

日中の眠気に及ぼす
ウルトラディアン・リズム
の影響に関する研究

広島大学大学院

生物圏科学研究科

環境計画科学専攻

林 光緒

序

日中に起こる眠気はごく日常的に体験できる感覚である。昼食後に強い眠気を覚えることがあるという人の数は、決して少なくないであろう。授業中に眠ってしまう学生も数多く見かける。このように日中に眠気が起こるのは、睡眠不足の結果であると誰しも考えることであろう。

以前（1986年5月）、大学生403名を対象として睡眠生活習慣を調査した際、睡眠に関する悩みについて自由記述する欄を回答用紙に設定したところ、授業中に眠くなって困るという回答が多く寄せられた。中には休日には眠くならないのに授業中に眠くなるとか、しっかり眠っているはずなのに授業中に眠くなって困っている、といった回答もみられた。睡眠が足りていると回答した人でも、そのうちの90%の人が日中に眠気が起こると回答していた。日中に眠気が起こるのは単に睡眠不足の結果であるとしたら、夜間睡眠を改善すれば日中の眠気を解消することができるはずである。しかし、睡眠が足りていると回答した人のうちの9割に眠気が起こるというこの調査結果をみると、単に夜間睡眠を改善するだけでは日中の眠気を解消することができないように思われる。それでは、どうすれば日中の眠気に対して対処することができるのであろうか。眠気に対処するためには、まず第一に眠気の発生機序を調べる必要がある。本研究では、近年注目されてきたヒトの持つ生体リズムに焦点を当てながら日中の眠気の時間変動特性を検討する。

目次

第1章 眠気研究の現状と問題点

1. 眠気の定義	1
2. 眠気の測定法	4
3. 眠気の研究小史	9
4. ウルトラディアン・リズムの定義	14
5. ウルトラディアン・リズムと眠気	17
6. 本研究の目的	19
7. 要約	21

第2章 睡眠習慣と日中の眠気

1. 序	22
2. 調査方法	22
2-1 調査対象	
2-2 調査方法	
2-3 データ分析	
3. 結果	23
3-1 日中の眠気の頻度	
3-2 睡眠時間と日中の眠気	
3-3 熟眠型－不眠型と日中の眠気	
3-4 睡眠習慣の規則性と日中の眠気	
3-5 睡眠の満足度と日中の眠気	
3-6 日中の眠気と昼寝の発生時刻	

4. 考察	32
4-1 日中の眠気の要因	
4-2 夜間睡眠の量、質および規則性と日中の眠気	
4-3 日常場面における日中の眠気の発生時刻	
5. 要約	38

第3章 日中の眠気のウルトラディアン・リズムの実証

1. 序	40
2. 実験方法	40
2-1 被験者	
2-2 眠気の指標	
2-3 実験手続き	
2-4 記録と分析	
3. 結果1 - ウルトラディアン・リズムの同定	44
3-1 前夜の夜間睡眠	
3-2 指標毎の周期	
4. 結果2 - 指標間に共通する成分の抽出	50
4-1 共通成分抽出のモデル	
4-2 主成分分析の適用	
4-3 主成分値の時間変動	
5. 考察	56
5-1 眠気の規定要因としてのウルトラディアン・リズム	
5-2 眠気のウルトラディアン構造	
6. 要約	61

第4章 社会的隔離環境下における眠気の変動と睡眠の発生

1. 序	62
2. 実験方法	63
2-1 被験者	
2-2 実験手続き	
2-3 記録と分析	
3. 結果	66
3-1 48時間内の睡眠時間	
3-2 眠気の変動と睡眠の発生	
4. 考察	72
4-1 過眠後の眠気	
4-2 隔離環境下のウルトラディアン・リズム	
4-3 隔離環境下における睡眠の発生	
5. 要約	77

第5章 恒暗環境下における睡眠の発生

1. 序	78
2. 実験方法	79
2-1 被験者	
2-2 実験手続き	
2-3 記録と分析	
3. 結果	81
3-1 72時間の睡眠・覚醒の傾向	
3-2 恒暗環境下における睡眠・覚醒リズム	

4. 考察	90
4-1 恒暗・隔離環境下における過眠傾向	
4-2 睡眠発現のウルトラディアン・リズム	
5. 要約	94

第6章 脳波特徴を用いた眠気の予測

1. 序	95
2. 実験方法	95
2-1 被験者	
2-2 眠気の指標	
2-3 実験手続き	
2-4 記録と分析	
3. 結果	98
3-1 断眠時の眠気の変動	
3-2 脳波トポグラフィの変化	
3-3 重回帰分析による眠気の予測	
4. 考察	111
4-1 眠気測定における脳波トポグラフィの有効性	
4-2 眠気の変動と α 帯域活動	
5. 要約	116

第7章 総括

1. 眠気のウルトラディアン・リズムの実証	117
2. 眠気のウルトラディアン・リズム研究の課題と展望..	119
3. 要約	122

本論文の要約	123
付録 1. Kwansei-Gakuin Sleepiness Scale (K S S) の 各項目と尺度値	127
付録 2. Visual analog scale (V A S)	128
付録 3. 睡眠習慣調査の各項目	129
引用文献	136
謝辞	156

第1章 眠気研究の現状と問題点

本章では眠気研究の知見を概観する。眠気研究における問題点をあげ、本研究の目的を述べる。

1. 眠気の定義

誰しも日中に眠気を覚えた経験はあるはずである。「眠気」という言葉はわれわれになじみ深く、ごく日常的に用いられている。学習研究社の学研国語大辞典（金田一・池田 1988）によれば「眠りそうなきざし、眠くてしかたがない気分」と説明されている。三省堂の大辞林（松村 1988）によれば「眠いという感じ」、小学館の日本国語大辞典（日本大辞典刊行会 1975）によれば「ねむいこと、ねむりたいという気分」であり、岩波書店の広辞苑（新村 1983）によれば眠気は「ねむい感じ、今にも眠りに入りそうな気持」と説明されている。表現に多少の違いはあるものの、いずれも「眠気」は眠いという感覚を表した言葉であると言える。

しかし、睡眠研究においては研究者によって眠気の定義は異なっている。Dement & Carskadon (1982) は、「眠気は睡眠に対する欲求である」とした上で、眠気を「主観的眠気」と「客観的眠気」の2つに分けている。「主観的眠気」は眠いという感覚、すなわち心理的側面を表しているのに対して、「客観的眠気」は行動的側面である睡眠傾向を示している。従来の眠気の定義はおよそこの2つに

大別することができる。Broughton (1989b) は、眠気を「睡眠要求の主観的な感情の状態」としている。また、Anch, Browman, Mitler & Walsh (1988) は、「睡眠要求の感覚」とし、睡眠傾向と区別している。これらの定義は Dement & Carskadon の主張する「主観的眠気」に相当している。一方、Horne & Wilkinson (1985) は、眠気を「睡眠傾向」と定義している。これは Dement & Carskadon の主張する「客観的眠気」と同義である。また、Akerstedt (1988) も眠気を「睡眠衝動、または睡眠傾向」と定義している。

米国睡眠学会 (A P S S) が発表した睡眠障害分類解説 (1979) によれば、眠気は「積極的に目を覚まし続けなければ眠ってしまうというように覚醒水準を維持するのが困難なこと」と定義されている。この定義によれば、眠気は睡眠傾向が最も高い状態を指していることになる。しかし、日常的に考えてみると、眠気を覚えても耐え難いほど眠気が強い場合もあれば、さほど努力しなくても耐えられるような弱い場合も存在する。A P S S の定義は特に過眠症患者が訴える耐え難い日中の眠気 (excessive daytime sleepiness) の診断やその分類を目的としたものであるから、これを眠気の一般的な定義として当てはめることはできないように思われる。むしろ、この場合の「眠気」は、過眠症患者を対象とした臨床場面に限極して用いるべきであろう。

上記のように研究者によって定義が異なるのは、眠気は単一次元では捉えきれない (Akerstedt 1988, Broughton 1982) と考えられているからである。眠気を主観的な感情として考えると、眠気は様々な感覚の集合である (Dement & Carskadon 1982) と言える。まぶ

たが重く感じたり、足や体がだるく感じたり、作業に集中できなくなったり、興味がなくなったりする。また、他者の顔面表情が乏しくなったり、まぶたが閉じ始めたり、作業量が低下したりするとその人が眠気を覚えているのだと推測できる。これは眠気の行動的な記述である。生理的にみると、開眼中にもかかわらず被験者の脳波上に α 波が連続的に出現したり (Torsvall & Akerstedt 1987)、入眠期に特有の θ 波が出現したり (堀 1979, Hori 1985)、緩徐眼球運動が出現したりすると (広重 1987, 広重・宮田 1990, Hori 1982)、この被験者は眠気を覚えているのだと推測できる。また、被験者を寝かせてみたとき、すぐに眠ってしまえば、この被験者の眠気は強かったのだと判断できる。逆に、眠るまでに要する時間が長い場合には、この被験者の眠気は弱かったのだと判断できる (Carskadon & Dement 1977b, 1979)。このように、寝かせてから実際に眠るまでの時間、すなわち睡眠潜時から眠気を記述することが可能である。このように、眠気は様々な次元から記述することができる。このことがまた眠気の定義を困難なものにし、定義が不十分 (Matousek & Petersén 1983) となる原因になっている。

最初に述べたように、日常経験的には眠気は眠いという感覚であると言える。睡眠は意識水準低下の状態 (新美・堀 1974) であるから、眠気が生じるには主体が覚醒していることが第一の条件となる。眠気を感覚とすると、内的刺激に対する内的な過程である知覚系と、この信号を分類し範疇化する判断系が存在することが仮定できる (柿崎 1974)。内的刺激は、覚醒中におこる睡眠系の発現である。睡眠系が覚醒系に及ぼしている影響の程度が「睡眠傾向」であり、これが Dement & Carskadon の主張する「客観的眠気」であると言

える。睡眠系が発現すると、これに反応する中枢神経系の受容器が存在することが仮定できる。この反応系を知覚系とすると、この知覚系の信号に基づいて「眠い」と判断する判断系が存在することが仮定できる。こうして最終的に判断された感覚が Dement & Carskadon の主張する「主観的眠気」であると言える。したがって、眠気は眠いという感覚であり、覚醒中に発生する睡眠系の発現に対する知覚・判断の結果であると定義できる。眠気に関する研究の中で眠気の定義が異なっているのは、眠気を睡眠系の発現過程ととるか、知覚・判断の結果ととるかという立場の違いによると言える。現在のところ、睡眠系の発現という内的信号も、これに反応する中枢性の受容器についても解明されていないが (Dement & Carskadon 1982)、眠気を上記のように定義すると、日常経験的に用いられている場合と睡眠研究で用いられている場合を矛盾なく説明できるように思われる。

2. 眠気の測定法

先に、眠気は主観的な感情としても記述できるが、行動的にも生理的にも、そして睡眠潜時によっても記述できることを述べた。このような眠気の特徴から、眠気は様々な次元から測定されてきた。Kamiya (1961) は、眠気の測定法として活動量、課題遂行量、自己評定尺度、睡眠潜時の4つの可能性について論じている。Horne & Wilkinson (1985) と Akerstedt, Torsvall & Gillberg (1982) も眠気の標準的な測定法として課題遂行量、自己評定尺度、睡眠潜時をあげている。Akerstedt (1988) は、これらの他に脳波のパワスペ

クトルと緩徐眼球運動をあげ、さらに Broughton (1982) は、皮膚電位反応、瞬目等の自律系活動についても言及している。

しかし、課題遂行量は眠気を直接測定する指標ではないため (Akerstedt 1988)、これを除外すると、眠気の測定法は大別すると2つに分類することができる。先に述べたように眠気を知覚・判断の結果ととる立場に立てば、眠気の指標として自己評定尺度をあげることができる。また、眠気は睡眠系の発現過程であるという立場に立てば、脳波や眼球運動、睡眠潜時等の生理的な指標を用いて測定する方法があげられる。

眠気の自己評定尺度のうちで信頼性の高いものに Stanford Sleepiness Scale (SSS: Hoddes, Dement & Zarcone 1972) がある。これは Thurstone の尺度化理論に立脚した尺度であり、米国の睡眠障害センターで広く使用されている。わが国では、この SSS の日本語版として Kwansei-Gakuin Sleepiness Scale (KSS: 石原・齋藤・宮田 1982) が開発されている (付録1)。KSS は、眠気の強さを表現した22項目の文章で構成されている。被験者に現在の状態に当てはまる項目をすべて選択させ、各項目の尺度値の平均値を求めて得点を算出する。この平均値が0に近いほど眠気は弱く、7に近いほど眠気は強いことを示している。もっと単純な方法としては、「眠気が非常に強い」から「眠気がまったくない」まで7段階や (Mitler, Gujavarty & Browman 1982, Torsvall, Akerstedt, Gillander, et al. 1989)、13段階に分けて評定させる方法もある (Akerstedt & Gillberg 1981, 1982, Torsvall & Akerstedt 1987)。また、これらの言葉を100mmの水平線の両端に表示し、被験者に自分の眠気の程度に合わせて水平線上に垂直線を引かせるのが visual

analog scale (V A S: Carskadon & Dement 1981, Folkard, Monk & Lobban 1979, Monk 1987, Richardson, Carskadon, Orav, et al. 1982) である (付録 2)。V A S では、「眠気がまったくない」と記した端から被験者が引いた垂直線までの距離を mm 単位で測定し、これを眠気の尺度とする。その得点は 0~100 に分布し、得点が高いほど眠気が強くなることになる。

一方、目を閉じて安静状態にあると、大半の人には脳波上に 8~13Hz の α 波が律動的に現れる。しばらくすると α 波は消失し、やがて 4~7Hz の θ 波が出現する。国際基準 (Rechtschaffen & Kales 1968) では、 α 波の出現量が 50% 以下になった時点から睡眠段階 1 と判定する。 θ 波が出現した後、頭頂部を中心とした鋭波が出現する。その後、睡眠紡錘波と呼ばれる糸巻状の波が出現する。これが睡眠段階 2 の開始である。その後、1~3Hz の徐波 (δ 波) が出現し始める。 δ 波の量が 20~50% のときを睡眠段階 3、50% 以上を占めるとき睡眠段階 4 と判定する。生理的な指標を用いた測定法では、このような睡眠段階の特徴を用いて眠気を測定しようと試みている。その中で最も代表的なものが Multiple sleep latency test (M S L T: Carskadon & Dement 1977b, 1979) である。これは、眠気が強ければ強いほど早く眠るであろうという前提に立った測定法であり、睡眠段階 1 が出現するまでの時間、すなわち睡眠潜時を測定する方法である。眠るのが早ければ、すなわち睡眠潜時が短いことは眠気が強いことを示し、なかなか眠れない場合は、すなわち睡眠潜時が長いことは眠気が弱いことを示している。標準的な測定手続きは以下の通りである。被験者はまず防音・暗室内のベッドに横になり、眠るよう教示が与えられる。睡眠段階 1 が最低 1.5 分間連続する

か、あるいは目を閉じてから20分経過するまで脳波が測定される。普通、このような脳波記録が起床後2時間ごとに5～6回繰り返して行われる (Carskadon, Dement, Mitler, et al. 1986)。

先にも述べたように、国際基準では α 波が50%以下になったときを睡眠段階1と判定する。しかし、この方法では α 波が不明瞭な人 (poor- α 型: Johnson, Lubin, Naitoh, et al. 1969) の判定は不可能となり、睡眠段階1潜時も測定できない。そのため、最初の睡眠紡錘波が出現するまでの時間、すなわち睡眠段階2潜時を測定する方法も用いられたりする (Horne & Wilkinson 1985)。

入眠に伴って α 波が消失し、 θ 波、 δ 波が出現することは先に述べた通りである。これを脳波のスペクトル特徴で見ると、入眠とともに α 帯域 (8～13Hz) のパワーが減少し、 θ (4～7Hz)、 δ (1～3 Hz) の両帯域のパワーが増大する (堀 1979, Hori 1985)。このことから、脳波のスペクトル構造から眠気を推定する方法も考案されている。Gevins, Zeitlin, Ancoli, et al. (1977) は、 δ と α 、及び θ と α の各々の帯域のパワーの比を用いて眠気を推定している。また、Matousek & Petersén (1983) は、スペクトル分析によって得られた脳波の22個の変数の重回帰方程式から覚醒水準を計算している。これら Gevins, Zeitlin, Ancoli, et al. や、Matousek & Petersén の分析では閉眼安静時の脳波が用いられている。これに対して、Torsvall & Akerstedt (1987) は、開眼中の脳波を用いてスペクトル分析を行っている。通常、閉眼安静中に出現する α 波は開眼することによって抑制される。しかし、断眠時間が長く続くと、開眼中にもかかわらず α 波が律動的に現れることがある (大熊 1977, Rodin, Luby & Gottlieb 1962)。Torsvall & Akerstedt も、眠気

が著しい場合には α 波が律動的に出現することを報告し、開眼中の脳波では θ 、 δ 帯域のパワの増大だけでなく、 α 帯域パワの増大も眠気の測度となりうることを述べている。

また、入眠に伴って眼球が水平方向にゆっくりと振子状の運動をする。これは、緩徐眼球運動 (Slow eye movement: SEM) と呼ばれている (堀 1984)。このSEMが眠気の指標となりうると報告している研究もいくつかみられる (広重 1987, 広重・宮田 1990, Torsvall & Akerstedt 1987)。その他、誘発電位を用いたり (Broughton 1982, Broughton & Aguirre 1987)、瞬目や (Torsvall & Akerstedt 1985) 瞳孔 (Pressman & Fry 1989, Yoss, Moyer & Hollenhorst 1970) を用いたりする方法も考案されている。

先に、眠気は眠いという感覚であり、知覚判断された結果であることを述べた。この文脈に沿うと、眠気を測定するには自己評定尺度が最も適切な測定法であると言える。しかし、睡眠系の発現を知覚し、これを正確に判断するためには一定の覚醒水準が保たれていることが前提である。このことは、睡眠系の活動が高まれば高まるほど覚醒水準は低下し、眠気を正確に判断できなくなるという逆説をなしている。Webb (1980) によれば、被験者を寝かせた後、明らかに覚醒水準が低下した状態である睡眠段階1で被験者を起こしてみると、半数以上の人は眠ってはいなかったと答えたという。また、過眠症患者の中には日中に頻繁に居眠りをしているにもかかわらず眠気があることを自ら否定する者も存在する (Dement, Seidel & Carskadon 1982, Hartse, Roth & Zorick 1982)。その原因として Hartse, Roth & Zorick (1982) は、過眠症患者は頻繁に眠気が起こるために、眠気の判断基準が失われているという可能性について論

じている。以上のことから考えると、眠気を測定するためには、自己評定尺度だけでなく睡眠系の発現の程度、すなわち睡眠傾向も測定する必要があるように思われる。その測定法としてはMSLTが最も有効である。また、睡眠傾向の増減は覚醒水準に影響を及ぼしており、これがさらに眠気の判断に影響を及ぼしている。したがって、眠気を測定するためには覚醒水準を測定することも必要不可欠となる。覚醒水準を測定するには脳波のスペクトル特徴が有効である。以上のように、眠気を測定するには眠気のどの次元を測定するかに焦点を当てて指標を選択することが必要となるが、自己評定尺度、睡眠潜時テスト、脳波のスペクトル特徴の3つを用いることによって眠気を多次元的に測定することが可能となる。

3. 眠気の研究小史

眠気が研究され始めたのは比較的最近のことである。睡眠研究においては睡眠の機能を調べるために断眠効果の研究が盛んに行われてきたが、断眠は眠気を引き起こす(Naitoh 1976)のは当然であると考えられ、研究の対象とされてこなかった(Dement & Carskadon 1982)。しかし、近年、臨床場面で眠気を測定することが求められてきた。

睡眠覚醒障害は、大別すると不眠症、過眠症、睡眠覚醒スケジュール障害、睡眠時異常行動の4つに分類することができる(APSS 1979)。このうち過眠症は、日中の覚醒時間中におこる異常な眠気、過剰な睡眠傾向、24時間中の総睡眠時間の増加、覚醒状態の維持困難などの症状を認めるものである。米国では、睡眠覚醒障害の患者

のうち過眠症は約50%を占めている。日本では、久留米大学の調査でも（中沢 1986）、金沢大学の調査でも（古田・金 1988）約10%が過眠症群である。過眠症の診断やその治療効果をみるには、日中の眠気を測定することが不可欠である。このような臨床的な要請に従って Stanford Sleepiness Scale (SSS: Hoddes, Dement & Zarcone 1972) が開発された。これは、先に述べたように眠気の自己評定尺度である。しかし、過眠症患者の中には眠気を否定する者がいることから (Dement, Seidel & Carskadon 1982, Hartse, Roth & Zorick 1982)、過眠症の診断や治療効果をみるには客観的な指標が必要と考えられた (Carskadon & Dement 1982)。こうして開発されたのが Multiple sleep latency test (MSLT: Carskadon & Dement 1977b) である。MSLTは応用範囲が広く、客観的に眠気を測定できるとされ (Carskadon, Dement, Mitler, et al. 1986)、現在、米国睡眠障害センターで広く使用されている。

このように自己評定尺度 (SSS) と客観的測定 (MSLT) が開発されて以来、睡眠研究の中で眠気に対する関心が高まってきた。過眠症の診断やその治療効果だけでなく、不眠症や (Dement, Seidel & Carskadon 1982, Seidel, Ball, Cohen, et al. 1984, Seidel & Dement 1982)、睡眠覚醒スケジュール障害の治療においても (遠藤 1982) 日中の眠気を測定することが求められている。例えば、不眠症患者のうちの約2/3は日中に眠気を訴える (Seidel & Dement 1982)。睡眠覚醒スケジュール障害の場合では、眠りたいときまたは眠る必要のあるときに眠れない、本来睡眠をとっている真夜中に覚醒する必要があるために眠気が強く、気分がわるく、かつ作業能率が低下するといった所見が認められる (遠藤 1982)。その

典型的な例がいわゆる「時差ボケ」である。このように、睡眠覚醒障害においては日中の眠気に対する愁訴が非常に多く認められることから、その治療には夜間睡眠を改善し、夜間睡眠に対する愁訴を取り除くことばかりでなく、日中の眠気を改善することも必要となる (Dement & Carskadon 1982, Seidel & Dement 1982)。したがって、睡眠覚醒障害の治療に用いられる睡眠薬は、副作用がないことはもちろんのこと、夜間睡眠だけを改善し日中には眠気を起こさない、いわゆる持ち越し効果 (carry over effect) (Bliwise, Seidel, Karacan, et al. 1983, 石原・宮田・後藤ら 1984) のないものが望まれるのである (中沢 1982)。以上のような臨床場面への適用だけでなく、夜勤労働者の労務管理や (Akerstedt 1988, Akerstedt, Torsvall & Gillberg 1982, Folkard, Monk, Lobban 1979, Torsvall & Akerstedt 1987, Torsvall, Akerstedt, Gillander, et al. 1989)、仮眠の効果を検討する際にも眠気を測定することが重要な課題となっている (Akerstedt & Gillberg 1982, Dinges, Orne, Whitehouse, et al. 1987, Lavie & Weler 1989)。

一方、従来の断眠研究の結果から、睡眠不足によって眠気が増大しても作業量にはさほど影響を及ぼさないことが知られている (Johnson 1982)。しかし、作業に対する動機づけが著しく低下する。さらに眠気が著しい場合には、作業中に瞬間的な睡眠 (micro sleep) が発生してしまう (Naitoh 1976)。作業の内容が単調な場合には睡眠不足の影響を受けやすくなる。このことが授業中や会議中の居眠りを招いたりする。自動車運転中の居眠り事故を防止するためにも、眠気を測定することが重要な課題となっている。このよ

うに、眠気は作業に対する動機づけを低下させることが明らかにされてきた。また、日中に耐え難い眠気にさらされているナルコレプシー患者は、長期間経過するうちに眠気に慣れ、眠気の自覚が薄れ、物事にこだわらず、自己主張の少ない、人のよい、親しみやすい、はりのない性格傾向を示すようになる。このような性格特徴はナルコレプトイド性格傾向と呼ばれている（本多 1982）。しかし、健常者においては、日中の眠気が心理的側面や行動に及ぼす影響についてはほとんど検討されていない。むしろ、種々の外的、内的要因が眠気の発生に及ぼす影響が検討されてきた。

日中に眠気が発生する原因としては、断眠、夜間睡眠の中断、サーカディアン・リズム、中枢神経系の障害、睡眠薬等の薬物の使用などがあげられるが（Roth, Roehrs & Zorick 1982）、健常者に起こる眠気の規定要因としては、先行する夜間睡眠の量およびその質とサーカディアン・リズムの位相が考えられている（Dement & Carskadon 1982）。夜間睡眠と日中の眠気との関係については多くの知見が得られており、断眠や（Carskadon & Dement 1979, Hoddes, Zarcone, Smythe, et al. 1973, 石原・齋藤・宮田 1982）睡眠短縮（Carskadon & Dement 1981, Herscovitch & Broughton 1981, Horne & Wilkinson 1985）、睡眠中断（Badia, Harsh, Balkin, et al. 1985, Bonnet 1985, 1986, 1987, Magee, Harsh & Badia 1987）などによる効果が検討されている。また、眠気は約24時間周期のサーカディアン・リズムによっても調節されていることが知られており、午前2時から午前6時にかけて眠気のピークが存在する（Akerstedt & Gillberg 1981, 1982, Carskadon & Dement 1977a, 1979, Dinges 1989, 石原・齋藤・宮田 1982, Moses,

Lubin, Naitoh, et al. 1978, Richardson, Carskadon, Orav, et al. 1982)。日中にも午後2時から午後4時にかけて眠気のピークが存在する (Akerstedt & Gillberg 1982, Broughton 1975, 1989a, Dinges 1989, Stahl, Orr & Bollinger 1983)。これがいわゆる「昼食後の眠気 (post-lunch dip)」である。夜間の睡眠量が減少するとこの時刻の眠気が著しく増加する (Akerstedt & Gillberg 1982, Carskadon 1989, Dement, Seidel & Carskadon 1982, Horne & Wilkinson 1985)。この時刻に昼寝をとる習慣のある国や地域は非常に多いことから (Webb & Dinges 1989)、昼食後に起こる眠気は単に睡眠不足による結果とは考えにくい。むしろ生体リズムの一部であると考えられている。

Broughton (1975, 1989a) は、眠気には深夜と午後にピークを持つ12時間周期が存在することを主張している。先に述べたように、睡眠段階3と4は1~3Hzの徐波 (δ 波) の出現量によって定義されていることから (Rechtschaffen & Kales 1968)、両者は徐波睡眠 (slow wave sleep: SWS) と呼ばれ (阿住 1982)、最も深い睡眠と考えられている (新美・堀 1974, 大熊 1977)。Gagnon, et al. (1984, 1985) の報告によれば、睡眠を15時間連続してとらせると、徐波睡眠は睡眠開始直後だけでなく、約12時間後にも出現した。この結果から Broughton (1989a) は、眠気における12時間周期は徐波睡眠の日周リズム (Karacan, Williams, Finley, et al. 1970) を反映したものであると主張している。さらに Broughton (1989a) は、通常睡眠中にはREM睡眠が約90分周期で出現することから (Dement & Kleitman 1957)、日中の眠気にもこのREM睡眠の出現周期を反映した90分周期が存在するという仮説を提唱している。し

かし、眠気に関する研究のなかで日中の眠気が90分周期で変動するかどうかは実証されていない。日中に起こる眠気に関しては昼食後の眠気だけが取り上げられ、その他の時刻についてはほとんど検討されてこなかったからである。断眠状態が長く続くと昼食後だけでなくその他の時刻でも強い眠気が発生することから (Carskadon & Dement 1979)、夜間睡眠と日中の眠気との関係を検討する際には、様々な時刻において眠気の発生を詳細に調べる必要がある。したがって、サーカディアン・リズムよりも詳細な日中の眠気の時間変動特性を明らかにすることが必要であると言える。

4. ウルトラディアン・リズムの定義

ヒトの数多くの生理機能には24時間周期の活動リズムがある。1周期が約24時間のリズムはサーカディアン・リズム (circadian rhythm: "circa" = 「約」, "dian" = 「1日」) と呼ばれている。その最も代表的なものが睡眠・覚醒の交代である。サーカディアン・リズムよりも周期が短く、1周期が20時間以下のリズムはウルトラディアン・リズム (ultradian rhythm) と呼ばれている。睡眠中におこる約90分のREM睡眠の出現周期 (Dement & Kleitman 1957) はその代表例である。心拍や呼吸、脳波の α 律動もウルトラディアン・リズムである。

Kleitman (1963) は様々な身体的、精神的な活動を観察した結果、ヒトには昼夜を通して基礎的な90分の活動-休止の周期が存在すると考え、これを基礎休息活動周期 (basic rest-activity cycle: BRAC) と名づけた。一夜の睡眠中、REM睡眠はおよそ90分周

期で出現するが (Dement & Kleitman 1957)、Kleitmanによると、この NREM睡眠と REM睡眠の周期的な交代は夜間における BRACであり、NREM睡眠は休止期に、REM睡眠は活動期に相当するという。また、日中にも BRACに準ずる90分周期の周期現象があるとしている。その後の研究で、日中には様々な生理的機能や行動的側面に約90分の周期性が存在することが明らかにされてきた (Kripke 1974, 1982, Lavie 1982, 1985)。これらの研究によれば、胃の収縮運動、心拍数、瞳孔運動、呼吸運動、脳波などの生理的機能 (Kripke 1982) のほか、仮現運動、運動残効、知覚-運動作業、高次の言語・空間認知機能 (Lavie 1982) にも約90分の周期現象が存在することが指摘されている。ヒトにおける様々なウルトラディアン・リズムのなかでも約90分の周期は広範囲に認められることから、狭義ではウルトラディアン・リズムは約90分のリズムを指す (Kripke 1974)。しかし、1周期が何分までのリズムを約90分周期とみなすことができるのかという問題がある。

90分の周期は1日のうち16回繰り返す周期 (16 cycle/day) である。Kripke & Sonnenschein (1978) は、 16 ± 4 cycle/day (72~120分周期) の範囲内にあるものを90分のウルトラディアン周期とみなしている。Manseau & Broughton (1983, 1984) も、Kripke & Sonnenscheinの立場を支持している。しかし、REM睡眠の出現周期や、覚醒中の様々な行動や生理的機能におけるウルトラディアン・リズムに関する研究では、同定された周期が Kripke & Sonnenscheinの基準を越えているものも少なくない。

睡眠中におけるREM睡眠の出現周期は、Hartmann (1968) の報告では15名の平均で95.8分 (SD=8.7分)、堀・渡辺 (1969) では15

名の平均で89.4分、Agnew, Webb & Williams (1966) では43名の平均で92.4分となり、ほぼ90分を中心に分布しているといえる(新美・堀 1974)。阿住(1982)の報告でも、REM睡眠周期を10分ごとにヒストグラムにとると81~90分が最も出現率が高く、81~100分を含めるとこれらは全体の41.9%を占めていた。しかし、REM睡眠周期には個人差があるばかりでなく、同一個人内でも変動がみられ、一夜のうちでも変動がみられる(eg. Moses, Lubin, Naitoh, et al. 1972)。小林・辻・斉藤ら(1983)は、REM睡眠の出現周期は26~135分の範囲をとりうるとしている。その後の彼らの報告(小林・辻・斉藤ら 1986)でもREM睡眠の出現周期は30~140分の範囲に分布していた。このように、REM睡眠周期は90分とは言っても、実際には20~30分の変動範囲をもつと考えることができる(新美・堀 1974)。

