プランニングにおける α 波パワーの 半球間非対称性：語想起と構成活動

北海道大学教育学部

恵羅修吉・池田一成・諸富 隆

EEG α -power hemispheric asymmetry associated with types of planning : Word retrieval and constructional activities

ERA, Shukichi, IKEDA, Kazunari, and MOROTOMI, Takashi

Faculty of Education, Hokkaido University,
Kita 11 Nishi 7, Kita-ku, Sapporo 060, Japan

Power-spectrum analysis was performed on the α activity of 8 right-handed subjects recorded under 3 conditions: (1) rest with eyes open (REST), (2) word retrieval task (Verbal Fluency test: VF), and (3) constructional tasks (Block Design test with the right hand: RB, with the left hand: LB). These tests were employed to assess frontal lobe functionings and planning abilities. α -power values in VF significantly reduced on Fp1 and C3 as compared with REST. However, no significant difference was found between REST and RB, nor between REST and LB. These results suggest that the left forebrain contributes to planning for word retrieval, and that the performance of Block Design test may require interhemispheric cooperation.

Key words: EEG, alpha power, planning, hemispheric asymmetry

【要 約】 右利き健常被験者 8 名を対象として、開眼安静 (REST)、語想起課題 (Verbal Fluency 検査: VF)、構成課題 (積木模様検査の右手による遂行: RB; 左手による遂行: LB) の各条件下における α 波パワー・スペクトラム分析を行った。両課題はともに前頭葉機能およびプランニング能力を検討するものである。結果は、Fp1 と C3 の両部位で REST と VF 間で α 波パワー値の有意な差が確認された。この結果は語想起のプランニングに左前頭領域が強く関与していることを示唆する。一方、RB と LB ではともに有意な半球間非対称性は認められなかった。このことは積木構成が通常両半球の協働により遂行されることを示唆すると考える。

心理機能の脳半球における側性化や半球内部での局在に関して、これまで多くの神経心理学的、生理心理学的研究が積み重ねられてきた。とくに脳波を利用した研究では、様々な言語課題あるいは空間課題を被験者に課し、各課題遂行中の α 波のパワー値や周波数変化の半球間非対称性や部位特異性に関して調べられている (Galin & Ornstein, 1972; Doyle, Ornstein, & Galin, 1974)。 α 波パワーを指標とした場合、一般的に、パワー値の減少はその部位の皮質活動の活性化を反映しているといわれている (Shagass, 1972)。

本研究では、臨床場面よく用いられる神経心理学的検査を被験者に課し、課題遂行中の脳波を計測し、課題の心的作業負荷に応じた α 波パワーの変化について検討した。課題として言語性と空間性の2種類のテストを設定し、課題による α 波パワーの半球間非対称性について注目した。

言語性課題として語想起検査 (Verbal Fluency 検査) を用いた。Verbal Fluency 検査は特定の範疇に所属する単語を制限時間内でできるだけ多く想起することを課題とする。特定の頭文字 (あるいは語頭音) で始まる単語リストの想起を求める場合と特定のカテゴリー (例えば「動物」や「野菜」など) に所属する項目リストの産出を求める場合の大きく分けて二つの施行方法がある。施行方法の違いによって適切な単語の効率的な再生方略、すなわち語彙検索プランニングが異なると考えられる。これまでに脳損傷者を対象とした神経心理学的研究において、左半球損傷者 (失語はない) は右半球損傷者に比して課題遂行成績が劣ることが報告されている (Borkowski, Benton, & Spreen, 1967; Perret, 1974; Miceli, Caltagirone, Gainotti, Masullo, & Silveri, 1981)。特に左前頭葉損傷者で課題遂行上の困難を示すこと、およびカテゴリー手がかりよりも語頭手がかりによる検査においてこの特徴が顕著に認められることが報告されている (Benton, 1968; Janowsky, Shimamura, Kritchewsky, & Squire, 1989)。それゆえ本実験で

