

日中の空間・時間判断に及ぼすウルトラディアン変動の影響

堀 忠雄・林 光緒・森川俊雄

広島大学総合科学部人間行動研究講座

(1988年10月31日受理)

Effects of ultradian variation on the spatial and temporal cognitive judgment

Tadao HORI, Mitsuo HAYASHI and Toshio MORIKAWA

Abstract

The structures of the ultradian variations among the cognitive task performance and the EEG activities were studied on eight male students. Referential central (C₃, C₄) and parietal (P₃, P₄) EEGs were recorded every 15 min of the eye closed rest period, when the subjects were asked to estimate a 120 sec period and to keep eyes closed for this period. Artifact free EEG data were analyzed for one minute by the FFT. EEG parameters used in this study are the amplitude (root power), EEG laterality index and interhemispheric coherence. The EEG data were divided into five frequency bands (δ , θ , α , β_1 , β_2).

After the time estimation task, subjects were asked to draw a vertical or horizontal 20 cm line and to point the midpoint of these lines.

The least square spectral method was applied on the time series of five task performance and EEG variables. About 100 min ultradian variations were identified in all of the variables, with the exception of the midpoint judgment which showed more shorter period, about 60 min cycles. Principal component analysis were examined on the task performance EEG variables. The results of PCA revealed that the EEG indices of the interhemispheric activity were more closely related to the task performance than the single EEG amplitude. The EEG laterality indices were highly correlated to the vertical line drawing, while the interhemispheric coherence were highly correlated to the horizontal line drawing. Anisotropy of space were observed in the daytime behavioral ultradian variations.

Key words:

Ultradian rhythm, cognitive task, BRAC, EEG, coherence, laterality index.

はじめに

覚醒中のヒトの行動にウルトラディアン周期変動が存在することは多くの研究者によって観察され、すでに多くの綜説がなされている (Kripke 1974, 1982, Broughton 1975, Lavie 1980, 1982)。これらの研究によれば、ウルトラディアン変動は脳波、瞳孔運動、心拍、胃収縮運動、

呼吸運動、体温、腎活動（尿量、尿中電解質）などの生理機能のほか、仮現運動、運動残効、知覚—運動作業、さらに高次の言語—空間認知機能にも存在することが指摘されている。

Broughton (1975) は、Kleitman (1963) の BRAC (basic rest activity cycle: 基礎的休止活動周期) 仮説をさらに拡張し、半球交代賦活仮説 (altering activation hypothesis) を提唱した。これは、左右の半球は 1 日 16 回周期 (90 分周期) で活動性が変動し、その変動周期の位相は左右半球でおよそ 180° ずれをもっている。このため、左が活性化する時期は右が休止相に入り、半球は交互に活動期と休止期を交代させることになる。この仮説を検証するために Klein & Armitage (1979) は言語的課題と空間的課題を 15 分間隔で 8 時間連続して実施した。二つの課題成績はいずれも約 90 分周期の BRAC 帯域で変動し、しかも 180° の位相差を示した。言語課題は左半球で、空間課題は右半球で主に処理されると考えられるので、この結果は Broughton の交代仮説を裏づけるものと考えられた。ところが、Kripke et al (1983) はそれまでに報告されてきた生理的・心理的機能にみられるウルトラディアン変動を改めて再検討し、従来の報告は統計的分析が不十分であり、BRAC が日中の行動を規定している証拠はほとんどないと主張した。彼らは Klein & Armitage の実験を精密に追試し、課題成績曲線に有意な周期成分がみられないことからこの報告に対して否定的である。一方、Broughton はこれに対して、脳波振幅の半球差から自説を補強しようと図ったが、脳波振幅の時系列曲線はほぼ BRAC の周期で変動するものの、左右半球の対応部位では同位相を示し、位相差に基づく交代賦活仮説は自ら否定するに至っている (Manseau & Broughton 1984)。

最近、我々は社会的隔離実験の被験者の脳波振幅がウルトラディアン変動を示し、その周期変動成分は左右対応部位間ではほぼ同位相であることを確かめた (堀・林・杉本 1988)。しかし、左右の振幅差を左右差指数で表して、30 分毎に 48 時間の経過を調べると、左右差指数は BRAC の帯域周期内で周期変動することがわかった。さらに左右の半球間コヒーレンスを同様に 30 分毎に計算してプロットすると、これも BRAC の帯域で周期変動していることがわかった。この実験では、大脳半球の機能差を調べる課題は全く行っていないため、こうした半球間力動性の変動が Klein & Armitage (1979) の指摘する行動のウルトラディアン変動と対応したものは明らかではない。この点を確認するため、まず Kripke et al (1983) が否定した行動のウルトラディアン変動に周期変動成分が存在するかを検討し、もし存在するとしたら、その周期成分は脳波の左右差あるいは半球間コヒーレンスの変動とどのような対応関係をもつのかを検討した。そこで今回は、15 分間隔で知覚判断課題を繰り返して行い、その課題成績と脳波の半球間力動性指標の時系列をそれぞれ周期分析するとともに、主成分分析により各変量間の相関構造を検討することにした。

方 法

1. 被験者：男子大学生 8 名 (20~23 才, 平均 20.4 才), 全員右利きの者を選択した。全て心身ともに健康で、通常 7~8 時間の睡眠をとり、喫煙習慣のない者を選んだ。

2. 実験条件：実験室は有効寸法 $3100^{\text{w}} \times 2680^{\text{d}} \times 3300^{\text{h}}$ の恒常環境ボックスを用いた。照明は 100 W 白熱灯 4 灯を同時に調光する方法で、睡眠期は消灯したが日中の課題遂行期間はテーブル上で 200 lux が得られるように調光した。室温は $22.5 \pm 1^\circ\text{C}$ とした。行動観察は 2 台の昼光・赤外両用の W/B カメラと超小型高感度マイクによって行った。実験が長時間閉鎖状態で行われるため、ボックス内にフリーザートイレを設置した。

