照明器具の輝度が脳波に及ぼす影響

正会員 松島 公嗣 (松下電工株式会社) 専門会員 片山 就司 (松下電工株式会社) 正会員 高橋 良香 (千葉大学)

非会員 下村 義弘 (千葉大学) 非会員 岩永 光一 (千葉大学) 非会員 勝浦 哲夫 (千葉大学)

Effect of the Luminaire's Luminance on Human Brain Waves

Member Koji Matsushima (Matsushita Electric Works, Ltd.), Fellow Member Syuji Katayama (Matsushita Electric Works, Ltd.),

Member Yoshika Takahashi (Chiba University), Non Member Yoshihiro Shimomura (Chiba University),

Non Member Koichi Iwanaga (Chiba University) and Non Member Tetsuo Katsuura (Chiba University)

KEYWORDS : luminance, luminaire, lighting design, subjective evaluation, physiological estimation

1. はじめに

新設、改修を問わず、照明環境の計画段階において照明器具、システムに対する投資効果を問われる場合が増える傾向にある。例えばオフィスの執務室の照明器具の具備すべき要件は、省エネルギー、環境負荷への影響などがあるが、これに加えて、作業者の知的生産性向上に対する、照明の効果が最近クローズアップされてきた。

知的生産性を高めるための照明技術を開発するためには、照明の影響を定量的に計測する技術開発が必要である。例えば、照明器具のソフト面からの性能の効果を示す心理評価の結果を、脳波、心電図などの生理評価で裏付けることができるのが望ましい。

屋内照明による、生産性向上を評価する手法は未だ確立されていない。視覚機能の基礎的な閾値と実地労働の作業効率のみに依存するのは不十分である、といわれている¹⁾。これを補う意味で、生理評価を合わせた研究が行われている。

ある目的で設定した照明要件が、心理・生理的に受け入れられているか否かの既往研究を紹介する。例えば、杉本は照度と生理的負担を研究し、生理的負担が最小になる照度と、心理的な好ましが最大になる照度には、ずれがあることを報告している²⁾。佐藤仁人らは VDT 作業を設定して執務空間での照度と平均輝度が及ぼす生理心理的影響を評価し、生理心理的に適当な照度水準を報告している³⁾。坂上らは、局部照明の照度比と集中感を報告している⁴⁾。しかし、オフィス執務室で広く使用されている全般照明器具の平均輝度が、オフィス作業者の心理・生理評価に及ぼす影響を報告している例は無い。

筆者らの一部は、全般照明器具の平均輝度が適切である（作業者に対する刺激である輝度の過不足が無い）という考えと、昨今普及している液晶ディスプレイへの映り込み防止を両立する蛍光灯全般照明器具を商品化した（UGR19 対応、以下 SP 型とする）。

今回、筆者らは、脳波（ α 波帯域率）を指標とした検討の結果、輝度が低すぎる場合（CRT 用グレア規制型、CRT 型とする）および輝度が高すぎる場合（下面開放型）に比べて、SP 型の場合には α

波帯域率が相対的に高い傾向があることを示した。また、これらの異なる照明条件下で連続一位加算作業を行った場合の、解答数と照明器具の輝度の関係についても検討したので速報する。

2. 仮説

心理物理評価により、ある背景輝度の前に提示された照明器具の輝度の評価ができる。下面開放、SP 型、CRT 型などのように反射板輝度が異なる照明器具を注視する場合、反射板輝度が「好ましい-好ましくない」「まぶしい-まぶしくない」などという心理評価と、中枢神経への刺激の程度を把握する生理評価が連動すれば、その心理評価を裏付けることができる⁵⁾。

今回は中でも、代表的な生理指標である脳波による解析を行った。 β 波（13～30 Hz）は、開眼時に多く出現し、 α 波（8～13 Hz）は、閉眼時に多く出現する。また、 θ 波（4～8 Hz）は、入眠時に多く出現するとされている。本報では、照明器具の輝度を刺激とした場合、脳波の傾向は以下の様になると仮定した。

(a) 輝度が高すぎる場合、 β 波が優勢となる。

(b) 輝度が適切な場合は、 α 波が増大する。

(c) 輝度が低すぎる場合、 α 波（特に低周波領域、Low α 波）と θ 波が増大する。

この仮説の概念図を図 1 に示す。オフィスでの作業者が、適度

図 1 脳波と知的生産性向上の仮説

Fig. 1 Relationship between human brain wave and intellectual activity level.

