

タイミング課題下の頭皮上緩電位変動

— 継次的に呈示される刺激を手がかりとして —

篠田 伸夫・吉田 茂

The changes of scalp-recorded slow potential in the discrimination task of the temporal patterns

Nobuo SHINODA and Shigeru YOSHIDA

Slow potential was recorded at Fz, Cz, Pz in four right-handed subjects. Responses were made with the right hand. Four temporal patterns of the auditory stimuli were presented in random order. Each pattern was consisted of four pip tones which had the different inter-stimulus intervals. Subjects were to predicate the timing of the fourth tone and respond simultaneously to it. Any pattern couldn't be determined at the first pip tone. As the following tones were presented in sequence, a particular pattern could be identified. The slow wave in each pattern was multi-phasic. The maximum negative peak appeared at the last distinct point for the stimulus patterns but not at the motor response. It was suggested that the two factors effected on the slow waves: the first one was the number of the probable patterns and the second was the time lag between the last distinct point and the motor response.

Key words: slow potential, CNV, MRP, temporal pattern discrimination.

頭皮上から記録される陰性緩電位は、記録条件によって大きく2種類に分けられる。CNV (contingent negative variation) とMRP (motor readiness potential, またはBereitschaftspotential) である。CNVは、警告刺激—要求刺激—運動反応という実験事態を用いた定間隔反応時間課題下でみられ、少なくとも2つの成分からなることが報告されている(Klorman, 1975)。定位反応としての初期成分と、課題に関連した後期成分である。MRPは主に随意運動前0.5~1sの間で陰性に変動する電位である。従来CNVとMRPの関連を検討する実験では、課題負荷をかけた場合の変動はCNVの後期成分とMRPとでよく似た傾向を示すという報告がある(Grünwald et al., 1979)。定間隔刺激をペースメーカーとした運動反応実験においても、初期成分はみられるが後期成

分は電位の高度と分布の左右差の面でもMRPに近い波形を示す緩電位が報告されている(篠田, 1986)。

ある程度重い課題負荷のかかった条件下の緩電位は高い陰性電位を示し、持続時間が長くなると課題に応じて多相性に変動する(篠田, 1983)。これらの変動は、初期成分、後期成分という分類では解釈できない要因が関与していると考えられる。このような継次的な変動の要因研究では、基線への復帰現象に対してはフィードバック刺激を用いたり(柿木, 1980)、運動反応を2度要求する(Wilkinson et al., 1973)課題を用いること等が行われてきている。しかしながら、これらの継次的な課題は、課題自体が運動反応によって文節化されてしまい、単一の継続した課題とはいえなくなっている。時間評価課題下の緩電位も検討さ

れているが (Ruckin et al., 1977), 評価時間が固定されていることにより, 多相性に变化する課題とはなっていない。

以上の点から, 本研究はカウンティングを要求するタイミング課題を採用し, 緩電位の継次変動要因を検討する。

方 法

被験者: 右利きの大学生 4 名 (男子 3 名, 女子 1 名, 年齢 20~28 歳)。

刺激: 2000Hz のピップ音 (50dB SPL, 持続時間 100ms) を被験者の前方 1.5m に置かれたスピーカーより呈示し, マイクロコンピュータ (NEC, PC9801F2) と音刺激装置 (日本光電, SSS-3100) により制御した。

脳波記録: 電極は Ag-AgCl 不飽和電極を用いた。脳波は, 国際式 10-20 法に従い, Fz, Cz, Pz の 3 部位から両耳朶連結を不飽和電極として単極導出し, 汎用型脳波形 (日本電気三栄, 1A57) により時定数 3s で増幅した。同時に, 左眼から乗直眼球運動もモニタ記録した (Fig. 1)。

条件および課題: 4 発の音刺激からなる刺激パターンを用いた (Fig. 2-A)。各パターンは刺激間隔 (ISI) が異なり, パターン A: 500, 500, 500 ms, パターン B: 500, 500, 1000ms, パターン C: 1000, 500, 500ms, パターン D: 1000, 1000, 1000 ms とした。各パターン共, 4 発目の刺激が呈示されると同時に, 右手に持ったマイクロスイッチを押すことを課題とした。

