

アジア圏国際コンテナ貨物流動モデルとその配分原理に応じた特性比較*

A Simulation Model of International Container Shipping in Eastern Asia
and the Comparative Analysis of Network Assignment Principles*

家田 仁**・柴崎隆一***・内藤智樹***

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

1. はじめに

近年、アジア諸国の経済的成長に伴い、国際海上コンテナ輸送におけるアジア地域発着の貨物の割合が増大している。特に 1990 年代に入ってからコンテナ船の大型化が顕著になり、いわゆるハブ&スポーク型輸送が定着した。その結果、香港、シンガポールといったアジア諸港が国際的なハブ港としての地位を固めつつあり、日本の港湾の立ち後れが懸念されている。そのため、日本における今後の港湾整備の方向性を議論するために、アジア圏全体でのコンテナ貨物流動を考慮した、定量的な整備効果の把握が必要である。しかし、荷主や船社の行動に着目したこれまでの需要予測モデルは国内の貨物流動のみを対象としたものが多く³⁾、アジア圏全体の貨物流動という広い視点に立った、我が国の港湾整備のあり方に関する研究は必ずしも十分になされているとはいえない。そこで本研究では、アジア圏の代表的な港湾を対象として、港湾内及び港湾間の貨物流動をネットワーク配分問題としてモデル化する。さらに、配分原理の違いが出力結果に及ぼす影響についての考察も行う。

2. モデルの定式化と推定

1) ネットワークの構成

本研究は、ネットワークを用いてコンテナ貨物の流動を表現するものである。ここで、対象とした港湾は日本の8大港を含むアジア圏の 20 港(具体的な港湾名は図4参照)と、北米・欧州・豪州の仮想港湾の合計 23 港である。図1にノード、リンクの模式図を示す。港湾間には船型サイズ別(4種類)の航走リンクを設定する。港湾内には、船型サイズ別に、後背地との貨物のやりとりを表す船積及び船卸リンク、入港待ち時間などを考慮した入港リンク、入港から出港までコンテナ船に積まれ

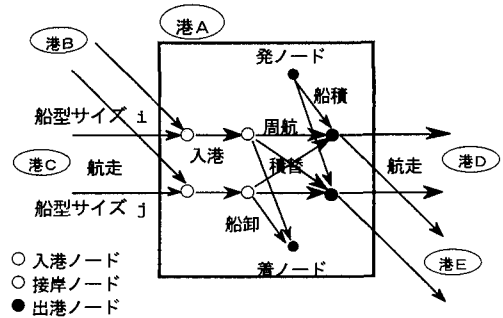


図1 ネットワークの構成

たまの貨物(通過貨物と呼ぶ)の港湾内での停泊を表す周航リンク、ハブ&スポーク型輸送の特徴である貨物のトランシップを表す積替リンクを設ける(全ノード数:322, 全リンク数:2668)。これら港湾内のリンクのコスト関数は各港湾の整備水準、荷役料金等を用いて記述する。いずれのコストも 1TEU あたりの年間費用(円)として表す。

2) 各リンクコスト関数の定式化

① 航走リンクコスト

これは港湾間の航走にかかる費用であり、金銭的費用と時間的費用との和として式(1)で表す。

$$C_1 = (\alpha_1 + \alpha_2) \times \frac{l_{ij}}{\beta \times c} + t_{val} \times \left\{ \kappa_1 \times \left(\frac{T \times \beta \times c}{2q_{ij}} \right)^{\kappa_2} + \frac{l_{ij}}{v} \right\} \quad (1)$$

t_{val}	時間価値 (千円/hour)	l_{ij}	ij 間の距離(カイリ)
κ_1, κ_2	未知パラメータ	β	消費率
q_{ij}	ij 間のリンクフロー(TEU/year)	c	船腹量(TEU)
α_1	燃費係数 (千円/hour)	T	単位期間(365日×24時間)
α_2	船費係数 (千円/hour)	v	船速(ノット)

金銭的費用は燃費と船費から構成される。なお、船費については、全コンテナ船の生涯運行距離と船速が等しいと仮定し、燃費と同様に運行距離に比例するものとした。一方、時間的費用は、出航待ち時間と所要時間との和に時間価値を乗じたもので表す。ここで κ_1, κ_2 は、荷主がコンテナ船の出港時刻に対応して待ち時間を調整し得ることを考慮して導入したパラメータである。このように、航走リンクコストはフローの逆数で表され、フローが集中し船型が大型になるほどコストが低減するという規模の経済性を表現している。