な緊張感を持ちながら他者と協調（打合せ、ミーティング）したり、集中して思索、作業を行える高い活動状態が維持できるような環境的な配慮が重要である。図1の楕円で囲んだ領域で示す脳波が、知的生産性が高い状態を反映すると仮定した。

今回は、 α 波帯域率（ $=\alpha$ 波 / (α 波 + β 波)）を指標とし、輝度が高すぎても、低すぎてもその値は低下すると仮定した。

一方、 α 波は「覚醒レベル」に影響され、特にLow α 波は眠い状態でも出現する。このため、今回は主観評価を併用して覚醒度を把握した。

2.2 連続一位加算作業

異なる照明器具条件下で連続一位加算作業を行うと、照明器具の輝度が適切な場合、そうでないときよりも解答数が高いと仮定した。

3. 実験

3.1 実験条件

(1) 照明状態

オフィスの執務エリアを想定して、机上面照度は750 lx前後になるよう、調光装置で照明器具の光束を調整した。結果、照明器具周辺の天井面輝度は、実際の部屋に近い50 cd/m²となった。

使用した蛍光灯は昼白色のHf高周波点灯専用ランプであり、色温度のメーカー公表値は5,000 Kであった。

使用した照明器具輝度は以下の4種類であった。カッコ内は、鉛直角80度での平均輝度をあらわす。

CRT型V2(200 cd/m²)、SP型(3,200 cd/m²)、白色仕上げルーバ付グレア規制型(6,000 cd/m²)、下面開放型(20,000 cd/m²)

(2) 被験者

25～51歳（平均：36歳、標準偏差：7.4歳）の男子10名を被験者とした。

(3) 指示事項

実験者は、被験者に以下のような指示を与えた。

(a) あらかじめ、生活リズムを整える。

(b) 前夜、深酒をしない、早めの就寝をする。

(c) 実験当日の食事は、実験時刻に対して余裕を見て取る。食事後、休息を十分に取る。

(4) 実験時刻

各被験者について、1日に2条件ずつ、2日間で実験を行った。

2日とも、サーカディアンリズムを考慮して同じ時刻帯で、実験を行った。（10～12時あるいは15～17時）

(5) 照明器具の呈示順

4種類の照明器具の呈示順は、順序の影響を相殺するためにカウンターバランスをとって配置した。

(6) 連続一位加算作業

連続一位加算作業の概要を図2に示す。被験者は、設定した時間内で隣り合った数値を加算し、その一位の数字をそれらの中間下に記入した。

3.2 実験設備

防音シールド室内に、異なる輝度の照明器具を設置できる設備を設けた。平面図を図3に、側面図を図4に示す。照明器具の輝度は、反射板を交換することで変更した。

防音シールド室の気温は27.5℃、相対湿度は60%であった。

脳波の測定部位は、前頭部Fz、中心部Cz、頭頂部Pzであった。

図2 連続一位加算作業用紙

Fig.2 Continuous first place addition test form.

図3 実験室平面図

Fig.3 Plane figure of the experimental room.

図4 実験室側面図

Fig.4 Side figure of the experimental room.