不測の事態や健康上の理由により、被験者が実験の続行が不可能であると判断した場合の意

志表示用として、入口のドアの横に非常用スイッチを設置した。このスイッチを入れると実験者のいる記録室でブザーが鳴るようになっており、これを実験中止の合図とした。

3. 実験手続：被験者は前日の21:00に実験室前室に入り、ポリグラフィ測定用の EEG・EMG・EOG を装着後、実験室内の説明を受けた。23:00に実験室を消灯し翌朝の7:00までを睡眠期間とした。起床後1時間は実験室を開扉状態にして、EOG, EMG 電極をはずして洗顔した後、前室に用意した朝食をとった。8:00に再び実験室を閉鎖し、8:00から18:00まで、15分毎に合計40回、課題遂行成績とポリグラフィの測定を行った。測定開始は室内灯の照度を変えることによって合図した。課題遂行に要する時間はおおよそ5分間であり、次の測定開始までに10分程度の空白時間がある。被験者はこの時間に食事、間食、用便等をすませたり、読書やジグソーパズル等を行うことができる。間食や軽飲料水はあらかじめ実験室に入れておいたが、昼食は被験者の要求に応じて電子レンジで加熱調理したものを、パスボックスを使って給食した。実験中は激しい運動や睡眠をとること以外は自由とし、図書、勉強道具等の持込みは許可した。アルコールやコーヒー等のカフェイン含有飲料は一切摂取していない。

4. 課題の種類と測度：行動的な指標としては、2分間推定、縦横の線引き、線分の中点判断を行った (Fig.1)。

(1) 2分間推定 15分毎の測定期の最初に行った。被験者は室内照明の変化を合図に、それまでの自由行動を中断して安楽椅子に深く腰かけ、2分間安静閉眼の状態を維持する。推定時間は閉眼から開眼までの時間をモニタ TV から観察して、実験者が秒単位で測定した。

(2) 線引き課題 上質紙を3cm×35cmの短冊型に切った紙片に、手前から奥行き方向(縦方向)へ自分が20cmと思う長さの線分を引き(縦横課題), その線分の中点と思われる場所に印をつける(縦線の中点判断)。次に、測定用の紙片を横向きに置いて、左から右(横方向)へ自分が20cmと思う長さの線分を引き(横線課題), その線分の中点と思われる場所に印をつける(横線の中点判断)。

課題得点は、線分課題ではいずれの方向も線分の開始点と終了点の直線距離をcm単位で測った。中点判断課題では、線分の開始点から中点までの直線距離を線分の全長との百分率(%)で表した。

なお、それぞれの遂行結果に関するフィードバック効果を排除するために、記入ずみの測定紙はその度にパスボックスより回収した。

5. ポリグラフィ測定：EEG は中心 (C₃, C₄) と頭頂 (P₃, P₄) から耳朶 (A₁, A₂) を介して導出した。EOG は眼球運動の指標として、両眼角外1cmから両耳朶を基準部位として導出した。EMG はオトガイ筋 (M. mentalis) 部位から表面電極法で記録した。

6. 脳波のスペクトル分析：磁気記録した2分間推定時の脳波について、安静閉眼の開始後20秒から約1分間の記録をスペクトル分析した。シグナルプロセッサ (三栄測器製 7T07A)

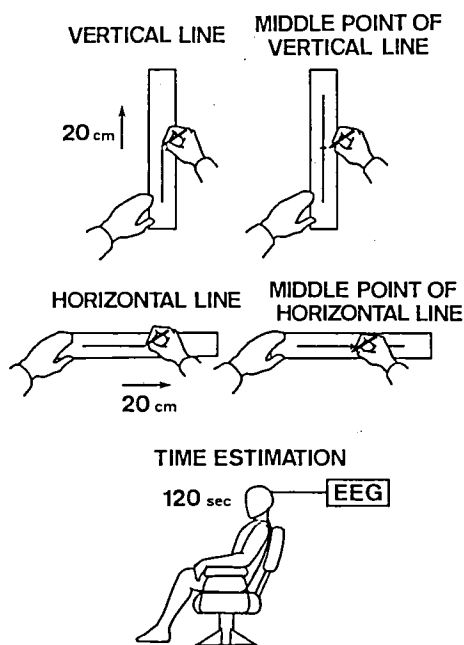


Fig.1. The five performance tasks.

により 10.24 sec の標本脳波を 1 区間として 10 msec 間隔で 1024 ポイントを A/D 変換し、高速フーリエ変換し、5 区間を平均することでスペクトルの平滑化を行った。パワースペクトルは 4 部位 (C₃, C₄, P₃, P₄) のそれぞれについて、コヒーレンススペクトルは半球間 (C₃-C₄, P₃-P₄) の組合せについて検討した。スペクトルの周波数分解能は 0.1 Hz で、0.1 Hz から 25 Hz までを分析対象とした。

二次処理としてパワとコヒーレンスは δ (0.5~3.5 Hz), θ (3.5~7.5 Hz), α (7.5~12.5 Hz), β_1 (12.5~20.0 Hz), β_2 (20.0~25.0 Hz) の 5 帯域に分配した。パワは振幅値 (μ V) に変換した後に帯域内で合計し、コヒーレンスは帯域内で平均して帯域コヒーレンスを計算した。脳波の左右差指数は、対応部位の左右の帯域振幅値の差を左右の合計振幅に対する百分比で表したもので [CD = (C₃ - C₄) / (C₃ + C₄) × 100, PD = (P₃ - P₄) / (P₃ + P₄) × 100], 各周波数帯域毎に計算した。

