., & Tipper, S.P. 1989 On the nonselectivity of "selective" seeing: Contrasts between interference and priming in selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 304-314.
- Egan, J.P., Carterette, E.C., & Thwing, E.J. 1954 Some factors affecting multi-channel listening. *Journal of the Acoustical Society of America*, 26, 774-782.
- Einot, I., & Gabriel, K.R. 1975 A study of the powers of several methods of multiple comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 70, 351.
- Farah, M.J., Wong, A.B., Monheit, M.A., & Morrow, L.A. 1989 Parietal lobe mechanisms of spatial attention: Modality-specific or supra-modal? *Neuropsychologia*, 27, 461-470.
- Ford, J.M., Roth, W.T., & Kopell, B.S. 1976a Auditory evoked potentials to unpredictable shifts in pitch. *Psychophysiology*, 13, 32-39.
- Ford, J.M., Roth, W.T., & Kopell, B.S. 1976b Attention effects on auditory evoked potentials to infrequent events. *Biological Psychology*, 4, 65-77.
- Fox, E. 1995 Negative priming from ignored distractors in visual selection: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2, 145-173.

- Froehlich, P., Collet, L., Chanal, J.-M., & Morgon, A. 1990 Variability of the influence of a visual task on the active micromechanical properties of the cochlea. *Brain Research*, 508, 286-288.
- 福田正人・斉藤 治・亀山知道・平松謙一・丹羽真一 1988 P300 の臨床神経研究の進歩, 32, 163-176.
- Gaillard, A.W.K. 1988 Problems and paradigms in ERP research. *Biological Psychology*, 26, 91-109.
- García-Larrea, L., Lukaszewicz, A.-C., & Mauguière, F. 1992 Revisiting the oddball paradigm: Non-target vs. neutral stimuli and the evaluation of ERP attentional effects. *Neuropsychologia*, 30, 723-741.
- Glenn, J.F., & Oatman, L.C. 1977 Effects of visual attention on the latency of auditory evoked potentials. *Experimental Neurology*, 57, 34-40.
- 御領 謙 1983 注意研究の変遷 サイコロジャー, 40, 12-18.
- Greenhouse, S.W., & Geisser, S. 1959 On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, 32, 95-112.
- Hackley, S.A., Woldorff, M., & Hillyard, S.A. 1987 Combined use of microreflexes and event-related brain potentials as measures of auditory selective attention. *Psychophysiology*, 24, 632-647.
- Hansen, J.C., Dickstein, P.W., Berka, C., & Hillyard, S.A. 1983 Event-related potentials during selective attention to speech sounds. *Biological Psychology*, 16, 211-224.
- Hansen, J.C., & Hillyard, S.A. 1980 Endogenous brain potentials associated with selective auditory attention. *Electroencephalogra-*

- phy and Clinical Neurophysiology*, 49, 277-290.
- Hansen, J.C., & Hillyard, S.A. 1983 Selective attention to multidimensional auditory stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 1-19.
- Hansen, J.C., & Hillyard, S.A. 1984 Effects of stimulation rate and attribute cuing on event-related potentials during selective auditory attention. *Psychophysiology*, 21, 394-405.
- Hansen, J.C., & Hillyard, S.A. 1988 Temporal dynamics of human auditory selective attention. *Psychophysiology*, 25, 316-329.
- Harter, M.R., Aine, C., & Schroeder, C. 1982 Hemispheric differences in the neural processing of stimulus location and type: Effects of selective attention on visual evoked potentials. *Neuropsychologia*, 20, 421-438.
- Harter, M.R., & Guido, W. 1980 Attention to pattern orientation: Negative cortical potentials, reaction time, and the selection process. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 49, 461-475.
- Harter, M.R., & Previc, F.H. 1978 Size-specific information channels and selective attention: Visual evoked potential and behavioral measures. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 45, 628-640.
- Harter, M.R., & Salmon, L.E. 1972 Intra-modality selective attention and evoked cortical potentials to randomly presented patterns. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 32, 605-613.

