

IV-36

東アジアの航空アライアンスを考慮した航空ネットワーク構成モデルの構築

室蘭工業大学 学生員 諏訪純
 室蘭工業大学 学生員 有村幹治
 室蘭工業大学 正員 田村亨

1. はじめに

近年の東アジアにおける航空業界においては、エアライン提携による再編が急速に進んでいる。このアライアンスと呼ばれる大規模なエアライン提携は、政府間による二カ国間協定による運行制約への企業なりの適応方法と言い換えることができる。エアライン提携のメリットは、①機材や乗務員の効率的な活用によるコスト削減、②他社ネットワークとのコードシェアによる自社ネットワークの補完、③乗り継ぎ利便性の向上、とされている。

いずれにしろ、利用者便益確保のための施策としては、競争制限的な提携の排除やオープンスカイの判断といった、国際航空の規制・自由化の判断が必要となる。しかし今後のアライアンスの進展、及び政府間交渉によるオープンスカイの進展、また東アジアにおけるハブ空港の建設ラッシュという背景により、今後の航空ネットワーク構造が大幅に変化することが十分に予想される。現状では各アライアンスにより、その参加条件は異なるが、アライアンスが十分に機能したときに考えられることは、①より集客が可能な就航路線の選択、②採算が合わない路線からの撤退、以上の2点が2国間協定による制約を超えない範囲で発生する可能性である。

今後の航空市場分析のためには、互いの利益に影響しあう各アライアンスの就航路線選択戦略を把握することは必要不可欠な問題となるが、アライアンスはここ数年の間に発生してきたものであり、まだその研究蓄積はあまりなされていない。ネットワークを考慮した研究としては、黒田らは、国内航空旅客市場を対象として、キャリアを先手、利用者を後手としたシュタッケルベルグ均衡問題として定式化し、関西国際空

港開港以降の国内航空ネットワークを最適化した場合の旅客流動への影響を分析している¹⁾。エアライン間の競争を考慮した研究としては、高田らが協力ゲームとしてエアライン間提携を扱い、提携成立過程を、①空港容量②着陸料③施設使用料④オープンスカイ、を外的要因としてモデルに取り込み、これらがネットワーク構成へ与える影響を分析している²⁾。

これら既存の研究では、通常ネットワーク構造を所与のものとし、就航頻度の最適化を行っており、モデルの仮定上、各キャリア毎に就航路線の有無という操作変数は含まれなかった。就航ネットワークを考慮する問題点としては、①考慮するネットワーク構造数がノード数に依存し増大すること、②各キャリアが得ることができる利得は相手のネットワーク構造によって変化しうること、の2点が挙げられる。

本研究の目的は、利益最大化行動を取るアライアンスのネットワーク構造をゲームモデルにおける戦略として考慮し、GAによりゲームの均衡解探索を試みることである。具体的には、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のモデル化を行い、その解法としてGAを並列化する工夫を行う。また東アジアの航空ネットワーク構造を考慮して簡単なケーススタディを行い、提案した手法による探索解の安定性を確認する。

2. ゲームへのGAの適用方法

(1) ゲームへのGA適用の背景

筆者らは単一目的・多目的問題へのGAの適用方法について研究を既に行った。これらの最適化モデルは単一主体を対象とした評価モデルであり、GAは最適化ツールとして用いられていた。

Building a Model for Airline-Alliance using a Game-theory GA

By Jun Suwa, Mikiharu Arimura, Tohru Tamura

しかし、現実には複数の主体が、ある一時点の情報から同時にその行動を最適化しようと行動した場合、結果的に生成される全体の現象からは必ずしも最適な結果が得られるとは限らない。各主体の学習を通じた試行錯誤により社会的な合意が形成されることは、土木計画が対象とする対象に関らず、一般的に存在する事象である。

本研究で構築する並列 GA は、遺伝子線列の地理的格差の概念を利用して、GA 同士が相互学習を行うアルゴリズムである。その目的としては、①複数主体の同時学習を再現すること、②学習結果による戦略の選択行動が互いに影響を及ぼすこと、の2点を解探索の過程において再現することである。

