

競争力を考慮した外航定期船の航路編成技術

輸送高度化領域 物流システム研究グループ *久保 登、勝原光治郎
小林 充、松倉 洋史

1. 海上物流の現状

1980年代の東南アジア各国の発展と90年代以降の中国本土の急速な工業化の結果、海上物流においても、現在はかつてないほどの世界規模化が急速に進んでいる。これらの東南・東アジア地域は「世界の工場」と呼ばれるまでになり、日米欧との間の製品や部品などの外航定期船（コンテナ船）航路による国際輸送が激増しているためである（図1）。

また、これにともなう激しい船社間競争から、大手外航船社同士のアライアンス（事業提携）や、吸収・合併などもこの10年間に頻繁に行われるようになった。

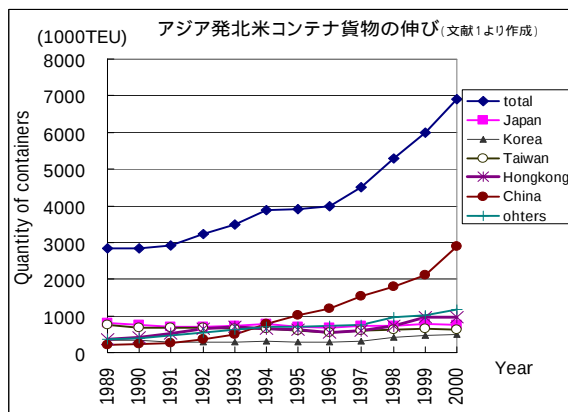


図1 国際定期航路輸送量の伸び(1)

（注：グラフは太平洋北米定期船航路。増加の大部分が中国本土発となっている点が注目される。）

競合船社を持つ定期船船社は、他社・他アライアンスと対抗し、かつ自アライアンス内での優位性を保つためにさまざまな営業戦略を用いるが、中でも、定期船航路の寄港地と寄港日からなる「航路編成」は、定期船の売上である輸送コンテナ数を直接左右し、外航定期船航路事業にとって最も基本的かつ重要な要素である。

従来は、この航路編成作業はもっぱら人手による、勘と経験を用いた手作業であった。これは、海運業

に限らず、一般に運輸業のスケジュール編成作業は、ルート、所要時間、需要、コストなど、極めて多数の制約条件を持っていて、自動化が容易でないことが理由である。しかし、冒頭で述べたような激しい船社間競争下では、現在および直近（翌週・翌月など）の、自社に最適な航路編成を速やかに決定する必要がある。

本稿では、このような複雑な制約条件をもつ定期船の航路について、最適な寄港地と出発日からなる航路編成を自動生成し、手作業で行う航路編成作業を支援する、「外航定期船航路編成自動生成システム」の試作について報告する。本研究で試作したシステムは、世界の定期船航路の最大幹線である太平洋定期船航路（以下「太平洋航路」と略）の編成について、アライアンス（あるいは船社）の持つ競争力を考慮してコンテナ積み込み港での荷物の取り扱いを再現する機能を持っている。

2. 太平洋定期船航路の形態と特徴

現在の定期船航路は通常、設定された寄港地に毎週特定曜日に寄港する「定曜日サービス」と呼ばれる運航形態をとる。太平洋航路では、おおむね2000～5000TEU積の大型船が4週間～6週間で1ラウンド運航をしている（図2）。



図2 コンテナ専用船と海上コンテナ(40 フィート)

太平洋航路は、大部分の寄港地がアジア・北米を結ぶ大圏航路上に位置していることが特徴である。

このため、これらの航路の就航船は、陸上の列車のように1次元的な順次寄港を行っている。従って、太平洋航路の航路編成を検討する場合、ネットワーク的な航路を考える必要がなく、自動生成には有利となる(図3)。



図3 直線状に並ぶアジア北米定期船航路寄港地

定期船航路の航路編成を作成する場合は、表面的には、ある船舶の寄港地と寄港時刻を決定すればよいわけだが、それ以外に、何をどれだけ運ぶかという輸送需要、港湾などの施設利用、乗組員等の人員配置などを考慮しながら、スケジュールを決めていくことになる。さらに細かく見ると、使用する船舶の隻数や積載能力、荷役方法、燃料消費、港湾岸壁の空き、荷役時間制限、港湾内速度制限、水深や干満差、貨物需要の季節変動、荷主意向、他社動向、気象条件なども考慮しなければならず、制約条件は非常に多い。一例として、図4に各コンテナ港について、曜日別にどのぐらいの割合のコンテナが積み込まれているかを表すグラフを示す。

