

ネットワーク均衡分析に基づく航路サービス確保における港湾運営主体の役割に関する考察

木俣 順¹・竹林 幹雄²

¹正会員 中央復建コンサルタンツ株式会社 総合技術本部 (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4-11-10)

E-mail:kimata_j@cfk.co.jp

²正会員 神戸大学大学院教授 海事科学研究科 (〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

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

本稿では、航路サービス確保における港湾運営主体の役割についてネットワーク均衡分析による評価を試みる。ユニットロードを扱う港湾は定期航路が就航しなければ機能しない。そのため、港湾を機能させるためには、施設を整備するだけでなく、航路を誘致・維持することが必要である。

そこで本稿では、西日本発着ホーチミン港向けコンテナ貨物を対象にbi-levelモデル型のネットワーク均衡分析を適用し、阪神港-ホーチミン港間に国際RORO船航路を確立するための集貨、創貨、他港連携施策についてシミュレーションを行い、港湾運営主体の採るべき施策と荷主効用からみた施策の妥当性について考察を試みる。

Key Words : *regular route service, port authority, network equilibrium approach ,shipper's utility*

1. はじめに

交通インフラのうち道路や鉄道は、施設を整備すれば利用者は時間短縮効果、費用縮減効果などの便益を享受できる。これはこれらの施設整備が“リンク”の整備であるからである。一方、港湾や空港は、施設だけを整備してもその整備効果は発現しない。なぜならこれらの施設はターミナルであり、“ノード”の整備に過ぎないからである。

港湾物流、特にコンテナ等ユニットロード輸送では、定期航路が“リンク”の役割を担っている。交通ネットワークにおけるリンクのサービス水準 (LOS : level of service) は、一般的に所要時間、費用、頻度の3要素で表現される。道路の場合は、施設を整備すればその所要時間、走行費用は物理的に確定する (任意利用可能なため頻度はフリー)。鉄道の場合の所要時間、運賃、頻度は、列車の運行計画によるがこれは整備主体が計画することが多いため、施設整備とそのLOSは一体的であると言える。しかし、港湾の場合、その港湾への寄港 (リンクの形成)、輸送先港湾までの所要時間、運賃、寄港頻度は、定期航路運航船社が決めるものであり、施設を整備する港湾管理者等の港湾運営主体が決めることはできない。リンクが形成されてはじめて交通インフラとして機能することを考えると、港湾物流においては、施設整備だけ

でなく定期航路を就航させることまでが港湾運営主体の重要な役割と言える。

一般的に、船社は一定量の貨物需要があればその港湾に定期航路を設定するとされている。しかし、荷主は、航路がなければその港湾を利用しないため、施設整備段階では需要は顕在化していない。よって船社はその港湾に寄港しないという、いわゆる“航路が先か、貨物が先か”という因果性のジレンマが存在する。

そのため、まずは定期航路の確保をするために港湾運営主体である港湾管理者等は、様々な取組みを展開している。例えば、船社・荷主双方に自港利用を宣伝する“ポートセールス”活動や船社の寄港負担を軽減する港湾諸費用の減免、港湾・航路利用インセンティブとして荷主への補助金付与などが行われている。しかし、減免や補助金は財政上の限界がある。また、著者らの既往研究¹⁾では、補助金は施策目的外の国内他港との競合をもたらすことや得られる便益が補助金額を上回らない可能性があることがわかっている。

これらを踏まえ著者らは、定期航路サービスの確保のために港湾運営主体が採るべき施策は、船社への自港背後圏貨物の保証 (集貨) と背後圏の涵養 (創貨)、そして他港との連携であると考えている。

そこで本稿では、阪神港-ホーチミン港間国際RORO船航路の成否をモデルケースとして、bi-levelモデル型の

ネットワーク均衡分析を適用し、港湾運営主体の採るべき施策について考察を試みる。

2. 研究の方法

前述のように、海上定期航路のLOSは港湾を介した船社と荷主との関係で決まるものである。著者らはこのような問題に対してbi-levelモデル型のネットワーク均衡分析の適用を提案しており、本稿でもこれを適用する。

本稿でシミュレーションの対象とする定期航路サービスは、著者らの先行研究²⁾で検討した阪神港-ホーチミン港間国際RORO船航路とする。国際RORO船航路はコンテナ船航路と比較して、速達性に優れているが、運賃が高く、運航経費も高いため、先行研究において現状の荷主の時間選好下では成立しないことがわかっている。そこで本稿では、この航路の成否を評価のメルクマールとし、阪神港港湾運営主体の採るべき施策についてネットワーク均衡分析を適用して検討する。