覚醒中のウルトラディアン・リズムに関する報告でも、その周期は約90分とは言っても個人間だけでなく(Bossom, Natelson, Levin, et al. 1983, Kripke 1972, Lavie 1979, Okawa, Matousek & Petersen 1984)、同一個人内にも変動がみられる(Okawa, Matousek & Petersén 1984)。Bossom, Natelson, Levin, et al. (1983)は、視覚運動課題の成績と記憶課題の成績がそれぞれ平均86分と88分の周期で変動したことを報告しているが、各個人の変動周期の範囲は、それぞれ68~107分、50~107分であった。Lavie (1979)は、瞳孔の直径と運動性の周期性を調べたところ、直径は平均116.0分(SD=25.6分)、運動性では平均109.4分(SD=27.2分)の周期で変動した。それぞれの変動範囲は、瞳孔の直径では88~156分、運動性では75~160分であった。Okawa, Matousek &

Petersén (1984) によれば、日中の覚醒水準は60～110分の範囲で変動し、その周期には個人差があるばかりでなく同一個人内でも日間差が認められた。また、Kripke (1972) は、感覚遮断環境下で様々な脳波活動やヒトの行動に10～20 cycle/day (70～150分周期) の周期性が認められたことを報告している。このKripkeの結果を受けてLavie, Load & Frank (1974) は、同定された周期が70～150分の範囲内にあれば、REM睡眠の出現周期と同一であるとみなせることを述べている。さらにLavie (1982) は、70～140分の範囲内にある周期を自然なウルトラディアン周期 (Pp.240) とみなしている。

以上のように、睡眠中のREM睡眠周期においても、覚醒中のウルトラディアン・リズムにおいても、それぞれの周期は90分を中心として分布しているが、20～30分の変動範囲をもっている。そこで、本研究ではLavie (1982) の基準に従って、70～140分の範囲内で変動するリズムをウルトラディアン・リズム (ultradian rhythm) と定義する。1周期が70分未満のリズムは、fast ウルトラディアン・リズムとし、また、1周期が140分よりも長く20時間未満のリズムは、slow ウルトラディアン・リズムと定義する。

5. ウルトラディアン・リズムと眠気

日中の覚醒水準にウルトラディアン・リズムが存在することはこれまで指摘されてきた。Okawa, Matousek & Petersén (1984) は、20分毎に脳波を測定し、スペクトル分析によって得られた脳波の22個の変数の重回帰分析から覚醒水準を算出した。その結果、日中の覚醒水準は60分から110分の周期で変動した。辻ら (1986, 1988) は、

脳波のパワを主成分分析し、 α 帯域の脳波活動には約100分周期の成分と、これよりも周期の長い3~4時間周期の成分の2つが存在することを指摘している。脳波活動にウルトラディアン・リズムが認められることは、Manseau & Broughton (1983, 1984) も報告している。また、睡眠可能性にもこれと同様の周期が認められることが報告されている (Lavie & Scherson 1981, Lavie & Zomer 1984)。Lavie & Scherson (1981) は、5分睡眠-15分覚醒の手続きで12時間の測定を行い、段階1睡眠の出現に100分の周期性がみられたことを報告している。大脳半球機能差もウルトラディアン・リズムの影響を受けることが指摘されている (Broughton 1975, Klein & Armitage 1979, 林・堀 1988b, Hori 1988, 1989, 堀・林・杉本 1988)。こうした知見から、日中に発生する眠気もウルトラディアン・リズムの影響を受けて変動することが考えられる。

先に述べたように、Broughton (1975, 1989a) は、眠気はサーカディアン・リズムと、深夜および午後にピークを持つ12時間の周期、70~120分周期のウルトラディアン・リズムの3つのリズムによって支配されているという可能性について論じている。しかし、これまでの眠気に関する研究の中で、日中の眠気がウルトラディアン・リズムを示すかどうかは実証されていない。

これまで眠気の時間変動特性に関する研究では、主としてサーカディアン・リズムについての知見が大部分を占めており、ウルトラディアン・リズムについてはほとんど注目されてこなかった。通常、サーカディアン・リズムの研究では、1周期が約24時間の現象を対象とするためデータのサンプリング間隔は比較的長く、1時間とか2時間という間隔で十分測定可能である。MSLTの標準手続き (

Carskadon, Dement, Mitler, et al. 1986) では、眠気は普通2時間毎に測定される。ところがこのサンプリング間隔では、ウルトラディアン・リズムのような比較的短い周期の変動成分は時系列データから遮断されることになる。さらに、S/N比を高める操作として時系列データを被験者間、あるいは被験者内で平均する方法がとられる。こうした平滑化処理は瞬時値に含まれるウルトラディアン成分を除去してしまう (Lavie 1982)。これまで、眠気の規定要因としてウルトラディアン・リズムが検討されてこなかったのは、主にこのような方法論的問題に起因している。したがって、日中の眠気がウルトラディアン・リズムを示すかどうかを検討するためには、従来の方法的欠陥を改善し、サンプリング間隔を短くすること、個人毎、時系列データ毎に周期を同定することが必要となる。

6. 本研究の目的

本研究の目的は、日中の眠気の時間変動特性を明かにすることにある。特に、従来の眠気に関する研究では検討されてこなかったウルトラディアン・リズムに注目し、日中の眠気がウルトラディアン・リズムの影響を受けて変動するかどうかを実証することが最大の焦点である。

第2章では、日常場面における日中の眠気の愁訴と睡眠習慣との関係を検討する。日中の眠気の規定要因としてウルトラディアン・リズムが存在するとすれば、夜間睡眠の過不足にかかわらず日中に眠気が生じるはずである。そこで、夜間睡眠の量、質および規則性と日中の眠気の発生の頻度との関係を検討し、さらに、眠気の発生

時刻を調べる。

第3章では、7～8時間の通常の夜間睡眠をとらせた後に、眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動するかどうかを実験場面で検討する。しかし、この睡眠時間は、必ずしも十分な睡眠量とは言えないかもしれない。日中の眠気の規定要因としてウルトラディアン・リズムを検討するためには、睡眠不足の効果を極力除外することも必要である。そこで第4章では、被験者を48時間の間、閉鎖環境室内に隔離し、睡眠を充分にとらせた場合でも眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動するかどうかを検討する。

先に、眠気は睡眠系の発現に対する知覚判断の結果であることを述べた。眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動するのは、睡眠系がウルトラディアン・リズムに従って発現するためか、あるいは、知覚判断の基準がウルトラディアン・リズムに従って変動するためかのいずれかが考えられる。第5章では、被験者を72時間の間、恒暗・閉鎖環境室内に隔離し、最も睡眠が発生しやすい環境を設定した場合、睡眠がウルトラディアン・リズムに従って発現するかどうかを検討する。

一方、現在の知見では、睡眠発現系は脳内に存在していることが仮定されている。覚醒中に睡眠系が発現することが原因となって眠気が発生しているのであれば、睡眠中の脳内電気活動を敏感に反映している皮質脳波を詳細に検討することによって、眠気をより正確に測定することができると考えられる。そこで第6章では、脳波トポグラフィの手法を用いて眠気の変化に対応する脳波特徴の変化を詳細に検討する。そして最後に第7章で本研究の総括を述べる。

7. 要約

眠気を「眠いという感覚であり、覚醒中に発生する睡眠系の発現に対する知覚・判断である」と定義し、その測定法として自己評定尺度、睡眠潜時テスト、脳波のスペクトル特徴の3つを用いることの必要性を論じた。眠気に関する研究史をとりあげながら、従来の眠気研究において検討されてこなかったウルトラディアン・リズムについて論じ、本研究の目的を述べた。

第2章 睡眠習慣と日中の眠気

1. 序

夜間の睡眠が不十分になると日中に眠気が発生することは誰にでも理解できる。日中に眠気が発生する原因が、前夜の夜間睡眠の量とその質が不十分なためだけにあるとすれば、夜間睡眠を改善することによって日中の眠気に対処することができる。しかし、眠気がウルトラディアン・リズムの影響を受けて変動するとすれば、夜間睡眠の過不足にかかわらず日中に眠気が生じるはずである。そこで本章では睡眠習慣調査を実施し（林・堀 1987）、睡眠習慣と日中の眠気の有無との関係について検討した。

2. 調査方法

2-1 調査対象

心理学の講義聴講者403名（平均18.5才）を対象として調査を行った。このうち男子が236名、女子が167名であった。

2-2 調査方法

調査用紙は、東京都神経科学総合研究所で作成された都神研版睡眠習慣調査用紙（宮下・石原・犬上他 1986）を一部改訂し、日中の眠気の有無と眠気の発生時刻等の項目を加えて作成した睡眠習慣調

査用紙を用いた（付録3）。

2-3 データ分析

データの分析は以下の項目に注目して行った。まず、睡眠量という観点から、1) 睡眠時間と日中の眠気の有無について検討した。睡眠の質的な側面からは、2) 熟眠型－不眠型について検討した。睡眠・覚醒スケジュールの不規則性が日中の眠気と関連しているかどうかを検討するために、3) 規則的睡眠習慣者と不規則的睡眠習慣者の分類を試みた。さらに、4) 睡眠の満足度についても検討を加えた。眠気がウルトラディアン・リズムの影響を受けるならば、日中には様々な時刻に眠気が発生するはずである。そこで、5) 日中の眠気が発生する時刻についても検討した。

3. 結果

3-1 日中の眠気の頻度

403名中、日中に眠気が「よくある」と回答した者は全体の54.8%（221名）、「ときどきある」と回答した者は38.2%（154名）を占めていた。これらを合わせると、日中に眠気が起こると回答している者は全体の93.0%を占めることになる。眠気が「あまりない」と回答した者は6.7%（27名）であり、「まったくない」と回答した者は0.2%（1名）にすぎなかった。

3-2 睡眠時間と日中の眠気

全被験者の平均睡眠時間は6時間56分であった。表2-1は、睡眠時間と日中の眠気の頻度を示したものである。日中の眠気が「よくあ

表2-1. 睡眠時間と日中の眠気の頻度.

		日中の眠気の頻度 (%)				χ^2	df
人数 (%)		よくある	ときどき	あまりない	全くない		
睡眠時間 (h)							
<5	5 (1.2)	40.0	40.0	20.0	0.0		
5-6	24 (6.0)	79.2	20.8	0.0	0.0		
6-7	105 (26.1)	65.7	28.6	5.7	0.0		
7-8	189 (46.9)	50.8	43.4	5.3	0.5		
8-9	69 (17.1)	43.5	42.0	14.5	0.0		
≥9	11 (2.7)	45.5	54.5	0.0	0.0	85.36 ***	15
長一短時間睡眠者							
短時間睡眠者	29 (7.2)	72.4	24.1	3.4	0.0		
標準型	363 (90.1)	53.7	38.8	7.2	0.3		
長時間睡眠者	11 (2.7)	45.5	54.5	0.0	0.0	26.40 ***	6

*** $p < .001$.

る」者の割合に注目すると、睡眠時間が5時間以上6時間未満の場合では79.2%と最も高率である。睡眠時間が増加するにつれて眠気が「よくある」者の割合は減少している。この分布の差は有意であった ($\chi^2=85.36$, $df=15$, $p<.001$)。しかし、睡眠時間が8時間以上の場合でも、日中に眠気が「よくある」者の割合は40%を超えていた。

一方、睡眠時間が6時間以上9時間未満の標準的な睡眠時間をとる者（標準型）は全体の90.1%を占めていた。睡眠時間が6時間未満の者を短時間睡眠者、9時間以上の者を長時間睡眠者とする（Hartmann, Beakland, Zwilling, et al. 1971, 宮下 1984）、短時間睡眠者は7.2%（29名）、長時間睡眠者は2.7%（11名）存在していた。短時間睡眠者29名中、1名を除く全員（96.6%）が日中に眠気が「よくある」または「ときどきある」と回答し、日中に眠気が起こることを報告していた。標準型の場合でも363名中、336名（92.6%）が日中に眠気が起こることを報告し、長時間睡眠者では11名全員が日中の眠気を報告していた。

短時間睡眠者から長時間睡眠者へと睡眠時間が延長するにつれて日中に眠気が「よくある」者の割合が減少し、「ときどきある」者の割合が増加している。この分布の差は有意であり ($\chi^2=26.40$, $df=6$, $p<.001$)、睡眠時間の延長とともに日中の眠気の頻度が低下していることがわかる。短時間睡眠者の場合、眠気が「よくある」者は72.4%に達していたが、長時間睡眠者の場合でも45.5%を占めていた。標準型の場合でも53.7%を占めていた。このことから、夜の睡眠時間の長短だけでは日中の眠気の発生は説明しきれないことがわかる。

3-3 熟眠型－不眠型と日中の眠気

Monroe (1967) は、1) 主観的な睡眠潜時が10分以下で、2) 夜間睡眠中に中途覚醒がなく、3) 入眠困難を伴わない者を熟眠型と定義している。これに対して、1) 睡眠潜時が常に30分以上で、2) 中途覚醒が1夜に1回以上あり、3) 入眠困難を感じる者を不眠型と定義している。これら睡眠潜時、中途覚醒の有無、入眠困難の程度の3点を Monroe の基準に従って分類し、眠気の頻度との関係をみたのが表2-2である。睡眠潜時が長くなるにつれて眠気が「よくある」者が増加し、「あまりない」者が減少している ($\chi^2=13.75$, $df=6$, $p<.05$)。しかし、中途覚醒の有無、入眠困難の程度によって日中の眠気の頻度の分布には有意な差は認められなかった。

これら3基準を用いて、各個人を熟眠型、不眠型、そしてそのいずれにも属さない者を中間型としてまとめた。その結果、中間型が65.7%を占めたが、熟眠型も約1/3の33.1%存在していた。不眠型は1.3%にすぎなかった。眠気の頻度の分布には、このような型の違いによる差は認められなかった。しかし、熟眠型の場合でも49.6%の者が日中に眠気が「よくある」と回答し、「ときどきある」と回答した者を含めると91.6%の者が日中に眠気が起こることを報告していた。

3-4 睡眠習慣の規則性と日中の眠気

Taub (1978) は、就床・起床時刻、睡眠時間が週に4回以上、2時間から4時間の範囲で変動する者を不規則的睡眠者と定義している。この定義に準じて、各個人を就床・起床時刻および睡眠時間の変動が2時間未満、または2時間以上の者に分類し、日中の眠気の頻度の

表2-2. 熟眠型-不眠型と日中の眠気の頻度.

		日中の眠気の頻度 (%)				χ^2	df
人数 (%)		よくある	ときどき	あまりない	全くない		
睡眠潜時 (分)							
≤10	224 (55.6)	53.1	37.5	9.4	0.0	13.75 *	6
10-30	158 (39.2)	55.7	39.9	3.8	0.6		
>30	21 (5.2)	66.7	33.3	0.0	0.0		
夜間覚醒回数							
0	252 (62.5)	53.6	39.7	6.3	0.4	0.78	3
≥ 1	151 (37.5)	57.0	35.8	7.3	0.0		
入眠困難							
あり	276 (69.0)	54.7	38.4	6.9	0.0	11.55	6
どちらでもない	77 (19.3)	46.8	44.2	7.8	1.3		
なし	47 (11.8)	68.1	27.7	4.3	0.0		
熟眠型-不眠型							
熟眠型	131 (33.1)	49.6	42.0	8.4	0.0	10.02	6
中間型	260 (65.7)	56.9	36.5	6.2	0.4		
不眠型	5 (1.3)	60.0	40.0	0.0	0.0		

* $p < .05$.

割合を示したのが表2-3である。日中の眠気が「よくある」者は、就床時刻の変動が2時間未満の場合で47.0%、2時間以上の場合で67.5%を占め、就床時刻の変動の程度が大きくなると日中の眠気の頻度が多くなる者が増加していた。この分布の差は有意であった ($\chi^2=8.85$, $df=3$, $p<.05$)。しかし、この日中の眠気の頻度の分布は、起床時刻・睡眠時間の変動の程度によって有意な差を示さなかった。

これら就床・起床時刻および睡眠時間の変動が全て2時間未満の者を規則型、これらの変動が全て2時間以上の者を不規則型、そのいずれにも属さない者を中間型として分類すると、中間型が約半数の48.1%を占め、規則型は35.5%、不規則型は16.4%を占めていた。このように規則型、中間型、不規則型に分類すると、型によって日中の眠気の頻度の分布に有意差が認められた ($\chi^2=22.12$, $df=6$, $p<.01$)。すなわち、睡眠習慣が不規則になるにつれて眠気が「よくある」者の割合が増加していた。不規則型のうち、眠気が「よくある」者は全体の72.7%を占めていたが、規則型の場合でも44.1%の者が眠気が「よくある」ことを報告していた。このことから、睡眠習慣が不規則になることによっても日中に眠気が頻繁に発生するようになるが、睡眠習慣が不規則なことだけでは日中の眠気の発生は説明がつかないことがわかる。

3-5 睡眠の満足度と日中の眠気

起床時の気分、睡眠時間の過不足、熟睡感の3項目を選択し、これを睡眠の満足度の尺度としてまとめた。これらの項目と日中の眠気の頻度の割合を示したのが表2-4である。起床時の気分の違いによって、眠気の頻度の分布には有意差は認められなかった。

表2-3. 睡眠習慣の規則性と日中の眠気の頻度.

		日中の眠気の頻度 (%)				χ^2	df
	人数 (%)	よくある	ときどき	あまりない	全くない		
就床時刻変動 (時間)							
< 2	249 (61.8)	47.0	45.0	7.6	0.4	8.85 *	3
≥ 2	154 (38.2)	67.5	27.3	5.2	0.0		
起床時刻変動 (時間)							
< 2	277 (68.7)	50.2	41.2	8.7	0.0	7.54	3
≥ 2	126 (31.3)	65.1	31.7	2.4	0.8		
睡眠時間変動 (時間)							
< 2	180 (44.7)	47.2	42.2	10.0	0.6	5.60	3
≥ 2	223 (55.3)	61.0	35.0	4.0	0.0		
規則型－不規則型							
規則型	143 (35.5)	44.1	46.2	9.8	0.0	22.12 **	6
中間型	194 (48.1)	56.7	36.1	6.7	0.5		
不規則型	66 (16.4)	72.7	27.3	0.0	0.0		

* $p < .05$, ** $p < .01$.

表2-4. 睡眠の満足度と日中の眠気の頻度.

		日中の眠気の頻度 (%)				χ^2	df
人数 (%)		よくある	ときどき	あまりない	全くない		
起床時気分							
よい	185 (46.0)	53.0	37.8	8.6	0.5	10.73	6
どちらでもない	124 (30.8)	49.2	42.7	8.1	0.0		
悪い	93 (23.1)	65.6	33.3	1.1	0.0		
睡眠の過不足							
不足	174 (43.4)	70.7	27.0	2.3	0.0	23.36 ***	6
足りている	197 (49.1)	41.1	48.7	9.6	0.5		
長すぎる	30 (7.5)	53.3	33.3	13.3	0.0		
熟睡感							
あり	298 (73.9)	53.4	39.9	6.4	0.3	13.43 *	6
どちらでもない	77 (19.1)	55.8	33.8	10.4	0.0		
なし	28 (6.9)	67.9	32.1	0.0	0.0		
睡眠の満足度							
満足	89 (22.3)	39.3	49.4	10.1	1.1	86.95 ***	6
中間	305 (76.3)	58.4	35.7	5.9	0.0		
不満足	6 (1.5)	100.0	0.0	0.0	0.0		

* $p < .05$, *** $p < .001$.

睡眠が足りていると判断している者は約半数の49.1%であり、43.4%が睡眠が不足していると回答した。長すぎると判断している者も7.5%存在していた。睡眠の過不足の判断によって眠気の頻度の分布には有意差が認められた ($\chi^2=23.36$, $df=6$, $p<.001$)。睡眠が不足していると判断している者の中で眠気が「よくある」者は70.7%を占めていたが、睡眠が足りていると判断している場合でも41.1%を占めていた。睡眠の過不足の判断別に平均睡眠時間を算出すると、平均睡眠時間は睡眠の過不足の判断によって有意に異なっていた ($F=32.32$, $df=2/398$, $p<.001$)。睡眠が不足している者の平均睡眠時間は6時間36分であり、これは足りている者の平均睡眠時間の7時間5分より29分短かった (Ryan法, $p<.001$)。また、長すぎると判断している者の平均は7時間52分であり、足りている者より47分長かった (Ryan法, $p<.001$)。

熟睡感の違いによっても眠気の頻度の分布には有意差が認められた ($\chi^2=13.43$, $df=6$, $p<.05$)。

以上の3項目をまとめ、起床時の気分がよく、睡眠が足りており、熟睡感のあるものを満足型、起床時の気分が悪く、睡眠が不足あるいは長すぎ、熟睡感のない者を不満足型、そのいずれにも属さない者を中間型として分類した。その結果、中間型が過半数の76.3%を占め、不満足型は1.5% (6名) にすぎなかった。不満足型では6名全員が日中に眠気が「よくある」と回答していた。睡眠の満足度が増加するにつれて日中の眠気が「よくある」者の割合は減少し、眠気が起こらない者の割合が増加していた ($\chi^2=86.95$, $df=6$, $p<.001$)。

以上のように、睡眠の満足度、特に睡眠の過不足の判断も日中の眠気の頻度に影響を及ぼしているが、睡眠に対する満足度が高い場

合でも日中に眠気が頻繁に起こっている者が数多く認められることがわかった。

3-6 日中の眠気と昼寝の発生時刻

日中に眠気が「よくある」または「ときどきある」と回答した者のなかで、眠気と昼寝やうたた寝の発生する時刻を調べた。図2-1は、午前8時から午後8時まで時刻に沿って眠気の発生率を図示したものである。午後2時に眠気を訴える者は56.1%と過半数を超え、この時刻に眠気が最も発生しやすいことがわかる。午後1時(24.8%)や3時(21.1%)にも眠気を訴える者が多く、調査対象者全体の約1/4に相当している。このように、午後1時から午後3時にかけてが最も眠気が起こりやすい時刻であると言えるが、午前9時から11時にかけても眠気を訴える者が多く存在していた。

図2-2は、昼寝やうたた寝の発生率を時刻に沿って図示したものである。眠気の発生時刻と同様、午後2時をピークとして(44.4%)、午後1時から3時にかけて昼寝やうたた寝の発生率が高い。各時刻における昼寝やうたた寝の発生率と眠気の発生率には有意な相関関係が認められ($r=.872$, $df=23$, $p<.001$)、昼寝やうたた寝は眠気が発生している時刻に起こりやすいことがわかる。しかし、眠気は午前9時から11時にかけても高い発生率を示したが、午前中に昼寝やうたた寝をとっている者は少なかった。

4. 考察

4-1 日中の眠気の要因

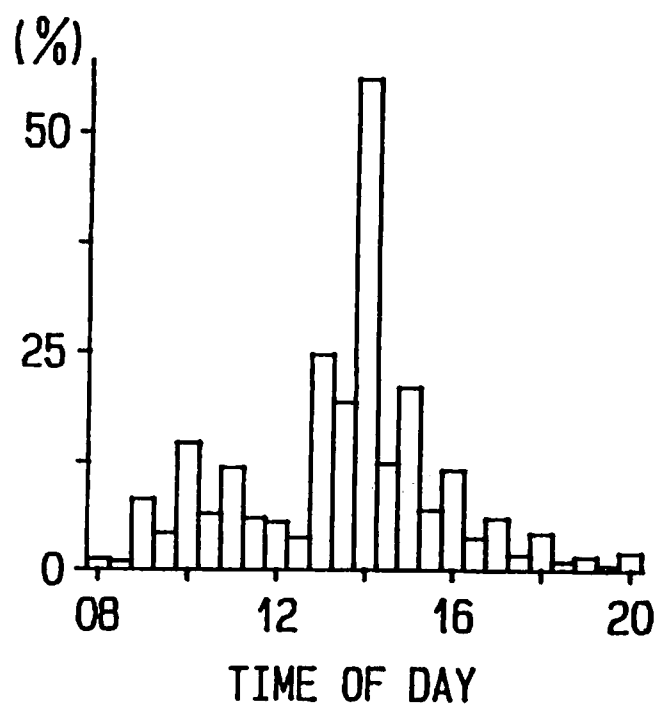


図2-1. 各時刻における眠気の発生の頻度 (n=403).

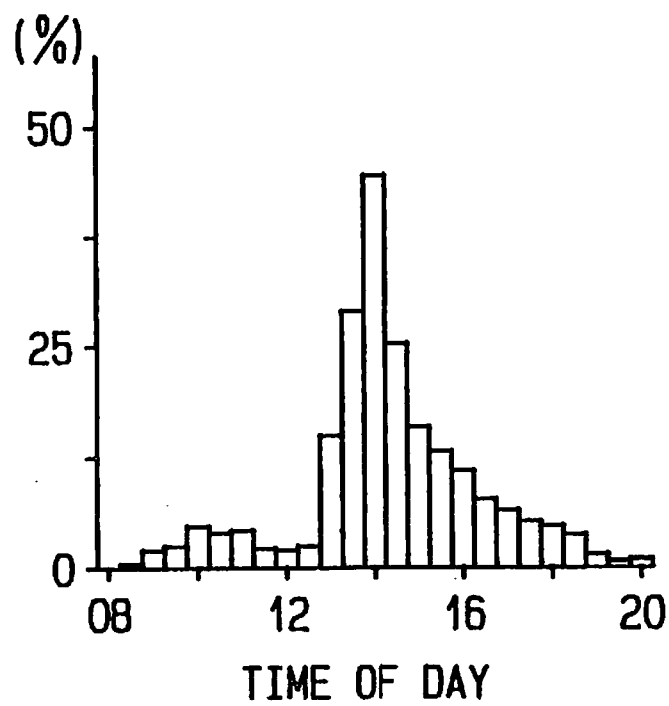


図2-2. 各時刻における昼寝・うたた寝の発生の頻度 (n=403).

日中の眠気の規定要因としてウルトラディアン・リズムが存在するとすれば、夜間睡眠の過不足にかかわらず日中に眠気が生じることが考えられる。しかし、ウルトラディアン・リズムの影響について検討する前に、まず本章では睡眠習慣と日中の眠気との関連性について検討した。ここでは特に夜間睡眠の量、質、規則性の3次元に注目し、さらに睡眠の満足度からも検討を加えた。

今回の結果では、日中に眠気が「よくある」者は55%、「ときどきある」者は38%存在し、合わせて93%の者が日中に眠気が起こると回答した。このように眠気を訴える者が非常に多いため、眠気が「よくある」者と「ときどきある」者をまとめるといずれの分類基準でも日中に眠気を訴える者は90%前後存在していた。睡眠時間が最も長い長時間睡眠者では全員、睡眠の質が最もよい熟眠型でも92%、睡眠習慣が最も規則的な規則型でも90%、起床時の気分がよく、睡眠が足りており、熟睡感もある満足型でも89%の者が日中に眠気が起こることを報告していた。このうち日中に眠気が「よくある」者だけをみると、長時間睡眠者で46%、熟眠型で50%、規則型で44%、満足型でも39%を占めていた。このように夜間睡眠の量、質、規則性そして満足度のいずれの分類基準においても睡眠が充足し、眠気が起こりにくいと考えられる群（型）で40～50%の者が日中に眠気が頻繁に起こることを報告していた。このことから夜間睡眠の量や質の不足以外の要因によっても日中に眠気が頻繁に起こることが考えられる。

4-2 夜間睡眠の量、質および規則性と日中の眠気

長時間睡眠者の場合、眠気が「よくある」者は46%を占めていた

が、短時間睡眠者の場合では72%を占めていた。APSSの睡眠障害分類解説(1979)によれば、短時間睡眠者の診断条件は、夜間睡眠時間の質的側面に対する愁訴がなく、覚醒時に眠気がなく、心身機能に障害がないことである。したがって、今回短時間睡眠者と分類された者のうちの大半は「真の」短時間睡眠者とは考えにくい。むしろ、慢性的に睡眠不足の状態にある(Webb & Agnew 1975)ことが考えられる。標準的な睡眠時間をとる者でもそのうちの54%が日中に眠気が頻繁に起こることから、半数以上の者が慢性的に睡眠不足の状態にあることが指摘できる。

熟眠型-不眠型の分類では眠気の頻度の分布に差は認められなかった。不眠型は不眠症そのものではないが、入眠および睡眠維持困難と分類されているもののうち、精神的・身体的疾患に起因せず、かつ、不眠の訴えの程度が弱い者と分類される(宮下 1984)。不眠症患者の中には、夜間睡眠の質が貧弱にもかかわらず日中に眠気の愁訴を持たない者も多数存在していることから(Dement, Seidel & Carskadon 1982, Seidel, Ball, Cohen, et al. 1984, Seidel & Dement 1982)、不眠症患者よりも不眠の訴えの弱い不眠型の場合でも、日中の眠気の発生頻度が熟眠型と変わらない者が多数存在していることが考えられる。一方、睡眠中断の回数が増加するほど日中に眠気が生じやすいことが指摘されている(Bonnet 1985, 1986, 1987, Levine, Roehrs, Stepanski, et al. 1987, Magee, Harsh & Badia 1987)。例えば睡眠時無呼吸症患者は、睡眠中に何度も一過性の無呼吸が起こり、その都度睡眠の中断が起こるために日中に耐え難い眠気を訴えるようになる(中沢 1986)。しかし、今回の結果では、睡眠中断の有無によって日中の眠気の頻度には有意差が認め

られなかった。このことから、睡眠時無呼吸症のように睡眠中断が頻繁に起こらない限りは、中途覚醒の有無は日中の眠気にはほとんど影響を及ぼさないことが考えられる。

睡眠習慣が規則的な者でも44%が日中に眠気が「よくある」ことを報告しているが、不規則型では73%になり、規則型より29%増加していた。睡眠習慣が極端に不規則になると、頻回の睡眠・覚醒スケジュールの変化による障害（APSS 1979）として診断されることになる。本章の結果からも明かなように、学生の中には睡眠衛生を無視し不規則な睡眠・覚醒スケジュールで生活している者が存在する。このような場合には、生体リズムが生活リズムに同期できなるとともに、同期過程の進行中に睡眠・覚醒リズムが変化することによって著しい生体リズムの障害を引き起こすことになる（遠藤 1982）。このため日中に強い眠気が現れることになる。今回、睡眠習慣が不規則だった者の中には、このような障害分類基準にかかる者も存在している可能性が指摘できる。

睡眠の満足度においては、睡眠の過不足の判断が眠気の頻度と最も関連性が高かった。睡眠が不足していると判断している者のうち、日中の眠気が「よくある」者は全体の71%を占めており、睡眠が足りていると判断している者より30%多かった。平均睡眠時間は、睡眠が不足していると判断している場合と、足りていると判断している場合とで約30分の差が認められたことから、睡眠が不足していると判断している者のうちの約30%の者は、睡眠時間を30分増やすことで日中の眠気を改善できることが考えられる。

