

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THE COMBINED EFFECT OF OPERATIVE TEMPERATURE, ILLUMINANCE  
AND LIGHT SOURCE ON THE HUMAN PHYSIOLOGICAL  
AND PSYCHOLOGICAL RESPONSES

石井 仁\*, 堀越 哲美\*\*

*Jin ISHII and Tetsumi HORIKOSHI*

The objective of this study is to clarify the combined effects of operative temperature, illuminance and light source on the human physiological and psychological responses. The following results were obtained: 1) Skin temperature was affected with air temperature and was not affected with illuminance and light source. 2) When operative temperature was 25°C or 28°C and light source was incandescent lamp, thermal sensation was affected with air temperature and illuminance. 3) When operative temperature was 25°C or 28°C, thermal sensation was affected with air temperature and light source. 4) When operative temperature was 25°C or 28°C, comfortable sensation was affected with air temperature and illuminance. 5) When operative temperature was 25°C or 28°C and illuminance was 1000lx, comfortable sensation was affected with air temperature and light source

*keywords : operative temperature, illuminance, light source, skin temperature, thermal sensation, comfortable sensation*

作用温度, 照度, 光源, 皮膚温, 温冷感, 快適感

## 1. はじめに

一般に、人は光源の色温度が高いと光色は青みがかった白に見え涼しく感じ、反対に低いと赤みがかった白に見え暖かく感じる<sup>1)</sup>とされている。Kruithof<sup>2)</sup>は、心地よく感じる光源の色温度と照度レベルとの関係の研究を行っている。それによると低照度で色温度が低い場合、人は暗く感じ、低照度で色温度が高い場合には寒く感じる。一方、高照度で色温度が低い場合、人は不快に感じると報告されている。中野ら<sup>3)</sup>は日本人男女を被験者に用い、一定照度条件下で気温と色温度の組み合わせが人体生理心理反応に及ぼす研究を行い、Kruithofと同様の結果を得た。またCIE屋内照明ガイド<sup>4)</sup>による光色の好みもKruithofとほぼ同様である。しかし乾<sup>5)</sup>は、CIEによる光色の好みは主として北西ヨーロッパ諸国が中心となつてつくられたもので、気候の異なる国で適用するときは修正が必要であると指摘している。このように、Kruithofの結果やCIEのガイドを日本人に適用させる場合、人種、風土等の差を考慮した検討をする必要があると考えられる。また、人は暖色系の色相を暖かく感じ、寒色系の色相を涼しく感じるというhue-heat仮説<sup>6)</sup>に関して、Fangerら<sup>7)</sup>は赤・青色照明下で被験者に好ましい温度を調整させる実験を行い、赤色照明の場合、青色照明に比べ0.4℃ほど低い温度を好むという結果を得た。しかし実験環境が極端な光色であるため、実際の環境では照明の光色が熱的

快適性に及ぼす影響はないとしている。また大野ら<sup>8)</sup>は室温が寒・暑不快条件から中立温度条件への過渡状態において、温冷感、快適感に色彩による差が示され、hue-heat仮説に合致する実験結果を得ている。彼らの研究のように寒色・暖色系の色相の差が人の温冷感や快適感に影響を及ぼすような結果を見いだした研究は少なく、諸環境条件を定常状態として行った研究<sup>9) 10)</sup>では色相による差は人体心理反応に複合的に影響を及ぼさないとしている。hue-heat仮説に関する研究では、寒色・暖色系の色相に統一した空間において研究を行っているものがほとんどであるが、室内設計に適用する際、あまり一般的な空間であるとは考えにくい。そこで寒色・暖色系の色相を光源の色温度の高低として捉え、hue-heat仮説を検証する研究は、より実空間に即していると考えられる。そこで、本研究は作用温度、照度レベル、光源の種類を環境条件として組み合わせ、その組み合わせ条件が温熱環境からもっとも影響を受けるとされている、人体生理反応としての皮膚温および心理反応としての温冷感、快適感に及ぼす複合的影響の検討を行った。

## 2. 実験計画

実験条件を表1に示す。実験室の環境条件は以下の通りである。作用温度は暑くも寒くもない熱的中立温度条件として28℃<sup>11)</sup>を、寒冷、

\* 名古屋工業大学大学院社会開発工学専攻 院生・修士(工学)

\*\* 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

Graduate Student, Dept. of Architecture, Nagoya Institute of Technology, M. Eng. Prof., Dept. of Environmental Technology and Urban Planning, Graduate School of Eng., Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

暑熱条件を25℃、31℃と設定した。照度レベルはJISによる照度基準(JIS Z 9110)から選定した。高照度条件として事務所、住宅等で細かい視作業を行う場合の照度基準から1000lxを設定した。低照度条件として事務所の執務室以外、また住宅の全般照明の照度基準から100lxを設定した。そして、それらの中間的な照度条件として事務所の執務室の照度基準から500lxを設定した。光源は使用頻度の高い白色蛍光ランプ(色温度4200K)と白熱電球(同2850K)の2種類とした。相対湿度は55%を目標に制御した。気流速度は0.1m/s以下となるよう制御した。すべての被験者にたいして、それらを組み合わせた計18条件を曝露した。前室の環境条件は、作用温度28℃、照度500lx、光源は白色蛍光ランプとした。相対湿度、気流速度は実験室と同一条件とした。