は、半球間の左右差により敏感だと推定される語頭手がかりによって Verbal Fluency 検査を施行することにした。

空間性課題としては、WAIS および WISC 知能テストの下位検査である積木模様検査を用いた。積木模様検査は、手本図版を見ながら4個ないし9個の積木を組み合わせて、積木の上の面を手本図版と同じ模様にする課題である。神経心理学的研究より、通常、左半球損傷者に比べて右半球損傷者で遂行成績が悪いことが知られている (近藤, 1986)。課題遂行を困難にしている原因として、大きく分けて視知覚障害と構成活動にかかわる障害が考えられる。後者においては、構成手順に関するプランニング障害と実行にかかわる運動障害の2つの要因が推定される。Goodglass & Kaplan (1979) は、視知覚障害のない右前頭葉損傷者でかつ課題遂行を妨げるような運動機能の障害のない症例において構成活動の障害が認められたことを報告している。このことより本検査では、構成活動に関するプランニングが課題遂行に大きく影響すると考えられる。

以上のように本実験で用いる2つの課題では、脳損傷者を対象とした神経心理学的研究より、前頭領域が課題遂行に大きく関与していること、および前頭葉の役割として課題遂行にかかわるプランニング機能があることが示唆されている (近藤, 1989)。しかしながら脳損傷者において認められた損傷部位と障害された心理機能の関連は、健常者における脳領域と心理機能の関連と全くの裏返し関係にあるわけではない。なぜなら脳損傷者では損傷部位と繊維連絡のある脳領域が機能亢進したりあるいは逆に機能低下したりすることがあり、損傷部位以外の脳領域の活動が課題遂行に影響している可能性が否めないからである。それゆえ脳損傷者から得られた知見は常に健常者で確かめられる必要がある。

今回の実験で施行する検査を課題とした健常被験者による研究は、Verbal Fluency 検査におい

て positron emission tomography (PET) を用いた実験が報告されている。Parks, Loewenstein, Dodrill, Barker, Yoshii, Chang, Emran, Apicella, Sheramata, & Duara (1988) は、課題遂行中に前頭葉及び側頭葉において皮質活動が活性化することを示したが、左右差は認めていない。一方 Frith, Friston, Liddle, & Frackowiak (1991) は、左前頭前野において皮質活動の活性化を認めており、Parks らとは異なり左右差を示してゐる。以上のように PET による研究は脳損傷者から得られた課題遂行における前頭葉の関与という仮説を支持する結果を示しているが、半球間非対称性については一貫した結果が得られていない。積木模様検査については α 波パワーを指標とした実験が Amochaev & Salamy (1979) により報告されている。彼らは課題遂行中に左半球に比べて右半球で α 波パワーの減衰することを認めた。しかしながら彼らの実験は、安静時と課題遂行時の比較がなされておらず、被験者の遠心性活動すなわち構成に使用する手の統制もされていないという問題を有している。以上のようにどちらの課題においても、脳損傷者を対象とした研究に比べて健常者を対象とした研究は僅かしか報告されていない。しかも一貫した結果は得られておらず、未だ研究は不十分な状況にある。

われわれは、本実験において、健常者を対象として上記の 2 つの課題を施行し、それぞれの課題遂行中の脳波を計測し、 α 波パワー値の変化を電極部位ごとに比較検討することを目的とした。課題材料の違いによる左右差、とくに脳損傷者のデータから推察されたプランニングにかかわる前頭領域での半球間非対称性について注目した。被験者の遠心性活動について統制するために、言語性課題で筆記にかかわり右手を使用することに対応して、空間性課題では右手のみで課題遂行をする場合と左手のみで遂行する場合の 2 条件を設定し、使用する手による非対称性について検討した。

方 法

被験者

被験者は健康な成人男性 8 名 (21-24 歳) で、全員右手利きであった (利き手については本人の報告による)。各被験者に対して事前に実験の説明を行った。

課題条件

各被験者に対して以下の 4 条件を設定した。

- ①開眼安静条件：被験者に対して凝視点を固定視しながら呼吸を安静に保つよう教示した。1 試行 1 分間とし、計 3 試行を行った。
- ②言語課題条件：被験者に語頭音手がかりによる Verbal Fluency 検査を課した。刺激提示位置に平仮名 1 文字が記されたカードを提示し、被験者は提示された平仮名の音で始まる単語を 1 分間の制限時間内でできるだけ多く筆記した (書字は右手で行なう)。ただし地名や人名など固有名詞は筆記しないよう被験者に事前に注意をした。計 4 試行を行った。
- ③空間課題右手条件：被験者は WISC 及び WAIS 知能検査の動作性下位検査である積木模様検査を右手のみ用いて遂行した。積木 9 個で構成される手本図版 (WISC の 11 図版と WAIS の 8 ～ 10 図版) を提示し、実験者の合図で開始し、被験者による完成の合図で試行の終了とした。計 4 試行を行った。
- ④空間課題左手条件：③と同じ積木模様検査を左手のみ使用して遂行した。同じく全部で 4 試行を行った。

