

品目別貨物フローに着目した国際海上コンテナ輸送市場モデルの構築*

Equilibrium Model of International Maritime Container Transport Market Considering Multi Commodity Flow*

横尾俊宏**・竹林幹雄***

Toshihiro YOKOO**・Mikio TAKEBAYASHI***

1. はじめに

貨物流動に関する既往研究の多くでは、全ての貨物を集計した「物量」だけでとらえている。しかし、近年はサプライチェーンマネジメント (SCM) の考えの浸透により、輸送品目の特性を十分考慮する必要が出てきた。このため、荷主やフォワーダにとっては輸送コストだけでなく船社の輸送時間や輸送頻度などが港湾や航路の決定に影響を与えるようになってきている。特にこの傾向は、輸送の信頼性や経済性が大きく問われる高価値貨物において影響を与えていると考えられる。このように輸送品目の価値によって選択される経路が異なるという傾向は、今後の我が国の港湾整備・運営戦略にとって重要である。すなわち、物量に加えて、輸送に要求される「品質」も考慮した戦略を立てることで、高度化するアジアの荷主・キャリアの要求に応え、東アジアの激化するコンテナ港間の競争で一定の地位を保つ可能性があると考えられるのである。

以上のような問題意識の下、本研究では海運会社および荷主の行動をより詳細に表現するため、品目別の貨物流動を考慮できる国際海上コンテナ輸送市場モデルを構築し、トランシップ貨物量を中心に貨物流動分析を行うこととする。

2. 品目別の国際海上コンテナ貨物輸送の特徴

本章では港湾諸政策が市場に与える影響を評価するための基礎分析として、品目別の国際海上コンテナ貨物輸送の特徴を調べている。

本分析ではまず2005年度のPIERSデータを用いてトランシップコンテナ取扱量が上位の港を集計し、北米ーアジア諸港湾間のコンテナ取扱量の状況を品目別に検証

する。

紙面の都合上本稿では、アメリカの主要港 Long Beach 港とアジア諸港湾間のコンテナ取扱量の状況を品目別に Asia→U.S., U.S.→Asia の2つのルートで検証した結果を掲載する。

図-1 では品目別トランシップの状況を示している。検証の結果、Asia の荷主は輸送の際、品目の価値に敏感であり、輸送日数の短縮が望まれる高品質の貨物はトランシップをせず直接輸送するように、価値の違いに応じて輸送パターンを変えている可能性があることが考えられる。また、U.S.発の貨物では Asia 発の貨物とは逆に、価格の低い品目ほどトランシップの割合が小さい傾向にあることが分かる。よって、低価格の貨物は直接輸送しており、高価格の貨物は一旦、特定の港に寄港させていることが考えられる。このように、輸送される品目の価値の違いにより、トランシップの割合やパターンが異なっていることが確認できた。

また、価値の異なる貨物がどの港をトランシップ港として利用しているのかを検証したところ、ルートによってトランシップ港として利用される港は異なり、北米向け貨物の最終到着港としては、香港、釜山、シンガポール港が利用され、アジア向け貨物の最初到着港としては、香港、釜山、高雄港が利用されており、これらの港が Transpacific におけるゲートウェイとしての機能を持っていることが確認できた。詳細については文献1)を参照されたい。

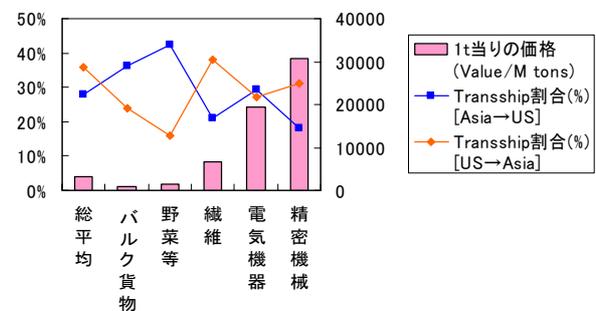


図-1 品目別トランシップの状況 (Asia 発着貨物)

