

アジア地域コンテナ定期船輸送を対象とした船社、荷主の行動モデル

Shipper and carrier behavior model of liner container transport in Asian region

小坂浩之*、谷下雅義**、鹿島茂***

By Hiroyuki KOSAKA, Masayoshi TANISHITA and Shigeru KASHIMA

1. はじめに

アジア地域ではコンテナ貨物が急増しており、各国は大規模な港湾の整備を進めている。各国の港湾整備は、アジア地域における船社の寄港地選択や荷主の港湾選択に影響を与える。そのため、船社、荷主の行動を十分に考慮していない港湾の整備計画は、計画した水準の船舶の寄港数やコンテナ貨物取扱量が伴わず、過剰もしくは過少な投資となる可能性がある。このような港湾整備計画の検討をおこなうためには、港湾のサービス水準を前提とする船社、荷主の行動モデルが必要である。これまで、船社、荷主の行動は、主に日本の港湾における船舶の寄港と貨物の取扱いを対象としてモデル化されている¹⁾。また、船社の行動における船舶の運航経路は、アジア-北米西岸航路等の大型船の運航経路を対象としている²⁾。そこで本研究では、アジア地域内のコンテナ定期船輸送を対象として船舶の運航特性を把握するとともに、船舶の運航経路を考慮して船社、荷主の行動モデルの作成をおこなう。

2. アジア地域内定期船輸送の運航形態

(1) 定期船寄港港湾

アジア地域 21 国を対象として、1995 年時点の定期船輸送サービスのデータをもとに集計した、国別の定期船寄港港湾数を表 1 に示す。日本の地方港と中国・韓国間に多くの定期船輸送サービスが存在するため、全体の 36% が日本の港湾である。

Keywords: 物資流動

*学生員 中央大学大学院理工学研究科
 **正会員 工博 中央大学理工学部助教授
 ***正会員 工博 中央大学理工学部教授
 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-2 7
 Tel 03-3817-1817 Fax 03-3817-1803

表 1・国別の定期船輸送港湾数

国名	港数	国名	港数	国名	港数
日本	44	韓国	4	モルジブ	1
中国	26	タイ	4	パキスタン	1
マレーシア	10	台湾	3	ブルネイ	1
インド	7	バングラディシュ	1	スリランカ	1
フィリピン	6	シンガポール	1	ミャンマー	0
インドネシア	6	カンボジア	1	北朝鮮	0
ヴェトナム	5	香港	1	ロシア	0

総港湾数 123

(2) 定期船輸送船舶

アジア地域内を運航する船舶について、船種別の船舶数と平均積載能力を表 2 に示す。全体の約 82% がコンテナ船であり、定期船輸送の貨物がコンテナ化されていることがわかる。

表 2・アジア地域の定期船輸送船舶

船種	投入船舶数	平均積載能力(TEU)
フルコンテナ船	342(0.64)	634
セミコンテナ船	99(0.18)	306
在来船	12(0.02)	—
不明	85(0.16)	—