なお、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)³⁾。

(2) 並列 GA の概要

本研究で構築した GA は以下のような戦略形 n 人ゲーム G を解くことを目的としている。

$$G = (N, \{S_i\}_{i \in N}, \{f_i\}_{i \in N})$$

ここで、

N : プレイヤー集合 $\{N = (1, \dots, n)\}$

S_i : プレイヤー i の選択可能な行動、あるいは戦略の集合

f_i : プレイヤー i の利得関数で直積集合 $S = S_1 \times S_n$ 上の実数値関数

ここで S_i の戦略集合は離散的な要素の集合 \mathbb{I} によって記述されており、その組み合わせ数の多さにより、全ての利得行列を計算することはできないものとする。各プレイヤーに割り当てられた GA は、各プレイヤーの利得を最大化するような戦略の探索を行う。

$$\left. \begin{array}{l} f_i(\{I_1, I_{-i}\}_{i \in N}) \rightarrow \max \\ g_i(I_i) \leq 0 \\ I_i \in S_i \\ I_i = \{I_1, I_2, \dots, I_m\} \\ \text{or} \\ I_i = \{I_1, I_2, \dots, I_k, \dots, I_m\}, \forall I_k \in \{0, 1\} \end{array} \right\} \rightarrow \text{for } GA_i$$

N : プレイヤー集合 $\{N = (1, \dots, n)\}$

I_i : プレイヤー i の戦略を表現する遺伝子線列

I_{-i} : プレイヤー i 以外の戦略を表現する遺伝子線列

m_i : プレイヤー i の戦略構成要素数

f_i : プレイヤー i の利得関数

g_i : プレイヤー i の戦略組み合わせの制約条件

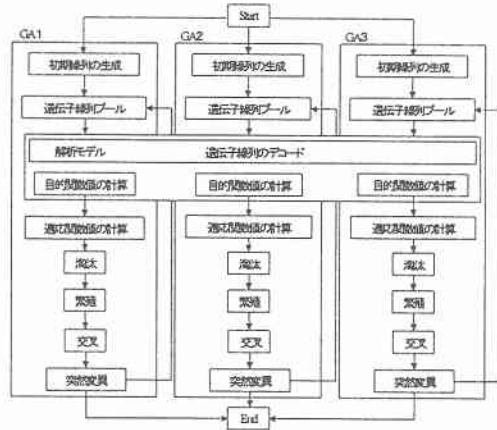


図-1 並列 GA のフローチャート

GA は各プレイヤー毎に構築され、遺伝子線列の生成、淘汰、交叉、突然変異は、それぞれの GA において行われる。遺伝子線列の評価については、各 GA の遺伝子プールからランダムに遺伝子線列を抽出し、ランダム・マッチングを行うことで各プレイヤーの利得が計算される。この遺伝子線列のランダム・マッチングは複数回行われ、平均的に高い利得を得ることができた遺伝子線列は、高い適応関数値を得ることができる。その結果、淘汰処理により高い利得を得ることができる戦略が多く遺伝子プールを占めることになる。以下、順に初期線列の構成と、各世代での目的関数の計算方法の概要を示す。

1) 初期線列の記述方法

初期線列は、並列化を行う各 GA でそれぞれ生成される。ここで、 GA_i によって生成される遺伝子線列を \mathbb{I} と置くと、以下のように記述できる。

$$I_i = \{I_1, I_2, \dots, I_{m_i}\}$$

or

$$I_i = \{I_1, I_2, \dots, I_k, \dots, I_{m_i}\}, \forall I_k \in \{0, 1\}$$

ただし、

$$I_i \in PSZ_i \subset X_i$$

$$|PSZ_i| = PSIZE_i$$

ここで、

X_i : プレイヤー i の全戦略集合

PSZ_i : プレイヤー i の遺伝子線列集合

$PSIZE_i$: プレイヤー i の人口サイズ

I_i : プレイヤー i の遺伝子線列 (戦略を表現する)

