

## N0. 310 照明環境要因が人間の温熱感覚に与える影響に関する基礎的研究

- 特異的な温熱感覚と非特異的な温熱感覚の違いについて -

藏澄研究室（建築・住居分野）A22AB101 中山琴未 A22AB123 牧野里帆

A22AB128 水野雅 A22AB130 宮本実咲

合わせは快適性や作業効率に関与する。また、個人差や環境要因により影響の程度は異なる。色温度の調整によって空調負荷を軽

### 1. はじめに

近年、地球温暖化や都市化の進行により、ヒートアイランド現象の拡大や平均気温の上昇が顕著となっている。これらの環境変化は生態系の変動や海面上昇を引き起こし、人間の健康や生活環境にも深刻な影響を及ぼしている。このような背景から、環境負荷を抑えつつ快適性を維持できる空間設計の重要性が高まっている。

上述の快適な居住・作業環境の実現に向けて、温熱環境に関する研究が数多く行われてきた。Fanger (1970) が提唱した PMV(Predicted Mean Vote) 理論では、温度・湿度・気流などの要素が人体の熱収支や温冷感に及ぼす影響が体系的に示されている。また、磯田(1975)らは、温熱環境下での生理的反応を分析し、人体の平均皮膚温の変化が快適感と密接に関係することを明らかにしている。これらの研究から、温熱環境の人体への最適化が快適性の向上や作業効率の改善に寄与することが示唆されている。一方で、居住・作業環境における快適性は温熱要因だけでなく、視覚的要因にも大きく左右されることが知られている。その中でも照明環境は、人間の心理的・生理的反応に影響を与える重要な要素として位置づけられている。照明環境に関しては、Kruithof(1941)が色温度と照度の関係に基づく「快適照明範囲」を示し、光色と明るさの組み合わせが心理的印象に影響することを報告している。その後、Boyce(1973)は照明の質が視覚快適性や作業効率に及ぼす影響を明らかにし、照度や光色が覚醒度・集中力に関連することを示した。また、Noguchi et al. (1999)は光の色温度が心理的安定性や快適性に及ぼす影響を実験的に検討している。これらの知見は、照度や光色が単なる視覚的要因にとどまらず、人間の感情や生理反応に多面的な影響を与えることを示している。光色や演色性は視覚印象だけでなく、温熱感覚、快適性、集中力、感情、生理反応などに多面的な影響を与える。一般に、暖色は温かく、寒色は冷たく感じられ、色温度や照度の組み

減する省エネ効果も期待され、照明の自動制御や個別調整が可能な環境が重要視されている。しかし、光の影響と他の要因との因果関係は未だ明確でない点が課題とされている。そこで、本研究の目的は、室温・色温度・照度の複合的な環境条件が人体の温冷感や快適性に与える生理的・心理的影響を明らかにし、照明環境の調整によって空調負荷を軽減できる可能性を明らかにすることである。特に視覚刺激が温熱感覚に影響する Hue-Heat Hypothesis や Kruithof (1941) の快適領域の理論を踏まえ、照明の色温度・照度の組み合わせが快適性にどのように寄与するかを分析した。照明設計の工夫によって空調エネルギーの使用を抑えつつ快適な室内環境を実現するための知見を提供し、今後の環境配慮型建築設計に資する新たなアプローチを提案するものである。

### 2. 実験計画

照明環境と温熱環境が人体に及ぼす影響を明らかにするために実施した実験の方法、設定条件、測定項目について述べる。本実験は、気温が 28 °C 条件の被験者実験は 2023 年の 7 月から 9 月と 2024 年の 6 月から 8 月に実施した。また、気温が 30 °C 条件の被験者実験は、2024 年の 6 月から 9 月に実施した。

#### 2.1 実験空間

実験は、図 1 の実験室で図 2 のような位置関係で行った。視覚刺激への影響をできるだけ少なくするために実験室内の色相は白色とした。実験室構成面には、白色の薄手の布地で被われ、気温と実験室構成面が均一温度になるようにされている。

照度と色温度の調節は、実験室の天井部分に設置した LED 灯 (BYLH: FC-ZCIL-XX60, 50 W, 4750 lm, 2700-6500 K) を使用し、