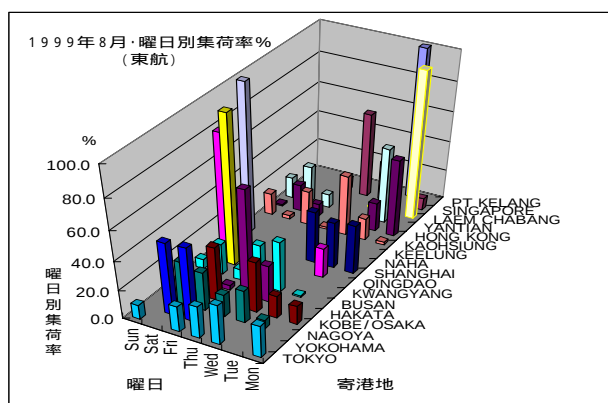


図4 港別・曜日別のコンテナ積み個数割合

これによれば、たとえば、東京港は1週にわたって平均的に積みコンテナが集まるのに対して、香港港は月曜日に積みコンテナが集中する傾向などがあることが分かる。このため、最適な航路編成を作成する場合は、香港港に月曜日に寄港することを考慮する必要がある。

3. 製作したシステム

3.1. GA手法の利用

著者らは、今までに述べたような自動化を、GA(遺伝的アルゴリズム Genetic Algorithm)手法を用いて行った。GAは、きわめて多数の解候補から最適解を導く手法の一つである。基本的には、(1)評価したい事象(ここでは一つの航路編成)を、パラメータを変えて数十通り用意し、(2)それぞれの事象を評価して、評価値のよい事象のみを残す。(3)残った事象同士のパラメータを入れ替えたり、微調整したりして、再び評価し、よい事象を残す、ということを繰り返すものである。通常、GA手法では、評価したい実際の事象を、0・1の数字の並び(これを染色体と呼ぶ)に変換して扱うが、本システムでは、一つの航路編成は、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、検討航路の寄港パターンの全ての組合せは 8^{352} 通りとなる)。本システムで用いたGA手法の概要を、図5に示す。

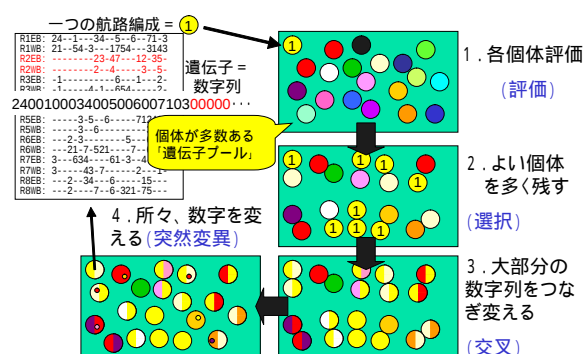


図5 製作したシステムで用いたGA手法の概要

3.2. 試作したシステムの概要

本稿で述べる航路編成自動生成システムでは、アジア・北米西岸のみを往復する実在航路を模して、計算機の中に1次元的な寄港パターンを持つ航路26本を設定し、このうちの8本を自アライアンス航路、

残りの 18 本を他アライアンス航路とする。

寄港地は、表 1 の 22 港とし、22 港間相互の 1 週間コンテナ O D 量を与える。この O D 量は、実際の太平洋航路 26 本の輸送実績データ(米国税関 P I E R S データ 1999 年 8 月) から求めた。

表 1 製作したシステムで扱うコンテナ港

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。 港名の前の英字は、システムで扱う際の略号)

18 本他アライアンス航路には、実際の航路編成を参考に寄港地と出発曜日からなるスケジュールを与える。この条件の下で、最適航路編成を求めたい 8 本の自アライアンス航路 (以下「検討航路」と呼ぶ) の寄港地と出発曜日を様々に変え、最も評価値の高い航路編成を見いだす。本稿では、検討航路を 1999 年当時の The New World Alliance(商船三井、A P L、現代商船) が運航する、アジア - 北米のみ往復する 8 本の航路と見立てた。航路編成の評価値には、その航路編成で 1 年間運航した場合の収益を用いた。収益は、各寄港地で、次節に述べるコンテナ配分法を用いて検討航路が獲得したコンテナに、1 個当たりの収益 (ドル / T E U) を乗じたものの総和として求める。

また、このシステムでは、上記のスケジュールや O D 表、収益設定などを様々に入れ替えることができる。これによって、他社のスケジュール変更やコンテナ出荷量の変化、収益の変化などに対応した最適航路編成の検討が可能となる。なお、計算終了の目安は、制約条件を全て満たしかつ評価値が現状航路を上回った場合とした。

