

船社の寄港挙動モデルによる国際コンテナ航路体系の分析

～ 東アジア-北米西岸航路について ～

A modeling of Carriers' Behavior of Container Ship Calling at Ports
- Routes between East Asia and West Coast of North America -

渡部 富博* 善見 政和** 石橋 宏典***
Tomihiro WATANABE Masakazu YOSHIMI Hironori ISHIBASHI

1. はじめに

近年、香港やシンガポールをはじめとしたアジアの主要港湾での国際コンテナ貨物の取扱量の増大、コンテナ船の大型化、コンソーシアム（企業連合）の再編等、我が国の国際海上コンテナ輸送をとりまく環境は大きく変化している。特に、船社がより一層のサービス向上やコスト削減のために、大型コンテナ船を主要港湾にのみ寄港させ、貨物取り扱いの集約化と運航の迅速化・安定化を図る動きが盛んであり、今後の我が国の国際コンテナターミナルの整備を考えるにあたっては、日本のみならず東アジア諸国の今後の経済発展の動向やコンテナターミナルの状況分析、コンテナ船の大型化の動向分析等に加え、コンテナ輸送ルート形成に関わる船社行動分析が不可欠となっている。

船社の寄港挙動の分析としては、木村¹⁾が同盟船社と非同盟船社の競争を考慮し、船社の運航採算性を考慮した寄港地選択モデルを開発している。また、郭等²⁾は、国家レベルでのいくつかの経済主体が、ゲーム理論に基づいた合理的な行動をとるとして評価モデルを構築し、東アジア-北米航路の国際コンテナネットワーク形成について分析している。黒田等³⁾はコンテナ船の寄港挙動を港湾整備主体、船社、荷主をゲームの参加者とするゲームの理論のなかで捉え、シュタッケルベルグ均衡解を求めることにより、船社の行動を分析している。家田等⁴⁾は、港湾内およ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し、船社グループのコスト最小化や貨物全体の流動コストの最小化等の配分原理の違いが現象再現に及ぼす影響等を分析している。

これら研究は、船社の挙動を運送費用等の最適化等に基づくものとして捉えることが基本となっているが、港湾整備とコンテナ貨物輸送体系の関連分析など、今後の我が国の港湾整備を考えるうえで不可欠な事項を必ずしも十分に取り込んだモデルとはなっていない。

このような状況のもと、筆者等⁵⁾は、船社の寄港行動を説明するモデルの検討を行い、各国の貨物がダイレクト貨物として、あるいはフィーダー貨物として輸送される状況を説明するモデルを構築している。しかしながら、構築モデルは、ルートの選択確率を求めるモデルの説明変数の説明力が弱い、今後の港湾整備のあり方を考える上で不可欠な各種の政策変数の導入が十分ではない等の課題を抱えていた。

以上の背景を踏まえ、本分析は、今後の我が国のコンテナターミナル整備を考える際に必要となる船社の将来の寄港行動の検討に資するために、荷動き量が大きく船社間の競争も激しい東アジア-北米西岸航路（東航）を対象に、日本を中心とした東アジア地域でのコンテナ貨物の流動状況を国・地域間といったマクロな視点で捉え、特にコンテナターミナル整備と船社の行動に着目し、その寄港地選択を説明するモデルの再構築を行い、国際コンテナ航路体系の分析を行ったものである。

2. 東アジア-北米西岸航路（東航）の概要

(1) 運航ルートの特徴

表-1に、1997年末時点の東アジア-北米西岸航路（全37ルート）の就航隻数と寄港港湾数、寄港国・地域を示す。

世界一周航路や地中海、北米東岸、カリブ海航路等と接続している航路については、就航コンテナ隻数が10隻を越えるルートがあるものの、東アジア-北米西岸航路のみのルートに関しては、5あるいは6隻のコンテナ船の投入がほとんどである。

また、寄港港湾数については、アジア全体で4～6寄港が多い。日本への寄港は、東京湾29ルート、伊勢湾16ルート、大阪湾27ルートとなっており、東京湾と大阪湾には7～8割の航路の船舶が寄港していることがわかる。また、この三大湾のいずれにも寄港するルートが14ルート、博多港、清水港、仙台港等の地方の港湾にも寄港するルートが8ルートとなっている。そのほか、東アジアの主要国への寄港をみると、香港への寄港が26ルート、台湾への寄港が23ルートと、多くのルートがこれらの国に寄港していることが伺える。中国については、近年寄港ルートが増加しており、9ルートが寄港している。なお、シンガポールについては、北米西岸航路に関しては、

キーワード：物資流動，経路選択，港湾計画

* 正会員：工修 運輸省港湾技術研究所 主任研究官

(〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 TEL/FAX 0468-44-5035)

** 正会員：工修 運輸省港湾技術研究所 計画基準研究室長

(〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 TEL/FAX 0468-44-5035)

***：工修 福岡市港湾局計画課

(〒812-3213 福岡市博多区石城町13-13 TEL092-282-7130)

FAX 092-291-3185)

表-1 東アジア-北米西岸航路の就航隻数と寄港地(97年)

アジア 寄港 港数	就航 コンテナ 隻数	アジア地域での寄港港(注1)									
		東京 湾	伊勢 湾	大阪 湾	その他	韓国 プサン 他	台湾 高雄 基隆	香港	中国	シンガ ポール	アジア の他の 国
11	12	○	○	○	◎	○	◎	○		○	○
7	15	○		○	◎		○	○		○	
7	14	○		○	○		○	○	○	○	
7	9	○	○	○		○	○	○		○	
6	7	○	○	○	◎	○					
6	6	○	○	○			○	○			○
6	6	○	○		○	○		○	○		
6	6	○		○			○	○	○	○	○
6	6	○		○		○	◎	○			
6	5	○	○	○	◎			○			
5	16	○		○		○	○	○			
5	13	○	○	○			○	○			
5	13	○		○		○		○		○	
5	11	○	○	○			○	○			
5	8	○	○	○			○				○
5	6	○	○	○			○		○		
5	6	○		○					●		
5	5	○	○	○	○			○			
5	5	○	○	○					◎		
5	5	○	○	○			○	○			
5	5	○	○	○			○	○			
5	5	○		○		○	○	○			
4	11					○	○	○		○	
4	7						○	○		○	○
4	6	○		○			○	○			
4	6						○	○	○	○	○
4	6						◎	○		○	
4	5	○	○		○	○					
4	5	○	○	○				○			
4	5	○		○			○	○			
4	5	○		○		○			○		
3	8	○		○		○					
3	5					○	○	○			
3	5					○	○	○			
2	5						○			○	
1	5						○				
ルート数		29	16	27	8	15	23	26	9	11	6

