

タイミング課題下の反応方略と頭皮上緩電位変動

篠田 伸夫・吉田 茂

Scalp-recorded slow potentials under the different strategies of timing control

Nobuo SHINODA and Shigeru YOSHIDA

Slow potentials were recorded at Cz and Fpz in five right-handed subjects. Two template patterns consisted of four pip tones with different inter stimulus intervals. One test pattern was made up of two pip tones. One of the temporal patterns and the test pattern were presented alternately in one experimental session. Motor responses were made by the right hand at the termination of the temporal pattern. Under the test pattern trials, subjects were instructed to use the temporal image of the template pattern and to predict the timing of the termination of the test pattern.

Depending on the image of template used, the wave form of slow potential under the test pattern was similar to one under the template pattern. In three subjects, positive components with relative high amplitude were observed under the test pattern. These components correspond to that on the wave forms under the template patterns. These results suggested that slow potential reflected the strategy for response execution and the positive component divided two phases, one for getting the unit time and another for preparation of response.

Key words: slow potential, CNV, strategy, prediction, timing control.

警告刺激 (warning stimulus: WS) の一定時間後に呈示される要求刺激 (imperative stimulus: IS) に対して運動反応をさせるという定間隔反応時間課題において、脳皮上では陰性緩電位が観察できる。この陰性緩電位は特に随伴性陰性変動 (contingent negative variation: CNV) と名付けられ、予期、期待 (Walter, 1964)、一般的準備状態 (järvilletho & Fruhstorfer, 1970) など精神活動との関連が指摘されている。

CNV は定位反応としての初期成分と課題に随伴した後期成分に分離できることが報告されている (Klorman, 1975)。しかし WS-IS 間隔を長くした場合、緩電位波形は多相性となり、初期成分と後期成分の間に中期成分が出現する場合がある。この成分は被験者の個人差による因子であることが因子分析研究により示唆されている (投石・下

河内, 1982)。この中期成分は、単純な課題で WS-IS 間隔が比較的長い場合に出現する。一方、音刺激パターンを継次的に弁別し適切な運動反応を要求する課題では、弁別で重要となる時点において、一時的な陽性変動が生じることが報告されている (篠田・吉田, 1986)。すなわち CNV の中期成分には、課題遂行時に採用される方略が反映されていると考えられる。たとえば定間隔反応時間課題の遂行時にカウンティング (1, 2, 3... と数えて n になったら反応する) 方略を採用する場合でも、カウントアップの単位時間が個人で異なるとすれば、中期成分はコントロールできない実験上の誤差としてしか捉えきれない。

安定した方略で課題を遂行する場合、緩電位の中期成分は特徴的な波形を示すと考えられる。そこで本実験では、2種類のテンプレートパターン

を用いて、テストパターン下で被験者のとる方略が、どちらかのテンプレートとパターンのイメージになるようにし、方略と緩電位波形の対応関係について検討した。

方 法

被験者：右利きの男子5名（年齢24～38歳）。

刺激：1000Hzのピップ音（64dB SPL，持続時間100ms）を被験者の左右前方1.5m（左右約26°，仰角約-38°）に置かれた2台のスピーカーよりモノラルで呈示した。音刺激はマイクロコンピュータ（NEC，PC9801VM21）とデジタル周波数シンセサイザ（NF回路設計，NF1732）により制御した（Fig. 1）。

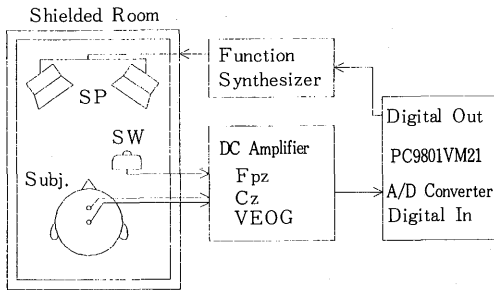


Fig. 1 The experiment apparatus

条件および課題：3種類の音刺激パターンを用いた（Fig. 2）。500ms（short: S）と100ms（long: L）の2種類の刺激間隔（inter stimulus interval: ISI）を組合せ、ISIがS,S,Lとなる4音の刺激からなるパターンSSLと、L,S,SとなるパターンLSS、およびISIが2000msの2音の刺激からなるパターンN（Neutral）である。SSL，LSSパ

