

繰り返し囚人のジレンマゲームにおける 共進化戦略に関する一考察*

根路 銘 も え 子 遠 藤 聡 志 山 田 孝 治 宮 城 隼 夫 †

琉球大学工学部‡

1 はじめに

適応的に解を獲得するアルゴリズムの一種として、自然のメカニズムを模倣した競合共進化アルゴリズムがある。我々は、ゲーム戦略問題における適応型探索手法としての競合共進化アルゴリズムに着目し、これまでに、解空間が比較的単純なゲームや Tic-Tac-Toe ゲームにおいて、有効な解の探索に優れていることを示した [1, 2]。しかしながら、ジレンマ状態を含むゲームにおける競合共進化による戦略の挙動については、まだ議論を行っていない。そこで、本稿では、繰り返し囚人のジレンマゲーム (Iterated Prisoner's Dilemma: IPD) における競合共進化モデルを提案し、アルゴリズムがどのような戦略を獲得するのかを検証する。

2 競合共進化

生物が互いに相手に対して優位に立とうとする結果、優れた生物へと進化する現象は、競合共進化と定義されている [3]。2 つ以上の個体群同士の相互作用的進化が特徴であるこのメカニズムは、工学的アルゴリズムとして様々な問題へ応用されている。

競合共進化モデルは、まず、遺伝的に区別された2つの集団で構成され、一方の集団内の1個体の適応度は、他方の集団内の個体との競合により決定される。各々の集団の個体が交互に評価されることにより適応度は更新され、集団は相互作用的に進化する。従って、競合共進化アルゴリズムは、個体が状況に適応した評価値に基づいて進化する適応型アルゴリズムであるといえる。

3 繰り返し囚人のジレンマ (IPD)

囚人のジレンマゲームは、各プレイヤーが協調 (C: Cooperate) または裏切り (D: Defect) の手をとる2人非ゼロ和ゲームであり、各プレイヤーには表1に示す利得がそれぞれ与えられる。表1は、囚人のジレンマゲームにおける代表的な利得である。

P_1 / P_2	協調 (C)	裏切り (D)
協調 (C)	R:3 / R:3	S:0 / T:5
裏切り (D)	T:5 / S:0	P:1 / P:1

表 1: 囚人のジレンマゲームの利得表

囚人のジレンマゲームにおいて、両者協調の場合の利得 (R: Reward), 両者裏切りの場合の利得 (P: Punishment), 一方が協調、他方が裏切った場合の協調の利得 (S: Sucker), 裏切りの利得 (T: Temptation) は、以下の2式を満たさなければならない。

$$T > R > P > S \quad (1)$$

$$2R > T + S \quad (2)$$

これは、両者が交互に搾取しあっても、ジレンマから抜け出せないことを示している。その結果、合理的なプレイヤーが自分の利得を最大にするように行動すると、かえって両者にとって不利な結果に陥る。これが、ジレンマである。

2式を満たす利得に基づく1回きりの対戦ゲームは、相互の裏切りをもたらす。しかしながら、不定回の対戦を繰り返す“繰り返し囚人のジレンマ (IPD)”においては、数多くの戦略が存在し、協調社会を創発する場合もある。参加者総当たり戦の IPD において、高い利得を獲得できる戦略の代表は、しつぺ返し (Tit for Tat: TFT) 戦略である。この戦略は、Axelrod [4] の IPD 総当たり選手権で優勝しているが、その優勝には、参加した戦略の種類が関係しているとの指摘がなされている。従って、IPD は、参加戦略次第で1戦略の評価が異なるため、有効な戦略を決定するのが困難なゲームといえる。

4 IPD における競合共進化モデル

本稿では、適応的に進化を促すメカニズムが、戦略の評価が参加戦略に応じて異なる IPD に対して有効に機能すると考え、IPD に競合共進化アルゴリズムを適用し、戦略の進化過程を検証する。また、自然界では、競合共進化によって築かれた生態系もあるといわれているため、IPD においても何らかの社会形態が築かれるも

*Study for Co-evolution of Strategies in Iterated Prisoner's Dilemma

†M.Nerome S.Endo K.Yamada and H.Miyagi

‡Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

のと考えられる。従って、競合共進化により獲得された戦略の社会形態についても解析する。進化過程の検証、戦略の社会形態を解析することにより、IPDに参加する戦略に応じた有効戦略の定式化および安定な戦略社会の構築できる可能性がある。

