

脳波パワースペクトルの α 波ピーク周波数の 変位と心的負荷との関係

——心的負荷量の効果及び半球優位性について——

亭 阪 満 里 子

Effect of Mental Load on the Alpha Peak Frequency Shift in EEG Power Spectrum

——Task Difficulty and Cerebral Dominance——

OSAKA Mariko

心的負荷が脳波 (Electroencephalogram, EEG) に及ぼす効果については、ヒトの脳波の発見者である Berger が最初にその効果を指摘して以後約半世紀間、多数の研究者による実験報告がなされてきた。そして、その多くが、成人の安静時に代表的な脳波のリズムである α 波に関するものである。

心的負荷に伴う α 波変化については、 α 波振幅の減少 (Adrian and Matthews, 1934; Glass, 1966), α 波出現率の低下 (Lorens and Darrow, 1962), α 波パワーの低下 (Glass and Kwiatkowski, 1970; Dolce and Waldier, 1974; Kawabata, 1974; Goldstein, 1981) などが報告されている。

一方、心的負荷に伴う注意の増加に従って α 波の出現増加と振幅の増強を指摘する研究例もあり (Mulholland, 1972; Kreitman and shaw, 1965), また、 α 波は増強する時もあれば減衰する時もあると報告されているものもある (Creutzfeldt, et al, 1969)。

さて、臨床研究や知覚実験から、左右の大脳半球は機能的に異なる働きをすることが知られている。即ち、言語的情報は左半球で、非言語的情報は右半球で処理されると考えられている。そこで、脳波が、このような左右半球機能差を反映して、asymmetric な様相を示すのではないかという問が投げかけられてきた。

心的負荷による α 波の左右半球差については、言語的、数的課題処理時に左半球で α 波抑制が大きいたことが知られている (Morgan, et al, 1971; Butler and Glass, 1974)。また、左右半球の α 波パワーの比較により、言語的課題では左半球で、空間的課題では右半球でというように、課題に対応した半球において α 波パワーの抑制の強いことが多く報告されている (Galin and Ornstein, 1972; Stigsby, et al, 1977; Rebert and Low, 1978; Grabow, et al, 1979)。

以上概観したように、心的負荷による α 波変動に関する研究は、その多くが α 波振幅や α 波パワーを指標とするものである。しかしながら、 α 波周波数の変化については、Knott (1938), Hadley (1941) や Giannitrapan (1966) がいずれも視察分析により α 波周波数の上昇を観察

しているものの、研究例は少ない。

α 波周波数は、胎生期、乳児期を経て、次第に高くなり、12, 13才に至って成人とほぼ等しくなることが知られている (Lindsley, 1939)。また、知能レベルにより α 波周波数の差異がみられると報告されている (Knott, et al, 1942; Shagass, 1946) こと等を考えると、 α 波周波数が高次な精神機能と関連をもつことは十分に期待される。

筆者は、先の研究 (山本, 1975, 1976; 芋阪, 1979) において、心的負荷下の脳波のスペクトル分析を行なったところ、安静下に比較して暗算下では α 波ピーク周波数が平均 25Hz 高くなる結果を、前頭および後頭の正中線上で見い出した。しかし、大脳半球の機能差を考えると、更に、ピーク周波数変動の左右半球差を検討することが必要であろう (Osaka, 1981)。

本研究では、心的負荷の課題差 (言語的、非言語的) が左右それぞれの半球に於いて、 α 波ピーク周波数変位に及ぼす効果を検討する。また、さらに、心的負荷量が α 波ピーク周波数変位に及ぼす効果についても検討する。

実 験

目 的：

(1) 計算および空間課題が、左右半球の脳波パワースペクトルの α 波ピーク周波数変位に及ぼす効果を検討する。

(2) 心的負荷量 (課題の困難性) が、 α 波ピーク周波数変位に及ぼす効果を検討する。

方 法：

被験者

被験者は大学生及び大学院生で、男性 5 名、女性 5 名であり、全員が右利手であった。

脳波測定と分析

脳波は皿型電極を用いて、 O_1 (左後頭/LO), O_2 (右後頭/RO), F_3 (左前頭/LF) および F_4 (右前頭/RF) から導出した。基準電極はそれぞれの同側耳朶であり、電極間抵抗はいずれも 5 K Ω 以下であった。

