

GAを用いた海上コンテナ輸送ネットワーク最適化手法の研究

正員 荒井 誠* 正員 柳井 良哉**

Optimization of Maritime Container-Transportation Network Through the Use of Genetic Algorithm

by Makoto Arai, Member Yoshinari Yanai, Member

Summary

Recently, the amount of international maritime container-cargo movement has seen a dramatic increase, especially in East Asia. In response, shipping companies have formed strategic alliances and have attempted to upgrade their service to attract more cargo. As well, very large container ships have been introduced and voyage routes have been optimized to improve transportation efficiency. In this study, a Genetic Algorithm (GA) is applied to develop a design method to further optimize the maritime container-cargo network. In this method, not only the sea routes of the container ships but also detailed information regarding cargo flow, such as which cargo is transhipped to which ship at which port, etc., is considered. Thus, an effective design of the transportation network can be achieved. From a case study in which the scale of the cargo volume for a virtual alliance was assumed, a pendulum route between Europe and East Asia was obtained as an optimum solution. Also, another case study, in which the value reduction of the cargo due to the increase of transit time is considered, showed that direct voyage routes, by which the minimum transit time and no transship are realized, are effective. These results provide very useful information to the stakeholders of maritime transportation.

1. 緒 言

近年、世界のコンテナ取扱量の増加は著しく、特に中国を中心とした東アジアのコンテナ貨物量が激増している。これによりコンテナ輸送の合理化や効率化の必要性が一段と高まっている。こうした状況下、船社はアライアンスと呼ばれる船社グループの形成による貨物の集約や船舶の大型化によるスケールメリット¹⁾の追求を図るだけでなく、複雑な航路パターンによる輸送の効率化などの対応策を模索している。

従来の海上輸送システムの研究においては整数計画法などの数理計画手法が主として応用されてきた^{2,3)}。それらの方法は輸送システムの初期設計には有効と考えられるが、自由度が大きく複雑で大規模な問題においては求解時間がか

かることや、複雑な制約条件の表現の困難さなどの問題があり必ずしも細部にわたる輸送システムの検討には向いていないと考えられる。そこで本研究では複雑な制約条件や目的関数にも柔軟に対応できる遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて、航路、投入隻数、貨物の輸送経路といった要素で成り立つ海上コンテナ輸送ネットワークを最適設計する手法を提示し、その効果を検討する。本研究における最適化の目的関数は1週間分の輸送費用であり、その最小化を目指す。なお、海上輸送ネットワークの最適化にGAを適用した例として有木ら⁴⁾、松倉ら⁵⁾の研究結果も報告されている。本研究がこれらの研究と大きく異なる点として、貨物をどの船で運び、どの港で、どの船に積み替えるかという実際のコンテナ貨物の輸送経路を考えているため積み替え費用等も考慮した正確な輸送費用の評価が可能であること、直航型、巡回型、ハブ・アンド・スポークス型、振り子型¹⁾等の複雑な航路に対応できること、航路編成にとって重要であるウィークリー・サービス⁶⁾を仮定した設計を行うこと等が挙げられる。このように本研究はコンテナ輸送の実態や実際の運航条件に可能な限り対応した問題の設定とその評価を試みる点に特徴

* 横浜国立大学大学院工学研究院

** ロイド船級協会

原稿受理 平成 18 年 9 月 1 日

がある。なお、最適化の対象としては東アジア圏の海上コンテナ輸送ネットワークとする。

2. コンテナ輸送ネットワークの表現

2.1 配船形態

本研究における「航路」とは各コンテナ船の通り道であり、輸送「経路」とは貨物をどの航路の組み合わせで運ぶかという貨物自身の通り道である (Fig.1 参照)。例えば港 A から港 C へ運ぶ貨物の経路としては、直航航路 A-B で港 B まで運び、直航航路 B-C に積み替えて運ぶ経路や、最初から巡回航路 ABCD に載せて積み替え無しで C まで運ぶ経路など様々な運び方が考えられる。

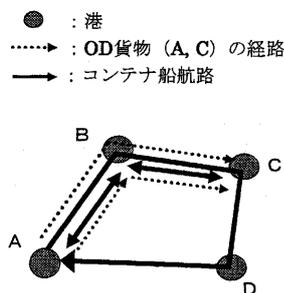


Fig.1 Routes of container ships and cargo flow.