() は比率 総船舶数 538 隻

次に、積載能力別船舶数を図 1 に示す。フルコンテナ船は、800TEU 付近で大きく小型船と大型船に分けられる。

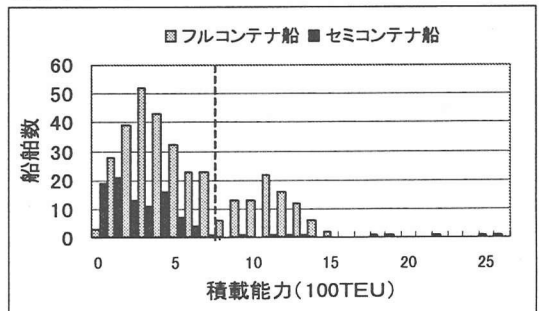
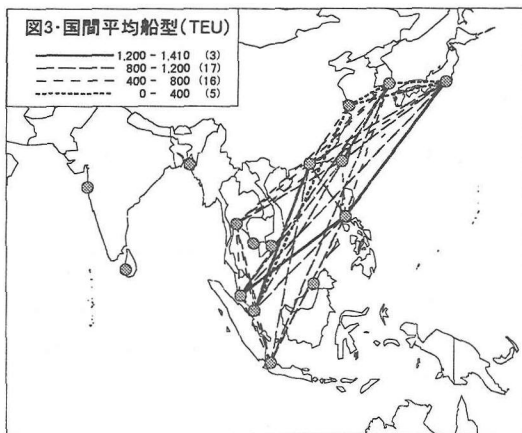
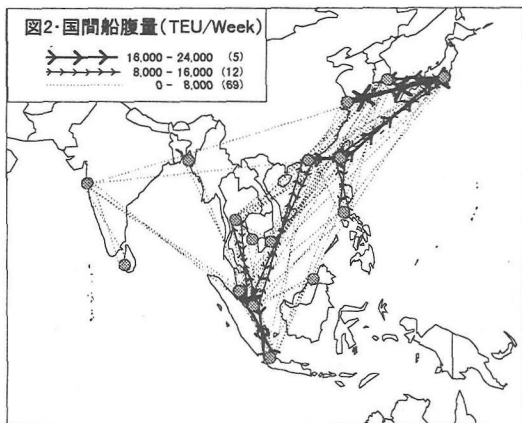


図 1・コンテナ船の積載能力別船舶数

(3) 国間の船腹量と船型

各国間を運航する船舶の積載能力と運航頻度から求めた方向別の国間船腹量を図2に示す。また、国間平均船型を図3に示す。日本と中国・韓国間、シガポールとマレーシア・インドネシア間、台湾とフィリピン間は、国間船腹量は大きいが平均船型が小さいため、小型船による高頻度のサービスがおこなわれていることがわかる。国間の船腹量と船型が大きい日本と台湾、台湾と香港、香港とシガポール間がアジア地域の基幹航路といえる。



3. 船社、荷主の行動モデルの作成

(1) 前提となる諸仮定

(a) 前提条件

- ・年間のコンテナ貨物定期船輸送を対象とする。
- ・定期船輸送をおこなう船社と各港湾でOD貨物量をもつ荷主がそれぞれ1社ずつ存在する。

・港湾におけるOD貨物量 O^j は与件とする。

・保有船舶の船型別総船舶数 N^i は与件とする。

・1寄港で積載する貨物量は経路別港湾別に等しい。

・船舶の寄港地における停泊時間は荷役時間に等しい。

(b) モデルの構造

モデルの全体構造を図4に示す。船社は利潤が最大になるように、港湾の施設量、利用料金、荷主が決定する経路貨物量 Q_w^j をもとに保有する船舶の経路別船型別年間運航回数 n_w^i を決定する。船社の収入は輸送貨物量からの運賃収入とし、運航費用は船・船員費用、燃料費用、荷役費用、バース使用費用、入港費用とする。荷主は輸送費用が最小になるように、港湾におけるOD貨物量を船社が決定する運航経路別に配分し、経路貨物量 Q_w^j を決定する。荷主の輸送費用は海上輸送費用、海上輸送時間費用、港湾での待ち時間費用とする。