3.3 航路の競争力の表現

実際のコンテナ航路では、各寄港地で、同一日に出発する競合船社の航路が、同一行先のコンテナを取り合うことが考えられる。定期船航路編成の最適化を数理的に検討する場合、従来は所与のコンテナ O D を最小コストで運びきる、という評価関数を用いることが多かったが、これでは、前記のような実際のコンテナ航路経営の状況を十分再現できない。そこで、本研究で作成したシステムでは、以下のよ

うな、ハフ (Huff) モデルと呼ばれる交通流の配分モデルを利用して、競合船社の競争力を表現し、競合航路同士のコンテナの取り合いを再現することにした。

検討航路および他アライアンスの各航路は、ある一つの寄港地で、下式(1) のハフモデルに従って配分されたコンテナを積み込む。すなわち、まず、その港の 1 週間分のコンテナを出発曜日の集荷率 A で各曜日に配分する。次に、同一曜日に同じ行先の航路が 2 つ以上ある場合は、O D の所要時間が短い航路ほど選好度が高くなる。この結果、選好度の高い、すなわち荷主にとってのサービス度が高い航路ほど、多数のコンテナを獲得する。

$$q_{ijk} = Q_{jk} A_{jd} \cdot \frac{v_{ijk}^n}{\sum_i v_{ijk}^n} \quad (1)$$

q_{ijk} : j 港で航路 i が積み込む k 港行きのコンテナ数、 Q_{jk} : j 港の k 港行き積込コンテナ全数、 A_{jd} : j 港の d 曜日の集荷率、 v_{ijk} : 航路 i の j 港 → k 港の魅力度。ここでは、航路 i の j 港 → k 港の所要日数の逆数とした。n: 選好度パラメータ

3.4 曜日別集荷率とハフモデルのパラメータ

ハフモデルの曜日別集荷率とパラメータ n は、共に P I E R S データから、前節のような「同一曜日発、同一行先、複数航路の競合」が存在するサンプルを抽出し、推定した。n の値は、平均すると、東航で 2.4、西航で 7.6 となったので、以降の計算ではこれを用いることにした。実際の競合航路によるコンテナ積込数の配分と、ハフモデルによる配分の比較の一例を図 6 に示す。

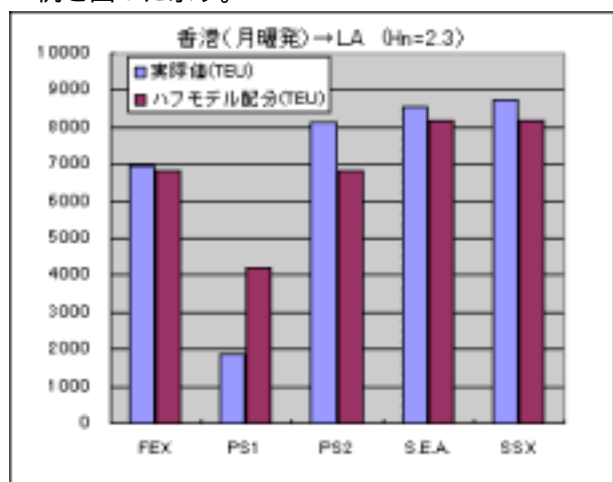


図 6 ハフモデルによる配分と実際値の比較
(図中の H n = ハフモデルの係数 n)

3.5. その他の制約条件

今回の手法では、以下のような制約条件を用いた。

(1) 1ラウンド所要日数は7日単位で35日以内。
(2) 寄港時間は一律に出発日内、次の寄港地は最低翌日到着とする。太平洋部分の横断は最短で7日を要す。

(3) OD各区間の速度は一律最大30ノットとする。

(4) コンテナ1個あたりの収益は、表1の各港のうち、ポートケラン、シンガポール、塩田→北米は850[ドル/TEU]、それ以外のアジア港→北米は750[ドル/TEU]、西航は一律100[ドル/TEU]とした(赤字運航)。

(5) 東航西航の積み個数の差は、空コンテナとして持ち帰る。空コンテナの収益は-300[ドル/TEU]とする。

(6) 各コンテナ船の最大積載容量は上限を設けず、巨大船の出現も容認した。

図8に、著者らの試作した航路編成自動生成システムの画面を示す。ここでは、アジア側17港、北米西岸5港のハブ港を対象に、船社の採算計算やコンテナの輸送時間を計算し、その航路編成で1年間運航した場合の収益を用いた評価値の高い航路編成が生き残っている。図7の中で、右下の窓に表示されているのが、図8に示すような、計算機で最適解を求めた結果の航路編成である。