脳波は時定数 (TC) 0.3 で増幅され (三栄測器, 1 A12), 磁気記録された (TEAC, R270A)。

脳波データは約 4 sec の分析区間 (1024 データを、4 msec 毎のサンプリングレイトに基づいてサンプルした) について、FFT 法により周波数分析が行なわれ、パワースペクトルが、0.2 5 Hz の分解能で求められた (三栄測器, ジグナルプロセッサ, 7 T 08)。パワースペクトルは、各条件各部位について 10 回求められ、加算された。

ピーク周波数は、10 回加算したパワースペクトルについて、 α 波帯域内で最大のパワー強度をもつ周波数とした。

手 続 き

被験者は、シールドルームで安楽椅子に座し、以下の 4 種類の課題条件および安静条件の間は、絶えず閉眼状態を維持した。

(1) Simple addition task; SA:

被験者は、実験者から指示された 1 ケタの数字から順次整数を加算した。

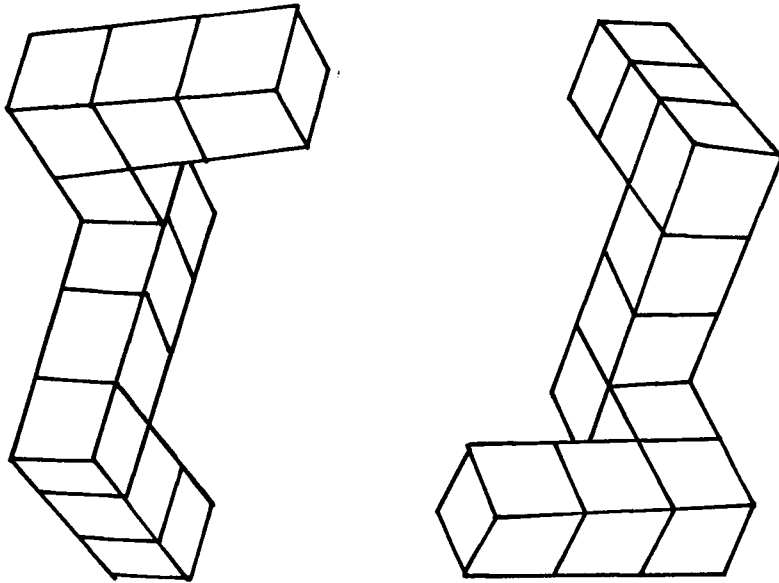


図1. 心像課題と心像回転課題で用いられた遠近画法的に作成された3次元図形（右図は左図を180°回転させたもの）。原典は Shepard & Metzler (1971) による。

(2) Complex addition task, CA:

被験者は、実験者から指示された1ケタの素数から順次素数のみを加算した。

(3) Visual imagery task, VI:

被験者は、試行開始前に30秒間提示された図形を、心像に描く。刺激に用いられた図形は Shepard and Metzler (1971) による、平面上に描かれた3次元図形である（図1参照）。3次元図形は、京都大学大型計算機センター内、グラフィックディスプレイ装置（F6233A）で作成された（宇阪, 1975）。

(4) Mental rotation task; MR:

被験者は、試行開始前に30秒間提示された図形を、前額平行面上で180°回転させ心像に描く（図1参照。例えば、左の図形は、右の図形を180°回転させたものである）。

(5) Resting, R:

被験者は、試行中安静にする。

以上の5条件はすべて2分間持続した。そして、試行SAとCAについては試行後、被験者は総計を尋ねられ、試行VIとMRについては、心像に描いた図形を紙に描くことを求められた。

試行間間隔は約3分間で、各試行順序は被験者によりランダムとした。

結 果

図2は、1名の被験者の左右前頭の脳波パワースペクトルである（各条件下とも、10回加算されたパワースペクトルを示す）。安静下においては、 α 波のピーク周波数は、左半球で9.25 Hz、右半球で9.0 Hzである。しかし、計算課題のSAでは、左半球で9.25 Hz、右半球で9.50 Hz