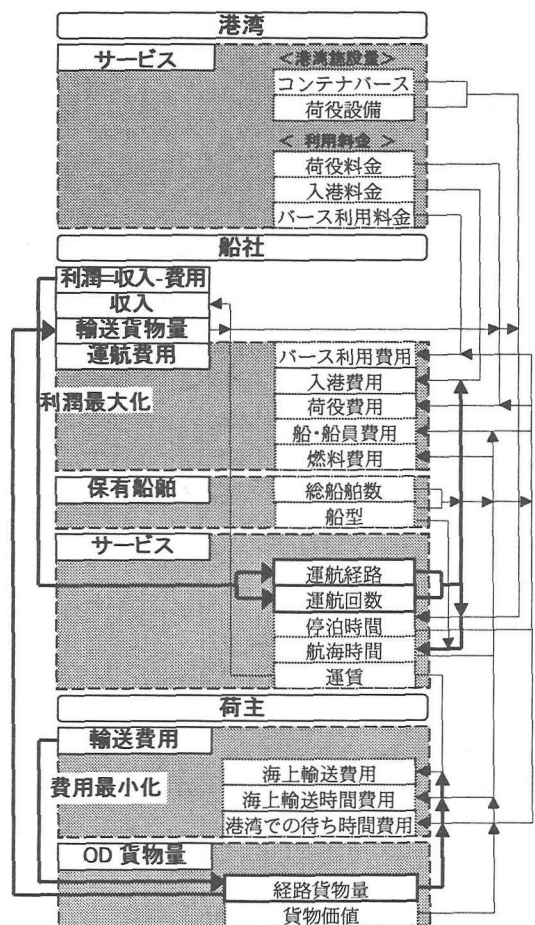


図4・モデルの全体構造

(2) 定式化

(a) 船社の行動モデル

目的関数の第1項は料金収入、第2～6項はそれぞれ年間の船・船員費、燃料費、荷役費用、バース使用費用、入港費用を示す。制約条件は船舶の運航が経路貨物量を満たす条件、経路に投入された船舶がその経路を1年間運航する条件、船社が運航させる総船舶数の条件である。

$$\max_{\delta_w^l, n_w^l} \sum_i \sum_j \sum_f f^{ij} Q_w^{ij} \delta_w^l - \sum_r \sum_w (cs^r + cc) / 365 \left[\left\{ \sum_r \left(\sum_j Q_w^{rj} + \sum_i Q_w^{ir} \right) / \sum_r \delta_w^l n_w^l \right\} / u_p^r + \left(\sum_i \sum_j R_w^{ij} D_{ij} / V^l \right) \right] \delta_w^l n_w^l$$

$$- \sum_i \sum_w f_w^l \left(\sum_j \sum_j R_w^{ij} D_{ij} / V^l \right) \delta_w^l n_w^l - \sum_i \sum_w w_p \left\{ \sum_p \left(\sum_j Q_w^{pj} + \sum_i Q_w^{ip} \right) / \sum_i \delta_w^l n_w^l \right\} \delta_w^l n_w^l - \sum_i \sum_w GT^l v_p^l \left[\left\{ \sum_p \left(\sum_j Q_w^{pj} + \sum_i Q_w^{ip} \right) / \sum_i \delta_w^l n_w^l \right\} / u_p^l \right] \delta_w^l n_w^l - \sum_i \sum_w \sum_p GT^l pf_p^l \varphi_p^l \delta_w^l n_w^l$$

s. t.

$$\delta_w^l = 1 \text{ or } 0 \quad n_w^l \geq 0; \text{ 整数}$$

$$\sum_i C^l \delta_w^l n_w^l R_w^{ij} \geq Q_w^{ij}$$

$$\left[\left\{ \sum_p \left(\sum_j Q_w^{pj} + \sum_i Q_w^{ip} \right) / \sum_i \delta_w^l n_w^l \right\} / u_p^l + \left(\sum_i \sum_j R_w^{ij} D_{ij} / V^l \right) \right] \delta_w^l n_w^l \geq 365$$

$$\sum_w \left[\left\{ \sum_p \left(\sum_j Q_w^{pj} + \sum_i Q_w^{ip} \right) / \sum_i \delta_w^l n_w^l \right\} / u_p^l + \left(\sum_i \sum_j R_w^{ij} D_{ij} / V^l \right) \right] \delta_w^l n_w^l = 365 N^l$$

(b) 荷主の行動モデル

目的関数の第1項は海上輸送費用、第2、3項はそれぞれ港湾での待ち時間と運航時間による貨物価値損失費用を表す。制約条件は経路貨物量のODフロー保存と船舶容量制約である。

$$\min_{Q_w^{ij}} \sum_i \sum_j f^{ij} Q_w^{ij} \delta_w^l + \sum_w \sum_i \sum_j pc Q_w^{ij} (1 + \eta) \wedge 365 / 2 \sum_i \delta_w^l n_w^l + \sum_w \sum_i \sum_j pc Q_w^{ij} (1 + \eta) \wedge \sum_i \delta_w^l \left[\sum_{i=1}^{k_w-1} T_{s_w(i), s_w(i+1)}^l \right. \\ \left. + \left\{ \sum_{a=1}^{k_w} \left(\sum_j Q_w^{a(a),j} + \sum_i Q_w^{i,a(a)} \right) / \sum_i \delta_w^l n_w^l \right\} / u_{s_w(a)}^l \right] / L_w$$

s. t.

