

# 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

正員 松倉 洋史\*                      正員 渋谷 理\*  
正員 勝原 光治郎\*                  正員 大和 裕幸\*\*

Study on Trumper Allocation Planning Using Genetic Algorithm

by Hiroshi Matsukura, *Member* Osamu Shibuya, *Member*  
Mitujiro Katuhara, *Member* Hiroyuki Yamato, *Member*

## Summary

Trumper allocation is important and difficult work operation because it affects heavily on transport efficiency and stability although a lot of factors must be considered carefully and properly. Some information technologies are partially used in data collection, display and editing, but planning itself is done by human resources. Provided that high performance trumper allocation plan be generated automatically by using computer program, it is very useful not only for labor saving but also for seeking further enterprise-level efficiency and rationalization through various analysis. Notwithstanding above benefits, transport system dealt with real business is so complicated and large in scale that it is highly difficult to replace trumper allocation operation with computer algorithm and solve it within the time suitable for practical use.

In this paper authors tries to mitigate above difficulties by using Genetic Algorithm (GA), one of heuristic methods, and by using logistics simulator to evaluate each chromosome's score (fitness) precisely. First, we develop allocation algorithm and analysis system, secondly we apply it for a small model to observe its attribution, and lastly apply it to transport system modeled with real ship operator and assess the feasibility of our approach. We could conclude that our approach is applicable, and introducing heuristic database is useful and sometimes indispensable.

## 1. 緒 言

不定期船輸送における配船計画は、輸送の効率性・安定性等(以下、輸送性能と記述)に大きく影響する上、考慮すべき要素の多い、非常に重要かつ困難な作業である。しかし、データ収集・表示・編集等で一部 IT 技術が用いられているものの、配船案の考案自体はほとんどが人手により行われている。

仮に、コンピュータを利用して優れた配船計画を自動で作成することができれば、作成作業の効率化が図れるだけでなく、配船の自動生成システムの性能を向上させることでランニングコストの抑制、使用船舶数の削減等の輸送効率化が可能である。また、多くの想定事例に対して速やかに配船案を得られることから、供給安定性の向上・輸送関連設備投資計画の評価・地震等災害時対策の立案

等、様々な検討を精度よく効率的に行うことが現実的となる。しかし、実務で対象とする輸送システムは非常に複雑かつ大規模であるため、全国規模の配船作業をコンピュータ上のアルゴリズムに置き換え、実用的時間内に解くことは非常に困難である。

上記の配船問題は、いわゆる在庫を考慮したルート決定問題の1つである。在庫を考慮したルート決定問題は、国内外で多くの研究が行われているが<sup>例えは1)</sup>など、海外における研究はほとんどがトラック等の非船舶を対象としたものであり、不定期船を対象としたものは少ない<sup>2)3)</sup>。また、国内における研究は、今までのところ著者らによる取り組み<sup>4)5)</sup>による他はあまり行われておらず、これらも混載・複数港荷役等への対応に関して十分とはいえない。

本報告では前述の困難を解決するため、遺伝的アルゴリズムの枠組みを用いると共に、各染色体の評価にシミュレータを用いることとした。配船アルゴリズム及びそれを実現するためのシステム開発の後、小規模な輸送モデルを対象に配船を自動生成して特性を把握した後、実船社を対象とした輸送モデルを用いて配船計画を自動作成し、本手法の有効性を検討する。

\* (独)海上技術安全研究所

\*\* 東京大学・新領域創成科学研究科

原稿受理 平成 17 年 10 月 14 日

## 2. 不定期船の配船

### 2.1 概要

多くの不定期船社では、陸上タンクの在庫、荷主の要求やタンカーの位置・状態、港湾情報等の輸送関連情報を集約・分析する配船センターを設け、同種の荷物を扱うタンカーに関して配船計画を一元的に作成している(ただし、港湾内等の至近距離輸送に用いる小型の平水船などを除く)。

配船センターから各タンカーに届く指示は、荷役月日、港、製品種類、荷役量、荷役種類等の輸送に必要な基本情報のみであり、各タンカーはそれをもとに航行経路、沖待ちの要不要、入出港時刻、荷役開始/終了時刻等、配船指示が可能となるよう現場の状況に応じた詳細な計画を立てて実際の輸送活動を行う。

なお、配船計画を作成する期間は1週間程度が多く、計画作成後に変更が生じた場合は、残りの期間における配船計画を実情にあわせて修正することとなる。

### 2.2 輸送形態の分類

不定期船による輸送は、大きく以下の2種類に分かれる。ただし、実際の輸送では両者が混在したものも多い。

#### (1) オーダー式

荷主が船社に対して荷役月日・港・製品種類・荷役量等の輸送の指示(オーダー)を出すものである。船社側はオーダーを受けて各輸送指示に対して船舶の割り当てを行う。船社は、主にどの船をどの輸送に割り当てるかという自由度しか持たないが、荷役月日については交渉により多少前後に動かすことが可能である。

#### (2) タンクバランス式

船社が陸上のタンクの在庫(タンクバランス)を管理している場合である。トラック等の陸上輸送におけるVMI(Vender Managed Inventory)方式に相当するものである。すなわち、荷主からはタンクをオーバーフローあるいはドライアウトさせないということのみを依頼され、どのような輸送を行うかについては一任されている場合である。船社が荷主と一体となって輸送を行っている場合、荷主が自社船隊を有して輸送を行っている場合もこれにあたる。

