

脳波に対するストレス課題後の刺激の効果*

橋本圭子**

(平成9年10月31日 受理)

Effects of Stimulus after Psychological Stress on EEG

Keiko HASHIMOTO

This study examines effects of noise as a stimulus on EEG power spectrum, by controlling subjects' internal states prior to stimulus. Subjects were nine healthy college students of both sexes. They were asked to perform stressful task or rest with their eyes closed, before the stimulus. There were three conditions of the stimulus; loud noise, no loud noise, and absence of noise. From power spectrum data for EEG at O₁ and O₂, relative power was calculated for six bands respectively. The results showed that the same noise could have different effects on EEG, particularly on lower alpha band, depending on whether subjects' internal states are stressful or not. This tendency is common to O₁ and O₂. In spite of existence of noise, EEG alpha was not blocked, but increased in stressful condition.

Key words : EEG-alpha, relative power, stress, task performance, stimulus

1. はじめに

課題遂行に伴う EEG α 波の変化とその意味に関しては、筆者は先に認知課題遂行に関する最近の幾つかの研究から考察を行った¹⁾。そこでは、この問題は一次的な α 抑制効果と、課題遂行に伴う集中性の α 増加効果の2つの側面から理解されるべきことが提案されたが、一方、有機体の内的状況と外部刺激の関係が α 波活動に及ぼす効果について、問題が提起された。本論はこの問題について、ストレス課題と課題後の刺激を用いて実験的に検討しようとするものである。

刺激には、1つには我々の心身を活性化させる働きがあり、適度な刺激は心身機能の適切な準備状態を作り出す。が、それは適度なレベルを超えると、これらの機能を攪乱させるストレスとしての効果を持つ。このような効果は、刺激そのものの性質による部分もあるが、それを受け取る側の対処の仕方によるところも大きい。これは α 波の問題とも関係してくる。所謂 α -blocking 効果は、刺激による皮質の活性化とともに、一種の攪乱効果の要素があると考えられるが、一方、脳の感受性に適応した刺激は自発的律動(α 波)を促進する²⁾、外部刺激の存在(KR 信号)によって課題への動機づけ、主体的構えが却って強められる^{3~5)}、 α 波の変化の方向は先行する α レベルに依存する^{6~8)}、こと等も報告されている。刺激を受け取る側の内的状況、受け取る時の態勢が異なれば、その時刺激によっ

* 本研究の一部は、日本心理学会第61回大会(1997)において発表された。

** 心理学 講師

てもたらされる効果も変わってくるはずである。筆者が考えるように、脳の電氣的律動活動の中の α 波は人の心身の構えと関わる成分であるとするなら、恐らくこの様な外部刺激と内的態勢の関係はこの帯域の活動に反映されるであろう。実験では、被験者を心理生理学的に攪乱するようなストレス性の課題を用いることによって、刺激前の被験者の心的状態が統制された。

2. 研究方法

目的 外部からの刺激音は被験者の心理生理学的状態によってその効果が異なることを EEG において明らかにする。

被験者：本実験の参加への了解の得られたボランティアで、健康な大学生男女 9 人(男性 5 人,女性 4 人)、平均年齢 19 歳であった。

実験条件：統制された要因は、刺激音負荷前(前刺激期)のストレスの要因と、負荷される刺激の要因の 2 つである。ストレスの要因は、刺激負荷前に被験者が置かれた状況によるもので、ストレス条件と非ストレス条件の 2 水準がある。ストレス条件では、被験者は前刺激期に暗算課題、スピードを要する 2 桁の数の連続加算、を遂行しなければならない。非ストレス条件は、ストレス条件の対照条件としての役割を果たすもので、4 分間の前刺激期は閉眼安静とした。負荷刺激の要因は、刺激強度(音量)の違いによって 3 水準が設けられた。音刺激は無意味音として連続的なラジオのノイズを用い、条件Ⅰは被験者を強い刺激条件(約 82db)、条件Ⅱは弱い刺激条件(約 62db)の下に置き、条件Ⅲは無刺激とした。

