

連続モデルと離散モデルの連携による 近距離定期船物流の最適設計手法

正員 鈴木 克幸* 学生員 有木 俊博*
正員 佐藤 陽平**

Optimal design of periodical ship route in a local area using continuous and discrete type models in cooperation

by Katsuyuki Suzuki, *Member* Toshihiro Ariki, *Student Member*
Youhei Sato, *Member*

Summary

To optimize sea transportation system, two models are used in cooperation, namely continuous model and discrete model. Discrete model takes each container and each ship as discrete variables and simulates in time domain and can get accurate container flow in the specific transportation system, while continuous model takes container flow of each ship during 1 week as continuous variables and can get container flow more quickly. To improve the continuous model the detention cost and distribution cost are taken into account and it was shown that these 2 factors improve the accuracy. By GLS methods and continuous model, candidates of the optimal route are obtained, and by discrete simulation the optimal route is selected.

1. 緒 言

海上輸送システムを含む種々の物流システムは、ほとんどの場合、勘や経験に基づいて設計されているのが現状である。この現状を改善すべく、物流の航路やスケジューリングの計画を数理的に行う試みが、近年数多く行われている¹⁾。しかし、実際の物流は複雑で、これを単純なモデルに落とし込むことは容易ではない。

大きく分けて、物流のモデル化は2つのタイプに分けることができる。1つは最適化などを目的として、物流を数理計画法で解くことができる単純なモデルに落とし込んだものである。もう1つは、マルチエージェント的な詳細シミュレーションを用い、1船1船を、場合によってはコンテナ1つ1つをモデル化して、実際の荷動きをできるだけ忠実に再現しようとするものである。前者の手法の問題としては、実際の複雑な物流をどの程度きちんとモデル化できているかがわからないという点があり、後者の問題としては1回のシミュレーションに時間がかかるため最適化などに向かないということがある。

そこで本論文では、2つのレベルのモデルを用い、それらを連携させることにより精度を保った上での最適な航路設計

を試みる。すなわち、詳細なシミュレーション手法としてコンテナ貨物1つ1つ、船舶1隻1隻をモデル化し、時間軸に沿ってシミュレーションを行うモデル（これを離散モデルと呼ぶ）を作成し、このモデルを用いたシミュレーションより算出される荷動きや輸送システムへの評価を正解と考える。そして、貨物量を連続変数としてモデル化した簡略モデル（これを連続モデルと呼ぶ）においていくつかの要因を考慮し、離散モデルの結果と比較することにより、より正確なモデルの開発を行う。そして、連続モデルにおいて得られたいくつかの最適解候補に対してふたたび離散シミュレーションを行うことにより、解候補のうち、最良となる航路のネットワークの決定を行う。これにより、それぞれのモデルの特長を生かした連携が可能になる。

2. 航路設計問題の定義

本論文で扱う航路設計問題は、主にアジア海上輸送といった近距離輸送システムを対象とし、2～3年の中期的なスパンでみた航路設計を対象としている。このような近距離輸送の場合、航路は一週間で周回できる航路を取り、ウィークリーサービスを提供すると仮定して差し支えなく、この仮定の下、1サイクルでの船舶航路の最適化を試みる。

なお、この際の最適性の指標であるが、多くの論文で見受けられる、物流の最適化をシステム全体での総コストを最小

* 東京大学大学院新領域創成科学研究科

** 海上技術安全研究所

原稿受理 平成19年6月29日

化する事とは考えない。なぜならば、実際の輸送システムは各船社が競合関係にありながら構築しており、各船社はシステム全体の総コスト最小化ではなく自社の利益最大化を目標として行動する為である。よって、本研究では現実をより忠実に再現するために、まず輸送システムに関与する特定船社の利益が最大化される航路を設計する事を目的とする。

この様な設計目的においては、各船舶がどれだけの積荷を輸送するか精度よく評価する事が重要であり、その為には荷主側から見た船舶の選択基準をより厳密に考慮する事が求められる。そこで、本研究では、従来の研究で考慮されていた輸送時間での犠牲量のみならず、運賃や輸送開始までの待ち時間も考慮する。特に後者の要素は、輸送頻度と等価な重要な評価指標であり、結果に与える影響度は極めて大きいと考えられる。

3. 離散型シミュレータ

3.1 離散型シミュレータ概要

離散型シミュレータ（以下、離散型）は現実のコンテナ貨物輸送をできるだけ忠実にコンピュータ上に再現する事を目的としている。詳しくは文献2)を参照されたい。このモデルは、以下に示す3つの特徴を備える。

