

## 随伴陰性変動(CNV)を用いた覚醒水準の評価方法に関する基礎的研究

樋口, 重和

厚生労働省国立精神・神経センター精神保健研究所精神生理部 : 室長 : 生理人類学, 時間生物学, 人間工学, 健康科学

<https://doi.org/10.11501/3121413>

---

出版情報 : 九州芸術工科大学, 1996, 博士 (芸術工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏名・本籍（国籍）	樋口重和（福岡県）
学位の種類	博士（芸術工学）
学位記番号	甲第8号
学位授与の日付	平成9年3月18日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	随伴陰性変動（CNV）を用いた覚醒水準の評価力法に関する基礎的研究

審査委員会	幹事 教授 川北和明
	委員 助教授 綿貫茂喜
	委員 教授 佐藤陽彦

論文内容の要旨

ヒトが何らかの意識的な活動を円滑に行うためには、脳がある範囲内の覚醒水準を維持していることが必要である。近年、夜間の労働や交代制勤務などの従事者を対象に覚醒水準の研究が行われている。そしてこれらの研究では特に覚醒水準の低下が問題視されている。一方、労働の場としての多くの人々が働くオフィス環境において指摘されている様々なストレスは、必要以上に覚醒水準を増加させる可能性があり、この観点からも覚醒水準を評価する必要がある。

本論文では、脳電図（EEG）の中でも事象関連電位（ERP）に分類される随伴陰性変動（Contingent negative variation; CNV）に着目し、覚醒水準との関係について検討した。CNVは一对の予告刺激（S1）と命令刺激（S2）を一定の間隔で繰り返し被験者に呈示し、S2に対して運動反応を要求したときに出現する脳電位である。そしてCNVの特徴として、覚醒水準のあるレベルまでの上昇に対しては、CNV振幅も増加するが、覚醒水準が過剰に上昇するとCNV振幅は逆に減少する。即ちCNV振幅は、覚醒水準の変化に対して逆U字型の反応特性を示すことが報告されている。従来から覚醒水準とパフォーマンスの間の逆U字仮説はよく知られているが、これらの報告はCNVにも逆U字仮説が存在することを示唆する。また、著者の研究を含めた過去の研究から、このCNVに関する仮説は、パフォーマンスである反応時間に変化はみられない範囲でも成り立つことが推察された。本論文ではこの仮説を従来からの逆U字仮説に対して“新たな逆U字仮説”と呼び、さらにパフォーマンスに影響を与えない程度での高い覚醒水準を、過剰な覚醒水準になる前の状態として“余分な覚醒水準”と定義した。

従来からの覚醒水準の指標である自発脳波の周波数特性は、覚醒水準の上昇に対して速波化の反応というように一方向の反応しか示さないために、覚醒水準の高低の判断しきれなかった。しかし、覚醒水準の変化に対して逆U字型の反応を示すCNVを指標に加え、両指標から覚醒水準を評価することで、自発脳波からだけでは分からなかった余分な覚醒水準について評価が可能になると考えられる。そのためには、まず覚醒水準とCNV振幅の間の“新たな逆U字仮説”の検証が必要となる。したがって、本論文の目的は“新たな

逆U字仮説”の検証と、課題遂行時の“余分な覚醒水準”を評価することにある。

その際、実際の作業現場において覚醒水準を変動させる要因として環境要因と課題要因が挙げられるが、この二つの要因から“新たな逆U字仮説”の検証が望ましい。そして、検証のための実験条件には、覚醒水準を段階的に変化させることができること、また反応時間に影響を及ぼさない範囲の条件設定が必要であることを考慮して、環境要因には刺激の強弱によって覚醒及び鎮静効果があり、段階的な条件設定が可能な光刺激を用いた。また、課題要因には段階的な覚醒水準の低下が予想される長時間連続課題を用いた。

最初に、環境要因である光の明るさによって変化する覚醒水準とC N Vの間の“新たな逆U字仮説”について検証した。被験者の眼前に呈示する光刺激の明るさは、輝度で10cd/m<sup>2</sup>、100cd/m<sup>2</sup>、320cd/m<sup>2</sup>、1000cd/m<sup>2</sup>、1800cd/m<sup>2</sup>の5条件とした。またC N V以外の覚醒水準の指標にはS1前の波率(波(8~13Hz)から波(13~20Hz)までの帯域パワー値に対する波帯域の相対パワー値)を用いた。なおこの波率はその値が小さければ覚醒水準が高いことを意味する。その結果、輝度の対数値と波率の間には有意な負の相関がみられ、輝度の上昇に対して覚醒水準が上昇していることが示された。しかも、この覚醒水準の変化は反応時間に影響を及ぼさない範囲に納まっていた。C N Vについては320cd/m<sup>2</sup>において低輝度条件の10cd/m<sup>2</sup>と高輝度条件の1000cd/m<sup>2</sup>に比べて有意に高いC N V振幅を示した。これらの結果から、覚醒水準とC N V振幅の間の“新たな逆U字仮説”の存在が示された。そして、低い波率から判断される高輝度条件における高い覚醒水準は、その時のC N V振幅が低いことから余分な覚醒水準と判断できた。

次に課題要因として用いた長時間連続課題による覚醒水準の変化と、C N Vの間の“新たな逆U字仮説”について検証した。この長時間連続課題は200試行の単純反応課題からなり、約40分の時間を要した。また、C N V以外の覚醒水準の指標にはS1前の波率と皮膚電位水準(S P L)を用いた。課題の繰り返しにより波率の増加とS P Lの減少により覚醒水準が低下した7名の被験者に関しては、覚醒水準の変化に対してC N V振幅は逆U字型の反応を示した。つまり前半の覚醒水準が高いときはC N V振幅は低く、中盤の覚醒水準が中程度の時にC N V振幅は最も高い値を示し、後半の覚醒水準が低いときは、前半と動揺に低い値を示した。しかも、パフォーマンスにその影響がみられなかったという点で“新たな逆U字仮説”の存在が示された。そして、高いS P L及び低い波率から判断できる作業前半の高い覚醒水準は、その時の低いC N V振幅から余分な覚醒水準であったと判断できた。

以上、二つの実験結果から環境要因と課題要因による覚醒水準の変化と、C N V振幅の間の“新たな逆U字仮説”が証明された。そして、この仮説の証明によりC N VとS1前の波率及びS P Lを用いて相補的に覚醒水準を評価することによって、反応時間課題時の“余分な覚醒水準”に関する新たな評価方法が提案された。

#### 論文審査の結果の要旨

脳の覚醒水準を客観的に知ることは適切な生活環境を設計する上で重要である。従来、

脳の覚醒水準はパフォーマンスや自発脳波から評価されてきた。しかしながら、今日では労働の軽作業化に伴い、パフォーマンスが低下するほどの劣悪環境は少ない。むしろ、照明や騒音等の環境要因や精神的緊張等の心理要因に基づいて、必要以上の覚醒状態が発生している。そのため、覚醒水準を評価する上で、パフォーマンスや自発脳波よりも精度の高い指標、例えば、必要以上の覚醒水準の有無を判断できる新たな指標が希求されている。

本論文は脳電図の中の事象関連電位の一つであり、覚醒水準をよく反映するとされる随伴陰性変動（CNV）に着目した。CNV振幅は覚醒水準と逆U字型の関係にあるという仮説（逆U字仮説）がある。その仮説とは、覚醒水準の上昇に伴ってCNV振幅は高くなるが、ある覚醒水準を越えると逆に低下すると共に、パフォーマンスも覚醒水準に対して逆U字型の変化を示すとするものである。しかし、この仮説は実証されていない。また、CNV振幅がピークを越えて減少し、パフォーマンスが低下した状態を過剰な覚醒状態という。しかし、パフォーマンスは変わらなくてもCNV振幅は低下する場合があるという報告もある。そこで、本論文は、パフォーマンスが変わらない状態でも、CNV振幅と覚醒水準との間の逆U字仮説は成立するか否かを検証し、さらに、CNV振幅と他の生理指標を相補的に用いることにより、脳の覚醒水準、特に必要以上の覚醒状態を評価する新しい方法の提案を目的とした。

CNV振幅の変化が逆U字を示すことを確かめるためには、覚醒水準を幅広く変動させる必要がある。本論文ではまずCNV振幅に関する文献調査を行った。その結果、覚醒水準を変動させる要因として環境要因と課題要因の2つがあることを示した。そこで、2つの実験が計画された。即ち、実験1では環境要因として光刺激を取り上げ、光（輝度）刺激の強度を、広い範囲で変化させた時のCNV振幅および心拍数を測定した。実験2では、長時間連続課題を行った時のCNV振幅と脳波および皮膚電位水準を測定した。なお、パフォーマンスは反応時間から評価した。

実験1では以下の成果が得られた。輝度によって反応時間は変らなかった。しかし、従来覚醒水準の指標である脳波の波率は輝度の上昇に伴って増加したが、CNV振幅は輝度の上昇に対して逆U字型の反応を示した。従って、パフォーマンスが変わらない状態でも、覚醒水準とCNV振幅の間には逆U字の関係があることが証明された。さらに、従来であれば波率の値から高い覚醒水準にあると判断される高輝度条件も、その時のCNV振幅が低いことから、必要以上の覚醒水準と解釈できた。実験2でも実験1と同様な成果が得られた。即ち、長時間課題によって、反応時間には変化はなかったが、従来の覚醒指標である波率とSPLは経時的に低下した。しかし、CNV振幅は時間経過に伴い逆U字型の反応特性を示した。即ち、課題要因においても覚醒水準とCNV振幅の間に逆U字の関係があることを証明した。また、波率とSPLが低下した状態は、従来の知見によれば高い覚醒状態と考えられるが、CNV振幅の低下と相補的にみることにより、必要以上の覚醒状態であると判断し得た。

これらの結果から、従来仮説の域を出なかった覚醒水準とC N V振幅との間の逆U字仮説を証明し、しかもこのことがパフォーマンスに違いが見られない覚醒水準においても成立することを見出した。これはこれまでにない成果として注目される。これによって、従来困難であった高い覚醒状態と、その中に含まれる必要以上の覚醒水準を 波率あるいはS P LとC N V振幅を併用することにより分離することが可能になった。これらの成果は、脳の覚醒水準を客観的に知ろうとする研究に貢献をするものと期待される。従って、本委員会は、本論文が博士（芸術工学）の学位を得るに値するものであることを認めた。

#### 最終試験の結果の要旨

本論文についての試験は、申請者に論文の概要について説明を求めた後、各審査委員が専門的視点により論文の内容および関連事項について質問したが、いずれも適切な回答が得られた。

次に人間工学および関連分野の研究者の出席のもとで、生活環境専攻主催の公開発表会が開かれ、申請者の発表に対して質疑応答が行なわれた。主な質問内容はC N Vの発生源はどこか、必要以上の覚醒はストレスの原因になるか等であったが、申請者から本論文の範囲内において質問者の納得のゆく説明が得られた。

以上の結果から、審査委員合議のうえ、試験は合格と決定した。

## 目次

第 I 章 —緒論—	1
I-1. はしがき	1
I-2. 脳電図(EEG)による覚醒水準の評価	2
I-3. CNV(随伴陰性変動)について	4
I-4. 研究の目的	6
I-4-1. 覚醒水準とCNVの間の“新たな逆U字仮説”	6
I-4-2. 新たな仮説の妥当性と必要性	8
I-4-3. CNVと覚醒水準の生理指標との関係	10
I-4-4. “新たな逆U字仮説”による覚醒水準の評価	11
I-5. 本論文の構成	13
第 II 章 —実験条件を設定するための文献的考察—	15
II-1. 環境要因とCNV	17
II-2. 課題要因とCNV	20
II-3. “新たな逆U字仮説”の検証 のための実験条件	24
第 III 章 —持続的な光刺激による覚醒水準の 変化がCNVに及ぼす影響—	26
III-1. 緒言	26
III-2. 方法	27
III-3. 結果	36
III-4. 考察	45

第IV章 一長時間連続課題(long-lasting task)による 覚醒水準の変化が CNV に及ぼす影響—	48
IV-1. 緒言	48
IV-2. 方法	50
IV-3. 結果	54
IV-4. 考察	65
第V章 総括	69
謝辞	72
引用文献	73

# 第 I 章

## 緒論

### I-1. はしがき

眠りと目覚めの事実からも明らかのように、ヒトが何らかの意識的な活動を円滑に行うためには、脳がある範囲内の活動レベルを維持していることが必要である。そして、この活動レベルを維持する働きを喚起(覚醒) arousal という。そして、居眠り状態から警戒状態を経て極度の興奮状態までの様々な段階を覚醒水準 arousal level と呼ぶ。

普段の生活の中で青信号で進んだり、赤信号で止まったりするように、外界からの刺激に対して知覚、判断、行動という一連の反応を適切に行うことができるのは、この覚醒水準が背景にあることは言うまでもない。24時間社会と言われて久しい中、この覚醒水準が特に重要視されたのは、単調で眠気を誘発するような深夜の監視作業や長距離ドライブなどのように、覚醒水準の低下により外界の変化や刺激に対して的確に反応ができなくなることによって大惨事を招くような作業現場においてであった。そして、それは今日においても変わらない(Martin, 1992)。

しかしながら、覚醒水準が重要になるのはこのように眠気を催すような環境だけではない。現在の作業形態は肉体作業から精神作業へと移行するとともに、労働の場も工場からオフィスへと移ってきた。では、オフィスという作業現場において覚醒水準という考えは必要であろうか。オフィスアメニティという言葉が聞かれるようになって、オフィス環境における様々なストレスが指摘されるようになった(佐藤, 1989)。それらの中には物理環境に起因するものもあり、光環境、音環境、温熱環境、空気質などが挙げられている(坂本, 1989)。これらの物理環境は覚醒水準に作用する。まぶしい光や大きな騒音、あるいは刺激臭などの物理刺激はストレスを伴う不快な刺

激として情動に働きかけ覚醒水準を上昇させる。そして、この適正水準を超えた覚醒水準はパフォーマンスの低下をもたらす。Hebb(1955)は低い覚醒や高すぎる覚醒は行動統合への効果が悪く、中程度の覚醒レベルに最適効果があり、生体はこの適度の覚醒を求める傾向にあることを示唆した。

知覚, 認知, 行動を伴うような作業現場において, 能率よく快適に作業を行うためには適度な覚醒水準を維持することが必要である。そのためには, 覚醒水準を種々の作業や環境の中で客観的にとらえ, 評価する必要がある。

## I - 2. 脳電図 (EEG) による覚醒水準の評価

覚醒は脳における電氣的活動の反映であると考えられており, 覚醒水準は脳電図 (Electroencephalogram; EEG) を指標とすることで, ある程度客観的に捉えることができる。そして, 大脳皮質表面から記録される脳電図は, 大きく分けて自発脳波と事象関連電位 (Event-Related Potential; ERP) に分類できる。

自発脳波は持続的かつ自発的な脳電位で背景脳波とも呼ばれ, 覚醒水準の指標として広く用いられる。一般的に周波数の低い方から  $\delta$  波 (0.5~3Hz),  $\theta$  波 (4~7Hz),  $\alpha$  波 (8~13Hz),  $\beta$  波 (14~30Hz) に分類される。 $\alpha$  波は閉眼安静時や覚醒水準が低い時に優位に出現する。一方, 覚醒水準が高い時, すなわち興奮状態や精神作業時では脳波は低振幅速波化し  $\beta$  波が優勢となる。

一方, 事象関連電位は光や音などの感覚刺激の呈示や, それによって引き起こされる心理的な事象に関連して出現する脳における一過性の集合電位である。この電位は自発的な脳波に混在して現れるために, 通常 of 脳波の記録からは確認し難い。従って, 刺激を繰り返し与え, 刺激時点を基準に数回から数十回の加算平均によって, 刺激に関連した電位だけが明瞭に現れる。

この事象関連電位は外因性電位と内因性電位に分類できる。外因性電位は感

覚刺激などの外的事象に関連して刺激の呈示から約100ms以前の短い潜時をもって出現する電位で、一般に誘発電位と呼ばれる。この誘発電位には視覚誘発電位、聴覚誘発電位、体性感覚誘発電位などがある。一方、内因性電位は感覚刺激にある意味情報を与えることによって、期待、注意、認知などの特別な心理状態を引き起こした場合に、刺激呈示から約100ms以降の長い潜時をもって出現する電位である。この内因性の事象関連電位には随伴陰性変動(Contingent Negative Variation; CNV)、準備電位(Readiness Potential; RP)、P300などがある。

刺激の知覚や刺激に対して脳内で行われる情報処理過程などの反応過程を客観的に捉える場合、刺激と脳電図の対応がみやすい事象関連電位の方が、自発脳波に比べて望ましい。さらに、刺激の知覚と覚醒水準は密接に関連しており、身体の内外から伝達される感覚信号の一部は、脳の覚醒を維持する脳幹網様体賦活系(Moruzzi and Magoun, 1949)を駆動することによって覚醒水準を高める。そしてこの高まった覚醒水準が刺激の知覚を助ける。つまり、刺激の知覚と対応がある事象関連電位は覚醒水準の影響を受けると考えられる。

本論文では、以上の観点から覚醒水準と事象関連電位の関係について、特に覚醒水準を支配する脳幹網様体賦活系に起源があると言われる CNV(片山ら, 1976)に着目し、覚醒水準との関係について検討した。

### I-3. CNV(随伴陰性変動)について

CNV は Walter et al. (1964)によって初めて発表された脳電位である. 図 I-1に CNVの発現に関する彼らの実験を示す. A, Bは各々単発の音刺激と光刺激が与えられた場合の脳波であるが, これらは刺激に対する一過性の変化で, すぐに消失する. Cは音と光の刺激を組み合わせた時の脳波であるが, AとBを重ねたものと同じである. しかし, 2番目の光刺激に対して迅速なボタン押し反応を求めたDの脳波には, 陰性方向への電位変動がみられる. Walter et al. (1964)はこの音刺激と光刺激の間には, ある種の特別な心理的な構えが発生することからこの電位を, “期待”に関連する電位であると結論付けた. そして, 二つの刺激に付随した陰性変動という意味で contingent negative variation と命名した. なお, この二つの刺激

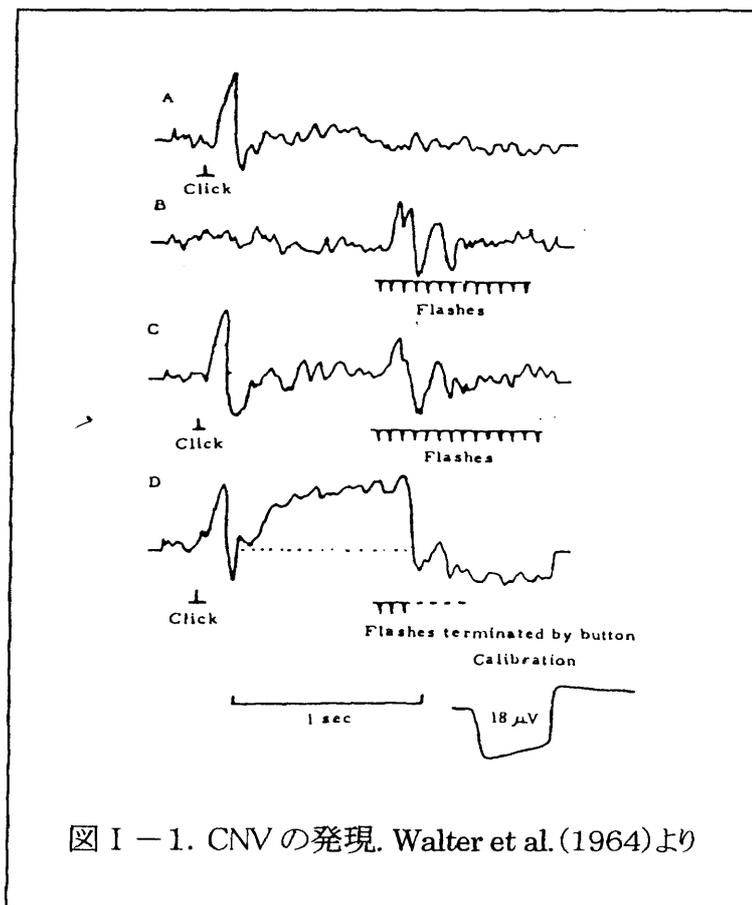


図 I-1. CNVの発現. Walter et al. (1964)より

のうち、最初に与えられる刺激は予告刺激(S1)と呼ばれ、2番目に与えられる刺激は命令刺激(S2)と呼ばれる。また、CNVを誘発するための“S1-S2-ボタン押し反応”などの課題の種類や様式はCNVパラダイムと呼ばれる。

Walter et al. (1964)によるCNVの発表以来、CNVは意欲感(Low et al., 1966)、動機づけ(Irwin et al., 1966)、注意や覚醒水準(Tecce, 1972)などと関連付けられた。

CNVが発見された当初、CNVは単一成分から成ると考えられていた。しかし、その後の研究によりCNVは潜時と頭皮上分布が異なる2つの成分から構成されていることが分かった(Järvilehto and Fruhstorfer, 1970; Loveless and Sanford, 1974; Rohrbaugh et al., 1976)。その一つは、S1後約400~800msecに前頭部優位に出現する成分で、S1によって引き起こされたERPであり、S1に対する定位反応と考えられている(Loveless and Sanford, 1975)。この成分は早期CNVと呼ばれ、覚醒水準と関連付けた多くの報告が存在する(Tecce, 1972; 山本ら, 1982; 金村ら, 1987; 佐藤ら, 1993)。また、もう一つの成分はS2刺激の約1秒前から頭皮上の中心部に優位に出現し、S2後の運動反応に対する運動準備電位(Rohrbaugh et al., 1976)に予期や注意といった心理過程を反映した電位が複合して現れる成分と考えられている(Nakamura et al., 1976; 下河内, 1981)。この成分は後期CNVと呼ばれる。また、CNVの発生機序は覚醒水準と強い関連がある脳幹網様体が関与していると考えられている(片山ら, 1976)。

なお、このCNVの値には一般的に振幅(amplitude)という言葉が使われているが、厳密に言うとCNVは波形ではないために、この振幅という言葉は適当ではないと考えられる。しかしながら、近年においても多くの学術論文の中でCNVの値は振幅で表現されている。したがって、本論文においても過去の論文に従い、CNVの値は振幅(amplitude)で表現することとした。

## I-4. 研究の目的

### I-4-1. 覚醒水準とCNVの間の“新たな逆U字仮説”

従来、概念的に覚醒水準とパフォーマンスの間には逆U字型の関係があると考  
えられている(Hebb, 1955) (図 I-2, 下). この図は、眠気や居眠り状態のように  
覚醒水準が低すぎる時や、逆に恐怖や興奮状態のように覚醒水準が高すぎる時  
にはパフォーマンスは低く、高いパフォーマンスには至適な覚醒水準が存在するこ  
を意味する. Tecce(1972)はパフォーマンスではなく、CNV においても覚醒水準と  
間に逆U字型の関係を推察した. つまり、この覚醒水準と CNV 振幅の間の逆U字  
仮説は、覚醒水準が低すぎても高すぎても CNV 振幅は低い値を示し、覚醒水準が  
中程度の時に CNV 振幅は高い値を示すことを意味する. そして、この報告では反  
応時間というパフォーマンスの低下を伴っている.

しかしながら、反応時間に差がない場合においても CNV 振幅が増加、または減  
少することを報告した研究がある(樋口, 1994a; Deguchi and Sato, 1992). すなわ  
ち、パフォーマンスが低下しない範囲においてなお、詳細な覚醒水準を評価でき  
る余地が残されていると考えられる.

今日のオフィス環境では、騒音、照明、温熱環境が複雑に交差する複合環境で  
はあるが、パフォーマンスが低下するほどの極端な環境はあまりみられない. 従っ  
て作業環境を快適にする上で、CNV に関する逆U字仮説はパフォーマンスの低下が  
見られない程度の実験条件において検証されるべきである. しかしながら、この視  
点に立った研究は未だに行われていない. そこで、本論文ではパフォーマンスが変  
化しない覚醒水準の範囲において、CNV 振幅が逆U字関係を示すのではないかと  
いう“新たな逆U字仮説”(図 I-2, 上図)を提案し、その仮説を証明することを第一  
の目的とする. もし、この仮説が実証された場合には、逆U字のピークを越えた覚  
醒は Tecce(1972)の言う過剰な覚醒水準の状態とは異なる余分な覚醒水準として  
評価することができると考えられる.