注1)寄港港の○は1寄港港、◎は2寄港港、●は3寄港港

注2)東京湾=東京・横浜港、伊勢湾=名古屋港、大阪湾=大阪・神戸港
(参考文献6)より作成

11ルートにとどまっている。

このように、東アジア-北米西岸航路においては、アジアの主要港湾である日本の三大湾、プサン、高雄、香港、シンガポールの7地域/港湾のすべてに寄港するといったルートはわずかに2ルートだけであり、各ルートとも寄港地数と寄港地を選択したうえで、周回日数と投入隻数に見合ったルート形成がなされていることがわかる。

(2)投入コンテナ船・寄港港湾数

1997年と1994年における東アジア-北米西岸航路に投入されたコンテナ船と、アジア地域における寄港港湾数(ルート平均)を表-2に示す。表-2より、1994年と1997年では、コンテナ船の大型化が進んでおり、日本をはじめとした各ルートの寄港地数も減少していることが伺える。船型分布詳細は(4)に示す。

表-2 東アジア-北米西岸航路のコンテナ船と寄港数

	ルート 数	コンテナ船		ルート平均寄港港湾数	
		投入隻数	平均船型	日本	アジア計 (日本含)
1997	37	271隻	2929TEU	2.3港	4.9港
1994	37	254隻	2675TEU	2.6港	5.1港

(各年度参考文献6)より作成)

(3)コンテナ貨物流動

国際コンテナ貨物輸送においては、港湾毎の取扱量は比較的容易に入手することができるが、フィーダー輸送を含めた各ルート毎のコンテナ輸送量は、船社等の情報を用いて集計することが必要なため、詳細データを入手できないことが多い。このような状況のなか、対米国とのコンテナの動きについては、米国税関のデータに基づく資料が利用可能となっている。

その資料に基づく1997年1月～3月の3ヶ月間における東アジア-北米西岸航路(東航)のコンテナ貨物の流動状況を表-3に示す。この期間にアジア諸国から北米西岸には77.9万TEUの貨物が輸送されており、うち59%にあたる46.1万TEUの貨物が自国の港湾から北米西岸向けの本船に積み込まれ、残りの31.8万TEUが他の国・地域の港湾にフィーダー輸送(以下「フィーダー貨物」と呼ぶ)されている。フィーダー輸送先としては、香港が最も多く17.2万TEU、次いで台湾が5.5万TEU、シンガポール4.7万TEU等となっている。

各国の港湾の本船積コンテナ貨物は、自国の背後圏からの貨物(以下「ダイレクト貨物」と呼ぶ)と、他港からフィーダー輸送され当該港湾で本船に積み替えられる貨物(以下「トランシップ貨物」と呼ぶ)から

表-3 東アジア-北米西岸航路(東航)におけるコンテナ貨物流動(1997年1月～3月)

輸出国	北米西岸 輸出貨物	輸出国の 本船積	フィーダー 貨物	本 船 積 み を 行 う 国 ・ 地 域								(TEU)
				東京湾	大阪湾	伊勢湾	北部九州	韓国	台湾	香港	シンガポール	
日本	149,728	147,217	2,511	0	0	0	0	1,643	142	172	74	479
NIES4 小計	271,815	259,375	12,440	3,404	1,257	10	0	86	6,400	840	292	152
韓国	49,500	48,115	1,385	641	509	10	0	0	94	67	56	8
台湾	106,829	105,680	1,149	309	143	0	0	28	0	421	163	85
香港	103,041	96,682	6,359	1,281	564	0	0	4	4,382	0	73	55
シンガポール	12,445	8,897	3,548	1,173	41	0	0	54	1,923	352	0	4
ASEAN4 小計	118,247	10,285	107,962	7,303	1,521	0	0	1,580	42,356	8,866	46,191	145
タイ	38,741	2,913	35,828	3,186	1,110	0	0	786	17,053	4,685	8,996	13
マレーシア	27,662	5,588	22,074	1,445	164	0	0	4	3,819	1,156	15,479	6
インドネシア	29,820	142	29,678	1,459	176	0	0	48	5,380	1,213	21,394	8
フィリピン	22,024	1,642	20,382	1,214	71	0	0	742	16,103	1,811	322	119
中国	239,608	44,223	195,385	11,039	6,501	75	0	9,248	6,484	161,801	228	9
Total	779,397	461,099	318,298	21,746	9,279	85	0	12,557	55,381	171,679	46,785	785

(参考文献7)より作成)

なる。表-3より、各港湾での本船積コンテナ貨物のうち、シンガポールでは8割強、香港では6割強、韓国では2割、そして日本では2割弱が、他港からフィーダー輸送され当該港湾で本船に積替えられるトランシップ貨物であることがわかる。

(4)投入船型

図-1に、東アジア-北米西岸航路に就航しているコンテナ船の船型構成を示す。1994年と1997年を比較すると、1,000~1,999TEUクラス、2,000~2,999TEU積みのコンテナ船の比率が減少し3,000~3,999TEUや4,000~4,999TEU、更には5,000TEU積みを超える大型コンテナ船の構成比率が大きくなっていることが伺える。