まず、集貨施策を評価するために、先行研究のネットワークモデルを阪神港の直背後圏である兵庫県発着のコンテナ貨物の一部の取り扱いを国際RORO船運航船社に保証したモデルに改良して、保証貨物量に対する感度分析を行い、航路成立条件について分析する。また、創貨施策として、直背後にホーチミン港向け貨物を産する産業を誘致することを想定し、その創貨貨物量についても同様の感度分析を行う。

一方、対象航路は速達性重視のため他港に寄らない2港間直航航路を想定しているが、船腹238TEUを阪神港1港の集貨・創貨だけで充足することは限界があると考えられる。そこで、他港との連携として現在ホーチミン港へのダイレクト航路がない広島港との連携、具体的には広島港港湾運営主体に若干の保証貨物量を提供してもらう代わりにRORO船航路を寄港させることを想定し、所要時間増と航路成立性についてトレードオフ分析を行う。

航路成立のメルクマールとしては、先行研究同様ウィークリーサービス（4便/月）の成立とロードファクターとする。また、船社に対する航路利用の保証は荷主の自由度を下げることもなるため、施策の有無による各荷主効用の変化を計測することにより、全体の輸送効率向上からみて一部荷主の効用低下が許容できるかのバランスから施策の妥当性について考察を行う。

3. モデル

(1) モデルの概要

本稿で適用するbi-levelモデルの特徴は基本的にリンク

ベースの輸送ネットワーク構成問題になっている点である。海上輸送における実際のコンテナ船航路はループ構造であるが、貨物自体は2地点間を移動していると考えれば、構造的に等価なものと置き換えることが可能である。以下にその概要を述べる。

a) 船社

船社は互いに競争状態にあり、自社の利潤の最大化を目的として、輸送能力を調整するものとする。ここでは、港湾間の運賃と投入船型を所与とし、輸送頻度のみを制御変数と仮定している。

船社 n が運航するリンクを l^n 、ODを rs (r : 発地, s : 着地), リンクの輸送頻度と投入船型を f_l^n , v_l^n , その運賃と運航費用を p_l^n , C_l^n とすると、船社 n の利潤最大化問題は以下のように定式化できる。

$$\max_{f_l^n} : \pi^n = \sum_{l^n} (p_l^n \sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_l^{rsk} - f_l^n C_l^n) \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_l^{rsk} \leq v_l^n f_l^n, \text{ for } \forall l^n \quad (2)$$

$$f_l^n \geq 0, \text{ for } \forall l^n \quad (3)$$

$$x_k^{rs} = \arg \min \{ \Gamma(\mathbf{x}), \text{ subject to constraints} \} \quad (4)$$

ここで、 x_k^{rs} は rs OD市場において第 k 番目経路で輸送される貨物量、 δ_l^{rsk} は rs OD市場において第 k 番目経路でリンク l^n が利用される場合は1、それ以外はゼロをとる2値変数である。式(1)は目的関数、式(2)は各リンクの輸送容量制約、式(3)は輸送頻度の非負条件、式(4)は経路貨物量の平衡制約である。

b) 荷主

荷主は貨物ごとに独立して存在するものとする。荷主は自己の一般化費用を最小化するように行動する。ただし、輸送上の容量制約が存在するため、貨物フローには均衡状態が存在するものとする。先行研究²⁾に倣い、荷主の経路選択効能においては確率的利用者均衡状態を仮定する。

リンクフロー x_l^n については、

$$\sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_l^{rsk} = x_l^n$$

が成立するため、確率的利用者均衡問題を等価な最適化問題として構成すると、次のようになる^{10,11)}。

$$\min_{x_k^{rs}} : \Gamma = \frac{1}{\theta} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} (\ln x_k^{rs} - 1) + \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} u_k^{rs} x_k^{rs} \quad (5)$$

Subject to:

$$\sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} = X^{rs}, \forall rs \in \Omega \quad (6)$$

$$x_{l^n} = \sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_{l^n}^{rsk} \leq v_{l^n} f_{l^n}, \forall l^n \in I^n, n \in N \quad (7)$$

$$x_k^{rs} \geq 0, \text{ for } \forall k \in K^{rs} \text{ and } rs \in \Omega \quad (8)$$

