

# 自動車の形態と地面の形態の共進化

## 1 はじめに

本稿は、演習問題5.2「自動車形状進化へのオープンエンド性の導入」についてのレポート例である。

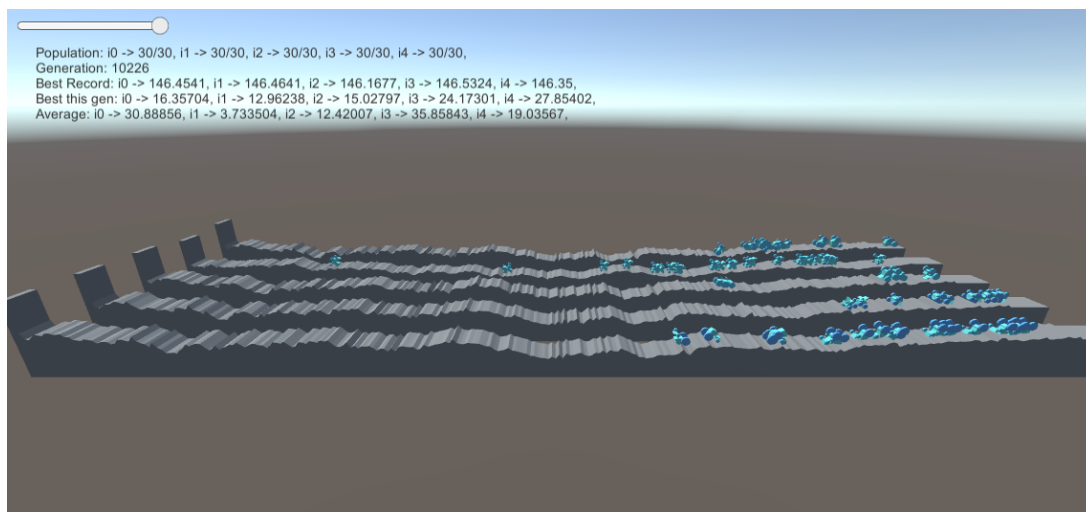


図 1: シミュレーション実行中の様子

## 2 方法

課題の具体的な実装方法を以下に述べる。

■車の GA パラメータ 車の適合度は最大到達距離で、交叉方法は BLX- $\alpha$  であり、各地形における車の GA パラメータは以下のようにになっている。

- 個体数：30
- トーナメントサイズ：25

- エリートサイズ：2
- 突然変異率：30%
- BLX の  $\alpha$ ：0.3

■**地形の遺伝子** 地形遺伝子は、次の要素を格納している。

- 地形適合度
- 地形を構成する各点の x 座標リスト
- 各点の y 座標リスト
- 各点のラベルリスト

このうち、各点のラベルリストとは、地形の各部をある程度まとめて扱うために、地形を構成する、はじめの 2 点と最後の 2 点を除く各点について、始点に近いほうから 10 点ごとに同じ整数値ラベルを振り分けたものになっている。すなわち、具体的には、{-1, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, .....} というようなリストになっている。この各グループをひとまとまりとして、地形の構造を変化させていく。

■**地形の進化** 地形構造の変化は、先述したグループを単位として行われる。

地形が変異をする際は、まず各グループにおいて 50% の確率で構造を変化させるかどうかを決定する。そして、変化させることになった場合は、グループ内の各点の y 座標に対し一様乱数を加え、地形を変化させるようにしている。

なお、一様交叉として、2 つの地形間で一部グループをスワップするような実装も用意したが、この交叉では地形の不連続性が顕著に表れ、適当な地形が生成されなかったため、今回は進化としては変異のみを採用している。

■**地形の適合度** オープンエンド性を導入するための地形の適合度として、はじめは単純に車の最大到達距離を-1 倍したものを採用した。しかしながら、そのような適合度では、**図 2** に示されるように、地形のはじめの位置で急峻な隆起を持って車が進めないような地形が高い適合度を持つようになってしまい、進化が停滞してしまった。

そこで、「良い地形」とはなにかということを考え直し、「どのような車も走破できないような地形」「全ての車が走破できる地形」のどちらも「良い地形」ということはできず、「適切な構造を持った一部の車のみが走破できるような地形」こそが「良い地形」であるとの結論に至った。そのような地形に対して高い適合度を与えることができる指標を考えた結果、今回地形の適合度としては、車の最大到達距離から車集団の平均到達距離を引いたものを用いることにした。すなわち、一部の車が長い距離を走破し、大多数の車が地形の最初の方で止まってしまうような地形ほど、適合度が高く算出される。

■**地形の次世代** 地形は、車が 3 世代変わるとに次の世代に移るようにした。その理由は、地形変化の間隔が 3 世代よりも小さいと、車が 1 つの地形への適合を十分になせず、逆に 3 世代よりも大きいと、1 つの地形への過度な適合をしてしまうと考えたからである。