$$Q_w^{ij} \geq 0 \quad \sum_w Q_w^{ij} = O_{ij} \quad \sum_w Q_w^{ij} \leq \sum_i C^l \delta_w^l n_w^l R_w^{ij}$$

添字

w 経路 i, j 船舶が運航する時の発港湾と到着港湾
p 船舶の寄港地 l 船舶(船型)

経路を表す変数

R_w^{ij} 経路wがiノードとjノード間を通るとき1、通らない時0

φ_w^p 経路wがjノードを通るとき1、通らない時0

k_w aから出発する経路wが通るノードの番号

$S_w(k_w)$ 経路wの k_w 番目に通過するノード

内生変数

Q_w^{ij} 経路wへの貨物量 (TEU/年)

δ_w^l 経路wの船型別運航(する時1、しない時0)

n_w^l 経路wの船型別年間運航回数

外生変数

O^{ij} i, j間の年間貨物量OD (TEU/年) η 利率

pc 単位貨物価値 (円/TEU)

C^l 船型別積載能力 (TEU) V^l 船型別速度 (Knot)

GT^l 船型別トン数 (TON) N^l 船型別総船舶数

u_p^l 港湾別バース当りの船型別日間荷役能力 (TEU/日/バース)

f^{ij} a, j間の単位貨物量当りの海上輸送料金 (円/TEU)

cc 船型別年間船費 (円/船舶/年)

cs^l 1船舶当りの年間船員費 (円/船舶/年)

fc^l 船型別日間燃料費 (円/船舶/日)

w_p 港湾別単位貨物量当りの荷役料金 (円/TEU)

v_p^l 港湾別船型別トン当日間バース使用料金 (円/船舶(トン数)/日)

pf_p^l 港湾別船型別トン当日1入港当りの料金 (円/船舶(トン数))

4. モデルの適用

(1) 対象とするコンテナ定期船輸送

2.で述べたアジア地域の基幹航路と考えられる日本、香港、台湾、シンガポール間のコンテナ定期船輸送と対象とする。荷主が存在する港湾は各国に1つとし、国内の港湾間における船舶の運航は考慮しない。

(2) 計算方法

作成した船社の行動モデルは、船社が保有するすべての船舶を用いて各経路の年間運航回数を決定するものである。しかし、総船舶数の制約が考慮された計算方法の構築が不十分であるため、ここでは総船舶数を与えずに計算をおこなった。計算方法は、船社のモデルに初期値としてOD別経路別運航距離に反比例した経路貨物量を与え、作成したモデル間で収束した値をモデルの解とする。計算過程を図5に示す。

