

心理・生理反応から評価した好みの色温度と室温の 組み合わせに関する実験的研究

その1 照度が1,500ルクスの場合の好みの色温度の季節差

EVALUATION ON PREFERRED COLOR TEMPERATURES COMBINED WITH ROOM AIR TEMPERATURES FROM PSYCHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES

Part 1 Seasonal change in preferred color temperatures at 1,500 lx

垣 鏑 直*, 中村 肇**, 稲垣卓造***, 堀越哲美****

Naoshi KAKITSUBA, Hajime NAKAMURA, Takuzo INAGAKI
and Tetsumi HORIKOSHI

Kruithof demonstrated the preferred combination of illuminance levels and color temperatures. However, as Küller pointed out, a seasonal change and gender difference in such preference may be expected. In order mainly to observe a seasonal change in preference of color temperatures for a given illuminance level, four male and female subjects were exposed to four different conditions of color temperatures of 3,000K and 7,500K combined with room temperatures of 22 °C and 30 °C at 1,500lx in summer and winter. In addition, preference of color temperature was tested under the thermally neutral condition in spring and autumn. Physiological variables such as skin temperatures, heart rate, finger blood flow, blood pressure and oral temperature were measured. Thermal sensation vote, thermal comfort vote, and sensation votes on illuminance and relaxation were reported at 5-min. intervals. As a result, evaluation from psychological and physiological responses indicated that 7,500K was more preferred than 3,000K at 1500lx in spring and summer.

keywords: color temperature, room air temperature, psychological responses, physiological responses

色温度, 室温, 心理反応, 生理反応

1. はじめに

好みの照度と光源の色温度の組み合わせに関しては、図1に示す高色温度の光源の場合は高い照度、逆に低色温度の光源では低い照度が快適である関係を提案した Kruithof¹⁾の研究がよく引用される。これまで、国外の研究者により Kruithof の提案を支持する研究成果が報告^{2, 3), 4)}されているが、Küller⁵⁾は光刺激と脳の働きを関連付け、好みの照明環境は決して画一的ではなく、季節差や性差があることを主張している。

生理人類学の分野で、脳波や自律神経機能などの反応から色温度の影響を評価した研究が多く見られる^{6, 7, 8)}。最近、Moritaら⁹⁾は人体のサーカディアンリズムを考慮した室内光環境の評価実験を行い、メラトニンの挙動から昼夜に好まれる光源の色温度や照度を提案している。また、建築の分野でも、室内の照明環境を評価した研究^{10, 11)}や複合的影響を考慮を評価した研究の成果^{12, 13)}が報告されており、照明環境を含めた複合的影響に関する研究は学際的な研究テーマのひとつと言える。そこで、本研究は、照度が一定の条件で気温と光源の色温度の組み合わせが人体の生理・心理反応に及ぼす複合的影響を検討することと、好みの照明環境に季節差があるか否かを検討することを目的とした。

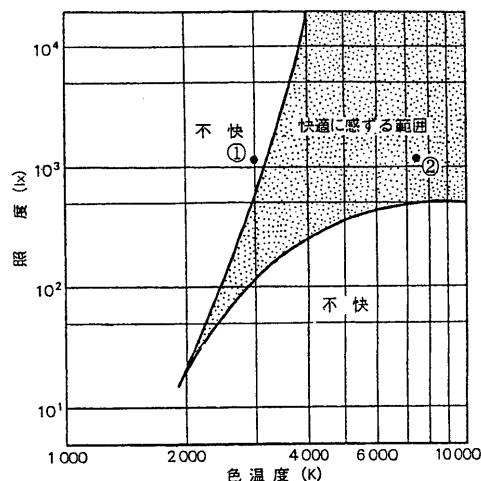


図1. 好みの照度と色温度の組み合わせ¹⁾

2. 色温度の違いによる心理・生理反応

2-1. 実験条件

照度 1, 500 lx, 相対湿度 50%, 気流速 0.2 m/s 以下を実験の共通条件とした。被験者の姿勢は椅座安静の状態とし、特別

* 足利工業大学建築学科 教授・工博

** 足利工業大学大学院 博士課程後期・工修

*** 大同工業大学建設工学科 教授・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

Prof., Dept. of Architecture, Ashikaga Institute of Technology, Ph. D.

Grad. Student of Sch. of Construction and Environ. Eng., Ashikaga Institute of Technology, Msc

Prof., Dept. of Construction Eng., Daido Institute of Technology, Ph. D.

Prof., Dept. of Environ. Tech. & Urban Planning Eng., Sch. of Grad. Eng., Nagoya Institute of Technology, Ph. D.