水平面法線照度と相関色温度を調節する方法にて実験を行った。

## 2.2 設定温熱環境条件

設定温熱環境条件は、室温が 28 °C と 30 °C、風速と相対湿度

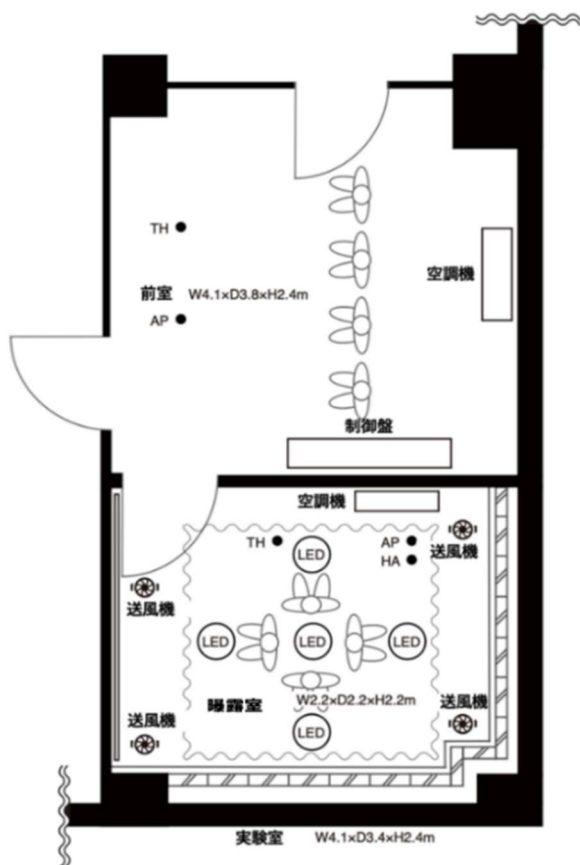


図1 実験室



図2 実験の様子

が 0.2 m/s 以下の静穏な気流、50 %RH とした。

## 2.3 設定視覚環境条件

視覚環境刺激を図3に示す。設定視覚環境条件には、LED 照明装置が安定的に制御できる照度と色温度を予備実験で探索した結

果に基づいて決定した。照度は100-3000 lx 程度までの範囲で制御が可能であった6段階とした。色温度は2800-5200 K 程度までの範囲で制御が可能であった5段階とした。照度は、照明設備の制御範囲となる100 lx と250 lx、900 lx、1700 lx、2300 lx、2900 lx 程度の6条件とした。そして、色温度は照明設備の制御範囲となる2800 K と3200 K、3800 K、4200 K、5200 K 程度の5

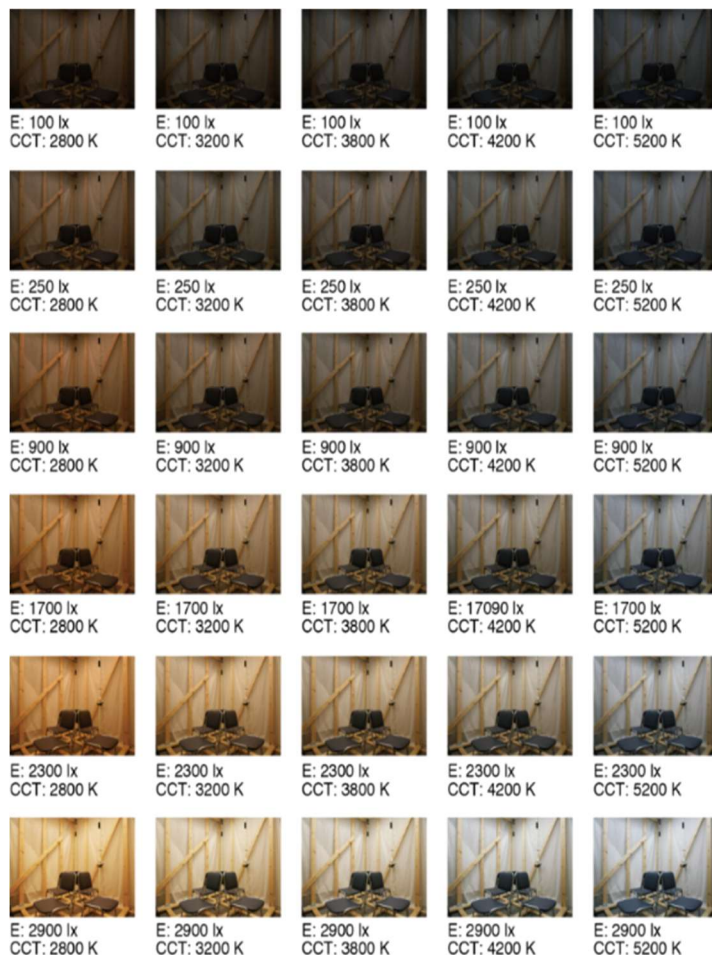


図3 視覚環境刺激

条件とした。

## 2.4 被験者

被験者は、気温段階が 28 °C の場合が健康な成人女性 22 名、気温段階が 30 °C の場合が健康な成人女性 16 名となった。被験者の身体データを表1に示す。身長は  $159.5 \pm 3.2$  cm、体重は  $49.5 \pm 4.4$  kg、体表面積は  $1.50 \pm 0.07$  m<sup>2</sup>、Body Mass Index は  $19.4 \pm 1.4$  であった。人体の体表面積の算出には、藏澄(2003)らによって算出式の有効性が検証されている藏澄(1994)らの体表面積算出式を用いた。いずれの被験者とも特異な体格ではなく、

Body Mass Index からみた被験者の体型は標準型であった。また、被験者の着衣は、T シャツと短パン、パンティ、ブラトップのみの軽装とした。

## 2.5 実験手順

実験手順を図4に示す。被験者は、最初設定温熱環境条件と同一の気温と相対湿度、壁温と気温とが等しく制御された静穏な前室に、室内照明装置を消した水平面法線照度が測定機器(黄色照度計 Illuminance Meter CL-70F(Konica Minolta: 380-780 nm, 200000 lx, 1563-100000 K,  $\pm 5\% \pm 1\text{digit}$ ))の測定限界値以下となる視覚環境で椅座位の姿勢で安静状態を保った状態で滞在し