*キーワード：品目別輸送，国際海上コンテナ輸送

**学生員，神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻

***正員，神戸大学大学院准教授 工学研究科

(〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1,

E-mail : takebaya@kobe-u.ac.jp)

3. 国際海上コンテナ輸送市場モデル

本モデルは既往研究²⁾で提案された bi-level 型海上コンテナ輸送市場モデルを基礎としているため、基本構造は、文献 2)と同様である。このため共通部分は省略し、本研究で提案する変更点のみ簡単に述べる。

(1) モデルの概要

本モデルは国際海上コンテナ輸送市場を対象としており、考慮する行動主体は、定期航路運航船社（以下、定航船社）、アジア域内船社（以下、域内船社）、荷主の3主体とする。

モデルの構成としては、船社の利潤最大化を目的とする上位問題と荷主の不効用最小化を目的とする下位問題の2層による bi-level モデルとなり、上位と下位ではそれぞれ別の最適化問題を解く。以上のモデルの主な流れについては、図-2に示す。

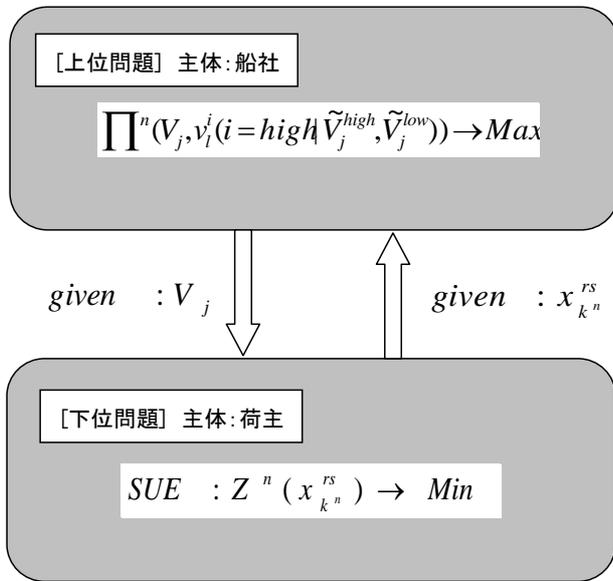


図-2 モデルの流れ

(2) 定航船社

本モデルの最大の特徴は品目別の貨物流動を表現することにある。今回は、2品目での貨物流動推定を行っており、供給スペース数と同一リンクでの品目ごとの供給スペース数の割り当てを変動させることによって、船社の利潤が最大化になる式を定式化している。以下に、前提条件と定式化を示す。

a) 前提条件

- 1) 定航船社は複数存在する寡占市場である。船社は、市場への新規参入および退出は考慮しない。
- 2) 欧州ーアジア間、アジアー北米間を結ぶ定期航路（基幹航路）を用いて輸送サービスを提供する。

- 3) 船社は定期航路に必ずウィークリーサービスを提供する。
- 4) 船社間の競争は供給スペース数による量的競争であり、供給スペース数は船型によって決定される。
- 5) 船社は各定期航路へ投入する船型を戦略に利潤最大化を図る。
- 6) 船社は1定期航路内に同一船型のコンテナ船のみ投入可能とする。
- 7) 船社が定期航路に投入可能な船型は1000TEU以上11000TEU以下とする。
- 8) 船社は荷主によって配分された貨物を運ぶことができる供給スペース数を確保しなければならない。
- 9) 定航船社は、自社の定期航路から経路を組むことができる OD ペア間のみ輸送サービスを行う。ただし、定期航路が就航しない港湾の貨物は域内船社によって輸送されるものとする。
- 10) 基幹航路同士の輸送貨物のトランシップは考慮しない。また、貨物のトランシップはアジア域内輸送と基幹航路を結ぶ経路において最大1回利用するものとする。
- 11) 経路の冗長を防ぐため、ある港湾 OD ペア間について、各定期航路のみで提供される経路は最短の経路1つとする。
- 12) 船社と荷主の提携は考慮しない。

