

18 GA(遺伝的アルゴリズム)を用いた太平洋定期船航路の自動編成

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

1. はじめに

外航船社にとって、多数の寄港地を含む航路の編成は経営上極めて重要である。このような航路編成作業は従来、経験による手作業で行われることが一般的であったが、船社連合の意志決定の迅速性と公平性に対応することが難しい側面を持っていた。

現在、世界最大の海上物流路であるアジア北米太平洋定期船航路（以下単に太平洋定期船航路）は、中国・韓国および東南アジアの急速な工業化によって、今後10年～20年の間に、物流量、船舶運航形態、船社運営などあらゆる面において、大きな変化が生じると考えられる。このような状況において、太平洋定期船航路の海運秩序等の評価を目的とし、航路編成を最適する手法として、GA（遺伝的アルゴリズム手法）を用いることを試みた。

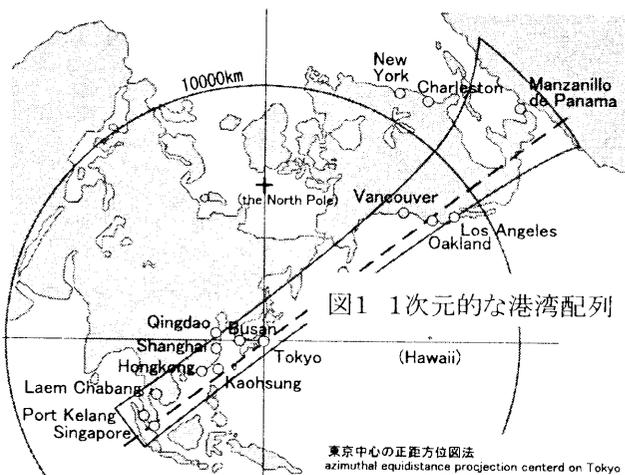


図1 1次元的な港湾配列

太平洋定期船航路は、通常の地図で考えると、一見、東西・南北の広がりを持った地域の港を結ぶネットワーク的システムのように思いがちである。しかし、東京中心の正距方位図法によれば、アジアと北米を結ぶ航路の寄港地は、東京を通る大圏コース（図の破線）を含む幅1500 km程度の帯域（図中の三味線のバチ形の範囲）にほぼすべてが含まれる（図1）。このことから、少なくとも、東南アジア～日中韓～北米西岸航路は、大陸間規模の「沿岸航路」と見なすことができ、2次元的なネットワーク的視点でなく、1次元的な鎖状システムとして取り扱うことができる。また、パナマ運河以遠も、これらの航路の延長としてとらえると、北米東岸までを同様に扱うことができる。

このような現状の太平洋定期船航路について、複

数の航路を持つコンテナ船社コンソーシアムを想定し、これらの航路に就航するフルコンテナ船が、直線上に並ぶ寄港地に停泊しながら、OD量としてPIERSデータ（米国税関通過貨物のデータ）で与えられた、コンテナ輸送の状況を想定した。所与のODに対しては、寄港パターンによって、コンテナの運送時間が余計にかかったり、船社の運送コストに無駄が生じたりする。本稿で述べる手法では、OD量の他に、船速、港湾間距離、荷役時間などを所与とし、その条件内で、運ばれるコンテナ全体の所要時間の和と、コンテナ船社の採算が総合的に最良になる寄港パターンを見いだすことを目的とする。

2. 自動編成手法の概要

2-1. 最適計算に対するGA手法の適用

本稿では、航路編成の自動化について、GA（遺伝的アルゴリズム。以下GAと略）手法を用いた。GAとは、最適化手法の一つで、生物の遺伝と進化の原理を模倣し、最適化問題を解くものである。基本的には、最適化したい事象を「個体」と考え、この個体を適当な規則に従って数字列に表現する（この数字列を染色体と呼ぶ）。次に、あらかじめ設定した評価関数を用いて、染色体から個体の評価値を求める。ここで、染色体の数字列を様々に変更して評価値を求めることを繰り返し、評価値のよい個体を残すようにすれば、徐々に求めるべき最適解に近づいてゆく。