表1 被験者の身体的特徴

被験者	性別	年齢	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m <sup>2</sup> )	BMI	出身
OM	女性	20	157.0	45.7	1.44	18.5	三重
KM	女性	20	161.8	46.8	1.49	17.9	愛知
IH	女性	20	161.9	50.2	1.58	19.2	愛知
OR	女性	20	156.7	50.8	1.49	20.5	三重
IY	女性	20	154.9	45.7	1.43	19.0	愛知
KY	女性	20	156.3	41.4	1.38	16.9	愛知
SN	女性	20	161.0	47.1	1.48	18.2	愛知
IN	女性	21	161.3	50.2	1.52	19.3	三重
NK	女性	21	156.0	48.8	1.47	20.1	愛知
YK	女性	21	165.1	52.5	1.57	19.3	福井
TR	女性	21	155.5	50.7	1.49	21.0	愛知
YH	女性	22	164.3	58.2	1.68	21.6	愛知
MX	女性	22	154.3	53.3	1.51	22.4	愛知
YM	女性	22	156.6	43.2	1.41	17.6	愛知
RS	女性	21	156.0	50.3	1.49	20.7	岐阜
AM	女性	22	155.0	44.5	1.41	18.5	愛知
MT	女性	22	151.1	45.6	1.40	20.0	愛知
RM	女性	21	164.0	60.2	1.65	22.4	愛知
RI	女性	20	163.2	54.8	1.59	20.6	愛知
MS	女性	20	161.7	44.7	1.46	17.1	愛知
KO	女性	21	161.2	52.6	1.55	20.2	三重
MY	女性	20	160.1	53.4	1.55	20.8	岐阜



B-area is the calculated body surface area by Kurazumi's formula.

$S=100.315 W^{0.7383} H^{0.6662}$  (Kurazumi et al., 1994)

S: Body surface area [m<sup>2</sup>], W: Weight [kg], H: Height [cm]

BMI is Body Mass Index.

Native place is life region from birth to 2.5 years old time

た。その後、被験者は環境曝露室に素早く移動し、指定の位置に着座した。1つの実験条件には少なくとも120分以上の時間を要し、視覚環境刺激の呈示は、コントロール視覚環境刺激が30分と設定視覚環境刺激が30分の60分間とした。被験者は視覚環境刺激が呈示された60分後から心理感覚の申告を行った。なお、視覚環境刺激の呈示はランダムに行った。

人体条件として皮膚温と熱的な全身温冷感、熱的な全身快適

感、視覚的な全身温冷感、視覚的な全身快適感を測定した。

皮膚温は、頭部と軀幹部、腕部、手部、大腿部、下腿部、足部、床面との接触部の足底部の8箇所の各皮膚温をサーミスタ温度計(日機装サーモ: N542R データロガー, 測定範囲-50~230 °C, 分解能 0.01 °Cと日機装サーモ: 体表用表面型プローブ ITP8391)で測定間隔30秒こて測定した。皮膚温用の表面温度センサーの人体への貼付は、透湿性に優れた医療用のサージカルテープ(NICHIBAN: NICHIBAN SURGICAL TAPE-21N)を用いた。

熱的な全身温冷感と熱的な全身快適感、視覚的な全身温冷感、視覚的な全身快適感とは、直線標定尺度(Horikoshi et al, 1991)を用い視覚環境条件への曝露終了後に測定した。熱的と視覚的な全身温冷感については『暑い』と『寒い』、そして、熱的と視覚的な全身快適感については『快適』と『不快』の方向のみが与えられている。それぞれ、『寒い』と『快適』側の端点を0、『暑い』と『不快』側の端点を100という任意数値を与えて申告値を読み取った。

## 3. 実験結果

### 3.1 温熱環境条件と視覚環境条件

温熱環境条件の実測結果は、気温段階が30 °Cの場合、気温は設定値に対して最大で0.2 °Cの偏差となっていた。壁表面温度と気温はほぼ同一であった。相対湿度は設定値に対して最大で5.0 %の偏差、風速は最大で0.06 m/sの偏差となっていた。したがって、気温と壁表面温度がほぼ等しい均質な温熱環境が維持できたと考えられる。

気温段階が28 °Cの場合、気温は設定値に対して最大で0.3 °Cの偏差となっていた。壁表面温度と気温はほぼ同一であった。相対湿度は設定値に対して最大で4.2 %の偏差、風速は最大で0.05 m/sの偏差となっていた。したがって、気温と壁表面温度がほぼ等しい均質な温熱環境が維持できたと考えられる。

いずれの温度段階においても、空間の均質性を評価する作用温度は設定値に対して最大で0.3 °Cの偏差となっていたが、その変動は $\pm 0.0$  °C以内であった。以上の結果より、温熱環境条件は全実験を通してほぼ安定した定常状態が維持されていたと考えられる。したがって、いずれの気温段階においても、環境と人体との間の熱収支のバランスは保たれていたといえる。よって、同一の温熱環境条件における人体反応の差は、視覚環境条件の影響によるものが大きいと推察される。

視覚環境条件の実測結果については、照明設備と人体の位置関

係、曝露空間表面の反射率、照度と色温度の干渉などの影響によりばらつきが見られた。さらに、実験装置として使用したLED照明装置では、制御範囲の境界付近となる出力値においてばらつきが大きくなった。したがって、以後の考察では、人体反応を被験者の着座位置における物理環境の実測結果との関係から解析した。

