

バイスペクトルによる α 波波形の解析*

館 暉**・高 谷 治***

1. 緒 言

バイスペクトル分析によれば、スペクトル分析では見失われる信号の各周波数成分相互の位相関係を推定しうる。これを利用することにより信号の波形の規則性の有無を調べ、規則性がある場合にはその平均的な形を推定しうる。このことを人間の頭皮上よりの導出脳波、特にその α 波成分について適用し、その応用を開発しようと試みた。既に知られるごとく覚醒・閉眼安静時の正常な成人の後頭部や頭頂部から導出した脳波は α 律動を示し約 10 Hz の規則的な波である。これに約 20 Hz の β 波帯にある成分が加わって α 波の波形を形作っていると考えられる。G. Dumermuth¹⁾は、 α 波中に β_1 成分や β_2 成分が特に顕著にみられる双生児の小児の特殊な2例について、双極導出した脳波を調べ、 α 成分と β_1 成分、 β_2 成分間の phase-lock を報告している。本研究においては、正常成人の後頭部の左右の対称部位から単極導出した脳波記録のうち、典型的な α 波がはたして一定の波形成分の和として定常的に認めうるものかどうか、また α 波形を形成する α 成分と β 成分との位相関係はいかなるものかをバイスペクトル分析により観察した結果、 α 活動を示す部分のバイスペクトルは、約 30 分内の記録のどの部分においてもほぼ一定の α 成分と β 成分相互の位相関係を保ち、それが左右の記録で同一の値になっていること、その左右対称性が偏頭痛時にくずれ、左右差が生じる事実を統計的に明らかにすることができた。この現象の意味についても考察を加える。

2. バイスペクトル分析

2.1 バイスペクトル

ある長さの範囲で定常とみなせる信号 $x(t)$ のスペクトル密度は、定常とみなせる時間内の信号 $x_i(t)$ をフーリエ変換した $X_i(\omega)$ に、その複素共役量 $X_i^*(\omega)$ を掛けた $X_i(\omega)X_i^*(\omega)$ を求め、同一の状態記録し

たすべての $x_i(t)$ から作った $X_i(\omega)X_i^*(\omega)$ の平均値として求められる。

$$p(\omega)d\omega = \langle X_i(\omega)X_i^*(\omega) \rangle \quad (1)$$

バイスペクトル密度は、信号のフーリエ変換 $X_i(\omega)$ のうち、ある関係にある三つを掛け合わせて、スペクトルと同じように同一の母集団からの実現値を集合平均して求められる。スペクトルにおいては、独立な周波数は一つで、ある ω_0 でのスペクトル密度は $\langle X_i(\omega_0)X_i^*(\omega_0) \rangle$ として求めた。バイスペクトルでは独立な周波数は ω_1 と ω_2 の二つで、3 番目の周波数は $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ にとって、その周波数の成分は、共役にして ω_1, ω_2 での成分と掛け合わせ集合平均する。つまり、

$$b(\omega_1, \omega_2)d\omega_2 = \langle X_i(\omega_1)X_i(\omega_2)X_i^*(\omega_1 + \omega_2) \rangle \quad (2)$$

と定義できる†。

この量は信号の周波数成分間、特に調和関係にある成分の間にある関係についての情報を伝えている。

平均値 0 のガウス性不規則雑音については、その周波数成分がすべて独立であるため、バイスペクトルは 0 になる。一方、周期信号

$$s(t) = \sum_{n=1}^N A_n \cos(n\omega_0 t - \varphi_n) \quad (3)$$

は、 ω_0 を単位とした格子点上に δ 関数で表わされるバイスペクトルのピークを持つ。

$$b(\omega_1, \omega_2) = \sum_l \sum_m A_l A_m A_{l+m} \exp\{-j(\varphi_l + \varphi_m - \varphi_{l+m})\} \delta(\omega_1 - l\omega_0) \delta(\omega_2 - m\omega_0) \quad (4)$$

これらの振幅項 $A_l A_m A_{l+m}$ と位相項 $-\varphi_l - \varphi_m + \varphi_{l+m}$

† 厳密には、定常確率過程 $x(t)$ を

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega t} dZ(\omega)$$

と表わす。 $dZ(\omega)$ を使ってスペクトル密度は、 $f(\omega)d\omega = \langle dZ(\omega)dZ(-\omega) \rangle$

バイスペクトル密度は、

$$b(\omega_1, \omega_2)d\omega^2 = \langle dZ(\omega_1)dZ(\omega_2)dZ(\omega_3) \rangle$$

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 = 0$$

と定義される。

有限時間で切ってフーリエ変換した場合には、その信号が無限に続いていたときのフーリエ変換と、有限時間の観測の窓のフーリエ変換との畳み込み積分になっている。

* 昭和 47 年 12 月 6 日原稿受付、昭和 48 年 5 月 21 日改訂

** 東京大学工学部計数工学科

*** 国立がんセンター病院

を、各 l, m について求める。スペクトル密度から求めた \hat{A}_1 を利用して、 $\hat{\phi}_1=0$ とおくことにより、ガウス性不規則雑音に埋もれた周期信号の原波形を再生しうる²⁾。

脳波は式(3)で与えられるような完全な意味での複合周期波ではない。しかし、成人閉眼安静時の後頭部、頭頂部より導出した脳波波形は 9~11 Hz の規則的なα律動を示すことが多く、そのα波の形は人により異なるが、一人の個人についてみれば、たとえば上に尖っているとか下に尖っているという具合に、全体としてみた場合ある平均的な形を持っているように見える。

α波の波形が規則的にみえるということは、α波帯の周波数を基本波としたとき、その高調波にあたるβ成分がβ波帯の中に含まれているということを示唆している。それにα波と関係を持たないβ波帯の成分や、他の周波数成分が加わることにより波の形が不規則になっていると推測される。バイスペクトル分析を利用することにより、α波に平均的にみて一定した形があるかどうかということを統計的に定めることができる。