実験は名古屋工業大学環境実験室内で行った。実験室、前室概略図および照明器具配置図を図1に示す。環境実験室内にアルミ製のアンクルで寸法2800×2400×2000mmのブースを2基作製し、それぞれ実験室、前室とした。壁温、天井温、床温が気温と等しくなるように灰色(N5.5)のカーテンで周囲を覆った。温湿度制御は実験室、前室ともパッケージ型エアコンで行った。実験室における作用温度の平均と標準偏差は3条件でそれぞれ25.4℃(±0.3℃)、28.1℃(±0.3℃)、30.7℃(±0.4℃)であった。実験室における相対湿度と気流速度の平均と標準偏差はそれぞれ、55.9%(±7.5%)、0.02m/s(±0.01m/s)であった。蛍光ランプの場合、照度レベルは蛍光ランプの灯数で制御した。100lx条件は10W蛍光ランプを2灯、500lx条件は40W蛍光ランプを2灯、1000lx条件は40W蛍光ランプを4灯使用した。白熱電球の場合、照度レベルは60W白熱電球14灯をスライダックを用いて制御した。

実験は1995年8月7日から1995年9月26日の期間に行った。実験は午前1回、午後2回の1日3回以内とし、1日に同じ被験者が連続して実験を行わないように調整した。実験条件、実験開始時刻が規則的にならないようランダムに実験を行った。

被験者は表2に示す健康な青年男子4名である。被験者には適当な報酬が支払われた。今回は複合的影響の基本的性状を把握することを目的としているため、着衣熱抵抗などの外的要因をなるべく少なくするため、着衣条件はトランクスのみをほぼ裸体とした。実験は1名ずつで行った。実験中、被験者に何かを凝視するような指示は行わず、また読書は禁じた。

実験手順を図2に示す。最初に実験当日の食事の時間、体調などを被験者に記入させ、一方で熱電対を被験者に装着した。熱電対装着後、前室にて被験者を30分間椅座安静にさせた。安静後、実験室にて各実験条件に被験者を椅座安静状態で60分間曝露させた。

測定項目を表3に示す。乾湿球温はアスマン通風乾湿計と0.3mmφT型熱電対を用いて30秒間隔で測定した。気流速度は熱式風速計を用いて1分間隔で測定した。壁温、天井温、床温、照明器具表面温は0.3mmφT型熱電対を用いて30秒間隔で測定した。平均放射温度はHorikoshiら<sup>12)</sup>の直方体人体モデルを用いて各形態係数を算出した。照度はシリコンフォトセルデジタル照度計を用い、被験者が着席する実験室および前室中央の床上85cmの水平面照度を測定した。

平均皮膚温はHardy-Dubois<sup>13)</sup>の12点を重みづけして算出した。各部位皮膚温は0.2mmφT型熱電対をサージカルテープにて貼付し、30秒間隔で計測した。舌下温は0.2mmφT型熱電対を用いて30秒間隔

表1 実験条件

蛍光ランプ			白熱電球				
作用温度	100lx	500lx	1000lx	作用温度	100lx	500lx	1000lx
25℃	25FD	25FN	25FB	25℃	25ID	25IN	25IB
28℃	28FD	28FN	28FB	28℃	28ID	28IN	28IB
31℃	31FD	31FN	31FB	31℃	31ID	31IN	31IB

相対湿度 55%、気流速度 0.1m/s以下

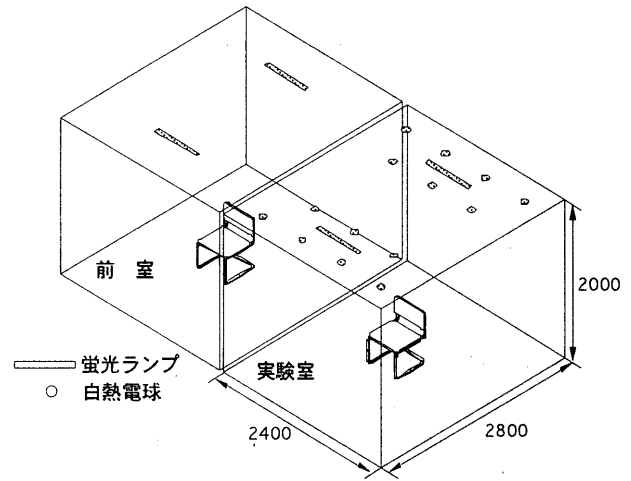


図1 実験室、前室概略図および照明器具配置図

表2 被験者データ

被験者	身長 cm	体重 kg	年齢 歳	出身地
A	177.5	69.9	21	愛知県
B	176.7	55.5	21	愛知県
C	166.5	60.3	23	愛知県
D	167.5	55.4	22	福井県

