

## 遺伝的アルゴリズムから得られた巡回セールスマン問題の解の検討

稲口和斗<sup>†</sup>, 小川誠寛<sup>†</sup>, 原口将拓<sup>†</sup>

### 研究要旨

「巡回セールスマン問題」において最適解を求めることは一般的なコンピューターを何十年も動かしても解けないため実質不可能である。そこで、例えば移動時間を5分短くするのに5分以上の時間を計算に費やすことは無駄であることに着目し、算出時間を考慮した最適解(近似解)を数分程度で求める方法を考えた。その方法は、低スペックのデバイスなどでもアプリとして利用できるように、エクセルのVBAを用いて最小限の計算量で近似解を求める方法である。ユニバーサルスタジオジャパンのアトラクションの位置を座標平面上にとり、アトラクションを一巡する経路の距離を求めるプログラムを作成した。それに我々は遺伝的アルゴリズムを参考にして、親(元となる経路)たちと子(親を元にして生成された経路)たちの距離を比較して、次世代の親を選択する方法を適用した。こうすることで、世代を重ねるごとに経路は短くなっていく。次に二つの検証を行った。53個のアトラクションの座標をとって交叉方法や淘汰方法を変化させ、それぞれの場合において100個ずつのデータをとった。そして、経路がほぼ減少しない点(収束点)を見つけることで、必要以上の計算を省いて、より早く近似解を求めた。その結果、考案した四つの交叉方法をそれぞれ単体で用いると、経路を部分的に次世代の子に受け継がせる方法(部分挿入型)が最も優秀で、親同士で同じ位置の遺伝子を交換する方法(循環交叉型)が最も劣悪だった。しかし、部分挿入型と循環交叉型を組み合わせるとさらに収束が早くなった。加えて、今世代の中で距離が短いもの同士を掛け合わせると値が早く収束することがわかった。

### 1. はじめに

遊園地では、複数のアトラクションを回るために道を歩くが、その際にかかる時間や歩く距離は、回る順番や歩く道によって大きく変わる。より短い移動距離で回る、つまりより効率的にアトラクションを回るにはどうすればよいのかということはだれしも考えたことがあるだろう。これは「巡回セールスマン問題」の一種である。これらの問題において一般的なコンピューターを何十年動かしても最適解を求めることは困難である。そこで我々は最終的には、待ち時間や実際の道を考慮した遊園地に適用でき、一般の携帯やパソコンのスペックでも使用可能なプログラムを作ることを目的とし、遊園地において、移動距離のコストを最小ではなく、最小に近い経路を求めるためにどうすればよいのかを考えてきた。そこで今回は焦点を絞り、より良く経路を生成する方法を模索し、遺伝的アルゴリズムを参考にしたプログラムで交叉方法と淘汰方法のそれぞれの関係性に注目して研究を行った。

### 2. 交叉方法

ここで我々が参考にした遺伝的アルゴリズムとは、生物の進化の仕組みを利用して近似解を探索するアルゴリズムである。複数の個体の集団の中から、優秀な個体を残して次世代を形成し、それ以外の個体を淘汰していくことで、最適解に近い解を求める。我々は遺伝的アルゴリズムをそのまま適用したのではなく、これを参考にしてプログラムを作成した。本研究の遺伝的アルゴリズムは主に以下の(1)(2)(3)によって構成されている。

#### (1)交叉

親となる経路を組み替えて、単数または複数の子を生成する。本研究では、4つの交叉方法を使用する。なお、後述の「部分挿入型」「隣接一致型」「循環交叉型」は親を二つ交叉させるが、「複合型」は比較のため一つの親を変異させる方法である。

#### (2)評価

単純にアトラクションを一巡する経路の総距離を計算し、総距離がより短いものを良い経路とする。

#### (3)淘汰

今世代の子の評価をもとに、次世代の親を決定する。なお、本研究では「エリート選択」という評価が良い順に順位を決める方法を用いる。さらに、次世代に同じ経路をもつ子が重複するのを防ぐために、同じ値が算出された場合、一方のみを適用する。

