

水耕栽培における照明の最適配置問題

2019SS003 天野皓詞

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

近年、日本だけでなく海外でも広く普及している水耕栽培は、本来は土を使って育てている植物を、水と液体の肥料で栽培する方法であり、室内やベランダなどで行うような小規模なものから、植物工場のような大規模なものまで存在する。

水耕栽培は室内で行うため、土壌栽培では必要な作業である土作り、害虫の駆除、除草などが不要である。また、近年、農業に大きなダメージを与えている地球温暖化による異常気象の影響を受けない。よって、一年中安定して、レタスやサニーレタス、チンゲンサイ、小松菜などの野菜を栽培できる、しかし、植物工場を経営する場合、設備導入や電気代が非常に多くかかるというデメリットがあり、その中でも電気代は、図1のように照明を多く設置しているため、非常に高くなっている。よって、照明の数を減らすことで電気代を削減できるのではないかと考えた。

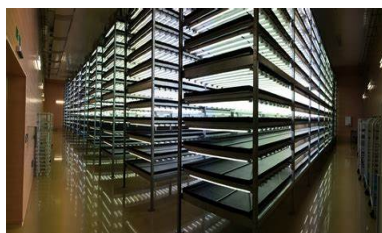


図1 植物工場の様子

2 問題の説明

植物工場では、図1のように植物の真上に照明を密に設置しているため、照明の電気代が高い。電気代を減らすために、光が届く範囲が異なる複数の種類の照明を適切な場所に設置するれば良いと考えた。

照明の配置は、植物の成長に必要な最低限の照度を当てることができる最小個の照明のを選ぶ集合被覆問題を解くことにより求める。複数の照明から光があたる場合、照度はそれぞれの照度の和となる、例として、植物1に、照度が10の光源1と照度が20の光源2から光が当たっている場合、植物1にあたる照度は30である。

3 かいわれスプラウトの栽培実験

植物に必要な最低限の照度を求めるため、自宅で以下の手順で実験を行った。実験は、水耕栽培キットに同封されている水耕栽培の方法を参考に行った。

手順1 種を水につけ、発芽させる。(36時間)

手順2 1.5日間育てた後、長さを計測し、その中から2cm

から2.5cmまで育った個体を、水耕栽培キットに移す。

手順3 各植物の照度を照度計を使って調べ、植物を育てる。

手順4 2日後に植物の長さを調べる。

この実験は5日で完了する。

植物にあたる照度が異なる植物の長さを毎日計測したところ、手順2において水耕栽培キットに移した個体のうち、2日後に約7cmまで成長した時に、他の植物との長さの差が出始め、それらの個体は、1週間後に約10cmまで成長することが分かった。よって、この実験では手順2で計測した長さとして手順4で計測した長さの差が5cm以上の個体を成長したとする。しかし、植物工場では、植物を安定生産する必要があるため、安定して成長するための必要最低限の光量を求める必要がある。よって、手順2では、発芽しなかった個体や、ほとんど成長しなかった個体は使用しない。また、同じ照度で、繰り返し実験をし、4回とも成長した個体にあたる照度を必要最低限の照度とする。

手順3の植物の長さ、手順4で測った照度、手順5の植物の長さ、手順3から手順5の間で成長した長さを1つのデータとして扱い、309回実験を行った結果、必要最低限の照度は203lxという結果になった。

309つのデータを、 x 軸を照度、 y 軸を手順2から手順4の間で成長した長さとしたグラフに表したものを図2示す。図2から、成長に多少のばらつきがあるが、約200lx以上で多くの個体が、成長していることがわかる。

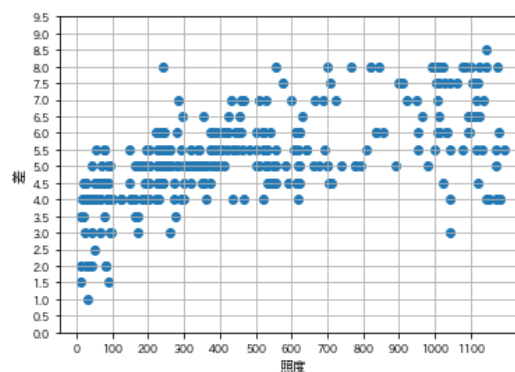


図2 実験結果

4 定式化

本節では消費電力の最小化を目的とした定式化の説明を行う。はじめに、以下の記号を定義する。 I : 植物の位置の集合。

J : 照明の位置の集合。

K : 照明の種類集合.

c_k : 種類 $k \in K$ の消費電力.

u_i : 植物 $i \in I$ に必要な照度. (203lx)

a_{ijk} : 場所 $j \in J$ に照明 $k \in K$ を置いたとき, 植物 $i \in I$ にあたる照度.

$$x_{jk} = \begin{cases} 1: \text{種類 } k \in K \text{ の照明を } j \in J \text{ に設置する.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$$

照明の最適配置問題は以下のように定式化できる.

$$\min \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_k x_{jk}, \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} a_{ijk} x_{jk} \geq u_i, \quad i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} x_{jk} \leq 1, \quad j \in J \quad (3)$$

$$x_{jk} \in \{0, 1\}, \quad j \in J, k \in K \quad (4)$$

(1) は, 消費電力の総和を最小化することを示している.

