

3AG-1

種を単位とした適応度評価による 個体間の協調行動の進化

北橋昌樹

山口智浩

谷内田正彦

大阪大学大学院基礎工学研究科

1 概要

本研究では、遺伝的アルゴリズム (以下, GA) を用い、集団タスクのパフォーマンスを改善 (最適化) する個体間の相互作用である協調行動の進化実験を行う。協調行動の進化実験では、従来は集団を進化の単位とし、複数の集団を並列に進化させる集団評価が用いられてきた [1]。しかし、この手法は計算コストが大きいという問題がある。そこで計算コストの小さい個体評価を用いることが考えられるが、単純に個体評価を行なうと、個体が利己的に振舞い、集団としてのパフォーマンスは上がらない。そこで同じ遺伝子内容をもつ個体 (以下, クローン) の集合を種と定義し、評価対象とすることを提案する。これにより本研究では、種の適応度を評価することで集団の協調行動を評価し、進化することが可能であることを明らかにする。

2 理論

本研究の目的は協調行動が進化する条件の解明である。

一般に GA による集団行動の進化手法には集団評価・個体評価の2評価手法がある。集団評価は1集団を1染色体とし、 n 個の並列な集団を人口とした GA において、集団パフォーマンスを適応度とする評価方法である。個体評価は1個体を1染色体とし、 n 個体からなる集団を人口とした GA において、個体パフォーマンスを適応度とする評価方法である。

一般に集団パフォーマンスを最善にしようとする場合には、集団評価を用いる。しかしながら、集団評価は個体評価と比べると染色体の長さやシミュレーションコストが n 倍になり、計算コストが大きくなる問題点がある。

一方、計算コストが小さい個体評価を用いると、個体のパフォーマンスは最大化出来るが、個体間の相互作用を考慮しないので、集団のパフォーマンスを最大化することが出来ない。つまり各個体が利己的に自己のパフォーマンスを上げようとするため、協調行動を効率良く獲得することが出来ないのである。

そこで本研究では協調行動を含めた部分タスクの評価をクローン評価とし、クローン評価の線形和で集団評

価を近似する手法を提案する。クローン評価とは同一クローン種に属す個体パフォーマンスの平均をそのクローン種全体の適応度とする手法である。即ち、クローン評価は集団評価と個体評価の中間的性質をもつ。また、クローン種内で個体パフォーマンスを上げる相互作用 (協調行動) が生じると、そのクローン種全体の適応度が上がり、協調行動にとって有利に働く。この考えはハミルトンの血縁個体間における利他行動の進化条件 [2] に近い。

このように、クローン評価を行なうことにより、協調行動を評価し、GA を用いて協調行動を進化・獲得することが可能であることを実験により証明する。

3 シミュレーション

3.1 実験目的

今回の実験目的は2つある。第1は、タスク達成を誘導する信号の送受信のコミュニケーションプロトコルの進化において、孤立種：送受信共にしない、宿主種：送信のみする、寄生種：受信のみする、共生種：送受信すると定義する4種の個体数変化と集団パフォーマンスの関係についての考察である。

第2の目的は、集団タスクの進化において、次世代選択方法をいくつか変えることにより、共生種間での協調行動が進化的に安定になるための条件の解明である。

上記の2点を調べる為、以下の4つの実験を行なった。実験0：全て共生個体に固定、実験1：集団評価、実験2：個体評価、実験3：クローン評価。

また、シミュレーションは6角形のグリッドを敷き詰めた有限の大きさの環境内に、複数の生物とエサを配置する。このとき、環境中にある全エサを出来るだけ早く食べ尽くすことを集団タスクとする。但し、集団行動を導くバイアスとして、個体の食べられるエサの量に上限 (100) を設定した。従って、個体タスクとは個体が上限までエサを食べることとする。

3.2 設定

生物が持っている遺伝子内容はコミュニケーションプロトコルを決定する2要素、エサを食べている最中に信号を出すかどうか、その信号を受信するかどうかの2ビットのみとする。

また、GA で用いる適応度を集団評価時は“900 - 集団タスク達成 step 数”を用い、個体評価時は個体毎に、個体タスク達成時は“900 - 個体タスク達成時間”、個体タスク非達成時は1で与える。また、クローン評価時は、