なお、本論文の中で用いる過剰な覚醒水準とは、Tecce(1972)の研究にみられるように、パフォーマンスに影響を与える程の高い覚醒水準を意味する。一方、余分な覚醒水準とはパフォーマンスには影響を与えない範囲での高い覚醒水準を意味する。

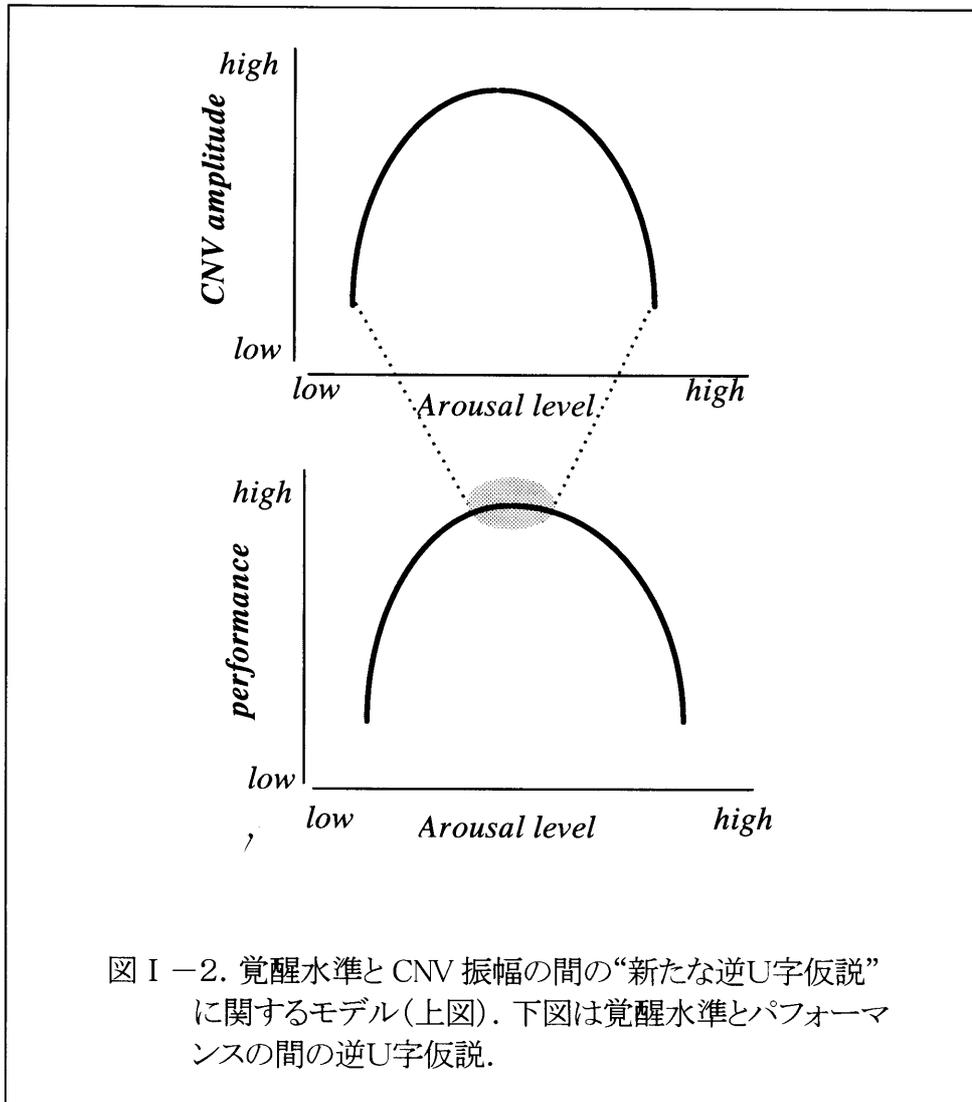


図 I - 2. 覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”に関するモデル(上図). 下図は覚醒水準とパフォーマンスの間の逆U字仮説.

#### I-4-2. 新たな仮説の妥当性と必要性

従来の CNV に関する研究の間では異なる見解が多い。すなわち、覚醒水準の増加と CNV 振幅が正の関係にあると思われる研究 (Ashton et al., 1974; Deguchi and Sato, 1992; 樋口, 1994 a; 福田ら, 1985; Janssen et al., 1974; 金村ら, 1986; 中村と福居, 1979; 緒方ら, 1987; Rebert et al., 1976; 高木ら, 1991; Timsit-Berthier et al., 1980; Wilkinson and Haines, 1970; 山本ら, 1982) と、反対に負の関係にあると思われる研究 (Brix et al., 1979; 樋口, 1994 a; Janssen et al., 1978; Miller et al., 1973; 中村と福居, 1979; 佐久間, 1989; Tecce and Scheff, 1969; Tecce and Hamilton, 1973; Tecce et al., 1976; Weerts and Lang, 1973) が存在する。そこで、覚醒水準を横軸に、CNV 振幅を縦軸にとり、過去の研究を逆 U 字曲線の増加部分と減少部分に当てはめた (図 I-3)。なお、増加部分とは覚醒水準と CNV の関係が正の関係にある範囲 (逆 U 字曲線の左側) を意味し、減少部分とは負の関係にある範囲 (逆 U 字曲線の右側) を意味する。また、横軸の覚醒水準の高低に関する具体的な資料は明確でないために、文献に示されている実験条件から判断した。

図 I-3 に示すように、過去の研究はそれぞれの実験を逆 U 字の増加部分と減少部分に分類することで説明ができる。ただし、これらの研究においてはパフォーマンスの低下を伴うものも含まれている (佐久間, 1989; 高木ら, 1991; Tecce, 1976; Wilkinson and Haines, 1970; 山本ら, 1982)。さらに覚醒水準を連続的に変化させた研究は未だにみられない。したがって、パフォーマンスが変化しない範囲で覚醒水準を連続的に変化させる過程で、覚醒水準と CNV の間の“新たな逆 U 字仮説”を証明する必要がある。

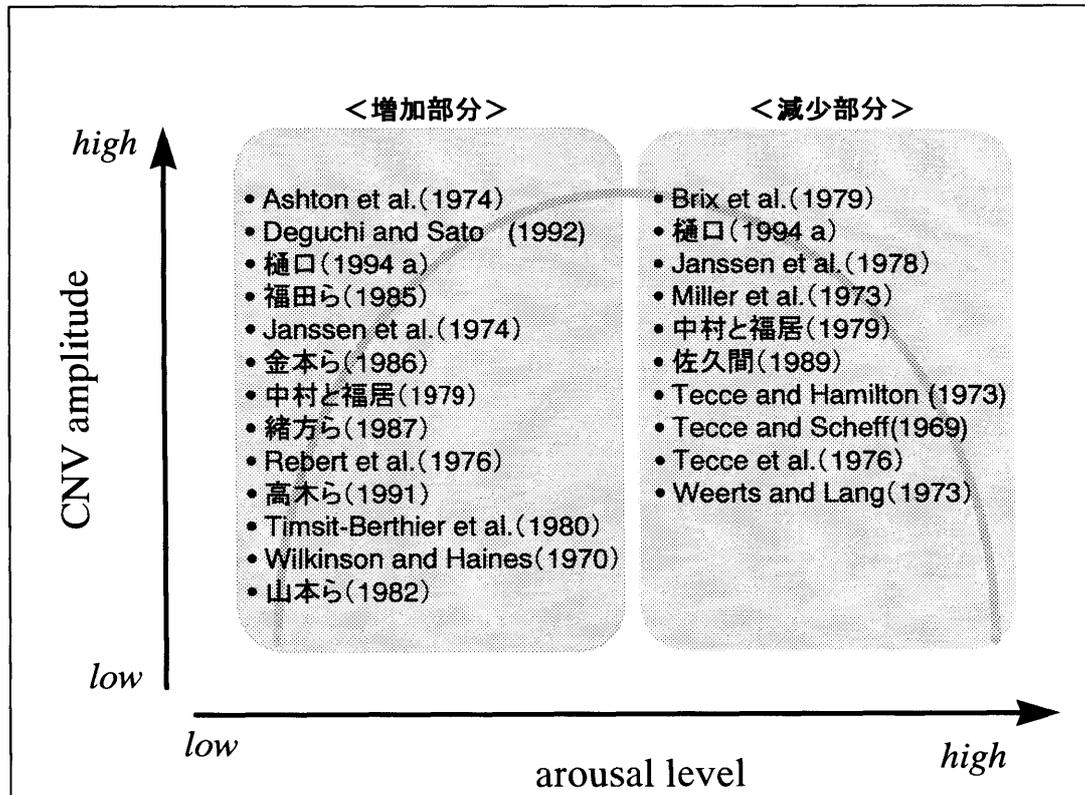


図 I - 3. 覚醒水準の変化に対する CNV の変化(過去の研究から)  
 増加部分(図の左側)は覚醒水準の増加に対して CNV 振幅も増加.  
 減少部分(図の右側)は覚醒水準の増加に対して CNV 振幅は減少.

### I-4-3. CNVと覚醒水準の生理指標との関係

覚醒水準と CNV の間の“新たな逆U字仮説”を検討する場合において、覚醒水準の変化を客観的に判断できる生理指標を用いる必要がある。なぜなら、CNV 振幅が覚醒水準の変化に対して逆U字型の反応を示すということは、覚醒水準が低い場合と高い場合で同じ CNV 振幅を示す可能性があるために、CNV 振幅からだけでは覚醒水準の高低が判断できない場合があるからである。

覚醒水準と CNV 振幅の間の逆U字関係において、その減少部分(図 I-3 参照)と他の生理指標との関連について、Tecce et al.(1976)は注意散乱状態において CNV 振幅の減少と同時に心拍数の増加と反応時間の遅延が見られたことから、この CNV 振幅の減少を過剰覚醒による影響とした。また、自発脳波との対応で、弁別反応課題のエラー反応時に CNV 振幅の減少と $\alpha$ 波の減衰が同時に認められている(佐久間, 1989)。さらに、著者の研究(樋口, 1994 a)においてもホワイトノイズによる高い覚醒によって引き起こされた CNV 振幅の減少と自発脳波の速波化を示す $\alpha$ 波率( $\alpha$ 波(8~13Hz)から $\beta$ 波(13~20Hz)までの周波数帯域のパワー値に占める $\alpha$ 波パワー値の割合)の減少を同時に確認した。

一方で、逆U字関係の増加部分(図 I-3 参照)と他の生理指標との関連においては、香りの覚醒効果と鎮静効果に伴う CNV の変化に皮膚電位水準(Skin potential level; SPL)が対応していたという結果が示された(金村ら, 1987)。また、喫煙による CNV 振幅の増加と同時に、心拍数と血圧の増加も報告された(Ashton et al., 1974)。

以上のように、高い覚醒水準による CNV 振幅の減少(新たな逆U字仮説の減少部分)は、交換神経系の活動の増加や脳波の速波化によってある程度確認できるかもしれないことが示された。したがって、“新たな逆U字仮説”の証明に当たり、余分に覚醒した状態を判断するための指標として、大脳皮質の活動レベルの指標としては自発的な脳波活動が、また自律神経活動の指標として心拍数、SPLなどが有効ではないかと思われる。

#### I-4-4. “新たな逆U字仮説”による覚醒水準の評価

この“新たな逆U字仮説”を証明し、その存在を確認する事ができれば覚醒水準の評価法としての新たな知見を得ることができると考えられる。その説明モデルを図I-4に示す。ある異なる3つの環境条件A, B, Cのもとで、覚醒水準の変化に対して直線的な変化を示す指標を用いて、反応時間課題遂行時の覚醒水準を評価した場合、図I-4の様な結果が得られたとする(図の右の縦軸は CNV 以外の覚醒水準の指標を示し、その値が高いほど覚醒水準は高いと判断する)。この CNV 以外の指標からだけでは、覚醒水準はC, B, Aの順で高いということしか分からない。しかし、CNV と覚醒水準の間の“新たな逆U字仮説”が成り立つとした場合、A, Bの関係はCNVも他の覚醒水準の指標も変わらないが、Cの条件になると他の指標でその値が高くなっている(覚醒水準が高まっている)にも関わらず、CNV 振幅は低い値を示している。つまり、この状態は余分な覚醒状態と判断できる。また、この判断は CNV だけを見ても分からない。なぜならば、AとCでは明らかにその状態は異なっているにもかかわらず、同じ値を示す可能性があるからである。つまり、CNV と他の覚醒水準の指標を合わせて、相補的に判断することで、従来までは困難であった余分な覚醒水準についての評価が可能になると考えられる。

本研究は、CNVと覚醒水準を反映する他の指標を同時に測定し、相補的に各々の覚醒水準を評価することによって、パフォーマンスが変化しない範囲における新たな覚醒水準の評価を試みることを目的とする。そのためには、まず覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”の検証が必要となる。

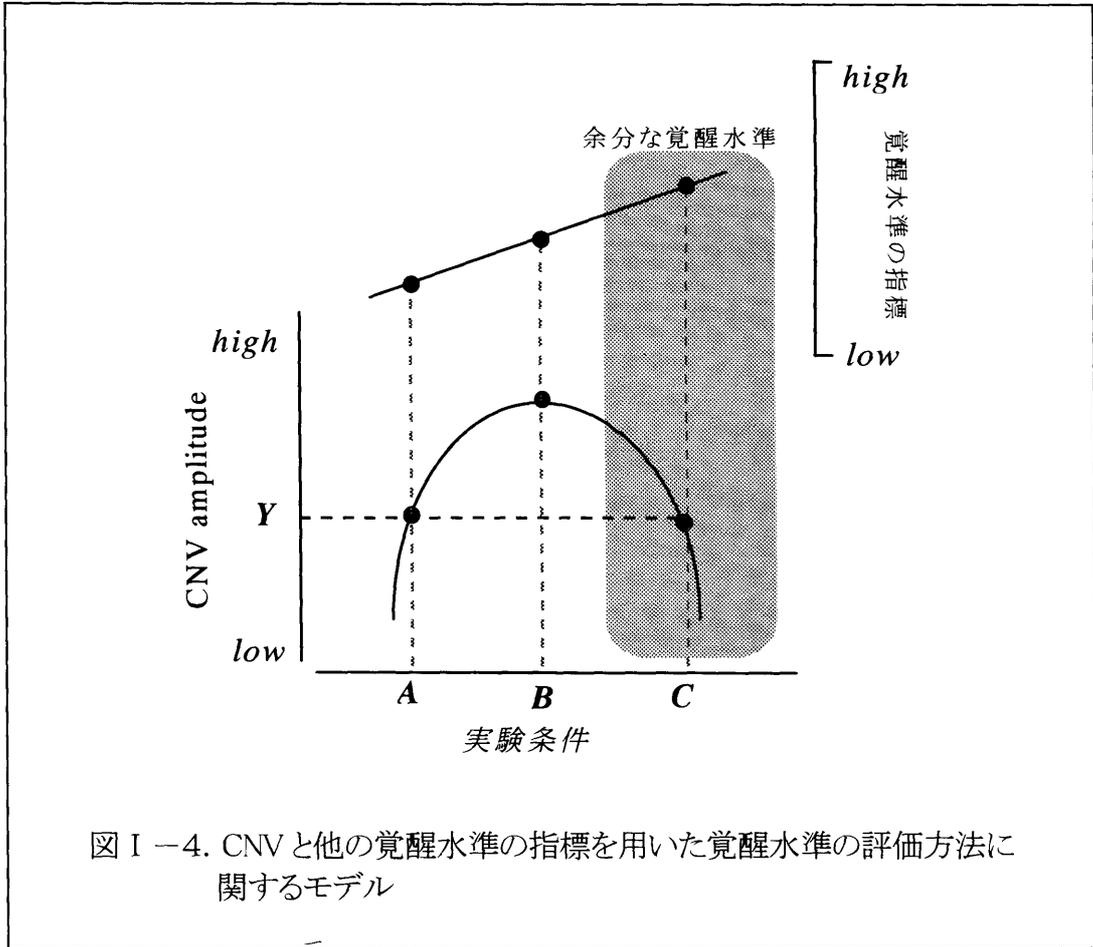


図 I - 4. CNV と他の覚醒水準の指標を用いた覚醒水準の評価方法に関するモデル

## I-5. 本論文の構成

本論文の題目は、「随伴陰性変動(CNV)を用いた覚醒水準の評価方法に関する基礎的研究」とし、全5章により構成する。各章の内容は次の通りである。

第I章では、本研究の背景に言及し、種々の作業や物理環境の中での覚醒水準の客観的な評価指標として、事象関連電位の一種である随伴陰性変動(CNV)に着目した。そこで、従来いわれているパフォーマンスと覚醒水準の間にみられる逆U字仮説の中から、パフォーマンスが変化しない範囲の覚醒水準において CNV 振幅が逆U字型の変化を示すのではないかという“新たな逆U字仮説”を提起した。さらに“新たな逆U字仮説”を検証することの妥当性と必要性について明らかにし、その仮説を利用した具体的な覚醒水準の評価方法について述べた。

第II章では、第I章で提起した覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”を検証するための実験条件について文献考察した。その際、実際の作業現場において環境の要因と作業の要因が覚醒水準を変動させる主な要因として考えられるために、この二つの要因に関連した文献について考察した。また、“新たな逆U字仮説”の検証のためには、覚醒水準を段階的に変化させる条件設定と、パフォーマンスに変化がみられない範囲の条件設定が必要である。以上の点を考慮して、環境要因と作業要因から、それぞれ適切な条件を文献考察により提案した。

第III章「持続的な光刺激による覚醒水準の変化が CNV に及ぼす影響」では、環境要因の観点から“新たな逆U字仮説”の検証を行った。その際、実験条件として光刺激を用いた。なぜなら、光刺激は明るさの強度によって鎮静効果と覚醒効果の両方が期待でき、さらに段階的な条件設定が可能だからである。また、CNV 以外の覚醒水準の指標には、S1刺激前の自発脳波と心拍数を用いた。さらに、これらの指標を使って余分な覚醒水準に対する新たな評価方法についても検討した。

第IV章「長時間連続課題(long-lasting task)による覚醒水準の変化が CNV に及ぼす影響」では、課題要因の観点から“新たな逆U字仮説”の検証を行った。実験

条件には覚醒水準を漸進的に変化させることが可能な長時間連続課題を用いた。また CNV 以外の覚醒水準の指標には, S1刺激前の自発脳波と SPL を用いた。さらに余分な覚醒水準に対する新たな評価法についても検討した。

第V章では, 覚醒水準と CNV の間の“新たな逆 U 字仮説”について, 本研究で得られた結果を総括した。さらに, CNV を用いた覚醒水準の評価方法に関して今後の可能性について検討を加えた。

尚, 第三章は日本生理人類学会誌「APPLIED HUMAN SCIENCE Journal of physiological Anthropology」16巻2号に掲載される「Effects of Changes in Arousal Level by Continuous Light Stimulus on CNV」(Higuchi, S., Watanuki, S., Yasukouchi, A. and Sato, M., 1997)に基づいている。

また, 第四章は日本生理人類学会誌「APPLIED HUMAN SCIENCE Journal of physiological Anthropology」16巻1号に掲載される「Effects of Reduction in Arousal Level Caused by Long-lasting Task on CNV」(Higuchi, S., Watanuki, S., Yasukouchi, A., 1997)に基づいている。

## 第Ⅱ章

### 実験条件を設定するための文献的考察

オフィスなどの精神作業を伴う作業環境において、覚醒水準を変動させる大きな要因として外部環境と作業の特性が考えられる。つまり、環境の複雑化及び環境からの物理的な刺激量の増加は覚醒水準を上昇させ、反対に環境の単調化や刺激量の減少は覚醒水準を低下させると考えられる。また、作業の特性については複雑な作業は覚醒水準を上昇させ、逆に単調な作業は覚醒水準を低下させると考えられる。従って、覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”は、覚醒水準を変動させる要因である外部環境や作業特性の両面から検討される必要がある。

そこで、外部環境と作業の特性の観点から、CNV に関する過去の文献を整理した。その結果、外部環境の違いによって CNV 振幅が増減したという環境要因に関連した報告と、課題の複雑性等に関連して CNV 振幅が増減したという課題要因に関連した報告があった(表Ⅱ-1)。

ところで、本論文の目的である覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”を検証するためには、パフォーマンスに違いがないことが必要条件となる。従って、パフォーマンスの変化にも注意しながら、表Ⅱ-1に示した研究例を基に、“新たな逆U字仮説”の検証のための条件設定について検討した。ただし、ここに示した論文の中にはパフォーマンスについての結果が記載されていないものがいくつかあり、それらについては CNV の変化のみから検討した。

表 II - 1. 環境要因と課題要因に関連した過去の研究

環境要因
<ul style="list-style-type: none"> <li>・鎮静効果がある香りで CNV 振幅は減少, 覚醒効果がある香りで増加. 福田ら(1985), 金本ら(1986), 緒方ら(1987)</li> <li>・高色温度照明において低色温度照明に比べて CNV 振幅の増加. Deguchi and Sato (1994), 樋口 (1994 a)</li> <li>・低圧低酸素環境により CNV 振幅の減少. 高木ら(1991)</li> <li>・ホワイトノイズによる CNV 振幅の減少. Brix et al. (1979), 樋口 (1994 a), Janssen et al. (1978)</li> <li>・背景音楽により CNV 振幅の減少. Miller et al. (1973)</li> </ul>
課題要因
<ul style="list-style-type: none"> <li>・課題の難度の増加により CNV 振幅の増加(外向者)と減少(内向者). 中村と福居(1979)</li> <li>・誤反応時における CNV 振幅の減少. 佐久間(1989)</li> <li>・注意散乱刺激による CNV 振幅の減少. McCallum and Walter (1968)</li> <li>・二次課題の付加による CNV 振幅の減少. Tecce and Scheff(1969), Tecce and Hamiltton (1973), Tecce et al. (1976)</li> <li>・CNV 測定の繰り返しによる CNV 振幅の減少(外向者)と増加(内向者). Janssen et al. (1978)</li> <li>・長時間連続作業による CNV 振幅の減少. Timsit-Berthier et al. (1980), Wilkinson and Haines (1970)</li> </ul>

## II-1. 環境要因と CNV

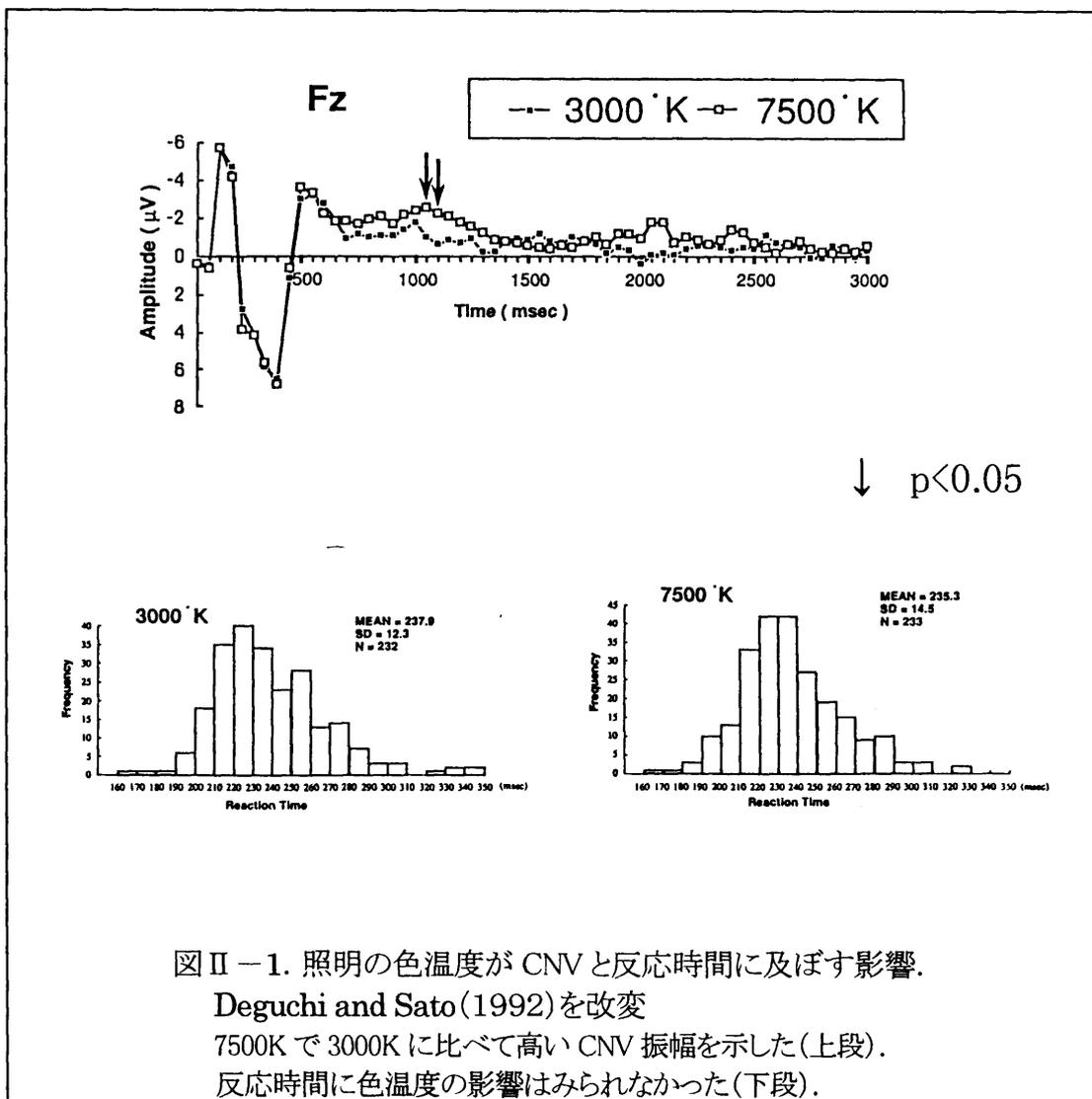
CNV に影響を及ぼす外部環境要因については、鳥居(1986)を中心とした香料の研究が多く報告されている。福田ら(1985)は、経験的に鎮静効果があると言われるラベンダーは CNV 振幅を減少させ、覚醒効果があると言われるジャスミンは CNV 振幅を増加させたことを報告した。また、その後の香りに関する一連の報告(緒方ら, 1986; 金村ら, 1987; Shimokochi et al., 1990)は、香りの持つ覚醒効果は CNV 振幅を増加させ、逆に鎮静効果のある香りは CNV 振幅を減少させることを示した。ただし、これらの香料に関する一連の論文の中では反応時間の結果について触れられていないため、香料が覚醒水準に及ぼす影響が反応時間に影響を及ぼす程の強さだったかどうかは分からない。