(2) は, 場所 $j \in J$ に照明 $k \in K$ を置いたとき, 植物 $i \in I$ にあたる照度の総和は, 203lx 以上にするという制約である. (3) は, $j \in J$ に設置する照明 $k \in K$ は 1 種類であるという制約である. (4) は x_{ij} のバイナリ制約である.

5 照明シミュレーション

照明の光があたる範囲と照度を求めるために, 照明シミュレーションソフト DIALux[1] を用いて, シミュレーションを行った. DIALux とは, 住宅, 店舗, オフィス, 公共施設などに照明を配置した場合に光が届く範囲を 3D イメージで表示し, 照度分布図などの数値データを出力できる照明シミュレーションソフトである.

シミュレーションでは, ENDO FAD832WW ランプ [2] と ENDO RAD824W ランプ [2] を使用し, それぞれを照明 1, 照明 2 とする. DIALux を用いて各照明を地面から 20cm の位置に設置した場合をシミュレーションし, u_i の 1/2 である 101.5lx が届く範囲を調べた結果, 照明 1 は, 消費電力が 7W で半径 40cm, 照明 2 は, 消費電力が 4.8W で半径 35cm の範囲まで届くことが分かった.

6 計算結果

Gurobi Optimizer 9.1.2 を用いて植物の配置から照明の消費電力が最小になるように照明を配置するプログラムを Python で作成し, 計算実験を行った.

植物を図 3 の青い点の位置にしたとき, 各照明の配置は図 3 のようになり, この時の消費電力は約 28.4W になった. 図 3 は, 植物の間隔は 5cm で, 赤い点と円は照明 1 の位置と光が届く範囲, 黒い点と円は照明 2 の位置と光が届く範囲を表している. 間隔が 5cm である理由は, 栽培実験で使用した栽培キッドの植物の間隔が 5cm だったからである. 図 3 のような植物の配置で, 植物の真上に照明を

密に設置するというような配置で照明 2 を設置すると図 4 のようになり, 合計の消費電力は, 52.8W となるため, 24.4W 消費電力を減らすことができた. その結果, 1kWh 電気代を 31 円とすると, 1 か月あたりの電気代は, 544.5 円減らすことができる.

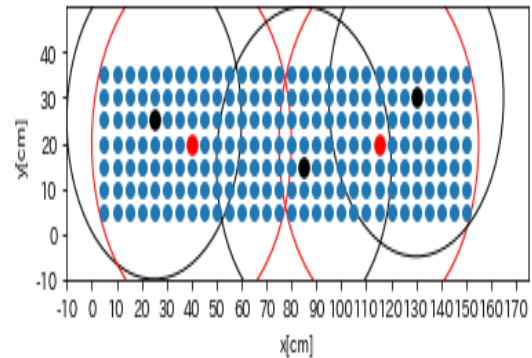


図 3 実験結果

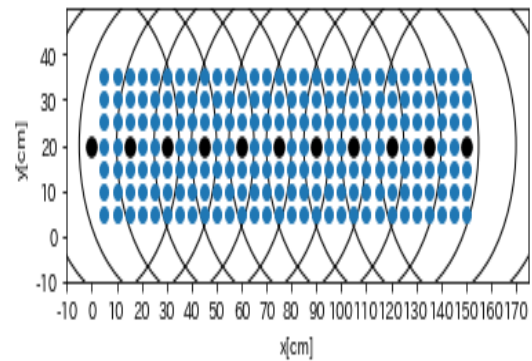


図 4 実際の植物工場における照明の配置

7 おわりに

本研究では, 消費電力が最小となるような照明の配置を求め, 電気代を減らすことができたが, 植物工場を経営するとなると, それだけでは安定して黒字を出すことは難しく, 設備導入や維持のコスト以外にも, 植物の輸送コストも考慮する必要がある. 理由は, 遠隔地での生産になると, 販売先は限定的になり, 大消費地に向けて輸送するとなるとコストがかかるからである. よって, 販売経路の開拓や, 輸送コストの削減も植物工場の今後の課題となる.

参考文献

- [1] Dialux: the worldwide leading lighting design software. <https://www.dialux.com/en-GB/>. 2022 年 8 月 13 日閲覧.
- [2] 株式会社遠藤照明ホームページ. <https://www.endo-lighting.co.jp/>. 2022 年 11 月 4 日閲覧.