(1)と(2)を比較すると(2)の方が輸送の自由度が高い。すなわち、輸送の探索空間が広いため、通常は輸送性能が高い配船を作成することが可能である。トラック等による陸上輸送で輸送効率化の有効な手段としてVMI方式が普及しつつある現状を鑑みれば、海運分野でも更なる輸送性能の向上が可能であるとして、(2)方式の割合が高くなっていくことが期待される。その場合、両者が混在した状況に対応する必要があるが、探索空間が狭い(1)の手法を(2)へ拡張することよりも(2)に制約条件を付けて(1)に対処する方が、開発の見通しが良いと考えられる。

以上により、本報告では(2)のタンクバランス式の輸送形態を取り上げることとする。

### 2.3 自動配船の困難性

計算機による不定期船の配船自動化を困難にしているのは、主として次の理由である。

- (1) 輸送単位が数百~数千トンと大きい上に、使用する船の隻数も限られるため、個々の輸送遅延の影響が大きく、各輸送の正確な取り扱いが必要(例えば、入港時間に間に合わなければ翌日以降の入港・荷役となる等)。
- (2) 船舶、港湾、貯蔵施設、工場、需要家、航路状況等、考慮すべき条件が複雑かつ多岐にわたる上、配船アルゴリズム上でのそれらの統一的な取り扱いが難しい。
- (3) 混載、複数港積み、複数港揚げ、帰り荷の考慮等、輸送形態が多様であり、また、入出港、積み揚げ、沖待ち等の時刻等、活動の状態を変化させるタイミングが無段階である(どの時刻で切り替えても良い)ため、組合せ爆発が起きやすい。

上記困難に対処するため、幾つかのヒューリスティック手法の中から遺伝的アルゴリズムの枠組みを用いると共に各染色体の評価にシミュレータを利用することで、実用的な工数及び計算時間内で輸送を実施可能な解を求めるを試みる。

## 3. 遺伝的アルゴリズム

### 3.1 遺伝的アルゴリズムの概要

遺伝的アルゴリズムは複数の実行可能解を保持しつつ、その解を進化のアナロジーを用いて改善していく方法の総称である<sup>9)</sup>。

最も基本的な遺伝的アルゴリズムは次のように表現できる。ただし、 $P(t)$ は第 $t$ 世代の集団、交叉及び突然変異を行う関数を  $generate()$ 、選択を行う関数を  $select()$ とする。

```

1      t=0
2      P(0) = executable initial chromosome pool
3      while termination criteria ≠ yes
4          P'(t+1) := generate(P(t))
5          P(t+1) := select(P'(t+1))
6      t:=t+1
7      return best answer in P(i), i=0, ..., t

```

上記の基本的な枠組みは踏襲しつつも、解こうとしている課題に適合するよう、染色体生成法、性能評価法、評価関数の構成、各種パラメータの調整等を研究・開発することとなる。

なお、解析対象及び遺伝的アルゴリズムの構成方法によっては、適切に解くことが困難となる場合もある。

### 3.2 自動配船の実現に向けたアプローチ

本稿では染色体の輸送性能の評価を、多項式からなる評価関数等により静的に行うのではなく、物流シミュレータ上で動的に行うこ

ととした。即ち染色体に配船計画案を記述し、検討対象となる輸送システムを出来るだけ忠実に再現したシミュレータ上で実行して輸送結果のパラメータを収集することで、どの程度の輸送性能が期待できる配船案であるのか評価する。

シミュレータを用いることで、輸送性能の評価で時間がかかるデメリットはあるものの、次のようなメリットを享受可能である。

- (1) 入出港制限時間帯や船舶の仕様等、輸送システムの条件が変化しても、ほぼ同一の配船アルゴリズムで対応することが可能である。同様に、シミュレータの設定ファイルや染色体の生成用のデータベースを編集することで、多様な企業に対してかなりの程度対応可能である等、汎用性が高い。
- (2) 解析対象の複雑さの増加は主としてシミュレータ部分が担うため、アルゴリズムが単純となる。なお、シミュレータの作成においては、オブジェクト指向プログラミング技術及び関連技術を適切に用いることで、現実世界の持つ複雑さを実用的な工数内で取り扱うことが可能と考える。

ただし、遺伝的アルゴリズムの理論的解明は完全には行われてはならず、適切な集団数・交叉率等、調整すべきパラメータが多数あるにも関わらず、その調整は試行錯誤で行う必要があるという欠点がある<sup>10)11)</sup>。