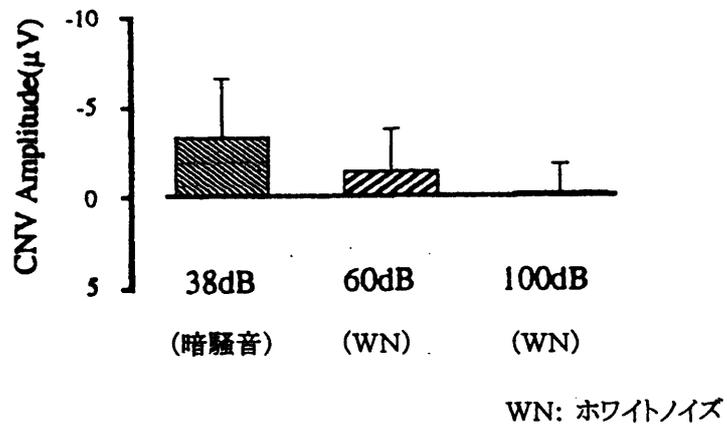
Deguchi and Sato(1992)や樋口(1994 a)は照明環境において、暖色系の低い色温度(3000K)下での CNV は寒色系の高い色温度(7500K)下の CNV に比べて低い振幅を示したが、反応時間には色温度の影響がなかったことを報告した(図 II-1)。また、脳の活動水準を低下させると言われる低圧低酸素環境下では CNV 振幅は減少し、それと同時に反応時間の遅延も認められている(高木ら, 1991)。

一方、覚醒水準を上昇させるような外部からの環境刺激によって CNV 振幅が減少した報告がある。CNV 測定時にホワイトノイズを付加することによって CNV 振幅は減少することが報告されている(Brix et al., 1979; Janssen et al., 1978; 樋口, 1994 a)(図 II-2)。また、背景音楽(BGM)によっても CNV 振幅は減少した(Miller et al., 1973)。これらの論文の中で、パフォーマンスである反応時間について触れている樋口(1994 a)は、ホワイトノイズは反応時間に影響を及ぼさなかったことを報告した。

以上、環境要因に関連した文献は、環境が持つ覚醒及び鎮静効果が CNV に影響を与えることを示した。つまり、環境が鎮静効果を持つ場合は CNV 振幅が減少す

るが、環境が覚醒効果を持つ場合、CNV 振幅が増加するという報告と減少するという報告の二通りの研究が存在することが示され、環境がもたらす覚醒水準の変化と CNV 振幅の間には逆U字型の関係が存在することが示された。さらに、Deguchi and Sato(1992)や樋口(1994 a)の報告は、反応時間に外部環境の影響がみられない範囲においても CNV に変化が見られたことから、覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”の存在が示唆された。





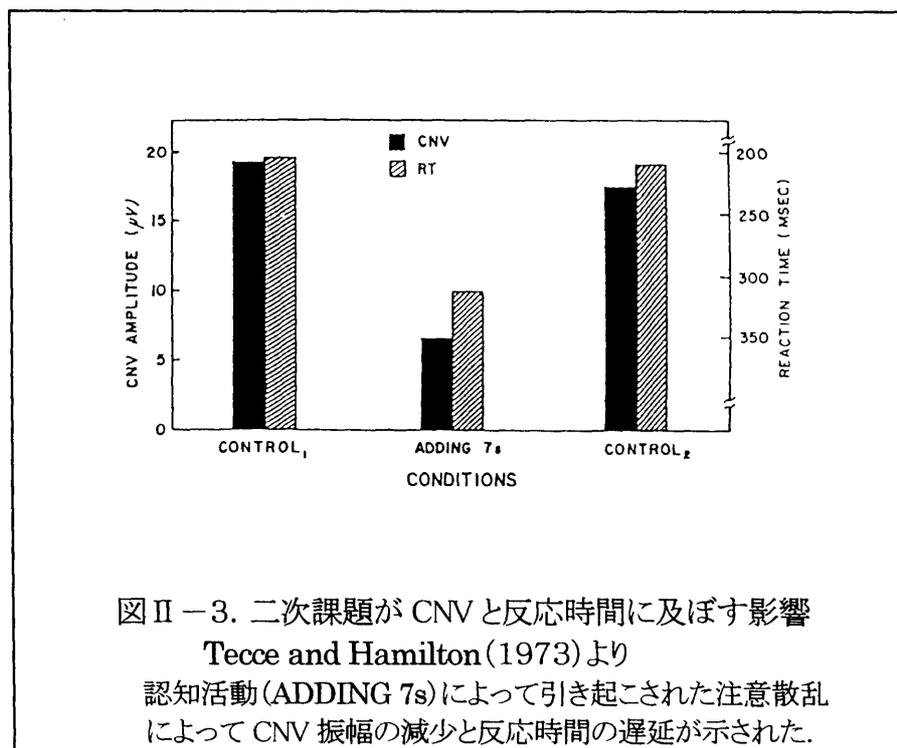
図Ⅱ-2. ホワイトノイズが CNV に及ぼす影響  
樋口(1994 b)を改変  
ホワイトノイズによる CNV 振幅の低下が示された。

## II-2. 課題要因と CNV

課題要因による覚醒水準の変動に関しては、CNV の測定に伴う課題(S1(予告刺激)－S2(命令刺激)－ボタン押し反応)に、S2に対する単純反応課題ではなく、数種類の異なるS2の中からある特定のS2にのみ反応する弁別反応課題などのより複雑な課題を用いることによって、覚醒水準を上昇させることが可能である。反対に、課題を単調化することで覚醒水準を低下させることも可能である。実際に文献調査によって、CNV の課題を複雑にすることによって CNV に影響がみられた研究、また CNV の課題に注意散乱刺激や二次課題を付加することで CNV に影響がみられた研究、さらに、単調な課題を長時間繰り返すことによって CNV に影響がみられた研究に大きく分類できた。

まず、課題の複雑性に関連した研究について、課題の複雑性が増すと CNV 振幅が増加する(McCallum and Papakostopoulos, 1973)。また、中村と福居(1979)は神経症的傾向が弱い被験者においては、弁別課題が複雑になるに従い CNV 振幅は増加したが、逆に神経症的傾向が強い被験者は CNV 振幅が減少したことを報告した。さらに、佐久間(1989)は弁別課題反応のエラー反応時に CNV 振幅が減少したことを報告した。反応時間に関しては、課題が複雑になることによって反応時間は遅延する(佐久間, 1989)が、これは単純反応より弁別反応の方が反応時が遅延するのは当然のことであり、この反応時間の遅延を単純に覚醒水準と関連付けることはできない。

次に、注意散乱刺激や二次課題の付加について、McCallum and Walter (1968)は CNV の測定中に課題に関連がない不規則な音刺激を与えたり、被験者に話しかけることによって CNV 振幅が減少したことを報告した。また、CNV の課題と別に簡単な暗算や記憶作業などの二次課題の付加によっても CNV 振幅の減少と、反応時間の遅延がみられた(Tecce and Scheff, 1969; Tecce and Hamilton, 1973; Tecce et al., 1976)(図 II-3)。

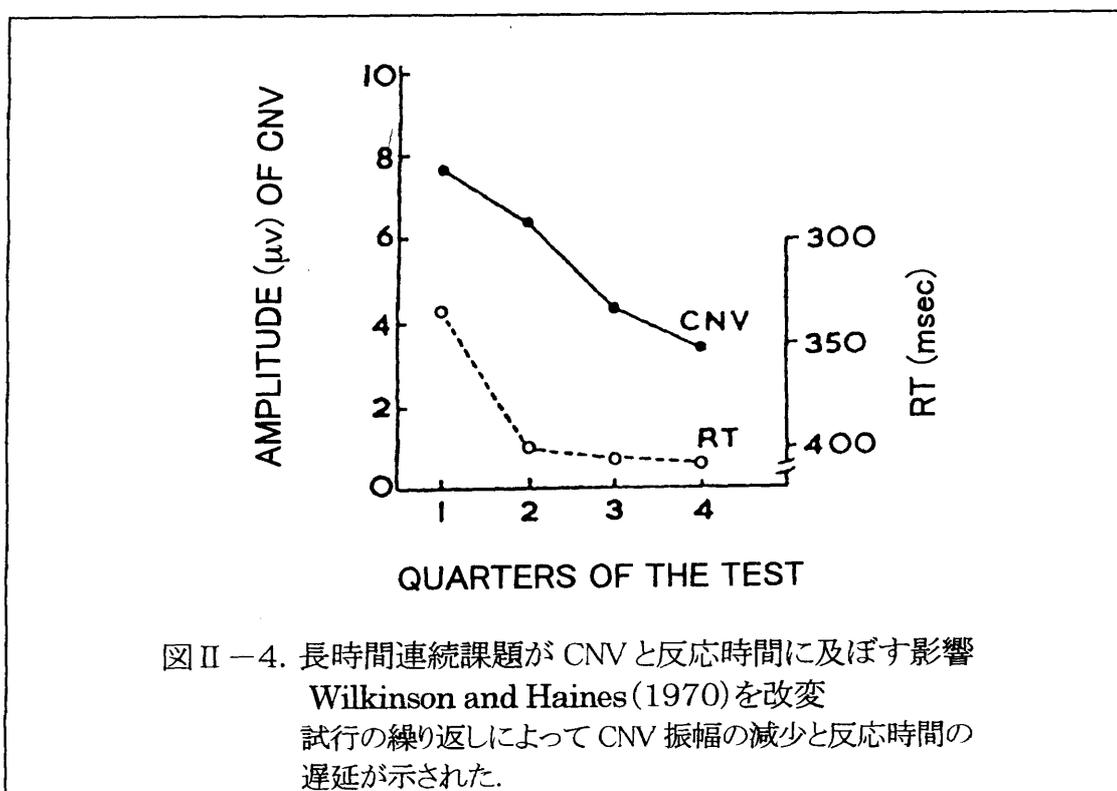


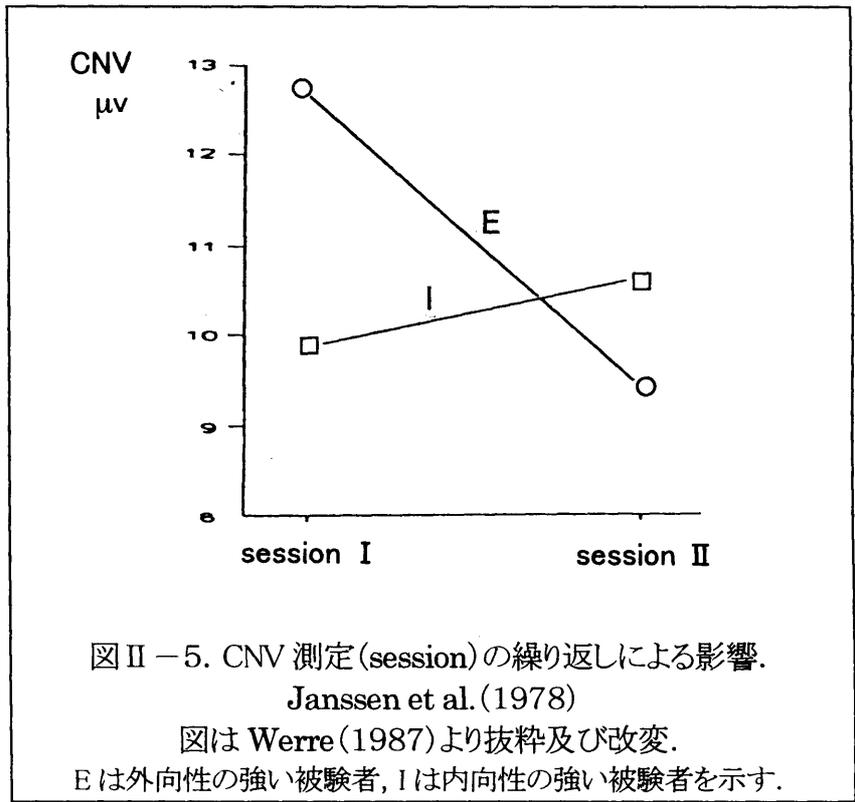
最後に、覚醒水準の低下を引き起こすような課題については、CNV の測定を長時間連続して繰り返すことによって、CNV 振幅が減少し(Wilkinson and Haines,1970; Timsit-Berthier et al., 1980)、同時に反応時間も遅延することが報告された(Wilkinson and Haines,1970)(図Ⅱ-4)。また、性格との関わりで、外向性が強い被験者は2回の測定のうち2回目の測定で CNV 振幅が減少したが、反対に内向性が強い被験者は2回目の測定で CNV 振幅が増加した。(Janssen et al., 1978)(図Ⅱ-5)。

以上のように、CNV への課題要因の影響に関しては、覚醒水準の上昇が考えられる場合(課題の難易度の増加)において、CNV 振幅の増加と減少の両方の結果が報告された(中村と福居, 1979)。また覚醒水準の低下が考えられる場合(繰り返し測定)においても、CNV 振幅は増加と減少の両方の結果が報告された(Janssen et al., 1978)。このように与えられる課題が同じ条件でも異なる結果が得られた理由

には、被験者の性格が強く関与している。外向性の強い被験者は大脳の覚醒水準が慢性的に低く、内向性の強い被験者は覚醒水準が慢性的に高い (Eysenck, 1967) ことから、内向的な被験者は外向的な被験者に比べて、過剰な覚醒水準を引き起こしやすいと思われる。さらに、Werre (1987) は内向的な被験者は CNV の測定開始の時点ですでに高い覚醒状態 (逆U字の減少部分 (図 I-3 参照)) にあり、その結果、測定を繰り返すことで覚醒水準が適正水準の方へ低下し、CNV 振幅が増加すると考えた。

課題要因による覚醒水準の変化と CNV の関係について、内向性と外向性という被験者の違いがあるが、覚醒のあるレベルまでの上昇は CNV 振幅を増加させ、あるレベルを超えて過剰な覚醒水準になった場合は CNV 振幅が低下するという、Tecce (1972) の逆U字仮説が示された。しかし、覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”の存在については、CNV に課題要因の影響がみられ、反応時間にもその影響がみられた結果や、反応時間について全く触れていない論文があり、過去の論文からその存在を示唆することはできなかった。





### II-3. “新たな逆U字仮説”の検証のための実験条件

本論文は覚醒水準とCNV振幅の間の“新たな逆U字仮説”の検証を第一の目的としている。そのためには、パフォーマンスに覚醒水準の影響がみられないことが条件となる。さらに、この仮説の検証のためには、覚醒水準をできるだけ段階的に変化させることも必要である。

環境要因に関する過去の論文から、照明の色温度 (Deguchi and Sato, 1992; 樋口, 1994a) とホワイトノイズ (樋口, 1994a) はCNV振幅に影響を及ぼすが、反応時間には影響を及ぼさなかった。これらの結果は覚醒水準とCNV振幅の間の“新たな逆U字仮説”を提起した。しかし、これらの環境条件は覚醒水準を段階的に変化させるのに不十分である。なぜなら、色温度に関しては、蛍光灯を利用した場合の条件設定が約3000K～7500Kの範囲に制限され、条件数も制限される。また、ホワイトノイズを用いた場合、覚醒効果は期待できるが鎮静方向への効果が期待しにくいために、条件としてはふさわしくない。つまり、環境条件としては広範囲にわたって連続的に刺激の物理量を変化させることができること、また鎮静効果と覚醒効果の両方向への効果が期待できることが必要である。これらのことから環境刺激には光の明るさが適当だと思われる。その理由は、光刺激はその明るさによって鎮静効果と覚醒効果の両方向の効果があることが知られており、広範囲にわたって明るさを変化させることが可能なためである。

課題要因に関しては、過去の論文から、Tecce (1972) の逆U字仮説が示された。しかしながら、CNVの変化と同時に反応時間にも差があった報告 (Tecce and Hamilton, 1973; Wilkinson and Haines, 1970) はあるのが、反応時間に差がなかったという報告がみられなかった。従って、覚醒水準とCNV振幅の間の“新たな逆U字仮説”は提起できなかった。この原因について以下に述べる。課題が複雑で困難になることによって覚醒水準は上昇することが予想できるが、反応時間は課題が複雑になると簡単に遅延する。ところが、この反応時間の遅延に覚醒水準の変動が

影響しているとは考え難い。つまり、反応時間が覚醒水準の上昇以外の影響を受け易いことが、“新たな逆U字仮説”を提起できなかつた一つの原因として考えられる。従って、“新たな逆U字仮説”の検証のために、課題の複雑性や二次課題の付加によって覚醒水準を変動させることは不適當と考えられる。また、“新たな逆U字仮説”の検証のためのもう一つの条件である段階的に覚醒水準を変化させることも困難である。これらのことを考慮すると、連続的に覚醒水準を変化させることができる長時間連続課題が望ましいと考えられた。ただし、Wilkinson and Haines(1970)は弁別反応課題を長時間繰り返すことよつてCNV振幅とパフォーマンスの両方に変化がみられたことを報告しているために、彼らが用いた弁別反応課題をそのまま用いるのではなく、他の課題を用いるなどの方法をとることで、パフォーマンスに変化がみられないような条件設定が必要となる。

## 第Ⅲ章

### 持続的な光刺激による覚醒水準の変化が CNV に及ぼす影響

#### Ⅲ－1. 緒言

外部環境はその刺激の種類や強度によって覚醒水準に作用する。そして、この外部環境の違いは CNV を変化させる要因であることを第Ⅱ章で確認した。そして、その影響は環境の持つ覚醒効果が CNV 振幅を増加させたという報告(鳥居, 1986; Deguchi and Sato, 1992)と、逆にその振幅を減少させたという報告があった(Brix et al., 1979; Janssen et al., 1978; 樋口, 1994 a)。さらに、環境の影響がパフォーマンスに変化をもたらさない範囲において、CNV には変化がみられた報告(Deguchi and Sato, 1992; 樋口, 1994 a)によって、環境の違いによる覚醒水準の変化と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”が提起された。

本実験では、覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”を検証するために、外部からの物理刺激としてその鎮静と覚醒の両効果がよく知られ、段階的に覚醒水準を変化させることが可能と思われる光刺激を用いた。また、この逆U字仮説の証明には CNV 以外の覚醒水準の指標を必要とする。そこで、本実験では覚醒水準を反映する指標として、特に大脳の活動レベルを反映する自発脳波と、自立神経系の活動レベルを反映する心拍数の二つの指標を用いた。自発脳波(佐久間, 1989; 樋口, 1994 a)と心拍数(Tecce, 1976; 中村ら, 1979)は過剰な覚醒による CNV 振幅の減少と関連付けられており、本実験における CNV と覚醒水準の“新たな逆U字関係”を説明する指標として期待できる。

さらに本実験では、これらの指標を使った“新たな逆U字仮説”による余分な覚醒水準の評価についての検討も目的とした。

## Ⅲ-2. 方法

### (1) 被験者

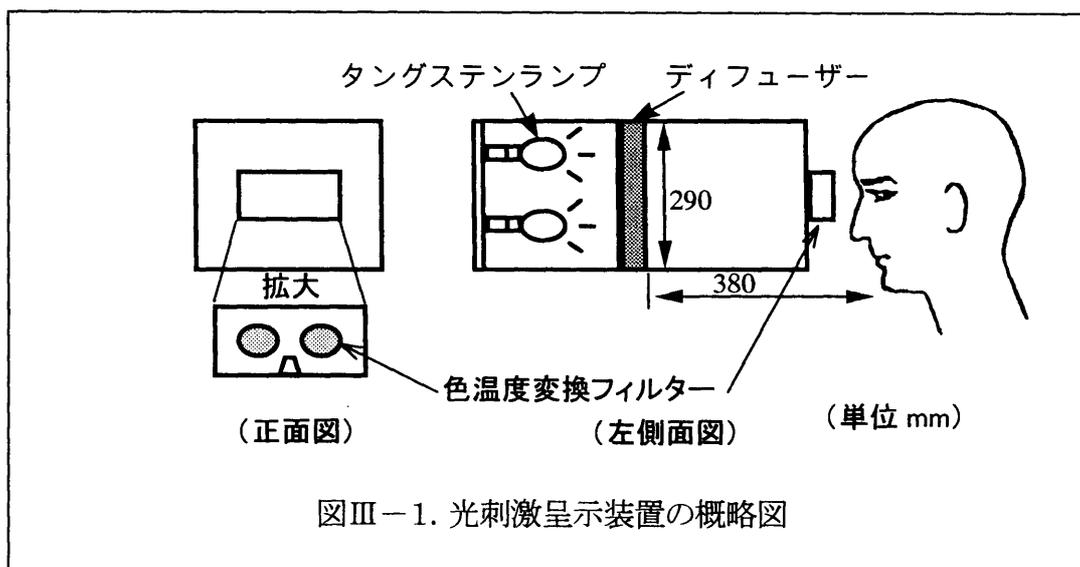
被験者は21～25歳までの健康な男子大学生7名(平均年齢:22.3歳)を用いた。本実験では CNV 測定に関して、慣れや経験による影響をできるだけ抑えるために、最初の実験に入る前に十分な測定練習を行った。

### (2) 測定と記録

脳波は国際10/20法に従い、Fz, Cz, Pzの3部位にAg-AgCl皿電極を装着し、両耳朶連結を基準電極(reference electrode)として、生体電気用アンプ(日本光電 AB-621G)により単極導出した。CNV 測定のためのアンプの設定は、時定数を6秒、高周波カットオフを30Hzとした。また自発脳波用の設定は、時定数を0.3秒、高周波カットオフを30 Hz とした。S1の3秒前からS2の2秒後までの8秒間のデータをサンプリング周波数100 Hz でA/D変換し、オンラインで磁気ディスクに記録した。また、脳波へのアーチファクトの混入の有無を監視するために右眼球の垂直方向の眼球電図(EOG)も同時に記録した。心電図は胸部双極誘導により導出した。生体電気用アンプ(日本光電 AB-621G)によって増幅した信号は、A/Dコンバーター(MICROSCIENCE ADM-5298 BPC)により250 Hz でサンプリングし、オンラインで磁気ディスクに記録した。

### (3) 実験条件

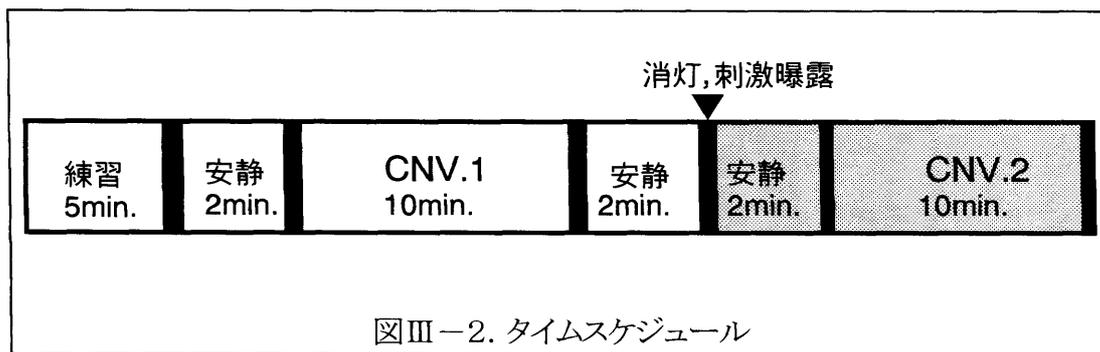
実験は電氣的にシールドされた人工気象室(九州芸術工科大学 特殊生態実験棟 ホモロンNo.3)で行った。実験室の室温と相対湿度はそれぞれ25°C, 50%に設定した。刺激光は本研究室で開発された装置によって呈示した。刺激の呈示装置及び呈示方法を図Ⅲ-1に示す。この装置はタングステンランプ(東芝 東芝写



真電球引伸用150W)4個, 乳白色のディフューザ(アクリルサンデー社 品番00202 色番432)1枚, 4種類の色温度変換フィルター(コダック社 No. 80, 82, 82B, 82C)の組み合わせで構成した. 被験者が目にする光刺激は一辺が29cmの正方形で, 視距離は約38cm, 視角は約40°であった. 光刺激の明るさは輝度で 10 cd/m<sup>2</sup>, 100cd/m<sup>2</sup>, 320cd/m<sup>2</sup>, 1000cd/m<sup>2</sup>, 1800cd/m<sup>2</sup>の5条件を設定した. 輝度の調節はタングステンランプの電圧を変えることで行った. その際, 輝度が上昇するに従いランプの色温度は高色温度側へ変動するという問題が生じるが, この問題は被験者の目の位置で異なる色温度変換フィルターを組み合わせることによって約2800Kの一定条件に調節した.

