

## SLB の利用を考慮したアジア-太平洋-欧州コンテナ貨物輸送市場分析

*Equilibrium Analysis of the Asian-Pacific-European Container Cargo Flow*

*by Concerning the Use of the Siberian Land Bridge*

黒田勝彦\*, 竹林幹雄\*\*, 大久保岳史\*\*\*, 飯田 文夫\*\*\*, 三橋 郁雄

By Katsuhiko KURODA\*, Mikiyo TAKEBAYASHI\*\*, Takefumi OKUBO\*\*\*, Ayao IIDA\*\*\* and Ikuo MITSUHASHI\*\*\*\*

### 1. はじめに

シベリア・ランドブリッジ (SLB) は 1971 年にアジアと欧州間のコンテナ輸送を目的として供用が開始され、ソビエト時代は欧州方面南回り航路 (スエズ運河経由) の代替経路として大きなシェアを誇っていた。しかしソビエト崩壊後、輸送コストの急増や安全性などの信頼性の低下などによって、70 年代の 1/10 以下の取扱量にまで落ち込んでいる。しかし、南回りに限定されている現在の海上輸送経路の代替経路を確保することは、我が国を含めた極東諸国の貿易を支える上で重要である。加えて輸送時間が海上輸送と比較して短縮できることから、現在の国際海上輸送をより競争的なものにし、効率的な輸送が可能になることが期待される。

以上のような視点から、本研究では欧州向けコンテナ輸送に関して、スエズ経由航路とシベリア鉄道経由の異なるサービスを提供するキャリアが存在する市場を想定した理論モデルを構築した。さらに、数値計算を通して荷主への波及効果を得るために要求される SLB の整備水準について検討し、SLB が与えるアジア-太平洋-欧州コンテナ貨物輸送市場への影響を分析する。

## 2. 国際海上コンテナ輸送モデルの構築

### (1) 船社と荷主のネットワーク

本研究では図-1 に示すように、コンテナ所

キーワード 海上コンテナ輸送, シベリア鉄道, 均衡  
\*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 078-803-6008)

\*\*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 国際臨海開発研究センター

有者である荷主と、2 種類のサービスを行うキャリアによって構成される市場を想定した。すなわち、南回り航路を含む海上輸送のみ行うキャリア、さらには SLB を利用しそのためのフィーダーサービスを行うキャリアの 2 種類を市場に想定した。

図-1 より、両者はそれぞれ独自のネットワークを持ち、荷主は仕出・仕入港湾を選択した後、船社は海上輸送経路を決定する。欧州向け貨物についてはスエズ経由航路の船社とシベリア鉄道経由から選択することとした。

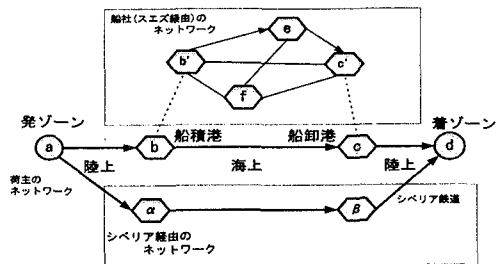


図-1 船社と荷主のネットワーク

### (2) 荷主の行動モデル

荷主は運賃と時間価値からなる一般化費用の最小化を目的として行動し、発着港湾を自由に選択することができると仮定した。以下の目的関数、制約条件の下で利用者均衡配分を行う。また荷主はスエズ運河経由、シベリア鉄道経由の異なるサービスから自己の最適経路を選択する。

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

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

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

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

ここで、 $F_i$ :リンク  $i$  の運賃 (万円/TEU)  $TV$ :貨物の時間価値 (万円/時),  $T_i$ :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, それ以外は 0,  $\xi(x)$ :リンク混雑コスト係数

$$\xi(x_i) = \xi(x_i, VL_i) \quad (5)$$

$VL_i$ :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)を表す。

(2)(3)(4)式は, OD 保存式, フローの保存式, 非負条件である。

リンク混雑コスト関数は, 貨物量に対して単調増加関数を仮定した。

またシベリア鉄道の費用項目を表に示す。シベリア鉄道経由で欧州までコンテナを運んだ場合, ロシア国境近くのブレストで荷物の積み替えを行う。そのため税関料金に加えて荷役料金が発生する。