1) 離散型データ

コンテナ1個1個、ならびに船舶1隻1隻を離散データとして扱う。各コンテナには、個別にOD、ID番号、時間価値を定め、それらのコンテナを輸送する船舶がコンテナデータを保持する事で、どの船舶にどの貨物が積載されているかが出力される。

2) 時間発展型

現実のコンテナ輸送の手続きと同様、荷主がスケジュールに従って運航している船舶のスペース予約を行い、その予約に従って船社がコンテナを輸送するという手順でシミュレーションを行う。荷主が予約を行う時間という概念が含まれるので、時間発展型の動解析となる。

3) マルチエージェント

各コンテナにはコンテナ船のスペース予約を行うエージェントがついており、エージェントは、コンテナ貨物の犠牲量が最小となる輸送経路を探索する。また、エージェントが予約をしようとした時点で、コンテナ船が既に満載である場合は、別のコンテナ船を探索する事とする。

3.2 シミュレーションの流れ

シミュレーションを行うために、以下の4種類のデータを準備する。

- a) OD表（一年間の海上コンテナ輸送実績）
- b) コンテナ船の時刻表と運賃表
- c) 距離表（里程表）
- d) コンテナ貨物の時間価値

時間価値は、黒川らのモデル³⁾のように、対数正規分布で時間価値分布を近似し乱数を用いて個々のコンテナに与える。

シミュレーションにおいては、一年間を一日単位の繰り返しで進行させる。但し、時間精度は一日ではなく、コンテナ船の時刻表の時間精度に依存する。シミュレーションの流れは以下の通りである。

- ① 一日分のコンテナを発生させる
- ② エージェントが各コンテナの犠牲量が最小となる経路を予約する。エージェントが探索する船舶の範囲は、コンテナが発生した時刻において、コンテナヤードへの入庫時刻に間に合う船舶全てであり、コンテナ発生日の船舶に限らずそれ以降の船舶全てをある一定の範囲まで探索する。最小コストとなる船舶が既に満載であれば、2番目、3番目と順次コストが安い船舶のスペースを予約する。
- ③ 出向予定の船舶を出港させ、コンテナ船の収入、支出を算出する。

これらの一連の操作を1年間繰り返す。ただし、シミュレーション開始時においてはコンテナ船が全て予約されていない状態であるので、初期状態の影響がなくなるまで数十日間シミュレーションを行い、定常状態に達してからの結果を採用する。主な出力データは、以下に示す3つである。

- a) コンテナ貨物データ：各コンテナの輸送経路
- b) コンテナ船データ：各コンテナ船の収支
- c) 各コンテナの犠牲量および総犠牲量

ただし、各コンテナの犠牲量は、次式で算出する。

$$[\text{犠牲量}] = [\text{時間価値}] \times [\text{輸送時間}] + [\text{運賃}]$$

また、各コンテナ船の収入、および支出を次式で定義する。

$$[\text{収入}] = [\text{運賃}] \times [\text{輸送コンテナ数}]$$

$$[\text{支出}] = [\text{備船費}] + [\text{燃料費}] + [\text{港湾費}] + [\text{コンテナハンドリング費}]$$

上記で定義された[収入]－[支出]を最適化対象となる船舶に関して総和をとったものを、離散型シミュレーションによる利益計算結果とする。

4. 連続型シミュレータ

4.1 連続型シミュレータ概要

連続型シミュレータ（以下、連続型）は最適航路の設計を目的とし、筆者らによる論文⁴⁾を元に拡張を行ったものである。連続型における最適ネットワーク候補の選定は2段階か

らなる。1段階目は、航路ネットワークを任意に固定し、一週間の間にそのネットワークに対して所与の貨物がどのように流れるか、すなわち船舶毎のOD別貨物搭載量（以下、貨物フロー）を静的な解析により求める段階である。この段階において、比較的精度の良い貨物フローを短時間で得るために、犠牲量モデルを用いて数理計画手法によるフロー解析を行う。その際、前報⁴⁾では考慮していなかった、港において貨物が船舶に積まれるまでの待ち時間や、貨物別の時間当たりの犠牲量を近似的に取り入れる事によるフロー推定精度の向上を、前述の離散型による結果との比較により確認する。

2段階目はネットワークの設計段階であり、一段階目で得られたフローを基に算出される船社の利益が最大化される様にネットワークを変化させ、最適なネットワーク候補の作成を行う。これには、前報⁴⁾で用いられたローカル探索を組み合わせた遺伝的アルゴリズム（GLS法）を用いる。