*キーワードズ: 物資流動, 経路選択, 港湾計画

**正員 工博 東京大学大学院社会基盤工学専攻 TRIP 交通研究室

***学生員 東京大学大学院社会基盤工学専攻 TRIP 交通研究室

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

② 船積及び船卸リンクコスト、積替リンクコスト

貨物の積卸、積替にかかる費用であり、荷役費用と荷役に要する時間的費用との和として式(2)で表す。

$$C_2 = F_{ee} + t_{val} \times \frac{1}{E \times G} \quad (2)$$

F _{ee}	荷役費用(千円/TEU)
E	クレーンの荷役効率(個/hour)
G	クレーン台数(台/バース)

③ 入港リンクコスト

接岸からバースへの入港までの費用であり、入港費用と入港待ち時間の時間的費用との和として式(3)で表す。

$$C_3 = \frac{P_c}{\beta \times c} + t_{val} \times w \times \frac{24}{R} \quad (3)$$

P _c	入港費用(千円)
w	入港待ち時間(hour)
R	港道の営業時間(hour)

ここで、待ち時間は1つの港湾に貨物が集中したときの混雑により生じるもので、「待ち行列理論式」を参考に、港湾整備水準(バース数で代表)と入港隻数とを用いて式(4)で与える¹⁾。

$$w = \gamma_1 \times \left(\frac{\lambda}{\beta \times \mu} \right)^{\gamma_2} \quad (4)$$

γ ₁ , γ ₂	未知パラメータ
λ	入港隻数(隻/hour)
β	バース数
μ	接岸隻数(隻/hour)

入港リンクコストは、航走リンクコストとは逆に、フローが集中することの不経済を表現している。

④ 周航リンクコスト

入港完了から出港準備が完了するまでの間の時間的費用であり式(5)で表す。

$$C_4 = t_{val} \times P \quad (5)$$

P	停泊時間(hour)
---	------------

3) 配分原理の分類

ネットワークフローの配分原理として、次の3種類を考える。

① 船社別SO

各船社グループが独自にコスト最小化行動を行うとの仮定の下に、システム最適フロー原則に基づいて配分する。ここで船社グループとは、近年出現した Global Alliance と呼ばれるより強固な海運同盟によるグループを指し(本研究では8グループとした)、船社は所属グループの総流動コストを最小化するように協調配船を行っているとの仮定に基づいている。

② 全社SO

貨物全体の流動コストを最小化するように配分する。対象地域全体のコンテナ輸送が一社独占で行われている場合の最適配分に相当する。

③ UE

コンテナの荷主が自由に経路選択や配船等を行うという仮定の下に、利用者均衡配分原則に基づいて配分する。

本研究では以上の3種類の配分結果を並行して出力し、比較及び考察を行う。

4) 各パラメータの推定

各リンクコスト関数に含まれるパラメータのうち、燃費係数や船速、荷役費用等、過去の実績値から推定できるものは、企業へのヒアリング調査や文献調査の結果を基に数値を設定する。一方、 t_{val} 、 κ 、 γ のような、実績値として得られないものは、各配分原理毎に、最後の Appendix で述べる方法で推定したリンクフローの現状値(推定現状値と呼ぶ)とモデルの推定値との平均誤差を最小化する方法で推定する。なお、具体的なパラメータの値については紙面の都合上省略する。

3. 出力結果の比較

本モデルの出力結果を推定現状値と比較する。はじめに、各配分原理に基づいて計算した場合の総流動コストを比較すると、最も低かったのが全社SOで、ついでUE、船社別SOの順であった。船社別SOの総流動コストは全社SOよりも10%程度高かった。

図2は航走リンクフロー(港間フロー)の推定現状値と各配分原理による出力結果を比較したもので、相関係数は高い方から船社別SO、全社SO、UEの順であった。ここで、船社別SOでは推定現状値と比較してフローの大きい箇所モデルの出力結果が過小評価になっている。これは本モデルが、現状ではよく発揮されている規模の経済性を完全には再現できていないためと考えられる。逆に全社SOとUEでは過大評価されるフローも存在するが、これはこの両者が貨物流動全体のコスト構造に着目しているので、グループ内のコスト最小化を行う船社別SOよりも、規模の経済性がよく発揮されるため

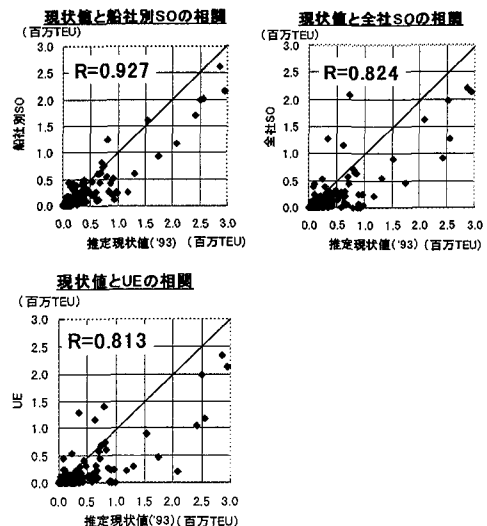


図2 航走リンクフローの推定現状値と出力結果の相関

と考えられる。

さらに、本モデルは航走リンクフローがゼロであるリンクが多いという特徴がある。そこで、図2の比較とは別に、ゼロフローとなる航走リンク数(=直航輸送のない港湾ペア数)に着目する(図3)。船社別SOにおいては推定現状値とほぼ同数で、現状再現性が高いことを裏付けている。また、全社SOとUEにおいては現状より2割ほど多く、特定のリンクによりフローが集中することを示している。

