

# 外航定期コンテナ流動予測モデルの構築と アジア基幹航路への適用

黒田勝彦<sup>1</sup>・竹林幹雄<sup>2</sup>・武藤雅浩<sup>3</sup>・大久保岳史<sup>3</sup>・辻俊昭<sup>4</sup>

<sup>1</sup> フェロー会員 工博 神戸大学教授 工学部建設学科 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

<sup>2</sup> 正会員 工博 神戸大学助手 工学部建設学科 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

<sup>3</sup> 学生会員 神戸大学大学院自然科学研究科 (〒 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1)

<sup>4</sup> 正会員 野村総合研究所関西支社 (〒 559-0034 大阪市住之江区南港北 1-1-23NRI プラザ)

本稿では海上輸送市場の規制緩和に対応した国際定期コンテナ流動モデルの開発を行った。本稿では外航定期コンテナ輸送市場において船社、荷主という2種類の経済主体を想定し、それぞれに対して完全競争市場の成立を仮定し、モデル化を行った。そして、Nash 均衡成立のための均衡条件式を導出し、均衡解の導出を可能とした。次に、モデルの実用性を検討するために、東アジアおよびその基幹航路を対象として数値計算を行った。その結果、アジアの主要港湾の整備が寄港便数に与える影響を把握することができた。

**Key Words:** container cargo, liner ship, market equilibrium, transshipped cargo

## 1. はじめに

国際物流、特にアジア発着の貨物に関しては、その大部分が海上コンテナ輸送に依存している。実際、我が国を例に取れば、外貿定期貨物量の約9割、海上貿易額の約5割を占めるに至っている。一方、キャリヤである外航船社 (liner ship company) は、輸送効率をさらに上昇させるため船舶の大型化を進めており、超大型船=ポストパナマックス級コンテナ船を欧米基幹航路を中心として投入することとしている。これに対応すべく、アジア諸国においては15m以上の水深を有する「大水深コンテナバース」の整備を急ピッチで進めているというのが現状である。

一方、我が国の港湾に目を向ければ、国際的な競争が激化する「大競争時代」を認識しているものの、それへの対応策は未だ不十分であるという観は否めない。例えば、前述の大水深バースの整備量に関しては、表-1に示されるように、アジア各国と比較しても大幅に立ち後れていると言わざるを得ない。さらに、我が国における港湾諸経費の高さは群を抜いており、釜山港の約3倍にも達している。こういった、インフラの未整備・高コスト化は、物流に限って考えれば、キャリヤの配船インセンティブを削ぐものであり、結果的に我が国の港湾の国際競争力を大幅に減じるものである。国際的な競争力を持たなくなった結果、欧米への基幹航路を我が国は手放すことになり、さらに競争力を減じ

表-1 大水深バース供用施設数の比較<sup>1)</sup>

港湾名	1998年	2000年 (予定)
釜山	-	4
上海	0	0
高雄	3	3
香港	-	16
シンガポール	-	13
東京	1	3
横浜	0	1
大阪	0	3
神戸	4	5

ることになることが危惧される。

この基幹航路の減少の影響は、単に我が国荷主の物流コストを上昇させることにとどまらない。生産能力が低下することによる生産拠点の海外移転、さらにはそれに伴う人的資源の海外流出にもつながり、我が国の社会・経済的な打撃は計り知れないものになると考えられる。

こういった意味から、我が国の社会厚生を維持・発展させていくためには、我が国の港湾整備・運営方法を市場原理の観点から再検討する必要があると考えられる。特に、基幹航路を含めた船社の行動、さらには他のアジア諸国の港湾の整備・運営が我が国の港湾整備・運営とどのような関連性を有するのかといった、外貿コンテナ輸送市場の構造分析を行うことが不可欠であると考えられる。

従来、国際貿易の一端をなす外貿コンテナ貨物流動に関しては、数多くの研究が蓄積されているが、その多くは船社の配船行動または荷主の港湾選択に焦点を当てたものである。

Osman ら<sup>2)</sup>は我が国の主要港湾における国際コンテナ貨物の集配を陸上輸送条件と港湾の位置・規模・コンテナ船の寄港頻度によって説明するモデルを構築した。そして、我が国主要港湾の背後地 (hinterland) を詳細に把握できることを示した。しかし、彼らのモデルは、主として荷主の行動に着目したものであり、船社の船舶配船行動を明示的に取り扱っていない。現在では、他国の港湾への配船が我が国の港湾の相対的地位の低下を招いていると考えられる。こういった点で、船社のグローバルな配船行動を内生的に取り扱えないため、Osman らのモデルは拡大化するコンテナ貨物輸送市場の動向を適切に把握できないと考えられる。

Imai ら<sup>3)</sup>は東アジアにおける国際コンテナ貨物輸送を対象として、船舶の航路選択ならびにハブ港湾選択問題を定式化し、その数理解法を提示した。ここでは船社と荷主という2種類の異なる経済主体の存在を仮定し、コンテナ貨物流動がこの2者間の戦略均衡によるものであるとして、モデル化を行った。ここでは2者間に情報が対称であるナッシュクールノー均衡を仮定し、定式化を行っており、市場均衡問題として国際コンテナ貨物輸送を取り扱った最も初期の研究の一つであるといえる。この意味で Imai らの研究は先駆的な研究であると位置づけることができるが、運賃が内生化されていない、港湾規模を考慮していない、荷主の仕出し港湾選択行動が考慮されていないなど、ハブ港形成の重要な要素がモデル内に取り扱われていない点が問題である。

著者ら<sup>4)</sup>は、国際コンテナ貨物流動市場に、船社・荷主という2種類の異なる経済主体の存在を仮定し、コンテナ貨物流動がこの2者間の戦略均衡によるものであるとして、モデル化を行った。著者らは、市場における情報の非対称性を仮定し、シュタッケルベルグ均衡状態における船社の配船行動ならびに荷主の輸送路線選択行動を東アジアを中心とする基幹航路において実証的に検討した。著者らのモデルは情報の非対称性と、船社による市場の寡占を前提としたアプローチである点が特徴であるが、次のような問題点が挙げられる。まず、Imai らの場合と同様、貨物の海上輸送運賃は外生的に与えられており、船社の機材投入パターンが市場の価格決定メカニズムに与える影響を反映させることができない。また、荷主行動がシステム最適で行動することを仮定しているが、これは全世界が巨大なフォワーダによってコントロールされていることと等しいため、現象面の表現の上で問題点があるといえる。

一方、家田ら<sup>5)6)</sup>は、近年世界的な規模で進行しつ

つある船社間のアライアンスに着目し、コンテナ貨物流動予測モデルの開発を行った。彼らは市場内に荷主、船社の他にフォワーダが経済主体として存在するという設定のもとに、各主体の定式化を行っている。そして、アジア市場に対して適用し、我が国中核港湾への投資計画の評価を試みている。しかし、荷主の行動と船社の行動の分離が明確でなく、モデルでは事実上船社の行動のみを取り扱っているに等しい。また貨物の海上輸送運賃は外生的に与えられており、今井らの場合に指摘された問題が依然として未解決である。

外貿コンテナ貨物輸送市場を検討する上で、船社・荷主・港湾管理者といった複数の経済主体の戦略均衡を考究することはもちろん必要であるが、同時に、現在まで余り取り扱われてこなかった運賃決定メカニズムを取り上げることは極めて重要である。実際のコンテナ貨物輸送を考えた場合、海上輸送運賃は発着港湾間で与えられている (port to port rate)<sup>7)</sup> ため、価格決定メカニズムを取り扱う上で、port to port の運賃決定メカニズムを考慮しなければ、実証的な分析に利用することが難しいと考えられる。

本稿では以上のような既存研究の成果および問題点を鑑み、市場のモデル化においてまず船社、荷主それぞれの行動を明示的に取り扱うこととした。そして、それぞれの主体が競争的に行動する「完全競争市場」を仮定し、市場のモデル化を行うこととした。特に、既存研究では議論されることの少なかった、port to port 運賃を内生的に決定できるアプローチを試みることにした。

## 2. 国際コンテナ貨物輸送市場モデルの定式化

ここでは前述の「完全競争型市場」として国際コンテナ輸送市場のモデル化の方針および定式化を述べる。

### (1) 前提条件

本稿では、外航コンテナ輸送市場の構造的な特性を把握するため、基本的に定期コンテナ輸送船によって構成される輸送市場を考察対象とする。すなわち、外航コンテナ輸送市場に定常状態を仮定し、分析することとする。

次に、本研究では市場が完全競争的であることを前提とするために、以下のような設定を行っている。

- 1) 市場には同一の航路であれば等質なサービスを提供する複数の船社と、同じく等質な行動規範を有する複数の荷主が存在する。船社の数は市場の競争性が成立するために十分な数が存在するものとする。
- 2) 船社は市場へのサンクコストを有さないものとする。すなわち、航路の設定・廃止に伴うコストは、航路の運営に関わるもの以外は存在せず、市場への