- van der Heijden, A.H.C. 1992 *Selective attention in vision*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Hernández-Peón, R., Scherrer, H., & Jouvet, M. 1956 Modification of electric activity in cochlear nucleus during "attention" in unanesthetized cats. *Science*, 123, 331-332.
- Hillyard, S.A., & Hansen, J.C. 1986 Attention: Electrophysiological approaches. In M.G.H. Coles, E. Donchin & S.W. Porges (Eds.), *Psychophysiology: Systems, processes, and applications*. New York: Guilford. Pp. 227-243.
- Hillyard, S.A., Hink, R.F., Schwent, V.L., & Picton, T.W. 1973 Electrical signs of selective attention in the human brain. *Science*, 182, 177-180.
- Hillyard, S.A., & Kutas, M. 1983 Electrophysiology of cognitive processing. *Annual Review of Psychology*, 34, 33-61.
- Hillyard, S.A., & Münte, T.F. 1984 Selective attention to color and location: An analysis with event-related brain potentials. *Perception & Psychophysics*, 36, 185-198.
- Hillyard, S.A., & Picton, T.W. 1979 Event-related brain potentials and selective information processing in man. In J.E. Desmedt (Ed.), *Progress in clinical neurophysiology. Vol. 6. Cognitive components in cerebral event-related potentials and selective attention*. Basel, Switzerland: S. Karger. Pp. 1-52.
- Hillyard, S.A., & Picton, T.W. 1987 Electrophysiology of cognition. In F. Plum (Ed.), *Handbook of physiology. Sec. 1. The nervous system. Vol. 5. Higher function of the brain*. Bethesda, MD: American

- Physiological Society. Pp. 519-584.
- Hink, R.F., Fenton, W.H., Jr., Pfefferbaum, A., Tinklenberg, J.R., & Kopell, B.S. 1978 The distribution of attention across auditory input channels: An assessment using the human evoked potential. *Psychophysiology*, 15, 466-473.
- Hink, R.F., Van Voorhis, S.T., Hillyard, S.A., & Smith, T.S. 1977 The division of attention and the human auditory evoked potential. *Neuropsychologia*, 15, 597-605.
- 本城由美子・沖田庸嵩 1981 事象関連電位におけるピップ音・文章朗読への選択的注意効果 心理学研究, 52, 23-29.
- 本間三郎 1994 SSB(頭皮, 頭蓋骨, 脳組織)頭部モデルの双極子追跡による脳電位発生源の推定と臨床応用 臨床脳波, 36, 10-18.
- Houghton, G., & Tipper, S.P. 1994 A model of inhibitory mechanisms in selective attention. In D. Dagenbach & T.H. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory, and language*. San Diego, CA: Academic Press. Pp. 53-112.
- 石口 彰 1983 知覚と注意 心理学評論, 26, 180-201.
- Iwanami, A., Suga, I., Kato, N., Nakatani, Y., & Kaneko, T. 1993 Event-related potentials in methamphetamine psychosis during an auditory discrimination task: A preliminary report. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 242, 203-208.
- 岩崎祥一 1990 視覚における空間への選択的注意 心理学評論, 33, 409-433.
- James, W. 1890 *The principles of psychology*. (Reprinted in F.H. Burkhardt (Ed.), 1981 *The works of William James*, 8. Cambridge:

Harvard University Press.)

Jennings, J.R., & Wood, C.C. 1976 The ϵ -adjustment procedure for repeated-measures analyses of variance. *Psychophysiology*, 13, 277-278.

Johnston, W.A., & Dark, V.J. 1986 Selective attention. *Annual Review of Psychology*, 37, 43-75.

Johnston, W.A., & Heinz, S.P. 1979 Depth of nontarget processing in an attention task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 5, 168-175.

賀戸 久 1988 聴性脳磁界 日本音響学会誌, 44, 238-243.

Kahneman, D. 1973 *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

柿崎祐一 1983 なぜ "注意" なのか? 心理学評論, 26, 167-179.

亀山知道・平松謙一・斉藤 治 1986 認知機能に関連する事象関連電位 (とくに P300) と精神科領域におけるその測定の価値 - 第 2 回 - 精神医学, 28, 598-611.

金森 良・須賀一郎・岩波 明・榛葉俊一 1995 選択的注意課題を用いた分裂病患者の注意機能の検討 脳波と筋電図, 23, 1-9.

Karayanidis, F., Andrews, S., Ward, P.B., & Michie, P.T. 1995 ERP indices of auditory selective attention in aging and Parkinson's disease. *Psychophysiology*, 32, 335-350.