航路の型としては Fig.2 の 4 種類を想定する。ただし、本研究においては Fig.2 の航路型を解法の中で特に指定して計算を進める訳ではなく、これらの型は航路最適化の結果として表れてくるものである。ここでは GA による最適化を行った結果出現する航路パターンを解釈するために必要となる一般的な航路型の知識をまとめておく。

Fig.2. (a) に示す直航型は、二つの港を往復するだけの最も単純な配船形態である。輸送所要日数 (Transit Time) を最も短くでき、他船へのコンテナの積み替え (Transship) をせずすむので輸送中の貨物の安全性の面でも優れている。しかし、直航型が支配的な航路ネットワークでは、貨物の集約度は低く、船舶は一般に小・中型船が使われることになる。

ハブ・アンド・スポーク型は、コンテナを小型船で主要拠点港 (ハブ港) に集約して、目的地に近い別のハブ港まで大型船でつなぎそこからまた小型船で目的地まで運ぶという配船形態である。直航型と違い、コンテナを他船に積み替えなければならない、またハブ港での接続に時間を要するため一般に直航型に比べて輸送距離と輸送時間が長くなり、貨物の安全性の点でも若干劣ることになる。しかし、スケールメリットにより輸送効率を上げてコストを抑えており、航路事情の変化にも柔軟に対応できる。

巡回型は、中・大型船が主要港を巡回する配船形態である。

ハブ・アンド・スポーク型配船に比べて集約されにくい、積み替えるコンテナの数は減少し、コンテナの停滞時間も抑えられる。

最後に振り子型¹⁾とは、幾つかの港を船が振り子のように巡回していく配船方法である。特徴は巡回型配船とほぼ同じで、巡回型配船の特殊な形とも言える。ただし、港間を往復することになるので往路、復路ともかなりの量のコンテナがある場合に有効となる。

なお、Fig.2 中の破線は実際の貨物輸送経路を示している。

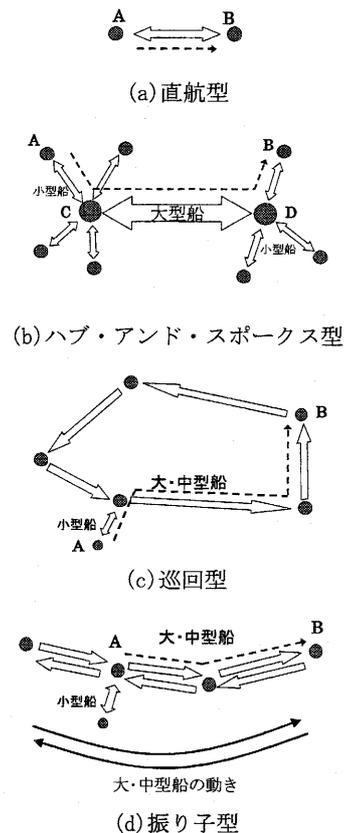


Fig.2 Voyage patterns.

2.2 ウィークリー・サービス

コンテナ輸送の特徴は戸口での貨物の受け取りと、戸口への配送が決まった曜日に行われることにある。いわゆるウィークリー・サービスである。複合一貫方式による輸送やジャスト・イン・タイム方式の生産工程の普及とともにウィークリー・サービスや、2週間おきに寄港するバイ・ウィークリー・サービスが一般化した。船社にとってはコンテナ船運形態の編成にあたって、ウィークリー・サービスのスケジュールを組むことが、もはや必要条件となっている⁴⁾。また、主要航路にいたっては、週に何回も寄港するといったサービスもなされている。