なタスクには従事しないものとした。事前観測での設定温湿度は25℃/50%とし、光源の色温度は、1,500lxで快適と感じる範囲にある①7,500Kと不快と感じる範囲にある②3,000Kの2条件とした。照度と色温度の組み合わせを図1に示す。

2-2. 被験者

豊田高専建築学科の環境工学研究室にある人工気象室で、同時に2名の被験者を対象に実験を行った。被験者間及び周壁は無彩色であるグレーのカーテンで仕切った。春期の実験は平成9年5月中旬から下旬、秋期の実験は平成9年10月下旬から11月上旬に実施した。被験者は健康な日本人の青年男女8名を対象とした。事前観測及び実験時の着衣は、男子はトランクス、女子はセパレート下着のほぼ裸体に近い状態とした。被験者の資料を表1に示す。

表1 被験者資料

被験者	性別	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
HA	男	20	171.0	71.2
YA	男	27	168.5	58.5
IR	男	20	172.3	67.9
SA	男	22	175.0	85.9
SY	女	19	171.2	56.4
SU	女	20	157.7	50.8
IN	女	20	168.0	51.5
TA	女	20	161.1	54.0

2-3. 実験プロトコール

実験室に入室後は被験者を椅座安静にさせ、準備終了後に消灯し、暗所視にて30分間の事前観測を行った。事前観測終了後直ちに光源を点灯し、引き続き60分間曝露した。

2-4. 測定項目

環境側測定として、温湿度はアスマン通風乾湿計(シバタ製)、風速は熱線風速計(RION AM-05)、机上面照度は照度計(MINOLTA TL-1)を用いて事前観測と曝露時に1回ずつ測定した。身体測定として被験者の身長と体重を測定した。体重はデジタル台秤(A&D AD6205)を用いて測定した。

表2に示した尺度を用い、温冷感、明るさ感、快適感及び落ち着き感を15分ごとに申告させた。生理量の測定は、手首測定用血圧計(松下電工,EW272)を用いて最高・最低血圧を15分ごとに計測した。また、舌下式体温計(OMRON ET-CS7)を用いて舌下温を15分ごとに計測した。

2-4. 結果及び考察

図表には実験条件を30S, 75S, 30A, 75Aで表現した。30は3,000K, 75は7,500K, Sは春期, Aは秋期を意味する。曝露中の各環境要素の平均値を表3に示す。

温冷感申告の平均値の経時変化を図2に示す。春期では色温度による違いは見られず、全体として涼しい側に移行した。秋期では7,500Kで暖かい側, 3,000Kで涼しい側に移行する傾向が見られた。このことから、春期では色温度の違いは温冷感にあまり影響を与えないが、秋期では色温度の違いによる心理的影響があることを確かめた。

明るさ感申告の平均値の経時変化を図3(a)~図3(b)に示す。春

・秋期ともに点灯時に申告値が最高となり、その後5~10分間で急激に低下し、その後は殆ど変化しないパターンを示した。このことから、明順応は光源点灯から15分程度懸かり、秋期より春期の方が長くなることがわかった。また、春・秋期ともに7,500K

表2 心理尺度

温冷感		明るさ感	
1. 暑い (+3)		1. 暗い (-2)	
2. 暖かい (+2)		2. やや暗い (-1)	
3. やや暖かい (+1)		3. ちょうど良い (0)	
4. なんともない (0)		4. やや明るい (+1)	
5. やや涼しい (-1)		5. 明るい (+2)	
6. 涼しい (-2)			
7. 寒い (-3)			
快適感		落ち着き感	
1. 快適 (0)		1. 落ち着く (0)	
2. やや快適 (-1)		2. やや落ち着く (-1)	
3. 不快 (-2)		3. 落ち着かない (-2)	
4. 非常に不快 (-3)		4. とても落ち着かない (-3)	

表3 室内環境測定結果

実験条件	室温(℃)	相対湿度(%)	照度(lx)	風速(m/s)
30S	25.7	50.0	1420	0.03
75S	25.6	51.0	1350	0.03
30A	25.6	50.0	1510	0.03
75A	25.4	50.0	1520	0.03

* 床上80cmにおける照度

方が3,000Kよりも明るく感じると申告しており、特に春期で明るさ感に有意な差(P<0.05)が見られた。同一照度(1,000lx以上)でも高色温度の方が明るく感じることは既に報告⁴⁾されているが、本実験でも温冷感同様に明るさ感も色温度の違いによる影響を受けることを確かめた。

快適感申告の平均値の経時変化を図4に示す。春・秋期ともに7,500Kでは点灯後に快適側へ移行するが、3,000Kでは変化が小さくなる結果を得た。また、曝露後半で7,500Kの方が3,000Kよりも快適側に移行する傾向が見られた。従って、快適感は、春期では明るさ感を反映し、秋期では温冷感を反映する傾向が強いと考えられる。

最低血圧の平均値の経時変化を図5に示す。縦軸の変化量は事前観測終了時の値をゼロとして計算した結果である。春・秋期ともに最低血圧は上昇した。やや涼しい環境であったことから、温熱刺激に対する生理反応として、熱放散を抑えるために血管収縮作用が起こり、血圧の上昇を促したものと考えられる。また、春期では色温度による違いは見られず、冬期では7,500Kの方が血圧の上昇量が大となる結果を得ており、種々な照度と色温度の組み合わせの条件で血圧を測定した Kobayashi & Sato⁷⁾の結果と一致することを確かめた。以上の結果から、秋期の7,500Kで温熱刺激に対する生理反応が比較的大きくなることを確かめた。

