

# 快適な室内照明の研究 一室内気候の影響も含めて

佐藤 方彦

## 1. まえがき

今日、建築や照明関係の各種便覧やハンドブックには人工照明光源の色温度は4500K以上であることが望ましく、4000K以上でなければならない旨が記されている。しかし、その根拠となる事実や資料を明記したものは見あたらない。この方面の従来の諸研究を検討すると、その根拠の可能性として、Philips社のA. Kruithofの提案に遭遇する。1941年に発表された論文を検討すると、Kruithofは快適条件の指標として生理反応を用いたとしているが、その内容は明らかにされていない。しかし、その当時この種の研究に活用し得た生理学的測定に限られたものであることは想像に難くない。したがって、彼の提案には様々な留保が必要であろう。事実、近年欧米でもKruithofの提案を追試するために、色温度が生じる心理反応が求められ、温冷感が低色温度光でより高くなることを除き、Kruithofの想定を否定する研究が相次いで発表されるようになった。快適な光質の研究には根本的な検討が必要と考えられる。

本研究は、色温度を中心とする光質の影響を心理的評価にとどまらず生理的手法を用いて検討するものである。

## 2. 照明環境の脳波トポグラフィによる評価

### 2.1 研究の目的

今日、高度情報化社会を迎え、以前には考えられなかったような莫大な量の情報を処理するため、オフィスにはOA機器の導入が進み、オフィスのインテリジェント化が一般化しつつあるが、OA機器の導入で最も問題となっているのがVDT (Visual Display Terminal) である。VDT作業は眼の負担だけでなく、作業密度が高水準である上に、作業が単調な繰り返しであることや、自分で創作することもないことから、精神的負担も高いといわれている。そこで本研究では、心理面に影響を与えるといわれる色温度の異なる照明環境において、VDT作業時の脳波の変動を脳波トポグラフィを用いて調べ、照明の色温度と精神的負担の関係を考察し、照明の色温度により、このような精神的負担を抑えることができないかを検討することを目的とする。

## 2.2 実験方法

被験者は健康な男子大学生、および大学院生4名(年齢21~24歳)で、過去の実験において、Fmθの出現が確認されたものの中から選抜した。また、作業中の眠気による閉眼を防止するため、被験者には実験前夜に十分な睡眠をとるように指示した。

実験室の室温は25℃、照明は天井に設置してある蛍光灯による直接照明方式で、被験者の視点位置における水平面照度を500lxに設定し、色温度を3条件(3000K, 5000K, 7500K)に変化させた。

被験者は入室後、5分間閉眼安静を保ち、実験照度に暴露された。暴露開始から5分間、開眼安静を保った後、15分間のVDT作業(コンピュータとマウスを使った暗算作業)と2分間の閉眼安静を6回繰り返し、それぞれで脳波を記録した。また、各被験者、実験は1日に1条件とし、3条件の順序はランダムに行った。図2-1に本実験のタイムテーブルを示す。

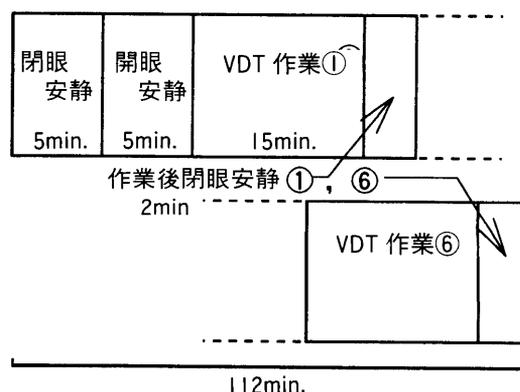


図2-1 本実験のタイムテーブル

脳波は両耳葉共通電極を基準電極とし、国際10-20法に従い、Fp1, Fp2, F7, F8, C3, C4, T5, T6, O1, O2, Fz, Cz, Pzの計13部位より導出した。記録は脳波計(日本光電 EEG-5514)により時定数0.3sec, 高域遮断フィルター30Hzで行い、A/D変換ボード(カノーパス電子ADJW-98)を用いてデジタル化し(サンプリング周波数100Hz, 1024点), コンピュータ(EPSON PC-386GE)に取り込んだ。なお、サンプリングの開始時点は、作業前閉眼・開眼安静時では4分30秒後、VDT作業時では10

分後、作業後閉眼安静時では55秒後とした。

### 2. 3 分析方法

脳波トポグラフィは松岡ら (1976)<sup>※1)</sup>の方法に従い、作成した。以下にその手順を簡単に述べる。

約10秒間のデジタル化した脳波データに対しFFT(高速フーリエ変換)を行い、パワースペクトルを算出した。本研究での脳波トポグラフィ作成対象となる周波数帯域は $\theta$  (5.0~7.9Hz),  $\alpha 1$  (8.0~9.9Hz),  $\alpha 2$  (10.0~12.9 Hz),  $\beta$  (13.0~25.0Hz)であり、求めたパワースペクトルからこれらの周波数帯域の平均パワーの平方根を算出し、その値を各周波数帯の等価電位とした。そして、その等価電位の値に対し標準化関数を利用した補間を行い、脳波トポグラフィを作成した。また、さらに細かな分析を行うために、前頭正中部、左・右大脳半球の平均電位を補間値から算出した。

### 2. 4 結果

VDT 作業時、被験者4名中2名で実験全体を通して、はっきりとしたFm $\theta$ が確認された。図2-2はFm $\theta$ が確認された被験者の脳波トポグラフィである。 $\theta$ 波が前頭正中部を極大として分布しているのが分かる。また、Fm $\theta$ 出現と同時に、後頭部の $\alpha 2$ 波の電位も高くなる傾向がみられた。

次に、 $\theta$ 波の前頭正中部の平均電位から、照明条件間のFm $\theta$ 出現量の比較を行った。図2-3はFm $\theta$ 出現が確認された2名の被験者における作業前閉眼安静時をコントロールとした、前頭正中部の $\theta$ 波平均電位の増加量を示している。どちらの被験者においても、色温度7500KでFm $\theta$ の出現量が少ない傾向にあった。