コンテナ船の大型化は急激に進みつつあり、欧州航路では最近になって6,000TEU積みの船舶の運航も開始されている。現在建造中の船舶も6,000TEU積みを超える超大型船が多く、これらの船舶が東アジア-北米西岸、東アジア-欧州など貨物量の多い基幹航路に集中的に投入されるものと予想される。また、コンソーシアムにより、船社間の効率的な配船が可能となり、集貨体制との関連のなかで自由度が増加し、船舶の大型化をより進めることになると考えられる。船型の大型化は、一隻あたりの港湾でのコンテナ貨物取扱量を増加させることから、荷役能力を現状程度とすれば、荷役に要する時間増加となり、また、船舶の運航費用も高くなるため、周回日数・船舶の運航スピードを現状とする制約条件下では、寄港港数の減少をもたらすことも考えられる。

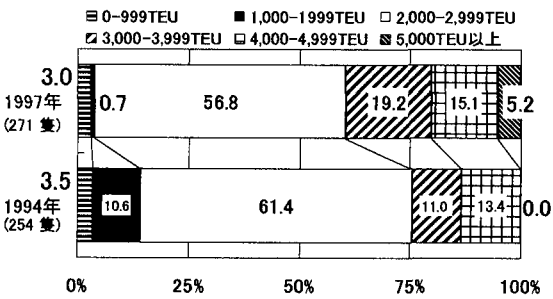


図-1 東アジア-北米西岸のコンテナ船の船型構成

(5)船社の寄港地選択の要因

船社からのヒアリングに基づき基幹航路における寄港地の選定要因を分析した事例を図-2に示す。それによれば、寄港地の選定要因は、地理的位置、貨物量の確保、荷役機械使用料(ターミナル費用)の低廉なこと等があげられる。また、寄港の実態から、ほとんどの船社で船社の所属国および拠点とする港湾への寄港を重視する傾向がみられ(貨物集貨の容易さが示す結果とも考えられる)、さらに、運航航路から地理的に拠点となる港湾にはほとんどのルートで船舶が寄港していることが伺える。

つまり、船社は投入隻数の条件のなかで、寄港に見合った貨物が集荷でき、船舶が効率的に運航できるように寄港地を選定しているといえる。

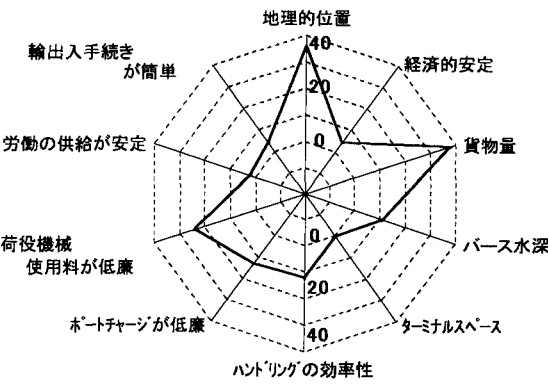


図-2 幹線航路における船社の寄港要因¹⁾

3. 船社の寄港挙動モデルの構築

本分析ではフィーダー輸送による集荷と本船の寄港に着目してモデルを検討した。

ある港湾で取り扱われるコンテナ貨物量のうち当該港湾で本船に積み替えられる貨物量は、①その港の立地する当該国・地域で生産・消費される貨物量(以下「ローカルターミナル需要」と呼ぶ)のうち当該港湾で本船積みされるダイレクト貨物と、②当該港湾周辺の国・地域で生産・消費され、当該港湾にフィーダー輸送され当該港湾で本船に積み替えられるトランシップ貨物の合計(以下、両者の合計を「拡大ターミナル需要」と呼ぶ)となる。

図-3に、ダイレクト貨物、フィーダー貨物、トランシップ貨物の区分を示す。この図-3において、A港の拡大ターミナル需要は、A港から本船に積み込まれる「①のダイレクト貨物」と、「③のB港からのトランシップ貨物(=③)」の合計となる。

一般に、生産地では、自国の港で本船に載せるか、他

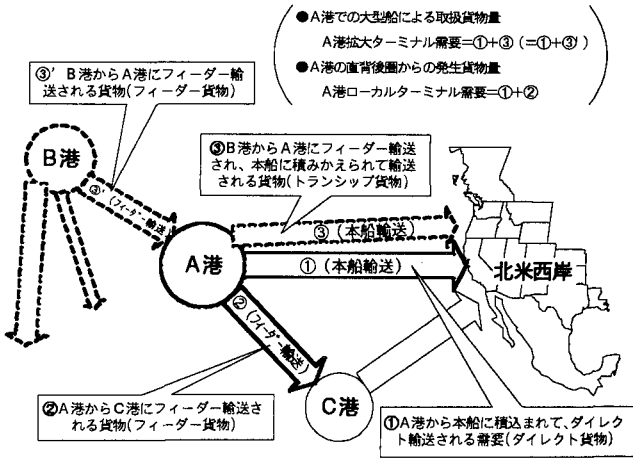


図-3 ダイレクト・フィーダー・トランシップ貨物と拡大ターミナル需要の定義

港にフィーダーするか、の2つの選択の余地がある。

一般にフィーダー輸送は、小型・中型船等で行われ、フィーダー先の港湾で本船への積替えが行われるため、輸送日数が高い、輸送費用が高い、貨物の破損の可能性も高い等のデメリットがあるが、港によっては本船サービスの水準が低く、フィーダー船を選択しなければならない状況も多い。ただしフィーダー先の港湾としては、本船寄港数が多い等の条件を満足しても、目的地から大きくはずれ迂回を余儀なくされる港湾や、フィーダー距離が総輸送距離に比して大きくなる港湾が選択される可能性は少ない。

また、本船の寄港に関して言えば、前出のとおり本船の寄港は拡大ターミナル需要の大きさや港のサービス水準（荷役機械使用料、岸壁などの港湾施設等）に大きく左右されることが知られている。