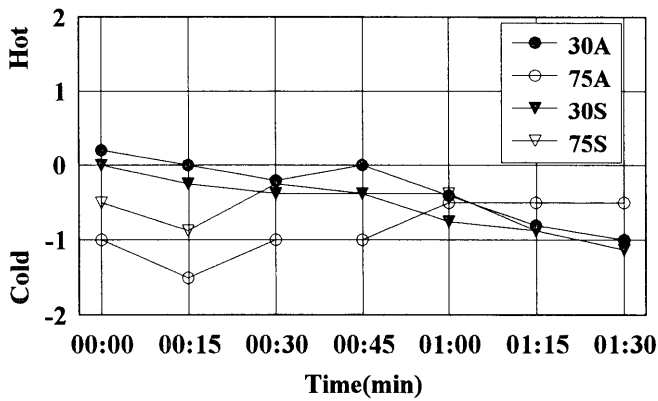


図2. 温冷感の経時変化

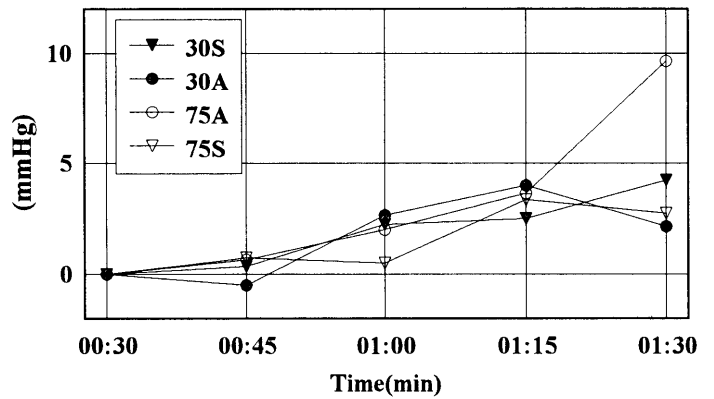


図5. 事前観測後の最低血圧の変化

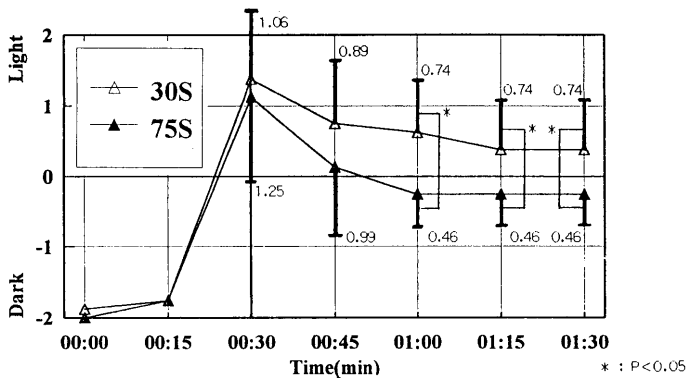


図3 (a) 明るさ感の経時変化 (春期)

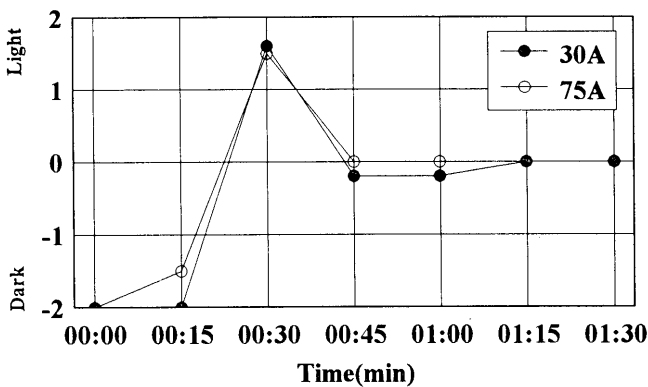


図3 (b) 明るさ感の経時変化 (秋期)

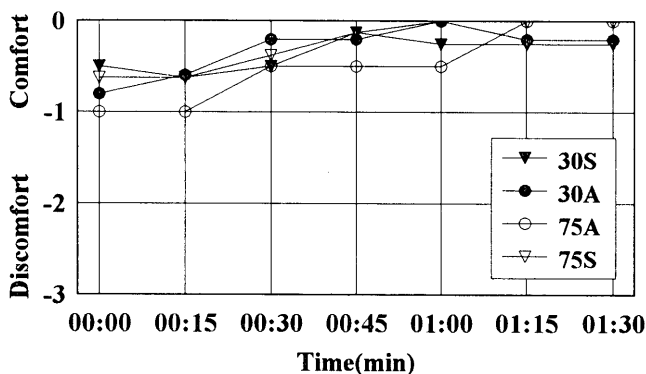


図4. 快適感の経時変化

3. 色温度と室温の複合条件による心理・生理的影響の実験

3-1. 実験内容

実験の共通条件は前出の実験と同様とした。曝露時の室温は22℃と30℃の2条件、相対湿度は50%で一定とし、光源の色温度は7,500Kと3,000Kの2条件とした。前出の実験に参加した被験者を対象とし、夏期の実験は平成8年6月下旬から7月上旬、冬期の実験は平成9年2月上旬に実施した。実験のプロトコールは、事前観測終了後に点灯と同時に実験室内を所定の温湿度にステップ的に変化させることを除き、前出の実験と同様とした。