実際には、まず、計算開始時に「個体」を多数作っておき（つまり、様々な状況の事象を多数考える）、個体ごとに評価値を求める。次に評価値の良好な個体を多く残すようにし、それらの個体のパラメータを少しずつ変えて、さらによりよい個体を見つけてゆく。局所最適に陥らないよう、特定の割合の個体には、しばしばパラメータの大きな変更をしながら、最適解に近づこうとするのが特徴である。

具体的には、以下のような手順を踏み、【評価】【選択】【交叉】【突然変異】を繰り返すことで、最適解に近づく。

1. 最適値を求めたい事象を一つの「個体」と見なし、これを何らかの方法で染色体にする。（0、1からなる文字列に表すのが一般的）
2. ランダムに0、1を並べた染色体を持つ「個体」を必要数（数十個程度）生成する。個体を生成する際に、ランダムではなく、一定の条件をかけて、無意味な個体を排除しておく方法もある。

3. 各個体の評価値を求める【評価】。
4. 評価値の大きい個体が多く残り、そうでない個体は淘汰する【選択】。選択後の個体の総数は、初期値と同じにする。
5. ランダムに選んだ2組の個体の染色体を、ランダムに選んだ同じ位置で切って交換する【交叉】。交叉確率を考えるのが普通。
6. 各染色体について、ランダム位置の遺伝子を変化させる【突然変異】。突然変異確率を考えるのが普通。
7. 6で生成された個体群を「次世代」と考え、3～6を繰り返す。
8. 評価値最大の個体が、最適値と見なせるようになれば（最適とみなす条件は、計算者が設定する）、計算終了とする。

2-2. 本稿で用いたGAの概要

本稿では、以下のような手順で、GAによるアジア～北米西岸の太平洋航路編成の最適化を試みた。

2-2-1 基本要素

今回検討した航路編成の自動化手法では、太平洋航路が寄港する港を、アジア側13港、北米西岸側4港の17港とした。隣接港同士は1港とみなした。（アジア側）ポートケラン、シンガポール、レムチャバン、香港・塩田、高雄・基隆、上海、青島、釜山・光陽、那覇、博多、大阪・神戸、名古屋、東京・横浜

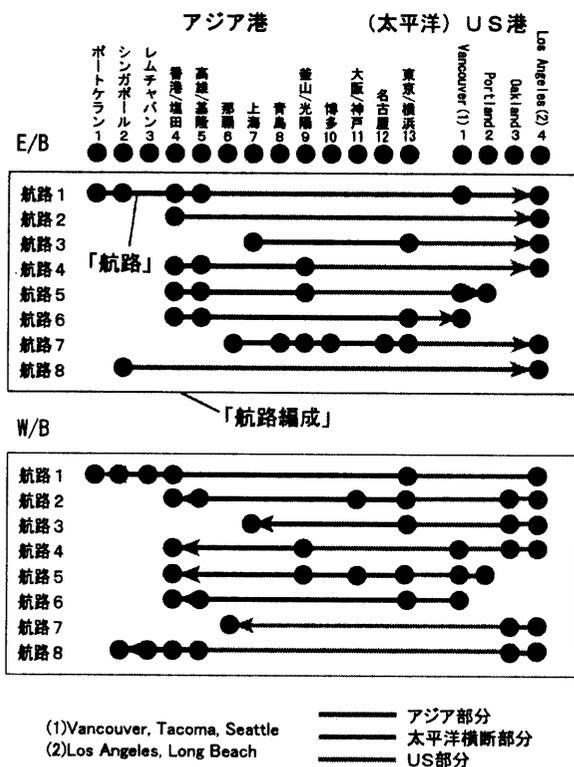


図2 航路と寄港地パターン

(US側) Vancouver/Tacoma/Seattle, Portland, Oakland, Los Angeles/Long Beach

想定したコンソーシアムは、8航路の太平洋航路

を持つものとした（これは設定で増減可能）。本手法では、一つ一つの航路を「航路」、その航路群すべてをまとめて「航路編成」と呼ぶことにする。「航路」は、それぞれ、図2に示すような寄港地パターンを持つ。

2-2-2 GAの基本パラメーター

個体数80, 交叉確率0.7, 突然変異確率0.01

2-2-3 解くべき問題の設定

本項で解くべき問題は、以下のように設定した。『実際のOD輸送量(アジア港13×US港4=52通りのODに割り付けられた実際※のコンテナTEU)を、8航路の船隊が運ぶときに、荷主の満足度を最も大きくし、かつ船社の負担を最も小さくする。』