Karlin, L. 1970 Cognition, preparation, and sensory-evoked potentials. *Psychological Bulletin*, 73, 122-136.

Kaufman, L., & Williamson, S.J. 1982 Magnetic location of cortical activity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 388, 197-

- Keele, S.W., & Neill, W.T. 1978 Mechanisms of attention. In E.C. Carterette (Ed.), *Handbook of perception IX*. New York: Academic Press. Pp. 3-47.
- Kenemans, J.L., Kok, A., & Smulders, F.T.Y. 1993 Event-related potentials to conjunctions of spatial frequency and orientation as a function of stimulus parameters and response requirements. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 88, 51-63.
- Keselman, H.J., & Rogan, J.C. 1980 Repeated measures F tests and psychophysiological research: Controlling the number of false positives. *Psychophysiology*, 17, 499-503.
- Kinchla, R.A. 1980 The measurement of attention. In R.S. Nickerson (Ed.), *Attention and performance III*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Knight, R.T., Hillyard, S.A., Woods, D.L., & Neville, H.J. 1980 The effects of frontal and temporal-parietal lesions on the auditory evoked potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 50, 112-124.
- Knight, R.T., Hillyard, S.A., Woods, D.L., & Neville, H.J. 1981 The effects of frontal cortex lesions on event-related potentials during auditory selective attention. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 52, 571-582.
- Knight, R.T., Scabini, D., & Woods, D.L. 1989 Prefrontal cortex gating of auditory transmission in humans. *Brain Research*, 504, 338-342.
- Kutas, M., & Hillyard, S.A. 1980 Reading senseless sentences: Brain

- potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207, 203-205.
- Laplante, L., Everett, J., & Thomas, J. 1992 Inhibition through negative priming with Stroop stimuli in schizophrenia. *British Journal of Clinical Psychology*, 31, 307-326.
- Lukas, J.H. 1980 Human auditory attention: The olivocochlear bundle may function as a peripheral filter. *Psychophysiology*, 17, 444-452.
- Lukas, J.H. 1981 The role of efferent inhibition in human auditory attention: An examination of the auditory brainstem potentials. *International Journal of Neuroscience*, 12, 137-145.
- McCallum, W.C., Barrett, K., & Pocock, P.V. 1989 Late components of auditory event-related potentials to eight equiprobable stimuli in a target detection task. *Psychophysiology*, 26, 683-694.
- McCallum, W.C., Curry, S.H., Cooper, R., Pocock, P.V., & Papakostopoulos, D. 1983 Brain event-related potentials as indicators of early selective processes in auditory target localization. *Psychophysiology*, 20, 1-17.
- McCarthy, G., & Wood, C.C. 1985 Scalp distributions of event-related potentials: An ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 62, 203-208.
- Meric, C., & Collet, L. 1992 Visual attention and evoked otoacoustic emissions: A slight but real effect. *International Journal of Psychophysiology*, 12, 233-235.
- Michie, P.T. 1984 Selective attention effects on somatosensory event-related potentials. *Annals of the New York Academy of Sci-*

- ences*, 425, 250-255.
- Michie, P.T., Bearpark, H.M., Crawford, J.M., & Glue, L.C.T. 1987 The effects of spatial selective attention on the somatosensory event-related potential. *Psychophysiology*, 24, 449-463.
- Michie, P.T., Bearpark, H.M., Crawford, J.M., & Glue, L.C.T. 1990 The nature of selective attention effects on auditory event-related potentials. *Biological Psychology*, 30, 219-250.
- Michie, P.T., Fox, A.M., Ward, P.B., Catts, S.V., & McConaghy, N. 1990 Event-related potential indices of selective attention and cortical lateralization in schizophrenia. *Psychophysiology*, 27, 209-227.
- Michie, P.T., Solowij, N., Crawford, J.M., & Glue, L.C. 1993 The effects of between-source discriminability on attended and unattended auditory ERPs. *Psychophysiology*, 30, 205-220.
- Miller, J., & Hackley, S.A. 1992 Electrophysiological evidence for temporal overlap among contingent mental processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 121, 195-209.
- Miller, J., Riehle, A., & Requin, J. 1992 Effects of preliminary perceptual output on neuronal activity of the primary motor cortex. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 1121-1138.
- Moray, N. 1958 The effect of the relative intensities of dichotic messages in speech shadowing. *Language and Speech*, 1, 110-113.
- Moray, N. 1959 Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quarterly Journal of Experimental Psy-*

chology, 11, 56-60.