3-2. 測定項目及び方法

気温、相対湿度、風速、机上面照度の測定と心理量の記録は前出の実験と同様に行った。また、夏期・冬期の実験であることを配慮し、グローブ温度の測定を追加した。生理量の測定として、皮膚温、心拍変動、指尖血流量、最高血圧、最低血圧を測定した。皮膚温は0.2mm T型熱電対を胸部、上腕部、大腿部、下腿部の4部位に貼り付け測定し、平均皮膚温はRamanathanの式¹⁴⁾より算出した。心電図は携帯型心電計(日本光電, ECCモタ IEC-1103)を用い、指尖血流量は、右手人差し指の血流量を指尖血流量計(レザード・トップラ 微小循環血流モタ)を用いて測定した。皮膚温、心電図、指尖血流量は30秒おきに自動計測し、血圧と舌下温は前出の実験と同じ機器を用いて15分おきに測定した。

3-3. 実験結果及び考察

図表には実験条件を30H, 75H, 30L, 75L, 30H', 75H', 30L', 75L'で表現した。数字は前出と同様に色温度を意味し、Hは30℃, Lは22℃, LとHは夏期の実験, L'とH'は冬期の実験を意味する。曝露中の各環境要素の平均値を表4に示す。多少のばらつきはあるが、所定の環境条件を再現できた。

温冷感申告の変化を図6(a)~図6(b)に示す。夏期は、点灯直後に3,000Kで暖かい側, 7,500Kで涼しい側となる傾向が見られたが、時間の経過と共にその差は小さくなった。また、冬期は75Lで寒い側, 75Hで暑い側の申告を得た。このことから、夏期では低色温度の方が暖かく感じさせる効果があり、高色温度は温熱刺激に対する調節反応を大きくさせる効果があると考えられる。

明るさ感申告の変化を図7(a)~図7(b)に示す。夏期と冬期で30分経過時の申告値に違いがあるが、これは夏期は点灯前に申告さ

せ、冬期は点灯後に申告させたことが理由である。従って、夏期は45分、冬期は30分で申告値が最も高くなった。夏・冬期ともに7,500Kの方がより明るく感じているが、夏期の方が申告値が高く、且つ色温度の違いによる差も大きくなる結果を得た。同一照度でも高色温度の方がより明るく感じることは、明るさ感と照明環境の好みの関係を実験的に研究した Wake ら⁴⁾ や石井、堀越¹³⁾ により報告されている。本実験では、色温度による明るさ感の違いに関しては再確認し、さらに明るさ感に季節差があることも確認した。

快適感申告の変化を図8(a)～図8(b)に示す。夏期は3,000K、冬期は7,500Kの方が快適側となったが、冬期の高温条件では色温度による差や経時変化は見られなかった。このことから、明るさ感と同様に快適感にも季節差があることを確かめた。中村ら¹⁵⁾ は、照度を一定(1,000lx)にして異なる室温で実験を行っており、10℃で低色温度(3,700K)、30℃で高色温度(7,000K)が好まれることを報告している。実施した時期(季節)の違いはあるが、本実験結果と一致していると思われる。

夏期の事前観測後の平均皮膚温の変化を一例として図9に示す。夏期では色温度3,000Kの方が変化が緩やかな傾向を示したが、冬期は色温度による差は見られなかった。事前観測後の最低血圧の変化を図10(a)～図10(b)に示す。夏期の低温度条件で変化量が大きく、75Lの方が30Lよりも速やかに上昇する傾向が見られた。事前観測後の指尖血流量の変化を図11(a)～図11(b)に示す。夏期では条件による差は見られなかったが、冬期では22℃において継続的に低下する傾向が見られ、血管収縮反応が他の条件より大きくなることを確かめた。これは暑熱及び寒冷馴化時の皮膚血管の緊張度の違い¹⁶⁾ と考えられる。また、75Lの方が30Lよりも指尖血流量が低くなる結果を得ていることから、冬期は指尖血流量と温冷感にある程度の相関があると推測できる。

心電用電極からの信号をDATに録音し、デジタル変換ソフトを用いてR-R間隔を求めた。さらに、高速フーリエ変換や自己回帰式を用いてスペクトル解析し、交感・副交感神経機能両方の活動レベルの指標である0.04～0.15Hzの低周波成分(LF)〔単位:ms²〕と副交感神経機能の活動レベルの指標である0.15～0.40Hzまでの高周波成分(HF)〔単位:ms²〕を求めた。

事前観測後の心拍数の変化を図12(a)～図12(b)に示す。夏期の75Hを除き30℃で上昇、22℃で低下する傾向が見られた。22℃で最低血圧が上昇する結果を図10(a)に示したが、低温度条件では心拍数は最低血圧と逆相関する可能性があると考えられる。また、心理量との関係から、夏期は心拍数が低下するほど快適となり、逆に冬期は心拍数が上昇するほど快適となることがわかった。

事前観測後のLFの変動を図13(a)～図13(b)に示す。夏・冬期ともに75Lでの変動量が最も大きく、継続的に増加する傾向が見られたが、他の条件では顕著な変動は見られなかった。さらに、季節別のHFの変動を図14(a)～図14(b)に示す。HFは夏・冬期ともに変動のパターンが似ており、30Hで減少、75Lで増加した。また、変動量は夏期の方が大であった。このことから、副交感神経系の活動レベルは75Lで賦活し、30Hで抑制されることを確かめた。