2.2 計算手続

スペクトルが相関関数のフーリエ変換として求められると同様に、バイスペクトルは、三次相関関数をフーリエ変換して得ることもできる。しかし、その方法は龐大な計算時間を要する。高速フーリエ変換の利用と計算機の高速度・大型化がバイスペクトル分析を割合手軽に利用できる技術にしたといえよう。ここでは式(2)に基づき高速フーリエ変換を利用してバイスペクトル密度を推定する方式を説明する。

定常と考えられる連続した記録をサンプリングして長さ $N=2^n$ 個の離散データを得る (n は $n \geq 3$ の整数)。同じ状態とみなせる記録をサンプリングして長さ N のデータを K 個用意する。サンプリング周波数 f_0 (サンプル数/s) は必要とするスペクトルの幅を Δ_0 として $N \geq f_0/\Delta_0$ となるように定める。そのとき、最大 $f_0/2$ までがサンプリング定理で保証される有効な周波数である。次の手順の 1) から 5) を K 個のデータのおのおのに対して行なう。データを X_0, X_1, \dots, X_{N-1} とする。

- 1) 平均値の除去等の前処理。
- 2) スペクトルの他の周波数帯域への漏れを減らすために観測の窓をかける (tapering)。
- 3) 高速フーリエ変換を行なう。

$$Y_q = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} X_t e^{-2\pi j(qt/N)}, \quad 0 \leq q \leq \frac{N}{2}$$

- 4) スペクトル密度を推定する。

$$\hat{p}_j(f) \Delta_0 = |Y_q|^2$$

- 5) $(f_1, f_2) = (q_1 \cdot f_0/N, q_2 \cdot f_0/N)$ の点でバイスペクトル密度を推定する。

$$\hat{b}_j(f_1, f_2) \Delta_0^2 = Y_{q_1} Y_{q_2} Y_{q_1+q_2}^*$$

- 6) K 回の記録について平均する。

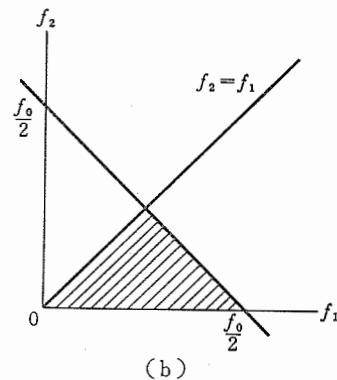
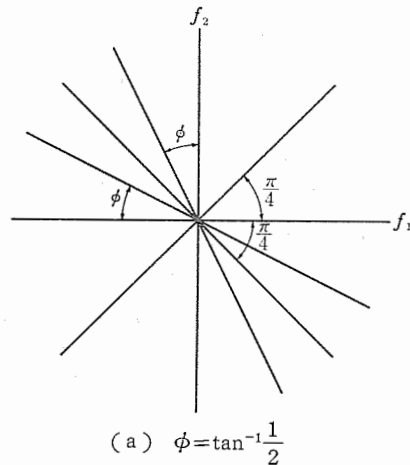
$$\hat{p}(f) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \hat{p}_j(f)$$

$$\hat{b}(f_1, f_2) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \hat{b}_j(f_1, f_2)$$

- 7) バイコヒーレンスを推定する。

$$b_{ic}(f_1, f_2) = \frac{\hat{b}(f_1, f_2)}{\sqrt{\hat{p}(f_1) \hat{p}(f_2) \hat{p}(f_1+f_2)}}$$

バイスペクトルの対称性から、バイスペクトルは周波数 f_1 と周波数 f_2 の平面上で、第1図(a)に示す12の領域のうちのどれかひとつの領域で求めればよいことが知られている³⁾。さらに、サンプリング定理から、サンプリング周波数の1/2より大きい周波数の領域は推定しても無意味であるので、結局 $0 \leq f_2 \leq f_1$, $f_1+f_2 \leq (f_0/2)$ の部分で推定すれば十分である。第1



第1図 バイスペクトルの推定領域

Fig. 1 (a) The bispectrum $b(f_1, f_2)$ is completely specified by its values in any one of the twelve sectors.

(b) The oblique lines indicate the area where the bispectrum is estimated when the sampling theorem is taken into account.

図 (b) の斜線の領域がバイスペクトルを推定する周波数 f_1, f_2 の範囲を示している。計算時間は、たとえば $N=64, K=20$ で HITAC 5020 では約 15 秒、FACOM 230-25 で約 100 秒である。

2.3 実験方法

覚醒・閉眼安静時に成人の後頭部 (国際式 10~20 電極法の O_1, O_2)・頭頂部 (P_3, P_4), 中心領 (C_3, C_4) の左右対称部位での頭皮上脳波を、三栄測器製脳波計 1A 12-14 により単極導出 (他端は連結した耳殻) したものを 4 チャンネル同時に TEAC データレコーダ R400 にて録音する。データを AD 変換して 2 チャンネルごと 1 本の紙テープに変換後、FACOM 230-25 にてバイスペクトル分析を行なう。サンプリング周波数は 128 Hz および 64 Hz とした (64 Hz でサンプリングするときは 128 Hz での結果から 32 Hz 以上にはパワーがほとんどないことを確かめ、必要の場合にはエイリアシングを避けるため高周波を除去した)。データとしては、紙記録上で顕著に典型的な α 活動を示す部分のみを利用する。1 回の分析は連続する 8 秒間の記録を 8 分割して行なっている。前述の記号でいえば、 $f_0=64, N=64, K=8$ としている。なお、データは国立がんセンター病院生理検査室の脳波検査室にて採取した。著者ら自身、検査室職員とその関係者、ならびに、がんセンター外来、入院の患者を被験者としている。

3. 実験 I 正常成人の α 波の形

覚醒・閉眼安静時の後頭部より導出される約 9~11 Hz の規則的な波は α 波として知られる。この α 波は完全な正弦波状ではなく、歪んだ形をしている。その形は一つずつは一見不規則ではあるが全体として見ると下に尖っているとか上に尖っているとかいった一定の形を持つように見える。はたして一定した形があるのであろうか。バイスペクトル分析は、このような問題に答えることができる。