2) 目的関数の計算

プレイヤー i の遺伝子線列全てについて、他プレイヤーから遺伝子線列をランダム抽出し利得関数を計算する (図-2)。このランダム・マッチングを任意の回数 (K 回) 行う。本研究では、目的関数を K 回分ランダム・マッチングの平均値とおいた。

$$\left[F_i(I'_i) = \frac{\sum_{k \in K} f_i(I'_i, I'_1, \dots, I'_k, \dots, I'_n)}{K}, \quad I'_i \in PSZ_i \right] \rightarrow Max$$

K : ランダムマッチングの回数

I'_i : プレイヤー i の遺伝子線列集合から抽出された遺伝子線列 j

F_i : プレイヤー i の遺伝子線列 j の目的関数値

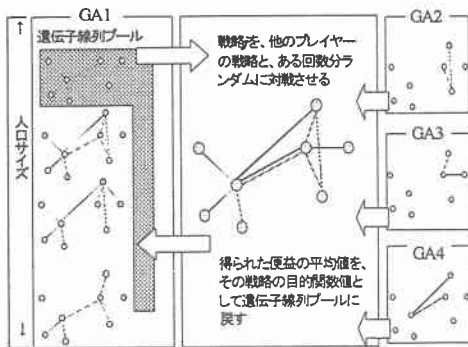


図-2 並列 GA におけるランダムマッチ

なお、適応関数計算・淘汰処理・交叉処理・突然変異は各 GA 毎に行われる。

3. 航空ネットワーク競合問題への適用

(1) モデル構築上の仮定

本研究では、各アライアンスが提示する航空ネットワークに応じて利用者が路線選択を行うものとして、モデル構造を上位と下位に分けたシュタッケルベルグ

計画問題としてモデリングした (図-3)。各アライアンス同士のネットワーク戦略は互いに分からないものとし、利用者は提示されたネットワーク構造から最も利得が高い路線を選択するものとした。

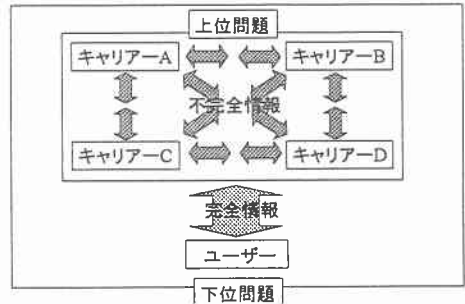


図-3 競合モデルのフレーム

利用者の行動としては、常に最短時間距離ルートを選択するものとし、All-or-Nothingにより配分を行った。経路上に複数企業の就航路線がある場合、それぞれ就航路線数に等配分するものとした。就航されないノードからは旅客は発生しないものとした。

アライアンスの行動としては、フリートは複数種類設定し、座席数と運行コストは所与のものとした。空港間の運賃も所与とした。各航空企業の就航路線間に配分された旅客は全て運送するものと仮定し、路線上の旅客を座席数で除し、運行頻度を算出した。運行頻度と運行コスト、輸送人員と運賃より、B-Cを計算し目的関数とした。目的関数を以下に示す。

$$Benefit_n = \sum_{(i,j) \in Ln} [\delta_{i,j} \times OD_{i,j} \times P_{i,j}]$$

$$Cost_n = \sum_{(i,j) \in Ln} \left[\delta_{i,j} \times \min \left(\frac{OD_{i,j}}{S_{k \in Kn}} \right) \times C_{k \in Kn} \right]$$