宇阪：脳波パワースペクトルの α 波ピーク周波数の変位と心的負荷との関係

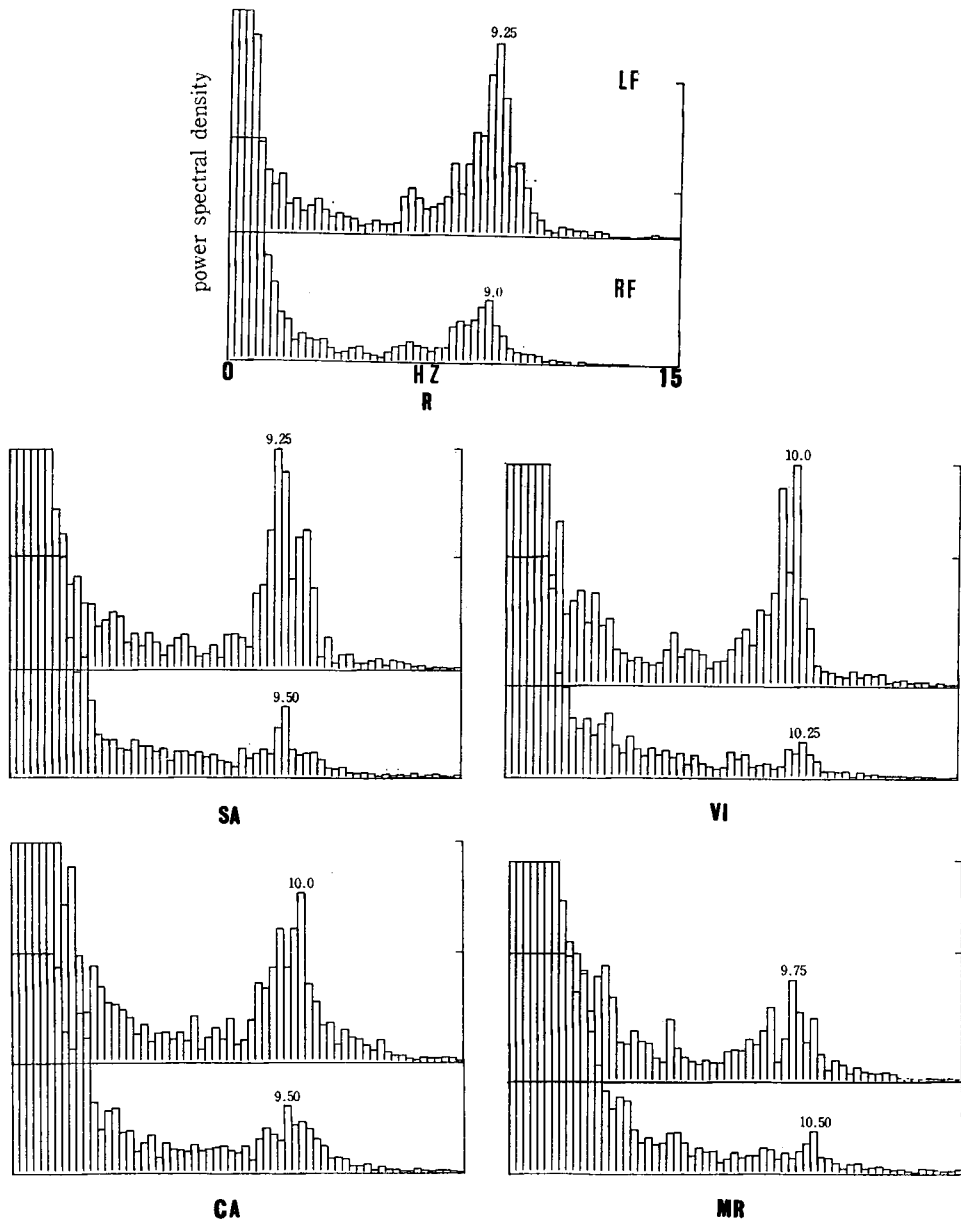


図2. 1名の被験者(YS)の各条件下のパワースペクトル。数値はピーク周波数の値。
各条件とも図の上段は左前頭、下段は右前頭。

となっている。さらに、複雑な計算課題のCAでは、左半球で10.0 Hz、右半球で9.50 Hz になっている。このように、ピーク周波数は、CAでは安静時と比較して、右半球では.5 Hz、左半球では.75 Hzの増加がみられている。

一方、空間課題のVIでは、左半球で10.0 Hz、右半球で10.25 Hzとなり、左半球で.75 Hz、右半球で.25 Hz ピーク周波数の変位がみられる。また、複雑な空間課題のMRでは、左半球

