住宅居間の明るさ感—ダウンライトを設置した場合—

正会員 岩井 彌 (松下電工株式会社)

正会員 齋藤 良徳 (松下電工株式会社)

正会員 墨 貞宏 (松下電工株式会社)

正会員 阪口 敏彦 (松下電工株式会社)

Sensation of Brightness for a Living Room with Downlights

Member Wataru Iwai (Matsushita Electric Works, Ltd), Member Yoshinori Saito

(Matsushita Electric Works, Ltd), Member Sadahiro Sumi (Matsushita Electric Works, Ltd)

and Member Toshihiko Sakaguchi (Matsushita Electric Works, Ltd)

ABSTRACT

The sensations of brightness perceived in a living room with downlights were investigated by psychological experiments with eighteen observers. Three positions and four types of downlight reflector were examined. The method of magnitude estimation was adopted to measure the sensation of brightness. In addition, the luminance of areas related to the sensation of brightness were measured with a CCD camera. The relationships between these luminances and the sensation of brightness are discussed.

The results showed that the sensations of brightness for a living room with downlights were strongly affected by “average luminance within the area of the front wall” and by “luminance in the corners of the room”.

KEYWORDS : sensation of brightness, living room, downlight, luminance

1. 緒言

“明るさ”は照明を選ぶ上で重要な選定ポイントであり、“暗い”と感じる照明空間は好ましくないとされる。さらに対象を住宅の居間の照明とした場合、オフィス空間とは異なり机上面での作業が重要視されることは少ないので、ここで求められる“明るさ”とは部屋空間全体に対する印象としての“明るさ”，すなわち“明るさ感”が求められていると推測できる。さらに、環境保全の必要性から、できるだけ少ないエネルギーで、この“明るさ感”を実現することが今後ますます重要になってくると予測されることから、“明るさ感”を定量的に評価する方法の確立は重要であると考えられる。しかし、この“明るさ感”は、従来の照明設計のよりどころとなっている机上面または床面の水平照度だけで説明することができないことが知られている¹⁾。

2. 明るさ感に影響を与える心理物理的要因

部屋空間全体の明るさの印象である明るさ感に影響を与える要因の明確化を試みた研究報告は過去に数多く存在する。そして、それら研究から明らかにされた明るさ感と関連のある心理物理的要因としては、大きく分けて、“特定領域の平均輝度”と、“器具の見かけの輝度”を挙げることができる。

2.1 特定領域の平均輝度

同じ配光の器具であれば、その器具により照明されている空間

を観察した時の視野全体の平均輝度が高輝度であればあるほど、より明るく感じるのは自明のことであるが、小林ら²⁾は、異なる配光の器具間でもこの関係はほぼ成り立つことを明らかにしている。また Loe らの研究³⁾では、上下方向視野角40度範囲内の平均輝度が最も明るさ感を説明できるという結論を出しており、明るさ感と密接な関係のある観察領域の存在を示唆している。

さらに、部屋空間の明るさ感に関連した部屋空間の gloom (日本語では陰気感という訳が最も近いと考える)に関する研究では、Shepherd らが、過去の一連の研究から出てきた仮説を検証する実験を行い、部屋の隅の明るさの不足が部屋の gloom を生じる原因と結論付けている⁴⁾。陰気感と明るさ感の関係は非常に密接であることから⁵⁾、部屋の隅の明るさ、すなわち輝度が足りないとき明るさ感の低下が生じることが予測できる。

以上のことをまとめると、視野全体の領域や、部屋の隅の領域などの、観察される部屋のある特定領域の平均輝度が高いほど、部屋空間の明るさ感は高くなると予測できる。

2.2 器具の見かけの輝度

Bernecker ら⁶⁾は、器具の見かけの輝度(観察者が器具を見たときの、その視線方向における輝度)が1000～4100cd/m²の範囲では、その輝度が高いほど明るさ感が増加することを明らかにした。また明石ら⁷⁾は、器具の見かけの輝度が輝き感を与える輝度で発光したときに、明るさ感が増加することを明らかにしている。

