

南側に単一の窓のあるオフィスにおける外光の照度分布推定手法

Estimation of daylight illuminance distributed in office with a window located on the south

三木 光範*
Mitsunori Miki

中林 弘光*
Hiromitsu Nakabayashi

池上 久典†
Hisanori Ikegami

間 博人*
Hiroyuki Aida

1. はじめに

オフィスビルにおける照明の消費エネルギーはオフィスビル全体の約25%を占めており、オフィスにおける照明の消費エネルギー削減は急務である。これを受けて、近年では昼光の利用が提案されている。昼光を利用しつつ、オフィス内の明るさを最適化するには、昼光が室内の明るさに与える影響を把握する必要がある。

そこで、本稿では、外光照度を推定する手法について提案する。提案手法では、日中の南側に単一の窓があるオフィスにおける外光照度を計測し、外光照度分布のモデル式を生成する。このモデル式と、モデル式の適用範囲内に設置した照度センサから得られる照度値を基に外光照度を推定する。また、本手法を用いた際の照度センサの配置間隔と外光照度推定精度の関係を検証する。南側に単一の窓がある実験室で検証実験を行ったところ、高精度で外光照度を推定できることを確認した。

2. 提案手法

2.1 外光照度分布推定手法の概要

本研究では、実際のオフィス環境で測定することが容易でない大規模照度分布を高精度で推定し、オフィスでの昼光を考慮したシステムの制御に対して貢献することを目的とする。

本研究では室内の外光照度分布をモデル式として定式化することで、室内に設置した照度センサから得られた照度値から回帰分析を用いて室内の外光照度を推定する。モデル式の生成には1日の外光照度ログが必要である。生成するモデル式は天気によって推定精度が大きく変わると考えられる。本手法では、モデル式の生成に晴れの日の外光照度ログを用いる。晴れの日の外光照度分布から生成したモデル式の照度推定精度はすべての季節および天気を通して差がなかった。これより、外光照度推定において季節および天気を問わず晴れの日1日のモデル式を用いることが有効であると考えた。本稿では特に照度センサの配置間隔と推定精度の関係を検証する。

2.2 机上面外光照度値算出式の生成

照度センサの位置座標を (x, y) としたときの室内の机上面における任意地点の外光照度値算出式を生成する。モデル式の生成は以下のような手順で行う。

- 1) モデル式の項数と各項を $\{x^n y^m : 0 \leq n \leq 5, 0 \leq m \leq 5\}$ の範囲内でランダムに決定する。
- 2) 各項と誤差項を足し合わせてモデル式を生成する。

生成したモデル式の例を式(1)に示す。

$$z = \beta_1 xy^3 + \beta_2 y + \beta_3 x^3 y^2 + \beta_4 xy^2 + \beta_5 x^4 y^3 + \beta_6 x^2 y^4 + \beta_7 x^3 y^4 + \epsilon \quad (1)$$

x, y : 部屋の位置座標, β_i : 係数,
 z : その位置の外光照度値, ϵ : 誤差項

- 3) モデル式の係数と誤差項を外光照度実測値から回帰分析を用いて決定する。
- 4) ある地点の外光照度実測値に対して下記の条件式が真のときそのモデル式の評価値を+1とする。

$$|I_r - I_e| > T \quad (2)$$

I_r : 実測照度, I_e : 推定照度, T : 照度誤差閾値

- 5) 全実測値に対して項目3)から項目4)の評価計算を行う。
- 6) 生成モデル式の評価値がこれまでの全モデル式の評価値よりも良ければ受理。
- 7) 項目1)から項目6)を一定回数繰り返すか、ある程度評価値が良いモデル式を得た段階で終了。

条件式(2)の照度誤差閾値 T は50を用いる。オフィスの机上面照度のJIS照度基準が750 lxであること¹⁾と最小知覚変動比が-6%から+8%であること²⁾から、任意地点の照度推定誤差が750 lxの±約7%、50 lx以内であればオフィスにおける昼光利用・昼光考慮システムに対して有効であると考えている。そこで、実測値と50 lx以上の照度誤差がある場合にペナルティを与える評価方法とした。

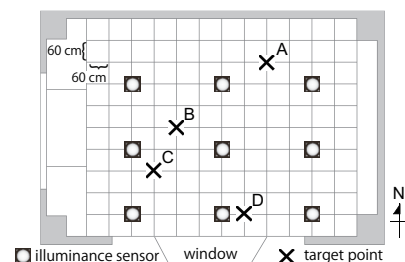


図1: 実験環境

3. 検証実験

3.1 外光照度推定実験

室内の外光照度を定式化することで、モデル式の適用範囲内において室内の机上面における任意地点の外光照度分布が高精度で推定できることを示す。図1に示す実

*同志社大学理工学部
†同志社大学

験環境を構築した。図1中の×印の外光照度を推定し、照度実測値と推定値の誤差率を算出することで手法の有効性を示す。室内の外光照度分布を定式化するため、晴れの日の1日の外光照度分布を計測する。設置した64台の照度センサで10秒毎に各地点の照度を計測し、7時から19時の外光照度分布を計測する。計測した外光照度分布からモデル式を生成し、ABCDの各地点における外光照度を推定した。生成したモデル式を式(3)に示す。

$$z = \beta_1 x + \beta_2 xy + \beta_3 x^2 + \beta_4 x^2 y + \beta_5 y^2 + \epsilon \quad (3)$$