最後に、大脳半球の左右差を指標とした快適感の評価

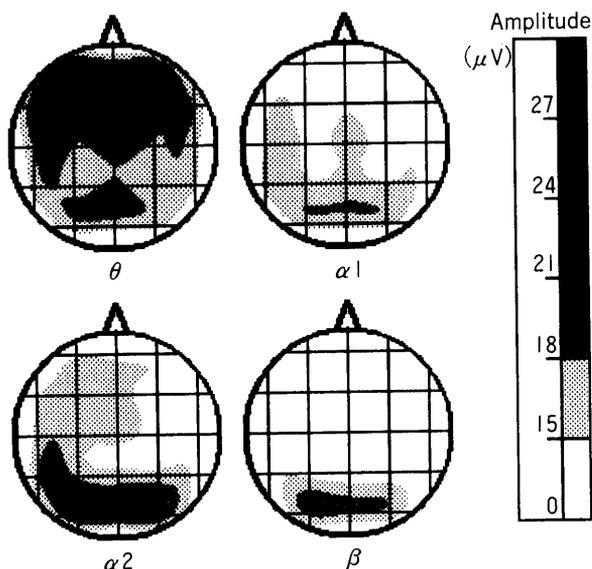


図2-2 VDT作業時の脳波分布

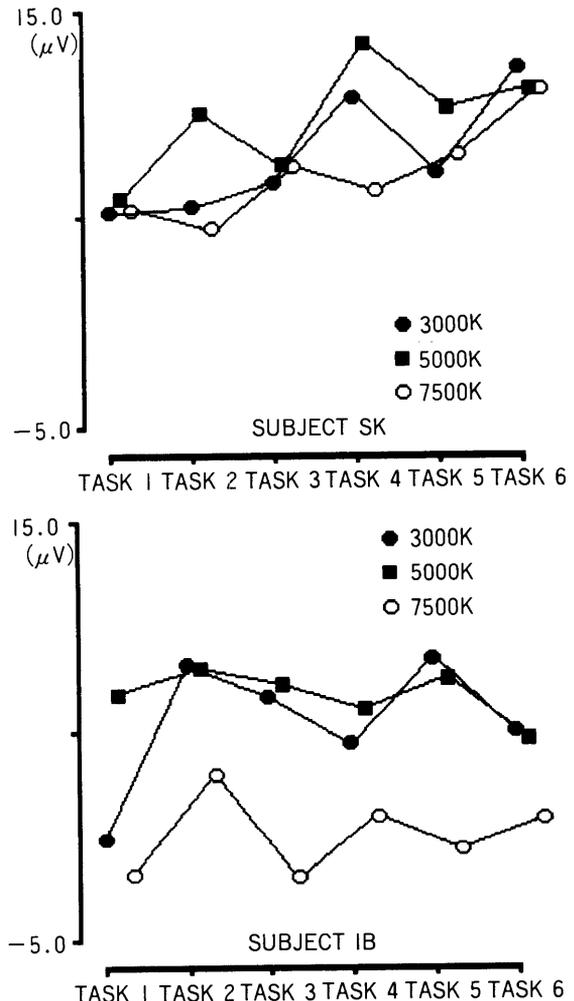


図2-3 前頭正中部の $\theta$ 波平均電位の変動

を試みた。日本経済新聞に連載された「香りのナゾ」<sup>※2)</sup>によると、鳥居らは被験者に好きな香りと嫌いな香りを嗅がせた時の脳波分布の様子を脳波トポグラフィを用いて調べ、嫌いな香りを嗅いだ時に生じるいらいらなどの不快感は右大脳半球で処理されると報告している。そこで、右大脳半球の $\beta$ 波の平均電位について、作業前閉眼安静時の値をコントロールとし、各作業後閉眼安静時の値との差を求め、その変動を調べた。先述の理論からすると、この値は被験者の不快感に比例すると考えられる。色温度、経時変化、被験者を要因とする3元の分散分析の結果、色温度において有意水準5%で有意となり、7500Kで $\beta$ 波の活性化が最も高い傾向にあった。その分散分析表を表2-1に、グラフを図2-4に示す。

### 2. 5 考察

Fm $\theta$ は水木ら (1980)<sup>※3)</sup>によると、「精神作業中に出現する周期性の $\theta$  rhythmで、Fzにおいて最大振幅を示し、その周波数は6.0~7.0Hzで、かつ持続時間が1秒以上のもの」と定義されており、精神作業と密接な関係にあることはよく知られている。それに加えて、被験者の

表2-1 分散分析表

Factor	S.S.	D.F.	M.S.	F
A (color)	15.66	2	7.83	8.40 *
B (time)	2.86	5	0.57	1.53
C (SBJ.)	19.63	3	6.54	14.26
A × B	4.12	10	0.41	0.81
A × C	5.59	6	0.93	2.03
B × C	5.59	15	0.37	0.90
E (error)	13.77	30	0.46	
Total	67.22	71	(* P<0.05)	

内省報告から、Fmθの出現時には作業に没頭して、注意集中状態にあることも明らかにされており、山本ら(1990)<sup>5,4)</sup>はVDT作業時における作業速度とFmθの出現量の間に負の相関があることを報告している。

VDT作業においては、「いらいらする」などの精神的負担が大きいことが報告されているが、そのような精神的負担の増加に伴い、作業への集中度は減少するであろう。このことから、VDT作業へより集中できる環境ほど、より精神的負担が少なく、快適な環境であると言える。今回の実験結果で、Fmθの出現量は2名の被験者ともに色温度7500Kで最も少なく、精神的負担が最も大きかったのではないかと考えられる。また、大脳半球左右差による快適感の評価でも同じような傾向がみられ、二つの指標で同じような傾向がみられたことから、この結果は信頼できるものであると思われる。

今回の研究では、VDT作業時の精神的負担を照明の色温度を変えることによって、抑えることができないかを検討することを目的としてきたが、精神的負担の最も小さな色温度を推測することはできなかった。しかし、照明の色温度がVDT作業時の精神的負担に少なからず関係しているのは事実のようで、色温度により精神的負担を抑えることは可能であるように思われた。

### 3. 照明および環境温度の事象関連電位に及ぼす複合効果について

照明の快適性に関心が寄せられている近年、色温度による雰囲気効果が注目されている。しかしながら色温度に関する研究は、色温度と温冷感のみにみられるように心理学的なものがほとんどで、客観的な評価は少ない。

このような背景において、近年、色温度の生体への生理的影響を観察して照明環境を定性的かつ定量的に評価しようとする取り組みがなされている。それによると、低色温度よりも高色温度の方が精神的緊張度も高く、また自律神経機能も亢進する作用があると報告されている<sup>5,6)</sup>。

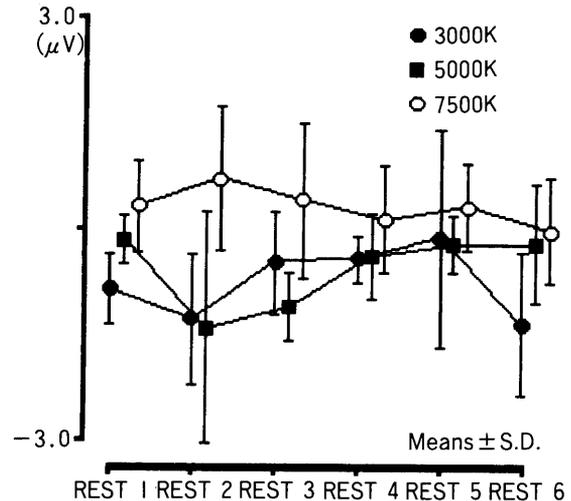


図2-4 右大脳半球におけるβ波平均電位変動

本研究は、事象関連電位から観察される覚醒水準と色温度との関係をより明確にするため、この両者の関係に対する環境温度の影響をみることを目的とする。また単調作業に伴う覚醒水準の経時変化と色温度の関係にも言及する。

#### 3. 1. 方法

被験者は視力、聴力とも正常な男子大学生7名であった。実験条件は、色温度3000K、5000K、7500Kの3水準でいずれも照度は500lx (Ra88)であり、これに環境温度15℃、25℃、35℃ (50%RH)の3水準を組み合わせた計9条件であった。各条件への曝露中、被験者にはOddball課題(選択反応時間課題)を課した。標的刺激の音は800Hz、非標的刺激は1000Hzで、音圧は75db(A)のトーンピップであった。課題遂行中に測定した事象関連電位である聴覚誘発電位のうち、N100とP300に関する潜時と振幅、および反応時間を分析の対象とした。

被験者は約40分の子備室(23.9℃)に安静滞在後、決められた温度条件に設定された実験室に入室した。この時の照明条件は色温度約2600K、被験者の視点位置の水平面照度は約10lxで、網膜の光に対する順応状態を一定にした。この間にOddball課題の練習をさせ、刺激音の弁別に習熟させた。その後設定された条件に照明を点灯し、作業とともに脳波の測定を開始した。

誘発電位の測定対象とした時間帯は、設定された照明への曝露開始直後0分~10分目まで(序盤)、10分目~20分目まで(中盤)、20分目~30分目まで(終盤)とした。

