

異なる光源から発する光の分光分布と輝度レベルの変化が
明るさ知覚に及ぼす影響

—蛍光ランプの場合—

EFFECT OF DIFFERENT SPECTRAL DISTRIBUTION OF LIGHT ON BRIGHTNESS
PERCEPTION IN DIFFERENT LUMINANCE LEVEL

—In case of fluorescent lamp—

尹 仁*, 堀越哲美**, 宮本征一***, 加藤伯彦****, 水谷章夫*****

Yoon IN, Tetsumi HORIKOSHI, Seiichi MIYAMOTO,

Norihiko KATO and Akio MIZUTANI

The objective of this paper is to clarify the effect of spectral power distribution of different fluorescent lamps and luminance levels on the human brightness perception in a building interior. The following psychological tests were conducted. The perception of room brightness over photopic luminance ranging from 100cd/m² to 300cd/m² was measured for 20 subjects using a pair of experimental chambers. The daylight, warm white, incandescent colour 3band-type, white, 3band-type and daylight 3band-type fluorescent lamps were used as lighting sources. Each fluorescent lamps has different S/P ratio (scotopic lumiance / photopic luminance). One experimental chamber was lit by daylight fluorescent lamps and the other chamber was lit by one of the other five fluorescent lamps. After the subjects judged the brighter room, they were requested to adjust luminance level in one chamber to get equal brightness with the other. Ratios of luminance by the compared lamp to that by the daylight lamp were calculated. The following results were obtained : the subjects judge of that the fluorescent lamp with high S/P ratio is brighter than the fluorescent lamp with low S/P ratio. The differences of brightness perception between daylight fluorescent lamp and the other lamps decreases with a rise in luminance level. It became clear with regression analysis that not only photopic luminance but also scotopic luminance contributes to perceived brightness in according to luminance levels. Both of scotopic and photopic luminance is required to account perceived brightness in interiors.

Keywords: fluorescent lamp, spectral distribution, brightness perception, luminance, scotopic luminance

蛍光ランプ、分光分布、明るさ知覚、輝度、暗所視輝度

1. はじめに

現在、人間の視感覚を基にした光の量として、輝度や照度といった測光量が用いられている。しかし、知覚される明るさとその対応関係が必ずしもあるわけではないことが指摘¹⁾²⁾³⁾され、光源の種類によって、異なる色温度や演色性などの光源の分光特性が明るさ知覚に及ぼす影響について研究されてきた。一般に演色評価数の高いランプが低いランプに比べ、各物体色を高いメトリッククルマに再現することから、光源の演色性が明るさ知覚に及ぼす影響の重要な成因は、メトリッククルマであるという報告⁴⁾がされている。著者ら⁵⁾は、開口色の見えによる実験を行い、明るさ知覚に及ぼす光源の分光特性(色温度、演色性)の影響について考察した結果、色温度の増加による明るさ知覚の変化はある程度見られたが、平均演色性評価数の増加に対する明るさ知覚の変化には一定な対応関係は見られないことを明らかにした。

日常生活の視知覚では、中心視だけではなく広い視野の周辺視による知覚も行われているので、明所視における比視感度関数 $V(\lambda)$ に基づく測光量は実際の室内における明るさ知覚とは差があると考えられる⁶⁾。今までの視覚の研究では、錐状体と桿状体の役割が分かかれており、視環境の評価では、錐状体による中心視だけが重要視され、広い視野における周辺視の影響や網膜の広い部分をしめてい

る桿状体の影響はあまり考慮されなかった。しかし、色の見えに関する研究で、Stabellら⁷⁾は1000Tdの刺激光についての分光感度から明るさへ及ぼす桿状体の影響を指摘している。最近、Bermanら⁸⁾は一連の実験の結果に基づいて、室内空間において明順応の状態でも桿状体が活性であることを報告するとともに、明所視光束と暗所視光束⁹⁾¹⁾、両方を考慮した瞳孔光束²⁾²⁾を提案し、明るさ知覚の説明を試みている。それに対して堀越ら⁹⁾は40cd/m²から75cd/m²までの輝度レベルで、2種類の蛍光ランプを用いて実験を行った。その結果、明るさ知覚の説明に対して、Bermanらが指摘したほどの暗所視輝度⁹⁾³⁾の効果はなかったが、明所視として従来取り扱われていた状態での、暗所視輝度の影響を定量的に取り扱うことを試みている。このように、それぞれの実験によって、今までは明所視では考慮されなかった暗所視光束の影響について定量化が試みられている。しかし、実際オフィスなどで経験する比較的高い輝度レベルでの視環境における影響など、輝度レベルの変化による暗所視光束すなわち、桿状体の明るさ知覚への寄与や一般的によく使われている光源に対する適用性など、その妥当性についてはまだ検討の余地があると考えられる。

そこで、本研究は広視野において、6種類の異なる蛍光ランプを用い、輝度レベルの変化による明るさ知覚の特性を明らかにし、光

* 名古屋工業大学社会開発工学科 研究員・工博

** 名古屋工業大学大学院都市循環システム工学専攻
教授・工博

*** 名古屋工業大学社会開発工学科 助手・修士(工学)

**** 中部電力(株)電力技術研究所 研究員・工修

***** 名古屋工業大学社会開発工学科 助教授・工博

Researcher, Dept. of Architecture, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.
Prof., Dept. of Environmental Technology and Urban Planning, Graduate School of
Eng., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.Research Assoc., Dept. of Architecture, Nagoya Institute of Technology, M. Eng.
Researcher, Electric Power Research & Development Center Chubu Electric Power
Co. Inc., M. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