(※1999年8月PIERS北米・アジアデータ TEU/週表1参照)

表1 本研究で用いたOD表(東航)

PORT	LA/LB	OAKLAND	PORTLAND OR	SEATTLE
PT KELANG	279	1	0	81
SINGAPORE	1666	219	1	318
LAEM CHABANG	972	81	0	3
HONG KONG	6526	499	100	2326
KAOSIUNG	1583	125	14	1161
NAHA	4	15	0	0
SHANGHAI	1489	121	0	1
QINGDAO	440	28	0	0
BUSAN	1425	74	21	361
HAKATA	52	1	0	0
KOBE	469	18	0	243
NAGOYA	505	118	0	270
TOKYO	1175	132	0	422

2-2-4 解の評価項目

8本の航路からなる航路編成(=個体)一つ一つについて、以下の評価項目からなる評価値を求める。

$$1 \text{ 個体の評価値 } F = f(F_c, F_a)$$

ここで、右辺の各項は次の通り。

(1) コンテナアワー F_c は、航海1ラウンドにつき、コンテナ1個1個の発地から着地に要する時間の総和(単位: TEU・hr)である。 F_c は大きいほど、コンテナの平均的輸送時間がかかる。(荷主指標)

(2) 会計値 F_a は1ラウンドについての、船社の営業収支をしめす。(単位: 円。詳細は下記●の項参照) F_a は大きいほど船社の収益がよい。(船社指標)

2-2-5 評価の手順

実際の各個体の寄港パターンは、以下の(1)～(5)の手順によって行った。

(1) 取り上げた17港間の東航(アジア→US)、西航(US→アジア)別の貨物量OD表を、実際の輸送実績から取得する(表1)。

(2) 個体の持つ8航路それぞれについて、速力・停泊時間などから、寄港地間の所要時間を計算する。

(3) ある一つの寄港地に関して、その港発の荷物を次の手順で8航路に振り分ける。

a. 荷物の発港・着港の両方に寄港する航路を選ぶ。

b. 選ばれた航路が複数の場合は、所要時間の2乗に反比例して荷物を各航路に割り当てる。(所要時間の短い航路が選好される。下の「(5) 制約条件」の「(a) コンテナの積分け方参照」)

(4) Fa(会計)の計算

会計計算は、8航路の船舶1隻ずつが1往復をした際の利益とし、航路ごとのコンテナ積載数(TEU)と1航路の1航海所要時間をもとに、以下の設定・計算式に従った。ただし 式中のPyは、Py:(年間→1航海変換係数)=1航海 所要時間 / 1年間(hr) である。

Fa = 売り上げ-経費

売り上げ = (コンテナ積載数 * コンテナ運賃)

コンテナ運賃 = 120000円/TEU

1隻経費 = 船舶経費 + 運航費

船舶経費 = 11 * 船主店費

船主店費 = 0.1 * (船員費+ 備品費 + 修理費 + 潤滑油費 + 船舶保険料+固定資産税 + 減価償却費+設備金利+その他費)

船員費 = 船員数 * 1200万円 * Py

船員数 = 30人

備品費 = 2000円/t * 総トン数 * Py

修理費 = 2000 円/t* 総トン数 * Py

総トン数 = 10.35622 * コンテナ積載容量 + 11277

潤滑油費 = 潤滑油単価*0.01*燃料消費率*1航海所要時間

潤滑油単価 = 10万円/t

船舶保険料 = 0.0045 * 船価* Py

固定資産税 = 0.0035 * 船価 * Py

減価償却 = 0.06* 船価 * Py

設備金利 = 0.0021 * 船価 * Py

その他費 = 0.001 * 船価 * Py

船価 = コンテナ積載容量 * 144万円

運航費 = 13.5 * 運行店費

運行店費 = 0.08 * (燃料油費 + 港費 + コンテナ

扱い費)

燃料油費 = 燃料油単価 * 燃料消費量

燃料油単価 = 22100 円/t

燃料消費量 = 燃料消費率 * 1航海所要時間 (1航海所要時間には停泊時間も込み)