図4は港湾取扱貨物量(=発着貨物量+トランシップ量)の比較である。概ね現状を再現しているといえるが、これは本モデルが、多くの港で取扱貨物量の大部分を占める発着貨物量を所与として計算することによる。また、シンガポールのようにトランシップ貨物の多い港では取扱貨物量が過小評価されるが、これは航走リンクにおける比較時と同様、規模の経済性の再現度が低いとめと考えられる。ただし、トランシップ率(=トランシップ量/港湾取扱量)で比較すると(表1)、シンガポールにおいても現状との誤差は10%程度であり、結果は概ね妥当であるといえる。

図5に船社別SOにおけるトランシップ率と通過貨物率(=通過貨物量/(通過貨物量+港湾取扱量))の関係を示す。アジアの巨大港においてはトランシップ率が高いと同時に通過貨物が低く、ハブ港として強く機能していることがわかる。これに対し日本諸港においてはトランシップ率が低いと同時に通過貨物率が高く、ハブ&スポーク型輸送よりも直航輸送が優勢であることがわかる。通過貨物は港湾取扱貨物量に寄与しないことから、日本諸港では入出港貨物量は多い割に港湾取扱貨物量が少なく、港湾の収入が伸び悩むという構造が読みとれる。

図6に全入出港貨物船のサイズ構成を示す。現状では2250～4000 TEU のコンテナ船が最も多いが、すべての出力結果において4000 TEU 以上のコンテナ船が最も多い。特に全社

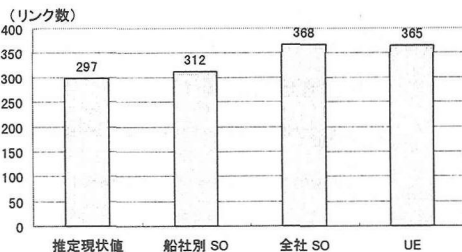


図3 ゼロフローの航走リンク数

表1 各港トランシップ率 (%)

	推定現状値	船社別 SO	全社 SO	UE
東京	0	17	0	0
横浜	19	13	0	0
清水	0	0	0	0
名古屋	1	7	0	0
大阪	0	16	0	0
神戸	27	9	0	0
門司	0	15	0	0
博多	0	2	0	0
釜山	12	43	30	38
基隆	0	12	0	0
高雄	40	34	23	25
香港	20	20	11	17
青島	0	3	34	8
天津	0	0	0	0
上海	0	11	0	0
マニラ	0	2	0	0
シンガポール	79	65	65	61
バンコク	0	0	0	0
ホーチム	0	0	0	0
ジャカルタ	0	0	0	0

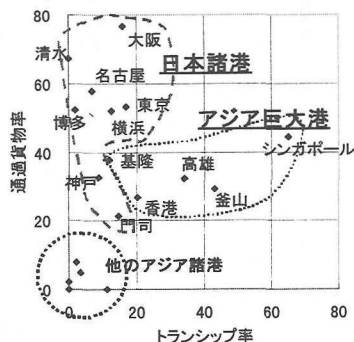


図5 船社別SOにおける各港のトランシップ率と通過貨物率

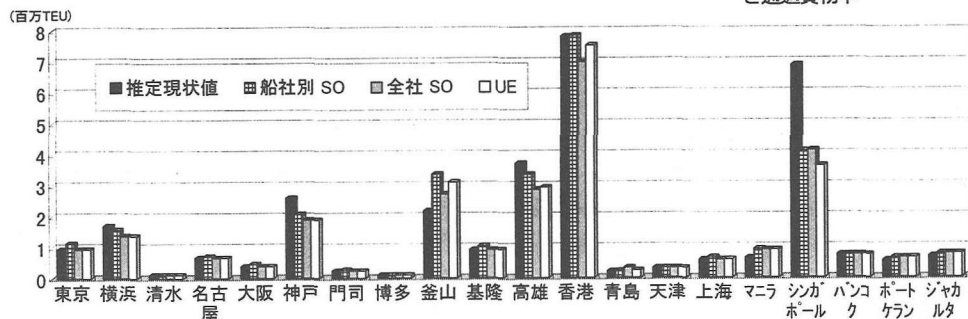


図4 港湾取扱貨物量の比較

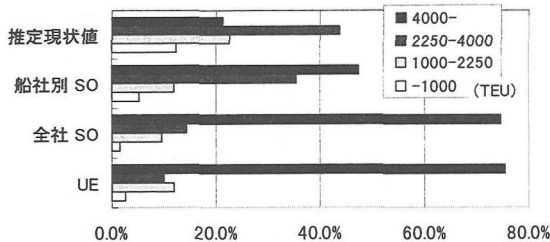


図6 入出港船のサイズ構成 (TEU ベース)

