

入眠期脳波のトポグラフィ的検討

田中 秀樹・林 光緒・堀 忠雄

広島大学総合科学部人間行動研究講座

Topographical Analysis of the Hypnagogic EEG

Hideki TANAKA, Mitsuo HAYASHI and Tadao HORI

Department of Behavioral Sciences, Faculty of Intergrated Arts and Sciences,
Hiroshima University

Abstract : The present study examined the topographical characteristics for the typical nine EEG patterns during the hypnagogic state. Spectral analysis of the 12 scalp EEGs (Fp₁, Fp₂, F₇, F₈, F_Z, C₃, C₄, P_Z, T₅, T₆, O₁ and O₂) was carried out on 10 male students (20-25yr). Topographic maps from consecutive samples of 30sec period for six frequency bands (delta : 2.0-3.8 Hz, theta : 4.0-7.4 Hz, alpha 1 : 7.6-9.4 Hz, alpha 2 : 9.6-11.4 Hz, alpha 3 : 11.6-13.4 Hz, sigma: 13.0-14.8 Hz) were studied from the light off to the stage 3 onset, which was scored by standard sleep stage criterion. Topographic maps demonstrated that the dominant areas of alpha band activities moved from the posterior area (P_Z, T₅, T₆, O₁, O₂) to the anterior area (Fp₁, Fp₂, F_Z, F₇, F₈) on the midline of scalp in association with the progress of hypnagogic EEG stages, which were scored by the criterion of Horii et al. (1991). On the other hand, the dominant area of delta, theta and sigma bands activities were on the central area (F_Z, C₃, C₄, P_Z) of scalp. The differences of EEG activities between the central and the peripheral areas (Fp₁, Fp₂, F₇, F₈, T₅, T₆, O₁, O₂) increased as a function of EEG stages. To describe the topographical characteristics of EEG stages quantitatively, the EEG anterior-posterior (A/P) indexes and the EEG central-peripheral (C/P) indexes were computed for each frequency band and for each stage. The A/P indexes in alpha band started to increase from stage 1 to stage 9 as a function of EEG stages. On the other hand, the sigma band C/P indexes did not increase in early stages, but started to increase rapidly after stage 7. These results show that the sigma C/P indexes are sensitive to detect the EEG changes in later process of hypnagogic state, especially to the vertex sharp wave and spindle activities. The results of this study suggest that the alpha band A/P index and the sigma band C/P index would be good objective indicators to describe the hypnagogic EEG activities.

Keywords : EEG anterior-posterior index, EEG central-peripheral index,
EEG topography, Hypnagogic state

はじめに

覚醒睡眠境界領域としての入眠期は、入眠時幻覚、半睡時思考等の特異な心理体験を伴うことから、心理学的にも注目されてきた (Shacter 1976)。しかし、この入眠期は現象の不安定性と不規則性により「覚醒期と睡眠期間の不安定な移行状態の時期 (Johnson 1975)」として逆説的に定義されるにとどまっている。

入眠期は脳波的变化が顕著であることから、古くから Davis et al. (1938) や Gibbs & Gibbs (1950)、塩月ら (1954)、Dement & Kleitman (1957) らの様々な研究者により、脳波の波形の特徴と周波数を定性的に表現し、覚醒期からいわゆる軽睡眠期までを細分化しようとする試みが行われてきたが、入眠期の区分は、研究者間でかなりの相違がみられた。しかし、睡眠段階の国際判定基準 (Rechtschaffen & Kales 1968) が設定されて以来、睡眠を REM睡眠と NREM睡眠に分け、さらに NREM睡眠を4段階に分類して睡眠研究が行われている。この基準に従うと、前述の研究者たちが入眠期として細分化した区間は、その大部分が入眠前覚醒期に続く睡眠段階1ということになる。つまり、様々な研究者により定性的に表現されてきた特徴的な波形と周波数の情報は、すべて1つの段階として表現されたことになる。

ところが、入眠時幻覚は α 波が連続して出現している時期、すなわち国際判定基準では覚醒となる時期からすでにみられることが指摘されている (Foulkes & Vogel 1965)。このことは、入眠期の現象が睡眠段階1の出現に先行して生起していることを示している。また、外部刺激に対する反応時間は、段階1の時期で延長を開始する (Ogilvie & Wilkinson 1984)。このことは睡眠段階1ですでに行動的入眠が生起していることを示している。さらに、国際判定基準が提案されてから、睡眠の開始(入眠)は睡眠段階2、あるいはその主要な脳波指標である紡錘波の出現時点とするのが主流となっているが、睡眠紡錘波が出現しても初発の段階では睡眠感は乏しいことも指摘されている (Kamiya 1961)。このことは、主観的入眠は睡眠段階2の出現以降で生起していることを示している。このように、睡眠段階1と入眠期を同義に扱うには両者の間に多くの矛盾点が指摘できる。これは、この国際判定基準が終夜睡眠の経過を概観しやすいように、脳波特徴を大まかに捉えた単純構造になっているためであり、入眠期の詳細な脳波変化を捉えるには適していないように思われる。

そこで、我々は入眠期の脳波変化を詳細に記述するために、覚醒から睡眠への移行期にみられる特徴的脳波パターンを Gibbs & Gibbs (1950) の分類と図譜を修正した、塩月ら (1954) の分類基準を参考にして、Fig. 1のように9つに分類した (Hori et al. 1991)。