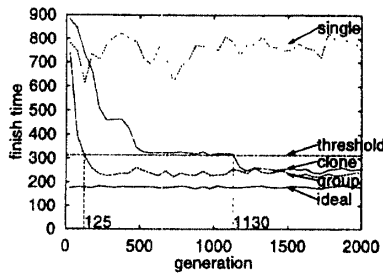


図 1: 集団タスク達成時間

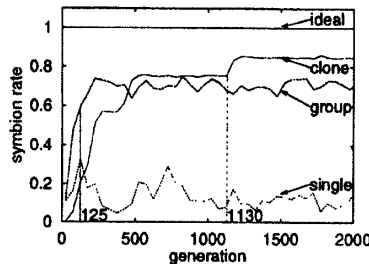


図 2: 共生個体の割合

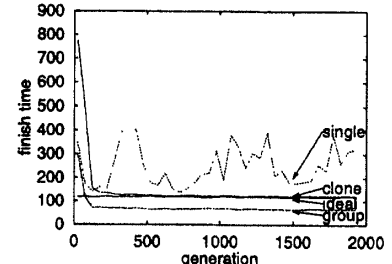


図 3: 最良試行の集団タスク達成時間

個体評価の値をクローン種毎に平均し用いる。

その他の GA 設定は、染色体長は集団評価時 $2 \times 8 = 16$ ビット、個体・クローン評価時 2 ビット、染色体数が 8、GA 戦略が一定の割合を淘汰する方式 [3]、淘汰確率が 50%、ランダム選択、突然変異確率が 1 ビット当たり 5%、世代数が 2000 世代である。

シミュレーションの諸設定は、環境の大きさが 30×30 グリッド、環境中の個体数が 8、環境中のエサの数が 9、エサ 1 つの量が 60、信号の送信距離が半径 15 グリッドである。また、各生物は、センサ入力なし時はランダムウォーク、あり時はセンサ入力で一意に決まる行動をとる。各生物は隣接グリッドに移動、隣接グリッドを見る、隣接グリッドのエサを食べる、信号の送信、信号の受信が可能。エサを食べる速度は単位時間あたり 1。信号の受信時は、その信号の方向に向かって移動。初期配置として、生物群を環境中心を中心とした円周上に配置し、エサを環境中心に局在させる。

4 結果

実験 0~3 における集団タスク達成時間の世代毎の 10 試行平均を図 1、全個体に占める共生個体の割合の世代毎の 10 試行平均を図 2、集団タスク達成最短時間の世代毎の 10 試行平均を図 3 に示す。

図 1 から、クローン評価により集団評価並のパフォーマンス向上が確認できた。また、実験 0 での全世代の集団タスク達成時間の最大値の 10 試行平均 314 を閾値として示す。これより、集団評価では 125 世代、クローン評価では 1130 世代から進化的に安定に収束したことがわかる。図 1, 2 から、集団タスクパフォーマンスの向上と、共生個体の割合と相関することがわかる。

5 考察

3.1 で述べた 2 つの実験目的について考察を行なう。

まず、第 1 にタスク達成を誘導する信号の送受信のコミュニケーションプロトコルの進化において、孤立・宿主・寄生・共生の 4 種の個体数変化と集団パフォーマンスの関係については、図 1, 2 からわかるように、共生個体の割合が上がるにつれて集団のパフォーマンスが上がっている。これは同種間で互いに助け合うコミュニケーションプロトコルを持つ共生個体の割合が大きいと結果的に集団のパフォーマンスを上げる効果があること

を示している。

第 2 に、共生種間での協調行動が進化的に安定になるための評価方法としては、集団評価とクローン評価が有効であることがわかった。前者が複数集団 (本実験では 8 集団) を用いてシミュレーションを行なうのに対し、単一集団を用いる後者のシミュレーションに用いる計算コストは前者の約 $1/8$ である。現実世界では、必ずしも複数集団の並列評価が可能であるとは限らないことを考えると、単一集団でのクローン評価が協調行動を有利にすることの意味は重要である。

第 3 に、図 2 よりクローン評価の方が集団評価よりも共生個体の割合が大きいのに関わらず、図 1 より集団評価の方がクローン評価よりも集団タスク達成時間が短い理由について考察する。各実験の最良試行の集団タスク達成時間の比較を図 3 に示す。これより、共生種独占状態 (実験 0) よりも、集団評価 (実験 2) の方が最良パフォーマンスが良いことがわかる。実験 2 では受信はするが発信はしない少数の寄生種が存在している。共生種はエサへの誘導信号を出すのだが、誘導信号が多過ぎると信号間で右往左往する個体が発生し、これが集団パフォーマンスを下げている。つまり、誘導信号は少な過ぎても多過ぎても集団パフォーマンスを下げるので、このことが少数の寄生種を許容する理由だと考えられる。

6 まとめ

本論文では、単一集団において同種の個体間で適応度を共有するクローン評価法を提案した。これを用いることで、従来の複数集団を用いた集団評価よりも小さな計算コストで集団の協調行動を進化・獲得できることを明らかにした。

今後の課題としては、クローン評価による協調行動のよりロバストな評価方法の検討、より難しい問題設定での集団評価との使い分けについての検討、クローン評価の他分野への応用などが挙げられる。

参考文献

- [1] Saunders, G. M. and Pollack, J. B.: The Evolution of Communication Schemes Over Continuous Channels, *Simulation of Adaptive Behavior-4*, pp. 580-589 (1996).
- [2] 東正剛: 地球はアリの惑星, 平凡社 (1995).
- [3] 安居院猛, 長尾智晴: ジェネティックアルゴリズム, 昭晃堂 (1993).