また本研究では遺伝的アルゴリズムを参考にいくつかの方法を検討した。

(4) 親1の遺伝子を部分的に1カ所選択し、その選択した遺伝子に該当する親2の遺伝子を削除し、選択された遺伝子を親2の無作為に選んだところに挿入し、同様にして親2も部分的に選択し、親1に挿入して、合計2つの子が生成される。これを以後、A(部分挿入型)とする。(図1)

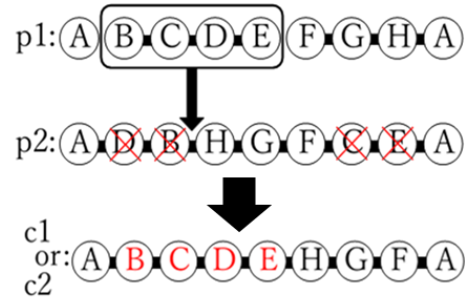


図1 部分挿入型

(5) 親1と親2の両方で隣り合っている遺伝子を一つの塊として遺伝子を無作為に並び替える。合計1つの子が生成される。これを以後B(隣接一致型)とする。(図2)

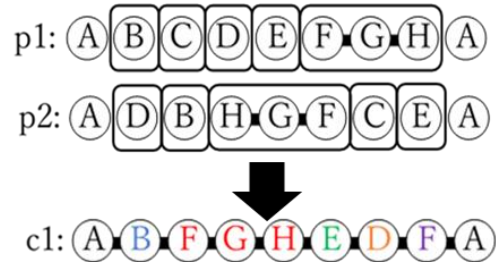


図2 隣接一致型

(6) 親1と親2の遺伝子のランダムな1カ所を選択し、選択された遺伝子以外の順番を変えずに単純に遺伝子を交換する<sup>5)</sup>。これを以後C(循環交叉型)とする。(図3)

<sup>†</sup> 兵庫県立宝塚北高等学校

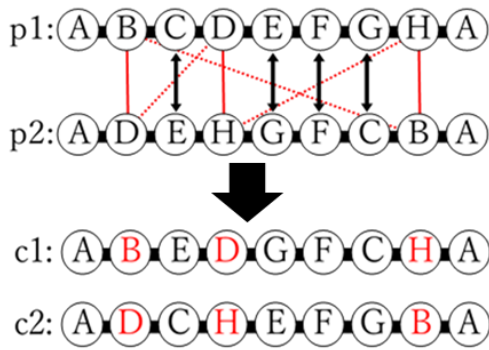


図3 循環交叉型

(7) 隣接一致型とは異なり、塊の個数を設定できる。親1の遺伝子を指定した数だけ無作為に塊に分け、それを無作為に並び替える。合計1つの子が生成される。なお、本研究では2から11個の塊をつくる方法でそれぞれ2つの子を生成した。これを以後D(複合体型)とする。(図4)

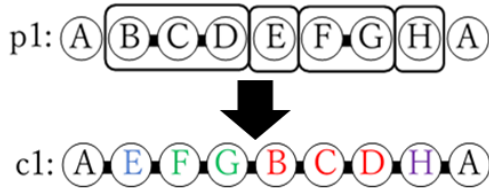


図4 複合体型

### 3. 座標の設定

今回はユニバーサルスタジオジャパンを対象として主なアトラクション52個とチケット売場の緯度経度からxy座標平面上に換算した<sup>1)</sup>。今回は、道や待ち時間、歩く速度を考慮せず、単純にアトラクションから次のアトラクションまで直進し、距離がより最短に近いものを求める。検証では、交叉方法と淘汰方法の一方の条件をかえて検証する。