このような状況を踏まえ、本分析では、モデルの全体構成を以下のとおり考えることとした。

(1) モデルの全体構成

今回の検討モデルは、図-4に示すとおり、各国・地域の本船寄港隻数、港湾料金、コンテナ船の運航コストなどをもとに、各国・地域のローカルターミナル需要が自国・地域の港湾で本船利用となるか、他の国・地域の港湾で本船利用となるかという選択確率を計算し、フィーダー輸送も含めた需要である拡大ターミナル需要を計算するフィーダーサブモデルと、得られた拡大ターミナル需要と各国・地域での港湾サービス水準（バース延長等）やコンテナ船の船型構成などをもとに本船寄港隻数を予測する本船サブモデルからなる。

モデルは、フィーダーサブモデルに入力する各国・地域の本船寄港隻数と、本船サブモデルから計算される各国・地域の本船寄港隻数が収束するまで計算を繰り返すフィードバックループを有し、港湾料金・バースの整備状況といった港のサービス水準や他の国・地域からのフィーダー貨物も含めた拡大ターミナル需要により、貨物の流動状況、船社の寄港行動がどう変化するかを検討できるという特徴を有するモデルとなっている。

具体的には、フィーダーサブモデルにおいては、各国・地域 i の代表港 i を定め、自国・地域からの発生貨物（ローカルターミナル需要）が当該国・地域の代表港 i から北米行きの本船に積み込まれるか、あるいは他の国・地域に小型船等でフィーダー輸送され、そのフィーダー先において本船に積み込まれるかを考え、候補となる各ルートの選択確率を計算する。

今回の分析では、この選択確率の計算にあたり、各国・地域の本船寄港隻数 Y_{1i} を用いて寄港頻度をあらわすダミー変数の導入を行うこととしており、 Y_{1i} をもとに1週間に1便の本船寄港の場合にはウィークリーダミー、毎日の本船寄港の場合にはデイリーダミー、そ

して1日に多頻度（3便）の本船寄港の場合には多頻度ダミーとしてダミー変数を導入している。これらの寄港頻度に関する説明変数やコンテナ船の入港・コンテナ貨物の荷役に関わる港湾料金、コンテナ船の運航コスト等をもとに利用港湾別の選択確率を求め、各国・地域 i のフィーダー輸送も含めた需要である拡大ターミナル需要 X_i を求める。

また本船サブモデルにおいては、この拡大ターミナル需要 X_i ならびに、コンテナバースの整備量などをもとに、各国・地域 i の代表港 i における本船寄港隻数 Y_{2i} を計算する。

こうして計算される Y_{2i} とフィーダーサブモデルに入力された本船寄港隻数 Y_{1i} を比較して、各国・地域 i について、 Y_{1i} と Y_{2i} が誤差1%以内ならば計算を終了、誤差が1%以上の際には、 Y_{2i} の値を Y_{1i} に代入して、新たな Y_{1i} の値を設定したうえで再度フィーダーサブモデルにフィードバックすることとなる。

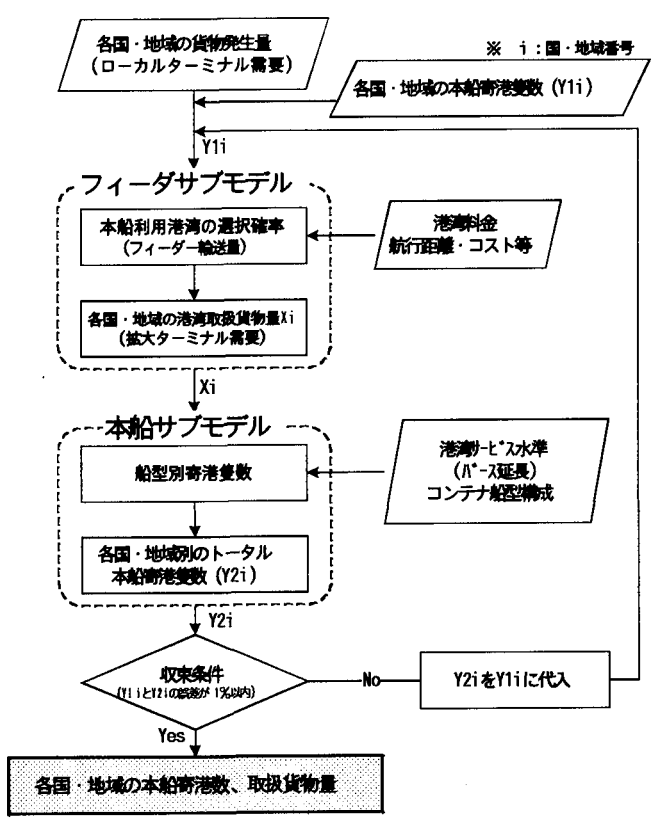


図-4 船社の寄港挙動モデルの全体フロー

(2) 分析データ

モデルの検討にあたっては、アジアの主要国・地域と北米西岸とのコンテナ航路（東航）を対象に分析を行った。

コンテナ貨物の流動状況については、表-3に示したデータを、また本船寄港隻数も同データからの実績値を用いた。更に97年現在の港湾整備量については各港の資料から97年1月現在のコンテナバースの整備延長

表-4 東アジアの主要国・地域間並びに北米西岸との運航距離

(単位: sea mile)

国・地域 (代表港湾)	北米西岸への本船距離	フィーダー先の港湾までの距離							
		北部九州	伊勢湾	大阪湾	東京湾	韓国	台湾	香港	シンガポール
日本 北部九州 (門司)	5,234	-	-	-	-	123	943	1,184	2,523
" 伊勢湾 (名古屋)	4,990	-	-	-	-	548	1,238	1,479	2,791
" 大阪湾 (神戸)	5,137	-	-	-	-	367	1,141	1,382	2,694
" 東京湾 (横浜)	4,849	-	-	-	-	671	1,361	1,602	2,908
韓国 (プサン)	5,235	123	548	367	671	-	912	1,153	2,492
台湾 (高雄)	6,115	943	1,238	1,141	1,361	912	-	342	1,611
中国 北部 (青島)	5,731	575	995	814	1,123	510	870	1,111	2,448
" 中部 (上海)	5,704	532	921	776	1,041	478	603	844	2,183
" 南部 (塩田)	6,385	1,214	1,509	1,412	1,632	1,183	372	30	1,458
香港 (香港)	6,355	1,184	1,479	1,382	1,602	1,153	342	-	1,428
シンガポール (シンガポール)	7,675	2,523	2,791	2,694	2,908	2,492	1,611	1,428	-
インドネシア (TJブリーク)	8,008	2,864	3,117	3,028	3,234	2,833	1,893	1,723	528
マレーシア (PTケラン)	7,958	2,771	3,027	2,942	3,156	2,740	1,859	1,676	248
フィリピン (マニラ)	6,544	1,442	1,660	1,578	1,777	1,421	548	633	1,329
タイ (バンコク)	7,782	2,626	2,897	2,816	3,020	2,595	1,714	1,527	817

