

アジア太平洋航路を対象とした外貿コンテナ貨物輸送モデルの構築 A Simulation Model of The International Container Cargo Transport Demand in Asian-Pacific Liner Ship Network

黒田勝彦*, 竹林幹雄**, 武藤雅浩***, 大久保岳史***, 辻 俊昭****

By Katsuhiko KURODA*, Mikio TAKEBAYASHI**, Masahiro MUTO***, Takefumi OKUBO*** and Toshiaki TUJI****

1. はじめに

近年, 近隣アジア諸国の主要港や我が国において, ポストパナマックス型と呼ばれる超大型船に対応した大水深バースの整備が積極的に進められている。しかし, 我が国においては海外諸港湾と比べ大水深バースの整備は大幅に立ち遅れている

このような状況の中で, 国際コンテナ輸送に関する既往の研究¹⁾では, 大水深バースの整備によるフローへの影響を分析している例はない。そこで本研究では, 今後さらに進展するであろう船型の大型化に対応するための理論モデルを構築する。さらに実証分析を通して, 我が国の港湾が国際港湾としての競争力を維持, 強化していくための港湾政策について検討を加える。

2. 国際コンテナ流動予測モデルの構築

本研究で仮定する市場には船社と荷主が存在し, 両者間の均衡を対象としてネットワークモデルを構築した。図1のように両者はそれぞれ独自のネットワークを持ち, 荷主は仕出・仕入港湾を選択

し, 船社は海上輸送経路を決定する。船社の海上輸送市場においては完全競争市場を仮定することで, 運賃を内生化した。さらには, 船型を考慮することによる規模の経済, 及び過度の集中による不経済を取り入れた。

(1) 荷主の行動モデル

荷主は, 物流コストの最小化を目的として港湾を自由に選択することができる。しかし, 選択した経路の運賃については価格享受者(price-taker)であり, 運賃に対して影響力を持たない。また, 荷主同士や船社との提携は考えていない。このような仮定の下では利用者均衡が成立する。荷主は一般化費用最小化を目的として行動する。以下の目的関数, 制約条件の下で利用者均衡配分を行う。

$$\text{Min} C_k = \sum_i \delta_{k,i} C_i = \sum_i \delta_{k,i} (F_i + TV \cdot T_i) \cdot \{1 + \xi(x_i)\} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{k \in K_u} g_k = O_u \quad \forall u \quad (2)$$

$$x_i = \sum_{u \in U} \sum_{k \in K_u} \delta_{k,i} g_k \quad \forall i \quad (3)$$

$$g_k \geq 0 \quad \forall k \in K_u, u \in U \quad (4)$$

ここで,

TV : 貨物の時間価値 (万円/時) F_i : リンク i の運賃 (万円/TEU) T_i : リンク i の輸送時間 (時)
 x_i : リンク i の貨物量 (TEU/年) C_k : 経路 k の一般化費用 (万円/TEU) C_i : リンク i の一般化費用 (万円/TEU) $\delta_{k,i}$: 経路 k にリンク i が含まれるとき 1, そうでないとき 0

リンク混雑コスト関数とは, 貨物量がリンク容量に近づくにつれてコストが増加することを表す。コストが増加する要因として, 予定している便を

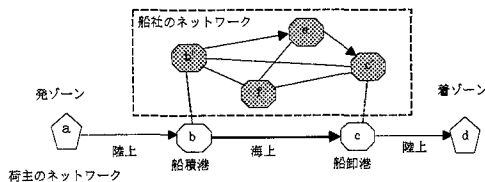


図1 船社と荷主のネットワーク

Key Words 港湾計画, 物資流動

*フェロー会員 神戸大学工学部建設学科

(神戸市灘区六甲台町 1-1; TEL 078-803-6017)

