

遺伝的アルゴリズムを使った照明計画に関する考察

Consideration on Lighting Planning Using Genetic Algorithms

○中村 瑞貴*¹, 杉田 宗*²
Mizuki Nakamura*¹, So Sugita*²

*1 広島工業大学大学院 工学系研究科 環境学専攻

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Hiroshima Institute of Technology

*2 広島工業大学 環境学部 建築デザイン学科 准教授

Associate Professor, Dept. of Architectural Design, Hiroshima Institute of Technology, Dr.Eng

キーワード：コンピューテーショナルデザイン；遺伝的アルゴリズム；照明デザイン；照明計画

Keywords: Computational Design; Genetic Algorithm; Lighting Design; Lighting Planning

1. はじめに

1-1 研究背景

近年の建築分野におけるコンピューテーショナルデザインは、建築の審美的な側面の追求や、新たな空間の探求ツールに留まらず、様々なエンジニアリングを統合するための重要な役割を担っている。意匠・構造・環境などの様々な専門家が協働する設計プロセスの中で、コンピューテーショナルデザインの技術を活用し、複雑な条件の中で最適な解を見つけ出すことが一般化しつつある。

例えば、隈研吾建築都市設計事務所が手掛けた「V&A Dundee」では、Rhinoceros と Grasshopper を用いて外壁パネルの検討を行っている。施工性を考慮し、少ないパネルの種類で、デザインの多様性を高める配置を実現している。また、Autodesk の Project Dreamcatcher では、コンピューテーショナルデザインを用いることで、トロントにある Autodesk のオフィス空間における日射・照明・視界を考慮しつつ、オフィス内の生産性の向上を目指したオフィスレイアウトの計画を行っている。

上記のような手法はコンピューテーショナルデザインを用いることで、意匠性だけでなく生産性や経済性を考慮した事例である。ただ、多彩な室内空間を生み出すには、より自由な照明計画が必要ではないかと考える。一般的な照明計画では、部屋の規模や用途に基づいた必要照度を設定し、それに対応する照明器具の種類や個数が決定される。基本的には、照明器具がグリッド上に配置されることが多く、均一な明るさを目指した計画が進められる。しかし、上記のオフィス空間のように、家具やパーティションが自由に配置され、様々な空間が内在した室内空間が設計されるようになってきた。このような空間に対応するべく、同じ空間の中に様々な明るさの場所を設計することで、より多彩な空間をつくることのできるのではないかと考える。

また、複雑な条件の中で最適な解を見つけ出す手法として、遺伝的アルゴリズムが注目されている。コンピュータの能力を活用し、膨大な選択肢の中から、優れた解を探索することで、これまでの設計手法とは異なるプロセスを確立することが可能になる。

1-2 研究目的

本研究では、設計者によって設定された照度の強弱を、遺伝的アルゴリズムを用いたシミュレーションで再現することで、自動的に天井の照明計画が可能となる手法の確立を目指す。

1-3 既往研究

ウベルランジア連邦大学のガーソン・フラビオ・メンデス・デ・リマら¹⁾は、照明計画に用いられる従来のツールと比較して、より良い設計手法を達成するための検索最適化手法に着目した。検証の際には、照明の種類、照度レベル、輝度評価、色の指標、および色温度の均一性の項目が設計パラメータとして用いられている。なお、明るさのシミュレーションには、一般的にも用いられることの多い、以下の計算式を採用している。

$$E_h = I_\theta / l^2 * \cos\theta$$

E_h ：照度

I_θ ： θ 方向の光度 (cd)

l ：光源からその点までの距離

θ ：入射角

この研究では、幅 10m、長さ 80mの道路を検証空間として使用し、6種類照明を使い分け、目標値として平均照度を 20lx に設定して検証された。検証の結果、精度を上げ

るためには遺伝的アルゴリズムの交叉を改善する必要性があると述べている。

同志社大学大学院の米澤ら²⁾は、知的照明システムの提案とそのシステムを制御する自律分散型のアルゴリズムを開発した。知的照明システムとは、照度センサが環境からの反射光や昼光を読み取り、室内に設置している照明の光放射量を制御するシステムである。このシステムの問題点として施工時の設定の複雑さが挙げられる。また、一括での操作が基本となり、照明ごとの個別操作ができない。この課題に対して、照明ごとに自律分散型アルゴリズムを設定して、照明の明るさを変化させる仕組みを提案した。

