7W-06

マルチスペクトルセンサを用いたウェアラブル型メラノピック照度計測デバイスの提案

前田 侑哉 † 三木 光範 † 坂東 航 ††
† 同志社大学理工学部 †† 同志社大学大学院理工学研究科

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．特に睡眠の質には，執務者が生活する光環境が影響すると言われている一方で，睡眠 1 時間前における照明環境の影響検証しかされておらず，日中の光環境におけるメラノピック照度の計測は行われていない [1].

そこで，本研究では安価なマルチスペクトルセンサを用いた提案手法により，メラノピック照度の計測を容易にする．また，計測デバイスのウェアラブル化により，長時間にわたる執務者のメラノピック照度曝露量の計測を実現する．

2 メラノピック照度の算出および計測方法

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 [2]．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．その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（図 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 [2].

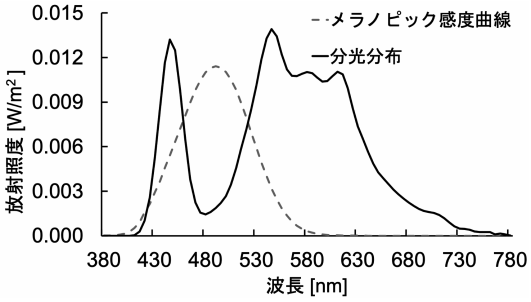

図 1: メラノピック感度曲線

図 2: マルチスペクトルセンサ

$$E_{\mathrm{z}} = 72983.25 \int E_{\mathrm{e},\lambda}(\lambda) N_{\mathrm{z}}(\lambda) d\lambda \ \ [\mathrm{lx}] \qquad (1)$$

ここで，$E_{\mathrm{e},\lambda}(\lambda)$ は分光分布 (図 1) であり，$N_{\mathrm{z}}(\lambda)$ は正規化したメラノピック感度曲線を指す．以上から，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 マルチスペクトルセンサを用いたメラノピック照度計測手法

3.1 提案手法の概要

提案手法では，小型で安価なマルチスペクトルセンサにより，メラノピック照度計測システムを小型化し，ウェアラブルな計測を実現する．これにより，執務者の移動を伴う長時間の計測を可能にする．提案手法で用いるマルチスペクトルセンサ（図 2）は，9×9 mm の大きさに収められた 8 個のフォトダイオードが，それぞれ半値全幅 20 nm の波長バンドアレイを有する．

マルチスペクトルセンサが 8 つの波長バンドアレイで構成するため，受光バンドの間には検知できない波長帯域が存在する．そこで，提案手法では，各バンドでの計測値をスプライン補間により補間する．

また，マルチスペクトルセンサは，受光感度を有する各バンドで光強度を計測し，合計光量を 0〜65535 の数値でディジタル出力する．しかし，メラノピック照度の定義に基づいた算出を実現するためには，2.2 節で述べたように，各波長における放射照度に変換した分光分布が必要である．そこで，ディジタル出力値を放射照度へ単位変換を行うため換算係数を算出する．

A Proposal of Wearable Device for Measuring Melanopic Illuminance by Use of Multi-Spectral Sensors

† Yuya MAEDA (ymaeda@mikilab.doshisha.ac.jp)
† Mitsunori MIKI
†† Wataru BANDO
Department of Science and Engineering, Doshisha University (†)
Graduate School of Science and Engineering, Doshisha University (††)

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.

3.2 換算係数

換算係数は，ディジタル出力値から放射照度への単位変換を行う．提案手法では，同じ光環境において，分光分布を計測する装置である演色照度計の計測値と，マルチスペクトルセンサによる計測値との比によって換算係数を算出する．分光分布は光環境によって異なることから，光環境ごとに換算係数が必要である．本研究では，一般的な生活で想定される光環境が，太陽光，蛍光灯，LED 照明の 3 環境であることから，3 つの光環境での換算係数を作成する．

3.3 計測データにもとづく光環境の推定

長時間にわたるメラノピック照度の計測には，執務者の移動が生じるとともに，計測する光環境も変化する．換算係数は光環境によって異なるため，光環境の変化に換算係数を対応させる必要がある．よって，計測データを基に，光環境の推定が必要である．そこで提案手法では，K-means 法によるクラスタリングにより，光環境の推定を行う．クラスタ数 K は，一般的な生活で想定される光環境が太陽光，蛍光灯および LED 照明の 3 種であることから，K = 3 とする．