#### (4) 実験手続き

CNV 測定には予告刺激(S1)ー命令刺激(S2)ーボタン押し反応という単純反応時間課題を用いた. また, S1とS2の両刺激には共にクリック音を用いた. S1とS2の刺激間隔(ISI)は3秒, 試行間隔(ITI)は11~13 秒に設定した. また, 試行回数は30回で, 1回の測定につき約10分の時間を要した.



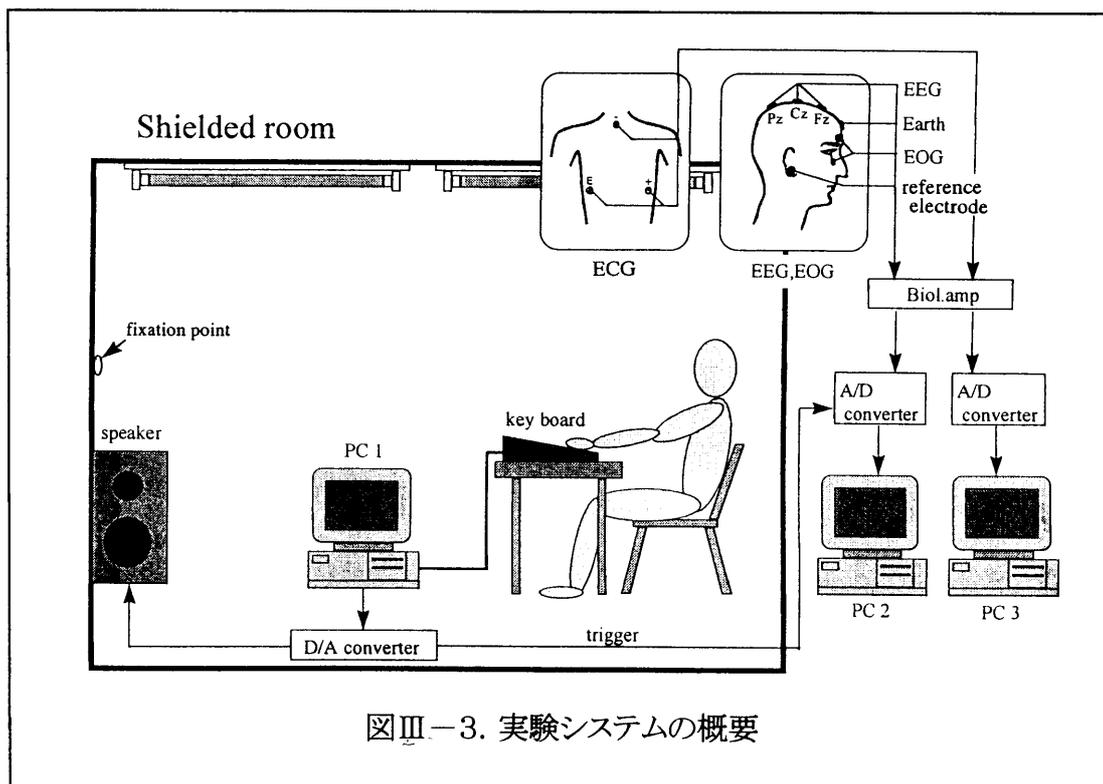
タイムスケジュールを図III-2に示す。まず、被験者は10回程度の練習試行を行った。そして2分間の安静後、コントロール条件として一定の環境条件の下(室内照明で机上面照度1000lx, 色温度5000K)でCNVを測定(CNV.1)した。そして、2分間の安静後室内の照明を消し、各輝度条件の光刺激に曝露してから2分後に2回目のCNV測定(CNV.2)を行った。実験は1日1条件で5日間にわたって行った。なお、実験の時間帯は同一被験者については異なるようにした。被験者にはS1の3秒後に呈示されるS2を知覚したらできるだけ迅速にボタン押し反応を行うこと、S1-S2間とその前後の数秒間は固視点を注視すること、及び瞬目の抑制を要求した。なお固視点(**fixation point**)は、コントロール条件では被験者の正面の壁に直径約1cmの黒い点を目の高さに設け、光刺激の暴露条件では直径約5mmの黒い点を被験者が見つめるディフューザーの中心に設けた。

#### (5) 実験システム

実験システムの概要を図III-3に示す。CNV および自発脳波の記録装置は刺激発生装置と脳波記録装置で構成される。両装置は2台のパーソナルコンピュータによって制御した。実験室内に置かれた刺激を制御するコンピュータ(PC 1)(EPSON PC-286)は、音刺激であるS1とS2の発生と脳波記録用のコンピュータ(PC 2)(EPSON PC-486)へサンプリング開始のための Trigger 信号を出力する。この Trigger 信号はS1刺激の3秒前にD/A変換ボード(I・Oデータ機器 PIO

-9035)を介してアナログ出力される. 実験室の外に置かれた PC 2は PC 1からの Trigger 信号を受けると同時に, 生体電気用アンプ(日本光電 AB-621G)によって増幅された生体信号をA/D変換ボード(MICROSCIENCE ADM-1998 BPC)を介してサンプリング, 磁気ディスクに記録した. また, CNV と眼球電図は PC 2によってモニターした. 刺激に対する反応時間の記録は PC 1で行った.

心電図(ECG)は PC 3によって CNV の測定中連続して記録とモニターを行った. 生体電気用アンプ(日本光電 AB-621G)によって交流増幅した生体信号は, コンピュータ (PC 3) (EPSON PC-286)とA/Dコンバータ(MICROSCIENCE ADM-5298 BPC)によってA/D変換し, オンラインで磁気ディスクに記録した.



図Ⅲ-3. 実験システムの概要

## (6) データ処理

CNV の加算平均はS1前500 msec の平均電位を基線に用いた。加算平均に当たり、瞬目、眼球運動、基線のドリフトなどによるアーチファクトの有無を判断するために、以下の五つの基準を設け、それに該当する試行は加算から除外した。

- ・S1前1秒からS2までのEOGの電位変動が $150 \mu V$ 以上の試行。
- ・S1後500 msec からS2までの全サンプリング点数に対する陰性値のサンプリング点数の割合が20%以下の試行。
- ・S1-S2間の陰性値及び陽性値の絶対値が $75 \mu V$ を超える試行。
- ・S2-S2後500 msec 間の平均値が $-50 \mu V$ を超える試行。
- ・反応がない試行。または反応時間が120 msec より速いか、300 msec より遅い試行。

以上の基準によって得られた CNV はS1-S2間を500 msec 毎に分割し、各区分毎の平均振幅を算出した。また、S1後500~1000 msec(早期 CNV)とS2前1000 msec~S2起始(後期 CNV)の平均振幅を求めた(図III-4)。

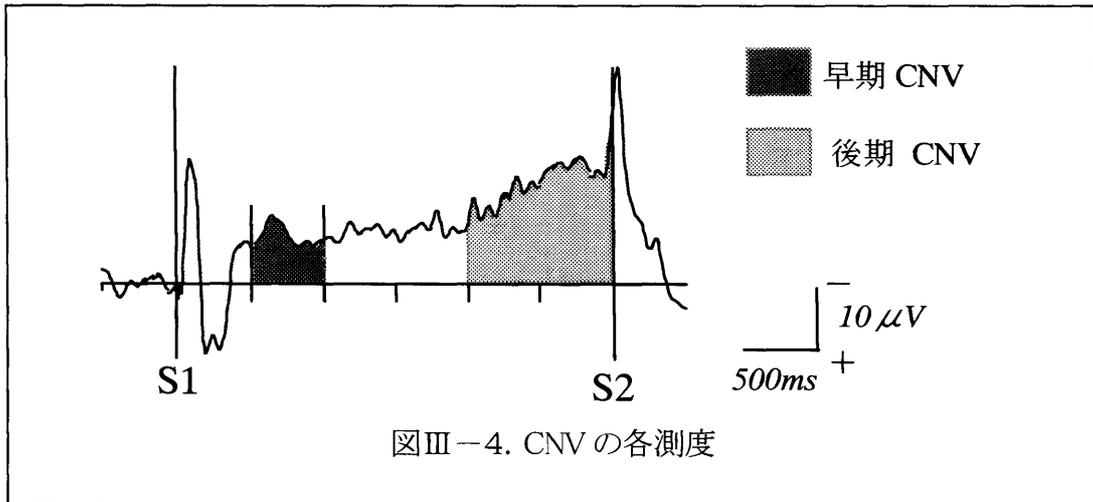
自発脳波に関しては各試行毎にS1前2.56秒のデータに対して高速フーリエ変換(FFT)による周波数分析を施し、 $\alpha$ 波(8~13 Hz)、 $\beta$ 波(13~20 Hz)のパワー値を求め(図III-5)、 $\alpha$ 波率を以下の式で算出した。

$$\alpha \text{ 波率}(\%) = \alpha_p / (\alpha_p + \beta_p) \times 100$$

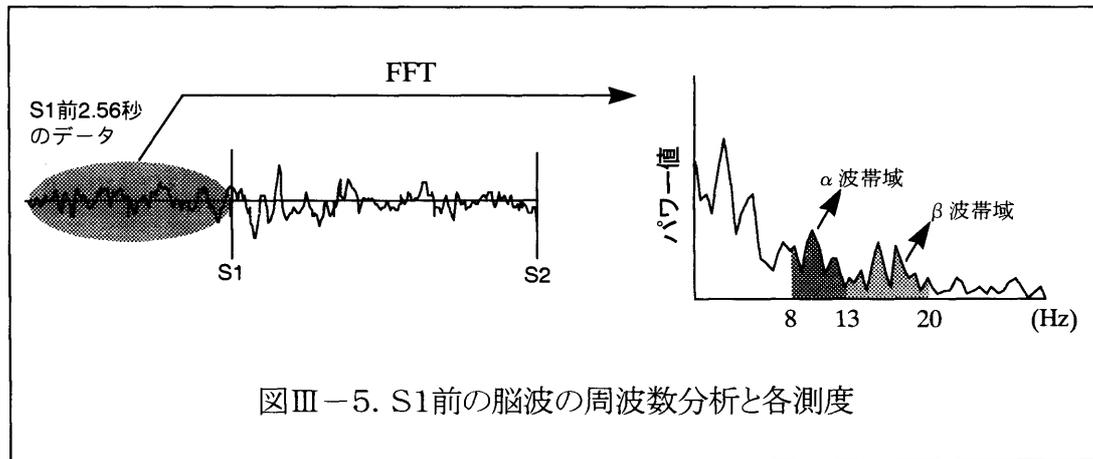
$\alpha_p$ :  $\alpha$ 波パワー値,  $\beta_p$ :  $\beta$ 波パワー値

また、各条件に含まれる30試行の中から瞬目、眼球運動、筋電図によるアーチファクトが混入した試行は除外して、各条件毎の平均 $\alpha$ 波率を求めた。

心拍数に関しては、CNV 測定期間中の心電図のR波の数を検出し、一分間あたりの心拍数を求めた。



図III-4. CNVの各測度



図III-5. S1前の脳波の周波数分析と各測度

## (7) データの補正

実験は1日1条件で計5日にわたって行った。ある被験者の異なる日に測定した CNV を示す(図Ⅲ-6)。コントロール時の CNV は同じ時間帯に同じ条件で測定しているにもかかわらず、波形の特徴が異なっているのがわかる。さらに、条件暴露時の CNV はコントロール時の影響を受けている可能性も考えられる。

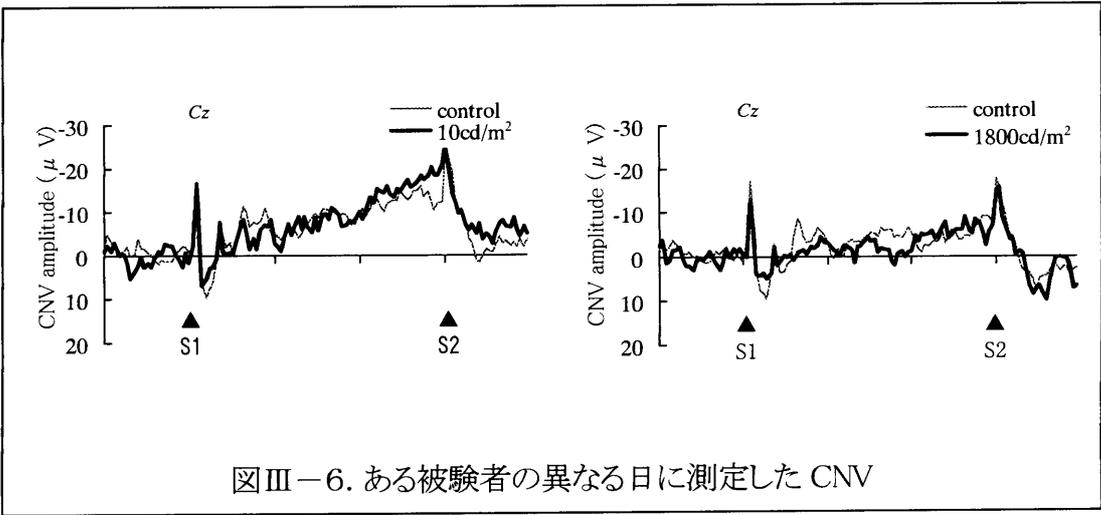
暴露時の結果がコントロール時の結果の影響を受けているか否かは、両結果の相関分析によって確認できる。その結果、有意な相関があればコントロール時の影響を受けていると判断できる。本研究において、S1-S2間を 500mesc 毎に分割した各部位毎の平均振幅、早期 CNV 振幅、後期 CNV 振幅、脳波の  $\alpha$  波率、および心拍数、反応時間の全データに対してそれぞれ相関分析を行った。なお、各データに関する相関分析は全被験者のデータを使って行った。その結果、全てのデータで危険率 5%以下で有意な相関がみられた。

以下に共分散分析を使ったデータの補正(Snedecor and Cochran, 1967)の手順を実際のデータをもとに示す。(図Ⅲ-7)

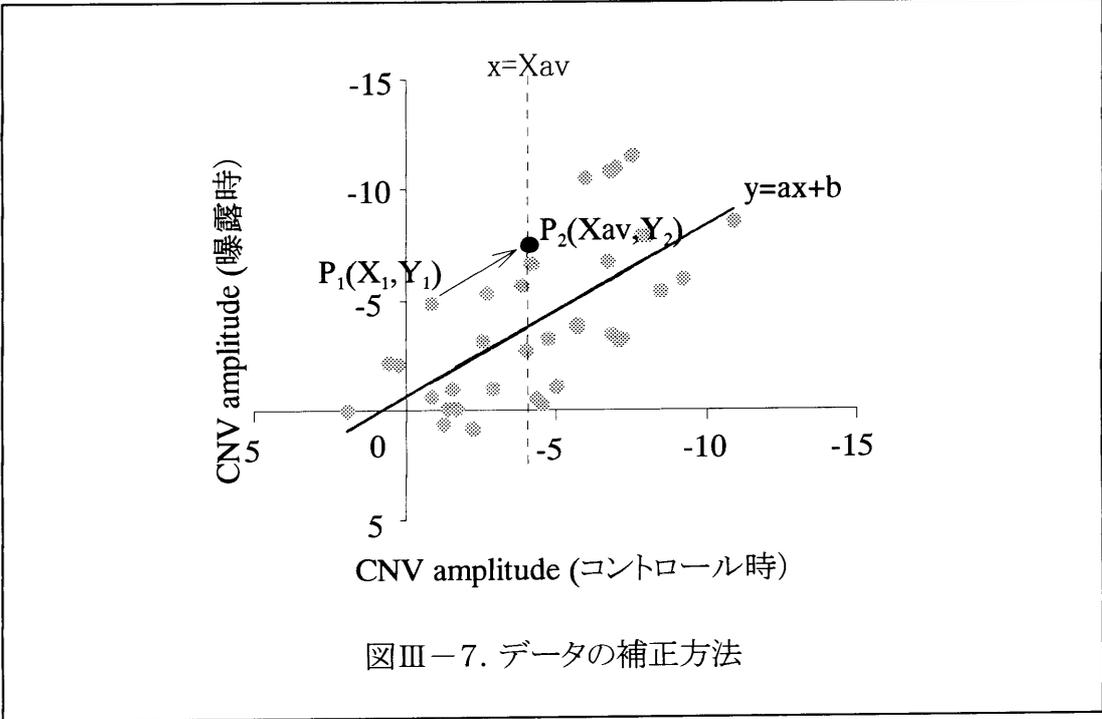
1. コントロール条件のデータを独立変数に、暴露時のデータを従属変数として、2次元座標上に値をプロットし回帰分析を行う。もし、両変数間に有意な相関があれば補正の必要が生じる。
2. 独立変数であるコントロール条件の全データの平均値( $X_{av}$ )を求める。
3. 回帰分析によって得られた回帰直線( $y = ax + b$ )の傾き $a$ を求める。
4. ある日に測定されたコントロール条件の値を $X1$ 、暴露時のデータ $Y1$ からなる点 $P1(X1, Y1)$ を $x = X_{av}$ と交わるまで回帰直線に対して平行移動する。交わった点 $P2(X_{av}, Y2)$ の $Y2$ が補正後の値となり以下の式で算出する。

$$Y2 = Y1 + a(X_{av} - X1)$$

これらの補正処理はS1-S2間を 500mesc 毎に分割したそれぞれの平均振幅と早期 CNV、後期 CNV、脳波の  $\alpha$  波率、反応時間などの個々の測定値に対してすべて行われ、この補正後の値によってすべての分析を行った。



図III-6. ある被験者の異なる日に測定した CNV



図III-7. データの補正方法

#### (7) 統計処理

データの統計処理は光刺激の輝度条件(5水準)と被験者(7水準)を要因とした2元配置の分散分析を行うと共に, t検定により光刺激の各輝度間の平均の差の検定を行った。

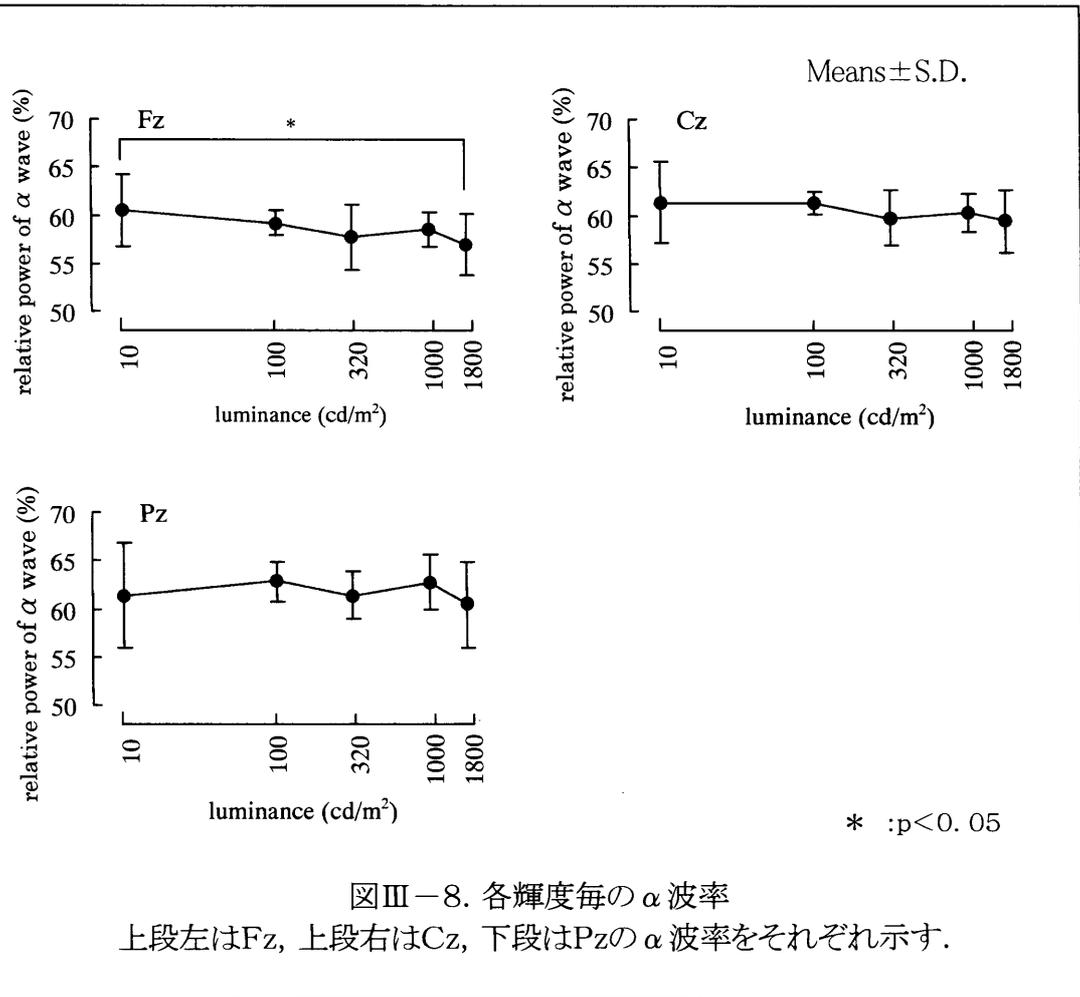
### Ⅲ-3. 結果

まず、本文中にでてくる統計に関する記号について、 $f$  は分散比、 $df$  は自由度、 $p$  は危険率、 $NS$  は有意差なし、 $r$  は相関係数を示す。