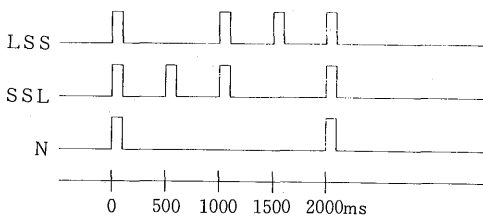


Fig. 2 Stimulus patterns

ターンをテンプレート，Nパターンをテストパターンとして，パターンの組み合わせで2種類の条件を用いた。LSS条件はパターンLSSとNを，SSL条件はパターンSSLとNを交互に呈示した（以降区別を要する場合は，LSS条件下でのNをパターンLSSN，SSL条件下でのNをパターンSSLNとする）。課題としてはLSS，SSLパターンについては4音目のタイミングを予測して4音目と同時に右手に持ったマイクロスイッチを押すように教示した。またNについては，正しく反応するための手掛として，先行するテンプレートパターン（SSLまたはLSS）をイメージしながら，2音目と同時にスイッチを押すように教示した。

手続き：電極装着後，被験者を電磁シールド室内の椅子に座らせ，「実験中は体を楽にして目を閉じ，できるだけ目を動かさないように」と教示した。実験は全4セッションからなり，1セッション1条件として2つの条件を交互に行った。条件の実行順序は被験者間でカウンターバランスをとった。1セッションは80試行からなり，条件に従ってLSSまたはSSLパターンとNパターンを交互に呈示した。従って個々のパターンについては40試行ずつ呈示したことになる。初めの2セッション前には10試行ずつ練習セッションを行った。試行間間隔（inter trial interval: ITI）は5s～9sでランダムとした。セッション間間隔は被験者ペースで2～4minであった。

実験は安静閉眼状態で，電極の分極による電位変動が安定したのを確認後開始した。総実験時間は約90minであった。電磁シールド室内の温度は22～24°C，湿度は55%であった。

生理記録：電極はAg-AgCl不分極電極（日本電気三栄，45336B）を用いた。脳波は国際式10-20法に従い，Fpz，Czの2部位から両耳朶連結を不関電極として単極導出し，生体用直流増幅器（日本電気三栄，1169）により時定数10sで増幅した。同時に右眼から垂直眼球運動（VEOG）を後の処理で補正用に用いるため，時定数10sでモニタ記録した。増幅器からの出力は，A/Dコンバータ（CANOPUS，ADX-98E）を用いて自作のA/D変換プログラムにより，リアルタイム記録した。サンプリング間隔は10ms，サンプリング区間は第1刺激呈示時点でタイムロックし，第1刺激前51ポイント（510ms），第1刺激後461ポイント

(4610ms) の計 5120ms とした。

分析：サンプリングした各試行データのうち、VEOG によるアーチファクトの少ない試行について加算平均処理を行った。第 1 刺激前 510ms の平均をベースラインとした。その後各加算平均波形について 21 ポイントの移動平均処理を行った。また、刺激表示区間 (52~251 ポイント) を除くサンプリングデータに対して Cz, Fpz と VEOG との相関係数 (r) を算出した。r>0.3 の場合は回帰係数を求めて VEOG から推定出来る部分を減算した波形を用いた。反応時間は被験者に教示した時点 (LSS, SSL では 4 音目, N では 2 音目) からのオフセットとした。

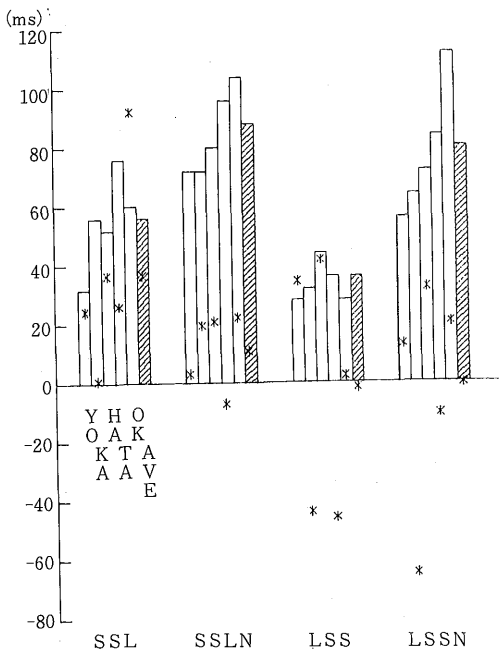


Fig. 3 Averaged reaction time of each subject
 * : averaged reaction time of one subject
 bar: standard deviation
 hatched bar: grand average