以下、連続型における1段階目『フロー評価モデル』と、2段階目『最適ネットワーク候補の選定』を説明する。

4.2 フロー評価モデル

4.2.1 フロー評価モデルの要求仕様

連続型では離散型で評価を行える程に解空間を限定する事を目的としている。よって、ネットワークの評価に必要な貨物フローを、迅速に、ある一定の精度を持って行う事が要求される。

迅速な解析という観点から、所与のネットワークに流れる週間での貨物フローを、大和らの手法⁵⁾を基に犠牲量モデルを定義し、数理計画法を用いて算出する事を試みる。その際、貨物に生じるコストに着目し、コストの総和が最小となるフローを予測フローとする。コストの発生要因としては、運賃と時間犠牲量を考慮する。フローを形成するコンテナに関しては種々の積み降ろし地点（以下OD地点）を持つ為、多品種フロー問題となる。本研究では各船舶が積む各品種の量を設計変数とする事で、船舶毎の輸送時間の差をモデルに導入済みである。なお、モデル化を行うにあたり以下の3つの簡略化の条件を課す。

1. 船舶を乗り継いでコンテナ輸送は存在しない
2. 航路は一週間で周回できる初等的な閉航路
3. コンテナは連続量として扱う

4.2.2 滞留コストの導入

犠牲量モデルを用いて、フロー解析を一週間単位等の静的な解析によって行う既存の研究^{4,6)}では、各コンテナの犠牲量は以下のように定義されてきた。

$$[\text{犠牲量}] = [\text{輸送時間}] \times [\text{時間あたりの犠牲量}]$$

しかし、実際にはコンテナが船舶に積み込まれるまでの港での待機中にも時間犠牲量は発生する。以後、これを滞留コストとよぶ。この滞留コストが結果に及ぼす影響は極めて大きいと思われ、精度の観点から本研究では滞留コストの導入を試み、導入した場合としない場合での結果の比較を行う。

滞留コストを定義するに当たり、問題となるのはスケジュールが未確定である点である。滞留コストはスケジュールに大きく依存する為、運航スケジュールが必須となる。そこで、運航スケジュールも航路同様一意に与え、貨物が日々等量ずつ港に集まるという仮定のもと、滞留コストを定義する。

たとえば、港 i に港 j に向かう3船舶が寄港しており、3船舶で (i,j) 貨物（港 i から港 j への貨物）の要求輸送量を輸送する状況を想定する。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り、Fig. 1の様に表現される。これにより、スケジュールが与えられれば、ある港 i において $(O,D) = (i,j)$ の貨物を輸送する全ての船舶が港 i に寄港する間隔を知ることが可能である。また、要求輸送量も所与であるため、各船舶の理想的な輸送量を求めることができる。

しかし、実際には船速や運賃、積載量の上限等の影響により必ずしもFig. 1の様な理想的な輸送量とはならない。よって、貨物輸送量が理想的輸送量から剥離した場合に追加的に生じるコストを考慮する。

Fig. 1において、左から船舶名を1, 2, 3とし、理想的な各船舶の輸送量を $x_{1,i,j}^{id}, x_{2,i,j}^{id}, x_{3,i,j}^{id}$ 、当該船舶が港に訪れるまでの間隔を t_1, t_2, t_3 と置く。各船舶の理想的輸送量を増加させる方向に働く貨物量をそれぞれ $\Delta x_{1,i,j}^{id}, \Delta x_{2,i,j}^{id}, \Delta x_{3,i,j}^{id}$ とすれば、港での延べ滞留時間を表す面積はFig. 2の様に表現される。

なお、各船舶の実輸送量 $x_{1,i,j}, x_{2,i,j}, x_{3,i,j}$ は理想輸送量に増加寄与分を加算し、次の船舶の増加寄与分（積み残し分）を減じたもので表現される。

Fig. 2より、実際の輸送量に対して追加される述べ滞留時間 $t_{i,j}^{additinal}$ は船舶名を k で表すと

$$t_{i,j}^{additinal} = \sum_k t_k \cdot \Delta x_{k,i,j}^{id} \quad (1)$$

で表現され、滞留コストの観点からは、この追加延べ滞留時間に (O,D) 毎の一コンテナの単位時間犠牲量 $t_{c,i,j}$ を乗じたものの総和である式(2)を最小化する力が働く事になる。

$$f_1 = \sum_{(i,j)} t_{c,i,j} \cdot t_{i,j}^{additinal} \quad (i,j) \in (O,D) \quad (2)$$