参入・退出は全く自由にできることを保証するものとする。

- 3) 市場に関わる全ての情報は、船社、旅行者双方が獲得可能であるものとする。
- 4) 船社間、船社・利用者間での提携などの協力関係は存在しないものとする。

以上の条件の他に、実際の側面から荷主・船社に以下のような前提をもうけることとした。

- 1) 荷主は積出港と積み下ろし港のみを選択するものとし、航路そのものを指定することはできないものとする。
- 2) 荷主から発生する貨物量はネットワークのサービスレベルに無関係に一定であるものとする。
- 3) 船社は発生する全ての O.D. 貨物を輸送しなければならないものとする。
- 4) 船社は機材の種類を複数、同一航路に投入できるものとする。

さらに、本稿で考察対象とする海上コンテナ輸送ネットワークを図-1のように定義するものとする。

本稿では主体が船社、荷主の2種類を想定し、各主体が採る戦略の適用範囲は異なることを想定している。すなわち、荷主は輸送費用および輸送時間に関する情報から発着港湾  $b, c$  の選択を行うものとし、輸送経路、輸送船舶の種類に関しては決定できないものと仮定している。図-1では、実線で囲まれた部分が荷主の戦略の適用範囲である。一方、船社は貨物をどの便に積載し、どの経路で着港湾に輸送するか、そのために海上輸送ネットワークをどのように構成するかを決定できる。すなわち、ゾーン  $a$  よりゾーン  $d$  への輸送経路は積出港・積み下ろし港間の直接輸送経路となる  $b \rightarrow c$  よりも、複数の港湾を経由する経路である  $b \rightarrow b' \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow c' \rightarrow c$  の方が船社にとってより低コストで、なおかつ設定された各種制約条件を満足するのであれば、この経路が最適輸送経路として設定されることが可能である。しかし、船社は、O.D. 貨物を任意の発着港に集積することを直接指定することはできないことになる。本稿では以後表現の混乱を避けるために、荷主の輸送経路 ( $a \rightarrow b \rightarrow b' \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow c' \rightarrow c \rightarrow d$ ) を「貨物ルート」、船社の輸送経路 ( $b \rightarrow b' \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow c' \rightarrow c$ ) を「航行ルート」、港湾間を直接結ぶ航路 ( $b' \rightarrow c', d \rightarrow e$  など) を「海上リンク」と便宜的に呼ぶこととする。

## (2) 船社の行動の定式化

船社は、O.D. 貨物を輸送することによって生じる運営コストを最小化するように、輸送ネットワークを構成するものとする。本稿では船社が負担すべき費用項目を表-2に示すものと設定した<sup>8)</sup>。

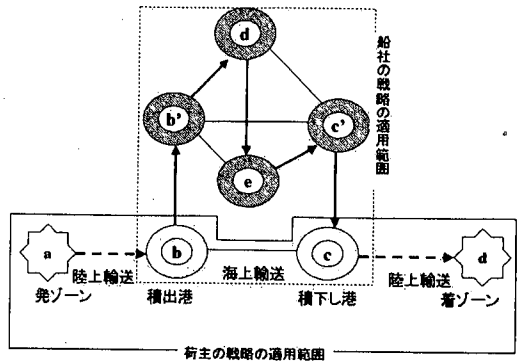


図-1 海上コンテナ輸送ネットワークの概念図

表-2 船社の費用項目

大分類	中分類	小分類
固定費用	燃料費 ( $MFO_l$ )	航行時
	港費 ( $CP_h$ )	水先案内料、通船料、岸壁使用料、トン税、入港料
	船費 ( $CA_l$ )	運営費 (人件費など)
変動費用	ターミナル費	荷役費 ( $CW_h$ )

船社は海上リンクに対する配船便数の決定をその戦略とする。このとき、船社は複数の種類のコンテナ船を投入できることを仮定しているため、複数の船種の投入を考慮したネットワーク構成を検討するものとする。また、船社は全ての O.D. 貨物を目的地に輸送し、なおかつ港湾における寄港可能便数の制約を満たすように全ての路線における投入便数を計画しなければならない。このため、各海上リンクでは競争市場ではあるが、船社全体としては独占競争的に行動するものと仮定しても良い。

以上のような船社の行動は、次のように定式化される。

$$\min Z = \sum_l C_l(f_l, T_l) \quad (1)$$

目的関数 (1) は各海上リンクへの投入便数を操作変数とし、総運行コストの最小化を目的とすることを示している。これに対する制約条件は以下のように与えられる。

$$\sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \delta_{ijk}^l x_{ij}^k = X_{ij} \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \delta_{ijk}^l x_{ij}^k = x_l \leq f_l CP_l = \sum_m \delta_l^m f_l^m \quad \text{for } \forall l \in L \quad (3)$$

$$\sum_{l \in L} \delta_l^h f_l \leq VC_h \quad \text{for } \forall h \quad (4)$$

$$\sum_{l \in L} \delta_l^m f_l \leq VC_h^m \quad \text{for } \forall m \text{ and } h \quad (5)$$

$$f_l \geq 0 \quad \text{for } \forall l \in L \quad (6)$$

ここで、 $f_l$ :海上リンク  $l$  における総配船便数、 $f_l^m$ :海上リンク  $l$  における船型  $m$  の配船便数、 $C_l$ :海上リンク  $l$  における運航費用、 $T_l$ :海上リンク  $l$  に配便される船の平均航行時間、 $L$ :海上リンクの集合、 $x_{ij}^k$ :ゾーン  $i$  からゾーン  $j$  への第  $k$  番ルートに積載される単位期間あたり貨物量 (TEU)、 $X_{ij}$ :ゾーン  $i$  からゾーン  $j$  への O.D. 貨物量、 $x_l$ :海上リンク  $l$  に配分されるコンテナ貨物量、 $\delta_{ijk}^l$ :Cronecker's delta であり、ゾーン  $i$  からゾーン  $j$  への第  $k$  番ルートに海上リンク  $l$  が含まれる場合 1、その他を 0 とする。 $CP_l$ :リンク  $l$  での 1 隻あたりの積載量、 $CP_l^m$ :海上リンク  $l$  の船型  $m$  の 1 隻あたりの積載容量、 $\delta_l^m$ :リンク  $l$  に投下される船型が  $m$  の場合 1、その他は 0 を取る Cronecker's delta。  $\delta_l^h$ : $h$  港に海上リンク  $l$  が含まれる場合 1、その他は 0 を取る Cronecker's delta。 $VC_h$ : $h$  港における最大就航可能便数、 $VC_h^m$ : $h$  港における船形  $m$  の船舶の最大就航便数であり、計算時には各港湾における船型別最大取扱貨物量を船型別積載量で除した値を用いた。なお、本稿では 1 つの海上リンクを航行する船型は 1 種類であると、同一の港湾間であっても異なる船型であれば、異なる海上リンクであると見なすこととした。

式 (2) は OD 貨物量の保存式であり、式 (3) は海上リンクでの輸送貨物量の保存則および海上リンクでの輸送容量制約を表したものである。式 (4) は各港湾での総乗り入れ便数の制約、式 (5) は各港湾における船型別乗り入れ便数の制約を表している。式 (6) は操作変数の非負条件式である。

また本稿では海上リンク運航費用  $C_l$  を、以下のように表すものとした。

$$C_l = F_l(f_l, T_l) + \sum_h \bar{\delta}_l^h (CP_h * f_l + x_l * CW_h) \quad (7)$$

ここで、 $F_l$ :海上リンク  $l$  の航行費用であり、リンク  $l$  への投下便数と航行時間の関数で与えられる (式 (8) 参照)。 $CP_h$ : $h$  港における固定費用、 $CW_h$ :港湾  $h$  における 1TEU あたりの平均変動費用、 $\bar{\delta}_l^h$ :港湾  $h$  がリンク  $l$  の積み出し・積下し港である場合 1、それ以外は 0 をとる Cronecker's delta である。なお、本稿では固定費用は海上リンクで、また変動費用はターミナル (港湾) で発生するものと考えたこととした。

次に、海上リンク航行費用については本稿では以下の形で定義することとする。

$$F_l = \{T_l(MFO_l + CA_l) + PC_l\} f_l \phi_h(f_l) \quad (8)$$

ここで、 $MFO_l$ :海上リンク  $l$  に配便される船の航行時燃料費、 $CA_l$ :海上リンク  $l$  に配便される船の船費、

$PC_l$ :海上リンク  $l$  に配便される船の到着港湾における港費である。

ここで、港湾混雑関数  $\phi_h(f_l)$  とは、入港する港湾にバースの余裕がない場合、沖合で入港待ちを行うなど入港に際して生じる追加的費用を港湾取扱貨物量の関数として定義したものである。すなわち、式 (9) で表すように、 $h$  港での最大就航可能便数と総就航便数の比の関数とした。

$$\phi_h(f_l) = \theta_1 \exp\left(\frac{\sum_l \delta_l^h f_l}{VC_h}\right) \theta_2 \quad (9)$$

ここで、 $\theta_1, \theta_2$ :パラメータである。

### (3) 荷主の行動の定式化

荷主は、輸送コストの最小化を目的として、発着港湾および配分貨物量を決定する。本稿では、貨物の流動に際して、利用者均衡状態の成立を仮定している。ここでの荷主とはコンテナ 1 個ごとに独立な荷主が存在すると便宜上設定している