3.3 実験手順

実験の手順は、被験者には、3分間安静閉眼で待機し、その後照明器具を3分間直視、3分間安静閉眼、15秒直視、1分間連続一位加算作業、15秒直視、1分間連続一位加算作業、15秒直視、4分間連続一位加算作業を指示した。

3.4 主観評価

生理評価と同時に実施した主観評価の尺度を図5に示す。照明器具のまぶしさの程度、その快、不快感、覚醒度、そのときの気分などをビジュアルアナログスケール(VAS)法で測定をした。

図5 主観評価項目と尺度

Fig.5 Scale of the subjective appraisal.

3.5 脳波の測定と解析

脳波は生体電気用アンプ Neurotop ((登録商標) MME-3124, 日本光電工業社製) で増幅し、サンプリング周波数 100 Hz にて AD 変換の後、MP-150 (BIOPAC Systems, Inc.製) でコンピュータに記録した。

記録した脳波は、高速フーリエ変換(FFT)によって周波数成分に変換した(AcqKnowledge v3.7.3((登録商標) BIOPAC Systems, Inc.製)。得られたパワースペクトルから、 α 波、 β 波の帯域成分を積分することで、被験者別の α 波帯域率を求めた。

心理評価、生理評価、連続一位加算作業の統計処理については、StatView ((登録商標) Abacus Concepts, Inc.製) を用いて照明器具を要因とする反復測定分散分析を行った。

4. 結果

4.1 主観評価

主観評価結果の平均値を図6に示す。エラーバーは、標準誤差を示す。

照明器具のまぶしさの評価結果を図6(a)に示す。CRT型、SP型は、他の白色仕上げ照明器具よりはまぶしさを感じにくいという評価が得られた。実験中の覚醒度の評価を図6(b)に示す。主観評価上、被験者の覚醒度は維持されており、実験結果としての α 波の出現度が、「眠気に起因するものである」とは断定できないと思われる。

不快グレアの評価を図6(c)に示す。下面開放型は、不快感が高い。実験中の被験者の疲労感の評価を図6(d)に示す。疲労感は無かったと判断される。

4.2 生理評価

安静閉眼から目をあけ器具を8秒間直視したときの前頭部 Fz における α 波帯域率の平均値の内、明らかに他の被験者とは異なる脳波のレベルを記録した1名をのぞいた9名の平均値を、図7に示す。エラーバーは、標準誤差を示す。

図7は、CRT型のように輝度が低すぎる場合、および下面開放型のように輝度が高すぎる場合と比較して、SP型の α 波帯域率が高い逆U字の形になり、仮説立証の可能性が示唆された。この

分散分析結果の危険率は0.27であった。

図6 主観評価結果

Fig.6. Results of the subjective appraisal.

図7 脳波による生理評価結果

Fig.7. Results of the physiological appraisal.

4.3 連続一位加算作業

実験の習熟度合いを向上しきれないで評価を行った結果、他の被験者とはまったく異なる傾向を示した一名を除いた9名の平均値による連続一位加算作業の解答数を図8に示す。

図8 連続一位加算作業評価結果

Fig.8. Result of continuous first place addition test.

図8は、CRT型のように輝度が低すぎる場合、および下面開放型のように輝度が高すぎる場合と比較して、OA型とSP型の解答数が多い可能性が示唆された。この分散分析結果の信頼性を示す危険率は0.17であった。照明器具の輝度により、網膜に残像が残る。この程度の過多により決まると考えられる。

5. 結論

通常、統計的に用いられる危険率($p < 0.05$)には至らなかった(脳波 $p = 0.27$, 連続一位加算作業 $p = 0.17$)。しかし、絶対的な厳しさを要求される場合は別として、幅広く有用性を探す実験における危険率は0.1あるいは0.25が採用されても良い⁹⁾という文献もあり、今回報告をした。

心理評価の結果と、脳波(α 波帯域率)、連続一位加算作業の結果ともに一致した。また、不快グレア防止の見地では照明器具の輝度は低い方がよいものの、あまり低すぎると逆の傾向を示す可能性があることも示唆された。