また、現在の国際判定基準では、左右の中心部 (C₃、C₄) のいずれか一方の脳波をもとに段階判定が行われているが、これらの単一部位に入眠期の多彩な変化が全て反映されているという根拠は明かではない。従来の定性的な知見を整理すれば、覚醒時の α 波は頭頂部-後頭部優位に出現する一方で、 δ 波、 θ 波などの徐波は前頭部優位に出現し、睡眠の経過に対応して頭皮上の広範な部位へと広がっていくことになる。また睡眠紡錘波も、14Hzの成分は頭頂部、12Hzの遅い成分は中心-前頭部に分布する (Gibbs & Gibbs 1950)。こうした初期の睡眠研究者が記述した入眠期脳波の特徴は、脳波の波形や周波数の変化に加え、その頭皮上分布の変化が重要な情報であることを示している。つまり、覚醒期から睡眠期への移行に伴う脳波変化を詳細に記述するためには、脳波の頭皮上空間分布を明確にし、多部位間での部位間関係を定量的に表現する必要がある。トポグラフィを用いて、入眠期脳波の時間的、空間的変動性を検討した報告 (Hori et al. 1990) では、入眠期脳波の主要変動成分である δ 、 θ 、 α 、 σ 帯域活動の時間的、空間的変動パターンは一様ではなく、

入眠期は国際判定基準による睡眠段階1開始前から始まり、睡眠段階2開始後しばらく持続することを指摘している。しかし、入眠期にみられる特徴的な脳波パタンの変動と頭皮上空間分布との関係について詳細に検討するまでには至っていない。

そこで、本研究では、入眠期に特徴的な9つの脳波パタンについて、トポグラフィ的な特徴とその変遷過程を分析し、これらの脳波パタンの変化と主要変動成分の部位間関係について検討した。

方 法

1. **被験者**：心身ともに健康で、睡眠障害のない男子大学生および男子大学院生10名（20-25歳、平均22.6歳）を対象とした。
2. **実験条件**：実験室は有効寸法3100W×2680D×3300Hの恒常環境ボックス（室温：22.5±1℃）を用いた。消灯後、記録を開始し、ポリグラフィ記録を行った。室内の観察は昼光/赤外線兼用VTRカメラを用いた。
3. **実験手続**：被験者が、普段の就床時刻の2時間前に実験室に入室した後、電極等を装着した。就床直前に被験者がOSA睡眠調査票（小栗ら他1985）に記入後、消灯を合図に入眠を許可し、睡眠前覚醒期から徐波睡眠期（国際判定基準の睡眠段階3）出現までの自然睡眠のポリグラフィ記録を行い、その後、被験者を覚醒させた。被験者は覚醒後OSA起床時調査に記入し、内省報告を行った。実験開始から3分以内に連続して脳波段階3が見られた場合や、消灯後30分を経過しても脳波段階9に達しない場合は、一旦、被験者を覚醒させ内省報告を聴取した。その後、再び入床させ、ポリグラフィ記録を行った。OSA睡眠前調査は（1）健康な正常成人を抽出して、不適切な被験者を統計処理の対象から除外（日中行動を把握し、徹夜、昼寝、飲酒、投薬、過度の運動を行った人の除外）と、（2）就床前の身体的・精神的状態を把握することを目的として行った。
4. **ポリグラフィ測定**：脳波は国際10-20法の12部位（Fp1, Fp2, F7, F8, Fz, C3, C4, Pz, T5, T6, O1, O2）を左右耳朵（A1, A2）を基準部位として記録した。睡眠段階判定および入眠期脳波の段階判定にはC3の脳波記録を用いた。眼球運動は水平眼球運動の記録を目的とし、両耳朵を基準電極として両眼角外1cmの位置に置いた探查電極から導出記録した。筋電図はオトガイ筋（M. mentalis）部位から表面電極法で記録した。これらは万能脳波計（日電三栄製1A97型）によって増幅し、紙送り速度1.0 cm/sで紙記録するとともにデータレコーダ（TEAC製SR-50）に1.2 cm/sで磁気記録した。
5. **入眠期の脳波段階判定基準**：入眠期にみられる典型的な脳波パタンを以下のように9つの段階に分類した（以下、脳波段階と記述し、国際判定基準による睡眠段階と区別する）。脳波段階1（ α 波連続期）は α 波が判定区間に連続して出現している時期である。脳波段階2（ α 不波連続期）は α 波が不連続だが、 α 波の出現が50%以上に保たれている時期、脳波段階3（ α 波不連続期）は α 波の出現が50%以下になる時期である。脳波段階4（平坦期）は α 波の律動性がみられなくなり低振幅不規則波が出現している時期、脳波段階5（ θ 波期）は θ 波が連続して出現する時期である。脳波段階6（頭頂部鋭波散発期）は頭頂部鋭波が区間に1つ出現している時期、脳波段階7（頭頂部鋭波頻発期）は頭頂部鋭波が区間に複数出現している時期である。脳波段階8（頭頂部鋭波+紡錘構成波期）は頭頂部鋭波あるいは高振幅 θ 波に続いて振幅10 μ V以上、周波数11-16Hz、持続時間0.5秒未満の紡錘構成波が出現する時期である。脳波段階9（紡錘波期）は振幅20 μ V以上、周波数11-16Hz、持続時間0.5秒以上の紡錘波が出現している時期である。脳波段階1、2が国際判定基準の覚醒、脳波段階3-8が睡眠段階1、脳波段階9が睡眠段階2である。

