

日本国内輸送も組み込んだアジア圏国際コンテナ貨物流動モデル A Simulation Model of International Container Shipping Including Domestic Land and Feeder Transportation

家田 仁*・内藤智樹**・柴崎隆一***

By IEDA Hitoshi* , NAITO Satoki** and SHIBASAKI Ryuichi***

1. はじめに

筆者らは、コンテナの港湾発着ベースの OD 表を与えたときに、異なる船型利用やトランシップなどを含めた各港湾間のコンテナリンクフローを出力するモデルを開発してきた^{1)~3)}。このモデルは、アジア圏の港湾を対象とし、輸送における「規模の経済性効果」や、港湾整備水準に起因する「バースの混雑効果」をリンクコストに導入するとともに、船社のグローバルアライアンスも考慮して、コンテナフロー状況を再現・予測するモデルである。

しかし、このモデルでは、コンテナの日本国内におけるフィーダー輸送のメカニズムが組み込まれていないため、国内港湾間の競争や役割分担の分析や、それらをふまえた港湾投資効果の判定には難がある。これに対し稲村ら⁴⁾は、国内フィーダー輸送も含めた二段階計画問題として扱ったモデルを提案しているが、仙台港を中心とした局所的な研究にとどまっております。日本全体を含めた港湾整備計画を評価するといったニーズには必ずしも対応できない。

そこで本研究では、既往のモデル^{1)~3)}を発展させ、日本国内の陸上・海上フィーダー輸送も含めたコンテナ流動モデルを構築する。そして、荷主やフォワーダー、船社の行動を同時に取り込み、かつその相互干渉が表現可能な、複数のネットワーク配分原理仮説を比較・分析する。最後に、モデルの応用例として日本国内の中核港湾への投資計画の評価を行う。

2. モデルの構成

(1) ネットワークの構成と対象港湾

本モデルのネットワークは、基本的に文献3)と同様の構造を持つが、日本国内においては陸上輸送や

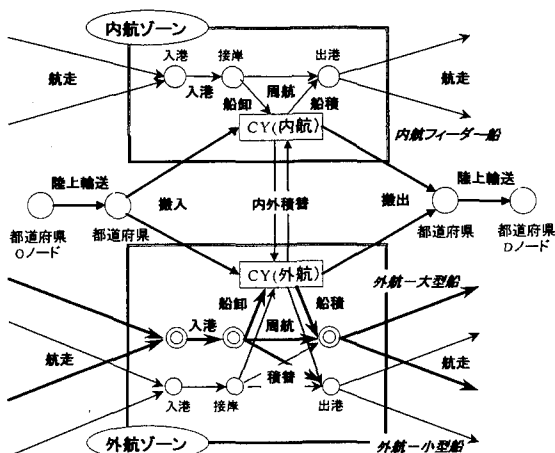


図1 ネットワークの構成（日本国内のイメージ；
太字がリンク名、細字がノード名を表す）

内航海運によるフィーダー輸送を追加したものとなる。日本国内のネットワーク構成イメージを図1に示す。コンテナの発着地は、日本国内の場合には各都道府県の県庁所在地とし、各県庁所在地間を陸上輸送リンク、県庁所在地と港湾内の外航・内航の各コンテナ・ヤードとの間を搬入及び搬出リンクで結んだ。また、国内港湾間を内航航走リンクで、港湾内の外航と内航ヤードの間を内外積替リンクで結んだ。ただし、内航の航走リンクについては、リンクを設定する港湾の組み合わせを限定することで、リンク数を減少させた。外国の場合は、コンテナ発着地は各港湾とした。ここで、船型サイズの種類は、外航のリンクに関しては文献3)と同様に4種類とし、内航に関しては、現状では就航船舶のサイズがあまり大きくないことから、1種類とした。また、モデルの対象範囲としては、文献3)と同様アジア・日本の主要港湾と北米・欧州・豪州の仮想港23港に、日本の中核・地方港湾を追加し46港とした。

キーワード：物資流動、ネットワーク交通流、港湾計画

*正会員、工博、東京大学大学院社会基盤工学専攻交通研究室

**正会員、西日本旅客鉄道

***学生会員、東京大学大学院社会基盤工学専攻交通研究室

(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, TEL:03-3812-2111 ext.6119, FAX:03-5800-6868)

(2) リンクコスト関数の定式化

全てのリンクコスト関数は、コンテナ1 TEU あたりの平均費用を、金銭的費用と時間的費用の線形和として表した。ここでは、文献3)と共通するリンクコスト関数はその名称と特徴を述べるにとどめ、新しく導入した内外積替リンク、搬出・搬入リンク、陸上輸送リンクのコスト関数について述べる。