b) 定式化

定航船社とはアジアー北米間、アジアー欧州間の基幹航路市場で輸送サービスを提供するものとする。

定航船社 n は自社の運営する定期航路のループ j への供給スペース数 V_{j^n} とリンク l での品目 1 の割合 $v_{l^n}^{high}$ を操作し、経路の貨物輸送による売り上げによる利潤 Π^n を最大にすることを目的とする。

$$\begin{aligned}
 \text{Object : max } & \Pi^n (V_{j^n}, v_{l^n}^i (i = high | \tilde{V}_j^{high}, \tilde{V}_j^{low})) \\
 & = \sum_{h_1/h_2} (p^{h_1/h_2} \cdot \sum_{rs} \sum_{k^n} x_{k^n, high}^{rs} \cdot \delta_{rs, k^n, high}^{h_1/h_2}) \\
 & + \sum_{h_1/h_2} (p^{h_1/h_2} \cdot \sum_{rs} \sum_{k^n} x_{k^n, low}^{rs} \cdot \delta_{rs, k^n, low}^{h_1/h_2}) \\
 & - \sum_{j^n} RC_{j^n} (V_{j^n}, T_{j^n})
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\text{for } j^n \in J^n, n \in N$$

$$\text{subto. } x_{k^n}^{rs} = \arg \{ \min \Gamma(x_k^{rs}) \} \tag{2}$$

$$\sum_{rs} \sum_{k^n} x_{k^n}^{rs} \cdot \delta_{l^n}^{rs,k^n} \leq V_{j^n} \quad \text{for all } l^n \in L^n \quad (3)$$

$$V_{j^{n*}} = \arg \{ \max \prod^n (V_{j^n}) \} \quad (4)$$

for $n' \in N, n' \neq n$

$$V_{l^n} = V_{j^n}^{high} + V_{j^n}^{low} \quad (5)$$

$$= v_{l^n}^{high} \cdot V_{j^n} + (1 - v_{l^n}^{high}) \cdot V_{j^n}$$

for $l \in L_j$

$$V_{j^n} \geq 0 \quad \text{for } \forall j \in J \quad (6)$$

$$0 \leq v_{l^n} \leq 1 \quad \text{for } \forall l \in L \quad (7)$$

$$RC_{j^n}(V_{j^n}, T_{j^n}) = 52 \cdot \beta_0 \cdot \left\{ \frac{V_{j^n}}{52} \right\}^{\beta_A} \cdot T_{j^n} \quad (8)$$

ここで、(1)式の右辺第一項は品目1(貨物量: $x_{k^n,high}^{rs}$), 第二項は品目2(貨物量: $x_{k^n,low}^{rs}$)による船社の収入を示し、第三項は運行費用を表している。 $p^{h_1 h_2}$ は、港湾 $h_1 h_2$ 間の輸送料金、 $\delta_{rs,k^n}^{h_1 h_2}$ は、港湾間 rs を結ぶ経路 k が $h_1 h_2$ 間を通過していれば1, そうでなければ0とするクロネッカーデルタ、 RC_{j^n} は船社 n の定期航路 j でのコンテナ船の総運行費用である。ちなみに、 rs は港湾間 OD ペアを表す。そして、各経路において貨物を定期航路船に積載する港湾を h_1 , 定期航路船から降ろす港湾を h_2 とする。(2)式は、制約条件として、荷主の貨物配分の最適化問題の解を表すものである。本モデルでは荷主の貨物配分に、確率的利用者均衡配分(SUE)を用いている。(3)式は、容量制約であり、ある港湾 OD ペア rs 間において、船社 n の定期航路 j のすべてのリンク l の輸送貨物量が、供給スペース数 V_{j^n} に収まっていなければならないことを表す。(3)式は、同時に船社に供給スペース数以上の貨物を輸送することを禁止するためのものであり、船社は配分された輸送貨物量が供給スペース数を上回る場合、それ以上のスペース数を供給しなければならない。(4)式は、制約条件として、他船社との均衡条件を表すものである。すなわち、ある船社が戦略を変更する際、他船社がすべて最適な戦略下にいると仮定して行動することを示している。(5)式は、定期航路の供給スペース数の式である。図-3が示すように、リンク l の供給ス

