生活行為を想定した室内照度・色温度の好ましさに関する模型実験

THE PREFERENCE OF THE INDOOR ILLUMINANCE AND COLOR TEMPERATURE: SCALE MODEL EXPERIMENT ASSUMING DAILY ACTIVITY

大井 尚行*, 笠尾 円**, 高橋 浩伸***
Naoyuki OI, Madoka KASAO and Hironobu TAKAHASHI

This paper aims to show the preferred combinations of illuminance and color temperature under various daily activities in residential houses.

Subjective experiments were carried out using scale models illuminated by RGB fluorescent lamps with the dimmer. "Preference", "Brightness", and "Naturalness of color appearance" were evaluated as the scenes of "Relaxing", "Getting together", "Dining", "Cooking", "Learning", and "Resting (before retiring)". 25 combinations which consist of 5 illuminances (50lx, 100lx, 200lx, 400lx, 800lx) and 5 color temperatures (3000K, 3500K, 4200K, 5000K, 6500K) were investigated. Preferred combinations of illuminance and color temperature vary according to the activity.

The results show that the traditional Kruithof's curve is not necessarily effective under various scenes in the residential houses.

Keywords : Daily Activity, Illuminance, Color temperature, Preference, Scale Model

生活行為, 照度, 色温度, 好ましき, 模型

1. はじめに

1.1 室内の照度・色温度に関する既往研究

室内空間の雰囲気や演出を考える場合、照明光の照度や色温度は重要な要因となり、目的に応じて照度・色温度を選択することが望まれる。また、好ましい光の色温度は照度と関係があるとされており、Kruithofの「光源の色温度によって快適な照度の上限および下限が変化する」¹⁾という考え方が広く用いられてきた²⁾。低照度では色温度の低い温かい光が、高照度では色温度の高い冷たい光が好まれるという関係である。しかし、Kruithofの実験には以下に示すようないくつかの問題点が指摘されている。

1. 実験で用いられた光源が色温度の低い領域では電球、色温度の高い領域では演色性の低い蛍光灯が使用されており、色温度だけでなく、演色性、光の拡散性も同時に変化している。
2. 色順応の影響が考慮されているのか否か述べられていない。
3. 何が快適さの判断基準になるのかという観察条件が明らかではない。

これまでに、気温³⁾、周囲色彩⁴⁾、照明配置⁵⁾、作業行為^{5), 6)}、室内空間共有者の有無⁷⁾などの条件制御をおこなった既往研究によりKruithofの快適領域の照明条件が必ずしも不快領域の照明条件より

も快適にならない場合があり得ることが指摘されている。

行為との関係を扱った研究として、中村ら³⁾は照度・色温度が住宅のリビングの照明の雰囲気の好ましさに及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、実験設備に実験用リビングルームと調色照明システムを用いて実験を行っている。被験者は、「だんらん」と「くつろぎ」を想定して基準の照明シーンに対するテストの照明シーンの「好き嫌い」を7段階尺度で評価した。被験者は20歳代～50歳代の男女6名（うち女性2名）である。

その結果から、この実験の条件である照度100～800lx、色温度3000～5600Kの範囲において、中村は「だんらん」と「くつろぎ」では各生活行為で希望する雰囲気が異なるために所要照度も異なるのではないかと考察を述べている。また、Kruithofの実験結果との比較を行い、だんらんの場合はKruithofと中村らの実験結果は比較的よく似ているが、くつろぎの場合はKruithofの快適領域内であっても、800lxの照明状態がそれほど好まれていないことから、Kruithofの結果と若干異なることを指摘している。

1.2 本研究の目的

本研究は、調色照明器具と縮尺模型を用いた印象評価実験を通して、住宅で想定される生活行為の下での照明光の照度・色温度の組

* 九州大学大学院芸術工学研究院 助教授・工博

** 九州大学大学院芸術工学府 修士課程

*** 九州大学大学院芸術工学研究院
COE 学術研究員・博士(工学)

Assoc. Prof., Faculty of Design, Kyushu University, Dr. Eng.
Master's Program, Graduate School of Design, Kyushu University
COE Research Fellow, Faculty of Design, Kyushu University, Dr. Eng.