本研究では，クラスタリングに要する特徴量として，マルチスペクトルセンサが有する 8 波長バンドの計測値平均と各バンドの計測値の比率を特徴量に採用した．

4 1 日の生活経路におけるメラノピック照度曝露ログの作成および計測精度の検証実験

4.1 実験概要

提案手法による長時間の計測可能性を検証するため，1 日の生活経路におけるメラノピック照度計測実験を行なった．実験は，1 日の生活経路（通学，研究室，自宅）を対象とし，研究室は同志社大学香知館 104 号室である．計測位置は，ウェアラブルな計測のため胸部での計測を採用し，正面方向を受光部とした．計測対象は，午前 9 時から午後 22 時までとし，当日の日没時刻は午後 4 時 57 分，天候は晴れであった．

また，計測結果の有用性検証のため，演色照度計で計測した分光分布から算出したメラノピック照度と比較を行う．演色照度計は，装着したマルチスペクトルセンサと平行の位置で，光環境の変化のたびに計測した．

4.2 光環境推定結果

メラノピック照度曝露ログおよび光環境の推定結果の一例を図 3 に示す．図 3 に示すように，太陽光，蛍光灯，LED 照明の 3 環境がタイムスケジュール沿って，光環境の変化に対応して，光環境の推定ができることが分かった．また，光環境が変化していないにも関わらず，推定結果が実際と異なる点があった．これは蛍光灯や LED 照明など複合的な光環境により，光環境固有の分光分布同士の重ね合わせが生じ，計測した実光環境とは異なる擬似的な分光分布となるからである．

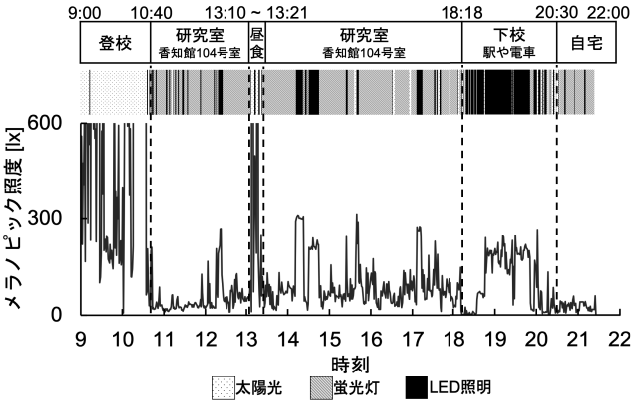

図 3: メラノピック照度曝露ログおよび光環境推定結果

表 1: 各光環境におけるメラノピック照度計測の評価

光環境	誤差率 [%]
太陽光	1.89
蛍光灯	7.35
LED 照明	5.66

4.3 メラノピック照度計測の精度検証

メラノピック照度の計測誤差として，演色照度計で計測した分光分布から算出したメラノピック照度との差の割合を誤差率とする．1 日を通したメラノピック照度の計測結果を，光環境別に表 1 に示す．なお，比較する演色照度計による計測サンプル数は，太陽光，蛍光灯，LED 照明それぞれ順に 5，10，10 である．

表 1 から太陽光の環境下において誤差率 2 %未満に抑えることができ，最大でも蛍光灯の環境下において 8 %未満に抑えてメラノピック照度の計測が行えることがわかる．以上から，光環境に依存することなく，メラノピック照度を計測できることがわかる．

5 結論

小型で安価なマルチスペクトルセンサを用いることで，メラノピック照度計測システムを小型化し，ウェアラブルな計測を実現した．これにより，執務者の移動に伴う光環境の変化に関係なく，WELL 認証の評価基準に対して十分な精度でメラノピック照度を計測できることがわかった．また，1 日のメラノピック照度曝露ログの作成により，時間別または積算量など様々な指標で，長時間のメラノピック照度曝露量と睡眠の質との関係の検証が可能となる．

参考文献

[1] Nowozin, C., et al.: Applying Melanopic Lux to Measure Biological Light Effects on Melatonin Suppression and Subjective Sleepiness, *Curr Alzheimer Res*, Vol.14, No.10, pp.1042-1052 (2017).

[2] Lucas, R.J., et al.: Measuring and using light in the melanopsin age, *Trends Neurosci*, Vol.37, No.1, pp.1-9 (2014).

Copyright ©2019 Information Processing Society of Japan.
All Rights Reserved.