

# 分散制御照明システムにおける照度センサ位置の数値計画法を用いた推定

宮崎 昇幸

Takayuki MIYAZAKI

## 1 はじめに

著者らは、ユーザ毎に希望する明るさ（照度）を提供する分散制御方式の照明システム（以下、知的照明システム）の研究を行っている<sup>1)</sup>。知的照明システムの照明制御では、照明の点灯光度が各照度センサの検知照度に対して及ぼす影響度合いを数値化し、照度を光度の式で表現することで対象環境を数値モデル化する<sup>2)</sup>。しかし、第2章にて述べるように、既存の単回帰分析による動的なモデル化手法では、照明台数の増加に伴い実環境と数値モデルとの誤差が増大する。そこで、照明と照度センサの1対1での影響度合いを実測する手法も提案されているが、対象環境での外的影響を排除した初期設定作業が必要である。

以上のように、数値モデル化の精度と、センサ配置など対象環境の変化に対する適応性を両立することは容易でない。本研究では、照明の対象環境において、外光の影響の無い状態で得られた知的照明システムの稼動ログデータを基に数値計画法を用いて対象環境を数値モデル化する手法を提案する。

## 2 知的照明システム

知的照明システムは、ユーザが要求する照度（目標照度）を与え、かつ低消費電力となる照明の点灯を実現する照明制御システムである。調光可能な照明、照度センサ、および電力センサをネットワークに接続してシステムを構成する。各照明は複数のセンサ情報をもとに、最適化手法により自身の点灯光度を決定する<sup>1)</sup>。

知的照明システムの照明制御には、Simulated Annealingをベースとした、回帰係数を用いた適応的近傍アルゴリズム（Adaptive Neighbourhood Algorithm using Regression Coefficient: ANA/RC）を用いている<sup>2)</sup>。ANA/RCにより、目標照度を満足することを制約とし、照明が消費する電力を低減することを目的として照明の点灯光度の最適化を行う。また、ANA/RCでは、ランダムに変化する照明の光度変化量とそれに対する照度センサの照度変化量の関係を表す係数を単回帰分析により求め、検知照度を点灯光度により表現する関係式を動的に推定し、対象環境を数値モデル化する。これは照明の光度と照度センサの検知照度が逐点法<sup>3)</sup>に代表される式(1)のような線型関係を用いて表現できることを利用している。この係数  $R$  [lx/cd]（以下、影響度係数と呼

ぶ）が大きい程、その照明の光度変化の影響を強く受けて照度センサの検知照度は大きく変化し、両者は光学的に近い位置にあるといえる。

$$E = RI \quad (1)$$

ここで、 $E$  [lx] は水平面照度、 $I$  [cd] は照明の光度である。ANA/RCでは、影響度係数を推定することで、どの照度センサにも影響の少ない照明を優先的に減光する等の動作により、目標照度を満たし、かつ低消費電力となる状態に速やかに収束させることができる。しかし、照明数の増加に伴い各照明のランダムな光度変化に相関が出やすくなると、照度制約に関して影響の少ない照明が明るく点灯する等、解の精度が悪化する。

そこで、事前に照明を1灯ごとに消灯・点灯することで上述の影響度係数を測定（以下、影響度調査）し、データベース化して利用する方法（ANA/DB）が提案されている<sup>4)</sup>。しかし、この方法では、照度センサの配置等に変化がある場合に影響度係数の再測定が必要となる。そこで、こうした再測定を行わず、照明の点灯光度、および照度センサの検知照度の実測ログデータを用いて影響度係数を推定する手法を提案する。

## 3 数値計画法を用いた影響度係数の推定

提案手法では、実測ログデータ中の点灯光度と検知照度の関係を表す影響度係数を、数学的最適化手法の一つである数値計画法を用いて求める。数値計画法を用いるため、この問題を最適化問題として問題P1のように定式化する。問題P1は、同時刻に計測された点灯光度と検知照度を1系列の実測データとし、各データ系列*i*に対して立式した式(2)に示す目的関数の重み付き総和を単一目的関数として、これを最小化する影響度係数を求める問題である。

$$\begin{aligned} \text{(P1):} \quad & \min \sum_{i=1}^d u_i f_i(\mathbf{R}) \\ & \text{s.t. } R_{x,y} \geq 0.0 \\ & \text{where } \sum_{i=1}^d u_i = 1.0, u_i \geq 0.0 \\ & f_i(\mathbf{R}) = \sum_{j=1}^n (S_{i,j} - E_{i,j})^2 \\ & \text{where } S_{i,j} = \sum_{k=1}^m R_{j,k} I_{i,k} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{R} = \{R_{0,0}, \dots, R_{0,n-1}, \dots, R_{m-1,n-1}\}^T$  ( $m$ : 照明台数,  $n$ : センサ数) は影響度係数を表す  $m \times n$  次元実ベクトル、 $\mathbf{f}(\mathbf{R}) = \{f_0(\mathbf{R}), \dots, f_d(\mathbf{R})\}^T$  ( $d$ : 使用

データ系列数) は  $d$  次元実ベクトル目的関数,  $u$  は重み,  $I$  [cd] は点灯光度,  $S$  [lx] は推定照度,  $E$  [lx] は実測照度である.