結果と考察

(1) 反応時間

平均反応時間は各被験者とも ±100ms 以内であった (Fig. 3)。本実験と同様のマイクロスイッチを押す課題での単純反応時間は 200ms 前後で

あるので (篠田, 1980), 全被験者とも教示どおり予期反応を行っていたと思われる。条件、刺激パターンに関しては系統的な差はみられなかった。

反応時間の分布に関しては、全被験者ともパターン N>SSL>=LSS の順でばらつきが小さくなる傾向があった。音刺激を運動反応遂行のための外部手がかりとしてみると、LSS, SSL, N の順で反応時点に近い時間で呈示されることになるので、それだけ正しく反応する手がかりが強いといえる。このため被験者が正しい反応時点を決定する際の分布にパターンによる差がみられたのであろう。

(2) 課題遂行の難易度と反応時間

実験中、セッション終了毎に課題の難易度について内省報告を記録した (Table 1)。反応時間の平均、分布とも、難易度報告とは一定した差がみ

Table 1 Self reports about the task difficulty

condition subject	SSL	LSS
YO	hard	easy
KA	easy	hard
HA	same	same
TA	easy	hard
OK	hard	easy

られなかった。本実験の「課題遂行の難易度」は、反応時間のような課題の最終出力には反映されないようである。

(3) 緩電位波形の特徴

Cz, Fpz の緩電位を処理したが、Fpz については個人間の変動が大きかったので、以下 Cz の緩電位についてのみ検討する。

反応時間を一定にするために、各刺激パターンについて最終刺激提示時点 ±100ms 以内の反応時間を正反応とし、正反応試行時のみ加算平均した (Fig. 4)。全被験者とも各パターンに対して -10~-20μV の陰性緩電位がみられた。被験者 YO を除きはじめての生理心理実験であったが、課題に慣れなていない場合にみられる A 型 CNV (Tecce, 1972, 第 1 刺激後急激に陰性に変動する) は、被験者 KA の SSL, LSS 条件と、HA の SSL 条件で明瞭にみられただけであった。課題に馴れた場合にはみられる B 型 CNV 波形が多かったのは、本実験で採用した課題が比較的単純で