これらの研究は、照明計画に関わるものであるが、照明の種類や明るさ、または、照明の動作を最適化する研究であり、照明の配置を最適化する研究は少ない。これは施工性や経済性を考慮した結果、照明をグリッド上に配置することが最も効率的であると考えられているからだと考える。しかし、より多彩な空間をつくるためには効率性を考慮しながらも、自由に照明の配置を検証する必要があると考える。本研究では、以上のことを考慮しながら、設計者によって設定された照度の強弱をもとに、照明計画の最適化を行う点において新規性があると考えられる。

2. 照明計画に用いる手法

2.1. 概要

本研究では、設計者によって設定された空間の照度の強弱をもとに、その照度分布に近い結果となるような照明配置を、遺伝的アルゴリズムを用いて見つけ出す方法を採用する。なお、設計者は空間の照度の強弱と合わせ、空間内の最大・中間・最小照度を設定できるようにした。

2.1. 検証方法

本研究の照明計画では主に Rhinoceros と Grasshopper を使用する。まず初めに Adobe Photoshop を使い、平面図をグレースケールで塗り分けることで、照度の強弱を図式化した。次にその画像を Grasshopper に取り込み、モデル内の床面に配置するとともに、床面をグリッドで分割し、各セルの中心点のグレースケール値を照度の目標値とした。照度の変化が滑らかに表れるよう、グリッドの間隔は 500mm × 800mm に設定する。また、使用する照明は光度変更が可能な LED ダウンライトを用いる。照明の分布図をもとに算出した詳細を表 1 に示す。

照明の中心から一定の範囲内では、その照明の最大照度が保たれ、その範囲外では離れる距離に比例して照度が減衰する。今回は式 1 を使って照度を計算する。

表 1 照明の分布図を参考にした照度表

出力	減衰率	L_{ti}	L_{max}	E_{max}
70%	-0.127	840	2020	180

$$\begin{cases} E_i = E_{max} & L_{dis} < L_{ti} \\ E_i = d * (L_{dis} - L_{ti}) + E_{max} & L_{ti} \leq L_{dis} \leq L_{max} \\ E_i = 0 & L_{dis} \geq L_{max} \end{cases} \quad (1)$$

E_i : 照度シミュレーション結果

D : 減衰率

L_{dis} : 各グリッドから格照明位置までの距離

L_{ti} : 照度が一定の範囲

L_{max} : 照度の限界範囲

E_{max} : 最大照度

遺伝的アルゴリズムを用いたシミュレーションでは、各セルの中心点を測定点に設定して明るさに影響している照明を確認し、それらの照明による照度を算出することで、目標値との差分を評価値とし、この値が少なくなる解を見つけ出すように設定する。評価値を求める式を式 2 に示す。なお、変数は照明配置の座標情報として X と Y の値、ならびに照明の個数とした。

$$Q = \sum_{i=1}^n |(C - E_i)| \quad (2)$$

Q : 評価値

C : JPG から求めた目標値

E_i : 照度シミュレーション結果

以降の検証で示す照度分布では、白を最大照度の 500 lx とし、グレーを中間照度の 300lx、黒を最小照度の 100lx とする。

3. 天井照明の配置計画

3-1 検証の概要

本研究では奥行 4.8m、長さ 10m、高さ 2.7m の空間を用いて照明計画の検証を行う。検証 01 では、設備等の影響のない全面天井を想定した検証をする。検証 02 では設備等の影響により、従来のグリッド上に照明を配置することが難しい条件下での検証を進める。検証 03 では設計者が照度の強弱を設定した場合、それを目指した照度を確保できるかを検証し、検証 04 では照明の種類を増やすことで、検証 03 よりも照度の強弱を細かく再現できるかを検証する。最後に検証 05 では照明の個数を固定することにより照度分布に影響があるかを検証する。

3-2 照明計画手法の検討

I 検討 01

まずは検討 01 では均一な明るさを再現するために全グリッドの目標値を 300lx に設定し、LED ダウンライトのみを用いて検討した。

結果を図 3-2-1 に示す。照明は 14 個であり、評価値は約 7248 であることが確認できた。これは空間の端が暗くなる

ため、照明が外側に設置されており、その影響により中央部分が暗くなるため中央に照明が来ていると考えられる。

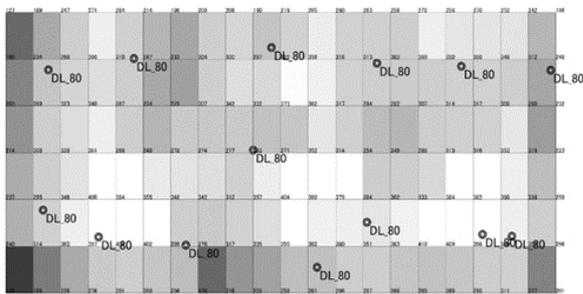


図 3-2-1 検証 01-照度分布

II 検討 02

次に検討 02 では設備等の位置に照明を配置することができない条件下で検証 01 と同様に均一な明るさを再現できるかを検証した。変数、目標値は検証 01 と同様の数値を用いる。