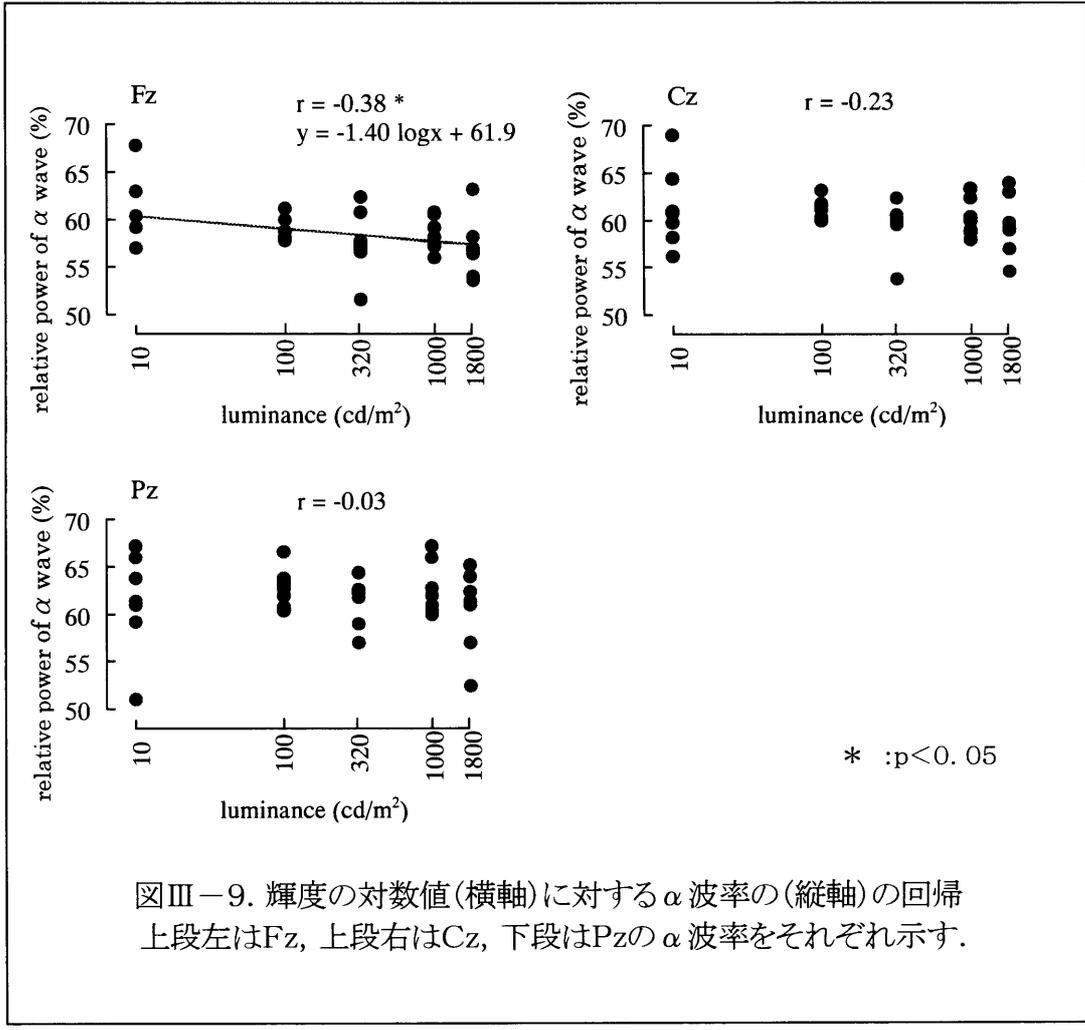
#### (1) S1前の $\alpha$ 波率

輝度の違いによる覚醒水準の変化をみるために、各輝度条件毎のS1前の $\alpha$ 波率の平均値と標準偏差を部位毎に図Ⅲ-8に示す。なお、横軸の輝度条件は対数軸で表示した。各部位毎に輝度と被験者を要因とする2元配置の分散分析を行った結果、全部位で輝度要因の主効果は有意ではなかった。しかしながら、Fzの $\alpha$ 波率は $10\text{cd/m}^2$ で最も高く、輝度が高くなるとその値は減少する傾向にあり、 $1800\text{cd/m}^2$ では $10\text{cd/m}^2$ に比べて有意に低い振幅を示した。Czの $\alpha$ 波率はFzの $\alpha$ 波率と同様な傾向を示したが、Pzの $\alpha$ 波率にはそのような傾向はみられなかった。

また輝度の対数値と $\alpha$ 波率の間の回帰分析の結果、Fz部位においてのみ輝度と $\alpha$ 波率に有意な負の直線関係があった( $f=5.72$ ;  $df=1,33$ ;  $p<0.05$ ;  $y=-1.40 \log x+61.9$ ) (図Ⅲ-9)。この結果は、輝度の上昇に伴い $\alpha$ 波率が減少したことを示す。CzとPzにおいては、輝度と $\alpha$ 波率の間に有意な直線関係はみられなかった。



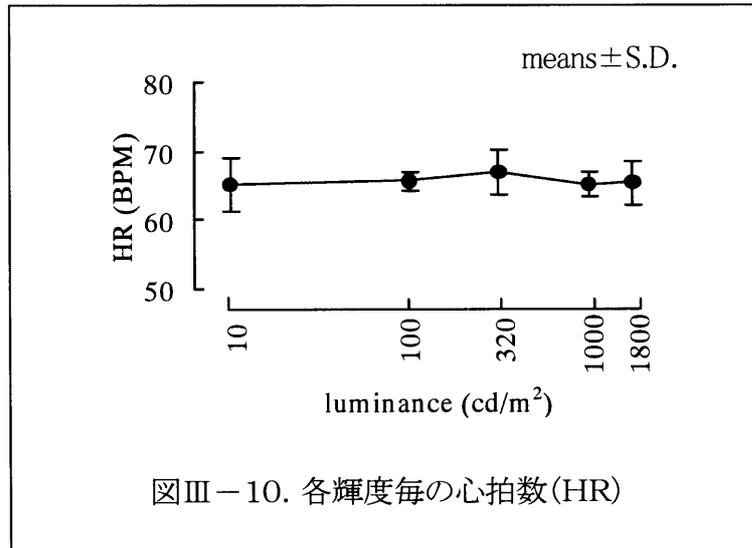
図Ⅲ-8. 各輝度毎の $\alpha$ 波率  
 上段左はFz, 上段右はCz, 下段はPzの $\alpha$ 波率をそれぞれ示す.



図Ⅲ-9. 輝度の対数値(横軸)に対するα波率の(縦軸)の回帰  
 上段左はFz, 上段右はCz, 下段はPzのα波率をそれぞれ示す.

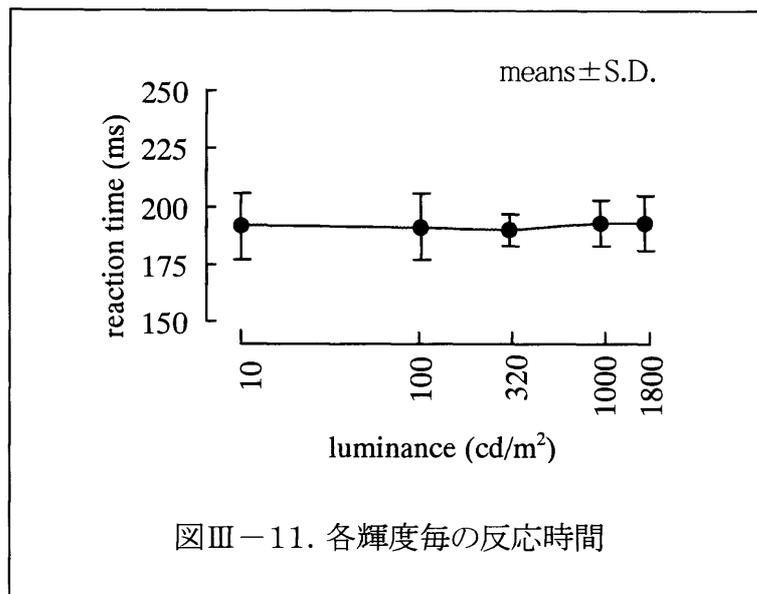
## (2) 心拍数(HR)

光刺激の違いによる自律神経の活動水準の変化をみるために、各輝度毎の心拍数の平均値と標準偏差を図Ⅲ-10に示す。分散分析の結果、輝度要因の主効果はみられず( $f=0.75$ ;  $df=4,24$ ; NS),  $320\text{cd/m}^2$ で心拍数がわずかに高くなる傾向があった。



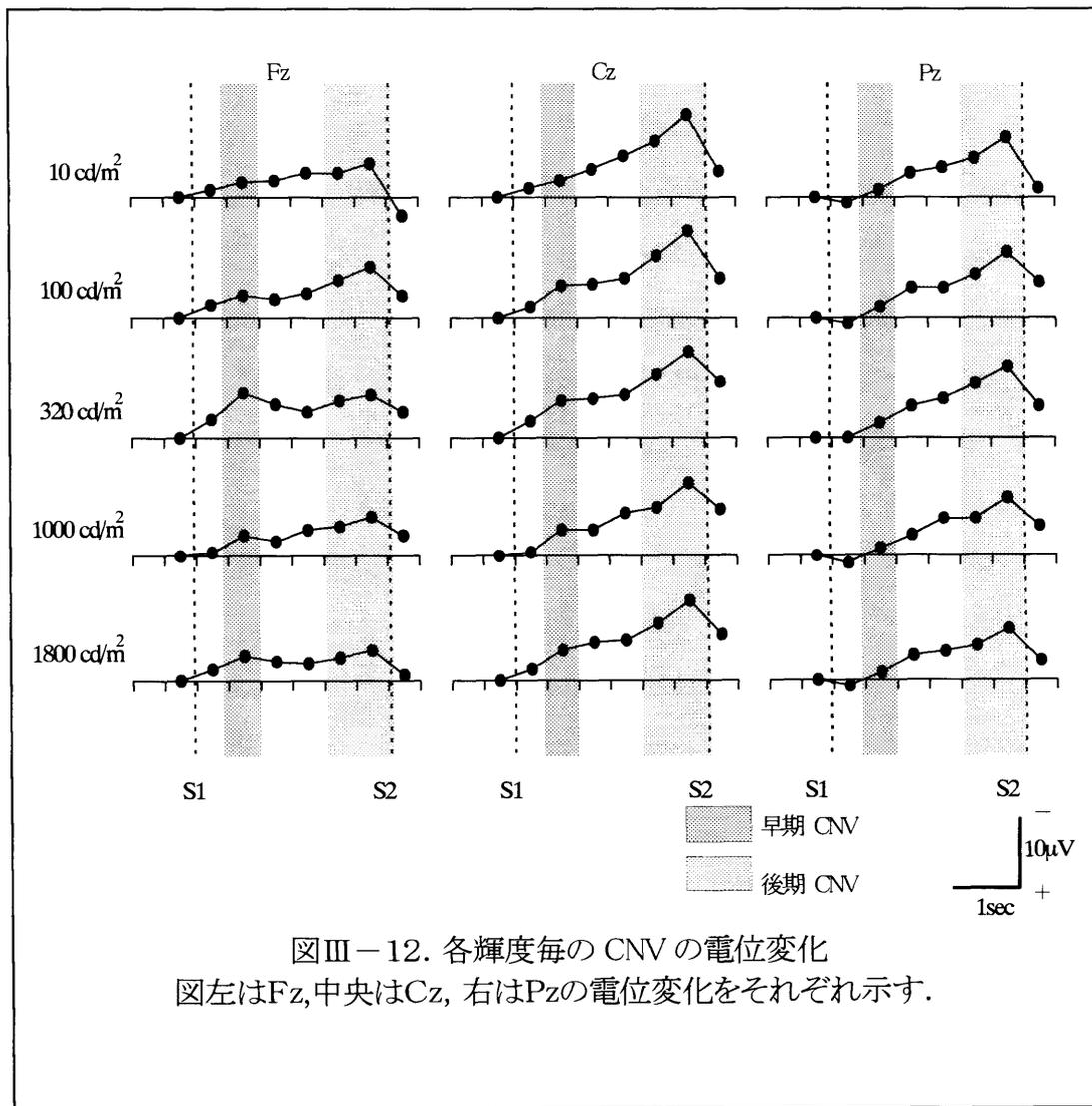
### (3) 反応時間

各輝度毎の反応時間を図III-11に示す。分散分析の結果、輝度要因の主効果はみられず( $f=2.06$ ;  $df=4,24$ ; NS), 各輝度条件で反応時間に変化はなかった。



#### (4) 500 msec 毎の CNV の電位変動

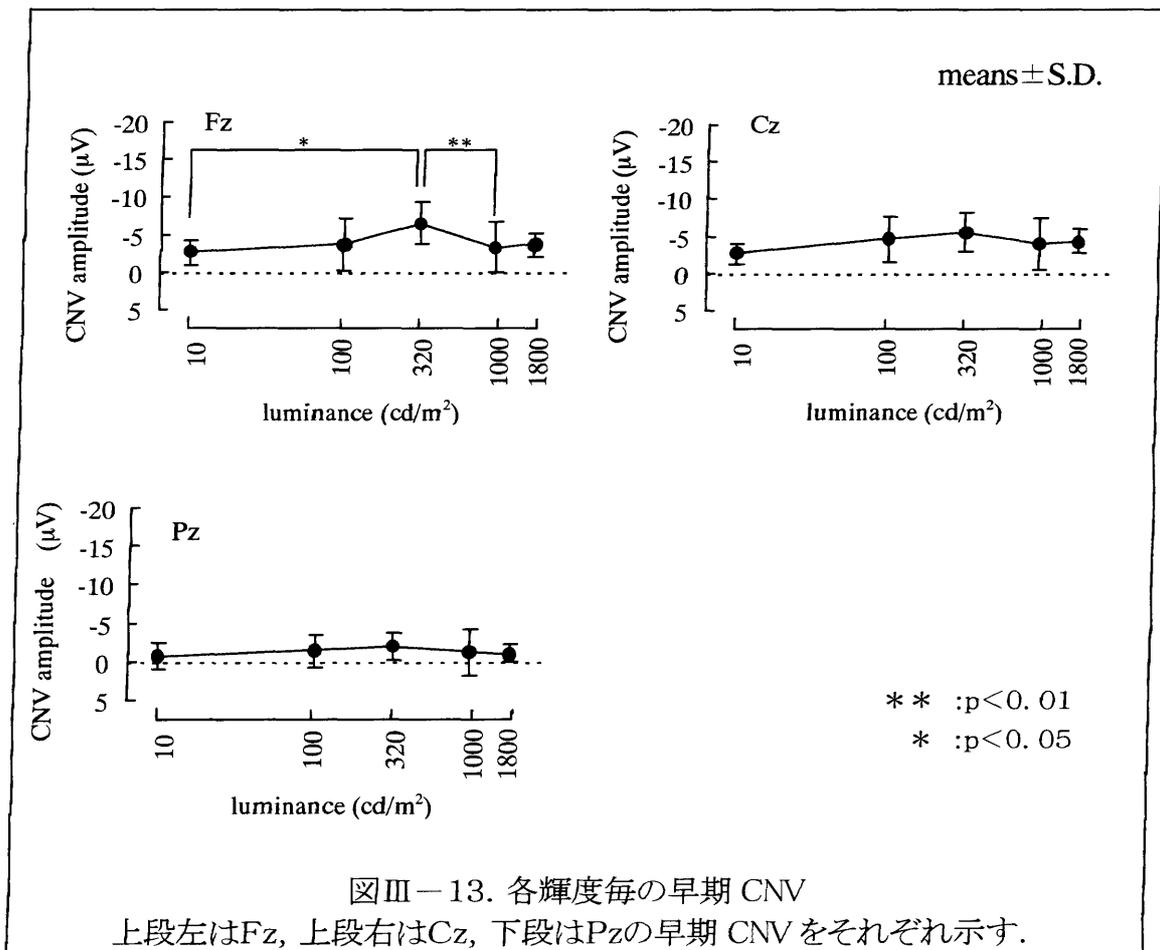
各部位の CNV について、全体的な電位変動の傾向を見るために、500 msec 毎に分割した CNV の平均電位を示す(図Ⅲ-12)。CNV の電位変動はそれぞれの部位で異なる傾向を示していた。Fzでは早期 CNV から後期 CNV にかけてわずかな電位変動しかみられなかった。Czでは早期 CNV から後期 CNV にかけて顕著に電位が増加しており、他の部位に比べ全体的に高い電位を示す傾向にあった。Pzでも Cz同様に早期 CNV から後期 CNV にかけて電位の増加が確認できたが早期 CNV で電位が低い傾向にあった。これらの部位毎の傾向はブロック間で共通していた。



図III-12. 各輝度毎の CNV の電位変化  
 図左はFz, 中央はCz, 右はPzの電位変化をそれぞれ示す.

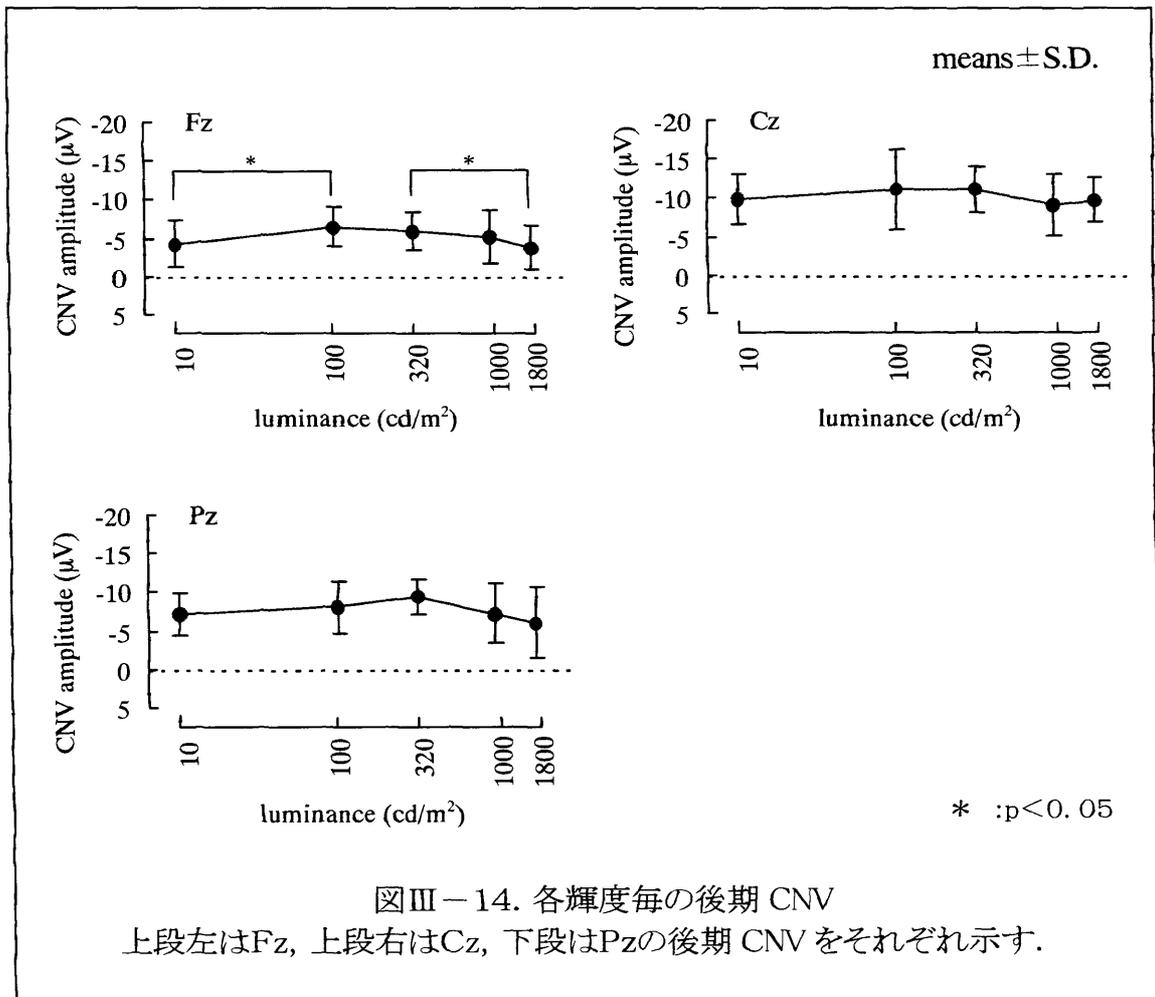
(5) 早期 CNV

各輝度毎の早期 CNV(S1後500~1000 msec)の平均振幅と標準偏差を各部位毎に図III-13に示す. 分散分析の結果, 早期 CNV 振幅はFzにおいてのみ輝度要因で有意な主効果がみられ( $f=3.80$ ;  $df=4,24$ ;  $p<0.05$ ), Cz( $f=1.53$ ;  $df=4,24$ ; NS)とPz( $f=0.33$ ;  $df=4,24$ ; NS)の早期 CNV 振幅は輝度要因で有意な主効果はみられなかった. Fzの早期 CNV 振幅(図III-13, 上段左)は $10\text{cd/m}^2$ から $320\text{cd/m}^2$ にかけて増加し,  $320\text{cd/m}^2$ で最も高い振幅を示した. そして, 高輝度条件の $1000\text{cd/m}^2$ と $1800\text{cd/m}^2$ の早期 CNV 振幅は低い値を示した. またt検定の結果,  $320\text{cd/m}^2$ の早期 CNV は $10\text{cd/m}^2$ と $1000\text{cd/m}^2$ に比べ有意に高い振幅を示した. Cz(図III-12, 上段右)とPz(図III-13, 下段)においてもFzと同様な傾向がみられたが, 各輝度条件間に有意な振幅の差はなかった.



(6)後期 CNV

各輝度毎の後期 CNV(S2前1000 msec~S2起始)の平均振幅と標準偏差を図III-14に示す. 分散分析の結果, Fz( $f=2.06$ ;  $df=4,24$ ; NS), Cz( $f=0.42$ ;  $df=4,24$ ; NS), Pz( $f=1.01$ ;  $df=4,24$ ; NS)の全部位において輝度要因の主効果は有意ではなかったが, t検定の結果, Fz部位の100cd/m<sup>2</sup>で10cd/m<sup>2</sup>に比べて有意に高い後期 CNV 振幅を示し, 320cd/m<sup>2</sup>では1800cd/m<sup>2</sup>に比べて有意に高い後期 CNV 振幅を示した. Czでは100cd/m<sup>2</sup>と320cd/m<sup>2</sup>で振幅が高くなり, Pzでは320cd/m<sup>2</sup>で振幅が高くなる傾向があった. しかし, 各輝度間に有意な差はみられなかった.



図III-14. 各輝度毎の後期 CNV  
上段左はFz, 上段右はCz, 下段はPzの後期 CNV をそれぞれ示す.