2.3 コンテナ貨物量表 (OD 表) 及び港間距離表

海上コンテナ輸送ネットワークの設計にあたって必要なデータとして OD コンテナ貨物量表 (Origin destination table) がある。OD 表とは国間や港湾間での輸出入の貨物量を整理した表のことである。しかも、コンテナ輸送ネットワークの設計という観点からはコンテナ貨物のみのデータで、単位がTEUのデータが必要である。国際海上コンテナ貨物輸送の OD データを直接入手することは困難であったため、本研究では幾つかの調査書、文献等^{7), 8), 9)}を参考にし、2001年の国別 OD データを Table 1 に示すように推定した。ただし、4章に示す東アジアの輸送ネットワークの検討に使用することが目的であるため、下記の簡略化を行っている。従って、各港湾の実際の取扱量とは異なっている点に注意する必要がある。

- (1) 各地域を代表する港として、ロサンゼルス、横浜、釜山、上海、高雄、香港、シンガポール、ロッテルダムの8港のみ考える。
- (2) 米国-東アジア間の全ての貨物は米国側の代表港であるロサンゼルス経由で取り扱われるものとする。
- (3) 日本の代表港を横浜とし、東京、名古屋、大阪、神戸、横浜の全貨物をまとめて取り扱うとする。
- (4) 韓国の全貨物は釜山で取り扱われるものとする。
- (5) 香港以外の中国全貨物は上海で取り扱われるものとする。
- (6) 台湾の全貨物は高雄で取り扱われるものとする。
- (7) 欧州-東アジア間の全ての貨物は欧州側の代表港ロッテルダム経由で取り扱われるものとする。
- (8) 米国-欧州間の荷動きは考えない。

Table 1 Origin destination table. [Unit: TEU/week]

O \ D	アメリカ (ロサンゼルス)	日本 (横浜)	韓国 (釜山)	中国 (上海)	台湾 (高雄)	香港	シンガポール	欧州 (ロッテルダム)
アメリカ (ロサンゼルス)	0	18,459	7,518	15,553	5,427	6,233	1,764	0
日本 (横浜)	13,075	0	3,364	9,292	6,386	6,008	3,709	7,874
韓国 (釜山)	8,726	4,661	0	6,043	1,498	3,701	764	6,396
中国 (上海)	61,677	22,187	3,877	0	1,087	6,315	2,056	5,363
台湾 (高雄)	10,970	6,193	1,351	0	0	6,285	1,615	7,371
香港	19,255	8,196	1,469	5,938	1,968	0	1,410	13,248
シンガポール	1,553	4,390	470	705	4,406	4,817	0	7,064
欧州 (ロッテルダム)	0	9,967	5,605	4,109	5,749	6,870	5,316	0

Table 2 Distance table. [Unit: N.M.]

	ロサンゼルス	横浜	釜山	上海	高雄	香港	シンガポール	ロッテルダム
ロサンゼルス	0.0	4838.0	5229.0	5709.0	6110.0	6369.0	7666.0	7748.0
横浜	4838.0	0.0	668.0	1035.0	1336.0	1583.0	2891.0	11204.0
釜山	5229.0	668.0	0.0	491.0	912.0	1150.0	2502.0	10814.0
上海	5709.0	1035.0	491.0	0.0	599.0	823.0	2191.0	10489.0
高雄	6110.0	1336.0	912.0	599.0	0.0	341.0	1624.0	9904.0
香港	6369.0	1583.0	1150.0	823.0	341.0	0.0	1456.0	9754.0
シンガポール	7666.0	2891.0	2502.0	2191.0	1624.0	1456.0	0.0	8322.0
ロッテルダム	7748.0	11204.0	10814.0	10489.0	9904.0	9754.0	8322.0	0.0

また、港間距離も本研究の計算に必要なため、資料^{10), 11)}によってデータを整理した (Table 2 参照)。ただし、直接目的港に向かうよりも他港を経由した方が近くなるなど、上述のデータから得られた数値に若干の矛盾点があったため適宜修正を加えた。

3. GA を用いた輸送ネットワークの最適化手法

Fig.3 に示すように、本論文の方法では GA を二段階に活用してネットワークの最適化を行う。1 段階目のコンテナ船航路の最適化モジュールでは、OD データ、距離表、適用するコンテナ船船型 (本研究では 8,000TEU、4,000TEU、2,000TEU の 3 船型) および航路数の最大値を入力して、最適なコンテナ船航路編成を求める。コンテナ船航路ネットワークを GA における一つの個体として扱い、各々の個体の性能を評価するために 2 段階目のコンテナ貨物輸送経路の最適化モジュールに入る。この 2 段階目は 1 段階目における航路情報を入力値として持ち、コンテナ船の航路が決まっているという条件のもとで各コンテナ貨物をどの船で運べばコストを低く抑えて全貨物を運ぶことができるかという最適化を行う。ここで得られたコストの最小値がコンテナ船航路最適化モジュールにおける一つの個体の評価値となり、この値が良い個体 (航路編成) ほど生き残り易くなる。世代を繰り返すことで最適な航路編成、貨物輸送経路を得る。