測度：各条件中の EEG パワースペクトル、分時心拍数(HR)、暗算課題の成績である。

実験装置及び測定方法：EEG の記録には NEC 製 SYNAFIT EE2110 を、誘導には ELECTRO-CAP INTERNATIONAL,INC.のエレクトロキャップを用い、両耳朵基準の単極誘導とした。EEG は紙記録と同時に A/D 変換され、パーソナルコンピュータ上で FFT による周波数解析され(キッセイコムテック製解析ソフト Quick EEG 使用、サンプリング周波数 128Hz、1 回の分析区間 4 秒)、パワースペクトルが求められた。測定部位は、Fp₁、Fp₂、C₃、C₄、O₁、O₂、T₃、及び T₄ であるが、ここでは後頭部のデータを報告する。開眼基準期以外の実験条件中は閉眼とした。EEG と平行して、心電図が両手首内側の電極から、水平眼球運動が両眼誘導により記録された。測定室内には銅製の金網で囲った電氣的簡易シールドルーム(1.5m×1.5m×1.8m)が置かれ、被験者はこの中の椅子に腰掛けた。測定中は室内は薄明であった。

手順：実験は 2 回のセッションに分けて別の日に実施された。各セッションでは、電極等の装着後、閉眼、開眼の基準線の測定を行った。次に、4 分間の前刺激期と 2 分間の刺激負荷期の計 6 分間を 1 セットとして、これが 5 分間の休憩を挟んで刺激負荷条件を変えて 3 セット行われる。1 セッション内では、前刺激期はストレス条件か非ストレス条件のいずれかに固定しており、本実験では第 1 回はストレス条件で、第 2 回は非ストレス条件で行った。被験者は 2 回のセッションの両方或いはいずれか一方に参加し、両セッションとも 3 つの刺激負荷条件の順序は被験者毎に変更された。

3. 結果と考察

本実験で得られた測度のうち、EEG パワースペクトルと HR は、閉眼及び開眼基準期については2分間の、セッション中については、前刺激期は t_1 から t_4 の4区間、刺激負荷期は T1, T2 の2区間に分けて、各1分間の平均値が求められた。EEG はそれぞれの区間について、 δ (2-4Hz), θ (4-8Hz), α_s (8-10Hz), α_f (10-13Hz), β (10-30Hz) の各帯域の相対的なパワー（対象帯域のパワー/全帯域のパワー）が百分率として求められた。基準期の EEG に関しては、全ての被験者で閉眼基準期の α 波の出現率(8-13Hz)が開眼基準期のそれを上回っていた。一方、9名の被験者のうち2名は珠算経験者で、暗算課題に際しては算盤心像による遂行であった点で他の被験者とは等質とはみなされないため*、今回の分析からは除外した。

3.1 前刺激期の評価

心的状態の違いによる3種の刺激音の効果を比較する前に、前刺激期が想定されたストレス効果を持ち得たかどうかを確認しておく。暗算遂行期の HR 及び EEG データに関して4つの区間($t_1 \sim t_4$)についてそれぞれ7人の被験者による平均値を求め、これを閉眼基準期の値と比較した。その結果、暗算中には4分間を通して閉眼基準期よりも HR の上昇($p < .05$)が、そして EEG では、 O_1 , O_2 とも α 波(8-13Hz)の減少と β 波の増加が確認された(いずれも $p < .01$)。また、暗算中に上昇した HR は課題終了後には減少した($p < .01$)。一方非ストレス条件では、閉眼基準期と前刺激期の間で HR, β 波には差は全く見られず、 α 波には減少傾向が見られたものの有意な変化とはいえなかった。集中性 α 波の考え方に従えば、課題への集中に伴って α 波が増加し、逆に遂行が阻害されると β 波が増加することになるが、従って本実験の暗算中に得られた EEG データはスムーズな遂行には至らない状況を示すものといえよう。また α 波の減少は主に α_s 波に起因するものであった。これは集中性要因は低周波数 α との関係を示唆した筆者の過去の実験結果とも一致する⁹⁾。一方、2つのストレス条件の各々において、前刺激期は3セットの実施に対応して3回得られるが、どの測度においてもセット間で有意な差は見られなかった。従って、本実験の前刺激期には概ね想定された心理生理学的ストレス効果が得られたものと考えられる。また実際、実験終了後には被験者からも暗算中に焦りや緊張があったことが報告された。尚、非ストレス条件では α_s 波の減少傾向が見られたが、この時有意とは言えなかったが θ 波の増加傾向を伴っていた。この事は非ストレス条件の前刺激期は、どちらかといえば覚醒水準の低下に関連する状態であったことを示唆している。