各条件の施行順序は開眼安静条件と各課題条件を交互に行った (Fig. 1 を参照)。被験者の半数で言語課題条件を先に、残り半数で空間課題条件を先に行いカウンターバランスをとった。空間課題の右手条件と左手条件の順序についても被験者間でカウンターバランスをとった。

手続き

照明された遮蔽室内に椅子と机を設置し、被験者は椅子に座った。机上には課題遂行範囲、凝視

Fig. 1 Sequence of the task conditions. Subjects received the rest condition (REST), Verbal Fluency test (VF), and Block Design test (RB: with the right hand, LB: with the left hand). The order of these tests and the order of RB and LB in Block Design test were counterbalanced across subjects.

点および刺激提示位置を設定した。課題遂行範囲は1辺16cmの正方形内とした。正方形内中央に十字の印を表示しこれを凝視点とした。刺激提示位置は正方形の上辺中点から1.5cm上の十字とした。机から被験者の顔までの距離はおよそ40cmであった。被験者に対して課題遂行中姿勢を一定に保つこと、またできるだけ手首から先だけ動かして課題を遂行することを要請した。特に空間課題条件では、見本図版に目を向けることを除いて、課題遂行範囲内に視線をとどめるよう教示した。

装置及び記録方法

日本電気三栄製多用途脳波計(1A94)を使用し、ペン描き記録と同時にオフライン処理のために磁気テープに記録した。解析には日本電気三栄製シグナルプロセッサ(7T18A)及びプログラム(STANDARD PACKAGE No. 200-A)を使用した。

測定にはAg-AgCl 皿電極を用いた。左右耳朶連結を基準電極とし、国際10-20法に基づき、12部位(Fp1, Fp2, F7, F8, C3, C4, T5, T6, O1, O2, Fz, Pz)より脳波を記録した。遮断周波数は低域で0.5Hz, 高域で60Hzに設定した。瞬目および眼球運動を監視するために左眼より眼球電図を併測した。

分析

脳波解析はオフラインで行った。シグナルプロセッサの設定を周波数分解能 0.5Hz, 掃引時間 2

秒とし、20回加算によって α 波周波数(8.0-12.0Hz)の帯域パワーを算出した。サンプリング区間は、各条件において試行間及び試行内でなるべく偏らないように実施した。ただし筋電位や眼球運動電位(瞬目電位を含む)のアーティファクトが認められた記録区間は厳密な視察判定により分析対象から除外した。

結 果

遂行成績

各課題条件で全ての被験者は健常レベルの遂行を示した。言語課題における被験者の1試行あたりの平均反応数は10.6項目であった。空間課題における被験者の1試行あたりの平均遂行時間は、右手条件では49s, 左手条件では50sであり、両条件間に有意な差はなかった($t(14)=0.10$, ns)。

脳波

Fig. 2は各電極部位における α 波パワーの被験者群内の中央値を各条件ごとに図示したものである。

各電極部位ごとに4条件間の比較をFriedman検定により行った。その結果、左右最前頭部(Fp1: $\chi^2 = 16.16$, $p < .001$; Fp2: $\chi^2 = 16.54$, $p < .001$)および左中心部(C3: $\chi^2 = 8.55$, $p < .05$)において有意な違いを認めた。また左前頭部において差がある傾向(F7: $\chi^2 = 6.19$, $.05 < p < .10$)を認めた。この他の電極部位では有意差を認めなかった。

上記の検定で有意差を生じた部位において、それぞれ開眼安静条件とその他の課題条件間の α 波パワー値の比較を行った。検定手法として符号付き順位と検定を用いた。検定の結果、左最前頭部及び左中心部において言語課題条件のパワー値が開眼安静条件よりも有意に低かった(Fp1: $T=3$, $p < .05$; C3: $T=3$, $p < .05$)。空間課題右手条件と左手条件はともにどの電極部位においても開眼安静条件との間に有意差を認めなかった。

Fig. 2 Median alpha values in each hemisphere during the rest condition (REST), Verbal Fluency test (VF), Block Design test with the right hand (RB), and Block Design test with the left hand (LB). The significant comparisons between active and rest sequences are represented by an asterisk (*).