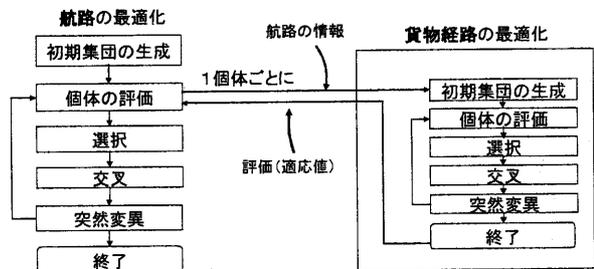


Fig.3 Proposed transportation-network optimization method by using GA.

3.1 遺伝子設定

本節では GA 処理における遺伝子の設定法について述べる。コンテナ船航路の最適化モジュール (GA1 段目) では港を数字で表し、船が通る港の順番を染色体としている。よって染色体の長さが変化する遺伝子設定である (Fig.4)。ここで航路の取り得る条件を示す。

- (1-1) 航路は周回航路とし、最初に出発する港に必ず戻る。
- (1-2) 同一の港は2回まで通ることができるが、そのような航路は振り子型配船と仮定して、染色体を設定する。

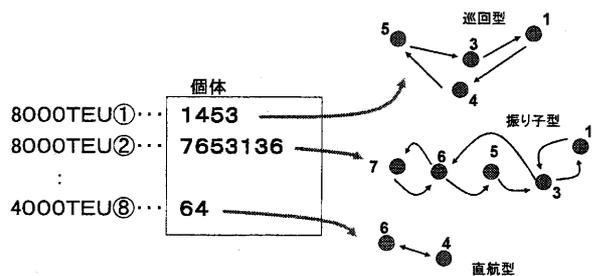


Fig.4 Example of an individual (GA step1).

例えば Fig.4 の航路①は巡回型、航路②は振り子型、航路③は直航型を表す。

なお、長さの異なる染色体の交叉においては、計算途中で形成される染色体中の部分列 (すなわち航路の一部) が交叉の操作によって大きく破壊されないように注意する必要がある。このため本研究では一点交叉を用いた。また、交叉によって、多数重複して同じ港を通過港として選択するなど、上述の航路条件に反する染色体が生成された場合には、条件に合わない遺伝子を消去する処理を行う。

次に、貨物輸送経路 (GA 2 段目) の遺伝子設定についての条件を以下に示す。

- (2-1) 各 OD 貨物は分割して2つの経路までとれる。
- (2-2) 積み替えは2回までとする。

Fig.5 に貨物経路最適化モジュールにおける個体の遺伝子設定の例を示す。このモジュールに対する入力値としては航路情報が与えられている。この航路に対し貨物輸送経路候補を上記の条件に従って1組のOD貨物に対し予め数通り求めておく (本研究ではこの候補数を8とする)。条件(2-1)に従い、Fig.5 に示す染色体の最初の3bit でこの8通りの候補から一つめの経路 (経路1) を選択し、次の3bit で同じ8通りの経路から二つめの経路 (経路2) を選択する。最後の7bit はこれら二つの経路への OD 貨物の配分量を表している (貨物量を $2^7-1=127$ 分割して経路1がその内のどれだけ運ぶかを表示する)。例えば Fig.5 の一行目は、Table 1 のロサンゼルス-横浜間貨物 OD(1,2)の配分を表している。すなわち、0100110 が十進法で38であるので、貨物量 18,459TEU

のうちの38/127である5,523TEUを経路1で運び、残りの12,936TEUを経路2で運ぶことを表す。このようにして対象港が8港であれば、一つの港からの行き先は7港なので、13bitの染色体が56組あるものが1つの個体となる。このような個体を多数用意し、優れた個体を改良するというGAの最適化処理を実行する。

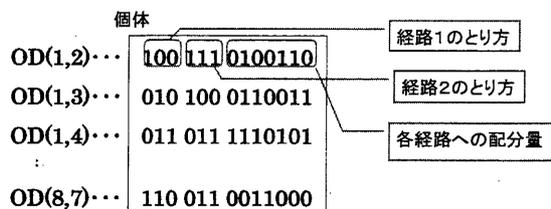


Fig.5 Example of an individual (GA step2).