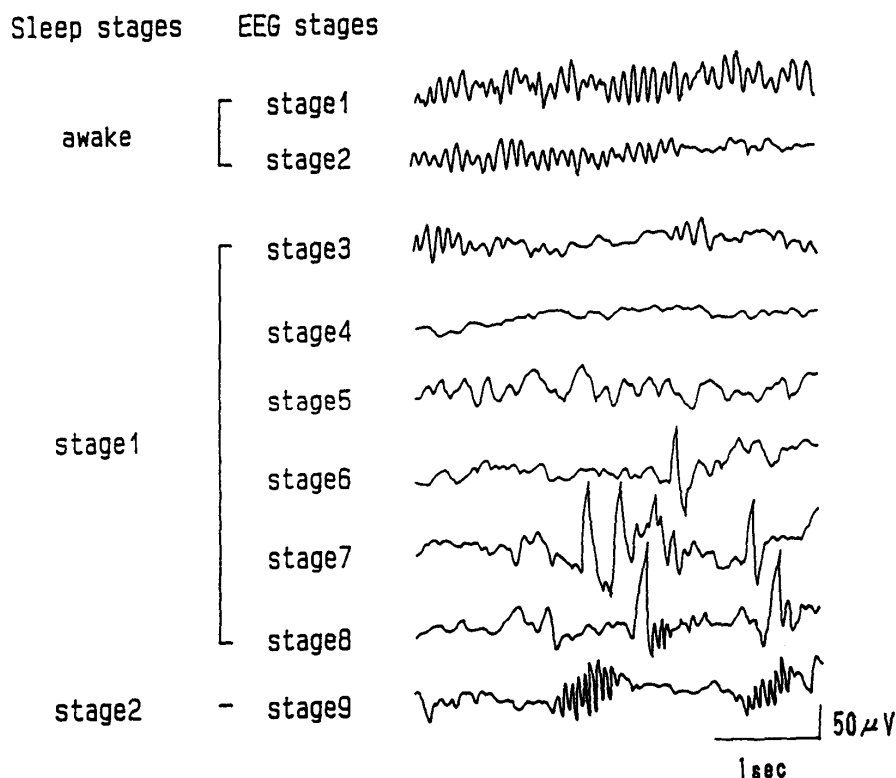


Fig. 1. Typical EEG patterns during hypnagogic state; stage 1.alpha wave train, stage 2. alpha wave intermittent A (>50%), stage 3.alpha wave intermittent B (<50%), stage 4. EEG flattening, stage 5. ripples, stage 6. vertex sharp wave solitary, stage 7. vertex sharp wave burst, stage 8. vertex sharp wave with incomplete spindles, stage 9. spindles.

6. 脳波のスペクトル分析：スペクトル分析には日電三栄製シグナルプロセッサ7T18Aを用いて、入眠許可から睡眠段階3出現までの12チャンネルの脳波を30s (5s×6区間) 毎に連続的に分析した。サンプリング間隔12.5msで400点のデータをA/D変換した後、高速フーリエ変換(FFT)し、5.0s間のパワースペクトルを求めた(周波数分解能：0.2Hz)。これを6回単純加算平均して、30s間の平均パワを算出した。スペクトルの平滑化処理としてハミングウィンドウを用いた。得られたスペクトルデータを δ (2.0–3.4Hz)、 θ (3.6–7.4Hz)、 α_1 (7.6–9.4Hz)、 α_2 (9.6–11.4Hz)、 α_3 (11.6–13.4Hz)、 σ (13.0–14.8Hz)の6帯域に分けて12部位毎に平均振幅値(μV)を求め、30秒毎のトポグラフィを作成した。なお、artifactの混入が区間の20%以上を占めたときは、その区間を分析から除いた。また、覚醒期と入眠期に特有の瞬目と眼球運動の影響を除去するために、2 Hz以下の周波数成分は今回の分析から除去した。

前後差・中心周辺差指数については、30s間を1標本区間として各被験者、12部位、4帯域毎に、脳波段階1から9までそれぞれの脳波段階標本の振幅の平均値を求め、それを用いて、Fig. 2の式に代入して算出した。

7. 分散分析：1要因の繰り返しモデルによる分散分析結果をGreenhouse & Geisserの調整自由度(Winer et al. 1991)を用いて検定した。下位検定にはNewman-Keuls法を用い、有意水準は5%とした。

結 果

被験者 10 名の脳波段階毎の平均記録長、除去区間数、標本区間数を Table. 1 に示した。

1. 脳波段階とトポグラフィ特徴の検討

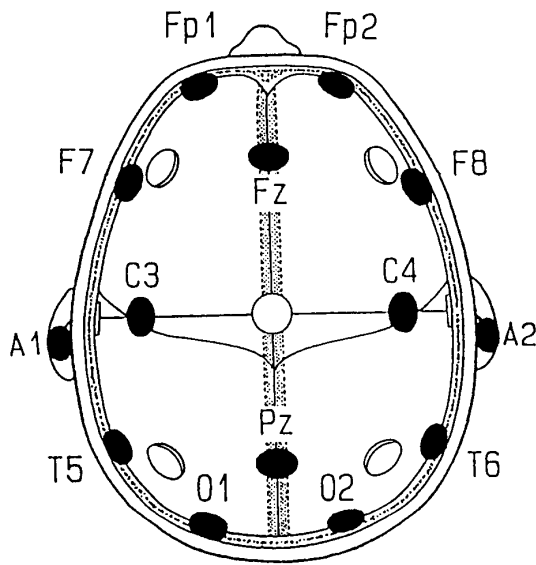
Fig. 1 の入眠期に特徴的な脳波パターン 9 段階について、脳波トポグラフィを作成し、各帯域成分の頭皮上空間分布の特徴を示した 1 例が Fig. 3 である。それぞれのトポグラフィの上側が鼻、下側が後頭である。左から δ 、 θ 、 α_1 、 α_2 、 α_3 、 σ の 6 つの帯域活動（振幅：ルートパワ）について空間分布と時間変動を示している。表示上の便宜から δ 、 θ を α の振幅の 1/4、1/2 で表現した。右側の数字は消灯からの経過時間を示す。覚醒中の脳波段階 1、2 の主要変動成分は α_2 帯域活動であり、これは頭頂部、後頭部優位に出現したが、脳波段階 4、5 で急激な減少を示した。その後、 α 帯域活動の振幅は徐々に回復し、まず α_1 帯域が段階 5 から、 α_2 と α_3 の帯域は少し遅れて、脳波段階 7 から前頭優位に振幅が増加した。脳波段階 8、9 では α_3 帯域の活動が最も優勢となり、紙記録と対応させてみるとこの活動は 12Hz の遅い睡眠紡錘の出現と一致していた。

