

# 海上物流システムの最適設計に関する研究

66774 有木 俊博

指導教員 鈴木 克幸 准教授

Sea transportation systems are optimized through two stages. First stage is evaluating the temporary system in which all ships are given arbitrary schedules. Second stage is searching the best system with the indicator given by first stage. At first stage, container flow is evaluated first by minimizing total cost of consignors. In this process, complicated evaluation items like detention cost are newly taken into consideration, and it was shown that this factor improves the accuracy. Secondary, profits of design ships are calculated based on the container flow. In evaluating the temporary system, we do not only think over Port to Port transportation system, but also Door to Door transportation system. By considering such a total system, more exact evaluation could be made. At second stage, a better solution is found effectively by using Adaptive GLS method that introduces local search in genetic algorithm adaptively. Through these two stages, a sea transportation system more applicable to real world can be obtained.

Key words : Scheduling, Network Programming, Linear Programming, Genetic Local Search,

## 1. 緒 言

近年、国際貨物の輸送量は顕著な増加を示している。ところがそれらの貨物を輸送する種々の物流システムは、勘や経験に基づいて設計されているのが現状である。本研究ではそのような現状を改善すべく、取り扱い重量の多い海上コンテナ輸送に焦点をあて、適切なシステムの構築を支援する為のシミュレータを開発する。

## 2. シミュレータ

### 2.1 シミュレータ概要

輸送システムを構築するのは船社であるという視点に立ち、本シミュレータでは任意船社の利益を最大化するよう、当該船社が保有する船舶の運航スケジュールを最適化する事を目的とする。

スケジュールの設計方法は、各船舶のスケジュールを変数とし、その最適なセットを組合せ最適化問題として解くものである。この様な機構でシステムを設計するには、

組み合わせを迅速に正確に評価するモデル  
効率的に組み合わせ最適化を行う機構

の開発が主題となる。

### 2.2 評価モデル

本モデルは、任意のスケジュールに対する評価を行うものであり、その評価値は設計船舶の一定期間利益額とする。この利益額を算出する際に必

要な収入と支出は下式で求める。

[収入] = ( ([期間中における船舶のOD別輸送量] × [OD別運賃 - ハンドリング費] ) )

[支出] = ( [期間中の傭船費] + [期間中の燃料費] + [期間中の港湾施設利用費] )

式中における OD とは、積み地と降ろし地をさす。これらの項のうち、各船舶が港間で輸送する OD 別貨物量、すなわち、どの港からどの港へどれだけ輸送したかという情報が不明であり別途求める必要がある。以下、この情報を貨物フローと呼ぶ。貨物フローを求めるには、設計外の船舶も含めた物流システム全体で、輸送需要量の与えられた各 OD 貨物がどの経路を選択して輸送されるかを推定していく。推定を行うモデルは、輸送貨物は港で発生し、他の港まで輸送されると考える簡易版の P to P 型モデル及び、都市で貨物が発生し、他の都市まで輸送される正確なモデルであり D to D 型モデルを構築した。

### 2.3 P to P 型モデルを用いたフロー予測

輸送システムで流れる貨物フローを予測するに当たり、輸送設備のモデル化と、荷主のモデル化を行う。輸送設備のモデル化には以下の仮定を課す。

1. 船舶を乗り継いで輸送は行わない。
2. 各船舶は一週間で航路を周回する。
3. 船舶の航路は単純閉ループに限定。

これらの仮定の下、モデル化した輸送設備の概観は下記の様になる。

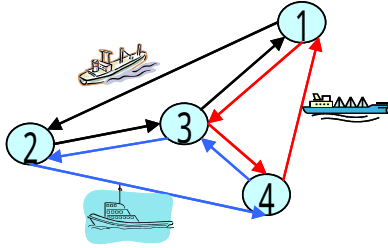


Fig. 1 Overview of P to P type system

この輸送設備モデルにおいて一つの OD 貨物は複数の経路で輸送される。その経路の例を下記に示す。

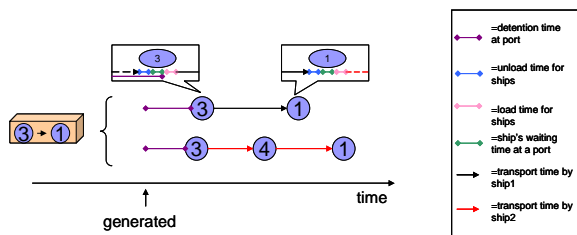


Fig. 2 Example of flow

これら経路のうちどれを選択するかは荷主の行動で決定される。荷主の行動モデルは下記で定義する。

1. 荷主全体でのコストが最小になる様行動する。
2. 時間に対して感じるコスト（時間価値<sup>1)</sup>）はあらゆる貨物に対して一定である。
3. コンテナを連続量として扱う。