3.2 目的関数

本研究の目的関数は1週間分の輸送費用である。輸送費用は、燃料費、修繕維持費、保険料、船用品費、潤滑油費、船員費、一般管理費、コンテナ船減価償却費、入出港費¹²⁾、積み替え費¹²⁾の和とする。これらの費用は1週間分の貨物を運ぶのに必要な隻数、船型、周回距離、入港回数等によって決定される。しかし、注意が必要であるのがウィークリー・サービスの仮定である。航路が長く一週間で戻れない航路は1週間分の貨物は運べても次週や、次々週の貨物を運ぶことができない。このような航路に対しては、毎週同じ曜日に寄港する条件を満たし、次週以降の貨物の運搬も考えた必要隻数を保有しなければならない。したがって、この保有隻数分の費用を算出することになる。なお、周回時間は海上における航走時間と港湾における荷役時間により構成される。

4. 最適ネットワークの計算結果

先にも述べたように、本研究では東アジア圏における海上輸送ネットワークの最適化を主題としたため、各地域の貨物量をロサンゼルス、横浜、釜山、上海、高雄、香港、シンガポール、ロッテルダムの8代表港に集約して最適化問題を考える。これらの港湾間貨物輸送について Table 3 に示す5ケースを検討した。

Table 3 Examined cases.

Case	条件	燃料費	貨物時間価値
Case 1	全ての貨物を1つの巨大な船社で運ぶと考えた場合の最適化	Table 1 の OD データの 100% を使う。 燃料費 = $(0.22 \cdot \text{TEU} + 1800) \text{円} / \text{mile}$.	
Case 2	平均的なアライアンスの規模での最適化	OD データの 15% を使う (Table 3). 燃料費 = $(0.22 \cdot \text{TEU} + 1800) \text{円} / \text{mile}$.	
Case 3	平均的なアライアンスの規模での最適化	OD データの 15% を使う (Table 3). 燃料費は Case 2 の 2 倍。	
Case 4	平均的なアライアンスの規模での最適化	OD データの 15% を使う (Table 3). 燃料費は Case 2 の 2 倍。 貨物時間価値 = $280 \text{yen} / \text{TEU} \cdot \text{h}$ 。	
Case 5	平均的なアライアンスの規模での最適化	OD データの 15% を使う (Table 3). 燃料費は Case 2 の 2 倍。 貨物時間価値 = $1000 \text{yen} / \text{TEU} \cdot \text{h}$ 。	

Case 1 は、船社間に競争はなく全ての船社が協力する（もしくは海上輸送が巨大な船社 1 社に独占されている）という前提で全体的な最適化を行う場合である。従って、OD データとしては Table 1 の数値をそのまま使用する。しかし、Case 1 は船社間の競合がある現実の海上輸送に対応しているとはいえない。そこで次に、現在のアライアンス（船社同盟）の規模を考慮して、1つのアライアンスにとっての最適化を考える。本研究では Table 1 の OD データの 15%を仮想的なアライアンスが取り扱う貨物量と仮定して最適化を行うこととする（以下、Case 2~Case 5）。なお、この数値は現状の平均的なアライアンスの貨物取扱規模にほぼ対応している。Table 1 のデータを全て 15%に縮小した OD 表を Table 4 に示す。また、燃料費の高騰を考慮して、Case 3~Case 5 では燃料費を Case 2 の 2 倍にして計算し、結果に与える燃料費の影響も調べる。さらに、Case 4 および Case 5 では、貨物の時間価値も考慮した最適化を行う。すなわち、Case 4 では貨物時間価値を $280[\text{¥}/\text{TEU}\cdot\text{h}]^2$ 、Case 5 では $1,000[\text{¥}/\text{TEU}\cdot\text{h}]^{13,14}$ として、輸送に要する時間をコストとして評価し輸送費用に加算したものを最適化の目的関数とする。