### Ⅲ－4. 考察

本研究は外部からの光刺激がもたらす覚醒水準の変化に対して CNV 振幅が新たな逆U字型の反応特性を示すかどうかを検証することを目的とした。また，“新たな逆U字仮説”が実証された場合に、余分な覚醒水準に対する評価についての検討も目的とした。

最初に、覚醒水準の指標として用いた  $\alpha$  波率と心拍数について、 $\alpha$  波率には輝度の有意な影響がみられたが、心拍数にその影響はみられなかった。異なる視環境が心拍数と脳波に及ぼす影響をみた研究 (Küller, 1986) によると、視覚的に複雑な環境では単調な環境に比べ  $\alpha$  波が減衰し高い覚醒水準を示していた。しかしながら、心拍数は複雑な部屋の方が低く、 $\alpha$  波と心拍数の間には明確な対応がみられなかったことを報告した。Küller (1986) はその理由として、心拍数が副交感神経の作用を受けたためとした。心臓機能は心臓交感神経と心臓迷走(または副交感)神経によって拮抗的に調節されている。そして、心拍数は心臓交感神経の作用により増加し、心臓迷走神経の作用によって減少する。このことから、本実験において心拍数に輝度の影響がみられず、さらに  $\alpha$  波率との間に明確な対応がみられなかったのは、心拍数の結果からだけでははっきりとわからずより詳細な分析が必要になるが、Küller (1986) の研究と同様に心臓迷走神経の作用が関与したためと思われる。

$\alpha$  波率は Fz 部位においてのみ輝度要因の有意な効果がみられ、高輝度条件の  $1800\text{cd/m}^2$  で低輝度条件の  $10\text{cd/m}^2$  に比べて有意に低い値を示した (図Ⅲ－8, 上段左)。また輝度の対数値と Fz の  $\alpha$  波率の間には有意な負の相関がみられた (図Ⅲ－9, 上段左)。これらの結果は、輝度の違いが覚醒水準に影響を与え、高輝度条件は低輝度条件に比べて高い覚醒状態にあったことを示した。

さらに、反応時間に輝度要因の有意な影響はみられなかった (図Ⅲ－11)。この反応時間と  $\alpha$  波率の結果は、本実験で用いた輝度条件の違いによる覚醒水準への影響がパフォーマンスに変化をもたらす程の強さではなかったことを意味する。すな

わち、I-4-1. の「CNVと覚醒水準の間の“新たな逆U字仮説”」で示した、パフォーマンスに差が見られない範囲での覚醒水準とCNV振幅の間の逆U字仮説を検討するための条件が満たされたと考えられる。

CNVへの光刺激の影響はFzの早期CNVに強くみられた。Fzの早期CNV振幅は320cd/m<sup>2</sup>までは輝度の上昇に伴い有意に増加し、320cd/m<sup>2</sup>で最大振幅を示した。そして、高輝度条件である1000cd/m<sup>2</sup>と1800cd/m<sup>2</sup>で低い振幅を示した(図III-13)。これらの結果は輝度の上昇とFzの早期CNV振幅の間には逆U字の関係があることを意味する。さらに、輝度の上昇が覚醒水準の上昇をもたらしたことを考慮すると、覚醒水準が低い低輝度条件(10cd/m<sup>2</sup>)と覚醒水準が高い高輝度条件(1800cd/m<sup>2</sup>)ではCNVの振幅は低く、覚醒水準が中程度の320cd/m<sup>2</sup>条件で最大振幅を示したことになり、光刺激によって覚醒水準が変化することでCNVは逆U字型の変化を示したことを意味する。さらに、反応時間に輝度の影響がなかったことを考慮すると、高覚醒時でのCNV振幅の減少がTecce(1972)のいう過剰な覚醒水準による影響ではないことがわかる。つまり、本実験の結果から覚醒水準とCNV振幅の間に“新たな逆U字仮説”が実証された。

この“新たな逆U字仮説”の証明により、反応時間に影響を与えない範囲の余分な覚醒水準に対する評価が可能になった。つまり、本実験において低い $\alpha$ 波率と低いCNV振幅を示していた1800cd/m<sup>2</sup>の高輝度条件は、他の条件に比べて余分に覚醒水準が上昇していたと解釈できる。この余分な覚醒水準に対する評価については、CNV振幅の減少からだけでは不可能である。これは、本実験において余分な覚醒が引き起こされた1800cd/m<sup>2</sup>の高輝度条件と低い覚醒時の10cd/m<sup>2</sup>の低輝度条件ではCNV振幅は同じ値を示しているからである。そこで重要になるのは、輝度と直線関係があったS1前の $\alpha$ 波率である。つまり、1800cd/m<sup>2</sup>と10cd/m<sup>2</sup>のCNV振幅はほぼ同じ値を示しているが、 $\alpha$ 波率に着目すると明らかに1800cd/m<sup>2</sup>のほうが覚醒水準が高いことがわかる。この $\alpha$ 波率の違いがあって初めて、1800cd/m<sup>2</sup>条件で余分に覚醒しているという判断が可能になる。つまり、覚醒水準を評価する場合、特

にその評価の中に余分な覚醒が含まれると考えられる場合には、S1前の $\alpha$ 波率とCNVの関係で相補的な判断が必要になる。

結論として、単純反応時間課題遂行時の光刺激による覚醒水準の変化をS1前の $\alpha$ 波率で捉える中で、パフォーマンスの指標である反応時間にはその影響がみられずに、早期CNV振幅が逆U字型の変化を示したという結果は、覚醒水準と早期CNV振幅の間の“新たな逆U字仮説”の存在を明らかにした。そして、この“新たな逆U字仮説”の証明によって、CNVを用いた余分な覚醒水準に対する新たな評価が可能であることが示された。

## 第IV章

### 長時間連続課題(long-lasting task)による覚醒水準の変化が CNV に及ぼす影響

#### IV-1. 緒言

課題の単調性、作業時間などは覚醒水準に作用する。そして、これらの課題の違いは CNV を変化させる大きな要因であることを第 II 章で確認した。

本実験では、覚醒水準を漸進的に低下させることができる長時間連続課題を用いた。しかしながら、弁別反応課題を長時間繰り返す課題を用いた過去の研究 (Wilkinson and Haines, 1970) では反応時間の低下も同時に認められている。従って、予備実験で反応時間に変化がみられないような条件設定について検討したところ、単純反応課題が適当であることが確かめられた。

さらに、この長時間課題は連続的な覚醒水準の低下を引き起こすために、この長時間課題によって“新たな逆U字仮説”を検証するためには、作業の開始時に覚醒水準が高くなっている必要がある。そこで、本実験では CNV の測定の前直前に瞬きと眼球運動の抑制、及びできるだけ迅速なボタン押し反応を強く要求した。

また、覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”を検証するためには CNV 以外の覚醒水準の指標を必要とする。覚醒水準の指標としては、III 章に続き S1 前の  $\alpha$  波率と、自律神経活動の指標である皮膚電位水準 (SPL) を用いた。SPL は III 章で用いた心拍数とは異なり交感神経の支配しか受けないために、覚醒水準の変化に対する一次的な変化が期待できる。さらに、CNV 研究の中でも、自発脳波 (佐久間, 1989) や SPL (金村ら, 1987) は CNV と関連があることが報告されている。

以上のことから本章では、長時間連続課題による覚醒水準の変化を S1 前の  $\alpha$  波率と SPL から段階的に捉える過程で、覚醒水準と CNV の間の“新たな逆U字仮説”

が課題要因において成り立つかどうかを検証することを目的とした。さらに、この仮説が実証された場合に余分な覚醒水準に対する評価法について検討する事も目的とした。

## IV-2. 方法

### (1) 被験者

被験者は21～25歳の健康な男子大学生及び大学院生12名(平均年齢23.5才)とした。

### (2) 測定

脳波と眼球電図の測定, 並びに記録方法はIII章と同じである。ただし, 本実験では脳波はFzとCzの2部位から導出した。SPL は左手掌に探查電極を, 前腕部に基準電極を装着して生体電気用アンプ(日本光電 AB-621G)で直流増幅した。

### (3) 実験条件

被験者には予告刺激(S1)－命令刺激(S2)－ボタン押し反応によって構成される単純反応時間課題を課した。S1, S2の両刺激には同じクリック音を用いた。刺激間隔(ISI)は2.5秒, 試行間隔(ITI)は9～11秒, 試行回数は200回とした。一回の実験に約40分の時間を要した。

被験者は電氣的にシールドされた実験室内のパイプ椅子に坐り, 被験者から約2m離れた正面の壁に設けられた直径約1cmの黒い固視点を注視しながら課題を行った。被験者は実験前に10～15回の練習試行を行った後, 5分間の安静をとり, 200回の連続試行を開始した。被験者には実験開始直前にS1の2.5秒後に呈示されるS2を知覚したらできるだけ迅速にボタン押し反応を行うこと, S1-S2間とその前後の数秒間は固視点を注視し, 瞬目と眼球運動を抑制することを強く要求した。

#### (4) 実験システム

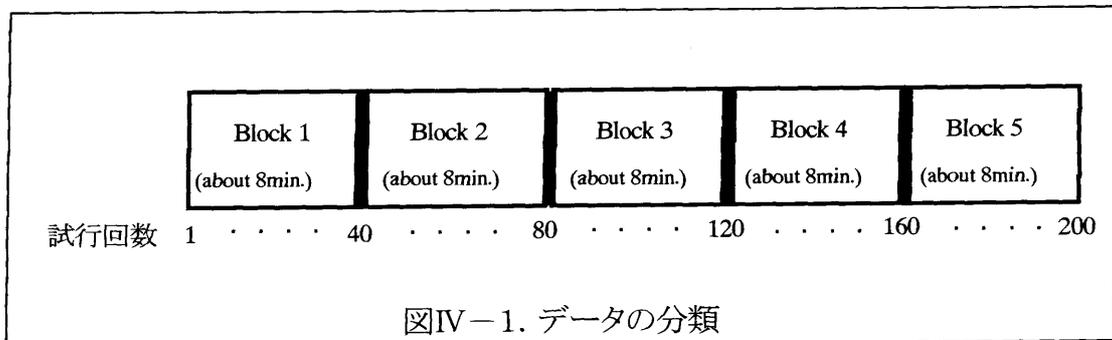
実験システムは心電図(ECG)の測定が SPL の測定に変わった以外はおおむね III章の図III-3 に準ずる. SPL は PC 3によって CNV の測定中連続して記録とモニターを行った. 生体電気用アンプ(日本光電 AB-621G)によって直流増幅した生体信号は, コンピュータ(PC 3)(EPSON PC-286)とADコンバータ(MICROSCIENCE ADM-5298 BPC)によってAD変換(サンプリング周波数 10 Hz)し, オンラインで磁気ディスクに記録した.

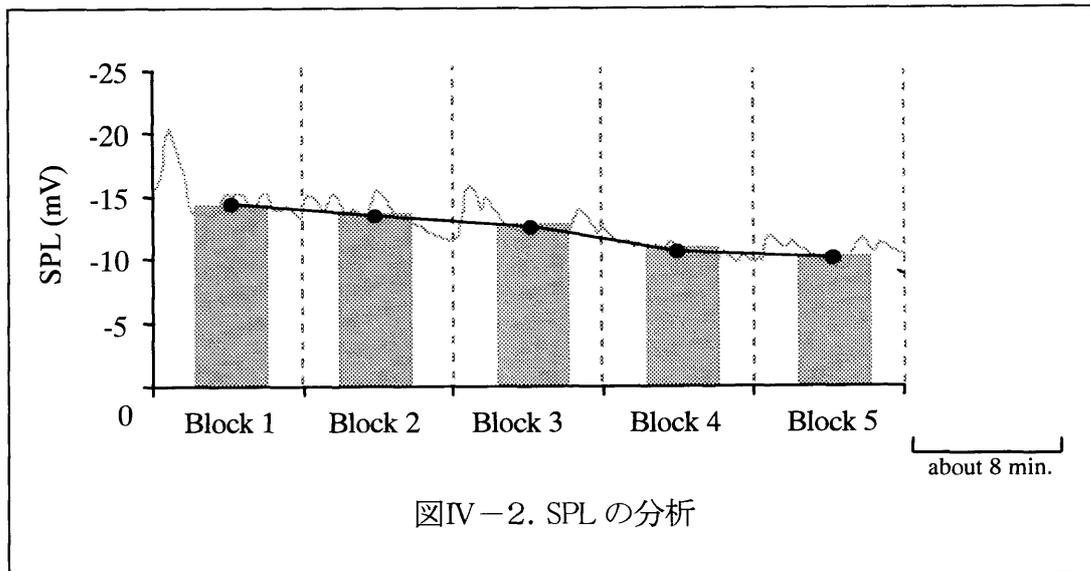
#### (5) データ処理

200試行分の脳波と SPL のデータは40試行ずつ5ブロックに分類した(図IV-1).

CNV の加算平均と早期 CNV, 後期 CNV の平均振幅の算出, またS1前の自発脳波の周波数分析と $\alpha$ 波率, 並びに反応時間の算出はIII章の方法に準ずる.

SPL は各ブロック毎に約8分間の平均電位を求めた(図IV-2).





図IV-2. SPL の分析

#### (6) 統計処理

データの統計処理はブロック(5水準)と被験者(7水準)を要因とした2元配置の分散分析を行うと共に、t検定により各ブロック間の平均の差の検定を行った。

#### (7) 被験者の分類

本実験は反応時間課題の繰り返しによって覚醒水準を低下させた時の CNV の変化を明らかにすることを目的としている。覚醒水準の低下は脳波の徐波化と SPL の減少となって現れる(van Olst and Orlebeke, 1967)。脳波は周波数分析によって $\alpha$ 波(8-13Hz)から $\beta$ 波(13-20Hz)までの周波数帯域における相対 $\alpha$ パワー値である $\alpha$ 波率を算出し、この $\alpha$ 波率の増加を覚醒水準の低下の判断基準のひとつとした。脳波の判断基準に $\theta$ 波を用いなかった理由は、一部の被験者の脳波から集中したときに現れると言われているFm $\theta$ が確認されたためである。このFm $\theta$ に関してはS1-S2-反応パラダイムの遂行中、S1-S2間だけでなくそれ以外の区間にも出現することが示されている(Nakashima and Sato, 1993)。

したがって、 $\alpha$ 波率の増加と SPL の減少の両方の条件を満たす被験者を覚醒水準が低下した被験者と判断した。その結果、7名の被験者に $\alpha$ 波率の増加と SPL の

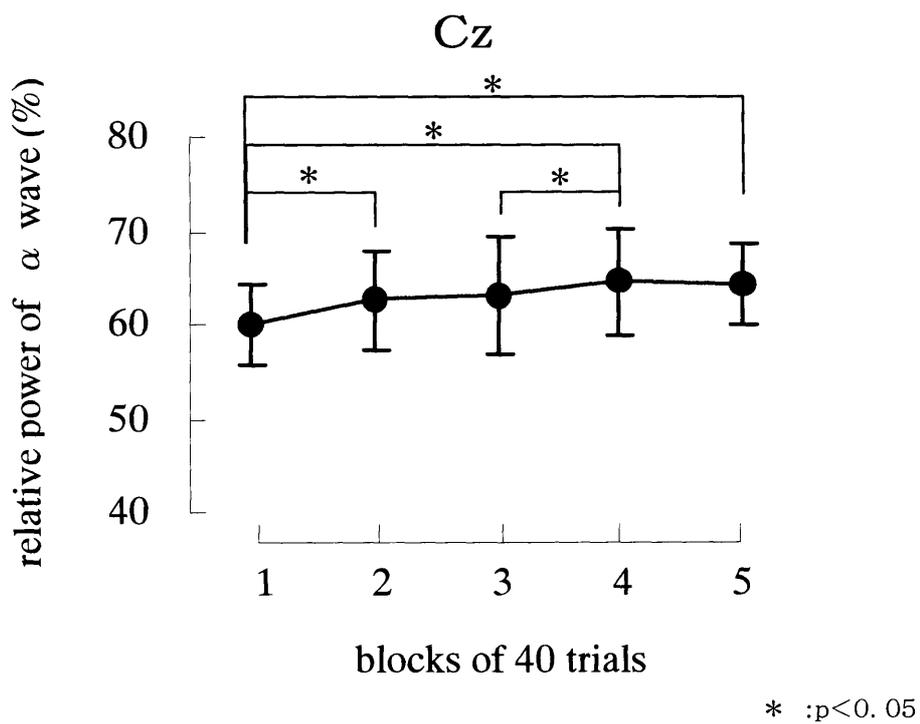
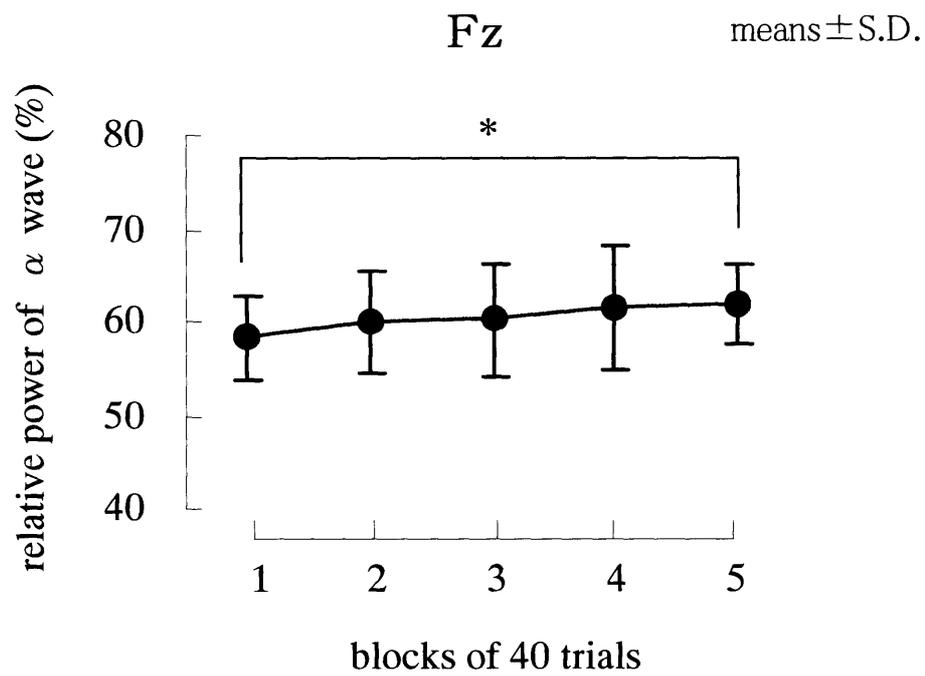
減少が確認できたが、残りの5名の被験者は覚醒水準の低下が確認できなかった。  
したがって、本研究では覚醒水準の低下が確認できた7名の被験者を5名の被験者と分けて分析した。

### IV-3. 結果

まず覚醒水準の低下が確認できた7名の被験者の結果をすべて示し、最後に覚醒水準の低下が確認できなかった5名の被験者の結果を示す。

#### (1) $\alpha$ 波率

覚醒水準の低下を確認するために、まず、各ブロックにおける $\alpha$ 波率の平均値と標準偏差を図IV-3に示す。 $\alpha$ 波率に関してブロックと被験者を要因とした2元配置の分散分析の結果、Fz( $f=3.57$ ;  $df=4,24$ ;  $p<0.05$ )とCz( $f=6.31$ ;  $df=4,24$ ;  $p<0.01$ )でブロック要因の主効果がみられた。Fzの $\alpha$ 波率(図IV-3, 上段)は、課題の繰り返しにより増加する傾向にあり、Block 5の $\alpha$ 波率はBlock 1の $\alpha$ 波率に比べて有意に大きな値を示した。Czの $\alpha$ 波率(図IV-3, 下段)もFzと同様に課題の繰り返しで増加し、Block 1に対してBlock 2, Block 4, Block 5で、Block 3に対してBlock 4でそれぞれ有意に高い $\alpha$ 波率を示した。

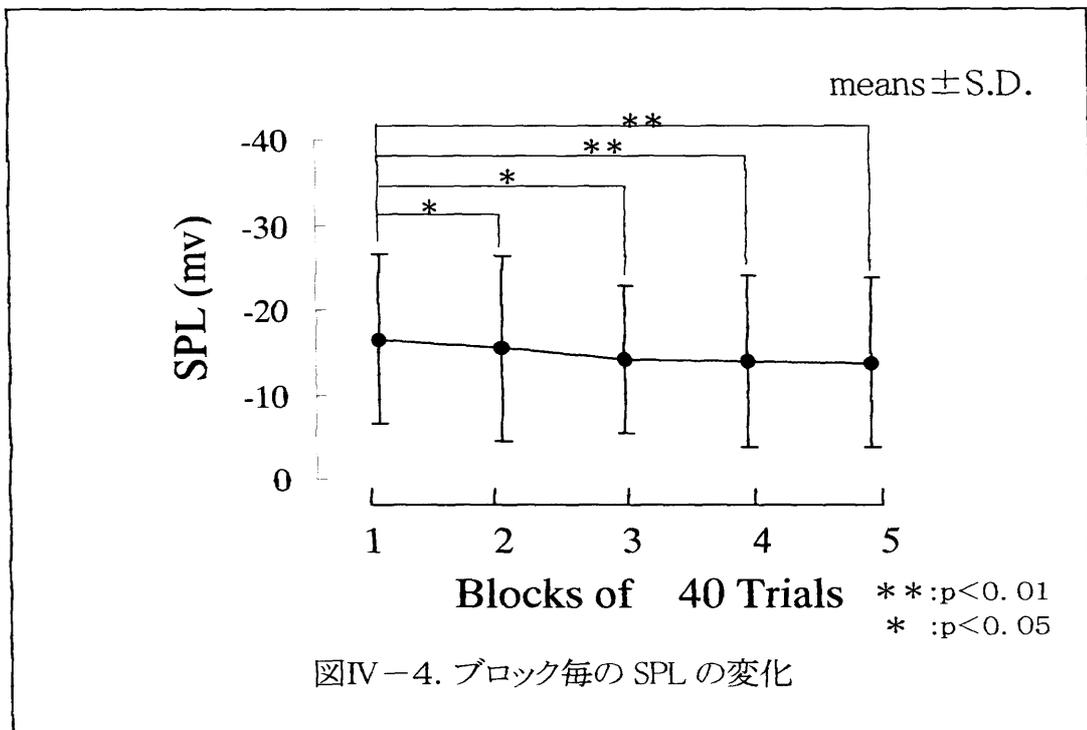


図IV-3. Fz(上段)とCz(下段)におけるブロック毎の $\alpha$ 波率の変化

(2) SPL

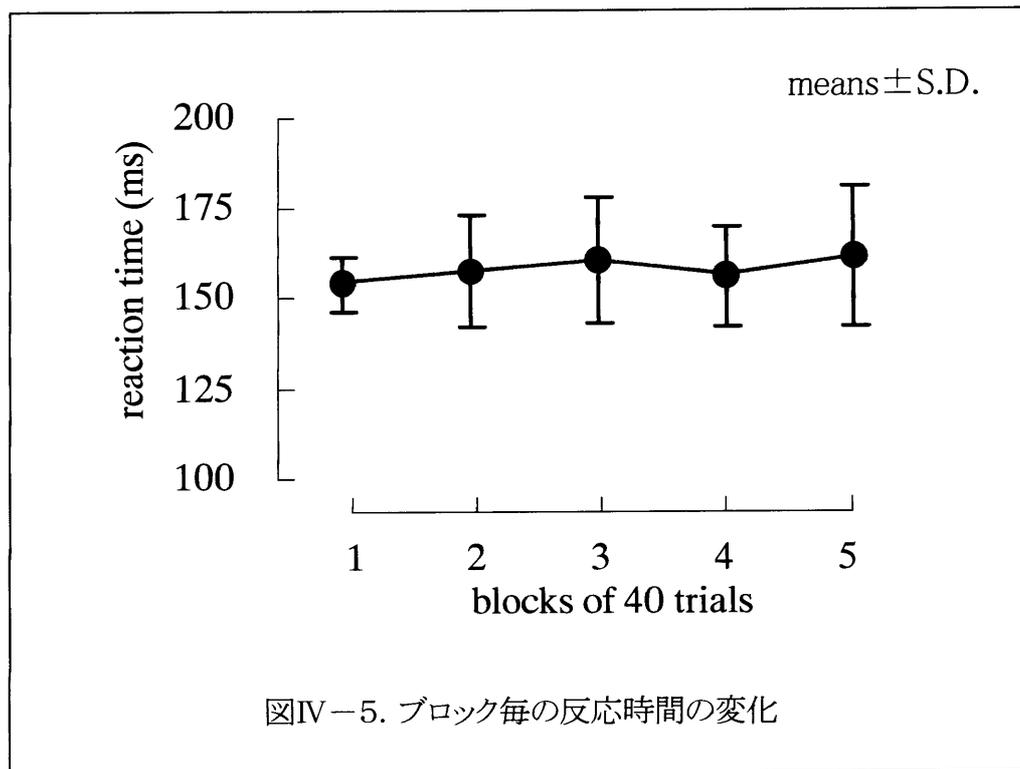
$\alpha$  波率と同様, 覚醒水準の低下を確認するために, 各ブロックにおける SPL の平均値と標準偏差を図IV-4に示す. 分散分析の結果, ブロック要因に有意な主効果がみられた( $f=6.31$ ;  $df=4,24$ ;  $p<0.01$ ). SPL は課題の繰り返しの伴い有意に減少しており, Block 1の SPL に比べて Block 2, Block 3, Block 4, Block 5の SPL は有意に低い値を示した.

以上,  $\alpha$  波率の増加を示す結果(図IV-3)と SPL の減少を示す結果(図IV-4)は7名の被験者の覚醒水準が有意に低下していたことを示した.