以上より、器具の発光面が適切な輝度で発光した時に部屋空間の明るさ感が高くなると予測できる。

本論文の一部は平成9年度照明学会全国大会で岩井彌が講演した。

3. 目的

しかし、これら各研究では、対象とする要因を絞り込み、その要因が明るさ感に与える影響を調査するように実験が計画されているため、以上述べてきた種々の要因が混在している実際の部屋空間に対する明るさ感を説明することはできない。また、以上述べてきた研究が対象とする空間は、そのほとんどがオフィス空間であり、住宅居間に適用できる研究報告はほとんどないのが現状である。

そこで今回、住宅居間の明るさ感を定量的に評価することを最終目的として、既往研究で検討された“特定領域の平均輝度”と、“器具の見かけの輝度”の心理物理的要因が、それらが混在している実際の住宅居間の明るさ感にどのように影響するのかを調べた。今回報告する実験では、現在多く用いられているシーリングライトにダウンライトを加えた照明手法を対象とした。

4. 実験

4.1 実験空間と評価対象器具

図1は今回の実験で用いた居間空間の平面図である。上図は什器等の配置を示し、下図は各照明器具の設置位置を示している。実験は、図1の平面図に示す部屋空間のうちの左側の間口3.5m、

図1 居間空間の平面図

上図は什器等の配置を示し、下図は各照明器具の設置位置を示している。左側の部屋が今回実験に用いた居間空間である。

Fig.1 Plan of the living room. Upper plan shows the location of furnitures and lower plan shows the location of luminaires. The left side room is the living room used in this experiments.

奥行き3.7m、高さ2.4mの居間空間を用いて行った。空間内には、低彩度のカーテンやソファ、机などを置き、シーリングライトを天井中央に、ダウンライトを天井4隅に4灯設置した。実験中、右側のダイニングルームは消灯した。

評価対象となるダウンライトには、図2に示す一般的に良く使われる4種類の開口直径125mmの全般照明用ダウンライトを用いた（それぞれ、器具A、B、C、Dと呼ぶことにする）。これらダウンライトは反射板の形態が異なっており、器具Aでは鏡面仕上げの反射板、器具Bでは白色塗装仕上げの反射板、器具Cでは鏡面仕上げの反射板の開口部に白色塗装のバツフルを付加したものを、そして器具Dでは、鏡面仕上げの反射板に黒塗装のバツフルを付加したものをそれぞれ反射板としている。正面壁側のダウンライトは、壁からの距離が30、60、90cmの3段階の設置位置に設置された。すなわち、ダウンライト4種類、ダウンライトの設置位置3段階の計12条件に対して、今回実験を行った。また、シーリングライトの光源は72Wで相関色温度3000Kの三波長型蛍光灯ランプ、ダウンライトの光源はいずれも60Wで2800Kの白熱電球である。

4.2 手順

実験は明るさ感評価実験と、前述の心理物理的要因に相当する各輝度値の測定実験とからなる。そして、各実験条件に対する測定実験から得られた各要因に相当する輝度値と、明るさ感評価実験から得られた明るさ感評価値との対応関係から、各心理物理的要因が、実際の照明空間の明るさ感にどの程度寄与するのかを調査した。

明るさ感の評価はマグニチュード推定法を用いて行った。明るさ感の評価は部屋に入って部屋を見たその瞬間に行なわれるものと考え、観察者には部屋の入り口に相当する正面の壁から3.6mの位置に立ってもらい評価をしてもらった。そして観察者には、シーリングライトのみ点灯させた基準照明空間全体に対して感じる明るさ感を100とした時の、その基準照明空間に加えてダウンライト4灯を点灯させた評価照明空間に対して感じる明るさ感を数

図2 ダウンライトの外観図
Fig.2 View of the downlights.

値で評価することが要求された。例えば、シーリングライトのみ点灯している基準空間に比べて、シーリングライトとダウンライトの両方が点灯している評価空間全体に対して感じる明るさ感が1.3倍高いと感じたのであれば、観察者は130と評価した。基準照明空間と評価照明空間は観察者が評価回答するまで、それぞれ10秒間交互に呈示された。観察者は18名、評価の繰り返しは1回である。

各心理物理的要因に相当する輝度値の測定は、観察者の観察位置で、かつ平均的な視線高さ(1.5m)から CCD カメラを用いて撮影して得た640×480ドット(視角にして約105×80度)の画像データ(図3～図5)を分析する方法で行った⁸⁾。要因“ある特定領域の平均輝度”に相当する輝度値は、図3に示す画像全体(領域A)の平均輝度と、観察者が評価時に良く注視と思われる図4の黒枠内に示す正面壁に相当する領域(領域W)の平均輝度、そして、図5に示す黒枠内の部屋の隅に相当する領域(領域C)の平均輝度の3種類の領域の平均輝度値を測定した。さらに、観察位置から見えるダウンライトの反射板領域(領域R)の平均輝度を測定し、要因“器具の見かけの輝度”に相当する輝度値とした。

図3 CCDにより撮影された画像
(領域Aの平均輝度計算領域)
Fig.3 Image of the living room taken by CCD (Area for calculating average luminance within area A).