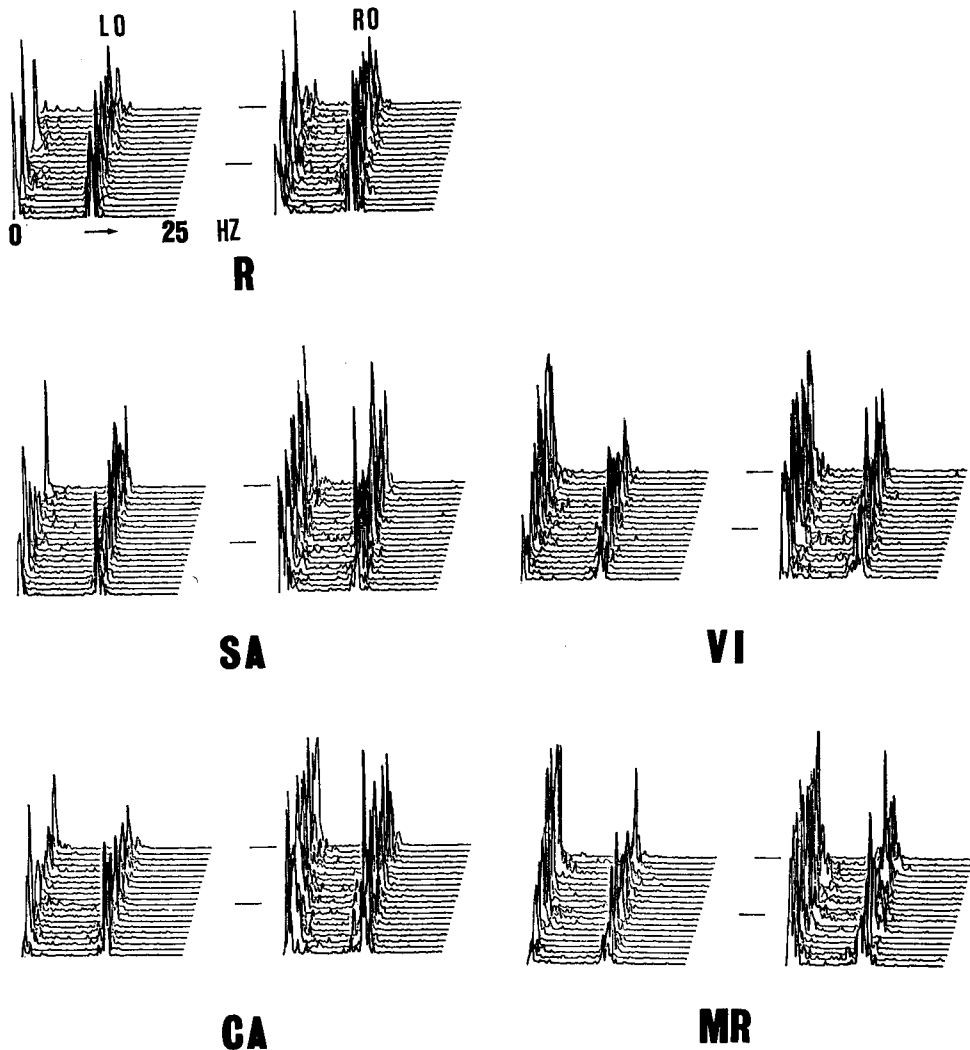


図3. パワースペクトルの時間推移（縦軸）。高さはパワー密度。横軸は周波数である。
各条件下とも左側が左後頭（LO），右側が右後頭（RO）である。1つのパワースペクトルが4秒間の区間から成り，全体で80秒間の推移を示す。

で 9.75 Hz，右半球で 10.50 Hz となっている。このように MR では，ピーク周波数が左半球で .5 Hz 右半球で 1.5 Hz の増加がみられた。

図3には，1名の被験者の80秒間のパワースペクトル・アレイを示す（縦軸は，時間推移を示す）。

R に比較して，CA，SA では左半球で α 波パワーの減衰が観察される。また，この傾向は，SA よりも，CA で一層著しい。

次に，図4には，10名の被験者のデータに基づく α 波ピーク周波数変位を示す。縦軸は，各条件下において安静時と比較してピーク周波数がどれ位変位したかその差を示している。図4か