3.2 ストレス条件の違いによる刺激音の効果

刺激負荷前のストレス条件の違いによる刺激音の効果は後頭部の α_s 波と β 波出現率の変動によく現れた。Fig.1 と 2 は、それぞれ O_1 の記録による α_s 波、 β 波の出現率について、3種の刺激の効果を2つのストレス条件で比較したものであり、被験者による平均出現率がプロットされている。ここでの前刺激期は t_4 で代表されており、従って、前刺激期、刺激負荷期の T1, T2 は全て1分間のデータを示すものとなる。 O_2 に関しても変動傾向と

* このことは、この2名の被験者が暗算中に顕著な眼球運動を示したことからも確認された。また彼らにおいては暗算中に α_s 出現率が高まる傾向も見られた。

しては同様の特徴が見られた。これらの傾向について詳しく分析すると次の通りとなった。

α s 波について見ると(Fig.1), 前刺激期には両ストレス条件とも、閉眼基準期よりも出現率が低下する。しかし刺激負荷期に関しては、ストレス条件では強弱の刺激及び無刺激条件ともに出現率の増加を示し、非ストレス条件では大きな変化がない。そして 2 つのストレス条件間の差は強刺激条件で最も大きくなっていることが分かる。3 種の刺激条件のそれぞれについて、この傾向を 2 種のストレス条件を被験者間要因、4 つの時期(閉眼、前刺激期、刺激負荷 T1, T2)を被験者内要因、被験者を繰り返して分散分析を行ったところ、時期の主効果が O_1 , O_2 共に 3 つの刺激条件全てにおいて、交互作用効果が強刺激条件の O_1 記録でそれぞれ有意となった($p < .05$)。時期の主効果に関しては、一般に閉眼基準期から前刺激期で α s 波が減少したことに起因するものであった。一方交互作用効果に関しては、下位検定の結果、ストレス条件の閉眼基準期 $>$ 前刺激期、前刺激期 $<$ 刺激負荷 T2 期、及び T2 におけるストレス条件 $>$ 非ストレス条件の関係が確認された(いずれも $p < .05$)。 α s 波が前刺激期には閉眼基準期を下回る効果は、特にストレス条件で強く、非ストレス条件では比較的弱いことは統計検定の結果からも確かめられるが、 α s 出現率で見ると、ストレス課題の有無自体の効果(即ち前刺激期の差)はそれほど明瞭とは言えない。ところが、この後の刺激負荷期には α s 波は 2 つのストレス条件で明らかに異なるふるまいを示す。この期間はどちらのストレス条件も外的には同じ刺激環境なので、この時 EEG に見られる差は前刺激期の違いによるものであろう。従ってこれらの結果から、同じ刺激音でもそれが負荷される時の心的状況(ストレスか否か)によって α s 出現率に異なる効果を及ぼすことが明らかになる。また、ストレス課題後に、快とは言えないような比較的強い刺激音の負荷で α s 波が顕著に増加したが、これはこの様なストレス下では、刺激の α 抑制効果が α 出現率に単純に加算さ