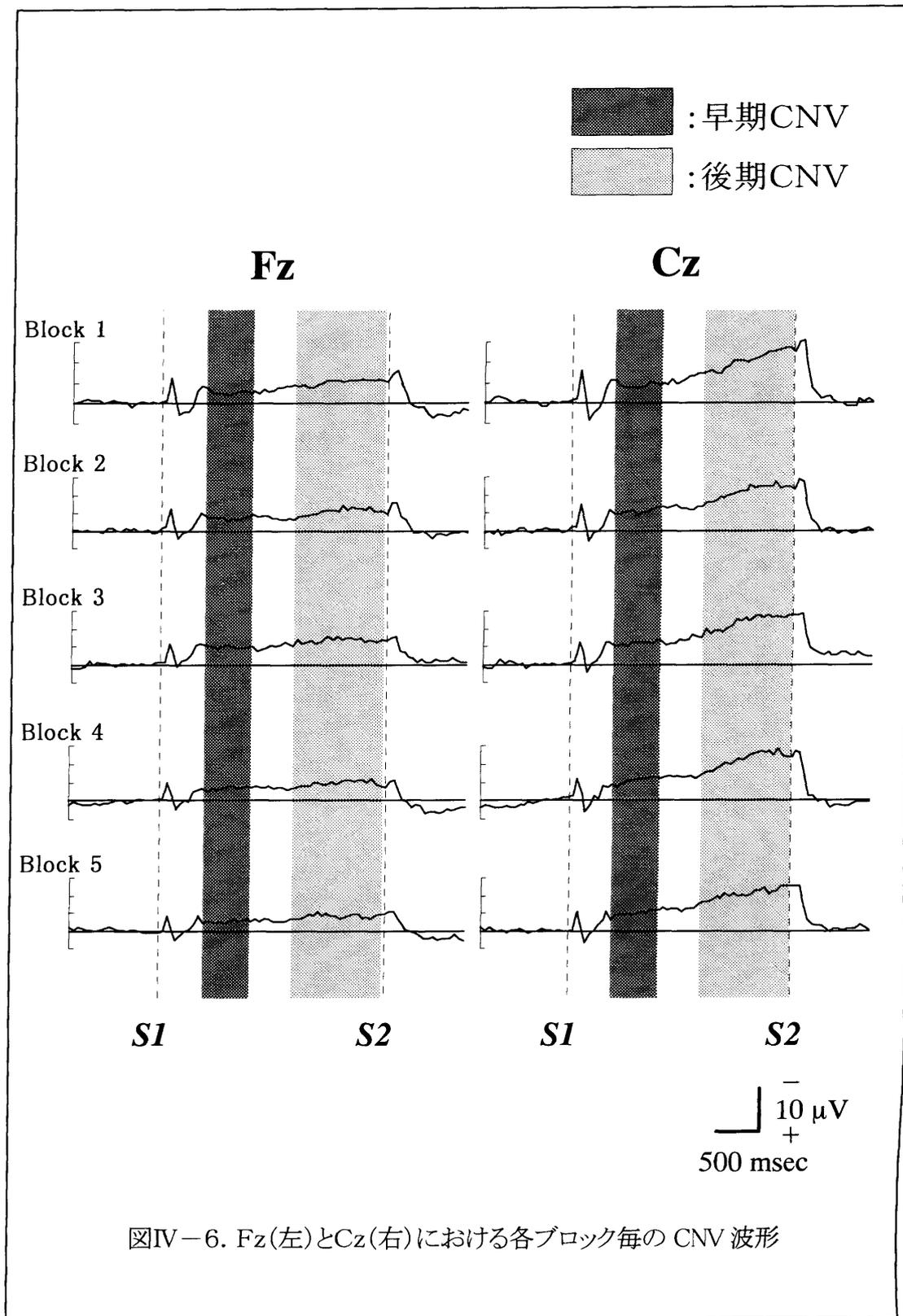
### (3) 反応時間

図IV-5は各ブロックにおける反応時間の平均値と標準偏差を示す。分散分析の結果、ブロック要因の主効果は有意ではなく( $f=1.24$ ;  $df=4,24$ ; NS), 各ブロック間で反応時間に違いはみられなかった。



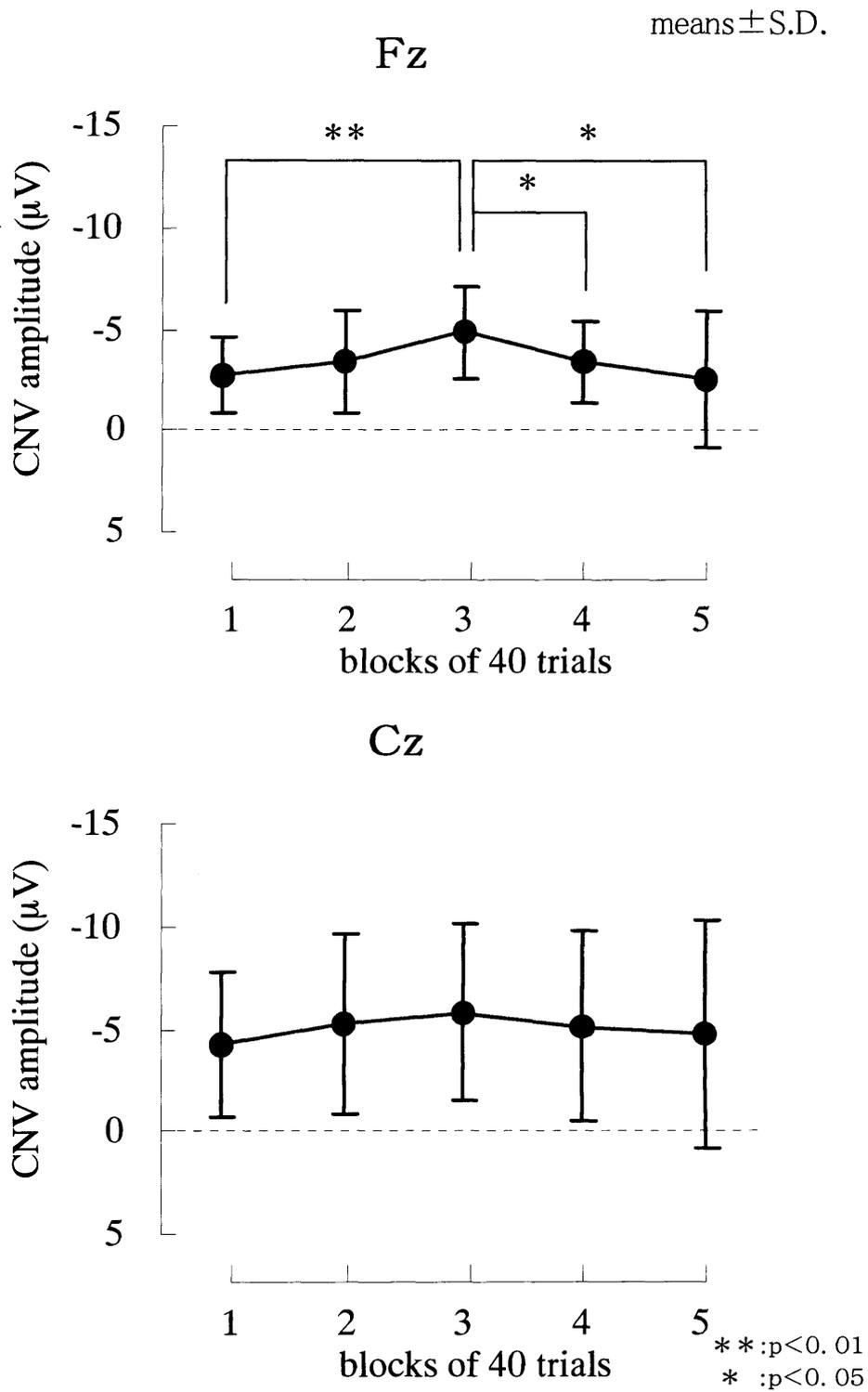
#### (4) CNV

全体的な CNV の傾向をみるために、7名の被験者の CNV を各ブロック毎にそれぞれ平均したものを図IV-6に示す。すべてのブロックにおいてCzの CNV(図IV-6, 右)は早期 CNV から後期 CNV にかけて顕著な電位の増加がみられたのに対し、Fzの CNV(図IV-6, 左)は早期 CNV から後期 CNV にかけて、わずかな電位の増加しかみられなかった。これらの CNV の特徴は従来から報告されている結果と同じであった。



#### (5) 早期 CNV

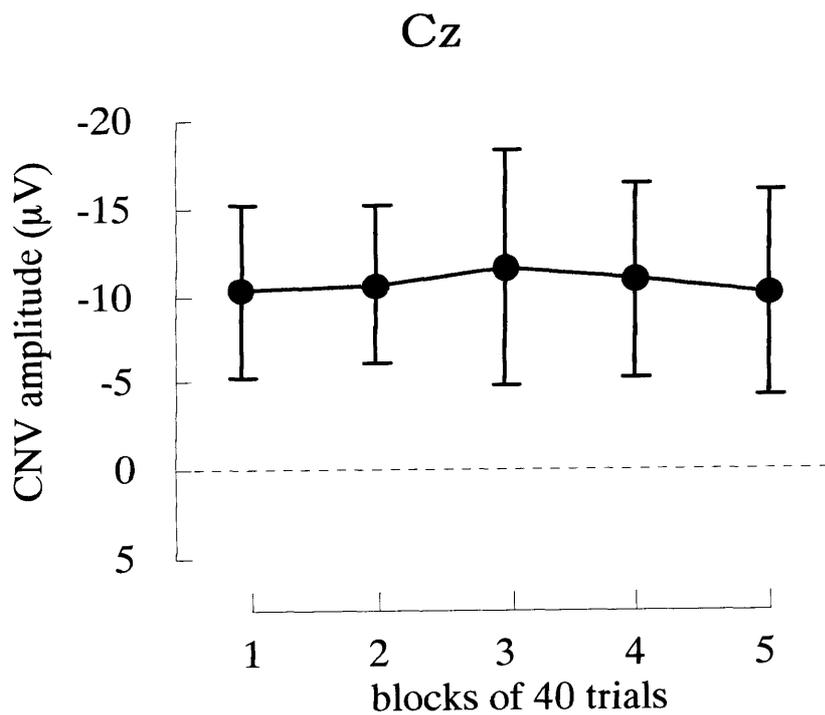
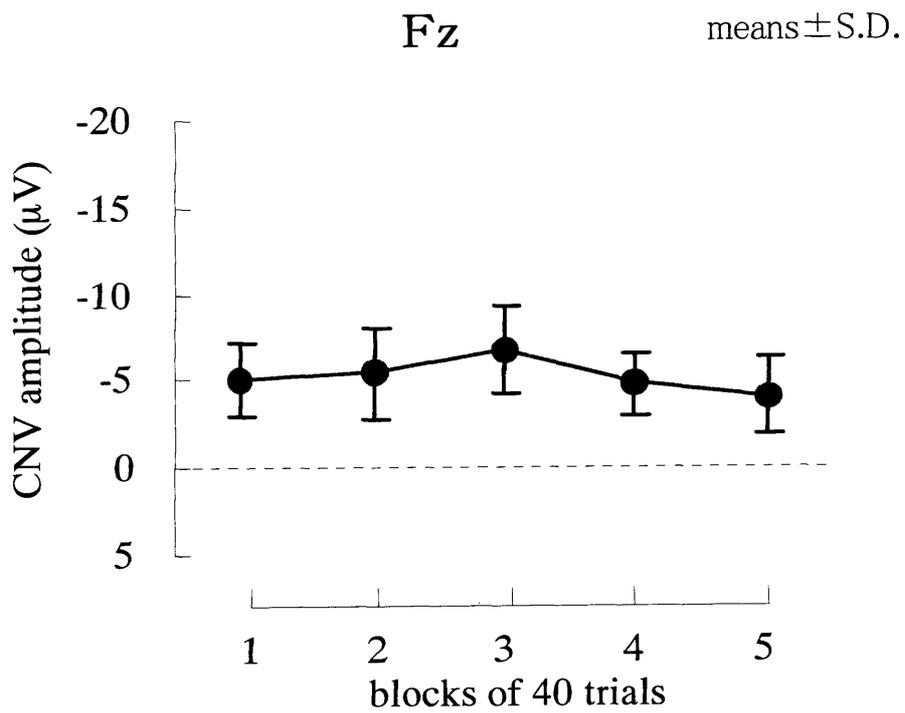
図IV-7は各ブロックにおける早期 CNV の平均振幅と標準偏差を示す。分散分析の結果、Fzの CNV 振幅においてブロック要因に有意な主効果がみられたが( $f=2.86$ ;  $df=4,24$ ;  $p<0.05$ ), Czの CNV 振幅にはブロック要因の主効果はみられなかった( $f=1.19$ ;  $df=4,24$ ; NS)。Fzの早期 CNV 振幅(図IV-7, 上段)は, Block 1から Block 3まで増加し, Block 3で最も高い値を示した。その後, Block 3から Block 5にかけて振幅は減少した。t検定の結果, Block 3は Block 1, Block 4, Block 5に対してそれぞれ有意に高い振幅を示していた。また, Cz(図IV-7, 下段)でもFzと同様に Block 3で振幅が高くなる傾向にあるが各ブロック間で統計的に有意な差はなかった。



図IV-7. Fz(上段)とCz(下段)におけるブロック毎の早期 CNV の変化

#### (6)後期 CNV

図IV-8は各ブロックにおける後期 CNV の平均振幅と標準偏差を示す。分散分析の結果, Fz( $f=1.49$ ;  $df=4,24$ ; NS)とCz( $f=0.63$ ;  $df=4,24$ ; NS)の両部位でブロック要因の主効果は有意ではなかった。Fzの後期 CNVは早期 CNVと同様に Block 3で振幅が高くなる傾向にあった。Czにおいてもわずかに Block 3で振幅が高くなる傾向にあった。



図IV-8. Fz(上段)とCz(下段)におけるブロック毎の後期 CNV の変化

(7) 覚醒水準の低下が確認できなかった5名の被験者の結果

分散分析の結果S1前の $\alpha$ 波率にはFz( $f=2.03$ ;  $df=4,16$ ; NS)とCz( $f=1.3$ ;  $df=4,16$ ; NS)の両部位でブロック要因の有意な主効果はみられなかった。SPL も同様にブロック要因の主効果はみられなかった( $f=0.18$ ;  $df=4,16$ ; NS)。

早期 CNV についてはFz( $f=0.53$ ;  $df=4,16$ ; NS)とCz( $f=1.44$ ;  $df=4,16$ ; NS)の両部位でブロック要因の有意な主効果はみられなかった。後期 CNV についてもFz( $f=0.85$ ;  $df=4,16$ ; NS)とCz( $f=0.77$ ;  $df=4,16$ ; NS)の両部位でブロック要因の有意な主効果はみられなかった。また、反応時間においても同様にブロック要因の主効果はみられなかった( $f=0.59$ ;  $df=4,16$ ; NS)。従って、これらの結果から、5名の被験者においては、覚醒水準の変動がほとんど見られなかったと考えられる。

#### IV-4. 考察

本実験は覚醒水準を変動させる要因の一つである課題要因の中から、長時間連続課題(Long-lasting task)を用い、この長時間連続課題によって引き起こされる覚醒水準の低下が CNV に及ぼす影響を調べることで、課題要因を用いた“新たな逆U字仮説”の検証と、この仮説を利用した余分な覚醒水準に対する評価を目的とした。

覚醒水準の低下は脳波の徐波化や SPL の減少となって現れる(van Olst and Orlebeke, 1967)ことから、脳波の周波数分析により $\theta$ 波を除く $\beta$ 波と $\alpha$ 波のパワー値から $\alpha$ 波率を算出し、 $\alpha$ 波率の増加とSPLの減少の両方を満たすことを覚醒水準低下の基準とした。その結果、7名の被験者に関しては $\alpha$ 波率の有意な増加(図IV-3)と、SPLの有意な減少(図IV-4)が確認でき、長時間連続課題によって覚醒水準が低下していたことが示された。なお、本研究で全被験者で覚醒水準の低下が確認できなかったのは、CNVの測定経験が原因と思われる。これは、覚醒水準の低下が確認できなかった5名の被験者の多くは、測定の経験が豊富であったのに対し、覚醒水準の低下が確認できた7名の被験者の多くはCNV測定の経験が少なかったからである。そして、この経験が少ない被験者の方が作業の開始時に覚醒水準がより高まっていたことが、覚醒水準の低下を引き起こし易くした原因と考えられる。

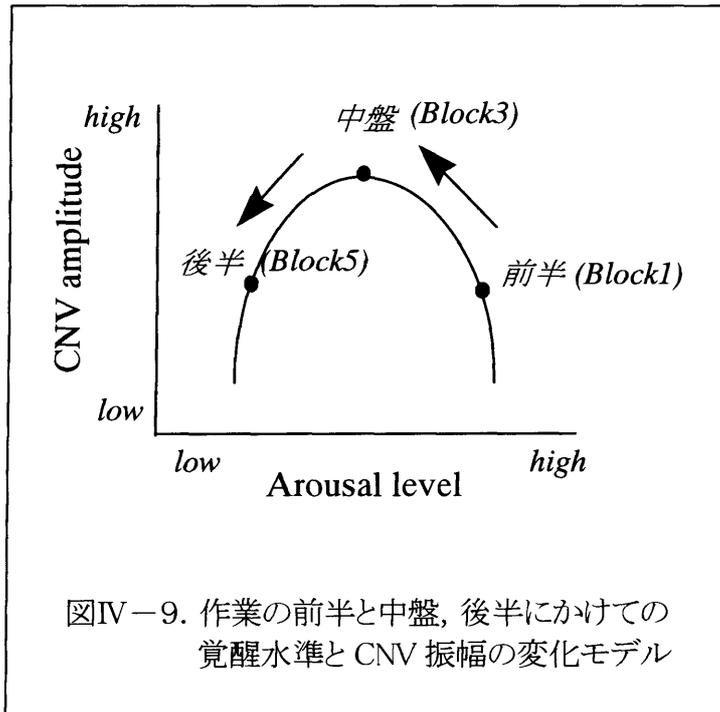
また、パフォーマンスの指標である反応時間には長時間連続課題の影響はみられなかった(図IV-5)。この結果は、SPLと $\alpha$ 波率から確認できた長時間連続課題による覚醒水準の低下が反応時間に影響を及ぼす範囲になかったことを意味する。すなわち、パフォーマンスに差がない範囲での覚醒水準とCNV振幅の間の“新たな逆U字仮説”の検討に対して、本実験のデータは有効であることが示された。

CNVへの覚醒水準の影響について、その影響はFzの早期CNVに顕著にみられ(図IV-7, 上段)、Czの早期CNV(図IV-7, 下段)やFzとCzの後期CNV(図IV

－8)にはその影響がみられなかった。これはⅢ章の結果と共通していた。前頭部にみられる早期 CNV は予告刺激(S1)に対する定位反応を反映すると考えられている (Loveless and Sanford, 1975)。さらに、早期 CNV は覚醒水準を反映することが示唆されている(山本ら, 1982, 佐久間, 1989)。これらのことから、本研究での前頭部の早期 CNV の変化は覚醒水準の影響を強く反映した結果であると考えられる。また、後期 CNV に覚醒水準の影響がみられなかった理由には以下のことが推測される。後期 CNV はその成分の中に運動に関連した準備電位(Readiness Potential)が含まれる(Rohrbaugh et al., 1976)。この準備電位を含んだ後期 CNV は反応時間と関係が強く、両者の間には負の相関があることが報告されている(有藤, 1991)。つまり、後期 CNV に覚醒水準の影響がみられなかった原因は、後期 CNV と関係がある反応時間に覚醒水準の影響がみられなかったためと考えられる。

長時間連続課題のFz早期 CNV への影響について、Fzの早期 CNV 振幅は作業の前半(Block 1)から中盤(Block 3)にかけて増加し、中盤(Block 3)で最も高い値を示した。その後、中盤(Block 3)から後半(Block 5)にかけて逆に CNV 振幅は減少した(図IV-6)。この結果と作業の繰り返しに伴う $\alpha$ 波率の増加と SPL の減少を合わせて考えると、作業前半(Block 1)の覚醒水準が高い時と後半(Block 5)の覚醒水準が低い時には CNV は低い値を示し、作業中盤(Block 3)の覚醒水準が中程度の時に CNV 振幅は高い値を示したことを意味する(図IV-9)。つまり、S1前の $\alpha$ 波率と SPL を指標に覚醒水準の変化を連続的に捉える中で、CNV 振幅は逆U字型の反応特性を示した。さらに反応時間に長時間課題の影響がみられなかったことを考慮すると、覚醒水準と早期 CNV 振幅の関係は、パフォーマンスへの影響を伴う Tecce (1972) の逆U字仮説とは異なり、“新たな逆U字関係”の存在を強く裏付けるものであった。

さらに、この“新たな逆U字関係”の証明によりⅢ章と同様な余分な覚醒水準に対する評価が可能になった。つまりこの場合、作業前半(Block1)の低い CNV 振幅は、S1前の低い $\alpha$ 波率と高い SPL から余分な覚醒水準と判断できた。これは、CNV から



図IV-9. 作業の前半と中盤, 後半にかけての  
覚醒水準と CNV 振幅の変化モデル

だけでも, また  $\alpha$  波率や SPL からだけでも判断できず, 両指標の結果を相補的に解釈することによって可能となった。

高い覚醒水準による低い CNV 振幅に関して, そのメカニズムについて言及した報告 (Knott and Irwin, 1976) の中で, CNV の増大には限界があるという限界仮説 (ceiling hypothesis) が提案された。これは, 情動反応の増大が覚醒系を介して CNV の基線を上昇させるために CNV 振幅は減少するという仮説である。また, 中村と福居 (1979) は CNV の発生に関して二重覚醒仮説 (dual arousal hypothesis) を提案した。これは CNV の発生には予告刺激 (S1) から命令刺激 (S2) までの刺激間隔に関連した「相動的覚醒過程 (phasic arousal process)」と, 命令刺激 (S2) から次の試行の予告刺激 (S1) までの試行間隔に刺激間隔も含めた全体と関わる「持続的覚醒過程 (Tonic arousal process)」の二つの覚醒過程が影響し, それぞれ相動的覚醒過程は前頭葉-間脳系に基盤を持ち情報処理を反映し, 持続的覚醒過程は中脳網様体に基盤を持ち情動反応を反映すると考えた。そして, この持続的覚醒過程が適正水準を超えると CNV 振幅は減少すると説明した。

本実験における、余分な覚醒水準による CNV 振幅の減少は、この中村と福居 (1979) の二重覚醒仮説の適応によって説明ができると考えられる。まず、覚醒水準の影響が前頭部の早期 CNV にみられたことは、前頭葉起源の「相動的覚醒過程」に関わる電位が関係していると思われる。そしてその前頭部 CNV の変動の背景には中脳網様体を起源とする持続的覚醒過程が関与していると思われる。本実験の長時間連続課題の早期 CNV への影響について、課題の前半 (Blok1) は慣れないタスクによる緊張から持続的覚醒過程が適正水準を超えていたために、相動的覚醒過程を反映する前頭部の早期 CNV が低い振幅を示したと思われる。そして、課題に慣れることによって、徐々に持続的な覚醒水準が低下し、早期 CNV は作業中盤 (Block3) で最も高い振幅を示し、後半部分 (Blok5) では持続的な覚醒水準の一層の低下で早期 CNV 振幅は減少したと考えられる。

結論として、本章では課題要因として用いた長時間連続課題による覚醒水準の高いレベルからの漸進的な低下によって、覚醒水準と CNV の間にある“新たな逆U字仮説”が証明された。そして、CNV 以外にS1前の  $\alpha$  波率や SPL を同時に測定し、それらの指標を相補的にみることで、反応時間に影響を与えない範囲の余分な覚醒水準に対する評価が可能になることがIII章に続いて示された。

## 第V章

### 総括

本研究の目的は、第一に種々の条件下で覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”について検証を行うこと、第二に CNV と他の覚醒水準の指標を合わせて覚醒水準を評価することによって、余分な覚醒水準に対する評価方法を得ること、この2点を本論文の目的とした。以下に各章の要約を述べ、最後に本論文で得られた CNV を用いた覚醒水準の評価方法に関する知見をまとめ、さらに今後の課題を付け加えた。

第I章では、本研究の背景に言及し、種々の作業や物理環境の中での覚醒水準の客観的な評価指標として、事象関連電位の一つである随伴陰性変動(CNV)に注目した。そこで、従来いわれているパフォーマンスと覚醒水準の間にみられる逆U字仮説から、パフォーマンスが変化しない範囲の覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”を提起した。この逆U字仮説は、パフォーマンスに変化がないという点で、Tecce(1972)が提唱した覚醒水準と CNV の間の逆U字仮説とは異なる。そして、このパフォーマンスへの影響の有無によって、過剰な覚醒水準と余分な覚醒水準を区別した。そして、この“新たな逆U字仮説”を検証することによって、余分な覚醒水準の評価が可能になることから、この仮説の検証の必要性を示した。

第II章では、第I章で提起した覚醒水準と CNV 振幅の間の“新たな逆U字仮説”を検証するための実験条件について文献から考察した。その際、外部の物理環境と作業特性の両要因が、実際の作業現場において覚醒水準を変動させる主要因として考えられるために、この二つの要因を考慮した“新たな逆U字仮説”の検討の重要性を指摘した。また、“新たな逆U字仮説”の検証のためには、覚醒水準を段階的に変化させる条件設定と、パフォーマンスに変化がみられない範囲の条件設定

が必要である。以上の点から適切な条件について考察した結果、環境要因には刺激の強度を変化させることにより鎮静と覚醒の両効果が期待でき、さらに段階的な条件設定が可能な光刺激が適当であると考えられた。また、課題要因には、覚醒水準の連続的な低下が期待でき、さらにパフォーマンスが覚醒水準以外の他の要因の影響を受けにくいと思われる長時間連続課題が適当であると考えられた。

