

競合船社の集荷力を考慮した太平洋コンテナ定期船航路の寄港地決定支援システム*

Computer aided decision on calling of ports of Pacific container liners considering their competitors*

久保 登**・勝原光治郎**・小林 充**
松倉洋史**・渋谷 理**

By Noboru KUBO**・Mitujirou KATUHARA**・Mitsuru KOBAYASHI
Hiroshi MATSUKURA**・Osamu SHIBUYA**

1. はじめに

海上コンテナ輸送の世界幹線であるアジア・北米間の太平洋コンテナ定期船航路(以下、太平洋定期船航路)は、近年、特に中国発貨物の増加により著しく輸送量を増大させている。これらの航路の持つ寄港パターン(寄港地と寄港曜日)は、各船社の業績を決めるだけでなく、競合他社への優位性、ひいては地域の経済発展をも左右する大きな影響力を持っている。

本稿では、アジアと北米西岸のコンテナ拠点港に寄港する1~数本の航路について、寄港パターンからその航路の集荷力を評価し、有利な集荷を行うような寄港パターン(以下、航路編成と呼ぶ)案を、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて自動生成するシステムについて紹介する。本システムでは、他社航路の高速船投入に対する自社航路の対抗策や、コンテナ出荷数の増大した港への寄港選好などが自動的に計算される。本システムを利用することで、所与のコンテナOD量に対して最適な航路編成案を迅速に求めることができ、従来もっぱら手作業で行っていた寄港地・寄港曜日の決定を支援することができる。

2. コンテナ船航路の現状

現在の太平洋定期船航路は、この数年間の中国の急速な工業化を受けて、年率20%の出荷貨物増を継続するという、かつてない急激な変化を見せている¹⁾。これに伴い、中国大陸では、大連、天津、青島、それに香港に隣接した広東省の深センなどの巨大コンテナ港が多数

*キーワード：計画手法論、物資流動、海上交通

**独立行政法人 海上技術安全研究所 物流研究センター
(東京都三鷹市新川6-38-1、

TEL0422-41-3102、FAX0422-41-3112)

出現した。現在では東アジア発北米向けの太平洋定期船航路は、世界1位の輸送量を持つようになった。上で示した中国大陸拠点港やその他の地域にある釜山、高雄、シンガポール、ポートケラン、レムチャバンなどの港は年間2000万~300万TEU(1TEUは、20フィート=6m長の海上コンテナ1個換算のコンテナ量単位)のコンテナを扱う拠点港として発展している(香港、シンガポール、上海、深セン、高雄、釜山は2003年のコンテナ取扱量で世界1位~6位を占めている)。

また、太平洋定期船航路船社も激しい競争を行い、これらの船社は1994年以降、アライアンス(船社連合)と呼ばれる共同運航体制を敷くようになった。現在(2001年以降)では、世界のコンテナ航路のうち太平洋定期船航路は表1のような6つのアライアンスに集約されている(注:デンマークのマースク=シーランド社と台湾のエバーグリーン社はそれぞれ1社運航だが、運航規模から1アライアンス相当とみなした)。

表-1 アジア北米航路の6大アライアンス

- | |
|---|
| (1) マースク=シーランド(デンマーク) |
| (2) エバーグリーン(台湾) |
| (3) 日本郵船・ハバックロイド(独)・P&Oネドロイド(英蘭)・OOCL(香港) |
| (4) 商船三井・APL(シンガポール 米)・現代商船(韓国) |
| (5) 川崎汽船・陽明海運(台湾)・COSCO(中国) |
| (6) 韓進海運(韓国)・Senator(韓 独) |

これらの船社は、年率20%前後で増加する東アジア発のコンテナ貨物量に対応し、また次々と整備される巨大コンテナ港に集まる大量のコンテナを効率よくかつ自社に有利に獲得して輸送する必要がある。コンテナ量の増加に対して、各船社は2003年ごろから、それまでの5500~6000TEU積のコンテナ船に代わる8000TEU前後の超巨大船を相次いで発注するようになった。太平洋定期船航路は、中国発貨物の伸びが今後も変わらなければ、これらの船が就航する2005年以降の数

年間で、この8000TEU～10000TEU積という超巨大コンテナ船の時代になると見られている。

3. 航路編成作業とその意義

このような、貨物量の著しい増加、貨物取り扱い港の取扱高の変化、共同運航体制の激変などの状況下では、各船社は、荷物を預ける顧客(荷主)へのサービス水準を良好なものとしながら、同時に自社の利益を確保しなければならない。また運航地域内での他社に対する自社の立場、あるいは共同運航をしている自アライアンス内での立場を有利にするような経営を行うことも重要になる。