図4 領域Wの計算領域
Fig.4 Area for calculating average luminance within area W.

4.3 結果

図6はダウンライトの違い、並びにダウンライトの設置位置の違いと、実験によって得られた明るさ感評価値の全観察者に対する平均値との関係を示している。横軸は器具の違い、縦軸は明るさ感評価値であり、シンボルの違いは、器具設置位置の違いを示している。図6は、設置位置が壁に近くなるほど明るさ感が増加することと、60cmと90cmの設置位置の時には器具Cが、30cmの時には器具Aが最も高い明るさ感を与えるダウンライトであることを示している。

また表1に、各実験条件に対して測定した4種類の領域の平均輝度値をそれぞれ示す。

5. 考察

今回の実験を行った結果、明るさ感評価値と相関の高かったのは、図7と図8に示すように、領域Wの平均輝度と領域Cの平均輝度であり、それぞれ相関係数が、0.79と0.82であった。

これら二つの心理物理量の対数値を説明変数として、明るさ感評価値の対数値に対して重回帰分析を行ったところ、明るさ感評

図5 領域Cの計算領域
Fig.5 Area for calculating average luminance within area C.

図6 ダウンライトと器具設置位置の違いによる明るさ感評価値の変化
縦棒は標準誤差
Fig.6 Sensation of brightness in different downlights and locations. The bars show the standard error.

表1 各領域の平均輝度

Table 1 Average luminance of each calculating areas.

器具	設置位置 (cm)	各領域の平均輝度 (cd/m ²)			
		領域A	領域W	領域C	領域R
器具A	30	53.9	46.9	31.2	520
	60	53.7	43.6	30.6	680
	90	52.2	39.5	29.0	740
器具B	30	50.1	40.3	30.0	4500
	60	49.3	37.2	28.1	4300
	90	49.2	36.1	27.3	4800
器具C	30	53.2	45.2	32.6	5600
	60	52.4	41.7	31.3	5900
	90	51.7	38.8	29.3	6000
器具D	30	50.1	40.8	28.6	180
	60	49.8	38.4	28.0	190
	90	49.5	36.4	28.0	200
シーリングライトのみ		43.7	28.2	21.3

図7 領域Wの平均輝度と明るさ感評価値との関係

Fig. 7 Relationship between average luminance within area W and sensation of brightness.

図8 領域Cの平均輝度と明るさ感評価値との関係

Fig. 8 Relationship between average luminance within area C and sensation of brightness.

価値の対数値を、下記(1)式で近似することができた。

$$\log_{10} Br = 0.36 \cdot \log_{10} L_w + 0.77 \cdot \log_{10} L_c + 0.46 \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし、Br：明るさ感評価値

L_w ：領域Wの平均輝度 [cd/m²]

図9 領域Aの平均輝度と明るさ感評価値との関係

Fig. 9 Relationship between average luminance within area A and sensation of brightness.

図10 領域Rの平均輝度と明るさ感評価値との関係

Fig.10 Relationship between average luminance within area R and sensation of brightness.

L_c ：領域Cの平均輝度 [cd/m²]

この時の重相関係数は0.92と高い値を示しており、この結果は、ダウンライトを設置した住宅居間空間の明るさ感には、“正面壁の平均輝度”と“部屋の隅の輝度”の寄与が高いことを示している。

一方、領域Aの平均輝度と領域Rの平均輝度は、図9と図10に示すように領域Cや領域Wの場合に比べて明るさ感評価値に対し低い相関を示していた。この時の相関係数はそれぞれ、0.56と0.13であった。