以上のように日常場面においては、夜間睡眠が不足していること、睡眠習慣が不規則なことが日中の眠気の発生に強く影響を及ぼして

いることが指摘できる。

4-3 日常場面における日中の眠気の発生時刻

これまで述べてきたように、夜間睡眠の量を増やすか、睡眠習慣を規則的にすることである程度は日中の眠気を改善することも可能であると考えられる。しかし、約半数の人は夜間睡眠の量や質、睡眠習慣の規則性とはほとんど無関係に日中に頻繁に眠気が起こっている。眠気の発生時刻をみると、午後2時に眠気を覚える者は過半数を超えており、午後1時から3時にかけてが最も眠気が起こりやすかった。この時刻に昼寝やうたた寝をとる者も多くみられ、眠気の発生率と昼寝やうたた寝の発生率には有意な相関関係 ($r=.872$) が認められた。従来より午後2時から4時にかけてに眠気のピークが存在することが指摘されており、この時刻に昼寝をとる習慣のある国や地域が非常に多いことも報告されている (Webb & Dinges 1989)。

しかし、眠気を訴える者は午後1時から3時だけでなく、午前9時から11時にも集中していた。この結果は、日中の眠気が夜間睡眠の量や睡眠習慣の規則性とは別に、ウルトラディアン・リズムに従って増減を繰り返している可能性を示唆している。そこで次章以降では、日中の眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動するかどうかを実験的に検討する。

5. 要約

日常場面における日中の眠気の愁訴と睡眠習慣との関係を検討することを目的として、大学生403名を対象として睡眠習慣調査を実施

した。日中に眠気がよくある者は全体の54.8%、ときどきある者は38.2%を占めており、合わせて93.0%の者が日中に眠気が起こることを報告していた。夜間睡眠の量、質、規則性の3次元に注目すると、夜間睡眠量と規則性が日中の眠気の発生に強い影響を及ぼしていたが、これらのいずれの基準においても睡眠が充足している者のうち40~50%の者が日中に眠気が頻繁に起こることを報告していた。日中の眠気が様々な時刻に出現することから、日中に眠気が頻繁に起こる要因として、ウルトラディアン・リズムの可能性について論じた。

第3章 日中の眠気のウルトラディアン・リズムの実証

1. 序

第2章で夜間睡眠の量や質、規則性が充足している場合でも日中には眠気が頻繁に起こり、眠気は様々な時刻に出現していることが示された。本章では日中の眠気の発生がウルトラディアン・リズムに起因しているかどうかを実験的に実証しようと試みる。そこで、夜間睡眠に対する愁訴がない被験者を用いて通常の夜間睡眠をとらせた後の日中の眠気を測定した（林・堀・杉本 1987, Hayashi & Hori 1990）。しかし、第1章で述べたように、眠気のウルトラディアン・リズムを測定する際には、測定指標の選択の問題がある。本章では自己評定尺度、睡眠潜時テスト、脳波のスペクトル特徴の3つを用いて眠気を測定した。

2. 実験方法

2-1 被験者

日常7～8時間の睡眠をとると報告し、夜間睡眠に対して愁訴のない男子大学生8名（20～22歳、平均20.9歳）を被験者として用いた。この8名の中には昼寝の習慣がある者、薬物使用中の者、閉眼安静時脳波が poor- α 型の者（ $\% \alpha < 10$, Johnson, Lubin, Naitoh, et al. 1969）はいなかった。

2-2 眠気の指標

自己評定尺度：自己評定尺度としてはKSS（石原・齋藤・宮田 1982）（付録1）を用いた。

睡眠潜時テスト：睡眠潜時テスト（MSLT）は Carskadon & Dement（1979）の手法を用いて測定した。ただし、実験の目的に合わせて以下の2点を変更して用いた。まず第一に、標準的な手法では2時間の測定間隔が採用されているが、これを30分に変更した。90分周期のウルトラディアン・リズムを観測するためには、サンプリング間隔を30分以下にする必要があるからである。第2点は、就床時間を20分から15分に変更したことである。これは睡眠潜時テストによる休憩効果を極力排除するためであった。MSLT得点は、標準的な手法に従って睡眠段階1（Rechtschaffen & Kales 1968）が最初に連続90秒間出現したとき、この最初の段階1に達するまでの時間（単位：分）とした。

脳波のスペクトル特徴：脳波のスペクトル特徴はMSLT開始直後の入眠前の安静閉眼時の脳波を用いて測定した。脳波のパワースペクトルを δ 、 θ 、 α の各帯域に分け、各々の平均振幅値を算出した。

2-3 実験手続き

実験スケジュールは図3-1に示した通りである。第1日目の21:00から電極を装着した後、23:00から翌07:00まで睡眠をとらせた。洗面、朝食後、08:00から19:00まで30分毎に眠気を測定した。その間12:00に昼食をとらせた。

毎回の眠気測定の手続きは以下の通りであった。被験者は空調防音室（3.1×2.7m）内でKSSに回答し、ベッドに入った。消灯と同

21:00 23:00 7:00 8:00 12:00 12:30 19:00 21:00

電極装着	夜間睡眠	朝食	眠気測定	昼食	眠気測定	電極脱着
------	------	----	------	----	------	------

EEG

EEG

EEG

EOG

KSS

KSS

EMG

MSLT

MSLT

(30分毎)

(30分毎)

図3-1. 実験スケジュール.

時に閉眼させ、眠るよう努めさせた。視察判定により睡眠段階1が出現してから3分以内には被験者を起床させた。段階1が出現しない場合は、消灯後15分経過した時点で起床させた。また、消灯と同時に約1分間の中心(Cz)部位の脳波をオンラインでスペクトル分析した。

感覚遮断や社会的隔離の影響を最小にするため、毎回の眠気測定後、次の測定時までには電極箱から電極コードを外し、同時に防音室のドアを開放した。この間、被験者は読書やテレビ、間食など自由に過ごすことができた。

2-4 記録と分析

ポリグラフ測定：脳波、筋電図、眼球運動を万能型脳波計（三栄製 1A57型）に紙記録し、同時にデータレコーダ（TEAC製 SR-50型）に磁気記録した。脳波は、中心(Cz)、左右頭頂(P₃, P₄)、後頭(Oz)の4部位を左右耳垂を基準部位として記録した。筋電図は、頤筋について表面筋電図法によって導出した。眼球運動は、両眼角外1cmの位置から水平眼球運動の検出用に同側耳垂を基準部位として記録した。

睡眠段階の判定：睡眠段階は Rechtschaffen & Kales (1968) の判定基準に従ってCz部位を対象として判定した。夜間睡眠では消灯時から1分毎に、MSLTでは消灯時から30秒毎に判定した。

脳波の分析：毎回のMSLT測定時に、消灯と同時に安静時の脳波を中心部(Cz)についてシグナルプロセッサ（三栄製 7T07A型）によりスペクトル分析した。サンプリング間隔10msでA/D変換した後、高速フーリエ変換(FFT)し、10.24s 区間のパワスペクトルを求めた。これを6回単純加算平均してパワスペクトルの平滑化を行い、

61.44s 区間の平均パワーを得た。周波数分解能は 0.098Hz とした。演算結果は RS-232C インターフェイスを介してマイコンシステム（日本電気製 PC9801-m3）に転送し、フロッピーディスクに格納した。スペクトルデータは、 δ (0.5~3.5 Hz)、 θ (3.5~7.5 Hz)、 α (7.5~12.5 Hz) の 3 帯域について帯域内でパワーを積分した後、振幅単位 (μV) に変換した。

3. 結果 1 - ウルトラディアン・リズムの同定

3-1 前夜の夜間睡眠

被験者 8 名の夜間睡眠は表 3-1 の通りであった。8 名のうち 6 名の被験者では睡眠効率は 90% に達しており、総睡眠時間は 7.5 時間前後であった。Sub. 6 の睡眠効率は 75.4% であったが、総睡眠時間は 362 分であり、睡眠経過にも極端な睡眠短縮や断眠の効果は認められなかった。このように、いずれの被験者においても総睡眠時間は 6 時間~8 時間であり、通常の範囲内（林・堀 1987）にあったと言える。

3-2 指標毎の周期

各指標の時系列データを個人間で平均するとウルトラディアン・リズムは平滑化されるため（Lavie 1982）、MSLT 得点、KSS 得点、脳波の帯域別振幅値の各時系列曲線を個人毎に周期分析した。周期分析には得られた時系列との適合度が最も高いコサイン曲線を最小自乗法により決定する最小自乗スペクトル法（佐々木 1978）を用いた。この方法の利点は時系列データのサンプリング間隔が不定期でもよいという点にあり、今回の昼食時のデータ欠損を補完する

表3-1. 日中の眠気測定前夜の夜間睡眠変数（分）.

Subject	Stage 1	Stage 2	Stage 3+4	Stage REM	total	sleep efficiency
1	37	192	118	99	446	92.9
2	44	242	72	60	418	87.1
3	15	236	119	80	450	93.8
4	40	229	95	89	453	94.4
5	31	235	77	116	459	95.6
6	39	179	76	68	362	75.4
7	62	232	52	107	453	94.4
8	26	272	114	41	453	94.4
mean (SD)	36.8 (12.9)	227.1 (27.3)	90.4 (23.3)	82.5 (23.7)	436.8 (30.6)	91.0 (6.1)

ことができる。

図3-2は各指標の時間変動の例 (Sub. 2) である。他の被験者においても同様の結果が得られたため、この被験者の例で代表させた。実線は測定された眠気の時間変動である。点線は最小自乗スペクトル法を用いて求めた最も適合度の高いコサイン波である。いずれの指標でもコサイン波との適合度は5%水準で有意であり、眠気には周期的な変動が存在していることがわかる。表3-2は被験者毎に各々の指標の時間変動曲線から同定した周期とその適合度を示している。いずれの指標においてもおよそ90~200分の有意な日内変動が存在することがわかる。しかし、同定された周期は各々の指標で個人内および個人間変動がみられる。一方、表3-3は同定された周期の頂点位相を指標毎に示したものである。頂点位相にも個人内、個人間変動がみられる。このように同定された周期と位相には差がみられるため、それぞれの時系列データを単純に加算平均してもその平均曲線は代表値としての意味をなさない。指標によってはリズム成分が相殺して平坦化してしまう。そこで同定された周期 (表3-2) から平均と標準偏差を求め、指標毎の傾向と比較した。これを表3-2の最下段に示した。すると、MSLT、脳波の θ 、 α 帯域成分ではおよそ100~120分の周期性が認められた。KSS、脳波の δ 帯域成分ではこれよりも周期は長く、約3時間の周期性が認められた。以上のように日中の眠気には日内変動が存在していることが示された。しかし、その変動周期には、70~140分の範囲内にはいるウルトラディアン・リズムだけではなく、それよりも周期の長い slow ウルトラディアン・リズムも存在していることがわかった。

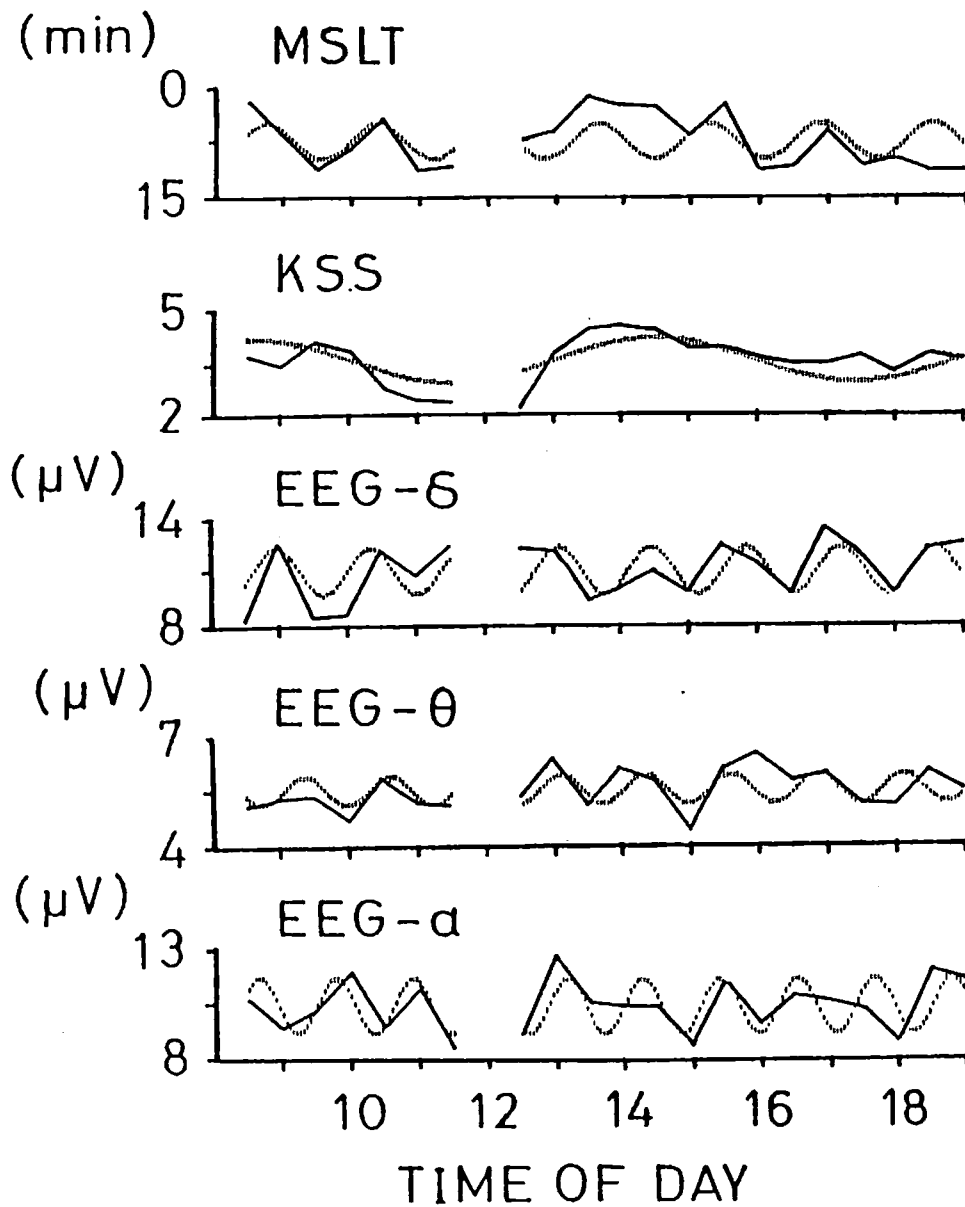


図3-2. 日中の眠気の変動の個人例 (Sub. 2). 実線は実測値、点線は最小自乗スペクトル法によって得られた最も適合度の高いコサイン波を示している。

表3-2. 各々の指標毎に同定された周期 (分) .

Subject No.	MSLT		KSS		EEG- δ		EEG- θ		EEG- α		mean	
	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	(SD)
1	67.5	.325	142.5	.344	157.5	.378	82.5	.431 *	120.0	.524 *	114.0	(34.3)
2	97.5	.454 *	352.5	.682 ***	82.5	.595 **	75.0	.499 *	67.5	.699 ***	135.0	(109.2)
3	247.5	.502 *	277.5	.436 *	210.0	.586 **	82.5	.495 *	105.0	.531 *	184.5	(77.4)
4	105.0	.440 *	150.0	.505 **	157.5	.461 *	82.5	.521 *	150.0	.564 **	129.0	(29.8)
5	97.5	.464 *	210.0	.524 *	345.0	.462 *	165.0	.483 *	112.5	.500 *	186.0	(88.9)
6	127.5	.496 *	240.0	.664 ***	217.5	.518 *	112.5	.431 *	90.0	.641 **	157.5	(59.8)
7	105.0	.410	90.0	.456 *	82.5	.401	172.5	.518 *	82.5	.585 **	106.5	(34.0)
8	90.0	.425 *	112.5	.451 *	75.0	.511 *	82.5	.416	150.0	.461 *	102.0	(27.1)
mean (SD)	117.2 (51.7)		196.9 (84.0)		165.9 (58.9)		106.9 (37.3)		109.7 (28.0)		139.2 (71.7)	

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

表3-3. 各々の指標毎に同定された周期成分の頂点位相 *.

Subject	MSLT	KSS	EEG- δ	EEG- θ	EEG- α	mean (SD)
1	-0.06	-1.18	-5.49	-1.53	-4.07	-2.47 (2.00)
2	-6.14	-0.55	-4.42	-0.61	-3.67	-3.08 (2.19)
3	-0.87	-0.57	-5.98	-2.23	-6.09	-3.15 (2.42)
4	-2.47	-1.82	-0.19	-4.49	-3.79	-2.55 (1.51)
5	-0.73	-1.89	-5.42	-0.53	-2.37	-2.19 (1.76)
6	-1.40	-0.54	-5.67	-5.79	-3.81	-3.44 (2.15)
7	-3.87	-0.53	-4.29	-4.80	-6.22	-3.94 (1.88)
8	-3.45	-2.41	-0.13	-2.89	-5.62	-2.90 (1.77)
mean (SD)	-2.37 (1.90)	-1.19 (0.71)	-3.95 (2.25)	-2.86 (1.86)	-4.45 (1.28)	-2.96 (2.05)

* $-2\pi \leq \phi \leq 0$

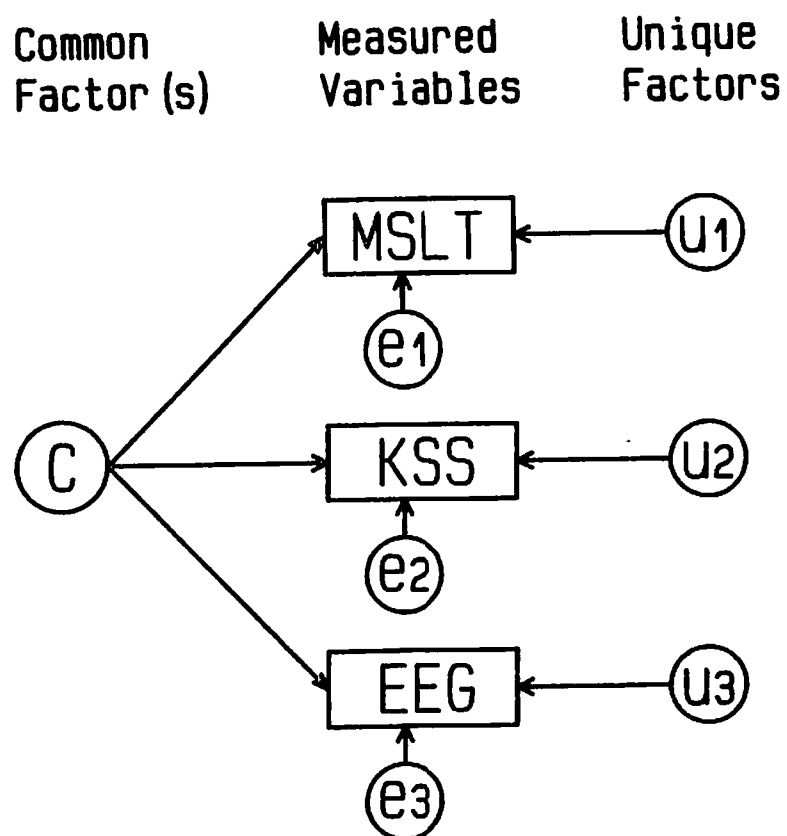
4. 結果2 - 指標間に共通する成分の抽出

4-1 共通成分抽出のモデル

眠気を同時に測定しているにもかかわらず、指標によってその周期は異なり、さらにその位相も異なっていた。その理由としては、第1章で述べたように測定指標によって捉えた眠気の次元が異なること、また、各々の指標には測定方法に起因する独自のバイアス成分が存在していることが指摘できる。したがって、眠気の時間構造を詳細に検討するためには、それぞれの指標に存在するバイアス成分を除去し、各指標に共通する成分を抽出する必要がある。これを模式化したのが図3-3である。C は指標間に共通する成分であり、「眠気自体に関連する成分」と考えることができる。u1, u2, u3 は各指標に独自の「指標特有の変動成分」である。また、e1, e2, e3 は実測値に含まれる誤差分散を表わしている。MSLT、KSS、EEGはそれぞれの指標を用いて測定された実測値を示している。これら実測値は、「眠気自体に関連する成分(C)」と「指標特有の変動成分(u)」及び誤差分散(e)の合成値であると仮定される。この共通成分を抽出するための方法として、主成分分析の適用を試みた。

4-2 主成分分析の適用

時系列データに対する主成分分析の適用は、すでに Tsuji & Kobayashi (1988) が行っており、その有効性が確かめられている。本章で主成分分析を適用する目的は、眠気の指標間に共通する成分を抽出することにある。指標間の相関係数は、全分散量に対する共



○: Latent Variables

□: Manifest (Measured) Variables

e: Error Variances

図3-3. 眠気の共通成分抽出のモデル。

通成分の分散量を示している。全分散量から共通成分の分散量を引いた残差は、各指標に含まれる指標独自の成分および誤差分散の総分散量を示している。したがって、指標間で相関する成分は共通成分として抽出でき、相関しない成分は指標独自の成分として除外できると考えられる。主成分分析は全変数に対して最大の相関をもつ合成変量を算出する方法である。したがって、主成分分析によって得られた合成変量は、指標間に共通する成分であると考えることができる。そこで、MSLT得点、KSS得点、脳波の δ 、 θ 、 α の各帯域成分の5つの時系列データの相関構造に基づいて主成分分析を行った。こうして得られた主成分値の時間変動について検討した。

4-3 主成分値の時間変動

表3-4は第1～第3主成分の寄与率を示している。主成分の相関構造は被験者によって異なっていたが、いずれの被験者においても第3主成分までで全分散量の約80% (77.5～88.4%、平均83.5%) を説明することができた。そこで、これら3つの主成分値を算出した。

図3-4は図3-2に示した被験者とは別の被験者 (Sub. 7) の例である。この時系列データに対して主成分分析を行い、得られた主成分値を時刻に沿って表示したのが図3-5である。この主成分値に対して最大エントロピー法 (MEM) を用いて時系列分析した。この分析方法の利点は、スペクトルの分解能が非常に高く、データ長が短い場合でも周期分析が可能であり、雑音に対しても比較的強いことにある (日野 1977、南 1986)。各主成分値において昼食時 (12:00) のデータ欠損を直線補完によって補完した後、MEMを用いてパワースペクトルを求めた。周波数分解能は 0.5 cycle/day で、4 cycle/

表3-4. 第1～第3主成分の寄与率(%).

Subject	PC-1	PC-2	PC-3	total
1	51.5	21.3	15.6	88.4
2	35.5	31.5	18.0	85.0
3	32.2	28.7	20.8	81.7
4	41.1	25.6	16.7	83.3
5	42.3	30.3	15.4	87.9
6	33.6	23.1	20.7	77.5
7	38.4	30.4	16.2	85.1
8	36.3	22.7	20.3	79.3
mean (SD)	38.9 (5.7)	26.7 (3.8)	17.9 (2.1)	83.5 (3.6)

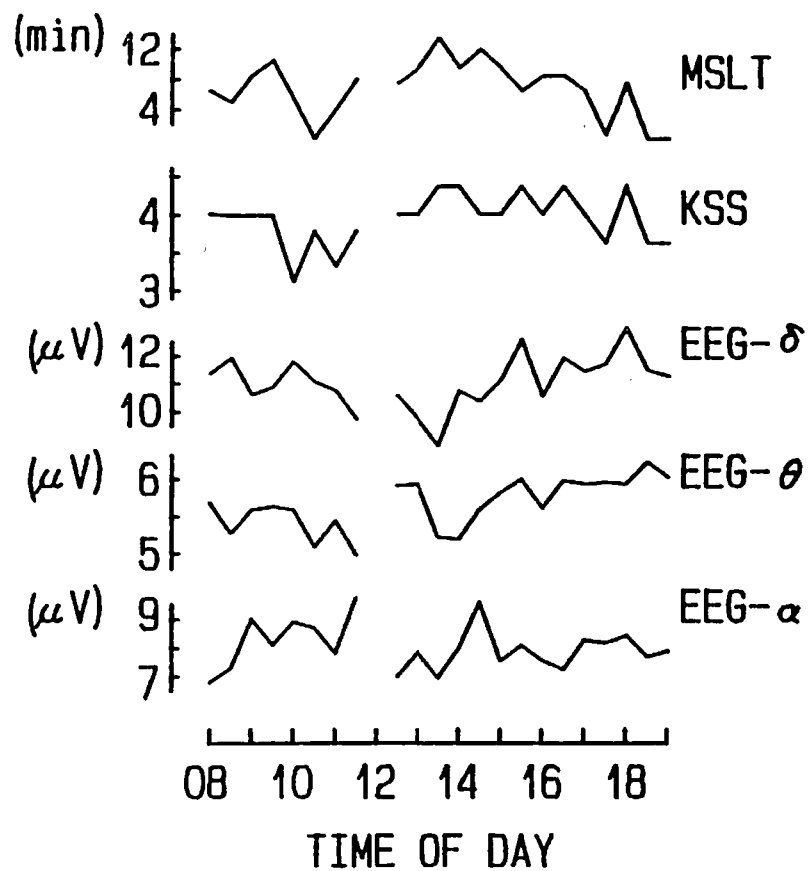


図3-4. 日中の眠気の変動の個人例 (Sub. 7).

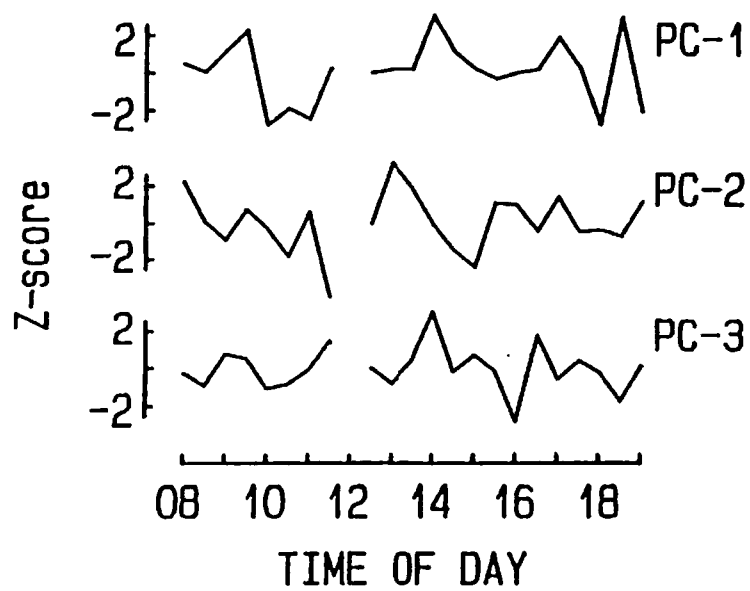


図3-5. 主成分値の時間変動の例 (Sub. 7). 図3-4の各測定値に主成分分析を適用して求めた. PC-1: 第1主成分, PC-2: 第2主成分, PC-3: 第3主成分.

day (6時間周期) から 24 cycle/day (1時間周期) まで41点の周波数帯域のパワを求めた。

図3-6は図3-5の主成分値の時系列データのパワスペクトルを示したものである。いくつかのスペクトル・ピークが認められる。ピーク同定の基準は、1) ピークに隣接する両隣の3点の周波数帯域の振幅値がピーク周波数の振幅値から単調減少していること、2) そのピーク周波数の振幅値が全周波数帯域の平均振幅値よりも高いこととした。こうして同定されたピーク周波数を、時系列データの周期として同定した。

図3-7はこうして同定された周期を各主成分毎にヒストグラムにして表したものである。第1主成分では 15 cycle/day (96分周期) のウルトラディアン周期が最も優勢である。図の最下段はこれら3つの主成分値の周期をすべてまとめたものである。これをみても、15 cycle/day の周期が最も優勢であることがわかる。これよりも周期の長い slow ウルトラディアン・リズムの範囲内にはいる 8, 10 cycle/day (180分と144分周期) の周期や、これより周期の短い fast ウルトラディアン・リズムの範囲内にはいる 22 cycle/day (65分周期) の周期も優勢な周期として存在していたが、指標間に共通する成分は、70~140分の範囲内にあるウルトラディアン周期が最も基本的な周期であることがわかった。

5. 考察

5-1 眠気の規定要因としてのウルトラディアン・リズム

健常者における眠気の発生要因としては、これまで前夜の夜間睡

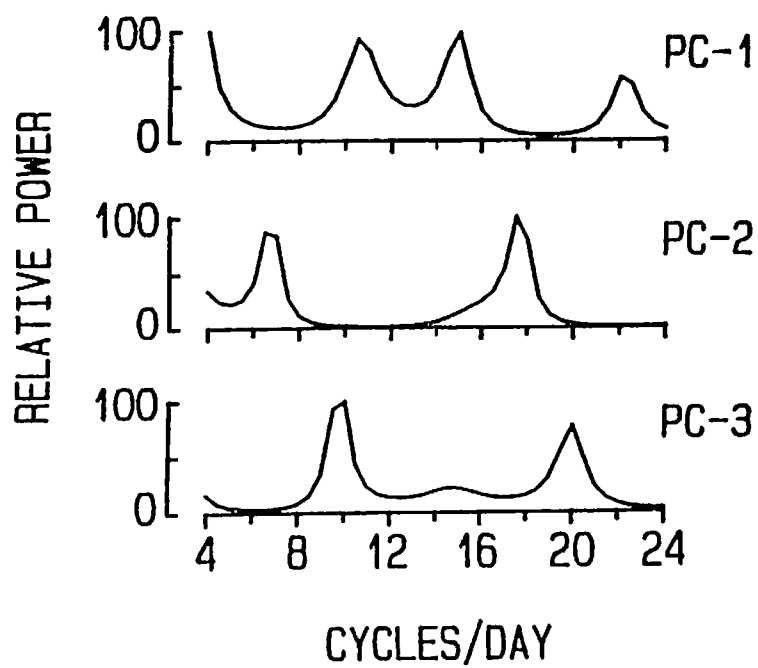


図3-6. 主成分値の周波数特性の例 (Sub. 7). 主成分値の時間変動
(図3-5) を最大エントロピー法によって周期分析した結果得
られた。

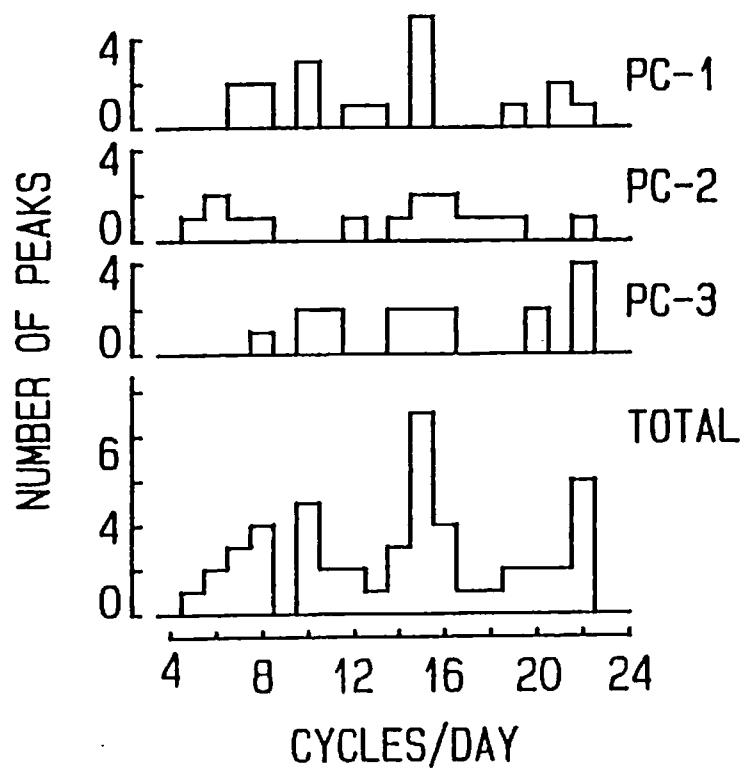


図3-7. 各主成分値の時間変動から同定された周期のヒストグラム.