手続き: 電極装着後, 被験者は電磁シールド室内の安楽椅子に座り, 「実験中は体を楽にして目を閉じ, 目をあまり動かさないように」と教示された。実験は 4 セッションからなり, 各セッションは各刺激パターン 20 試行ずつを含む計 80 試行とした。1 セッション内での刺激パターンの呈示順序はランダムとし, 試行間間隔 (ITI) は, 7s~13s でランダムとした。各セッション前に, 課題について教示し, セッション間間隔は, 被験者ペースとした。

実験は安静閉眼状態で分極による電位変動が安定した後, 開始した。総実験時間は, 約 2 時間であった。

分析: 脳波および垂直眼球運動は, 紙記録と同時にマイクロコンピュータを用い, 自作の A/D 変換プログラムにより 10ms 毎に A/D 変換した。脳波のサンプリング区間は, 第一刺激呈示時点でタイムロックし, 第一刺激前 50 ポイント (500ms), 第一刺激後 462 ポイント (4620ms) の計 5120ms とした。加算平均処理においては, 垂直眼球運動によるアーチファクトのない試行を対象とした。ベースラインは, 第一刺激前 500ms 間の平均電位とした。

結果と考察

(1) 平均反応時間

平均反応時間は, 各刺激パターンとも, 第 4 刺激呈示時点から実際にスイッチが押されるまでの時間から算出した (Fig 3)。各被験者とも A パター

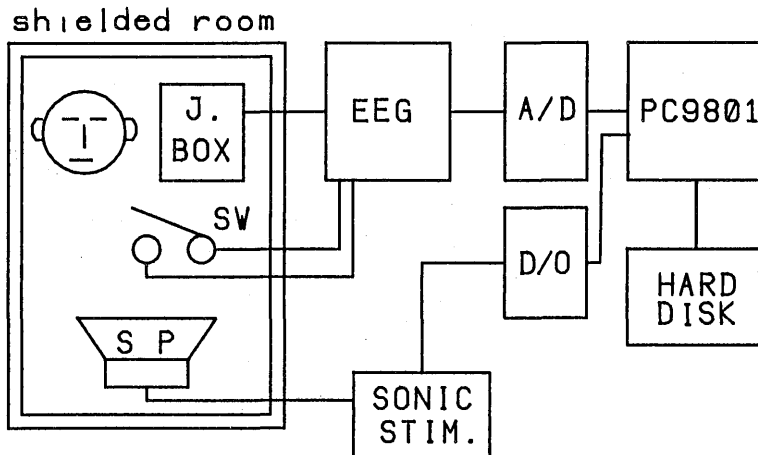


Fig. 1 The experiment condition.

ンを除き、100ms以内の反応時間を示したが、Aパターンだけは約200ms前後の反応時間であった。単純反応時間が約200msである(篠田, 1980)ことを考慮すると、Aパターンを除いては教示の通り、「第4刺激に対して同時にスイッチを押す」ようにした予期反応と考えられる。