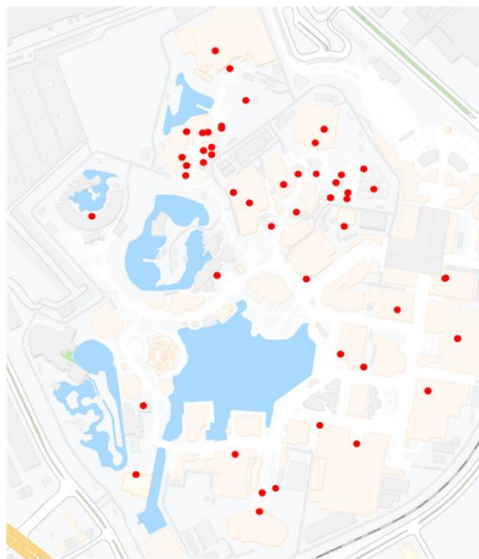


図5 Googleマップにおけるアトラクションの配置

### 4. 交叉方法の比較

まず交叉方法についてはA(部分挿入型)、B(隣接一致型)、C(循環交叉型)、D(複合体型)とし、A+B型とは部分挿

入型と隣接一致交叉型を同時に実行したものとする。これらは以下の条件のもとで得られたデータについて比較した。

- 条件1: エリート選択で1位から20位を無作為に選択する
- 条件2: 子を20個生成する
- 条件3: 親も淘汰対象とする
- 条件4: 世代数は15000

また、A, B, C, D, A+B, A+C, A+D型についてそれぞれ10世代ごとに一番良い経路の総距離(単位はメートル)をとり、100個のデータをとって、平均値を求めた。また、1000世代先の経路と比較したとき距離の減少率が1%以下になるという収束の目安に合わせて、プログラムに10世代ごとの平均値が10回連続で0.01%以下減となったときを収束とするように設定した。それによって各交叉方法における収束点を求めた。

その結果、四つの交叉方法をそれぞれ単体で用いた場合、Aの部分挿入型が最も優秀で、Cの循環交叉型が最も劣悪だった。しかしA+CがAより早く収束したことから、単体の部分挿入型に循環交叉型を混ぜて使うことにより、より早く収束させることが可能であると分かった。(表1, 図6~8)

表1 各交叉方法の収束点の距離と世代数

型	収束点の距離(m)	収束点の世代数
A	3180	5470
B	6752	2820
C	9910	100
D	3695	8190
A+B	3176	5170
A+C	3098	4440
A+D	3165	5540

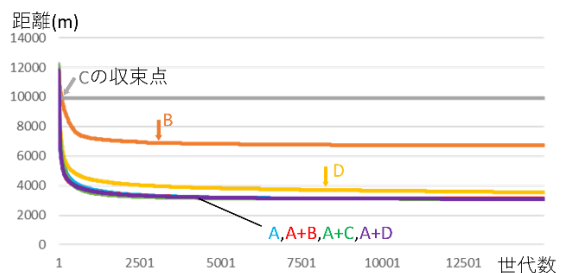


図6 各交叉方法の平均総距離(縦軸)と世代数(横軸)