1) 航走リンクコスト³⁾

航走リンクコストは、金銭的費用としての船舶の運行費用（船型サイズに応じた規模の経済性が発揮される）と、時間的費用としての航走時間と出港待ち時間（寄港頻度の逆数）に時間価値（未知パラメータ v_i とする）を乗じたものの和で表される。ここで出港待ち時間に関しては、消席率が一定であると仮定し、輸送規模の拡大が寄港頻度を増大させるという利便性の向上を考慮した。この効果に関係して未知パラメータ b_1, b_2 を導入した。従って、航走リンクコストはフローに対して減少関数となる。

2) 入港リンクコスト³⁾

入港リンクコストは、入港費用と、入港待ち時間に時間価値を乗じたものの和で表される。コンテナ船の入港頻度が增大すると、水深別のバース数に応じて入港の待ち時間が発生する。従って、入港リンクコストはフローに対して増加関数となる。ここで、入港待ち時間は厳密には待ち行列理論式で表されるが、未知パラメータ b_3, b_4 を含む近似式で表した¹⁾。

3) 船積、船卸、積替、通過リンクコスト³⁾

船積・船卸・積替リンクコストは、荷役料金と荷役時間からなる。一方、通過リンクコストは出発までの待ち時間のみで表される。

4) 内外積替リンクコスト

外航の積替リンクコストと同様に、1 TEU あたりの内外積替時の荷役料金と荷役時間の和で表される。荷役料金と荷役時間はいずれも、文献調査やヒアリングにより港湾ごとに推定した。

$$C_{df} = f_{df} + v_i \cdot t_{df}$$

f_{df}	内外積替費用 (1,000 円 / TEU)
t_{df}	内外積替時間 (時間)

5) 搬入、搬出、陸上輸送リンクコスト

これらは、金銭的費用としての自動車による運賃

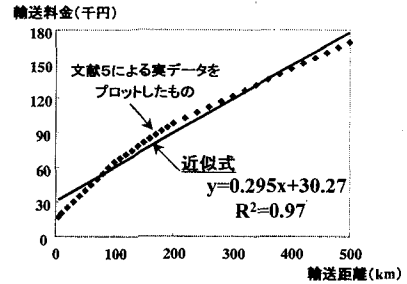


図2 コンテナ1 TEU あたりの自動車輸送料金⁵⁾

と、時間的費用としての輸送時間（輸送距離に比例）とで構成される。運賃においては、図2に示すように、コンテナ1個あたりの運賃を輸送距離の一次関数として近似できる。そこで、これを距離比例運賃と固定運賃に分け、固定運賃は、コンテナの陸上流動において一度だけ通過する、搬入または搬出リンク上に計上することとした。

$$C_{ca} = p_1 \cdot l_a + d_a \cdot p_2 + v_i \cdot \frac{l_a}{v_{car}}$$

l_a	リンク a の距離 (km)
v_{car}	自動車走行速度 (km/時間)
p_1, p_2	$p_1=0.295, p_2=30.27$ (図2参照)
d_a	リンク a の種別を表すダミー = 0 (陸上走行リンク), = 1 (搬入, 搬出リンク)

3. 各種のネットワーク配分原理の適用

(1) ネットワーク配分原理

文献3)では、ネットワークの配分原理として、入港リンクにおける船社グループ内の競合を考慮したグループ別システム最適配分 (GSO) が、現実の状況の再現性が高いという結果を得た。本研究においては、日本国内における外航船にコンテナを積み込むまでの荷主（ないしは、フォワーダー）の行動も考慮し、配分原理として、以下の3種類の仮説を考案した。日本国内においては都道府県、その他の地域においては港湾発着の、全船社グループ合計のOD表を所与として、まず、陸上・海上を含めたネットワーク全域を対象とした仮の配分を行う（第1ステップ）。これによって、日本の都道府県発着コンテナは、陸上輸送や内航海運を経て、いずれかの外貿港湾のOD表に帰着される。こうして得られた外貿港湾発着OD表を、外貿部分のネットワーク上で配分する（第2ステップ）。本研究では、第1ステップにおいては、コンテナ輸送業界が基本的に激しい競争状態にあることを念頭に置き、利用者均衡

配分 (UE) を基準とした。第 2 ステップについては、後述の 3 種類の配分仮説を用意した。航走リンクコストがフローの減少関数であるため、本研究の問題は初期値依存問題となる。そこで、上記の第 2 ステップで得られた外貿部分のネットワークリンクフローによって第 1 ステップのリンクフローを更新し、第 1、第 2 ステップをもう一度繰り返す。以下に第 2 ステップで用いた 3 種類の配分仮説を述べる。