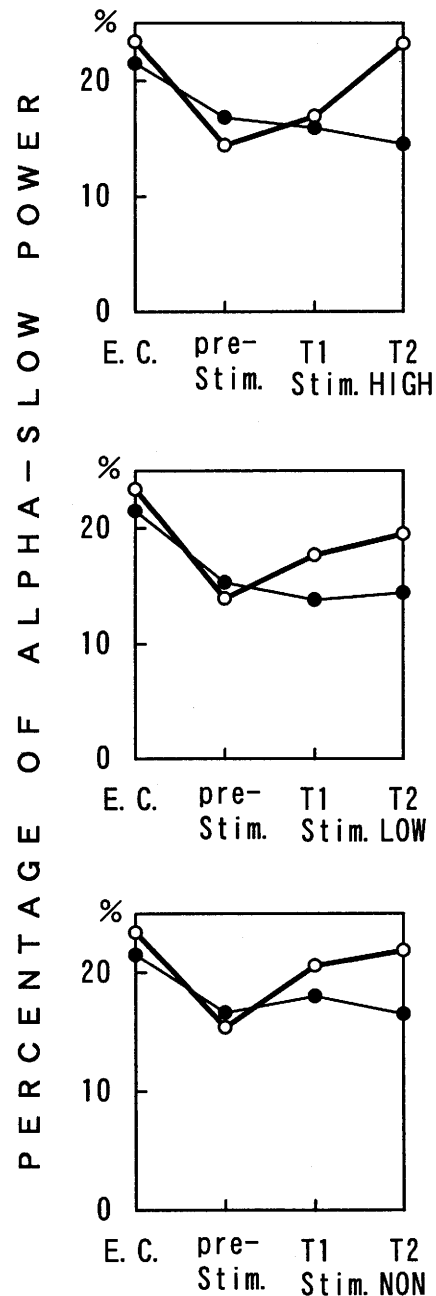


Fig.1 Change of relative power of alpha-slow. Comparison between stress and non-stress on three conditions of stimulus. Recording for O_1 .

—○— : stress condition
—●— : non-stress condition

れるものではないことを示している。この α s波の増加が慣れによる回復であるという可能性は、非ストレス条件で同じ刺激音でむしろ減少していることから、否定される。

一方 β 出現率は(Fig.2), ストレス課題中に増加するが、非ストレス下では増加しない。刺激負荷期には3種の刺激条件ともほぼ、ストレス条件では減少、非ストレス条件では増加と対照的な変動傾向を示し、互いに出現率が接近している。そしてこの接近の時期は、強刺激条件では比較的速く、無刺激条件では遅い。この傾向をやはり分散分析によって検定すると、時期の主効果が、 O_1 の記録では刺激条件IとIII, O_2 では刺激条件I, II, IIIで、交互作用効果が、 O_1 では刺激条件IとII, O_2 では刺激条件IIとIIIでそれぞれ有意となった($p < .05$)。時期の主効果は一般に、閉眼基準期<前刺激期, 閉眼基準期<刺激負荷期T1の関係に起因するものであった。一方交互作用効果は概ね、ストレス条件における閉眼基準期<前刺激期の関係、及び前刺激期に関してストレス条件>非ストレス条件の関係によるものであった。また、2つのストレス条件の各々について前刺激期から刺激期の β 出現率の変化を検討すると、時期による有意な効果が、ストレス条件については O_1 及び O_2 で($p < .05$), 非ストレス条件については O_2 で($p < .01$)検出された。これはストレス条件では刺激負荷による β 波の減少、非ストレス条件では増加によるものであった。この結果から、 α s波とは異なり、 β 波では前刺激期にストレス課題の効果が明瞭に現れたことが分かる。また一般に刺激によって皮質が活性化されると β 波が増加すると言われるが、非ストレス条件において刺激負荷期に β 波が増加する傾向を示したのは、このためであろう。同じ刺激はストレス条件においても与えられているので、刺激による β 増加効果はストレス条件にも働いているはずである。が、ストレス条件では刺激負荷によって β 波は増加せず、この期間に出現率が逆に低下した。これはストレス課題によって高まった β 波に対する、課題、即ちストレスの終了によ