表-2 シベリア鉄道の費用項目

ポストチヌイ港での港湾料金	Port operation Custom procedure Forwarder
ポストチヌイ港-ロシア国境間	シベリア鉄道輸送費用
ロシア国境-アムステルダム間	ロシア国境-ブレスト間の鉄道輸送費用 荷役料金(ブレスト駅) 税関料金(ブレスト駅) ブレスト-アムステルダム間の鉄道輸送費用

### (3)船社の行動モデル

船社は自己の運行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。運行費用は, 燃料費, 船費, 港費を表す航行リンクコストと荷役費を表す港湾ノードコストの和とする。またキャリヤ同士の提携およびキャリヤと荷主との提携は発生しないものとした。

$$\text{Min } C_l^m = \sum_j \delta_l^j C_j + \sum_l \delta_l^p \delta_{l,p}^2 C_p \quad (6)$$

ただし,

航行リンクコスト

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

港湾ノードコスト

$$C_p = HC_p \quad (8)$$

s.t

$$\sum_{l \in L_{ij}} y_l = Q_{ij} \quad \text{for } \forall l \in L_{ij} \quad (9)$$

$$y_j = \sum_l \sum_l \delta_l^j h_l \quad (10)$$

$$h_l > 0 \quad (11)$$

海上経路コストの均衡価格

$$\begin{aligned} \text{if } h_l^m > 0 & \quad \text{then } C_l^m = C_l \\ \text{if } h_l^m = 0 & \quad \text{then } C_l^m > C_l \end{aligned} \quad (12)$$

ここで,  $m$ :船社のインデックス,  $C_l^m$ :船社  $m$  の経路  $l$  においての一般化費用 (万円/TEU),  $C_j$ :航行リンク  $j$  での操船コスト (万円/TEU)  $\delta_l^j$ :経路  $l$  がリンク  $j$  を使用しているとき 1, それ以外は 0,  $C_p$ :港湾ノードコスト (万円/TEU),  $\delta_l^p$ :経路  $l$  が港湾  $p$  を使用しているとき 1, それ以外は 0 とする。

$\delta_{l,p}^2$ :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,  $x_j$ :リンク  $j$  の貨物量 (TEU/年)を表す.  $f_j$ :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),  $ij$ :港湾間 OD ペアのインデックス,  $Q_{ij}$ :港湾間 OD ペア  $ij$  の貨物量 (TEU),  $l$ :経路を表すインデックス,  $L_{ij}$ :OD ペア  $ij$  の利用可能経路集合,  $y_j$ :リンク  $j$  の貨物量(TEU),  $h_l$ :経路  $l$  の貨物量(TEU),  $\Psi(z_p)$ :港湾混雑係数であり,

$$\Psi(z_p) = \Psi(z_p, VP_p) \quad (13)$$

$VP_p$  : 港湾  $p$  の港湾容量(TEU/年)である.

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2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。

(9)(10)(11)式は、OD 保存式、フローの保存式、非負条件である。このとき均衡条件式は(12)式で表される。(13)式の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。

## 2. 数値計算

### (1)ゾーンの設定及び諸条件

対象航路を、アジア内航路、欧州航路、北米航路とし、欧州向け貨物に関しては SLB 利用を想定し、そのゲート港はポストチヌイとした。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、新潟、ポストチヌイ、釜山、上海、香港、台湾、シンガポール、欧州、北米と設定した。海外荷主が利用できる港湾は、同じゾーン内に属する港湾のみとする。ただし、華北ゾーン、華中ゾーンについては上海港を、華南ゾーンについては香港を選択するものとする。

### (2)航路の設定

本研究で使用した航路を以下の図-2~4 のように設定する。航路を設定するにあたっては冗長経路(後戻りなど)がないようにし、寄港数は特に制限しないものとした。また、航路は各リンクとも往復便は同数が就航するものとした。またシベリア鉄道経由の航路に関しては、ポストチヌイ港とアジア各国を結ぶものとし、鉄道部分は一つのリンクとした。

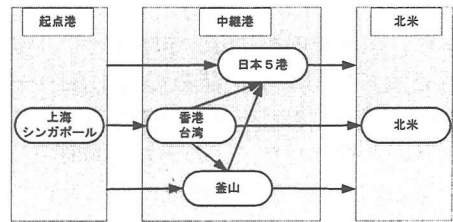


図-2 北米航路の設定 (アジア→北米)