ここで、 θ は分散パラメータ（1として推定）， u_k^{rs} は rs OD市場における第 k 番目経路の一般化費用， X^{rs} はODフロー， Ω はODペアの集合， K^{rs} は経路集合， I^n はリンク集合， N は船社集合である．式(5)は目的関数，式(6)はODフロー保存則，式(6)は各リンクの輸送容量制約，式(8)は経路フローの非負条件である．なお，船社における容量制約は荷主が混雑に対して能動的な経路選択を行うものと考えれば，船社側の制約は荷主側の最適行動で自動的に満たされることとなる．

c) 港湾

港湾は分析の構造上，能動的なプレーヤーとしては設定しない．評価関数のみ設定する．港湾 h におけるポートチャージ ρ_h^c ，ハンドリング費用 ρ_h^s は，それぞれ船社の運航費用 C_{ln} と荷主の一般化費用 u_k^{rs} に反映される．

d) 国内輸送

各荷主に対して貨物の発着地と国内港湾間の接続の有無，運賃，所要時間を設定する．

e) 代替経路

荷主の行動モデルにおいて任意の条件で均衡を得るためには，サービスレベルに対して貨物フローが弾力的である必要がある．需要に弾力性があるとする場合，一般的には“輸送しない”という選択肢を設定する．しかし，本稿の数値計算では既往研究^{3) 4)}に従い，貨物の発着地間に“輸送しない”という選択肢の代わりに代替経路を設定する．この構造により，対象ネットワークでのサービスレベルが低下すれば代替経路の貨物フローが増加し，対象ネットワークで輸送される貨物量そのものが減少する．このような代替経路の設定により，ネットワークのサービスレベルに応じた需要の弾力性を表現する．

(2) モデルの設定と現況再現性

対象とする輸送市場は，西日本一ホーチミン港間のコンテナ貨物である．輸送ネットワークは，ホーチミン港へのダイレクト航路を有する**阪神港**，**水島港**，**北部九州港**，**釜山港**経由でトランジット輸送実績がある**広島港**，**水島港・広島港・北部九州港**とホーチミン港の中継（トランシップ）実績がある**釜山港**，**阪神港・北部九州港**とホーチミン港の中継実績がある**高雄港**と相手港である**ホーチミン港**の7港から構成する．

船社は，邦船系，韓国・中国系，台湾・香港系，ASEAN系，欧米系の5社を設定し，互いに競争する．

国内輸送リンクの諸条件は，国土交通省の総合交通分析システム（NITAS），海上輸送リンクについては，国際輸送ハンドブック，ODフローは，平成25年度全国

輸出入コンテナ貨物流動調査等を用いて設定する．また，導入するRORO船航路の諸条件については現在日本に寄港している最速の国際RORO船を参考に設定する．

国際RORO船航路を組み込む前の現状のコンテナ船ネットワークを用いた再現計算によると，寄港頻度の R^2 値は0.836，航路貨物量の R^2 値は0.985で一定の再現性を有するモデルとなっている．

それぞれの設定や，現況再現性の詳細については先行研究^{2) 5)}を参照されたい．

また，船社への保証貨物量の分析を行うため，図-1に示すように阪神港直背後圏の兵庫県の一部，広島港直背後圏の広島県の一部を切り出してRORO航路とのみリンクするようなネットワークモデルとしている．

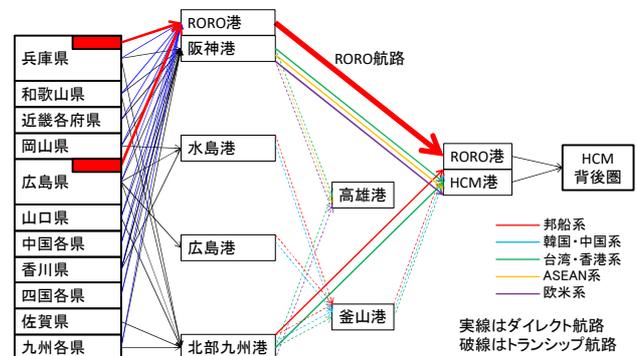


図-1 構築したネットワークモデル

4. 数値計算結果（概要）

本稿では，紙面の都合上，以下の3つの施策についての数値計算結果について示す．

施策①：現状の兵庫県一ホーチミン港貨物（輸出：1,589TEU/月）の一部に対し，港湾運営主体が国際RORO船航路への集貨活動を行い，国際RORO船運航船社に保証貨物量を提供する．

施策②：港湾運営主体の創貨活動として兵庫県下にホーチミン港貨物を産する産業を誘致して，現状の兵庫県一ホーチミン港貨物に創貨物量を追加する（港湾・航路選択は荷主の自由）．

