

ネットワーク均衡分析に基づく 集荷施策の評価に関する基礎的研究

木俣 順¹・笹岡 大輔²・竹林 幹雄³

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非会員 中央復建コンサルタンツ株式会社 計画系部門 (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島4-11-10)
E-mail:sasaoka_d@cfk.co.jp

³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、我が国と北米間の直送航路の維持・拡大のための集荷施策の評価方法について検討する。集荷施策の代表例である荷主へのインセンティブ付与については、一定の効果があったとされているものの、荷主や船社の行動を反映した施策の定量的評価についてはかなり限定的なものにとどまっている。本稿では、荷主や船社へのインセンティブなどの集荷施策について、輸送ネットワークを通じて伝播する影響も含めて評価する手法として、Bi-levelモデル型のネットワーク均衡分析を採用し、大阪湾を対象として各種インセンティブ施策の有効性について検討した。

Key Words : container transport, inviting direct shipping cargos, network equilibrium approach

1. まえがき

1980年代、東アジアにおける北米コンテナ貨物のハブ港は神戸港であったが、2000年代に入りその機能は釜山港にシフトし、我が国も含む域内の貨物は、釜山港に集められ、釜山港で本船にトランシップされて北米に輸送されるようになった。

このような海外トランシップは、荷主の主として総輸送費用上の合理的な選択の結果として増大していったと考えられている。一方で、海外トランシップの増大は我が国経済・産業にとって長期的には好ましくない影響を与えるおそれがあるとの懸念から、国は2010年8月に東アジア主要港での海外トランシップ率の半減を短期的な目標とした「国際コンテナ戦略港湾政策」を打ち出している¹⁾。

国際コンテナ戦略港湾政策においては、様々な形での基幹航路の維持・拡大、すなわち直送の促進が計画されており、いくつかの港湾で実施されてきた荷主へのインセンティブ付与はその典型である。これらのインセンティブ施策は、一定の効果があったとされている。

また著者らも、先行研究²⁾において、我が国荷主の経路選択モデルを構築し、そのパラメータ推定による釜山

港トランシップの効用を貨幣タームで推計し、特に補助金付与による神戸港への集荷施策について費用便益分析を行った。その結果、釜山港トランシップの効用額はマイナス22万円/TEUであるがそれでも荷主は釜山港トランシップを選択していること、集荷補助金により神戸港からの直送貨物は増大するが釜山港トランシップには大きな影響を与えないこと、補助金施策による便益は施策に必要な費用を上回らない可能性があることを指摘した。

しかし、荷主へのインセンティブ施策が費用便益的に最善の策であったかどうかについては大いに検討の余地がある。例えば、船社に対する優遇措置との併用など、他の施策に対しても十分に検討する必要がある。しかしながら、我が国の港湾政策において、前述の施策に対する定量的評価はかなり限定的なものにとどまっており、特に輸送ネットワークを通じて伝播する影響については十分な検討がなされてきたとは言いがたい。

そこで本稿では、上記のような問題意識を鑑み、荷主へのインセンティブ他の施策が直送航路の維持・拡大に与える影響についてネットワーク均衡分析を通じて検討する。

2. 海外トランシップに関するこれまでの議論

(1) 釜山港トランシップに対するこれまでの議論

1980年代、神戸港は香港に比肩するアジア最大級のコンテナ港湾であり、アジアにおける北米貨物のゲートウェイ機能を担っていた。しかし、2000年代に入ると北米貨物のゲートウェイ機能は釜山港にシフトし、我が国も含む東アジア域内の貨物は、ハブ港湾である釜山港に集められて本船にトランシップされ、北米に輸送されるようになった。表-1に示すように、2008年の全国輸出入コンテナ貨物流動調査⁴⁾（以下「コンテナ流調」）によると、例えば九州地方北部で生産される北米向け輸出コンテナ貨物の86.5%が国内諸港から釜山港にフィーダー、北米本船にトランシップされており、かつては神戸港背後圏であった中国地方瀬戸内、九州地方南部でも半数以上の貨物が釜山港でトランシップされて北米に輸出されている。