Moray, N. 1970 *Attention: Selective processes in vision and hearing*.

New York: Academic Press.

本明 寛 1992 心の研究－現代心理学入門－ 社会思想社

Mulder, G., Smid, H.G.O.M., & Mulder, L.J.M. 1993 On the transfer of

partial information between perception and action. In D.E. Meyer

& S. Kornblum (Eds.), *Attention and performance XIV*. Cambridge,

Massachusetts: The MIT Press. Pp. 567-588.

Näätänen, R. 1975 Selective attention and evoked potentials in hu-

mans: A critical review. *Biological Psychology*, 2, 237-307.

Näätänen, R. 1982 Processing negativity: An evoked-potential reflec-

tion of selective attention. *Psychological Bulletin*, 92, 605-640.

Näätänen, R. 1990 The role of attention in auditory information proc-

essing as revealed by event-related potentials and other brain

measures of cognitive function. *Behavioral and Brain Sciences*, 13,

201-288.

Näätänen, R. 1992 *Attention and brain function*. Hillsdale, NJ: Law-

rence Erlbaum Associates.

Näätänen, R., Gaillard, A.W.K., & Mäntysalo, S. 1978 Early selec-

tive-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psy-*

chologica, 42, 313-329.

Näätänen, R., Gaillard, A.W.K., & Varey, C.A. 1981 Attention effects

on auditory EPs as a function of inter-stimulus interval. *Biological*

Psychology, 13, 173-187.

Näätänen, R., Paavilainen, P., Alho, K., Reinikainen, K., & Sams, M.

- 1989 Do event-related potentials reveal the mechanism of the auditory sensory memory in the human brain? *Neuroscience Letters*, 98, 217-221.
- Näätänen, R., & 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, 375-425.
- Näätänen, R., Teder, W., Alho, K., & Lavikainen, J. 1992 Auditory attention and selective input modulation: A topographical ERP study. *Neuroreport*, 3, 493-496.
- 投石保広・下河内 稔 1981 脳の事象関連電位 (Event-related potentials) とヒトの情報処理過程 大阪大学人間科学部紀要, 7, 141-172.
- Neill, W.T. 1977 Inhibitory and facilitatory processes in selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3, 444-450.
- Neill, W.T., Lissner, L.S., & Beck, J.L. 1990 Negative priming in same-different matching: Further evidence for a central locus of inhibition. *Perception & Psychophysics*, 48, 398-400.
- Neill, W.T., & Westberry, R.L. 1987 Selective attention and the suppression of cognitive noise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 327-334.
- Neisser, U. 1967 *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts. (大羽 葵 (訳) 1981 認知心理学 誠信書房)
- Neisser, U. 1976 *Cognition and reality: Principles and implications of cognitive psychology*. San Francisco: W.H. Freeman and Company. (古崎 敬・村瀬 旻 (訳) 1978 認知の構図—人間は現実をどのように

とらえるかーサイエンス社)

- Neumann, E., & DeSchepper, B.G. 1992 An inhibition-based fan effect: Evidence for an active suppression mechanism in selective attention. *Canadian Journal of Psychology*, 46, 1-40.
- Norman, D.A. 1968 Toward a theory of memory and attention. *Psychological Review*, 75, 522-536.
- Norman, D.A., & Bobrow, D.G. 1975 On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, 44-64.
- Novak, G., Ritter, W., & Vaughan, H.G., Jr. 1992a Mismatch detection and the latency of temporal judgments. *Psychophysiology*, 29, 398-411.
- Novak, G., Ritter, W., & Vaughan, H.G., Jr. 1992b The chronometry of attention-modulated processing and automatic mismatch detection. *Psychophysiology*, 29, 412-430.
- Novak, G.P., Ritter, W., Vaughan, H.G., Jr., & Wiznitzer, M.L. 1990 Differentiation of negative event-related potentials in an auditory discrimination task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75, 255-275.
- Oatman, L.C. 1971 Role of visual attention on auditory evoked potentials in unanesthetized cats. *Experimental Neurology*, 32, 341-356.
- Oatman, L.C. 1976 Effects of visual attention on the intensity of auditory evoked potentials. *Experimental Neurology*, 51, 41-53.
- Oatman, L.C., & Anderson, B.W. 1977 Effects of visual attention on tone burst evoked auditory potentials. *Experimental Neurology*, 57, 200-211.