### 3.2 平均皮膚温

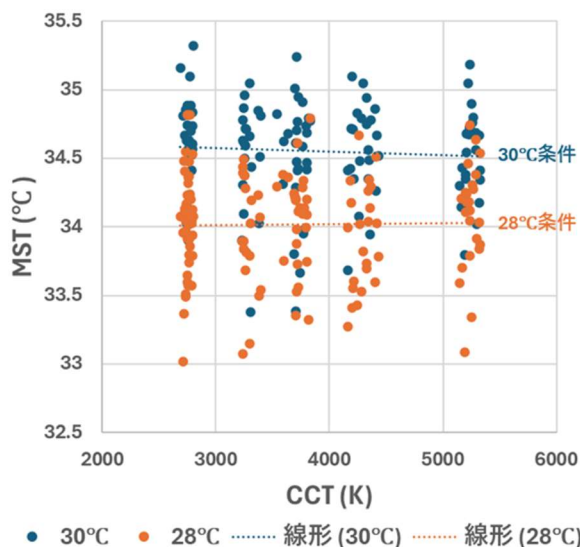


図5 相関色温度と平均皮膚温の関係。CCT: Correlated Color Temperature(相関色温度). MST: Mean Skin Temperature(平均皮膚温)。

図5に相関色温度と平均皮膚温との関係を示す。気温28℃に着目すると、回帰式の回帰係数の有意性をANOVAで検定した結果( $p=0.13$ )は $p>0.10$ となり、傾きは有効でないと判断された。水平面法線照度の回帰線の平行性検定( $p<0.01$ )および同質性検定( $p<0.01$ )では、いずれも $p<0.10$ となり有意差が示された。

Tukey-Kramer法による多重比較では、照度250 lxと2900 lx間で $p<0.01$ となり有意差が認められたが、他の照度条件間では有意差はなかった。また、色温度と照度の交互作用をANOVAで検定した結果( $p=0.92$ )は $p>0.10$ であり、平均皮膚温はほぼ一定であった。したがって、気温28℃では平均皮膚温は34.0℃で一定とみなせる。

気温30℃では、回帰係数の有意性検定結果( $p=0.48$ )が $p>0.10$ であり、傾きは有効でなかった。平行性検定( $p=0.77$ )も同様に有意差はみられなかった。いずれの相関色温度段階でも、非特異的な視覚的快適感の評価値は快適から不快まで広く分布し、相関色

温度が高くなっても顕著な変化はみられなかった。相関色温度の影響を気温段階別に回帰分析した結果、相関色温度の効果( $p=0.90$ )は有意でなく、気温段階の効果( $p=0.02$ )は有意差を示した。また、相関色温度と気温段階の交互作用( $p=0.07$ )も有意であり、Tukey-Kramer HSD法による多重比較では、気温30℃と28℃間に有意差( $p<0.10$ )が認められた。

以上より、気温28℃のような中立的温熱環境では相関色温度の影響はみられないが、やや不快とされる30℃条件では、相関色温度が高いほど快適感を高める効果が示唆された。

### 3.3 熱的温冷感

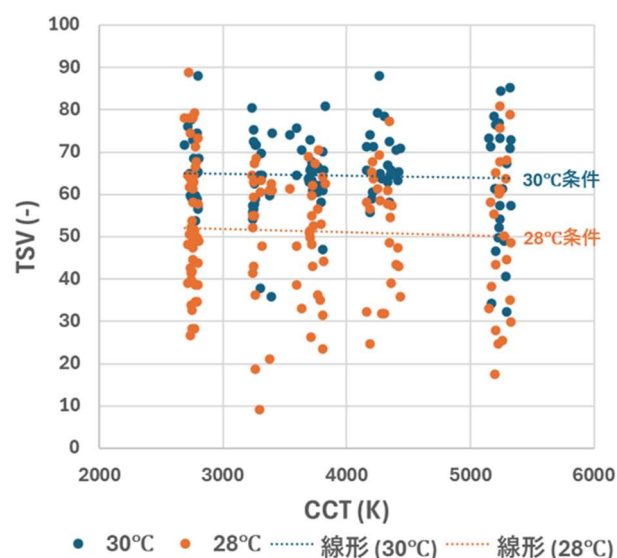


図6 相関色温度と熱的温冷感の関係。CCT: Correlated Color Temperature(相関色温度). TSV: Thermal Sensation Vote(熱的温冷感)。

図6に相関色温度と熱的温冷感との関係を示す。相関色温度段階ごとの熱的温冷感には大きなばらつきがみられ、被験者による感じ方の差が示唆された。また、熱的温冷感の分布から、気温段階が高くなるほど「より暖かい」と感じる傾向がみられた。気温段階別に水平面法線照度の回帰線に着目すると、気温が高いほど熱的温冷感は暖かい側にシフトする傾向を示した。

回帰線の平行性検定( $p<0.01$ )および同質性検定( $p<0.01$ )ではいずれも $p<0.10$ となり、有意な差が認められた。Tukey-Kramer法による多重比較の結果も、すべての気温段階間で有意差( $p<0.10$ )が確認され、特に28℃と30℃間で有意な差が示された。したがって、気温段階による熱的温冷感の違いが明らかとなった。



気温 28 °C における色温度と熱的温冷感の関係を検討した。平行性検定 ( $p < 0.01$ ) は  $p < 0.10$  で有意差が認められた。Tukey-Kramer 法による多重比較では、照度 900 lx と 250 lx、1700 lx、2300 lx、2900 lx との間に有意差 ( $p < 0.10$ ) がみられた。一方、同質性検定 ( $p = 1.00$ ) は  $p > 0.10$  で有意差はなく、他の多重比較結果も有意差はなかった。