4種類の刺激パターンはランダムに呈示された

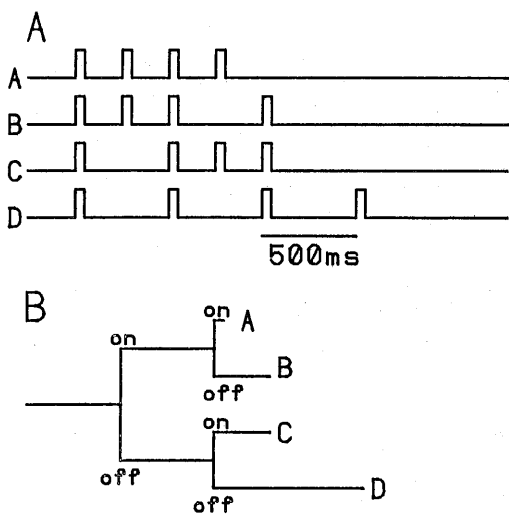
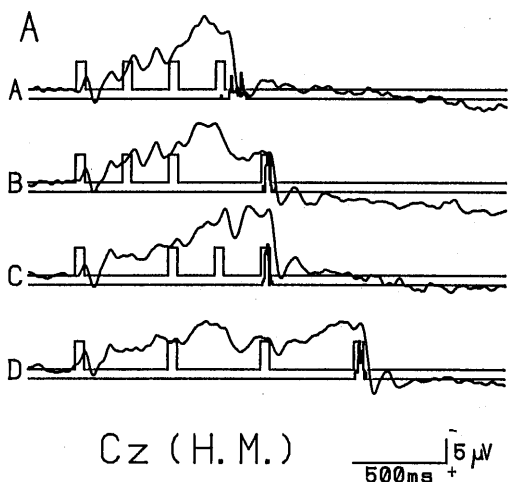


Fig. 2 A: Stimulus patterns.
B: The distinct point in the time course.



ため、Fig. 2Bで示したように第1刺激時点ではどのパターンであるかの決定は不可能であり、継次的にパターンが決まるように設定されている。Aパターンであることが最終的に決定されるのは、第4刺激が呈示された時点であり、Bパターンに対して誤反応をしないような方略をとる場合、Aパターンが特定された時点と反応すべき時点が同時であるため、単純反応時間になったと考えられる。

(2) 緩電位波形の特徴

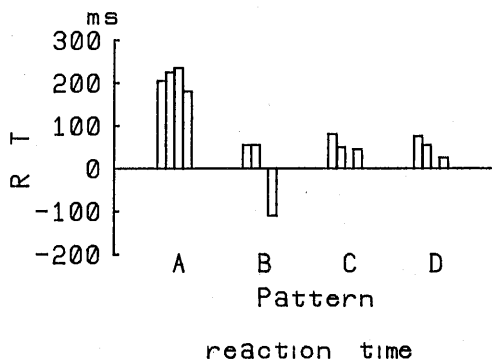


Fig. 3 Averaged reaction time of each subject.
bar: Averaged reaction time of one subject.

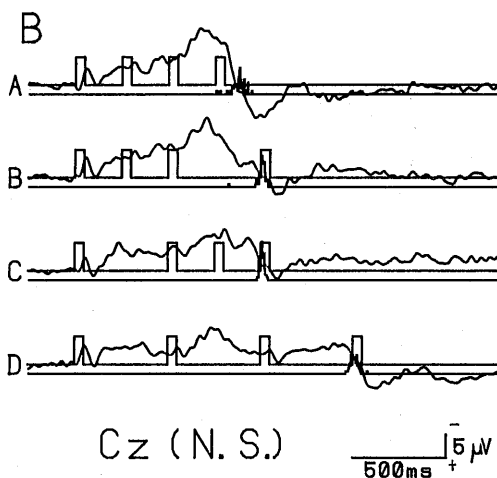


Fig. 4 Averaged slow potentials of two (A, B) subjects in each stimulus pattern.
upper traces: slow potential (smoothed).
middle traces: presentations of stimulus the patterns.
lower traces: cumulative responses.

各被験者とも、第一刺激に対するEP (evoked potential) が出現した後、緩徐に陰性にシフトする電位が観察された (Fig. 4A, 4B)。最大陰性電位は運動反応前1000ms以内に生じ、 $10\sim 20\mu\text{V}$ であった。定間隔で連続呈示されるタイミング手がかり刺激に対する緩電位の最大陰性電位は、 $5\sim 10\mu\text{V}$ ある (篠田, 1986) ので、本実験では課題負荷がかかっていることが電位によっても示される。CNV波形での第1刺激後の陰性シフトは、課題に慣れていない場合の勾配の急なA型と、慣れた場合の緩やかなB型に分けられる (Tecce, 1972)。本実験では被験者間での型の差はみられたが、セッションの前半と後半をわけて分析したところ、セッション間での差はみられなかった。そこで全4セッションの脳波を加算平均して以下の分