(参考文献12)13)より作成)

を整理して用いた。そのほかモデルの検討にあたり必要となった運航コストについては運輸省で検討した輸送コストモデル¹⁾、港湾料金については運輸省でのモデルケースでの料金計算結果¹⁾を準用した。

なお、モデルの適合性をみるために、97年データを用いて検討したモデルを94年データに適用してモデルの再現性のチェックを行うにあたっては、上記のコンテナ貨物流動状況・本船寄港隻数については94年1月～3月の実績データ¹⁾を、また港湾料金やコンテナバース延長については、94年1月現在のデータを用いた。

以下に主要なデータの概要を示す。

①分析対象国・地域と運航距離

今回のモデル検討にあたっては、表-3に示したアジアの主要国・地域を分析の対象とした。ただし日本については東京湾、伊勢湾、大阪湾、北部九州の4地域に、また中国については、北部(東北・華北)、中部(華中)、南部(華南)の3地域に分割して分析を進めた。なお、分析対象国・地域の代表港湾間と北米西岸との運航距離を表-4に示す。

②バース延長

港湾サービス水準として、大型コンテナ船寄港に対応可能な水深(-12m以上)を備えた岸壁の総延長、すなわち2,000～4,000TEUクラスのコンテナ船対応として水深-12～-14mのバースを、また近年増加している4,000TEUを超えるコンテナ船対応として、-14m以深のバースを考えた。具体的な施設整備量は表-5のとおりである。

③輸送コスト

運輸省で検討した参考文献¹⁾によるコンテナ船の運航コスト(下記の式(1)参照)を用いた。

式中のパラメーター α は、固定費(千円/FEU)であり、船の償却費用、税金、人件費などから構成される船費のうち航行距離にかかわらず必要となるコストと停泊中の燃料等の合計を、またパラメーター β は距離に比例する船費ならびに燃料費等の費用の単価(千円/sea mile・FEU)を表している。

表-5 東アジアの主要国・地域におけるバース延長

(単位: m)

国・地域	1994年の整備状況		1997年の整備状況	
	水深-12～-14m	水深-14m以深	水深-12～-14m	水深-14m以深
日本 東京湾	5,780	1,300	6,020	2,350
伊勢湾	1,350	350	1,650	350
大阪湾	8,850	1,050	9,690	2,450
北部九州	720	0	1,020	0
韓国	1,262	900	1,262	1,200
台湾	3,756	3,200	4,396	3,605
中国 北部	647	0	647	0
中部	0	0	784	0
南部	0	0	0	700
香港	3,587	1,100	3,587	2,380
シンガポール	2,143	1,974	2,143	1,974
インドネシア	0	0	0	0
マレーシア	1,280	0	1,280	0
フィリピン	900	0	900	0
タイ	0	900	0	900

(参考文献14)、各港の港湾関係資料等より作成)

なお、東アジア域内のフィーダー輸送については、就航船舶の実績などを考慮し今回の検討では300TEU積みみの船舶を、また北米西岸向けの船舶については、2,000TEUクラス、4,000TEUクラスの2タイプの船を想定し、所要の運航コストを算出した。

コンテナ船の運航コストモデル (参考文献9)より抜粋)

$$\text{輸送コスト} F = \frac{\alpha + \beta \times D \times 10^{-3}}{R} \quad \text{式(1)}$$

(千円/FEU)

α , β : パラメーター
 D : 航行距離(sea mile)
 R : 消費率 (80%)

(パラメーターの値)

	300TEU船	2,000TEU船	4,000TEU船
α	13.40	4.07	2.56
β	37.40	10.10	5.96

④港湾料金

港湾料金については、運輸省が試算したモデルケースでの試算値を、為替レートで修正した表-6の値を用いた。

表-6 東アジアの主要国・港湾の港湾料金

(US\$/FEU)		
国	1997年	1994年
日本	316	374
香港	347	348
シンガポール	177	172
韓国	140	165
台湾	158	172

(参考文献10)より作成)

⑤大型船比率

東アジア-北米西岸に就航しているコンテナ船の船型構成については、実際のコンテナ船の就航状況から94年ならびに97年について、それぞれ表-7のように設定した。

表-7 東アジア-北米西岸のコンテナ船の船型構成

	2,000~4,000TEU	4,000TEU以上
1994年	0.90	0.10
1997年	0.81	0.19

(各年の参考文献6)より作成)

(3) フィーダーサブモデル

船社は需要発生地からの貨物輸送に際して、①需要発生地の港湾からのダイレクト航路を利用するか、②周辺他国の港湾へフィーダー輸送しフィーダー先の港湾で本船に積み込むか、またそのフィーダー先の港湾としてはどこを選択するのかについて、様々な要因を比較検討し、いずれかのルートを選択しているものと考えられる。

今回の分析では、一般的なコンテナ貨物の輸送においては、ダイレクト輸送、周辺の国・地域へのフィーダー輸送利用といったすべての輸送ルートの候補に関して、時間や費用などが同時比較されたうえでルート選択が決定されると考え、モデル構造を段階選択ではなく通常の集計ロジット型に設定することとした。