Oatman, L.C., & Anderson, B.W. 1980 Suppression of the auditory frequency following response during visual attention. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 49, 314-322.

O'Donnell, B.F., Friedman, S., Swearer, J.M., & Drachman, D.A. 1992 Active and passive P3 latency and psychometric performance: Influence of age and individual differences. *International Journal of Psychophysiology*, 12, 187-195.

大谷 璋 1972 注意とそのモデルと人間における生理心理学的事実 心理学評論, 15, 159-175.

Okita, T. 1979 Event-related potentials and selective attention to auditory stimuli varying in pitch and localization. *Biological Psychology*, 9, 271-284.

沖田庸嵩 1989 事象関連電位と認知情報処理－選択的注意の問題を中心として－ 心理学研究, 60, 320-335.

沖田庸嵩 1993 聴覚の選択的注意－事象関連脳電位を用いた生理心理学的分析－ 二瓶社

沖田庸嵩・小西賢三・松永一郎 1989 事象関連電位とヒトの情報処理(23)－選択的注意時の陰性波と陽性波－ 日本心理学会第53回大会発表論文集, 525.

Okita, T., Wijers, A.A., Mulder, G., & Mulder, L.J.M. 1985 Memory search and visual spatial attention: An event-related brain potential analysis. *Acta Psychologica*, 60, 263-292.

Paavilainen, P., Karlsson, M., Reinikainen, K., & Näätänen, R. 1989 Mismatch negativity to change in spatial location of an auditory stimulus. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*,

73, 129-141.

- Parasuraman, R. 1978 Auditory evoked potentials and divided attention. *Psychophysiology*, 15, 460-465.
- Parasuraman, R. 1980 Effects of information processing demands on slow negative shift latencies and N100 amplitude in selective and divided attention. *Biological Psychology*, 11, 217-233.
- Perrin, P., Pernier, J., Bertrand, O., & Echallier, J.F. 1989 Spherical splines for scalp potential and current density mapping. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 72, 184-187.
- Picton, T.W., Hillyard, S.A., Krausz, H.I., & Galambos, R. 1974 Human auditory evoked potentials. I. Evaluation of components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 36, 179-190.
- Polich, J. 1987 Comparison of P300 from a passive tone sequence paradigm and an active discrimination task. *Psychophysiology*, 24, 41-46.
- Polich, J. 1989 P300 from a passive auditory paradigm. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 74, 312-320.
- Previc, F.H., & Harter, M.R. 1982 Electrophysiological and behavioral indicants of selective attention to multifeature gratings. *Perception & Psychophysics*, 32, 465-472.
- Puel, J.-L., Bonfils, P., & Pujol, R. 1988 Selective attention modifies the active micromechanical properties of the cochlea. *Brain Research*, 447, 380-383.
- Quinlan, P.T., & Bailey, P.J. 1995 An examination of attentional con-

- trol in the auditory modality: Further evidence for auditory orienting. *Perception & Psychophysics*, 57, 614-628.
- Ritter, W., Simson, R., & Vaughan, H.G., Jr. 1983 Event-related potential correlates of two stages of information processing in physical and semantic discrimination tasks. *Psychophysiology*, 20, 168-179.
- Roth, W.T., & Kopell, B.S. 1973 P300: An orienting reaction in the human auditory evoked response. *Perceptual and Motor Skills*, 36, 219-225.
- Roth, W.T., Tecce, J.J., Pfefferbaum, A., Rosenbloom, M., & Callaway, E. 1984 ERPs and psychopathology. I. Behavioral process issues. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 425, 496-522.
- Ryan, T.A. 1959 Multiple comparisons in psychological research. *Psychological Bulletin*, 56, 26-47.
- Ryan, T.A. 1960 Significance tests for multiple comparison of proportions, variances, and other statistics. *Psychological Bulletin*, 57, 318-328.
- Sams, M., Paavilainen, P., Alho, K., & Näätänen, R. 1985 Auditory frequency discrimination and event-related potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 62, 437-448.
- SAS Institute Inc. 1988 *SAS/STAT user's guide, Release 6.03 Edition*. Cary, NC. (SAS 出版局 (訳) 1990 SAS/STAT ユーザーズガイド Release 6.03 Edition)
- Scherg, M., & von Cramon, D. 1986 Evoked dipole source potentials of the human auditory cortex. *Electroencephalography and Clinical*

Neurophysiology, 65, 344-360.