気温 30 °C では、平行性検定 ( $p < 0.01$ ) が  $p < 0.10$  で有意差が示され、多重比較では照度 900 lx と 100 lx、2300 lx、2900 lx との間に有意差 ( $p < 0.10$ ) が認められた。同質性検定 ( $p < 0.01$ ) でも  $p < 0.10$  で有意差があり、多重比較では照度 900 lx と 2300 lx 間に有意差が示された。視覚環境刺激としての水平面法線照度に着目すると、高照度条件 (2300 lx および 2900 lx) では、相関色温度が高くなるほど熱的温冷感がやや上昇し、暖かさを感じる傾向が示された。一方、その他の照度段階では、相関色温度が高いほど熱的温冷感がやや低下し、涼しさを感じる傾向がみられた。平行性検定 ( $p = 0.05$ ) および同質性検定 ( $p = 0.06$ ) はいずれも  $p < 0.10$  で有意差があり、多重比較では照度 100 lx と 900 lx、250 lx と 1700 lx、900 lx と 1700 lx、また 900 lx と 2300 lx および 2900 lx との間に有意差 ( $p < 0.10$ ) が認められた。

以上より、相関色温度が 5000 K を超えると涼しさを、3300 K 以下では暖かさを感じる傾向が示された。

### 3.4 熱的快適性

図 7 に相関色温度と熱的快適感との関係を示す。相関色温度段階ごとの熱的快適感には大きなばらつきがみられ、被験者間で評価に差があることが示された。熱的快適感の分布からは、気温段階が高くなるにつれて不快度が強まる傾向が確認された。気温段階別に水平面法線照度の回帰線をみると、全体として気温が高いほど熱的快適感は低下し、不快側に移行する傾向を示した。回帰線の平行性検定 ( $p < 0.01$ ) および同質性検定 ( $p < 0.01$ ) はいずれも  $p < 0.10$  となり有意な差が認められた。Tukey-Kramer 法による多重比較の結果も、すべての気温段階間で有意差 ( $p < 0.10$ ) が示され、特に 28 °C と 30 °C の間で有意差が確認された。以上より、気温段階による熱的快適感の違いが明らかとなった。

気温段階別に相関色温度と熱的快適感の関係を検討した。気温 28 °C では、平行性検定 ( $p = 1.00$ ) および同質性検定 ( $p = 1.00$ ) とも  $p > 0.10$  で有意差はなく、Tukey-Kramer 法による多重比較でも有意差は認められなかった。一方、気温 30 °C では、平行性検定 ( $p = 0.01$ ) により  $p < 0.10$  で有意差が示され、多重比較の結果、照

度 250 lx と 900 lx、900 lx と 2300 lx との間に有意差 ( $p < 0.10$ ) が認められた。同質性検定 ( $p = 0.01$ ) も  $p < 0.10$  で有意差があり、Tukey-Kramer 法による多重比較では照度 900 lx と 2300 lx、250 lx と 2300 lx との間に有意差 ( $p < 0.10$ ) が示された。

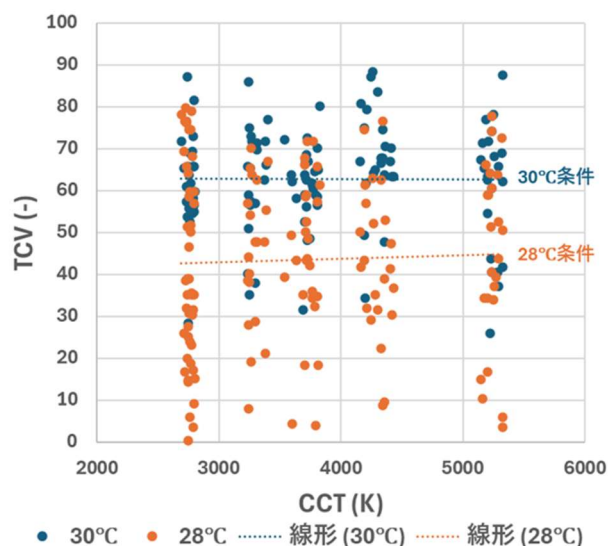


図 7 相関色温度と熱的快適感の関係。CCT: Correlated Color Temperature (相関色温度)。TCV: Thermal Comfort Vote (熱的快適感)。

### 3.5 視覚的温冷感

図 8 に相関色温度と視覚的温冷感との関係を示す。いずれの相関色温度段階においても、人体と周囲環境の熱授受に特化するのではなく、空間の印象評価としての非特異的な視覚的温冷感は、涼しいから暖かいまで広範に分布している。相関色温度が高くなると、視覚的温冷感は低下し涼しさが強まる傾向がみられた。設定気温段階別に回帰分析を行った結果、相関色温度の効果 ( $p < 0.01$ ) は  $p < 0.10$  で有意とされ、視覚的温冷感に影響があることが示された。また、気温段階の効果 ( $p < 0.01$ ) も  $p < 0.10$  で有意であったが、相関色温度と気温段階の交互作用 ( $p = 0.94$ ) は  $p > 0.10$  で有意ではなかった。Tukey-Kramer HSD 法による多重比較では、気温 30 °C と 28 °C 間で有意差 ( $p < 0.10$ ) が認められた。したがって、中立温冷感が得られる 28 °C よりやや高い温熱環境では、視覚的温冷感をより暖かく感じさせる影響があると考えられる。