具体的には、フィーダーサブモデルは、図-5に示すようにi国・地域の代表港i港を定め、自国・地域iからの発生貨物が、ダイレクト貨物として輸送されるか、k港あるいはj港へのフィーダー輸送貨物として輸送されるかを考え、候補となる各ルートrの選択確率Pirを求める下記の集計ロジット型モデルを考えた。

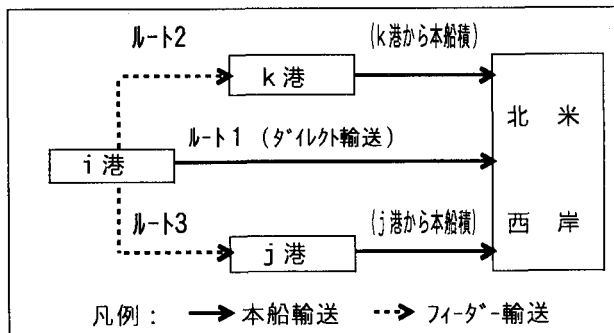


図-5 フィーダーサブモデル構築時の選択ルート例

集計ロジット型モデル

$$P_{ir} = \frac{\exp(V_{ir})}{\sum_r \exp(V_{ir})}$$

$$V_{ir} = \alpha_1 \cdot X_{ir1} + \alpha_2 \cdot X_{ir2} + \alpha_3 \cdot X_{ir3} + \dots$$

Pir: i港におけるルートrの選択確率

Vir: i港におけるルートr選択時の効用関数

Xir1, Xir2, Xir3... : 説明変数

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots$: パラメーター

説明変数としては、各港湾での港湾コスト、本船ならびにフィーダー輸送の輸送コスト、本船への積み込み港湾の本船寄港頻度（ウィークリーサービス、デイリーサービス、1日3寄港程度のサービスレベルを表す多頻度サービス）、中国と香港や台湾との特殊な交易事情を表すダミー変数等を検討した。

また、フィーダー輸送貨物を本船に積み替えるトランシップ港としては、現状のトランシップ貨物量や港湾の整備状況、地理的条件等を考慮して、日本の4地域、台湾、シンガポール、香港、韓国の8地域とした。

なお、精密機械輸送などの一部のコンテナ輸送においては、荷傷み防止等の観点から極力積み替え回数を減らしたい意向が強いと言われていることから、ダイレクト輸送かフィーダー輸送か、更にはフィーダー輸送であるとするとの港湾をフィーダー先として選択するかといった段階的選択を考えるモデル構造（Nested Logitモデル）の検討も今後の課題と考えている。

(4) 本船サブモデル

船社が本船を寄港させるかどうかは、集荷できる貨物量並びに入港に必要な施設が十分整備されているかが大きな要因であることから、以下の構造式を考えた。

なお、需要量としては、ダイレクト貨物に加え、他国・地域からフィーダー輸送され当該港湾で本船に積み替えられる貨物（トランシップ貨物）を合わせた需要（拡大ターミナル需要）を考えた。

なお、本船サブモデルの構築にあたっては、従来モデルでは考慮されていなかった水深区分によるバース延長をモデルの説明変数に導入した他、船型区分（2000~4000TEU, 4000TEU以上）も考慮した。

$$Y_{si} = (\alpha \cdot X_{i1} + \beta \cdot X_{i2} + \gamma \cdot X_{i3}) C_s$$

Ysi: i港の船型クラスSの本船寄港隻数(隻/3ヶ月)

Xi1: i港の拡大ターミナル需要(TEU/3ヶ月)

Xi2: i港の-12m~-14mのコンテナバース延長(m)

Xi3: i港の-14m以深のコンテナバース延長(m)

Cs: 東アジア-北米西岸航路の投入コンテナ船型クラスSの隻数比率

(C1: 2000~4000TEU, C2: 4000TEU以上)

α, β, γ : パラメーター

(5) サブモデルのパラメーター推計

①フィーダーサブモデル

フィーダーサブモデルのパラメーター推計結果を表

-8に示す。t 値，相関係数から判断して，概ね良好な説明力を有するモデルが構築できた。

特に，説明変数としては「輸送コスト」と1日1便のサービスを表す「ディリーサービス」が大きな説明力を有していることがわかる．ここで，表-8のモデル1について，その現況再現性を検証した．

その結果を図-6に示す．図-6より，フィーダーサブモデル1については，韓国において拡大ターミナル需要が若干過大推計，東京湾で若干過小推計とはなるものの，概ね良好な結果が得られた．

表-8 フィーダーサブモデルのパラメーター推計結果

	モデル1		モデル2	
重相関R	0.80		0.79	
重決定R ²	0.64		0.63	
サンプル数	100		100	
説明変数	係数	t 値	係数	t 値
港湾コスト	-1.39E-2	-4.3	-1.24E-2	-3.9
輸送コスト	-4.96E-2	-5.8	-5.13E-2	-6.0
ウィークリーサービス	7.76	2.8	7.35	2.6
ディリーサービス	7.64	7.4	7.77	7.4
多頻度サービス	8.20E-1	1.5	1.05	2.0
中国台湾ダミー	-1.65	-1.8	-2.31	-2.7
中国香港ダミー	4.36	1.9	-	-

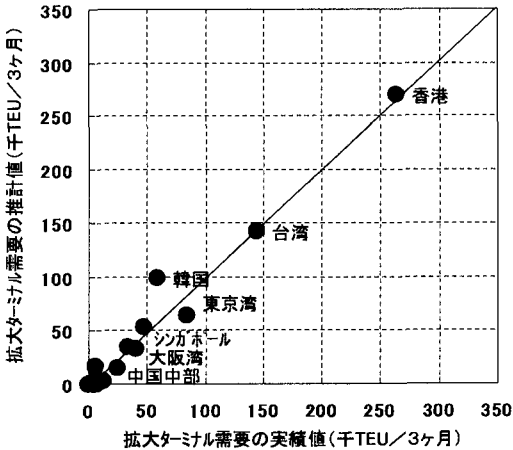


図-6 フィーダーサブモデルの現況再現性

②本船サブモデル

本船サブモデルのパラメーター推計結果を表-9に示す。t 値，相関係数から判断して，概ね良好な説明力を有するモデルが構築できた。

ここで，表-9の本船サブモデルの現況再現性を検討した．その検討結果を図-7に示す．これより，各港湾について，2,000～4,000TEUクラスの寄港隻数モデルにおいて，伊勢湾ならびに韓国の本船隻数が実績値に比べて過小推計となったものの，概ね良好な結果が得られた．