3.3 構成

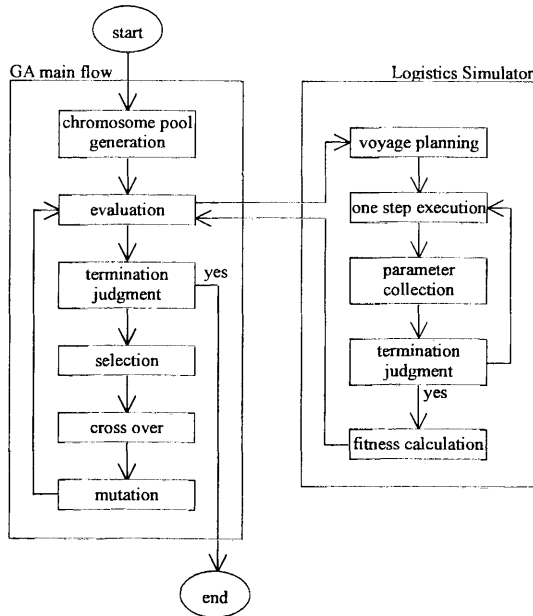


Fig.1 Structure for Trumper Allocation Algorithm

上記を実現するための自動配船システムの構成を Fig.1 とした。まず、進化機構側で初期染色体プールを生成し、次に各染色体を物流シミュレータに送って輸送性能を評価する。その際、シミュレータは染色体を読み込み、解析対象に近似するよう設定された輸送環境下で航行計画を仮想的に実行し、輸送性能関係のパラメータを収集する。シミュレーション終了後、それらを用いて評価値の計算を行う。全染色体の評価値を計算した後、優秀な成績を残した染色

体の特性が残りやすくなるよう次の世代の染色体を生成する。

次世代の染色体生成においては、まず、成績の良い染色体が確率的に多く残るよう選択を行い、続いて、選択された個体を対象に交叉及び突然変異を行う。それらにより形成された染色体プールを再びシミュレータで評価する。以上を終了条件を満たすまで繰り返す。

3.3.1 染色体の初期発生

染色体は 2.1 で述べた様な、港名・積み揚げ・品目等の荷役の最も基本的な情報(荷役情報)を単位とする遺伝子列を隻数分順に並べたものである。以下の 2 種類のデータベースから乱数で生成される。

(1) 遺伝子データベース(Gene Data Base : G-DB)

上記の荷役基本情報を網羅的に登録したものである。例えば、A 港において品目 B の消費側タンクがある場合は"港名 : A、品目 : B、荷役種類 : 揚げ"という遺伝子が登録される。

(2) ヒューリスティクスデータベース(Heuristics Data Base : H-DB)

あらかじめ有効と思われる上記遺伝子の組合せを登録した知識データベースであり、以下の 3 種類から構成される。

- ① 実務従事者の知見 : 実務従事者の経験及び過去の配船事例から収集して登録したもの。
- ② 解析者の判断 : 解析者が輸送構造を分析して、必要、あるいは優れていると判断した組合せを作成して登録したもの。なお、将来的にはコンピュータプログラムの支援等により、当該エントリーを作成することも可能と考えている
- ③ 過去に生成した事例 : 過去の自動生成の試みにより、優れていると思われる組合せを登録したもの。

ヒューリスティクスデータベースのエントリーには荷役ホールド数が記述してあるが、遺伝子データベースのエントリーには記述されていない。荷役ホールド数は、染色体に組み込む段階で乱数によって決定される。また染色体には荷役すべき日時の記載はなく、シミュレーション実行時にシミュレータ上の船舶が周囲の状況を判断しながら可及的速やかに輸送計画を遂行することとなる。

3.3.2 評価

各染色体の適合度の評価値  $F$  は、 $F_{time}$  と  $F_{inventory}$  の積により算出される値とし、小さい方が優れているように構成した。

$$F = F_{time} \times F_{inventory}$$

(1) 輸送持続時間をもとにした評価値( $F_{time}$ )

輸送が持続した時間、すなわち配船案を実行して、陸上側の全てのタンクがオーバーフローもしくはドライアウトしなかった時間(以下、輸送持続時間)  $t$  をもとに、以下により算出される値である。なお  $C_t$  は任意の定数(ただし  $C_t > 1$ )、 $T_{necessary}$  は必要な輸送持続時間(例えば 33 日間の輸送計画を立てるならば  $33 \times 24 = 792$  時間)である。 $F_{time}$  は小さい方が望ましい。

$$F_{time} = C_t - t/T_{necessary}$$

(2) タンク残量をもとにした評価値( $F_{inventory}$ )

輸送を持続できなくなったとき(いずれかのタンクがオーバーフロー/ドライアウトしたとき)、もしくは持続時間が  $T_{necessary}$  に達したときの各タンク残量をもとに、以下により算出される値である。なお、 $C_i$  を任意の定数(ただし輸送持続時間の影響を在庫の影響より大きくするため  $C_i > C_j$  とする)、 $i_{current}$  をシミュレーション終了時の在庫量、 $i_{target}$  を在庫の目標値(ここではタンク容量の 50%)、 $V$  をタンク容量とする。 $F_{inventory}$  は小さい方が望ましい。

$$F_{inventory} = C_i + \sum_{\text{全タンク}} \frac{i_{current} - i_{target}}{I_{max}}$$

ただし、 $i_{current} \geq i_{target}$  のとき  $I_{max} = V - i_{target}$

$i_{current} < i_{target}$  のとき  $I_{max} = i_{target}$

進化過程の前半では輸送持続時間が短い(オーバーフローもしくはドライアウトにより短時間で輸送に失敗することから、 $F_{time}$  が支配的である。しかし、全体の評価値  $F$  を  $F_{time}$  と  $F_{inventory}$  の積とすることで、同一の輸送持続時間でもタンク残量のバランスが改善されれば評価関数値  $F$  は向上する。これにより、同一持続時間の配船案同士における探索能力を確保できるようにした。