荷主の利用する貨物ルート  $k$  での 1TEU あたりの海上輸送費用  $SC_k$  は次式で与えられるものと仮定する。

$$SC_k = \sum_r \delta_k^r \left\{ \sum_l \delta_k^l (TV * T_l) (1 + \xi(x_l)) + P_r \right\} \quad (10)$$

ここで、 $TV$ :貨物の時間価値換算係数、 $P_r$ :航行ルート  $r$  の運賃、 $\xi(x_l)$ :海上リンク  $l$  における混雑コストであり、特定のリンク  $l$  に配分される貨物量が多い場合、埠頭における積出し待ちの費用などの追加的費用が荷主に生じることを想定している。また  $\delta_k^r$ :航行ルート  $r$  が貨物ルート  $k$  に含まれる場合 1、その他で 0 を取る Cronecker's delta である。なお式 (10) では平均船待ち時間という追加的費用を取り入れていない。これは本モデルでは貨物は入港に合わせて埠頭に運ばれるものと考えているためである。このため、埠頭での追加的費用は港湾の混雑に限られるものとして定式化を行っている。

さて、荷主における利用者均衡状態を仮定しているため、荷主の行動は次のように定式化することができる。

$$\begin{aligned} \min_{x_{ij}^k} C_{gh} &= \sum_k SC_k + \sum_l \Gamma\left(\sum_k \delta_l^k\right) C_l \\ &= \sum_l C_l + \sum_l \Gamma\left(\sum_k \delta_l^k\right) C_l \quad (11) \end{aligned}$$

ここで  $C_{gh}$ :荷主の総輸送コスト、 $\bar{l}$ :荷主の陸上輸送リンク、 $C_{\bar{l}}$ :荷主の陸上輸送リンクにかかるコンテナ 1 個あたりの陸送費用 (陸上リンクに固有の定数) を表すものとする。また  $\Gamma(\cdot)$  は  $(\cdot)$  内の値が正の場合 1 をとりそれ以外は 0 を取る関数である。 $\delta_{\bar{l}}^k$  は陸上リンク  $\bar{l}$  が貨物ルート  $k$  に使用されている場合 1 をとり、その他は 0 をとる Cronecker's delta である。

目的関数 (11) は使用されている陸上輸送リンク、海

上輸送リンクの費用の総計が最小となる利用者均衡状態を表している。これに対する制約条件は以下のように表すことができる。

$$\sum_k x_{ij}^k = X_{ij} \quad \text{for } \forall i \text{ and } \forall j \quad (12)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \delta_{ijk}^l x_{ij}^k = x_l \quad \text{for } \forall l \quad (13)$$

$$x_{ij}^k \geq 0 \quad \text{for } \forall i, \forall j \text{ and } \forall k \quad (14)$$

式(12)はOD貨物の保存則であり、式(13)は海上リンクにおける輸送貨物量の保存則を表す。式(14)は荷主の操作変数  $x_{ij}^k$  に関する非負条件式である。

#### (4) 均衡条件式の導出

以上のように定式化された市場は、Pareto 効率的な資源配分が達成されることにより、均衡状態を得ることになる。

まず、荷主における市場均衡条件は、貨物ルート選択においては道路交通における均衡条件と同様に次のように示すことができる。

$$\begin{aligned} \text{if } x_{ij}^k \geq 0 \text{ then } SC_k + \sum_k \delta_{ik}^j C_i &= C_{ij}^* \\ \text{otherwise } SC_k + \sum_k \delta_{ik}^j C_i &> C_{ij}^* \end{aligned} \quad (15)$$

上式の  $C_{ij}^*$  は  $i \rightarrow j$  への最適輸送費用を表す。

同時に、海上輸送運賃も均衡価格として提示される。本稿では船社のゼロ利潤制約を考慮しているため、均衡価格は限界生産性と等しくなる。また、運賃は実際の市場で適用されている port to port での運賃を考察対象としているため、以下のように均衡条件式は導出される。

$$P_r = \sum_i \delta_{ir}^l \frac{C_i^*}{x_i^*} \quad (16)$$

ただし、 $C_i^*$ 、 $x_i^*$  はそれぞれ  $i$  における最適輸送費用および最適貨物輸送量を示す。

以上のように各均衡諸量を求めるための条件式を導出することができる。

さて、均衡解を求めるために、次のような手続きを行った。

まず、船社の行動において、費用項目はネットワーク内の2種類の内生変数  $f_l, x_l$  に依存する。この2種類の内生変数を同時決定することはきわめて難しいと判断される。そのため、船社における問題を1)投入便数決定問題、2)投入船型決定問題に分割し、その収束解をもって最適戦略とすることとした。

**STEP 1** 港湾間 O.D. 貨物の 1TEU あたりの固定費用を与件として、O.D. ペアごとに輸送費用が最小となるように  $x_l$  を決定する(リンクフロー決定問題)。

**STEP 2** STEP 1 で求められた運航航路上の貨物輸送量  $x_l$  について、費用が最小化される船型の組み合わせ  $f_l$  を求め、その便数に応じた固定費用を  $x_l$  で除し、1TEU あたりの固定費用に換算する(投入船隻数決定問題)。

STEP 1 は投入船型が各リンクで与件として与えられた場合の、荷主の費用最小化問題を直接解く場合に対応する。

STEP 2 では、STEP 1 で求められた海上ルート貨物量  $x_l$  を与件として、航行コストを最小とする海上リンクへの投下便数  $f_l$  を決定する。すなわち

$$\min_{f_l} \bar{Z} = \sum_{l \in L} C_l(f_l) \quad (17)$$

Sub. to

$$\sum_m f_l * \lambda_l C P_l^m \geq x_l \quad \text{for } \forall l \quad (18)$$

$$f_l > 0 \quad \text{for } \forall l \quad (19)$$

ただし  $f_l$  は正の整数を取るものとする。また  $\lambda_l$ :海上リンク  $l$  での船舶の「許容積載率」の上限である。「許容積載率」とは、1隻の船に最も効率的な積載を行うための指標であり、船社はこの値を目標として、許容積載率を越えない最小の便数を、海上リンクへの最適投下便数であると判断すると考える。一般的には、この許容積載率は航行ルートや船型、寄港地と行った様々な外生条件に左右されるものと考えられるが、本研究ではいくつかのヒヤリング調査を参考として、アジア内での航行に際しては3000TEUでは0.4、1000TEUでは0.8と設定した。また、海上リンク  $l$  での往復の投下便数は等しいと仮定している。すなわち、空コンテナが生じることを許した上で、便数の多い方をその海上リンクでの投下便数とすることとした。

### 3. 外貿コンテナ貨物輸送市場への適用

現在の国際コンテナ輸送市場は前節で展開したような完全競争市場ではないものの、完全競争市場モデルが現状をどの程度説明できるかを検討する必要がある。そのため、開発されたモデルを東アジアを対象とする外貿コンテナ貨物輸送市場への適用を試みる。以下、分析の前提およびデータについて述べる。

#### (1) O.D. ゾーンおよびO.D. 貨物の推計

本モデルは荷主ルートと船社ルートを分離している。特に荷主においては陸送ルートを明示することにより、積出し・積下し港を選択可能としていることから、ゾーニングが細かく分割された場合にモデルの特徴が発揮される。しかし中国をはじめとして陸送ルートに関わ

表-3 O.D.ゾーン

ゾーン番号	ゾーン名	詳細
1-47	日本	国内各都道府県
48	朝鮮半島	韓国・北朝鮮 華北の一部
49	華中、華南	華中、華南の一部
50	香港・台湾	香港・台湾、華南の 一部、フィリピン
51	ASEAN	シンガポール、タイ、 インドネシアなど
52	欧州	英国など EU 諸国
53	北米	米国、カナダ

表-4 対象港湾一覧

港湾番号	ゾーン名	背後圏
1	京浜	荷主選択
2	名古屋	
3	阪神	
4	関門	
5	釜山	韓国、華北の一部
6	上海	華中、華南の一部
7	香港	(旧)香港・台湾、 フィリピン
8	シンガポール	ASEAN 諸国
9	アムステルダム	欧州
9	ロザンゼルス	北米

るデータが現在のところ入手困難であるものが多い。将来的にデータ入手が可能となればより精密な分析が可能となるが、本稿では陸送ルートの把握が比較的容易な我が国のみを詳細に分割し、我が国の荷主の行動および港湾の利用に関する議論を中心とすることとした。

以上のような理由から、対象とするゾーニングおよび貨物量に関しては次のように構成することとした。

- 1) 日本に関しては、各種政策の影響を詳細に把握することが必要であるため、ゾーニングを47都道府県とした。
- 2) 中国は華北、華中、華南にゾーンを分割し、かつ華南をさらに上海ブロックと香港・台湾ブロックに分割することとした。
- 3) 華北は朝鮮半島ゾーンと一体的に取り扱うこととした。
- 4) フィリピンは香港・台湾ブロックに含むとした。
- 5) フィリピンを除く東南アジアはシンガポールで代表させることとした。
- 6) 欧米はそれぞれ北米、欧州というように大ゾーンとして取り扱うこととした。
- 7) インド、中東、アフリカ、オセアニア、南米の各航路ではコンテナ流動量が少なく、市場構造に大きな影響はないと判断して、取り扱わないこととした。