1) UE-GSO

外貿輸送部分の配分を船社グループ別にシステム最適配分 (GSO) によって行う。

2) UE-GSO-MAXFLOW

これは、上記と同様の方法であるが、第 2 回目の第 1 ステップ配分 (全域ネットワーク) における入力値である全船社合計の航走リンクフローを、各船社グループのフローを、各航走リンクごとに第 1 回目第 2 ステップで得られたフローの最も大きい船社グループのフローに更新してから、全船社について合計することで得る。これは、各船社グループが厳しい競争状態にあることを想定し、各船社グループは、最もコストの低いグループの料金水準 (すなわち最もフローの多い) グループに行動を合わせるとする仮説によるものである。

3) UE-SO

海上輸送部分の配分を全船社合計のシステム最適配分 (SO) によって行う。これは、海上輸送を独占企業が行っているという仮想的な状況に該当する。

以上で述べた配分方法のうち、UE-GSO と UE-GSO-MAXFLOW では、第 1 ステップにおける全域ネットワーク配分の結果をうけて、各船社グループごとの OD 表を作成する必要がある。全域ネットワーク配分により決定された各港湾の発生貨物量と集中貨物量を、当該港湾に入港する船社グループごとの全航走リンクフローの和と、当該港湾から出港する船社グループごとの全航走リンクフローの和を用いて、それぞれ比例配分した。これをもとに、フローター法を用いて港湾間分布貨物量を推定した。

(2) パラメータの推定, 配分仮説の選択, 現状再現性の確認

本モデルの計算においては、OD 表あるいはリンクフローについて種々のデータの加工や推定が必要

である。その方法については文献 3) Appendix を参照されたい。

3 種類の配分仮説について、リンクコスト関数に含まれる 5 種類の未知パラメータを、外航海運における現状推定リンクフローとモデルにより出力される航走リンクフローとの平均二乗誤差を最小化するように推定した (UE-GSO と UE-GSO-MAXFLOW の場合には全船社グループの航走リンクフロー合計値を評価に用いる)。いずれの配分仮説とも、コンテナの時間価値は千円前後の値となっている。入港待ち時間に関するパラメータについては、いずれの配分仮説とも同じ値となった。推定されたパラメータを用いて配分計算を行ったときの、航走リンクフローの現状推定値と計算結果との相関をみると、3 種類の配分原理のうち、UE-GSO が最も相関係数が高かった ($R=0.72$; UE-GSO-MAXFLOW においては $R=0.69$, UE-SO で $R=0.45$)。また、UE-GSO は各港の港湾取扱量の相関においても最も高かった ($R=0.93$; UE-GSO-MAXFLOW においては $R=0.91$, UE-SO で $R=0.82$)。以上の結果から、以降では、本モデルの配分方法として UE-GSO を採用して、分析を行う。

図 3 は外国港湾について、港湾取扱量 (輸出入貨物量 + トランシップ貨物量) の現状推定値と UE-GSO 配分による計算結果とを比較したものである。また、外国港湾についてのトランシップ貨物量を図