考 察

本実験の結果における最も顕著な特徴は、開眼安静状態でのα波パワーを基準にして、言語課題である Verbal Fluency 検査の遂行時に左半球の前頭-中央領域においてα波パワーの減衰を認めたことである。一方空間課題である積木模様検査の遂行では、使用する手の左右にかかわらず、α波パワーの半球間非対称性を認めなかった。

Gevins ら (Gevins, Zeitlin, Doyle, Yingling, Schaffer, Callaway, & Yeager, 1979; Gevins, Doyle, Schaffer, Callaway, & Yeager, 1980) は課題による脳波の半球間非対称性の一要因を、課題遂行によって生じた被験者の遠心性活動に求めている。また Autret, Auvert, Laffont, & Larmande (1985) は、片手による運動や片側への凝視が反対側の半球におけるα波パワーを減衰させることを

示した。さらに De Toffol & Autret (1991) は片手を動かす純粹運動活動より、片側半球に特異的な神経心理学的課題と運動活動とを組み合わせた方が α 波パワーの半球間非対称性が明らかになることを示した。しかしながら、本研究では言語課題と空間課題右手条件で遂行に用いた手は同側であるが、言語性課題でみられた Fp1 および C3 における α 波パワーの減衰は空間課題右手条件では認められなかった。一方使用した手は異なるが空間課題右手条件と左手条件では α 波パワーの頭皮上分布が類似していた。このことより言語性課題での左半球における α 波パワー減衰は、被験者の遠心性活動すなわち右手の使用に起因するものではなく、課題にかかわる心的作業負荷を反映するものであると考える。

言語課題である Verbal Fluency 検査では、先述したように、課題遂行中に Fp1 および C3 において α 波パワーの有意な減衰を確認した。とくに Fp1 における α 波パワーの有意な減衰は、左前頭葉損傷者で Verbal Fluency 検査における語想起が著しく障害されるという神経心理学的研究 (Benton, 1968; Janowsky et al., 1989) の結果と対応するものである。また最近の PET による研究 (Frith et al., 1991) において、健常者を対象として本検査遂行時に左前頭前野で脳血流量が増大することが報告されており、この事実は本研究とともに健常脳における左前頭領域（とくに前頭前野）が単語検索過程に強く関与することを示唆するものである。C3 については右手使用という運動的側面を反映していると考えられる。なお Fp2 では 4 条件間で有意差を認めたが下位検定では有意差を認めなかった。しかしながら Fig. 2 をみる限り Fp1 と Fp2 の α 波パワーの課題間の差異は類似した傾向を示しており、このことより左前頭領域ほどではないが右前頭領域が課題遂行に関与している可能性が推察される。Parks らの PET による研究 (Parks et al., 1988) で課題遂行中に前頭領域で活性化が確認されたが左右差は認めなかった。

これらのことから、両半球の前頭領域が単語検索のプランニングにかかわるが、とくに左前頭領域の関与が重要であると考ええる。

空間課題である積木模様検査では、右手条件・左手条件ともに統計上有意味な α 波パワーの半球間非対称性を認めなかった。このことは積木構成が両半球の協働により遂行されることを示唆するものである。確かに積木構成障害は左片麻痺患者だけでなく、程度は低いにしても右片麻痺患者においても認められている (近藤, 1986)。さらに分離脳患者を対象とした研究において、積木模様の見本図版を再認するだけならば右視野あるいは左視野のいずれで刺激提示されても成績に差を示さないことが報告されている (LeDoux, Wilson, & Gazzaniga, 1977)。また積木構成には見本図版と構成中の積木との照合、個々の積木模様の心的回転を要すると考えられる。Ornstein, Johnstone, Herron, & Swencionis (1980) は、 α 波パワーを指標として、図の全体と部分を照合するときには右半球の関与が大きく、心的回転には左半球が大きく関与することを示した。このことより両半球がともに課題遂行に関与した結果、 α 波パワーの半球間非対称性が生じなかったと推測する。

ところで Fig. 2 に明らかなように最前頭部 (Fp1, Fp2) において右手条件・左手条件ともに α 波パワーが高い傾向がみられた。下位検定で有意ではないが、右手条件・左手条件ともに被験者 8 名中 7 名で α 波パワー値が開眼安静条件より増大した。この結果は、被験者が見本図版を参照しながら積木構成したので、微少な眼球運動が最前頭部のパワー値に重畳した可能性を示すものかもしれない。