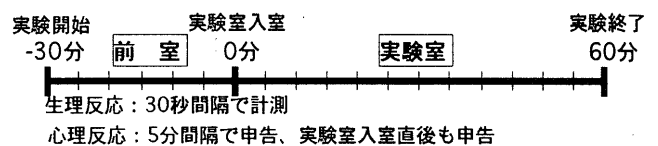


図2 実験手順

表3 測定項目

乾湿球温	アスマン通風乾湿計・0.3mmφT型熱電対(床上70cm)
気流速度	熱式風速計(床上70cm)
表面温度	0.3mmφT型熱電対(床上70cm)
水平面照度	シリコンフォトセルデジタル照度計(床上85cm)
皮膚温	0.2mmφT型熱電対にてHardy-DuBoisの12点を測定
舌下温	0.2mmφT型熱電対
心理反応	直線評定尺度(温冷感・快適感) 図3参照

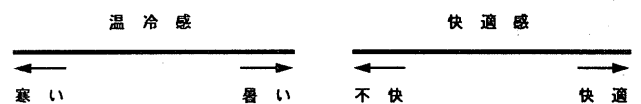


図3 直線評定尺度

で計測した。心理反応測定は図3に示す直線評定尺度<sup>14)</sup>を用い、5分間隔で被験者に記入させた。被験者には直線評定尺度の温冷感、快適感の両極は暑い、寒いおよび快適、不快の極限を示すことを教示し評定させた。快適感は環境全体を評定させた。直線評定尺度は統計解析を行う際、0から100の数値を割り当てた間隔尺度として取り扱った。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1. 人体生理反応としての平均皮膚温に及ぼす複合的影響

##### 3.1.1. 作用温度が平均皮膚温に及ぼす影響

曝露終了時の作用温度に対する平均皮膚温の関係を図4に示す。データは被験者4名の平均である。作用温度が高いほど、平均皮膚温は高くなった。作用温度と平均皮膚温には正の相関 ( $r=0.93$ ,  $p < 0.01$ ) が認められた。

3-1-2. 照度条件が平均皮膚温に及ぼす影響

作用温度ごとにみると、25℃条件では各光源とも、500lx、1000lx条件 (N, B) に比べ、100lx条件 (D) の平均皮膚温は0.5℃程度低かった。500lx、1000lx条件の平均皮膚温は各光源ともほぼ等しく、蛍光ランプは32.7℃程度、白熱電球は33.2℃程度であった。28℃条件では蛍光ランプの場合、500lx、1000lx条件 (28FN、28FB) に比べ、100lx条件 (28FD) の平均皮膚温は0.4℃程度高く、白熱電球の場合、500lx、1000lx条件 (28IN、28IB) に比べ、100lx条件 (28ID) の平均皮膚温は0.4℃程度低かった。500lx、1000lx条件の平均皮膚温は各光源ともほぼ等しく、蛍光ランプは33.7℃程度、白熱電球は34.1℃程度であった。31℃条件では、各光源とも平均皮膚温は34.5℃付近であった。照度条件間で分散分析を行ったところ、すべての照度条件間で平均皮膚温に有意差 ( $p < 0.05$ ) は認められなかった。杉本<sup>15)</sup> は人体生理反応としての平均心拍数が、照度レベルの影響を受けることを示したが、平均皮膚温には照度レベルの影響は認められなかった。

3-1-3. 光源の種類が平均皮膚温に及ぼす影響

作用温度ごとにみると、25℃条件では蛍光ランプに比べ、白熱電球の平均皮膚温は各照度条件とも高く、その差は最大で0.5℃であった。28℃条件では蛍光ランプ500lx、1000lx条件 (28FN、28FB) に比べ、白熱電球500lx、1000lx条件 (28IN、28IB) の平均皮膚温は0.3℃程度高く、蛍光ランプ100lx条件 (28FD) に比べ、白熱電球100lx条件 (28ID) の平均皮膚温は0.4℃程度低かった。31℃条件では、どの条件も平均皮膚温はほぼ等しかった。光源間で分散分析を行ったところ、すべての光源間で平均皮膚温に有意差 ( $p < 0.05$ ) は認められなかった。

以上から人体生理反応としての平均皮膚温は作用温度の影響を受けるが、照度レベル、光源の種類による明確な影響は認められなかった。

3-2. 人体心理反応としての温冷感に及ぼす複合的影響

3-2-1. 照度条件、光源の種類による温冷感の比較 (作用温度25℃)

作用温度25℃条件の温冷感の経時変動を照度条件、光源ごとに図5に、照度条件間および光源間の分散分析の結果を表4に示す。図は被験者4名の平均である。照度条件で比較すると、蛍光ランプの場合、図5より曝露中、温冷感は照度条件が高いほど暑い方向の反応であった。表4より、5%の有意水準では有意差は認められないが、10%の有意水準で分散分析を試みると、温冷感に有意差が認められ、図表より温冷感が照度レベルの影響を全く受けないとは考え難く、検討の余地があると考えられる。白熱電球の場合、図5より曝露開始時、温冷感は照度条件が高いほど暑い方向の反応であり、曝露15分経過頃から各照度条件とも温冷感は、熱的中立よりやや寒い方向 (数値にして45付近) に推移した。表4より曝露開始頃の温冷感に照度条件による有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。

光源の種類で比較すると、図5より曝露中、各照度条件とも蛍光ランプに比べ、白熱電球の温冷感は概ね暑い方向の反応であった。表4より、100lx条件 (D) は曝露15分~20分経過頃、500lx条件 (N)