荷主に生じるコストとしては、

運賃コスト

輸送時間コスト

積み込み開始までの滞留時間コスト

とする。荷主行動モデルに従えば、各経路で輸送される貨物量を変数とし、経路別に生じる上記のコストを乗じたものの総和を最小化することで経路毎の貨物量が求まる<sup>2)</sup>。全体での運賃コストは貨物量に経路毎の運賃を乗じて総和をとり、

$$f_1 = \sum_k \sum_{(i,j)} x_{k,i,j} c_{i,j}^k \quad (i,j) \in (O,D)^s \quad (1)$$

とする。また、輸送時間コストは貨物量に経路毎の輸送時間を乗じた総和とし、

$$f_2 = \sum_k \sum_{(i,j)} x_{k,i,j} \cdot t_{k,i,j} \cdot t_{i,j} \quad (i,j) \in (O,D)^s \quad (2)$$

とする。滞留時間コストに関しては、貨物の発生

時刻が重要な要素となるので、発生地点での貨物発生量が均等であると仮定する。滞留コストのみに着目すれば、港に滞留している貨物全てを到着した船舶が輸送していく状態が理想的である。理想量による滞留コストは常に発生する為、この理想量から外れる事で追加的に生じるコストのみを考慮する。Fig. 3の青色の四辺形の面積にコストパラメータを乗じたもので定義し、全体では船舶名  $k$  を用いた下式でコストが追加コストが定義される。

$$f_3 = \sum_{(i,j)} \sum_k t_{i,j} \cdot t_k \cdot \Delta x_{k,i,j}^{id} \quad (i,j) \in (O,D) \quad (3)$$

追加滞留コストを定義するにあたり、新たに理想量からの増分を表す変数が便宜上追加される。

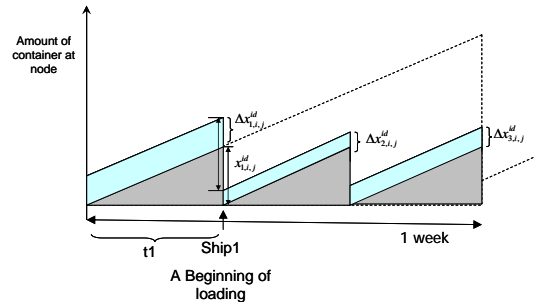


Fig. 3 Real transportation volume with detention

以上の(1)～(3)を足し合わせたものを目的関数とし、輸送量制約、予測期間中の貨物需要を満たす制約、及び fig.2 で成り変数のつりあい制約の下、最小化する事で、貨物フローを得る。これらの式は全て一次式で表現される為、線形計画法を用いて高速に求める事ができる。

#### 2.4 D to D 型フロー予測モデル

このモデルにおいても荷主の行動モデルは 2.3 と同様である。輸送設備に関しては、新たに陸路が追加される事になる。国家間の輸送システムである事を踏まえ、陸路のモデル化の為に新たに下記の仮定を導入する。

1. 陸路の輸送モードはトレーラー輸送のみ。
2. 各トレーラーは都市 港間で直行輸送する。
3. トレーラーは、同一の地域にある港と都市を結ぶ。

これらの仮定の下、モデル化した輸送設備の例は下記の通り。

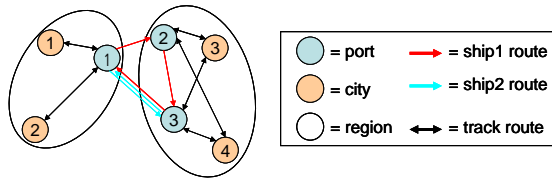


Fig. 4 Overview of D to D type system

上記の輸送設備も都市から都市へ様々な経路を持ち、P to Pと同様の概念でフローを予測する。

### 2.5 フロー予測モデルの精度検証

2.3, 2.4 で求まる経路別の輸送量を現状再現型シミュレータにより算出した参照解と比較したものを Fig.5 に示す。黒の棒グラフが参照解であり、精度よくフローが予測できている事が確認できる。この正確なフロー情報を基に評価を行う事で、適切な評価値を得る事が可能となった。

