

# ネットワーク分析に基づく 東南アジア航路集約効果に関する検討

木俣 順<sup>1</sup>・笹岡 大輔<sup>2</sup>・竹林 幹雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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

<sup>3</sup>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、西日本における東南アジア航路の集約／分散についてネットワーク均衡分析による評価を試みる。今後のターゲット市場としてASEANを中心とする東南アジアコンテナ市場が着目される中、欧米基幹航路の国際コンテナ戦略港湾への集約と同様に、東南アジア航路についても拠点港湾へ集約する動きがある。一方、地域によっては拠点港湾への集約による荷主の効用低下が懸念されている。本稿では、西日本発着の東南アジア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、東南アジア航路を阪神港に集約した場合と各港に分散した場合についてシミュレーションを行い、集荷の効率性と荷主の効用について分析を試みる。

**Key Words :** container transport, Southeast Asian market, network equilibrium approach

## 1. まえがき

2000年代に入って以降の日本の港湾政策の主たる対象は、欧米コンテナ基幹航路の維持・拡大であり、東西日本の拠点港として京浜港、阪神港を国際コンテナ戦略港湾に指定、基幹航路の集約による集荷効率性の向上を進めている<sup>1,2)</sup>。

一方近年では、ASEANを中心とする東南アジア地域の経済成長は著しく、地域全体としてみれば我が国のGDPに迫る勢いを有している。既に経済発展を遂げた東アジアと比べ欧州にも近く、豊富で安価な労働力の確保が可能な東南アジア地域への我が国企業の進出も引き続き増加する見込みであり、我が国産業にとっての戦略的な生産拠点地域となることが想定される。加えてeコマースの進展などに伴い高品質・高付加価値の日本製品の輸出先としての重要性も高まると見込まれており、今後の成長市場として我が国との貿易も増加していくと想定されている。実際、日本発東南アジア向け輸出コンテナ貨物量は2006年に北米向け貨物量を上回り、近年も堅調に増加しており、ASEANを中心とする東南アジアコンテナ市場は今後の海上輸送における成長市場として着目されている。

この成長市場に対して、中国の「一帯一路」政策のように、アジア近隣諸国も戦略的に海外港へのネットワーク拡充を図っており、我が国としても東南アジア諸国との互惠関係のもと、我が国産業にとって効率的で迅速、信頼性の高い航路網を構築していく必要がある。

このような背景のもと、国も港湾の次期中長期政策<sup>3)</sup>において、施策の方向性の1番目に「成長著しい東南アジア地域等へのシャトル航路を戦略的に重要な航路と位置づけ、国内主要港からの直航サービスを強化」することを掲げようとしている。このように重要性が増している東南アジア航路であるが、最近、欧米基幹航路の国際コンテナ戦略港湾への集約と同様に拠点港湾へ集約する動きがみられる。

しかし、著者らの先行研究<sup>4)</sup>によると東南アジア航路の経路選択における荷主の最大要因は仕出港までの時間的・費用的国内輸送コストであるとされており、地方によっては国内輸送距離が増大する拠点港湾への集約は荷主の効用低下をもたらすのではないかと懸念がある。

航路集約により航路体系が変化すれば当然荷主の輸送経路選択も変化するが、貨物の集荷状況が変化すればそれに対応して船社も航路体系を変えるため、このような問題を分析するためには、荷主と船社、両者の行動をイ

インタラクティブに考慮する必要がある。

そこで本稿では、西日本発着の東南アジアコンテナ貨物を対象に荷主と船社の行動を反映できるBi-levelモデル型のネットワーク均衡分析を適用し、東南アジア航路を阪神港に集約した場合と各港に分散した場合についてシミュレーションを行い、集荷の効率性と荷主の効用について分析を試みる。そして、分析結果から阪神港が今後取るべき施策について検討する。

## 2. 適用するネットワーク均衡分析モデル

### (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結果が蓄積されている。例えば、Kurodaら<sup>9)</sup>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)<sup>10)</sup>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)<sup>7)</sup>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、東南アジア航路を阪神港に集約した場合と各港に分散した場合の集荷の効率性と荷主の効用について分析することを目的としている。それを踏まえると、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（船社とコンテナ荷主）に援用することとする。

### (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モデルを海上輸送に適用する。

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。海上輸送においては、航路とは複数の港湾をループするものであるなど航空輸送とはネットワーク構造が異なるものの、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:

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

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

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、 $\delta_l^{rsk}$ 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、

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

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<sup>7),8)</sup>。

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

Subject to:

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

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

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

ここで、 $\theta$ 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、 $\Omega$ 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 $\rho_h^C, \rho_h^S$ 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。