15 cycle/day (96分周期) が最も頻度が高い. PC-1: 第1主成分, PC-2: 第2主成分, PC-3: 第3主成分, total: 第1主成分から第3主成分までをまとめたもの.

眠の量およびその質と、サーカディアン・リズムの位相が指摘されてきた (Dement & Carskadon 1982)。しかし、本章の結果から、眠気の規定要因としての夜間睡眠の影響を少なくしても日中に眠気が発生し、その発生には周期性があることが確かめられた。このことは、日中に発生する眠気はサーカディアン・リズムや断眠時間の関数として変動するばかりでなく、ウルトラディアン・リズムによっても調節されていることを示している。第2章で述べたように、熟眠者で睡眠に対する満足度が高く、睡眠習慣に特に問題が認められない者でもそのうちの約半数が日中に頻繁に眠気が生じていたが、これは眠気がウルトラディアン・リズムに従って発生しているためであると考えることができる。

5-2 眠気のウルトラディアン構造

用いた指標により同定された周期は異なっていたが、これは第1章で述べたように、眠気の測定次元が異なること、測定方法に起因するバイアス成分が存在していることを示唆している。本章では主成分分析を用いたことによって、これら指標独自の成分を除去し、指標間に共通する成分を抽出することができた。得られた主成分値は指標間に共通する成分であり、「眠気自体に関連する成分」にはほかならない。主成分値を時系列分析した結果、70～140分の範囲内にあるウルトラディアン周期が最も基本的な周期であることがわかった。一方、この周期以外にもfastウルトラディアン周期やslowウルトラディアン周期が認められた。また、今回抽出された共通成分は単独ではなく、複数(3主成分)抽出された。これらのことは、日中の眠気のウルトラディアン・リズムは必ずしも単純構造ではない

ことを示している。

従来よりウルトラディアン・リズムには長短の周期性が存在することが指摘されてきた。Okawa, Matousek & Petersén (1984) は、日中の覚醒水準の変動には60～110分の周期があり、その周期が個人内で変動することを報告している。Lavie & Zomer (1984) も、日中の覚醒水準の変動は、サーカディアン・リズムと Kleitman (1963) の B R A C に相当する約90分周期のウルトラディアン・リズムおよび3～4時間周期のslowウルトラディアン・リズムによって調節されていることを指摘している。また、Tsuji & Kobayashi (1988) は、脳波活動にも100分周期と3～8時間周期の2つが存在することを報告している。これらの報告はウルトラディアン・リズムにおける多次元振動体仮説 (Lavie 1982) を支持するものである。これに対して Manseau & Broughton (1984) は、観察された3～4時間の周期は B R A C の低調波成分の可能性があると述べている。本章の結果では、最も基本的であった 15 cycle/dayの周期は、他の優勢であった8、10、22 cycle/dayの周期とは整数倍でも整数分の1でもなく、高調波、低調波の関係にはない。このことは、眠気の変動には多次元の振動体が存在している可能性を示唆している。しかし、従来のウルトラディアン・リズムの研究においては、B R A C に相当する約90分の周期が最も基本的な周期として同定されてきた (Kripke 1982, Lavie 1982)。本章の結果もこれを支持しており、日中の眠気が70～140分の範囲にはいるウルトラディアン周期で増減を繰り返すことが実証できた。

6. 要約

本章では通常の夜間睡眠をとった場合でも日中に眠気が起こるかどうか、そしてその発生の仕方にはウルトラディアン・リズムが存在するかどうかを検討した。7～8時間の通常の夜間睡眠後、自己評定尺度、睡眠潜時テスト、脳波のスペクトル特徴の3つを用いて被験者8名の日中の眠気を測定した。その結果、90～200分の日内変動が存在することが実証できた。しかし、用いた指標によって位相にずれが生じた。このように指標によって位相がずれる理由は、「実測値」が「眠気自体に関連する成分」と「指標特有の変動成分」によって合成されているためであると仮定した。そこで主成分分析を用いて主成分の抽出を図った。抽出された主成分は各指標に共通する変動成分であり、これは「眠気自体に関連する成分」にほかならない。得られた主成分値を周期分析した結果、最も基本的な周期として96分の周期性が同定され、日中の眠気がウルトラディアン周期で変動することが実証できた。

第4章 社会的隔離環境下における眠気の変動と睡眠の発生

1. 序

われわれは自由に眠れる条件が整えば、通常の睡眠時間よりも1、2時間程度余分に眠ることができる。昭和60年度のNHKの国民生活時間調査(1986)によれば、日曜日の睡眠時間は平日よりも約1時間長い。時間手がかりのない環境室で自発的に目が覚めるまで夜間睡眠をとらせると、基準夜と比べて睡眠時間が2時間近く延長したという結果から、Webb & Agnew (1975) は、われわれは慢性的に睡眠不足の状態にあると述べている。Carskadon & Dement (1982) は、睡眠潜時テストを用いて夜間の睡眠量と日中の眠気との関係を検討している。その結果によれば、睡眠時間を8時間から10時間に延長すると睡眠潜時は有意に延長した。以上のような結果から考えると、前章で被験者が夜間にとった6～8時間の睡眠では睡眠短縮の可能性が存在していたことになる。日中に起こる眠気の規定要因としてウルトラディアン・リズムを提唱するためには、睡眠短縮の可能性を除外することが必要である。さらに、観察されたリズムが内因性のものか外因性のものかを区別するためには時間手がかりを取り除いた環境を設定する必要がある。しかし、前章では時間手がかりを取り除いていなかった。そこで本章では、被験者を48時間の社会的隔離環境下におき、時間手がかりを取り除いた条件下で睡眠を自由にとれる条件を設定した(堀・林・杉本 1988)。そして、通常の夜間睡

眠と比較して過眠傾向が発生した場合でも日中に眠気がウルトラディアン変動を示すかどうかを検討した。睡眠を自由にとらせる条件を設定したため、睡眠潜時テストは実施せず、眠気の測定には自己評定尺度（KSS）と脳波のスペクトル特徴の2つを用いた。

2. 実験方法

2-1 被験者

被験者には普段の睡眠時間が7～8時間で、通常の睡眠習慣（林・堀 1987）を持ち、心身共に健全で喫煙習慣のない男子大学生5名（19～25才）を用いた。

2-2 実験手続き

実験の前日は普段の睡眠習慣を維持するよう教示した。

図4-1に実験スケジュールを示した。第1日目の11:00に被験者が実験室に入室した。電極装着後、防音室の使い方を教示した。13:00に防音室を閉鎖し、2日後の13:00まで48時間、被験者を社会的隔離環境下においた。隔離中は時計など時間手がかりとなるものは一切取り除いた。睡眠・食事・排泄など被験者の生活行動は自由とした。一方、覚醒期の行動をほぼ一定に保つために1000ピースのジグソーパズルを作業課題とした。このパズルは完成するとテラス付きの集合住宅の全景となるもので、単調で極めて魅力度の低いものを選んだ。この作業中、作業機の脇に設置したパネルを30分毎に点灯した。点灯の合図があると被験者は直ちに作業を中断して、目を閉じて安静状態を保った。被験者は2分間が経過したと判断したら安静状態を

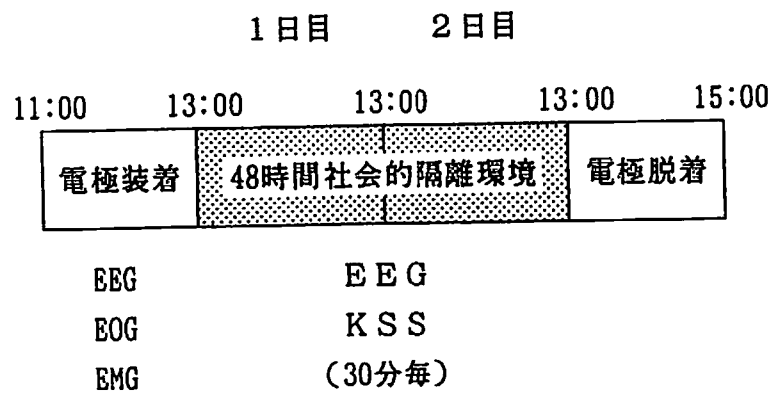


図4-1. 実験スケジュール.

中止し、あらかじめ防音室内に用意した記録紙にKSSと内省報告を記入した。記入済みの記録紙は毎回パスボックスより回収した。被験者の行動は昼光・赤外線モニタで観察するとともに、連続ポリグラフ記録した。

2-3 記録と分析

ポリグラフ測定：脳波、筋電図、眼球運動および心電図をポリグラフ記録した。脳波は、前頭(Fz)、左右中心(C₃, C₄)、左右頭頂(P₃, P₄)、後頭(Oz)、左右側頭(T₁, T₂)の8部位を左右耳垂を基準部位として記録した。筋電図及び眼球運動の記録法は、第3章と同じであった。

睡眠段階の判定：睡眠段階は、Rechtschaffen & Kales (1968) の基準を用いて左中心(C₃)部位を対象として1分毎に行った。

脳波の分析：30分毎に行われた安静閉眼中の脳波を左右中心(C₃, C₄) 部位について、シグナルプロセッサ（三栄製 7T07A型）を用いてスペクトル分析した。サンプリング間隔20msでA/D変換した後、高速フーリエ変換し、10.24s区間のパワスペクトルを求めた。これを5回単純加算平均してパワスペクトルの平滑化を行い、51.2s区間の平均パワを得た。周波数分解能は0.098Hzとした。スペクトル分析にあたり、C₃とC₄のいずれかにartifactが混入した場合は、その区間を分析から除外した。除外区間が2区間以上となった場合はスペクトル分析を中止した。演算結果は実験中にRS-232Cインターフェイスを介してマイコンシステム（日本電気製 PC9801m3）にオンラインで転送し、フロッピーディスクに格納した。スペクトルデータは、 δ (0.5~3.5Hz)、 θ (3.5~7.5Hz)、 α (7.5~13.5Hz) の3帯域に

ついて帯域内でパワを積分した後、振幅単位 (μV) に変換した。

周期分析：実験中、閉眼安静中の脳波にartifactが混入したり、夜間の主睡眠期以外に持続時間が60分以下の睡眠が発生したために、30分毎の眠気の測定ができなかった場合が数回認められた。このように時系列データには欠損値が数箇所含まれているため、観測値が等間隔でなくても適用できる最小自乗スペクトル法 (佐々木 1978) を用いて周期分析を行った。

3. 結果

3-1 48時間内の睡眠時間

表4-1は、48時間を24時間毎に分けて総睡眠時間を被験者毎に示したものである。前半の24時間ではいずれの被験者にも過眠傾向が認められ、総睡眠時間は平均580分であった。これは第2章で述べた大学生の平均睡眠時間 (6時間56分) よりも有意に長く ($t=6.46$, $df=389$, $p<.001$)、その差は約2.5時間であった。後半の24時間では、被験者間で平均すると総睡眠時間は407分であり、大学生の平均睡眠時間と有意差は認められなかった。しかし、被験者毎に見ると、前半の24時間よりも過眠傾向が著しくなる者 (Sub. 2, 5) と、逆に不眠傾向を示す者 (Sub. 1, 3, 4) に分かれた。

3-2 眠気の変動と睡眠の発生

図4-2は、48時間中の睡眠の発生時刻とK S S得点の変動を被験者毎に示したものである。通常の夜間睡眠に相当する長い睡眠期を主睡眠期とすると、最初の主睡眠期に過眠傾向が認められる。便宜上、

表4-1. 24時間毎の総睡眠時間.

Subject No.	day 1	day 2	total
1	667	272	939
2	512	696	1208
3	646	218	864
4	601	244	845
5	474	606	1080
mean	580.0	407.2	987.2
(SD)	(75.1)	(201.8)	(137.9)

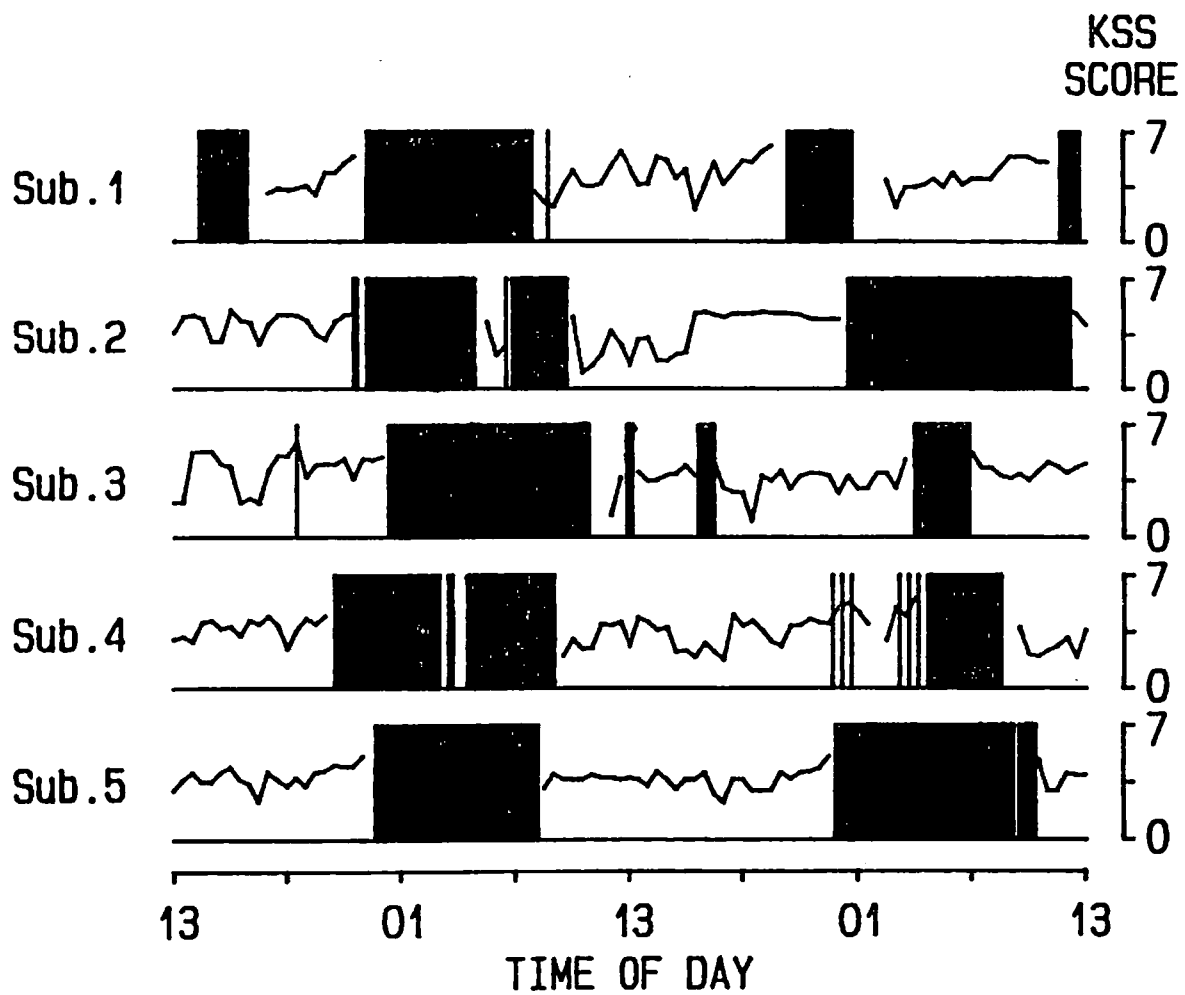


図4-2. 社会的隔離環境下における睡眠の発生時刻と眠気の変動。

黒く塗りつぶした部分が睡眠を示しており、曲線はKSS得点を示している。

実験開始から最初の主睡眠期までを第1日 (Day 1)、次の主睡眠期までを第2日 (Day 2) とすると、通常の夜間睡眠をとった後の第1日でも、夜間睡眠に過眠傾向が認められた後の第2日でも K S S 得点は周期的に変動していることがわかる。また、夜間の主睡眠期だけでなく、日中にも持続時間が60分以下の睡眠が発生している。この持続性の短い睡眠は眠気のピーク時に発生している。しかし、どの眠気のピークでも睡眠が発生しているわけではないことがわかる。

表4-2は、第1日と第2日の K S S 得点の時間変動を最小自乗スペクトル法を用いて周期分析した結果である。いずれも2時間前後の有意な周期性が同定された。同定された周期には個人内で日間変動が認められるが、平均すると第1日では138分、第2日では135分であり、日間で周期の変化に有意差は認められなかった。

表4-3は、左中心部 (C_9) 脳波の各周波数帯域の振幅値の時間変動を周期分析した結果である。同じ周波数帯域内では半球差はほとんどみられなかったので C_9 の分析結果で代表させた。第2日になると Sub. 3と Sub. 4の適合度が低下するが、これらを除けばいずれの帯域成分にも90分前後のウルトラディアン変動を認めることができる。 δ 、 θ 帯域成分では第1日と第2日の周期の変化には約10から30分の個人内変動が認められるが、個人間で平均すると有意差は認められなかった。それに対して、 α 帯域成分では第1日に比べて第2日は周期が平均25.5分延長し、この差は有意であった ($t=8.50$, $df=4$, $p<.01$)。

表4-2. K S S得点の周期.

Subject No.	day 1		day 2	
	P	r	P	r
1	75.0	.455	157.5	.571 **
2	165.0	.766 **	142.5	.304
3	142.5	.306	75.0	.418 *
4	172.5	.744 **	157.5	.376 *
5	135.0	.467 *	142.5	.414 *
mean	138.0		135.0	
(SD)	(34.4)		(30.7)	

* $p < .05$, ** $p < .01$.

表4-3. 左中心部(C₃)脳波の δ 、 θ 、 α 帯域の振幅値の周期.

Subject No.	day 1		day 2	
	P	r	P	r
delta band				
1	75.0	.662 **	90.0	.596 **
2	75.0	.630 **	67.5	.546 **
3	97.5	.485 *	75.0	.443 *
4	82.5	.567 **	90.0	.374
5	82.5	.550 **	112.5	.385 *
mean (SD)	82.5 (8.2)		87.0 (15.4)	
theta band				
1	82.5	.517 *	120.0	.649 **
2	75.0	.638 *	67.5	.453 *
3	75.0	.517 *	90.0	.417 *
4	112.5	.411 *	142.5	.451 *
5	90.0	.717 **	67.5	.614 **
mean (SD)	87.0 (13.9)		97.5 (29.6)	
alpha band				
1	75.0	.448	105.0	.488 *
2	67.5	.557 *	97.5	.493 *
3	75.0	.557 *	90.0	.372 *
4	82.5	.661 *	105.0	.398 *
5	75.0	.501 *	105.0	.527 **
mean (SD)	75.0 (4.7)		100.5 (6.0)	

* $p < .05$, ** $P < .01$.

4. 考察

4-1 過眠後の眠気

本章の結果から、夜間睡眠に過眠傾向が認められ睡眠短縮の可能性が除外された場合でも眠気はウルトラディアン・リズムに従って変動することが実証された。前章の結果と同様、同定された周期は指標によって異なっていた。しかし、それぞれの指標から同定されたリズムの数だけ振動体があることにはならない。前章の結果から、眠気の測定次元や測定方法の影響を受けて見かけ上、異なる周期性が観察されたと考えられる。

Carskadon & Dement (1982) は、睡眠潜時テストを用いて夜間睡眠の量と日中の眠気との関係を調べている。夜間睡眠を通常の7.5～8.5時間から10時間に延長すると眠気は有意に減少した。彼女らによれば、この結果は通常の7～8時間の睡眠が慢性的な睡眠短縮の状態 (Webb & Agnew 1975) であることを裏づけていると述べている。一方、10時間の夜間睡眠をとった後の睡眠潜時テストの結果を9:30から19:30まで2時間毎に並べると (Carskadon 1989)、眠気は毎回最小値 (最大睡眠潜時) を示すのではなくて、日内変動が存在していることがわかった。すなわち、昼食後の眠気が生じる時刻に相当する13:30と15:30に眠気が増大 (睡眠潜時は短縮) していた。この結果は、夜間に過眠状態が発生していても日中に眠気が発生することを示している。Carskadon (1989) はウルトラディアン・リズムについては検討していないが、本章の結果と合わせると、日中の眠気の規定要因としては、前夜の夜間睡眠量やその質だけでなく、ウルトラディアン・リズムについても検討する必要があることを示してい

る。また、本章の結果と第2章の調査結果と合わせると、実際の夜間睡眠の量や質の過不足や、過不足であるという判断とは関係なく日中の眠気がウルトラディアン・リズムに従って増減することが実証できた。

4-2 隔離環境下のウルトラディアン・リズム

観察されたリズムが内因性のものであるかどうかを検討するためには、明暗周期や温度など時間手がかりのない恒常環境条件を用いることが必要である。Czeisler, Richardson, Zimmerman, et al. (1981) は、ヒトのサーカディアン・リズムの主たる同調因子として、時刻を知ること、明暗周期、社会的接触、食事時刻、就床・活動スケジュールの5つをあげている。これらの要因を統制することは、ヒトのサーカディアン・リズムの研究に限らず、日中のウルトラディアン・リズムを検討する際にも考慮すべき問題である。前章での実験手続きでは、これらの要因は必ずしも統制されていなかったが、日常場面に近づけた条件設定でも眠気にはウルトラディアン変動が存在することが示された。本章の手続きでは時間手がかり、すなわち同調因子は取り除かれていたため、観察されたウルトラディアン・リズムは、ヒトに固有の内因性のリズムであると言える。

時間手がかりのない恒常環境下では、その生物がもつ固有のリズムが出現する。ウルトラディアン・リズムも隔離環境下で出現しやすいことがいくつかの研究で報告されてきた。Kripke & Sonnenschein (1978) は、被験者を実験室に隔離した条件と日常環境下に置いた条件で、急速眼球運動、脳波の α 活動、白昼夢の出現の時間変動を検討した。その結果、これらは互いに関連しながら90

分周期で増減を繰り返した。この90分周期は日常環境下よりも隔離環境下の方が明確であった。Othmer, Hayden & Segelbaum (1969) も隔離環境下で急速眼球運動は、睡眠中、覚醒中を問わず周期的に発生することを報告している。この急速眼球運動の周期的な出現は、恒暗臥床条件、恒明臥床条件、恒明座位条件のいずれの条件においても認めることができた。また、Kripke (1972) は、隔離条件下で睡眠や食事、課題遂行量等を測定し、睡眠の出現や脳波の δ 活動、課題遂行量、食事等に明確なウルトラディアン・リズムが出現したことを報告している。また、社会的接触の影響を僅少にした絶対臥床条件下では数時間周期に睡眠が発生する (Campbell 1984, Nakagawa 1980, 太田 1983)。一方、Okawa, Matousek & Petersén (1984) は、実験者と被験者との接触をできる限り少なくした条件で約20分間隔で脳波を測定し、そのスペクトル構造から覚醒水準を算出した。その結果、覚醒水準は60分から110分のウルトラディアン周期で律動的に変動した。脳波測定の前後は読書や書き物など日常的な日中の活動を許可していたにもかかわらず、明確なウルトラディアン・リズムが認められたことから、彼女らは、ウルトラディアン・リズムは日中の行動の影響を受けにくいと述べている。日中の眠気は通常的环境下 (第3章) でも隔離環境下 (本章) でも、ウルトラディアン・リズムに従って変動することから、このウルトラディアン・リズムはヒトに固有の非常に強固なリズムであると考えることができる。

4-3 隔離環境下における睡眠の発生

隔離環境下における睡眠・覚醒リズムを検討してきた研究の大半

では、その主眼がサーカディアン・リズムにおかれてきた（Aschoff 1965）。主睡眠期以外の持続性の低い睡眠はノイズとして考えられてきたため、ほとんどの研究では主睡眠期以外の睡眠をとることは許されていない。しかし、睡眠を自由にとることが許されると、持続性の高い夜間の主睡眠期だけでなく、日中にも持続性の低い睡眠が発生するようになる（Campbell & Zully 1985, 1989）。今回の結果でも夜間の主睡眠期だけでなく、日中にも睡眠が発生した被験者が認められた。この日中の睡眠は、いずれも眠気のピーク時に発生していた。

一方、第1章で述べたように眠気は睡眠系の発現に対する知覚・判断の結果であるとする、眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動する原因としては、睡眠系がウルトラディアン・リズムに従って発現することと、知覚・判断の基準がウルトラディアン・リズムに従って変化することの2つが考えられる。Lavie & Scherson (1981)、Lavie & Zomer (1984) は、15分覚醒－5分睡眠の手続きで12時間の測定を行い、睡眠段階1の出現には100分の周期性が存在することを報告している。このことは、睡眠の発現系がウルトラディアン・リズムの影響を受けていることを示唆している。これに対してヒトの知覚がウルトラディアン・リズムに従って変動することも報告されている。Lavie, Levy & Coolidge (1975) は、渦巻残効の知覚を5分間隔で日中8時間、夜間8時間測定した。その結果、残効の持続時間は90分の周期で変動した。Lavie, Load & Frank (1974) もこれと同様の結果を見い出している。ファイ現象についても90分の周期性が見い出されている（Lavie 1976）。また、判断系もウルトラディアン・リズムの影響を受けることが示されている。堀・林

・森川（1988）は、20分毎に2分間の時間推定（時間判断）と10cmの直線引き課題（空間判断）を10時間行わせた。その結果、時間判断も空間判断もウルトラディアン・リズムに従って変動した。さらにHori（1989）は、4つの認知課題を15分毎に10時間測定し、認知活動に約150分周期のウルトラディアン・リズムが認められたことを報告している。これらの結果は、知覚・判断の基準もウルトラディアン・リズムに従って変化することを示唆している。

今回、睡眠は眠気のピーク時に発生したことから、睡眠系がウルトラディアン・リズムに従って発現することが眠気のウルトラディアン変動の最大の規定要因となっている可能性が高いように思われる。しかし、眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動するとしても、必ずしも睡眠が毎回の眠気のピーク時に発生するわけではなかった。その理由としては、今回のように行動が自由にとれる条件では、眠気が発生した場合、その対処行動として眠気に耐え、起き続けることも可能であることが考えられる。Campbell & Zully（1989）は、隔離環境下に被験者を隔離した場合、被験者の中にはコーヒーを摂取したり、活動量を増やしたりすることによって繰り返し起こる眠気を克服しようと努力した者がいたことを報告している。したがって、今回の条件よりも睡眠が発生しやすい条件を用いれば、睡眠がウルトラディアン・リズムに従って発生することが考えられる。そこで、次章では本章で用いた条件よりもさらに睡眠が発生しやすい条件を用いて、眠気のウルトラディアン・リズムが睡眠系のウルトラディアン・リズムを反映したものであるかどうかを検討する。

5. 要約

睡眠短縮の影響が全くない状態でも日中に眠気がウルトラディアン・リズムを示すかどうかを検討した。被験者5名をそれぞれ単独で48時間の間、社会的隔離環境下におき、睡眠を自由にとらせた。その結果、前半の24時間中の平均睡眠時間は9時間40分となり、過眠傾向が認められた。30分毎の測定の結果、眠気は1日目、2日目ともに約2時間の周期で変動した。このように、日中の眠気は実際の睡眠時間の過不足にかかわらず、ウルトラディアン・リズムによって調節されていることがわかった。また、夜間の主睡眠期だけでなく、持続時間が60分以下の睡眠が眠気のピーク時に発生した。眠気にウルトラディアン・リズムが認められるのは、睡眠発現機構にウルトラディアン・リズムが存在しているためであるという可能性について論じた。

第5章 恒暗環境下における睡眠の発生

1. 序

前章で用いた条件では、睡眠が眠気のピーク時に出現するとしても、毎回のピーク時に発生するわけではなかった。しかし、眠気のウルトラディアン・リズムが睡眠系の発現に起因するのであれば、前章で用いた方法よりもさらに眠りやすい条件を設定すれば、睡眠もウルトラディアン周期で発生するはずである。

Campbell & Zully (1985) は、隔離環境下で行動を制限しない自由条件を用いた場合、覚醒期は持続時間が3時間未満のものが全体の33.8%を占め、平均持続時間が5.2時間であったことを報告している。これを行動を制限する臥床条件に変更すると (Campbell 1984)、3時間未満のものは63.1%と約2倍に増加し、覚醒期の平均持続時間も2.7時間に短縮した。Nakagawa (1980) も臥床条件を用いて、睡眠が平均約4時間周期で出現したことを報告している。これらの結果から、行動を制限するほど睡眠が頻発し、その出現間隔も短くなっていることがわかる。しかし、これらの報告で得られた睡眠の発現間隔は第3、4章で述べてきた眠気のウルトラディアン周期よりも長い。このことは、睡眠系の発現が眠気のウルトラディアン・リズムの規定要因になっていることを証明することにはならない。そこで、これらの条件よりもさらに行動を制限する方法として72時間の恒暗・隔離条件を設定した (林・堀 1988a)。この条件では視覚情報や外

的刺激は遮断され、その結果、行動も著しく制限されることになる。この条件は、睡眠過剰症候群や睡眠薬を服用した場合を除き、健常者を用いた場合、睡眠の許容限界を示すと考えられており（坂本 1990）、比較的厳しい感覚遮断条件といえる（長塚 1966、大熊 1962、杉本 1973, 1986）。本章では、この条件を用いて、睡眠がウルトラディアン周期で出現するかどうかを検討する。

2. 実験方法

2-1 被験者

被験者には通常7～8時間の睡眠をとると報告した男子大学生及び大学院生7名（19～26才）を用いた。7名中、1名は実験を開始してから32時間24分後に、1名は7時間32分後に実験を中止した。そこで、この2名を除く5名（21～26才、平均22.8才）の記録を分析に用いた。

2-2 実験手続き

図5-1に実験スケジュールを示した。第1日目の10:00から脳波及び眼球運動測定用の電極を装着し、12:00に昼食をとらせた。13:00に被験者を防音室に入れ、消灯した。被験者の行動は連続ポリグラフ記録するとともに2台の赤外線モニタで観察した。防音室内にはマットと毛布、トイレを設置し、さらに水及び72時間の保存が可能な食品も常備した。72時間中には食事や睡眠をとるなど被験者の行動は自由とした。また、実験が終了するまで実験に関する指示など被験者と実験者との接触は一切行わなかった。しかし、不測の事態や健康上の理由等で被験者が実験の続行が不可能であると判断した場

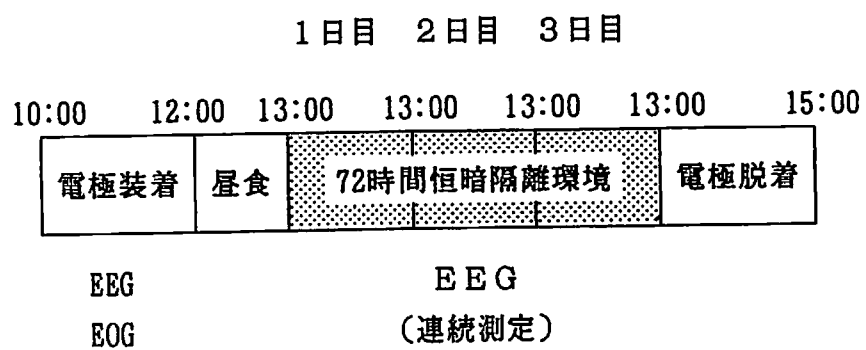


図5-1. 実験スケジュール.