表-1 北米向け輸出コンテナ貨物の経路構成（2008年）⁴⁾

	日本から直送		海外トランシップ	
	神戸港	他国内港	釜山港	他海外港
北海道	—	93.2%	5.3%	1.5%
東北太平洋側	—	94.0%	6.0%	—
東北日本海側	—	96.1%	3.9%	—
関東	1.5%	97.5%	0.3%	0.7%
甲信越	0.5%	77.5%	21.1%	0.9%
東海	0.4%	97.4%	0.1%	2.1%
近畿*	60.0%	37.2%	1.3%	1.5%
近畿日本海側	100.0%	—	—	—
中国日本海側	84.5%	2.3%	—	13.2%
中国瀬戸内	33.1%	9.9%	54.7%	2.3%
四国瀬戸内	75.5%	12.6%	8.6%	3.2%
四国太平洋側	81.1%	8.2%	10.7%	—
九州北部	4.0%	7.1%	86.5%	2.4%
九州南部	35.3%	6.2%	57.4%	1.1%
全国	15.1%	74.9%	8.4%	1.5%

※日本海側を除く近畿地方

荷主は釜山港トランシップを利用することにより、大量輸送システムであるハブ・アンド・スポーク輸送方式による経済的メリットを享受することができる。例えば、平成18年度港湾局関係予算概算要求概要には、2000年のデータとしてコンテナ取扱総料金について東京港を100とした場合、釜山港は64であること、2003年のデータとして瀬戸内から北米に輸出する際のフィーダー運賃について神戸港本船接続の場合は約9万円/FEUであるのに対し釜山港接続の場合は約6.5万円/FEUであることなど、釜山港トランシップの方が総輸送費用的に有利であることが示されている⁵⁾。

一方、海外トランシップの増加・依存を問題視する見方もある。例えば、平成21年度港湾局関係予算概算要求

概要には「海外トランシップの増加（日本の港湾のフィーダー化）の問題点」として、輸送時間が長くなる、荷傷みの可能性がある、定時性が確保できない、貨物の追跡が出来ない、といった荷主の懸念が挙げられている⁶⁾。

また、海外トランシップの増加に合わせ、釜山港に寄港する北米航路便数は増加する一方、神戸港をはじめとする我が国主要港に寄港する北米航路便数は減少していった。これに対し、2010年8月、国はアジアと北米・欧州等を結ぶ基幹航路の日本へ就航の維持・拡大を目指し「国際コンテナ港湾政策」を打ち出し、阪神港（神戸港、大阪港）と京浜港（東京港、川崎港、横浜港）の2港を国際コンテナ戦略港湾として選定した。前章で述べたように、「国際コンテナ港湾政策」の短期的な目標は、2015年までに国内ハブの完成による東アジア主要港でのトランシップ率の半減とされた。その理由として、海外トランシップの増大は「企業にとっての輸送時間の増大や物流コストの上昇を招き、国内産業の海外流出や、それに伴う雇用と所得の消失につながるなど、我が国の経済活動や産業構造に深刻な影響を与えかねない」ことが挙げられている⁷⁾。

このように、海外トランシップは、荷主にとって総輸送費用面でのメリットがあるという見方と我が国経済・産業に悪影響を与えるという見方の両面があるが、直送と海外トランシップの経済的合理性/不利益について計量経済学の立場から議論した研究はこれまでほとんどみられない。

(2) 先行研究の分析手法上の課題

前章で述べた著者らの先行研究³⁾では、神戸港をはじめとする国内諸港及び釜山港等海外トランシップ港の北米航路及びフィーダー航路の寄港頻度は与条件のまま不変としてモデル分析を行っている。しかしながら、現実には神戸港の貨物量が増えれば、船社は神戸港の北米航路の寄港頻度を増やし、その分釜山港の寄港頻度を減らす可能性がある。