表-3にゾーニングをまとめて表示することとする。上記のゾーニングをもとにO.D.貨物量は以下のデータを用いた。

- 1) 日本発着コンテナ貨物流動量：1993年11月に実施された全国輸出入コンテナ貨物流動調査<sup>9)</sup>の結果を用いることとした。さらに、港湾統計や個別に実施したヒヤリングの結果により1TEU=14tと換算し、年間流動量をTEU個数として入力することとした。
- 2) 日本発着以外の国際コンテナ貨物流動量：これに関してはさくら総合研究所の推計したトレンド予測<sup>10)</sup>に基づいて、上記ゾーンごとに集計した。

表-5 港湾利用料金一覧

港湾	港湾料金 (万円/隻)		平均変動料金 (万円/TEU)
	A	B	
京浜	65.3	184.3	2.0
名古屋	71.9	202.7	2.0
阪神	67.1	189.3	2.0
関門	47.9	135.0	2.0
釜山	24.5	69.1	0.6
上海	27.3	76.9	0.2
香港	32.0	90.2	1.9
シンガポール	25.5	71.9	0.9
欧州	78.6	221.6	1.3
北米	44.9	126.6	0.6

注)A:1000TEU 船型、B:3000TEU 船型

- 3) 香港+台湾、およびシンガポールは背後圏からのトランシップ貨物が相当量あるが、これらの貨物はそれぞれの港の直背後圏貨物として取り扱う。これはもっぱら計算量の制約からネットワークの数を減らすためである。

## (2) 代表港湾および港湾関連データ

- 1) 1)で述べたように、日本以外のゾーンは先決的に各ゾーンに1港の代表港を定め、O.D.貨物は港湾間O.D.貨物として取り扱った。それぞれのゾーン別代表港の一覧を表-4に示す。
- 2) 各代表港湾の港湾利用料金については文献<sup>10)11)</sup>を参考に表-5のように定めた。各港湾の容量は国際輸送ハンドブック<sup>11)</sup>に基づいて、船型別に表-6のように定めた。ここでは、3000TEUの船舶が入港可能な要件として13m以上の水深としたため、関門港(当時12m水深)での3000TEU船舶の入港数はゼロとなっている。また、欧州・北米については船型別にO.D.貨物の全量を十分に取扱可能な量として設定し、混雑は発生しないものとした。
- 3) 港湾間距離は海上保安庁作成の航路地図より算定した。結果は紙面の都合上割愛する。

表-6 港湾別最大取扱貨物量 (単位:万 TEU/年)

港湾	A	B
京浜	816	504
名古屋	216	32
阪神	792	336
関門	192	0
釜山	300	220
上海	192	0
香港	1136	540
シンガポール	992	672
欧州	2400	2400
北米	2400	2400

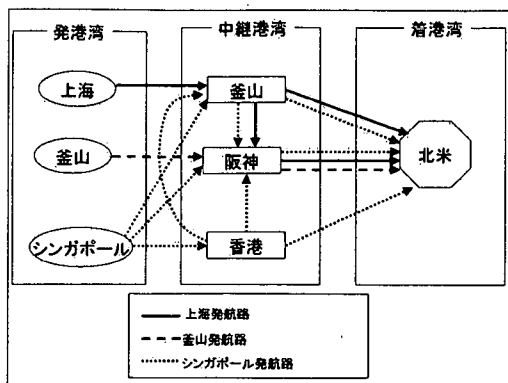


図-2 航行ルート設定の一例 (北米航路の場合)

(3) 航行ルートおよびネットワーク

- 1) 航行ルートは、後戻りなどの冗長経路が発生しないように設定した。北米航路を例として寄港パターンの一例を図-2に示す。図では上海発の航路で2ルート、釜山発の場合で1ルート、シンガポール発の場合で6ルート設定できることがわかる。この例以外に、直行ルートも存在する。
- 2) 航路上の寄港数に関しては制限を設けないこととした。
- 3) 現実の航路構成を考慮し、欧州方面の最終寄港港は香港およびシンガポール港を、また北米方面の最終寄港港は京浜、名古屋、阪神、釜山、および香港港と限定した。
- 4) 2つの港湾間を結ぶ航路(リンク)に2種類以上の船型が就航する場合は、異なるリンクとして設定した。
- 5) 4)の方法ではノード(港湾)における貨物の積み替え(トランシップ)は、異なる船型間でしか計算できない。このため、トランシップ貨物を次のように定義した。

- トランシップ貨物: 任意の港湾を經由する貨物のうち前後の海上リンクの船型が異なる貨物。
- 通過貨物: 任意の港湾を經由する貨物のうち、前後の海上リンクでの船型が同一である貨物。

また、トランシップ率を

$$\text{トランシップ率} = \frac{\text{トランシップ貨物量}}{\text{輸出入貨物量} + \text{トランシップ貨物量}}$$

として表すこととした。

(4) 各港湾、航路における混雑関数の推計

本稿で提案したモデル中にある混雑関数は、いずれも統計データより推計することは難しい。このため、後述する現状再現性が最も高くなるように、各パラメータの値を試行錯誤的に決定することとした。

(5) 国内輸送手段

国内の輸送手段としては、基本的にトラック輸送としている。ここでは各港への輸送時間および運賃<sup>12)</sup>を考慮し、一般化費用が最小になるパターンを先決的にデータとして与えることとした。

(6) 航路別投入船型

船型については国際輸送ハンドブック<sup>11)</sup>に掲載されている値を採用し、1000TEUおよび3000TEUのみを取り扱うこととした。

(7) 計算結果によるモデルの現状再現性

現実の国際コンテナ輸送が、本稿で仮定したような完全競争市場に近いものかどうかは疑問の残るところではあるが、ここでは現状とモデルによる結果を比較してこの点の検討を行う。

a) 日本の背後圏の再現性

背後圏のコンテナ流動については前述のように、日本国内しかデータがないため、各都道府県別の方面別貨物が日本のどの港湾を利用したか(すなわち方面別貨物の各港湾の背後圏)によって、まず検討した。

図-3は1993年度国内コンテナ貨物純流動調査結果と計算値を比較したものである。すなわち、各都道府県別、仕出し・仕入れ港別、方面別貨物の流動結果の比較である。全体の相関係数は0.974であり、流動形態はかなりの精度で説明できていることがわかる。

また、日本における荷主の仕出し港湾選択を把握するために、港湾背後圏の比較を示したものが図-4である。ここでは、大半の背後圏は観測データと推計値で一致していると見ることができ、中部、中国地方において、背後圏にばらつきが認められる。これは次のように考えることができる。

本稿では、日本における陸上輸送運賃は外生的に与えているが、全て20feetコンテナで輸送される場合で

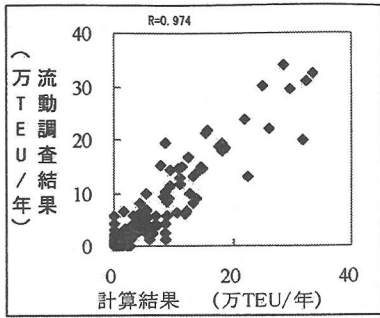


図-3 モデルの再現性

の単価を想定している。しかし、実際にはより割安な40foot コンテナによる輸送も行われている。2種類のコンテナ輸送パターンをモデルに組み込むことは困難であり、その結果陸上輸送における平均単価が押し上げられている可能性がある。この結果、京浜、阪神といった大港湾から遠距離にある北陸、九州地方での貨物配分に誤差が生じたものと考えられる。また、実際の商慣行・契約の影響、中でもフォワーダと呼ばれる集荷業者の存在を組み込んでいない影響もあると考えられる。フォワーダは貨物の混載による差益の拡大を行うために、より大規模な集荷が可能な大港湾を選択する傾向があり、このため特に京浜における背後圏を過小評価したことにつながると言える。しかし、相関係数  $R=0.974$  であること、および背後圏のばらつきの程度から考えて、荷主の行動に関してのモデルの再現性はおおそ妥当なものであるといえる。

b) アジア港湾における貨物取扱量の現状再現性

次にアジア港湾における貨物取扱量の現状再現性を船社の行動から検証する。船社の行動に関しては、本モデルでは投入便数  $f_i$  を船社の操作変数としている。しかし、現状再現に関しては本モデルで示した1000TEU, 3000TEU 以外にも実際には多くの船型が投入されており、厳密な意味で再現性を期待することはできない。一方、船社はモデル上運営費用を最小とするよう行動すると仮定しているため、現実に実現されているトランシップ貨物量は費用最小の結果であると考えられる。このため、本稿では再現性を確認する指標としてトランシップ貨物量を取り上げることとした。