ペース数 V_{l^n} は品目1と品目2で割り当ててあり、荷主の貨物配分の結果、片方の品目において混雑が生じ、もう片方では空きがある場合、 $v_{l^n}^{high}$ の値を変えることによって、両品目において混雑が生じないように調整していく。ただし、両品目において同時に混雑の発生や、空きがある場合は、 $v_{l^n}^{high}$ の値はそのままとする。(6)、(7)式は操作変数の非負条件である。(8)式は、運航コストの関数である。本モデルでは、定航船社の運航コストの説明変数として、定期航路の供給スペース数(実際は船型であるので供給スペース数を年間の週数である52で除したもの)および周回時間を採用する。その際、船型の大型化による規模の経済性が表現できる関数を設定した。

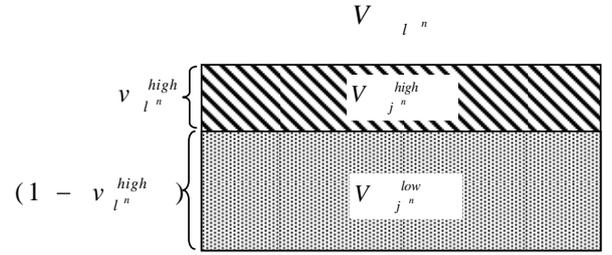


図-3 同一リンクでの供給スペース数の割り当て

4. 数値計算

本章では、3章のモデルを用いて品目別の貨物流動の計算結果を見ていくことにする。今回は、簡単に5港湾(アジア港湾:3), 定航船社を2社とした場合での結果を載せている。また、この数値計算では、実測値ではなく仮に与えた数値を用いている。

ここでは、船社2社が異なる戦略をとる場合に、2種類の貨物のパラメータの開きに対するトランシップ貨物量および航路の船型の感度分析を行っている。出力の理解を容易にするために、トランシップ貨物量は、フィーダー貨物が集まるアジア港湾のみに集積されるように設計してあるため、アジア港湾である港湾1~3のみに貨物量が集計されている。

船社1は全ての港をまわるラウンドの航路をとり、船社2はアジア港湾と定期航路の港湾を結ぶピストン輸送を戦略とする。

(1) トランシップ貨物量

まず初めに、品目1と品目2のパラメータの違いによって、貨物量の配分結果に違いが見られるのかを確かめることにする。

図-4は、両品目のパラメータ値が同じ場合の計算結果

(Case1), 図-5 は品目 1 の料金パラメータ値が品目 2 より大きい場合を設定して数値計算を行った結果 (Case2) である。比較を行いやすくするため、両品目の OD 貨物量は同じとした。

図-4 と比較すると、図-5 より、料金パラメータの値が大きいほど貨物量が少なくなることがわかる。また、トランシップ貨物量については、品目 1 では港湾 3 での貨物量が一番多く、順に港湾 1,2 と少なくなっているが、品目 2 では港湾 2 の貨物量が一番多く、順に港湾 3,1 という結果が得られた。このことから、特性の異なる品目によって輸送パターンが異なることが分かる。