み合わせと照明の好ましさを関係を明らかにすることを目的としている。そのために模型実験を行い、中村らの実験結果⁵⁾の傾向を確かめ、さらに通常住宅で行うと考えられる4つの行為を加えた計6つの生活行為ごとに、好ましい照度・色温度の範囲の組み合わせを見いだす。

2. 実験用照明装置の特性

2.1 実験用照明装置概要

本研究で使用する実験用照明装置は、レッド (R)・グリーン (G)・ブルー (B) の3本のコンパクトカラー蛍光灯 (松下電工、FPL36ER, FPL36EG, FPL36EB、各36W) を装着した乳白パネル付調色照明器具である。器具としては、ホワイト (W) の蛍光灯も併用する仕様だが、光量よりも色温度可変範囲を優先して、ホワイトは使用しない。調光はパソコンからの制御電圧により行う⁹⁾。

2.2 RGB蛍光灯各単色点灯時の照度・色度の変化

パソコンからの制御電圧により調光した照明光の照度およびxy色度を色彩照度計 (MINOLTA CL-200) で測定した。図1に測定装置と測定に用いた測定機の位置を示す。まず、基本となるR・G・B蛍光灯の特性を把握するために、各単色点灯時の照度および色度を測定する。各単色光点灯後、照度・色度が安定したところで制御電圧を最大値(10V)から1Vずつ減少させるたびに色度および色温度を測定する。

表1に各蛍光灯の色度値と測定条件での照度の最大・最小値を示す。制御電圧の減少にほぼ比例して照度は減少する。各単色光点灯時の色度は制御電圧による変化は少なく、ほぼ安定している。

図1 調色照明装置と模型（測定用）

表1 RGB 蛍光灯の色度と最大・最小照度

	色度値		照度 [lx]	
	x	y	max	min
R	0.60	0.33	1474	8.7
G	0.34	0.54	2444	28.9
B	0.15	0.09	580	2.9

2.3 相関色温度の再現に必要な制御電圧条件の測定

本照明器具において一般的に用いられる蛍光灯の相関色温度（以下 色温度）3000K（電球色）、3500K（温白色）、4200K（白色）、5000K（昼白色）、6500K（昼光色）の光色を黒体軌跡上に再現できるように、制御電圧条件の調整を行った。一定照度で色温度を変化させるために、まず照度を1000lx、2000lx、3000lxに設定し、2Vおきに測定したデータから色温度の目標値に近い部分を抜き出す。そして更に細かくR・Gを1Vおきに、Bを0.5Vおきに变化させ、色度および照度を計測する。ここで得られたデータをもとに照度・色温度再現の目標値に必要な制御電圧を予測し調整を行う。

結果を図2に示す。この模型において照度1000lx、2000lx、3000lxでは、ほぼ黒体軌跡に沿った色温度を再現することが可能である。

図2 色温度再現測定結果

2.4 実験用照明装置の特性のまとめ

この模型において、調色照明器具は各単色光点灯時のx・y値を頂点とした三角形で囲まれた範囲が調色可能範囲であり、色温度3000K から 6500K の黒体軌跡に沿った再現が可能であることが明らかとなった。この色温度の範囲で200lx から 3500lxの範囲で調光が可能である。今回の測定で本照明器具は、今回の模型実験を行うために必要な照度・色温度再現性を十分に満たしていると言える。

3. 実験概要

実験には図3・表2に示す模型を用いた。模型は中村らの実験³⁾を参考に、1/10スケール（420mm×420mm×240mm）の室内模型とした。基準空間と評価空間の模型は並べて設置した。評価空間の模型にはそれぞれ、居間、食堂、または個室を想定した家具を配置したものである。模型内部の内装は全て白で統一した。また、模型内部の正面中央に5色（青、緑、黄、赤、紫）の紙（75mm×45mm）を貼り、色の見えの自然さを評価する際の判断材料とした。表3に実験に用いた紙の色をYxy表色系で示す。xyは色度座標、Yは視感反射率を表す。色の測定には、MINOLTA COLOR READER (CR-13) を用いた。模型の天井面の中央に直径70mmの穴を開けてあり、そこから照明光が入る。基準空間の照明は中村らの実験³⁾を参考に、色温度4200K、床面照度

200lxに設定した。評価空間の照明は床面照度5種類(50lx, 100lx, 200lx, 400lx, 800lx)×色温度5種類(3000K, 3500K, 4200K, 5000K, 6500K)の25通りの組合せである。

評価項目は「好ましき」に「明るさ」がどのように関係しているかを調べるため、想定した行為の場としての雰囲気「好ましき」と「明るさ」を設定した。また、照明の色温度によって色が不自然に見えるると不快が生じると考えられるため、上記の2項目に「色の見えの自然さ」を加えた計3項目について評価を得た。それぞれの項目を「好ましいー好ましくない」「明るいー暗い」「自然なー不自然な」の7段階尺度のSD法で評価させた。被験者は20代の建築系学生男女8名(男性3名、女性5名)である。

図3 実験装置概要

実験手順として、被験者にはまず基準空間(4200K, 200lx)に順応した後、すぐ横にある評価空間を10秒見てもらい、見終わったあとに評価空間の評価を記入してもらった。その後基準空間を30秒見てもらい次の評価対象を同様に評価してもらった。この評価をひとつ