源の違いによる明るさ知覚の違いを、順応レベルを含めて統一的に説明できないかを検討しようとするものである。

2. 実験計画

2-1. 心理測定方法

明るさ知覚を把握するための、心理反応の測定方法として2室の開口色の明るさを同時に比較して、1室の光源を他室と等しい明るさになるように調節する調整法を採用した。

2-2. 実験装置

前報⁶⁾と同じ実験装置を用いた。図1に示すように、大きさの等しいA室とB室の2つの実験ブースに覗き窓を設け、室内を波長420～780nmのほぼフラットな反射特性を持つ、つや消し白色ペイントで仕上げた。照明器具は被験者の観察面となる2つの実験ブースの覗き窓に対向する壁面を照らすように設置し、その壁面の輝度分布ができるだけ一様になるようにした。観察面と実験ブース内の他の構成面との輝度差が15%以内になるようにした。観察面での反射光を覗き窓を介して被験者に提示した。実験の光源を表1に示す。調整器により、実験ブースA室とB室の観察面の輝度レベルを被験者が調整できるようになっている。各蛍光ランプから発する光と観察面での反射光の分光分布は光波長分析計を用いて測定した。その結果を図2に示す。その分光放射輝度と暗所視における視感効率関数 $V(\lambda)$ を用い、次式によって暗所視輝度 L_s を求めた。

$$L_s = k'_m \int V(\lambda)L(\lambda)d\lambda \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 $L(\lambda)$: 単位波長幅当り分光放射輝度 [cd/m²/nm]

K'_m : 暗所視での最大視感度 [lm/W]

積分は台形公式で数値積分した。輝度に対する暗所視輝度の比を次の式によって求め、本研究ではこれをS/P比と呼ぶことにする。輝度レベル別における各光源別の観察面の反射光のS/P比を図3に示す。

$$S/P \text{ 比} = \frac{L_s}{L_p} = \frac{k'_m \int V(\lambda)L(\lambda)d\lambda}{k_m \int V(\lambda)L(\lambda)d\lambda} \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 L_p : 輝度 [cd/m²]

K_m : 明所視での最大視感度 [lm/W]

$V(\lambda)$: 明所視における視感効率関数

反射光のS/P比は光源のS/P比に比べて低い値になっているが、輝度レベルの違いに対してほぼ一定である。ここで、観察面の輝度は床面から1.2mの椅子に座った被験者の眼の位置から輝度計を用いて測定した。被験者の主視線から30°以内の視野での観察面の輝度はほぼ一定であり、その平均値を被験者の視野内の輝度の代表

表1 実験光源に用いた蛍光ランプ

| 蛍光ランプの種類 : 記号 | 色温度 K | 平均演色評価数 Ra | S/P比 |
|-------------------|----------|---------------|------|
| 昼光色蛍光ランプ : DL | 6500 | 74 | 2.14 |
| 汎白色蛍光ランプ : WW | 3500 | 60 | 1.18 |
| 3波長域球形蛍光ランプ : P | 3000 | 88 | 1.34 |
| 白色蛍光ランプ : W | 4200 | 61 | 1.45 |
| 3波長域発光形蛍光ランプ : Pa | 5000 | 88 | 1.95 |
| 3波長域昼光色蛍光ランプ : Pd | 6700 | 88 | 2.35 |