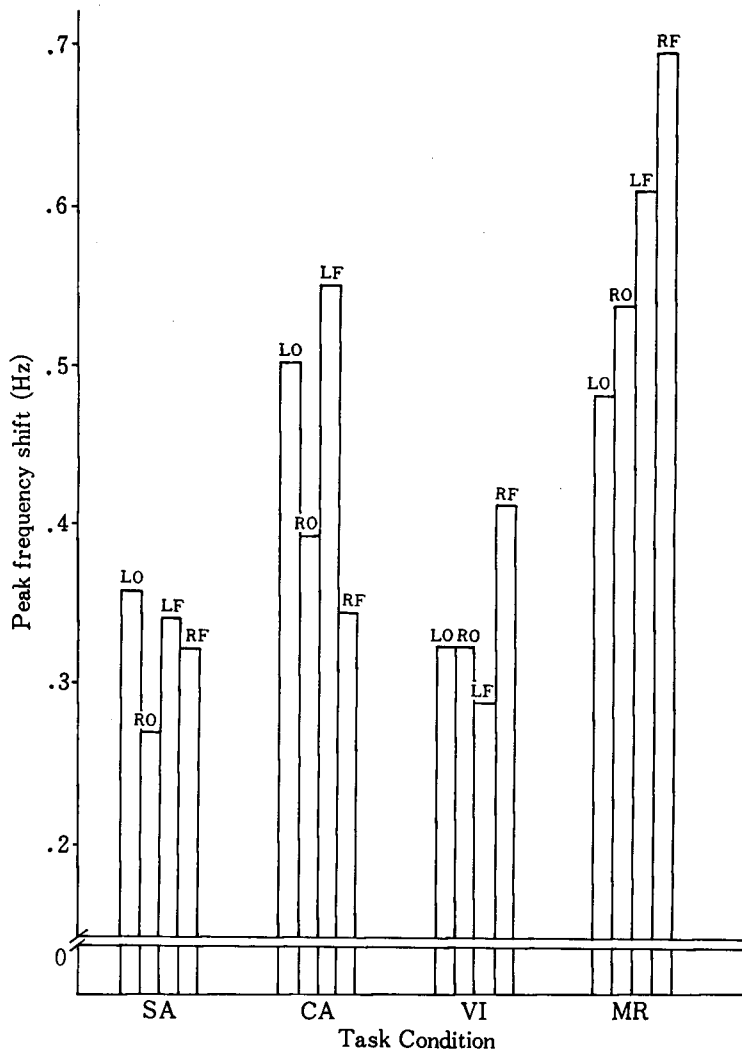


図4. α 波ピーク周波数の変位。縦軸は、安静時と比較した時の各条件下のピーク周波数の変位値を示す（被験者10名の平均値）。SA, 整数計算；CA, 素数計算；VI 心像；MR 心像回転

ら、①各条件ともR条件に比較して、 α 波ピーク周波数が増加しているのがわかる。②単純な計算および空間課題であるSA, VI に比較して、複雑な計算および空間課題のCA, MR ではピーク周波数変位が大きい様子がみられる。③SA, VI では、ピーク周波数の変位に左右半球差がほとんどみられない。これに対し、CA では、ピーク周波数変位が、前頭、後頭とも左半球において大きい (LF, $p < .01$; LO, $p < .01$; サイン検定)。特に前頭においては、被験者10名の全員が、25 Hz~1.75 Hz の顕著なピーク周波数変位を示した。一方、MR では、ピーク周波数変位は、全ての導出部位で大きくなる傾向がみられた (LF, $p < .05$; RF, $p < .01$; LO, $p < .05$; RO, $p < .01$; サイン検定)。しかし、CA とは逆に、前頭、後頭とも右半球でピーク周波数変位が大きく、特に、右前頭では平均 .7Hz の変位が認められる。

考 察

 α 波ピーク周波数

本実験結果から、 α 波ピーク周波数は、心的負荷の効果を受けて、高い周波数の側へ移行することが知られた。このピーク周波数変位は、前頭、後頭ともに左右両半球で観察された。従って、精神作業遂行による大脳の活性化は、或る程度皮質に全体的におよぶものと考えられよう。

さて、本研究では、 α 波ピーク周波数の変位が、.25 Hz から最大 1.75 Hz に及ぶものまでが観察されたが、このピーク周波数の変位の意味するところを考えてみたい。