制約条件としては、各増加寄与分が正である条件および、

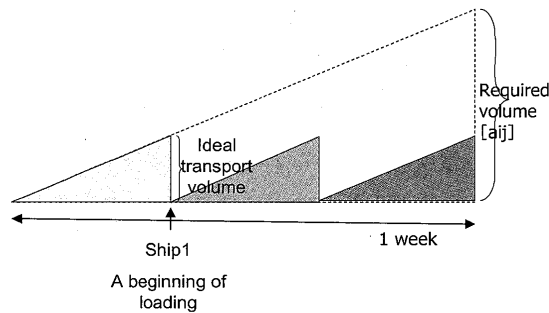


Fig. 1 Ideal transportation volume with detention

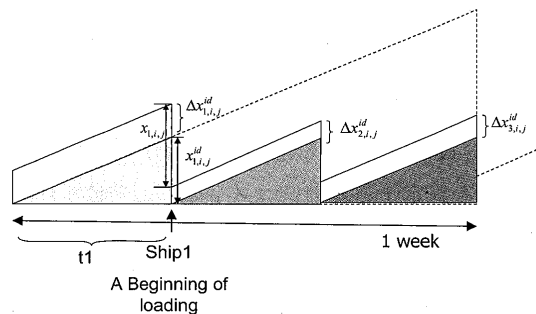


Fig. 2 Real transportation volume with detention

実輸送量と理想輸送量の間で成立する以下の条件が課される。

$$\Delta x_{k,i,j}^{id} \geq 0 \quad (3)$$

$$x_{k,i,j} - \Delta x_{k,i,j}^{id} + \Delta x_{k+1,i,j}^{id} = x_{k,i,j}^{id} \quad (4)$$

ただし、上記の例では $k+1$ が 4 の場合は 1 となる。

4.2.3 運賃・輸送時間コストの定式化

一週間での貨物フローにより生じる総コストを定義するに当たり、上記の滞留コストに加え、輸送時間で生じる犠牲

量及び、運賃の支払い額の 2 項目を考慮する必要がある。

輸送時間で生じる犠牲量は、各船舶が輸送する貨物量 $x_{k,i,j}$ に、船舶が輸送に要する時間 $t_{ime\ k,i,j}$ 及び (O,D) ごとの 1 コンテナの単位時間犠牲量 $t_{c\ i,j}$ を乗じたものの総和であり

$$f_2 = \sum_k \sum_{(i,j)} x_{k,i,j} \cdot t_{ime\ k,i,j} \cdot t_{c\ i,j} \quad (i,j) \in (O,D)^k \quad (5)$$

とする。

運賃の支払い額としては、各船舶の (O,D) 毎の運賃

$C^k = [c_{i,j}^k]$ を用いて、

$$f_3 = \sum_k \sum_{(i,j)} x_{k,i,j} c_{i,j}^k \quad (i,j) \in (O,D)^k \quad (6)$$

で与えられる。

また、制約式は以下の様にする。

① 要求輸送量を全て輸送している条件

$$\sum_k x_{k,i,j} = [a_{i,j}] \quad (7)$$

② コンテナフローが正であり逆流しない条件

$$x_{k,i,j} \geq 0 \quad (8)$$

③ 非輸送区間ではフローが生じない条件

$$x_{k,i,j} = 0 \quad (i,j) \notin (O,D)^k \quad (9)$$

④ 船舶の最大積載量を超えて輸送できない条件

$$\sum_{(i,j)} x_{k,i,j} \leq m^k \quad (i,j) \in (O,D)^{k,n1,n2} \quad (10)$$

上式において、 m^k は船舶 k の最大積載量を、 $(O,D)^{k,n1,n2}$ は船舶 k の実枝 $n1 \rightarrow n2$ を通過する貨物の OD 地点全てを表す。