4.1 節以降に計算結果を示す。

Table 4 Origin destination table – 15% cargo flow for a virtual alliance. [Unit: TEU/week]

O \ D	アメリカ (ロサンゼルス)	日本 (横浜)	韓国 (釜山)	中国 (上海)	台湾 (高雄)	香港	シンガポール	欧州 (ロッテルダム)
アメリカ (ロサンゼルス)	0	2,769	1,128	2,838	814	935	265	0
日本 (横浜)	1,961	0	505	1,894	958	901	556	1,181
韓国 (釜山)	1,309	699	0	906	225	655	115	959
中国 (上海)	9,252	3,328	582	0	168	947	308	804
台湾 (高雄)	1,646	929	208	0	0	948	242	1,106
香港	2,888	1,229	220	890	295	0	212	1,987
シンガポール	233	659	71	106	661	723	0	1,060
欧州 (ロッテルダム)	0	1,495	841	616	862	1,081	797	0

4. 1 Case 1

Case 1 の計算結果は、直航型、振り子型配船を基本とした 8,000TEU の大型船のみの航路編成となった。Fig.5 に 1 週間分の貨物運ぶ隻数が 3 隻以上となった航路を示す。最適解となる航路の重要な要素として周回時間が挙げられる。ウィークリー・サービスを仮定しているため、1 週間単位で丁度周回できる航路は保有隻数が抑えられ、船腹が有効に活用される。このような航路の中で振り子型や、直航型を用い、効率良く貨物運ぶ航路が選ばれている。このケースでは元々の貨物量が多いために、貨物を集約せず直接運ぶ直航型航路が現れやすい。

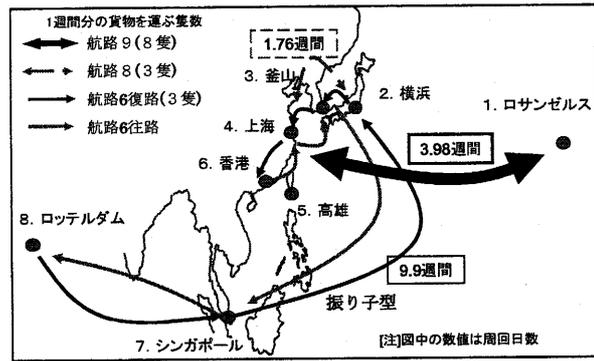


Fig.5 Result of Case 1.

4. 2 Case 2 および Case 3

Case 2 および Case 3 に対して得られたネットワーク及び配船の計算結果はほぼ同一であった。ここでは紙面の都合上 Case 3 のみを示す。求められた全ての大型船 (8,000TEU) 航路を Fig.6 に示す。OD データ (Table 4) を見ると分かるように 8,000TEU を越す OD 貨物は一組しかなく、ほとんどが 1,000TEU に満たない貨物量であるが、8,000TEU の大型船を 2 航路 (航路 1 および航路 3) に用いる結果となり、大型船の有効性が示されている。大型船が巡回しながら貨物をピックアップしていく様子が伺えるが、特に特徴的なのは振り子型航路 (実線) であり、この航路は欧州発着貨物の全てを担い、各港をほぼ満載で往復している。Fig.6 の 2 航路は Case 1 と同様に 1 週間単位で各港に寄港するように設計されている。北米航路と、欧州航路の接続点である上海、釜山は重要な拠点となり、積み替え貨物も多い。

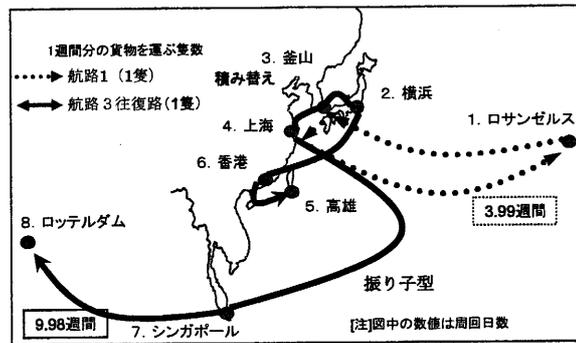


Fig.6 Result of Case 3 (Large ships).