また、 $F_{time}$  はひとたび必要輸送持続期間に達した後は一定値となり、後は必要輸送持続期間終了時のタンク在庫量の改善が行われる。

### 3.3.3 選択

成績の良い上位から一定数の染色体は、無条件に次世代に残し、優秀な染色体の消滅及び破壊を防ぐこととした。

また、選択はトーナメントにより行い、進化過程後半で各染色体の評価値が接近しても進化時の淘汰圧が下がらないようにし、局所探索能力を出来るだけ確保するよう配慮した。

### 3.3.4 交叉

ランダムに選んだ染色体に対し2点交叉を行う。探索範囲が広がるよう、同一染色体が複数回の交叉を受けることも可能とした。

### 3.3.5 突然変異

乱数により輸送内容の一部を遺伝子データベースの組合せもしくはヒューリスティックデータベースの内容と入れ替える。探索範囲が広がるよう、同一染色体の複数回の突然変異も可能とした。

## 4. 自動配船システムの開発

Fig.1 に従い、コンピュータ上に自動配船システムを実装した。ただし、物流シミュレータの開発・管理を容易にし、汎用性を上げるため、また、将来は並列分散計算に対応出来るようにするため、進化機構と物流シミュレータは完全に分離し、別プログラムとした。なお、進化機構とシミュレータ間のデータのやりとりは、汎用性を上げるため、インターネット及びイントラネットの汎用的な通信規格である TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) を用

い、LAN を介して行えるようにした。

また、物流シミュレータとしては、物流システムを構成する要素のうち、物流計画部門を除いた生産・輸送・販売の現場活動に相当する機能を担当する部分をコンピュータ上に再現した。Fig.2 に開発したシミュレータの画面表示例を示す。

シミュレータの各要素はマルチエージェントとしてプログラムされ、各エージェントは配船センターの基本的な輸送指示(配船案)に従って情報収集・判断を行い、詳細な行動計画を作成して自律的に活動を行う。

タンカーは、地図上に設定したノード・パスの中からダイクストラ法により最短時間となる経路を探索して移動する。

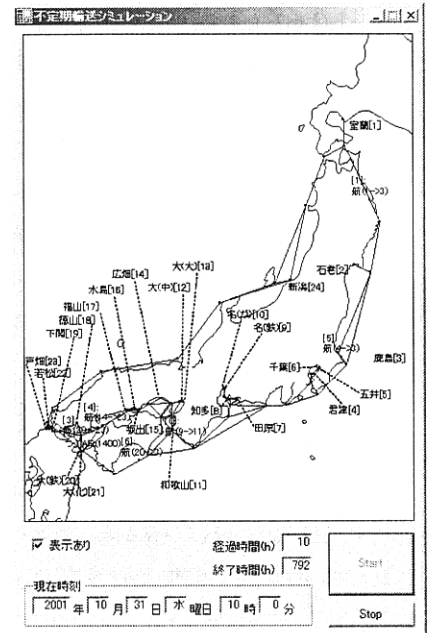


Fig.2 Simulator Snap Shot

## 5. 配船の自動作成

### 5.1 小型モデルの評価

#### 5.1.1 モデルの概要

自動配船アルゴリズムの傾向を見るため、Table.1 及び Table.2 の小型モデルを対象に自動配船アルゴリズムを試適用した。なお、これらの設定は実際の輸送システムを参考としているが、内容は架空のものである(港湾配置については Fig.8 を参照)。

Table.1 Port Specification of Mini Model (5 ports, 3 items)

port name	loading/unloading time zone	number of berth	item name (abbreviation)	tank size [ton]	increase rate [ton/day]
Muroran	from 06 to 18	1	tar (TAR)	1,800	+ 60
			creosote (CO)	1,600	- 40
Tahara	from 06 to 18	1	creosote (CO)	1,800	- 60
			black oil (BO)	1,800	- 50
Nagoya	from 06 to 18	1	tar (TAR)	2,000	+ 90
Sakaide	from 06 to 18	1	creosote (CO)	3,000	+ 100
Tobata	available all day	2	tar (TAR)	4,500	- 150
			black oil (BO)	1,500	+ 50

Table.2 Tanker Specification of Mini Model (2 tankers)

tanker id	DWT	number of hold	speed [knot]	
			ballast	full load
0	1,200	5	12-9 (depend on setting)	value of left column minus 1
1	1,100	5	value of tanker id0 minus 1	value of left column minus 1

5.1.2 遺伝子データベースのみを用いた配船計算

ヒューリスティックデータベースを用いず、遺伝子データベースのみをもとに配船を行った結果例を次に示す。なお、ship 0 は空船速度 9knot、ship 1 は空船速度 8knot と遅い仕様としており、輸送条件を厳しくして計算した。また、3.3.2 における評価関数中の定数として、幾つかの値を試行した結果収束性が良くなる値として  $C_1$  は 1.5 を、 $C_2$  は 4.5 を用いた。

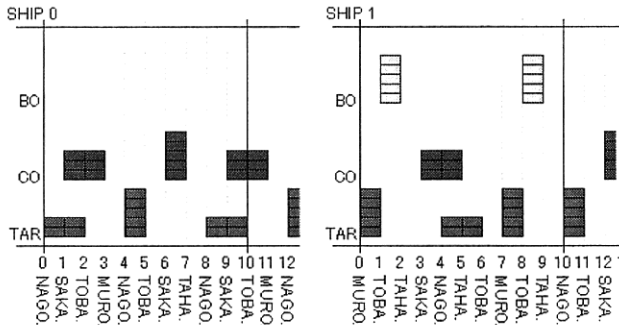


Fig.3 Tanker Allocation Summary (Small Model without H-DB)