※ S/P 比: 暗所視光束 S と明所視光束 P の比

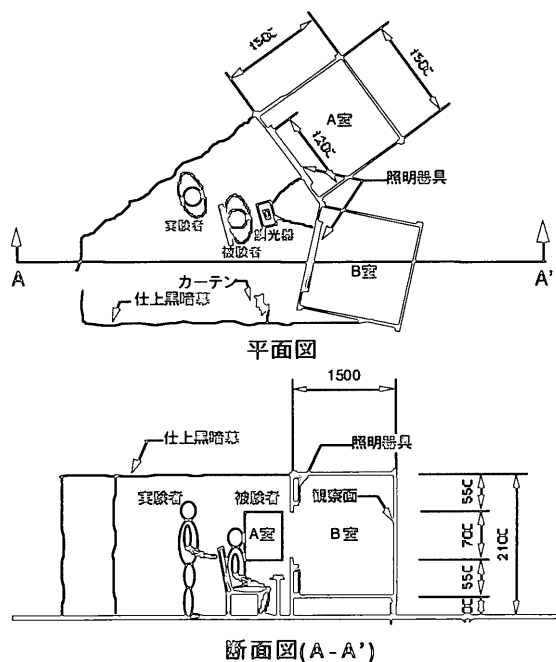


図1 実験室の概要

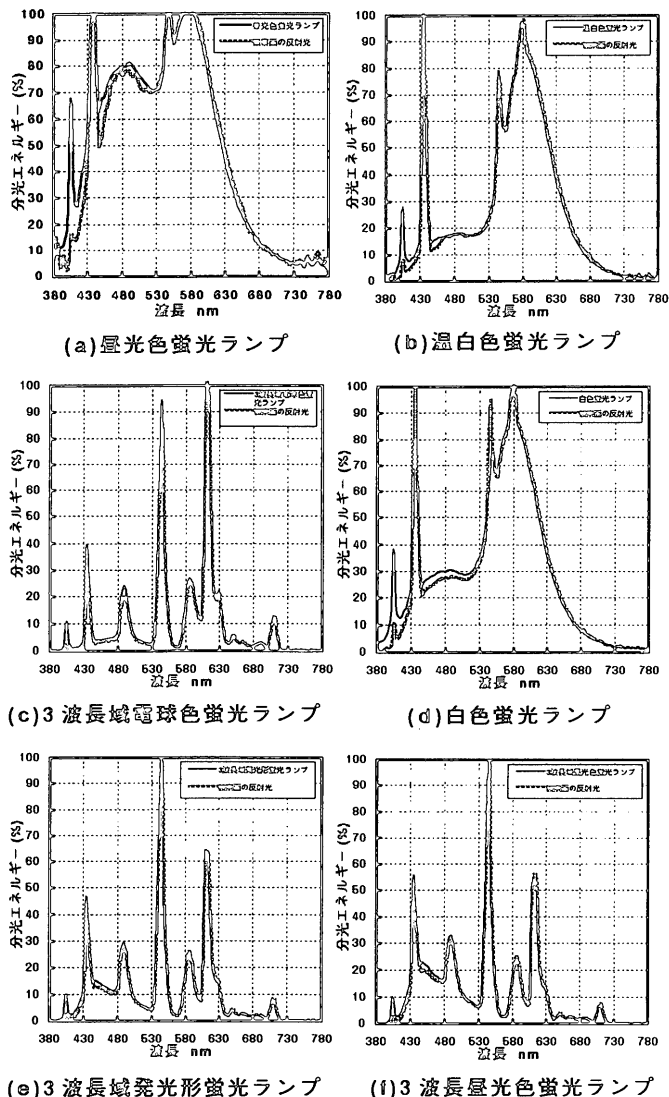


図2 実験に用いた蛍光ランプの分光分布測定結果

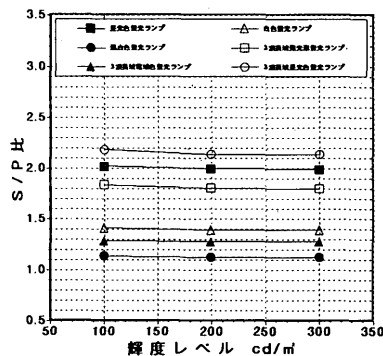


図3 輝度変化によるS/P比

値とした。調光による輝度レベル別のブース内の輝度分布はほぼ一定であり、輝度レベルの変化による蛍光ランプから発する光及び観察面の反射光の色温度や色度の変化はほとんどないことを確認した。

2-3. 実験条件と方法

実験の条件を表2に示す。光源条件1から光源条件20と輝度条件100cd/m²、200cd/m²、300cd/m²の3段階のレベルとの組み合わせで行った。表2中の*印は基準とする側の光源（これを基準側と呼ぶ）を示し、無印は調整

する側の光源（これを調整側と呼ぶ）を示している。実験方法としては、昼光色蛍光ランプと他の種類の蛍光ランプ（比較蛍光ランプと呼ぶ）との比較によって行った。その際、両ブースの光源の光が混用され、同時に視野に入ってくるのを防ぐため、1室ずつを見て比較し、その明るさが判断できるようにした。観察面を見る視角は30°以上の広い視野になるようにした。被験者は色覚異常者のない学生・大学教員で20から39歳までの男女計20名とした。

2-4. 実験手順

被験者を椅子に座らせる。被験者の前面にカーテンをひき、0.03cd/m²以下の輝度レベルで実験前あるいは前条件の残像をなくすために2分間の暗順応をさせる。その後、カーテンを開けて実験条件の環境を提示する。1分30秒の間、被験者は与えられた条件のA室とB室の明るさを比較する。その時、どちらが明るく感じるかを質問する。明るさに差があると感じれば、調光器で基準側と等しい明るさになるように調整側の輝度を調整する。その時の両室の観察面の輝度を記録する。照明を調整する実験ブースは2室を交互に変えて提示する。実験ブースと実験室の照明を消して、再び被験者に2分間の暗順応をさせ、次の実験条件で上述の手順を繰り返す。条件提示は乱数表を用い、アトラダムに行った。

3. 実験結果

調整側の調整前の輝度と調整後の輝度の平均値の有意差を確かめるため、t検定を行った。その結果を表3に示す。3波長域発光形蛍光ランプとの比較における輝度レベル100、200cd/m²の条件13、16と輝度レベル300cd/m²の全条件では有意水準5%では有意差が