燃料消費率 = 0.0002 * 主機出力

主機出力 = 5.9533 * コンテナ積載容量 + 13388

港費 = 20万円 * (アジア寄港数 + 北米寄港数)

コンテナ扱い費 = 3万円/TEU * コンテナ積載容量

各評価項目の単位が異なるので、ここでは、「桁数」を合わせた上で、2つの評価項目を単純に加算している。

全体の評価値F=Fc' + Fa'

ただし、

Fc' = FcWorst - Fc

Fa' = (Fa - 500,000,000) * 0.01

FcWorstは、全てのコンテナがポートケラン~LAまで、各港停泊(各駅停車)船で運ばれた場合のFcを表す。

単位の異なる評価項目を単純に加算するのは、GAではしばしば行われる。従って、評価値自体には単位や意味がない場合も多い。全体の評価値を構成する各評価値にこのようなスケーリングを施すのは、最適値に収束しやすくするためである。

(5) 制約条件

本手法では、評価の際に、以下のような制約条件を導入した。すなわち、(a)各航路へのコンテナの積分け方、(b)無荷港、無寄港の港の扱い、(c)船舶1隻ごとの積載量の上限、(d)実際の航路編成に存在する時刻の概念、の4種である。以下、各項目を簡単に説明する。

(a)コンテナの積分け方

計算機で生成した、航路ごとの寄港パターン(初期値はランダム)から、その航路に含まれる直行ODペア(東航の場合、あるアジア港からあるUS港まで、積替えなしで行けるOD。たとえば、アジア港に5港、US港に2港停泊するパターンなら、10通り存在する)を抜き出す。8航路全てにこの作業を行い、あるOD量に対して直行ODペアが何本あるかを数える(0本~8本)。その後、そのOD量を、その直行ODペア各々の所要時間が短いものに多く割り振り(速達選好)、各航路に積み込む。速達選好には、以下の式を用いた。

$$q_i = Q \times \frac{\left(\frac{1}{t_i^2}\right)}{\sum_i \left(\frac{1}{t_i^2}\right)}$$

ここで、

qi:各直行ODペアに割り付けられる輸送量

Q:ある輸送量OD(全量)

ti:各直行ODペアの所要時間

である(所要時間の2乗に反比例して荷物を各航路に割り当てる)。

(b)無荷港、荷物があるのに寄港しない港の扱い

上記のような港は、無駄や不利益が生じるので、評価関数の値を低くする必要がある。

「1本以上の航路が寄港するのに荷物がない港」については、所要時間に無駄が生じるので、この無駄な所要時間をそのまま用いて評価値を低くした。

「荷物があるのにどの航路も寄港しない港」については、荷物の積残しが生じるので、荷主の満足度から考え評価値を大きく下げる。そのために、今回はFcから以下のような値を差し引くこととした。

『積残しコンテナ数×全港寄港の航路の所要時間×3』

(c)船舶1隻ごとの積載量

プログラム内部では、実際の北米太平洋航路就航船の積載量をもとに、最大積載量(5551TEU~2700TEU)を、各航路ごとに設定した。ただし今回は1隻あたりの積載上限は定めずに計算し、寄港パターンから決まる所要

時間による各航路の積載状況を観察することとした。

(d)時刻の概念

今回のアルゴリズムでは、制約条件に時刻の概念を入れていない。そのため、どの船がどの船の前、後に寄港する、などの条件が組み込まれていない。(つまり、8本の航路がそれぞれ、同時に全寄港地に停泊する、という仮想的な輸送を行っている)

(6)計算終了条件

本稿では、評価値の値には個体間の相対的な良否の意味しかないので、計算では、評価値の向上が40~50世代程度以上見られない場合を一応の「最適解候補」とし、計算終了の目安とした。実際にはこの他にも、評価値自体に絶対的な意味を持たせ(たとえば、全ての評価項目を貨幣価値に換算し、合算するなど)、一定値以上の値になったところで計算を終了する、などの方法も考えられる。

3. 計算結果 (収束の様子)

上記のような評価関数と制約条件をもとに計算を行った結果、200世代程度の繰り返し計算で、主にOD量の大きいODペアから荷物を集め、目的地に急行する航路が生成された。これは、実際の船社で「目玉航路」と呼ばれているものに相当すると考えられる。(図3)