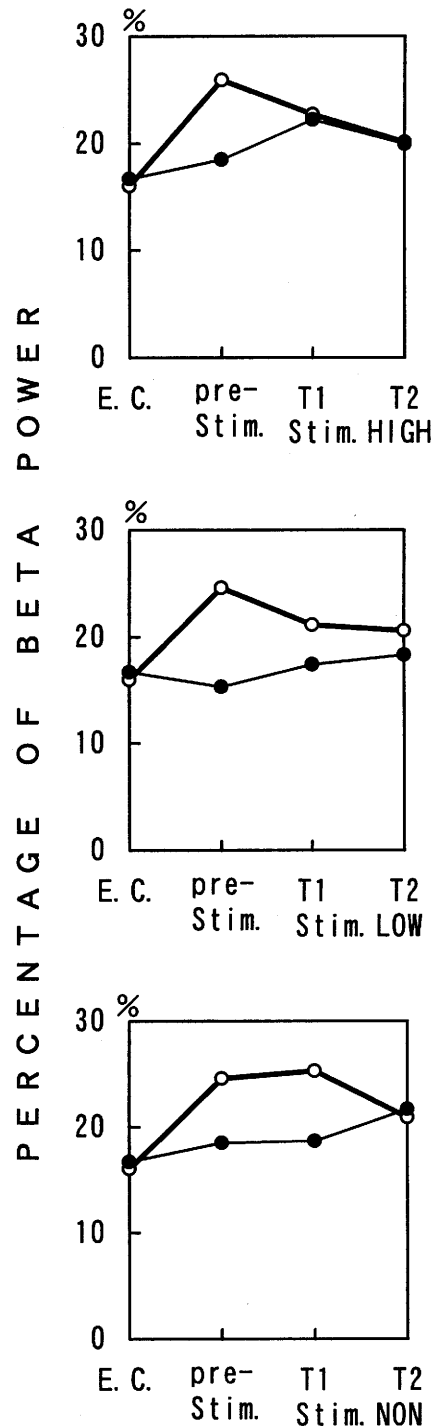


Fig.2 Change of relative power of beta. Comparison between stress and non-stress on three conditions of stimulus. Recording for O_1 .

—○— : stress condition
—●— : non-stress condition

る減少効果が初期には大きく現れたことによるものと考えられる。

3.3 刺激の差異による効果

今回用いた刺激条件は3種、強度の異なる2種の刺激と無刺激、であった。同じストレス条件内の3つの刺激条件間で刺激負荷の効果を比較すると、以下に述べるようにストレス条件における α s波の変化に対して、3種の刺激による効果の違いが示唆された。その他の測定では刺激条件の差は明瞭には現れなかった。

ストレス条件のO₁の α s出現率はFig.1中の太い実線によるグラフによって示される。3つの刺激条件で比較すると、既述のようにいずれも刺激期に出現率が増加するが、その増加パターンは刺激条件によっていくらか異なる様子が分かる。特に、条件I（強刺激）と条件III（無刺激）で、対照的な傾向を示し、条件Iでは、刺激期の後半の増加が大きく、しかも最終的に3条件中最も大きい出現率を示すのに対して、条件IIIでは逆に前半の増加の方が大きい。条件IIの増加パターンは両者のほぼ中間的傾向といえよう。このような傾向はO₁、O₂共に見られ、特にO₂において明瞭に見られたが(Fig.3 参照)、 α s出現率に関する分散分析の結果では、刺激条件×時期の交互作用効果はわずかに有意水準には至らなかった($p=0.0547$)。 α s出現率が刺激期前半では、強刺激<弱刺激<無刺激の関係になったが、これについては、強刺激負荷では前刺激期よりも α s波が増加しているとはいえ、3条件中最も低いレベルなので、3条件に共通するストレス課題遂行による α 抑制からの回復と、刺激条件の違いによる α 抑制の度合いの差が重なった結果と解釈できるかもしれない。しかし、刺激期後半には、強刺激>弱刺激>無刺激と、前半の関係が逆転していることは、 α 抑制以外の刺激の効果が働いている可能性を示唆するものである。もっとも、非ストレス条件において、刺激条件の違いがEEGに異なる効果を持ち得ることは確認できなかったので、今回用いた3種の刺激の差はそれほど明瞭なものではなかったと言わざるをえない。