ここで、明るさ感評価値に対して低い相関となった“器具の見かけの輝度”に相当する領域Rの平均輝度に対して、さらなる検討を加えたい。図11は、図7のグラフと同様、領域Wの平均輝度の対数値と明るさ感評価値の対数値との関係をプロットしたものであるが、プロット点の直径の大きさが、領域Rの平均輝度値の大きさを表したものとなっている。図11は、領域Wの平均輝度の対数値の低い1.55～1.65の範囲において、領域Wの平均輝度がほぼ同等の場合、プロット点の直径の大きい、すなわち、領域Rの平均輝度が高いほど、明るさ感が高いという傾向を示している。領域Wの平均輝度は、視野中心を占めていることから、眼の順応に強く影響を与えたと推測できるので、この傾向は、部屋空間内の輝きの存在により明るさ感を高める効果は順応輝度が低いほど高いと言う明石らの研究⁷⁾の結論と一致していると見ることができる。そして、“器具の見かけの輝度”が、“正面壁の平均輝度”や“部屋の隅の輝度”とは異なり、順応輝度という他の要因の影響を強く受けて明るさ感に寄与しているという性質を持っている

がために、図10に示す検討では、明るさ感評価値に対する相関が低いという結果になったと考えている。

以上述べてきたように、図11に示す検討結果は、“器具の見かけの輝度”が明るさ感に影響を与えることを示唆するものである。しかし、これについては、データ数が少ないため、今後さらに詳細な検討が必要である。

また、Loe らの研究³⁾で、明るさ感に影響を与えると報告されていた上下方向視野角40度範囲（以下、40度バンドと記す）内の平均輝度を、図3の画像データから算出し、明るさ感評価値との関係を示したものが図12である。相関係数は0.65と、領域Wや領域Cの場合に比べて、低い値を示している。ここでの40度バンドの測定範囲は、Loe らの検討で測定した範囲に比べ、横方向の測定範囲が狭いので、Loe らの研究結果との完全な比較はできない。しかし、今回の実験条件では、図3の測定範囲外の領域は主としてシーリングライトにより照明されている領域であり、その平均輝度の実験条件間の差は少ない。従って、図3から算出した40度バンドの平均値に対し検討した図12に示される傾向は、より横方向に測定範囲の広い Loe らの40度バンドの範囲に対して測定した結果と変わらぬ傾向を示すと見なせる。そして図12の結果は、Loe らの研究で報告された結論に反して、40度バンド内の平均輝度だけでは、明るさ感を説明できないことを示した。

図11 器具の見かけの輝度の影響

Fig.11 Influence of "luminance for the luminous part of a downlight".

図12 40度バンド内平均輝度と明るさ感評価値との関係

Fig.12 Relationship between average luminance within horizontal 40° band area and sensation of brightness.

以上述べてきた明るさ感評価値との相関が低いと判断された40度バンドに対する検討、ならびに図9に示す視角105×80度の領域Aの平均輝度に対する今回の検討結果は、40度バンド内の平均輝度とオフィス空間での明るさ感との関係を検討して「40度バンドのように平均輝度算出領域を固定するのは困難である」と結論づけた Nakamura⁹⁾の報告を支持するものである。

我々は照明された空間を観察する時、素早く、かつ自然に、空間内の各対象物そのものの明るさと、その対象物を照明している光の強さを無意識に分離して認識する特性¹⁰⁾を持っている。これらの中で照明と関連の深い光の強さの認識は、古崎が照明印象という言葉を用い心理量として扱っている¹¹⁾。今回の実験のように、天井、壁、床や家具等の部屋の構成部の反射率は変わらず、照明条件だけが変わる場合には、この照明印象の変化が生じていると言える。そして著者らは、部屋空間の明るさ感は、この照明印象の影響を強く受け、その知覚量が大いほど明るさ感は高くなるという仮説をたてている。なぜ本実験で、“正面壁”や“部屋の隅”の領域の平均輝度が明るさ感評価値に対し高い寄与があったのかを推測すると、それら領域がそれぞれ、「どれだけの強い光が壁に照射されているのか?」、「どれだけの光が部屋の隅までまわっているのか?」という住宅居間における「照明印象」の認識につながる領域であり、部屋の明るさ感を認識するために必要な情報を与える着目すべき領域であったためと見ている。さらに著者らは、明るさ感の評価には、前述の40度バンドのような固定された領域ではなく、今回の実験で“正面壁”や“部屋の隅”の領域を用いたように、その空間の照明印象の認識につながる観察者が評価時に注目する領域を採用するのが有効だと考えている。

