

遺伝的アルゴリズムの不完全情報下繰り返しゲームへの適用*

Application of Genetic Algorithms for the Repeated Game with Incomplete Information

有村幹治**, 田村亨***

By Mikiharu ARIMURA, Tohru TAMURA

1. はじめに

土木計画分野において、GA は離散的組み合わせ最適化手法として理解されることが多い。最適化手法としてGAを適用する場合、目的関数は外部から設定され、所与の解空間での最適解探索を行なうのが一般的である。GAは生物の進化をベースとしたアルゴリズムであるが、そもそも進化は環境への適応であって、生物は最適化を行なっていない。言換えると工学的な最適化GAでは、①環境としての制約条件、②環境への適応度としての目的関数、の二つの要因を、問題を解く人間がGAの外側から設定し、これらの要因が遺伝子線列の解とは完全に独立している結果、工学的GAは最適化を行なうかの様に動作しているといえる。

本研究の目的は、複数主体の行動が相互の利得に影響を与える（相手の戦略に適応関数が依存する）不完全情報下でのゲームへGAを適用する方法を整理することである。また、ケーススタディとして航空アライアンスへの適用方法を考察する。

2. 不完全情報下での繰り返しゲームとGAの接点

GAをゲームに適用した研究としては、Axelrod・Forrestの繰り返し囚人ジレンマゲームへのGA適用(1987年)がある。この研究では利己的なプレイヤーの集団から、結果的に協調的戦略が他戦略の侵略に耐える戦略として選択されている。また、Forrest・Maye-KressはAxelrodらの研究を拡張して、非線形力学系モデルで表現された国際安全保障モデルの感度分析にGAを適用している(1990年)¹⁾。

ゲームに適用することの利点としては、①戦略の精緻化、②戦略の学習、の二点が挙げられる。①は戦略そのものの最適化であり、如何に遺伝子線列でゲームにおける戦略を表現するかが問題となる。②の戦略の学習は、利得行列における戦略のマッチングと利得計算をGAの学習機能により行なうことである。GAによる戦略学習

*Keywords: ゲーム理論・システム分析・遺伝的アルゴリズム

**学生員, 工修, 室蘭工業大学建設システム工学科

TEL: 0143-46-5897 / Fax: 0143-465888

E-mail m_arimu@muroran-it.ac.jp

***正会員, 工博, 室蘭工業大学建設システム工学科

E-mail tamura@muroran-it.ac.jp

における重要な概念としては、ランダム・マッチングでの繰り返しゲームにおける「集団均衡」²⁾の概念がある。集団均衡では、①プレイヤーはゲームのルールについて完全な知識をもつ必要は無い、②蓄積された過去のプレイの経験的知識に基づきプレイする、③より大きな利得を獲得する戦略を用いるプレイヤーの集団内での相対頻度が増加する、という条件下での安定した戦略の分布を均衡点とする。GAにおける遺伝子線列をプレイヤー、学習した知識を設計変数の組み合わせ（戦略）と置きかえると、①遺伝子線列中の設計変数はランダム生成されるもので目的関数は影響しない、②遺伝子線列は環境への適応度が高い設計変数の組み合わせ（戦略・スキーマ）に従いデコードされる、③適応度が高い戦略を持つ遺伝子線列は世代交代時に増殖する、と処理プロセスにおいて概念的に一致する（ただし、GAは人口サイズと最大世代数が外形的に与えられる為、ランダムマッチを無限大に繰り返すことにはならない）。単体のGAの探索プロセス自体、遺伝子線列の集団均衡の探索といえるが、本研究では各プレイヤー毎にGA学習モデルを構築する。ランダムに対戦させ各プレイヤーのGAモデルを学習させることで、他プレイヤーの戦略に負けないロバストな戦略獲得が期待できる。

3. 航空ネットワーク提携問題への適用

近年の航空業界の再編は、二カ国間協定による運行制約への企業なりの適応といえる。今後のアライアンスの進展、及びオープンスカイの進展次第により東アジアにおける航空ネットワーク構造は変化する可能性があるが、いずれにしろ、利用者便益確保のための施策としては、オープンスカイの判断と共に、国際航空の規制・自由化の判断が必要である。競争制限的な提携は排除すべきであるが、その為には互いの利益に影響しあう各アライアンスの戦略決定プロセスを把握することが問題となる。

そこで本研究では、利益最大化行動を取る各アライアンスのネットワーク構造を戦略として考慮できるGAモデルの構築する。具体的には、各アライアンスをプレイヤー、プレイヤーの戦略をネットワーク構造として、利用者を奪い合うゲームを考える。アライアンス間のn人非協力ゲームを、GA学習モデルを適用して繰り返すこ

とで、アライアンス内の航空会社の分担変化や他アライアンスの戦略次第で発生するリスクに適応できう戦略の発現を期待できる。ここでは、①提携ルールの遺伝子線列表現、②繰り返しゲームによるGAの学習、の二点について順に説明する。