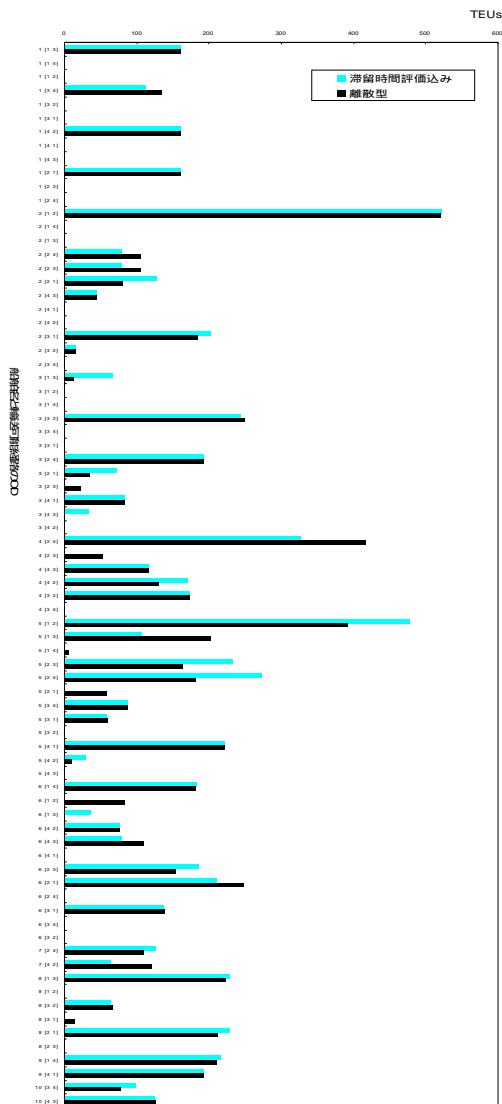


Fig.5 Comparison of flow in MAS model and P to P type model

### 2.6 スケジュール最適化機構

各船舶のスケジュールの最適な組合せを探索する機構としては、GA法をベースとして適応的に局所探索を行う Adaptive GLS法を開発した。本手法は、GAは探索空間の確保、局所探索は局所解の発見、と役割を分断し、どちらの役割を強化するかを解の更新具合に応じて変化させるものである。このアルゴリズムにより、良解を効率的に得る事が可能となった。ある最小化問題に対し、本手法と、GLS法、パラメータ調節した改良型GLS法<sup>3)</sup>を適用し、探索能力を比較した図を示す。同程度の解を早期に発見できる事が確認できる。

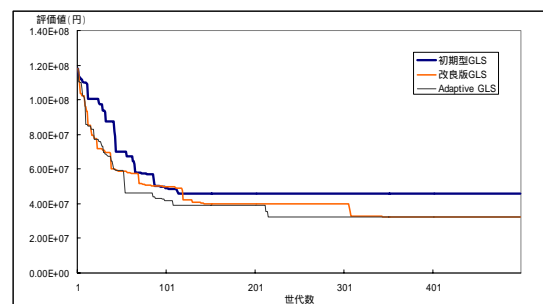


Fig. 6 Search ability of Adaptive GLS

この手法を適用するにあたり、GA法における遺伝子によってスケジュールを表現する必要がある。遺伝子は実数コードで記述し、各船舶が通過する港名を並べたものと、航路中の任意の港を通過する時刻を並べたもので表現する。航路情報を基に週間の運航予定を作成し、時刻情報で時間軸を与える事でスケジュールと対応させる。

