

H-014

オフィスにおける色光の快適性 Comfort of The Color Light in Office

相馬 啓佑†
Keisuke Soma

三木 光範†
Mitsunori Miki

町田 啓悟*
Keigo Machida

間 博人†
Hiroyuki Aida

1. はじめに

近年、オフィスにおける執務者の快適性および知的生産性の向上に注目が集まっている。知的生産性の向上を図る研究は数多く行われており、中でも光環境が知的生産性に影響を与えることがわかってきている¹⁾。

また、現在までに、色光が人に及ぼす影響について様々な研究が行われている。例えば、赤色光は活動性が高く、緊張させる効果がある²⁾。また青色光は赤色光よりも高い覚醒水準を誘発することが報告されている³⁾。我々は色温度が快適性に及ぼす影響について研究を行ってきたが、これらの背景より、本研究では色温度直線からはずれた色光に注目し、照明の照度を一定のまま色度を任意に変更することができるシステムを構築した。これにより、色相ごとに快適な彩度をみつけることが可能となる。

2. 照度一定で任意の色度を実現する照明システム

2.1 構築システムの概要

本研究で開発した照明システムでは赤 (R)、緑 (G)、青 (B) および黄色 (Y) から成るフルカラー LED 照明を用い、照度を一定のまま色度図上の任意の色を実空間に実現するシステムである。色度図上の任意の色とは $L^*a^*b^*$ 色度図の中心から放射線状に伸びる 16 の直線上の点であり、1 つの直線上において等間隔に 8 点ずつの点があり中心の点と合わせて 129 個の点がある。 $L^*a^*b^*$ の色度図上に作成したシステムにより実現可能な色度点を記した図を図 1 に示す。

2.2 色度, 照度シミュレータの作成

照明の色光は、照明光の分光分布より算出することができる。しかし、照明光は、周囲の物体や壁面の反射の過程において、分光分布が変化する。そのため、照明の分光分布のみからでは点灯時の机上面の色度を予測することができない。本研究では照射面の色度を予測するため、物体や壁面からの反射光による分光分布の変化を想定し、照明からセンサに届く光の分光分布を予測するシミュレータの設計を行う。

センサへの到達する光は、照明からの直接光と物体や壁面からの反射光に分けられる。ここで直接光の到達量を ω_s とし、各波長の反射光の到達量を α_i とすると、全体の到達量は $\omega_s + \alpha_i$ と表すことができる。この $\omega_s + \alpha_i$ を重みとして学習することにより、センサ位置における照明光の各波長のエネルギー到達量を予測することができる。これにより、入力を分光分布、出力を色度とする単純パーセプトロンで色度シミュレータを表現可能となる。

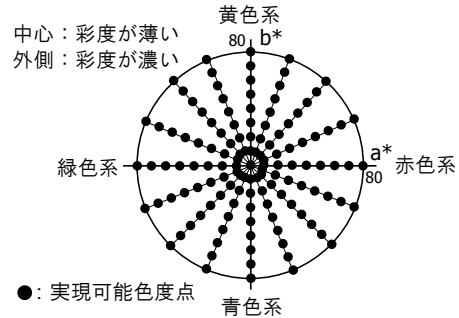


図 1: $L^*a^*b^*$ 色度図と実現可能色度点

重みの学習は、センサで得られる XYZ 値とシミュレータ上で得られる XYZ 値との誤差より行う。誤差を最小化するため、最小二乗法を用いると、重みの学習は (1) 式で表すことができる。

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \rho e(t)w_i(t)C_i x_i(t) \quad (1)$$

i : 波長 ρ : 学習率 C_i : 等色関数
 $e(t)$: 色度誤差 $x_i(t)$: 波長のエネルギー量

また、色度センサで得られる XYZ 値と、シミュレータ上で得られる XYZ 値は縮尺が異なるため、誤差の算出の際には Y 値を基準に両方の値の正規化を行う。この重みの学習を繰り返すことで、シミュレータの精度が向上し、実測値と予測値の誤差を低減することが可能であると考えられる。

また、照度は照明の点灯光度と照明とセンサ位置までの距離より計算する。照明の点灯光度を $x(t)$ とおくと照度は (2) 式で表すことができる。ここで、 $x(t)$ の係数を重み w として、(3) 式に変換すると、色度と同様に、重み w を点灯光度と照度誤差より学習することで、照明の点灯光度より照度の予測を行うことができる。

$$y(t) = 1/m^2 x(t) \quad (2)$$

$$= wx(t) \quad (3)$$

m : 照明と測定点の距離 $x(t)$: 照明光度 w : 重み

2.3 照度一定値での任意の色度値の取得およびユーザインタフェースの作成

先に説明したシステムを用いて目標照度を 500 lx、目標色度を $L^*a^*b^*$ 色度図上で半径 80 の円の範囲で中心から放射線状に伸びる 16 の直線上の色度の RGBY の収束値を求めた。また、1 つの直線上において等間隔に 8 点ずつと中心の点と合わせて 129 個の RGBY 収束値を求めた。人が認識することができない照度の変化は ± 50 lx 以下であり、色差は ± 6.5 以下であるため、本システムではこの範囲を満たす RGBY の値を収束値とした。こ