モデルの構造上、神戸港の北米航路の寄港頻度が増えれば、荷主にとっての神戸港利用の効用は増大することから、少ない集荷補助金でより多くの集荷効果が得られ、先行研究より費用便益上の効率性が向上する可能性がある。一方で、施設増強が必要な程度、寄港頻度が増大する場合は、費用便益分析においても追加投資を計上する必要がある。このように、集荷補助金の効果には、荷主の選択行動に加え、船社の行動も大きな影響を与える。

次章では、これらを踏まえ、船社の行動も考慮した集荷施策の定量的評価手法について提案する。

3. 船社の行動を反映した評価手法の提案

(1) 既往研究のレビュー

荷主と船社の取引をベースとした分析については、これまでにも多数の研究成果が蓄積されている。例えば、Kuroda⁸⁾は、船社と荷主の行動からなる均衡モデルを提案している。このモデルは、海上輸送時間、費用、容量制約に起因する輻輳を要因とする決定論的な利用者均衡モデルである。

航空輸送の分野でも輸送サービス提供主体と利用主体間の行動分析がなされている。Takebayashi (2013)⁹⁾は、航空会社の制御変数や乗客の行動として、ネットワーク形状、航空運賃、運航頻度を扱うことができるBi-levelの航空輸送市場モデルを提案している。また、Takebayashi (2011)¹⁰⁾は、航空会社が先導、乗客が追従して行動するbi-levelのモデルであるが、航空会社は運航頻度を制御し、乗客は最適なルートを選択すると仮定したモデルとなっている。

本稿は、我が国港湾と釜山港の競争状況に対応した船社の配船行動を直送と海外トランシップの評価に反映することを目的としている。また、港湾行政当局が唯一関与可能な変数が費用であることを踏まえると、運賃は一定として分析した方がわかりやすい。そのため、ここではTakebayashi (2011) のモデルを海運分野（船社と北米輸出コンテナ荷主）に援用することを提案する。

(2) モデルの概要

ここでは航空輸送において適用が進んできたBi-levelモデルの適用を試みる。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。海上輸送においては、振り子輸送が行われるなど航空輸送とはネットワーク構造が異なるものの、ハブ・アンド・スポーク型輸送が行われていると考えれば、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。

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

Subject to:

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

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

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、 $\delta_{l^n}^{rsk}$ 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。さらに荷主の指向性にはばらつきがあるものとして、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、

$$\sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_{l^n}^{rsk} = x_{l^n}$$

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)}。

$$\min_{x_k^{rs}} : \Gamma = \frac{1}{\theta} \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} (\ln x_k^{rs} - 1) + \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K^{rs}} u_k^{rs} x_k^{rs} \quad (4)$$

Subject to:

$$\sum_{k \in K^{rs}} x_k^{rs} = X^{rs}, \forall rs \in \Omega \quad (5)$$

$$x_{l^n} = \sum_{rs} \sum_k x_k^{rs} \delta_{l^n}^{rsk} \leq v_l^n f_l^n, \forall l^n \in I^n, n \in N \quad (6)$$

$$x_k^{rs} \geq 0, \text{ for } \forall k \in K^{rs} \text{ and } rs \in \Omega \quad (7)$$

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(4)は目的関数、式(5)はODフロー保存則、式(6)は各リンクの輸送容量制約、式(7)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。評価関数のみを設定する。港湾 h における船社インセンティブ並びに荷主インセンティブをそれぞれ ρ_h^c , ρ_h^s とし、それらによる便益を B_h とすると、港湾 h の戦略に対する評価はB/Cとして式(8)のように評価できる。

$$Y_h(\rho_h^C, \rho_h^S) = B_h / \left\{ \sum_n \sum_{l^n} \rho_h^C f_{l^n} \delta_h^{l^n} + \sum_{rs} \sum_k \rho_h^S x_k^{rs} \delta_h^{rsk} \right\} \quad (8)$$