水平面法線照度段階に着目すると、照度が高くなるほど視覚的温冷感はやや低下し、涼しさが強まる傾向がみられた。設定気温段階別に回帰分析した結果、水平面法線照度の効果( $p=0.03$ )は $p<0.10$ で有意であり、視覚的温冷感に影響することが示された。気温段階の効果( $p<0.01$ )も有意であったが、照度と気温段階の交互作用( $p=0.72$ )は有意ではなかった。多重比較では、気温 $30^{\circ}\text{C}$ と $28^{\circ}\text{C}$ 、および $26^{\circ}\text{C}$ との間で有意差( $p<0.10$ )が確認された。

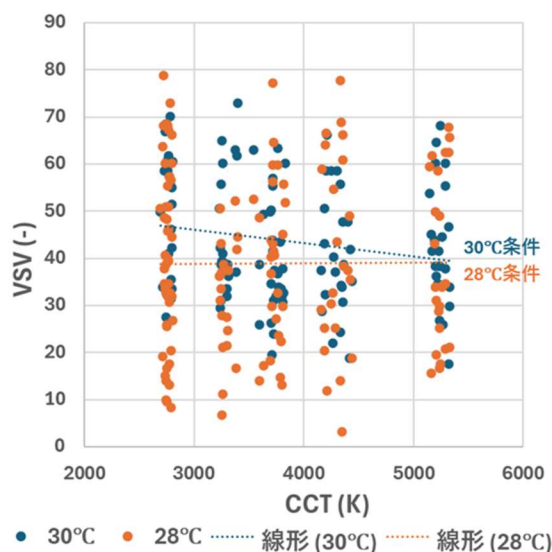


図8 相関色温度と視覚的な温冷感との関係。VSV: Visual Sensation Vote(視覚的温冷感).CCT: Correlated Color Temperature(相関色温度)。

### 3.6 視覚的快適性

図9に相関色温度と視覚的快適感との関係を示す。いずれの相関色温度段階においても、人体と周囲環境の熱受容に特化するのではなく、空間の印象評価としての非特異的視覚的快適感、快適から不快まで広範に分布していた。相関色温度が高くなっても、視覚的快適感の評価値に顕著な変化はみられなかった。

設定気温段階別に回帰分析を行った結果、相関色温度の効果( $p=0.90$ )は $p>0.10$ で有意ではなく、視覚的快適感への影響は認められなかった。一方、気温段階の効果( $p=0.02$ )は $p<0.10$ で有意であり、相関色温度と気温段階の交互作用( $p=0.07$ )も $p<0.10$ で有意とされ、 $30^{\circ}\text{C}$ と $28^{\circ}\text{C}$ 間では有意差( $p<0.10$ )が認められた。したがって、 $28^{\circ}\text{C}$ よりやや低い温熱環境では相関色温度の影響は小さいが、 $28^{\circ}\text{C}$ よりやや高い $30^{\circ}\text{C}$ では相関色温度が高いと快適感を強める傾向が示唆された。

水平面法線照度段階に着目すると、照度が高くなるほど視覚的快適感はずかしく低下し、快適さが強まる傾向がみられた。設定気温段階別に回帰分析した結果、水平面法線照度の効果( $p<0.01$ )および気温段階の効果( $p=0.01$ )は $p<0.10$ で有意であったが、照度と気温段階の交互作用( $p=0.79$ )は有意ではなかった。多重比較では、気温 $30^{\circ}\text{C}$ の場合に $28^{\circ}\text{C}$ と $26^{\circ}\text{C}$ の間で有意差( $p<0.10$ )が確認された。

以上より、温熱環境と照明環境を統合的に考慮することが、快適性の向上や省エネルギーの観点から重要であると考えられる。

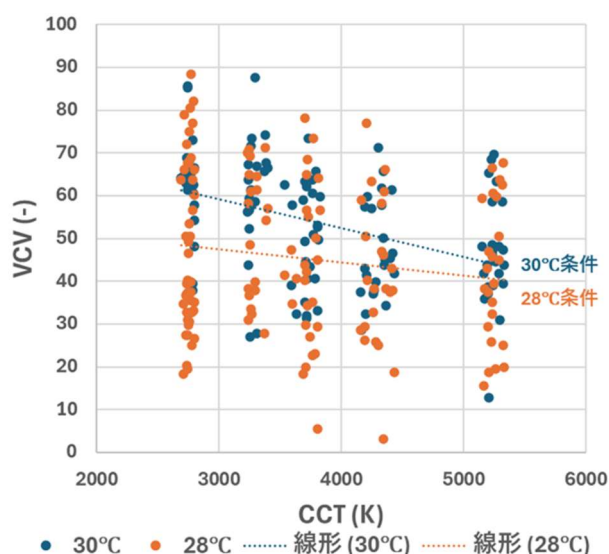


図9 相関色温度と視覚的な快適感の関係。CCT: Correlated Color Temperature(相関色温度). VCV: Visual Comfort Vote(視覚的快適感)。