の空間に対し25回繰り返した。まず、居間の模型で「くつろぎの場」「だんらん」の場を想定した実験をおこない、次に食堂の模型で「食べる場」「作る場」を、最後に個室の模型で「学びの場」「おやすみの場」の実験をおこなった。なお「作る場」での想定行為は料理を、「おやすみの場」は就寝前の寝室を想定するように指示した。想定している行為は滞在型のものであるが、本研究ではその空間に入っていく際に形成される照明環境の印象が最も強いと考えて、上記の手順を採用した。

表3 模型使用色一覧

色	CIE表色系			マンセル表色系		
	Y	x	y	H	V	C
白	85.20	0.314	0.328	8PR	9.30	0.27
青	18.62	0.195	0.240	7.4B	4.84	9.12
緑	22.30	0.271	0.427	4.8G	5.24	7.22
黄	68.20	0.425	0.452	6Y	8.52	9.52
赤	17.80	0.503	0.297	2.8R	4.80	13.73
紫	14.50	0.345	0.247	3.4PR	4.34	8.66

4. 実験結果・考察

4.1 色温度・照度と好ましきの関係

7段階尺度を間隔尺度とみなして-3~3の得点を与え、全被験者の評価の平均・分散を算出した。全被験者の評価の80%が分散2.0以下で正規分布とみなせることから、平均値により傾向を読み取ることができると判断した。「食べる場」「作る場」「学ぶ場」では被験者間の評価のばらつきは概ね小さかったが、他の3つの場においては被験者間でばらつきの見られる評価対象があった。これについては考察中で述べる。

各行為の場としての好ましきを全被験者の平均値を用いてKruithofおよび中村らの結果と比較したものを図4~図9に示す。各○印の大きさは評価得点を0.5刻みに区切っている。○印のサイズが大きい程好ましいことを示しており、白抜きのエリアはKruithofの快適領域、ハッチングは不快領域を示す。Kruithofの実験では快適さの判断の基準となる行為は明らかではない。また、中村らと行為が共通している図4と図5は、実線の○印で今回の結果を、破線の○印で中村らの結果を重ね合わせて表している。中村らの実験におい

表2 実験設定条件一覧

呈示空間

基準	居間	食堂・台所	個室
想定する行為の場			
—	くつろぎの場・だんらんの場	食べる場・作る場	学びの場・おやすみの場
色温度			
4200K	3000K（電球色），3500K（温白色），4200K（白色），5000K（昼白色），6500K（昼光色）		
照度			
200lx	50lx, 100lx, 200lx, 400lx, 800lx

図 7 色温度・照度と好ましさの関係（作る場）

図 8 色温度・照度と好ましさの関係（学びの場）

図 9 色温度・照度と好ましさの関係（おやすみの場）

4.2 3つの評価尺度の相関

色の見えの自然さは、行為ごとでは無く、部屋ごとに評価してもらったため、照度・色温度の変化によって評価されたものだと考えられる。しかし、「好ましさ」と「色の見えの自然さ」と「明るさ」の関係を見ることで、行為ごとに求められる照明環境について説明できることがあると考える。想定行為ごとに3つの評価尺度の相関について調べた。表4に尺度間の相関を示す。

表4を見ると多くの場合に相関が見られるが、好ましさと明るさの相関は全体に高く、これと比べると好ましさと色の見えの自然さの相関はやや低い。明るさと色の見えの自然さの間にはどの想定行為においてもある程度の相関があり、その値はどれも同じようである。今回の条件では特に色の見えが不自然なものはなかったため、明るさの違いによる色の見えの差異が評価されたものと考えられる。以下に、「好ましさ－明るさ」の相関について行為ごとに述べる。

「くつろぎの場」では、好ましさと明るさにほとんど相関が見られない。明るいかどうかよりも、くつろげるための雰囲気かどうか为好ましさの判断基準となっていると考えられる。

「だんらんの場」では、「くつろぎの場」と比べて好ましさと明るさの相関が高い。同じ居間空間でも人の顔や表情がよく見えるように明るさや色の見えの自然さが求められていると考えられる。

「食べる場」では、好ましさと明るさの相関が高い。「だんらんの場」と同様、他者との関係において食卓では明るい雰囲気が求められると考えられる。

「作る場」においても、好ましさと明るさの相関が高い。こちらは作業を伴うことから、明るいことが重要なのだと考えられる。

「学びの場」では、好ましさと明るさに相関がある。「作る場」と同様、明るさが重要で、好ましさの評価を上げていると言える。

「おやすみの場」では、好ましさと明るさに負の相関があると言える。暗いほど好ましさの評価が上がり、落ち着きを感じさせる照明環境が好ましいとされるということを表している。この「低色温度の光は照度が上がっても好ましい」という結果は、低色温度の光は人間の生体リズムに影響しないとされている事と結び付く結果であり、大変興味深い。