#### 3. 2 結果

##### (1) N100振幅の結果

分散分析の結果、経過時間の要因が有意(P<0.01)に異なり、色温度、環境温度の主効果に有意な違いはみら

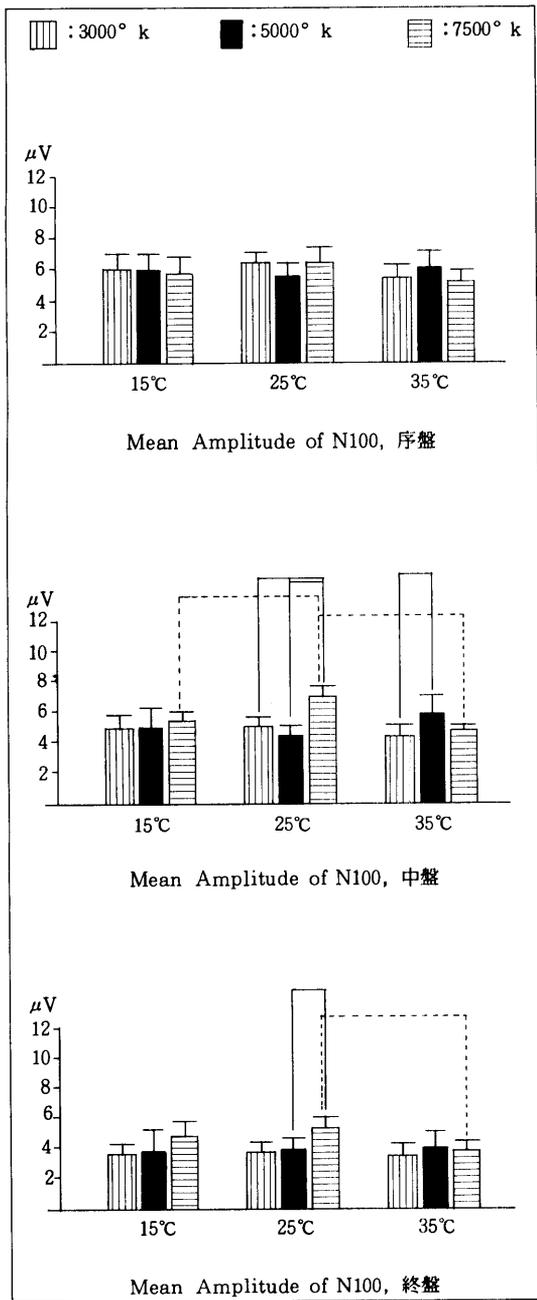


図3-1 N100 振幅に及ぼす色温度と環境温度の影響

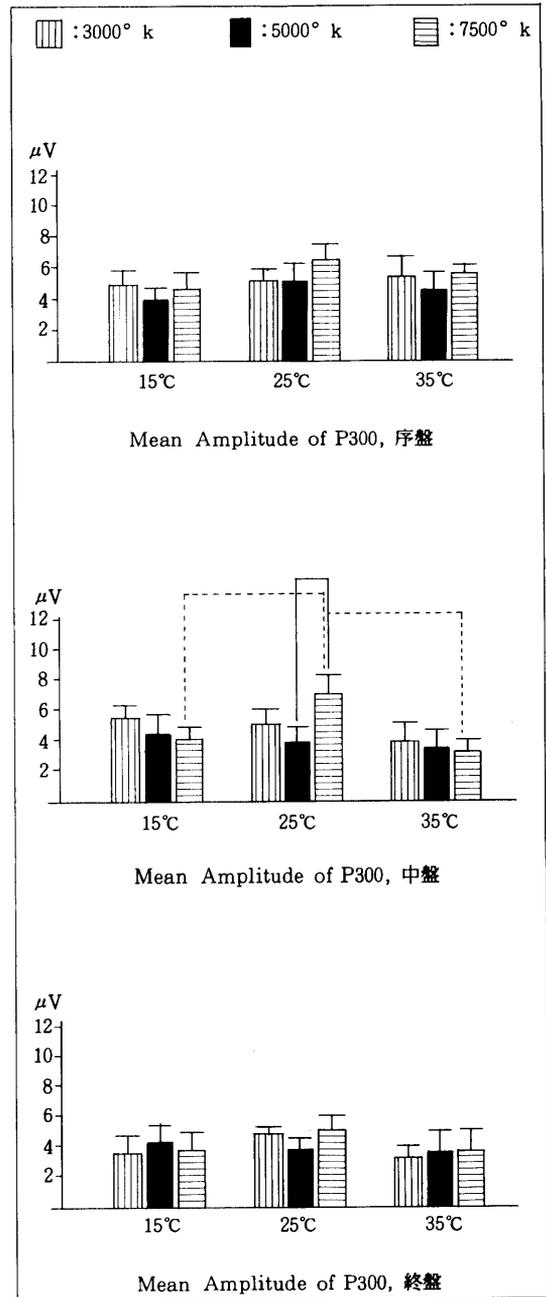


図3-2 P300 振幅に及ぼす色温度と環境温度の影響

れなかった。しかし、色温度と環境温度の交互作用に1%水準の有意性が認められた。

N100振幅の経時変化を色温度ごとにみると、5000Kは25°Cにおいて、7500Kは35°Cにおいて、それぞれ有意な差があった。これに対し、3000Kについてはすべての温度条件で有意な経時変化がみられた。

また、色温度と環境温度の交互作用については、図3-1に示すように脳波測定時間の中盤（作業の中盤）において、25°Cの7500Kが他の色温度や環境温度より有意に大きい振幅となった。この傾向は終盤の記録においてもみられた。

#### (2) P300振幅の結果

分散分析の結果、経過時間と環境温度の各要因において、それぞれ有意な差（いずれも  $P < 0.01$ ）がみられた。また、色温度と環境温度の交互作用には5%水準の有意性が観察された。

P300振幅の経時変化は、5000KについてはN100振幅と同様25°Cで、7500Kでは25°Cと35°Cで有意な差があった。また3000Kでは、15°Cと35°Cで有意な差が観察された。

色温度と環境温度の交互作用については、N100振幅と同様に、作業中盤における25°Cの7500Kの条件下で、P300の振幅は他の色温度や環境温度よりも高い値を示した（図3-2）。

### 3. 3 考察

事象関連電位のひとつである随伴性陰性変動 (CNV) と色温度条件の関係については、Deguchi and Sato (1992)<sup>5)</sup>が最初に報告している。これは、環境温度 24℃、照度1000lx (Ra88) の下で照明の色温度条件を変えて CNV を測定したものである。それによると3000K と7500K の色温度条件間では CNV の振幅に明らかな違いがあり、7500K の条件の方が精神的に緊張していたことが示されている。

本実験では覚醒水準に一定の低下傾向を与えるために、被験者に単調疲労を起こさせるような実験パラダイムを設定した。その結果、特に刺激に対する注意水準を反映するといわれる N100 の振幅において、環境温度条件にかかわらず低色温度の3000K の照明環境で、明らかな継時的減少が観察された。一方で N100 と P300 のいずれの振幅も環境温度と色温度の交互作用がみられた。すなわち、25℃ の環境温度のみで色温度間の差が明確となり、7500K におけるいずれの振幅も他の色温度より明らかに高い値を示した。

これらの結果は、24℃ で観察された Deguchi and Sato の資料を支持するものである。さらに本実験における反応時間に環境温度、色温度の影響がなかったことを併せて考えると、低色温度の照明環境は大脳皮質の活動水準を低下させるというより、むしろ必要以上の緊張を抑制すると考えることができるだろう。