表2 実験条件

| 光源条件 | A室光源 | B室光源 | 光源条件 | A室光源 | B室光源 |
|------|----------------|----------------|------|----------------|----------------|
| 1 | * 昼光色蛍光ランプ | 温白色蛍光ランプ | 11 | * 白色蛍光ランプ | 昼光色蛍光ランプ |
| 2 | 昼光色蛍光ランプ | * 温白色蛍光ランプ | 12 | 白色蛍光ランプ | * 昼光色蛍光ランプ |
| 3 | * 温白色蛍光ランプ | 昼光色蛍光ランプ | 13 | * 昼光色蛍光ランプ | 3波長域発光形蛍光ランプ |
| 4 | 温白色蛍光ランプ | * 昼光色蛍光ランプ | 14 | 昼光色蛍光ランプ | * 3波長域発光形蛍光ランプ |
| 5 | * 昼光色蛍光ランプ | 3波長域電球色蛍光ランプ | 15 | * 3波長域発光形蛍光ランプ | 昼光色蛍光ランプ |
| 6 | 昼光色蛍光ランプ | * 3波長域電球色蛍光ランプ | 16 | 3波長域発光形蛍光ランプ | * 昼光色蛍光ランプ |
| 7 | * 3波長域電球色蛍光ランプ | 昼光色蛍光ランプ | 17 | * 昼光色蛍光ランプ | 3波長域昼光色蛍光ランプ |
| 8 | 3波長域電球色蛍光ランプ | * 昼光色蛍光ランプ | 18 | 昼光色蛍光ランプ | * 3波長域昼光色蛍光ランプ |
| 9 | * 昼光色蛍光ランプ | 白色蛍光ランプ | 19 | * 3波長域昼光色蛍光ランプ | 昼光色蛍光ランプ |
| 10 | 昼光色蛍光ランプ | * 白色蛍光ランプ | 20 | 3波長域昼光色蛍光ランプ | * 昼光色蛍光ランプ |

輝度条件 輝度レベル : 100cd/m², 200cd/m², 300cd/m²

*は基準側を示す
各輝度レベル100cd/m²~300cd/m²と
表示条件1-8までの組み合わせによる

表3 調整前・後における輝度の平均値の差の検定

| (a) 温白色蛍光ランプとの比較 | | | (b) 3波長域電球色蛍光ランプとの比較 | | | (c) 白色蛍光ランプとの比較 | | |
|------------------|--------|----|----------------------|-------|----|-----------------|-------|----|
| 実験条件 | t値 | 判定 | 実験条件 | t値 | 判定 | 実験条件 | t値 | 判定 |
| 100cd/m² 1 | -12.75 | ** | 100cd/m² 5 | -5.40 | ** | 100cd/m² 9 | -3.41 | ** |
| 2 | -7.81 | ** | 6 | -7.04 | ** | 10 | -2.57 | ** |
| 3 | -9.05 | ** | 7 | -4.74 | ** | 11 | -5.33 | ** |
| 4 | -9.72 | ** | 8 | -6.35 | ** | 12 | -4.60 | ** |
| 200cd/m² 1 | -5.63 | ** | 200cd/m² 5 | -6.44 | ** | 200cd/m² 9 | -4.82 | ** |
| 2 | -3.85 | ** | 6 | -3.84 | ** | 10 | -3.85 | ** |
| 3 | -7.68 | ** | 7 | -3.97 | ** | 11 | -3.31 | ** |
| 4 | -5.43 | ** | 8 | -4.80 | ** | 12 | -5.15 | ** |
| 300cd/m² 1 | -3.09 | ** | 300cd/m² 5 | -2.23 | ** | 300cd/m² 9 | -3.79 | ** |
| 2 | -3.37 | ** | 6 | -3.58 | ** | 10 | -5.16 | ** |
| 3 | -4.45 | ** | 7 | -3.38 | ** | 11 | -3.67 | ** |
| 4 | -4.66 | ** | 8 | -3.55 | ** | 12 | -5.76 | ** |

** : 1%で有意差 * : 5%で有意差

| (d) 3波長域発光形蛍光ランプとの比較 | | | (e) 3波長域昼光色蛍光ランプとの比較 | | |
|----------------------|-------|----|----------------------|------|----|
| 実験条件 | t値 | 判定 | 実験条件 | t値 | 判定 |
| 100cd/m² 13 | -2.51 | ** | 100cd/m² 17 | 1.78 | * |
| 14 | -0.20 | なし | 18 | 5.16 | ** |
| 15 | 0.99 | なし | 19 | 3.91 | ** |
| 16 | -3.07 | ** | 20 | 3.14 | ** |
| 200cd/m² 13 | -2.43 | * | 200cd/m² 17 | 4.27 | ** |
| 14 | -0.64 | なし | 18 | 5.43 | ** |
| 15 | 0.45 | なし | 19 | 5.08 | ** |
| 16 | -1.92 | * | 20 | 4.24 | ** |
| 300cd/m² 13 | -0.54 | なし | 300cd/m² 17 | 6.78 | ** |
| 14 | -0.03 | なし | 18 | 4.96 | ** |
| 15 | -1.58 | なし | 19 | 2.23 | * |
| 16 | -0.15 | なし | 20 | 4.92 | ** |

** : 1%で有意差 * : 5%で有意差

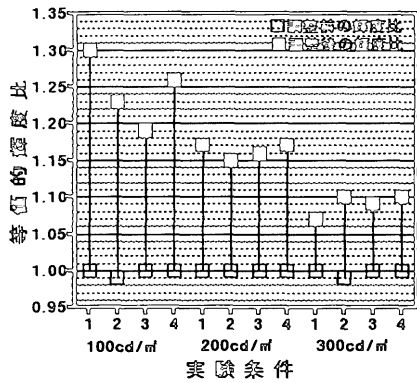
認められなかった。3波長域発光形蛍光ランプとの比較における輝度レベル200cd/m²の条件13、16と3波長域昼光色蛍光ランプとの比較における輝度レベル100cd/m²の条件17及び300cd/m²の条件19では有意水準5%で、その以外の条件では1%の有意水準で有意差が認められた。以後の考察に用いるため、実際に明るさが等しくなるように調整した後の2室における、調整された輝度から、次の輝度比Rを計算した。

$$R = L_i / L_d \dots\dots\dots (3)$$

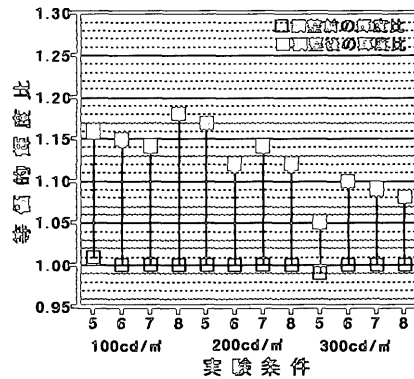
ここで、 L_d : 調整後の昼光色蛍光ランプの輝度 [cd/m²]