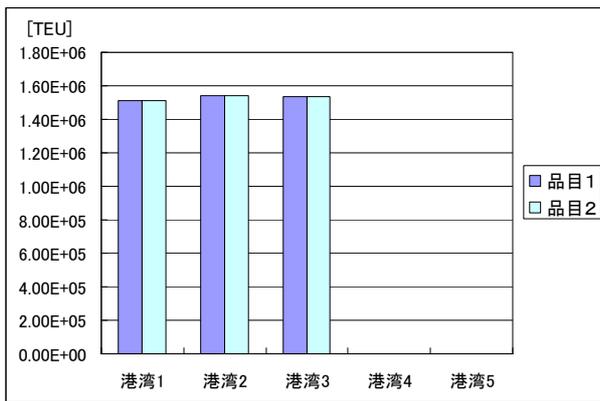


図-4 パラメータが同じ場合のトランシップ量

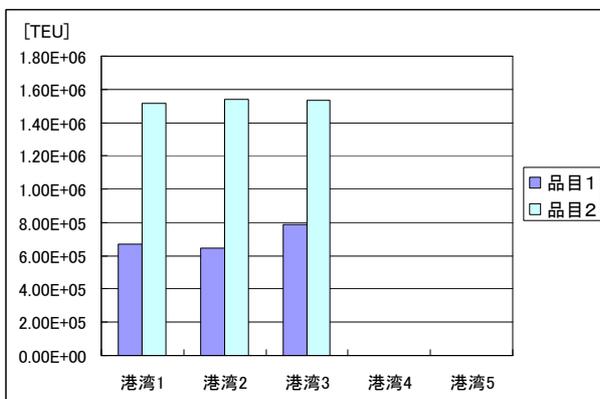


図-5 パラメータが異なる場合のトランシップ量

(2) 定期航路への投入船型

次に、(1)と同様に品目 1 の料金パラメータ値が品目 2 より大きい場合を設定して数値計算を行った結果、航路の船型にどのような影響が出るのかを検証する。図-6 で示す初期船型とは数値計算前の船型、最終船型とは、計算後の船型のことを表している。

図-6 より、ラウンド輸送を行う船社 1 の船型は均衡値では初期船型と同程度の船型となっているが、二点間輸送を行う船社 2 の船型は小さくなる結果が得られた。このことから、二点間輸送を行う船社は規模の小さい船型

の船を投入する方が最適戦略であることが分かる。ただし、船社の利潤の結果では船社 2 のほうが船社 1 より利潤が大きくなっていることから、投入船型は小さくなるものの二点間輸送を行うほうがラウンド輸送を行うより良い結果となることが分かった。

また、料金パラメータの違いによる船型に与える影響に関しては、僅かに数値が異なるものの、パラメータが同じ場合と同程度であることから、貨物価値の違いは船型に影響を与えないことが分かる。

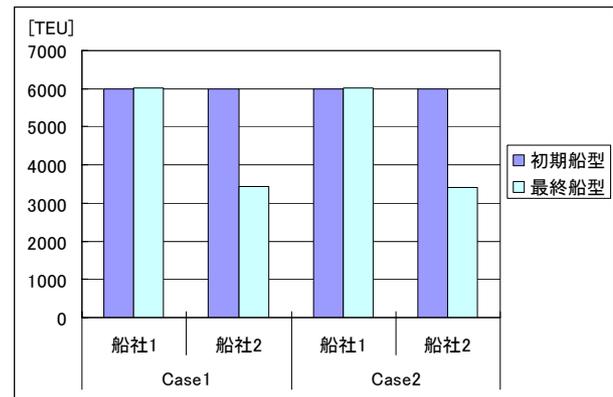


図-6 定期航路への投入船型

本分析の詳細な結果に関しては紙面の都合上、講演時に示すことにする。

5. 研究のまとめと今後の課題

本研究では、2 品目での船型選択および貨物の均衡配分を行った。その結果、品目 1 と品目 2 でトランシップパターンが異なるという結果を得た。このことは、荷主のニーズが違う貨物価値の異なる品目によって輸送パターンが異なる可能性があることを示すものである。

今後は実際の市場に対してモデルを適用し、アジア-北米間、アジア-欧州間の基幹航路市場での貨物流動推定を行うことにする。また、既往のモデル (品目が 1 種類の場合) と今回のモデルでの精度の違いを比較する必要がある。

参考文献

- 1) 横尾俊宏, 竹林幹雄: 品目別貨物フローに着目したアジア発着国際海上コンテナ輸送に関する一考察, 第 37 回土木計画学研究発表会, 2008 (CD-ROM).
- 2) Mikio Takebayashi, Katsuhiko Kuroda, Shingo Hara and Hazuki Miyamoto: Network Equilibria Analysis of International Maritime Container Transport Market for Port Management Policy, 3rd International Conference on Maritime Transport, 679-689, Barcelona, 2006.