結果を図 3-2-2 に示す。なお、設備等の位置を赤枠で図中に示す。照明が設定にした評価値は約 10027 であることが確認できた。これにより、設備等の状況に応じた照明の配置ができることが確認できた。

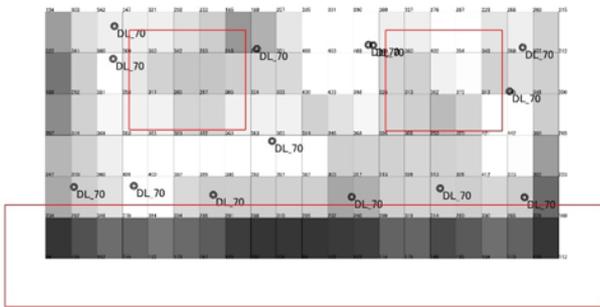


図 3-2-2 検証 02-照度分布

III 検討 03

このシミュレーションを使って設計者によって設定された照度の強弱を再現できるかを検証する。設計者はグレースケールで照度の強弱を表す図を図 3-2-3 に示す。変数は検証 01 と同様の数値を用いる。

結果を図 3-2-4 に示す。評価値は 10534 であり、照明の個数は 14 個であった。この設定では照度の強弱がなくグラデーションの部分再現することはできなかった。これは LED ダウンライトの照度が一定でありグラデーションを作り出すために必要な照度の小さい光源が不足していることが考えられる。

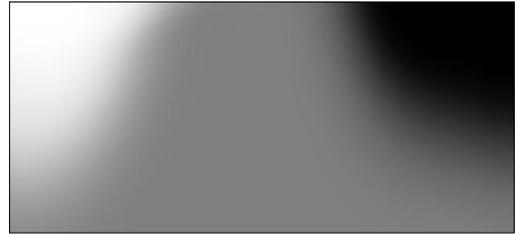


図 3-2-3 設計者が濃淡をつけた JPG 画像

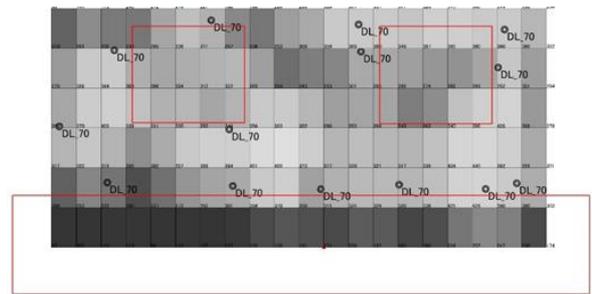


図 3-2-4 検証 03-照度分布

IV 検討 04

検証 03 では照度が 1 種類だったため、ここでは LED ダウンライト 70%に加え、照明の出力を 40%、50%、60%に変更した LED ダウンライトで検証する。照明の各出力の照度分布をもとに算出した詳細を表 2 に示す。

表 2 各出力割合の照度表

出力	減衰率	L _{ti}	L _{max}	E _{max}
40%	-0.127	282	678	102
50%	-0.127	470	1131	128
60%	-0.127	672	1616	154

照明の個数は LED ダウンライト 70%が 5~20 個、出力変更した LED ダウンライトが 5~15 個に設定した。天井の設備環境と濃淡を表現した JPG 画像は検証 03 と同じものを用いる。

結果を図 3-2-5 に示す。照度の種類を増やすことでグラデーションを生み出すことが確認できた。LED ダウンライト 40%、50%、60%の評価値を表 3-2-1 に示す。50%の評価値が最も低く、7047 であり、3 つの中で最も照度の強弱とグラデーションを表現されていることが確認できた。

各割合の結果を見ると、LED ダウンライト 70%の配置は暗いエリアになるにつれて同じような配置になっていることが分かる。また、明るいエリアでは出力が高い結果になるほど、照明の配置が分散して広がっている。出力を変化させている照明の配置では、主に 500lx の目標値のエリアから 300lx の目標値のエリアにかけて配置されており、特に 500lx の目標値のエリアで多く配置されている。出力