一方、 σ 帯域活動には、脳波段階 1 から 7 までは目立った変化は見られないが、脳波段階 8 になると頭頂部優位のパターンが出現しはじめた。この頭頂部優位のパターンは紙記録と対応させると、14Hz の紡錘波の出現と一致していた。従来、定性的に記述されてきた 12Hz の紡錘波と 14Hz の紡錘波の頭皮上分布特徴とその相違をトポグラフィ上で確認することができた。

δ 帯域活動は脳波段階の変化とともに、前頭部を中心としてパワが中心部から頭頂部へと広がっていくことが観察された。 θ 帯域の活動は、前頭から頭頂にかけてパワの増大がみられたが、この増加傾向は必ずしも単調増加勾配を示さず、優勢部位が前頭-頭頂間で不規則な移動を示した。また、徐波成分であるこの δ 、 θ の活動は α 波が消失する以前、脳波段階 3 ($\alpha < 50\%$) の時期からすでに振幅の増大が始まっていた。これに対し、 α 帯域活動はすでに述べたように、脳波段階の進

Table. 1 Averages of the duration time of EEG stages in min. (ST), the rejected artifact epochs(RE) and the sampled epochs (SE). (N=10). * Figures in the parenthesis show the standard errors.

EEG stage	Mean		
	ST	RE	SE
1	2.0 (0.2)	1.6 (0.4)	2.4 (0.2)
2	2.4 (0.4)	0.7 (0.3)	4.1 (0.7)
3	1.6 (0.3)	0.7 (0.4)	2.5 (0.4)
4	0.9 (0.1)	0.2 (0.1)	1.7 (0.2)
5	1.4 (0.2)	0.2 (0.1)	2.6 (0.5)
6	0.9 (0.2)	0.1 (0.0)	1.7 (0.3)
7	1.5 (0.4)	0.8 (0.7)	2.1 (0.3)
8	1.3 (0.1)	0.3 (0.2)	2.3 (0.1)
9	2.9 (0.3)	0.7 (0.3)	5.1 (0.3)
Total	14.9 (0.7)	5.3 (0.9)	24.5 (1.3)



EEG ANTERIOR - POSTERIOR INDEX

$$= (A-P) / (A+P) \times 100$$

$$\text{ANTERIOR} : (Fp_1 + Fp_2 + Fz + F_7 + F_8) / 5$$

$$\text{POSTERIOR} : (T_5 + T_6 + Pz + O_1 + O_2) / 5$$

EEG CENTRAL - PERIPHERAL INDEX

$$= (C-P) / (C+P) \times 100$$

$$\text{CENTRAL} : (Fz + C_3 + C_4 + Pz) / 4$$

$$\text{PERIPHERAL} : (Fp_1 + Fp_2 + F_7 + F_8 + T_5 + T_6 + O_1 + O_2) / 8$$

Fig. 2 The formulas of the EEG anterior-posterior index and the EEG central-peripheral index.

行につれて、帯域間に振幅差はあるものの共通して後頭部優位（脳波段階1～3）から前頭部優位（脳波段階5～9）へと移行を示し、優勢部位の移動がはっきりと認められた。一方、 σ 帯域の活動は脳波段階8、9で頭頂部優位に現れ、優勢部位の移動はみられなかった。

以上、トポグラフィの結果より、(1) α 帯域の活動は優勢部位が正中線上で移動すること、(2) δ 、 θ 、 σ 帯域の活動は優勢部位とその周辺部で落差が深まることがわかった。そこで、このような多彩な変化を比較的単純な形で表現するために、前と後、中心と周辺という2つの次元に絞ってデータを定量化し、入眠期の経過を単純な形で表現することを試みた。ただし、ここで α 帯域活動の3つの帯域成分については移動が前後方向という次元で基本的に同じ変動を示したので、これらを1つにまとめて検討した。

すでにFig. 2に示したように、今回は2つの指標を用いた。前後差指数は前頭側の5部位（Fp₁, Fp₂, Fz, F₇, F₈）の振幅の平均値から後頭側の5部位（T₅, T₆, Pz, O₁, O₂）の振幅の平均値を引いた値を両者の和で割り、100を掛けて算出した。また中心周辺差指数は中心部の4部位（Fz, C₃, C₄, Pz）の平均値と周辺部の8部位（Fp₁, Fp₂, F₇, F₈, T₅, T₆, O₁, O₂）の平均値の差を、両者の和で割ったものに100を掛けて算出した。

2. 前後差指数と脳波段階の対応

Fig. 4は δ 、 θ 、 α 、 σ の4帯域の活動についての前後差指数を示したものである。横軸に脳波段階、縦軸に前後差指数を表示した。正の数値が大きくなるほど前頭側優位、負の数値が大きくなるほど後頭側優位を示す。 δ 帯域活動は一貫して正の値をとり、前頭側優位を示した。脳波段階3（ $\alpha < 50\%$ ）で急激に減少したが、 α 波消失以降は平坦化し、脳波段階7（頭頂部鋭波頻発期）で一時的に低下したがほぼ一定の水準を推移した。分散分析の結果、脳波段階間に有意差（F(3/29)=3.17, $\epsilon = .40$, $p < .05$ ）が認められたが、下位検定の結果、脳波段階1と脳波段階4、5、6の間に、また脳波段階2と脳波段階7の間に有意差が認められたにすぎず、系統的な変化は認め