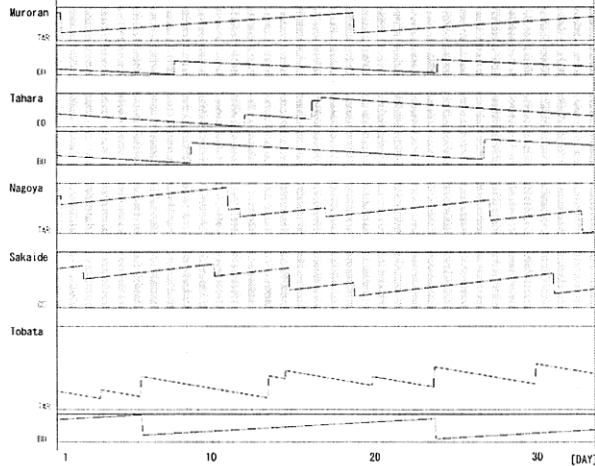


Fig.4 Tank Level History (Small Model without H-DB)

Fig.3 はタンカーの配船内容のうち、各船が港間で積載する品目をまとめたものである。横軸には寄港する港名を順番に記載し、縦軸には品目毎に何個のホルドを占めていたかを記載する。

例えば ship 0 は、当初、名古屋港に行ってタールを 2 ホールド積み、次に坂出港へ行ってクレオソートを 3 ホールド積み(混載及び複数港積み)、次に戸畑港へ行ってタールを 2 ホールド揚げ、次に室蘭港へ行ってクレオソートを 3 ホールド揚げ(複数港揚げ)、更に名古屋港まで空船航海を行う配船である。

Fig.4 は陸上側タンクの在庫履歴を示したものである。横軸には時間を、縦軸は各タンクの在庫量を示す。傾きが正のタンクは当該品種を生産するタンクであり、傾きが負のタンクは当該品種を消費するタンクである。また、灰色の縦縞の部分、荷役制限時間帯であることを示す。

どのタンクも、輸送開始時点よりも 1 月間の輸送終了時点の方が、タンクがオーバーフローもしくはドライアウトするまでの時間に余裕があるようになっている。安全余裕が増しており、妥当な配船であるといえる。

5.1.3 ヒューリスティックデータベースを併用した配船計算

最も基本的な配船要素である遺伝子データベースのみを使うのではなく、3.3.1 で述べた人間のヒューリスティクスを染色体の発生情報として併用することで、自動配船を効率化出来る可能性がある。そこで、以下の 2 種類のヒューリスティクスを導入した。

(1) 「坂出港→室蘭港→戸畑港」

坂出港でクレオソートを満載し、次に室蘭港で全て揚げた上でタールを満載し、最後に戸畑港で全て揚げる。この配船は、室蘭港で揚げた直後に積むため輸送効率が良い。

(2) 「坂出港→田原港→名古屋港→戸畑港」

坂出港でクレオソートを満載し、次に田原港で全て揚げ、名古屋まで空船航海を行った上でタールを満載し、最後に戸畑港で全て揚げる。この輸送は田原港→名古屋港間が近距離であるため輸送効率が良い。

上記をヒューリスティックデータベースに加えた上で配船を行った結果例を以下に示す。各パラメータ値は 5.1.2 と同条件とした。

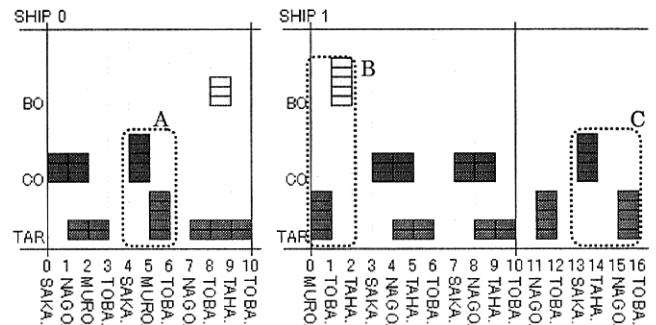


Fig.5 Tanker Allocation Summary (Small Model with H-DB)

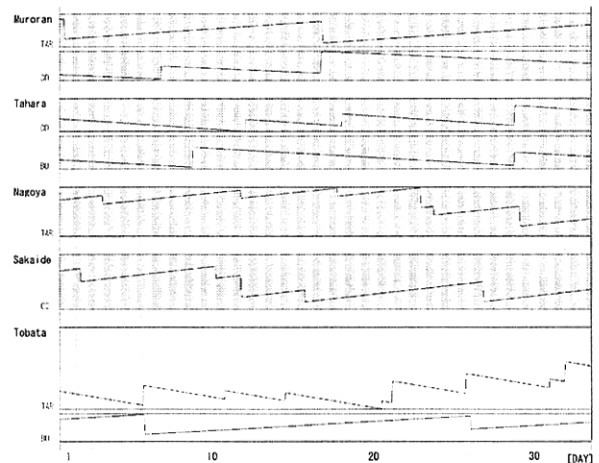


Fig.6 Tank Level History (Small Model with H-DB)

Fig.5 の枠 A 及び枠 C の配船はヒューリスティックデータベースから取得したものと考えられる。また、枠 B の配船は遺伝子データベースから生成した効率の良い配船であり、Fig.3 でも同様に生成されている。これは 3.3.1(2) ③「過去に生成した事例」の登録候補となる。

