

オフィス環境におけるメラノピック照度簡易推定法の提案

盛 滉佑

Kosuke MORI

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）の評価項目の 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 認証項目では、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。しかし、メラノピック照度の計測に通常用いる分光放射照度計は高価であり、多点計測および簡易計測に向いていない。また、オフィスにおける光環境は人工光と自然光（昼光）が混在する場合があります。昼光の分光分布は時刻や天候など様々な要因によって変動するため、分光分布を一意に定めることはできない。

そこで、昼光の分光分布の変動要因を明らかにすることで、昼光によるメラノピック照度への影響検証を行い、照度とメラノピック照度との関係を定量化することで、容易なメラノピック照度の計測手法を提案する。また、提案手法の有効性の検証のため、オフィス想定環境において精度検証を行う。

2 メラノピック照度

2.1 メラノピック照度の概要

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。

2.2 メラノピック照度の定義に基づいた算出

網膜上の光受容細胞であるメラノプシンは光の波長ごとに光感度が異なる。波長ごとの光感度の度合いを関数に表したものがメラノピック感度曲線 (Fig. 1) である。メラノピック照度の定義により、式 (1) にしたがって、光の単位波長における放射照度およびこの曲線の値から算出することができる¹⁾。

$$E_z = 72983.25 \int E_{e,\lambda}(\lambda) N_z(\lambda) d\lambda \quad [lx] \quad (1)$$

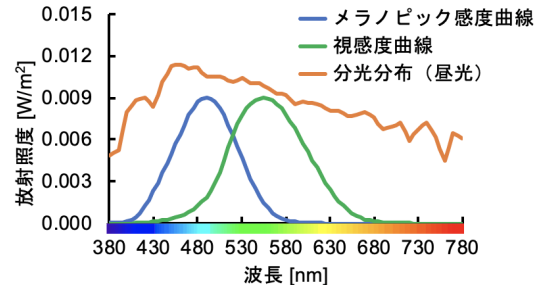


Fig. 1 メラノピック感度曲線および分光分布

ここで、 $E_{e,\lambda}(\lambda)$ は分光分布 (Fig.1) であり、 $N_z(\lambda)$ は正規化したメラノピック感度曲線を指す。以上から、計測を図る環境における執務者に対する曝露光の分光分布を計測するだけで、式 (1) によりメラノピック照度を算出できる。

3 天空条件が及ぼす昼光によるメラノピック照度への影響の検証

3.1 実験概要

先行研究より、昼光の分光分布は様々な変動要因によって変動することがわかっている²⁾。本実験では、昼光によるメラノピック照度と通常照度の関係を分析するため、昼光によるメラノピック照度の割合を表す単位として、照度に対するメラノピック照度の比率（以下、MEL 比率：Melanopic Equivalent Lux 比率）を用いる。

WELL 認証では昼光の MEL 比率は 1.1 と規定している³⁾。しかし、天空条件によって昼光の分光分布が変動すれば、MEL 比率も変動する。したがって、天空条件が昼光の MEL 比率に与える影響を解析できれば、照度のみの計測でより正確なメラノピック照度の推定が可能となる。天空条件によって流動的に MEL 比率を推定するため、実測値に基づき昼光の MEL 比率と天空条件との関係を分析・考察する。

3.2 実験条件および分析手法

本実験は、遮蔽物による計測誤差を低減するため、360 度遮蔽物のない同志社大学有徳館屋上にて、昼光の分光分布の計測を行う。分光分布の計測は地面に水平方向に行い、8 方位の分光分布を 1 時間間隔で計測する。オフィスにおける昼光利用を考慮するため、9 時から 17 時までの合計 9 時間を計測対象とする。

Table 1 晴天における太陽高度と MEL 比率の関係

| 時刻区分 | 太陽方位 | 太陽の逆方位 |
|-------------|-----------|--------|
| 日中 [MEL/lx] | 約 1.0 | 約 1.2 |
| 夕方 [MEL/lx] | 1.0 以下に減少 | 約 1.2 |

Table 2 曇天における太陽高度と MEL 比率の関係

| 太陽高度 | 全 8 方位 |
|-------------|-----------|
| 日中 [MEL/lx] | 約 1.1 |
| 日没 [MEL/lx] | 1.1 以上に増加 |