(1) 航空ネットワークの遺伝子線列表現

リンクの有無を直接バイナリ表現で記述できる道路ネットワークとは異なり、航空ネットワークの場合全ノード間の組み合わせ可能性を遺伝子線列で表現しなくてはならない。ここでは各空港間にリンクがある場合は1、無い場合は0として、接続行列を生成することを考える。リンクの有無を bit 表現すると、n個のノードでは(1)式分の遺伝子線列長が必要となり、空港数によっては線列長が冗長となる。空港数をnとした場合のネットワーク形状数(戦略の数)と利得行列の大きさの関係を(1)、(2)、(3)式に示す。空港数が増加した場合、遺伝子線列が冗長になる線列構造では、良好なスキーマタ(設計変数の組み合わせ)が発生しにくい問題がある。

$$l = \frac{n \times (n-1)}{2} \quad (1)$$

$$r = 2^l \quad (2)$$

$$X = r^p - p \quad (3)$$

n: 空港数

l: リンク数 p: プレイヤー数 r: ネットワーク形状の

組み合わせ数 X: 利得行列におけるプレイ数

そこで本研究では、空港数に依存しない線列構成を行なうため、北野³⁾によって提案されたニューロ・ジェネティック・ラーニングで用いられた、ネットワーク生成ルールによる遺伝子線列のコーディング方法を用いて航空ネットワークを表現する。図-1に8つのルールセットを設計変数として示す。

基本ルール	変換ルール	基本ルール	変換ルール
[0 0 0] →	$\begin{bmatrix} 010 & 110 \\ 001 & 011 \end{bmatrix}$	[1 0 0] →	$\begin{bmatrix} 000 & 110 \\ 001 & 010 \end{bmatrix}$
[0 0 1] →	$\begin{bmatrix} 100 & 110 \\ 101 & 011 \end{bmatrix}$	[1 0 1] →	$\begin{bmatrix} 100 & 110 \\ 001 & 011 \end{bmatrix}$
[0 1 0] →	$\begin{bmatrix} 010 & 111 \\ 101 & 010 \end{bmatrix}$	[1 1 0] →	$\begin{bmatrix} 010 & 110 \\ 001 & 010 \end{bmatrix}$
[0 1 1] →	$\begin{bmatrix} 100 & 111 \\ 011 & 010 \end{bmatrix}$	[1 1 1] →	$\begin{bmatrix} 100 & 110 \\ 011 & 111 \end{bmatrix}$

図-1 ネットワーク生成ルール
遺伝子座 (基本ルール)

[000]	[001]	...	[111]
010/110/001/011	010/110/001/011	...	100/110/011/111

遺伝子線列 (変換ルール)

図-2 遺伝子線列

遺伝子線列では、各基本ルール毎に変換ルールがランダム生成される。図-1の様に3bitで生成ルールを設定した場合、空港数に関わらず遺伝子線列長は96bitで

固定される。接続行列は基本ルール[000]を基に変換ルールにより各基本ルールを再帰的に呼び出すことで生成され、接続の有無はbitの右端により指定される。

(2) GAによる繰り返し学習モデル

前節までの線列構造を持つGAを各プレイヤー毎に構築する。プレイヤー数は複数であっても構わない(図-3では2人)。プレイヤーの戦略(ネットワーク形状)を示す遺伝子線列は、他プレイヤーの一定数の戦略とプレイを行ない、得ることができた利得の平均値をその戦略のGAでの適応度として評価する。GAによる世代交代を繰り返すうちに、各プレイヤーの人口サイズで安定して利得が得られる戦略が進化する。最終的に得られた戦略を空間的に分析することで、アライアンスを構成する航空会社のネットワーク形状も分析できる。

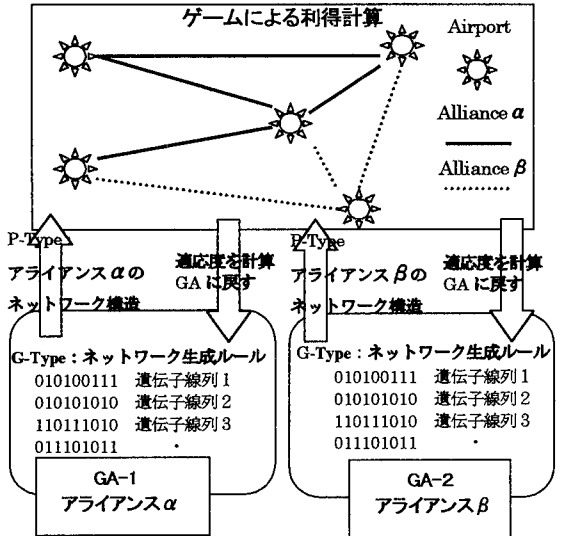


図-3 GAによる繰り返しゲームと戦略獲得

4. おわりに

本研究では、不完全情報下のゲームへのGAの適用方法を、遺伝子線列による戦略表現と繰り返しゲームによる均衡解の探索の二つの観点から整理した。具体的なケーススタディは示していないが、講演時にアメリカ・東アジア間の航空アライアンスのネットワーク構造への適用例を示す予定である。

<参考文献>

- 1) Forrest・Maye-Kress: 遺伝的アルゴリズム、非線形力学系、そして国際安全保障のモデル、遺伝的アルゴリズムハンドブック、森北出版 1994 年
- 2) 岡田章: ゲーム理論、有斐社 1996 年
- 3) H. Kitano: "Neurogenetic learning: an integrated method of designing and training neural networks using genetic algorithms", Physica D 75, pp.225-238, 1994 年