以上に見てきたように、本実験の結果は、刺激前の心的状態によっては音刺激の存在にもかかわらず α 波、特に α s波は増加し得ることを示している。今回は、刺激前の心的状態に関しては暗算ストレス課題という α 抑制因が統制された。このようなストレス性の課題によって α 波が抑制され、この課題終了後に α 波が増加することは、それは α 抑制因の除去によって生じた一種の回復を示している（これはストレス条件・刺激条件IIIに現れている）。一方、強刺激として使用された、騒々しい、不快に近い音は、通常では α 波の出現を抑制し、脳波を速波化する効果をもつものである。従って、単純に考えるなら、課題後

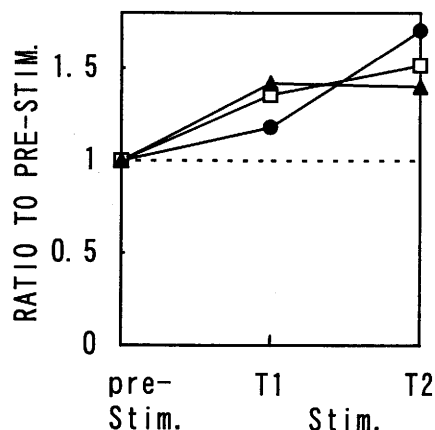


Fig.3 Changes of alpha-slow on three conditions of stimulus in stress condition. Recording for O₂. Each plot shows ratio to relative alpha-slow power in the period of pre-stimulus on the stimulus condition concerned.

—●— : high-stimulus condition
—□— : low-stimulus condition
—▲— : non-stimulus condition

にこのような刺激が与えられるならば、上記の回復は幾らか抑えられるはずである。しかし、それでもなお刺激負荷時に α 波が増加したということは、刺激音はそれが与えられる被験者の心的状態、態勢によっては α 抑制効果を持たない、更には抑制効果とは別の効果をも持ち得ることを示唆している。後者の効果については、筆者はストレスという攪乱状況に与えられた刺激は一種の構えを作る効果、有機体が活動の方向を見失った所に何らかの方向づけを行うことと関わるものではないかと考える。今回使用した強刺激音はこのような役割を果たした可能性があるが、この点は今後の課題となろう。

文献

- 1)橋本圭子 1996 課題遂行時の脳波活動に関する考察. 新潟工科大学紀要, 1, 57-63.
- 2)Basar,E., Basar-Eroglou,C., Rahn,E. & Schürmann,M. 1991 Synegetics of evoked alpha and theta rhythms in the brain : Topographic and modality-dependent aspects. In Haken, H. & Koepfen,H.P. (Eds.), *Rhythms in Physiological Systems*, Berlin : Springer-Verlag, pp.237-287.
- 3)Warn,J.S. & Jerison,H.J. 1984 The psychophysics of vigilance. In Warm,J.S.(Ed.) *Sustained attention in human performance*, New York : John Wiley & Sons, pp.15-59.
- 4)山岡哲雄, 橋本圭子 1989 課題遂行及び注意集中の生理心理学的研究Ⅱ. 金沢大学教育学部教育工学研究, 15, 13-27.
- 5)橋本圭子 1991 アルファ波フィードバックにおける“結果の知識”の学習性と集中性効果の比較. 心理学研究, 62, 180-186.
- 6)Orne,M.T. & Paskewitz,D.A. 1974 Aversive situational effects on alpha feedback training. In DiCara,L.V. et.al.(Eds.), *Biofeedback and self-control 1974*, Chicago: Aldine Publishing Company, 1975, pp.336-340.
- 7)Orne,M.T. & Wilson,S.K. 1983 On the nature of alpha feedback training. In Schwartz,G.E. & Shapiro,D.(Eds.), *Consciousness and self-regulation — advances in research and theory*, Vol.2, New York : Plenum Press, pp.359-400.
- 8)Salenius,S., Kajola,M., Thompson,W.L., Kosslyn,S., & Hari,R. 1995 Reacting of magnetic parieto-occipital alpha rhythm during visual imagery. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 95, 453-462.
- 9)橋本圭子 1996 課題遂行と α 波の変動性について(1) — α 周波数内の2つの帯域の比較 — . 日本心理学会第60回大会発表論文集, 立教大学, 456.