*同志社大学大学院
†同志社大学理工学部

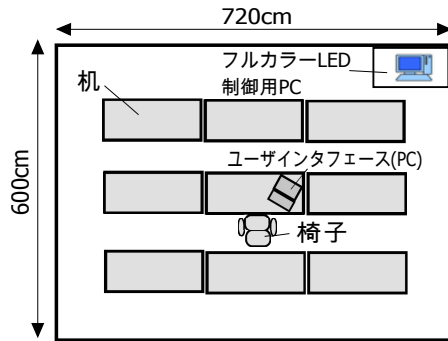


図2: 実験環境

これらの値を記録することで、色度を変更する際にシミュレータによる計算時間を省くことができ、瞬時に色度の変更ができるようになる。また、被験者自身が自由に彩度を変更するためのユーザインタフェースを作成した。

ユーザインタフェースでは色度図上の16本の直線から1つの直線を選択することができ、「濃く」と「薄く」のボタンで0~8の9段階で彩度を調節する。これにより、照度と色相を変えることなく彩度のみを変化することができ、各色相における快適な彩度を計測することができる。

3. 2つの色相における快適彩度測定実験

上記のシステムを用いて、紙面作業においての色相毎の快適な彩度を測定する実験を行った。実験では天井照明としてフルカラーLED照明29灯を用いた。図2に実験環境を示す。机上面照度は500 lxに固定し、黄色及び青色の2つの色相について実験を行った。

被験者は実験開始前に10分間、色度図の中心と同じ光環境である照度500 lx、色温度6000 Kの白色光の中で待機し、次に、ユーザインタフェースを用いて快適な彩度になるまで調節する。被験者はその彩度で5分間待機し、その後再び、快適な彩度になるように調節する。これを3回繰り返し、約15分間の実験を行った。

被験者実験は7人に対して行った。本実験では0段階目を照度500 lx、色温度6000 Kの白色光とし、8段階目をその色相のうちでもっとも彩度の濃い段階とした。黄色の直線では全被験者が1段階目以上の濃さを快適であるとした。青色の直線では7人中4人が0段階目を快適であるとした。また残りの3人は4段階目以上の濃さを快適であるとした。快適な彩度には個人差がみられたが、青色で4段階目以上の濃さを快適としていた3人は、同様に黄色でも4段階目以上を快適としていた。しかし、黄色で4段階以上を快適としていた人が青色で4段階目以上を快適としているとは必ずしも言えない結果になった。また、快適な彩度には大別して、濃い色を好む人と薄い色を好む人の2種類の人が存在すると考えられる結果を得た。

その他に、黄色の色相において快適な色度は5分ごとに濃くなる人、薄くなる人、15分間一定の人の3つのパターンが存在した。図3、図4、図5に彩度の変化を記録した3パターンのグラフをそれぞれ示す。また、グラフ作成に用いたデータは被験者の彩度の変化がわかるように1秒ごとにログデータとして記録したデータであ

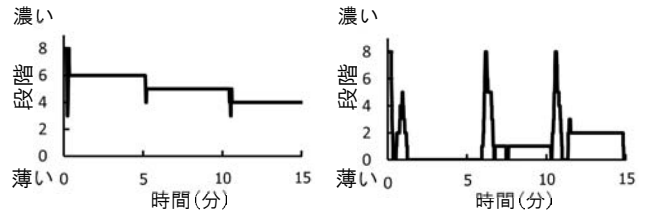


図3: 黄色の快適彩度の変化 (薄くなる) 図4: 黄色の快適彩度の変化 (濃くなる)

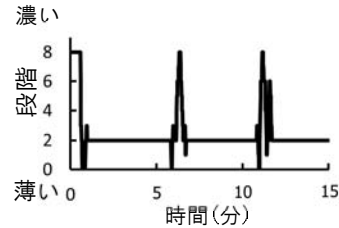


図5: 黄色の快適彩度の変化 (一定)

る。なお、その他の被験者および青色の色相におけるグラフはページ数の関係で記載していない。その他に、青色の光環境では最初の5分間は1段階目を快適彩度と選択したが、それ以降は0段階目を快適彩度と選択した被験者が2人いた。その理由は最初は青の光の清涼感を快適に感じたが、5分経過し彩度を1段階目から0段階目に変更すると黄色がかかった色に感じたことが原因と考えられる。

紙面作業において被験者7人の中に、黄色および青色の両方で0段階目を快適とした人はいなかった。これらの結果より、個人差は大きいと白色光以外の色光が執務環境の快適性を向上する1つの要因となると考えられる。

4. 考察

本研究では色光シミュレータを作成することで、2色の色光の快適性について実験を行った。結果より、さらに色光を増やして実験をすることで、色度図上全体における快適領域を調べることができる。今回行った実験では、短時間の作業であったが、長時間にわたって実験を行うことで、快適な色度が時間ごとに変化した人が一定となる色度を明らかにすることができ、快適色度が変わる人と一定の人の要因を明らかにできると考えられる。また、被験者に対するヒアリングを更に詳細に行うことで、濃い彩度を好む理由と薄い彩度を好む理由を明確にできると思われる。

参考文献

- [1] 大林史明, 富田和宏, 服部揺子, 河内美佐, 下田宏, 石井裕剛, 寺野真明, 吉川榮和: オフィスワークのプロダクティビティ改善のための環境制御法の研究 - 照明制御法の開発と実験的評価 -, ヒューマンインターフェース, 2004.
- [2] 岩切一幸, 綿貫茂喜, 安河内朗, 栃原裕: 光源がその曝露中と曝露後に cnv の早期成分に及ぼす影響, 日本生理人類学会誌, vol.2, no.3, pp.31-37, 1997.
- [3] 郭洋, 百瀬桂子, 齋藤美穂: 色光の生理的・心理的效果に関する研究, 日本色彩学会誌 31(supplement), p20-p21, 2007.