ここで

$$Object_n = Benefit_n - Cost_n$$

n : 企業 n

Kn : 企業 n の全保有機材の集合

$OD_{i,j}$: i, j 間に配分された旅客数

$\delta_{i,j}$: i, j 間に就航路線がある場合 1、無い場合 0

Ln : 企業 n の就航路線の集合

$P_{i,j}$: i, j 間の運賃

$S_{k \in Kn}$: 機材 k の座席数

$C_{k \in Kn}$: 機材 k の就航コスト

(2) 計算結果

ケーススタディに用いた仮想ネットワークを図-4

に示す。図中の円の面積は発生交通量に比例している。

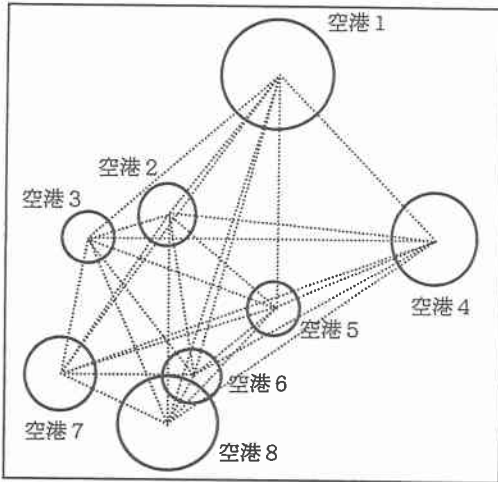


図-4 仮想ネットワークとOD分布

プレイヤー数は4人、各プレイヤーに割り当てられたGAの人口サイズは100、200、300、適応関数係数Cを1.5、1.8、2.0、最大世代数100としてそれぞれ計算を行った。図-5に、人口300、適応関数係数2.0の場合の解探索過程を示す。

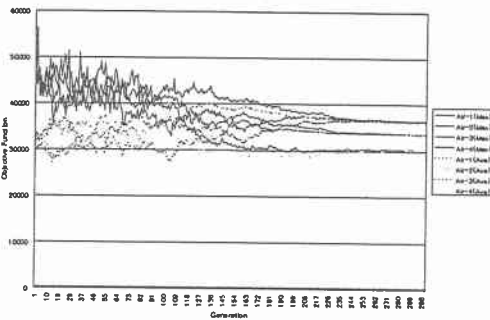


図-5 解探索過程 (人口サイズ300・淘汰係数2.0)

図-5より、複数プレイヤーの世代間での戦略変化と利得の推移を観察すると、ある世代から遺伝子線列集団の利得平均と最大利得の差の収束が始まり、交叉処理を重ねることで、①各GAの遺伝子線列集団の分布、②全体としての遺伝子線列集団の分布、が一定の範囲に収束していく様子が観察できる。

また、本研究ではGAで設定された遺伝子線列構造を用いてモンテカルロ・シミュレーションを行い、解空間分布状況とGA探索解の有効性を確認した。

図-6は、最大世代数まで進化が進んだ状態の遺伝子線列集合から最大の利得を得た線列を取り出し、他

のプレイヤーの戦略をランダムに発生させ、ゲームを行った場合のモンテカルロ・シミュレーションによる解の発生頻度分布である。この図より、GAによる学習により、どのような戦略と対戦しても安定した利得を得ていることが確認できた。

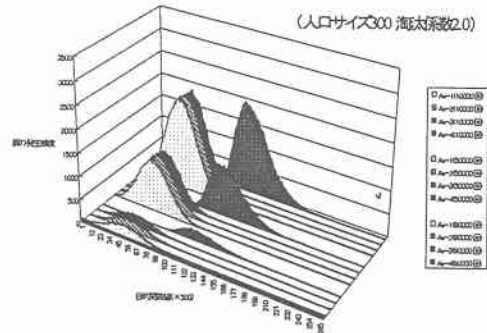


図-6 モンテカルロシミュレーションによる解の分布状況 (最終世代まで最大の利得を得たプレイヤー4の戦略を固定、他はランダム)

4. おわりに

本研究では、航空ネットワーク競合問題をゲームとしてモデル化し、その解法として並列GAの適用を試みた。ケーススタディでは、構築した並列GAにより安定して利得を得る戦略を探索できたことをモンテカルロ・シミュレーションにより確認した。本研究で行ったケーススタディには政策的合意点は含まれていない。今後の課題としてはアライアンス機能としてのフリートや人員の企業を超えた活用方法や、政府間協定をモデルに取り込み分析を行うことである。

<参考文献>

- 1) 黒田勝彦, 竹林幹雄, 三保木悦幸: シュタツケルベルグ均衡による国内航空ネットワーク分析, 土木計画学研究・論文集 No.14, pp757-763 1997年
- 2) 高田和幸, 屋井敏雄, 原田誠: 旅客とエアラインの地域特性を考慮した国際航空市場分析, 土木計画学研究・講演集 No.22 (1), pp207-210 1999年
- 3) Forrest・Maye-Kress: 遺伝的アルゴリズム, 非線型力学系, 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