α 波がある定まった形を平均的に持つということは、 α 波の形を形成している成分に約 10 Hz の α 帯域の成分があって、その高調波が約 20 Hz さらには約 30 Hz の β 帯域に存在して、その α 成分と β 成分との間に平均として、ある一定の振幅関係および位相関係が存するということである。バイスペクトルは、調和関係にある周波数成分間に一定の位相関係が存するときピークをなす。そのピークがランダムな成分の 0 からのばらつきに対して有意であれば、そこでの固定した位相関係がいえ、さらにピークの大きさからスペクトルを併用することにより振幅関係が推定される。ここでは α 波の基本周波数成分 (α 成分と呼ぶ) と 2 倍

高調波成分 (β 成分と呼ぶ) との関係について調べる。そのため、周波数が $f_1 \doteq 10$ Hz, $f_2 \doteq 10$ Hz のバイスペクトルを利用する。

3.1 8 秒間内での波形の一定性

バイスペクトル密度の推定は、あるゆるやかな条件の下で漸近的に不偏で正規性であることが知られている⁴⁾。

$$bic(\omega_1, \omega_2) = \frac{b(\omega_1, \omega_2)}{\sqrt{p(\omega_1)p(\omega_2)p(\omega_1+\omega_2)}} \quad (5)$$

ただし、 $\omega = 2\pi f$

式 (5) の分散は、推定のバンド幅を B_T として、推定時間を T とすれば

$$\sigma^2 = 2\pi B_T^{-2} T^{-1} \quad (6)$$

で与えられる。 N_0 を 1 回の推定のためのデータ数、 N_{tot} を全データ数、 ω_0 をサンプリング周波数とするとき式 (6) は、

$$\sigma^2 = \frac{N_0^2}{N_{tot} \cdot \omega_0} \quad (7)$$

となる。第 1 図 (b) の推定領域の $f_2=f_1$ 上では分散は式 (7) の 2 倍になる。

バイスペクトルが 0 になるような過程に対しては、 $|bic(\omega_1, \omega_2)|^2$ の分布は漸近的に自由度 2 の χ^2 分布をなす。その期待値は

$$E(|bic(\omega_1, \omega_2)|^2) = 2\sigma^2 \quad (8)$$

であり、

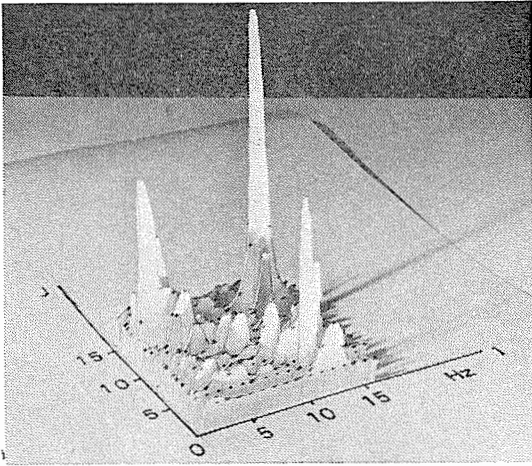
$$|bic(\omega_1, \omega_2)|^2 \geq 6\sigma^2 \quad (9)$$

は、0.05 の確率でしか起こらない。つまり式 (5) が式 (9) の関係を満足していれば、その周波数でのバイスペクトルのピークは、危険率 0.05 で有意である。 $N_0=64, N_{tot}=512, \omega_0=2\pi \times 64$ のときには式 (9) の右辺は約 0.24 である。

$$bic(\omega_1, \omega_2) = \hat{r} e^{i\hat{\phi}} \quad (10)$$

とすれば $\hat{r} \geq 0.5$ のピークは危険率 0.05 で有意である。

正常成人 26 名について、後頭部より単極導出した脳波のうち、 α 活動を示す部分をバイスペクトル分析した。分析は連続する 8 秒間につき行ない、その結果、顕著な α -activity を示す部分では統計的に有意なピークが、 $f_1 \doteq 10$ Hz, $f_2 \doteq 10$ Hz ($f_1+f_2 \doteq 20$ Hz) の所に認められた。第 2 図に、バイスペクトルの振幅項の立体模型を示す。この例では $f_1 \doteq 11$ Hz, $f_2 \doteq 11$ Hz の所にピークが生じているのがわかる。第 3 図 (a) は別の被験者のスペクトルで左右の対称部位から導出した分析結果を並べてある。10 Hz と 20 Hz にピークを持っていることがわかるが、この二つのピークの間固定した位相関係があるかどうかをバイスペクトル



第2図 バイスpekトルの振幅項

Fig. 2 The modulus of the bispectrum $b(I, J)$ for an EEG recording from LO. The peak at $I=11$ Hz and $J=11$ Hz indicates the phase-locked relation between the frequency components of 11 Hz and 22 Hz (11 Hz+11 Hz).

で調べる。(b) がバイスペクトルの $f_1=10$ Hz での断面図である。 $f_2=10$ Hz の所にピークを持っていることがわかる。バイコヒーレンスは、左で 0.74, 右は 0.71 と共に有意なピークである。位相項は、左が -60 度, 右が -70 度, ピークの大きさや, ピーク付近での位相項の形が左右でよく似ている。

3.2 30 分内での波形の一定性と左右差

式 (10) の \hat{r} が有意であるとき, その位相項 $\hat{\phi}$ の信頼区間を求める。

$(\hat{\phi}-\Delta\phi, \hat{\phi}+\Delta\phi)$ に真の値 ϕ が $1-\alpha$ より大きな確率で入るための $\Delta\phi$ は

$$\Phi\left(-\frac{\hat{r}}{\sigma} \sin \Delta\phi\right) = \frac{\alpha}{2} \quad (11)$$

