

分光分布特性に基づくメラノピック照度計測手法の基礎検証

前田 侑哉
Yuya MAEDA

1 はじめに

近年、メラノピック照度に注目が集まっている。メラノピック照度は、建築環境を評価する WELL 認証 (米国) 項目の 1 つに採用され、執務者の健康に影響を与えることが知られている。WELL 認証項目は、サーカディアン照明デザインとして、オフィスにおける作業エリア広域に渡ってメラノピック照度を計測する必要がある。また、オフィス環境において、執務者への影響検証として、長時間に渡るメラノピック照度の計測は行われておらず、連続的な計測は確立されていない。

メラノピック照度の計測方法として、分光放射照度計を用いた方法がある。しかし、分光放射計は高価かつ連続的な計測に向いていない。そこで、本研究ではオフィスにおける照明環境において、照明が固有の分光分布を有するという特性を生かし、照度値からメラノピック照度を算出する手法を提案し、有効性の基礎検証を行う。

2 メラノピック照度

2.1 概要

メラノピック照度とは、2014 年に Lucas らによって新たに提唱されたサーカディアンリズムに影響する明るさを定量的に捉える単位である¹⁾。従来の照度とは異なり、網膜上の光感受性神経節細胞である intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells (ipRGCs) に重み付けされた照度である。ipRGCs はメラノプシンと呼ばれる光受容細胞を含み、光刺激に神経応答を行う。その神経応答によって、眠気の誘発を行うメラトニンの分泌が抑制される。メラトニン分泌の抑制は、日中では覚醒度の上昇、夜間では睡眠の妨害に繋がる。

先行研究としては、睡眠前の光環境におけるメラノピック照度の曝露量によって、執務者のメラトニン分泌や睡眠の質への影響が報告され、有用性が検証された²⁾。

2.2 メラノピック照度の算出および計測方法

メラノピック照度の定義に基づいた算出方法を示す。メラノピック照度は、式 (1) に従って算出できる。

$$E_z = K_m \frac{\int E_{e,\lambda}(\lambda) N_z(\lambda) d\lambda \cdot \int V(\lambda) d\lambda}{\int N_z(\lambda) d\lambda} \quad [\text{lx}] \quad (1)$$

E_z : メラノピック照度 [lx],
 K_m : 人間の最大視感度 683.002 [lm/W],
 $V(\lambda)$: 明所視感度関数, $N_z(\lambda)$: 正規化したメラノピック感度曲線,
 $E_{e,\lambda}(\lambda)$: 分光分布

ここで、明所視感度関数 $V(\lambda)$ とは、光の各波長に対する人間が色覚できる度合いを関数として表したものであ

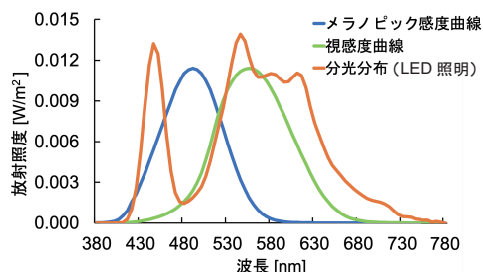


Fig.1 メラノピック感度曲線および分光分布



Fig.2 分光放射照度計

り、555 nm をピーク値とする関数である。メラノプシンへの光感度曲線であるメラノピック感度曲線 $N_z(\lambda)$ を、分光分布 $E_{e,\lambda}(\lambda)$ とともに Fig. 1 に示す。メラノプシンはこの曲線に従った光受容性を有し、各波長における光の放射照度に対して、異なるメラトニン分泌抑制が生じる。

前述のとおり、人間の明所視感度は 555 nm の光 (緑) に対して最大である。その最大値を 1 とした明所視感度関数 $V(\lambda)$ の積分値 $\int V(\lambda) d\lambda = 106.857$ であり、正規化により $\int N_z(\lambda) d\lambda = 1$ と定めると、式 (2) のように簡素化することができる。

$$E_z = 72983.25 \int E_{e,\lambda}(\lambda) N_z(\lambda) d\lambda \quad [\text{lx}] \quad (2)$$

以上から、式 (2) を用いることで、オフィス環境における分光分布を計測することでメラノピック照度を算出できる。

2.3 従来手法によるメラノピック照度の計測

メラノピック照度の計測方法として、分光放射照度計を用いた方法がある。分光放射照度計とは、単位波長における放射照度を計測でき、分光分布を得ることができる。分光分布を計測する手法として、分光放射照度計を用いる方法がある。Fig. 2 に分光放射照度計を示す。しかし、分光放射照度計の性質上、連続計測は容易でなく、また高価であるため、オフィス広域にわたる計測は容易ではない。

3 照明機器に依存する照度と分光分布の関係

一般的に想定される光環境は太陽光、蛍光灯およびLED照明であり、特にオフィス環境においては、LED照明の統一化が進んでいる。照明機器が放出する光は、機器固有の分光分布を有する。そして、光の明るさの単位である照度 [lx] と分光分布には2.2節同様、式(3)の関係がある。

$$E_0 = K_m \int E_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad [lx] \quad (3)$$

E_0 : 照度値 [lx]

$V(\lambda)$ は明所視感度関数であり、Fig. 1 に示す波形に定まっている。また照明機器が特定されている場合、分光分布 $E_{e,\lambda}(\lambda)$ は、一意に定まる。以上の性質から、照明機器を変更しない場合、照度値と分光分布は一对一関係にあるため、照度値を計測することで分光分布を推定できる。