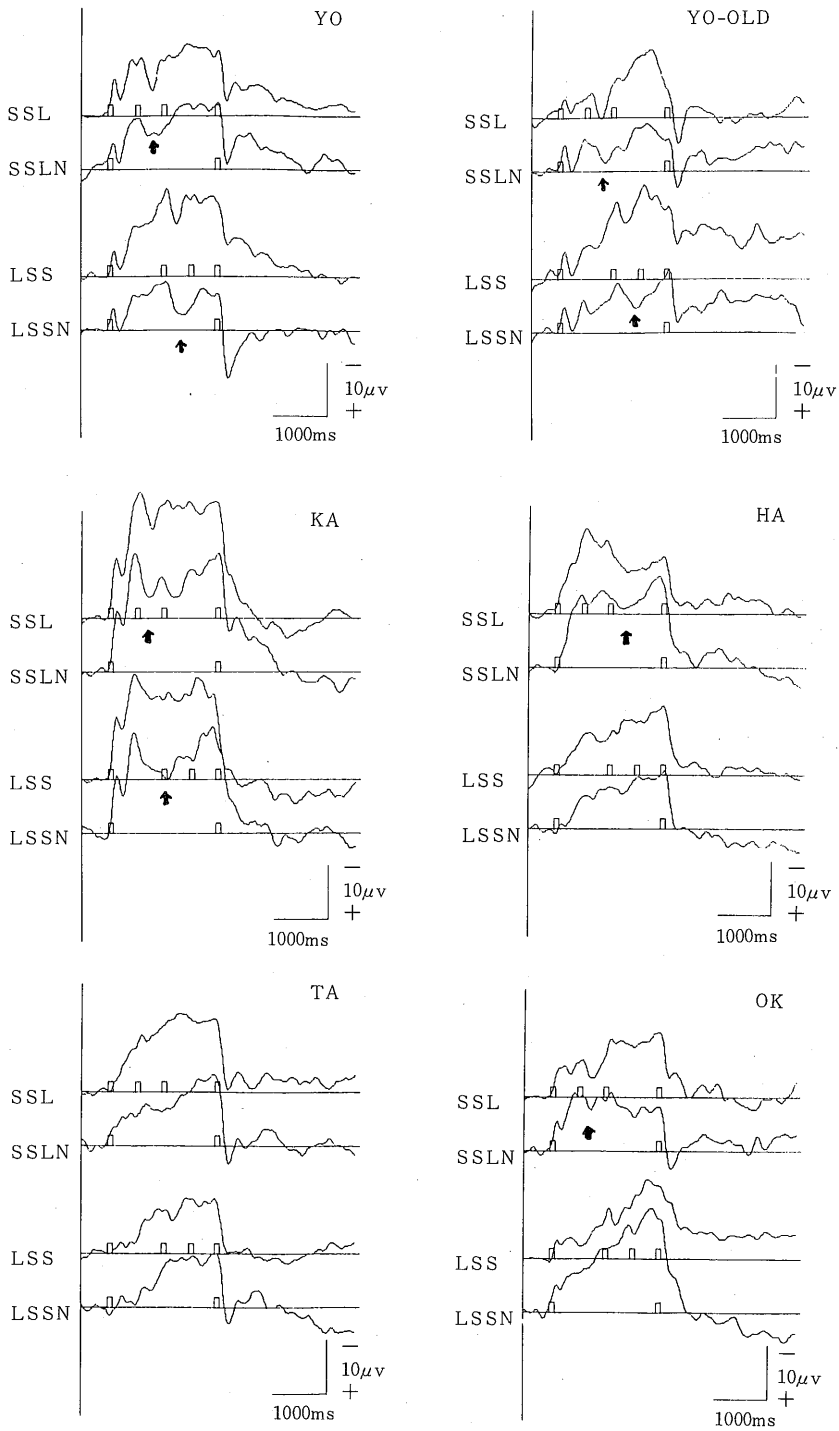


Fig. 4 Averaged slow potential in each subject (Cz)

あったためと思われる。実験後の内省報告でも、セッションが進むにつれて「すぐに慣れた」との報告が多かった。

陰性シフト中の緩電位波形は典型的な CNV とは異なり、第 1 刺激から運動反応時点までに多相性の変動を示す被験者が多かった。SSL, LSS パターンは実際に音刺激が呈示されているので、EP の重畳により多相性になる説明はつくが、両パターンとも第 2 刺激に対する一時的な陽性の復帰が顕著にみられる被験者が多かった。一方 SSLN, LSSN パターンは、音刺激が呈示されていないにもかかわらず一時的にやや緩慢な陽性への復帰がみられた。

(4) 方略と緩電位

本実験で採用した課題は、どのパターンに対しても第 1 刺激後 2 s で運動反応を要求する点では同じであった。また、N パターンは SSL, LSS 両条件とも共通しており、手がかりとするパターンが違う (SSL または LSS) だけであった。そこで、方略 (手がかりとしているパターン) の違いがどのように緩電位に対応しているのか検討した。

a) N パターンと SSL, LSS パターンの類似

N パターンがどの程度他の 2 つのパターンと類似しているかを検討するために、第 1 刺激呈示時点から 2 s 間の電位の相関係数を算出した (Table 2)。各被験者により相関係数に違いはみられるものの、被験者の平均では SSL-SSLN, LSS-LSSN の対について最大の相関がみられた。本課題の場合、この高い相関は、①典型的な CNV としての波形の全体的なパターンの類似と、②第 2 刺激に対する陽性成分に対応する局所的な類似の 2 つの要因が考えられる。全体的類似に関しては被験者が採用している方略にかかわらず同じであり、局所的類似については方略が違っていると相関は低くなると予想できる。算出した相関係数は両方の類似を合わせた結果であると考えられ、被験者によりこれらの割合が異なるので個人差がみられたのであろう。また被験者によっては、教示した方略のとり方に困難を報告した場合や、刺激パターンのイメージにアクセントを付加した場合があり、これらも波形に影響を与えていると考えられる。特に後者の場合、SSL については / タタタタ /、LSS については / タタタタ / とアクセントがつけられ、アクセントだけに注目するとどちらの方略をとった場合も同じになる (被験者