**正会員 神戸大学工学部建設学科

***学生員 神戸大学大学院自然科学研究科

****正会員 (株) 野村総合研究所

利用できなくなる等の規模の不経済の存在が考えられるが、本研究では以下のようにした。

$\xi(x_i)$: リンク混雑コスト関数

$$\xi(x_i) = \alpha^1 \left(\frac{x_i}{VL_i} \right)^{\beta^1} \quad (5)$$

α^1, β^1 : パラメータ VL_i : リンク i での船社が供給する輸送能力(TEU/年) g_k : 経路貨物量(TEU/年) O_u : OD ペア u の貨物量(TEU/年)

(2)船社の行動モデル

船社は、荷主と同様に一般化費用の最小化を目的として行動し、目的港までの経路を自由に選択できる。つまり、荷主の配分結果である港湾間 OD を船社のネットワークにおいて最短経路に配分し、貨物を配分した後に最適便数を決定する。また、ここでは船社同士や荷主との提携は考えていない。以上より、以下のように船社の定式化を行った。

$$\text{Min} C_l = \sum_j \varepsilon_{i,j} C_j + \sum_p \eta_{l,p} \cdot a_{l,p} \cdot C_p \quad (6)$$

航行リンクコスト

$$C_j = \frac{f_j \cdot (MFO_j + CA_j) + PC_j}{y_j} \cdot \psi(z_p) \quad (7)$$

港湾ノードコスト

$$C = HC \quad (8)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{l \in L_v} h_l = Q_v \quad \forall v \in V \quad (9)$$

$$y_i = \sum_{v \in V, l \in L_v} \varepsilon_{i,j} \cdot h_l \quad \forall j \quad (10)$$

$$h_l \geq 0 \quad \forall l \in L_v, v \in V \quad (11)$$

ここで、

C_l : 経路 l の一般化費用 (万円/TEU)

C_j : 航行リンクコスト (万円/TEU) $\varepsilon_{i,j}$: 経路 l がリンク j を使用しているとき 1, そうでないとき 0 C_p : 港湾ノードコスト (万円/TEU) $\eta_{l,p}$: 経路 l が港湾 p を使用しているとき 1, そうでないとき 0 $a_{l,p}$: 経路 l において港湾 p が仕出・船卸港のとき 1, 通過港のとき 0 y_j : リンク j の貨物量 (TEU/年) f_j : リンク j の運行便数 (便/年) MFO_j : リンク j に就航する船の航行時燃料費 (万円/時) CA_j : リンク j に

就航する船の船費 (万円/時) T_j : リンク j の航行時間 PC_j : リンク j に就航する船の到着港湾における港費 (万円/便) z_p : 港湾 p の取扱貨物量(TEU/年) HC_p : 港湾 p の荷役料金 (万円/TEU) ν : 港湾間 OD ペアのインデックス Q_ν : 港湾間 OD ペア ν の貨物量(TEU) l : 経路のインデックス L_ν : OD ペア ν の利用可能経路集合 h_l : 経路 l の貨物量(TEU) y_j : リンク j の貨物量(TEU)

港湾混雑関数とは入港する港湾に空きバースの余裕がない場合に、沖合で入港待ちが生じるなどの追加的費用を表す。

$\Psi(z_p)$: 港湾混雑関数

$$\psi(z_p) = \alpha^2 \left(\frac{z_p}{VP_p} \right)^{\beta^2} \quad (12)$$

α^2, β^2 : パラメータ

VP_p : 港湾 p の港湾容量(TEU/年)

式(6)から分かるように、燃料費、船費、港費は、船舶にかかる費用（以下、固定費とする）のため、コンテナ貨物に対しては不連続な費用になる。そこで、固定費を連続な費用として扱うために、以下のように二段階に分けて計算を行った。
STEP1) 与えられた港湾間 OD について TEU あたりの固定費を与件として、OD ごとに費用が最小となるようにコンテナを配分し、リンク貨物量を求める。
STEP2) STEP1 で求められたリンク貨物量について最適な便数を決定し、その便数に応じた固定費をリンクフローで除することで TEU あたりの固定費に換算する。