より求まる。ただし,

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-(y^2/2)} dy \quad (12)$$

$\alpha=0.05$ として,

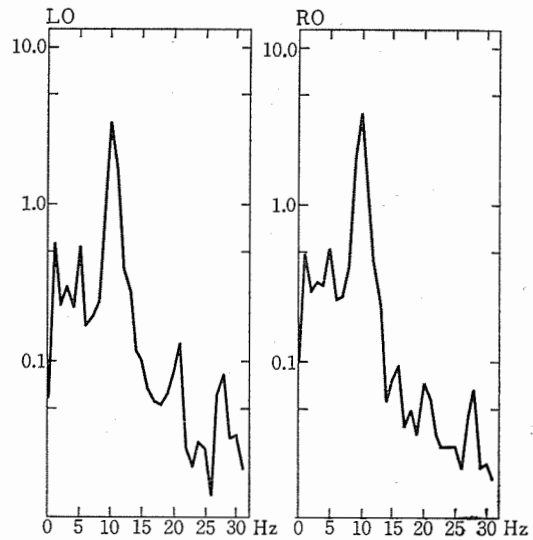
$$\hat{r}=0.5 \text{ のときには } \Delta\phi \cong 50^\circ$$

$$\hat{r}=0.6 \text{ のときには } \Delta\phi \cong 40^\circ$$

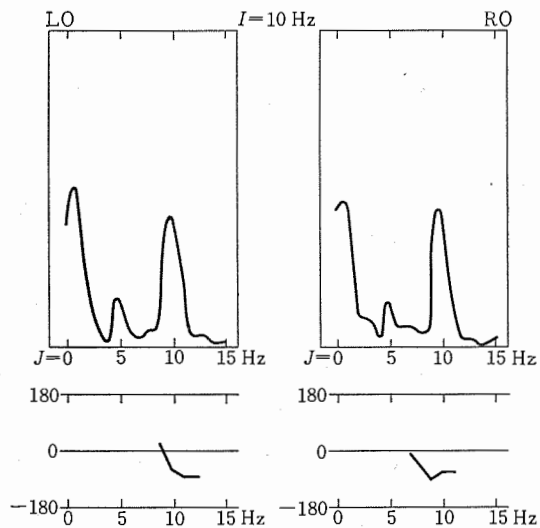
$$\hat{r}=0.8 \text{ のときには } \Delta\phi \cong 30^\circ$$

となる。

第4図は, 1 被験者の 1 回の記録約 30 分のうち, α -活動の顕著な部分 10 か所のデータを使い α 成分と β 成分相互の位相を調べた例である。各小円が連続する 8 秒間のデータを使って分析した, $f_1=11$ Hz, $f_2=11$ Hz のピークの位相項で, 左右とも -30 度の付近にかたまっている。太線は $\hat{r}=0.6$ のときの信頼区間, 矢印は平均値を示す。各点は信頼区間の中に収まっている。左右の分散に差があるかを F 検定すると, $[F_0=1.263] < [F(9, 9, 0.05)=5.35]$ であり等分散の仮説



(a)



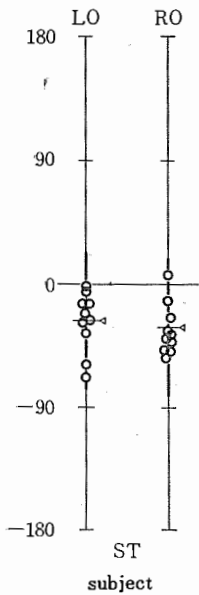
(b)

第3図 正常成人後頭部左右対称部位から導出した脳波のスペクトル (a) とバイスペクトル $b(I, J)$ の $I=10$ Hz での断面図 (b)。振幅項と位相項を示す。

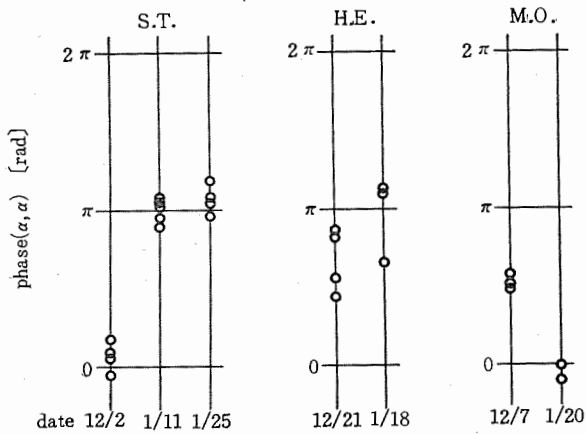
Fig. 3 An example of the analysis for a normal subject. The spectra (a), and the cross section of the bispectra at $I=10$ Hz (b) show almost the same values and patterns for the corresponding left and right recordings. The peaks of the left and right bispectra at $I=10$ Hz and $J=10$ Hz are above the statistical variation. The estimation time is 8 seconds. SM

はすてられず, 左右の平均値の差を t 検定すれば $[t_0=0.544] < [t(18, 0.05)=2.101]$ となり, 左右の平均値に差があるとはいえない。3.1 の結果とあわせ考えると, 後頭部左右対称部位から単極導出した脳波波形は, 左右でほぼ対称になっているといえる。

約 2 週間後の記録では, 被験者により前回とほぼ同一の位相を示す場合と, 違うモードと思われる位相を示す場合とがある。日による変化は, データ数が不足で結論は出せない。第5図に一例を示す。



第4図 30分内の記録の一定性
 Fig. 4 The mark o indicates the phase of the peak of the bispectrum for the continuous recording of 8 seconds. 10 such data are picked up from the recording of 30 minutes. All the results are in the statistical variation of the estimate (thick lines). The averages and variances of the left and right sides can be regarded the same.