7. ウルトラディアン変動の同定: 15 分毎に 40 回測定された時系列データを最小二乗スペクトル法 (和田 1983) により優勢周期成分の抽出を図った。このため前処理として、3 点の移動平均を 10 回繰り返して求めた緩変動をトレンド成分として原データ時系列から引いた (Fig.2)。スペクトルは刻み幅 2.5 分で、周期範囲 30~200 分までを 69 ステップで振幅と頂点位相について計算した。また、当てはめたコサイン波と各指標の時系列との適合度をピアソンの相関係数で表した。有意な相関が得られたコサイン曲線の中で振幅が最も高い周期を、その指標の優勢周期とした。

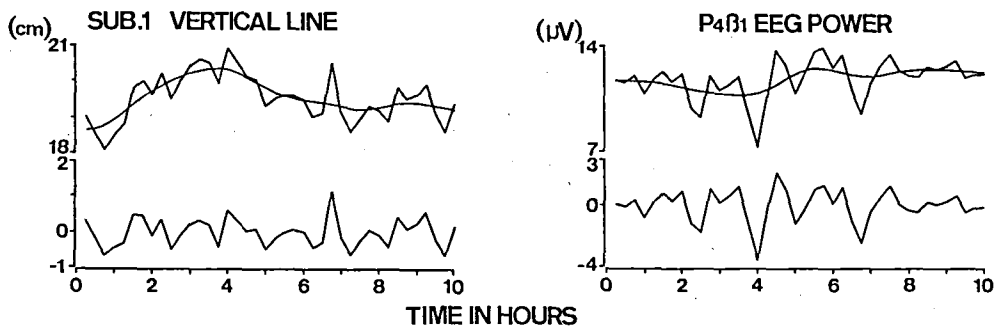


Fig.2. Time series of performance scores and EEG variables.

The raw data of the line drawing task and EEG amplitude with a trend curve, which was derived from 30 points smoothing averages (upper), and the data after removed the trend (under).

8. 主成分分析による次元の減少と相関構造の検討: 5つの課題遂行曲線と脳波の30個の变量について主成分分析した。まず各個人毎に5つの課題成績曲線から相関行列を計算して主成分の抽出を行った。累積寄与率が90%に達したところで主成分の抽出をとめ、バリマックス回転後の因子負荷パタンの類似度を個人間で比較した。次に各帯域毎に8つの脳波变量(振幅4, 左右差2, コヒーレンス2)を主成分分析し、因子負荷量が5%以上の主成分についてバリマックス回転後の因子負荷パタンを個人間で比較した。課題遂行と脳波の時間変動の構造を調べるためには、データ長に対して変数数が大きくなりすぎるので、帯域間の相関行列に基づいて主成分分析し、帯域数を5帯域から3帯域に集約してから主成分分析し、全体の相関構造を検討した。

結 果

1. 課題成績の時間変動

Fig.3は5つの課題成績の時系列を比べた個人例である。除去したトレンド成分 (Fig.2) には200～600分のゆっくりとした周期成分が認められたが、今回の分析ではこの遅い成分については検討しない。縦線 (VL), 横線 (HL), 縦中点 (MV), 横中点 (MH) の4つの空間課題と時間推定課題 (TE) のいずれにもウルトラディアンの変動がみられている。

最小二乗スペクトル法により優勢周期成分の同定を行うと、8人の平均周期は縦線 (VL) 課題で105.8分 (± 8.6 SE), 横線 (HL) 課題で99.1分 (± 6.7 SE) であった。中点課題の変動周期はいずれもこれより短く、縦中点 (MV) 課題56.0分 (± 5.6 SE), 横中点 (MH) 課題が63.3分 (± 7.3 SE) であった。2分間推定 (TE) 課題は98.5分 (± 7.0 SE) で縦線・横線課題の平均周期に近い値を示した。

5つの課題成績の時系列を主成分分析すると、どの被験者も第3主成分までで累積寄与率は約80%に達した。バリマックス回転後の因子負荷パターン (3主成分 \times 8人) の特徴を比較すると、縦線 (VL) と横線 (HL) の課題成績に高い相関を示す主成分と、中点課題 (MH, MV) に高い相関を示す主成分および時間課題 (TE) へのみ相関を示す主成分の3つのグループに分けることができる (Fig.4)。二因子構造をもつパターンについてみると、横線課題と横中点課題、縦線課題と縦中点課題が互いに逆相関を示した。空間の異方性よりも、知覚-運動課題と知覚判断課題の次元が日中変動に関与していることが示唆される。時間課題 (2分間推定) はいずれの被験者でも他の指標とほとんど相関関係を持っていないことがわかった。同じ知覚判断課題であっても時間判断は空間 (距離) 課題とは異なる時間変動特性を持っていることがわかる。

2. 脳波の時間変動

Fig.5は個人の帯域振幅の変動を4つの部位毎にまとめて示したものである。 δ 帯域と β_2 帯域にやや部位差がみられるが、 θ , α , β_1 の帯域ではよく同期したウルトラディアン変動をみることができる。各被験者の帯域振幅の時系列を最小二乗スペクトル分析して、優勢周期変動成分を調べると、その周期はおよそ50～150分の範囲に分布していた。8人の平均周期と標

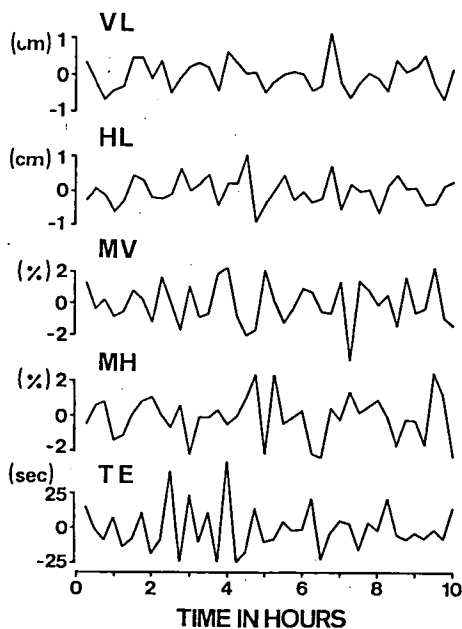


Fig.3. An example of performance scores of five tasks.