(3)均衡海上運賃

船社については、自由に参入、退出が可能であることより、海上運賃は市場における船社と荷主の均衡により成立する。このような状態では海上運賃はコンテナ 1 個を輸送するのに必要とされる費用と等しくなる。

$$F_v = \frac{\kappa_{v,l} C_l}{Q_v} \quad (13)$$

ここで、 F_v : 海上運賃 (万円/TEU) $\kappa_{v,l}$: 船

社の OD ペアが船社の経路 1 を利用しているとき
1, そうでないとき 0

3. ケーススタディ

対象航路を、アジア内航路、欧州航路、北米航路とし、ゾーンは国内を各都道府県、海外は韓国、華北、華中、華南、香港・台湾、シンガポール、欧州、北米とし、港湾は京浜、名古屋、阪神、関門、釜山、上海、香港・台湾、シンガポール、欧州、北米と設定した。

まず、1000TEU の中型船と 3000TEU の大型船の 2 船型を設定し、現状再現性の検討を行い、荷主リンク貨物量の現状推定値と計算結果の相関係数は 0.974 という非常に精緻な結果を得た。次に、Case1 において 6000TEU の超大型船に対応する大水深バースが阪神港、香港港、シンガポール港に整備されたときについて、Case2 においては Case1 に加え釜山港も整備されたときについてシミュレーションを行った。

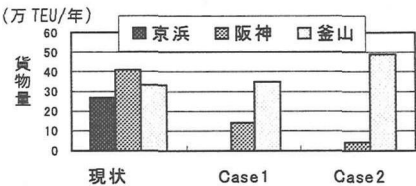


図-2 トランシップ貨物量の比較

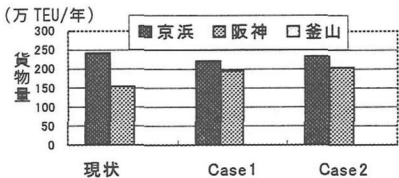


図-3 通過貨物量の比較

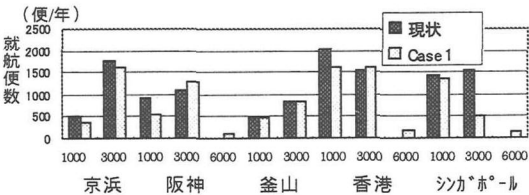


図-4 各港湾船型別就航便数(1)

Case1 を現状再現結果と比較し、検討する。図-2、図-3 より、大水深バースを整備することにより、阪神港のトランシップ貨物は減少し、通過貨物は増加することが分かる。これは、船型が大型化することにより、アジア内航路においても 3000TEU の大型船もしくは 6000TEU の超大型船が就航するようになり、トランシップ貨物が通過貨物に転換されたものと考えられる。また、図-4 から、大水深バースが整備された港湾は、1000TEU の中型船が減少しており、大型化している傾向が分かる。ここで、本研究においては、トランシップ貨物および通過貨物の算出方法は、以下のように定義した。

- ・トランシップ貨物：ある中継港において前後のリンクの船型が異なる貨物
- ・通過貨物：ある中継港において前後のリンクの船型が同じである貨物

釜山港においては、他港湾で大水深バースが整備されることによる影響は少なく、いずれの船型においてもほとんど変化は見られない。釜山港の潜在的需要の多さを伺わせる結果となった。

京浜港においては、阪神港に大水深バースが整備された結果、阪神港に配船が集中し、国内での港湾間競争が激化し、いずれの船型においても就航便数が減少することが分かる。

シンガポール港においては、中型船、大型船共に減少しており、特に大型船が激減している。これは、香港港が大型船と超大型船のみ就航できる北米航路と欧州航路のいずれにも直行することが可能であり、より規模の経済が働き香港港に配船が集中したため、シンガポール港への寄港が減少したと考えられる。

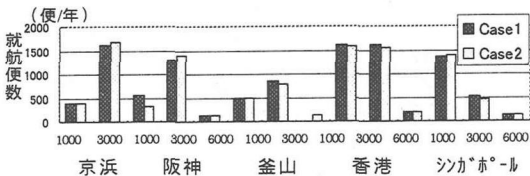


図-5 各港湾船型別就航便数(2)