表4 室内環境測定結果

実験条件	室温(℃)	相対湿度(%)	照度(lx)*	風速(m/s)
30H	30.7	49.0	1512	0.02
30L	22.0	50.0	1452	0.02
75H	30.8	48.0	1405	0.02
75L	22.0	54.0	1490	0.02
30H'	30.4	48.0	1610	0.02
30L'	22.8	49.0	1510	0.02
75H'	30.3	49.0	1580	0.02
75L'	22.6	50.0	1430	0.02

* 床上80cmにおける照度

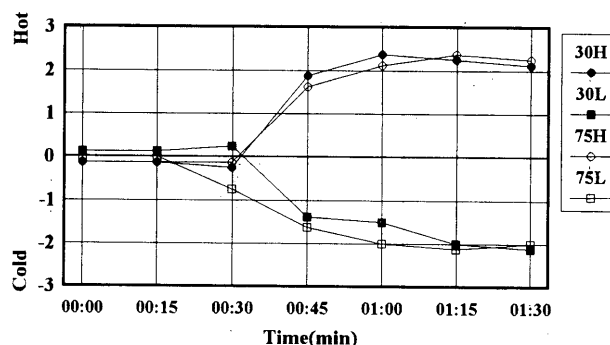


図6(a). 温冷感申告量の変化(夏期)

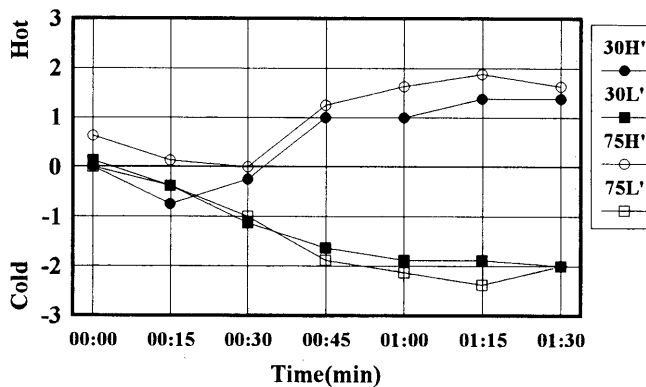


図6(b). 温冷感申告量の変化(冬期)

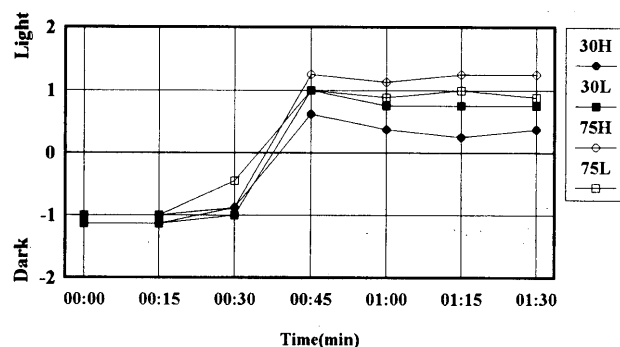


図7(a). 明るさ感申告量の変化(夏期)

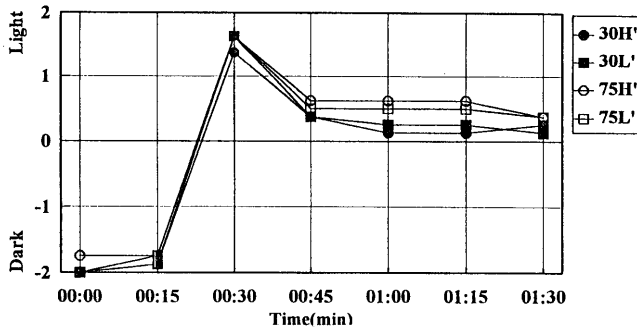


図 7 (b). 明るさ感申告量の変化 (冬期)

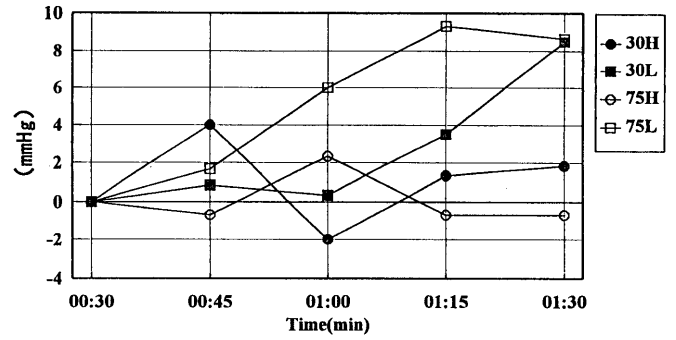


図 10 (a). 事前観測後の最低血圧の変化量 (夏期)