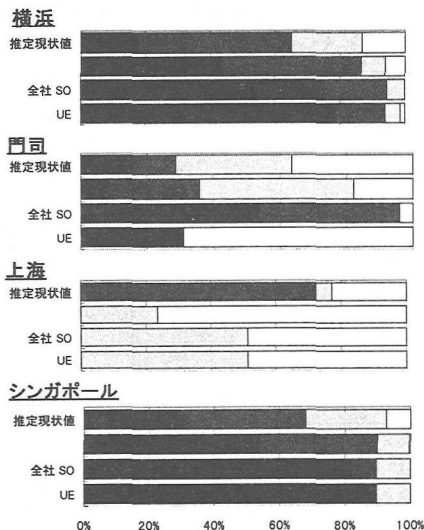


図7 港湾別入出港船のサイズ構成 (TEU ベース)

SO、UE では顕著である。すなわち、今後船社や荷主がより一層コスト削減を目指して行動した場合、コンテナ船の大型化がますます進行することが予想される。図7にこのサイズ構成を特徴的な4港湾について示す。港湾取扱貨物量の多い横浜、シンガポールでは各出力結果において大型船の占める割合が推奨現状値よりも大きい、門司では必ずしもそのような傾向は認められず、上海では逆に小型船の割合が増加する。これは、コスト至上主義による輸送形態の変革は、ハブ港とフィーダー港の地位をより確定的にすることを示している。そのため、現在フィーダー港である港湾は、後背地需要が飛躍的に増大するか港湾投資を積極的に行わない限り、その地位から脱出できないことが示唆される。

Appendix—リンクフロー及び OD 貨物量の現状値の推定—

1) リンクフローの推定

消席率を一定であると仮定し、船社別航路別船表より、各航走リンクフローを船型サイズ別に算出する。ここで消席率に

ついては、船社へのヒアリング結果より、アジア圏内航路については 80%とした。遠距離航路については、アジア圏の最終港を出発するときに 80%になるとして、アジア圏内では 40%とした。これは、東航路と西航路の就航船腹数が等しいとの仮定に基づいている。その他のリンクについては、航走リンクフローと、2)、3) で述べる OD 貨物量との制約によって決定する。

2) OD 貨物量(港湾間発着貨物量)の推定

はじめに国間 OD 貨物量を求めるが、入手可能なデータが存在しない OD ペアについては推定値を用いる(推定方法の詳細は参考文献4を参照されたい)。次に、国間 OD 貨物量を、港湾別輸出入別取扱量を修正目標値として、現在パターン法を用いて修正する。修正後の国間 OD 貨物量を港湾間に分配するのであるが、その方針は次の通りである。日本以外のアジア諸国については国全体の港湾取扱貨物量と港湾別の取扱量から「港湾の国内シェア」を算出し、それに応じて各港湾に分配する。日本国内の港湾については、港湾別にトンベースの OD 貨物量が入手可能であるので、それを TEU ベースに変換する。

3) 船社グループ別 OD 貨物量の推定

OD 貨物量を各船社グループに分配する際に以下の仮定をおく。各港湾の発着貨物量に占める各船社グループの割合は、1) で求めた各航路の全航走リンクフローに占める各船社グループのリンクフローの割合に等しいと仮定する。ここで、発生貨物量は港湾からの流出に、集中貨物量は港湾への流入に対応させる。以上より、港湾の発着貨物量をそれぞれ O_i 、 D_i フローを F とすると式(6)のように表せる。

$$O_i^a = \frac{F_{out\ i}^a}{\sum_a F_{out\ j}^a} \times O_i, \quad D_i^a = \frac{F_{in\ i}^a}{\sum_a F_{in\ j}^a} \times D_i \quad (6)$$

ここで、添字 i は港湾を、 a は船社グループを、 in 、 out は流入、流出を表す。

<参考文献>

- 1) 三島大輔「港湾整備水準を考慮したアジア圏コンテナ貨物流動シミュレーションモデルの開発」東京大学修士論文、1996.3
- 2) Mishima, H.Ieda「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, 1996.11
- 3) 例えば、黒田ら「フィーダーサービスによる国内コンテナ貨物流動分析」土木計画学研究・講演集、No.19(2)、1996.11、pp.203～206
- 4) 柴崎、家田「船社ごとの行動に着目した国際コンテナ流動モデルの開発」第24回関東支部技術研究発表会・講演概要集、1997.3、pp.508～509