施策③：施策②の創貨活動を行う際に国際RORO船航路利用を指定して産業誘致を行い，国際RORO船運航船社に創貨物量を保証貨物として提供する．

まず，表-1に対象国際RORO船航路の利用貨物量（輸出）の推計結果を示す．ベースとして示している貨物量は，国際RORO船航路を導入していない現況再現計算結果である．これを見ると集貨/創貨貨物量が増えれば対

象国際RORO船航路利用も増えるが、いずれの施策ケースもその貨物量はベース貨物量と集貨/創貨貨物量の和以下である。これは集貨/創貨により貨物が増えると競合コンテナ船航路も貨物を獲得しようとサービス水準（寄港頻度）を上げるため、元々RORO船航路を利用していた貨物が他港・他航路（トランシップ航路）に流出する可能性があることを示している。

また、施策②は他の施策と比較して施策インパクトに対する反応が著しく緩慢である。これはホーチミン港向け貨物を有する産業を直背後に誘致しても荷主の選好と合致しなければ他港・他航路に流出することを示している。つまり、創貨活動を行う際には、対象航路の特性との整合を念頭に産業誘致しなければ有効な施策とならないことを示唆していると考えられる。

表-1 国際RORO船航路の利用貨物量（輸出）の推計結果

単位: TEU/月			
集貨/創貨量	施策①	施策②	施策③
ベース	369	369	369
100TEU	418	316	384
200TEU	448	329	472
300TEU	515	332	546
400TEU	617	349	636

次に施策の評価指標である対象国際RORO船航路の運航頻度とロードファクターの推計結果を表-2、表-3に示す。表-2によると今回の計算ケース内でウイークリーサービス（4便/月）が成立するケースは、施策③の創貨貨物量が400TEU/月の時、つまり阪神港-ホーチミン港間国際RORO船航路利用を確約する月産400TEUの貨物を産する産業誘致ができた場合のみである。現状の兵庫県内のホーチミン港向け総貨物量は前述の通り1,589TEU/月であり400TEU/月の創貨はかなりハードルが高い誘致目標であると言える。また、表-2によるとこのケースにおけるロードファクターは0.7を下回っており、船社の経営安定性を考えると、更なる方策が必要と言える。

表-2 国際RORO船航路の運航頻度の推計結果

単位: 便/月			
集貨/創貨量	施策①	施策②	施策③
ベース	2.4	2.4	2.4
100TEU	2.6	2.5	2.5
200TEU	2.7	2.6	3.0
300TEU	2.6	2.7	2.9
400TEU	3.3	3.0	4.0

表-2 国際RORO船航路のロードファクターの推計結果

集貨/創貨量	施策①	施策②	施策③
ベース	0.651	0.651	0.651
100TEU	0.677	0.541	0.637
200TEU	0.686	0.539	0.666
300TEU	0.830	0.514	0.794
400TEU	0.795	0.486	0.675

4. おわりに

本稿では、定期航路の確保に向けた港湾運営主体の施策を評価するために、bi-levelモデル型のネットワーク均衡モデルを適用したシミュレーションを行った。更なる方策としての広島港港湾運営主体との連携に関する数値計算結果や荷主効用の変化・分布からみた各施策の妥当性、これらを踏まえた港湾運営主体のあるべき役割の考察については発表時に紹介する。

謝辞：本研究の成果の一部は、（公社）日本港湾協会の港湾関係研究奨励助成金による助成を受けたものである。また、（一財）みなと総合研究財団の支援も受けている。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1) 木俣順, 竹林幹雄：北米輸出コンテナ貨物の海外トランシップによる荷主便益の計量に関する研究, 沿岸域学会誌, Vol.30 No.3, pp.67-78, 2017.
- 2) Kimata, J., Okamoto, T. and Takebayashi, M. :How to establish west Japan-ASEAN RORO ship route?: Based on network analysis, *Jonal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.13, pp.2278-2294, 2019.
- 3) Takebayashi, M. : Network competition and the difference in operating cost: Model analysis, *Transportation Research Part E*, Vol.57, pp.85-94, 2013.
- 4) Takebayashi, M. : Multiple Hub Network and High-speed Railway: Connectivity, Gateway, and Airport Leakage, *Transportation Research Part A*, Vol.79, pp.55-64, 2015.
- 5) 木俣順, 竹林幹雄：東南アジア航路の国内寄港地集約に関するネットワーク分析, 運輸政策研究, Vol.22, pp.6-19, 2020.

(? ? ? 受付)

STUDY ON THE ROLE OF PORT AUTHORITY IN ENSURING ROUTE SERVICE: BASED ON NETWORK ANALYSIS

Jun KIMATA and Mikio TAKEBAYASHI