先づ、ピーク周波数をパワーとの関係で考えてみる。図 5 にみられるように、 α 波成分の中でも、特に低周波成分の抑制が進むと（斜線部分）、ピーク周波数の値が、高い周波数の値へと変動することが考えられる。

低周波成分の抑制については、Glass and Kwiatkowski (1970) や、Kawabata (1974) の研究に報告されている。ただ、彼らの研究は周波数分解能が低く (2.5 Hz, Glass and Kwiatkowski; 0.5 Hz, Kawabata), それより微細な周波数変動は観察されない。しかし、Kawabata (1974) では、 α 波パワーの減少に従って α 波周波数の増加がみられたと報告されている。但し、両者の変化の間には若干の時間のズレが生じており、ピーク周波数の変動をパワーの変動では、必ずしも説明できるとはいい難い。本研究でも、図 3 のように、ピーク周波数の変位とともに α 波パワーの抑制が観察される例が多数生じた。しかしながら、ピーク周波数の変位にもかかわらず、パワーが逆に増加する例も幾例か生じた（特に VI 条件下でよく観察された）。このように、ピ

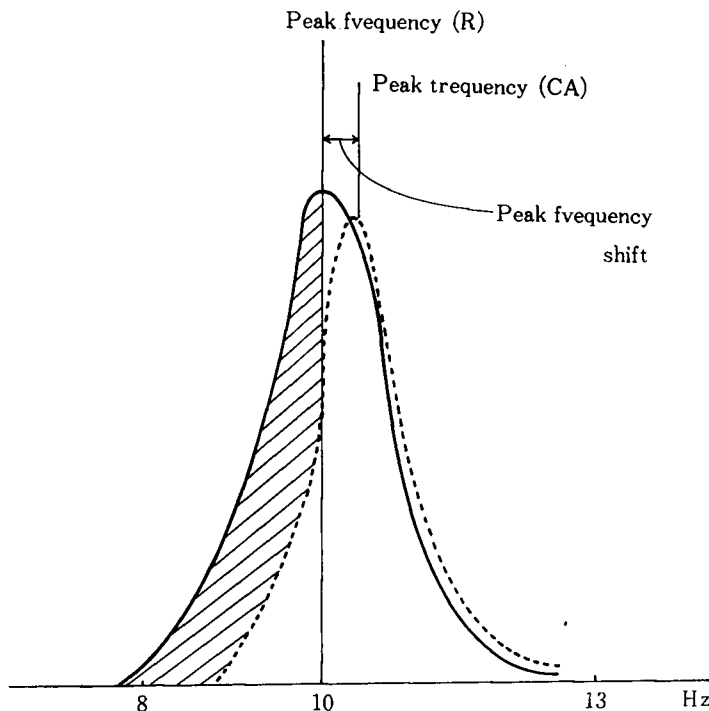


図 5. 安静時 (R; 実線) と素数計算 (CA; 破線) とのピーク周波数のモデル。
安静時のピーク周波数を 10Hz と仮定している。

ーク周波数の変位をパワー変動で説明することは、必ずしも容易であるとはいえない。

次に、ピーク周波数変位を、 α 波周期との関連で考えてみる。

ピーク周波数の .25 Hz~1.75 Hz の変化は、 α 波周期が、2.5 msec~17.5 msec 短縮することを意味する。この時間のズレが何を意味するのかは解釈困難なことであるが、大脳皮質の活性化に伴う α 波リズムのテンポが速くなったものと考えられないか。

Pfurtscheller (1977) は、視覚刺激と聴覚刺激を用いて、その感覚モダリティに対応した大脳領野で、局所的にピーク周波数の上昇を認めた。彼の報告にみられるように、刺激による興奮が、ピーク周波数の変位に効果を及ぼすことは十分に考えられることであり、本研究において、精神作業に伴う大脳の活性化が推察できるのではないだろうか。

また、 α 波の高周波成分については、知能との関連が幾つか報告されている（山本, 1978 Osaka, 1980）等、高次な精神機能と α 波との関係が示唆されるのではないだろうか。

心的負荷量について

ピーク周波数の変動は、SA よりも CA の方が、或いは VI よりも MR で大きい傾向がみられた。これは、ピーク周波数は、比較的複雑で困難な思考過程を要する場合に、より変動が大きくなることを示している。