VL: vertical line drawing, HL: horizontal line drawing, MV: midpoint judgment of vertical line, MH: midpoint judgment of horizontal line, TE: time estimation (120 sec).

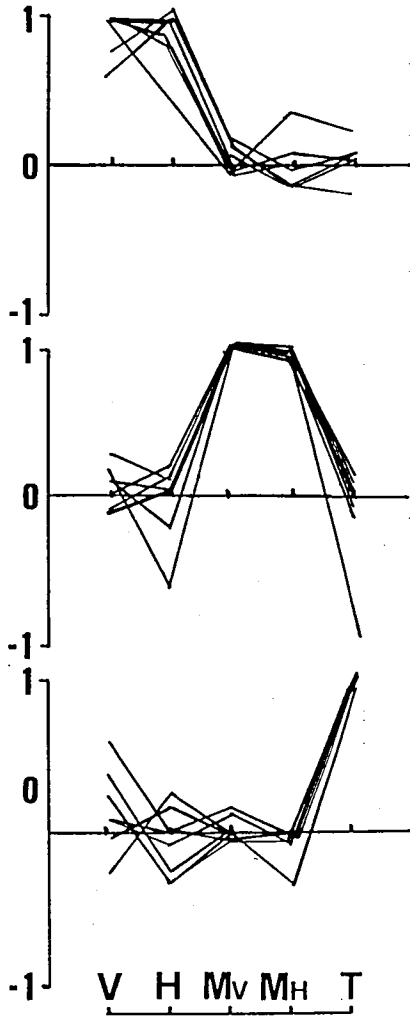


Fig.4. Factor loading patterns of principal component. The similar pattern of the first three principal components were superimposed for 8 Ss in disregard to the rank orders of principal component.

V, H: vertical or horizontal line drawing, M_v, M_h: midpoint judgment, T: 2 min estimation

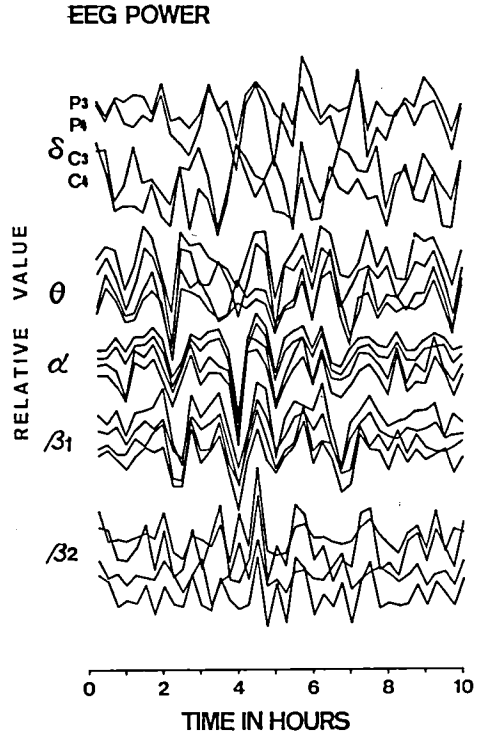


Fig.5. Comparisons of temporal behavior of EEG amplitude (root power) among five frequency bands and two scalp areas for one subject.

P: parietal, C: central, 3: left, 4: right.

δ : (0.5-3.5Hz), θ : (3.5-7.5Hz), α : (7.5-12.5Hz), β_1 : (12.5-20.0Hz), β_2 : (20.0-25.0Hz).

Table 1. Comparisons of mean min/cycle of dominant ultradian components* among five EEG variables (N=8).

	δ	θ	α	β_1	β_2
EEG amplitude (root power)					
C ₃	79.7±11.9**	78.1±8.3	101.5±10.1	101.3±6.1	114.7±6.9
C ₄	75.6±9.8	91.1±9.7	108.9±11.4	77.5±7.6	86.4±9.6
P ₃	87.1±9.2	89.7±14.1	91.6±6.7	84.1±7.2	94.7±7.0
P ₄	91.3±7.6	90.6±7.2	89.7±8.5	79.4±8.0	80.6±8.0
EEG laterality: (L-R) / (L+R)					
C ₃ -C ₄	95.0±8.6	70.7±10.8	78.9±9.4	66.8±7.6	77.5±10.3
P ₃ -P ₄	94.0±5.0	83.4±8.7	91.8±8.3	92.5±8.0	89.9±7.8
Interhemispheric coherence					
C ₃ /C ₄	101.5±9.9	83.8±9.1	82.4±10.4	92.8±7.8	98.1±6.4
P ₃ /P ₄	77.5±9.1	93.1±13.2	94.4±13.3	93.4±8.5	81.9±6.1

* Computed by the least square spectrum method

** Standard error (SE) : SD/\sqrt{n}

準誤差 (SE) を Table 1 の上段に示した。θ 帯域成分の分布が 78.1~91.1 分で範囲が最も狭く、β₂ 帯域が 86.4~114.7 分と最も範囲が広い。部位差と帯域差ばかりでなく、かなりの個人差も認められるが、分布の中央値あるいは平均をとれば、脳波振幅の日中変動は約 90 分周期であることがわかる。

Fig.6 は脳波の左右差指数の日中変動を、帯域毎に頭頂と中心を比較したものである。4 時間目 (正午) に鋭い上向きの変動がみられる。この一過性の上昇は他の被験者にも程度の差はあるが観察できた。食事の影響であるのか、時刻依存性の変動であるのかははっきりしない。いずれの帯域でもおよそ 90 分の周期で優位半球が交代していることがわかる。最小二乗スペクトル分析して同定した 8 人の平均周期を Table 1 の中段に示した。中心部よりも頭頂部の方が周期が全体に長い。中心部では 66.8~95 分に分布し、全帯域の平均は 77.8 分周期である。一方、頭頂部は 83.4~94.0 分に分布し、平均 90.3 分で全帯域平均の差は 12.5 分で、この差は統計的にも有意 (P<.05) である。