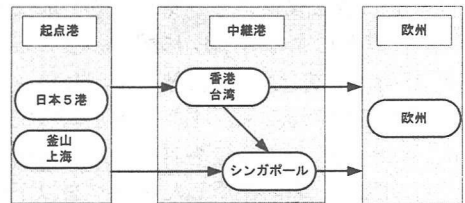


図-3 スエズ運河経由欧州航路の設定

(アジア→欧州)

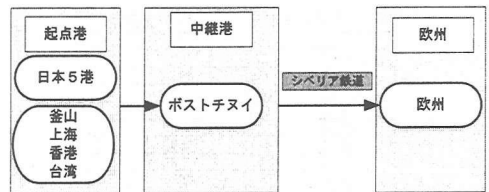


図-4 シベリア鉄道経由欧州航路の設定 (アジア→欧州)

### (3)トランシップ貨物の定義

本研究ではトランシップを、あるOD間の貨物においていずれかの港に寄港した場合全て積み変えられるとし、算出は以下のように定義した。

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

#### (4)現状再現性の検討

まず、1000TEU の中型船と 3000TEU の大型船の 2 船型が就航しているものとし、現状再現性の検討を行った。現状再現性の一つの指標として現状推定値と計算結果のトランシップ貨物量を比較した。

#### (5) 数値計算

SLB の整備インパクトを把握するために、いくつかのシナリオを想定し、数値計算を行った。

まず、想定年度を 2010 年時点とし、現在計画されているアジア諸港の大水深バース（15m 水深以上のバース）の整備が全て終了した場合を想定した。このとき 6000TEU の超大型船が必要に応じて市場に投入されているものとした。

2010 年における OD は 2010 年の各港湾取扱貨物量の平均成長率を予測し、その成長率をフレータ法により各 OD に配分することで 2010 年時点での OD 貨物量を予測した。シベリア鉄道の整備効果、主要港湾整備状況の変化、我が国の荷主の港湾選択への影響を分析した。数値計算に使用したデータを以下に示す。

表-3 港湾別最大取扱量

	1000TEU	3000TEU	6000TEU
東京	888	576	200
伊勢	36	168	0
大阪	936	480	320
北九州	384	0	0
新潟	144	0	0
ウラジオストク	22	22	0
釜山	440	360	320
上海	256	0	0
香港	1,200	680	640
台湾	760	400	120
シンガポール	1,184	864	520
欧州	3,000	3,000	3,000
北米	3,000	3,000	3,000

表-4 ゾーン港湾対応表

ゾーン	港湾
各都道府県	東京
	伊勢
	大阪
	北九州
欧州	ウラジオストク
	釜山
華北	上海
華南	香港
台湾	台湾
ASEAN	シンガポール
欧州	欧州
北米	北米

Case1 ではアジア各国の主要港湾におけるポスト・パナマックス船舶導入を考慮し、SLB とポストパナマックス船舶との競合関係について検討した。

Case2 では鉄道輸送時間、運賃、及びポストヌイ港における港湾容量といった要因が輸送パターンに与える影響を分析した。なお輸送時間には、ポストヌイ港及びブレストでの積み替え時間を含んでいる。

Case3 では、南回り欧州航路のネットワークの条件変化が生じた場合、SLB の利用が可能な場合と不可能な場合でどのような影響が生じるかについて検討を加えた。ここでは日本-マレーシア間でマラッカ海峡を大きく迂回するルートを通る場合を想定し、検討を加えた。

表-5 数値計算のシナリオ

Case1	SLB と南廻り航路の競合関係の分析
Case2	港湾容量、SLB輸送時間の変化がSLB利用に与える影響分析
Case3	南回り航路に対するリダンダンシーの評価

なお計算結果に関する詳細は講演時に示す。

#### [参考文献]

- 1) 黒田勝彦, 竹林幹雄ほか: 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, 土木学会論文集 IV, 2000 年 7 月号 (印刷中)
- 2) ロシア東欧貿易会ロシア東欧経済研究所: ロシア極東地域の物量・流通基礎調査