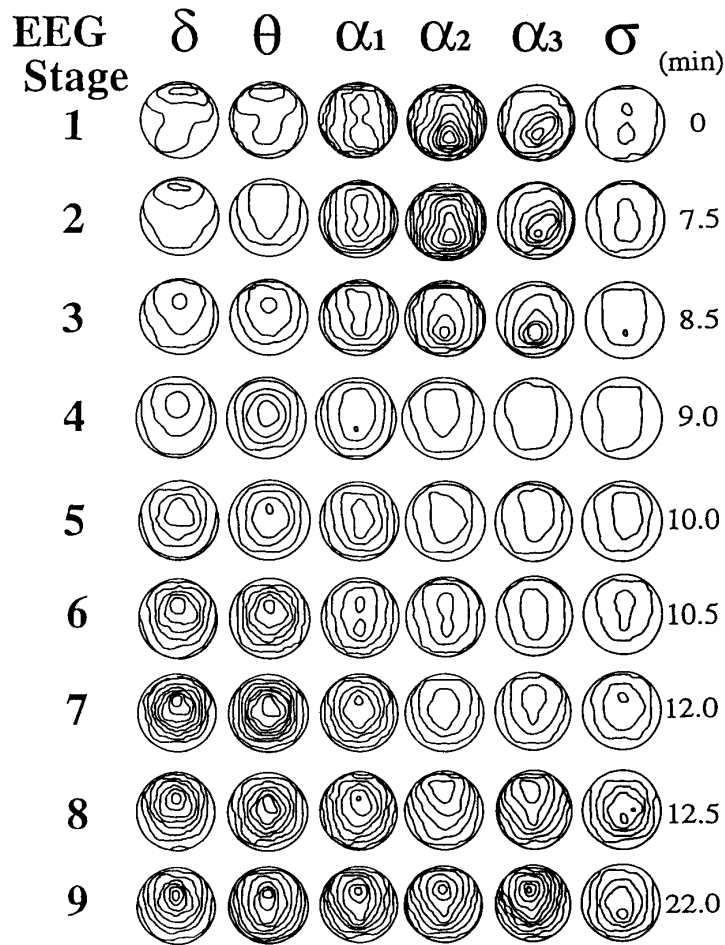


Fig. 3 Typical patterns of topographic maps for six frequency bands corresponding to 9 EEG stages. Upper side of each map shows the nasal and lower side shows the occipital side. The numerals on the left side of this panel show the 9 EEG stages and on the right side show the elapsed time from the start of light off.

られなかった。 θ 帯域活動は脳波段階 5 までは前頭側優位を示したが、頭頂部鋭波が出現する脳波段階 7、8 では後頭側優位を示した。

分散分析の結果、脳波段階間に主効果がみられた ($F(3/31)=8.25, \epsilon=.43, p<.01$)。下位検定の結果、脳波段階 1、2、3、4、5 と脳波段階 7、8 間、脳波段階 1、2 と脳波段階 6、9 間に有意差がみられた。このように有意差は認められたが、全体的に勾配は緩く、また、脳波段階 9 が脳波段階 7、8 と異なる勾配を示したため、これを睡眠段階の関数とみなすことは難しい。一方、 α 帯域活動の指数は脳波段階 2 (α 波不連続期: $\alpha > 50\%$) から単調増加し、 α 波が消失する脳波段階 4 で急激に増加した後、頭頂部鋭波の頻発する脳波段階 7 から前頭優位へと変化した。分散分析の結果、脳波段階間に主効果が認められた ($F(4/36)=50.77, \epsilon=.50, p<.01$)。下位検定の結果、脳波段階 1、2、3 と脳波段階 4、5、6、7、8、9 の間で有意差が認められた。さらに脳波段階 4、5、6 と脳波段階 7、8、9 の間でも有意差がみられ、この結果は入眠期前期と中期の弁別を可能にした。また、脳波段階 7、8 と脳波段階 9 の間でも有意差が認められ、国際判定基準のパターン分類と対応した区分が認められた。 σ 帯域は脳波段階 3 から 8 の間で、脳波段階 6 をピークと