現在, 知的照明システムの実証実験では稼働ログデータとして, 取得日時 (年, 月, 日, 時, 分), 点灯光度 [cd] × 照明数, 検知照度 [lx] × 照度センサ数, 目標照度 [lx] × 照度センサ数を毎分 1 データ記録している. 提案手法では外光の影響等の外乱項を考慮できないため, 外光の影響が有る時間帯のデータ, およびセンサを物影が被覆し照度を検出できていない等のデータを数理計画法の適用前に排除する. また, 推定に用いるデータでは, データ系列間の類似度に基づいて類似データを単一化 (以下, 有効データ抽出) し, 点灯状況の異なるデータのみを抽出して推定の効率化および推定精度の向上を図る.

## 4 検証実験

### 4.1 実験概要

第 2 章にて述べた影響度係数を実測データを用いて推定し, 提案手法の検証を行った. 人影などの外乱の無い実験室での予備実験においては, 提案手法により影響度係数が推定可能であることを確認している. そのため, 本実験では, 実オフィスに導入した知的照明システムの稼働ログデータを用いた. 対象オフィスは三菱地所株式会社エコツェリア (東京都千代田区新丸の内ビルディング) で, 推定に用いたデータは 2011 年 6 月~11 月度に取得したものである. エコツェリアには Fig. 1 のように照明 24 灯 (LED 照明), 照度センサ 13 台 (固定) を設置し, 提案手法で用いる目的関数は 312 変数となる. 数理計画法の手法としては Armijo の基準を用いた直線探索付き最急降下法<sup>5)</sup>を用いた.

影響度係数の精度は, 対象オフィスにおいて 2011 年 12 月度に取得したデータ中の実測照度と, 影響度係数により表される推定照度との誤差 (絶対値) を計算して評価する. 従来研究から, 人間は現在照度に対し 92% ~ 106% の照度変化 (オフィスにおける平均照度 700 lx では約 ± 50 lx) を感じにくいことがわかっている<sup>6)</sup> ため, これを誤差の評価基準とする.

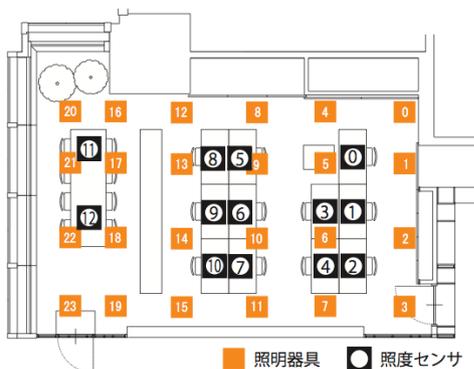


Fig. 1 データ取得環境 (平面図: 7.2 m × 10.1 m)

Table 1 使用データ数

取得月	データ数
2011 年 10 月	350
2011 年 6 月~11 月	3099
2011 年 12 月	5111

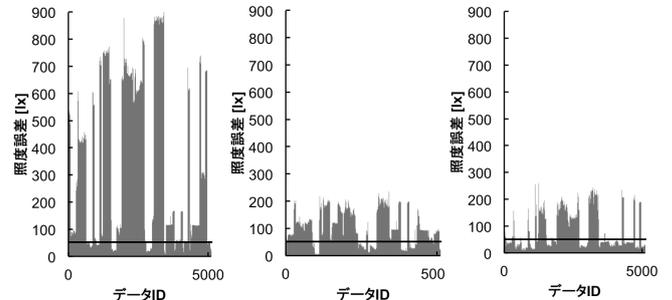


Fig. 2 実測値

Fig. 3 10 月

Fig. 4 6~11 月

### 4.2 実験結果

エコツェリアへの知的照明システム導入時 (2009 年 9 月) に影響度調査により実測した影響度係数に関して, 推定照度と実測照度の誤差 (Fig. 1 中, 照度センサ 5) の分布を Fig. 2 に示す. Fig. 2 に示すように, 各データで大きな誤差が出ており, システム導入時点と 2011 年 12 月時点では対象環境が変化したことが推察される.

また, 2011 年 10 月度のログデータを用いた推定値, および 6 月~11 月度のログデータを用いた推定値に関して, 推定照度と実測照度の誤差の分布 (Fig. 1 中, 照度センサ 5) をそれぞれ Fig. 3, Fig. 4 に示す. Fig. 3, Fig. 4 に示すように, 提案手法で算出した影響度係数により表される推定照度は, 導入時の実測値で表される推定照度に比べ誤差が少ない. 加えて, 使用データを 1ヶ月分から 5ヶ月分へと増やすことにより, 多くのデータで誤差が縮小している. これらのことから, 提案手法により, 十分なログデータを用いることで影響度係数を静的に算出可能であると考えられる.

## 参考文献

- 1) 三木光範. 知的照明システムと知的オフィス環境コンソーシアム. 人工知能学会誌 Vol.22, No.3, pp.399-410, 2007.
- 2) 池田聡, 三木光範, 廣安知之. 知的照明システムのための自律分散最適化アルゴリズムの改良. 第 16 回インテリジェントシステム・シンポジウム講演論文集, pp. 121-124, 2006.
- 3) 照明学会. 照明ハンドブック. オーム社, 2003.
- 4) 三木光範, 米本洋幸, 廣安知之, 吉見真聡. 照明と照度センサ間の影響度をデータベース化する個別分散最適制御照明システム. 情報処理学会第 73 回全国大会講演論文集, pp. 395-396, 2011.
- 5) 福嶋雅夫. 新版数理計画入門. 朝倉書店, 2011.
- 6) 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, 2001.