Fig.7 は Fig.5~6 と同じ被験者の半球間コ

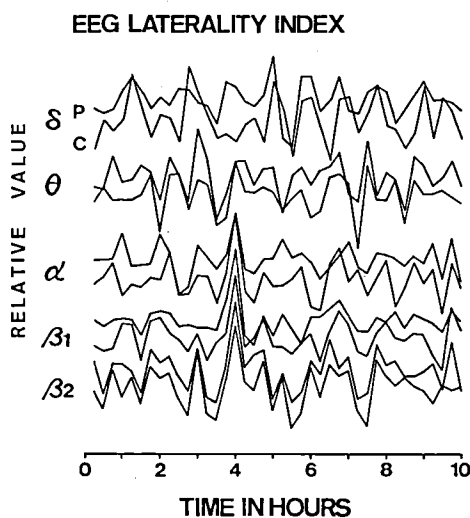


Fig.6. Comparisons of temporal behavior of EEG laterality index (LI) among the five frequency bands and the two scalp areas. The EEG data is same to Fig.5. EEG LI = $\{[(C_3-C_4)/(C_3+C_4)] \times 100, [(P_3-P_4)/(P_3+P_4)] \times 100$.

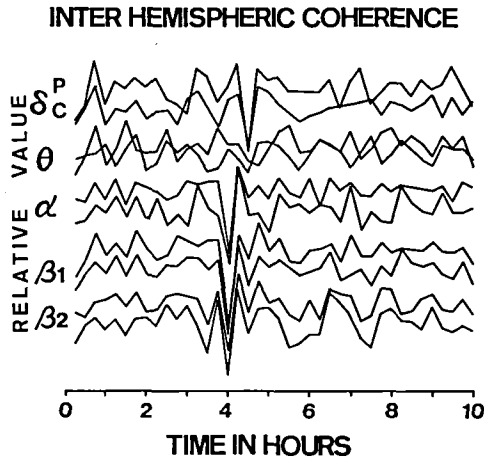


Fig. 7. Comparisons of temporal behavior of interhemispheric coherence among the five frequency bands and the two scalp areas for one subject. The EEG data is same to Fig. 5-6.

ヒーレンスを中心と頭頂で比較したものである。左右差指数 (Fig. 6) と同じように 4 時間目にコヒーレンスの鋭い落込みがみられるが、この時期を除くと 30 分前後の速い変動を重畳させた約 90 分の周期変動をみる事ができる。最小二乗スペクトル法によって優勢周期成分を同定し、8 人の平均周期を計算すると Table 1 下段のようになった。中心部では 82.4-101.5 分に分布し、全帯域の平均は 91.7 分である。これに対して頭頂部では 77.5-94.4 分に分布し、全帯域の平均周期は 88.1 分で、中心-頭頂間ではほとんど差がみられない。コヒーレンスは二部位間の脳波の直線相関の程度を示す変量であり、二部位の脳波の同期の程度を表す指標としても使われる。コヒーレンスの時系列に約 90 分の周期変動が存在するという事は、この周期で左右半球の同期性が上下していることを示している。

Fig. 8 は Fig. 5-7 に示した被験者の時系列データを帯域毎に主成分分析し、初めの 3 つの主成分 (累積寄与率はいずれも 80 % 以上) のバリマックス回転後の因子負荷パターンを重ね書きしたものである。重ね書きに際し、主成分の順位は無視して、負荷パターンの構造特徴が共通するものをまとめた。第 1 のグループは振幅 (P₃, P₄, C₃, C₄) に関する成分、第 2 のグループは左右差 (D_F, D_C) に関する成分、第 3 のグループは半球間同期性 (C_F, C_C) に関する成分とみなすことができる。このグループ特徴は他の 7 人の主成分分析結果にも共通して認められた。

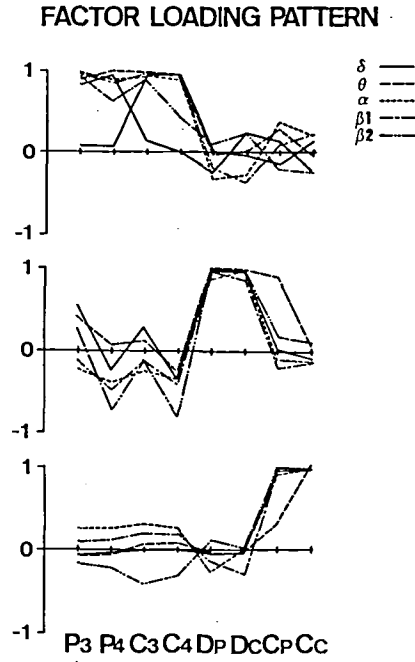


Fig. 8. Factor loading patterns of the first three principal components. The principal components were derived from the EEG data for each of the five frequency bands of one subject. The similar loading patterns of the first three PCs are superimposed in disregard of the rank orders of the each PC. The EEG data is the same to Fig. 5-7. P₃, P₄, C₃, C₄: EEG amplitude, D_F, D_C: EEG laterality index, C_F, C_C: interhemispheric EEG coherence.