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

ここで、 $\delta_h^{ln}$ 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、 $\delta_h^{rsk}$ 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国内生産・消費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<sup>7,8)</sup>に従い、OD間での代替経路を設定する。

表-1 モデル化対象港湾

区分	対象港湾
国内10港	阪神港, 水島港, 広島港, 徳山下松港, 三田尻中関港, 高松港, 松山港, 北部九州港, 志布志港, 那覇港
東南アジア18港	タイ: BANGKOK, LAEMCHABANG インドネシア: JAKARTA, SURABAYA マレーシア: PORT KELANG, KUANTAN, TANJUNG PELEPAS, PASIR GUDANG, PENANG ベトナム: HOCHIMINH CITY, HAIPHONG, DANANG フィリピン: MANILA, CAGAYAN DE ORO, CEBU, DAVAO シンガポール: SINGAPORE カンボジア: SIHANOUKVILLE
トランシップ3港	釜山港, 深圳港, 高雄港

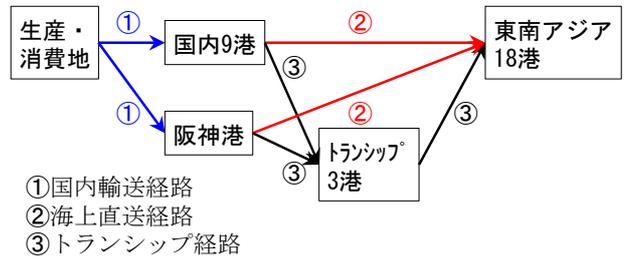


図-1 ネットワークモデル (輸出の場合)

①については、生産・消費地—国内10港間においてコンテナ流調上、輸送実績がある経路にリンクを設定するとともに、集約時のシミュレーションのため、阪神港とのリンクも設定する。各リンクの国内輸送費用(円/TEU)及び国内輸送時間(時)は、国土交通省が開発した総合交通分析システム(NITAS)<sup>10)</sup>の物流モードを用いて設定する。

②についても、国内10港—東南アジア18港間においてコンテナ流調上、直送実績がある経路にリンクを設定する。③については、②の代替経路と考え、②のリンクの発着港湾ペアに対し、コンテナ流調上、釜山港, 深圳港, 高雄港でのトランシップ輸送実績がある場合、国内10港—トランシップ3港及びトランシップ3港—東南アジア18港のリンクを設定する。

②, ③の各リンクの輸送サービスは、運航実績から設定する複数の船社(邦船, 韓国, 中国, 台湾, ASEAN系など)により提供されるものとする。各リンクの海上輸送時間(時)及び輸送頻度(便/月)は、国際輸送ハンドブック<sup>11)</sup>から船社ごとに設定する。また、海上輸送費用(円/TEU)については、ジェトロ資料<sup>12)</sup>を参考に設定する。なお、本稿で適用するBi-levelモデルはリンクベースであるが、コンテナ船は実際に各港をループして運航しており、各港では投入船型目一杯の貨物量を扱うことができない。そのため、国内10港それぞれで航路ごと

3. 東南アジア航路集約による集荷効率性と荷主効用に関する分析

(1) シミュレーションモデルの概要

ここでは西日本発着の東南アジアコンテナ貨物を対象とし、前章で概説したネットワーク均衡分析モデルを用いて、東南アジア航路を阪神港に集約した場合と各港に分散した場合について、シミュレーションを行う。再現年次は直近の全国輸出入コンテナ貨物流動調査<sup>9)</sup>(以下「コンテナ流調」)の調査年次に合わせ2013年とする。

本稿は、現在西日本各港に寄港している東南アジア航路を阪神港に集約した場合の影響を分析するものであるため、コンテナ流調上、輸出又は輸入の直送実績のある西日本港湾10港、東南アジア港湾18港を対象とする。また、直送に加え、釜山港, 深圳港, 高雄港での接続も考慮し、このトランシップ3港も対象とする。

モデル化する輸送ネットワークは、西日本各地と表-1に示す各港湾を結ぶ以下の経路から構成するものとする。

- ①国内輸送経路: 国内生産・消費地—国内10港
- ②海上直送経路: 国内各港—東南アジア18港
- ③トランシップ経路: 国内10港—トランシップ3港—東南アジア18港

の1便当たりの積み卸し実績の平均値 (TEU/便) を求めて1便当たり容量 (TEU/便) とすることによりリンクベースの表現としている。各船社の運航コストは、船社ごとの平均投入船型、平均輸送距離から国土交通省のB/Cマニュアル<sup>13)</sup>を参考に設定する。