次に、Case2 を Case1 と比較し、検討する。図

-5 より、香港港、シンガポール港では、釜山に大水深バースが整備されることによる影響はほとんど見られない。しかし、阪神港、釜山港においては変化が見てとれる。また、図-2 より阪神港におけるトランシップ貨物は減少し、釜山港においては増加するという結果が得られた。これは、釜山港での貨物がより大型の船にシフトすることにより中型船の容量に余裕ができ、中型船のみが就航する上海港の貨物を獲得した結果、トランシップ貨物が増加したと考えられる。一方、阪神港においては上海港からの貨物を釜山港に奪われることによりトランシップ貨物が減少したと考えられる。また、就航船型の大型化はトランシップ貨物の減少を招くが、釜山港においては荷役料金が非常に安価なため、大型化に関わらず、一定以上のトランシップ貨物が確保できるものと考えられる。

以上より、阪神港は釜山港のバースが整備されることによる影響を受けやすいものと考えられる。そこで、釜山港のバースが整備されたとき、阪神港の港湾諸料金を引き下げることによって、阪神港、釜山港のトランシップ貨物がどのように変化するかを検討する。図-6,7 より、釜山港のバースが整備されるにつれて、阪神港のトランシップ貨物量は減少することがわかる。一方、釜山港のバース整備に対応する形で阪神港の港湾料金を引き下げた場合、トランシップ貨物は釜山港では減少し、阪神港では増加することがわかる。これにより阪神港と釜山港はトレードオフの関係にあると考えられる。

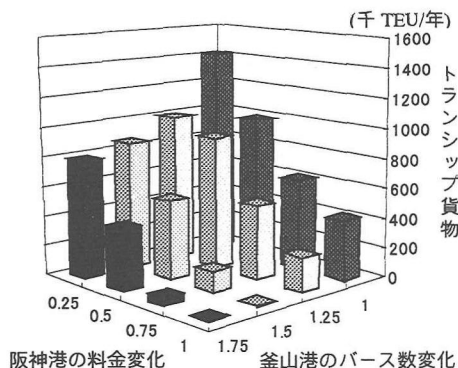


図-6 阪神港のトランシップ貨物量変化

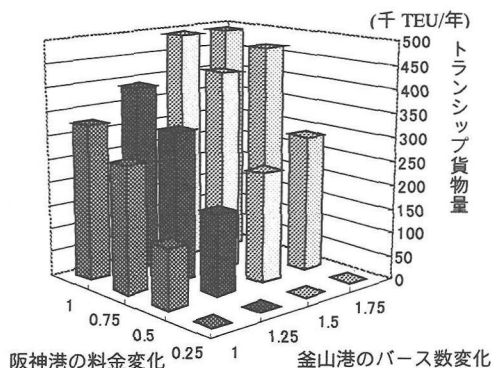


図-7 釜山港のトランシップ貨物量変化

4. おわりに

本研究において、大水深バースが整備されることにより、いずれの港湾も船型の大型化が進展するが、直行便が増加することによりトランシップ貨物は減少する。そのため、船社、荷主のコスト削減効果は期待できるが、港湾関連産業（荷役業者等）においては、損失を被ると考えられる。また、阪神港は海外諸港湾、特に釜山港のバースが整備されることによる影響を受けやすい。そこで、阪神港がトランシップ貨物を獲得するためには港湾諸料金の引き下げが有効であると考えられる。

今後は、フォワーダーの集荷行動や船社の参入・退出コスト、港湾の整備・運営政策の変更に伴う貨物の流れの変化を組み込む方針である。

【参考文献】

- 1) Katsuhiko KURODA, Zan YANG: Port Management Policy And The Influence On Behavior Of Liner Shipping Company And Shippers, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Port, Airport, & Railway, pp.73-86, 1997
- 2) 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), pp.195-198, 1996.11