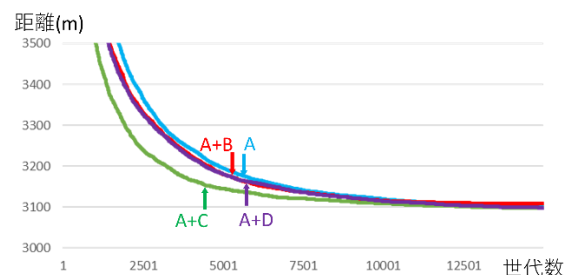


図7 図6の拡大図

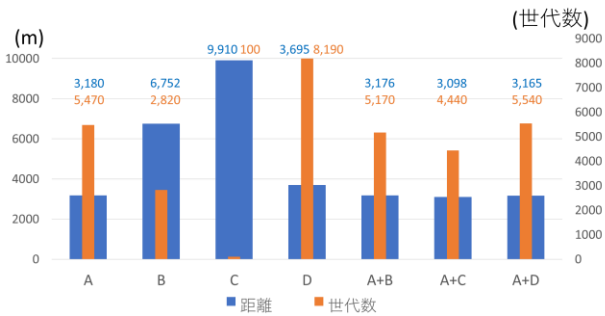


図8 各交叉方法の収束点の距離と世代数

### 5. 部分挿入型における淘汰方法の比較

次に淘汰方法について検討を行った。図9のように親となる遺伝子を距離ごとに順位付けを行った。

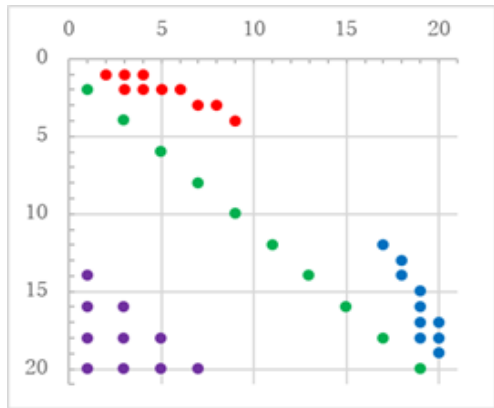


図9 エリート選択における親1, 2の順位の組み合わせ (縦軸: 親1の順位, 横軸: 親2の順位)

これをもとにA(部分挿入型)の淘汰の傾向を変えるため次のような条件で親を選択させた。

- E: エリート選択で上位同士を選択する (図9●)
- F: エリート選択で下位同士を選択する (図9●)
- G: エリート選択で似た順位同士を選択する (図9●)
- H: エリート選択で離れた順位同士を選択する (図9●)

- 条件1: 子を20生成する
- 条件2: 親も淘汰対象とする
- 条件3: 世代数は15000

E, F, G, H型についてそれぞれ10世代ごとに一番良い経路の総距離(単位はメートル)をとり, 100個のデータをとって, 平均値を求めた。また, 前項と同様にして収束点を求めた。

その結果から, 四つの淘汰方法の間で収束点の距離はあまり変わらなかったが, E型の収束点の世代数が最も小さかった。よって, エリート選択において順位の高い経路を次世代の親として選択することが, より早い収束につながると分かった。(表2, 図10~12)

表2 各淘汰方法の収束点の距離と世代数

型	収束点の距離(m)	収束点の世代数
A	3180	5470
E	3159	4620
F	3190	8450
G	3152	6370
H	3168	5900

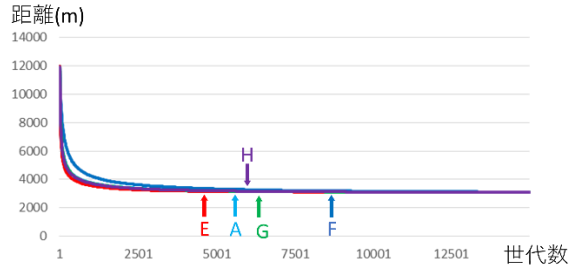


図10 各淘汰方法と平均総距離(縦軸)と世代数(横軸)

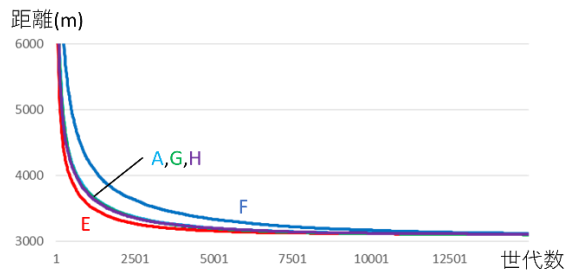


図11 図10の拡大図

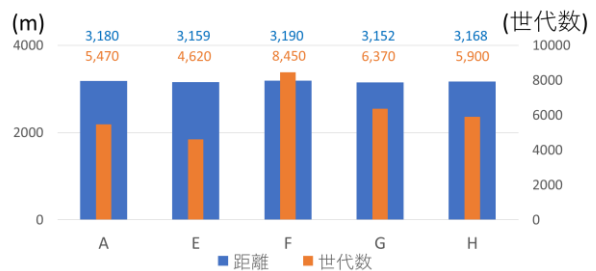


図12 各淘汰方法の収束点の距離と世代数

そしてこれらの結果から得られた最短経路は3044mであった。(図13)