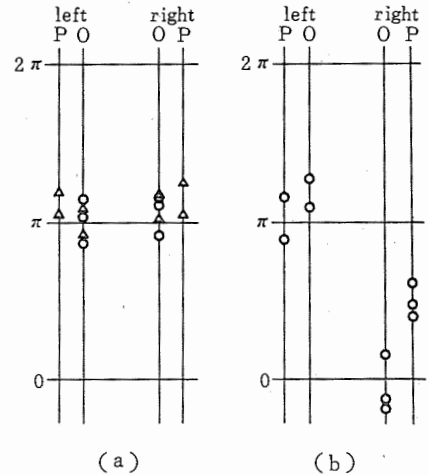


第5図 日による変化
 Fig. 5 Examples of the day to day variations

4. 偏頭痛時*のα波の形

第6図 (a) は、ある被験者の通常の脳波のバイスペクトルの位相項で、左右の後頭部・頭頂部で同一の位相を持っている。(b) は、同一被験者の偏頭痛時の脳波のバイスペクトルの位相項で、左右で異なる位相を示す。この被験者は第5図に示したように 0° 付近の位相のモードを持ち頭痛時に両者のモードが現われている。ピーク付近の様子を詳しく調べた結果を第7図と第8図に示す。第7図は正常時の記録で、位相は左右とも 0° 付近のデータである。(a) が記録波形、(b) が左右のスペクトル、(c) がバイスペクトルの $f_1=11$ Hz での断面図である。LO の $\hat{r}=0.93$,

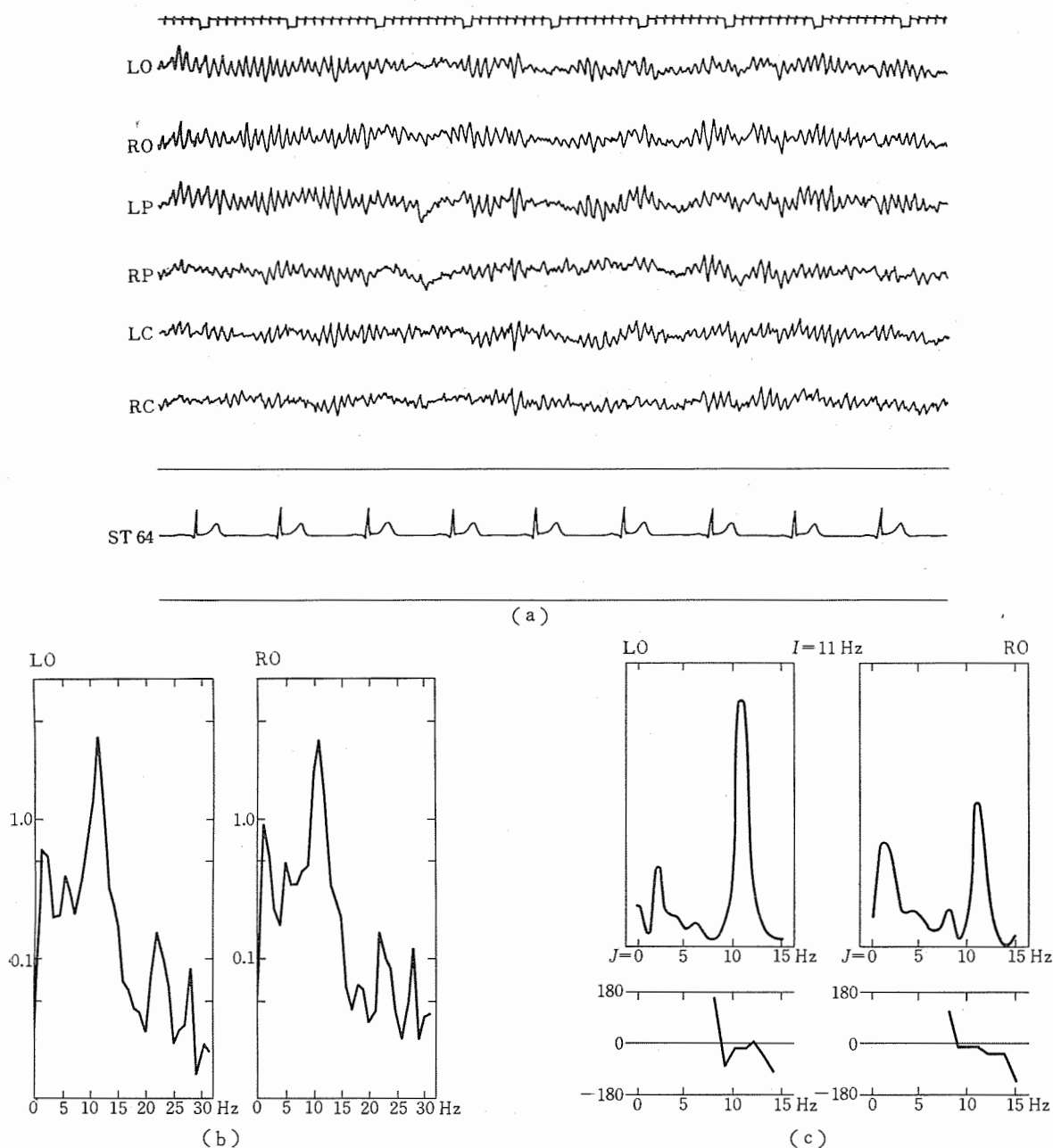
* 血管拡張性、緊張性頭痛、その他、器質的障害による頭痛を除外し、特有な前兆を持ち血管系、消化管系、感覚系の自律神経異常を伴った片側性発作性頭痛をもって偏頭痛とした。被験者は入院の場合は発作時に連絡し、外来の場合には前兆のあるときに通院することによりデータを採取した。さらに、データ採取の前にそのときの状態を問診した。



第6図 (a) 正常時 (b) 偏頭痛時
 Fig. 6 (a) The phases of the peak of the bispectrum for the recordings from LO, LP, RO, and RP under the same conditions as in Fig. 4
 (b) The results for the same subject during the attack of migraine

phase = -14; RO の $\hat{r}=0.58$, phase = -23, で左右とも有意なピークを持ち同一の位相を示す。第8図は偏頭痛時の結果である。LO の $\hat{r}=0.664$, phase = -166; RO の $\hat{r}=0.70$, phase = -62 度で左右のピークとも有意であるが、位相は明らかに左右で異なっている。この被験者は左に偏頭痛を持つ。第9図は別の被験者の正常時と偏頭痛時のスペクトルとバイスペクトルの $f_1=9$ Hz での断面図を示す。(a) が正常時の分析結果で LO の $\hat{r}=0.65$, phase = 168; RO の $\hat{r}=0.62$, phase = 163 度と左右とも有意なピークを持ち位相項も等しい。(b) が偏頭痛時の分析結果で LO の $\hat{r}=0.21$, phase = -91 度; RO の $\hat{r}=0.57$, phase = -134 度で、右の結果は正常時の結果とほぼ一致しているが、左側では有意なピークを生じなくなっている。この被験者も左に偏頭痛を持つ。