Fig.6 を見ると、輸送が成功裏に行われているだけではなく、どのタンクも輸送開始時点よりも 1 月間の輸送終了時点の方が、タンクがオーバーフローもしくはドライアウトするまでの期間に余裕

が出るようになっており、安全余裕が増していることが分かる。

なお、上記例ではヒューリスティクスデータベースのあるなしで、両者の配船内容に顕著な優劣の差は認められない。

#### 5.1.4 ヒューリスティクスデータベースの導入効果

ヒューリスティクスデータベース導入の効果を見るため、当該データベースのある場合とない場合の輸送実施可能な解(オーバーフローもドライアウトも起こさずに輸送が可能な配船案)を最初に見つけるまでの世代交代数を調べる。併せて輸送の困難度に対する影響を観察するため、複数の船速に対する上記値の推移をプロットしたものが Fig. 7 である。

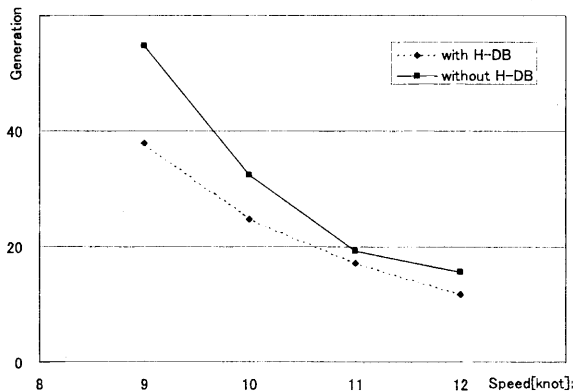


Fig.7 Effect of Heuristic Data Base (Small Model)

グラフ中の各値は100回試行を行って得られた平均値である。それぞれの試行では100個からなる染色体プールを用いた。なお、船速が8knot以下の場合にはヒューリスティクスデータベースの有無に関わらず、輸送を実施可能な解を得ることが出来なかった。

上図より、いずれの船速でもヒューリスティクスデータベースを用いた方が、用いない場合よりも少ない世代交代で輸送実施可能解を得られることが分かる。また、船速が小さい方が、すなわち、輸送が困難な条件下の方が導入の効果が大きい。これは、輸送が困難であるほど効率的な配船のみから配船計画を構成するため、効率的な配船例から構成されるヒューリスティクスデータベースの効果が大きいからであるからと考えられる。

実船社を例に取った大型モデルを扱った場合でも、実用的な世代交代数内で解を見つけることが出来るかが問題である。

## 5.2 大型モデルの評価

次に、実船社をモデルに、自動配船アルゴリズムを適用した結果を見ることで、手法の有効性を検討する。対象としては、黒物ケミカル輸送を取り上げる。なお、黒物ケミカル輸送は、以下に述べるように内航不定期船の中では、非常に複雑な輸送形態である。

### 5.2.1 モデルの概要<sup>12)13)</sup>

黒物ケミカル輸送とは、コールタール及びそれを主原料とする各種関連製品の輸送をいう。コールタールは主にコークス製造工程の副生成物として発生する。発生場所は大部分が鉄鋼会社であり石炭化学会社へ輸送されてクレオソート等の各種関連製品が得られる。

黒物ケミカル輸送では、荷揚げを行った港で更に荷積みを行って別の港へ向かうことも多く、ネットワーク型の複雑な輸送形態となっている。このため、白油・黒油輸送等の、工場-貯蔵所間の往復が支配的となる輸送より、同一使用船腹数に比して解を求めることが困難である。

今回、解析対象とした企業は国内黒物ケミカル輸送の最大手であり、9社の荷主からコールタール(TAR)、ロードタール(LTAR)、クレオソート(CO)、ブラックオイル(BO)、洗浄油(WO)、粗製ベンゼン(CN)、エチレンボトム(EBO)の計7品目の輸送を受注している。なお、当該船社はオーダー式とタンクバランス式の配船を混合して実施しているが、ここでは全てタンクバランス式で配船を行っていると思なして計算を行う。

輸送に用いているタンカーは協力会社を含めて9隻であるが、うち2隻は小型船であり、かつ輸送先も固定されているため検討から除外し、残りの7隻を対象とする。7隻のタンカーはいずれも499~749GT、1100~1600DWT、速力11~13knotの仕様である。

Fig. 8 に輸送対象となる工場の分布モデルを示す。工場の総数は23箇所あり全国に立地している。これらにそれぞれ1~6品種、合計48個の生産タンクまたは消費タンクがあり、独立に増減を行う。

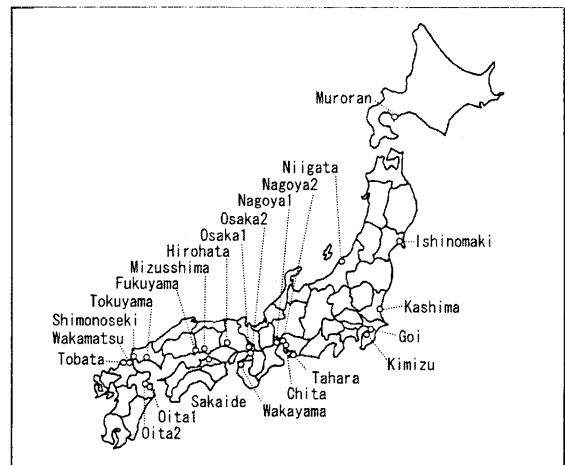


Fig.8 Port Allocation

### 5.2.2 配船計画の計算

配船計画を作成する期間、すなわち必要な輸送持続時間は、1月分(31日)に前後1日を加え33日間(792時間)とした。また、3.3.2における評価関数中の定数 $C_4$ 及び $C_5$ の値は小型モデルと同じ値を用いた。

