

知的照明システムにおけるログデータを用いた 数理計画法による影響度係数推定の精度向上手法の提案

榊原 佑樹

Yuki SAKAKIBARA

1 はじめに

近年、東日本大震災による電力の供給不足や、オフィスにおける室内の消費電力量の約 4 割を占める照明の消費電力削減に対する意識が高まっている¹⁾。これらの背景により、著者らは、オフィス環境において執務者の知的生産性向上およびオフィス環境の省エネルギー化を目的とした個別照度環境を実現するシステム（以下、知的照明システム）の研究を行っている²⁾。

既存の知的照明システムのアルゴリズムでは、回帰係数を用いた適応的近傍アルゴリズム (ANA/RC)³⁾ や事前に影響度調査により影響係数を実測しデータベース化して利用する手法 (ANA/DB)⁴⁾ が存在する。前者は、システムの大規模化に伴い単回帰分析による影響度係数の推定が困難であり、後者は、照明の劣化や環境の変化に応じて影響度調査の実施が必要となり、非効率である。そこで、知的照明システムの稼働ログデータを用いて、数理計画法による影響度係数を推定する手法においてある照明を一定の範囲で光度変化させたログデータを用いることで、影響度係数の精度を向上させる手法を提案する。

2 知的照明システム

2.1 制御アルゴリズム

知的照明システムにおける最適化アルゴリズムは Simulated Annealing (SA) をベースとした回帰係数に基づく近傍設計を組み込んだ、適応的近傍アルゴリズムである。ANA/RC では、照明の光度変化量および照度変化量から単回帰分析を行い、回帰係数を算出している。算出した回帰係数は照明と照度センサの位置関係を表しており、回帰係数および目標照度との差の情報から次光度の生成のための近傍を決定を行っている。

2.2 位置関係の把握

上記の回帰係数は、各照明が各照度センサの照度に影響を及ぼす度合いと考えることもでき、ここでは影響度係数と定義する。この影響度係数を用いると、光度と照度の関係を表すことができる。例えば、直線光源の点灯光度とある地点の照度には、逐点法により、式 1 のような関係が存在する。

また、知的照明システムにおいて光度以外のパラメータは、光源とセンサの位置関係に依存するため、式 2 の

定数 R とみなすことが可能である。

$$I_i = \sum_{j=1}^m \frac{\cos^3 \theta_j}{h_j^2} L_j \quad (1)$$

I_x : センサ x の照度 [lx], L_y : 照明 y の光度 [cd],
 m : 照明台数, θ_y : 照明 y とセンサのなす鉛直角,
 h_y : 照明 y とセンサの鉛直距離 [m]

$$I_i = \sum_{j=1}^m R_{i,j} L_j \quad (2)$$

I_x : センサ x の照度 [lx], L_y : 照明 y の光度 [cd],
 m : 照明台数,
 $R_{x,y}$: センサ x に対する照明 y の影響度係数

この定数が上記の影響度係数であり、ある地点における照度は各照明からの照度の和であることから照度と光度の関係を式 2 のように表現できる。影響度係数は、照明台数とセンサ台数の積の数だけ存在し、照度シミュレータ作成や ANA/RC, ANA/DB において重要なパラメータである。

2.3 現行手法の課題

現在、知的照明システムでは単回帰分析により照明と照度センサの位置推定を行っている。単回帰分析による影響度係数の推定では、他の照明の光度変化による影響を考慮していないためセンサや照明の数が多く大規模システムでは、正確な影響度推定が困難である。

そこで、ANA/DB が提案されているが、この手法では、照明の劣化や執務環境の変化により影響度係数が変化する度、影響度調査を行う必要がある。影響度調査とは部屋全体の照明を一灯ずつ点灯・消灯させ、各々の照明に対する照度センサへの影響度を求める手法であり、外光や人の影響を完全に遮断する必要がある。しかし、実オフィスでの頻繁に影響度調査を実施することは容易でないため、新たな影響度推定の手法として知的照明システムの稼働ログデータを用いた数理計画法による推定手法が存在する。

しかし、知的照明システムでは、センサから遠い照明は最小点灯光度付近で推移しているため、同じようなログデータが多く存在する。このような場合、同一の光度点灯パターンに対して重み付けされた目的関数に対して最適化を行うこととなり、推定値に誤差が発生すると考