Table 2 Correlation coefficients of each subject in parenthesis: grand average

	SSL	SSLN	LSS	LSSN
S	YO	<u>.94</u>	.84	.62
	KA	<u>.87</u>	.86	.84
	HA	<u>.80</u>	.49	.58
	TA	.86	<u>.93</u>	<u>.92</u>
	OK (AVE)	<u>.47 (.81)</u>	<u>.72 (.78)</u>	<u>.89 (.78)</u>
L	S	<u>.94</u>	.80	.60
	S	.87	.71	<u>.90</u>
	L	.80	.85	<u>.89</u>
	N	.86	<u>.88</u>	<u>.88</u>
		<u>.47 (.81)</u>	-.07 (.72)	<u>.37 (.76)</u>
S	L	<u>.84</u>	.80	.59
	L	<u>.86</u>	.71	.78
	S	.49	.85	<u>.95</u>
	S	<u>.93</u>	.88	<u>.93</u>
		<u>.72 (.78)</u>	-.07 (.72)	<u>.87 (.83)</u>
L	L	<u>.62</u>	.60	.59
	S	.84	<u>.90</u>	.78
	S	.58	.89	<u>.95</u>
	N	.92	.88	<u>.93</u>
		<u>.89 (.78)</u>	<u>.37 (.76)</u>	<u>.87 (.83)</u>

KA)。

b) 方略の違いが緩電位波形に及ぼす影響

被験者 YO は類似した実験を何度か経験しており、刺激パターンについても本実験のパターンと同じパターンに馴れているので、安定した方略を取っていると思われる。Fig. 4 の YO-OLD は本実験と同じセッティングで別の日に行った波形である。全体的な波形では違いがみられるものの、第 2 刺激に対する陽性成分と、対応する N の陽性変動については同じとみて良いであろう。そこでこの被験者について、100ms ずつずらしながら 200ms 区間での平均電位および直接回帰による傾きを算出した (Fig. 5)。LSS の電位が他の波形に比べて低いのは、EOG や皮膚電気反応などによるアーチファクトと思われる。共通している特徴は、SSL, LSS でみられる陽性成分に対応した N の陽性変動で、後者の方が変動時間が長いということである。区間の傾きでみると、陽性への復帰は N においてもほぼ同時期であるが、その後の陰性への再変動が SSL, LSS より緩やかであることがわかる。課題を遂行する立場からすると、第 2 刺激呈示が刺激パターンの単位時間を知る最初の

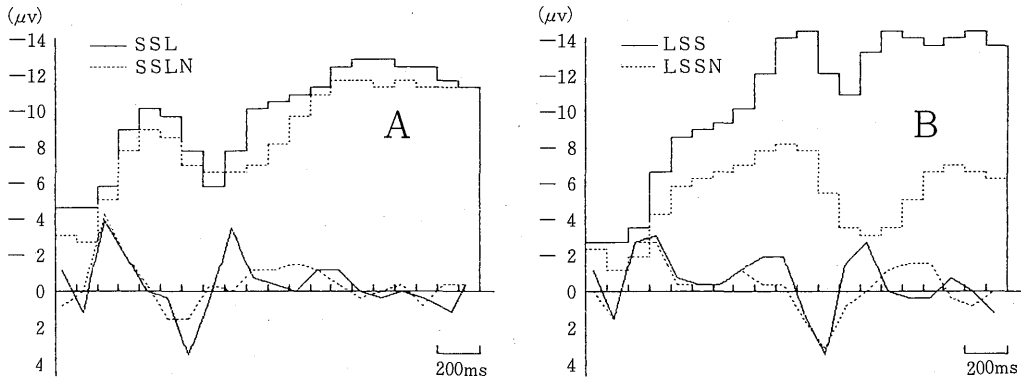


Fig. 5 Averaged amplitude (step) and gradient (line) in each 200 ms epoch (subject YO)