このことは、振幅と左右差とコヒーレンスはそれぞれ異なる変動成分であり、互いに相関する成分をほとんど持っていないことを示している。

3. 課題成績と脳波の変動性

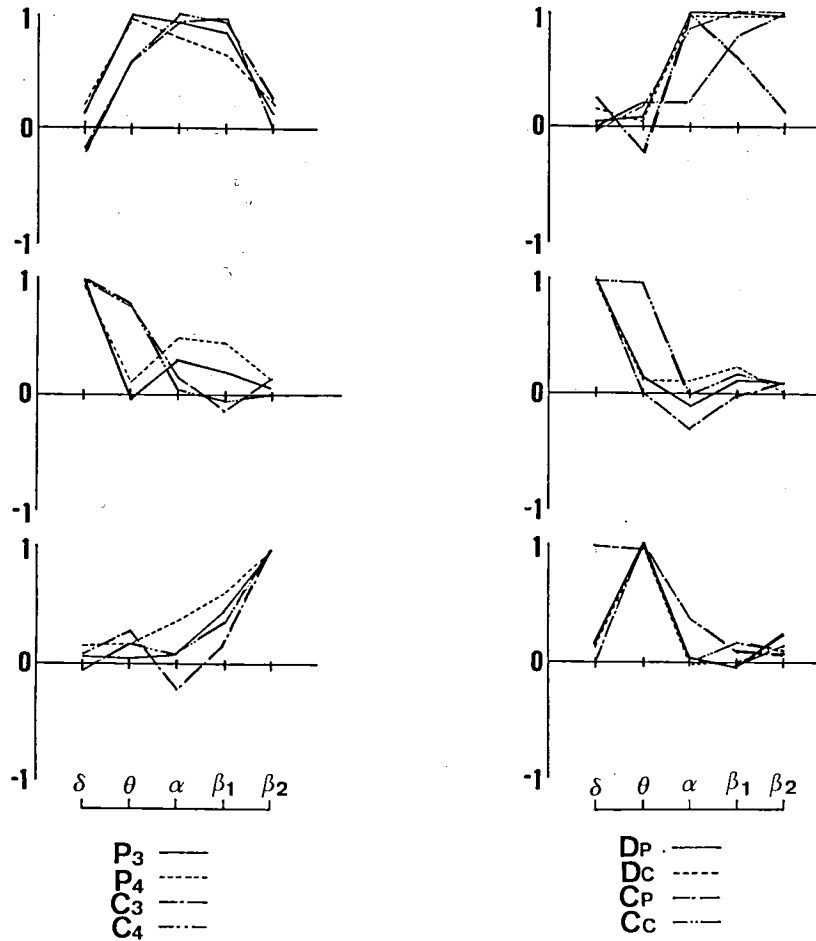


Fig.9. An example of factor loading pattern of principal components.

EEG data is the same to the Fig.5-7.

P₃, P₄, C₃, C₄: EEG amplitude, D_p, D_c: laterality index, C_p, C_c: coherence.

脳波変量の総数は帯域(5)×[振幅(4)+左右差(2)+コヒーレンス(2)]で40個に及び、脳波変量だけでデータ長(40点)と同じになってしまう。主成分分析のモデルでは、変量数に対し十分に大きいデータ長を選ばないと情報集約率が低くなるばかりか、信頼性も低下する。そこで帯域間の相関行列に基づいて主成分分析して、帯域の次元の減少を図った。いずれの被験者でも第3主成分までで累積寄与率は80%以上に達したので、バリマックス回転後の因子負荷パターンで主成分値を計算した。これにより5帯域の脳波変量(合計40個)を合成3帯域、合計24変量に整理することができた。Fig.9は8つの脳波変量毎に主成分の帯域周波数構造を示したものである。この分析に用いたデータはFig.8の被験者と同一である。この24個の

主成分値の時系列と課題成績の時系列 5 個, 計 29 個の時系列データ間の相関行列に基づいて主成分分析し, 時間変動の相関構造を検討した。主成分抽出の打ち切り基準を累積寄与率 80 % として計算したところ, 全被験者とも主成分数は 7 個であった。バリマックス回転後の因子負荷パターンで課題成績と脳波の合成変量との相関構造を調べた。

Fig.10 は各個人の 7 つの主成分のうち, 5 つの課題のいずれかが強く負荷している主成分を抽出し, その課題と高い相関関係にあるその他の課題, あるいは脳波変量をドットで表したものである。2 分間推定 (T), 縦線 (V), 横線 (H) については $\pm .7$ 以上のものをプロットした。縦中点 (MV), 横中点 (MH) では全体に負荷が低いため, 基準を緩めて $\pm .6$ 以上のものをプロットした。図の縦軸は因子負荷量の絶対値を示しており, 横軸にとった各変量毎に $\pm .7$ 以上であれば黒丸を, $\pm .6 \sim .7$ の範囲のものを白丸で表している。各変量ともドットの数が多い程, 表記した課題と変量の関係が緊密であることを表している。

時間推定課題についてみると, 関連する空間課題は縦線 (V) と横中点 (MH) であるが, ドット数は 3 点にすぎず, あまり関連性があるとは言えない。脳波振幅 (P₃, P₄, C₃, C₄) ではドット数がふえるが, これも各変量毎にみればドット数は 3 点にすぎず, 強い関連性があるとは言えない。これに対し脳波の左右差指数では頭頂部 (D_p) で 5 人, 中心部 (D_c) で 4 人が高い相関を示した。半球間活動のもう 1 つの指標である半球間コヒーレンス (C_c, C_p) には高い負荷を示した被験者は全く認められなかった。つまり, 時間判断課題の成績にみられた日中変動は, 空間課題の成績や各部位の脳波振幅, あるいは半球間同期性とはあまり関連せず, 優位半球の交代リズムと関連していることが指摘できる。

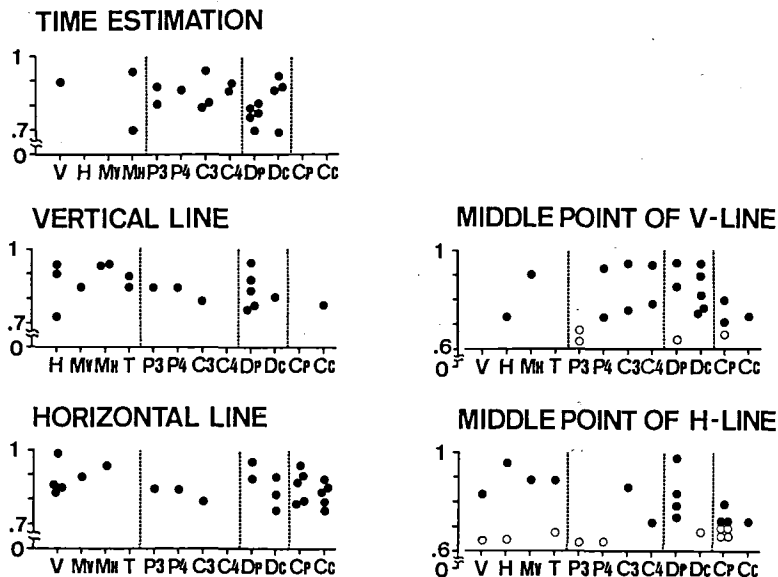


Fig.10. Inter correlations of behavioral and EEG variables.

