

時間発展を考慮した数理最適化モデルについての研究

袴田 江庵, 飯村 太智, 渡邊 洋美*

茨城県立竜ヶ崎第一高等学校 〒301-0000 茨城県龍ヶ崎市平畑 248

* Corresponding author e-mail address: watanabe-hiromi@※※※※

(※※※※ = mail.ibk.ed.jp)

(2024 年 8 月 7 日 受付 2024 年 8 月 23 日 受理)

Abstract

数理最適化とは、ある条件や制約の下で目的とする値の最大または最小値を求めることである。数理最適化を現実の問題に適用するとき、条件や制約の時間発展については考慮されていないことが、少なくない。本研究は、グリーンアノールの罌の配置について、生態や環境などの時間とともに変化する条件に対応した最適化を Python による、ライブラリ Pulp を用いたシミュレーションを行った。

1 緒言

グリーンアノールは、小笠原諸島の生態系を荒らしている特定外来生物である。環境省などが捕獲するための罌を設置しているが、生息範囲が広がっている。罌の数を無限に増やせばグリーンアノールの数を減らしていくことが可能ではあるが、現実には予算や設置コストの制約のもと、捕獲するグリーンアノールの数を最大にすることを考えなければならない。

本報は、グリーンアノールの罌の配置について、生態や環境などの時間とともに変化する条件に対応した最適化シミュレーションの報告である

2 シミュレーション

数理最適化とは、ある条件や制約の下で目的とする値の最大または最小値を求めることである。これはビジネスなどに広く応用されているが、現実の問題は制約や条件が時間とともに変化する。しかし、数理最適化を現実の問題に適用するとき、条件や制約の時間発展については考慮されていないことが、少なくない。

本研究では、罌の収容力、設置重要度、設置コスト、予算についての制約条件やグリーンアノールの個体数の自然増、移動などの時間発展要素を考慮し、捕獲数が最大になる罌配置の最適化を Python を用いてシミュレーションした。

Fig.1 にシミュレーションプログラムの概要のダイアグラムを示す。プログラムの実行については、「グリーンアノールの移動」、「グリーンアノールの自然増」については、季節に応じたパラータを用意することにより季節条件を考慮した。また、「罌の最適化」から「グリーンアノールの自然増」までのループを春夏秋冬に応じて 4 回行い、制約や条件に応じた罌の配置がなされるか評価した。

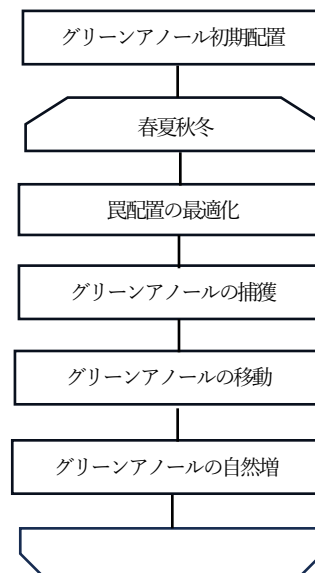


Fig.1:シミュレーションの概要

2.1 モデル

2.1.1 グリーンアノール生息地域のモデル化

グリーンアノールの生息地域を Fig.2 のような 10×10 の格子状とし、格子の列番号、行番号をそれぞれ i, j とした。グリーンアノールの初期配置は、1つの格子に 10 から 40 の値を疑似乱数によって設定した。また、以下のようなパラータをそれぞれの格子 (i, j) に設定した。

1. 設置重要度 p_{ij}

グリーンアノールがまだ定住していない地域がある。それらの地域への拡大を防ぐため、優先的に罌の配置が行われるように設定した。本モデルでは行番号が小さくなるにつれて重要度が高くなるように

$$p_{ij} \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$$

とした(Fig.2).

2. 設置コスト c_{ij}

グリーンアノールの生息地域には山間部などの罾の設置が困難な場所がある。そこで、**Fig.2** の黒色の太枠線内の格子は高コスト地域とし、他地域の3倍のコストがかかるように

$$c_{ij} \in \{1,3\}$$

とした。

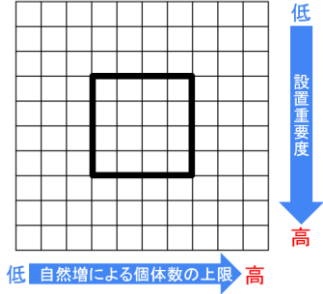


Fig.2: 格子状の対象地域

2.1.2 時間発展による条件変化のモデル化

1. グリーンアノールの格子間の移動

捕獲できなかったグリーンアノールは、等確率で隣接する上下左右の格子に移動するか、同じ格子に留まるように設定した。格子内にとどまる確率を季節によって、

$$\text{夏} < \text{春} = \text{秋} < \text{冬}$$

とした。

2. グリーンアノールの個体数の自然増

グリーンアノールの個体数の増加はロジスティック方程式に従うように設定した。また、各格子の個体数の上限は列番号が大きくなるにつれて高くなるように k_{ij} を

$$k_{ij} \in \{50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 9, 95\}$$

とした(Fig.2)。

3. 予測捕獲数

罾を多く置くほど、罾1つ当たりの捕獲数は減少すると考えた。 $n \in \{1, 2, 3, \dots, 6\}$ 個の罾を1つの格子に配置したときの捕獲数 h_{ijn} を