## 4. 照明の色温度および室温の変化が人体に及ぼす影響

### 4. 1 目的

快適性や居住性の追求が重視される傾向を反映して、照明環境を様々な視点から評価する研究が多く実施されている。光源の色温度は心理的な影響を及ぼすといわれており、照度との組み合わせによって室内の雰囲気の違いを生じさせ、低い色温度に対しては暖かい感じ、高い色温度に対しては涼しい感じを与えるという報告がなされている<sup>7)</sup>。しかし、この報告には「快-不快」の基準が明らかにされておらず、用いられた光源も、蛍光灯だけでなく白熱電球や天空光と多種であるなど、明らかに色温度の影響とするには不十分であるというようないくつかの問題も指摘されている。一方、光源の色温度は「快-不快」といった感覚領域にはとどまらず、血圧や精神活動水準といった生理的機能や温冷感のような心理的機能へ影響を及ぼすという報告もある<sup>8)</sup>。しかし、実際の日常生活における環境温度は変動するものであるが、これらの報告は一定の温度条件によるものである。今回の実験では光源の色温度と室温変動を組み合わせた場合の人体への生理・心理的影響を検討した。

### 4. 2 方法

- 1) 被験者：健康な青年女子11名。
- 2) 条件：光源の色温度は、3000K (赤味がかかった光色)、7500K (青味がかかった光色) の2種類の蛍光灯を用い、照度は500lx にセットされた。室温は、プログラムにより25℃→15℃→25℃→35℃→25℃と変動させ、相対湿度はすべて50%に設定した。
- 3) 測定手順：まず被験者に半袖 T シャツとショートパンツを着用させ、前室に入室して電極等装着した。その後、皮膚温と心拍計のメモリーによる連続測定を始め、口腔温を測定、続いて SD 法による室内雰囲気評価、血圧測定、温冷感・快適感・乾湿感を求める主観申告、作業として色名称を行った。前室入室10分後、被験者にあらかじめ3000K と7500K の各条件に設定した実験室に入室させ、椅子に着席させた。10分間の安静の後、口腔温を除く一連の測定を行い、ここからプログラム制御による室温変動を始め、以下室温変動に合わせて測定を行った (図4-1 参照)。

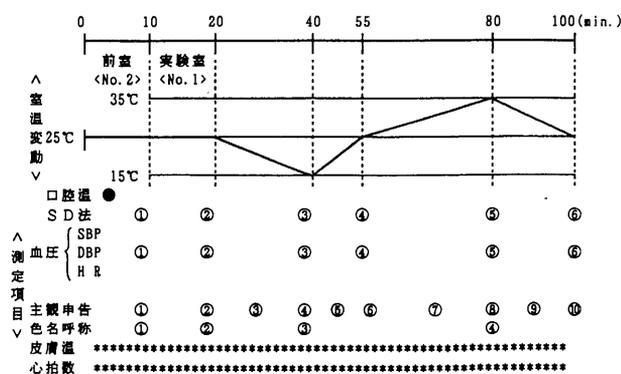


図4-1 実験手順

### 4. 3 結果および考察

従来の色温度に関する同様な実験の生理学的評価では、低色温度条件よりも高色温度条件で、自律神経系の活発化、精神的緊張状態の反応がみられている。しかし、今回の実験では、図4-2に示すように収縮期血圧の寒冷負荷後の室温15℃→25℃の上昇により、7500K に比べ3000K で有意に高い (p<0.05) という反対の結果が示された。

主観申告の温冷感に関しては図4-3のように、色温度による影響はみられなかった。光源の色温度が人の温熱感覚に影響を与えることが報告されている一方<sup>9)</sup>、熱的快適域ではほとんど光源色の影響を受けないとの報告もあり<sup>10)</sup>、今回の実験を行った少なくとも15℃～35℃の範囲では、温冷感への影響はみられなかった。快適感に関しても、両条件ともに室温変動に伴って、15℃と35℃の寒暑のピークで不快感申告が高くなる傾向があるなど同様な変化を示し、色温度間の有意差はみられなかった。

室内雰囲気評価に関しては、色順応は曝露後20分くらいで完了するといわれているが、今回の実験(図4-4)

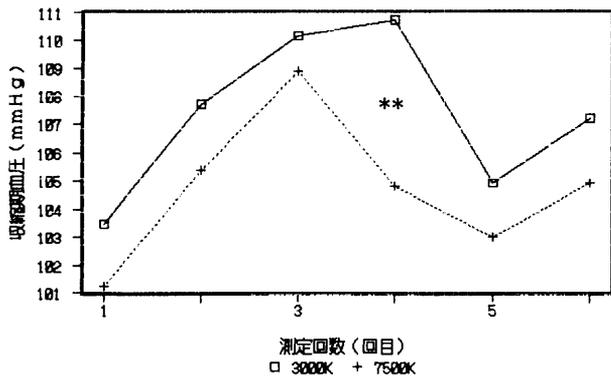


図4-2 収縮期血圧の経時変化

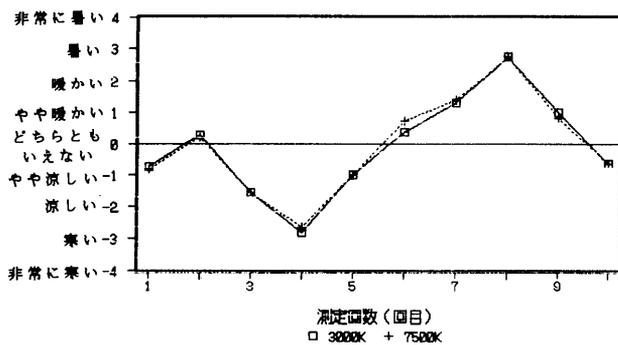


図4-3 温冷感の経時変化

では実験室入室10分後、実験室35℃、温熱負荷後の25℃で色温度間で平均SD得点に有意な差がみられ、測定開始から約100分後の最後の測定(温熱負荷後25℃)完了時にも、色温度間で有意な差が多くみられた。また、色温度間で有意差がみられた評価項目が室温変動に伴い変化した。

#### 4.4 まとめ

- (1) 環境温度を一定にした条件と変動させた条件では、収縮期血圧において、色温度の違いによる影響が異なる。
- (2) 色温度の温熱感覚への影響は、少なくとも15℃～35℃の範囲では、ほとんど影響を受けない。
- (3) 室温変動が伴うと、色温度による快適感に対する影響は小さくなり、室温変動要因の方が大きく影響する。
- (4) 色順応が完了するといわれている曝露後20分を経過しても、室温変動の影響も伴い、色温度間で室内雰囲気評価に有意な差を生じる。
- (5) 今後、照明の色温度の影響を評価する際には、温度の影響についても考慮した上での検討が必要であることが示唆された。また照明を一つ取り上げてみても、これからの居住空間の質の問題は、より人間科学的な側面からの把握が大切であると思われた。