L_i : 調整後の比較蛍光ランプの輝度 [cd/m²]

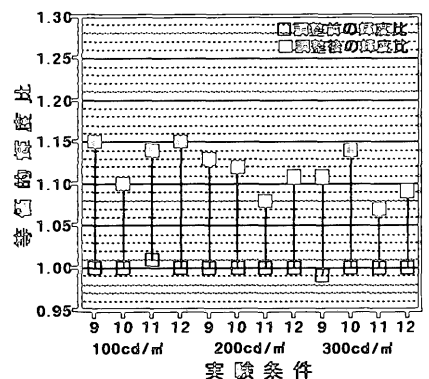
簡単のためにこのRを以後等価的輝度比と呼ぶ。各実験条件における等価的輝度比の平均値を条件毎に整理して図4に示す。被験者別の値を図5に示す。比較蛍光ランプの等価的輝度比は、昼光色蛍光ランプに対する3波長域昼光色蛍光ランプとの輝度比以外は全ての条件で1より大きい値となっている。温白色蛍光ランプとの等価



(a) 温白色蛍光ランプとの比較

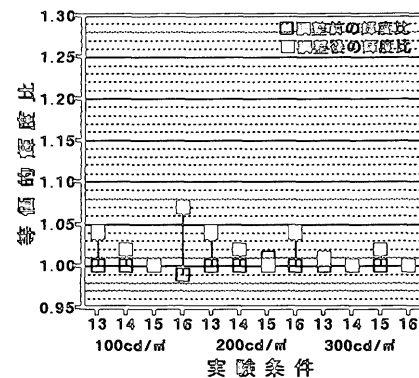


(b) 3波長域電球色ランプとの比較

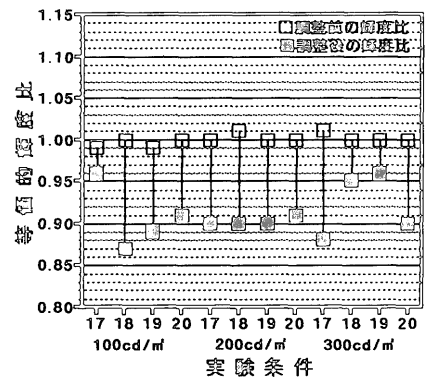


(c) 白色蛍光ランプとの比較

的輝度比は他の光源との輝度比に比べて大きい値で、3波長域昼光色蛍光ランプとの等価的輝度比では1以下の値となっている。輝度レベルが高くなるに従い各蛍光ランプ条件毎の等価的輝度比は小さくなる傾向を示す。100cd/m²と300cd/m²の輝度レベルの間で等価的輝度比に差が見られた。3波長域昼光色蛍光ランプの場合は輝度レベルが違って、等価的輝度比にはほとんど差が見られなかった。



(d) 3波長域発光形蛍光ランプとの比較 (e) 3波長域昼光色蛍光ランプとの比較



4. 考察

4-1. 明るさ知覚と輝度レベル

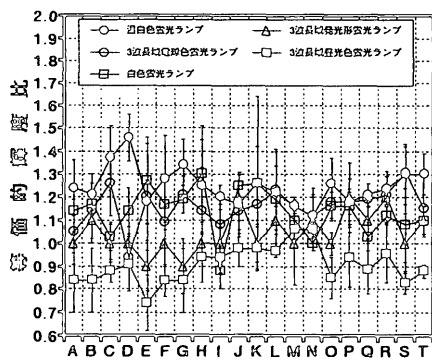
図4及び図5に示される通り、被験者の明るさ知覚は、室内の等しい測光量下でも蛍光ランプの種類と輝度レベルによって異なる。しかし、両光源間のS/P比の差があまり大きくない昼光色蛍光ランプと3波長域発光形蛍光ランプの比較では表3でも見られたように、両光源間の明るさ知覚の差はあまり見られなかった。図6は各実験条件から得られた、等しい明るさを得るために調整した後の2室の輝度の関係を6種の蛍光ランプ毎に示したものである。これは平均値で示してある。昼光色蛍光ランプと等しい明るさを得るために必要な各光源別の輝度が求められる。各光源毎の明るさの知覚の違いは、輝度レベルが低くなると大きくなり、輝度レベルが高くなると小さくなる傾向があると考えられる。堀越ら⁹⁾の40~75cd/m²の低い輝度レベルにおいての結果でも、昼光色蛍光ランプに対する温白色蛍光ランプとの等価的輝度比は1.22以上であり、低い輝度

レベルでの各光源間の明るさ知覚の差は大きくなることを示している。光源の輝度レベルによって、目の順応レベルが変化することにより、明るさ知覚が順応レベルによって異なって現れたと考えられる。