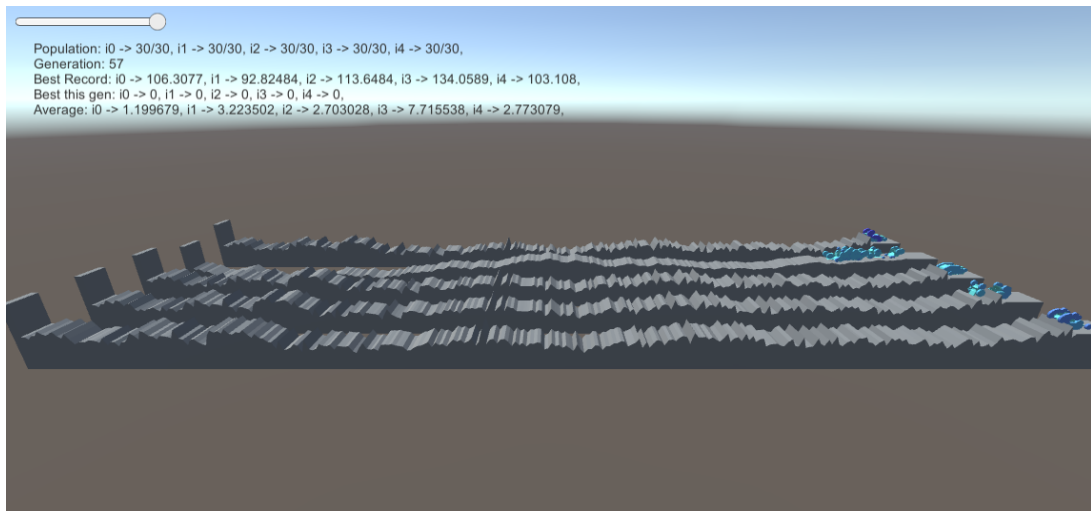


図 2: 地形適合度として  $-1 \times (\text{車の最大到達距離})$  を用いたときの数十世代後の地形の様子

図 1 にもあるように、各世代における地形の個体数は 5 であるが、地形が次の世代に移るときの構成は次のようになっている。

$$\text{エリート} : \text{ランダム} : \text{トーナメント\&変異} = 1 : 1 : 3$$

地形のトーナメントの参加個体数は 4 とした。また、世代交代ごとに、地形の配置順はランダムに変動するようになっている。

地形の次世代にランダム個体、すなわち第 1 世代での地形と同様の個体を挿入しているのは、地形が進化していくにつれてあまりにも初期形状から離れてしまうことを防ぐためである。つまり、進化によってあまりにも急峻になりどの車も走破できないような地形は、適合度が 0 に近くなるため、ランダム地形に適合度で抜かされ、淘汰されることが期待される。

### 3 結果

地形進化を導入し、進化にオープンエンド性を持たせたことでどのような形状に車が進化したかの結果を 図 3 に示す。また、比較対象として、地形を 3 世代ごとにランダム変化（適合度関係なし）させたときの車形状の進化の結果を 図 4 に示す。