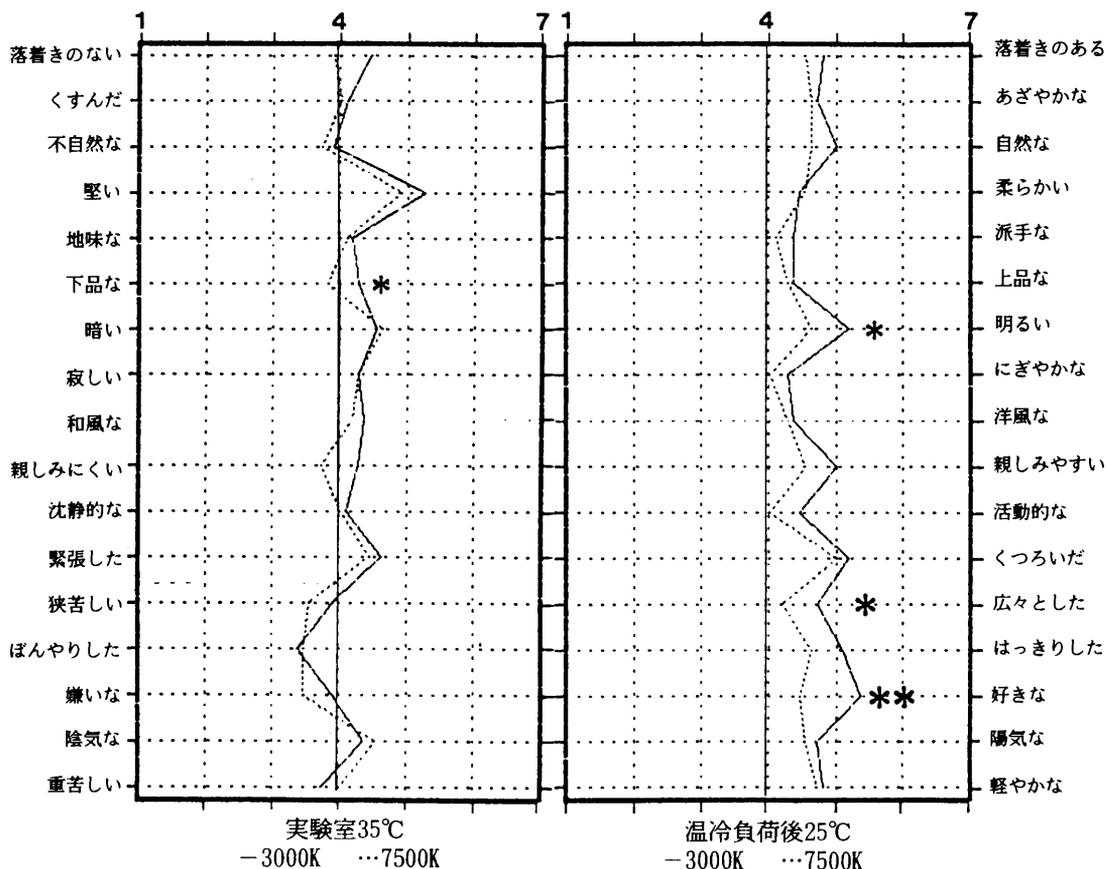


図4-4 室内評価の平均値

## 5. 生体機能に及ぼす照明の色の研究

### 5.1 はじめに

照明の色によって私たちの受ける感じが異なることがある。たとえば、赤色の照明の元では暖かさを感じ、青色の下では涼しさを感じるなどといわれている。しかしながら、これらのことを生理的に検討した例はほとんどみられないのが現状であろう。

本研究では、基本的な色相である赤、緑、青の3色の照明暴露時の生理機能および心理反応を常温および高温条件下で測定し、比較検討した。

### 5.2 方法

被験者は健康な男子大学生6名（年齢：23±0.41歳；身長：171±1.83cm；体重65±4.3kg）であった。被験者は白色のTシャツとショートパンツを着用した。実験は気温を25℃および35℃（相対湿度はいずれも約50%）に設定した人工気象室内で行った。室内の壁面はすべて白色の布で覆い、照明の色の効果が十分に上がるように配慮した。図5-1に示されているように白色照明での測定の後、赤、緑、あるいは青色照明での測定を行った。実験は一人の被験者に対して気温2条件×照明3条件の計6回行った。

赤、緑、および青色照明はピーク周波数がそれぞれ611nm, 543nm, 450nmのカラー蛍光灯（東芝FLR40S-ERe, -EG, -EB/M・A）を用いた。白色照明には白色蛍光ランプ（三菱FLR40SW/M/36）を用いた。照度はいずれの照明条件でも被験者の位置の床上40cmで290lxになるように設定した。

測定項目は脳波、随伴性陰性変動(CNV), 血圧, 鼓膜温, 心拍数, 皮膚電位水準, 皮膚血流量, 呼吸数, 主観評価などであった。

概日リズムを考慮して同一被験者は6回の実験を常に同一時刻に行った。また、実験条件の順序は無作為化して行った。

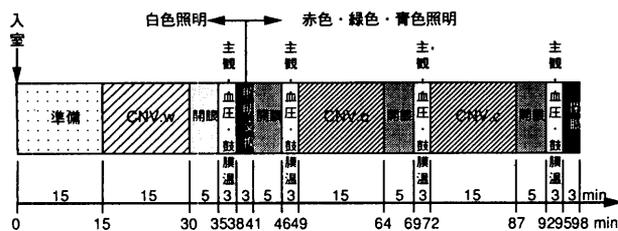


図5-1 実験手順

### 5.3 結果と考察

図5-2にFz部の脳波α波帯域比率とθ波帯域比率の結果を示した。α波帯域比率(8-13Hz/4-25Hz)は赤色照明で高く、青色照明で低い傾向が認められた。β波帯域比率(13-25Hz/4-25Hz)は照明条件による違いは認

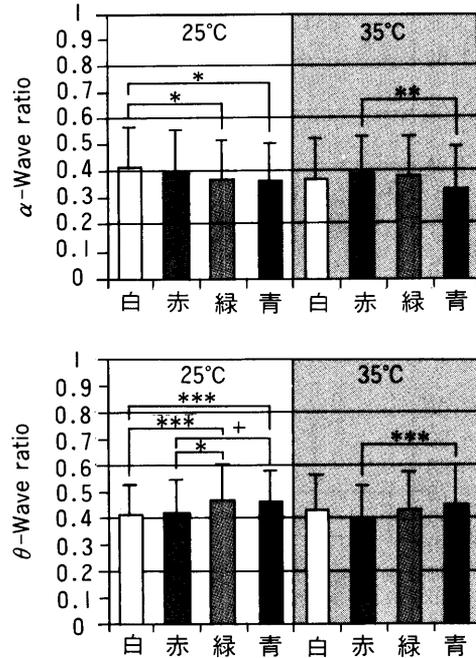


図5-2 脳波(Fz部)α波帯域比率(上)とθ波帯域比率(下)

凡例(図5-2～5-6に共通)：・：P<0.05, \*\*：P<0.01, \*\*\*：P<0.001, (+)：P<0.10

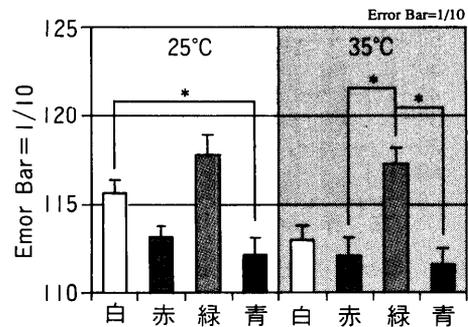


図5-3 収縮期血圧

められなかった。また、θ波帯域比率(4-8Hz/4-25Hz)は赤色照明で低く、青色照明で高い傾向が認められた。低周波のθ波帯域が青色照明で高く、赤色照明で低いことは、青の鎮静効果、赤の興奮効果を反映しているのかも知れない。

図5-3に収縮期血圧の結果を示した。収縮期血圧は緑色照明で高い傾向が認められた。この傾向は以前の同様の研究(島上, 1993)と一致している。

皮膚電位水準は覚醒-眠気的水準との関連が従来から報告されている。今回の研究で25℃条件に比べ35℃条件で皮膚電位水準の陰性度が有意に小さく、眠気が強いことが示唆される。35℃条件では白色照明より赤および青色照明時に陰性度が有意に小さくなることが示された。しかしながら、主観評価で求めた「眠たさ」には照明の色による有意差は認められなかった。皮膚血流量は35℃条件で25℃条件より有意に高い値を示した(図5-4)。これは体温調節に関連したもので当然であろう。しかし、