天空条件と昼光によるメラノピック照度の関係を検証するため、計測データの分析手法として、非階層型クラスタリングアルゴリズムである K-means 法を用いる。特徴量は、各時刻における全 8 方位の MEL 比率を採用し、時刻変化に付随して各方位間の関係性を分析する。複数のシミュレーションの結果より、天空条件の分割に最適なクラス数 K として晴天を 3、曇天を 2 とした。

3.3 検証結果および考察

分析結果として、晴天および曇天における太陽高度と MEL 比率の関係を Table 1, Table 2 にそれぞれ示す。分析結果より、天空条件の変動により一定の区分で MEL 比率は変動する。晴天の日中、太陽方向は MEL 比率約 1.0、太陽の逆方向は MEL 比率約 1.2 で分類でき、夕方以降は太陽方向の MEL 比率は減少する。曇天の日中、方位に依存することなく MEL 比率約 1.1 であり、日没とともに MEL 比率は増加する。したがって、天空条件に関係なく、WELL 認証で規定された MEL 比率 1.1 を一様に用いるのではなく、晴天の終日や曇天の夕方では、天候・太陽高度・計測方位に基づき、推定した MEL 比率を用いることで、より正確なメラノピック照度の推定が可能であるといえる。

4 オフィス想定環境におけるメラノピック照度推定手法の精度検証

4.1 実験概要および実験条件

3.3 節より、天空条件に対して規定した MEL 比率を用いることで、昼光によるメラノピック照度を推定できる。したがって、昼光には天空条件に対応した MEL 比率を、人工光には屋内環境に設置した照明の規定 MEL 比率を利用することで、照度を用いたメラノピック照度の容易な計測が実現する。昼光混在環境におけるメラノピック照度算出手法を式 (2) に示す。室内照明は LED 照明を用い、照度 500 lx、色温度 4000 K に設定し実験を行なった。LED 照明、色温度 4000 K の MEL 比率は WELL 認証における規定値である 0.76 を用いた³⁾。

Table 3 各天候における推定メラノピック照度の誤差率

| 天候 | 晴天 | | | 曇天 | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 窓からの距離 [m] | 2 | 4 | 6 | 2 | 4 | 6 |
| 平均誤差率 [%] | 3.4 | 1.2 | 3.7 | 2.4 | 4.7 | 5.5 |

Table 1, Table 2 に示した MEL 比率を用いることで、室内環境におけるメラノピック照度の推定値を算出し、算出手法の精度を検証する。

$$MEL = L_{LED} R_{LED} + L_{昼光} R_{昼光} \quad (2)$$

L : 計測照度 [lx], R : MEL 比率

4.2 検証実験結果および考察

メラノピック照度の計測誤差として、計測した分光分布から算出したメラノピック照度を真値とし、真値との差の割合を誤差率とした。室内環境におけるメラノピック照度推定平均誤差率を天候別で Table 3 に示す。なお、比較する計測サンプル数は、晴天および曇天の場合それぞれ 12 である。いずれも日中において計測を行なった。

Table 3 から曇天および快晴それぞれにおいて、晴天は平均誤差率 4% 未満、曇天は平均誤差率 6% 未満に抑えてメラノピック照度を推定できた。以上から、昼光混在環境において昼光の変動に依存することなく、メラノピック照度を算出できることがわかる。

5 結論

昼光によるメラノピック照度の計測実験より、天空条件として、天候、時刻、方位に着目し、計測および分析を行うことで、昼光によるメラノピック照度の変動を定量化した。また、天空条件によって規定した MEL 比率を用いることで、昼光混在環境におけるメラノピック照度の推定を可能にした。これにより、晴天および曇天それぞれにおいて、様々な要因により変動する昼光に依存せず、最大誤差率 6% 未満でメラノピック照度を算出できた。昼光混在環境におけるメラノピック照度の推定により、オフィス環境など、光環境の因子が複雑な場合におけるメラノピック照度の算出が容易となり、メラノピック照度曝露量による執務者の影響検証が可能となる。

参考文献

- 1) Lucas, R.J., et al.: Measuring and using light in the melanopsin age, *Trends Neurosci*, Vol.37, No.1, pp.1-9 (2014).
- 2) Seishi Sekine et al.: "Correlated Color Temperature of Daylight(2)," Volume.79, Issue 2, pp.620 (1995)
- 3) The International WELL Building Institute™.: "WELL Building Standard v1," pp.197 (2017)