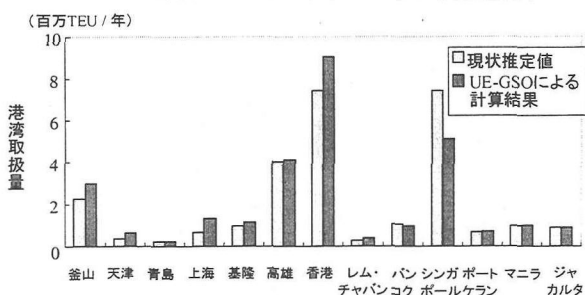


図 3 港湾取扱量の比較～外国港湾～

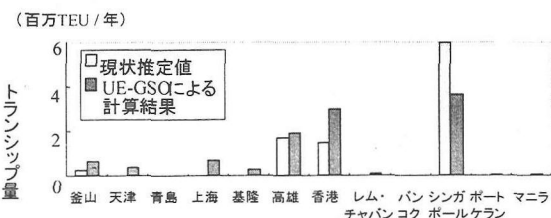


図 4 トランシップ量の比較～外国港湾～

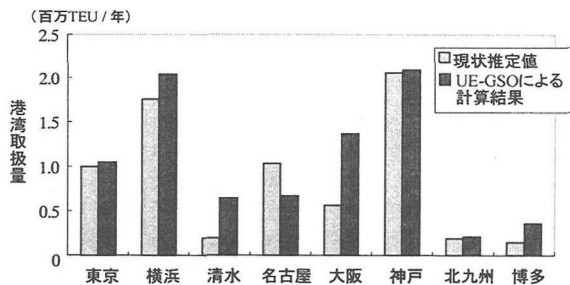


図5 港湾取扱量の比較～日本の8大港～

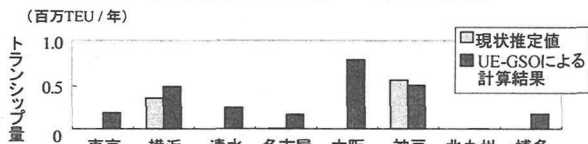


図6 トランシップ量の比較～日本の8大港～

4に示した、釜山と香港ではトランシップ貨物量の計算結果が過大推計になっているのに対し、シンガポールでは過小推計になっている。香港とシンガポールに関する誤差の要因としては、次のことが理由として考えられる。香港は、トランシップされる多くのコンテナを再輸出という形で処理する、独特の港湾運営方式を採用している。このため、香港においては、輸出入貨物量が計算上過大に評価され、香港発着の航走リンクにおいて過度な規模の経済性が発揮され、本来のシンガポールのトランシップ需要も引きつけてしまったためと考えられる。

国内主要港湾についての港湾取扱貨物量とトランシップ貨物量を図5・6に示す。輸出入貨物量についてはどの港湾でも現状がそれなりに再現されているのに対し、トランシップに関しては、やや全体的に過大推計の傾向がある。

4. モデルの応用事例～中核港湾への投資計画評価

現在実際に計画されている、中核国際港湾（図7中の港湾）への投資を実施したことを想定し、UE-GSO 仮説に基づいて、シミュレーションを行った結果を図7に示す。この中で、港湾取扱量に有意な変化がみられたのは仙台港と新潟港の2港のみであった。日本の4大湾について、投資前後の港湾取扱量を図8に示す。これによると、東京湾と大阪湾で港湾取扱量が減少しており、この減少分が仙台港や新潟港経由の増加分と考えられる。また、外国港湾

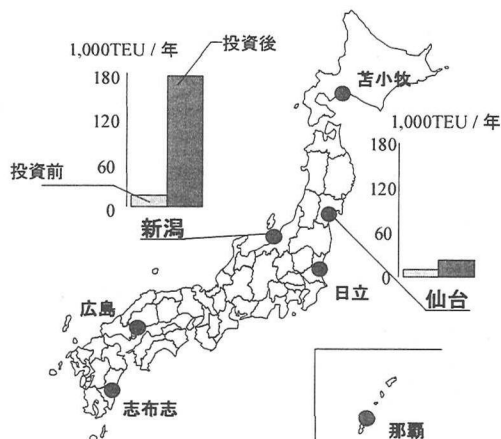


図7 モデルを用いたシミュレーションの結果～中核港湾への投資～

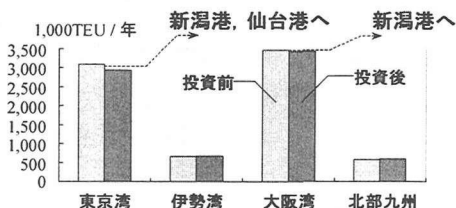


図8 中核港湾への投資の影響

においては、釜山や高雄で多少の増減はあるものの、全体的に大きな変化はない。つまり、こうした投資によって国際コンテナフローの変化はもたらされるが、海外の港湾トランシップ貨物を日本に誘引するまでの機能は有さないとはいえる。以上で見る限り、中核港湾への投資計画は、仙台港と新潟港の2港に関しては、4大湾に集中するコンテナを日本国内に分散させる効果はあることが予想される。特に新潟港の投資前後の変化は大きい。

<参考文献>

- 1) Mishima, D., Ieda, H.: Container Flow Simulation Model of International Transport in Asian Region for Demand Estimation and Port/Shipping Policy Evaluation, *International Conference on Urban Engineering in Asian Cities in the 21st Century*, 1996.
- 2) 家田他, アジア圏コンテナ流動モデルとその配分原理に応じた特性比較, 土木計画学講演集, 1997, 11.
- 3) 家田他, アジア圏コンテナ流動モデルの構築とその配分仮説に応じた特性分析, 土木計画学論文集, 1998 掲載予定
- 4) 稲村他, 海上フィーダー輸送を考慮した外貿コンテナ貨物の需要予測モデル, 土木学会論文集, No.562/IV-35, pp.133-140, 1997.
- 5) 貨物運賃と各種料金表 1995, 交通日本社