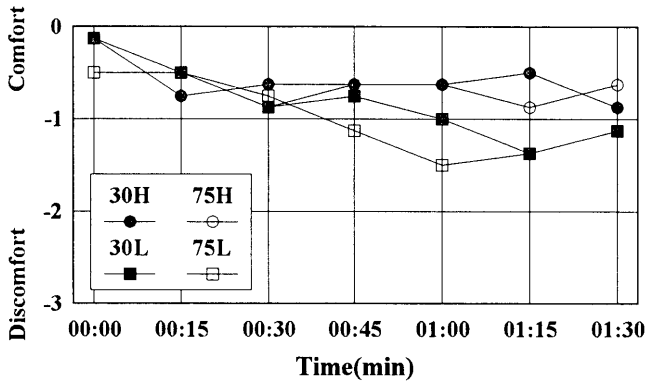


図 8 (a). 快適感申告量の変化 (夏期)

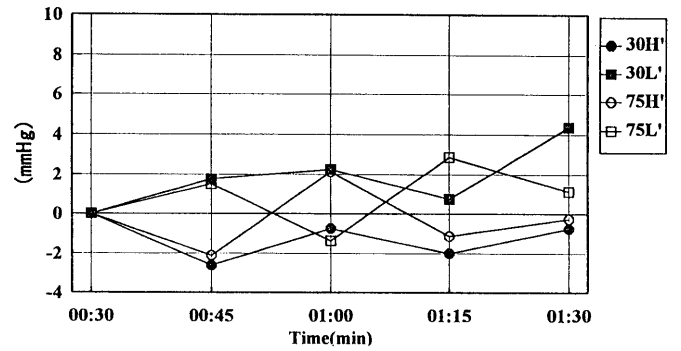


図 10 (b). 事前観測後の最低血圧の変化量 (冬期)

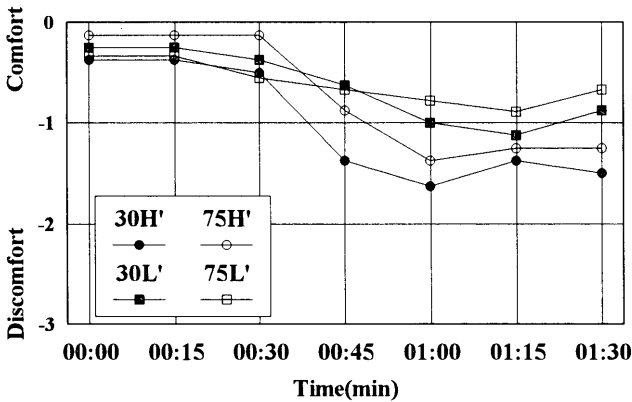


図 8 (b). 快適感申告量の変化 (冬期)

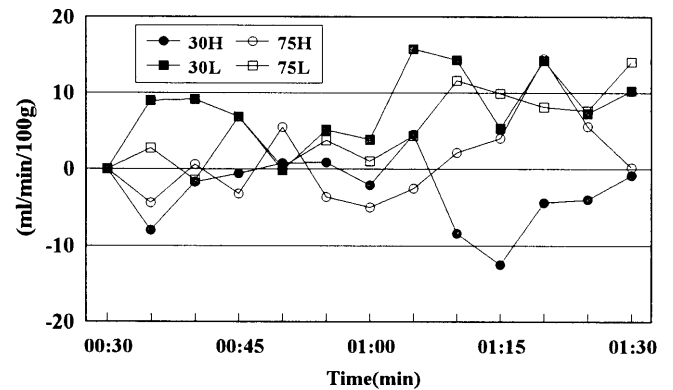


図 11 (a). 事前観測後の指尖血流量の変化量 (夏期)

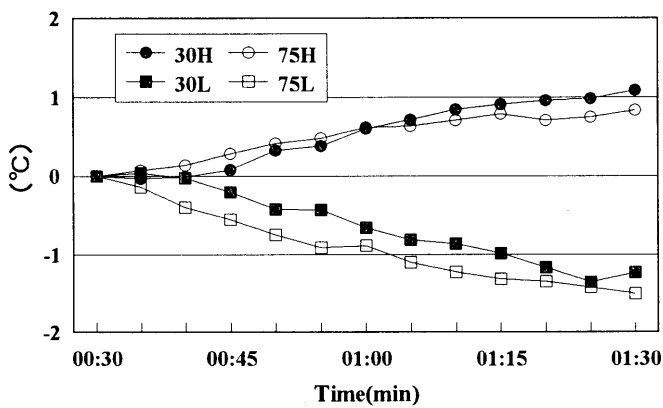


図 9. 事前観測後の平均皮膚温の変化 (夏期)

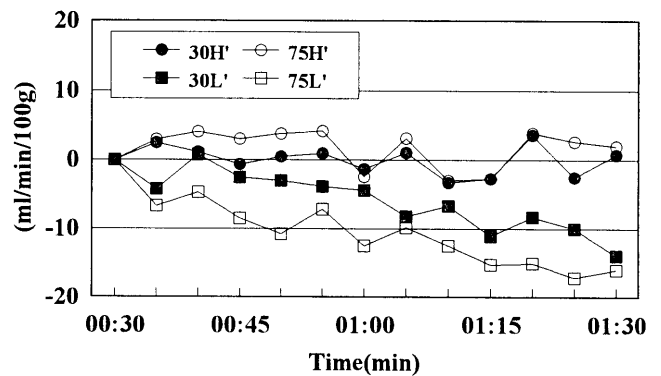
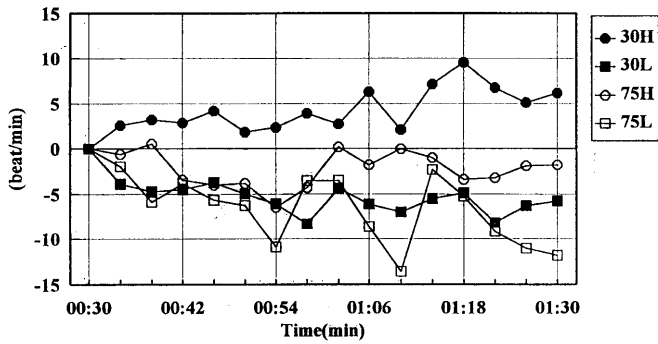