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れば、その時点で実験が中止できること、実験者が常に待機していることを教示し、被験者の不安を極力排除するように努めた。被験者が防音室に入室してから72時間経過後の4日目の13:00に被験者を防音室から開放し、内省報告の聴取や各種質問紙の測定を行った。

2-3 記録と分析

脳波及び眼球運動をポリグラフ記録した。脳波は、前頭(F_z)、左右中心(C₃, C₄)、左右頭頂と左右側頭の中点(W₁, W₂)、左右後頭(O₁, O₂)の計7部位を左右耳垂を基準部位として記録した。眼球運動の記録は第3章の場合と同様であった。睡眠段階の判定は Rechtschaffen & Kales (1968) の基準に従って、左中心(C₃)部位を対象として1分毎に行った。

3. 結果

3-1 72時間の睡眠・覚醒の傾向

図5-2は、被験者の1例で、睡眠段階の変化と食事・排泄の頻度を示したものである(Sub.1)。他の被験者でも同様の結果が認められたため、この被験者の例で代表させた。この図では72時間を24時間毎に3つに区切って表示した。この例では72時間の睡眠時間は2636分(61.0%)に達しており、過眠傾向が認められた。便宜上、各々の24時間区間を最初の24時間から1、2、3日目と区分すると、日数の経過とともに睡眠時間が減少していることがわかる。この例の睡眠

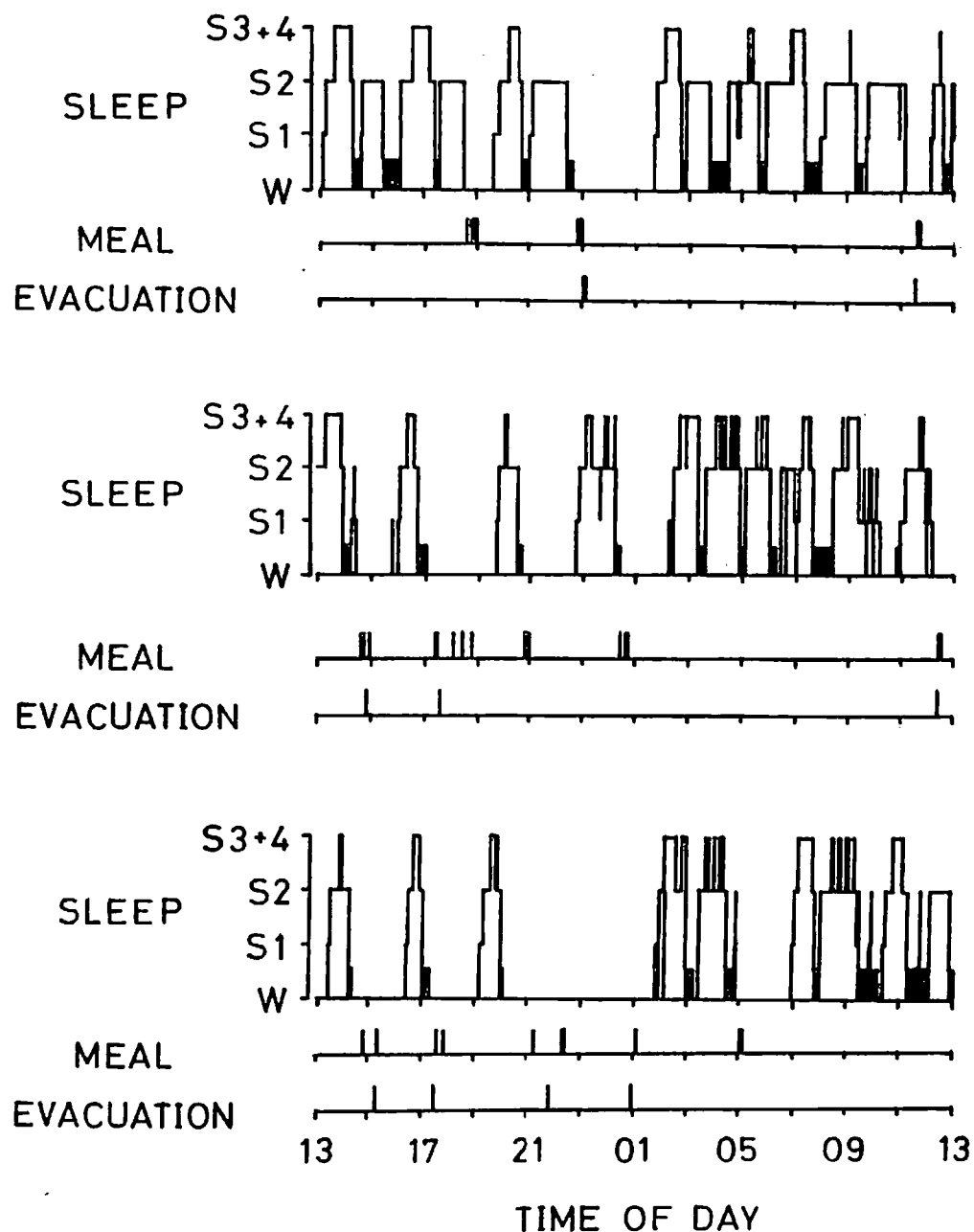


図5-2. 72時間中の睡眠段階の変化と食事・排泄の頻度の個人例

(Sub. 1). 72時間を24毎に3段に分けて表示した。上から1日目 (day 1)、2日目 (day 2)、3日目 (day 3) を示している。
W: 覚醒, S1: 睡眠段階 1, S2: 睡眠段階 2, S3+4: 睡眠段階 3+4.

時間は、1日目1109分(77.0%)、2日目839分(58.3%)、3日目688分(47.8%)であり、3日目でも過眠傾向を示した。しかし、3日間ともに01:00から13:00にかけての睡眠は持続時間が長いのに対し、13:00から01:00にかけての睡眠は持続時間が短く頻発している。日数の経過に伴う睡眠時間の減少は、主としてこの日中の睡眠の減少に起因していた。

一方、睡眠中のREM睡眠周期は3日間で一定していた。図5-2に示した被験者の平均REM睡眠周期は、1日目100.0分、2日目91.0分、3日目98.5分であり、72時間全体では96.5分であった。また、覚醒中の食事および排泄にも睡眠中のREM睡眠周期に似た約2時間周期のウルトラディアン・リズムが認められた。この傾向は覚醒時間の少ない1日目では明かではないが、覚醒時間が延長し始める2日目以降で顕著であった。このようなREM睡眠周期、食事・排泄におけるウルトラディアン・リズムの安定した出現は、いずれの被験者においても観察することができた。

3-2 恒暗環境下における睡眠・覚醒リズム

過眠傾向は図5-2に示した被験者だけでなく、いずれの被験者においても認められた。表5-1は各被験者の3日間の睡眠時間を示したものである。平均すると、72時間全体の睡眠時間は2490.0分(57.6%)に達していた。1日目では1043.6分、2日目818.6分、3日目627.8分と日数の経過とともに睡眠時間は減少していたが、3日目でも過眠傾向が認められた。分散分析の結果、睡眠時間は3日間で有意に減少していた($F=104.39$, $df=2/8$, $p<.001$)。次に、1日の睡眠量をWilliams, Karacan & Harsh (1974)の標準値(20~29歳男性)と比較した。彼

表5-1. 24時間毎の総睡眠時間.

Subject No.	day 1	day 2	day 3	total
1	1109	839	688	2636
2	1026	954	654	2634
3	980	692	556	2228
4	1018	761	580	2359
5	1085	847	661	2593
mean (SD)	1043.6 (46.9)	818.6 (88.2)	627.8 (50.7)	2490.0 166.4

らのデータは夜間睡眠に限られているが、日中に仮眠をとらなければそのまま1日の睡眠量として考えることができる。F検定の結果、分散の等質性が保証されなかったため、Welch法を用いて比較した。その結果、睡眠時間は3日間ともに標準値より有意に多く、過眠傾向が確かめられた（1日目 $t=25.88$, $df=4.30$, $p<.001$; 2日目 $t=9.01$, $df=4.09$, $p<.01$; 3日目 $t=8.10$, $df=4.27$, $p<.01$ ）。

図5-3は、各被験者の睡眠・覚醒パターンを示したものである。黒く塗りつぶした部分が睡眠期であり、白い部分が覚醒期である。いずれの被験者においても比較的短時間の間隔で睡眠が頻発していることがわかる。図5-2で認められたように、01:00から13:00にかけては比較的持続時間の長い睡眠が発生している。13:00から01:00に発生している睡眠は持続時間が短いことがわかる。図5-4に1時間ごとの5名の平均睡眠時間を示した。実験の開始とともに昼間睡眠が出現し、1日目では夜間の主睡眠期の同定は困難である。しかし、2日目以降、昼間の睡眠は減少し、主睡眠期の同定が比較的容易になっている。この結果を見る限りでは、1日目はサーカディアン・リズムが混乱し、2日目以降に回復したように見える。しかし、1日目では相当の過眠傾向が認められたため、図5-4の平均睡眠時間の分布は天井効果を起こしていることが考えられる。そこで見方を変えて1時間毎の平均覚醒時間の分布を図5-5に示した。これを見ると1日目から覚醒が昼間に集中している様子を観察することができる。このことは、サーカディアン・リズムは1日目から維持されていたことを示している。

図5-6は、全被験者の覚醒期の持続時間をヒストグラムで表したものである。日数の経過とともに持続時間の長い覚醒期が出現しているが、持続時間が3時間未満のものが全体の2/3以上を占めている

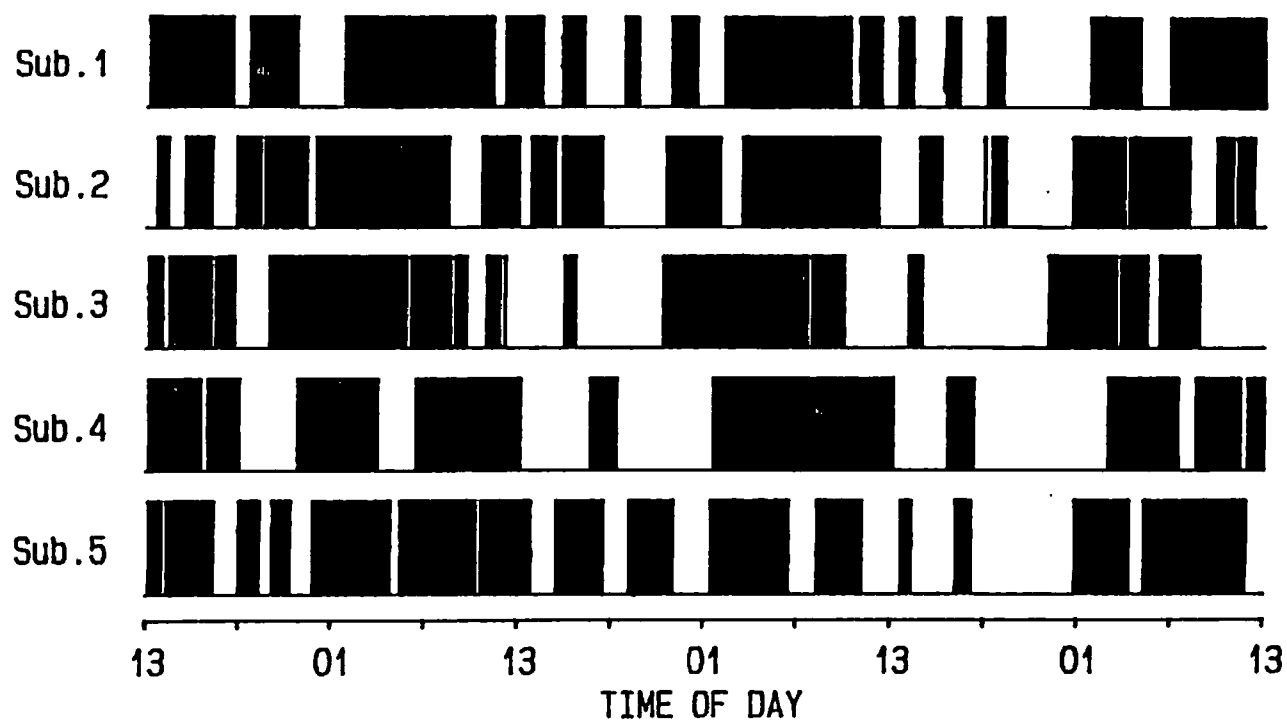


図5-3. 各被験者の睡眠・覚醒パターン。黒く塗りつぶした部分が睡眠を示している。

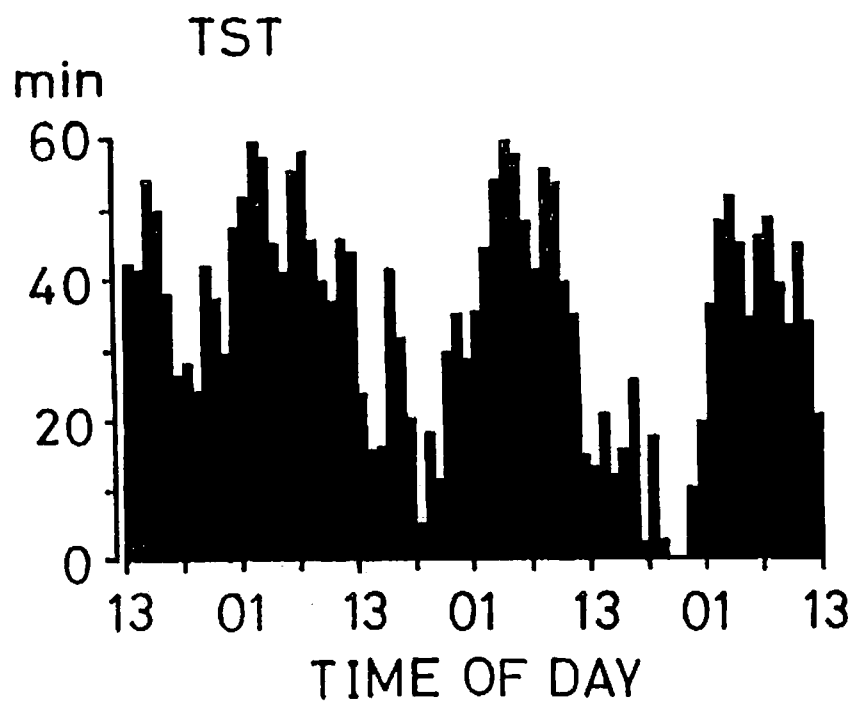


図5-4. 1時間毎の総睡眠時間の変化. 5名の平均.

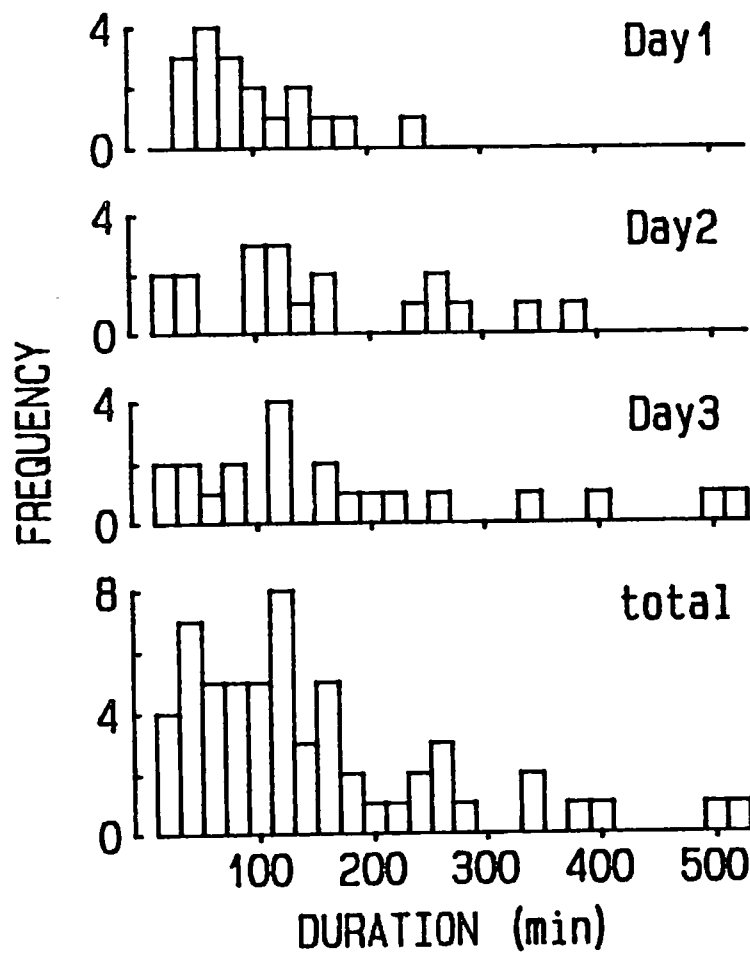


図5-6. 24時間毎の覚醒期の持続時間の分布. day 1: 1日目 (n=24), day 2: 2日目 (n=19), day 3: 3日目 (n=21), total: 72時間全体 (n=64).

(1日目91.7%、2日目68.4%、3日目66.7%、72時間全体で76.6%)。図5-6を見ると分布に偏りが認められるため中央値を求めると、覚醒期の持続時間は1日目93分、2日目112分、3日目124分となり、72時間全体では112分であった。これは第3、4章で述べてきた70~140分の範囲にはいるウルトラディアン周期と一致する。このことから、恒暗・隔離環境条件を用いた場合、睡眠がウルトラディアン周期で発生することがわかった。

4. 考察

4-1 恒暗・隔離環境下における過眠傾向

今回の成績では、平均覚醒時間の分布から見て、サーカディアン・リズムは1日目から維持されていたと考えることができる。また、覚醒中の食事や排泄にウルトラディアン・リズムが認められ、睡眠中のREM睡眠周期も実験中一定していた。このことは、ヒトの行動はサーカディアン・リズムだけでなくウルトラディアン・リズムにも強い影響を受けていることを示唆している。この結果は、隔離条件下で睡眠の出現や脳波の δ 活動、課題遂行量、食事などにウルトラディアン・リズムが認められたというKripke (1972) の報告を支持するものである。一方、睡眠の出現をみると、今回持続性の高い夜間の主睡眠期に限らず、昼間にも持続性の低い睡眠がウルトラディアン周期で頻発した。このことは、夜間の主睡眠はサーカディアン・リズムの影響を受けて出現し、日中の睡眠はウルトラディアン・リズムの影響を受けて出現する (Campbell 1984) ことを示唆している。この昼間睡眠の増加により総睡眠時間が延長し、過眠傾向

が認められた。この傾向は特に1日目に特徴的であり、総睡眠時間は1044分(72.5%)に達していた。この1日目の過眠傾向は、絶対臥床条件下での睡眠・覚醒パターンを検討した Campbell (1984)、Nakagawa (1980)、太田 (1983) の報告と原則的に一致している。これらの報告では恒暗条件は用いられていないが、最初の24時間の睡眠時間は、絶対臥床を1日間行わせた Nakagawa (1980) で870分、60時間行わせた Campbell (1984) で868分、1週間行わせた太田 (1983) で875分であり、いずれの場合でも870分前後である。今回、恒暗条件にした結果、被験者の身体活動は著しく抑えられていたが、今回の成績ではこれらの結果よりも3時間近く睡眠時間が長い。したがって、これは恒暗の影響によるものと考えることができる。

従来の感覚遮断実験においても過眠傾向は第1日目に最も特徴的に現われている (Sugimoto 1966、杉本 1967、杉本・寺西・木田ら 1969、杉本・山本・木田ら 1970)。これは、昼間に比較的持続性の低い睡眠が頻発することによる (木田・杉本 1973、木田・杉本・鈴木・谷川 1972、木田・杉本・鈴木・富田ら 1975、杉本・木田 1973、杉本・木田・鈴木ら 1972、杉本・木田・寺西ら 1971)。杉本ら (1971, 1972, 1973) と木田ら (1972, 1973) によれば、恒暗条件と恒薄明条件で比較すると、主睡眠期の長さは両条件ではほとんど変わらなかった。しかし、恒暗条件では15~17時、19~21時に睡眠が出現し、その結果、総睡眠量は恒薄明条件の約1.5~1.6倍になった。照明を除く条件は両条件で同一であったことから、彼らは、この過眠は恒暗条件による感覚遮断の効果が強く現われた結果であると述べている。木田・杉本・鈴木ら (1972) の報告では、恒暗条件下で24時間の感覚遮断を行なった結果、総睡眠量は平均721分となり、

過眠傾向が認められた。しかし、これは本章で得られた結果よりも約5時間短い。彼らの実験では、椅子腰掛位が用いられており、睡眠をとる場合には椅子をリクライニングする必要があった（杉本・木田・鈴木ら 1971）。したがって、本章で得られた結果との違いは、このような実験手続き上の違いによると考えることができる。

一方、森田療法の絶対臥褥期では、食事や用便を除いて臥床が要求されるが、消灯、起床時刻は決められており、食事時刻も規則的である。ただ、社会的な接触と運動が禁止されている。このような条件でも過眠は発生する。奥山・川口・大原（1983）の健常者6名の平均は1日目で575分となっている。増田（1986）の健常者4名の場合でも1日目に682分となっている。太田（1983）の場合では、前述のように875分となっている。睡眠時間は報告間で相当の変動が認められるが、これは採血などの検査や心理検査などの手続きの違いや、臥褥室の環境条件の違いによるものと考えられる（堀・林 1987）。いずれにせよ、社会的隔離が日中に睡眠を発生させ、過眠を起こさせる原因になっていると考えられる。

以上のことを合わせ考えると、今回の過眠傾向の原因は、社会的に隔離されたことのほかに、恒暗条件によって身体活動が著しく抑えられていたことから、睡眠がウルトラディアン・リズムの影響を受けて周期的に発生しやすい状態にあったことが考えられる。このことは、過眠の主要因が日中の睡眠量の増加であったことから示唆される。また、実験開始前の日常の7～8時間の睡眠は、慢性的な睡眠不足を招いており（Webb & Agnew 1975）、この睡眠負債を補償する形で過眠傾向が認められたのかもしれない。このことは、2日目以降、睡眠時間が減少したことからも示唆される。これらの要因の

相互作用によって絶対臥床条件下での報告よりもはるかに長い過眠傾向が発生したと考えられる。

4-2 睡眠発現のウルトラディアン・リズム

Lavie & Scherson (1981) は、15分覚醒－5分睡眠の手続きで12時間の測定を行い、睡眠段階1の出現には100分周期のウルトラディアン・リズムが存在することを報告している。その後の Lavie & Zomer (1984) の報告では、睡眠段階1の出現には100分周期のウルトラディアン・リズムのほかに、それよりも周期の長い3～4時間周期の slow ウルトラディアン・リズムも存在することも述べている。睡眠を自由にとらせた今回の場合でも、睡眠は約2時間間隔で出現した。これは、70～140分の範囲内にあるウルトラディアン周期と一致している。これらの結果は、睡眠の発現系がウルトラディアン・リズムの影響を受けていることを示唆している。一方、前章の結果では、隔離環境下では睡眠の発生は眠気のピーク時に一致していた。このことから、眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動するのは、睡眠系がウルトラディアン・リズムの影響を受けて覚醒中に周期的に発現していることに起因していると言える。

睡眠系がウルトラディアン・リズムの影響を受けているとすると、それに伴って知覚・判断過程も変動を示すことが予想できる。しかし、第3章の結果では、自己評定尺度、睡眠潜時テスト、脳波のスペクトル特徴の各々に位相のずれが認められた。このことから、睡眠系と知覚・判断系は、全く独立して作動してないにしても、必ずしも同期しているわけではないことが考えられる。今回の結果では、知覚・判断系のウルトラディアン変動と睡眠系のウルトラディアン

変動がどのような交絡関係にあるかは明かではない。また、これらの関係が眠気の変動に対してどのような影響を及ぼしているのかは明かではない。しかし、睡眠系の周期的発現が眠気の周期変動の主たる原因となっていることが明らかにされたことから、眠気を測定するには、これまで述べてきたような眠気の時間変動特性に注目するばかりでなく、睡眠系の活動を詳細に検討することも必要であると思われる。そこで、次章では、近年発達してきた脳波トポグラフィの手法を用いて、睡眠状態を敏感に反映していると考えられている脳波活動をさらに詳細に検討していく。

5. 要約

72時間の恒暗・隔離条件を用いて睡眠が最も発生しやすいと思われる環境を設定し、睡眠がウルトラディアン・リズムに従って発生するかどうかを検討した。被験者7名のうち、2名は途中で実験を中断したため、残りの5名を分析に用いた。その結果、睡眠は約2時間間隔で出現した。隔離環境下では、睡眠は眠気のピーク時に発生する（第4章）ことから、眠気がウルトラディアン変動を示すのは、睡眠系がウルトラディアン・リズムの影響を受けて発現することに起因していることがわかった。

第6章 脳波特徴を用いた眠気の予測

1. 序

これまで、夜間睡眠の過不足にかかわらず日中の眠気がウルトラディアン・リズムの影響を受けて変動すること、また、このように眠気を周期的に発生させるウルトラディアン機構は、睡眠発現系のウルトラディアン機構を反映したものであることを述べてきた。現在の知見から、睡眠中枢は脳内に存在していることが仮定されている。覚醒中に睡眠系がウルトラディアン・リズムに従って発現することによって眠気が周期的に発生しているのであれば、睡眠中の脳内電気活動を敏感に反映している皮質脳波を詳細に検討することで眠気をより正確に測定することができると考えられる。第3章、第4章では、脳波を δ 、 θ 、 α の3帯域に分けて分析してきたが、本章では近年発達してきた脳波トポグラフィの手法を用いて眠気の変化に対応する脳波特徴の変化をより詳細に検討した。眠気が比較的弱い状態から比較的強い状態までのデータを連続的に得るために、夜間（19:00～07:00）の断眠中の眠気を測定した（林・森川・堀1989）。

2. 実験方法

2-1 被験者

大学生及び大学院生10名（21～26才、平均23.1才）を被験者として用いた。うち男性が6名、女性が4名であった。

2-2 眠気の指標

自己評定尺度としてKSSとVAS（付録2）を用いた。さらに、睡眠潜時テスト（MSLT）を用いた。

2-3 実験手続き

図6-1 に実験スケジュールを示した。17:00に被験者が実験室に入室し、脳波及び眼球運動測定用の電極を装着した。19:00 から翌07:00まで12時間の間、20分毎にKSS、VAS、MSLTを実施し、計37回眠気を測定した。毎回の眠気の測定の手続きは、第3章の場合とほぼ同様であった。被験者はまずKSS、VASに回答した後、ベッドにはいった。消灯と同時に閉眼させ、MSLTを開始した。睡眠段階1 が出現してから3分以内か、あるいは開始後15分経過した時点でMSLTを終了した。毎回のMSLT終了後、次の測定時までには防音室のドアを開放した。被験者は読書やテレビ、間食など自由に過ごすことができた。ただし、カフェイン飲料の摂取と喫煙、体操や運動は禁止した。

2-4 記録と分析

ポリグラフ測定：脳波及び眼球運動を18チャンネル万能型脳波計（三栄製 1A97型）に紙送り速度1.0cm/s で紙記録した。脳波は、前頭極（Fp₁, Fp₂）、前頭（Fz, F₃, F₄, F₇, F₈）、中心（C₃, C₄）、頭頂（Pz, P₃, P₄）、後頭（O₁, O₂）、側頭（T₅, T₆）の16部位を左右耳垂を基準部位

17:00 19:00 7:00 9:00

電極装着	眠気測定	電極脱着
------	------	------

EEG	EEG
EOG	KSS
EMG	VAS
	MSLT
	(20分毎)

図6-1. 実験スケジュール.

として記録した。また、水平眼球運動を両眼角外1cmの位置においた電極から左右耳垂を基準部位として記録した。

脳波の分析：毎回のMSLT開始直後の30秒間16部位の脳波を、シグナルプロセッサ（三栄製 7T18A型）を用いてオンラインでスペクトル分析した。トポグラフィの作成には、三栄製トポグラフィシステム（211A型）を用いた。サンプリング間隔4.88msで1024点をA/D変換した後、高速フーリエ変換（FFT）し、5.0s区間のパワースペクトルを求めた。これを6回単純加算平均してスペクトルの平滑化を行い、30s区間の平均パワを得た。打ち切り誤差の補正にハミングウインドウを用いた。周波数分解能は0.2Hzとした。得られたスペクトルデータを、4Hzから20Hzまで1Hz毎に分けて16部位毎に平均振幅値（ μV ）を求め、これをトポグラフィ表示した。

3. 結果

3-1 断眠時の眠気の変動

図6-2は、眠気の変動の個人例（Sub.4）である。実験の進行とともに、KSS、VAS得点の増加、睡眠潜時の短縮化が認められ、眠気が徐々に増加していることがわかる。いずれの被験者においても、これと同様の傾向が認められた。表6-1は、各々の指標間の相関を示したものである。Sub.3では、MSLTとKSS及びVAS間に有意な相関は認められなかったが、他の被験者では、いずれの指標間にも高い相関関係が認められた。KSSとVAS間では正の相関、MSLTとKSS、VAS間では負の相関が認められ、眠気の増加に伴って睡眠潜時が短縮していることがわかる。

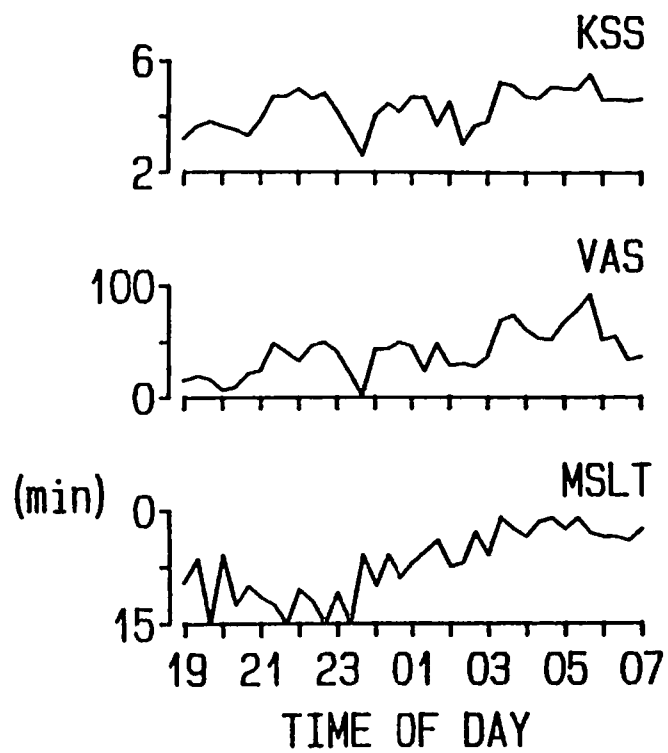


図6-2. 眠気の変動の個人例 (Sub. 4).

表6-1. 被験者毎のKSS、VAS、MSLT間の相関係数.