Glass (1966) では、easy task と hard task との間で、 α 波抑制の差異を比較した。easy task は、4 より小さい数字の 2 桁と 1 桁の掛算、hard task は、6 より大きな数字の 2 桁と 1 桁の掛算であった。しかし、両者間で α 波抑制に差異は認められていない。

本研究では、CA では特に左半球が、また MR では左右半球ともに比較的增加が大きかった。計算課題では、SA では全体的に活性化し課題処理が行なわれたが、CA でより複雑な思考過程が必要となると左半球の活性化が著しくなったものと推定される。他方、空間課題では、VI において右前頭にピーク周波数の変化が大きい傾向がみられるのみであった。しかし、MR では、前頭、後頭ともに VI より相対的に変位の増加が顕著であった。MR における空間処理は右半球で主として行なわれることを予想していたのであるが、結果は、反対側半球でも比較的大きい変位がみられることとなった。これは、課題が一段と困難になり反対側の協調が必要となったためか、或いは、空間的位置変換処理には右半球のみならず左半球の協応が必要であったためかと解釈される。

この点、複雑な計算課題（CA）では左半球でのみ一層顕著な変位がみられたことを比較すると興味深い。

左右半球差について

計算課題では、課題が容易な場合には左右半球間でピーク周波数変位にほとんど差がみられなかったが、課題が複雑になると、左半球でピーク周波数変位が著しかった。これは、大脳の左半球において主に言語的、数的情報処理が行われると考える従来の研究結果と一致するものであり、ピーク周波数はその効果を受けて変化したものと考えられる。また、このピーク周波数変位の左半球優位性は、 α 波パワーを指標とした多くの研究例とも一致するものである。

一方、空間課題では、心像課題では、前頭右半球でピーク周波数の増加が目立った。また、心的回転課題では、左右半球とも、心像課題に比べてピーク周波数の変位が大きいが、計算課題とは逆に、前頭、後頭とも右半球の変位が左半球より大きくなっている。特に、前頭右半球では、

その傾向が著しい。この結果は、大脳右半球で、空間的情報処理が行われていると考える今までの研究報告を、或る程度支持するものと考えられよう。また、複雑な空間課題時には右半球で α パワーの減少が著しいとして空間処理の右半球優位性を支持する Rebert and Low (1978) や、Furst (1976), Galin and Ornstein (1972) とも一致する。

このように本研究で検討した α 波ピーク周波数変位は、従来の大脳半球優位性を反映して左右半球で異なる様相を示した。また、左右半球差は、課題の負荷量の増加とともに著しかったことから、大脳半球の機能分化は課題負荷の増加に従って明瞭になるものと推察される。また、空間課題では計算課題にみられる程、ピーク周波数変位の左右差が顕著でなく、機能分化の弱さがみられる。このような点から、大脳半球機能の分化の水準が、課題により異なることも考えられる。

一方、Galin et al (1978) は、困難な課題に対処する際に、脳波パワー変動の左右半球差にかなり個人差がある点を指摘している。また近年、課題負荷時の α 波左右半球差に利手の問題や性差の違いがあることなども報告されている (Flor-Henry, 1981)。

そこで、大脳半球機能の分化と、その α 波ピーク周波数変位への効果については、さらに、心的負荷量の段階とその個人差をも考慮して検討されることが必要であろうと考える。