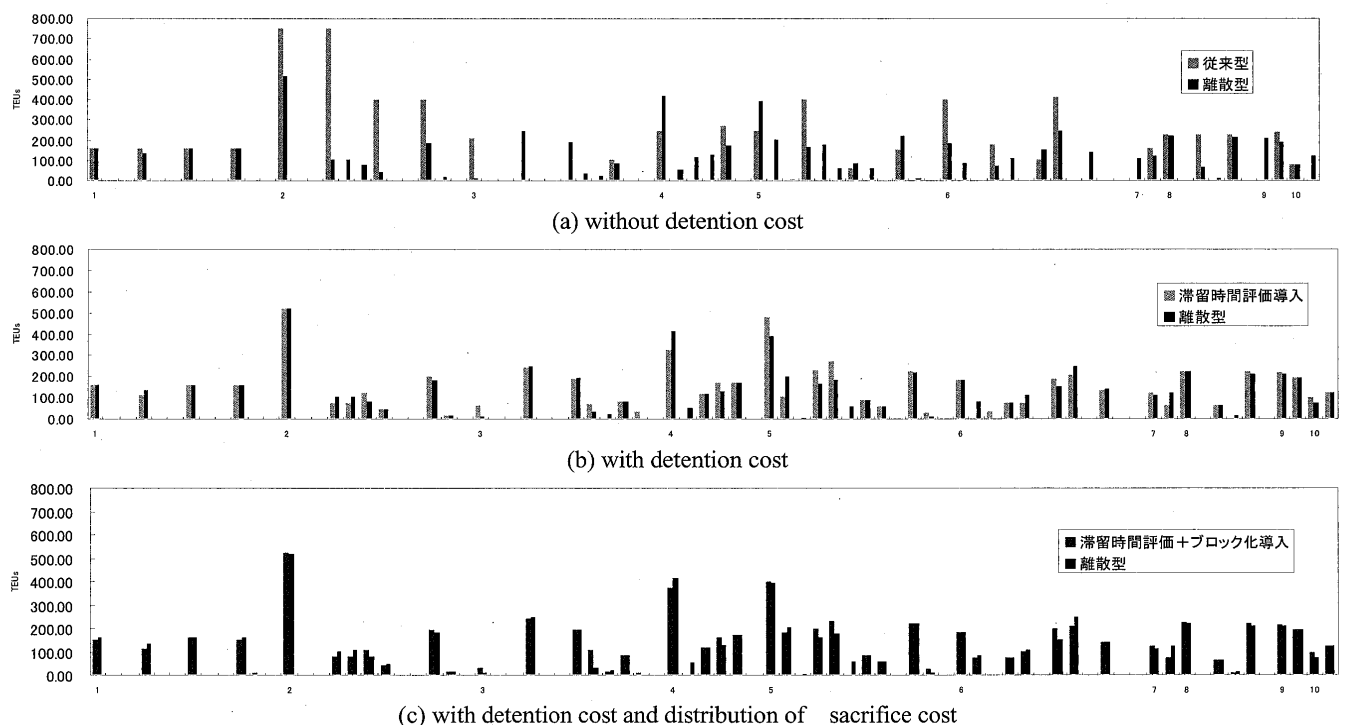


Fig. 3 Comparison of flow in discrete model and continuous model

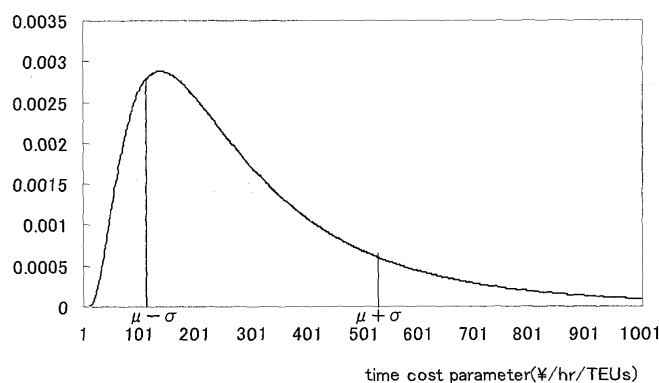
Fig. 4 Logarithms normal distribution($\mu=5.5, \sigma=0.75$)

Table 1 Properties of the each block

block name	volume of block	representing value
low	0.1587	81.85
middle	0.6827	265.3
high	0.1587	722.5

4.2.4 滞留コスト導入モデルの精度の検証

以上で定義した制約式の下、目的関数 $f_1+f_2+f_3$ が最小化される様に変数 $x_{k,i,j}, \Delta x_{k,i,j}^{id}$ を求める。制約式及び、目的関数が全て一次式であるので、解を求めるアルゴリズムとしては線形計画法を用いた。

4港10船舶を想定し、同一の適当な条件の下、本評価モデルを用いて得られた1週間での貨物フローと、前述の離散型⁴⁾で得られる1週間の貨物フローとの比較を行った。Fig. 3に、離散型と連続型での比較結果を示す。(a)のグラフが従来の、滞留コストを考慮せずに得られた各船舶の1週間におけるOD別貨物搭載量であり、全く合っていないことがわかる。一方において、滞留コストを考慮した場合(b)では、離散型と比較的よい一致を示していることがわかる。しかし、必ずしも一致しない部分もあり、この要因としては、本評価モデルでは、OD毎に均一な時間犠牲性量パラメータ t_{ij} を与えているのに対し、離散型では時間犠牲性量パラメータを貨物毎に与えている事であると考えられる。以下、より精度の良いフローを得るべく、評価モデルの改良を行う。