また、ABCD各地点における実測照度値を図2に、モデル式による推定照度値を図3に示す。

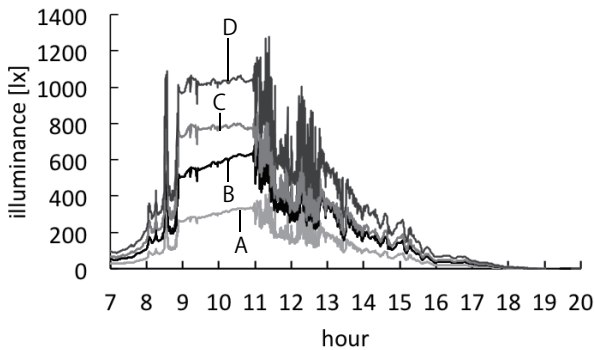


図2: 実測照度値

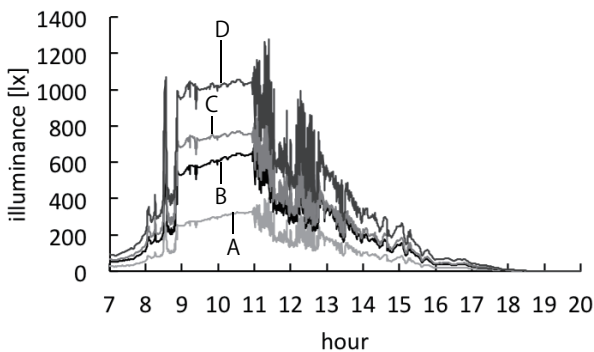


図3: 推定照度値

モデル式評価計算過程においては、25000個のモデル式を評価した段階での最も評価の良い式を採用した。生成したモデル式による推定照度値と実測照度値の差が50 lx以上となったのは全実測照度データ276480個のうち、8948個である。照度推定誤差が50 lxを超え、ペナルティを受けたのは全体の3.2%であり、その最大誤差は76 lxであった。これより、本手法を用いることで外光照度を高精度で推定できることが確認できた。

3.2 外光照度推定精度と照度センサ配置間隔の検証

本手法を用いた際の外光照度推定精度と照度センサの配置間隔について図1の実験室内で検証を行った。窓面に対して垂直方向および平行方向に並べた照度センサの配置間隔と外光照度推定精度についての検証結果を図4に示す。さらに実測照度と推定照度の誤差を図5に示す。

誤差が最大の地点および最小の地点のものを図5に示した。

ここで実験環境の照度センサの配置に関して述べる。図4よりいずれの照度センサの配置間隔でも推定精度は高いことがわかる。照度センサの配置間隔が1.2 mの場合、設置する照度センサの台数が多くなるのでオフィスに導入することを考えると適した配置間隔ではないと考える。照度センサの配置間隔1.8 m, 2.4 mにおいてこれらの配置間隔の推定精度を比較すると1.8 mの推定精度の方がよいことがわかる。よって、窓面に対して垂直方向の照度センサの配置間隔に1.8 mを採用した。しかし、窓面に対して平行方向は実験室内の窓が大きいため照度センサの配置間隔を2.4 mとしている。

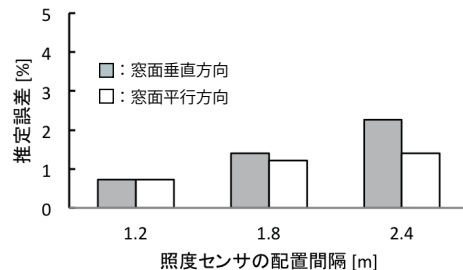


図4: 外光照度推定精度と照度センサの配置間隔

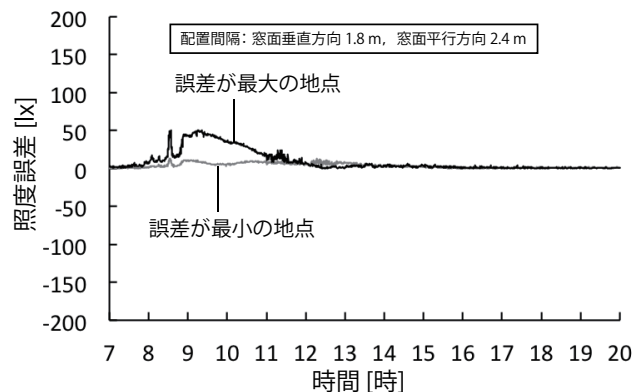


図5: 実測照度値と推定照度値の誤差

図4より検証した照度センサ配置間隔の条件においては最大2.4%、最小0.7%の誤差で外光照度を推定できることが確認できた。また、図5より推定照度誤差は1日を通してほぼ50 lx以下であることが確認できる。実験を行った部屋で最も外光の影響が強い時間帯において照度誤差が50 lxを越えた。しかしながら、この時間帯は最も外光の影響が強い地点で1000 lx以上であり、76 lxの誤差は十分小さいと考えられる。

参考文献

- [1] 日本工業標準調査会, "事務所の照度基準 (jis z91110)". <http://www.ibaraki-sanpo.jp/publicity/tool/pdf/checklist/015syoudo.pdf>.
- [2] 鹿倉智明, 森川宏之, 中村芳樹. オフィス照明環境における明るさの変動知覚に関する研究. 照明学会誌, Vol. 85, No. 5, pp. 346-351, may 2001.