図-5は主要港湾におけるトランシップ貨物取扱高(万TEU/年)を比較したものである。京浜、阪神、釜山といった極東の規模的にも同程度の港湾に関しては、概ね再現性が良好であるものの、香港とシンガポールにおけるトランシップ貨物取扱高に観測値と推計値の間に大きな誤差が生じていることが認められる。これは次のようなことが原因であると考えられる。

まず、本稿ではアジア内におけるコンテナ輸送を考えた場合、トランシップ貨物は小型船と大型船間の積

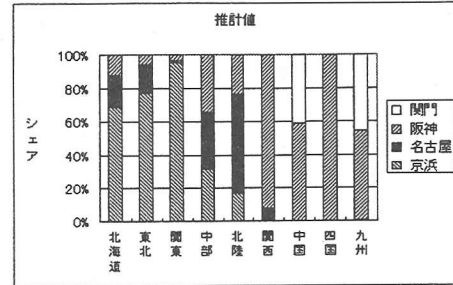
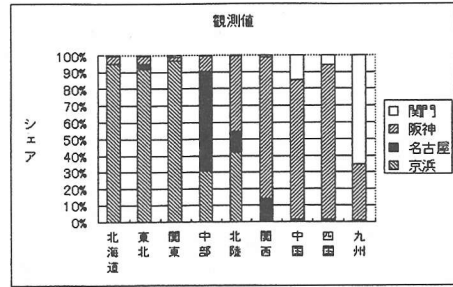


図-4 日本における主要港の背後圏の比較

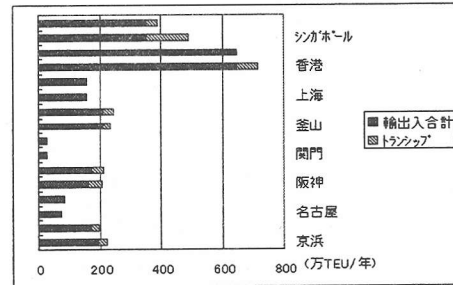


図-5 主要港湾における貨物取扱高の比較 (上段：推計値、下段：観測値)

み替えによって生じるものと仮定している。

しかし、実際のアジア内でのコンテナ輸送では小型船による積み替えが相当数含まれているものと考えられる。このため、特にこのような貨物が多数取り扱われていると考えられる香港、シンガポール港でのトランシップ貨物取扱量を過小評価したと考えられる。

また、観測データにおいて、香港、シンガポール両港においては、「再輸出貨物」として定義される貨物が、トランシップ貨物に相当含まれている可能性がある。再輸出の定義としては、香港では輸出品の貿易統計上の付加価値増加が価格の25%未満の場合に再輸出と分類される。一方、シンガポールでは製品に加工を加えず等級付け・分類・再包装される場合に再輸出と見なされる。このような統計データ上の違いがあることについては留意する必要がある。

また、モデル上考慮されていない構造上の特性を混雑



関数に一括して含めることとなるため、例えば1000TEU未満の小型船が多数就航し、トランシップ貨物量の多い上記のような港湾では過大に混雑コストを与えている可能性がある。この点については今後の検討課題とした。

以上のように、データの制約上生じる誤差をも考慮すれば、本稿で提案したモデルによって船社の行動はある程度再現可能であるといえ、以後このケースを基本ケース (Case 0) として取り扱うこととする。

#### 4. ケーススタディ

##### (1) 分析の視点

さて、1.でも触れたように、本稿では我が国の社会厚生を維持・発展させるための一手段として港湾整備・運営法を合理的に決定するために、外貿コンテナ輸送市場の構造分析を行う必要がある。本節では市場の構造分析を行うにあたり、まず(2)においてアジア諸国におけるコンテナバース数拡大の影響を検討する。次に(3)において、我が国における港湾料金政策のコンテナ流動へ与える影響を把握する。そして、市場構造の特性について検討し、今後の我が国の港湾整備・運営方法について考察を加えることとする。

##### (2) バース数増加による市場へのインパクト

本節では、アジア内のコンテナ貨物輸送市場における各主要港湾間の構造的関連性を明確化するために、まず港湾の位置と処理能力によって形成される港湾間の関連性を把握することとする。すなわち、輸送における「規模の経済 (economy of scale)」と「距離の経済 (economy of distance)」を考慮した場合の市場構造を把握しようとするものである。

本節では、港湾の位置は現状通り変化しないものとして、各港湾のコンテナ貨物処理能力の増加に関する感度分析を行うことにより、上記の目的を達成することを試みる。これは港湾容量の増大により船型別船舶投入パターンに変化が生じ、海上輸送ネットワークが大きく変化する可能性について明らかにできると考えられるためである。なお、シナリオスタディでは紙面の都合上、北米向けの貨物が大量に発生する極東部での貨物流動に与える影響を把握するために、議論の対象を3港湾に絞ることとした。

表-7は阪神港、釜山港、香港港の3港湾におけるコンテナ貨物処理能力を増加させるというシナリオの一覧である。表中の値は表-6に示した現状 (case 0) 容量の1.5倍を想定した値である。例えばCase 1は阪神港のみを現状の1.5倍とし、他は現状のまま変化がない場合を意味している。Case 4は釜山港と香港港が同時に1.5倍拡張されることが実現した場合を意味している。

表-7 コンテナ処理能力感度分析シナリオ

Case	港湾名	1000	3000
1	阪神	1188	504
2	釜山	450	330
3	香港	1704	810
4	釜山 香港	450 1704	330 810

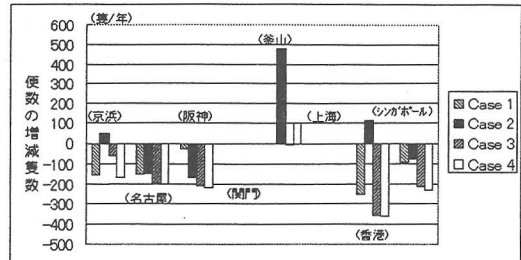


図-6 年間就航便数の変化 (1000TEU 船)

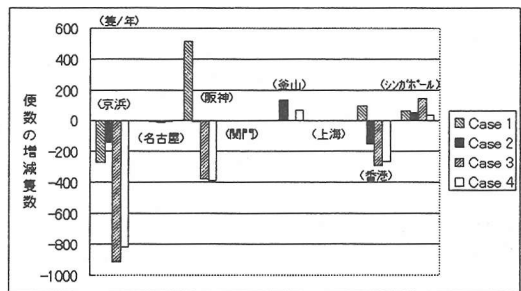


図-7 年間就航便数の比較 (3000TEU 船)

まず、主要港湾における就航隻数の変化を図-6、図-7に示すこととする。図-6は小型船の、図-7は大型船の各港への寄港便数の現状との比較を行ったものである。

両図よりまず、阪神港のみが拡張された場合 (Case 1)、全体的な傾向として、阪神、香港、シンガポール港で大型船の投入便数が増加し、全ての港湾で小型船の投入便数が減少することがわかる。

次いで、釜山のみ容量拡大を行った場合 (case 2) では、釜山港、シンガポール港で大型船が増便されるが、京浜港、香港港では減便となる。阪神港においては大型船に関しては影響がないことがわかる。一方、小型船に関しては釜山港、香港港において増便する他は閉門、上海を除く全ての港湾で減便となる。

香港港のみ容量拡大が行われた場合 (Case 3) では、大型船に関してはシンガポール港での増便がある以外はほとんどの港湾で大幅な減便となる。同時に小型船に関しても閉門、上海を除く全ての港湾で減便となる。

ことがわかる。最後に香港港と釜山港が同時に容量が拡張された場合 (Case 4) では、釜山港、シンガポール港での大型船増便がある以外は全て減便である。また小型船についても釜山港を除く全ての港湾で減便であることがわかる。以上の傾向をわかりやすくするために、総投入便数の変化として整理したものが図-8である。ここでは現状と比較した場合の増減数を図化している。

これらの各港湾への船型別寄港便数の変化がなぜ生じたかについて考察するために、各港湾における総取扱貨物量およびトランシップ貨物量について比較したものが図-9である。図では港湾ごとに左より Case 0～Case 4 となっている。図-8 より、総投入便数は全般的に減便傾向にあることから船舶の積載率が上昇することがわかる。これは基本的な挙動として、港湾容量の拡大により、小型船から大型船に積み替えるトランシップが減少し、大型船による通過貨物の増加が生じるためである。典型的な例としては、Case 3 が挙げられよう。ここでは香港港の拡張によって香港港への寄港数は大型船、小型船共に減少するが、小型船の方がより大きく減少している。シンガポール港では大型船が増加しているにもかかわらずトランシップ貨物が減少している。他の港湾でも釜山港を除き全てトランシップ貨物量は減少している。このことは、「小型船の減便→大型船の積載率上昇による通過貨物の増加→トランシップ貨物を多く積載する大型船の減少→小型船の減少」というフィードバック機能が作用しているためであると考えられる。対照的に釜山港においては港湾容量の拡張がトランシップ貨物の増加に直結することが認められる。このことは表-8 に示した港湾間配船便数の変化を見ることでより明確になる。