次に正常例 17 件、偏頭痛時の分析結果 13 件を集め、各分析結果の左右差を比べることにより、正常例の左右差と偏頭痛例の左右差にはたして統計的に差があるかを検定した。第1表に左右の位相の値と左右での位相差を示す。左右の位相差が正規分布すると仮定して左右の位相差の分散に差があるかを F 検定すると $[F_0=0.093] < [F(16, 12, 0.05)=3.55]$ で等分散とみなせ、左右の位相差の平均値に差があるかを t 検定すれば、 $[t_0=7.12] > [t(17, 0.02)=2.567]$ で危険率 0.02 で差があるといえる。以上のことから、後頭部の対称部位から単極導出した脳波波形は偏頭痛時には左右で異なった波形になるといえる。



第7図 正常時の波形記録 (a), スペクトル (b), バイスpekトルの $I=11$ Hz での断面図 (c)
 Fig. 7 The waveforms (a), the spectra (b), and the cross section of the bispectra at $I=11$ Hz (c). The symmetry of the left and right sides can be perceived.

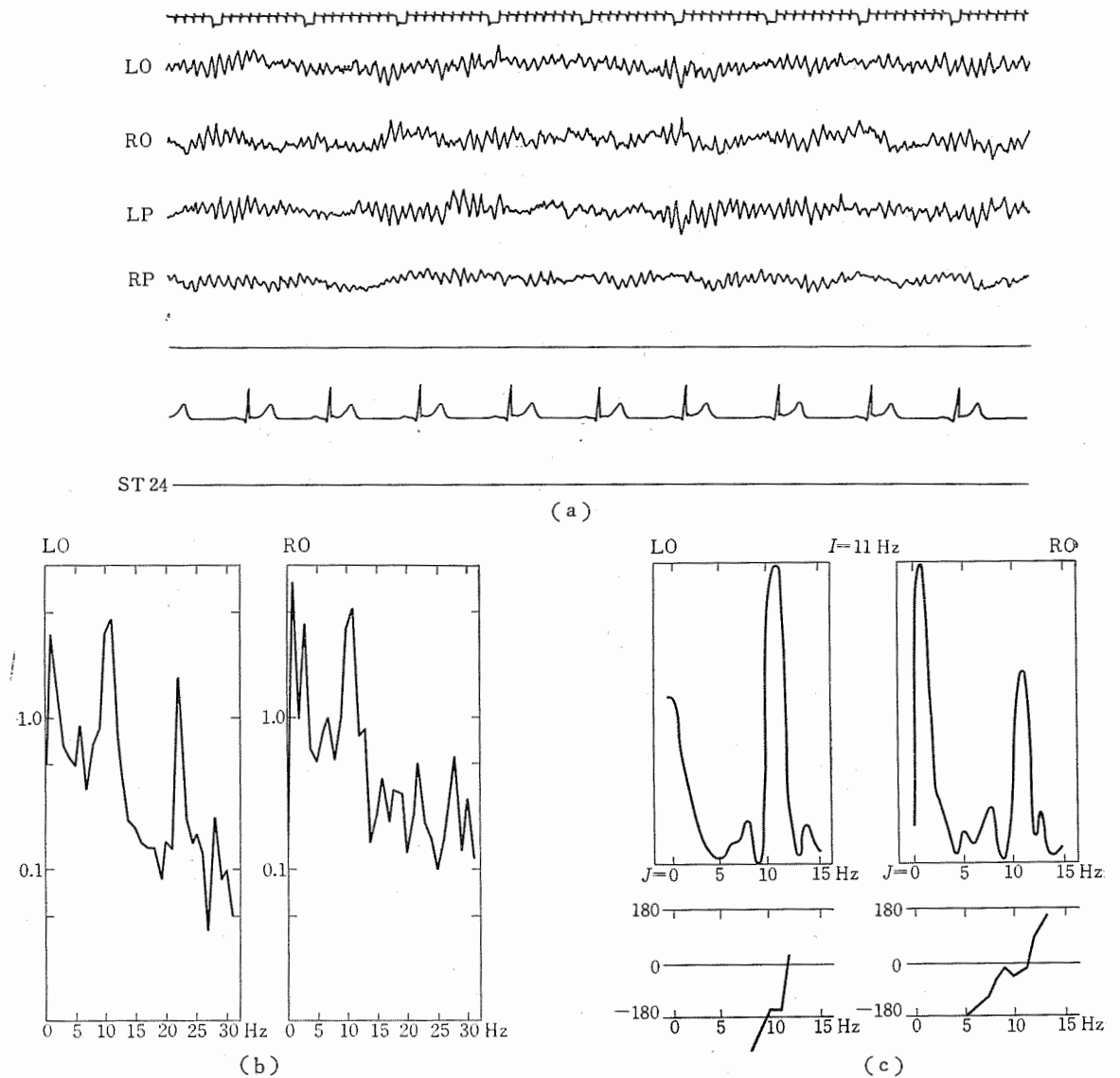
5. 検 討

脳波の分析はすべて、脳波という対象の外部で観測する信号を手がかりとして、内部状態を知ろうとする試みである。信号を平均的にとらえて分析する方法にスペクトル分析があり、その延長上にバイスペクトル分析があると考えられる。つまり、スペクトル分析が、第0近似として信号の各周波数成分間の関係を独立とみなして分析を行なうのに対して、バイスペクトル分析では信号の特定の成分間の関係を調べている。この分析は、特に、信号が高調波成分を持った周期信号と第一近似としてみなせる場合に有効であり、さらに複

雑な成分間関係を仮定するならば、一般にはより高次のスペクトルを調べる必要がある。

本実験においては、左右の後頭部より導出の α 波波形を平均的にとらえて、正常成人の α 波の α 成分と、その高調波の周波数を持つ β 成分とに、ある固定した位相関係があり、それが左右で同一になっていること、その対称性が偏頭痛時にくずれることを明らかにした。

この事実に対応する内部状態の推定は、 α 波の発生機構自体、Bergerの α 波発見以来の大問題で、種々の説が提出されているが、いまだに解決されておらず、 β 成分の発生機構も明らかにされていない現在、全く



第8図 第7図と同一被験者の偏頭痛時の結果
 Fig. 8 The results for the same subject as in Fig. 7 during the attack of migraine. The phase of the left side differs from that of the right.