図2に示した実際の太平洋定期船航路の寄港パターンをこの手法の評価法で評価すると、評価値F、コンテナパワーFc、利益Fa(各航路1往復)はそれぞれ、

$F \approx 1.39 \times 10^8$

$F_c \approx 1538 \text{万 (TEU} \cdot \text{hr)}$ 、 $F_a \approx 4 \text{億} 2 \text{千万 (円)}$

となるが、図3に示した寄港地パターンでは、

$F = 1.57 \times 10^8$

$F_c \approx 761 \text{万 (TEU} \cdot \text{hr)}$ 、 $F_a \approx 8 \text{億} 7 \text{千万 (円)}$

となり、自動編成した寄港地パターンの方が良い値を示している。

4. おわりに

4-1 まとめ

本稿では、太平洋定期船航路の航路編成の最適化を自動的に行う手法を試作した。この手法によって、200世代程度の繰り返し計算で、実際の寄港パターンよりも有利な航路編成の例を自動生成することができた。

4-2 今後の課題

一般に、GAなどの最適化手法では、評価関数の設定のしかたで、最適解が変化する性質がある。今後は、できるだけ実態に即した評価関数を設定する必要がある。また今回は、1ラウンド7日単位の定曜日サービスの表現などを考慮せず、また、先述のように時刻の概念も取り入れていない。今後は、これらの要素もアルゴリズムに組み込み、さらに実際的な手法にする予定である。

参考文献:Yang, Koseki and Sone “Railway network timetabling for reducing transfer time using genetic algorithm” The transactions of I.E.E.Japan, A Publication of Industry Applications Society Vol. 120-D, No.6, pp. 802-809, June 2000

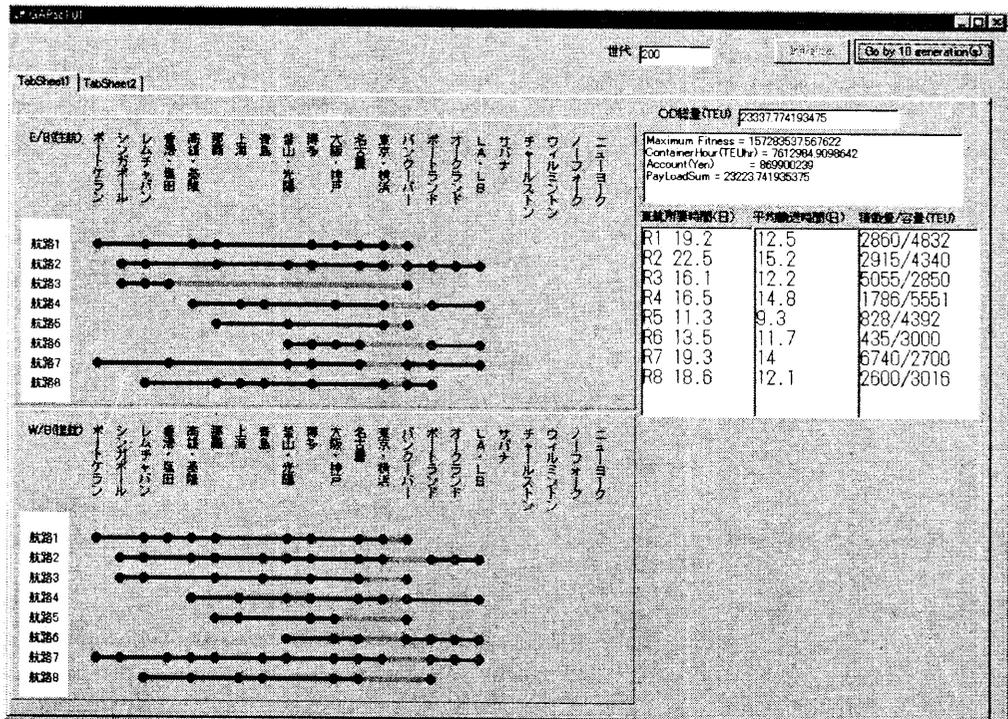


図3 プログラムの計算結果例(200世代)