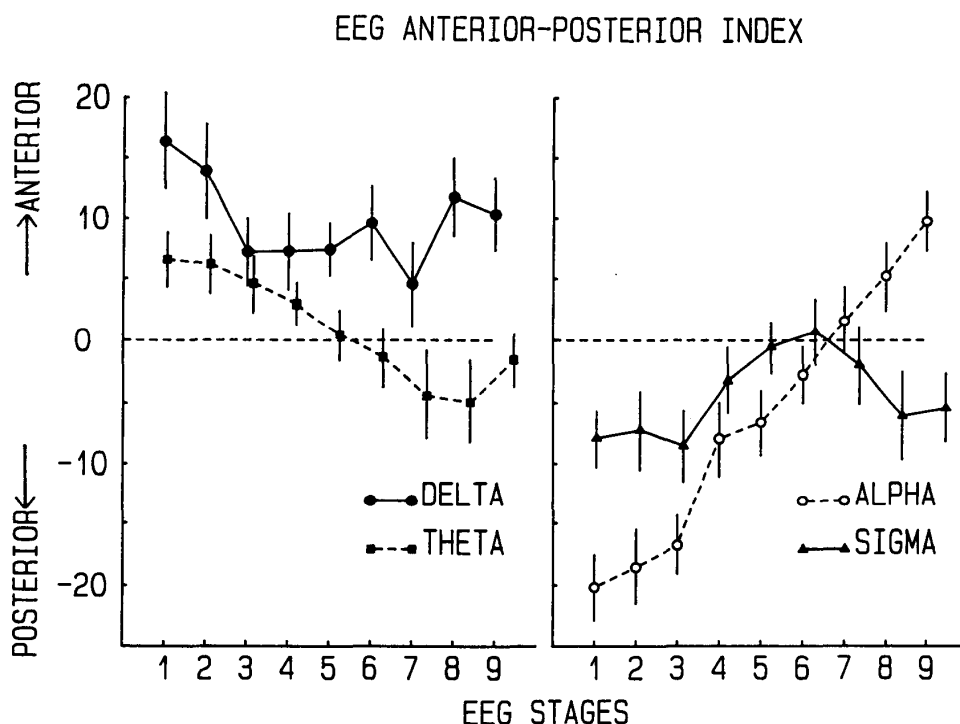


Fig. 4 The EEG anterior-posterior (A/P) indexes for four frequency bands. Filled circles indicates delta band ; filled squares, theta band ; open circles, alpha band ; filled triangles, sigma band. The x axis shows the EEG stages and the Y axis shows the A/P indexes. Vertical bars show the SEs. Note that the A/P indexes in the alpha band increased from stage 1 to stage 9 as a function of EEG stages.

する逆U字型の分布を示した。分散分析の結果、この分布パターンは有意であった ($F(3/24)=3.16$, $\epsilon=.34$, $p<.05$)。下位検定の結果、脳波段階3と脳波段階6の間に有意差がみられたが、脳波段階8との間には差が認められなかった。必ずしも系統的とは言い難いが脳波段階6を中心とする入眠期中期の特徴を捉えていることがわかる。

3. 中心・周辺差指数と脳波段階の対応

Fig. 5は δ 、 θ 、 α 、 σ の4帯域についての中心周辺差指数を示している。横軸が脳波段階、縦軸が中心周辺差指数である。数値が大きいほど中心優位、小さいほど周辺優位を示している。 δ 帯域の活動は、前後差指数では変化の範囲が比較的狭かったが、中心周辺差指数では脳波段階3から急激に増加し入眠期初期から単調増加した後、脳波段階7を頂点として屈曲し、入眠期後期の脳波段階8、9では、脳波段階6の水準まで減少した。分散分析の結果、脳波段階間に有意な差が認められた ($F(3/27)=27.20$, $\epsilon=.37$, $p<.01$)。下位検定の結果、脳波段階1、2と脳波段階3、4、5の間で有意差がみられ、さらに脳波段階1、2、3、4と脳波段階6、7、8、9の間でも有意差が認められた。また、脳波段階1、2、3、4、5、6、8、9と脳波段階7の間にも有意差がみられた。

このことから、脳波段階7をピークとする変化特徴は統計的にも確かめられた。 θ 帯域活動も脳波段階4まで緩やかに増加したが、脳波段階6から急激に増加し、脳波段階7を頂点として脳波段階8、9では減少した。分散分析の結果、脳波段階の変動が認められた ($F(3/28)=19.13$, $\epsilon=.39$,

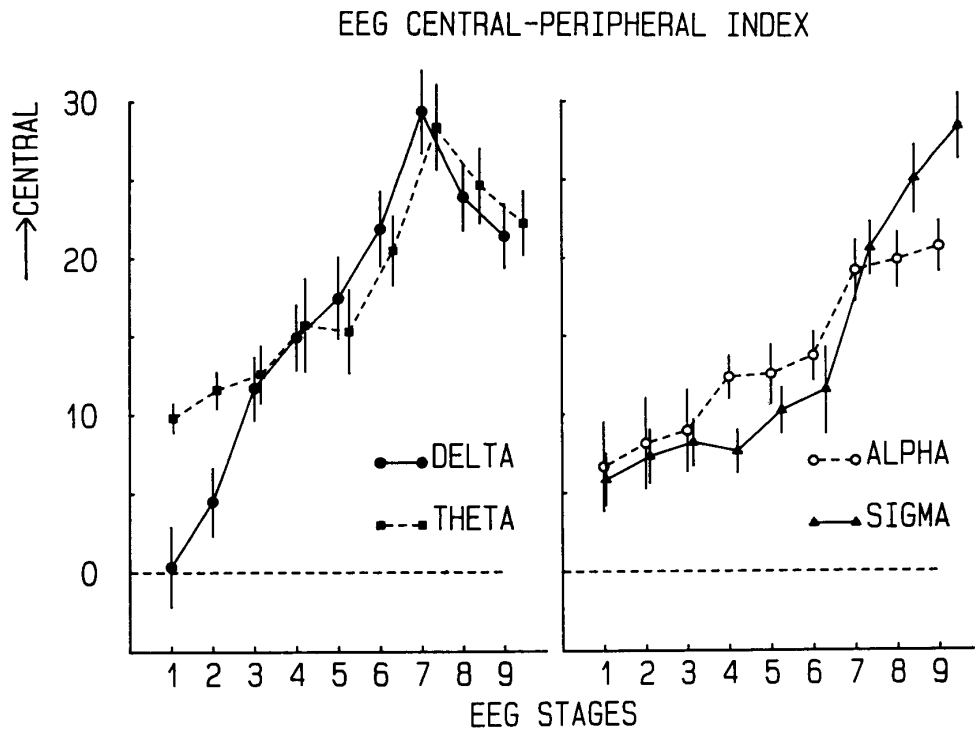


Fig. 5 The EEG central-peripheral (C/P) indexes for four frequency bands. Filled circles indicates delta band ; filled squares, theta band ; open circles, alpha band ; filled triangles, sigma band. The x axis shows the EEG stages and the Y axis shows the C/P indexes. Vertical bars show the SEs. Note that the C/P indexes in the sigma band were sensitive to the changes in later process of hypnagogic EEG.