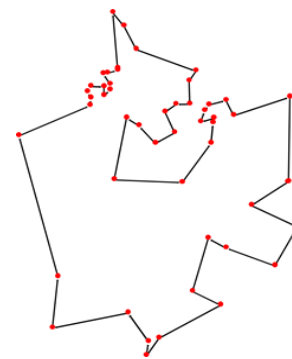


図13 本研究で最も距離が短かった経路

## 6. 考察

図8から、この条件下においては部分挿入型が四つの交叉方法の中で一番優秀で、循環交叉型が最も劣悪だった。しかし、これらを組み合わせた交叉方法が部分挿入型を単体で用いるより、早く収束し、比較的短い距離を示したことから、優秀な子だけでなく、劣悪な子もある程度次世代に残すことで、より良い結果になると考えられる。ここで隣接一致型(B)と循環交叉型(C)が劣悪だった理由として以下のことが考えられる。隣接一致型(B)は二つの親で共通する遺伝子の並びがそれ以降永遠に保存される。よって劣悪な遺伝子の並びが二つの親で共通して発見された場合、それが残り続けるので距離が短くなりにくい。一方循環交叉型(C)は二つの親の間で遺伝子の循環を見つけ、それ以外の遺伝子のみを交換する。よって、それ以降の交叉において前の交叉で利用した循環に含まれる遺伝子を選択した場合、結局同じ循環を見つけ出しそれ以外を交換するので、同じ経路を生み出してしまう。

また、図12から、エリート選択で上位同士を掛け合わせたものはランダムに選択するよりも早く収束したが、似た順位や全く異なる順位を掛け合わせたものはランダムに選択したものと同様に収束したので、収束の早さはエリート選択でどれだけ上位のものを掛け合わせるかに依存すると考えた。

## 7. 結論

ユニバーサルスタジオジャパンの主な52のアトラクションとチケット売り場を座標平面上にとった場合、部分挿入型、隣接一致交叉型、循環交叉型、複合体型の4つの交叉方法をそれぞれ単体で用いると、部分挿入型が最も優秀で、循環交叉型が最も劣悪であった。しかし部分挿入型に循環交叉型を組み合わせるとさらに収束が早くなることが分かった。また、エリート選択で上位のもの同士を掛け合わせることがより早い収束につながる事が分かった。具体的には、この方法を用いて約4500世代目で計算を止めるのが時間的観点から見て最適である。ただしこれらの結論は、ユニバーサルスタジオジャパンの座標を使っているため、今後は実際の道や待ち時間等を考慮したプログラムに改善していく予定である。

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、関西学院大学理工学部己波弘佳教授にご助言いただきました。この場を借りて謝意を表します。

## 9. 参考文献

- (1)国土交通省国土地理院(2019) ”平面直角座標を換算して経緯度、子午線収差角及び縮尺係数を求める計算”,  
<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/algorithm/xy2bl/xy2bl.htm>
- (2)国土交通省国土地理院(2019) ”日本の測地系”,  
<https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/datum-main.html#p>

(3)桜井進(2019) ”百億年かかっても解けない問題 巡回セールスマン問題班と遺伝的アルゴリズム”

<https://jbpress.ismedia.jp/articles/-/47988>

(4)ユニバーサルスタジオジャパン(2020) ”アトラクション | ユニバーサルスタジオジャパン | USJ”

<https://www.usj.co.jp/attraction/>

(5)静岡理科大学菅沼ホーム(2019) ”遺伝的アルゴリズム”

[https://www.sist.ac.jp/~suganuma/kougi/other\\_lecture/SE/opt/GA/GA.htm](https://www.sist.ac.jp/~suganuma/kougi/other_lecture/SE/opt/GA/GA.htm)

(6)古澤祥多,橋本有香,中島大輔, ”USJにおける最適巡回路”

<https://www.st.nanzan-u.ac.jp/info/gr-thesis/ms/2007/04mm010.pdf>

(7)Department of Computer Science and Engineering, College of Technology and Engineering, Udaipur, Rajasthan, India (2017) ”Traveling Salesman Problem Using Genetic Algorithm: A Survey ”

<http://ijsrcseit.com/paper/CSEIT1722335.pdf>