#### (1) 遺伝子データベースのみを用いた場合

500個からなる染色体プールを用いて500世代の進化を行った。その結果、複数回の試行を行っても輸送持続時間が必要期間を満たす解は得られなかった。解空間の多峰性が非常に大きいにも関わらず、ヒューリスティクスデータベースを用いないこと等により探索能力が不足したため、いわゆる早熟な収束が起こって局所解から抜け出せなかったと考えられる。

#### (2) ヒューリスティクスデータベースを併用した場合

データベースには、過去の実際の配船事例から採取したもの及

び解析者判断により作成したものの計 25 個をヒューリスティクスとして登録した。

上記と同様に 500 個からなる染色体プールを用いて進化計算を行った結果、試行の半数程度において輸送持続可能な解を得ることが出来た。ヒューリスティクスデータベース導入の効果は非常に大きい。

計算結果例の一部を Fig.9~12 に示す。本例は、262 世代目で必要期間 (792 時間) の輸送持続可能な解を得られたものを、引き続き 300 世代まで世代交代させてタンク残量を改善したのち、計算を打ち切ったものである。

Fig.9 は評価関数値の世代毎の成長履歴であり、いくつかの大きな評価値の改善を経ながら、漸進的に改善していることが分かる。

なお、上記改善形状により、遺伝的アルゴリズムにおける経験則からは、本稿で用いたアプローチは本課題に対して非常に適しているといえる<sup>10)</sup>(逆に、遺伝的アルゴリズムに適さない場合は、評価関数が大きく階段状にのみ変化することが多い)。

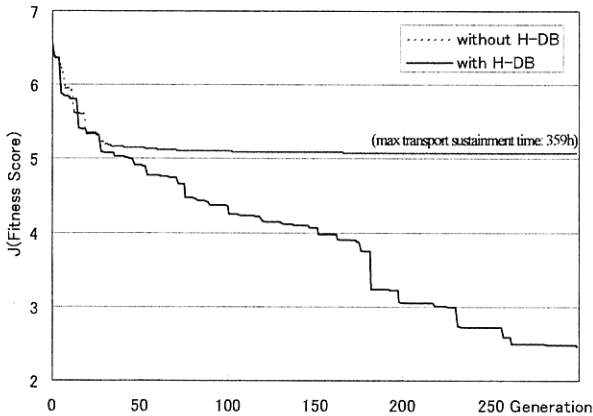


Fig.9 Score Improvement History (Large Model)

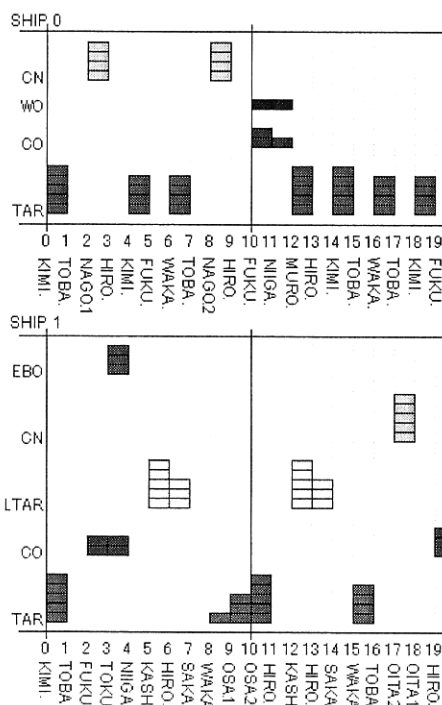


Fig.10 Tanker Allocation Summary (Large Model) (portion)

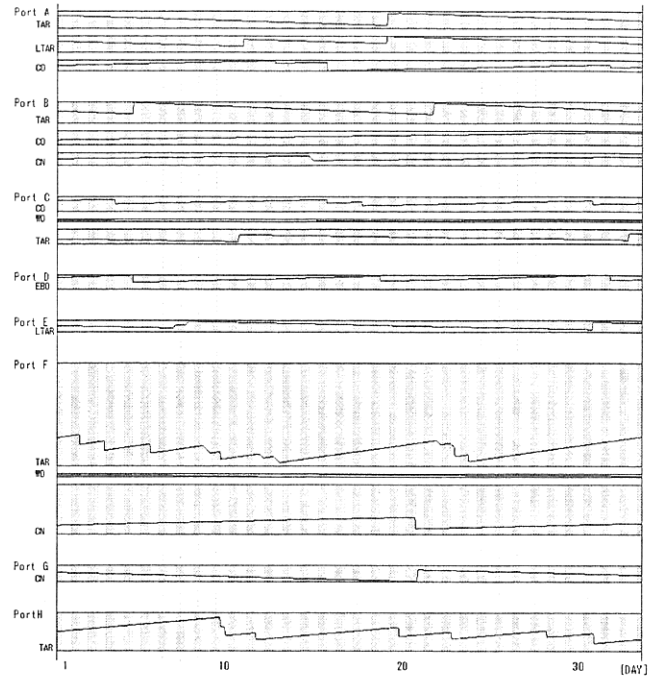
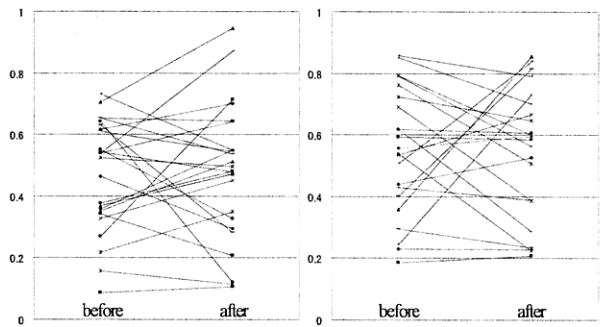