Schreiber, H., Stolz-Born, G., Kornhuber, H.H., & Born, J. 1993 Event-related potential correlates of selective attention in children at genetic risk for schizophrenia. In H.-J. Heinze, T.F. Münte & G.R. Mangun (Eds.), *New development in event-related potentials*. Boston: Birkhauser. Pp. 319-324.

Shapiro, K.L., & Loughlin, C. 1993 The locus of inhibition in the priming of static objects: Object token versus location. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 352-363.

Shiffrin, R.M., & Schneider, W. 1977 Controlled and automatic human information processing. II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review*, 84, 127-190.

下條信輔・彦坂興秀 1992 注意の心理学—視空間的注意を中心に— 生体の科学, 43, 30-36.

Skinner, J.E., & Yingling, C.D. 1977 Central gating mechanisms that regulate event-related potentials and behavior: A neural model for attention. In J.E. Desmedt (Ed.), *Progress in clinical neurophysiology. Vol. 1. Attention, voluntary contraction and event-related cerebral potentials*. Basel, Switzerland: S. Karger. Pp. 30-69.

Smid, H.G.O.M., Lamain, W., Hogeboom, M.M., Mulder, G., & Mulder, L.J.M. 1991 Psychophysiological evidence for continuous information transmission between visual search and response processes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Per-*

formance, 17, 696-714.

Smid, H.G.O.M., Mulder, G., Mulder, L.J.M., & Brands, G.J. 1992 A psychophysiological study of the use of partial information in stimulus-response translation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 1101-1119.

Smith, D.B.D., Donchin, E., Cohen, L., & Starr, A. 1970 Auditory averaged evoked potentials in man during selective binaural listening. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 28, 146-152.

Solowij, N., Michie, P., Crawford, J., & Glue, L. 1990 Auditory ERPs during auditory attention and a visual control task: Effects of visual task difficulty. In C.H.M. Brunia, A.W.K. Gaillard & A. Kok (Eds.), *Psychophysiological brain research. Vol. 1*. Netherlands: Tilburg University Press. Pp. 217-220.

Spence, C.J., & Driver, J. 1994 Covert spatial orienting in audition: Exogenous and endogenous mechanisms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 555-574.

Spong, P., Haider, M., & Lindsley, D.B. 1965 Selective attentiveness and cortical evoked responses to visual and auditory stimuli. *Science*, 148, 395-397.

Squires, K.C., Donchin, E., Herning, R.I., & McCarthy, G. 1977 On the influence of task relevance and stimulus probability on event-related potential components. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42, 1-14.

Squires, N.K., Squires, K.C., & Hillyard, S.A. 1975 Two varieties of

- long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38, 387-401.
- Sullivan, L. 1976 Selective attention and secondary message analysis: A reconsideration of Broadbent's filter model of selective attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 28, 167-178.
- Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E.R. 1965 Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150, 1187-1188.
- Teder, W., Alho, K., Reinikainen, K., & Näätänen, R. 1993 Interstimulus interval and the selective attention effect on auditory ERPs: "N1 enhancement" versus processing negativity. *Psychophysiology*, 30, 71-81.
- Tipper, S.P. 1985 The negative priming effect: Inhibitory priming by ignored objects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37A, 571-590.
- Tipper, S.P., & Baylis, G.C. 1987 Individual differences in selective attention: The relation of priming and interference to cognitive failure. *Personality & Individual Differences*, 8, 667-675.
- Tipper, S.P., Brehaut, J.C., & Driver, J. 1990 Selection of moving and static objects for the control of spatially directed action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 492-504.
- Tipper, S.P., & Cranston, M. 1985 Selective attention and priming: Inhibitory and facilitatory effects of ignored primes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 37A, 591-611.