えられる．そこで，照度センサから遠い照明の光度をある一定の範囲内で変化させ推定の精度を向上させる手法を提案する．

3 数理計画法を用いた影響度推定

3.1 推定手法

知的照明システムの外光を受けていない稼働ログデータを用いて数理計画法により影響度を推定（以下，影響度推定問題）する．設計変数を影響度係数，最適化の対象を取得照度と目標照度の差の二乗とする最適化問題であり，以下のように定式化する．

$$\min : \sum_{i=1}^d w_i f_i(R) \quad (3)$$

$$f_i(R) = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{k=1}^m R_{j,k} L_{i,k} - I_{i,j} \right)^2 \quad (4)$$

i : データ番号, m : 照明台数, n : センサ数,

L : 光度 [cd], I : 実測照度 [lx], d : データ数

$R_{x,y}$: センサ x に対する照明 y の影響度係数

影響度推定問題は非線形であるため，数値計画法の手法として非線形計画法である最適勾配法を用いる．最適勾配法とは勾配方向に直線探索を行い，最適なステップ幅を計算しながら影響度の最適解の探索を行う手法である．影響度係数推定問題の解を一意に求めるためには，データ系列が少なくとも影響度係数分の目的関数を立式し，その全ての目的関数を同時に最小化する必要がある．

3.2 光度変化をさせる方法

照度センサから遠い照明は最小点灯光度付近で点灯し続けているため，影響度係数を正しく推定できない可能性がある．よって，執務者の認知しない光度変化幅で最小点灯光度で点灯している照明の光度を変化させたログデータを用いて影響度の推定を行うことで，より精度の高い影響度の推定が可能であると考えられる．そこで，執務者の認知しない光度変化幅を得る必要があるため，光度変化認知実験を行った．

執務者が光度変化を認知するのは，机上面照度の変化により光度変化を認知する場合および執務中に直接照明を見て光度変化を認知する二つの場合が考えられる．予備実験により，後者の方が執務者にとって認知しやすいという結果が得られたため，光度変化幅は直接照明を見た際の光度変化幅を用いた．

4 光度変化認知実験

4.1 実験概要

執務者の認知しない光度変化幅を調べるため，20代前半の大学生5人を対象として，被験者実験を行った．

光度変化の流れ（減光）の場合を Fig. 1 に示す．

執務者が光度変化を認知するのは，知覚変動比により光度の増光と減光で違うことが知られている⁵⁾．そこで，減光の際は Fig. 1 のように t_1 秒後に減光の光度変

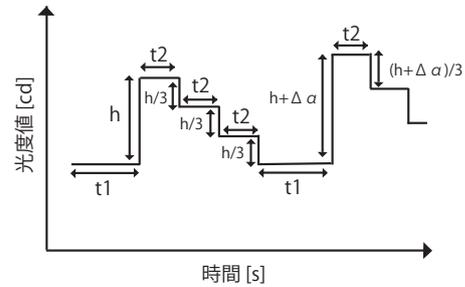


Fig.1 光度変化の流れ（増光）の場合

化幅である光度を h [cd] 落とし， t_2 秒間かけて徐々に基準光度に復帰させることで，減光の際のみの光度変化幅を得ることを考えた．増光の場合も同様に行い，本実験では， t_1 および t_2 を 1 秒として実験を行った．

実験環境は，Fig. 2 に示す．照明から机上面までの鉛直距離は，1.9m である．被験者の机上面照度は 300,500,700 lx と設定し，被験者に対して同様の実験を 3 回ずつ行うことで，被験者実験の再現性の検証を行った．一律基準光度に対して，光度変化幅を徐々に増加させていき，被験者が光度変化を認知した際に口頭で実験者に伝え，被験者が認知する光度変化幅を記録した．

4.2 実験結果

Table1 に，被験者が認知した光度変化幅の平均値を示した．本実験結果は基準光度に対する許容できる光度変化の割合である．

以下の実験結果により，17% の光度変化の際，被験者は光度変化を認知しないという結果が得られたため，この値で光度変化させることを考えた．

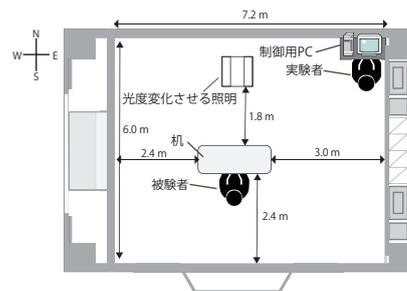


Fig.2 実験環境

Table1 執務者が認知しない光度変化幅

点灯光度 (cd)	机上照度 (lx)	減光時 (%)	増光時 (%)
328	300	23.33	19.39
501	500	18.92	19.88
730	700	19.71	17.14