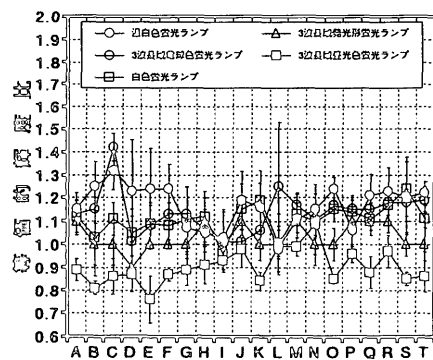
4-2. 明るさ知覚と暗所視輝度

以上の観察結果を光源の種類をこえて、統一的に説明することを試みる。光源のS/P比と等価的輝度比との関係を図7に示す。蛍光ランプのS/P比の増加によって等価的輝度比は小さくなっていく傾向が見られた。昼光色蛍光ランプと比較蛍光ランプとの明るさ知覚の差は各光源のS/P比の差が大きいほどはっきり現れたと考えられる。S/P比が異なる光源に対して明るさ知覚の違いができるということは、明るさ知覚に錐状体だけではなく、桿状体の影響も作用していると考えられ、それらが明るさ知覚に及ぼす影響を各々

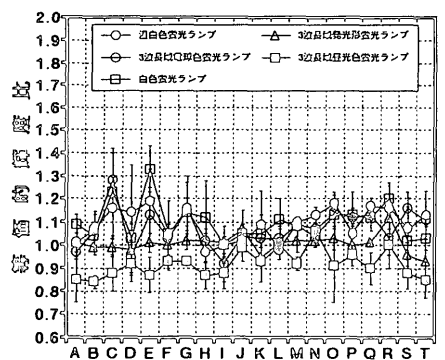
図4 実験条件別の昼光色蛍光ランプに対する比較蛍光ランプの等価的輝度比



(a) 100cd/m²の場合



(b) 200cd/m²の場合



(c) 300cd/m²の場合

図5 被験者別の等価的輝度比

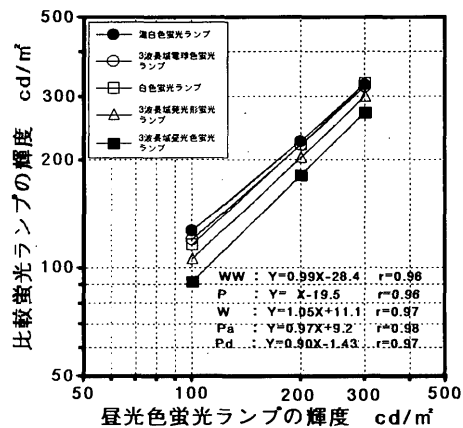


図6 等価的明るさを与える昼光色蛍光ランプと比較蛍光ランプとの輝度の関係

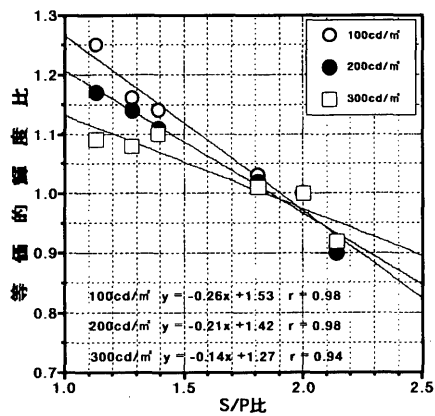


図7 光源のS/P比と等価的輝度比との関係

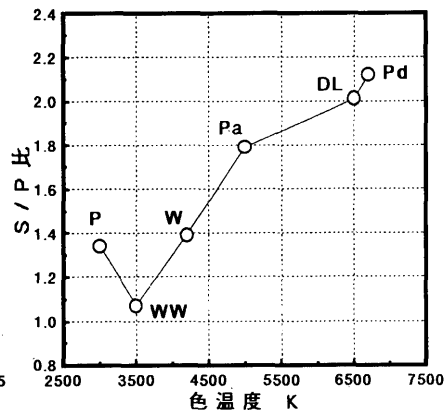


図8 S/P比と色温度の関係

輝度と暗所視輝度で表現することが可能であろう。ここでは、暗所視輝度がどのように明るさ知覚に影響を与えるか、あるいは、明るさ知覚にどれほど寄与しているかを知るため、これらの量の関係を第1次近似として、次のような線形式と考えた。

$$B = aP + bS + c \quad \dots\dots (4)$$

ここで、 B : 明るさ知覚

P : 輝度

S : 暗所視輝度

a, b, c : 定数

この式で、明るさ知覚 B は、等価的輝度比で与えられるものとする。実験の輝度レベル別に、目的変数として B を、説明変数を P と S として重回帰分析を行い、各々の重回帰係数を求めた。それを表4に示す。輝度レベルが高くなるに従い、 b の絶対値が小さくなり暗所視輝度 S の説明力が低くなり、 a の絶対値が大きくなり輝度 P の説明力が強くなる傾向が見られる。この結果より、被験者は低い輝度レベルでは、 S/P 比の高い蛍光ランプの方が S/P 比の低い蛍光ランプより明るく感じ、輝度レベルが高くなるにつれ、 S/P 比の違いによる両光源に対する明るさ知覚の差は小さくなると考えられる。それは、輝度レベルが高くなるに従い、桿状体の働きすなわち、暗所視輝度 S の影響が徐々に少なくなり、錐状体の働きが卓越して明るさ知覚が行われるために、その傾向が見られると推測される。Berman⁸⁾は暗所視輝度の影響の範囲を $500\text{cd}/\text{m}^2$ までの輝度レベルであると述べている。本実験でも輝度レベルが高くなるに従って、明るさ知覚に対する暗所視光束の説明力が弱くなる傾向が見られた。Berman⁸⁾も S/P 比の増加による明るさ知覚、明瞭さの増加を定性的に述べているが、本実験では輝度レベル別にその効果を定量的に明らかにできたと考えられる。また、Berman⁸⁾は色温度と S/P 比の関係を述べているが、図8に示すように、 3000K の3波長域電球色蛍光ランプ以外では、色温度が高くなるにつれ S/P 比も増加する傾向にある。