手がかりとなり、そこで得られた単位時間を外挿して反応時点を予測することになる。すなわち第1刺激から第2刺激までは単位時間を獲得する時期、第2刺激から運動反応までは予測された時点に向けて運動反応を準備する時期と考えられる。SSL, LSSでは第2刺激が呈示されるので、2つの時期の切り替え時点が安定しているが、Nでは切り替え時点に関しても頭の中でシミュレートしなければならない。この場合実際の切り替え時期に時間的な揺れが生じ、その反映としてNでの陽性変動が緩やかになるのであろう。

(5) 今後の展望

従来、被験者の個人差と考えられてきた緩電位の中期成分は、採用した反応方略と密接に関係していると考えられる。しかし今回の実験では個人差がかなり大きく、この仮説を検証するまでには至らなかった。原因の一つには、被験者が生理心理実験に慣れていなかったことが挙げられる。この慣れには、①実験設備・環境に対する一般的な慣れ、②刺激パターンに対する慣れの2段階があると考えられる。①はA型のCNV波形として、②は試行錯誤等により、採用している方略が安定しないことによる波形の不安定さとしてあらわれる。どちらも本実験に関しては結果の不安定要因となりうる。②の段階を過ぎると刺激の時系列パターンは記憶に固定され、外部刺激は手がかりそのものではなく、内部手がかり（記憶された時系列パターン）を確認するための信号となると考えられる。この段階で、安定した方略の制御が可能になるのではないだろうか。今後「慣れ」の過程

も含め、より安定した方略下における緩電位研究が必要であろう。

本実験のFpzについては、EOG, GSR等のアーチファクトにより安定した結果が得られなかった。前頭葉付近のCNV波形は他部位と形態的に異なるという報告(Weinberg, H. & Papakostopoulos, P., 1975)もあるので、今後の課題としたい。

緩電位波形と方略との関連を明らかにすることにより、「方略」というマクロな心理機能を詳細に検討する視点が得られるであろう。応用面については、課題に適した方略を検討することで、運動実技等の知覚運動学習事態における指導の一助となるであろう。そのためにも頭皮上緩電位と方略に関する基礎研究を続ける必要がある。

要 約

右ききの男性5名の頭皮上緩電位がCz, Fpzから記録された。継次的に呈示されるパターン終了と同時に運動反応がなされた。刺激間隔の異なる4つの音刺激からなる2種類のテンプレートパターンと、2つの音刺激からなるテストパターンが用いられた。1セッション中ではテンプレートパターンの1つとテストパターンが交互に呈示された。テストパターン下では、テンプレートパターンのイメージを用いて、刺激パターンの終了時点を予測しながら反応するように教示した。

テストパターン下の緩電位波形は、イメージしているテンプレートパターンで得られた波形と相似していた。3人の被験者において、テンプレ-

トパターンとテストパターン両方で、ピーク潜時の近い比較的高電位の陽性成分が出現した。緩電位は反応方略を反映すること、陽性成分は、単位時間の獲得時期と、運動準備の時期の交代する時点を反映することが、これらの結果から示唆された。

文 献

- 1) Järvilehto, T. & Fruhstorfer, H. Differentiation between slow cortical potentials associated with motor and mental acts in man. *Experimental Brain Research*, 11, 309-317, 1970
- 2) Klorman, R. & Bentsen, E. Effects of warning-signal duration on the early and late components of the contingent negative variation. *Biological Psychology*, 14, 451-455, 1975
- 3) 投石 保広・下河内 稔 随伴性陰性変動 (CNV) の後期成分と注意 日本心理学界第46回大会予稿集, 1982
- 4) 篠田 伸夫 ヴィジランス課題における頭皮上緩電位の時間的特性 筑波大学人間学類卒業論文, 1980
- 5) 篠田 伸夫・吉田 茂 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— 筑波大学体育科学系紀要, 10, 85-90, 1986
- 6) Tecce, J.J. Contingent negative variation (CNV) and psychological process in man. *Psychological Bulletin*, 77, 73-108, 1972
- 7) Walter, G.W. Slow Potential Waves in the Human Brain Associated with Expectancy, Attention and Decision. *Archiv für Psychiatrie und Zeitschrift f. d. ges. Neurologie*, 206, 309-322, 1964
- 8) Weinberg, H. & Papakostopoulos, P. The Frontal CNV: Its Dissimilarity to CNVs Recorded from Other Sites. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 39, 21-28, 1975