- Tipper, S.P., & Driver, J. 1988 Negative priming between pictures and words in a selective attention task: Evidence for semantic processing of ignored stimuli. *Memory & Cognition*, 16, 64-70.
- Tipper, S.P., MacQueen, G.M., & Brehaut, J.C. 1988 Negative priming between response modalities: Evidence for the central locus of inhibition in selective attention. *Perception & Psychophysics*, 43, 45-52.
- Tipper, S.P., & McLaren, J. 1990 Evidence for efficient visual selectivity in children. In J.T. Enns (Ed.), *The development of attention: Research and theory*. North-Holland: Elsevier Science Publishers B.V. Pp. 197-210.
- Tipper, S.P., Weaver, B., & Houghton, G. 1994 Behavioural goals determine inhibitory mechanisms of selective attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 47A, 809-840.
- Tipper, S.P., Weaver, B., Kirkpatrick, J., & Lewis, S. 1991 Inhibitory mechanisms of attention: Locus, stability, and relationship with distractor interference effects. *British Journal of Psychology*, 82, 507-520.
- Towey, J.P., Tenke, C.E., Bruder, G.E., Leite, P., Friedman, D., Liebowitz, M., & Hollander, E. 1994 Brain event-related potential correlates of overfocused attention in obsessive-compulsive disorder. *Psychophysiology*, 31, 535-543.
- Treisman, A.M. 1960 Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 242-248.
- Treisman, A.M. 1964a Selective attention in man. *British Medical*

Bulletin, 20, 12-16.

- Treisman, A.M. 1964b The effect of irrelevant material on the efficiency of selective attention. *American Journal of Psychology*, 77, 533-546.
- Treisman, A., & Geffen, G. 1967 Selective attention: Perception or response? *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 19, 1-17.
- Treisman, A.M., & Gelade, G.A. 1980 A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Tueting, P., Kaskey, G., Buchsbaum, M., Connolly, J., Perris, C., & Roemer, R. 1984 ERPs and psychopathology. II. Biological issues. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 425, 523-545.
- Vasey, M.W., & Thayer, J.F. 1987 The continuing problem of false positives in repeated measures ANOVA in psychophysiology: A multivariate solution. *Psychophysiology*, 24, 479-486.
- Wagner, M., Alho, K., Lavikainen, J., Reinikainen, K., Teder, W., & Näätänen, R. 1993 Sequential analysis of pitch discrimination and ERPs during auditory selective attention and distraction: Evidence for facilitation and inhibition. In H.-J. Heinze, T.F. Münte & G.R. Mangun (Eds.), *New development in event-related potentials*. Boston: Birkhauser. Pp. 203-211.
- Walter, W.G., Cooper, R., Aldridge, V.J., McCallum, W.C., & Winter, A.L. 1964 Contingent negative variation. *Nature*, 203, 380-384.
- Ward, P.B., Catts, S.V., Fox, A.M., Michie, P.T., & McConaghy, N. 1991 Auditory selective attention and event-related potentials in schizophrenia. *British Journal of Psychiatry*, 158, 534-539.

- Welsch, R.E. 1977 Stepwise multiple comparison procedures. *Journal of the American Statistical Association*, 72, 359.
- Wijers, A.A., Lamain, W., Slopsema, J.S., Mulder, G., & Mulder, L.J.M. 1989 An electrophysiological investigation of the spatial distribution of attention to colored stimuli in focused and divided attention conditions. *Biological Psychology*, 29, 213-245.
- Wijers, A.A., Mulder, G., Okita, T., & Mulder, L.J.M. 1989 Event-related potentials during memory search and selective attention to letter size and conjunctions of letter size and color. *Psychophysiology*, 26, 529-547.
- Wijers, A.A., Mulder, G., Okita, T., Mulder, L.J.M., & Scheffers, M.K. 1989 Attention to color: An analysis of selection, controlled search, and motor activation, using event-related potentials. *Psychophysiology*, 26, 89-109.
- Wilkinson, R.T., & Ashby, S.M. 1974 Selective attention, contingent negative variation and the evoked potential. *Biological Psychology*, 1, 167-179.
- Wilkinson, R.T., & Lee, M.V. 1972 Auditory evoked potentials and selective attention. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 33, 411-418.
- Woldorff, M.G. 1993 Distortions of ERP averages due to overlap from temporally adjacent ERPs: Analysis and correction. *Psychophysiology*, 30, 98-119.
- Woldorff, M.G., & Hillyard, S.A. 1991 Modulation of early auditory processing during selective listening to rapidly presented tones.

Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 79, 170-191.