表-9 本船サブモデルのパラメーター推計結果

	2000～4000TEU (隻数比率1=0.8)		4000TEU以上 (隻数比率1=0.2)	
重相関R	0.93		0.94	
重決定R ²	0.87		0.89	
サンプル数	15		15	
説明変数	係 数	t 値	係 数	t 値
拡大ターミナル需要	7.38 E-4	3.2	1.53 E-3	5.9
-12～-14ハース長	1.22 E-2	2.0	-	-
-14m以深ハース長	4.27 E-2	2.3	2.44 E-2	1.7

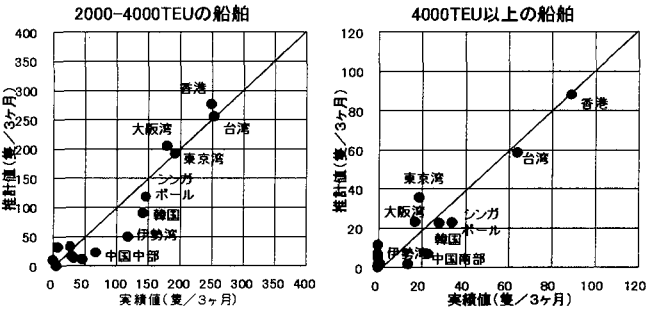


図-7 本船サブモデルの現況再現性

(6) モデル全体系での現況再現性の検討

各国・地域から発生するローカル貨物を初期条件とし，図-4のモデルの全体フローに従い，表-8のフィーダーサブモデル1と表-9の本船サブモデルのパラメーターを用いて繰り返し計算を行い，本船寄港隻数と各国・地域の拡大ターミナル需要を算出した．その結果を表-10，図-8に示す．

中国，伊勢湾の隻数ならびに拡大ターミナル需要が過小推計，韓国の拡大ターミナル需要が過大推計等となっており，一部に予測値と実績値の乖離が見られるが，実績値と予測値の相関係数（自由度調整済）は本船寄港隻数では0.87,拡大ターミナル需要では0.92あり，比較的良好な現況再現性が確認された．

なお，中国，伊勢湾に関して予測値と実績値が乖離しているのは，実績ではその寄港隻数から判断してディリーサービスであるものの，予測においては，繰り返し計算過程において本船寄港隻数がディリーサービスか否かの判断となる90便（3ヶ月間）を下回ってしまうため，フィーダーサブモデルにおいて大きな説明力を有するディリーダミーの影響を大きく受け，拡大ターミナル需要も過小推計されるためと推察される．

また，この中国貨物の自国・地域からの本船利用貨物の過小推計に伴い，韓国へのフィーダー輸送が過大推計され，韓国の拡大ターミナル需要も実績値よりも大きく推計されることとなったと推察される．

表-10 モデル全体系での1997年値の現況再現性検討結果

	本船の寄港隻数(97年1～3月) (単位: 隻)		各国の港湾の拡大ターミナル需要 (単位: TEU)	
	実績値	推計値	実績値	推計値
中国	135	41	43,327	51
台湾	390	319	144,242	150,877
香港	416	376	264,253	278,121
韓国	213	180	58,829	135,552
シンガポール	170	157	47,349	66,142
北部九州	49	10	5,114	0
伊勢湾	185	31	33,612	761
大阪湾	265	221	40,290	32,793
東京湾	320	209	84,553	64,568
日本合計	819	471	163,569	98,122
インドネシア	3	0	142	0
マレーシア	38	13	5,588	257
フィリピン	0	9	0	0
タイ	46	36	2,906	1,083
計	2,230	1,602	730,205	730,205

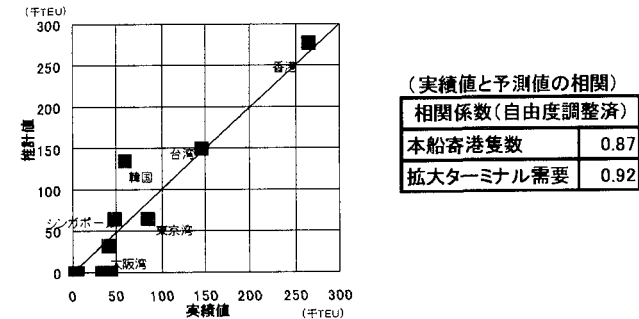


図-8 モデル全体系での拡大ターミナル需要(97年)の現況再現性

(7) モデルの適用性の検討

ここでは、モデルの移転性についての検討を行った。具体的には、(6)と同様に表-8のフィーダーサブモデル1と表-9の本船サブモデルのパラメーターを用いて、1994年1月～3月の実績データの再現性を検討した。

表-11に検討結果を示す。表より、本船隻数が日本諸港、香港で過小推計、拡大ターミナル需要に関しては、韓国で過大推計、伊勢湾、大阪湾等で若干過小推計等となっており、一部に実績値と予測値の乖離がみられるが、実績値と予測値の相関係数は本船寄港隻数で0.88、拡大ターミナル需要で0.91あり、97年データで構築したモデルのパラメーターを94年実績データに適用しても、(6)での97年値の現況再現と同様に、比較的良好な現況再現性を有していることが確認できた。よって、以下ではこのモデルを用いて、将来予測を行うこととした。

