

# 知的照明システムのログデータからの影響度推定

善 裕樹

## 1 はじめに

我々は、オフィス環境において執務者の知的生産性の向上と省エネルギーを目的とした知的照明システムの研究を行っており<sup>1)</sup>、システムを複数のオフィスビルに導入して実証実験を行っている<sup>2) 3)</sup>。照明制御アルゴリズムには回帰係数を用いた適応的近傍アルゴリズムという進化的アルゴリズム (ANA/RC) を用いている。ANA/RC では、照明の点灯光度が各照度センサの測定照度に及ぼす影響度合いを単回帰分析によって算出し、照度を光度に関して定式化することで対象環境を数理モデル化する。

しかし、単回帰分析による影響度推定手法では照明台数の増加に伴って誤差が増大し、制御に利用することが困難となる。そこで、照明と照度センサの 1 対 1 の影響度合いを測定する手法も考案されているが、照明器具の劣化や室内の配置換え等に伴い、影響度合いの測定実験が必要であり、実オフィスにおいてこのような実験を行うことは現実的ではない。

このように、影響度合いの推定精度と対象環境の変化への対応性を両立することは容易ではない。よって、本稿では外光のない環境における知的照明システムのログデータをもとに数理計画法を用いて影響度合いを推定する手法を提案する。

## 2 知的照明システム

### 2.1 概要

知的照明システムは、任意の場所に執務者が要求する照度 (目標照度) を実現し、省エネルギー性を実現する照明システムであり、複数の調光可能な照明器具、照度センサおよび電力計をネットワークに接続して構成する。照度センサからの照度情報、および電力計からの電力情報に基づいて自律分散アルゴリズムに従い照明を制御する。

### 2.2 制御アルゴリズム

制御アルゴリズムには Simulated Annealing をベースとして照明制御用に改良を加えた、回帰係数を用いた適応的近傍アルゴリズム (ANA/RC) を用いている。ANA/RC では、ランダムに変化する照明の光度変化量と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算出して影響度合いを動的に推定して対象環境をモデル化する。これは、照明の光度と照度センサの計測照度が逐点法<sup>4)</sup> による式 (1) のような線形関係を用いて記述できることを利用している。

$$I = R \cdot L \quad (1)$$

$I$ : 照度 [lx],  $R$ : 影響度係数 [lx/cd],  $L$ : 光度 [lx]

式 (1) の係数  $R$  を影響度係数と呼び、この係数が大きいほど照明の光度が照度センサの計測照度に及ぼす影響

が大きい。ANA/RC では推定した影響度係数を目的関数に組み込むことで、照度センサに影響のない照明を優先的に減光して省エネルギーを実現したり、照度センサに影響のある照明を増光して素早く目標照度を実現したりすることが可能である。

### 2.3 影響度係数の推定に伴う課題

しかし、照明台数の増加に伴い、各照明のランダムな変化に相関関係が見られるようになると、影響度係数を正しく推定できなくなる場合がある。

そこで、システム導入時に外光のない環境下で、照明を 1 灯毎に点灯・消灯させて各照明と各照度センサ間の影響度係数を測定し、データベース化して制御に用いる手法 (ANA/DB) が提案されている。しかし、この手法は、照明器具の劣化や部屋の配置換えに伴う照度センサ位置の変更がある場合に、再度影響度係数の測定が必要となり、実オフィスにおいて測定実験を行うことは現実的ではないと考えられる。

以上のことから、影響度係数の再測定を行う手法ではなく、知的照明システムのログデータに含まれる照明の点灯光度、および照度センサの計測照度から数理計画法を用いて影響度係数を推定する手法を提案する。

## 3 数理計画法を用いた影響度係数推定手法

### 3.1 目的関数の定式化

提案手法における対象問題は、影響度係数と光度データの積によって算出される推定照度とログデータ中の実測照度の誤差の最小化を目的とするものである。この最適化問題を式 (2) のように定式化する。この問題は、同時刻の各照明の点灯光度と各照度センサの計測照度を 1 系列のデータとし、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目的関数とし、これを最小化する影響度係数を算出する問題である。

$$\min \sum_{i=1}^d u_i f_i(\mathbf{R}) \quad (2)$$

$$f_i(\mathbf{R}) = \sum_{j=1}^m (E_{i,j} - I_{i,j})^2$$

$$E_{i,j} = \sum_{k=1}^n (R_{j,k} L_{i,k})$$

$R$ : 影響度係数 [lx/cd],  $d$ : データ系列,  $u$ : 重み

$m$ : 照度センサ数,  $n$ : 照明数,  $I$ : 計測照度 [lx],  $L$ : 光度 [cd]

設計変数  $\mathbf{R} = \{R_{1,1}, \dots, R_{1,n}, \dots, R_{m,n}\}^T$  ( $m$ : 照度センサ数,  $n$ : 照明数) は  $m \times n$  次元ベクトル,  $\mathbf{f}(\mathbf{R}) = \{f_1(\mathbf{R}), \dots, f_d(\mathbf{R})\}^T$  ( $d$ : データ系列数) は  $d$  次元ベクトルである。この目的関数に対して数理計画法を適用することで影響度係数を推定することが可能である。本稿で