ここで、 $\delta_h^{l^n}$ はリンク l^n が港湾 h に寄港する場合は 1、それ以外はゼロをとる 2 値変数、 δ_h^{rsk} は rs OD 市場における第 k 番目経路が港湾 h を積出港とする場合は 1、それ以外はゼロをとる 2 値変数である。

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。そのため、貨物の発着地間の代替輸送経路を設定する必要がある。本稿では既往研究^(10, 11)に従い、OD 間での代替経路を設定する。

(3) モデルを用いたインセンティブ施策の有効性検討

ここでは大阪湾を対象とし、前節で概説したネットワーク均衡分析モデルを用いて、各種インセンティブ施策の有効性について検討する。

対象とする輸送ネットワークは、直送経路としては阪神港をはじめとする国内北米航路寄港港湾と北米港、海外トランシップ経路としては国内フィーダー港湾と釜山港と北米港を想定する。これらの港湾間を運航する船社として北米航路を有する 4 つのアライアンスの競争を想定する。ネットワークの諸条件や OD フローは国際輸送ハンドブックやコンテナ流調等から設定する。

上記モデルで、阪神港に対する荷主インセンティブ、船社インセンティブについて複数ケース設定し、各ケースの諸港湾の取扱貨物量、運航頻度、阪神港直送率、釜山港トランシップ率を比較することでインセンティブ施策の有効性を検証する。

4. おわりに

本稿では、荷主や船社へのインセンティブなど集荷施策について、輸送ネットワークを通じて伝播する影響も

含めて評価する手法として、Bi-level のネットワーク均衡分析の適用について検討した。なお、大阪湾を対象とした実際の計算結果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) 国土交通省：国際コンテナ戦略港湾の選定結果について、2010。
- 2) 国土交通省港湾局：国際コンテナ戦略港湾政策の進捗状況、国際コンテナ戦略港湾政策推進委員会資料、2017。
- 3) Kimata, J., Choji, M. and Takebayashi, M. : Economic advantage/disadvantage of oversea transshipment: Case of Japan-North American container cargo transport market, *Proceedings of EASTS-2017*, (投稿中)。
- 4) 国土交通省港湾局：平成 20 年度全国輸出入コンテナ貨物流動調査、2008。
- 5) 国土交通省港湾局：平成 18 年度港湾局関連予算概算要求概要、pp.52, 2005。
- 6) 国土交通省港湾局：平成 21 年度港湾局関連予算概算要求概要、pp.55, 2008。
- 7) 国土交通省港湾局：平成 25 年度港湾局関連予算概算要求概要、pp.5, 2012。
- 8) Kuroda, K., Takebayashi, M. and Tsuji, T. : International container transportation network analysis considering Post-Panamax class container ships, *Global Competition in Transportation Markets: Analysis and Policy Making*, edited by Adib Kanafani and Katsuhiko Kuroda, pp.369-391, 2005。
- 9) Takebayashi, M. : Network competition and the difference in operating cost: Model analysis, *Transportation Research Part E*, Vol.57, pp.85-94, 2013。
- 10) Takebayashi, M. : Evaluation of Asian airports as gateway: Application of network equilibrium model, *Pacific Economic Review*, Vol.16(1), pp.64-82, 2011。
- 11) Takebayashi, M. : The runway capacity constraint and airlines' behavior: choice of aircraft size and network design, *Transportation Research part E*, Vo.47, pp.390-400, 2011。

(? . ? . ? 受付)

MEASURING THE EFFECT OF FINANCIAL SUPPORT FOR INVITING DIRECT SHIPPING CARGOS: NETWORK EQUILIBRIUM APPROACH

Jun KIMATA, Daisuke SASAOKA and Mikio TAKEBAYASHI