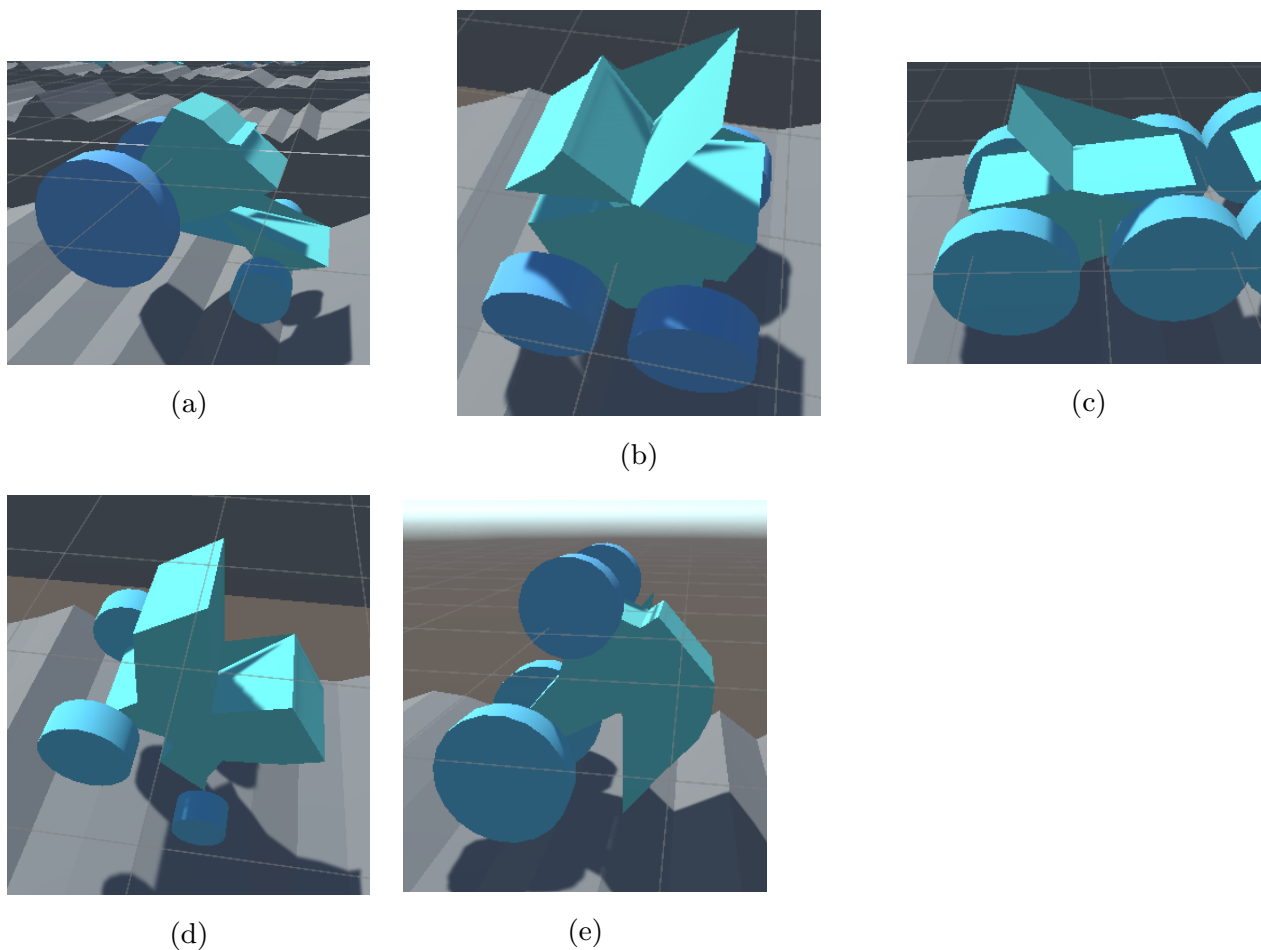
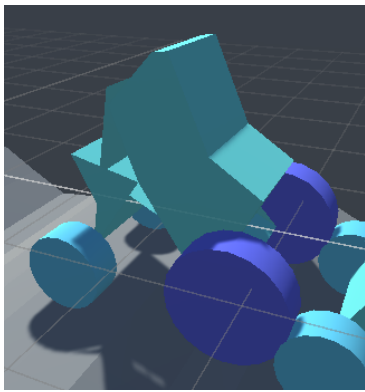


図 3: 地形進化導入による車形状の進化結果

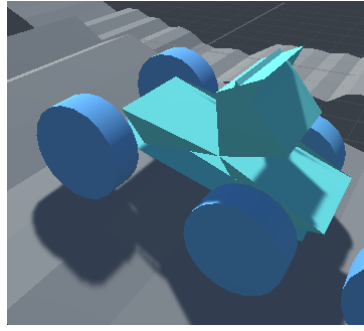
地形を適合度に従って進化させた場合、3 世代ごとに地形をランダムに変化させた場合、地形を初期形状から変化させなかった場合、の 3 通りの場合について、車の適合度（到達距離）の推移を比較したものが 図 5 である。

### 4 考察

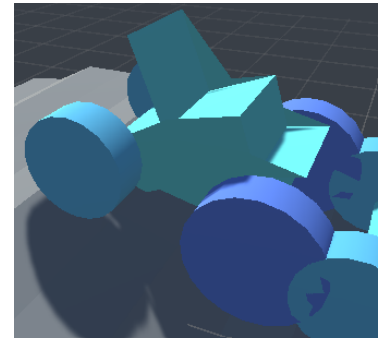
■車形状についての考察 地形進化による車形状（図 3）とランダム地形変化による車形状（図 4）を比較すると、全体的にランダム変化でのタイヤの色が地形進化でのタイヤの色よりも暗くなっている。すなわち、地形進化での車の方がタイヤに大きなトルクがかかるようになっていることがわかる。また、全体的に地形進化での車体の形状は、ランダム変化での車体の形状よりも、



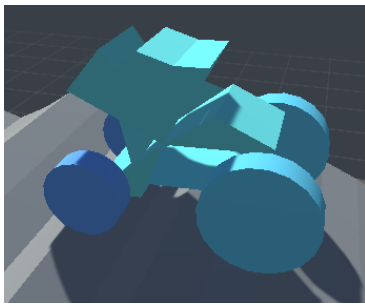
(a)