ここでは、IPDにおける競合共進化モデルを設計し、各設定について説明する。

4.1 戦略（個体）のコーディング

進化アルゴリズムにおいて、1戦略を1個体として進化させるため、戦略のコーディングが必要となる。戦略のコーディングは、Lindgren [5] が考案した方法を用いる。

ゲームを行う各プレイヤーは、過去の履歴と戦略をもとに次の手を決定する。長さ m の記憶をもつ m -記憶プレイヤーは、(3) 式の履歴を保持する。履歴は協調を1、裏切りを0とした2進数で表される。

$$h_m = (a_{m-1}, \dots, a_1, a_0)_2 \quad (3)$$

ここで、
 a_0 : 対戦相手の1回前の手
 a_1 : 自分の1回前の手
 a_2 : 対戦相手の2回前の手

この記憶 h_m は、 $0 \sim 2^m - 1$ の2進数で表現でき、その2進数 k で表現された記憶に対応する手を A_k とすると、プレイヤーの戦略は、(4) 式のようにコーディングできる。

$$S = [A_0, A_1, \dots, A_{n-1}] \quad (n = 2^m) \quad (4)$$

4.2 集団の設定

戦略に競合共進化を行わせるためには、評価を受け進化する戦略集団と、評価を与える戦略集団の2戦略集団を設定しなければならない。IPDにおいて、2集団を各々、評価を受け進化する戦略集団を有効な1戦略を決定するための進化戦略集団、評価を与えるもう一方の集団を1戦略が総当たり戦を行う環境戦略集団とし、進化戦略集団を進化させる。その後、進化戦略集団と環境戦略集団の役割を入れ換え、もう一方の戦略集団も進化させる。

また、異なる参加戦略に対する有効戦略の違いを明確にするため、初期集団を性質別に設定し、各々の獲得戦略の進化過程を検証する。

4.3 進化戦略の進化的計算

集団を進化させるためにGAを用いる。GAを適用する際の設定を以下に示す。

適応度

1戦略の適応度は、環境戦略集団との総当たり戦における平均利得とする。

$$F_i = \frac{1}{N} \sum_j g_{ij} \quad (5)$$

ここで、

F_i : 戦略 i の適応度

N : 総当たり戦における対戦相手数

g_{ij} : 戦略 i が戦略 j と対戦した際に得られる平均利得

遺伝オペレータ

選択は、ルーレット選択とエリート保存を行う。交叉は1点交叉を用いる。また、突然変異によって記憶長を変化させるため、3種の突然変異を用いる。

- 点突然変異: 染色体の特定のビットを反転させる。
点突然変異例: [00] → [01]
- 重複変異: 染色体のコピーを重複させる。
重複突然変異例: [01] → [0101]
- 分割変異: 染色体の前半または後半をランダムに選び削除する。
分割突然変異例: [1001] → [01]

GAの終了条件

競合共進化アルゴリズムを用いて2集団を進化させる場合には、1集団内の個体をどの程度進化させるかが重要になってくる。例えば、個体の適応度を終了の条件として設定する場合、閾値を低く設定すると、進化が十分に行われない可能性があり、また逆に高く設定しすぎると、探索が進展しない場合もある。つまり、個体の進化度はGAの終了条件に依存していると考えられ、終了条件は適切に設定しなければならない。従って、IPDにおける適切な進化の終了条件を検証するために、異なる終了条件を設定し戦略の進化を行う。

5 おわりに

本稿では、競合共進化によって、IPD戦略がどのように進化し、どのような戦略社会が形成されるのかを検証するために、IPDにおける競合共進化モデルを提案した。今後、競合共進化において、異なる初期集団の性質、GAの終了条件を設定したシミュレーションを行い、各々、どのような戦略が進化するのかを検証する。

謝辞

本研究の一部は、財団法人テレコム先端技術研究支援センターの支援により実施した。

参考文献

- [1] Moeko Nerome, Koji Yamada, Satoshi Endo, Hayao Miyagi: Competitive Co-evolution Model on the Acquisition of Game Strategy, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer, pp.224-231, 1997.
- [2] Moeko Nerome, Koji Yamada, Satoshi Endo, Hayao Miyagi: Competitive Co-evolution Based Game-Strategy Acquisition with the Packaging, Proceedings of the Second International Proceedings of the KES'98, pp.184-189, 1998.
- [3] 河田 雅圭: 進化論の見方, 紀伊國屋書店, 1989.
- [4] R. Axelrod (松田裕之 訳): つきあい方の科学-バクテリアから国際関係まで-, ミネルヴァ書房, 1998.
- [5] Kristian Lindgren: Evolutionary Phenomena in Simple Dynamics, Artificial Life II, pp.295-312, 1991.