4.2.5 時間犠牲性量分布の考慮

実際の貨物は、対数正規分布に従う時間犠牲性量パラメータを持つと考えられる³⁾。そこで、この時間犠牲性量パラメータの分布を一つの代表値で表現するのではなく、数個の代表値で表現する事を考える。例えば3つの代表値で分布を近似する場合、Fig. 4の様に対数正規分布グラフを $\mu-\sigma, \mu+\sigma$ で分割し、3ブロックに分割する。

各ブロックの代表値は、そのブロックにおける確率変数と確率密度関数の積をブロック区間で積分したものを、確率密

度関数の区間累積値で除したもので定義する。Table 1に $\mu=5.5, \sigma=0.75$ である場合の代表値、及び区間累積値を示す。

以上で定義した各ブロックの貨物を別々に考えることにより、再びフローを最適化する事を考える。各船舶が輸送するOD貨物量を更に貨物の持つ時間価値量の大小によって区別して輸送する量を求める為、設計変数 $x_{k,i,j}$ を $x_{k,i,j}^{low}, x_{k,i,j}^{middle}, x_{k,i,j}^{high}$ と拡張し、それに伴い $\Delta x_{k,i,j}^{id}$ も $\Delta x_{k,i,j}^{id,low}, \Delta x_{k,i,j}^{id,middle}, \Delta x_{k,i,j}^{id,high}$ とする。要求輸送量 $A=[a_{i,j}]$ については、Table 1におけるブロック量を乗ずる事で、ブロック毎に $A^{low}, A^{middle}, A^{high}$ と定義する。時間犠牲性量パラメータもTable 1で定義されたものをブロック毎に用いる。これらの記号を用いれば、4.2.3で定義した、目的関数及び制約式を拡張した式が得られる。

4.2.6 時間犠牲性量分布モデルの精度の検証

3.2.5で作成した時間犠牲性量導入モデルを用いて離散型とのフロー比較を行った結果をFig. 3(c)に示す。さらによく離散モデルによる結果によく合っていることがわかる。しかし依然として離散モデルによる結果と差が存在する理由としては、2つの要因が挙げられる。一つは、時間犠牲性量分布におけるブロックの分割数が少ない事である。もちろんブロック化を細かく行えば行う程、フローの精度は上昇する。しかしその反面、線形計画法を用いた計算に要する時間も増大する。精度と計算時間はトレードオフの関係にある為、必ずしも精度を求めてブロック数を増大させる事が得策であるとは言えない。二つ目の要因は数理計画手法において、コストを最小化させるという機構である。実際の貨物は、個々の貨物が自身の合理性に基づいて輸送経路を選択する事で形成される。それに対し、数理計画手法を用いた解法では、個々の合理性ではなく全体としての合理性を指標にフローが構成される。すなわち、個々のコンテナというユーザーにとって最適な貨物の流れ方であるか、システムに対して最適な貨物の流れ方であるかという違いが生ずる事になる。これは本モデルの本質的な問題であり、もはや静的な解析ではこれらの誤差を無くす事は非常に困難である。しかし、ある一定の精度のフローが得られているのも確かであるので、この拡張評価モデルを用いて、解空間を限定する事を試みる。

4.3 最適ネットワーク候補の選定

4.3.1 船社利益の定義

4.2で定義したフロー評価モデルを用いて得られる貨物フローより、任意のスケジュールにおける船社の利益を求める

事が可能である。船社の利益は下式で定義する。

$$[\text{船社利益}] = [\text{運賃収入}] - ([\text{傭船費} + [\text{港湾施設利用費}] + [\text{燃料費}] + [\text{コンテナ積み下ろし費}])$$

最適化の対象となる船舶に対し、上記の船社利益が最大化されるスケジュールを算出する事で、航路及び運航スケジュールの最適設計を行う。

4.3.2 航路のスケジュール化

評価モデルを用いたフロー解析にはスケジュール表を定義する必要があった。そこで、各船舶の航路形状からスケジュール表を作成する方法について述べる。

仮に、船舶 k の航路形状が港 1, 2, 3 を [1→2→3] と周回していたとする。この際、各港間の移動時間は港間距離を船速で除する事で求めることができる。各港での停泊時間は、貨物の積み降ろしに各 6 時間ずつ要すると仮定し最低 12 時間と設定する。また、実際のスケジュールが 1 週間単位で定められているため、周航期間を 1 週間に規格化する必要がある。本研究では、1 週間に満たない時間を各港で均等に停泊時間を延長する事で規格化を行う。以下に航路形状から設計した船舶の運航スケジュールのイメージを Fig. 5 に示す。