4-3. 瞳孔光束との比較

輝度レベル $100, 200, 300\text{cd}/\text{m}^2$ に対して、各蛍光ランプの瞳孔光束の値をBermanの式²⁾を用いて求めた。昼光色蛍光ランプに対する各比較蛍光ランプの瞳孔光束比と、本実験で求められた昼光色蛍光ランプに対する各比較蛍光ランプの等価的輝度比との関係を図9に示す。Bermanによれば瞳孔光束が等しいことが、明るさ知

表4 明所視輝度の係数と暗所視輝度の係数の関係

| 輝度レベル (cd/m^2) | 明所視輝度 P の係数 a | 暗所視輝度 S の係数 b |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|
| 100 | 0.00053 | -0.003 |
| 200 | 0.0011 | -0.0013 |
| 300 | -0.0086 | -0.0006 |

覚が等しいとしている。そこで、本研究で求めた等価的輝度比と比較してみる。実験から得られた等価的輝度比は、瞳孔光束から求めた光束比と比べて小さい。温白色蛍光ランプ、3波長域電球色蛍光ランプそして白色蛍光ランプの場合は、瞳孔光束は輝度レベルによってほとんど変わらないが、等価的輝度比は輝度レベルに応じて変わる。これは、暗所視輝度が寄与する割合が変わることが示されていると考えられる。また、昼光色蛍光ランプと比較蛍光ランプの両方の S/P 比が近い場合は、本実験の等価的輝度比と瞳孔光束による光束比はほとんど等しくなる。Bermanらの瞳孔光束は明るさ知覚のみに対してだけではなく、visual performanceに対する暗所視光束の寄与を考慮したものであるのに対し、本実験では、明るさ知覚に対する暗所視輝度の寄与を検討したものであるため、その寄与度に差がでたと考えられる。

4-4. 10° 視野等色関数 $y_{10}(\lambda)$ を用いた場合

今回の実験では、広視野での明るさ知覚の評価を行ったものの、通常の測光量に対する明るさ知覚の違いの度合を把握するために、 2° 視野の比視感度関数を用いた通常輝度によって評価が行われた。しかし、なるべく広視野での明るさ特性を反映させるためには、広視野における明るさの比視感度を考慮する必要があると考えられる。現在、 10° 視野での明るさの比視感度が求められているが、 10° 視野の標準比視感度は勧告されておらず、等色関数 $y_{10}(\lambda)$ が代用されている¹⁰⁾。図10に等色関数 $y_{10}(\lambda)$ を用いて算出した輝度と通常輝度を用いて計算した等価的輝度比の比較を示す。等色関数 $y_{10}(\lambda)$ を用いると 530nm 以下の短波長域の感度の増大によって、短波長域の分布が発達した昼光色蛍光ランプと3波長域昼光色蛍光ランプは他の実験蛍光ランプに比べ輝度の値が相対的に大きくなって、 2° 比視感度関数を用いている通常輝度の値より等価的輝度比が小さくなったと考えられる。ただし、暗所視に

における比視感度関数 $V'(\lambda)$ に替わる、 10° 視野の暗所視比視感度関数は目下のところないので、本研究では、暗所視比視感度関数 $V'(\lambda)$ をそのまま使用した。

5. まとめ

本研究は広視野において、蛍光ランプの輝度レベルの変化による明るさ知覚の特性を明らかにし、光源の違いによる明るさ知覚の違いを、統一的に説明できないかを検討しようとする目的で心理実験を行い、次のような結果を得た。

① 室内の等しい測光量下でも、被験者の明るさ知覚は、蛍光ランプの種類と輝度レベルによって、異なることが明らかになった。輝度レベルによって、目の順応レベルが変化することを考えると、明るさ感が順応レベルによって異なって現れたと考えられる。

② 各光源の持つ暗所視光束（見る側からは暗所視輝度に対応）と明所視光束（輝度に対応）の比(S/P比)を蛍光ランプの特性を表すものと考え、蛍光ランプの明るさ知覚の差は、S/P比が大きいほど明瞭に現れると考えられる。また、その明るさ知覚の違いは、高い輝度レベルより低い輝度レベルでより明確に現れる。

③ 実験の輝度レベル別に、目的変数として等価的輝度比 B を、説明変数として輝度 P と暗所視輝度 S として重回帰分析を用い、各々の重回帰係数を求めた結果、輝度レベルが高くなるに従い、その暗所視輝度 S の説明力が低くなり、輝度 P の説明力が強くなる傾向が見られる。輝度レベルが高くなるに従い、桿状体の働きすなわち、暗所視輝度 S の影響が徐々に少なくなり、錐状体の働きが卓越して明るさの知覚が行われるために、その傾向が見られると推測される。