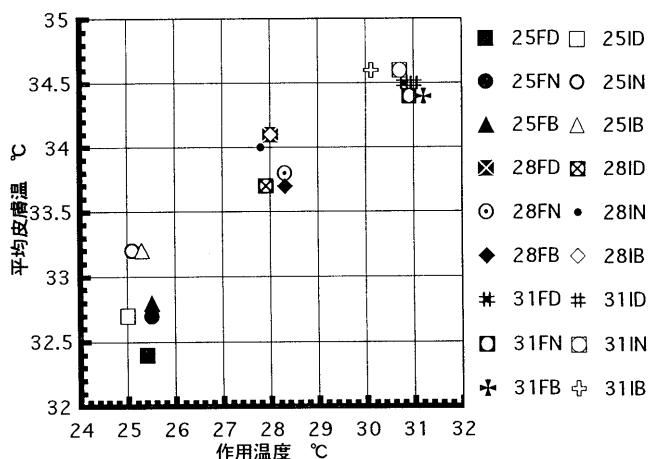


図4 作用温度と平均皮膚温の関係

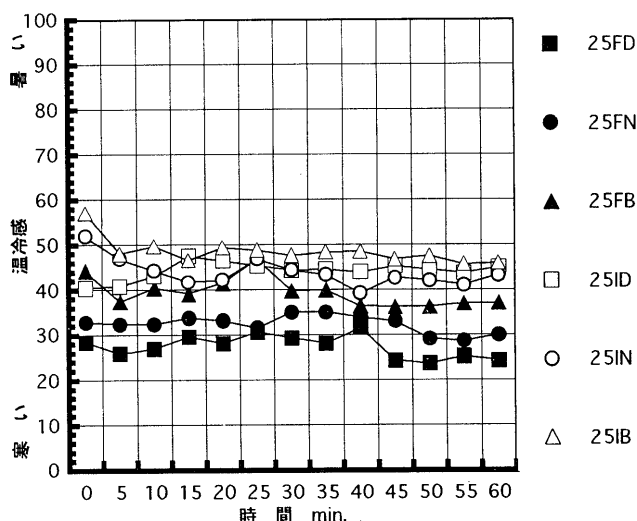


図5 温冷感の経時変動 (作用温度25℃条件)

表4 温冷感の照度間および光源間の分散分析の結果 (25℃条件)

曝露時間 min.	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
蛍光ランプ	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+
白熱電球	+	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	+	+
100lx	-	+	+	*	*	-	-	-	-	-	+	-	+
500lx	**	*	*	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
1000lx	+	-	-	-	-	-	+	+	+	**	*	*	+

+ $p < 0.10$  \* $p < 0.05$  \*\* $p < 0.01$

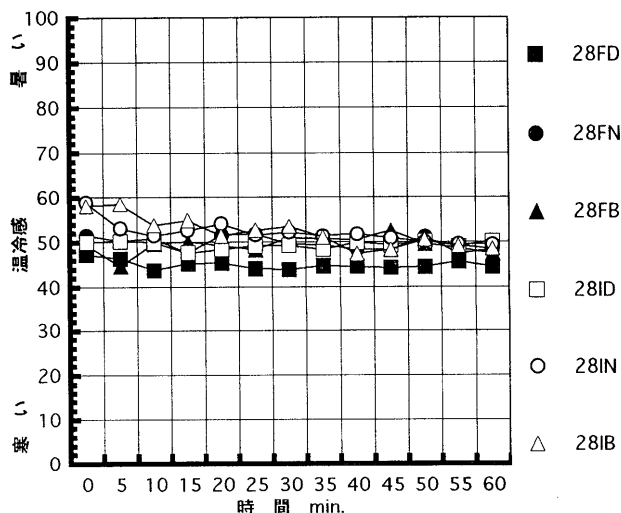


図6 温冷感の経時変動 (作用温度28℃条件)

は曝露開始時、1000lx条件(B)は曝露終了頃の温冷感に光源の種類による有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。

3-2-2. 照度条件、光源の種類による温冷感の比較 (作用温度28℃)

作用温度28℃条件の温冷感の経時変動を照度条件、光源ごとに図6に、照度条件間および光源間の分散分析の結果を表5に示す。図は被験者4名の平均である。照度条件で比較すると、蛍光ランプの場合、図6より100lx条件(28FD)は曝露中、温冷感は熱的中立よりやや寒い方向(数値にして45付近)の反応であった。500lx、1000lx条件(28FN、28FB)は曝露中、温冷感熱的中立付近の反応であった。表5より照度条件による有意差は認められなかった。白熱電球の場合、図6より500lx、1000lx条件(28IN、28IB)は曝露開始後、温冷感寒い方向に推移し、曝露10分経過頃から熱的中立付近で一定となった。100lx条件(28ID)は曝露中、温冷感熱的中立付近の反応であった。表5より曝露開始頃の温冷感に照度条件による有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。