## 4. 考察

### 4.1 熱的温冷感と視覚的温冷感の関係

熱的な温冷感と視覚的な温冷感の関係を図10に示す。全般的な傾向として、熱的な温冷感が高くなると視覚的な温冷感も高くなり、暖かさの感覚が強くなることが示された。ただし、申告値の分布をみると、熱的温冷感の方がより強く暖かさを出す傾向がある。熱的にやや暖かい環境からやや涼しいと感じる温熱環境では、視覚的な受容から喚起される高度な大脳処理となる空間の印象評価の温冷感を緩和させる効果が示されている。

したがって、照明設備の制御値が高度な大脳処理となる空間の印象評価の視覚的な温冷感に大きな偏差を与える可能性があると考えられる。また、熱的な温冷感よりも高度な大脳処理となる空間の印象評価の覚的な温冷感、視覚環境刺激の影響を受けやす

いといえる。やや暖かい温熱環境では、高度な大脳処理となる空間の印象評価の総合的な温冷感、相関色温度を 3800 K 以上にすると涼しさを助長すると考えられる。やや涼しい温熱環境では、高度な大脳処理となる空間の印象評価の視覚的な温冷感、相関色温度を 4200 K 以上にすると涼しさを助長するといえる。加えて、やや暖かい環境ではその効果が顕著となると考えられる。相関色温度が低い 2800 K と 3300 K では、熱的反応から喚起される影響の温冷感と高度な大脳処理となる空間の印象評価の視覚的な温冷感は、ほぼ相違が認められない。

石井と堀越(1999)やPicco et al. (2024)のこれまでの研究では、極端な色光条件や温熱環境下で相関色温度が温熱感に影響を及ぼすことが報告されてきたが、定常的かつ中庸な温熱環境条件においても、照明の相関色温度が人体の温冷感に影響を与えることを示した。したがって、視覚環境の設定は単に照度を確保するだけでなく、熱的快適性の形成にも寄与し得ることが示唆され、照明設計における有効な指針を提供するものといえる。

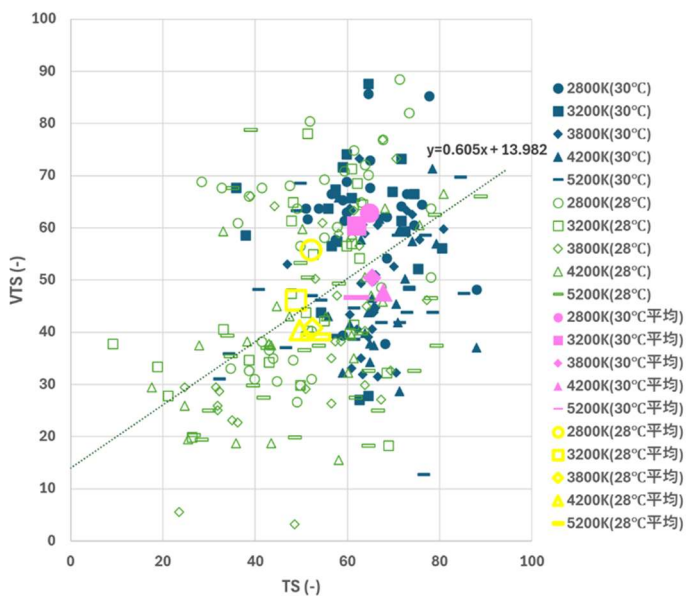


図 10 熱的な温冷感と視覚的な温冷感の関係 TS: Thermal Sensation(温冷感). VTS: Visual Thermal Sensation(視覚的な温冷感)。

#### 4.2 熱的な快適感と視覚的な快適感の関係

熱的な快適感と視覚的な快適感との関係を図 11 に示す。全般的な傾向として、熱的な快適感が快でも不快でもない 50 程度よりも低下し快適感が高くなると、視覚的な快適感を高くなるといいう良好な対応関係が示されている。一方、熱的な快適感が快でも

不快でもない 50 程度よりも高くなり不快感が増す場合には、視覚的な不快感も高くなるが、視覚的な快適感の申告値には大きなバラツキがみられた。

分布密度で検討すると、熱的な快適感と比較して、視覚的な不快感の上昇傾向は低くなることが示された。すなわち、やや暖かい温熱環境では、熱的な快適感と比較して、高度な大脳処理となる空間の印象の視覚的な快適感には、温熱刺激を緩和させる効果があると考えられる。暑くもなく寒くもない快でも不快でもない温熱環境からやや涼しくやや不快な温熱環境では相関色温度が快適感に及ぼす影響は小さいと考えられる。一方、やや暖かく熱的にやや不快と感じる温熱環境では、視覚的な受容から喚起される高度な大脳処理となる空間の印象評価の総合的な快適感を緩和させる効果が認められる。したがって、やや暖かく熱的にやや不快と感じる温熱環境では、視覚環境刺激の授与次第で、物理的な熱刺激を緩和させる可能性があると考えられる。