ODフローは、コンテナ流調から図-1に示すネットワークに対応する貨物流動を抽出したものとす。具体的には、西日本と東南アジア18港間を流動する貨物のうち、国内仕向・仕出港が国内10港を利用して直送される貨物流動と、釜山港又は深圳港、高雄港で接続して国内10港を国内仕向・仕出港とする貨物流動を抽出して設定する。なお、コンテナ流調の単位はフレートトン/月であるため、港湾統計<sup>14)</sup>を用いてTEU/月に換算する。

荷主の経路選好に関するパラメータは、著者らの先行研究<sup>4)</sup>において構築した東南アジア航路選択モデルのパラメータを用いる。この研究では、集計ロジット型の経路選択モデルを構築し、2013年のODフロー (コンテナ流調)、経路データ (国際輸送ハンドブック) を用い、最尤推定法によりパラメータ推定を行っており、 $t$ 値、自由度調整済み尤度比とともに良好なパラメータとして表-2を得ている。

表-2 荷主の経路選好パラメータ

説明変数	パラメータ	$t$ 値
国内輸送時間 (時)	$-1.873 \times 10^{-1}$	-22.548
海上輸送時間 (時)	$-2.760 \times 10^{-3}$	-3.781
輸送頻度逆数 (月/便)	-3.284	-3.765

自由度調整済み尤度比  $\rho^2 = 0.2712$

港湾におけるハンドリング費用 (円/TEU) 及びポートチャージ (円/便) は、簡単のため国内、海外でそれぞれ一律で設定する。

## (2) シミュレーションケース

シミュレーションケースは、現況再現ケース (各港への航路分散ケース) と阪神港への航路集約ケース (図-2) の2ケースとする。

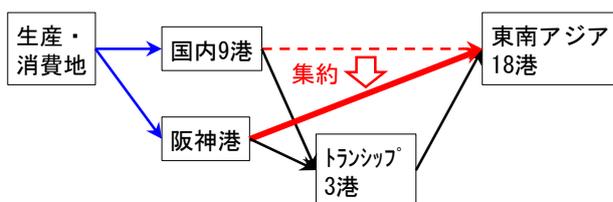


図-2 阪神港への航路集約ケース (輸出の場合)

航路集約ケースについては、阪神港以外の国内9港に就航している東南アジア航路を阪神港に付け替えたケー

スとする。付け替えにおいては単純に9港のリンクを阪神港に移すのではなく、航路の実際のループを踏まえて、阪神港への寄港頻度 (便/月)、1便当たり容量 (TEU/便) を設定する。

また、航路集約ケースのサブケースとして、施策の操作性から、全ての船社の東南アジア航路を集約したケースと特定の船社 (例えば邦船系) のみ集約したケースについてシミュレーションを行う。

## (3) 航路集約効果の分析

シミュレーションから算出される各港湾の取扱貨物量、寄港頻度、地域ごとの荷主の効用を比較することで東南アジア航路を阪神港に集約した場合と各港に分散した場合の集荷の効率性と荷主の効用について検証する。

## 4. おわりに

東南アジア航路を阪神港に集約した場合と各港に分散した場合についてのシミュレーション結果と集荷効率性及び荷主効用の分析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) 交通政策審議会港湾分科会：港湾の中長期政策「PORT 2030」最終とりまとめ (案)、交通政策審議会第70回港湾分科会資料6-5、2018。
- 4) 木俣順、竹林幹雄：日本荷主の海上輸送ニーズの変化に関する考察—我が国発東南アジア向け輸出コンテナ貨物を対象としたパネル分析—、運輸政策研究、2018 (投稿中)。
- 5) 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.
- 6) Takebayashi, M.: Network competition and the difference in operating cost: Model analysis, *Transportation Research Part E*, Vol.57, pp.85-94, 2013.
- 7) Takebayashi, M.: Evaluation of Asian airports as gateway: Application of network equilibrium model, *Pacific Economic Review*, Vol.16(1), pp.64-82, 2011.

- 8) 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.
  - 9) 国土交通省港湾局：平成 25 年度全国輸出入コンテナ貨物流動調査, 2014.
  - 10) 国土交通省総合政策局, 総合交通分析システム.
  - 11) (株) オーシャンコマース：2013 年版国際輸送ハンドブック, 2013.
  - 12) (独法) 日本貿易振興機構海外調査部：第 23 回アジア・オセアニア主要都市・地域の投資関連コスト比較, 2013.
  - 13) 国土交通省港湾局：港湾整備事業の費用対効果分析マニュアル, 2017.
  - 14) 国土交通省：港湾統計（年報）平成 25 年, 2015.
- (???)受付

## CONSOLIDATION OF JAPAN-ASEAN ROUTES AND ITS BENEFITS TOWARD THE HINTERLAND ECONOMIES: BASED ON NETWORK ANALYSIS

Jun KIMATA, Daisuke SASAOKA and Mikio TAKEBAYASHI