の推察の域を脱しえない。

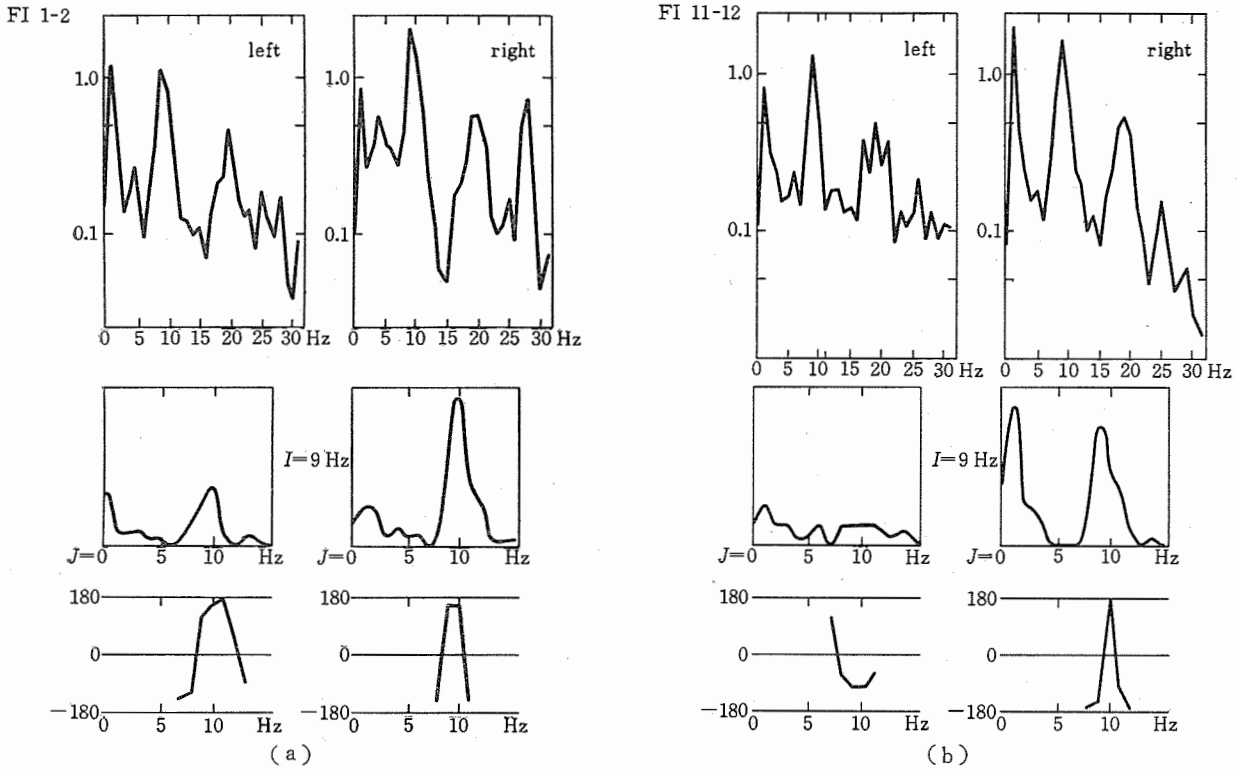
α 波の電位波形は、錐体細胞の尖頭樹状突起にみられる比較的経過の長いシナプスの後電位の加重したものであろうと考えられている。ほぼ 10Hz のリズムの規定は、視床から大脳皮質へ線維を投射している神経細胞は側枝を出し、その側枝が抑制性の介在細胞を経て、その細胞に約 100 ms 続く返回抑制を及ぼすため、大脳皮質へのインパルスの発射が約 100 ms のリズムを持つこと⁵⁾、大脳皮質運動野の錐体路細胞も約 100 ms に及ぶ同様の返回抑制をうけること⁶⁾、の類推から大脳皮質内にも錐体細胞を中心とする同様なリズムを規定する機構があり、それによっているという見方が合理的であろう。

β 成分の発生機構は、(1) 神経細胞や神経線維の活動電位の集合ないしはその包絡線であるのか、ある

いは、(2) 錐体細胞の尖頭樹状突起のシナプス後電位自体の持つ歪であるのかは不明であるが、 α 波の α 成分と β 成分との間の固定した位相関係は、(1)の場合にも(2)の場合にもありうることでありうる。

つまり実験結果は α 成分の発生機構と β 成分の発生機構の間にある結合があるということの意味しており、その結合は(1)の場合には、互いに結びつきあった神経細胞の活動電位と、錐体細胞の尖頭樹状突起のシナプス後電位という関係であり、(2)の場合にはシナプス後電位自体のもつ歪という発生をほぼ同じくする関係である。

さて偏頭痛時に、この結合の状態が変わり、位相が左右で対称性を失ったり、あるいは片側で不規則になるのは、どのように考えられるであろうか。次の二つ



第9図 他の被験者の結果。(a) 正常時, (b) 偏頭痛時
 Fig. 9 (a) The same example as in Fig. 7 for another subject
 (b) The result for the same subject as in (a) during the attack.
 For the left side where the headache is the peak of the bispectrum can not be observed.