図 11 (b). 事前観測後の指尖血流量の変化量 (冬期)



1 2 (a). 事前観測後の心拍数の変化量 (夏期)

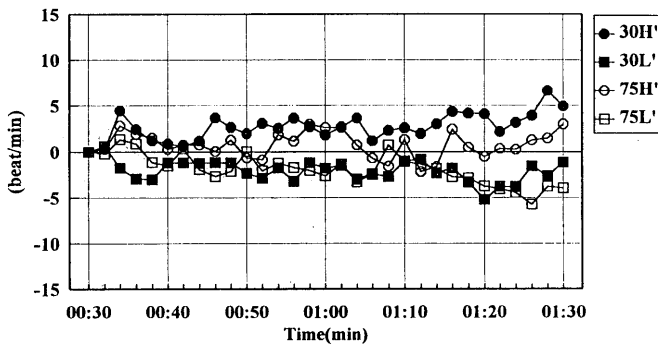


図 1 2 (b). 事前観測後の心拍数の変化量 (冬期)

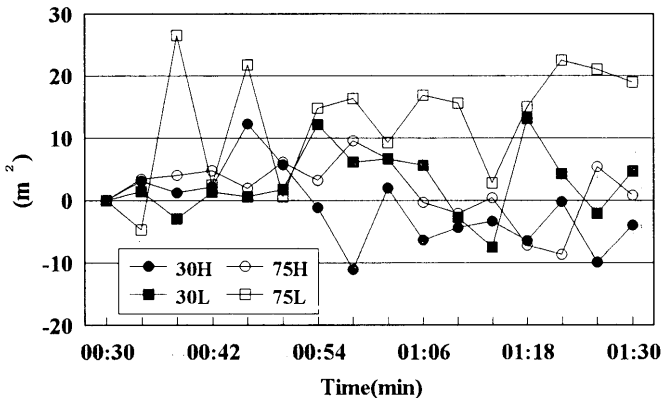


図 1 3 (a). 事前観測後のLFの変動 (夏期)

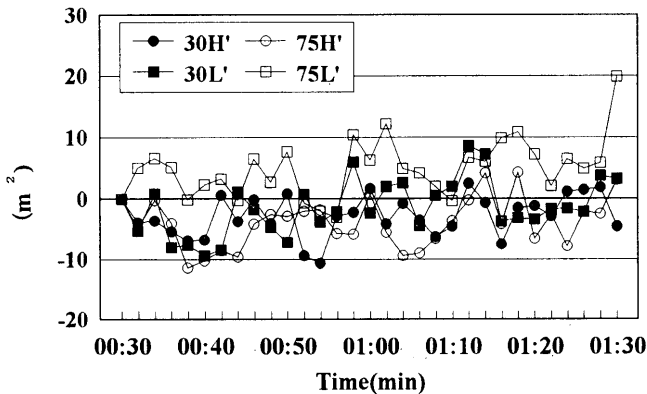


図 1 3 (b). 事前観測後のLFの変動 (冬期)

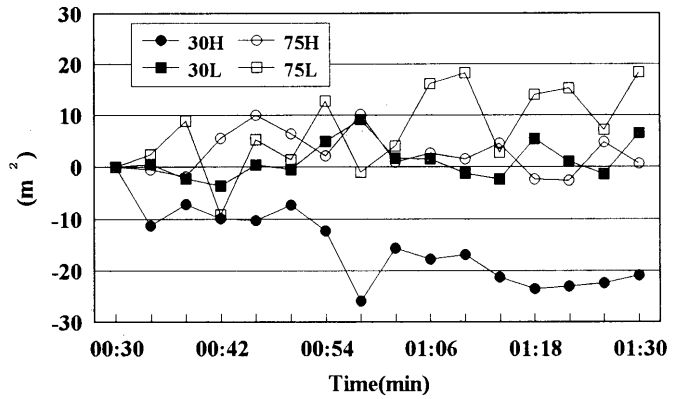
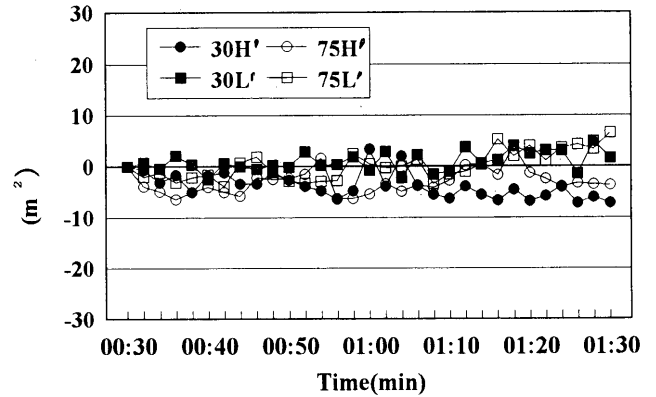