The PCs were derived from the task performance and EEG variables totaled data for each subject. The PCs, which were highly loading to the task performance were gathered for each task, and the higher correlations of the remained task and EEG variables were plotted for all subjects.

Dot: $r > .7$, Circle: $r > .6$.

次に縦線 (V) 課題についてみると、この課題成績はどの空間・時間課題にもドットがみられるが、各変量毎にみれば3点以下であり、関連性が高いとは言えない。脳波振幅やコヒーレンスについても同様である。この課題でも左右差指数、特に頭頂部の左右差指数にドットが密集している。横線 (H) 課題では縦線 (V) に4点のドットがみられることを除くと、課題成績や脳波振幅と関連しているとは言えない。この課題では左右差指数よりもコヒーレンスにドットが密集していることが特徴である。同じ知覚-運動作業でも横線と縦線では関連する脳波変量が異なることを示している。中点課題をみると、縦中点では左右差指数に関連しており、横中点ではコヒーレンスにドットが集中しているのがわかる。このことから、縦方向の動作と判断には左右差指数が、横方向の動作と判断には半球間同期性が関与していることを指摘することができる。課題成績は特定部位の脳波振幅の変動とは関係をもたず、左右差指数やコヒーレンス等の半球間の力動性を表す指標と緊密な関係をもつことがわかった。

考 察

知覚-運動課題の成績曲線にウルトラディアン変動がみられることは、すでに Gopher & Lavie (1980) の直線位置決定課題で指摘されている。彼らの被験者は、アイマスクをして聴覚と自己受容感覚だけを頼りに、レバーを横方向に20 cm 動かすように教示されている。今回の実験ではこのような制限を一切設けていないが、20 cm の線引き課題の成績には縦方向と横方向の両者に約100分の周期変動成分が認められた。同定された周期のコサイン波と原データとの適合度は $r = .35 \sim .56$ の範囲にあり、これはウルトラディアン変動成分が全分散量に占める割合が12%から31%であったことを示している。線分の中点を判断する課題の成績について、ウルトラディアン変動成分の有無を調べた報告例は今のところないようである。この課題成績は縦横両方向とも約60分周期で、線引き課題よりも短い周期を示した。時間推定課題の成績曲線にも約100分の周期成分がみられているから、中点判断課題はやや特殊な行動特性によって規定されているのかもしれない。約100分周期の成分がBRAC (Kleitman 1963) を反映したものとすると、60分前後の周期成分はBRACの高調波(harmonics)成分であることも充分考えられる。しかし、行動上に現れた時系列曲線を分析した限りでは、BRAC帯域に有意な周期成分を認めることはできなかった。Gopher & Lavie (1980) のフィードバック条件では、位置の正確さに20分から40分の速い変動成分が観察されている。この速い成分と今回の約60分周期の変動成分が共通の要因によっているものかは明らかでないが、これらのことはBRACとは別の振動体が存在することを暗示しているように思われる。

脳波のパワや振幅の日中変動は覚度水準 (Manseau & Broughton 1984, Okawa et al 1984, 辻他 1986, Tsuji & Kobayashi 1988) や日中の眠気 (林他 1987) と関連づけて検討されてきた。これによると、BRAC 仮説 (Kleitman 1963) の周期に相当する1日16回周期 (約90分周期) の他に、3時間から6時間の遅い周期の存在が指摘されている。今回、周期分析の前処理としてトレンドを除去したが、除去したトレンドには周期が200分から600分のゆっくりとした変動がみられた。したがってBRACよりも遅い成分はトレンド処理段階でそのほとんどが除去された可能性があり、今回の考察から除くことにする。今回の結果では、振幅の日中変動の主要な周期変動成分は約100分周期を示し、BRACの周波数帯域内にあることが確かめられた。覚度や眠気は課題遂行に当然関与すると考えられたが、課題成績と脳波変量をこみにした主成分構造には、脳波振幅と課題成績の間を積極的に関連づける証拠はほとんど見あたらない。このことは、単一部位の背景脳波活動だけでは、課題遂行の程度を予測することは困難

であることを示唆している。

課題成績と相関関係がみられた脳波変量は、左右差指数と半球間コヒーレンスであった。時間課題、縦線引き、縦方向の midpoint 判断の3つの課題成績は左右差指数と相関が高かったが、半球間コヒーレンスとはほとんど相関関係がみられないか、相関関係があってもごくまれであった。一方、横線引きと横方向の midpoint 判断の課題成績は、左右差指数よりも半球間コヒーレンスの方が緊密に関連していることがわかった。課題成績のデータに限って主成分分析すると、空間の異方性は主成分の構造にほとんど現れてこないが、脳波変量と組み合わせると主成分構造には明らかな異方性の影響が現れた。空間の異方性が左右差指数と半球間コヒーレンスのそれぞれに分離して反映する理由は、今のところ全く不明である。視覚情報の左右半球への情報分配と復元過程を考えると、奥行き方向の情報よりも左右水平方向の情報のとり込みの方が、半球間相互の情報転送にかかる負担が大きいことが予想される。仮にこのような推測が成り立つとすれば、高い半球間コヒーレンスは、半球間相互の情報転送が活発な状態の反映とする Lehmann et al (1980) の指摘が、この現象の説明には有効のように思われる。半球間コヒーレンスの日中変動は、左右半球間の情報転送の効率、あるいは可能性を規定しているのかもしれない。