註

- Adrian, E. D., & Matthews, B. H. C. 1934. The Berger rhythm: Potential changes from the occipital lobes in man. *Brain*, 57, 355-385.
- Butler, S. R., & Glass, A. 1974. Asymmetries in the electroencephalogram associated with cerebral dominance. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 36, 481-491.
- Creutzfeldt, O. D., Gruenewald, G., Siminiva, O., & Schmitz, H. 1969. Changes of the basic rhythms of the EEG during performance of mental and visuomotor tasks. In C. R. Evans & T. B. Mulholland (Eds.), *The concept of attention in neurophysiology*. Butterworth: Oxford, 148-168.
- Dolce, G., & Waldeier, H. 1974. Spectral and multivariate analysis of EEG changes during mental activity in man. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 36, 577-584.
- Flor-Henry, P., & Koles, Z. J. 1981. EEG characteristics of males and females, dextrals and sinistrals, during rest and cognitive activation. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 52, s92.
- Furst, C. J. 1976. EEG α asymmetry and visuospatial performance. *Nature*, 260, 254-255.
- Galin, D., & Ornstein, R. 1972. Lateral specialization of cognitive mode: An EEG study. *Psychophysiology*, 9, 412-418.
- Galin, D., Johnstone, J., & Herron, J. 1978. Effects of task difficulty on EEG measures of cerebral engagement. *Neuropsychologia*, 16, 461-472.
- Giannitrapani, D. 1966. Electroencephalographic differences between resting and mental multiplication. *Perceptual & Motor Skills*, 22, 399-405.
- Glass, A. 1966. Comparison of the effect of hard and easy mental arithmetic upon blocking of the occipital alpha rhythm. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18, 142-152.
- Glass, A., & Kwiatkowski, A. W. 1970. Power spectral density changes in the EEG during mental arithmetic and eye-opening. *Psychologische Forschung*, 33, 85-99.
- Goldstein, L. 1981. Amplitude analysis of the hemispheric EEG activity under verbal type and visual-musical type inputs in normal subjects. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 52, s145.
- Grabow, J. D., Aronson, A. E., Greene, K. L., & Offord, K. P. 1979. A comparison of EEG activity in the left and right cerebral hemispheres by power-spectrum analysis during language and non-

- language tasks. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 47, 460-472.
- Hadley, J. M. 1941. Some relationships between electrical signs of cerebral and peripheral activity. II. During mental work". *Journal of Experimental Psychology*, 28, 53-62.
- Kawabata, N. 1974. Dynamics of the electroencephalogram during performance of a mental task. *Kybernetik*, 15, 237-242.
- Knott, J. R. 1938. Brain potentials during silent and oral reading. *Journal of General psychology*. 18, 57-62.
- Knott, J. R., Friedman, H., & Bardsley, R. 1942. Some electroencephalographic correlates of intelligence in eight-year-old and twelve-year-old children. *Journal of Experimental Psychology*, 30, 380-391.
- Kreitman, N., & Shaw, J. C. 1965. Experimental enhancement of alpha activity. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 18, 147-155.
- Lindsley, D. B. 1939 A longitudinal study of the occipital alpha rhythm in normal Children : Frequency and amplitude standards. *Journal of Genetic Psychology*, 55, 197-213
- Lorens, S. A., & Darrow, C. W. 1962. Eye movements, GSR, and EKG during mental multiplication. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 14, 739-746.
- Morgan, A. H., McDonald, P. J., & MacDonald, H. 1971. Differences in bilateral alpha activity as a function of experimental task with a note on lateral eye movements and hypnotizability. *Neuropsychologia*, 9, 459-469.
- Mulholland, T. B. 1972. Occipital alpha revisited. revisited. *Psychological Bulletin*, 78, 176-182.
- Osaka, M., & Osaka, N. 1980. Human intelligence and power spectral analysis of visual evoked potentials. *Perceptual & Motor Skills*, 50, 192-194.
- Osaka, M. 1981. Peak frequency of alpha activity shifts during mental tasks: Hemispheric differences. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 52, s53.
- Pfurtscheller, G., Maresch, H., & Schuy, S. 1977. Inter- and intra-hemispheric differences in the peak frequency of rhythmic activity within the alpha band. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 42, 77-83.
- Rebert, C. S., & Law, D. W. 1978. Differential hemispheric activation during complex visuomotor performance. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 44, 724-734.
- Shagass, C. 1946. An attempt to correlate the occipital alpha frequency with performance on a mental ability test. *Journal of Experimental Psychology*, 36, 88-92.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. 1971. Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Stigsby, B., Risberg, J., & Ingvar, D. H. 1977. Electroencephalographic changes in the dominant hemisphere during memorizing and reasoning, *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 42, 665-675.
- 宇阪満里子 1979, 精神作業時の脳波のスペクトル分析, 心理学研究, 50, 45-48
- 宇阪 直行 1975, Computer-graphics による3次元図形の透視射影, 回転処理および関数, 乱数ベクトル列の発生. 関西心理学会第87回大会発表論文集. 14.
- 山本満里子 1975, 精神作業負荷条件下の脳波変化について. 日本心理学会第39回大会発表論文集, 65
- 山本満里子 1976, 精神作業負荷条件下の脳波変化について(2), 日本心理学会第40回大会発表論文集. 65-66
- 山本満里子 1978, 視覚誘発反応と知能との関係, 京都大学教育学部紀要. 24, 172-182.

(本学部助手)