光源の種類で比較すると、図6より曝露15分経過頃までは蛍光ランプに比べ、白熱電球の温冷感各照度条件とも概ね暑い方向の反応であり、それ以降は蛍光ランプ100lx条件(28FD)を除き、各光源とも温冷感熱的中立付近の反応であった。表5より100lx条件(D)は曝露開始頃、1000lx条件(B)は曝露開始時および曝露40分経過後の温冷感に光源の種類による有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。500lx条件(N)は温冷感に有意差は認められなかった。

作用温度31℃条件では、温冷感に照度条件、光源の種類による有意差は何ら認められなかった。以上から照度条件、光源の種類が温冷感に及ぼす複合的影響を概括すると、照度条件が温冷感に及ぼす影響は、作用温度が25℃あるいは28℃で、光源が白熱電球の場合、曝露開始時の過渡状態において有意に認められた。作用温度が熱的中立温度以下の場合、光源が蛍光ランプから白熱電球に変化する過渡状態において、被験者は白熱電球を心理的に放射熱源として捉え、照度レベルが高いほど光源の放射温度が高いと知覚し、その結果照度レベルが高いほどより暑く感じたと考えられる。その後人体が温度馴化した定常状態では、照度レベルは温冷感に影響を及ぼさないと考えられる。

光源の種類が温冷感に及ぼす影響は、作用温度が25℃あるいは28℃で有意に認められた。蛍光ランプに比べ白熱電球の温冷感が暑い方向であったのは、光色が白色に見える蛍光ランプに比べ、赤みがかった白に見える白熱電球の環境を被験者がより暑く感じたと考えられる。これは光源の光色を色相と捉えるならば、hue・heat仮説とほぼ一致する結果であると考えられる。作用温度28℃の場合、曝露開始頃にこの傾向が認められるが、作用温度25℃の場合、光源の種類が温冷感に及ぼす影響には照度条件によりタイムラグがあり、検討の余地があると考えられる。

3-3. 人体心理反応としての快適感に及ぼす複合的影響

3-3-1. 照度条件、光源の種類による快適感の比較 (作用温度25℃)

作用温度25℃条件の快適感の経時変動を照度条件、光源ごとに図7に、照度条件間および光源間の分散分析の結果を表6に示す。図は被験者4名の平均である。照度条件で比較すると蛍光ランプの場合、図7より曝露中、照度条件が高いほど快適感快適方向の反応であった。表6より曝露35分、40分経過後および曝露終了時の快適感に照度条件による有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。白熱電球の場合、図7より曝露時間が経過するにつれ、各照度条件とも快適感70付近

表5 温冷感の照度間および光源間の分散分析の結果 (28℃条件)

曝露時間 min.	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
蛍光ランプ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
白熱電球	-	*	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100lx	*	-	**	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+
500lx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000lx	**	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-

+  $p < 0.10$  \*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$

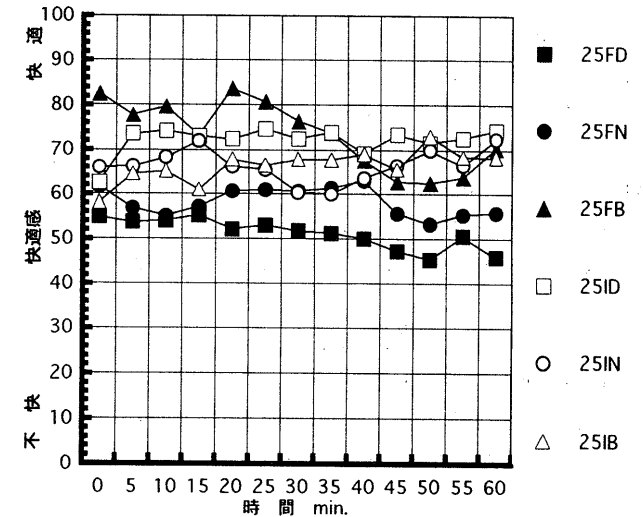


図7 快適感の経時変動 (作用温度25℃条件)

表6 快適感の照度間および光源間の分散分析の結果 (25℃条件)

曝露時間 min.	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
蛍光ランプ	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-	-	*
白熱電球	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100lx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500lx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000lx	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

+  $p < 0.10$  \*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$

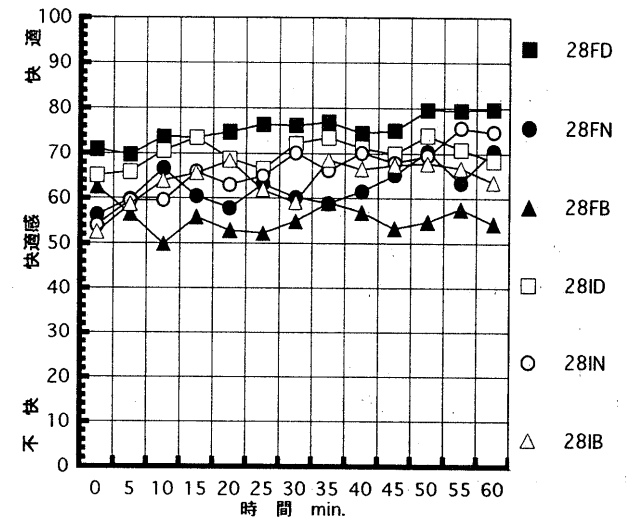


図8 快適感の経時変動 (作用温度28℃条件)