左右差指数と半球間コヒーレンスは、いずれも半球間の力動関係を表現する指標である。これらの指標が BRAC の周波数帯域で周期変動したことで、その変動と課題成績の日中変動とに相関関係がみられたことは、Broughton (1975) の大脳半球の交代賦活仮説 (altering activation hypothesis) を一部支持するものと考えられる。しかし、Broughton の仮説では、左右の半球活動のウルトラディアン変動の周期と位相差を BRAC 機構が調節しており、行動上への影響は位相差が 180° の時に最も明瞭になる。つまり、優位半球が約 90 分周期で交代するのを受けて、空間(右半球)課題と言語(左半球)課題の成績が交代することになる。今回の結果では、左右の脳波振幅の時系列は実験期間を通じて同位相の状態が維持されており、Broughton の仮説と一致しない。しかし、振幅差が相対的な優位半球を示す指標であることを考えれば、左右差指数が約 90 分周期で変動したことは、相対的な優位半球の周期的交代とみなすことができる。したがって位相差を振幅差と修正することによって、今回の結果を説明することができる。Broughton は半球間同期性については全く言及していないが、半球間同期性が半球間の情報転送の効率を規定しているとしたならば、左右の半球の協応が必要な課題ほど同期性の周期変動に影響を受けるはずである。課題成績が左右差指数と相関するものと、半球間コヒーレンスと相関するものに分離されたことは、課題が要求する情報処理過程の相違に起因しているのかもしれない。

今回の成績をまとめると、日中の行動にはウルトラディアン変動が存在しており、その変動は課題遂行の直前の脳波活動と関連性をもち、特に脳波振幅の左右差と半球間同期性は課題遂行の可能性あるいは準備性を規定する要因であることが推察された。今回は時間・空間課題に限って検討したが、今後はさらに言語・論理課題について検討し、背景脳波活動の左右差や同期性が課題の認知特性とどのような交絡関係をもつかを明細化する必要があると思われる。

本研究の一部は、文部省科学研究費(一般研究 C 研究課題番号 62510057 代表者 堀忠雄)の援助を得て実施された。また、実験の実施と資料の整理には教室の森 大邦君の協力を得た。記して感謝の意を表します。なお本研究の要旨は第17回日本脳波・筋電図学会学術大会(昭和62年11月13日、京都)において発表した。

引用文献

- Broughton, R. J. : Biorhythmic variations in consciousness and psychological functions. *Canadian Psychological Review* 16 : 217-239, 1975.
- Gopher, D. & Lavie, P. : Short term rhythms in the performance of a simple motor task. *J. Mot. Behav.* 12 : 207-219, 1980.
- 林 光緒・堀 忠雄・杉本助男：日中の眠気におけるウルトラディアン・リズムの検討. 生理心理学と精神生理学 5 : 21-28, 1987.
- 堀 忠雄・林 光緒・杉本助男：覚醒脳波の半球差とウルトラディアン変動. 脳波と筋電図 16 : 328-335, 1988.
- Klein, R. & Armitage, R. : Rhythms in human performance : 1½ hour oscillations in cognitive style. *Science* 204 : 1326-1328, 1979.
- Kleitman, N. : *Sleep and Wakefulness* ; 2nd ed. Univ. Chicago Press, Chicago, 1963.
- Kripke, D. : Ultradian rhythms in sleep and wakefulness. In E. D. Weitzman (ed) *Advances in Sleep Research*. (vol.1) , New York : Spectrum, Pp. 305-325, 1974.
- Kripke, D.F. : Ultradian rhythms in behavior and physiology. In F.M.Brown & R.C.Graeber (eds) *Rhythmic Aspects of Behavior.*, Erlbaum, Hillsdale, Pp. 313-343, 1982.
- Kripke, D.F., Fleck, P.A., Mullaney, D.J. & Levy, M.L. : Behavioral analogs of the REM-nonREM cycle. *Advances in Biological Psychiatry* 11 : 72-79, 1983.
- Lavie, P. : The search for cycles in mental performance — From Lombard to Kleitman. *Chronobiologia* 7 : 247-256, 1980.
- Lavie, P. : Ultradian rhythms in human sleep and wakefulness. In W.B.Webb (ed) *Biological Rhythms, Sleep, and Performance*. John Wiley & Sons, New York, Pp. 239-272, 1982.
- Lehmann, D., Meier, C.A. & Dumermuth, G. : EEG power and coherence during NREM, REM and wakefulness. In L. Popoviciu, B. Aşgian & G. Badiu (eds) *Sleep 1978, Fourth European Congress on Sleep Reserch*. S. Karger, Basel, Pp. 577-580, 1980.
- Manseau, C. & Broughton, R. J. : Bilateral synchronous ultradian EEG rhythms in awake adult humans. *Psychophysiology* 21 : 265-273, 1984.
- Okawa, M., Matousek, M. & Petersén, I. : Spontaneous vigilance fluctuations in the daytime. *Psychophysiology* 21 : 207-211, 1984.
- 辻 陽一・小林敏孝・遠藤四郎：主成分分析法による覚醒時脳波のウルトラディアン・リズムの構造解析. 脳波と筋電図 14 : 166-175, 1986.
- Tsuiji, Y. & Kobayashi, T. : Short and long ultradian EEG components in daytime arousal. *Electroencephal. clin. Neurophysiol.* 70 : 110-117, 1988.
- 和田 勝：最小二乗スペクトル. 石居 進・河野晴也・若林克己他「ライフサイエンス・パソコンシリーズ4. 実用プログラム集」, 培風館 213-218頁. 1983.