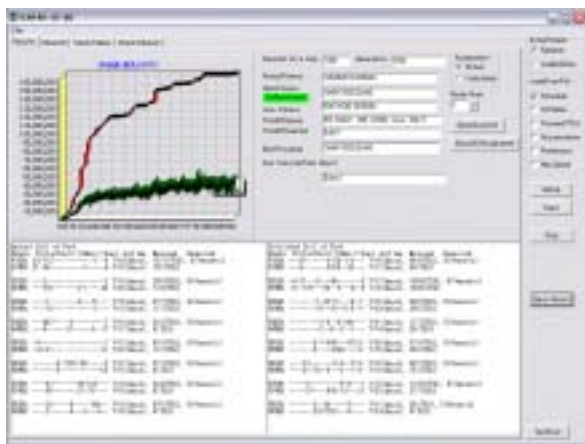


図7 航路編成自動生成システムの画面

4. システムの計算結果

製作したプログラムは、3000世代程度で、1ラウンド所要日数が現状の航路と同様な航路編成を生成した。自動生成された航路の例を図8に示す(各航路の寄港地を示すA~Vのアルファベットは表1に

よる)。これら8本の航路は、モデルとした実際の航路と比べて、寄港地がやや多い。これは、今回の計算の評価と制約条件では、こまめに寄港してコンテナを集荷する方が有利となるためと考えられる。

また、スケジュールやOD表を入れ替えて計算すると、他社航路が高速船を投入した場合は、自社航路も高速化した方が有利であるとの結果が得られ、特定地域の港のコンテナ出荷量が増えると、その港に寄港するような航路編成が生成された。これにより、本システムで、人手によるものに近い航路編成案が自動的に生成されることが分かった。

Calculated Call of Port (EB:East Bound, WB:West Bound)				
Route	PortsofCall(1:Mon-7:Sun)	JnyTime	MaxLoad	Required
Port: ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTU				
R1EB:	24--1---34--5--6--71-3	T=23(days)	2423(TEU)	7(Vessels)
R1WB:	21--54-3---1754---3143	T=26(days)	2105(TEU)	
R2EB:	-----23-47---12-35-	T=18(days)	118(TEU)	5(Vessels)
R2WB:	-----2--4-----3--5-	T=17(days)	6(TEU)	
R3EB:	-1-----6--1--2-	T=16(days)	28(TEU)	5(Vessels)
R3WB:	-1-----4-1--654-----2-	T=19(days)	15(TEU)	
R4EB:	-----1-----3--4-615-	T=19(days)	274(TEU)	5(Vessels)
R4WB:	-----1-----64-35-	T=16(days)	23(TEU)	
R5EB:	----3-5-6-----71241-	T=20(days)	401(TEU)	5(Vessels)
R5WB:	----3-6-----3-1-	T=15(days)	230(TEU)	
R6EB:	--2-3-----5--6-12	T=15(days)	2520(TEU)	5(Vessels)
R6WB:	--21-7-521-----7--6-42	T=20(days)	373(TEU)	
R7EB:	3---634---61-3--4-61-	T=27(days)	306(TEU)	7(Vessels)
R7WB:	3---43-7-----2---1-	T=22(days)	0(TEU)	
R8EB:	--2--34--6-----15---	T=18(days)	224(TEU)	5(Vessels)
R8WB:	--2---7--6-321-75---	T=17(days)	135(TEU)	

図8 本システムによる最適航路編成の計算結果例 (R1EB: 航路1東航、R1WB: 航路1西航、以下航路8まで同様。1~7は各々月曜~日曜に対応。-は通過)

5. まとめ

本稿では、上記のようなさまざまな制約条件を持ち、各航路の持つ競争力によって荷物の取り合いを行う太平洋航路の航路編成案を自動生成するプログラムについて述べた。今後、これらの制約条件を変化させ、さらに実態に即した航路の生成を試みる。

参考文献

- (1) 国土交通省海事局: 海事レポート平成13年度版, 国土交通省, 2001
- (2) 久保、勝原、小林、松倉、太平洋定期船航路の自動編成のための基礎的事項の検討、日本機械学会第11回交通・物流部門大会講演論文集, 2002
- (3) 国際輸送ハンドブック(各年版), オーシャンコマース
- (4) 久保、勝原、小林、松倉、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、日本造船学会講演論文集、Vol.1 pp23-24, 2003