第III章では、覚醒水準を変動させる要因の一つである環境要因として光刺激を用い、光刺激による覚醒水準の変化と CNV の“新たな逆U字仮説”について検証した。被験者の眼前に呈示する光刺激条件は輝度で10cd/m<sup>2</sup>、100cd/m<sup>2</sup>、320cd/m<sup>2</sup>、1000cd/m<sup>2</sup>、1800cd/m<sup>2</sup>の5条件だった。また CNV 以外の覚醒水準の指標にはS1前の $\alpha$ 波率と心拍数を用いた。その結果、輝度の対数値と $\alpha$ 波率の間には負の相関がみられ、輝度の上昇に対して覚醒水準も上昇していることがわかった。さらに、本実験で用いた輝度条件による覚醒水準の変化は、反応時間に影響を及ぼさない範囲に納まっていた。CNV については、光刺激の影響はFzの早期 CNV に強くみられ、10cd/m<sup>2</sup>の低輝度条件では CNV 振幅が低く、320cd/m<sup>2</sup>で最も高い振幅を示した。そして高輝度条件の1000cd/m<sup>2</sup>と1800cd/m<sup>2</sup>ではまた低い振幅を示した。S1前の $\alpha$ 波率、反応時間、早期 CNV 振幅の結果から、覚醒水準と CNV の間に新たな逆U字の関係があることを示唆した。そして、高い輝度条件における低い $\alpha$ 波率か判断された高い覚醒水準は、その時の CNV が低いことから余分な覚醒水準と判断できた。

第IV章では、覚醒水準を変動させるもう一つの要因である課題要因として長時間連続課題を用い、長時間連続課題による覚醒水準の低下と CNV の関係について調べ、両者の間の“新たな逆U字仮説”について検証した。この長時間連続課題は200試行の単純反応課題からなり、約40分の時間を要した。課題の繰り返しにより $\alpha$ 波率の増加と SPL の減少により覚醒水準が低下した7名の被験者に関しては、

課題の繰り返しの伴う覚醒水準の変化に対して、CNV 振幅は逆U字型の反応を示した。つまり前半の覚醒が高いときは CNV 振幅は低く、中盤の覚醒水準が中程度の時に CNV 振幅は最も高い値を示し、後半の覚醒水準が低いときは、前半と同様に低い値を示した。しかも、パフォーマンスにその影響がみられなかったという点で“新たな逆U字仮説”の存在を第III章に続き強く裏付けた。そして、作業前半での高い SPL 及び低い $\alpha$ 波率と低い CNV 振幅から判断すると作業の前半の高い覚醒水準は余分な覚醒水準であったと判断できた。

以上、第III章と第IV章の結果から覚醒水準を変化させる環境要因と課題要因のいずれにおいても、パフォーマンスに変化のない範囲における覚醒水準と CNV、特に早期 CNV との間において“新たな逆U字仮説”が実証された。

また、CNV 以外の覚醒水準の指標としてS1前の $\alpha$ 波率及び SPL の有効性が示され、それらの指標と早期 CNV を合わせて、相補的に覚醒水準を評価することにより、パフォーマンスに影響が現れない範囲の余分な覚醒水準に関する評価が可能となった。

最後に今後の展望について述べる。本論文では環境要因と課題要因のそれぞれから覚醒水準と CNV 振幅の“新たな逆U字仮説”が証明された。また仮説の証明によってパフォーマンスに影響が現れない範囲での高い覚醒水準、つまり余分な覚醒水準に関しての評価方法が示された。しかしながら、実際の作業現場において環境要因と課題要因は相互に覚醒水準に作用していると考えられる。従って、今後は環境要因と課題要因の交互作用を考慮した“新たな逆 U 字仮説”の検討が必要であると思われる。

## 謝辞

本論文の作成に当たり、適切な御指導と暖かい御助言を頂きました多くの先生方に深く感謝の意を表します。

まず、佐藤方彦教授には私が本教室にお世話になるようになった学部4年次から博士後期課程2年次までの5年間、指導教官として私の研究、並びに研究者としての基礎を築いて下さいました。先生からは人間を研究することの奥深さや喜びを学び、知的好奇心を失うことなく研究を続けてこれたことに心から感謝申し上げます。

そして、最後の一年間、研究指導を承りました川北和明教授、安河内朗助教授、綿貫茂喜助教授には、御多忙の中で多くの時間を私の研究指導のために割いて頂き、先生方の御力添えが得られなければこの論文の完成はあり得ませんでした。深く感謝すると共に、心より御礼申し上げます。

さらに、本教室の佐藤陽彦教授、大箸純也助手、小林宏光助手にも在学期間を通して大変お世話になりました。また、実験室、実験機材などに何の問題もなく実験が円滑に行えたことを藤原睦弘技官に深く感謝いたします。

また、先輩として後輩である私を先導下さいました迫秀樹先輩、河原雅典先輩に深く感謝いたします。さらに、同期生として研究に対する議論に多くの時間の割いてくれた岩切一幸氏、また論文作成を陰で支えてくれた本研究室の前田享史氏、磯田和生氏、横山詔常氏、近藤恭子氏、丸勢修氏、並びに実験の被験者として快く協力してくれた本研究室の学生諸君に心から感謝いたします。

最後に、長年にわたり私を大学に通わせ、暖かく見守ってくれた家族に心から感謝いたします。

1996年 12月

樋口 重和

## 引用文献

有藤平八郎, 高橋正也, 1991: 随伴性変動と反応時間の加齢影響. 産業医学, 33: 170-178

Ashton, H., Millman, J. E., Telford, R. and Thompson, J. W., 1974: The effect of caffeine, nitrazepam and cigarette smoking on the contingent negative variation in man. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 37: 59-71

Brix, R., Fitzal, S., and Gedlicka, W., 1979: CNV and evoked potentials under electroacupuncture and under acoustic masking. *Anaesthesist*, 28: 60-66

Deguchi, T. and Sato, M., 1992: The effect of color temperature of lighting sources on mental activity level. *The Annals of Physiological Anthropology*, 11(1): 37-43

Eysenck, H. J., 1967: *The biological basis of personality.*

福田秀樹, 鳥居鎮夫, 金本秀之, 多喜田亮介, 宮内哲, 浜渦良男, 1985: 香料の随伴性陰性変動(CNV)に及ぼす影響-第1報-. 味と匂いのシンポジウム論文集: 65-68

Hebb, D. O., 1955: Drives and the c. n. s. (conceptual nervous system). *Psychol. Rev.*, 62: 243-254

樋口重和, 1994: 生活環境の評価指標としての随伴性陰性変動(CNV)の確立.  
九州芸術工科大学平成5年度修士論文. 20-25. (a)

樋口重和, 1994: 外部環境に対する CNV の反応特性. 日本生理人類学会第32  
回大会抄録集: 81. (b)

Higuchi, S., Watanuki, S. and Yasukouchi, A., 1997: Effects of reduction in  
arousal level caused by long-lasting task on CNV. *Appl. Human Science*, 16  
(1), in press

Higuchi, S., Watanuki, S., Yasukouchi, A. and Sato, M., 1997: Effects of  
Changes in Arousal Level by Continuous Light Stimulus on CNV. *Appl. Human  
Science*, 16(2), in press

Irwin, D. A., Knott, J. R., McAdam, D. W. and Rebert, C. S., 1966:  
Motivational determinants of the "Contingent Negative Variation".  
*Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 21: 538-543

Janssen, R. H. C., Mattie, H., Plooij-van Gorsel, P. C. and Werre, P. F., 1978:  
The effects of a depressant and a stimulant drug on the contingent negative  
variation. *Biological Psychology*, 6: 209-218

Järvilehto, T. and Fruhstorfer, H., 1970: Differentiation between slow  
cortical potentials associated with motor and mental acts in man. *Exp. Brain  
Res.*, 11: 309-317

片山容一, 西本博, 小谷昭夫, 坪川孝志, 森安信雄, 高橋慶吾, 小原甲子, 1976: CNVの発生機構. 臨床脳波, 18(7): 433-440

金村早穂, 川崎通昭, 印藤元一, 福田秀樹, 鳥居鎮夫, 1987: 香料のCNVおよびSPLに及ぼす影響—第3報—. 味と匂いのシンポジウム論文集: 201-204

Knott, J. R. and Irwin, D. A., 1967: Anxiety, stress and the contingent negative variation. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 22: 188

Küller, R., 1986: Physiological and psychological effects of illumination and colour in the interior environment. *Journal of Lighting and Visual Environment*, 10: 33-37

Loveless, N. E. and Sanford, A. J., 1974: Effects of age on the contingent negative variation and preparatory set in a reaction-time task. *Journal of Gerontology*, 29(1): 52-63

Loveless, N. E. and Sanford, A. J., 1975: The impact of warning signal intensity on reaction time and components of the contingent negative variation. *Biological Psychology*, 2: 217-226

Low, M. D., Borda, R. P., Frost, J. D., and Kellaway, P., 1966: Surface-negative slow-potential shift associated with conditioning in man. *Neurology*, 16: 771-782

Martin Moore-Ede, 1992: *The twenty four hours society*. Addison-Wesley Publishing Company.

McCallum, W. C. and Papakostopoulos, D., 1973: The CNV and reaction time in situations of increasing complexity *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 33: 179–185

McCallum, W. C. and Walter, W. G., 1968: The effects of attention and distraction on the contingent negative variation in normal and neurotic subjects. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 25: 319–329

Miller, L. H., van Veen, W., Sandman, C. A. and Knott, J. R., 1973: Intermodal and intramodal distraction and CNV. *Electroenceph. clin. Neurophysiol., Suppl.* 33: 209–211

Moruzzi, G. and Magoun, H. W., 1949: Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 1: 455–473

Nakamura, M., Fukui, Y., Kadobayashi, I. and Kato, N., 1976: The effect of motor-response-deprivation on contingent negative variation(CNV). III : Relation with maudslly personality inventory(MPI). *Folia Psychiat. Neurol. Jap.*, 30: 111–119

中村道彦, 福居義久, 1979: 弁別作業と CNV. *臨床脳波*, 21(6):367–374

中村道彦, 福居義久, 門林岩雄, 加藤伸勝, 1979: Contingent negative variation. 神経進歩, 23(2): 370-385

Nakashima, K. and Sato, H., 1993 : Relationship between frontal midline theta activity in EEG and concentration. J. Human Ergol., 22: 63-67

緒方茂樹, 西村耕也, 印藤元一, 川崎通昭, 鳥居鎮夫, 1986: 香料の随伴性陰性変動(CNV)に及ぼす影響-第2報-.味と匂いのシンポジウム論文集, 149-151

Rebert, C. S., Berry, R. and Merlo, J., 1976: DC potential consequences of induced muscle tension effects on contingent negative variation. In McCallum, W. C. and Knott, J. R. (Eds. ) The responsive brain: 126-131

Rohrbaugh, J. W., Syndulko, K. and Lindsley, D. B., 1976: Brain wave components of the contingent negative variation in humans. Science, 191: 1055-1057

坂本弘, 1989: オフィスのストレス. 佐藤方彦 編者, オフィス・アメニティー. 井上書院.

佐久間春夫, 1989: CNV の時間的空間的特徴とエラー反応. 東邦医学会雑誌, 36(2・3): 74-88

佐藤方彦, 1989: オフィスアメニティ. 井上書院.

佐藤泰治, 福島裕, 斉藤文男, 矢部博興, 1993: 精神分裂患者における早期ならびに後期 CNV の臨床的意義. 臨床脳波, 35(1): 41-46

下河内稔, 1981: 事象関連電位(III). 臨床脳波, 23(12): 809-818

Shimokochi, M., Nageishi, Y. and Hikichi, S., 1990: The effect of stimulating odours on the magnitude of CNV.

Snedecor, G. W. and Cochran, W. G., 1967: Statistical Methods, 6<sup>th</sup> edition. The Iowa State University Press, Ames.

高木緑, 渡邊悟, 尾崎久記, 鈴木啓之, 田中正文, 時々輪浩穂, 川口崇子, 1991: 低圧低酸素環境下における CNV の変化. 環研年報 XL II: 92-95

Tecce, J. J., 1972: Contingent negative variation (CNV) and psychological processes in man. Psychological Bulletin, 77(2): 73-108

Tecce, J. J. and Hamilton, B. T., 1973: CNV reduction by sustained cognitive activity (distraction). Electroenceph. clin. Neurophysiol., Suppl. 33: 229-237

Tecce, J. J. and Scheff, N. M., 1969: Attention reduction and suppressed direct-current potentials in the human brain. Science, 164: 331-333

Tecce, J. J., Savignano-Bowman, J. and Meinbresse, D., 1976: Contingent negative variation and the distraction-arousal hypothesis. *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 41: 277–286

Timsit-Berthier, M., Geronio, A. and Rousseau, J. C., 1980: CNV and functional state changes during long-lasting and repetitive recording sessions. In Kornhuber, H. H. and Deecke, L. (Eds. ). *Motivation, motor and sensory processes of the brain (progress in brain research, 54)*. Amsterdam, Elsevier: 673–681

鳥居鎮夫, 1986: 香りと意識. *フレグランスジャーナル*, 77: 16–20

Van Olst, E. H. and Orlebeke, J. F., 1967: An analyses of the concept of arousal. *Nederlands Tijdschrift voor de Psychologie*, 22: 583–603

Walter, W. G., Cooper, R., Aldridge, V. J., and McCallum, W. C., 1964: Contingent negative variation: an electric sign of sensorimotor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 203: 380–384

Weerts, T. C. and Lang, P. J., 1973: The effects of eye fixation and stimulus and response location on the contingent negative variation (CNV). *Biological Psychology*, 1: 1–19

Werre, P. F., 1987: Extraversion-introversion, contingent negative variation, and arousal. In Strelau, J. and Eysenck, H. J. (Eds. ). *Personality dimensions and arousal*. New York, Plenum, 59–76

Wilkinson, R. T and Haines, E., 1970: Evoked response correlates of expectancy during vigilance. *Acta. Psychol. Suppl. (Amst. )*, 33: 402–413

山本卓二, 遠藤四郎, 斉藤泰彦, 酒本好浩, 1982: 部分的断眠の CNV に及ぼす影響. *臨床脳波*, 24(4): 252–256

氏名・本籍（国籍）	樋口重和（福岡県）
学位の種類	博士（芸術工学）
学位記番号	甲第8号
学位授与の日付	平成9年3月18日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	随伴陰性変動（CNV）を用いた覚醒水準の評価力法に関する基礎的研究

審査委員会	幹事 教授 川北和明
	委員 助教授 綿貫茂喜
	委員 教授 佐藤陽彦

論文内容の要旨

ヒトが何らかの意識的な活動を円滑に行うためには、脳がある範囲内の覚醒水準を維持していることが必要である。近年、夜間の労働や交代制勤務などの従事者を対象に覚醒水準の研究が行われている。そしてこれらの研究では特に覚醒水準の低下が問題視されている。一方、労働の場としての多くの人々が働くオフィス環境において指摘されている様々なストレスは、必要以上に覚醒水準を増加させる可能性があり、この観点からも覚醒水準を評価する必要がある。

本論文では、脳電図（EEG）の中でも事象関連電位（ERP）に分類される随伴陰性変動（Contingent negative variation; CNV）に着目し、覚醒水準との関係について検討した。CNVは一对の予告刺激（S1）と命令刺激（S2）を一定の間隔で繰り返し被験者に呈示し、S2に対して運動反応を要求したときに出現する脳電位である。そしてCNVの特徴として、覚醒水準のあるレベルまでの上昇に対しては、CNV振幅も増加するが、覚醒水準が過剰に上昇するとCNV振幅は逆に減少する。即ちCNV振幅は、覚醒水準の変化に対して逆U字型の反応特性を示すことが報告されている。従来から覚醒水準とパフォーマンスの間の逆U字仮説はよく知られているが、これらの報告はCNVにも逆U字仮説が存在することを示唆する。また、著者の研究を含めた過去の研究から、このCNVに関する仮説は、パフォーマンスである反応時間に変化はみられない範囲でも成り立つことが推察された。本論文ではこの仮説を従来からの逆U字仮説に対して“新たな逆U字仮説”と呼び、さらにパフォーマンスに影響を与えない程度での高い覚醒水準を、過剰な覚醒水準になる前の状態として“余分な覚醒水準”と定義した。

従来からの覚醒水準の指標である自発脳波の周波数特性は、覚醒水準の上昇に対して速波化の反応というように一方向の反応しか示さないために、覚醒水準の高低の判断しきれなかった。しかし、覚醒水準の変化に対して逆U字型の反応を示すCNVを指標に加え、両指標から覚醒水準を評価することで、自発脳波からだけでは分からなかった余分な覚醒水準について評価が可能になると考えられる。そのためには、まず覚醒水準とCNV振幅の間の“新たな逆U字仮説”の検証が必要となる。したがって、本論文の目的は“新たな

逆U字仮説”の検証と、課題遂行時の“余分な覚醒水準”を評価することにある。

その際、実際の作業現場において覚醒水準を変動させる要因として環境要因と課題要因が挙げられるが、この二つの要因から“新たな逆U字仮説”の検証が望ましい。そして、検証のための実験条件には、覚醒水準を段階的に変化させることができること、また反応時間に影響を及ぼさない範囲の条件設定が必要であることを考慮して、環境要因には刺激の強弱によって覚醒及び鎮静効果があり、段階的な条件設定が可能な光刺激を用いた。また、課題要因には段階的な覚醒水準の低下が予想される長時間連続課題を用いた。

最初に、環境要因である光の明るさによって変化する覚醒水準とC N Vの間の“新たな逆U字仮説”について検証した。被験者の眼前に呈示する光刺激の明るさは、輝度で10cd/m<sup>2</sup>、100cd/m<sup>2</sup>、320cd/m<sup>2</sup>、1000cd/m<sup>2</sup>、1800cd/m<sup>2</sup>の5条件とした。またC N V以外の覚醒水準の指標にはS1前の波率(波(8~13Hz)から波(13~20Hz)までの帯域パワー値に対する波帯域の相対パワー値)を用いた。なおこの波率はその値が小さければ覚醒水準が高いことを意味する。その結果、輝度の対数値と波率の間には有意な負の相関がみられ、輝度の上昇に対して覚醒水準が上昇していることが示された。しかも、この覚醒水準の変化は反応時間に影響を及ぼさない範囲に納まっていた。C N Vについては320cd/m<sup>2</sup>において低輝度条件の10cd/m<sup>2</sup>と高輝度条件の1000cd/m<sup>2</sup>に比べて有意に高いC N V振幅を示した。これらの結果から、覚醒水準とC N V振幅の間の“新たな逆U字仮説”の存在が示された。そして、低い波率から判断される高輝度条件における高い覚醒水準は、その時のC N V振幅が低いことから余分な覚醒水準と判断できた。

次に課題要因として用いた長時間連続課題による覚醒水準の変化と、C N Vの間の“新たな逆U字仮説”について検証した。この長時間連続課題は200試行の単純反応課題からなり、約40分の時間を要した。また、C N V以外の覚醒水準の指標にはS1前の波率と皮膚電位水準(S P L)を用いた。課題の繰り返しにより波率の増加とS P Lの減少により覚醒水準が低下した7名の被験者に関しては、覚醒水準の変化に対してC N V振幅は逆U字型の反応を示した。つまり前半の覚醒水準が高いときはC N V振幅は低く、中盤の覚醒水準が中程度の時にC N V振幅は最も高い値を示し、後半の覚醒水準が低いときは、前半と動揺に低い値を示した。しかも、パフォーマンスにその影響がみられなかったという点で“新たな逆U字仮説”の存在が示された。そして、高いS P L及び低い波率から判断できる作業前半の高い覚醒水準は、その時の低いC N V振幅から余分な覚醒水準であったと判断できた。

以上、二つの実験結果から環境要因と課題要因による覚醒水準の変化と、C N V振幅の間の“新たな逆U字仮説”が証明された。そして、この仮説の証明によりC N VとS1前の波率及びS P Lを用いて相補的に覚醒水準を評価することによって、反応時間課題時の“余分な覚醒水準”に関する新たな評価方法が提案された。

#### 論文審査の結果の要旨

脳の覚醒水準を客観的に知ることは適切な生活環境を設計する上で重要である。従来、

脳の覚醒水準はパフォーマンスや自発脳波から評価されてきた。しかしながら、今日では労働の軽作業化に伴い、パフォーマンスが低下するほどの劣悪環境は少ない。むしろ、照明や騒音等の環境要因や精神的緊張等の心理要因に基づいて、必要以上の覚醒状態が発生している。そのため、覚醒水準を評価する上で、パフォーマンスや自発脳波よりも精度の高い指標、例えば、必要以上の覚醒水準の有無を判断できる新たな指標が希求されている。

本論文は脳電図の中の事象関連電位の一つであり、覚醒水準をよく反映するとされる随伴陰性変動（CNV）に着目した。CNV振幅は覚醒水準と逆U字型の関係にあるという仮説（逆U字仮説）がある。その仮説とは、覚醒水準の上昇に伴ってCNV振幅は高くなるが、ある覚醒水準を越えると逆に低下すると共に、パフォーマンスも覚醒水準に対して逆U字型の変化を示すとするものである。しかし、この仮説は実証されていない。また、CNV振幅がピークを越えて減少し、パフォーマンスが低下した状態を過剰な覚醒状態という。しかし、パフォーマンスは変わらなくてもCNV振幅は低下する場合があるという報告もある。そこで、本論文は、パフォーマンスが変わらない状態でも、CNV振幅と覚醒水準との間の逆U字仮説は成立するか否かを検証し、さらに、CNV振幅と他の生理指標を相補的に用いることにより、脳の覚醒水準、特に必要以上の覚醒状態を評価する新しい方法の提案を目的とした。

CNV振幅の変化が逆U字を示すことを確かめるためには、覚醒水準を幅広く変動させる必要がある。本論文では先ずCNV振幅に関する文献調査を行った。その結果、覚醒水準を変動させる要因として環境要因と課題要因の2つがあることを示した。そこで、2つの実験が計画された。即ち、実験1では環境要因として光刺激を取り上げ、光（輝度）刺激の強度を、広い範囲で変化させた時のCNV振幅および心拍数を測定した。実験2では、長時間連続課題を行った時のCNV振幅と脳波および皮膚電位水準を測定した。なお、パフォーマンスは反応時間から評価した。

実験1では以下の成果が得られた。輝度によって反応時間は変らなかった。しかし、従来覚醒水準の指標である脳波の波率は輝度の上昇に伴って増加したが、CNV振幅は輝度の上昇に対して逆U字型の反応を示した。従って、パフォーマンスが変わらない状態でも、覚醒水準とCNV振幅の間には逆U字の関係があることが証明された。さらに、従来であれば波率の値から高い覚醒水準にあると判断される高輝度条件も、その時のCNV振幅が低いことから、必要以上の覚醒水準と解釈できた。実験2でも実験1と同様な成果が得られた。即ち、長時間課題によって、反応時間には変化はなかったが、従来の覚醒指標である波率とSPLは経時的に低下した。しかし、CNV振幅は時間経過に伴い逆U字型の反応特性を示した。即ち、課題要因においても覚醒水準とCNV振幅の間に逆U字の関係があることを証明した。また、波率とSPLが低下した状態は、従来の知見によれば高い覚醒状態と考えられるが、CNV振幅の低下と相補的にみることにより、必要以上の覚醒状態であると判断し得た。

これらの結果から、従来仮説の域を出なかった覚醒水準とC N V振幅との間の逆U字仮説を証明し、しかもこのことがパフォーマンスに違いが見られない覚醒水準においても成立することを見出した。これはこれまでにない成果として注目される。これによって、従来困難であった高い覚醒状態と、その中に含まれる必要以上の覚醒水準を 波率あるいはS P LとC N V振幅を併用することにより分離することが可能になった。これらの成果は、脳の覚醒水準を客観的に知ろうとする研究に貢献をするものと期待される。従って、本委員会は、本論文が博士（芸術工学）の学位を得るに値するものであることを認めた。

#### 最終試験の結果の要旨

本論文についての試験は、申請者に論文の概要について説明を求めた後、各審査委員が専門的視点により論文の内容および関連事項について質問したが、いずれも適切な回答が得られた。

次に人間工学および関連分野の研究者の出席のもとで、生活環境専攻主催の公開発表会が開かれ、申請者の発表に対して質疑応答が行なわれた。主な質問内容はC N Vの発生源はどこか、必要以上の覚醒はストレスの原因になるか等であったが、申請者から本論文の範囲内において質問者の納得のゆく説明が得られた。

以上の結果から、審査委員合議のうえ、試験は合格と決定した。

## 正誤表

(頁)	(行)	(誤)	(正)
p22	10 行	低下するという, Tecce	→ 低下するという Tecce
p26	16 行	自立神経	→ 自律神経
p66	17 行	CNV が	→ CNV 振幅が
p70	18 行	CNV が	→ CNV 振幅が