表7 快適感の照度間および光源間の分散分析の結果 (28℃条件)

曝露時間 min.	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
蛍光ランプ	-	-	**	-	+	*	-	-	-	-	*	-	+
白熱電球	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
100lx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500lx	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1000lx	-	-	-	+	*	-	-	+	-	*	+	-	*

+  $p < 0.10$  \*  $p < 0.05$  \*\*  $p < 0.01$

に推移した。表6より快適感に照度条件による有意差は認められなかった。

光源の種類で比較すると、図7より100lx、500lx条件(D、N)の場合、曝露中蛍光灯に比べ、白熱電球の快適感は概ね快適方向の反応であった。1000lx条件(B)の場合、曝露35分経過までは白熱電球に比べ、蛍光灯の快適感は快適方向の反応であったが、それ以降はほぼ等しい反応であった。表6より、1000lx条件(B)の曝露開始時の快適感に光源の種類による有意差( $p < 0.05$ )が認められた。

### 3.3.2. 照度条件、光源の種類による快適感の比較 (作用温度28℃)

作用温度28℃条件の快適感の経時変動を照度条件、光源ごとに図8に、照度条件間および光源間の分散分析の結果を表7に示す。図は被験者4名の平均である。照度条件で比較すると、蛍光灯の場合、図8より曝露中、照度条件が低いほど快適感は快適方向の反応であった。表7から曝露10分、25分および50分経過後の快適感に照度条件による有意差( $p < 0.05$ )が認められた。白熱電球の場合、500lx条件(28IN)の快適感は曝露中快適方向に推移し、曝露終了時には白熱電球の照度条件のなかで、最も快適の反応となった。表7より曝露終了時の快適感に照度条件による有意差( $p < 0.05$ )が認められた。

光源の種類で比較すると、図8より500lx、1000lx条件(N、B)の場合、曝露中蛍光灯に比べ、白熱電球の快適感は概ね、快適方向の反応であった。100lx条件(D)の場合、曝露中、白熱電球に比べ、蛍光灯の快適感は概ね、快適方向の反応であった。表7より1000lx条件(B)の曝露20分、45分経過後および曝露終了時の快適感に光源の種類による有意差( $p < 0.05$ )が認められた。

作用温度31℃条件では、快適感に照度条件、光源の種類による有意差は何ら認められなかった。以上から、照度条件、光源の種類が快適感に及ぼす複合的影響を概括すると、照度条件が快適感に及ぼす影響は、蛍光灯の場合、作用温度25℃あるいは28℃で、白熱電球の場合、作用温度28℃の曝露終了時に有意に認められた。蛍光灯の場合、作用温度25℃の場合、照度レベルが高いほど快適感が快適方向に、蛍光灯28℃の場合、照度レベルが低いほど快適感が快適方向となる傾向が示された。白熱電球28℃の場合、500lxが最も快適となる傾向が示された。本研究で用いた快適感、環境全体を評定しており、照明のみを評定している既往の研究結果と単純に比較することはできないと考えられる。堀江ら<sup>16)</sup>は、不快さは異種環境要因を加算的に表現することができる非特異的尺度であることを示したが、本研究で用いた快適感も異種環境要因を加算的に表現することができるならば、快適感の差を光源の照度レベルあるいは種類に起因するものとして抽出できると考えられる。以下、快適感をそのように考え既往の研究などと比較を行った。Kruithof<sup>2)</sup>は色温度が白色蛍光灯の4200Kである場合、100lxでは光源を寒く感じ、500lx、1000lxでは心地よく感じると報告している。蛍光灯25℃の結果はKruithofとほぼ同様の傾向を示し、蛍光灯28℃の結果は異なる傾向を示した。また色温度が白熱電球の2850Kである場合、500lx、1000lxでは光源を不快に感じると報告しており、白熱電球28℃の結果は異なる傾向を示した。CIEガイド<sup>4)</sup>によると適当な照度レベルは、白色蛍光灯では1000lx~2000lx、白熱電球では500lx以下としており、蛍光灯25℃、白熱電球28℃は一致する結果となり、蛍光灯28℃は異なる結果となった。しかし蛍光灯の場合、照度条件が快適感に及ぼす影響は作用温度条件によりタイムラグがあり、検討の余地があ

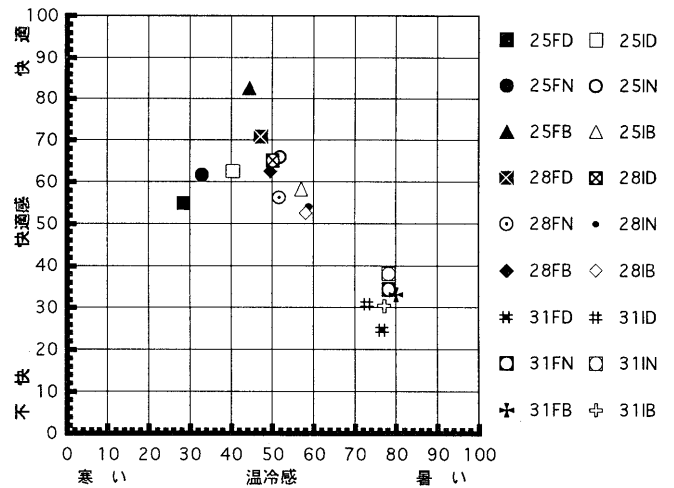


図9 温冷感と快適感の関係 (曝露開始時)