需要増の際、輸送容量を確保するには、前述のようなコンテナ船の大型化などの策を取ればよい。しかし、寄港地でのコンテナの獲得がうまく行かなければ、船社は多額の損失をこうむることになる。

コンテナ定期船航路とは、路線バスのようにルート、停留所(寄港地)、スケジュールなどが決まっている航路である。そのため、多量の貨物が期待できる港を、無駄なく適切な日程で運航する航路を設定する必要がある。

航路編成とは、このような、自社(自アライアンス)の寄港ルートと運航スケジュールを定めた、「バス運航系統とダイヤ」にあたるものである。航路編成のよしあしで、コンテナの集まり方が大きく変化し、収益変化することになる。従って、適切な航路編成の設定は、船社が自社に有利な経営をするための最も基本的な方策の一つとなる。

航路編成には、各航路スケジュール本体や船舶・港湾の諸条件、あるいは荷主の都合、船社自身の都合などの様々な条件が複雑に存在する。また、一つの航路編成内でも、それぞれの航路の運航スケジュールが他の運航スケジュールに影響を与えたり、他アライアンスの航路編成と影響しあったりする。

このために、現在でも航路編成作業は、各船社の熟練担当者が手作業で行うが、作業の負荷は大きく、年に1回程度の大きな変更では2～3ヶ月、それ以外の小さな変更でもかなりの時間を費やす。

しかし、冒頭のように、コンテナ荷動きは日々変動し、業務を提携するアライアンスまでが毎年のように大きく変化する状況では、自アライアンス、あるいはその中の自社の立場が不利にならないようにするために、航路編成は迅速である必要がある。

ここで、それぞれの条件を「パラメーター」と考えれば、最良の航路編成の決定は、多数のパラメーターを持った「組合せ最適化問題」ととらえることができる。

4. 航路編成の自動生成システム

そこで、本稿では「遺伝的アルゴリズム(GA)」を用いて、これらの作業を計算機で扱えるシステムを考案した。本システムでは、東アジア～北米西岸のみを往復する太平洋定期船航路について、以下のような条件の下で、ある船社にとって適切な航路編成案を自動生成する。

(1) 太平洋定期船航路²⁾(最大29航路)について、1本以上を、航路編成を決めたい「自社航路」(以下「検討航路」と呼ぶ)、他を「他社航路」とする。

(2) 寄港地は表2のように、東アジア17港、北米西岸5港の实在拠点港22港とする。

表 - 2 本稿で取り扱うコンテナ港

| |
|---|
| A ポートケラン、B シンガポール、C レムチャパン、D 塩田、E 香港、F 高雄、G 基隆、H 那覇、I 上海、J 青島、K 光陽、L 釜山、M 博多、N 神戸*、O 名古屋、P 横浜、Q 東京、R バンクーバー、S シアトル*、T ポートランド、U オークランド、V ロサンゼルス* |
| (*神戸には大阪を、シアトルにはタコマを、ロサンゼルスにはロングビーチを含む) |

(3) 検討航路が各々の寄港地でどれだけの積みコンテナを獲得するかを計算し、これから得られた検討航路の収益を評価値とする。評価関数Sについては、以下の式(1)のように定義した。

Maximize S

$$S = \sum_i \left(\frac{365}{t_i} \sum_j \sum_k q_{ijk} s_{jk} \right) \cdots (1)$$

Subject to

$$v_{ijk} \leq V_i, \quad t_i \leq T_i$$

q_{ijk} : 航路iの船に載る、j港発k港着コンテナの量(TEU)、 s_{jk} : j港発k港着のコンテナ1TEUあたりの収益(米ドル/TEU)、 v_{ijk} : 航路iのj港～k港間の平均速度(ノット)、 V_i : 航路iの就航船の最大速度(ノット)、 t_i : 航路iの1ラウンド所要時間(日)、 T_i : 航路iの1ラウンド最大所要時間(日)。

積み込まれたコンテナには、ODペア(発港・着港の組)ごとにそれぞれ定数値の収益 s_{jk} を設定してある。すなわち、ある航路編成の評価は、その航路編成中の各航路が1ラウンド(=1往復)中に輸送するコンテナに、各コンテナの収益を乗じたものの1年間(365日)分の総和となる。なお、 V_i と T_i は実在航路を参考に、各航路に対して所与とした($V_i = 2.5$ 程度、 $T_i = 3.5$ 一律)。