の数値が大きくなるにつれて、LED ダウンライト 70%の数が減少している。

ここから、配置する最適な方法として LED ダウンライト 70%を配置して目標値に近い照度を確保して、出力を変化させた照明を足りない場所に配置していると考え。また、LED ダウンライト 60%の結果では、出力が大きくなるほど LED ダウンライト 70%の出力に近づくため、検証 03 の結果に近づき評価値が悪くなっていると考え。

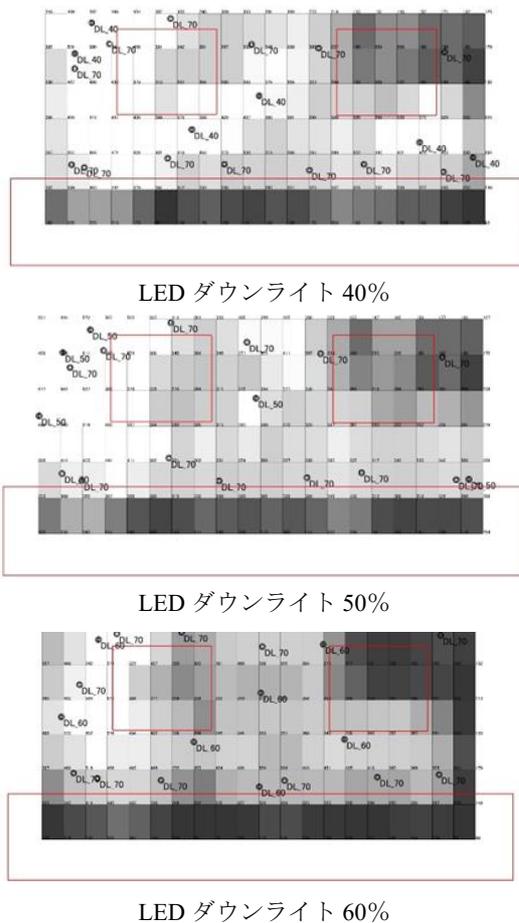


図 3-2-5 検証 04-照度分布

表 3-2-1 出力ごとの評価値

割合	評価値	LED70%	LED (割合)
40%	9053	13	6
50%	7047	14	5
60%	10225	9	8

V 検討 05

検証 01～04 までで条件の明るさを得るために必要な照明の個数を把握できた。ここでは、検証 04 で作成した照明の個数や配置場所が最適化されているのかを検証するために、ダウンライト 70%の個数を減らして検証 04 と同じ検証を行う。個数は検証 04 の LED ダウンライト 50%の結果を参考に、LED ダウンライト 70%を 13 個、LED

ダウンライト 50%を 4 個に設定する。それ以外の変数は以前の検証で用いた値を使用する。

結果を図 3-2-6 に示す。評価値は 10024 であることが確認できた。明るい場所は評価値が検証 04 と似たような評価値になっているが、中間、暗い場所は照度が全体的に暗くなった。

検証 04 と比較すると配置する場所では、LED ダウンライト 70%の配置場所はあまり変化が見られないが、300lx の目標値のエリアでは LED ダウンライト 70%の代わりに LED ダウンライト 50%が配置されており、500lx の目標値のエリアでは LED ダウンライト 50%の個数が減少して評価が悪くなっている。

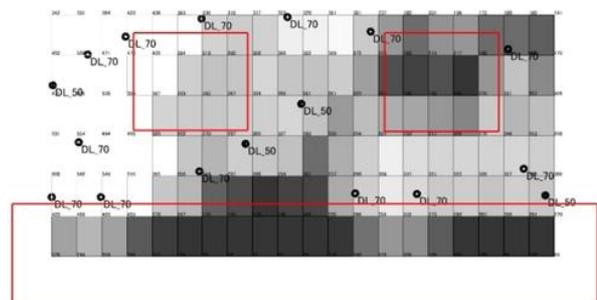


図 3-2-6 検証 05-照度分布図

4. まとめ

4-1 結論

本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いて設計者が空間の照度の強弱を設定できるようにした照明計画を検討した。その結果、遺伝的アルゴリズムを用いた照明計画を行うことにより天井の状況が複雑な場合でも求められた照度を得る配置を提案することが確認された。出力の違う照明を配置することで出力が大きい照明がベースの照度を確保し、出力が小さい照明がグラデーションや不足している照度の確保をしていると考えられる。

現在は、実際の照度が検証通りに再現されているのかを確認し、駅などの公共の空間である一定の照度を保ちながら明るさの濃淡が現れるような空間の再現を目指した検討を進めている。

[参考文献]

- 1) Gerson Flavio Mendes de Lima,3 other : Optimization of lighting design using Genetic algorithms, IEEE Xplore,2010
- 2) 米澤 基,他 2 名 : 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, 2010