全体の傾向を見ると「だんらんの場」「食べる場」「作る場」「学びの場」の4つの想定行為には同じような相関が見られ、「くつろぎの場」と「おやすみの場」は他と違う傾向が見られる。この2つの行為を想定する場を作る際には、「明るさ」や「色の見えの自然さ」について他とは異なる考え方をすべきであると考えられる。

照度別・色温度別に尺度間の相関係数を算出した比較も試みたが、特徴や傾向は見られなかった。

表 4 評価尺度間の相関

	好ましさ－明るさ	好ましさ－色の見えの自然さ	明るさ－色の見えの自然さ
くつろぎの場	0.2086	0.0740	0.5113
だんらんの場	0.7716	0.3694	0.4316
食べる場	0.7151	0.4315	0.5724
作る場	0.8845	0.5791	0.5430
学びの場	0.7691	0.5095	0.6062
おやすみの場	-0.5047	-0.4027	0.5743

5. まとめ

実験の結果から、生活行為によって好ましいとされる照度および

色温度が異なることが確認できた。また、Kruithofの快適領域は想定行為によってよく当てはまるものと、一部当てはまらないものがあるという結果を得た。

結果が比較的当てはまるものには「だんらんの場合」と「食べる場合」の2つの想定行為があった。結果が一部当てはまらないものには4つの想定行為があった。「おやすみの場合」については、低色温度が好まれることが異なり、「作る場合」「遊びの場合」では、高照度が優先で、より低色温度は好まれないことが異なった。「くつろぎの場合」では、低色温度が好まれることが異なったが、これは中村らの実空間実験とは類似している。また、色温度が高くなると好まれる照度範囲が限られる事も確認できた。このことより、Kruithofの快適領域について、比較的リラックスした状態の行為を想定する場合には再検討する必要があることが分かった。

評価尺度間の相関とも合わせて考えると、行為により場に求められる照度と色温度の組み合わせが異なる要因としては、まず要求される視作業により求められる明るさの影響が最も大きいと言える。同じ空間で行為をともにする他者を見分けることも視作業と考えてよさそうだが、行為によっては明るくないことが求められる場合もある。色温度は明るさと比べれば影響力は小さいが、視作業の種類によって好まれる色温度が異なるように見える。物を相手に行う作業では高めの色温度が好まれ、低い色温度は好まれないのに対し、リラックスした状態で他者と行為をともにする場合にはあまり色温度が高くない方が好まるのではないだろうか。

今回の結果は蛍光灯一種類の調光・調色により照度・色温度の組み合わせと好ましさの関係を調べたものであるが、ランプの種類や演色性の違いにより明るさ感や空間の見えが異なることも考えられるので、照度と色温度だけでなく、明るさ知覚による表現なども含め、行為の区分とともに今後検討していくことが必要であろう。

謝辞

本実験の実施には富松奈々氏（九州芸術工科大学大学院卒業生）の協力を頂いた。また野口公喜氏（松下電工株式会社）には調光照明装置についてアドバイスを頂いた。ここに謝意を表する。本研究は一部文部科学省21世紀COEプログラム「感覚特性に基づく人工環境デザイン研究拠点」の補助を受けた。

参考文献

- 1) A. A. Kruithof: Tubular Luminescence Lamps for General Illumination, Philips Technical Review 6, pp. 65-96, 1941
- 2) 中村 肇: Kruithof (クルイトフ) のカーブは正しいか?, 照明学会誌, 85-9, pp. 793-795, 2001. 9
- 3) 石橋 淳一ほか: 照度・色温度、気温、周囲色彩が人間心理に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術梗概集, D-1, pp. 347-345, 2001. 9
- 4) 武田 紀子ほか: 照明方式と照度・色温度の組み合わせ条件が心理反応に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術梗概集, D-1, pp. 421-422, 2002. 8
- 5) 中村 肇ほか: 照度・色温度と雰囲気の高ましさの関係, 照明学会誌, 81-8A, pp. 687-694, 1997. 8
- 6) 久保田 真由ほか: 行為と照度・色温度の快適範囲に関する研究, 照明学会第37回全国大会, pp. 148-149, 2004. 8
- 7) 望月 悦子ほか: 空間共有者と照明方式が快適照明条件に与える影響に関

する主観評価実験, 照明学会第36回全国大会, p. 90, 2003. 8

- 8) 石原 従道ほか: 縮尺模型を用いた居間における照明の心理的効果に関する研究, 日本建築学会大会学術梗概集, D-1, pp. 325-326, 1996. 9
- 9) 大井 尚行ほか: RGB蛍光灯を用いた模型実験用照明装置の照度色温度特性, 照明学会第37回全国大会, 2004. 8
- 10) 池田 光男: 照明認識視空間の概念に基づく空間の明るさ, 照明学会誌, 56-10, pp. 754-758, 2002. 10

(2006年7月10日原稿受理, 2006年12月27日採用決定)