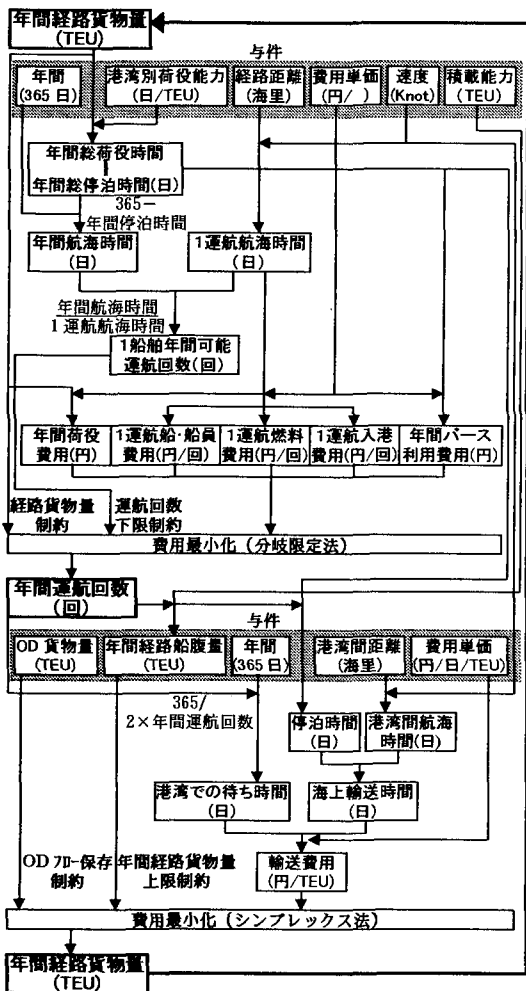


図5・経路貨物量の計算過程

(3) パラメータの設定

(a) 運航経路

船舶の運航経路は、 ${}_4C_4 \times (4-1)! + {}_4C_3 \times (3-1)! + {}_4C_2 \times (2-1)! = 20$ 種類と寄港地3の内2寄港地間で船舶の往復がおこなわれる経路 (${}_4C_3 \times {}_3C_2 = 12$) の32種類とする。

(b) OD貨物量と運航船舶

1995年を対象としたアジア地域内のOD貨物量の推計値を用いる。³⁾ 運行船舶の船型は1種類とし、積載能力1150TEU、速度18Knotとする。

(d) 港湾施設

各国の年間荷役能力は、1994年時点のクレーン数⁴⁾と時間当たり30TEUの積卸し作業が可能として次式で算定した。また、日本のクレーン数は、アジ

ア内航路の寄港頻度上位7港湾(全体の8割)のクレーン数を用いた。

$$\text{荷役能力 (TEU/日)} = \frac{\text{アジア内航路の国別寄港頻度}}{\text{全航路の国別寄港頻度}} \times \text{クレーン数} \times 24 \times 30$$

(4) 計算結果

国間船腹量の計算結果と実績値を表3に示す。計算結果では、シンガポールと日本、台湾間を運航する船舶が存在するが、実績値では存在しない。また、推計値は実績値に比べ過小になる傾向が見られ、モデルの計算において明示的に総船舶数を扱う必要があると考える。表4に、総船腹量に対する国間船腹量推計値と実績値の比率を示す。国間船腹量の推計は不十分であるが、各国の発着比率はある程度推計できた。

表3・国間船腹量(実績値/推計値)

発着	香港	日本	シンガポール	台湾	計
香港	—	39/25	54/42	89/35	183/101
日本	35/34	—	0/16	72/34	106/84
シンガポール	62/12	0/25	—	0/34	62/70
台湾	127/56	92/34	0/12	—	219/102
計	224/101	131/84	54/70	160/102	570/358

(10000TEU/年)

表4・国間船腹量/総船腹量(実績値/推計値)

発着	香港	日本	シンガポール	台湾	計
香港	—	0.07/0.07	0.10/0.12	0.16/0.10	0.32/0.28
日本	0.06/0.10	—	0.00/0.05	0.12/0.09	0.19/0.23
シンガポール	0.11/0.03	0.00/0.07	—	0.00/0.09	0.11/0.20
台湾	0.22/0.16	0.16/0.10	0.00/0.03	—	0.38/0.29
計	0.39/0.28	0.23/0.23	0.10/0.20	0.28/0.29	1.00/1.00

5. おわりに

船舶の運航は、船社の保有する総船舶数や船型が多種類存在することによって変化する。今回のモデルの計算は、総船舶数や多種類の船型を考慮していないため、実際の船舶の運航経路や頻度を表すことができないと考える。今後は、総船舶数、多種類の船型を取り入れたモデルの計算に取り組む予定である。

【参考文献】

- 1) Stackelberg Equilibria Analysis of Container Cargo Behavior, Katsuhiko KURODA, Zan YANG, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.1, No.1, Autumn, 1995
- 2) A Containerized Liner Routing Problem, Akio IMAI, Stratos PAPADIMITRIOU, 土木計画学研究・講演集 1996
- 3) 〆ンヤコマース社: 国際輸送ハンドブック 1997
- 4) The National Magazine Co.LTD.: Containerization. International Yearbook 1994