今後は、照明印象と明るさ感との関係を調査する実験を行い、照明された部屋空間の明るさ感は照明印象の知覚が大いほど高くなるという著者らの仮説を検証していく予定である。そして、照明により提供される空間の明るさ感を照明印象にもとづき検討していきたいと考えている。

6. 結言

本研究では、ダウンライトの設置された住宅居間空間の明るさ感を評価し、明るさ感に影響を与えると推測される領域の輝度との対応関係を検討した。その結果、ダウンライトを設置した住宅の居間空間の明るさ感には、“正面壁の平均輝度”と“部屋の隅の輝度”の寄与が高いことが判明した。

今後は、ダウンライト以外の器具を用いた照明空間に関しても検討をしていく予定である。

参考文献

- (1) 例えば、A.R.Bean: “Impression of Brightness of Object and Interiors”, Light. Res. Technol., 9-2, pp.103-106 (1977).
- (2) 小林, 木津, 中村, 乾: 「室内光環境における明るさ感その2: 輝度分布と明るさ感の関係」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1157-1158 (1993).
- (3) D. L. Loe, K. P. Mansfield and E. Rowlands: “Appearance of Lit Environment and Its Relevance in Lighting Design: Experiment Study”, Light. Res. Technol., 26-3, pp.119-133 (1994).
- (4) A. J. Shepherd, W. G. Julian and A. T. Purcell: “Gloom as a Psychophysical Phenomenon”, Light. Res. Technol.,

- 21-3, pp.89-97 (1989).
- (5) 宮本雅子：「天井照明が室内雰囲気になびす影響に関する実験的研究（第4報）光源と床面色彩が室内雰囲気になびす影響」, 家政学研究, 36-1, pp.35-42 (1989).
 - (6) C.A.Bernecker and J.M.Mier: "The Effect of Source Luminance on the Perception on Environment Brightness", J. Illum. Engng. Soc., 15-1, pp.253-271 (1985).
 - (7) 明石, 明石, 田辺, 金谷: 「照明器具の輝きによる明るさ感増加効果」, 照学全大, p.86 (1995).
 - (8) 村上忠史, 阪口敏彦: 「画像処理技術を応用した輝度分布計測システム」, 照学全大, p.122 (1992).
 - (9) Y. Nakamura: "The Effect of Luminance Distribution on Subjective Assessments in an Office", Proc. Lux Europa '97, pp.102-115 (1997).
 - (10) 池田光男, 金子文香: 「照明認識視空間への初期視覚情報の影響—明度と彩度の場合—」, 照学誌, 8-5, pp.319-323 (1996).
 - (11) 古崎愛子: 「無彩色の心理的属性をめぐって」, 心理学評論, 22-2, pp.160-181 (1979).

(受付日1998年4月1日／採録日1998年10月1日)

いわの たろ
岩井 弥 (正会員)

松下電工株式会社照明 R&D センター

昭和42年1月10日生まれ。平成3年3月千葉大学大学院工学研究科画像工学専攻修士課程修了, 同年4月松下電工(株)に入社, 現在照明 R&D センターで照明に関わる視覚心理と視認性の研究に従事。日本色彩学会, 日本視覚学会会員。

さいとう よしのり
齋藤 良徳 (正会員)

松下電工株式会社照明 R&D センター

昭和44年5月14日生まれ。平成6年3月名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻博士課程(前期)修了, 同年4月松下電工(株)に入社, 現在照明 R&D センターで照明に関わる視覚心理と視認性の研究に従事。日本建築学会会員。

すみ きたひろ
墨 貞宏 (正会員)

松下電工株式会社東京インテリアライティングセンター

昭和44年12月19日生まれ。平成3年3月豊田工業高等専門学校建築学科卒業, 同年4月松下電工(株)に入社, 現在東京 ILC (インテリアライティングセンター) で住宅照明に関わる技術サポート, 及びライティングプランナーに対する研修活動に従事。

さかぐち としひこ
阪口 敏彦 (正会員)

松下電工株式会社照明 R&D センター

昭和26年10月10日生まれ。昭和52年3月慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了, 同年4月松下電工(株)に入社。現在照明 R&D センターオプティックス開発部長。日本色彩学会, 日本視覚学会, 日本生理人類学会会員。