図 1 4 (a). 事前観測後のHFの変動 (夏期)



1 4 (b). 事前観測後のHFの変動 (冬期)

4. まとめ

中間期の実験結果から、秋期では色温度に関係なく、暖かい側でより快適と落ち着くと申告する結果を得た。一方、春期では温冷感に関係なく、より明るく感じる7,500Kでより快適と申告する結果を得た。さらに、夏・冬期の室温と色温度の複合条件下での実験においても心理・生理反応ともに好みに季節差があることを確かめた。特に生理反応として、条件により血圧や心拍変動の指標であるHFの変動に違いが見られ、心理反応を裏付ける結果を得た。これらの結果から、机上面照度が1,500lxの場合、Kruithofが提案した好みの色温度と照度の関係は夏期には適応するが、冬期はむしろ好みが変わる可能性があることが示唆された。

謝 辞

実験にご尽力頂いた中野美香さん(当時豊田高専建築学科専攻科生)と被験者として協力して頂いたゼミ生の方々に感謝の意を表します。また、心拍変動の解析等に御指導頂いた大同工業大学電気工学科の高田和之・茂吉雅典両先生に深く感謝致します。

参考文献

- 1) Kruithof, A. A.: Tubular luminescence lamps for general illumination. Philips Tech. Review, 6, pp.65 - 96, 1941
- 2) Willoughby, A. H.: New Lamps: Their Suitability for Interior Lighting. IES Lighting Review, pp.119 - 125, 1974
- 3) Atson, S. M. and H. E. Bellchambers: Illumination, color rendering and visual clarity. Lighting Res. Tech., 1(4), pp.259 - 261, 1969

- 4) Wake, T et al.: The effects of illuminance, color temperature and color rendering index of light sources upon comfortable visual environments — in the case of office —. *J. Light & Vis. Env.*, 1(2), pp.31 — 39, 1977
- 5) Küller, R.: Physiological and psychological effects of illumination and colour in the interior environment. *J. Light & Vis. Env.*, 10(2), pp.33 — 37, 1986
- 6) 大中忠勝他: 照明の色温度及び室温の変化が生理・心理反応に及ぼす影響, 生理人類学会第30回大会, p.2, 1993
- 7) Kobayashi, H. and M. Sato: Physiological responses to illuminance and color temperature of lighting. *Ann. Physiol. Anthropol.*, 11(1), pp.45 — 49, 1992
- 8) 稲葉茂他: 光の色温度と照明の組み合わせが注意集中に及ぼす影響, 生理人類学会第36回大会, p.54, 1996
- 9) Morita, T. and H. Tokura: The influence of different wavelengths of light on human biological rhythms, *Appl. Human Sci.*, 17(3), pp.91 — 96, 1998
- 10) 中村洋, 沖允人, 小川増美: 昼光と人工光を併用する照明に適する光の色の蛍光灯に関する研究, *日本色彩学会誌*, 5(3), pp.21-31, 1981
- 11) 伊仁, 堀越哲美, 宮本征一: 室内空間において各種蛍光灯光源が明るさ感に及ぼす影響, *日本インテリア学会論文報告集*, 6, pp.19-26, 1996
- 12) 堀江悟郎他: 室内における異種環境要因がもたらす不快さの加算的表現, *日本建築学会計画系論文集*, 第387号, pp.1-7, 1988
- 13) 石井仁, 堀越哲美: 異なる作用温度, 照度レベル, 光源の組み合わせが人体の生理・心理反応に及ぼす複合的影響, *日本建築学会計画系論文集*, 第517号, pp.85 — 90, 1999
- 14) Ramanathan, N. L.: A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J. Appl. Physiol.*, 19, pp.531-533, 1964
- 15) Nakamura, H., M. Oki and S. Gotoh: Influence of air temperature on preference for color temperature. *IHES'98*, pp.239 — 242, 1998
- 16) 温熱生理学, 中山昭雄編, 理工学社, 昭和56年
本論文に関連する既発表論文
- 1) 中野美香, 垣鏑直, 堀越哲美, 稲垣卓造: 色温度と室温の複合条件評価に関する実験的研究, *日本建築学会大会学術講演梗概集*, D-1, pp.765-766, 1997
- 2) 垣鏑直, 茂吉雅典, 高田和之: 一定照度下における色温度の違いが心理・生理反応に及ぼす影響に関する実験的研究, 第12回生体・生理工学シンポジウム論文集, pp.209-208, 1997
- 3) Kakitsuba, N., M. Moyoshi, T. Takata, T. Inagaki and T. Horikoshi: Physiological significance of different color temperatures at the same illumination level during exposure to cool or warm environment. *Luxpacific'97*, A-125-A-130, 1997

(1999年5月7日原稿受理, 1999年8月27日採用決定)