析に進むことにした。

(3) 各パターンにおける緩電位

CNV波形は少なくとも2つの成分、すなわち定位反応としての初期成分と、課題に関連した後期成分に分離できる。本実験の緩電位では、B, C, Dパターンにおいて2つ以上の成分があらわれた。そこで、波形の時間経過を検討するために第1刺激呈示時点から第4刺激呈示時点までを250msごとの区間に分け、区間平均電位及び区間内の波形勾配を求めた (Fig. 5)。勾配は回帰直線の傾きとした。そのため、区間内で波形が非単調に変化している場合と単調に変化している場合の傾きは原波形により区別することにした。

(A) パターンA, Bの比較

両緩電位は、第一刺激後1500msまではほぼ重

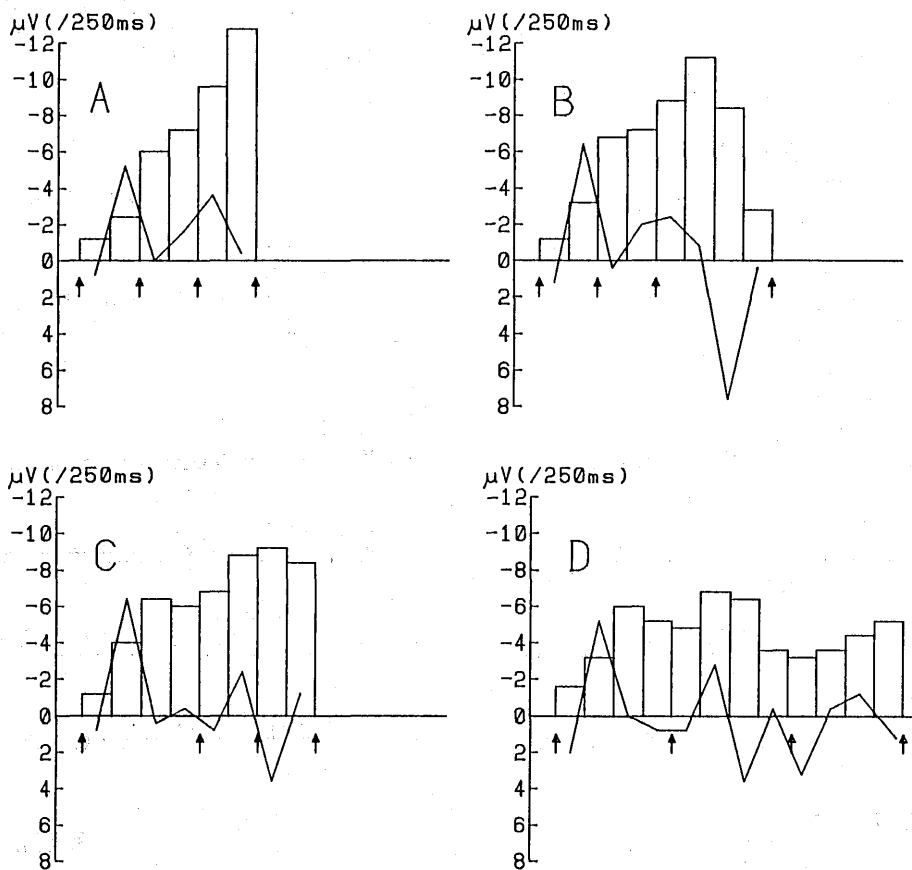


Fig. 5 Averaged amplitude and potential gradient in each 250 ms epoch.
bar: averaged amplitude.
line: potential gradient per 250 ms.