p<.01)。下位検定の結果、脳波段階 1、2、3、4、5 と脳波段階 6、7、8、9 の間、脳波段階 1、2、3、4、5、6、9 と脳波段階 7 の間に有意差が認められた。また、脳波段階 1 と脳波段階 4、5 の間にも有意差がみられた。一方、 α 帯域活動は、脳波段階の進行に対応して直線的に増加し、この変化は統計的にも有意差が認められた ($F(3/26)=19.69, \epsilon=.36, p<.01$)。下位検定の結果、 α 波の出現期 (脳波段階 1、2、3) と平坦期、頭頂部鋭波散発期 (脳波段階 4、6) の間で有意差がみられ、さらに頭頂部鋭波の頻発期以前 (脳波段階 1、2、3、4、5、6) とそれ以降 (脳波段階 7、8、9) の間で有意差が認められた。また、 σ 帯域活動は脳波段階の進行とともに徐々に増加し、頭頂部鋭波が頻発する脳波段階 7 から急激に増加した。分散分析の結果、脳波段階間に有意な差が認められた ($F(3/30)=44.42, \epsilon=.42, p<.01$)。下位検定の結果、脳波段階 1、2、3、4、5、6 と脳波段階 7、8、9 の間で有意差が認められた。さらに、脳波段階 1 と脳波段階 6 の間で、また脳波段階 7 と脳波段階 8、9 間でも有意差が認められ、入眠期後期過程に高い弁別力を持つことを示した。

考 察

入眠期に特徴的な 9 段階の脳波パタンの頭皮上空間分布について検討したところ、脳波段階 8、9 では、遅い 12Hz の睡眠紡錘波の出現と対応して α 3 帯域活動に前頭優位のパターンがみられた。一方、 σ 帯域には頭頂部優位のパターンが認められ、これは 14Hz の睡眠紡錘波の出現と対応してい

た。この結果は、従来、定性的に記述されてきた12Hzの睡眠紡錘波と14Hzの睡眠紡錘波の頭皮上分布特徴の相違 (Gibbs & Gibbs 1950) を、トポグラフィ上で確認したものと見える。

また、脳波段階に対応したトポグラフィ特徴とその変遷過程を分析した結果、脳波段階の進行に伴い、 α 帯域活動は優勢部位が頭頂部・後頭部から前頭部へと正中線上を移動すること、 δ 、 θ 帯域活動は前頭部を優勢部位として、また σ 帯域活動は頭頂部を優勢部位としてその周辺部との落差が徐々に深まっていくことがわかった。広重 (1992) は、覚醒から睡眠に移行する過程において、前頭部と後頭部の脳波活動は時間的ふるまいが異なることに注目し、入眠期の脳波的变化を α 帯域活動の前後差指数と左右差指数を用いて表現し、特徴的な変化点を検出しようと試みている。確かに、指数の時系列変動は入眠期の脳波変化の特徴をよく捉えているが、その変化点は必ずしも4つに分類した睡眠段階の範囲では捉えきれず、さらに詳細な段階分類の必要性が指摘された。そこで、本研究では、入眠期に典型的な脳波を9段階に分類した。そして、トポグラフィ上に変化が認められた前後差・中心周辺差の時間的、空間的特性を定量的に記述した。その結果、いくつかの帯域活動が脳波段階の変動に対してある一定の関数特性を示していることがわかった。

δ 帯域の中心周辺差指数は、脳波段階7を頂点とする逆V字型の変動を示したことから頭頂部鋭波頻発期 (脳波段階7) とその他の脳波段階の弁別、さらに脳波段階1、2と脳波段階3、4、5の弁別を可能にした。 θ 帯域の中心周辺差指数もこれと同様の変動を示し、脳波段階7とその他の脳波段階の弁別を可能にした。また、 α 帯域活動の前後差指数は脳波段階の進行に対応して直線的な変動を示した。すなわち、入眠期前期の α 波不連続期と α 波消失後の弁別、頭頂部鋭波散発期と頭頂部鋭波頻発期の弁別、入眠期前期と中期の弁別を可能にした。また、入眠期後期の頭頂部鋭波に紡錘構成波を伴う時期と紡錘波期の弁別を可能にし、脳波段階の変動をよく反映する指標となり得ることが示唆された。 α 帯域活動の前後差指数を用いると、入眠期は脳波段階1、2、3と脳波段階4、5、6と脳波段階7、8と脳波段階9の4つの状態に分けることができる。逆説的ではあるが、覚醒の指標としての視察可能な α 波が減少し、消失した後の α 帯域活動の前後差指数が覚醒水準を反映していることは、非常に興味深い。 α 帯域の中心周辺差についても脳波段階の進行に対応して直線的に変動し、入眠期を脳波段階1、2、3と脳波段階4、5、6と脳波段階7、8、9の3つに分けることができる。一方、 σ 帯域の前後差指数は脳波段階6を頂点とする逆U字型変動を示し、入眠期中期の特性を捉えていた。これに対し、 σ 帯域活動の中心周辺差指数は脳波段階の変動に対応して指数関数的に変動し、段階7以降、急激に増加した。これらの結果から、 σ 帯域の中心周辺差指数を用いることにより、入眠期後期の頭頂部鋭波散発期と頭頂部鋭波頻発期の弁別、頭頂部鋭波に睡眠紡錘構成波を伴う時期と明瞭な紡錘波の出現する時期の弁別が可能であるといえる。また、この指数は入眠期を脳波段階1～6、脳波段階7、脳波段階8、9の3つに分類し、入眠期後期過程を表現する指標として有効であることが示唆される。睡眠開始 (入眠時点) の指標とされる睡眠紡錘波に対応する周波数帯域である σ 帯域の指数が、脳波段階7 (頭頂部鋭波頻発期) から急激に増加することを考えると、睡眠への準備は頭頂部鋭波の出現するところからすでに進行している可能性が示唆される。以上のように、いくつかの帯域活動の前後差・中心周辺差指数の変動に特徴的な変化がみられたが、それら中でも α 帯域の前後差指数・中心周辺差指数と σ 帯域の中心周辺差指数は脳波段階の進行に対応して直線的 (α 帯域) あるいは、指数関数的 (σ 帯域) に増加し、単純な形で入眠期脳波の時間的・空間的特性を記述する指標となり得ることを示している。特に、 α 帯域の前後差指数は入眠期前期と中期の弁別の指標に、 σ 帯域の中心周辺差は入眠期後期過程を表現する指標に有効であると考えられる。