オフィス環境としての照明器具にはちょうど良い明るさレベル(グレアレベル)がある。知的作業を行う光環境には、適切にグレアコントロールされた器具を選ぶことが重要である。

参考文献

- (1) ハンス・ユングヘル・ヘンツェル著、森礼於訳:光と照明, 日本理工出版会, p.265 (1995)。
- (2) 杉本賢: 照明環境要素の生体への影響に関する研究—照度と生理的負担の関係(その2), 照学誌, 65-4, pp.41-45 (1981)。
- (3) 佐藤仁人, 当摩, 中山, 高橋: 執務空間における照度の生理・心理的影響, 照学誌, 80-5, pp.331-338 (1996)。
- (4) 坂上, 明石, 梅野, 八木: 作業者の集中度と照明環境との関係について—周辺照度/作業エリア, 照学誌, 81-5, pp.385-391 (1997)。
- (5) 宮田洋監修: 新生理心理学 1, 北大路書房, p.90 (1998)。
- (6) StatView 統計編, SAS Institute Inc., p.77(1998)。

(受付 2004 年 11 月 25 日 / 採録日 2005 年 2 月 4 日)

松島 公嗣 (正会員)

松下電工株式会社

〒571-8686 大阪府門真市大字門真 1048

1952 年 10 月 8 日生まれ。1975 年 3 月愛媛大学工学部電気工学科卒, 同年 4 月松下電工株式会社に入社, 現在, 照明事業本部中央照明エンジニアリング総合部で照明ソフト開発に従事。日本照明委員会会員。2001 年技術士(電気電子部門)。

片山 就司 (専門会員)

松下電工株式会社

〒571-8686 大阪府門真市大字門真 1048

1958 年 4 月 17 日生まれ。1983 年 3 月京都大学工学部建築学科修士課程修了, 同年 4 月松下電工株式会社に入社, 現在, 照明事業本部中央照明エンジニアリング総合部で照明ソフト開発に従事。日本照明委員会, 日本建築学会会員。一級建築士。

高橋 良香 (正会員)

千葉大学大学院自然科学研究科

〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

1977 年 1 月 4 日生まれ。2001 年 3 月千葉大学大学院自然科学研究科像科学専攻博士前期課程修了。2004 年 4 月千葉大学大学院自然科学研究科人間環境デザイン科学専攻博士後期課程入学。現在, 在学中。日本視覚学会, 照明学会, 日本色彩学会各会員。

下村 義弘 (非会員)

千葉大学工学部

〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

1972 年 12 月 20 日生まれ。1995 年 3 月千葉大学工学部工業意匠学科卒業, 2000 年 3 月千葉大学博士(工学)取得, 同年 4 月より千葉大学工学部デザイン工学科人間生活工学教室にて助手として勤務, 現在に至る。日本生理人類学会, 日本人間工学会などに所属。専門はエルゴデザイン, パイオインタフェースなど。

岩永 光一 (非会員)

千葉大学大学院自然科学研究科

〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

1958 年 8 月 5 日生まれ。1983 年 3 月九州芸術工科大学大学院芸術工学研究科修士課程生活環境専攻修了, 同年 5 月九州芸術工科大学芸術工学部助手。その後, 大塚製薬(株)研究員, 千葉大学共同研究推進センター助教授等を経て, 1997 年 4 月千葉大学大学院自然科学研究科助教授, 現在に至る。博士(理学)(1993 年, 千葉大学)。日本生理人類学会, 日本人間工学会ほかに所属。

勝浦 哲夫 (非会員)

千葉大学工学部

〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

1950 年 1 月 30 日生まれ。1974 年 3 月九州芸術工科大学芸術工学部工業設計学科卒, 1974 年 4 月九州芸術工科大学芸術工学部助手, 1980 年 3 月千葉大学工学部講師, 1986 年 6 月同助教授, 1996 年 4 月同教授に昇任し現在に至る。1986 年理学博士(京都大学), 日本生理人類学会, 日本人間工学会ほかに所属。