次に Fig.7 に、Case 3 に対する計算から得られた小型と中型船の航路を示す。中・小型船は巡回型航路、直航型航路で、アジア域内の輸送と北米-アジア間の補助的輸送（主として日本-北米）を担っている。Fig.7 には周回日数が 1 週間単位となっていない航路が示されている。例えば横浜-ロサンゼルス間の航路 13 は Fig.6 の大型船航路に乗せられなかった残余分を処理するための航路と考えられる。

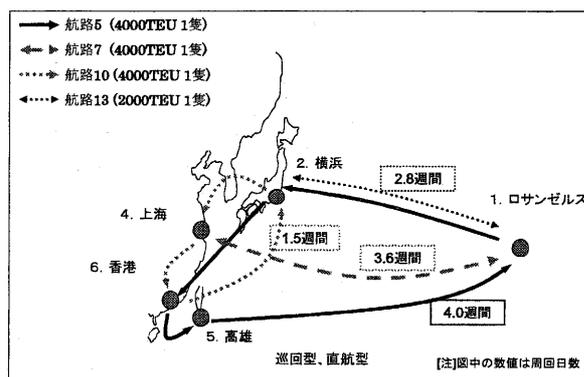


Fig.7 Result of Case 3 (small and middle sized ships).

4.3 Case 4 および Case 5

次に貨物の時間価値を考慮した計算結果を示す。これらの計算でも船型は大・中・小型船(すなわち、8,000 TEU、4,000 TEU、2,000 TEU)を考えたが、Case 4、Case 5 共に小型船のみ就航するという結果が得られた。本研究では、荷役に要する時間は搭載コンテナ数に比例¹⁵⁾させているので、大型船に比べ小型船は荷役時間の点で有利である。貨物の時間価値を考慮する場合は、大型船によるスケールメリットよりも貨物の到着時間の短縮が優先されるので、運航距離の増加や積み替えによる荷役時間の増加を極力排除するシンプルな航路と小型船型の組み合わせが選ばれる結果となった。これらのケースに対する計算結果では、航路は直航型、振り子型が多く、多くの貨物が他の港を経由せず直接目的地まで運ばれている。特徴的なのは、他の港を経由する貨物であってもできるだけ時間的ロスが少ない振り子型によって運ばれることである。Case 4における振り子型航路をFig.8に示す。目的地との地理的な中間地点の港を経由する直線的な航路によって時間的ロスを最小に抑えて運ばれていることが分かる。Case 5の結果はCase 4に比べ他の港を経由せず直接目的地まで運ばれる傾向がさらに強く出たが、全体的にはCase 4とよく似た傾向となり小型船のみが就航する結果となった。

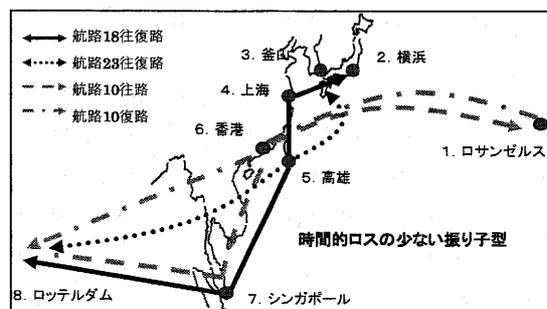


Fig.8 Result of Case 4.