Woods, D.L. 1990 The physiological basis of selective attention: Implications of event-related potential studies. In J.W. Rohrbaugh, R. Parasuraman & R. Johnson (Eds.), *Event-related potentials: Issues and interdisciplinary vantages*. New York: Oxford Press. Pp. 178-209.

Woods, D.L. 1992 Auditory selective attention in middle-aged and elderly subjects: An event-related brain potential study. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 84, 456-468.

Woods, D.L., & Alain, C. 1993 Feature processing during high-rate auditory selective attention. *Perception & Psychophysics*, 53, 391-402.

Woods, D.L., Alho, K., & Algazi, A. 1991 Brain potential signs of feature processing during auditory selective attention. *Neuroreport*, 2, 189-192.

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.

Woods, D.L., Alho, K., & Algazi, A. 1993 Intermodal selective attention: Evidence for processing in tonotopic auditory fields. *Psychophysiology*, 30, 287-295.

Woods, D.L., Alho, K., & Algazi, A. 1994 Stages of auditory feature conjunction: An event-related brain potential study. *Journal of*

Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 20, 81-94.

Woods, D.L., Hillyard, S.A., & Hansen, J.C. 1984 Event-related brain potentials reveal similar attentional mechanisms during selective listening and shadowing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 761-777.

Woods, D.L., & Knight, R.T. 1986 Electrophysiologic evidence of increased distractibility after dorsolateral prefrontal lesions. *Neurology*, 36, 212-216.

Yee, P.L. 1991 Semantic inhibition of ignored words during a figure classification task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 43A, 127-153.

Yingling, C.D., & Skinner, J.E. 1976 Selective regulation of thalamic sensory relay nuclei by nucleus reticularis thalami. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 41, 476-482.

Yingling, C.D., & Skinner, J.E. 1977 Gating of thalamic input to cerebral cortex by nucleus reticularis thalami. In J.E. Desmedt (Ed.), *Progress in clinical neurophysiology. Vol. 1. Attention, voluntary contraction and event-related cerebral potentials*. Basel Switzerland: S. Karger. Pp. 70-96.

ツヴィッカー, E. 山田由紀子 (訳) 1992 心理音響学 西村書店
(Zwicker, E. 1982 *Psychoakustik*. Berlin: Springer-Verlag.)

謝辞

本研究の実施および本学位論文の作成にあたり、本論文の主査である利島保先生(広島大学教育学部心理学科教授)ならびに指導教官である宮谷真人先生(広島大学教育学部心理学科助教授)には、終始きめ細やかなご指導を賜りました。本論文の審査委員である羽生義正先生(広島大学教育学部心理学科教授)、松田文子先生(広島大学教育学部心理学科教授)ならびに堀忠雄先生(広島大学総合科学部総合科学科教授)には、それぞれのご専門分野から有益なご助言を数多く戴きました。広島大学教育学部心理学科の諸先生方には、本論文に対するご助言だけでなく、筆者が本大学に入学して以来、ご講義を通じて熱心なご教授を戴きました。

筆者が所属する実験心理学研究室の助手として在籍されていた道田泰司先生(琉球大学教養部助教授)ならびに現在の助手の吉田弘司先生には、研究活動だけでなく、私的な面についてもたいへんお世話になりました。また、沖田庸嵩先生(兵庫医科大学医学部助教授)、投石保広先生(朝日大学教職課程センター助教授)、富永大介先生(琉球大学教養部教授)、片山順一先生(北海道大学教育学部講師)ならびに小山幸子先生(岡崎国立共同研究機構生理学研究所研究員)には、ERP研究の先輩として貴重なご意見を戴きました。実験心理学研究室の先輩である前堂志乃先生(沖縄国際大学文学部国文学科講師)ならびに坂田須美子さん、後輩にあたる河原純一郎君、永山ルツ子さん、柴崎光世さん、中尾美月さん、桧高正樹君、岩木信喜君ならびに岡部南津子さん、そして大阪大学大学院人間科学研究科行動学講座の藤原伸彦君ならびに入戸野宏君たちとは、良き研究仲間としてたいへん有意義なディスカッションができました。

ご指導を戴きました上記の方々に対して、ここに改めて深甚なる謝意

を表したいと存じます。そして、お名前を記すことはできませんが、長時間の実験に被験者として参加して下さった多くの方々に、心から感謝いたします。

1996年1月10日

赤井俊幸