

天空条件が昼光によるメラノピク照度に与える影響の基礎検証

盛 滉佑
Kosuke MORI

1 はじめに

近年、メラノピク照度に注目が集まっている。メラノピク照度は、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ク照度を計測する必要がある。しかし、メラノピク照度の計測に用いる分光放射照度計は高価かつ連続的な計測に向いておらず、オフィス環境において、執務者への影響検証として、長時間に渡る連続的なメラノピク照度の計測は確立されていない。

そこで、容易に実現可能なメラノピク照度の計測手法として、照度からメラノピク照度を推定する手法に着目する。推定手法ではメラノピク照度を算出するために、計測環境の分光分布が必要となる。しかし、オフィスの光環境には、人工光と昼光が混在する場合がある。昼光の分光分布は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。したがって、昼光が混在する光環境において、メラノピク照度を計測するため、天空条件が昼光に与える影響を定量的に検証する必要がある。

本研究では、昼光が混在する光環境においてメラノピク照度を計測することを目的とし、昼光の分光分布を変動させる要因を明らかにするとともに、昼光によるメラノピク照度への影響を検証する。

2 メラノピク照度

メラノピク照度とは、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。メラノプシンへの光感度曲線であるメラノピク感度曲線を、昼光の分光分布とともに Fig. 1 に示す。分光分布とは、単位波長あたりの放射照度 [W^2/nm] を表したものである。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。

昼光は蛍光灯や LED 照明などの人工光に比べ、放射照度が大きいので、メラノピク照度も大きな値となる。したがって、昼光によるメラノピク照度は、人工光と比べ、執務者に大きな影響を与える。

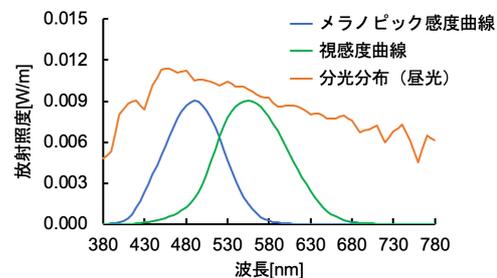


Fig.1 メラノピク感度曲線および分光分布

3 昼光の分光分布

3.1 概要

昼光とは太陽直射光と天空光の総称である。昼光の分光分布を表す光源として、CIE 標準光源 D が国際照明委員会によって定義されている。CIE 標準光源 D は欧州・北欧での観測の統計から規格化された分光分布である。測色用の光および光源の演色性を評価することを目的に昼光を表現し、特に紫外線領域においては様々な要因によって分光分布は変動する。次に、その変動要因に関して述べる。

3.2 昼光の分光分布の変動要因

先行研究より、昼光の分光分布の主な変動要因として、以下が考えられる³⁾。

- 太陽高度と太陽方位から天空要素までの角距離
- 雲量と直射日光の有無
- 大気透過率
- 地表面の分光反射率分布

太陽方位から天空要素までの角距離とは、太陽から計測する天空要素までの角度である。太陽高度と太陽方位は、計測日時と計測緯度・経度をもとに算出し、太陽方位から天空要素までの角距離は、太陽方位に対する計測方位として扱う。雲量と直射日光の有無は、気象庁の定義により、目視にて全天空の観測を行う。全天空に対し雲量 1 以下を晴天、雲量 9 以上を曇天として扱う。

大気透過率とは、大気の状態による太陽光の透過する割合である。一般に大気透過率は大気中の水蒸気量や混濁度に依存するため、計測が容易ではない。また、大気透過率に基づく天空状態の明確な区分はなく、天空条件としての役割は不十分である。したがって、本研究では大気透過率を分光分布の変動要因として考慮しない。

そして、地表面の特徴に関しては、計測地周辺の地表面はコンクリートであり、一般的なオフィス周辺の地表面の特徴と相違はない。したがって、本研究では地表面の分光

反射率分布を分光分布の変動要因として考慮しない。

以上より、本研究では昼光の分光分布に影響を与える天空条件として、太陽高度、太陽方位及び計測方位、天候及び直射日光の有無を扱い、それぞれの要因がメラノピック照度へ与える影響の分析を行う。

4 昼光によるメラノピック照度の検証実験

4.1 実験概要

本実験では、天空条件が昼光によるメラノピック照度に及ぼす影響を分析するため、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 Equivalence Lux 比率）を用いる。2章より、メラノピック照度の値は光環境の分光分布によって変わるため、MEL 比率は光環境によって異なる。すなわち、計測地点の分光分布がすでに分かっている場合、計測地点の照度と MEL 比率を乗算することでメラノピック照度の推定値は算出できる。

参考文献より、WELL 認証では昼光の MEL 比率は 1.1 と規定している²⁾。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、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考察する。

4.2 実験条件

本実験は、遮蔽物による計測誤差を無くするため、360度遮蔽物のない有徳館屋上にて、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向かって行い、1時間間隔で8方位の分光分布を計測する。また、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。

4.3 分析手法

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。

4.4 検証結果および考察

晴天3日の計測データをもとに算出した MEL 比率の平均と分析結果を Fig. 2 に、曇天1日の MEL 比率と分析結果を Fig. 3 に示す。また、時刻毎の計測データ群にクラスタ分析を行なった結果をグラフの背景に示す。計測データは、天空条件の区分に基づき、午前・午後・夕方で3分割できると仮定し、クラスタ数は3とした。なお、晴天3日の計測結果に関しては、計測日時による太陽高度・太陽方位の差を最小限に抑えるため、5日以内に計測を行なった。

晴天における太陽高度と MEL 比率の関係を Table. 1 に、曇天における太陽高度と MEL 比率の関係を Table. 2 に示す。以上の分析結果より、天空条件の変動により一定の区分で MEL 比率は変動する。したがって、WELL 認証で規定されている MEL 比率 1.1 を一様に用いるのではなく、晴天時の終日や曇天時の夕方では、天候・太陽高度・



Fig.2 晴天3日の平均 MEL 比率

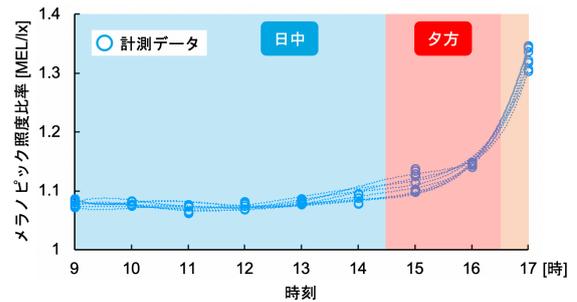


Fig.3 曇天1日の MEL 比率

Table.1 晴天における太陽高度と MEL 比率の関係

太陽高度	太陽方位	太陽の逆方位
20度以上	約 1 [MEL/lx]	約 1.2 [MEL/lx]
20度以下	減少	約 1.2 [MEL/lx]

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
20度以上	約 1.1 [MEL/lx]
20度以下	増加

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考えられる。

5 今後の研究方針

本研究では、天空条件が昼光によるメラノピック照度に及ぼす影響の基礎検証として、晴天6日、曇天2日の計測を行なった。今後の方針としては、計測データの拡充とともに、本研究による分析結果から昼光のメラノピック照度を推定し、実測値との比較検証を行う。分析結果の有効性が確認できれば、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を計測でき、オフィス広域におけるメラノピック照度の計測が容易となる。

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) The International WELL Building Institute™.(2017) "WELL Building Standard v1," pp.197
- 3) Seishi Sekine et al.(1995), "Correlated Color Temperature of Daylight(2)," Volume.79, Issue 2, pp.620