Fig.11 Tank Level Movement (Large Model) (portion)



left: decreasing tank, right: increasing tank

Fig.12 Tank Level Transition between Transport (Large Model)

Fig.10 からは、同様な荷役パターンが複数回出現していることから、ヒューリスティクスデータベースから構成された輸送が活用されていることが分かる。

Fig.11 は各タンクの在庫量の変化を示したものであり、Fig.12 は 33 日分の輸送の前後における、最大タンク容量に対するタンクレベルの割合の変化を示したものである(消費側タンクでは在庫量が 1 に近いほど安全であり、生産側タンクでは在庫量が 0 に近いほど安全であることに留意されたい)。輸送後にレベルが許容限界に近づいているものもあるが、概ね緊急とまでは言えない範囲に入っており、妥当な輸送が行われていると言える。

なお、本計算に使用した計算機は CPU が 3.4GHz(Intel 社 Pentium 4)、メモリが 512MB のパーソナルコンピュータ 1 台であり、要した時間は約 19 時間である。今後、シミュレーションプログラムの構成等を見直すことで高速化が可能と考えている。複数台の計算機による並列計算を行い、また、統計的解析手法を取り入れるなど進化機構の高度化を進めることと併せて、計算所要時間の短縮を行ってきたい。

## 6. 結言

本稿では、遺伝的アルゴリズム及び物流シミュレータを用いて不定期船の配船計画を自動で作成する取り組みについて報告した。対象として、今後の発展の可能性が高いと考えられる、タンクの在庫量を船社が管理する形式の輸送(タンクバランスタイプ)を取り上げた。配船アルゴリズムを開発・実装し、実船社の輸送システムを対象に配船案の作成を試みた結果、以下が分かった。

- (1) 実船社を対象に不定期船の配船を自動で作成するには、対象船社の規模にもよるが、遺伝的アルゴリズムを用いかつ配船案の評価に物流シミュレータを利用するという本稿のアプローチは有効と期待できる。
  - (2) 上記アプローチにおいて探索性能を向上させるには、ヒューリスティクスデータベースを導入することが非常に効果的であり、課題の困難度によってはその利用が不可欠な場合もある。
- 今回の取り組みにより、配船計画の対象となる期間においてオーバーフローもしくはドライアウトを起こさず、かつ輸送内容も概ね妥当な配船計画を得ることが出来た。今後は、更に輸送性能の高い配船計画を短時間に得られるよう、手法の改良やシミュレータプログラムの見直しによる高速化、及び分散計算への対応を行うと共に、今回扱わなかったオーダー式の輸送にも取り組んでいきたい。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、西部タンカー株式会社殿には多大なる御協力を頂いた。記してここに謝意を記す。

## 参考文献

- 1) Campbell, A. and M. Savelsbergh, "A Decomposition Approach for the Inventory Routing Problem" *Transportation Science*, Volume 38, Number 4, 2004, pp488-502.
- 2) David Ronen, "Marine inventory routing: shipments planning." *Journal of the Operation Research Society*, Volume 53, 2002, pp108-114.
- 3) Marielle Christiansen, "Decomposition of a Combined Inventory and Time Constrained Ship Routing Problem, *Transportation Science*, Volume 33, No.1, 1999, Pages 3-16.
- 4) 勝原他, 国内マクロ物流の海上輸送シミュレーション, 第74回船舶技術研究所研究発表会講演集, 2000, pp133-136
- 5) 松倉他, 内航セメント輸送シミュレーション手法の研究, 日本造船学会講演会論文集第1号, 2003, pp31-32
- 6) 松倉他, 黒物ケミカル製品輸送を対象とした逐次型配船手法の研究, 日本造船学会講演会論文集第2号, 2003, pp179-180
- 7) 松倉他, 内航不定期輸送シミュレーション手法の研究一荷主・オペレータ間のe-ビジネスの評価一, 日本造船学会講演会論文集第3号, 2004, pp77-78
- 8) 松倉他, 企業間協力が海上不定期輸送に与える効果のシミュレーション評価, 日本造船学会論文集第195号, 2004, pp43-51
- 9) 久保他, 応用数理計画ハンドブック, 朝倉書店, 2004, pp604-607
- 10) 伊庭, 遺伝的アルゴリズムの基礎 -GAの謎を解く-, オーム社, 1996
- 11) システム制御情報学会編, 遺伝アルゴリズムと最適化, 朝倉書店, 1998
- 12) 財団法人日本海事航法協会, 日本の港湾, 2001
- 13) 社団法人日本芳香族工業会編, 芳香族及びタール工業ハンドブック第3版, 2000