Subject No.	KSS×VAS		KSS×MSLT		VAS×MSLT	
	r	n	r	n	r	n
1	.793 ***	35	-.560 ***	35	-.572 ***	35
2	.946 ***	37	-.874 ***	36	-.783 ***	36
3	.876 ***	37	-.297	37	-.308	37
4	.797 ***	37	-.338 *	37	-.472 **	37
5	.933 ***	37	-.892 ***	37	-.849 ***	37
6	.957 ***	37	-.741 ***	37	-.769 ***	37
7	.911 ***	37	-.482 **	37	-.327 *	37
8	.924 ***	37	-.856 ***	37	-.763 ***	37
9	.868 ***	37	-.571 ***	37	-.603 ***	37
10	.842 ***	34	-.705 ***	34	-.528 **	34

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

3-2 脳波トポグラフィの変化

次に、眠気の変動に伴って、脳波トポグラフィがどのように変化するのかを検討した。図6-3a～fは、図6-2に示した被験者（Sub. 4）の α 帯域（8～13Hz）の脳波について1Hz毎に作成した脳波トポグラフィを時間軸に沿って書き並べたものである。いずれの被験者においても同様の結果が得られたため、この被験者の例で代表させた。選択した周波数帯域によって最大振幅値は異なるため、帯域毎に等高線の幅を変えて表示した。いずれの周波数帯域でも実験の進行とともにトポグラフィ像が変化しているが、特にスペクトルのピーク周波数（11.2Hz）の前後でその変動パターンが異なっていることがわかる。ピーク周波数より周波数の低い8Hz（図6-3a）のトポグラフィ・パターンを見ると、実験の前半では明瞭な優勢部位は認められない。しかし、実験の後半では頭頂部の振幅が大きくなり、05:00以降では頭頂部優位のパターンが持続している。このような傾向は、9Hz（図6-3b）、10Hz（図6-3c）の帯域にも認められ、いずれも実験の進行とともに頭頂部が優勢となっていく様子がうかがえる。これに対して、この被験者のピーク周波数に相当する11Hz（図6-3d）の帯域では、実験の経過による差はほとんどみられない。実験の初期でも実験の後半でも、明瞭な頭頂部優位のパターンが連続しているのが観察できる。ピーク周波数より周波数の高い12Hz（図6-3e）、13Hz（図6-3f）の帯域では、実験の前半において明瞭な後頭部優位のパターンが認められる。しかし、このパターンは、実験の経過とともに不明瞭になっている。以上のように、 α 帯域内を1Hz毎に分けて脳波トポグラフィを作成すると、ピーク周波数に相当する帯域では眠気

8Hz

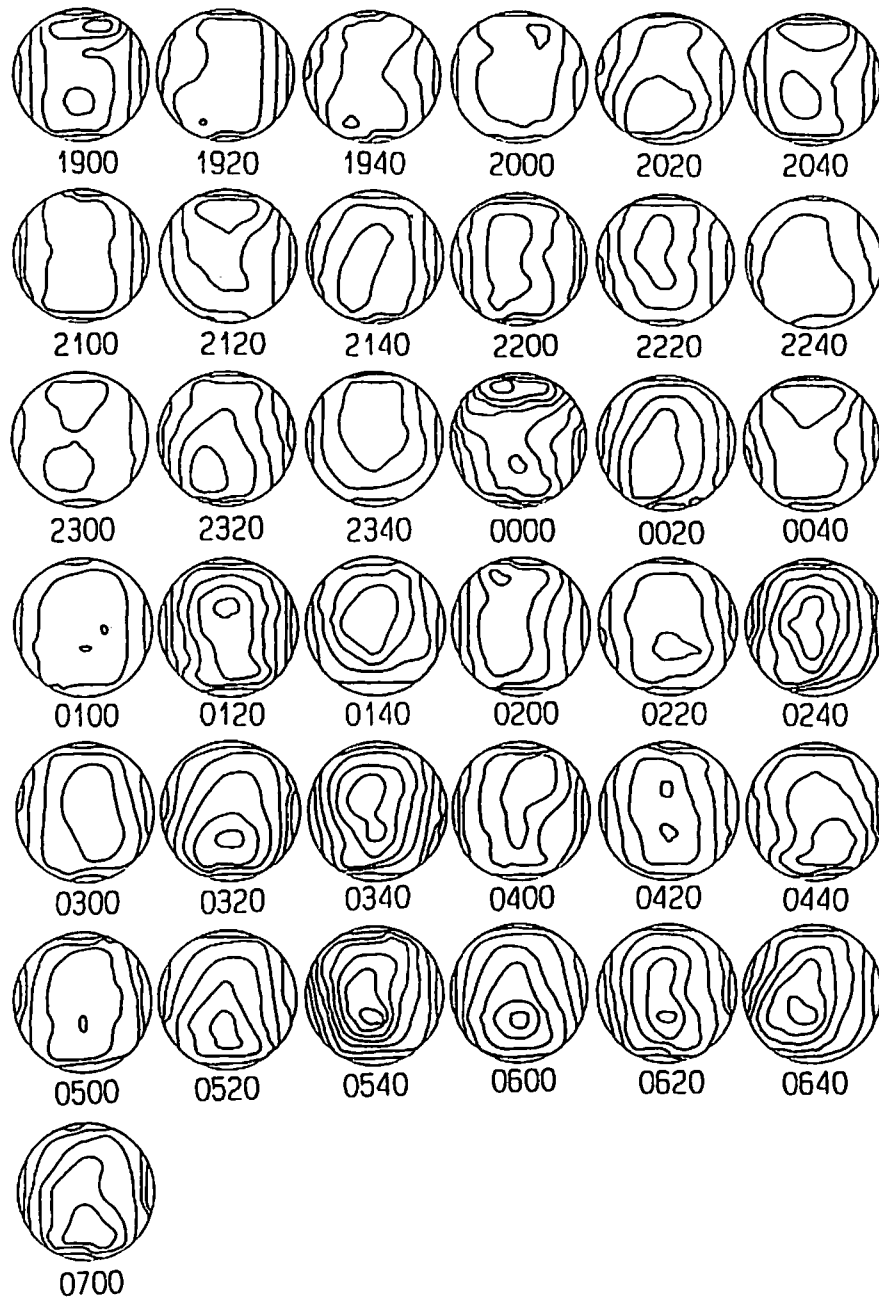


図6-3a. 8Hz (7.6~8.4Hz) の周波数帯域のトポグラフィ変化の個人例 (Sub. 4) で、図6-2と同じ被験者のもの。各トポグラフィは $0.77\mu\text{V}$ の等高線で表示してある。各トポグラフィの下に表示してある数字は時刻を示している。

9Hz

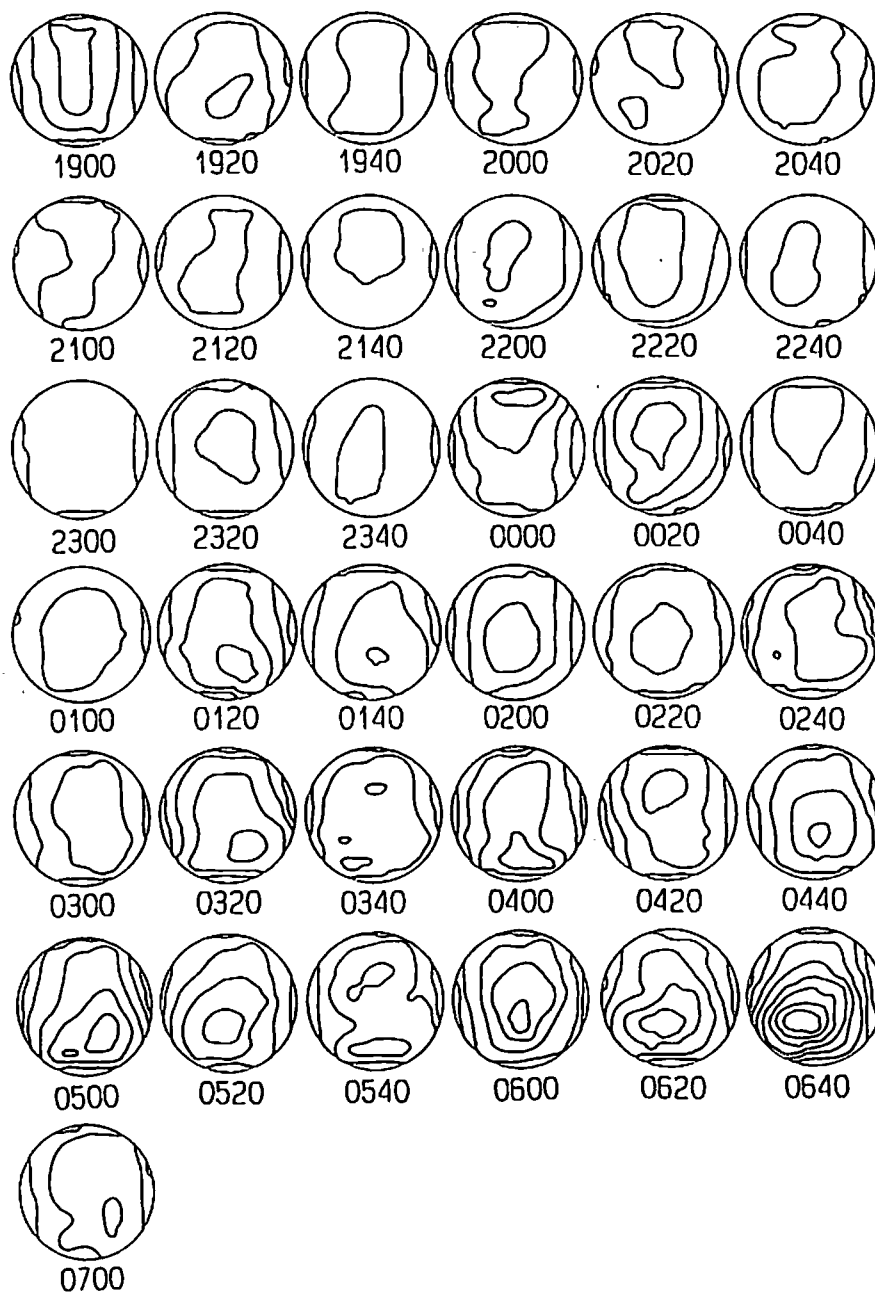


図6-3b. 9Hz (8.6~9.4Hz) の周波数帯域のトポグラフィ変化の個人例 (Sub. 4) で、図6-2と同じ被験者のもの。各トポグラフィは $1.72\mu V$ の等高線で表示してある。

10Hz

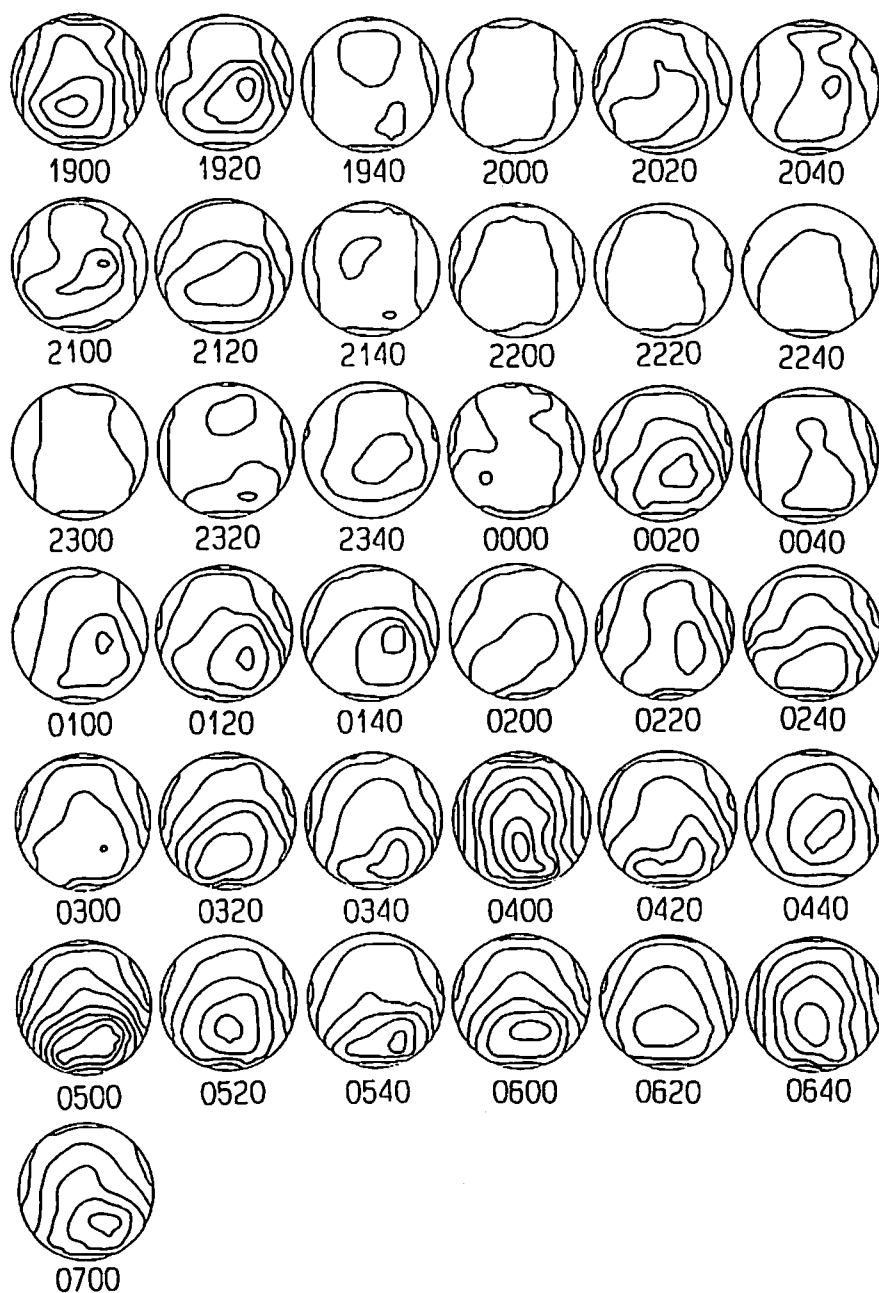


図6-3c. 10Hz (9.6~10.4Hz) の周波数帯域のトポグラフィ変化の
個人例 (Sub. 4) で、図6-2と同じ被験者のもの。各トポグラ
フィは $2.32\mu\text{V}$ の等高線で表示してある。

11Hz

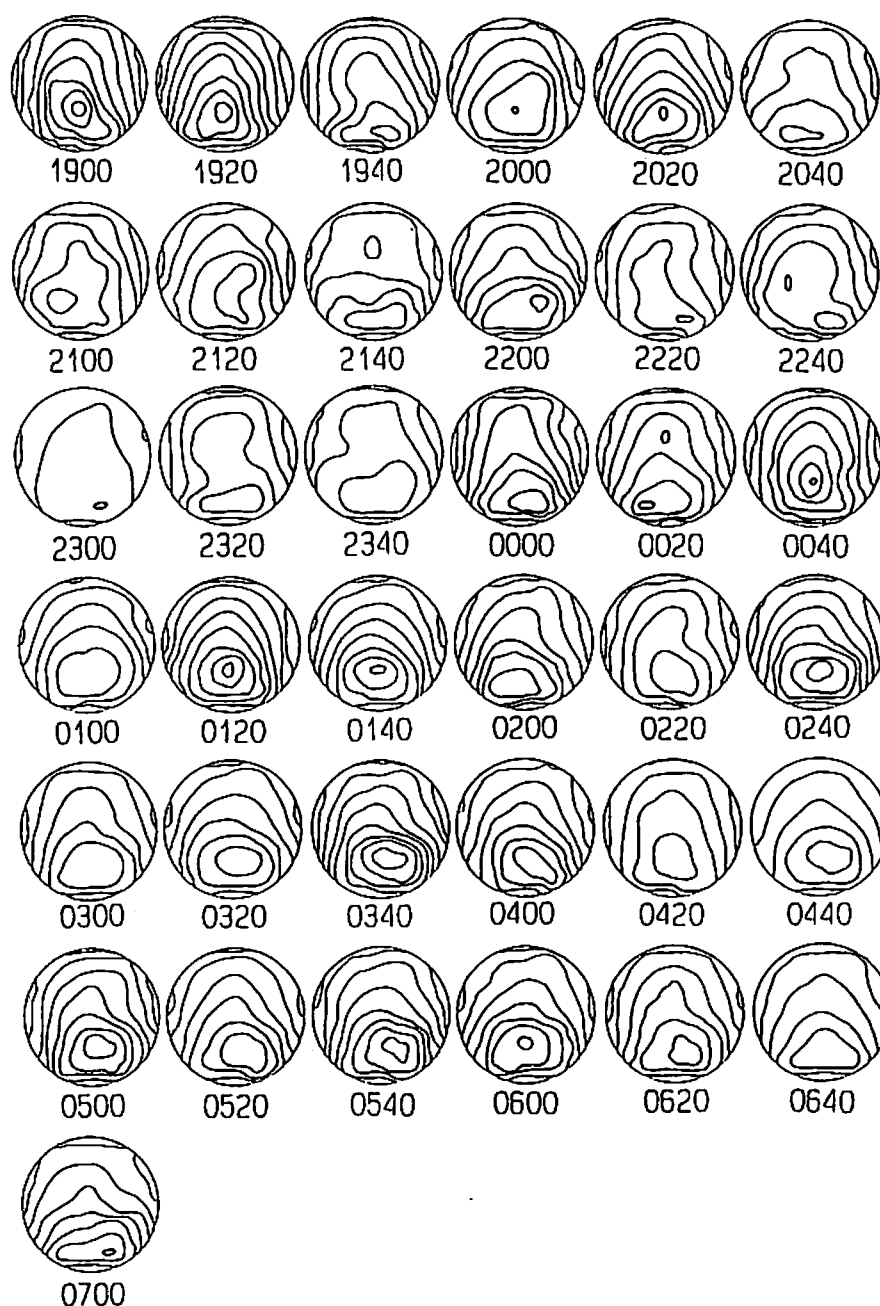


図6-3d. 11Hz (10.6~11.4Hz) の周波数帯域のトポグラフィ変化の
個人例 (Sub. 4) で、図6-2と同じ被験者のもの。各トポグラ
フィは $2.01\mu V$ の等高線で表示してある。

12Hz

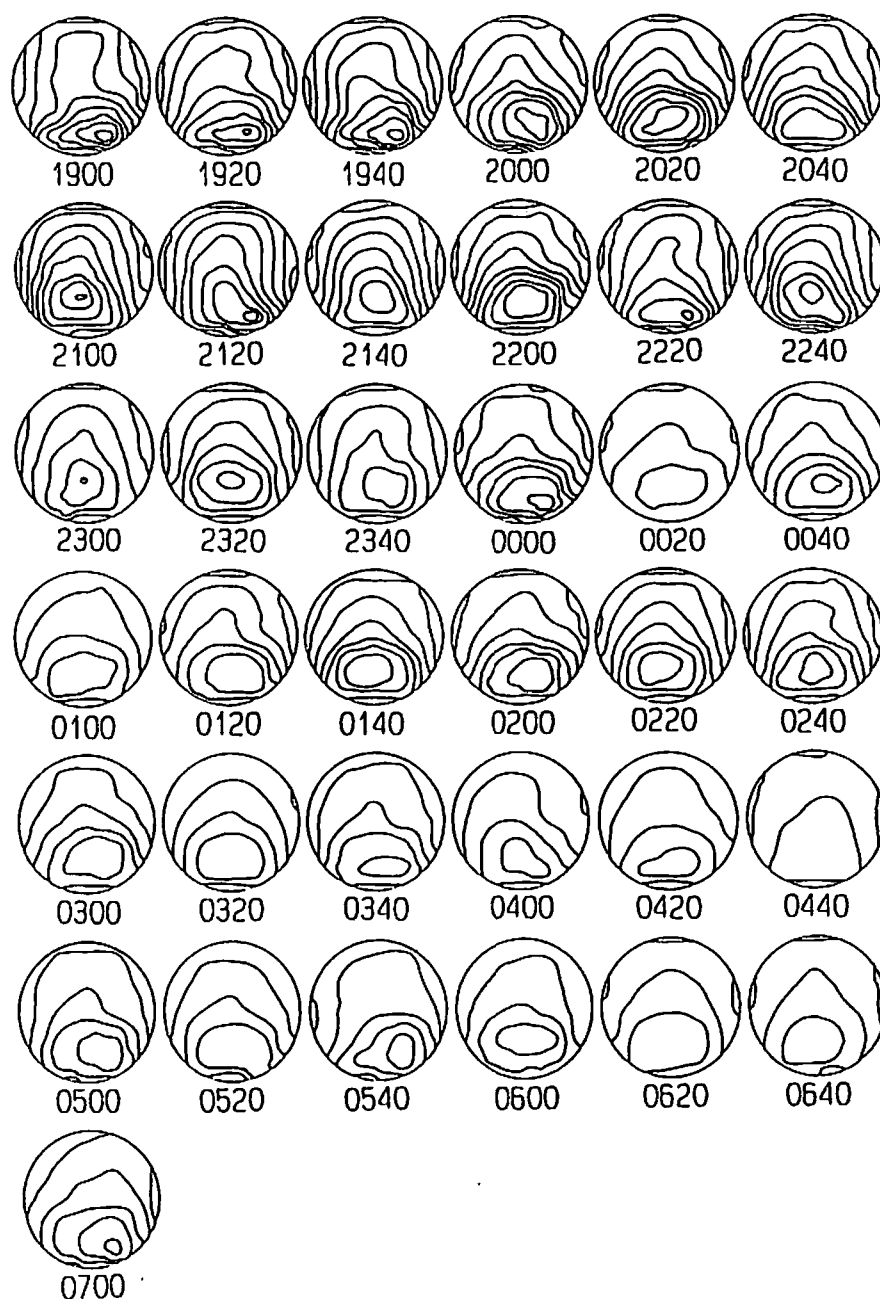


図6-3e. 12Hz (11.6~12.4Hz) の周波数帯域のトポグラフィ変化の
個人例 (Sub. 4) で、図6-2と同じ被験者のもの。各トポグラ
フィは1.86 μ Vの等高線で表示してある。

13Hz

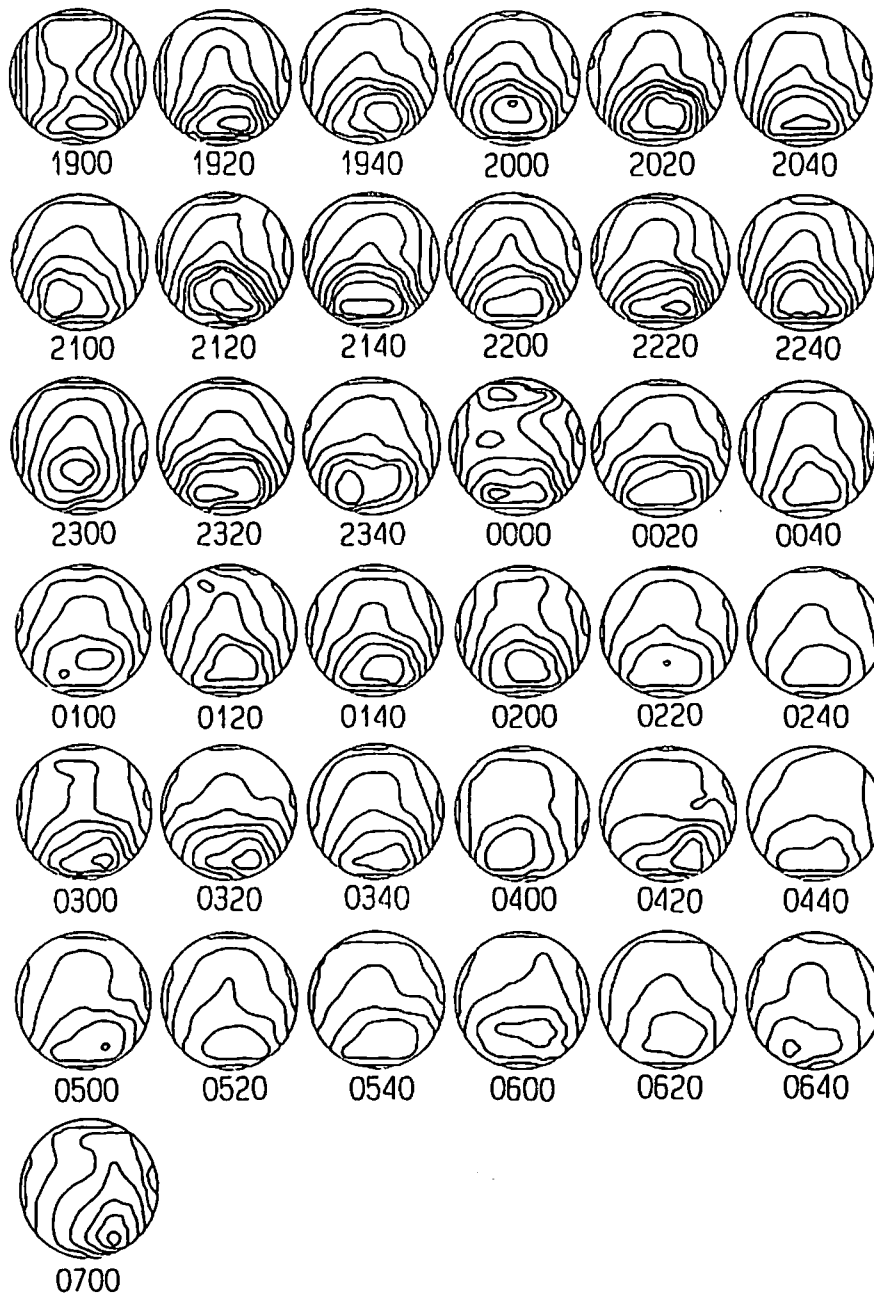


図6-3f. 13Hz (12.6~13.4Hz) の周波数帯域のトポグラフィ変化の
個人例 (Sub. 4) で、図6-2と同じ被験者のもの。各トポグラ
フィは $0.91\mu V$ の等高線で表示してある。

の変化に対応するようなトポグラフィ像の変化は認められなかったが、ピーク周波数より周波数の低い帯域では眠気が強くなるにつれて頭頂部が優勢になっていた。これとは逆に、ピーク周波数より周波数の高い帯域では、眠気が強くなるにつれて優勢な部位が不明瞭になった。このように、眠気の増加に伴ってピーク周波数の前後でトポグラフィ像が変化することがわかった。また、眠気の変化とともに頭頂部から後頭部の脳波の振幅値が最も著しく変化することがわかった。

3-3 重回帰分析による眠気の予測

上記の結果から、眠気の増減によってトポグラフィ上で最も変化の激しかった頭頂部 (Pz) の脳波を用いることによって眠気の予測が容易に行える可能性が示唆された。そこで、頭頂部の脳波のパワースペクトルを1Hz毎に分けて、各々の眠気尺度の得点との相関係数を算出した。図6-4は、図6-2に示した被験者 (Sub. 4) について、頭頂部脳波の1Hz毎の帯域パワーと各眠気尺度得点との相関係数を図示したものである。MSLTでは、便宜上、上下を逆転させてある。点線は有意水準を示している。 α 帯域 (8~13Hz) 内に注目すると、8~9Hzのslow- α 成分では眠気得点と有意な正の相関を示しており、12~13Hzのfast- α 成分では有意な負の相関を示している。このような正から負への逆転現象は、ピーク周波数 (11Hz) を境にして生じていることがわかる。他の被験者についてもこれと同様の結果が得られたため、ピーク周波数で揃えて10名分のデータを重ねた。これを図示したのが図6-5である。ピーク周波数に相当する帯域を0として揃えた。ほぼ全員にピーク周波数を境にした正から負への逆転現象

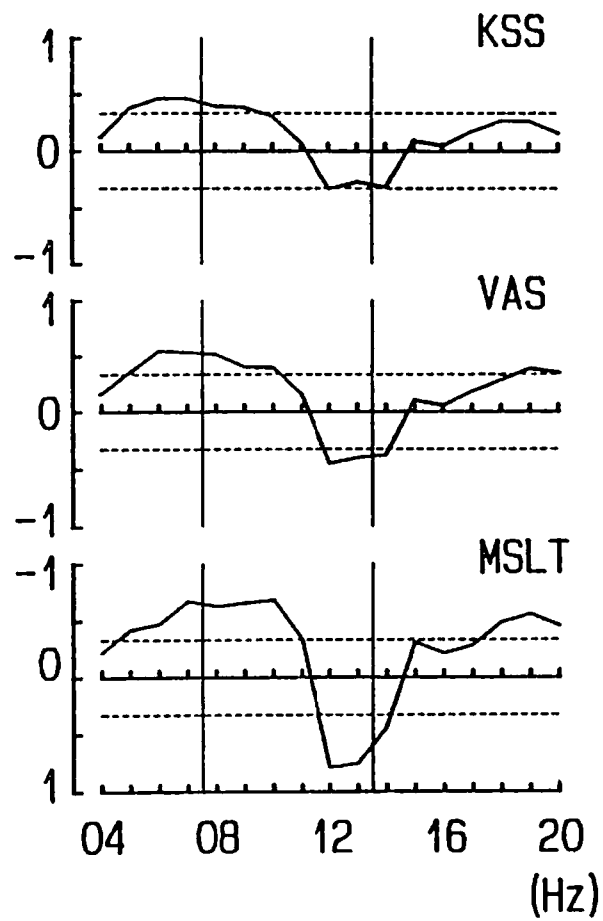


図6-4. 頭頂部 (Pz) 脳波の 1 Hz 毎の帯域パワと各眠気尺度得点との相関係数を図示した例 (Sub. 4). M S L T では便宜上、上下を逆転してある. 図中の点線は有意水準 ($p=0.05$) を示している.