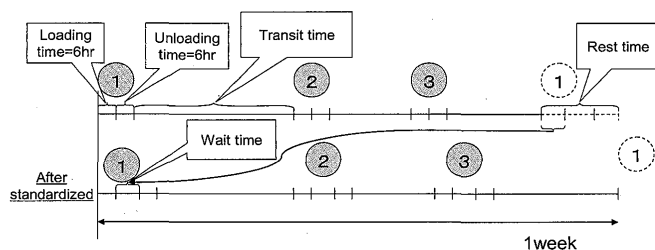


Fig. 5 Image of the ship's behavior in one week

この操作により、各船舶の 1 週間の振る舞いが航路より作成される。船舶毎のこれらの振る舞いを用いてスケジュール表を作成する為には、その船舶がいずれかの港を通過する際の時間も新たに定義する必要がある。本研究では、航路上にある港で最初に訪れる港の出発時刻を与える事とする。

4.3.3 Adaptive GLS 法による最適解候補探索

以上より最適なスケジュール候補を探索する事は、航路形状及び、ある港の出発時刻の最適な組み合わせ候補を探索する事に帰着される。このような組み合わせ最適化問題の求解アルゴリズムとしては、遺伝的アルゴリズム (GA) に局所探索を解の更新具合に応じて適応的に行う機構を付加した、adaptive GLS 法⁴⁾を用いる。

GA 法を用いる際には解く問題に対して適切に遺伝子を定める必要があり、本問題では Fig. 6 の様に設定する。前半

の遺伝子座は、その位置に対応する船舶の航路形状を表現し、経由する港名を経由順にベクトルで表記したものが格納される。後半の遺伝子座には各船舶の出発時刻が、0~168 時(24 時間×7 日)の値で格納される。この表記に伴い、交叉や変異オペレータは、まず実行される遺伝子座を決定し、その遺伝子座にベクトルが格納されている場合にはそのベクトルのどの部分にオペレータがかかるかを乱数で決定し実行するものへと変更する。

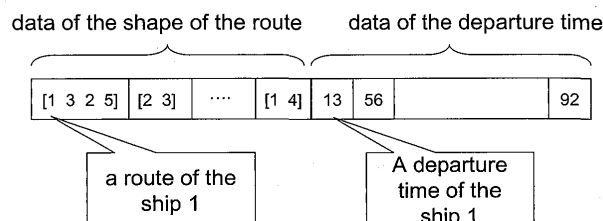


Fig. 6 Image of the gene

なお連続型では最適解の候補を求める事を目的としているので、最適解を求めるのみならず、探索過程で得られた解も保持しておく。保持しておく解としては、歴代探索結果において、航路形状が異なるもので利益の高いもの上位 30 個体とした。

5. シミュレーション結果

3, 4 章で定義した 2 種のシミュレータを連動させて、最適輸送システムを設計する。4 港 10 船舶が就航している状況を想定し、初期のスケジュールとして、7) の情報に基づき作成した Table 2 のスケジュールを用いる。port1,2,3,4 の欄に記されている番号が、各船舶が通過する港名を示す。例えば、船舶 1 は [1→3→4→2] と周回している事が分かる。港名の右側に来る arrival がその港に到着する時刻を示し、departure が出発時刻を示す。各時刻は、0~168(24×7) 時間を日曜日の 0 時~翌週の日曜日の 24 時として表現している。0 以下のものや 168 以上の時刻は、168 だけ増減させる事で曜日、時刻に変換可能である。

ある船社が Table 2 における 2, 3, 4, 9, 10 番目の 5 隻を保有しているものとして、利益が最大化される航路、スケジュール

Table 2 Initial schedule

	port1	arrival	departure	port2	arrival	departure	port3	arrival	departure	port4	arrival	departure
ship 1	1	-19	6	3	24	50	4	64	90	2	113	138
ship 2	1	149	173	2	185	209	4	234	257	3	274	297
ship 3	1	161	173	3	199	212	2	229	241	4	274	286
ship 4	2	-29	6	4	35	70	3	89	124	2	139	
ship 5	1	68	85	2	101	119	3	136	154	4	175	193
ship 6	1	69	83	4	123	137	2	168	182	3	198	212
ship 7	2	-26	27	4	58	111	2	142				
ship 8	1	131	173	3	191	234	2	246	288	1	299	
ship 9	1	-36	6	4	48	90	1	132				
ship 10	3	42	105	4	126	189	3	210				