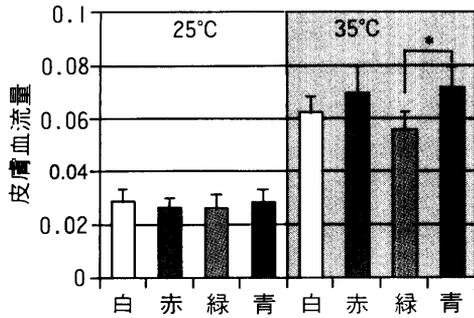


図5-4 皮膚血流量

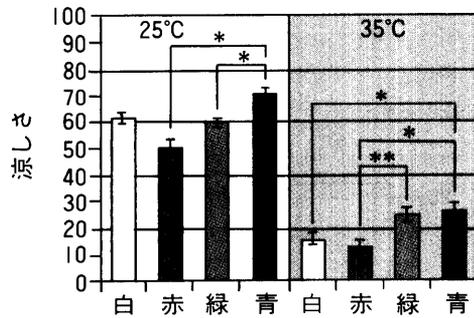
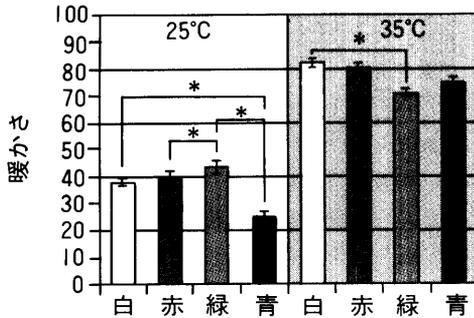


図5-5 「暖かさ」(上)と「涼しさ」(下)の主観評価

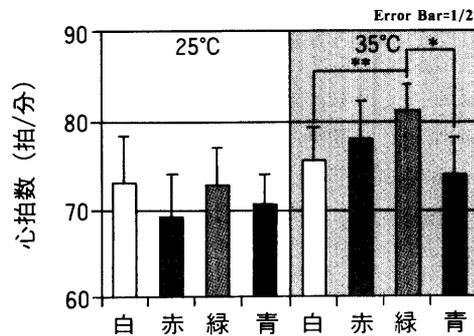


図5-6 心拍数

同じ35°C条件においても緑色照明で皮膚血流量は低くなる傾向が認められ、緑色と青色照明の間には有意差が認められた。

これは35°C条件において、主観評価の「暖かさ」が緑色照明でやや低い傾向(図5-5)にあることと符合している。一方、主観評価の「涼しさ」は、25°C条件では青色照明で最も高く、赤色照明で最も低い傾向が認められた。35°C条件でも同様の傾向が認められた。

図5-6に心拍数の結果を示した。35°C条件では心拍数は緑色照明で高く、青色照明で最も低くなる傾向が示された。これは拡張期血圧の結果と一致しており、興味深い。

鼓膜温は気温条件による違いは認められたが、同じ気温における照明色による違いは認められなかった。

以上のように、照明の色により生体諸機能に変化が認められ、主観的にも差異が生ずることが明らかになった。その傾向は常温条件よりむしろ高温条件で顕著であった。この種の研究は島上らの研究があるが、まだまだ数少なく、さらに研究を積み重ねていくことが必要であると思う。

## 6. 閉鎖空間における照度レベルと在室者密度の生体影響に関する実験的検討

### 6.1 はじめに

近年の都市の過密化により、地下空間などこれまで注目されていなかった空間の利用に目が向けられている。これらの閉鎖性無窓空間における生体影響を予測することは重要である。本節では、閉鎖空間における照度レベルの差異および在室者密度が滞在者に与える影響について、心理・生理の両面から実験的検討を加える。

### 6.2 実験概要

実験は温熱制御および空気調整システムを備えた空気環境試験室で行われた。外形寸法は、2.7×4.5×2.4m<sup>3</sup>と縦長であり、容積は床下部を含めて26.4m<sup>3</sup>、循環ダクト系も含めると30.9m<sup>3</sup>になる。被験者は21~24歳の相互既知の男子学生9名である。空気環境試験室内の温熱条件は、室温25°C、相対湿度50%と一定にした。また、空気浄化レベルはCO<sub>2</sub>濃度が500ppmを超えぬように設定した。前室もできる限り同じ条件になるように努めた。被験者の着衣は全員約0.8cloに統一した実験着衣である。空気環境試験室の面積は仮設壁で部屋の中央を仕切り各々約6m<sup>2</sup>とした。被験者にこの部屋に椅坐位で60分間滞在させ、心理的評価と生理反応を測定した。この間被験者は、入室直後から15分ごと計5回の主観申告評価を行った。また前室と、入室直後から15分ごと計6回の顔面皮膚温、心電位、脳電位の生体機能計測を併せて行った。加えて被験者に滞室中15分ごとに計4回内田クレペリン式加算作業を課した。実験はすべて遠隔操作の下で行い、被験者への指示はマイクを用いた。

実験条件として照度レベルを200lx, 600lx, 1400lxの3段階、在室者密度を0.17人/m<sup>2</sup>, 0.5人/m<sup>2</sup>, 1.0人/m<sup>2</sup>の3段階をそれぞれ設定した。全実験回数は30回である。

### 6.3 測定項目

環境要因が与える心理・生理影響を評価するための指

標として、本研究では密度感を中心とした主観申告評価、顔面皮膚温、心電位、脳電位を用いた。

主観申告評価は表6-1に示す混雑強度、認容性、好感度、快・不快性、行動反応指標の5項目からなる申告用紙を用いて行った。

表6-1 主観申告評価の各項目スケール

【混雑強度】	【認容性】	【好感度】	【快・不快性】	【行動反応指標】
0 空いている	1 明らかに好ましい	1 明らかに受け入れられる	0 快適	0 長時間でも居られる
1 少し混んでいる	0 どちらでもない	0 どちらでもない	-1 不快ではない	-1 まあ居られる
2 混んでいる	-1 明らかに好ましくない	-1 明らかに受け入れられない	2 やや不快	-2 できれば居たくない
3 非常に混んでいる			3 不快	-3 居たくない
4 極度に混んでいる			4 非常に不快	-4 すぐ逃げ出したい
			5 極端に不快	

顔面皮膚温は3台のサーモグラフィを用いて測定を行った。検出部は前室に1台と空気環境試験室内に2台常時設置し、入室前と退室時には全被験者の、また在室中には2名の継時的測定を行った。ピクチャーレコーダーで録画された熱画像より、鼻部・頬部の平均温度を求めた。

心電位は被験者の胸部から双極誘導し、増幅器を介し、A/Dコンバーターによりサンプリング周波数50Hzでアナログデータに変換し測定用コンピューターでフロッピーディスクに保存した。各データは波形を確認し、心拍数と心拍間隔の分散値を算出し生体反応の指標とした。

脳電位は被験者の耳朶を不関電極として頭頂部から単極誘導し、脳電計で増幅されA/Dコンバーターを介しフロッピーディスクに保存した。各データは心電位と同様にサンプリング周波数50Hz、3000点の値で構成されている。個々のデータは、FFT分析でパワースペクトルを求め、 $\delta$ (1~3Hz)、 $\theta$ (4~7Hz)、 $\alpha$ (8~13Hz)、 $\beta$ (14~30Hz)の比率を算出した。本研究では、特に $\beta$ 波帯域の変化に着目して解析を進めた。

#### 6.4 主観申告評価結果と考察

回収した主観申告評価用紙は計675枚である。主観申告評価の評価値は45分後から安定しているため45分と60分の評価値の平均をとり各項目で照度別に回帰直線を求めた(図6-1、図6-2参照)。各項目ごとに環境要因について統計的分析を行ったところ、平均値の差のt検定によると有意水準1%で、これまでの研究と同様にすべての質問項目で在室者密度が高くなると評価が低下するという結果を得た。

図6-1は混雑強度に関する回帰直線であるが、評価値2「混んでいる」の時の在室者密度は照度200lxでは1.0人/m<sup>2</sup>、照度1400lxでは1.1人/m<sup>2</sup>である。このように