まず、現状と比較して阪神港での大型船寄港数が増加する Case 1 についてみると日本国内のその他の港湾での大型船および小型船の寄港数が大幅に減少していることがわかる。同時に阪神-香港間の投入隻数が両船型とも大幅に増加している。これも京浜-香港間の投入隻数が大幅減少していることと連動している。このことは後に示すように、阪神港～北米航路の運賃の低下を意味しており、阪神港の港湾容量拡大によって、国内の仕出し港選択が大幅に変更され、阪神港の国内の背後圏の拡大を生んだと考えられる。

Case 2 に関しては阪神港における大型船・小型船寄港数が減少しており、同時に京浜港においても同様の現象が生じている。一方、釜山港での北米方面投入隻数は大幅に増加しているものの、釜山～香港間の投入隻数は減少し、香港を最終寄港地とする長距離航路は消失していることがわかる。このとき、シンガポール-欧州航路への投入隻数に変化はない。またトランシップ貨物に関しては、図-9 によると京浜港、阪神港共にトランシップ貨物は消失し、釜山港の取扱量が大幅に

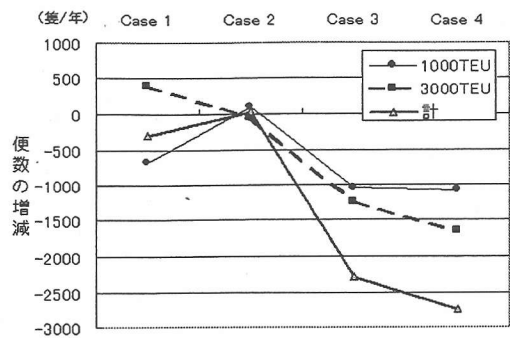


図-8 年間総投入便数の現状よりの変化

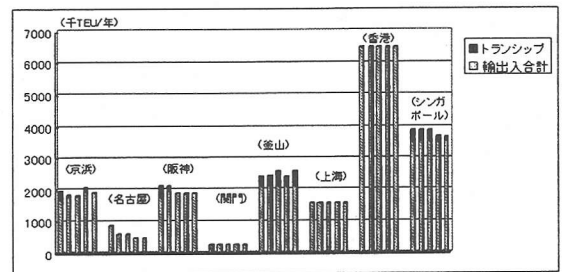


図-9 年間取扱貨物量の比較

増加している。このことから、釜山港の拡張により京浜、阪神両港で扱っていたトランシップ貨物を釜山港が奪っていると考えられる。これが北米方面最終寄港地は分散するものの、欧州方面への影響はない原因であると考えられる。

Case 3 については逆に香港港での寄港便数は全体的に減少するものの、北米方面への投入隻数が大幅に増加していることがわかる。さらに Case 4 では釜山・香港両港が同時に拡大されることで航路構成が分散し、香港港に新たに欧州航路が設定され、京浜-シンガポール間の投入隻数が大幅に増加することがわかる。このことは総荷役費用を減少させることが船社にとって有利となることを意味するもので、結果として大型船-小型船間のトランシップパターンを減少させることになる。

以上の傾向から、次のように考えることができる。

港湾容量の拡大によって、フィーダーサービスおよび長距離航路の最終寄港地に変化が生じるが、これは最終寄港地における規模および密度の経済性に左右されていると考えられる。すなわち港湾容量の拡大により、船型を大型化し、寄港回数を減少させることにより、キャリアーのコストは減少する。さらに、大型化することにより、荷役費用のかかるトランシップ貨物の発生を抑制するため、大型船による通過貨物の上昇、すなわち積載効率の上昇を生む。これは一般的に考えられている「船舶の大型化がトランシップ型輸送につ

表-8 港湾間投入便数(隻/年)

[1000TEU]												[3000TEU]													
現状	京浜	名古屋	阪神	関門	釜山	上海	香港	シンガポール	欧州	北米	計	現状	京浜	名古屋	阪神	関門	釜山	上海	香港	シンガポール	欧州	北米	計		
京浜	0	0	0	0	0	59	483	0	-	-	477	京浜	181	26	0	0	59	982	0	0	0	0	181		
名古屋	0	0	0	0	0	0	147	218	-	-	375	名古屋	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
阪神	0	0	0	0	0	0	274	243	-	-	510	阪神	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
関門	0	0	0	0	0	0	91	73	-	-	164	関門	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
釜山	0	0	0	0	0	342	0	0	-	-	463	釜山	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
上海	50	0	0	0	342	0	212	114	-	-	991	上海	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
香港	483	147	274	91	0	212	0	797	-	-	2004	香港	982	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
シンガポール	0	218	242	73	0	114	797	0	-	-	1444	シンガポール	181	26	0	0	118	280	0	0	0	0	0	1548	
Case 1	京浜	名古屋	阪神	関門	釜山	上海	香港	シンガポール	欧州	北米	計	Case 1	京浜	名古屋	阪神	関門	釜山	上海	香港	シンガポール	欧州	北米	計		
京浜	0	0	0	0	0	79	37	0	-	-	376	京浜	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
名古屋	0	0	0	0	0	0	147	218	-	-	375	名古屋	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
阪神	0	0	0	0	0	0	274	243	-	-	510	阪神	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
関門	0	0	0	0	0	0	91	72	-	-	163	関門	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
釜山	0	0	0	0	0	344	0	0	-	-	462	釜山	137	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
上海	49	0	0	0	344	0	212	114	-	-	992	上海	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
香港	527	4	273	91	0	212	0	792	-	-	1751	香港	447	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
シンガポール	0	208	163	72	0	114	792	0	-	-	1540	シンガポール	471	27	0	0	119	247	0	0	0	0	0	0	1644
Case 2	京浜	名古屋	阪神	関門	釜山	上海	香港	シンガポール	欧州	北米	計	Case 2	京浜	名古屋	阪神	関門	釜山	上海	香港	シンガポール	欧州	北米	計		
京浜	0	0	0	0	0	79	37	0	-	-	411	京浜	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
名古屋	0	0	0	0	0	0	147	214	-	-	376	名古屋	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
阪神	0	0	0	0	0	0	274	243	-	-	510	阪神	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
関門	0	0	0	0	0	0	92	72	-	-	164	関門	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
釜山	0	0	0	0	0	446	0	0	-	-	943	釜山	65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
上海	79	0	0	0	446	0	212	114	-	-	991	上海	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
香港	535	4	307	92	0	212	0	790	-	-	2119	香港	636	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
シンガポール	0	214	178	72	0	114	790	0	-	-	1568	シンガポール	255	26	0	0	246	0	0	0	0	0	0	0	1394
Case 3	京浜	名古屋	阪神	関門	釜山	上海	香港	シンガポール	欧州	北米	計	Case 3	京浜	名古屋	阪神	関門	釜山	上海	香港	シンガポール	欧州	北米	計		
京浜	0	0	0	0	0	188	284	0	-	-	472	京浜	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
名古屋	0	0	0	0	0	0	167	167	-	-	334	名古屋	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
阪神	0	0	0	0	0	137	309	134	-	-	608	阪神	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
関門	0	0	0	0	0	92	0	72	-	-	164	関門	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
釜山	0	0	0	0	0	341	0	0	-	-	459	釜山	103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
上海	188	0	0	0	341	0	215	111	-	-	992	上海	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
香港	284	3	309	92	0	215	0	744	-	-	1647	香港	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
シンガポール	0	167	134	72	0	111	744	0	-	-	1228	シンガポール	503	2	0	0	104	297	0	0	0	0	0	0	1388
Case 4	京浜	名古屋	阪神	関門	釜山	上海	香港	シンガポール	欧州	北米	計	Case 4	京浜	名古屋	阪神	関門	釜山	上海	香港	シンガポール	欧州	北米	計		
京浜	0	0	0	0	0	80	284	0	-	-	364	京浜	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
名古屋	0	0	0	0	0	0	160	160	-	-	324	名古屋	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
阪神	0	0	0	0	0	137	308	125	-	-	601	阪神	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
関門	0	0	0	0	0	92	0	73	-	-	165	関門	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
釜山	0	0	0	0	0	446	0	0	-	-	564	釜山	128	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
上海	80	0	0	0	446	0	214	112	-	-	992	上海	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
香港	284	2	308	92	0	214	0	741	-	-	1641	香港	60	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
シンガポール	0	160	125	73	0	112	741	0	-	-	1211	シンガポール	302	1	0	0	104	4	0	0	0	0	0	0	1780

ながら」というものとは異なる結果である。これは次のように考えることができる。

本モデルでは船社は独占競争的に行動するため、実際の世界ではアライアンスが進行した状態に等しい。さらに、モデル内では3000TEU船が全体で何隻投入可能であるかといった投入便数の総量に関する制約を有していない。この2点から考えれば、船社はできるだけ大型船を投入し、通過貨物を増加させることで積み替え費用を大幅に削減することが合理的となる。すなわち、盟外船社が多数存在し、大型船の隻数が限定される状態ではなく、アライアンスが進行し大型船の投入が十分大量に投入できる状態では本稿で得られたように投入便数は減少する可能性があるといえる。