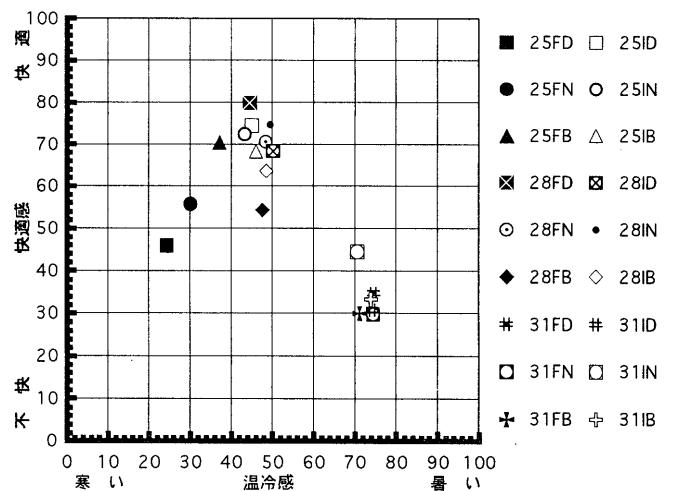


図10 温冷感と快適感の関係 (曝露終了時)

ると考えられる。

光源の種類が快適感に及ぼす影響は、作用温度25℃あるいは28℃、照度1000lxの場合に有意に認められた。25℃1000lxの場合、曝露開始時の過渡状態で白熱電球に比べ、蛍光灯の快適感が快適方向となる傾向が示された。28℃1000lxの場合、蛍光灯に比べ、白熱電球の快適感は快適方向となる傾向が示された。25℃1000lxの結果はKruithofとほぼ同様の傾向を示し、28℃1000lxの結果は異なる傾向を示した。

### 3.4. 温冷感と快適感の関係

曝露開始時の温冷感にたいする快適感の関係を図9に示す。図は被験者4名の平均である。最も快適であったのは、蛍光灯25℃1000lx条件(25FB)であった。その時の温冷感は熱的中立より若干寒い方向(数値にして42程度)であった。

曝露終了時の温冷感にたいする快適感の関係を図10に示す。図は被験者4名の平均である。最も快適であったのは、蛍光灯28℃100lx条件(28FD)であった。その時の温冷感は熱的中立より若干寒い方向(数値にして45程度)であった。作用温度25℃、光源が白熱電球の各照度条件は、温冷感と快適感の関係が作用温度28℃条件の蛍光灯500lx条件(28FN)、白熱電球100lx条件(28ID)、500lx条件(28IN)とほぼ等しかった。これらの条件は物理環境によらず心理反応が等しいと考えられるが、それら作用温度25℃条件と作用温度28℃条件では平均皮膚温の差が最大で2.4℃あった。これは作用温

度が熱的中立温度以下で、光源が白熱電球である場合、心理反応に現れない生理的熱ストレスを人体が受けている可能性があることが示唆される。

温冷感と快適感の関係を概括すると、曝露開始時、曝露終了時ともに快適感が最も快適となるのは、温冷感が熱的中立より若干寒い方向であった。これは夏季至適域を提案した志村ら<sup>17)</sup>の研究と同様の結果となった。曝露開始時の過渡状態と曝露終了時の定常状態では最も快適であった作用温度、照度レベルは異なったが、光源は両状態とも蛍光ランプであった。最も快適となる場合の光源が蛍光ランプであるのはObara<sup>18)</sup>が指摘しているように、日本人と蛍光ランプには特異な関係があることも考えられる。

#### 4. まとめ

本研究は、作用温度3条件(25℃、28℃、31℃)、照度3条件(100lx、500lx、1000lx)、光源2種類(白色蛍光ランプ、白熱電球)を実験条件として、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を青年男子4名を用いた実験とおして検討した。その結果以下の結論を得た。

1. 人体生理反応としての平均皮膚温は作用温度の影響を受けるが、照度レベル、光源の種類による明確な影響は認められなかった。
2. 人体心理反応としての温冷感を照度レベルで比較すると、作用温度25℃あるいは28℃で光源が白熱電球の場合、光源が変化する過渡状態において、照度レベルが高いほど、温冷感は暑い方向となる傾向が示された。
3. 温冷感を光源の種類で比較すると、作用温度25℃あるいは28℃の場合、蛍光ランプに比べ、白熱電球の温冷感は暑い方向となる傾向が示された。光源の光色を色相と捉えるならば、hue・heat仮説とほぼ一致する結果となった。
4. 人体心理反応としての快適感を照度レベルで比較すると、作用温度25℃で光源が蛍光ランプの場合、照度レベルが高いほど快適感が快適方向となり、作用温度28℃で光源が蛍光ランプの場合、照度レベルが低いほど快適感が快適方向となる傾向が示された。作用温度28℃で光源が白熱電球の場合、500lxで最も快適となる傾向が示された。これらは、必ずしもKruithofの研究やCIEガイドと一致する結果とはならなかった。
5. 快適感を光源の種類で比較すると、25℃1000lxの場合、曝露開始時の過渡状態では白熱電球に比べ、蛍光ランプの快適感が快適方向となる傾向が示された。28℃1000lxの場合、蛍光ランプに比べ、白熱電球の快適感は快適方向となる傾向が示された。25℃1000lxの場合にはKruithofの研究とほぼ同様の傾向を示し、28℃1000lxの場合には異なる傾向を示した。