ルの候補を求める。Fig. 7 に、連続型による探索過程での最大利益額の変化を示す。200 個体に対して 500 世代の計算を行った。シミュレーションには 3 時間程度の時間を要した。

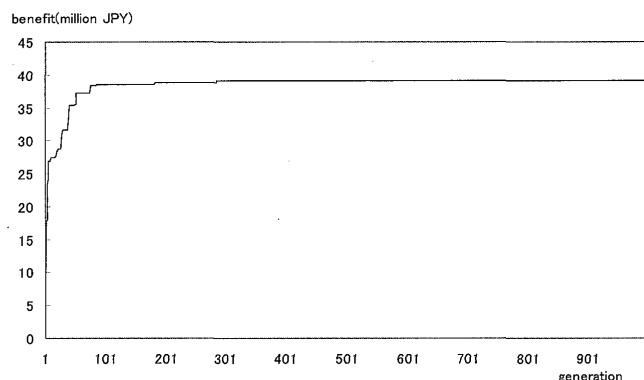


Fig. 7 History of a profit in search

連続型によって得られた上位 30 個体に対し、離散型シミュレーションを行う。最適解を含む上位 8 個体に対する連続型、及び離散型シミュレーションによって得られた利益を比較したものを Table 3 に示す。連続型シミュレータでは 1 番目が最大の利益を出しているが、離散型シミュレーションの結果により、3 番目の個体が最適解として決定される。2 種類のシミュレーションを連携させて得られた最適スケジュールを Table 4 に示す。船舶 2, 10 は就航しないという結果になっている。

Table 3 Benefits by each simulation (Million ¥/week)

grade of genes	benefit(continuous simulation)	benefit(separate simulation)
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

Table 4 Optimized schedule

	port1	arrival	departure	port2	arrival	departure	port3	arrival	departure	port4	arrival	departure
ship1	1	-19	6	3	24	50	4	64	90	2	113	138
ship2	[]											
ship3	1	146	164	3	190	208	4	230	247	2	280	298
ship4	1	136	157	2	171	192	4	221	242	3	260	281
ship5	1	68	85	2	101	119	3	136	154	4	175	193
ship6	1	69	83	4	123	137	2	168	182	3	198	212
ship7	2	-26	27	4	58	111	2	142				
ship8	1	131	173	3	191	234	2	246	288	1	299	
ship9	1	67	85	2	101	119	3	136	154	4	175	193
ship10	[]											

6. 結 言

本研究において、連続型、離散型の 2 種を連携させ、それぞれの利点を生かして最適ネットワークを効率的に精度良く設計する方法を示した。

連続型による解空間の限定を行う際には、高精度、高効率である事を目的に、滞留コスト及び、貨物別の時間価値の概

念を高速な求解アルゴリズムの一種である線形計画法を用いて解く事が可能な形式で導入し、従来法より精度の良いフローが得られる事を示した。また、連続型より解の候補を複数選び、それらに対して離散型シミュレーションを行うことにより最適化を行う手法を提案した。

現段階での最適スケジュールの評価指標は、特定船社の利益最大化であるが、そのような指標の下スケジュールを最適化すると他の船社の利益額を減少させる事に繋がる。全船社の利益を最大化すべきか、個別の船社の利益を最大化すべきかを検討するとともに、それらの結果を用いて、どの船社とアライアンスを結ぶべきであるかという事についてもある程度数理的に示していく予定である。

謝 辞

本研究は、日本財団の援助を受けて海洋政策研究財団が行う技術開発基金による補助金を受けた「日中韓海上物流システムの最適化と適合高速船の開発計画」の一環として実施した。ご支援頂いた財団並びに多くの有益なご助言・ご助力を頂いたプロジェクトメンバーの皆様に深く感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 大和 “実際に役立つ物流研究に向けてー研究動向と今後の進め方ー” 日本船舶海洋工学会誌 第 9 号 pp21-25 (2006)
- 2) 佐藤、他 “日中間海上物流の離散型シミュレーターの開発” 日本船舶海洋工学会講演会論文集 vol. 2E pp17-18 (2006)
- 3) 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)
- 4) 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)
- 5) 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)
- 6) 荒井、他 “GA を用いた海上コンテナ輸送ネットワーク設計手法の研究” 日本船舶海洋工学会講演会論文集 vol. 2E pp11-12 (2006)
- 7) “2004 年国際輸送ハンドブック” オーシャンコマース (2004)