また、このような構造は港湾間の地理的關係によってさらに強化されていると考えられる。例えば、北米方面に関しては便数の増減傾向から推察されるとおり、京浜・釜山は補完的關係、京浜・釜山に対して阪神は競合的關係になっていると考えられる。しかし、Case 3を見てもともと大きな容量を持つ港湾のさらなる拡張は地理的に不利な位置にあっても、大幅な寄港便数の増加につながる事がわかる。これは港湾における規模および密度の経済性が距離による不経済性を上回ることを示すものである。しかしこれには港湾における料金政策の影響も大きいと考えられるため、必ずしも即断はできない。一方、Case 1の阪神港における港湾容量の拡大はCase 2の釜山港拡張の場合ほど配船パターンに劇的な変化を生まない。これは地理的条件ではほとんど変わらないにもかかわらず、阪神港の港湾料金が釜山港のそれよりもかなり高額であることに起因すると考えられる。

次に港湾間運賃が港湾整備パターンによって受ける影響について検討を加える。図-10、図-11は長距離航路におけるport to portの海上運賃の推移を京浜、阪神、釜山港に関連するものに限定して示したものである。

まず、京浜・阪神～欧州への運賃はいずれのケースにおいても変動幅は小さく、アジア諸港の整備による影響は小さいことがわかる。一方、釜山～欧州の運賃は釜山港の整備と他港湾の整備状況によって大きく左右されることがわかる。特に、釜山港における港湾容量の規模拡大は、我が国発着貨物の欧州方面運賃にはほとんど影響しないものの、韓国発着貨物の運賃は大きく下落し、荷主へのコスト削減効果は大幅に増加する。投下隻数から見れば、釜山港拡張により釜山～シンガポール間への投入隻数が増加する。また、Case 3における香港の拡張により釜山～香港間への投入隻数は増加するものの、釜山～シンガポール間への投入隻数は減少する。これは欧州航路では最終寄港地は基本的にシンガポールとなっているが、シンガポールへ寄港する1つ手前の寄港地は複数存在するためであると考えられる。

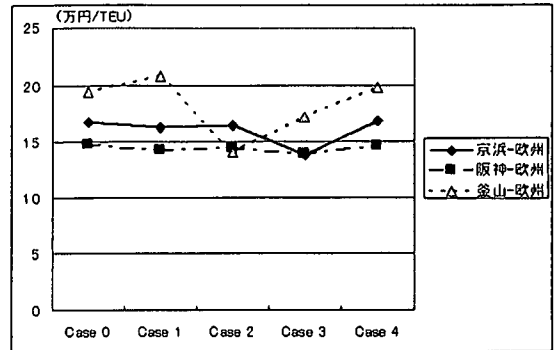


図-10 海上運賃の推移 (欧州向貨物)

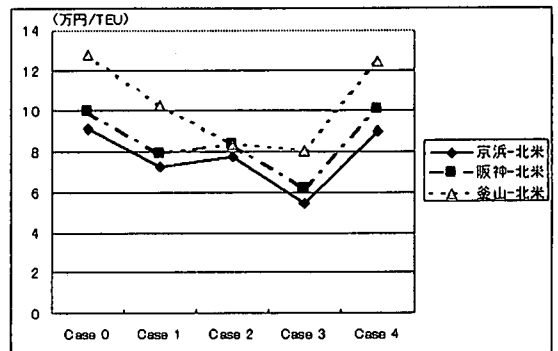


図-11 海上運賃の推移 (北米向貨物)

そしてこのような港湾は多くの場合香港ないし釜山であり、この寄港地選択パターンが港湾拡張により変化することを示している。我が国の運賃に大きく影響がでないのは、前述のように地理的な関係から、我が国の港湾がシンガポールへ寄港する1つ前の寄港地としては選択されにくいことを示すものであり、この不利が港湾の拡張ではまかないきれないことを意味するものである。

逆に、図-11に示すように、北米方面に関しては、各港湾の整備状況が我が国、および韓国発着貨物の運賃に大きく影響することが理解される。これは我が国の港湾および釜山港が北米方面の最終寄港地となることによって、港湾における規模および密度の経済性が仕出し港選択に直接影響を与えるためであると考えられる。

以上の検討結果から、コンテナ輸送市場においては、港湾における規模・密度の経済性が自己補強的に働くというpositive feedbackが存在することを示していると考えられる。

したがって、我が国主要港湾の拡張整備は、特に北米基幹航路の輸送コスト削減効果となって現れること

がわかる。この効果は、たとえ我が国の港湾容量を拡張しないまでも、釜山、香港の容量拡大によっても発生し得るのである。

### (3) 阪神港の港湾料金変化の影響

(2) で示したように、釜山港の港湾整備は我が国の港湾、特に北米航路に関して阪神港の寄港便数を減少させることが理解された。しかし、この結果は阪神港の港湾料金や荷役料金を現状のまま相対的高水準に固定した場合の結果である。一般に我が国の上記料金の高水準が船社の寄港便数に影響していると指摘されているが、本節では料金水準の変化がいかなる結果をもたらすか、数量的に検討を加えてみる。なお、分析を挙動特性把握に限定するため、料金がどのように設定されるかといった「最適課金」のメカニズムはここでは取り扱わないこととする。

ここでは、釜山港の戦略としては港湾容量（バス数）の増加を、阪神港の戦略としては港湾料金・荷役料金の同時引き下げを考える。以下では、釜山港のバス数は現状の大型船、小型船の着岸容量を同時に25%、50%、75%拡大した場合と、阪神港の上記料金を現状より25%、50%、75%低下させた場合の全ての組み合わせについて試算した。

図-12～図-13は各条件下での阪神港、釜山港におけるトランシップ貨物量を比較したものである。

図より、明らかに、釜山港の港湾容量拡張によって、阪神港でのトランシップ貨物量は大幅に減少することがわかる。特に、釜山港の拡張が、現状の規模の50%増以上になれば、阪神港でのトランシップ貨物は消失することがわかる。一方、釜山港での拡張に対応する形で、阪神港の料金を引き下げた場合、トランシップ貨物は釜山港の容量が同規模であれば徐々に回復する傾向にあることがわかる。例えば、前述の釜山港容量50%増の場合、阪神港の料金を現状から50%引き下げればトランシップ貨物量を現状並に維持することができる。

一方船舶の寄港パターンの変化を図-14～17に示す。

釜山港の港湾容量を50%拡張した場合を例にとると、阪神港の料金に変化しても釜山港での大型船(3000TEU)寄港便数はほとんど変化しない(図-14参照)が、小型船(1000TEU)寄港便数は、阪神港の料金低下とともに現状と比較して最大で約30%の減少となる(図-15参照)。逆に阪神港では大型船寄港便数は料金低下にもかかわらず最大で約20%減少する。しかし、小型船寄港便数は最大で50%増加することがわかる(図-16,17参照)。これは港湾料金の低下、特に荷役料金の引き下げにより、通過貨物として大型船で取り扱うよりも、入港料金の安価な小型船を投入し、小型船-大型船間のトランシップ貨物として取り扱う方が船社にとってよりコストが削減されることになったためであると考えられる。

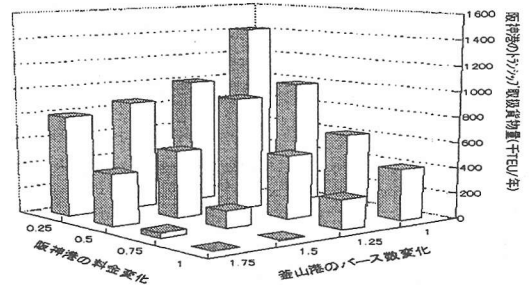


図-12 阪神港におけるトランシップ貨物量の変化

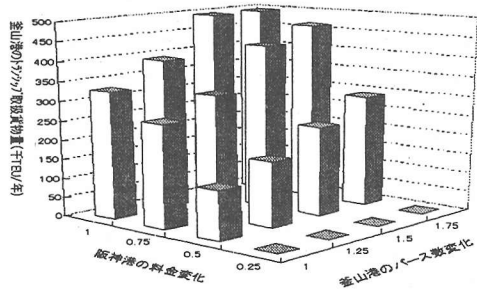


図-13 釜山港におけるトランシップ貨物量の変化

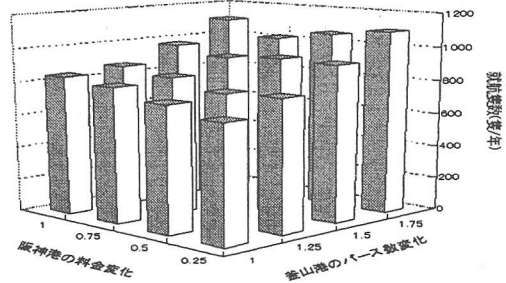


図-14 釜山港における大型船舶寄港数の変化

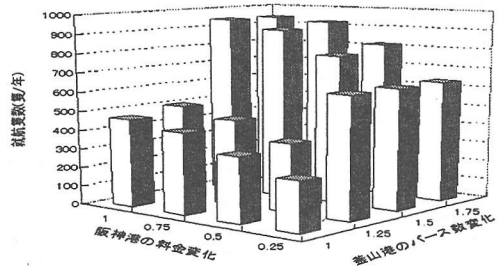


図-15 釜山港における小型船舶寄港数の変化

以上の料金政策はたして阪神港にとって有利に働くかどうかは重要な関心事である。そこで、阪神港における収入の変化を見てみよう。

図-18 はここで検討してきた釜山港の港湾容量拡張と阪神港の料金引き下げによる収入の変化を比較したものである。図の中央部が現状である。図よりも、釜山港が港湾容量を拡張することにより、阪神港の収益は一貫して減少することがわかる。しかし、阪神港における料金引き下げによる収益の減少ほどには極端に減少しないことがわかる。これは料金引き下げを行った場合、トランシップ貨物が増加するものの、背後圏から仕出し・仕入れ貨物の荷役費用も同時に引き下げられることになる。この貨物の影響の方が、トランシップ貨物増加による増収よりもはるかに大きいことを示すものである。このことから、釜山港の拡張により寄港便数が減少しても、現在の料金水準を維持する方が、港湾経営上好ましいと言える。