以上、本研究より、 α 帯域活動の前後差指数と α 帯域および σ 帯域活動の中心周辺差指数を組み

合わせることにより入眠期脳波の時間的・空間的特性を単純な形で記述することが可能であることが示唆された。

今回の前後差・中心周辺差指数による検討は、トポグラフィ上で視察された部位間関係をもとに行ったものであるが、今後、各帯域成分がいかなる部位間でサブグループを構成して共通変動しているか、多変量解析など統計的根拠をふまえた上での比較検討が必要であろう。

ま と め

入眠期に特徴的な脳波パターンを9つに分類し、脳波段階に対応したトポグラフィ特徴とその変遷過程を分析した。その結果、脳波段階の進行に伴い、 α 帯域活動は優勢部位が頭頂部・後頭部から前頭部へと正中線上を移動すること、 δ 、 θ 帯域活動は前頭部を優勢部位として、また σ 帯域活動は頭頂部を優勢部位として、その周辺部との落差が徐々に深まっていくことがわかった。そこで、各帯域について脳波段階毎の前後差・中心周辺差指数を算出し、入眠期脳波の時間的・空間的特性を単純な形で記述しようと試みた。 α 帯域の前後差指数は、脳波段階の進行に対応して直線的に増加し、特に入眠期前期と中期の弁別を可能にした。また、中心周辺差指数は、 α 帯域では入眠期の前期で段階的に変化する一方、 σ 帯域活動は入眠期後期の脳波段階7以降、急激に増加し、入眠期後期過程の脳波変化を鋭敏に表現した。

以上、本研究より、 α 帯域活動の前後差指数と α 帯域および σ 帯域の中心周辺差指数は、入眠期の脳波活動の変化を鋭敏に表現する指標として有効であり、これらを組み合わせることにより入眠期脳波の時間的・空間的特性を単純な形で記述することが可能であることが示唆された。

文 献

- Davis, H., Davis, P.A., Loomis, A. L., Harvey, E. N. & Hobart, G. (1938) : Human brain potentials at the onset of sleep. *J. Neurophysiol.* 1, 24-38.
- Dement, W. C & Kleitman, N. (1957) : Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility, and dreaming. *Electroenceph.Clin. Neurophysiol.* 9, 673-690.
- Foulkes, D. & Vogel, G. (1965) : Mental activity at sleep onset. *J. Abnorm. Psychol.* 70 : 231-243.
- Gibbs, F. A. & Gibbs, E. L. (eds.)(1950) : *Atlas of Electroencephalography.* Vol. 1. Reading, MA : Addison-Wessley.
- 広重佳治 (1992) : 入眠期脳波の頭皮上分布と非対称性. 日本睡眠学会学術集会プログラム抄録集 p. 74.
- Hori, T., Hayashi, M. & Morikawa, T. (1990) : Topography and coherence analysis of the hypnagogic EEG. In Horne, J (ed.) : *Sleep'90.* Pontenagel Press, Bochum, pp. 10-12.
- Hori, T., Hayashi, M. & Kato, K. (1991) : Changes of EEG patterns and reaction time during hypnagogic state. *Sleep Research* 20 : 20.
- Kamiya, J. (1961) : Behavioral, subjective and physiological aspects of sleep and drowsiness. In D. W. Fiske & S. R. Maddi (eds.) *Functions of Varied Experience.* Dorsey, Homewood Illinois, pp. 145-174.
- Johnson, L. C. (1975) : Sleep. In P. H. Venable & M. J. Christie (eds.) *Research in*

Psychophysiology. John Wiley & Sons, London, pp. 125-152.

Ogilvie, R. D. & Wilkinson, R. T. (1984) : The detection of sleep onset : Behavioral and physiological convergence. *Psychophysiology* 21 : 510-520.

小栗 頁・白川修一郎・阿住一雄 (1985) : O S A睡眠調査票の開発. *精神医学*. 27(7) : 791-799.

Rechtchaffen, A & Kales, A. (eds.)(1968) : *A Manual of Standardized Terminology, Techniques, and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects*. Public Health Service, U. S. Government Printing Office, Washington.

塩月正雄・市野義夫・清水健太郎 (1954) : 睡眠と脳波, 終夜自然睡眠の脳波, *日本外科学会雑誌*. 55, 322-331.

Shacter, D. L. (1976) : The hypnagogic state : A critical review of the literature. *Psychol. Bull.* 83 : 452-481.

Winer, B. J., Brown, D. R. and Michels, K. M (1991) : *Statistical Principles in Experimental Design*. (3rd ed.) New York, McGraw-Hill.