4.4 計算の収束状況

Fig.9にCase 1の計算実行時における解の収束状況を示す。600~700世代経過したところで世代の最良解は一定値に収束している。他のケースでもほぼ同様の結果であった。これより、本研究で計算対象とした程度の大きさの問題であれば、1000世代までの計算を行えば十分収束した結果が得られると考えられる。なお、本研究では、GA 1段目を個体数 50、最大世代数 1000とし、GA 2段目を個体数 30、最大世代数 450とした条件で各ケースの計算を行った。計算には3.2GHz-Xeon プロセッサ搭載のワークステーションを用いた。計算時間はそれぞれのケースで20時間程度であった。

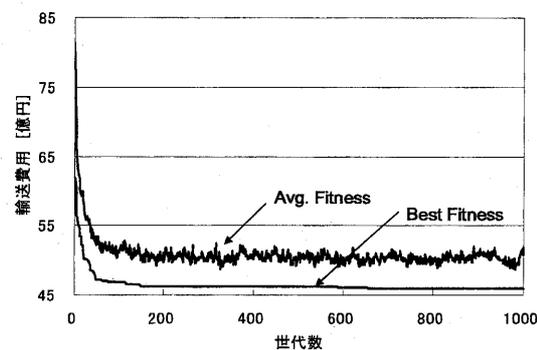


Fig.9 Fitness change in generation (Case 1).

5. 結言

本論文ではGAを用いて海上コンテナ輸送ネットワークを最適化する方法を提示し、東アジアの輸送ネットワーク最適化の計算例を示した。得られた主な結果を以下に示す。

- (1) 複雑な航路への対応、正確な積み替え費用の計算、ウィークリー・サービスの仮定等、現実に近い条件下で輸送ネットワークの最適化を行える計算法を提示し、その有効性を確認することができた。特に従来手法では困難であった振り子型配船の表現が可能である点は、本論文の方法の特筆すべき利点と考えられる。
- (2) 貨物量が多い場合、少ない場合ともに、8,000TEUの大型船による振り子型航路が有効であることが分かった。また、ウィークリー・サービスを仮定した場合に1週間単位で周回できる航路が極めて有効であること、欧州発着貨物は振り子型航路によって運ばれ易いことが分かった。
- (3) 貨物時間価値を考えた場合、小型船が有効になり得るという選択肢を示した。また、この場合にも振り子型航路の有効性は保持されるということが分かった。貨物の時間価値を考慮した検討結果からは、大型船の導入を考えるならば港湾の荷役能力、荷役速度の向上が必須であることが分かる。なお、貨物時間価値を考慮すると小型船が有利という結果が出

たが、多数の小型船の導入は沖待ち時間の増加に繋がる可能性がある。本研究では沖待ち時間の影響を考慮していないため、その点については今後さらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) 商船三井営業調査室：定期海運の現状 2001/2002 (2002).
- 2) 大和裕幸、角田智弘、小山健夫、伏見彬：数理計画法によるコンテナ船航路の設計手法について、日本造船学会論文集、第184号、pp.607-615 (1998).
- 3) 黒川久幸、鶴田三郎、嶋邦彦：海上コンテナ輸送ネットワークの設計に関する研究、日本航海学会論文集 101号、pp.259-269 (1999).
- 4) 久保雅義他：神戸港再生への一提案、日本航海学会論文集 95号、pp.313-323 (1997).
- 5) 有木俊博、鈴木克幸：GLS 方による日中海上物流の最適化、日本船舶海洋工学会論文集、第3号、pp.69-76(2006).
- 6) 松倉洋史、勝原光治郎、大和裕幸：遺伝的アルゴリズムを用いた不定期船の配船計画作成に関する研究、日本船舶海洋工学会論文集、第3号、pp.77-85(2006).
- 7) 国土交通省総合政策局情報管理部交通調査統計課：港湾統計(年報)平成13年(2001).
- 8) 海事産業研究所：日本—アジア/米国のコンテナ定期船荷動き量調査(2003).
- 9) 関西経済研究センター：「国際競争下の拠点港湾に関する調査研究」の報告書(1999).
- 10) maritimeChain.com
http://www.maritimechain.com/partners/port_distance_call.asp
- 11) Partnership Shipping Portal
<http://www.ebizmarine.com/distances.asp>
- 12) Martine Stopford：Maritime Economics second edition (1997).
- 13) 港湾研究部：平成14年度国土技術政策総合研究所年報、pp.256-271 (2002).
- 14) 第6回 港湾局関係公共事業評価手法研究委員会資料.
- 15) LCA 研究グループ：船舶運航のCO2インベントリデータに関する研究、平成13年度(第1回)独立行政法人海上技術安全研究所 研究発表会、pp.155-162 (2001).