(4)初期入力値として、22港間相互の週間OD量と各検討航路の最大船速、1ラウンド最長所要日数および他社航路の航路編成(寄港地と寄港日)を与える。週間OD量は、米国関税データ(PIERSデータ)の実績値による。ただし、PIERSデータはアジア域内相互のコンテナOD量の情報が含まれていないので、本稿ではアジア域内相互の輸送は無視している。

本システムでは、ある一つの航路編成について、以下のような手順で評価をした。

(1)自社・他社全ての航路のスケジュールの寄港地と寄港曜日から、各航路のODペア全ての距離や所要日数を計算する。

(2)各航路は、それぞれの寄港地・寄港曜日に応じてコンテナを積載する。競合する航路(同一港で同一発曜日に同一のODペアを持つ複数の航路の船)がある場合、それぞれの航路に積載するコンテナ数 q_{ijk} は、各航路のトランジットタイム(航路*i*の発港*j*から着港*k*までの所要時間) t_{ijk} をもとに、以下の式(2)で表される、ハフ(Huff)モデルを基本とした配分モデルで配分する。

$$q_{ijk} = Q_{jk} \cdot \frac{1}{t_{ijk}^n} \cdot \dots (2)$$

Q_{jk} : j 港発*k*港着コンテナの総量(TEU)、 t_{ijk} :トランジットタイム(日)、 n :ハフモデルの係数。 n については、実績から推定し、東航 = 2.4、西航 = 7.6とした。

(3)式(1)に従って、航路ごとの収益および1航路編成の評価値を算出する。

上記で分かるように、本稿のシステムでは、荷主に対するサービス度を式(2)のトランジットタイムの短さとして盛りこみ、競合する船社間のコンテナ獲得行動を再現し

ている。また、評価値全体は、船社の収益の大きさとして表現している。

本稿で報告する計算例では、自社の検討航路編成を8航路とし、他社航路は実在の航路スケジュールをモデルとした18航路、合計26航路とした。

5. 遺伝的アルゴリズム(GA)による解の探索

本システムでは、1つの航路編成は、東航・西航それぞれ22港の寄港曜日を数字(1:月曜日~7:日曜日、非寄港は0)とした数字列とし、これを合わせて8航路分連ねることで表現した。すなわち、1航路編成は、各桁が0~7の352桁(22港×8航路×2)の数字列となる。

各桁は8通りの値を取りうるので、検討航路の航路編成の全ての組合せは $8^{352} = \text{約} 10^{318}$ 通りとなる。このため、今回の手法では、遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて、航路編成案を探索した。GAの原理については、参考文献³⁾等が詳しいが、基本的には、以下のように、

まず、検討する航路編成を「1個体」と考え、上記のような、航路編成を数字列で表したものを、各個体の「染色体」とし、次に、さまざまな寄港地と寄港曜日を持った個体を数十個含んだ「個体プール」を作り、この各個体の染色体に対して、生物の進化を模した「選択(自然淘汰)」、「交叉」、「突然変異」操作を繰り返し行い、「優秀な(すなわち評価値の大きい)個体を残す」という手順を取る。

今回のGA適用では、上記のように組合せ数からなる探索空間が非常に大きくなる。そのため、生物界の自然淘汰にあたる「選択」操作について、単純GA法で行われるルーレット法(各航路編成の評価値に比例、あるいはそれらから何らかのスケーリングを施した値に比例して、次世代の航路編成を生き残らせる)を取らず、サイズ=2のトーナメント法(個体プールの中からランダムに選んだ2個体の評価値の大きい方を残す)を採用し、繰り返し計算早期に局所解に陥る「初期収束」を防いだ。

同様に「交叉」操作に関しても、図1に示すように、2個体の対応する航路間で遺伝子を交換する方法Aと、一方の個体内の航路を、他方の個体の別の航路に対応させる方法Bとを混在して行った(後者の操作の方が、操作後の遺伝子の多様化が大きく、初期収束を防ぐ効果がある)。