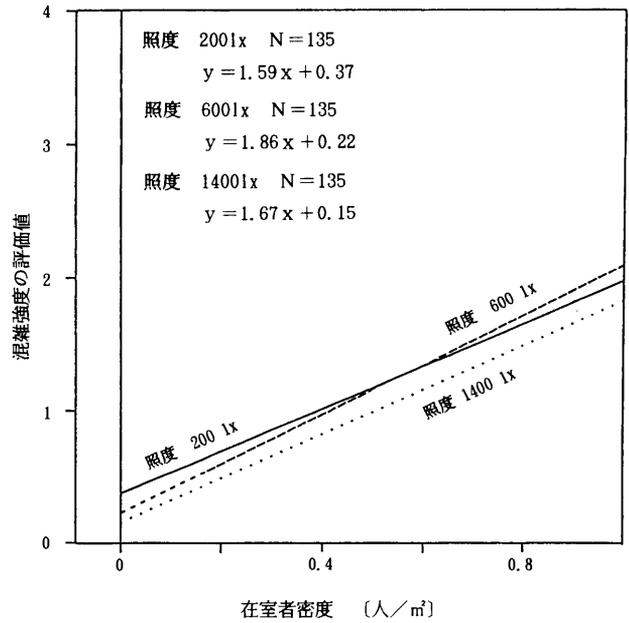


図6-1 混雑強度に関する照度別の回帰直線

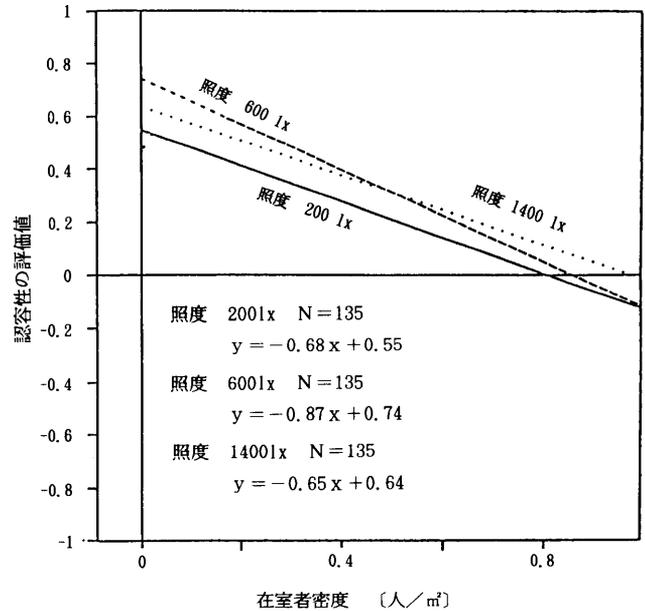


図6-2 認容性に関する照度別の回帰直線

五つの項目すべてで照度1400lxが照度200lxよりも評価値が向上することが示された。一方、全平均の回帰分析によると、認容性と好感度の項目で照度が高くなるほど評価値が良いことも示された。これは明るさが増すとその空間の許容度や好ましさが増すと考えられる。つまり心理的には照度の緩和効果が存在する可能性を示している。主観申告評価の回帰直線の分析を基に、一人当たり必要であると考えられる限界面積を算出すると、照度200lxでは1.1m<sup>2</sup>、照度600lxでは1.0m<sup>2</sup>、照度1400lxでは0.9m<sup>2</sup>程度と推定された。

#### 6.5 顔面皮膚温度測定結果と考察

一般に、顔面皮膚温度は交感神経系によって変化を受

けて、温熱条件が一定であれば、情動ストレスの影響で皮膚温度の変化がみられる。これは人間の内部状態を把握するための指標として利用可能であると考えられている。この傾向は特に鼻部と頬部で顕著にみられ、その温度変化は両者ともほぼ同様であるとされている。

本実験で得られた画像数は計431データであり、これを各照度および在室者密度ごとに分析を試みた。その結果、被験者の体調の日間変動の問題や前室の温熱条件の設定の難しさから日をまたいで実験が行われている在室者密度の系統的な差異はみられなかった。しかしながら、実験が同じ日時で行われている照度レベルについては、照度レベルが上がると滞室中の顔面皮膚温が上昇しやすいことが示された（図6-3参照）。

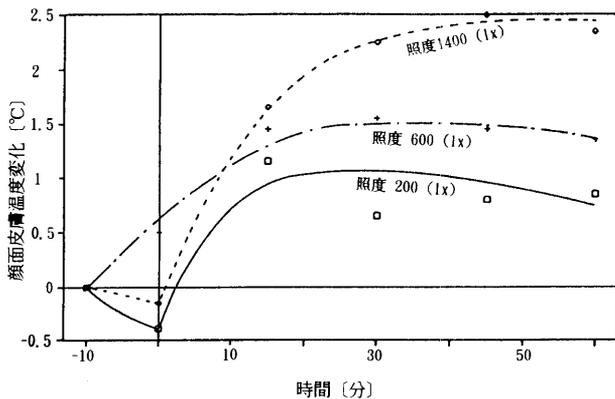


図6-3 在室者密度1.0 [人/m<sup>2</sup>] における顔面皮膚温の経時変化

### 6. 6 心電位測定結果と考察

測定したデータは総計約10Mバイトである。循環機能の水準は、生体に加えられる負担を示して変化することが知られている。心拍数は心臓神経の支配を受け、自律神経中枢の緊張状態によって変化する。そのため生体負荷が高くなるほど心拍数は増加する可能性が高いと推測できるが、本実験結果は明確にこれを反映しているとは言いがたい（図6-4参照）。今回の実験設定による環境ストレスの影響は過去の結果同様、心拍数には明瞭に反映されないと考えられた。

心拍間隔は常時変動しており、自律神経系の影響を受け、ストレスや疲労によってその間隔を短縮する。そのため心拍間隔の分散値も減少する。心拍間隔の分散値は今回のような環境ストレスを対象とした場合、心拍数とは別の挙動を示し生理的負荷レベルを考察する指標として有効であると考えられる。本実験結果からは、照度レベルが高いほど生体負荷が少ないことが示された（図6-5参照）。これは平均値の差のt検定によると信頼区間90%で差がある傾向がみられた。また、特に在室者密度が高くなると心拍間隔の分散値が一様に減少することから在室者密度も生体負荷を与えていることが過去の研究

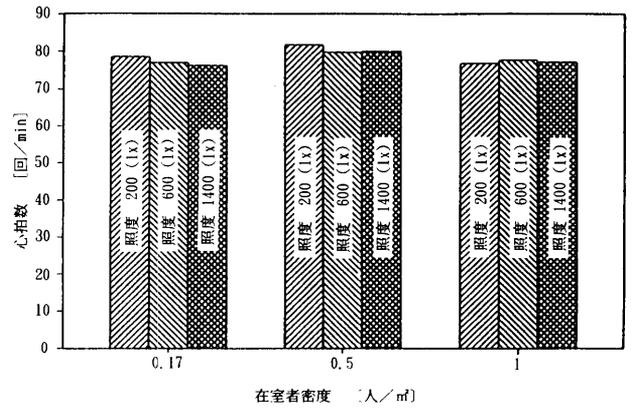


図6-4 照度の違いによる心拍数の平均値

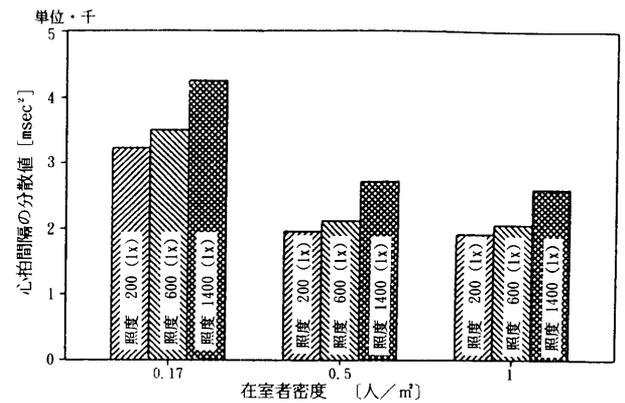


図6-5 照度別の心拍間隔の分散値の平均値

同様確認された。しかし在室者密度1.0人/m<sup>2</sup>が在室者密度0.5人/m<sup>2</sup>と比べて値は減少しているものの違いが明瞭でないのは、被験者の実験慣れと解釈される。在室者密度1.0人/m<sup>2</sup>に関しては、既に各被験者の実験回数が6回以上に達しているためと考えられる。また、検定によると在室者密度の高い方がより照度の効果が大きくなる傾向がみられた。