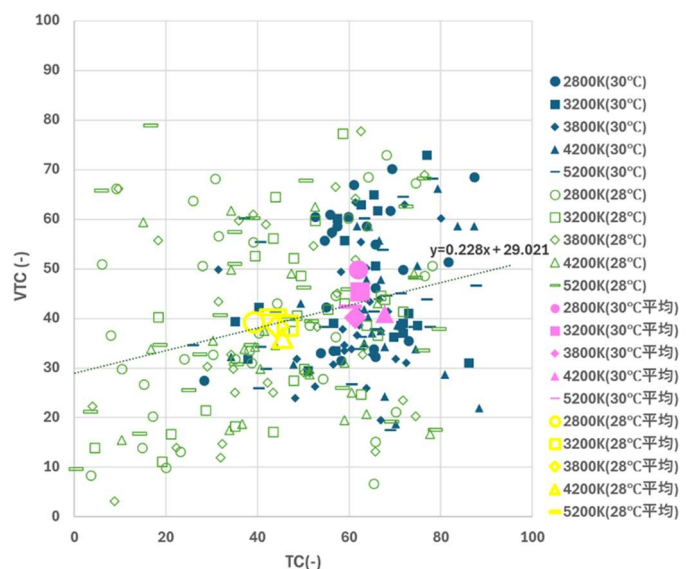


図 11 熱的な快適感と視覚的な快適感との関係 TC: Thermal Comfort (熱的快適感). VTC: Visual Thermal Comfort (視覚的な温冷快適感)。

一方で、非特異的温熱感覚である視覚的な温冷感や視覚的な快適感には、熱的条件が一定であっても相関色温度や照度によって明確に変化した。具体的には、30 °C環境においては2800 K で暖かく、3800 K 以上で涼しく感じられ、照度が高い場合には快適感が増す傾向が示された。

Baniya et al. (2018)やLuo et al. (2023)、Guo ら(2025)の先行研究では、極端な色光条件や温熱環境下で、相関色温度が温熱感覚に影響を及ぼすことが報告されてきた。本研究では、定常

的で中庸な温熱環境においても、相関色温度が視覚的快適感に影響を与える可能性が示された。やや暖かい温熱環境では、照明の色温度や照度を調整することで心理的快適性を高め、物理的な不快感をやわらげられる可能性がある。これは、非特異的温熱感覚が心理的評価に基づき、視覚環境に敏感に反応することを裏付けている。さらに、やや不快な温熱環境においても照明条件の工夫によって快適性を改善できる可能性が示唆され、建築環境や照明設計における実務的意義があると考えられる。

## 5. おわりに

温熱的中立の28℃の温熱環境からやや暖かい30℃の温熱環境にかけての範囲において、光色の相関色温度が心理的温冷感および空間印象評価に影響を及ぼすことが示された。

やや暖かい環境下では相関色温度を3800 K以上に設定することで「涼しさ」の感覚が助長され、やや涼しい環境下では4200 K以上でその傾向が強まった。一方、相関色温度が2800 Kや3300 Kといった低色温度条件では、生理的温冷感と印象評価に基づく温冷感がほぼ一致することが確認された。

光色による相関色温度は心理的温冷感を調整し、空間印象としての温冷感を緩和する効果を有することが明らかとなった。さらに、やや暖かく不快な環境においては、照明条件の違いが心理的快適感を部分的に緩和する可能性が示唆されたが、相関色温度の快適感への影響は温冷感に対する影響よりも小さいことが示された。

## 参考文献

Baniya, R. Tetri, E. Virtanen, J. Halonen, L. : The effect of correlated colour temperature of lighting on thermal sensation and thermal comfort in a simulated indoor workplace. 27. 3, 308-316, 2018.

Boyce, P. : Age illuminance, visual performance and preference. Lightning Research and Technology, 5, 3, 125-141, 1973.

Fanger, O. : Thermal comfort, Analysis and application in environmental engineering, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.

Guo, W. Luo, O. Mangoubi, S. Liu, "Cross-modal interaction between temperature and light

color temperature in reading comprehension," Building and Environment, 274, 112751, 2025.

Horikoshi, T., Kobayashi, Y., Tsuchikawa, T. : Indices of combined and independent effect of thermal environmental variable upon the human body. ASHRAE Transactions, 97, 228-238, 1991.

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, 517, 85-90, 1999.

磯田憲生, 堀越哲美, 小林陽太郎, 池田信己 : 風洞内気流と人体皮膚温との関係に関する実験的研究 (着衣) -中間期・暖房期および冷房期の場合-. 日本建築学会論文報告集, 229, 121-128, 1975.

Kruithof, A. : Philips Technical Review. 6, 3, 65-96, 1941.

久保博子, 磯田憲生, 梁瀬度子 : 温冷感と快適性の季節差に関する実験的研究. 人間と生活環境, 1, 1, 51-57, 1999.

藏澄美仁, 堀越哲美, 土川忠浩, 松原斎樹 : 日本人の体表面積に関する研究. 日本生気象学会雑誌, 31(1), 5-29, 1994.

藏澄美仁, 土川忠浩, 角谷孝一郎, 鳥居孝行, 松原斎樹, 堀越哲美 : 人体の体表面積算出式の適合性の評価. 日本生気象学会雑誌, 39(4), 101-106, 2003.

Luo, W. Kramer, R. Kompier, M. Smolders, K. Kort, Y. Van, W. Lichtenbelt, M. : Personal control of correlated color temperature of light: Effects on thermal comfort, visual comfort, and cognitive performance. Building and Environment 238, 1-13, 2023.

Noguchi, H. Sakaguchi, T. Sato, M. : Physiological Effects of Sudden Change in Illuminance during Dark-Adapted State. Appl Human Sci, 18, 3, 109-114, 1999.

Picco, M. Bernagozzi, M. : An experimental investigation on the effect of lighting colour of localized radiant panel thermal comfort system. Building and Environment 258, 1-11, 2024.