4 分光分布特性に基づく分光分布の推定およびメラノピック照度の算出

3節に示した通り、照明機器を変更しない場合、照度値と分光分布には対応関係がある。よって、ある照明環境において計測した分光分布 $E_{e,\lambda}(\lambda)$ および照度値 E_0 を基準とし、分光分布はピーク波長における放射照度を基準値とした相対分光分布 $E'_{e,\lambda}(\lambda)$ とする。相対分光分布を Fig. 3 に示す。式(4)~式(6)を用いて、照度値から分光分布の推定およびメラノピック照度の算出を行う。

$$E_0 \longleftrightarrow E'_{e,\lambda}(\lambda) \quad (4)$$

$$r = \frac{E}{E_0}, \quad E'_{e,\lambda}(\lambda) = r E'_{e,\lambda}(\lambda) \quad (5)$$

$$E'_z = 72983.25 \int E'_{e,\lambda}(\lambda) N_z(\lambda) d\lambda \quad [lx] \quad (6)$$

E_0 : 基準となる照度値 [lx], E : 計測した照度 [lx], r : 照度比,

$E'_{e,\lambda}(\lambda)$: 基準となる相対分光分布, $E'_{e,\lambda}(\lambda)$: 推定分光分布,

E'_z : 推定メラノピック照度 [lx]

以上から、メラノピック照度の計測を図る照明環境における照度値 E を計測し、基準との比 r を算出し、式(5)のように相対分光分布 $E'_{e,\lambda}(\lambda)$ に乗算することで、分光分布を推定することができる。そして、メラノピック照度の定義式(6)からメラノピック照度を算出することができる。

5 提案手法によるメラノピック照度算出の精度検証

5.1 検証実験の概要

照明固有の分光分布特性を生かした提案手法によるメラノピック照度算出の精度検証を行う。精度検証としては、

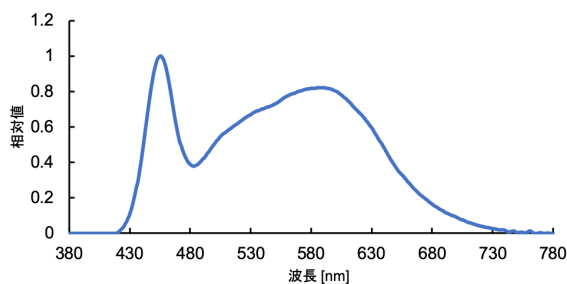


Fig.3 相対分光分布

Table.1 提案手法によるメラノピック照度値と真値

点灯率	100%	80%	60%	40%	20%
提案手法 [lx]	496.69	397.03	293.31	197.70	101.28
真値 [lx]	497.62	397.86	294.39	198.81	102.19
誤差率 [%]	0.19	0.21	0.37	0.56	0.89

照度の計測と同時に分光分布を計測し、4節に示した提案手法に基づいて算出したメラノピック照度と定義に基づいたメラノピック照度(真値)との誤差率を算出する。

本実験では、三菱照明を白色点灯させ、最大点灯を100%とし、20%単位で減少させた80%, 60%, 40%, 20%の合計五パターンに対して計測を行う。なお、LED照明による光の分光分布に対する検証を目的としているため、太陽光の入らない無窓環境を計測対象とし、LED照明のみの影響が存在する環境とした。

5.2 検証実験結果および考察

実験結果として、提案手法によるメラノピック照度値、真値および誤差率を Table. 1 に示す。Table. 1 から、照度からメラノピック照度を算出する提案手法とメラノピック照度(真値)を比較すると、照度変更を行う調光に依存せず、全て誤差率1%未満でメラノピック照度を算出できることがわかる。

本結果から、LED照明を用いたオフィス環境、特に太陽光による影響が低い環境において、一律点灯の場合は照度値から、サーカディアンリズムに沿った調光点灯の場合は、照度値および調光スケジュールが既知であれば照度値からメラノピック照度の算出が可能であることがわかる。

6 今後の研究方針

本研究では、メラノピック照度の計測に従来必要な分光放射照度計を用いず、照度値から分光分布を推定し、メラノピック照度を算出する手法を提案した。本提案により、高価な分光放射照度計を用いることなく、安価な照度計のみでメラノピック照度の計測が実現でき、オフィス全体における計測実験が容易となる。

今後の方針としては、より実オフィスに近い環境としてLED照明だけでなく、太陽光が混合した環境を想定し、同様にメラノピック照度を計測可能性の検証を行う。昼光を考慮した算出方法を実現することで、太陽光による影響に依存しないメラノピック照度の計測が実現でき、オフィス広域において、出勤から退勤までの一貫したメラノピック照度計測が可能となる。そして、実オフィスにおいて執務者が作業する光環境によるメラノピック照度と執務者の健康や快適性との関係性の検証を行う。

参考文献

- 1) Rovert J. Lucas et al.(2014), "Measuring and using light in the melanopsin age," Volume 37, Issue 1, pp.1-9.
- 2) Nowozin Claudia et al.(2017), "Applying Melanopic Lux to Measure Biological Light Effects on Melatonin Suppression and Subjective Sleepiness," Bentham Science Publishers, Volume 14, Number 10, pp.1042-1052(11).