なっており、それ以後Aでは急激に基線へ復帰するのに対し、Bでは途中まで緩やかに復帰するものの、第4刺激呈示前の250ms区間では $-5\mu\text{V}$ 程度の電位を保った後基線へ復帰した(Fig. 4A, 4B, 5)。最大陰性電位は、両緩電位ともパターンが特定される時点の直前(第1刺激後1250-1500ms)にみられた。

(B) パターンC, Dの比較

A, Bと同様、第一刺激後1500ms以降に違いがみられた。Cでは第3刺激に対する明瞭なEPが出現した後、やや低い電位が第4刺激呈示まで持続したが、Dでは1/2ないし1/3まで電位が落ち込み、第3刺激呈示後再び緩徐に陰性にシフトし、第4刺激呈示直前で基線へ復帰しはじめた。Dの最大陰性電位は、被験者によって第2刺激と第3刺激の間にある場合と第4刺激の直前にある場合があったが、分析区間に比して時定数が3sと短いので、実際にどちらの電位が大きいのかは決定できなかった。

(C) パターンA, BとC, Dの比較

第一刺激後500ms時点以降、A, Bパターンでは陰性にシフトし続けたのに対し、C, Dパターンではその時点での電位が持続するか、やや基線へ復帰する傾向があった。

(4) 方略と緩電位

本実験の課題は、刺激パターンが継次的に特定されるので継次弁別課題とも考えられる。各パターンが最終的に特定されるまでには、各々2箇所まで弁別が行われることになる。すなわち、第1刺激後500ms時点において第2刺激が呈示されればAまたはBパターン、呈示されなければCまたはDパターンであることがわかる。第1刺激後1500ms時点で各刺激パターンが決定できる。またパターンが最終的に特定されてから運動反応までに残された時間は、A, Bパターンでは0, 500ms, C, Dパターンでは500, 1500msなので、前者の方が困難な課題なのであると思われる。実験後の被験者の言語報告ではA, Bパターンがかなり難しかったようである。実際Bに対しては誤反応が多く、一方C, Dの誤反応は皆無であった。

パターン弁別時点(第1刺激後500msと1500ms)での緩電位は、常に運動反応までの残り時間の長い方が陰性シフトを停止するか基線へ復帰し始める方向に変化した。柿木(1980)は、フィードバック実験を用いて、基線への復帰要因は要求刺

激でも運動反応でもなく、課題の完了感という心理的要因であると結論づけた。本実験で得られた課題途中での緩電位の一時的な復帰は、課題の完了感というよりむしろ方略が切り替わった(スイッチング)ことを表しているのではないかとと思われる。特にパターンの特定から運動反応までの残り時間が長いDパターンにおいては、基線が陰性にシフトした状態で新しい緩電位が出現したような波形を示した。このことはパターンCの各刺激に対するEPの応答(N1-P2電位)でもみられ、第3刺激(CかDが特定される)に対する応答がかなり顕著であった。A, BとC, Dパターンの弁別時点である第1刺激後500msに呈示される第2刺激に対してもみられると思われたが、第1刺激に対するEPの持続時間が長いので、明瞭なEPは出現しなかった。

(5) 方略のスイッチングとMRP

パターンAに対する緩電位を除き、運動反応前の陰性ピークは反応直前ではなく、200ms以上前に出現した。本実験で得られた緩電位は、MRPと異なり、実際の運動反応よりむしろ、方略を確定させるに至るまでの内部過程と、確定した方略を完了させるまでの残り時間に関連しているようにみえる。つまり、Dパターンの緩電位のように、方略が確定すると緩電位はMRPのレベルまで減少し、あとはMRPだけが残るのではないかとと思われる。しかし、B, Cパターンでは方略の確定時期と残り時間が同一であるにもかかわらず、Bパターンでは運動反応直前の電位がMRPのレベルまで減少しているのに対し、Cパターンでは電位が高かった。このことは以下の2つを仮定することによって説明可能と思われる。

- ① 方略確定前は有り得る方略すべてのためのMRPが重畳している。
- ② 終了時点が時間的に接近している複数の方略がある場合、先に終了する方を取り消すには積極的な抑制過程が関与する。抑制過程は、脳波上では急峻な陽性変動としてあらわれる。