第1表 正常時 17 例と偏頭痛時 13 例の左右の位相差

Table 1 17 normal cases and 13 cases during the attack of migraine. The averages of the differences of the phase of the bispectrum between the left and right sides are compared. There is a statistically significant difference between the normal cases and the cases during the attack.

normal cases				cases during the attack			
PHA [degree]	DIFP [degree]	PHA [degree]	DIFP [degree]	PHA [degree]	DIFP [degree]	PHA [degree]	DIFP [degree]
1 L 76.29999	35.70000	10 L 167.80000	4.50000	1 L 93.50000	127.80000	8 L 122.50000	116.70000
R 40.59998		R 163.30000		R -138.70000		R 5.80000	
2 L 3.80000	18.10001	11 L 9.60000	5.10000	2 L 67.29999	120.50000	9 L -90.59998	43.29999
R 21.89998		R 14.70000		R -53.20000		R -133.90000	
3 L 123.80000	32.20000	12 L 131.30000	27.29999	3 L -152.20000	44.29999	10 L -132.00000	133.40000
R 156.00000		R 104.00000		R -107.90000		R 1.40000	
4 L 98.89998	28.50000	13 L -60.50000	25.50000	4 L 147.00000	34.50000	11 L -165.90000	103.80000
R 70.39998		R -35.00000		R -178.50000		R -62.09998	
5 L 148.60000	27.79999	14 L -32.29999	6.70000	5 L -81.29999	126.10000	12 L -151.90000	152.50020
R 120.80000		R -25.59998		R 44.79999		R 55.59998	
6 L 69.00000	13.79999	15 L -24.79999	13.59999	6 L 166.70000	67.20020	13 L 98.00000	93.10001
R 82.79999		R -11.20000		R -126.10000		R 4.90000	
7 L 99.20000	43.90001	16 L -13.70000	9.00000	7 L 166.30000	47.90015		
R 55.29999		R -22.70000		R -145.80000			
8 L 121.70000	7.80000	17 L 154.70000	21.20000				
R 113.90000		R 175.90000					
9 L 29.79999	2.70000						
R 27.09998							

の仮説が考えられる。

- 1) 偏頭痛時には、一時的に半側性の循環調節異常が起り、一過性の脳の浮腫が生じることが知られているが、これにより脳波伝導路の状態が変わるため α 成分と β 成分との関係が変わる。

- 2) 痛み、あるいはそれに付随しておこる他の外部刺激による中枢神経系の興奮状態が、 α 波の発振のモードをかえたり、あるいは種々のモードを不規則にとったりして α 成分と β 成分発生機構の結合状態を変化させる可能性がある。

1) と 2) は単なる仮説であるが、光刺激時に α 抑制も引込みも起こさなかった被験者で、光刺激のないときには、左右で同一であった位相が、光刺激時には左右で位相パターンの差を生じている例が見つかることから、1) のごとき脳浮腫という器質的なものより 2) のごとき機能的な神経活動の異常が作用している可能性が強いように思われる。

6. 結 論

正常成人の後頭部の左右の対称部位から単極導出した脳波記録のうち、典型的な α 活動を示す部分のバイスペクトルは、約 30 分内の記録のどの部分においても、ほぼ一定の α 成分と β 成分相互の位相関係を保ち、それが左右の記録で同一の値になっていること、その左右対称性が偏頭痛時にくずれ、左右差が生じる事実が明らかになった。このことは、 α 波の波形が α 帯域にある成分と、それと調和関係にあり、固定した位相関係を持つ β 帯域にある成分とにより形作られており、その関係が偏頭痛時に頭痛側の脳波でくずれるということの意味しており、脳波の発生機構の解明、頭痛の臨床的解明において興味深い。

7. 謝 辞

常に有益なご示唆を賜わった東京大学磯部孝教授、ならびに実験に協力くださった国立がんセンター柏木滋子技師に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) G. Dumermuth, P. J. Huber, B. Kleiner & Th. Gasser: Analysis of the interrelations between frequency bands of the EEG by means of the bispectrum. A preliminary study, *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 31, 137/148 (1971)
- 2) 館 暲: バイスペクトル分析による雑音に埋れた局期信号の分離, 計測自動制御学会論文集, 9-6 掲載予定
- 3) M. Rosenblatt & J. W. Van Ness: Estimation of the bispectrum, *Ann. Math. Stat.*, 36, 1120/1136 (1965)
- 4) D. R. Brillinger & M. Rosenblatt: Asymptotic theory of estimates of k-th order spectra, in *Advanced Seminar on Spectral Theory of Time Series*, B. Harris, Ed. Wiley, 153/188 (1967)
- 5) P. Andersen & J. C. Eccles: Inhibitory phasing of normal discharge, *Nature*, 196, 645/647 (1962)
- 6) H. H. Jasper & C. Stefans: Intracellular oscillatory rhythms in pyramidal tract neurones in the cat, *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 18, 541/553 (1965)

Analysis of Wave Shapes of α Waves on EEG by Means of the Bispectrum*

Susumu TACHI**, Osamu TAKATANI***

The bispectrum of a stationary stochastic process, which contains a wave component that is not sine-shaped, describes the amplitude and phase relations between the harmonic components of that wave. The bispectrum of EEG signal gives information about an averaged wave shape of a dominant component of the signal, i.e., whether it contains phase-locked higher order terms, and the amplitude and phase relations between the components can be estimated if the phase-locked relation exists. Normal subjects were recorded while lying down with eyes closed. The monopolar recordings with α -activity from electrodes on left and right occipital regions were analyzed by means of the bispectrum. For the recordings that were obtained within 30 minutes and had typical α -activity, the modulus and phase of the bispectrum remain almost constant in spite of individual differences. The bispectra of the recordings from corresponding left and right sides showed the same value for the recordings that were regarded to have symmetry. Asymmetry of left and right sides of the bispectra was observed in the data during the attack of migraine. These findings are statistically examined and discussed.

* Received on Dec. 6th 1972, Revised on May 21st 1973

** Faculty of Engineering, Univ. of Tokyo

*** National Cancer Center Hospital