### 6. 7 脳電位測定結果と考察

様々な生理学的な変化の中でも脳波は興奮状態から深睡眠状態に至るまで、日常生活の範囲内で生じる覚醒水準の変動に良く対応した変化を示し、精度の高い覚醒水準の指標とされている。頭皮上から検出される比較的周期性のある低振幅の波である脳波は、その周波数によって $\delta$ 、 $\theta$ 、 $\alpha$ 、 $\beta$ に分類できる。 $\alpha$ 波は、安静閉眼時に出現率が高い。一方 $\beta$ 波は、精神作業時や緊張状態時に出現率が高く、一般に興奮度が高いほど多くみられる。

脳電位で得られたデータは総計約12Mバイト、個数でいうならば738個である。 $\beta$ 波帯域の算出結果に関しては、在室者密度の系統的な違いは明確ではなかった。しかしながら照度レベルが高いほど $\beta$ 波の出現率が低いことから（図6-6参照）、このような実験条件では照度レベルの増加とともに脳の活動レベルが安定していくこ

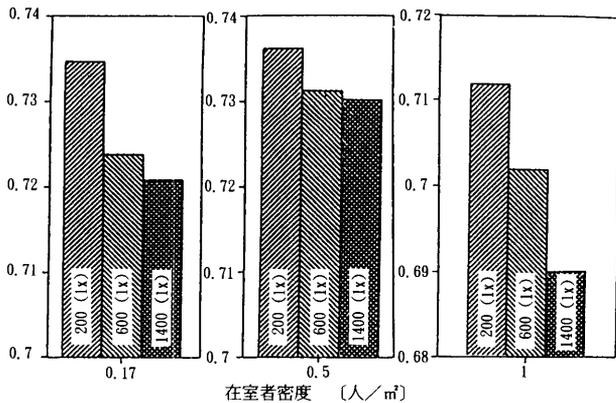


図6-6 照度の違いによる  $\beta/(\alpha+\theta)$

とが示された。

## 7. まとめ

照明の光源の色温度は3000K, 5000K, 7500Kの3水準が比較された。注意集中の指標として注目されているFm $\theta$ の出現率は色温度によって統計的に有意に変化した。7500Kで最も少なく、高色温度照明は注意集中を妨げる傾向にあることを明確にした。また、左右の大脳半球の $\beta$ 波の平均電位比較による不快指標は色温度によって有意に異なり、7500Kで右大脳半球の $\beta$ 波が最も増加した。高色温度照明が快適性を損なう性質のものであることが示唆された。以上の結果は、4500K以上が望ましいとか、あるいは、4000K以上でなければならないとする高色温度光源推奨が否定されるべきものであることを意味する。

色温度の高い照明が刺激的であることは、既に、随伴性陰性変動の研究で明らかである。本研究では、同じ事象関連電位のうち、随伴性陰性変動よりも潜時の短いN100およびP300成分を用いて、光源色温度と室温(低温、常温、高温)との関わりを検討した。その結果、N100およびP300ともに、室温との交互作用の存在を示し、常温では7500Kで両指標ともに高振幅であることが明らかで、7500Kが最も刺激的な光であることが示された。その場合、パフォーマンス・テストの成績には照明条件による違いが認められなかったことから、7500K光源は過剰の緊張をもたらすことが示唆された。同様に、4500Kないし4000K以上の高色温度光源に否定的な結果となった。

光源の色温度が温冷感に影響を及ぼすとするKruithofの想定は欧米における近ごろの追試結果でも支持されている。また、低色温度照明は高色温度照明に比べて約摂氏2度ほど高い温冷感を生じることが示されるなど、高色温度光源が冷涼感を、低色温度光源が暑熱感を生じるとするKruithofの想定は、わが国の照明関係の諸研究でも支持されている。これに関連して、皮膚温変化や自

律機能の変化も観察され、温冷感に及ぼす光源の色温度の影響のメカニズムが検討される段階に至っている。この観点から実施された変動室温の結果は従来の諸研究と際立った違いがみられた。

カラー蛍光灯を用いた光源色の影響の検討結果は、脳波の $\theta$ 波出現率が赤色照明で低く、青色照明で高かった。青の鎮静効果と赤の興奮効果を反映していることが示唆された。また、収縮期血圧は緑色照明で高かった。拡張期血圧や心拍水準にも照明色による違いが認められたが、これらのメカニズムについては今後の研究が必要である。

在室者密度と適正照度との関係は、今後増加が予想される閉鎖空間の居住性についての基本的条件を検討するものである。窓のない試験室に、居住密度を0.17人/m<sup>2</sup>, 0.5人/m<sup>2</sup>, 1.0人/m<sup>2</sup>の3段階に設定して、心理的・生理的反応を記録した。その結果、在室者密度が増すにつれて必要照度を上昇させる必要のあることが明確になった。本研究の他項目の結果から、光源色温度の影響が大きいと想像され、最適色温度についての研究が必要と考えられる。

## <参考文献>

- 1) 松岡成明, 上野照剛: 徐波を示す異常脳波の抽出とその表示法, 医用電子と生体工学, Vol.14, No.2, pp.45-52, 1976
- 2) 鳥居鎮夫: 香りのナゾ, 日本経済新聞, 1992.2-5
- 3) 水木 泰: 問題の脳波パターンFm $\theta$ について, 脳波と筋電図, Vol.10, pp.203-208, 1982
- 4) 山本 栄, 松岡成明: VDT作業時の脳波変動と精神負荷評価, 臨床脳波, Vol.33, No.10, pp.702-706, 1990
- 5) Deguchi, T., and Sato, M.: The effect of color temperature of lighting sources on mental activity level, Ann. Physiol. Anthropol., Vol.11, No.1, pp.37-43, 1992
- 6) Mukae, H., and Sato, M.: The effect of color temperature of lighting sources on the autonomic nervous functions, Ann. Physiol. Anthropol., Vol.11, No.5, pp.533-538, 1992
- 7) Kruithof, A. A.: Tubular luminescence lamps for general illumination. Philips Technical Review, No.6, pp.65-96, 1941.
- 8) Kobayashi, H., and Sato, M.: Physiological responses to illuminance and colour temperature of lighting. Ann. Physiol. Anthropol., Vol.11, No.2, pp.45-49, 1992
- 9) 石川泰夫 他: 温冷感と光源の光色との関係. 平成4年度照明学会全国大会講演論文集, 86, 1992.
- 10) Fanger, P. O., et al.: Can colour and noise influence man's thermal comfort? Ergonomics, Vol.20, No.1, pp.11-18, 1977.
- 11) 島上和則: 色と快適—その感情的効果の検討, 佐藤方彦編: アメニティの科学, 現代のエスプリ, No.315, pp.37-44, 至文堂, 1993.10

<研究組織>

主査	佐藤 方彦	九州芸術工科大学生理人類学 教室教授
委員	勝浦 哲夫	千葉大学工学部生理人類学教 室助教授
〃	柄原 裕	国立公衆衛生院生理衛生学部 室長
〃	安河内 朗	九州芸術工科大学生理人類学 教室助教授
〃	横山真太郎	北海道大学工学部衛生工学科 助教授