④ 昼光色蛍光ランプに対する各比較蛍光ランプの等価的輝度比と Berman の瞳孔光束から求めた、昼光色蛍光ランプに対する各比較蛍光ランプの光束比とを比較した。その結果、等価的輝度比は、瞳孔光束に比べて必ずしも大きくないが、暗所視輝度の影響があり、本実験条件の輝度レベルに応じて変わることが示されたと考えられる。

⑤ 10° 視野での比視感度を用いた場合との比較をするため、等色関数 $y_{10}(\lambda)$ を用いて算出した輝度と通常の輝度を用いて計算した等価的輝度比の比較を行った。短波長域の分布が発達した昼光色蛍光ランプと3波長域昼光色蛍光ランプは他の実験蛍光ランプに比べ、 10° 視野の輝度の値が相対的に大きくなって、 2° 比視感度関数を用いている通常の輝度の値より等価的輝度比が小さくなる傾向が見られた。今回の実験では、通常の測光量に対する明るさ知覚の違いの度合を把握するために、 2° 視野の比視感度関数を用いた通常の輝度によって評価が行われたが、今後は、等色関数 $y_{10}(\lambda)$ を用いて算出した輝度を用い、分析を行う必要があると考えられる。

⑥ 本研究では異なる光源の光に対する明るさ知覚の評価において、両ブースの光源の光が混用され、同時に視野に入ってくるのを防ぐため、1室ずつを見て比較し、その明るさが判断できるようにして実験を行ったが、この点については検討の余地があると考えられる。

注1) 明所視光束は photopic luminous flux の訳で、通常の測光量としての光束である。暗所視光束は scotopic luminous flux の訳で、光の分光放射光束に、暗所視における視感度関数の重みをつけて波長で積分したものである。

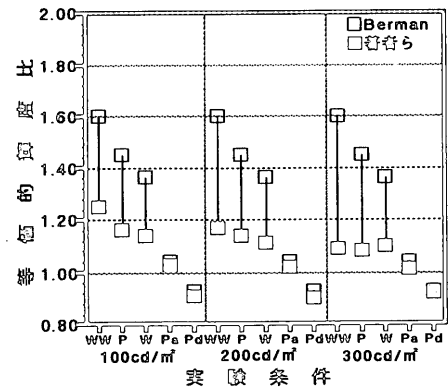


図9 等価的な明るさを与える輝度比と瞳孔光束の比較

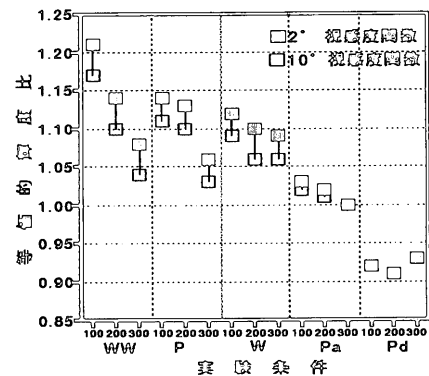


図10 10° 視感度関数を考慮した場合の等価的明るさ

注2) 瞳孔光束 (pupil lumens)は、次の式により、求められる。

$$\text{pupil lumens} = P(S/P)^{0.70}$$

ここで、P: 明所視光束 S: 暗所視光束

注3) 暗所視輝度(scotopic luminance)は、注1)の暗所視光束から求めた輝度であるとする。

【引用文献】

- 1) Aston, S.M., Bellchambers, H.E.: Illumination, colour rendering and visual clarity, Lighting Res. Technol. Vol.1 No.4 pp. 259-261, 1969
- 2) Levermore, G.J.: Perception of lighting and brightness from HID sources, Lighting Res. Technol. Vol.26 No.3 pp.145-150, 1994
- 3) Howett G.L.: The coming redefinition of photometry, J. Illum. Engng. Soc. Vol.15 No.1 pp.5-8, 1986
- 4) 納谷嘉信, 橋本徳次郎: 高演色性蛍光ランプの照明下での明るさ感, 日本照明学会誌, Vol.67 No.6 pp. 260-265, 1983
- 5) 尹仁, 堀越哲美, 宮本征一: 蛍光ランプの異なる色温度が明るさ知覚に及ぼす影響, 日本建築学会計画系論文集, 第489号, pp.11-16, 1996
- 6) Berman, S.M., Jewett, D.L., Feint, G., Saika, G.: Photopic luminances does not always predict perceived brightness, Lighting Res. Technol. Vol. 22 No.1 pp.37-41, 1990
- 7) Stabell, U., Stabell, B.: Spectral sensitivity of the dark-adapted extrafoveal retina at photopic intensities, J. Opt. Soc. Am., Vol.71 pp.841-844, 1981
- 8) Berman, S.M.: Energy efficiency consequences of scotopic sensitivity, J. Illum. Engng. Soc. Vol.21 No.1 pp.3-14, 1992
- 9) 堀越哲美, Tiller, D.K.: 明るさ知覚に及ぼす光源の波長分布と暗順応輝度の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1163-1164, 1993
- 10) 池田光男: 視覚と視環境研究調査委員会B分科会報告・2°及び10°の明るさ知覚の比視感度, 日本照明学会誌, Vol.66 No.9 pp. 417-420, 1982

(1996年10月10日原稿受理, 1997年5月26日採用決定)