本研究では被験者が4名であり、得られた結論をさらに一般的なものとするには被験者数を増やした実験が必要であると考えられる。光源の色温度と照度の関係がKruithofの研究やCIEガイドと必ずしも一致しなかったことが、日本人の特質によるものか、あるいは今回の実験手順や条件によるものなのかは検討の余地があると考えられる。作用温度31℃条件では照度レベル、光源の種類が生理・心理反応に明らかな影響を及ぼさなかったが、実験期間が夏季であったため、このような結果になったことも考えられ、冬季に再度実験を行う必要があると考えられる。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、その一部を卒業論文として実験及びデータ整理にご協力いただいた名古屋工業大学学生(当時)伊藤芳男氏および、実験にご協力していただいた被験者各位に感謝の意を表します。

#### 引用文献

- 1) 日本建築学会編：設計計画パンフレット30 昼光照明の計画，彰国社，1985
- 2) Kruithof, A. A.: Tubular Luminescence Lamps for General Illumination, Philips Technical Review, Vol 6, No. 3, pp. 65~73, 1941
- 3) 中野美香, 堀垣直, 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, pp. 765~766, 1997
- 4) CIE Publication No. 29, Guide on Interior Lighting, 1975
- 5) 乾正雄: 建築設計講座 照明と視環境, 理工図書, 1978
- 6) Bennett, C. A. and Rey, P.: What's So Hot About Red?, Human Factors, Vol 14, No. 2, pp. 149~154, 1972
- 7) Fanger, P. O., Breum, N. O. and Jerking, E.: Can Colour and Noise Influence Man's Thermal Comfort?, Ergonomics, Vol 20, No. 1, pp. 11~18, 1977
- 8) 大野秀夫, 久野覚, 木田光郎, 中原信生: 居住者の温冷感覚に及ぼす温熱環境と色彩環境の複合効果に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第374号, pp. 8~18, 1987
- 9) Berry, P. C.: Effect of Colored Illumination upon Perceived Temperature, Journal of Applied Psychology, Vol 45, No. 4, pp. 248~250, 1961
- 10) Greene, T. C. and Bell, P. A.: Additional Considerations Concerning the Effect of 'Warm' and 'Cool' Wall Colours on Energy Conservation, Ergonomics, Vol 23, No. 10, pp. 949~954, 1980
- 11) 堀越哲美, 南野脩, 磯田憲生, 小林陽太郎: 人工気候室内における温熱条件と人体側条件の人体影響に関する実験的研究, 日本建築学会論文報告集, 第229号, pp. 129~139, 1975
- 12) Honkoshi, T. and Kobayashi, Y.: Configuration Factors between a Rectangular Solid as a Model of the Human Body and Rectangular Planes, for Evaluation of the Influence of Thermal Radiation on the Human Body II. Characteristics of Configuration Factors for the Rectangular Solids, 日本建築学会計画系論文報告集第267号 pp. 91~101, 1978
- 13) Hardy, J. D. and DuBois, E. F.: The Technic of Measuring Radiation and Convection, Journal of Nutrition, Vol 15, No. 5, pp. 461~475, 1938
- 14) 堀越哲美, 磯田憲生, 小林陽太郎: 風洞内温熱環境条件の人体に及ぼす影響に関する実験的研究(男子裸体) その2 夏期平均皮膚温と温冷感申告, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp. 27~30, 1974
- 15) 杉本賢: 照明環境要素の生体への影響に関する研究・照度と生理負担の関係(その2)・照明学会誌, 第65巻, 第4号, pp. 41~45, 1981
- 16) 堀江悟郎, 桜井美政, 松原斎樹, 野口太郎: 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報告集, 第387号, pp. 1~7, 1988
- 17) 志村欣一, 堀越哲美, 山岸明浩: 日本人を対象とした室内温湿度条件の至適域に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第480号, pp. 15~24, 1996
- 18) Obara, K.: Fluorescent Home Lighting in Japan, International Lighting Review, No. 2, pp. 38~41, 1980

#### 本論文に関する既発表論文

- 1) 伊藤芳男, 石井仁, 宮本征一, 堀越哲美: 気温と照度が人体生理心理反応に及ぼす複合的影響~光源を白熱電球とした場合~, 日本建築学会東海支部研究報告集, pp. 525~528, 1996
- 2) 石井仁, 堀越哲美: 光・熱環境要因が人体生理心理反応に及ぼす複合的影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 849~850, 1996
- 3) 石井仁, 堀越哲美, 尹仁: 光・熱環境要因が人体生理心理反応に及ぼす複合的影響その2 曝露開始時における心理反応の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 763~764, 1997

(1998年5月10日原稿受理, 1998年9月29日採用決定)