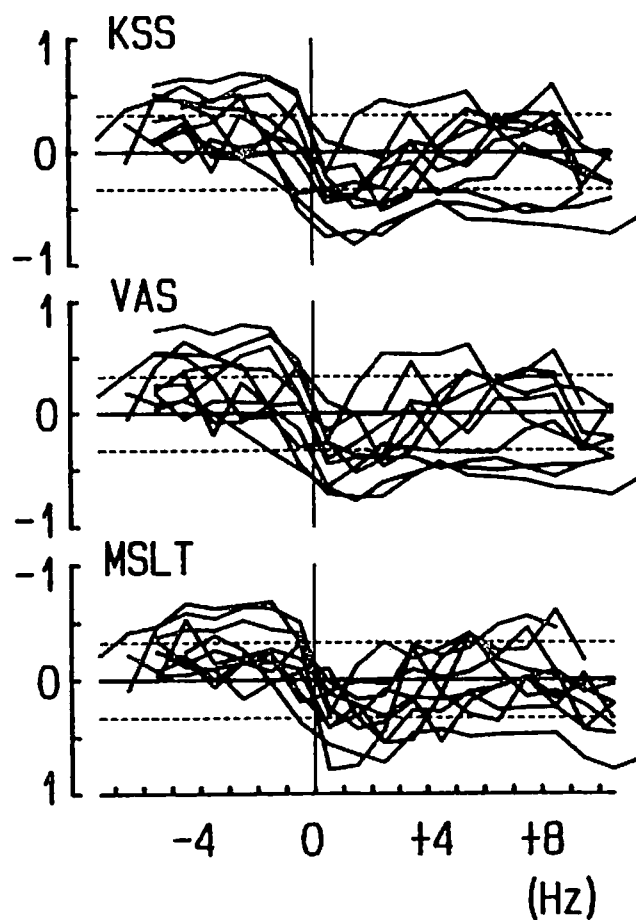


図6-5. 頭頂部 (Pz) 脳波の 1 Hz 毎の帯域パワと各眠気尺度得点との相関係数をピーク周波数 (図中の垂直線) で揃えて 10 名分のデータを重ねたもの。MSLT では便宜上、上下を逆転してある。横軸の数字はピーク周波数帯域を 0 として、ピーク周波数からの周波数のずれを表したものである。

が存在していることがわかる。また、いずれの被験者においても、ピーク周波数の前後2Hzで、眠気得点と有意な正、または負の相関が得られている。この結果をみると、頭頂部の脳波の振幅値から各眠気尺度得点を予測することが可能であるように思われる。そこで、重回帰分析を用いて、予測式を求めた。眠気尺度の得点を従属変数、4~20Hzの1Hz毎の頭頂部脳波の帯域パワを独立変数として重回帰式を求めた。図6-6は、図6-2の被験者（Sub. 4）の例に、重回帰分析を用いて求めた予測値を重ねたものである。実線が眠気尺度の実測値、点線が予測値である。いずれの指標においても有意な予測値を求めることができた。表6-2は、被験者毎に実測値と予測値との重相関係数を示したものである。いずれの被験者においても、有意な予測値を求めることができた。以上のことから、トポグラフィ上で最も変化の著明であった頭頂部の脳波のスペクトル構造から眠気の変化を予測することが可能であることが示された。

4. 考察

4-1 眠気測定における脳波トポグラフィの有効性

第1章で述べたように、自己評定尺度、睡眠潜時テストといった指標とは別に、脳波のスペクトル構造から眠気を推定する方法が考案されてきた。Gevins, Zeitlin, Ancoli, et al. (1977) は、 δ と α および θ と α の各々の帯域のパワ比を用い、Matousek & Petersén (1983) は、脳波の22個の変数の重回帰方程式から覚醒水準を計算している。しかし、これらの研究では、脳波のスペクトル特徴以外の指標は用いられていない。これに対して、Torsvall &

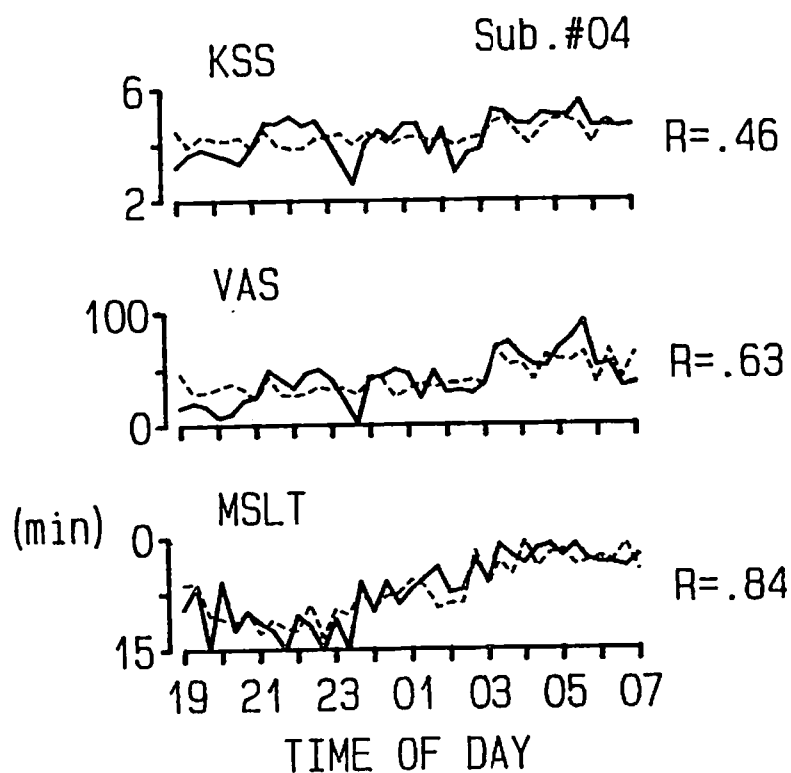


図6-6. 眠気の実測値と、重回帰分析によって頭頂部 (Pz) 脳波の振幅値から求められた予測値の例 (Sub. 4). 実線は実測値で、図6-2と同じものである。点線は予測値で、右端の数字は実測値と予測値との重相関係数を示したものである。いずれも有意である ($p < .01$) .

表6-2. 各眠気尺度の実測値と頭頂部(Pz)脳波の振幅値から算出した予測値との重相関係数.

Subject No.	KSS	VAS	MSLT
1	.562 **	.747 ***	.809 ***
2	.851 ***	.823 ***	.831 ***
3	.513 **	.598 ***	.623 ***
4	.463 **	.631 ***	.841 ***
5	.645 ***	.748 ***	.707 ***
6	.851 ***	.801 ***	.788 ***
7	.620 ***	.473 **	.622 ***
8	.760 ***	.800 ***	.524 **
9	.430 **	.709 ***	.397 *
10	.541 **	.636 ***	.424 *

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

Akerstedt (1987) は、夜間の列車運転中の運転手の脳波と眠気 (VAS) を測定し、眠気の増加に伴って δ 、 θ 、 α の各帯域のパワが増加したことを報告している。一方、第3章において、 δ 、 θ 、 α の各帯域のパワと自己評定尺度、および睡眠潜時との間には共変動成分が存在することを報告した。以上の結果は、脳波から眠気が容易に予測可能であることを示唆している。

本章では、脳波トポグラフィの手法を用いて、眠気の変化に対応する脳波特徴の変化を検討しようと試みた。従来より脳波のトポグラフィは、誘発電位の頭皮上分布を検討する際に頻繁に用いられてきた (Lehmann 1981)。Buchsbaum, Mendelson, Duncan, et al. (1982) や、Hori, Hayashi & Morikawa (in press) は、睡眠中の種々の周波数帯域についてパワの頭皮上分布を調べている。しかし、睡眠研究のなかで脳波トポグラフィの変化を検討した研究は少なく、さらに、眠気の変動に伴う脳波トポグラフィの変化を検討した研究は皆無である。本章では、16部位の脳波を用いてトポグラフィを作成した。図6-3a~fで見られたように、トポグラフィを用いると、同一帯域内の優勢部位の振幅変動や、優勢部位の移動が明かになった。さらに、眠気の予測には、頭頂部から後頭部にかけての脳波を用いることが有効であることがわかった。

4-2 眠気の変動と α 帯域活動

今回の成績では、トポグラフィの変動パターンは眠気の増加とともに優勢部位が明瞭化する8~9Hzのslow α 帯域、眠気の増加とともに優勢部位が不明瞭になる12~13Hzのfast α 帯域、実験中一貫して優勢部位が存在するピーク周波数帯域の3つに分かれた。従来より同

じ α 帯域内でもslow α 帯域とfast α 帯域ではその性質が異なることが報告されてきた。森川・林・堀（1990）は、感覚遮断環境下で連続的に脳波を測定し、覚醒中の α 活動は、覚醒水準の程度に応じて8Hz前後のslow α 、9Hzのmiddle α 、10～12Hzのfast α の3つの帯域に分けることができると報告している。入眠期の脳波を主成分分析した堀（1979）も、 α 帯域が8Hz、9～10Hz、11～12Hzの3つに分割可能であることを報告している。また、Tsuji & Kobayashi（1988）は、主成分分析を用いて脳波活動のウルトラディアン・リズムを検討し、 α 帯域には100分周期の8Hzを中心としたslow α 成分と、約5時間周期の10Hzを中心としたfast α 成分が存在すると報告している。脳波を用いて大脳半球機能差を検討したOsaka（1984）も、課題が困難になるにつれて α 波のピーク周波数が上昇したことを報告しており、fast α 帯域は覚醒水準の上昇と関連していることを示唆している。これらの結果から、同じ α 帯域内でもslow成分とfast成分を抽出することが眠気の予測に有効であることが示唆される。 α 帯域内の細分割については、分割数や帯域の周波数範囲も研究者によって一定していないが（森川・林・堀 1990）、今回の結果から α 帯域内をピーク周波数の前後で分割し、ピーク周波数よりも遅い帯域をslow α 、ピーク周波数よりも速い帯域をfast α として分割することが眠気の予測に有効であると考えられる。特に、ピーク周波数の前後2Hzが最も眠気の変動に対応した変化を示した。ピーク周波数の前後2Hzをslow α 、fast α と区分すると、slow α の帯域は眠気と正の相関を示し、fast α の帯域は眠気と負の相関を示した。この関係はピーク周波数の前後で逆転していた。このことから、眠気の増減に応じてピーク周波数の裾野であるslow α 帯域とfast α 帯域の活動が互

いに拮抗しながら増減すると考えられる。Tsuji & Kobayashi (1988) が報告したように、これらの帯域が性質の異なるウルトラディアン・リズムによって制御されているかどうかは今回の結果では明かではない。しかし、これら2つの帯域のパワを同時に用いて重回帰分析を行った結果、いずれの被験者においても実測値と適合度の高い予測値を求めることができた。このことから、眠気の予測には、これら2つの帯域のパワを同時に用いることが有効であると言える。

5. 要約

脳波トポグラフィの手法を用いて、眠気の予測に有効な脳波特徴を探索した。被験者10名の夜間断眠中の眠気を測定すると、トポグラフィの変動パターンは、眠気の増加とともに優勢部位が明瞭化するslow α 帯域、眠気の増加とともに優勢部位が不明瞭になるfast α 帯域、実験中一貫して優勢部位が存在するピーク周波数帯域の3つに分かれた。眠気の増減とともにトポグラフィ上で最も変化の大きい頭頂部の脳波を1Hz毎に分けて眠気との相関を求めたところ、ピーク周波数帯域では眠気の変動と有意な相関は得られなかったが、ピーク周波数の前後2Hzで、眠気の変動と有意な正、または負の相関が得られた。そこで、重回帰分析を用いて頭頂部の1Hz毎の帯域パワから眠気の実測値を予測したところ、眠気の変動を有意に予測できることがわかった。脳波トポグラフィが眠気の測定に有効であることを論議した。

第7章 総括

1. 眠気のウルトラディアン・リズムの実証

第1章で述べてきたように、眠気が増加すると作業に対する動機づけが著しく低下する (Johnson 1982)。単調な作業や興味の湧かない作業ほど眠気の影響を受けやすい。さらに眠気が著しい場合には、作業中に瞬間的な睡眠が発生してしまう (Naitoh 1976)。このことが授業中や会議中の居眠りを招くことになる。自動車運転中の居眠りを防止するためにも、眠気を測定することが重要な課題となっている。

日中に眠気が起こる原因としては、まず第一に前夜の夜間睡眠の不足をあげることができる。しかし、第2章の調査結果から、夜間睡眠が量的、質的に不足しておらず、睡眠不足を感じていない場合でも約90%の人に日中の眠気が起こることが示された。夜間睡眠を改善しても日中の眠気の発生が避けられないものだとすると、日中に起こる眠気に対処するためには、眠気の防止策を提案するよりも眠気の時間変動特性を明かにすることが重要となってくる。

従来より眠気はサーカディアン変動を示すことが報告されており、日中には午後2時から4時にかけて眠気のピークが存在することが指摘されてきた (Akerstedt & Gillberg 1982, Broughton 1975, 1989a, Dinges 1989, Stahl, Orr & Bollinger 1983)。しかし、サーカディアン・リズム研究では、サンプリング間隔が長すぎるため、

日中の眠気の詳細な時間変動特性を明らかにすることができない。そこで、第3章では、近年時間行動学の立場から注目されてきた70～140分周期のウルトラディアン・リズムに焦点を当て、通常の夜間睡眠後の日中の眠気を30分毎に測定した。その結果、眠気はウルトラディアン・リズムに従って変動することが実証された。このことから、第2章の調査結果において夜間睡眠の量や質が不足していなくても日中に眠気が起こるのは、眠気がウルトラディアン・リズムの影響を受けて増減を繰り返しているためであると考えられる。事実、夜間睡眠に過眠傾向が認められた場合でも、日中に眠気がウルトラディアン変動を示すことが第4章において実験的に証明された。このように、眠気がウルトラディアン・リズムを示すのは、覚醒中にもかかわらず、睡眠系がウルトラディアン・リズムに従って発現することに起因していると思われる。そこで、第5章では、健常者において睡眠の許容限界（坂本 1990）を示すと考えられている恒暗・隔離環境条件を用いて睡眠の発現をみた。その結果、睡眠は約2時間間隔で出現した。第4章の結果から、隔離環境下では睡眠の発生は眠気のピーク時に一致することから、眠気のウルトラディアン・リズムは、睡眠発現のウルトラディアン・リズムを反映したものであることがわかった。

睡眠中枢は脳内にあることが仮定されていることから、睡眠状態を敏感に反映している脳波を詳細に検討することで、眠気の測定が容易に行えるはずである。そこで、第6章において脳波トポグラフィの手法を用いて検討した結果、眠気の増加とともに α ピーク周波数の前後の帯域の振幅値が増減した。重回帰分析の結果、これらの帯域から眠気を定量的に測定できる可能性が示された。

以上のように、日中の眠気は、前夜の夜間睡眠の過不足とはほとんど無関係に70～140分周期のウルトラディアン・リズムによって増減を繰り返しており、これは睡眠系がウルトラディアン・リズムの影響を受けて周期的に発現していることに起因していることが明らかにされた。

2. 眠気のウルトラディアン・リズム研究の課題と展望

本研究は、日中の眠気が70～140分周期のウルトラディアン・リズムの影響を受けて周期的に変動することを実証した。しかし、リズム現象を検討する場合には、リズムの周期だけでなく、リズムの位相と振幅も同時に検討する必要がある。

日中の眠気のウルトラディアン・リズムの位相に関しては、起床後、初発の眠気がいつ現れるかという問題がある。恒暗環境下（第5章）では、睡眠がウルトラディアン周期で発生したことから、眠気のウルトラディアン・リズムは睡眠終了時点あるいは覚醒開始時点から開始する可能性が考えられる。Lavie & Zomer (1984) は、REM睡眠で覚醒させた場合とNREM睡眠で覚醒させた場合とでは、その後の段階1睡眠の発生の仕方が異なることを報告している。REM睡眠で覚醒させた場合は段階1睡眠の出現率は低く安定していたのに対して、REM睡眠で覚醒させた場合は高い出現率を示した後、急速に低下した。この結果から、Lavie & Zomer は、段階1睡眠の出現に認められるウルトラディアン・リズムは睡眠中のREM-NREM睡眠の周期と連続していると述べている。これは夜間と日中に連続して90分周期の休息活動周期（BRAC）が存在する

という Kleitman (1963) の仮説を支持するものである。

R E M睡眠周期が覚醒時のウルトラディアン・リズムと連続しているとする、睡眠中の最初の R E M睡眠周期の開始は、被験者が就床した時点のウルトラディアン・リズムの位相によって決定されることが考えられる。すると、この潜時は0分から最大90分まで変動すると考えられる。しかし、通常、R E M睡眠潜時が60分以下になることはまれである (eg. Williams, Karacan & Harsh 1974)。このことから、覚醒中のウルトラディアン・リズムが前夜の R E M睡眠周期の影響をうけるとしても、これらのリズムが完全に一致しているとは考えられない。むしろ、どこかの時点でリズムの位相がリセットされている可能性が示唆される。しかし、R E M睡眠周期自体、覚醒中のウルトラディアン・リズムと同一の振動体によって制御されているとする B R A C 仮説 (Kleitman 1963) に基づく sleep-independent 仮説、睡眠中のみ活動するという sleep-dependent 仮説 (Johnson 1980)、再入眠時に新たに開始するという reset 仮説のいずれかでは説明がつかない (宮下・犬上・福田ら 1988)。Lavie (1987) は、初発の R E M期は睡眠に依存しており、その後の R E M期は睡眠の進行とは独立に現れるという混合モデルを提唱している。

一方、夜間の睡眠時間が短い場合には、起床直後に強い眠気を覚えるが、これは睡眠慣性 (sleep inertia) と呼ばれている (Naitoh 1981)。この睡眠慣性が眠気のウルトラディアン・リズムにどのような影響を及ぼすかは明かではない。以上のように、眠気のウルトラディアン・リズムがその直前の睡眠状態とどのような交絡関係を持つのかについては、今後の検討が必要である。

眠気のウルトラディアン・リズムの振幅に関しては、起床後の初発の眠気を正確に検出することができるかどうかという問題がある。Lavie (1985) は、ウルトラディアン・リズムの振幅はサーカディアン・リズムの影響を受けて午前と午後では異なることを指摘している。第2章の調査結果では、眠気の発生頻度は、午後2時が最も高かった。他の時刻でもピークは認められたが、発生頻度は必ずしも高くはなかった。これらのことから、時刻によってウルトラディアン・リズムの振幅が異なることは十分考えられる。したがって、ウルトラディアン・リズムの振幅が小さいために眠気の検出をミスする可能性が存在することも考えられる。

脳波トポグラフィを用いて分析した第6章の結果から、頭頂部脳波の振幅値、特にピーク α 周波数の前後の帯域の振幅値を用いることで眠気の予測が可能であることが示された。脳波には連続的に測定できるというKSSやMSLTにはない利点がある。したがって、ウルトラディアン・リズムの振幅値が低く、眠気のピークの検出が困難な場合でも、このような脳波のスペクトル特徴を連続的に測定することで眠気を検出することが可能であると考えられる。

以上のように、眠気のウルトラディアン・リズム研究に関しては、今後、その位相と振幅を検討していくことが必要であるように思われる。一方、現在の知見では、ウルトラディアン・リズムは内因性のリズムであることが証明されているにもかかわらず、同調因子は明かにされていない(井深 1990)。しかし、午後2時に過半数の人が眠気を訴えたことから(第2章)、午後2時にはウルトラディアン・リズムが対人同調(堀・桜井・杉本 1985)を起こしている可能性が指摘できる。このことは、授業時間の時間割といった社会的要

因が同調因子として作用している可能性を示唆するものである。この点については本研究では検討していないが、眠気のウルトラディアン・リズムを利用し、これを検出することによって効果的な作業－休憩計画を立てるのに有効なばかりでなく、人間行動の理解にも役立つものと思われる。

3. 要約

眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動することが実証された本研究の結果をまとめた。本研究では検討されなかったウルトラディアン・リズムの位相と振幅について触れ、今後の展望を述べた。

本研究の要約

従来の断眠研究の結果から、睡眠不足によって眠気が増大しても、作業量にはさほど影響を及ぼさないことが知られている。しかし、眠気が増大すると作業に対する動機づけが低下する。また、眠気が強く、作業の内容が単調な場合には、作業中に瞬間的な睡眠

(micro sleep)が発生する。これが授業中や会議中の居眠りを招いたりする。自動車運転中の居眠り事故を防止するためにも、眠気を測定することが今日重要な課題となっている。

ヒトの行動が1日24時間の周期(サーカディアン・リズム)で調整されていることはよく知られている。しかし、近年の時間行動学の立場から、ヒトの様々な生理的機能や行動的側面には70~140分周期のリズムが存在することが指摘されており、これはウルトラディアン・リズムと呼ばれている。日中の覚醒度にもウルトラディアン・リズムが存在することが明らかにされているが、眠気についてはウルトラディアン・リズムが存在するかどうかは明らかにされていない。そこで本研究では、日中の眠気の時間変動特性を明らかにすることを目的として、日中に起こる眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動するかどうかを検討した。

日中の眠気がウルトラディアン・リズムの影響を受けて変動するとすれば、夜間睡眠の過不足にかかわらず日中に眠気が生じるはずである。そこで、まず、睡眠習慣調査を実施し、睡眠習慣と日中の眠気の有無との関係を検討した。対象は大学生403名であった。日中に眠気がよく起こる者は全体の55%、ときどき起こる者は38%を占めており、合わせて93%の者が日中に眠気が起こることを報告して

いた。夜間睡眠の量、質、規則性の3次元に注目すると、睡眠が充足していると回答した者のうちでも41%、熟眠型のうちでも50%、規則型のうちでも44%の者が日中に眠気が頻繁に起こっていることを報告していた。この結果から、日中の眠気は夜間睡眠の過不足とはほとんど関係なく発生していることが示唆された。

そこで、日中の眠気がウルトラディアン・リズムに従って周期的に変動するかどうかを実験的に検討した。自己評定尺度、睡眠潜時テスト、脳波のスペクトル特徴の3つの指標を用いて6～8時間の通常の夜間睡眠をとらせた後の日中の眠気を測定した。被験者には男子大学生8名(20～22才)を用いた。その結果、日中の眠気には90～200分の周期をもった日内変動が存在することが実証できた。しかし、用いた指標によって周期が異なるばかりでなく位相差も認められた。その理由として、「実測値」が「眠気自体に関連する成分」と「指標特有の変動成分」によって合成されているためであると仮定した。そこで、主成分分析を用いて主成分の抽出を図った。抽出された主成分はそれぞれの指標に共通する変動成分であり、これは「眠気自体と関連する成分」にほかならない。得られた主成分値を周期分析した結果、96分の周期性が同定され、日中の眠気が70～140分周期のウルトラディアン・リズムに従って変動することが実証できた。

しかし、通常の6～8時間の夜間睡眠では睡眠短縮の可能性はある。そこで、睡眠が自由にとれる条件を設定し、過眠状態が認められた場合でも眠気がウルトラディアン・リズムを示すかどうかを検討した。男子大学生5名(19～25才)をそれぞれ単独で48時間の間、社会的隔離環境下においた。実験中は課題を続けるよう指示し、照明の点灯、消灯は被験者の判断に任せた。その結果、前半の24時間の平

均睡眠時間は9時間40分となり、過眠傾向が認められた。30分毎の測定の結果、眠気は1日目、2日目ともに約2時間の周期で変動した。このように、日中の眠気は実際の睡眠時間の過不足にかかわらずウルトラディアン・リズムによって調節されていることがわかった。また、夜間の主睡眠期だけでなく、昼間にも持続時間が60分以下の睡眠が眠気のピーク時に発生していた。

このように、眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動するのは、睡眠系がウルトラディアン・リズムに従って発現することに起因していることが考えられる。これを確かめるために、最も睡眠が発生しやすいと考えられている恒暗隔離条件を用いて睡眠の発現をみた。男子大学生7名（19～26才）をそれぞれ単独で72時間の間恒暗隔離環境においた。2名が途中で実験を中止したため、残りの5名を分析に用いた。その結果、持続性の低い睡眠が約2時間間隔で頻発した。睡眠の出現間隔が眠気のウルトラディアン周期と一致していたこと、隔離環境下では睡眠は眠気のピーク時に発生することから、眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動するのは、睡眠系がウルトラディアン・リズムの影響を受けて発現することに起因していることが明らかにされた。

睡眠系の周期的発現が眠気の周期的変動の原因となっていることが明らかにされたことから、睡眠状態を敏感に反映している脳波を詳細に検討することで眠気をより正確に測定することができると考えられる。そこで、脳波トポグラフィの手法を用いて眠気の変化に対応する脳波特徴の変化を検討した。眠気が弱い状態から非常に強い状態までのデータを得るために、19:00～07:00の夜間断眠中の脳波と眠気を測定した。被験者には大学生10名（21～26才）を用いた。

その結果、眠気の増加に伴い、脳波の α ピーク周波数の前後の帯域の振幅値が増減した。重回帰分析の結果、これらの帯域から眠気を定量的に予測することができる可能性が示唆された。

以上のように本研究の結果から、実際の夜間睡眠の過不足や、夜間睡眠が過不足であるという判断とは関係なく日中の眠気がウルトラディアン・リズムに従って変動することが実証された。この結果は、人間工学における作業－休憩計画の最適化を図るばかりでなく、人間行動の理解にも役立つものと期待される。

付録1. Kwansei-Gakuin Sleepiness Scale (KSS) の各項目と尺度値.

1. 今のあなたの状態についておたずねします。あまり深く考えずにお答え下さい。
次にあげたようなことが、今のあなたの状態を表していると思われたらいくつでも
□に○をつけて下さい。

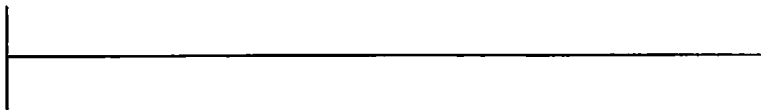
□ まぶたが重い。	5.54	□ 活力がみなぎっている。	0.58
□ 視野が広いように感じる。	1.71	□ 足どりが軽い。	1.56
□ やや機敏である。	2.38	□ だるくもないしすっきりもしていない。	3.63
□ ゆったりとくつろいでいる。	3.46	□ 眠気と戦っている。	6.17
□ 目がしょぼしょぼしている。	5.37	□ なんとなく眠気を感じるが、活動していると忘れる。	4.39
□ 身体がだるくない。	3.03	□ 頭がぼんやりとしている。	5.10
□ 頭がさえていない。	4.68	□ 知らず知らずのうちにまぶたがくっつく。	6.33
□ 眠くて倒れそうである。	6.49	□ 気力が充実している。	0.82
□ 能率がよい。	1.22	□ 気が散りやすい。	4.21
□ ふとんが恋しい。	5.74	□ 気がゆるんでいるわけではない。	3.95
□ 思考がにぶっている。	4.86	□ 考えることが苦にならない。	2.11

付録2. Visual analog scale (VAS) .

今、どのくらい眠気を感じますか。下の直線に印をつけて下さい。

非常に
眠い

はっきりと
目が覚めている



付録3. 睡眠習慣調査の各項目.

睡眠習慣調査

この質問紙はあなたの日常の睡眠についておたずねするものです。特別な場合は考えずに、この2～3週間ぐらいのごく普通の生活について答えてください。

名前 _____

学生番号 _____

年齢 _____

性別 男・女

1. ふだん床について眠ろうとする（消灯する）時刻はいつごろですか。例にならって直線上に○をつけてください。

（例． 午後11時の場合）

(AM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(PM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

○

(AM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(PM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

2. 日によって消灯時刻はどのくらい変わりますか。

± _____ 時間 _____ 分 くらい

3. 寝つきはよいほうですか。あてはまるものに○をつけてください。

() 非常によい () 比較的よい () どちらともいえない
() 比較的わるい () 非常にわるい

4. 床（ベッド、ふとん）にはいってから眠ろうとするまでに床のなかでする習慣はありますか。いくつでも○をつけてください。

() なし () 音楽を聞く () たばこ () 飲酒 () テレビ
() ラジオ () 読書 () その他 _____

5. ふだんの平均的な起床時刻はいつごろですか。質問1の例にならって○をつけてください。

(AM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(PM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

6. 日によって起床時刻はどのくらい変わりますか。

± _____時間_____分 くらい

7. 朝はどのようなきっかけで目覚めることが多いですか。いくつでも○をつけてください。

- ☐ 明るさ ☐ 物音 ☐ 他人に起こされて ☐ 夢を見て ☐ 空腹
☐ 目覚し時計 ☐ 尿意 ☐ 便意 ☐ なんとなく ☐ 習慣で
☐ その他_____

8. 朝、目が覚めてからすぐ床から起き出しますか。

- ☐ すぐ起きる ☐ すぐには起きないで_____分くらい床にはいつている

9. ふだん、朝、目覚めた時（起床時）の気分はいかがですか。

- ☐ 非常によい ☐ 比較的よい ☐ どちらともいえない
☐ 比較的わるい ☐ 非常にわるい

10. ふだん、朝、目覚めたとき（起床時）の体の調子はいかがですか。

- ☐ 非常によい ☐ 比較的よい ☐ どちらともいえない
☐ 比較的わるい ☐ 非常にわるい

11. ふだんの睡眠時間はどれくらいですか。

_____時間_____分 くらい

12. 日によって睡眠時間はどのくらい変わりますか。

± _____時間_____分 くらい

13. 睡眠時間は足りていますか。

- ☐ かなり不足している ☐ やや不足している ☐ 足りている
☐ やや長すぎる ☐ かなり長すぎる

14. 床（ベッド、ふとん）にはいってから寝つくまで何分ぐらいかかりますか。

_____分 くらい

15. 夜中（睡眠中）に何回くらい目が覚めますか。（平均して考えてください）

_____回 くらい

16. 夜中（睡眠中）はどのようなきっかけで目覚めることが多いですか。いくつでも○をつけてください。

- ☐ 暑さ、寒さ ☐ 夢を見て ☐ 空腹 ☐ 尿意 ☐ 便意
☐ なんとなく ☐ 習慣で ☐ 明るさ ☐ 物音
☐ その他 _____

17. ふだんの眠りの深さはどれくらいですか。

- ☐ 十分熟睡できる ☐ 比較的熟睡できる ☐ どちらともいえない
☐ 比較的浅い ☐ 非常に浅い

18. 不眠で悩むことがありますか。

- ☐ 非常に悩んでいる ☐ ときどき悩むことがある
☐ あまり悩まない ☐ 全く悩まない

19. あなたにとって睡眠は大切ですか。

- ☐ 非常に大切 ☐ 比較的大切 ☐ どちらともいえない
☐ 比較的無駄 ☐ 非常に無駄だ

20. 夢を見ることはありますか。

- ☐ 非常によく見る ☐ ときどき見る
☐ あまり見ない ☐ 全く見ない

21. 夢の内容は覚えていますか。

- ☐ いつもよく覚えている ☐ ときどき覚えている
☐ あまり覚えていない ☐ ほとんど覚えていない

22. 悪夢を見ることがありますか。

- ☐ よく見る ☐ ときどき見る
☐ あまり見ない ☐ 全く見ない

23. 次にあげるもののうち、あなたにもあると思うものに、いくつでも○をつけてください。

- ☐ ねごと ☐ いびき ☐ 歯ぎしり ☐ ねぼけ ☐ かなしぼり
☐ 夢遊 ☐ 寝ぞうの悪さ

24. 床（眠る場所）が変わっても眠れますか。

- ☐ 十分眠れる ☐ 少し気になるが眠れる ☐ 眠りにくい
☐ 眠れないことが多い ☐ ほとんど眠れない

25. 夜眠るとき、周りの環境は静かですか。

- ☐ 非常に静か ☐ 比較的静か ☐ どちらともいえない
☐ やや騒がしい ☐ 非常に騒がしい

26. 日中、眠くなることがありますか。

- ☐ よくある ☐ ときどきある
☐ あまりない ☐ 全くない

◎上記の質問で、日中眠くなることがある、と答えた人だけ、質問27と28に答えてください。それ以外の人、質問29にうつってください。

27. 日中、眠くなるのはいつごろですか。質問1の例にならって、眠くなる時刻のすべてに○をつけてください。

(AM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(PM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

() 昼寝やうたた寝をする () コーヒーや紅茶、緑茶などを飲む
() タバコを吸う () 体を動かしたり、運動したりする
() これといって何もしない () その他

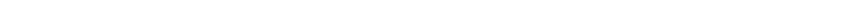
() よくある () ときどきある
() あまりない () 全くない

時間 分 くらい

(AM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

(PM)

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



(AM)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

(PM)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

- 134 -

33. 毎日3食（朝、昼、夕食）をとりますか。

- ☐ 必ず3食ともとる ☐ 朝食をとらないこともある
☐ 朝食をとらないことが多い ☐ 昼食または夕食をとらないこともある

34. ふだん食事（間食も含む）をとる時刻はそれぞれいつごろですか。食事をとる時刻のすべてに○をつけてください。

(AM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(PM)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