は数値計画法の中でもヘッセ近似行列の更新に BFGS 公式を適用した準ニュートン法を用いる。

### 3.2 有効データの抽出

実証実験における知的照明システムのログデータは、日時や光度、照度などの多数のデータが存在するが、本稿では点灯光度 [cd] × 照明数、計測照度 [lx] × 照度センサ数を 1 系列のデータとする。また、ログデータには太陽光等の時間的に変化する外乱の影響を受けたデータも存在するが、これらの計測照度から影響係数の推定は困難であるため、前提として外光のない環境におけるログデータを用いる。

また、知的照明システムが目標照度を実現している場合、大幅な光度変化は発生せず、光度および照度ともに類似したログデータが多数存在する。すると、特定の点灯パターンに大きく重み付けされた目的関数を最小化するように影響係数が推定され、結果として真値とは大きく異なる値に収束する可能性がある。そこで、あらかじめログデータの中で光度値が大きく変化しているデータ（有効データ）を抽出して推定に用いる。

## 4 検証実験

### 4.1 実験概要

3 種類のデータ系列を用いて影響係数推定手法の有効性の検証を行う。推定の対象環境は同志社大学香知館 KC111 実験室 (Fig.1) で、白色蛍光灯 15 灯、照度センサ 3 台を設置し、提案手法で用いる目的関数は 45 変数となる。検証に使用したデータ系列は以下の通りである。

1. 全照明をランダムに点灯させた 100 系列データ（データ系列 1）
2. ANA/RC を動作させた場合の 1000 系列データ（データ系列 2）
3. 2 から有効データを抽出した 207 系列データ（データ系列 3）

以上のそれぞれのデータ系列に対して推定値と実測値の比較、および推定照度と照度シミュレーションによる照度との比較を行い、影響係数の推定が可能かを検証する。評価方法は、人間が ± 50 lx 未満の照度変化を感じにくいという結果から、これを許容誤差として評価する。

### 4.2 実験結果

各系列データを用いて推定した影響係数と実測の影響係数の比較結果のうち、照度センサ A に対する照明 1 から 5 番までの結果を Table.1 に示す。また、ランダムな光度値 1000 データに対して推定影響係数を用いた推定照度と、同じくランダムな光度値 1000 データに対して算出した照度値との平均誤差を Table.2 に示す。

データ系列 1 に関しては Table.1 から実測値と比較して誤差は  $10^{-3}$  lx/cd 未満である。また Table.2 の結果から各地点において平均誤差は 7 lx 程度であることから、十分な精度で推定していると考えられる。よって、ランダムなデータ系列を用いることで十分に影響係数を推定可能であると言える。

データ系列 2 に関しては、Table.1 から実測値との誤差は  $10^{-2}$  lx/cd 程度であり、Table.2 の結果からも平均誤差が最大で約 24 lx であることから、ランダムなデータ系列と比較して誤差が大きくなっている。これは第 3 章で述べた通り、特定の点灯パターンに重み付けされた状態で最適化されているためであると考えられる。

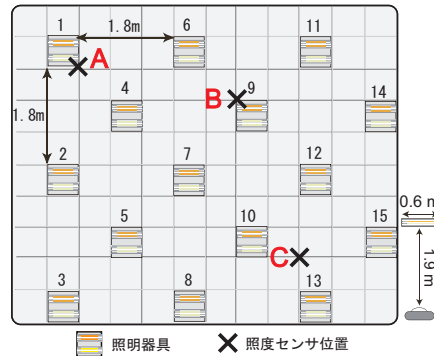


Fig.1 対象環境

Table1 実測値と推定値の比較 (A 地点)

照明番号	データ系列番号			実測値
	1	2	3	
1	0.2995	0.3140	0.3214	0.300
2	0.0590	0.0684	0.0635	0.060
3	0.0139	0.0076	0.0224	0.014
4	0.1538	0.1390	0.1290	0.154
5	0.0218	0.0084	0.0161	0.020

Table2 推定照度と計測照度の誤差平均

センサ位置	使用データ		
	1	2	3
A 地点照度 [lx]	7.340	19.501	8.973
B 地点照度 [lx]	7.196	24.048	17.263
C 地点照度 [lx]	7.669	22.823	18.885

有効データを抽出したデータ系列 3 は、Table.1 から実測値との誤差はデータ系列 2 と同様に  $10^{-2}$  lx/cd 程度の誤差が生じているが、Table.2 の誤差平均の結果から、データ系列 2 と比較して照度誤差は減少している。よって、ログデータからの有効な抽出データを用いた影響係数推定手法は有効であると考えられる。今後は有効となるデータを増加させる、有効データの中から類似データを除外する、光度変化のない照明を抽出して照明の光度を変化させる等の検討が必要である。

## 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) 三木光範ら, 実オフィス環境における任意の場所にユーザが要求する照度を提供する知的照明システムの構築, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J94-D No.4, pp.637-645, 2011
- 3) 小野景子ら, 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, 電気学会論文誌.C, 電子・情報・システム論文誌, pp.750-757, 2010
- 4) 照明学会, 照明ハンドブック, 2003