### 3. マルチレベル最適化手法

2章で述べたシミュレータ(以下、連続型)を用いる事で得られる解はある一定の精度を持つが、最適化を行う都合上ある程度簡略化されたモデルで扱わざるを得ず、実際には得られた解よりも適した解が存在する可能性が高い。そこで、より適した解を算出すべく、異なるレベルでモデリングを行った2種のシミュレータを連携させることにより、スケジュールの設計を行う。用いるシミュレータは連続型、及び現状再現型シミュレータ(以下、離散型<sup>4)</sup>)である。後者は、システムにおける貨物フローを再現する事を目的としており、荷主を個々にモデル化し時間発展的にフローを作成していくシミュレータである。それ故、フロー予測に時間は要するがかなり高精度の予測が可能である。これら2種のシミュレータの利

点を生かすべく、連続型では探索過程で得られる良解を解候補として出力し、離散型でその解候補のなかから解を決定する。連続型で出力した上位8個体に対して離散型で再評価を行ったものを下記に示す。

Table.1 Benefits by each simulator (10<sup>6</sup>¥/week)

連続型における評価順位	連続型での利益額	離散型での利益額
1	39.08	33.59
2	37.24	35.60
3	36.88	36.77
4	36.75	31.10
5	36.69	35.59
6	36.35	35.56
7	36.27	36.52
8	36.04	35.69

表より、連続型で3番目の解が離散型で最良となっている。連続型のみでスケジュールを設計した場合に比べ離散型と連携させて設計した場合は約10%利益額が上昇しており、優れた解が得られる事を示した。

#### 4. シミュレーション結果

日中間の主要港39港を設計領域とし、その区間に就航する138船舶の内5隻を対象として実データを用いたスケジュールを設計した。解の探索過程における利益額の推移と、最適化後のスケジュールの航路情報を図示したものを示す。図より主要港を効率的に巡回する事で、利益額が倍増する事が分かる。なお、シミュレーションには16時間を要した。

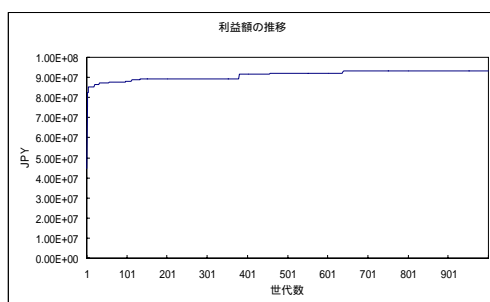


Fig. 7 Image of optimal route



Fig. 8 Image of optimal route

#### 5. 結 言

本研究において、船社の利益が最大化される様に保有船舶のスケジュールを組み合わせ最適化機構により設計するシミュレータを開発した。

上記のシミュレータに必要な任意スケジュール下における設計船舶の利益額を評価するモデルおよび具体的な評価式を示した。評価を行う為のモデルとしては、海上輸送のみを考慮した簡易版モデルである P to P 型モデルと、陸路も考慮して都市から都市への輸送を扱った D to D 型モデルの二種を示した。各モデルにおいては、従来の研究では未考慮であった要素を考慮しており、正確な評価が可能となる事をデータより示した。

組み合わせ最適化手法については、近似解法に対する研究を行った。構築したアルゴリズムは GA、LS をベースとして各種拡張を施した Adaptive GLS であり、その手法によって、従来法よりも優れた解が得られる事を示した。

開発したシミュレータを用いて実問題におけるスケジュール設計を行った。実問題に対しても有用な時間で適切な解が得られる事を示した。

異なる精度でモデリングされたシミュレータを連携させより優れた解を求めるマルチレベル最適化手法について述べた。このマルチレベル最適化手法を用いる事によって、より優れた解が実用時間で得られる事を確認しその有用性を示した。

#### 文 献

- 1) 黒川、他 “ 時間価値分析による船舶へのモーダルシフトについての検討 ” 日本船舶造船学会論文集 vol.189 pp405-412(2001)
- 2) 大和、他 “ 数理計画手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 vol. 184 pp607-615 (1998)
- 3) 有木、他 “ GLS 法による日中海上物流の最適化 ” 日本船舶海洋工学会講演会論文集 vol.2E pp19-22(2006)
- 4) 佐藤、他 “ 日中間海上物流の離散型シミュレータの開発 ” 日本船舶海洋工学会講演会論文集 vol.2E pp17-18(2006)