A, Bパターンの最大陰性電位の方がC, Dより高いことは、①により説明できる(A, Bの方がMRPの重なりが大きい)し、B, Cでみられた運動反応直前の電位の差は②により説明できる(BではA方略のMRPに対して積極的抑制がかかるので電位が急激に落ち込むが、CではD方略の方が時間的に後になるので抑制すべき方略はな

く、そのまま緩やかに復帰しその途中でMRPが重畳する)。これらの仮定を確認するのは今後の課題である。

(6) まとめ

本実験では、定位反応としての初期成分およびMRP成分が重畳したと思われる緩電位がみられた。この電位は継次的な弁別条件下の方略決定に関与しており、複数の方略が両立する限り陰性にシフトし、方略が1つに決定されれば緩徐に基線へ復帰する性質を持つと思われる。(5)で記したようにいくつかの仮定を確認するのは今後の課題であるが、緩電位の時間的な変化に、やはり時間的に変化する心理的要因が関与していると思われる。

本実験では被験者のとる方略の客観的な指標と仮定して、反応時間、誘発電位、緩電位の3種類を検討した。3種類とも方略のどの側面がみられるかで長所と短所を持つと考えられる。まとめると、

① 反応時間

結果的にどういう方略を取ったかがわかるが(たとえば予期反応か単純反応か)方略決定に至るまでの経過はかわらない。

② 誘発電位

どの時点で方略のスイッチングが行われたかを確認し易いが、スイッチングの手がかりとなる刺激を呈示する必要がある。

③ 緩電位

方略の推移を継次的に検討できるが測定技法上不安定な要素が多い(例えば眼球運動にかなり影響を受ける)。

緩電位は安定した多相性の成分がなく波形が課題により大きく変化するので、現在のところ一般的な分析方法が存在しない。これからも緩電位の変動要因を検討していくのと同時に、安定した数量的分析方法を確立する必要があると考える。

要約

右ききの大学生4名を対象として、カウンティングを要するタイミング課題下での頭皮上緩電位

変動が、Fz, Cz, Pzの3部位から記録された。課題はランダムな順序で呈示される、刺激間隔の異なった4種類の刺激パターンに対して、4発目の刺激を予測して、刺激が呈されると同時に運動反応を要求するものであった。運動反応は右手で行った。陰性電位のピークは、運動反応直前よりも、刺激パターンがただ1つに確定した時点でみられた。

定位反応としての初期成分と複数の運動準備電位が重畳したと思われる緩電位がみられ、継次的に変化する方略の選択が、その緩電位の心理的変動要因であることが示唆された。

文 献

- 1) Grünwald, E., Grünwald-Zuberbier, Netz, J., Hömberg, V. & Sander, G. 1979 Relationships between the late component of the contingent negative variation and Bereitschaftspotential. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 46, 538-545.
- 2) 柿木昇治 1980 脳の緩徐な電位変動(CNV)に関する生心理学的研究 広島修道大学総合研究所
- 3) Klorman, R. & Bentsen, E. 1975 Effects of warning-signal duration on the early and late components of the contingent negative variation. *Biological Psychology*, 3, 263-275.
- 4) Ruckin, D. S., McCalley, M. G. & Glaser, M. 1977 Event related potential and time estimation. *Psychophysiology*, 14, 451-455.
- 5) 篠田伸夫 1983 頭皮上緩電位に及ぼすタイミング手がかりの効果 筑波大学心理学研究科修士論文
- 6) 篠田伸夫, 吉田倫幸 1986 運動反応に先行する頭皮上緩電位変動 一定間隔刺激をペースメーカーとして— 筑波大学心理学研究, 8, 17-22.
- 7) Wilkinson, R. T. & Spence, M. T. 1973 Determinants of the post-stimulus resolution of contingent negative variation (CNV). *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 35, 503-509.