$$h_{ijn} = 30(1 - 0.85^n) \times S$$

とした。ここで、 S は季節によって変化する格子内のグリーンアノールの移動の活発さの影響を表すパラメーターで、

$$S \in \{0.6, 0.8, 1\}$$

とした。

2.1.3 最適化

次に示す値が最大になるように x_{ijn} を最適化した。

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} p_{ij} h_{ijn} x_{ijn}$$

ただし、 $x_{ijn} \in \{0, 1\}$ は罾設置のフラグで、最適化においては次のような制約を設定した。

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} n c_{ij} x_{ijn} \leq 200$$

$n c_{ij} x_{ijn}$ が格子 (i, j) でのコストであり、この値の 10×10 の格子の合計が予算の上限200以下なるようにした。また、各地点での捕獲罾を設置する数が、複数選択されないように

$$\sum_n x_{ijn} = 1 \quad (\forall ij)$$

とした。

3 結果及び考察

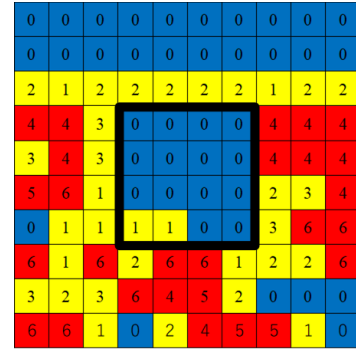
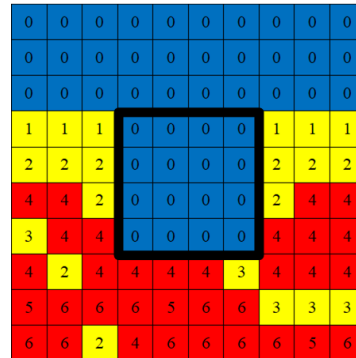


Fig.3: 初期配置後の最適化の結果

Fig.3は初期配置後、Fig.4は季節条件を考慮したときの最適化の結果である。格子内の数は最適化によって算出された罾の設置個数である。1回目の最適化の結果では、設置重要度が高い格子と設置コストが低い格子に罾が優先的に配置されている。2回目以降の配置では罾が置かれなかった格子に優先的に配置されている。したがって、グリーンアノールの個体数の自然増、移動などの時間発展要素を考慮し、重要度、設置コストを考慮した罾配置の最適化されたことが示唆された。



0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5	5	5	0	0	0	0	5	5	5
4	3	5	0	0	0	0	2	1	5
5	3	5	1	1	1	1	2	1	5
5	5	5	1	1	1	1	2	4	3
2	1	1	0	1	3	2	0	1	0
3	6	6	1	2	0	5	1	6	1
2	0	0	0	1	1	3	1	1	0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	3	2	3	1	3	2	2	2	2
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6	4	5	0	0	0	0	4	1	5
0	1	6	1	1	1	1	1	0	0
3	1	6	2	1	1	1	5	0	3
2	1	3	4	4	4	4	1	0	0
0	0	0	2	1	1	2	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	2	2	4	3	2	2	3	2
4	4	6	5	6	4	6	4	6	6
1	1	1	1	1	1	1	2	0	2
0	0	1	2	2	2	2	0	0	1
0	0	0	2	4	2	2	0	0	0
0	0	0	4	4	4	4	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig.4: 上から春夏秋冬のときの最適化の結果

4 結論

今回は疑似データによるシミュレーションのため、グリーンアノールの移動や時間発展要素をより現実
に即したものであるかどうかについての検討を行えなかつた。しかし、設置コストや重要度、グリーンアノールの移動や増加を考慮した罌配置の最適化ができた。

5 引用・参考文献

- 1) 東京都の対策-外来種対策-グリーンアノール防除,
https://www.soumu.metro.tokyo.lg.jp/07ogasawara/nature/grapple_greenanole.html (2024 年 7 月 16 日現在)

謝辞

筑波大学

大学院理工情報生命学院 システム情報工学研究群

社会学学位プログラム 修士2年

馬場和伸 氏

サービス工学学位プログラム 修士1年

本村力希 氏

に数理最適化・Python について助言をいただきました。