35. ふだんコーヒー、紅茶を1日何回くらい飲みますか。

- ☐ 飲まない ☐ 飲む……1日____回くらい

36. ふだん、タバコを吸いますか。

- ☐ 吸わない ☐ 吸う……1日____本くらい

37. ふだんアルコール類を飲みますか。

- ☐ 飲まない ☐ 飲む……週____回くらい

● 睡眠実験の被験者として御協力いただけますか。

- ☐ 協力する ☐ 協力してもよい ☐ あまりしたくない
☐ したくない ☐ 絶対にいやだ

● 以上のほかに睡眠についてあなたが考えていること、悩んでいること、知りたいことなどがありましたら、何でも結構ですから書いてください。

引用文献

- Agnew, H. W. Jr., Webb, W. B., & Williams, R. L. (1966). The first night effect: An EEG study of sleep. *Psychophysiology*, 2: 263-266.
- Akerstedt, T. (1988). Sleepiness as a consequence of shift work. *Sleep*, 11:17-34.
- Akerstedt, T., & Gillberg, M. (1981). The circadian variation of experimentally displaced sleep. *Sleep*, 4:159-169.
- Akerstedt, T., & Gillberg, M. (1982). Experimentally displaced sleep: effects on sleepiness. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 54:220-226.
- Akerstedt, T., Torsvall, L., & Gillberg, M. (1982). Sleepiness and shift work: Field studies. *Sleep*, 5:S95-106.
- Anch, A. M., Browman, C. P., Mitler, M. M. & Walsh, J. K. (1988). *Sleep: A Scientific Perspective*. Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey.
- Aschoff, J. (1965). Circadian rhythms in man. *Science*, 148: 1427-1432.
- Association of Sleep Disorders Centers and the Association for the Psychophysiological Study of Sleep (1979). *Diagnostic classification of sleep and arousal disorders*. *Sleep*, 2:5-121.
- 阿住一雄 (1982). 成人の正常睡眠とその随伴現象. 上田英雄・島

- 藺安雄・武内重五郎・豊倉康夫（編）睡眠障害。南江堂，1-41.
- Badia, P., Harsh, J., Balkin, T., O'Rourke, D., & Burton, S.
(1985). Behavioral control of respiration in sleep and sleepiness due to signal-induced sleep fragmentation. *Psychophysiology*, 22:517-524.
- Bliwise, D., Seidel, W., Karacan, I., Mitler, M., Roth, T., Zorick, F., & Dement, W. (1983). Daytime sleepiness as a criterion in hypnotic medication trials: comparison of triazolam and flurazepam. *Sleep*, 6:156-163.
- Bonnet, M. H. (1985). Effect of sleep disruption on sleep, performance, and mood. *Sleep*, 8:11-19.
- Bonnet, M. H. (1986). Performance and sleepiness as a function of frequency and placement of sleep disruption. *Psychophysiology*, 23:263-271.
- Bonnet, M. H. (1987). Sleep restoration as a function of periodic awaking, movement, or electroencephalographic change. *Sleep*, 10:364-373.
- Bosson, J., Natelson, B. H., Levin, B. E., & Stokes, P. E. (1983). Ultradian rhythms in cognitive functions and their relationship to visceral processes. *Physiology & Behavior*, 31:119-123.
- Broughton, R. (1975). Biorhythmic variations in consciousness and psychological functions. *Canadian Psychological Review*, 16:217-238.
- Broughton, R. (1982). Performance and evoked potential

- measures of various states of daytime sleepiness. *Sleep*, 5: S135-146.
- Broughton, R. J. (1989a). Chronobiological aspects and models of sleep and napping. In: D. F. Dinges & R. J. Broughton (eds.), *Sleep and Alertness: Chronobiological, Behavioral, and Medical Aspects of Napping*. Raven Press: New York, 71-98.
- Broughton, R. J. (1989b). Sleep attacks, naps, and sleepiness in medical sleep disorders. In: D. F. Dinges & R. J. Broughton (eds.), *Sleep and Alertness: Chronobiological, Behavioral, and Medical Aspects of Napping*. Raven Press: New York, 267-298.
- Broughton, R. J., & Aguirre, M. (1987). Differences between REM and NREM sleepiness measured by event-related potentials (P300, CNV), MSLT and subjective estimate in narcolepsy-cataplexy. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 67:317-326.
- Buchsbaum, M. S., Mendelson, W. B., Duncan, W. C., Coppola, R., Kelsoe, J., & Gillin, J. C. (1982). Topographic cortical mapping of EEG sleep stages during daytime naps in normal subjects. *Sleep*, 5:248-255.
- Campbell, S. S. (1984). Duration and placement of sleep in a "disentrained" Environment. *Psychophysiology*, 21:106-113.
- Campbell, S. S., & Zulley, J. (1985). Ultradian components of human sleep/wake patterns during disentrainment. In: H. Schulz & P. Lavie (eds.), *Ultradian Rhythms in Physiology*

- and Behavior. Springer-Verlag: Berlin-Heidelberg, 234-255.
- Campbell, S.S., & Zulley, J. (1989). Napping in time-free environment. In: D.F. Dinges & R.J. Broughton (eds.), Sleep and Alertness: Chronobiological, Behavioral, and Medical Aspects of Napping. Raven Press: New York, 121-138.
- Carskadon, M.A. (1989). Ontogeny of human sleepiness as measured by sleep latency. In: D.F. Dinges & R.J. Broughton (eds.), Sleep and Alertness: Chronobiological, Behavioral, and Medical Aspects of Napping. Raven Press: New York, 53-69.
- Carskadon, M.A., & Dement, W.C. (1977a). Sleepiness and sleep state on a 90-min schedule. *Psychophysiology*, 14:127-133.
- Carskadon, M.A., & Dement, W.C. (1977b). Sleep tendency: an objective measure of sleep loss. *Sleep Research*, 6:200.
- Carskadon, M.A., & Dement, W.C. (1979). Effects of total sleep loss on sleep tendency. *Perceptual and Motor Skills*, 48:495-506.
- Carskadon, M.A., & Dement, W.C. (1981). Cumulative effects of sleep restriction on daytime sleepiness. *Psychophysiology*, 18:107-113.
- Carskadon, M.A., & Dement, W.C. (1982). The multiple sleep latency test: what does it measure? *Sleep*, 5:S67-72.
- Carskadon, M.A., Dement, W.C., Mitler, M.M., Roth, T., Westbrook, P.R., & Keenan, S. (1986). Guidelines for the multiple sleep latency test (MSLT): A standard measure of

- sleepiness. *Sleep*, 9:519-524.
- Czeisler, C. A., Richardson, G. S., Zimmerman, J. C., Moore-Ede, M. C., & Weitzman, E. D. (1981). Entrainment of human circadian rhythms by light-dark cycles: a reassessment. *Photochemistry & Photobiology*, 34:239-247.
- Dement, W. C., & Carskadon, M. A. (1982). Current perspectives on daytime sleepiness: The issues. *Sleep*, 5:S56-66.
- Dement, W., & Kleitman, N. (1957). Cyclic variations in EEG during sleep and their relation to eye movements, body motility, and dreaming. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 9:673-690.
- Dement, W., Seidel, W., & Carskadon, M. (1982). Daytime alertness, insomnia, and benzodiazepines. *Sleep*, 5:S28-45.
- Dinges, D. F. (1989). Napping patterns and effects on human adults. In: D. F. Dinges & R. J. Broughton (eds.), *Sleep and Alertness: Chronobiological, Behavioral, and Medical Aspects of Napping*. Raven Press: New York, 171-204.
- Dinges, D. F., Orne, M. T., Whitehouse, W. G., & Orne, E. C. (1987). Temporal placement of a nap for alertness: contributions of circadian phase and prior wakefulness. *Sleep*, 10:313-329.
- 遠藤四郎 (1982). 睡眠サーカディアンリズムの障害. 上田英雄・島園安雄・武内重五郎・豊倉康夫 (編) 睡眠障害. 南江堂, 242-271.
- Folkard, S., Monk, T. H., & Lobban, M. C. (1979). Towards a

- predictive test of adjustment to shift work. *Ergonomics*, 22:79-91.
- 古田寿一・金英道 (1988). 不眠症－睡眠障害 1. 堀忠雄 (編) 不眠. 同朋舎, 163-193.
- Gagnon, P., & De Koninck, J. (1984). Reappearance of EEG slow waves in extended sleep. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 58:155-157.
- Gagnon, P., De Koninck, J., & Broughton, R. (1985). Reappearance of electroencephalogram slow waves in extended sleep with delayed bedtime. *Sleep*, 8:118-128.
- Gevins, A. S., Zeitlin, G. M., Ancoli, S., & Yeager, C. L. (1977). Computer rejection of EEG artifact. II. Contamination by drowsiness. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 42:31-42.
- Hartmann, E. (1968). The 90-minute sleep-dream cycle. *Archives of General Psychiatry*, 18:280-286.
- Hartmann, E., Beakland, F., Zwillling, G., & Hoy, P. (1971). Sleep need: how much sleep and what kind? *American Journal of Psychiatry*, 127:1001-1008.
- Hartse, K. M., Roth, T., & Zorick, F. J. (1982). Daytime sleepiness and daytime wakefulness: The effect of instruction. *Sleep*, 5:S107-118.
- 林 光緒・堀 忠雄 (1987). 大学生及び高校生の睡眠生活習慣の実態調査. 広島大学総合科学部紀要Ⅲ, 情報行動科学研究, 11:53-63.
- 林 光緒・堀 忠雄 (1988a). 72時間の恒暗・隔離環境下における睡

- 眠・覚醒パタンの検討. 脳波と筋電図, 16:362-368.
- 林 光緒・堀 忠雄 (1988b). 脳波を指標とした大脳半球機能差のウルトラディアン・リズム. 広島大学総合科学部紀要Ⅲ, 情報行動科学研究, 12:15-22.
- Hayashi, M., & Hori, T. (1990). Basic ultradian components of daytime sleepiness in human subjects. Japanese Psychological Research 32:128-136.
- 林 光緒・堀 忠雄・杉本助男 (1987). 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.
- 林 光緒・森川俊雄・堀 忠雄 (1989). 眠気の変化に伴う脳波トポグラフィの変動. 広島大学総合科学部紀要Ⅲ, 情報行動科学研究, 13:61-71.
- Herscovitch, J., & Broughton, R. (1981). Sensitivity of the stanford sleepiness scale to the effects of cumulative partial sleep deprivation and recovery oversleeping. Sleep, 4:83-92.
- 日野幹雄 (1977). スペクトル解析. 朝倉書店.
- 広重佳治 (1987). 入眠期指標としての緩徐眼球運動の変動. 生理心理学と精神生理学, 5:11-19.
- 広重佳治・宮田 洋 (1990). 昼間睡眠時の緩徐眼球運動と睡眠段階の移行期間. 心理学研究, 60:378-385.
- Hoddes, E., Dement, W., & Zarcone, V. (1972). The development and use of the Stanford Sleepiness Scale (SSS). Psychophysiology, 9:150.
- Hoddes, E., Zarcone, V., Smythe, H., Phillips, R., & Dement, W. C.

(1973). Quantification of sleepiness: a new approach.

Psychophysiology, 10:431-436.

本多 裕 (1982). ナルコレプシーとその近縁傾眠疾患. 上田英雄・島蘭安雄・武内重五郎・豊倉康夫 (編) 睡眠障害. 南江堂, 199-224.

堀 忠雄 (1979). 入眠時の脳波の主成分分析. 脳波と筋電図, 7:140-147.

Hori, T. (1982). Electrodermal and electro-oculographic activity in a hypnagogic stage. Psychophysiology, 19:668-672.

堀 忠雄 (1984). 入眠期の精神生理学的研究と展望. 早稲田心理学年報, 16:1-8.

Hori, T. (1985). Spatiotemporal changes of EEG activity during waking-sleeping transition period. International Journal of Neuroscience, 27:101-114.

Hori, T. (1988). Ultradian rhythms of interhemispheric activity during waking and sleeping. The Japanese Journal of Psychiatry and Neurology, 42:181-183.

Hori, T. (1989). Ultradian rhythms in spatial and verbal cognitive performance. The Japanese Journal of Psychiatry and Neurology, 43:266-267.

堀 忠雄・林 光緒 (1987). 恒暗閉鎖環境に72時間隔離することの睡眠・覚醒リズムに及ぼす影響. 広島大学総合科学部紀要Ⅲ, 情報行動科学研究, 11:65-78.

堀 忠雄・林 光緒・森川俊雄 (1988). 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. 広島大学総合科学部紀要Ⅲ, 情報行動科学研究, 12:1-13.
- Hori, T., Hayashi, M., & Morikawa, T. (in press) Topography and coherence analysis of hypnagogic EEG. Sleep '90.
- 堀 忠雄・林 光緒・杉本助男 (1988). 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.
- 堀 忠雄・桜井芳雄・杉本助男 (1985). 閉鎖環境条件下におけるウルトラディアン・リズムと対人同調現象. 広島大学総合科学部紀要Ⅲ, 情報行動科学研究, 9:55-67.
- 堀 忠雄・渡辺尊己 (1969). ヒトの正常睡眠脳波の終夜の推移. 臨床脳波, 11:345-354.
- Horne, J.A., & Wilkinson, S. (1985). Chronic sleep reduction: daytime vigilance performance and EEG measures of sleepiness, with particular reference to "practice" effects. Psychophysiology, 22:69-78.
- 井深信男 (1990). 行動の時間生物学. 朝倉書店.
- 石原金由・宮田 洋・後藤 平・山本雅康・岡庭 孝・藤本 彰・小島 居 湛・大島博治・今任信彦・堀川喜郎 (1984). 眠け尺度 (K S S) による不眠症患者の日中の眠けと睡眠薬の効果の評価. 最新医学, 39:2120-2131.
- 石原金由・齋藤 敬・宮田 洋 (1982). 眠けの尺度とその実験的検討. 心理学研究, 52:362-365.
- Johnson, L.C. (1980). The REM cycle is a sleep-dependent rhythm. Sleep 2:299-307.
- Johnson, L.C. (1982). Sleep deprivation and performance. In:

- W.B. Webb (ed.), Biological Rhythms, Sleep, and Performance. John Wiley & Sons: New York, 111-141.
- Johnson, L., Lubin, A., Naitoh, P., Nute, C., & Austin, M. (1969). Spectral analysis of the EEG of dominant and non-dominant alpha subjects during waking and sleeping. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 26:361-370.
- 柿崎祐一 (1974). 知覚判断. 培風館.
- Kamiya, J. (1961). Behavioral, subjective, and physiological aspects of drowsiness and sleep. In: D.W. Fiske & S.R. Maddi (eds.), *Functions of Varied Experience*. Dorsey Press: Homewood, Illinois, 145-174.
- Karacan, I., Williams, R.L., Finley, W.W., & Hirsch, C.J. (1970). The effects of naps on nocturnal sleep: Influence on the need for stage-1 REM and stage 4 sleep. *Biological Psychiatry*, 2:391-399.
- 木田光郎・杉本助男 (1973). 長時間感覚刺激欠乏状態の多角的研究 (Ⅷ-2), 48時間暗条件下の脳波. 名古屋大学環境医学研究所年報 24:39-42.
- 木田光郎・杉本助男・鈴木初恵・谷川英雄 (1972). 長時間感覚刺激欠乏状態の多角的研究 (Ⅶ-2), 24時間暗条件下の脳波と心拍数. 名古屋大学環境医学研究所年報, 23:45-50.
- 木田光郎・杉本助男・鈴木初恵・富田悦次・三輪武次・谷口正子 (1975). 長時間感覚刺激欠乏状態の多角的研究 (X-2), 120時間 SD-ss中の活動周期. 名古屋大学環境医学研究所年報, 26:25-28.

金田一春彦・池田弥三郎（編）（1988）. 学研国語大辞典，第二版。
学習研究社.

Klein, R., & Armitage, R. (1979). Rhythms in human performance:
1 1/2 hour oscillations in cognitive style. *Science*, 204:
1326-1328.

小林敏孝・辻 陽一・斉藤泰彦・遠藤四郎（1983）. 睡眠の単位構造
としてのsleep cycleとその出現過程. 脳波と筋電図, 11:165-175.

小林敏孝・辻 陽一・斉藤泰彦・遠藤四郎（1986）. NonREM-REMサイ
クルの諸特性と睡眠パターン構成のアルゴリズム. 脳波と筋電図
14:300-308.

Kripke, D. F. (1972). An ultradian biologic rhythm associated
with perceptual deprivation and REM sleep. *Psychosomatic
Medicine*, 34:221-234.

Kripke, D. F. (1974). Ultradian rhythms in sleep and
wakefulness. In: E. D. Weitzman (ed.), *Advances in Sleep
Research* (vol. 1). Spectrum: New York, 305-325.

Kripke, D. F. (1982). Ultradian rhythms in behavior and
physiology. In: F. M. Brown & R. C. Graeber (eds.), *Rhythmic
aspects of behavior*. Erlbaum: Hillsdale, New Jersey, 313-
343.

Kripke, D. F., & Sonnenschein, D. (1978). A biologic rhythm in
waking fantasy. In: K. S. Pope & J. L. Singer (eds.) *The
Stream of Consciousness*. Plenum: New York, 321-332.

Lavie, P. (1976). Ultradian rhythms in the perception of two
apparent motions. *Chronobiologia*, 3:214-218.

- Lavie, P. (1979). Ultradian rhythms in alertness - A pupillometric study. *Biological Psychology*, 9:49-62.
- Lavie, P. (1982). Ultradian rhythms in human sleep and wakefulness. In: W.B. Webb (ed.) *Biological Rhythms, Sleep, and Performance*. John Wiley & Sons: New York, 239-272.
- Lavie, P. (1985). Ultradian rhythms: gates of sleep and wakefulness. In: H. Schulz & P. Lavie (eds.) *Ultradian Rhythms in Physiology and Behavior*. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, 148-164.
- Lavie, P. (1987). Ultrashort sleep-wake cycle: timing of REM sleep. Evidence for sleep-dependent and sleep-independent components of the REM cycle. *Sleep*, 10:62-68.
- Lavie, P., Levy, C.M., & Coolidge, F.L. (1975). Ultradian rhythms in the perception of the spiral aftereffect. *Physiological Psychology*, 3:144-146.
- Lavie, P., Load, J.W., & Frank, R.A. (1974). Basic rest-activity cycle in the perception of the spiral aftereffect: a sensitive detector of a basic biological rhythm. *Behavioral Biology*, 11:373-379.
- Lavie, P., & Scherson, A. (1981). Ultrashort sleep-waking schedule. I. Evidence of ultradian rhythmicity in 'sleepability'. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 52:163-174.
- Lavie, P., & Weler, B. (1989). Timing of naps: effects on post-nap sleepiness levels. *Electroencephalography and*

Clinical Neurophysiology, 72:218-224.

- Lavie, P., & Zomer, J. (1984). Ultrashort sleep-waking schedule. II. Relationship between ultradian rhythms in sleepability and the REM-non-REM cycles and effects of the circadian phase. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 57:35-42.
- Lehmann, D. (1981). Spatial analysis of evoked and spontaneous EEG potential fields. In: N. Yamaguchi & K. Fujisawa (eds.) *Recent Advances in EEG and EMG Data Processing*. Elsevier, North-Holland Biomedical Press: New York, 117-132.
- Levine, B., Roehrs, T., Stepanski, E., Zorick, F., & Roth, T. (1987). Fragmenting sleep diminishes its recuperative value. *Sleep*, 10:590-599.
- Magee, J., Harsh, J., & Badia, P. (1987). Effects of experimentally-induced sleep fragmentation on sleep and sleepiness. *Psychophysiology*, 24:528-534.
- Manseau, C., & Broughton, R. (1983). Ultradian variations in human daytime EEGs: A preliminary report. In: W. P. Koella (ed.) *Sleep 1982*, Karger: Basel, New York, 196-198.
- Manseau, C., & Broughton, R. J. (1984). Bilaterally synchronous ultradian EEG rhythms in awake adult humans. *Psychophysiology*, 21:265-273.
- 増田直樹 (1986). 森田療法絶対臥褥期における神経症者の睡眠覚醒リズム. 慈恵医大誌, 101:467-492.
- Matousek, M., & Petersén, I. (1983). A method for assessing

alertness fluctuations from EEG spectra.

Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 55:108-113.

松村 明 (編) (1988). 大辞林. 三省堂.

南 茂夫 (1986). 科学計測のための波形データ処理. CQ出版社.

Mitler, M. M., Gujavarty, K. S., & Browman, C. P. (1982).

Maintenance of wakefulness test: a polysomnographic technique for evaluating treatment efficacy in patients with excessive somnolence. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 53:658-661.

宮下彰夫 (1984) 睡眠の心理学. 鳥居鎮夫 (編) 睡眠の科学. 朝倉書店, 87-105.

宮下彰夫 (1985). 夜間睡眠の諸相. 宮田 洋・藤澤 清・柿木昇治 (編) 生理心理学. 朝倉書店, 162-165.

宮下彰夫・犬上 牧・福田一彦・石原金由 (1988). 入眠時 R E M 睡眠期の出現確率と N R E M 睡眠持続時間. 日本睡眠学会第13回定期学術集会抄録集, 42.

宮下彰夫・石原金由・犬上 牧・福田一彦 (1986). 睡眠習慣に関する調査と健常者における睡眠中の直腸温. プロジェクト研究報告書: 生体リズムの生理化学とその病態、中枢神経疾患の時間生物学的研究. 東京都神経科学総合研究所, 38-46.

Monk, T. M. (1987). Subjective rating of sleepiness - the underlying circadian mechanisms. Sleep, 10:343-353.

Monroe, L. J. (1967). Psychological and physiological differences between good and poor sleepers. Journal of

Abnormal Psychology, 72:255-264.

森川俊雄・林 光緒・堀 忠雄 (1990). 恒暗環境下における覚醒脳波の周波数構造の変化. 脳波と筋電図, 18:251-257.

Moses, J., Lubin, A., Naitoh, P., & Johnson, L. C. (1972).

Reliability of sleep measures. Psychophysiology, 9:78-82.

Moses, J., Lubin, A., Naitoh, P., & Johnson, L. C. (1978).

Circadian variation in performance, subjective sleepiness, sleep, and oral temperature during an altered sleep-wake schedule. Biological Psychology, 6:301-308.

長塚康弘 (1966). Sensory Deprivationの研究. 心理学研究, 37:44-59.

Naitoh, P. (1976). Sleep deprivation in human subjects: a reappraisal. Waking and Sleeping, 1:53-60.

Naitoh, P. (1981). Circadian cycles and restorative power of naps. In: L. C. Johnson, D. I. Tepas, W. P. Colquhoun, & M. J. Colligan (eds.) Biological Rhythms, Sleep and Shiftwork. Spectrum: New York, 553-580.

Nakagawa, Y. (1980). Continuous observation of EEG patterns at night and daytime of normal subjects under restrained conditions. I. Quiescent state when lying down. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 49:524-537.

中沢洋一 (1982). 睡眠薬の使い方. 上田英雄・島藺安雄・武内重五郎・豊倉康夫 (編) 睡眠障害. 南江堂, 361-380.

中沢洋一 (編) (1986). 睡眠・覚醒障害の臨床. 医学書院.

- 日本大辞典刊行会（編）（1975）。日本国語大辞典。小学館。
- 日本放送協会放送文化調査研究所（1986）。昭和60年度国民生活時間調査。日本放送出版協会。
- 新美良純・堀 忠雄（1974）。睡眠、その生理心理学。培風館。
- 太田龍朗（1983）。一週間の絶対臥床条件下における健常者の睡眠・覚醒リズム。精神神経学雑誌, 85:302-330。
- 大熊輝雄（1962）。感覚遮断, その生理学的, 心理学的, 精神医学的側面。精神医学, 4:687-703。
- 大熊輝雄（1977）。睡眠の臨床。医学書院。
- Okawa, M., Matousek, M., & Petersén, I. (1984). Spontaneous vigilance fluctuations in the daytime. Psychophysiology, 21: 207-211.
- 奥山哲雄・川口浩司・大原健士郎（1983）。絶対臥褥下の睡眠検討。ポリグラフ、直腸温、血漿ホルモン動態をめぐって。臨床脳波, 25:472-478。
- Osaka, M. (1984). Peak alpha frequency of EEG during a mental task: task difficulty and hemispheric differences. Psychophysiology, 21:101-105.
- Othmer, E., Hayden, M. P., & Segelbaum, R. (1969). Encephalic cycles during sleep and wakefulness in humans: A 24-hour pattern. Science, 164:447-449.
- Pressman, M. R., & Fry, J. M. (1989). Relationship of autonomic nervous system activity to daytime sleepiness and prior sleep. Sleep, 12:239-245.
- Rechtschaffen, A., & Kales, A. (1968). A Manual of Standardized

- Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. Public Health Service, US Government Printing Office: Washington DC.
- Richardson, G. S., Carskadon, M. A., Orav, E. J., & Dement, W. C. (1982). Circadian variation of sleep tendency in elderly and young adult subjects. *Sleep*, 5: S82-94.
- Rodin, E. A., Luby, E. D., & Gottleib, J. S. (1962). The EEG during prolonged experimental sleep deprivation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 14: 544-551.
- Roth, T., Roehrs, T., & Zorick, F. (1982). Sleepiness: Its measurement and determinants. *Sleep*, 5: S128-134.
- 坂本和義 (1990). 睡眠. 関 邦博・坂本和義・山崎昌廣 (編) 人間の許容限界ハンドブック. 朝倉書店, 36-45.
- 佐々木 隆 (1978). 周期成分の探索. 佐々木隆・千葉喜彦 (編) 時間生物学. 朝倉書店, 312-332.
- Seidel, W. F., Ball, S., Cohen, S., Patterson, N., Yost, D., & Dement, W. C. (1984). Daytime alertness in relation to mood, performance, and nocturnal sleep in chronic insomniacs and noncomplaining sleepers. *Sleep*, 7: 230-238.
- Seidel, W. F., & Dement, W. C. (1982). Sleepiness in insomnia: evaluation and treatment. *Sleep*, 5: S182-190.
- 新村 出 (編) (1983). 広辞苑. 第三版. 岩波書店.
- Stahl, M. L., Orr, W. C., & Bollinger, C. (1983). Postprandial sleepiness: objective documentation via polysomnography.

Sleep, 6:29-35.

Sugimoto, S. (1966). Sleep cycles in EEG during sensory deprivation. Annual report of the Research Institute of Environmental Medicine, Nagoya University, 15:53-59.

杉本助男 (1967). 感覚刺激欠乏環境下における人の行動様式の変容. 航空宇宙医学心理学, 4:61-66.

杉本助男 (1973). 刺激削減環境, 実験的研究の展望. 心理学評論, 16:245-258.

杉本助男 (1986). 感覚遮断環境下の人の心的過程. 社会心理学研究 1:27-34.

杉本助男・木田光郎 (1973). 長時間感覚刺激欠乏状態の多角的研究 (Ⅶ-1), 48時間暗条件下の行動と心拍数. 名古屋大学環境医学研究所年報, 24:35-38.

杉本助男・木田光郎・鈴木初恵・谷川英雄 (1971). 長時間感覚刺激欠乏状態の多角的研究 (Ⅴ-1), 24時間暗条件下の行動. 名古屋大学環境医学研究所年報, 22:37-41.

杉本助男・木田光郎・鈴木初恵・谷川英雄 (1972). 長時間感覚刺激欠乏状態の多角的研究 (Ⅵ-1), 24時間暗条件下の行動. 名古屋大学環境医学研究所年報, 23:38-44.

杉本助男・木田光郎・寺西経信・鈴木初恵・谷川英雄 (1971). 長時間感覚刺激欠乏状態の多角的研究 (Ⅴ-2), 24時間暗条件下の脳波. 名古屋大学環境医学研究所年報, 22:42-46.

杉本助男・寺西経信・木田光郎・山本厚男・鈴木初恵 (1969). 長時間感覚刺激欠乏状態の多角的研究 (Ⅳ-2), 120時間SD中の睡眠脳波. 名古屋大学環境医学研究所年報, 20:7-11.

- 杉本助男・山本厚男・木田光郎・寺西経信・鈴木初恵・谷川英雄
(1970). 長時間感覚刺激欠乏環境の多角的研究(V-1), 120時間
SD中の行動. 名古屋大学環境医学研究所年報, 21:37-40.
- Taub, J.M. (1978). Behavioral and psychophysiological
correlates of irregularity in chronic sleep routines.
Biological Psychology, 7:37-53.
- Torsvall, L., & Akerstedt, T. (1985). Eye closure, sleepiness
and EEG spectra. In: W.P. Koella, E. Røther & H. Schulz
(eds.) *Sleep'84*. Gustav Fisher Verlag: Stuttgart, New
York, 464-466.
- Torsvall, L., & Akerstedt, T. (1987). Sleepiness on the job:
continuously measured EEG changes in train drivers.
Electroencephalography and Clinical Neurophysiology,
66:502-511.
- Torsvall, L., Akerstedt, T., Gillander, K., & Knutsson, A.
(1989). Sleep on the night shift: 24-hour EEG monitoring
of spontaneous sleep/wake behavior. *Psychophysiology*, 26:
352-358.
- Tsuji, Y., & Kobayashi, T. (1988). Short and long ultradian
EEG components in daytime arousal. *Electroencephalography
and Clinical Neurophysiology*, 70:110-117.
- 辻 陽一・小林敏孝・遠藤四郎 (1986). 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.
- Webb, W.B. (1980). The natural onset of sleep. In:

- L. Popoviciu, B. Asgian & G. Badiu (eds.) Sleep 1978. Karger: Basel, New York, 19-23.
- Webb, W.B., & Agnew, H.W. (1975). Are we chronically sleep deprived? Bulletin of the Psychonomic Society, 6:47-48.
- Webb, W.B., & Dinges, D.F. (1989). Cultural perspectives on napping and the siesta. In: D.F. Dinges & R.J. Broughton (eds.) Sleep and Alertness: Chronobiological, Behavioral, and Medical Aspects of Napping. Raven Press: New York, 247-265.
- Williams, R.L., Karacan, I., & Harsh, C.J. (1974). Electroencephalography (EEG) of Human Sleep: Clinical Applications. Wiley: New York.
- Yoss, R.E., Moyer, N.J., & Hollenhorst, R.W. (1970). Pupil size and spontaneous pupillary waves associated with alertness, drowsiness, and sleep. Neurology, 20:545-554.

謝 辞

本論文をまとめるまで、多くの方々の御協力と御援助をいただきました。

学部学生るとき研究室に配属されてから今日にいたるまで、堀忠雄 教授には、常に暖かい励ましと適切な御指導、そして多大なる御援助をいただきました。心より感謝いたします。

杉本助男教授、上里一郎教授、黒川正流教授、生和秀敏教授、藤原武弘助教授には、学部学生るときから8年間の長きにわたり、御指導いただきました。本論文をまとめる際にも貴重な御助言と御指導いただきました。心より感謝いたします。

本論文をまとめるにあたって、小林 惇教授、林 春男助教授、西村良二助教授にも有益な御助言と御指導をいただきました。深く感謝いたします。

坂田省吾助手、山本麻子助手には、常に暖かい励ましと御援助をいただきました。心より感謝いたします。

同じ研究室で実験やデータ整理で苦勞を共にし、多大なる御援助をいただいた、若杉泰至、中條加奈子、片岡康彦、森 大邦、村川忍、大塚 洋、森川俊雄、藤中紀子、吉岡朋子、岡 雅美、加古直子、檜山典子、加藤孝一、山内美幸、日比野憲司、久村嘉代の各氏に深く感謝いたします。

最後に、長時間にわたる実験にもかかわらず、快く被験者をひき受けていただいた多くの方々に心より感謝いたします。