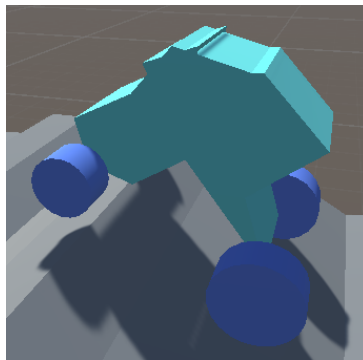
(b)



(c)

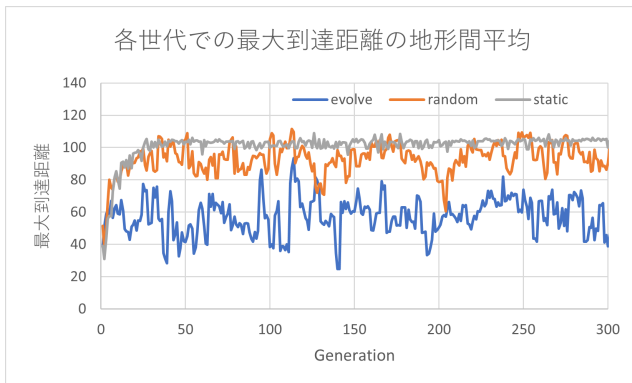


(d)

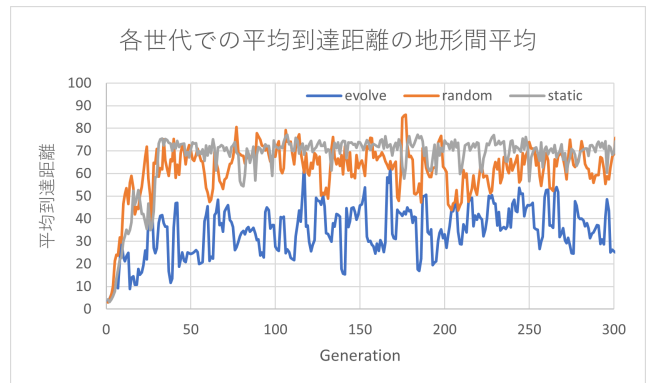


(e)

図 4: ランダム地形変化での車形状の進化結果



(a) 最大到達距離の地形間平均の推移



(b) 平均到達距離の地形間平均の推移

図 5: 「地形進化あり」「ランダム変動のみ」「地形変化なし」での車の到達距離の推移の比較

前輪が持ち上がった時に後ろ側に重心がくるようなものになっていることが読み取れる。

その理由は、地形適合度として「最大到達距離 - 平均到達距離」を採用した関係上、一部の車だけが走破できるような構造を持った地形、すなわち車をふるいにかけるような地形が優先的に生き残るようになっていて、そのようなふるいは微小かつ急峻な隆起群として実現されるようになるからだと考えられる。つまり、小さく急な隆起群において、車の大部分は隆起のどこかに引っかかってしまいそれ以上先に進めなくなってしまうが、一部の（運のいい）車は、隆起群に捕らわ

れることなく先に進むことができるのである。そして、そのような隆起群の走破をしやすい車というのが、タイヤにかかるトルクが大きく、かつ前輪が持ち上がりやすい形状の車で、そのような車は地形を飛び跳ねるように進んでいくことができるので、地を這って進むような車などと比較して、隆起群を乗り越える可能性が高くなっているのだと考察できる。

以上の結果より、地形形状にも進化を導入したことで、世代を経るごとに地形が車をふるいにかけるような構造を持つようになり、一方車は地形のふるいを乗り越えられるような形状に進化していく、というような、いわゆる共進化と呼べるような現象が起こっていることが観察できた。

**■車適合度（到達距離）についての考察** 図5 をみると、最大到達距離・平均到達距離どちらにおいても、地形変化なしの場合では30世代ほどから進化が収束し始め適合度の変化が小さくなっており、ランダム変動の場合も、30世代ほどの適合度を基準としてその後は上下に変動し続けていることがわかる。一方で、地形進化を導入した場合は、車の適合度は先の2つの場合よりも低い値を広い範囲で上下に変動し続けていることがわかる。

これは、地形が進化に伴って車をふるいにかける、車の一部がふるいを走破し高い適合度を出した場合、車の次世代はより多くの車がふるいを走破できるように進化し、そのために地形の適合度は徐々に低下していった、別の構造のふるいをもった地形が台頭するようになる、というようなことを繰り返していることの表れだと考えることができる。このようなところからも、お互いに高い適合度を出そうと形状を進化させていく、共進化が起きていることが読み取れる。

## 参考文献

[1] 伊庭齊志. Unity シミュレーションで学ぶ人工知能と人工生命. オーム社, 2022.