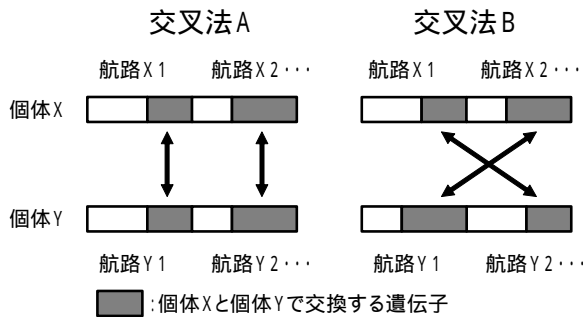


図 - 1 2種類の交叉法

なお、計算終了の目安は、収益値が実在航路を上回った場合とした。

また、本システムでは、初期個体 (GAの探索開始時に設定する航路編成群) を全てランダム個体 (寄港地と寄港曜日をランダムに設定した個体) とするか、その中の1個体を任意の既定値 (実際の航路編成や、あらかじめ設定しておいた航路編成など) とするかを選択できる。

6 . 計算結果

本システムについて、全てランダム個体で探索を開始した場合に、1000世代程度で実際に近い航路編成案が生成された。計算時間は1.8GHzのパソコンで約10分間を要した。図2にシステムの実行画面を示す。

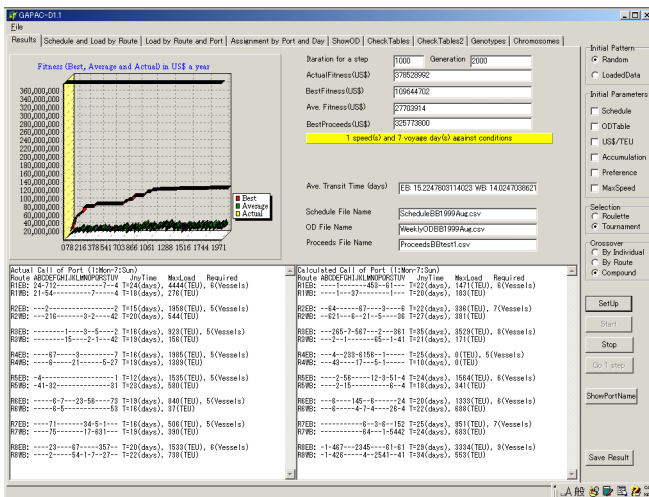


図 - 2 航路編成自動生成システム

この計算結果については、現在のところ、探索空間が極めて大きいこともあり、解の妥当性を検証する作業が十分にできていない。航路編成内の8航路の中には、積みコンテナ0のものもしばしば発生する (これは、その航路が不要であると解釈できる)。しかしながら、全くのランダム初期状態から生成した航路編成案について、

実際の航路編成に近い案が生成されること、また、初期状態に実際の航路編成を設定すると、初期収束現象が起きること (= 計算された最良の航路編成の評価値が実際の航路編成の値をなかなか上回らない) などから、定性的には、所期の探索を行っているものと考えられる。

7 . おわりに

(1)まとめ

本稿では、実在の太平洋定期船航路をモデルに、競合他船社とのコンテナ獲得競争を再現しながら、自社の航路編成案を自動生成するシステムを紹介した。本システムには現在のところ、寄港地とスケジュールをそのまま染色体とし、制約条件も各航路の最大船速と1ラウンド日数のみとなっている。そのため、探索空間が極めて大きい、多くの無意味な航路編成を多数含んでいるものとなっていて、制約条件による探索範囲の限定もゆるい。また、探索空間の形も、極めて複雑な多峰性を持っているものと予想される。そのため、今後は、計算結果の検証と並行して、航路編成を染色体に変換する方法を検討し、探索空間の整理を行う予定である。

(2)展望

このシステムでは、入力データファイルにより、週間OD量とコンテナ1TEU当たりの収益、他社航路のスケジュール、自社航路・他社航路の本数などを設定することができる。

このため、荷動きの季節変動や特定港の変化、収益の変化などに自社航路編成を適応させたり、他社戦略に自社航路編成を対応させたりする場合の航路編成案の検討の支援をすることができる。また、船社だけでなく、港湾管理者などが、自港の荷動きをもとに、各コンテナ船社への寄港誘致の指針を立てる支援にも利用できるものと考えている。

参考文献

- 1) 久保 登ほか: GA (遺伝的アルゴリズム) を用いた太平洋定期船航路編成システムに関する研究, 日本造船学会講演会論文集, 第1号, pp.23-24, 2003
- 2) 国際輸送ハンドブック, オーシャンコマース (各年版)
- 3) ミッチェル, 伊庭: 遺伝的アルゴリズムの方法, 東京電機大学出版局, 1997