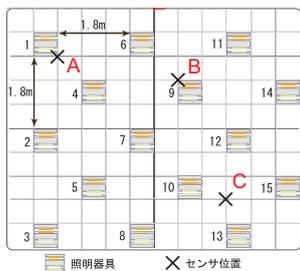


Fig.3 シミュレーション環境

5 検証実験

5.1 シミュレーション概要

実測ログデータによる光度，照度データを用いて最適勾配法による影響度推定を行った。

以下の Fig. 3 に実験環境を示す。本シミュレーションで使用したログデータは，照明 15 台，照度センサを 3 台用いて，500 ステップごとに目標照度を変更した 5000 ステップのログデータである。光度変化認知実験で得たデータを用いて，50 ステップごとに最小点灯光度で点灯している照明に対して，増光による光度変化をさせることを考えた。光度変化させる照明は，Fig. 3 の蛍光灯番号 2,3,5,11,14 である。

本章では，数理計画法によって影響度を推定する現行手法（従来手法）⁶⁾ と光度変化させ，影響度推定に必要な有効データを増やし影響度を推定する提案手法との比較を行い，提案手法の有用性について述べる。

5.2 実験結果と考察

Fig. 4 に影響度推定の従来手法，Fig. 5 に提案手法による影響度推定の結果を示す。

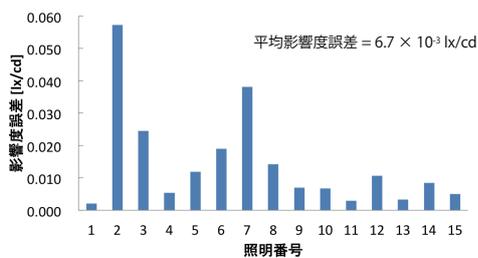


Fig.4 従来手法による影響度誤差（照度センサ A）

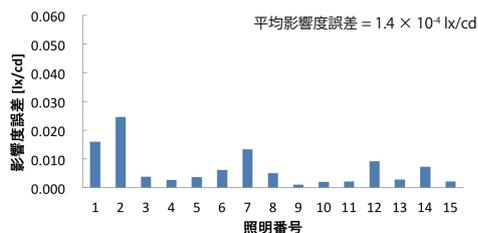


Fig.5 提案手法による影響度誤差（照度センサ A）

評価対象は，Fig. 3 の照度センサ A に対する影響度調

査で得た影響度係数と数理計画法によって推定した影響度係数の差の絶対値である。提案手法と従来手法を比較した際，影響度調査で得た影響度と数理計画法により推定した影響度との影響度誤差平均値が小さくなり，精度の高い影響度係数を推定が可能となったことが分かる。

次に，シミュレーション環境において照明の点灯光度をランダムに変化させて取得した 1000 系列データ中の実測照度と推定照度の誤差の絶対値の分布を Fig. 6, Fig. 7 示した。

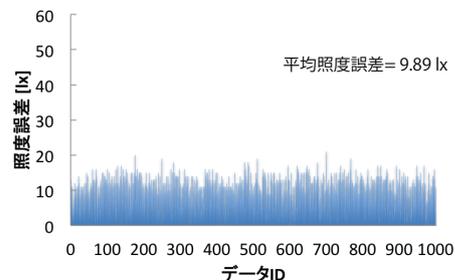


Fig.6 従来手法による照度誤差（照度センサ A）

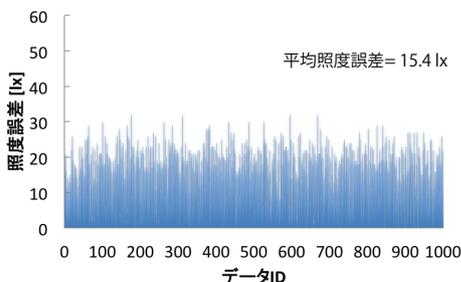


Fig.7 提案手法による照度誤差（照度センサ A）

Fig. 6, Fig. 7 により，平均照度誤差の悪化が見られた。この問題は，照度センサ A に対する直上の照明の影響度係数が悪化したことが原因であると考えられる。

今後は，光度変化を行う頻度や光度変化を行う照明を選別することで，より精度の高い影響度推定を行えることが可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 財団法人省エネルギーセンター。
<http://www.meti.go.jp/setsuden/20110513taisaku/07.pdf>.
- 2) 三木光範. 知的照明システムと知的オフィスコンソーシアム, 2007. 人工知能学会, Vol.22, No3, pp399-410.
- 3) 池田聡, 三木光範, 廣安知之. 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, 2011. 情報処理学会第 73 回全国大会講演論文集, pp.395-396.
- 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, 2006. 情報処理学会第 73 回全国大会講演論文集, pp.121-124.
- 5) 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, 2001.
- 6) 宮崎昇幸, 三木光範, 吉見真聡, 善裕樹. 分散制御照明システムにおける照度センサ位置の数理計画法を用いた推定.