以上のように健常者を対象とした本実験において、脳損傷者のデータから推察された前頭領域の関与は言語性課題である Verbal Fluency 検査では認められたが、空間性課題である積木模様検査では認められなかった。前者は語彙検索プランニングに両半球の前頭葉、とくに左前頭葉が関与して

いる可能性を示唆するものである。後者については両半球がともに課題遂行に関与しているが、左右半球がそれぞれ異なる役割を担っている可能性があり、この点に関しては今後さらに検討することが必要であると考ええる。

引用文献

- Amochaev, A., and Salamy, A. 1979 Stability of EEG laterality effects. *Psychophysiology*, 16, 242-246.
- Autret, A., Auvert, L., Laffont, F., and Larmande, P. 1985 Electroencephalographic spectral power and lateralized motor activities. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 60, 228-236.
- Benton, A. L. 1968 Differential behavioral effects in frontal lobe disease. *Neuropsychologia*, 6, 53-60.
- Borkowski, J. G., Benton, A. L., and Spreen, O. 1967 Word fluency and brain damage. *Neuropsychologia*, 5, 135-140.
- Doyle, J. C., Ornstein, R., and Galin, D. 1974 Lateral specialization of cognitive mode: II. EEG frequency analysis. *Psychophysiology*, 11, 567-578.
- Frith, C. D., Friston, K. J., Liddle, P. F., and Frackowiak, R. S. J. 1991 A PET study of word finding. *Neuropsychologia*, 29, 1137-1148.
- Galin, D., and Ornstein, R. 1972 Lateral specialization of cognitive mode: an EEG study. *Psychophysiology*, 9, 412-418.
- Gevins, A. S., Zeitlin, G. M., Doyle, J. C., Yingling, C. D., Schaffer, R. E., Callaway, E., and Yeager, C. L. 1979 Electroencephalogram correlates of higher cortical functions. *Science*, 203, 665-668.
- Gevins, A. S., Doyle, J. C., Schaffer, R. E., Callaway, E., and Yeager, C. L. 1980 Lateralized cognitive processes and the electroencephalogram. *Science*, 207, 1006-1007.
- Goodglass, H., and Kaplan, E. 1979 Assessment cognitive deficit in the brain-injured patient. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *Handbook of Behavioral Neurobiology*. Vol. 2. *Neuropsychology*. New York: Plenum Press. Pp. 3-22.
- Janowsky, J. S., Shimamura, A. P., Kritchevsky, M., and Squire, L. R. 1989 Cognitive impairment following frontal lobe damage and its relevance to human amnesia. *Behav. Neurosci.*, 103, 548-560.
- 近藤文里 1986 脳血管障害患者の構成活動に関する研究 心理学研究, 56, 342-348.
- 近藤文里 1989 プランする子ども 青木書店.
- LeDoux, J. E., Wilson, D. H., and Gazzaniga, M. S. 1977 Manipulo-spatial aspects of cerebral lateralization: Clues to the origin of lateralization. *Neuropsychologia*, 15, 743-750.
- Miceli, G., Caltagirone, C., Gainotti, G., Masullo, C., and Silveri, M. C. 1981 Neuropsychological correlates of localized cerebral lesions in non-aphasic brain-damaged patients. *J. Clin. Neuropsychol.*, 3, 53-63.
- Ornstein, R., Johnstone, J., Herron, J., and Swencionis, C. 1980 Differential right hemisphere engagement in visuospatial tasks. *Neuropsychologia*, 18, 49-64.
- Parks, R. W., Loewenstein, D. A., Dodrill, K. L., Barker, W. W., Yoshii, F., Chang, J. Y., Emran, A., Apicella, A., Sheramata, W. A., and Duara, R. 1988 Cerebral metabolic effects of a verbal fluency test: a PET scan study. *J. Clin. Exp. Neuropsychol.*, 10, 565-575.
- Perret, E. 1974 The left frontal lobe of man and the suppression of habitual responses in

- verbal categorical behaviour. *Neuropsychologia*, 12, 323—330.
- Shagass, C. 1972 Electrical activity of the brain. In N. S. Greenfield and R. H. Sternbach (Eds.), *Handbook of Psychophysiology*. New York: Holt, Rinehart and Winston. Pp. 263—328.
- De Toffol, B., and Autret, A. 1991 Influence of lateralized neuropsychological activities with and without sensorimotor components on EEG spectral power (α -rhythm). *Int. J. Psychophysiol.*, 11, 109—114.