以上の結果をまとめると、次のようになる。

- 1) 互いに競合関係にある2港がある場合、船社は荷役料金・港湾料金が相対的に高い港湾では大型船投入による通過型輸送を行い、相対的に低い港湾では小型船の大量投入によるトランシップ型輸送を行う傾向にある。また、大型船投入による通過型輸送が主として行われる港湾では、就航便数は減少する傾向にある。これは競合関係が3港以上の港湾で構成される場合も拡張可能である。
- 2) 港湾の収益性から考えれば、阪神港での料金引き下げは、トランシップ貨物量を増加させるものの、大型船の就航数を大幅に減少させる影響が大きく、採算性は悪化すると考えられる。

## 5. おわりに

本稿は、規制緩和が進行する国際海上コンテナ輸送市場を対象として、船社・荷主それぞれの行動を考慮した市場モデルの構築を行った。そして、アジア-太平洋航路を対象として、国際海上コンテナ輸送市場の構造分析を行い、我が国の主要港湾が今後取るべき方策について検討を加えた。主な成果は以下の通りである。

- 1) 国際海上物流を対象として、船社・荷主双方の行動を考慮した競争市場型モデルを構築し、アジア-太平洋外貿コンテナ貨物輸送市場に適用した。
- 2) 本稿で提案したモデルを適用した結果、アジア主要港湾の港湾容量拡張は、拡張された港湾への寄港パターンのみならず、他の諸港への寄港パターンへも大きく影響を及ぼし、全体的には総投入隻数は減少することがわかった。これは「小型船の減便 → 大型船の積載率上昇による通過貨物の増加 → トラン

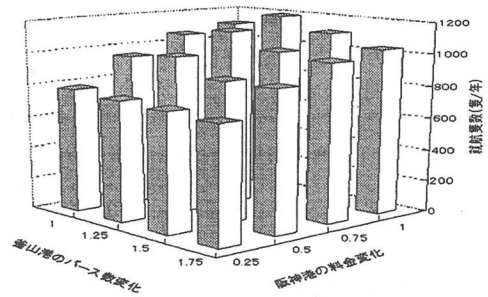


図-16 阪神港における大型船舶寄港数の変化

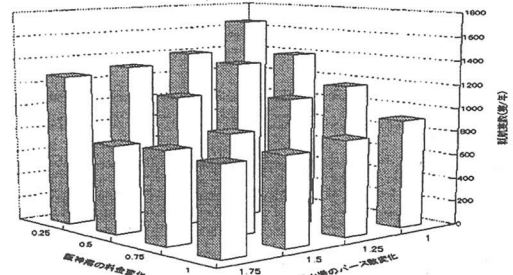


図-17 阪神港における小型船舶寄港数の変化

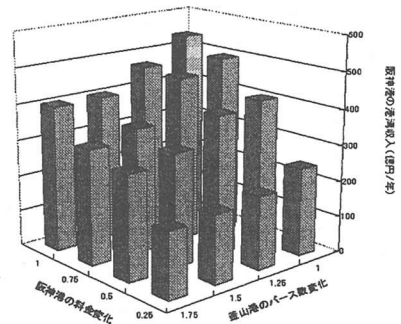


図-18 阪神港における港湾収入の変化

シップ貨物を多く積載する大型船の減少 → 小型船の減少」というフィードバック機能が作用しているためであると考えられる。

- 3) 阪神港の港湾整備は特に北米航路における運賃の低下をもたらす効果のあることがわかった。これは我が国の港湾および釜山港が北米方面の最終寄港地となることによって、港湾における規模および密度の経済性が仕出し港選択に直接影響を与えるためであると考えられる。

- 4) 港湾料金の引き下げを行った場合、特に荷役費用の引き下げは寄港便数・トランシップ貨物の増加への効果大きい。しかし、大型船の寄港便数は減少し、小型船の寄港便数が増大する傾向にある。
- 5) 各港の非協調型の拡大競争は必ずしも運賃を低下させることにはつながらず、何らかの国際調整の必要性を示唆している。これは Graham<sup>7)</sup>の「船社間の過度の競争は必ずしも荷主全体の利益にはつながらない」との指摘と類似している。

なお、本稿において得られた結論は4.でも述べたとおり、船社が独占競争的に行動し、なおかつ船舶の投入総数に制限がない状態でのものである点に留意する必要がある。このため、より一般的な結論を得るためには投入隻数の制限を設ける必要がある。また、本稿では港湾整備による港湾利用における最適課金を検討してはいない。このため、本稿で設定している料金体系が将来的に安定しているという保証はない。しかし、港湾など、ノード部におけるインフラ整備は輸送ネットワークをドラスティックに変化させる可能性があり、さらに規模の経済性・距離の経済性が働くため、アジア諸国、とりわけ極東部における港湾整備への投資の有効性が極めて短期に限定される可能性がある。我が国の、そしてアジア経済全体を考えた場合、整備効果が長期的に安定していることが必要であり、こういった側面で今後の国家間の開発協力等を見直す必要がある。

また、本稿で提案したモデルは、O.D.貨物量に変化しないとしており、港湾整備が長期的に各国の経済構造に与える影響を捨象している。経済構造の変化を考慮した長期的な経済成長モデルと結合したモデルを開発する必要があり、これに関しては今後の課題としたい。さらに今後投入が本格化するポストパナマックス級コンテナ船を取り扱った分析は現在継続的に行っており、機会を改めて発表することとしたい。

#### 参考文献

- 1) 運輸省編：平成10年度版運輸白書，1998。
- 2) Osman, M.A. and Inamura, H. : Port Choice Selection Based on Cargo Physical Distribution (Containerization) For Export Promotion, Jour. of EASTS, Vol.2, No.2, 127-139, 1997.
- 3) Imai, A. and Papadimitriou, S. : Port Choice for Hubs in the Container Liner Networks of Eastern Asia, Proc. of the 1st JSPS-NUS Seminar on Integrated Engineering, 115-124, 1996.
- 4) 黒田勝彦, 楊賛, 竹林幹雄 : フィーダーサービスによるコンテナ貨物流動分析, 土木計画学研究・論文集, No.14, 551-558, 1997.
- 5) 家田仁, 柴崎隆一, 内藤智樹, 三島大輔 : アジア圏コンテナ流動モデルの構築とその配分仮説に応じた特性分析, 土木計画学研究・論文集, No.15, 469-480, 1998.
- 6) 家田仁, 内藤智樹, 柴崎隆一 : 日本国内輸送も組み込んだアジア圏国際コンテナ貨物流動モデル, 土木計画学研究・講演集, No.21(2), 717-720, 1998.
- 7) Graham, M.G. : Stability and Competition in Intermodal Container Shipping, Maritime Policy and Management, Vol.25, No.2, 129-147, 1998.
- 8) 臼井重人, 稲村肇 : 国際コンテナ貨物の海上輸送コストと運賃の推計, 土木計画学研究・講演集, No.19(2), 195-198, 1996.
- 9) 運輸省港湾局 : 平成5年度全国輸出入貨物流動調査報告書, 1994.
- 10) さくら総合研究所 : アジア地域運輸基盤整備協力調査報告書, 1993.
- 11) オーシャンコマース : 国際輸送ハンドブック, 1994.
- 12) 交通日本社 : 貨物運賃と各種料金表, 1996.

(1999. 12.28 受付)

## DEVELOPMENT OF MODEL FOR FORECASTING INTERNATIONAL CONTAINER CARGO FLOW AND ITS APPLICATION TO MAJOR ASIAN-PACIFIC SERVICE ROUTES

Katsuhiko KURODA, Mikio TAKEBAYASHI, Masahiro MUTO,  
Takefumi OKUBO and Toshiaki TSUJI

The present paper aims to analyze the market structure of Asian-Pacific container cargo flow. First, it is regarded that the market is consisted by two different types of economic subject; the linership companies as the carriers and the shippers as the users. Each subject's behavior is formulated. Second, it is shown that the equilibrium vessel frequency and the container cargo flow are obtained as the Nash type equilibrium solution. And the equilibrium conditions are shown. Third, the model is applied to the real Asian-Pacific container cargo transportation network, and the structural features of the Asian-Pacific container cargo transport network are understood.