表-11 モデル全体系での1994年値の現況再現性検討結果

	本船寄港隻数 (隻/3ヶ月)		拡大ターミナル需要 (単位: TEU/3ヶ月)	
	94年1～3月実績	推計値	94年1～3月実績	推計値
中国	1	0	2	0
台湾	305	307	173,977	165,824
香港	282	216	184,382	161,549
韓国	147	139	41,745	109,275
シンガポール	112	157	35,795	65,104
北部九州	40	8	3,337	0
伊勢湾	143	30	28,245	981
大阪湾	233	170	54,910	35,859
東京湾	246	165	73,949	58,001
日本合計	662	373	160,441	94,841
インドネシア	8	0	143	0
マレーシア	20	14	1,482	254
フィリピン	8	10	28	0
タイ	1	38	1	1,148
計	1,546	1,254	597,996	597,996

4. 2010年におけるコンテナ航路体系の分析

以上の検討により構築できたフィーダーサブモデル1と本船サブモデルを用いて、2010年における東アジア-北米西岸航路体系の分析を行った。

(1) 2010年のローカル需要

2010年の東アジアの主要国から北米西岸へのローカル需要については、東アジア主要国のGDP合計と北米向けコンテナ貨物量との相関が高いことから、87～96年のデータを用い、回帰式を式(2)のとおり算出した。

貨物量 = 9.55E-2*(アジア全体GDP) -900 式(2)

[千TEU/年] [億\$] (相関係数R=0.96)

次に経済企画庁発表の東アジア各国の2010年までの経済成長率をもとにアジア主要国のGDP将来値を求め、2010年における東アジア→北米のコンテナ輸送量を算出、更に各国の現行の貨物取扱シェアと各国の将来GDP成長率をもとに各国に配分するという簡便法をとった。その結果を表-12に示す。

表-12 2010年四半期の東アジア-北米西岸のローカル需要

	2010年1～3月 ローカル需要 [千TEU]	(参考1) 1997年1～3 月ローカル需要 実績[千TEU]	(参考2) 1996年～ 2000年実績 経済成長率
日本	177.8	149.7	2.2 %
韓国	93.5	49.5	3.9 %
台湾	206.3	106.8	4.3 %
香港	190.6	103.0	4.0 %
中国	618.2	239.6	7.2 %
シンガポール	27.8	12.4	4.8 %
フィリピン	32.2	22.0	5.1 %
マレーシア	95.6	27.7	8.1 %
インドネシア	56.8	29.8	5.4 %
タイ	91.6	38.7	6.2 %
合計	1590.5	779.2	-

注)経済成長率は参考文献15)16)による

(2) パース延長

2010年における東アジアの各国・地域におけるコンテナパース延長については、各港の将来計画資料等をもとに表-13のとおり設定した。

表-13 2010年における各国・地域のコンテナパース延長

	将来計画(2010年)		(参考) 1997年	
	水深-12 ～-14m	-14m以 深	水深-12 ～-14m	-14m以 深
東京湾	3220m	8650m	6020m	2350m
伊勢湾	1650m	3350m	1650m	350m
大阪湾	6000m	9800m	9690m	2450m
北部九州	2550m	1690m	1020m	0m
韓国	1262m	8270m	1262m	1200m
台湾	5656m	6545m	4396m	3605m
香港	3587m	7500m	3587m	2380m
中国	5276m	8825m	1431m	700m
シンガポール	2143m	11399m	2143m	1974m
フィリピン	900m	1300m	900m	0m
マレーシア	1079m	1523m	1280m	0m
インドネシア	490m	900m	0m	0m
タイ	0m	1200m	0m	900m

(参考文献14)、各港港湾計画資料等より作成)

(3) ケーススタディ

上記(1)(2)のローカルターミナル需要、バース延長等を初期条件として、2010年における各国・地域の本船寄港隻数、拡大ターミナル需要を計算した。

近年のコンテナ船の大型化の動向の影響を見るために、また現状のままの大型船2割で推移したケースとの比較をするために、計算にあたっては、4000TEUを超える大型コンテナ船の比率を現行の2割としたケースAのほか、大型船比率を4割、6割にあげるケースB、Cを設定した。また、今後の我が国での大型バースの整備如何によりどのような影響がでるかを見るために、日本では新たに大水深バース(-14m以深)を整備しないケースD、さらには今後のソフト面での対応がどのように国際航路体系に影響するかをみるために、日本の港湾料金(316\$／個)を釜山並(140\$／個)まで下げるケースEについてシミュレーションを行った。その結果を表-14、図-9・10に示す。表-14及び図-9・10より以下のことがわかる。

- 1) ケースA、B、Cより、コンテナ船の大型化に伴い、大水深バースの比率が他国・地域に比べ低い台湾や日本では取扱貨物量が減少することがわかる。
- 2) 大型船4割のケースBの条件を変え、バース整備条件を日本では大水深バースを今後整備しないとしたケースDでは、日本の貨物が6%減となり、我が国のローカル需要が他国・地域にフィーダー輸送されることがシミュレーションされた。
- 3) 更にケースBの条件のうち、日本における港湾料金のみ釜山並まで下げるとしたケースEにおいては、日本全体で74%の貨物増(港湾別には北部九州332%、大阪湾119%、東京湾41%増)、逆に韓国貨物が22%減となることがシミュレーションされた。
- 4) 寄港隻数についても、大型船が2割、4割、6割と増大するにつれ日本への寄港隻数が減少すること、また、日本に大水深バースを整備しないケースDでは、ケースBに比べ47%の寄港隻数減になることがシミュレーションされた。

表-14 2010年のケーススタディ結果

		ケースA	ケースB	ケースC	ケースD	ケースE
		計画どおり	計画どおり	計画どおり	日本大水深無	計画どおり
		現状どおり	現状どおり	現状どおり	現状どおり	日本釜山並
本船寄港隻数 (隻/3ヶ月)	大型船比率	2割(現状)	4割	6割	4割	4割
	東京湾	446	418	392	241	454
	大阪湾	485	434	391	228	487
	伊勢湾	188	179	170	94	196
	北部九州	101	90	66	31	124
	日本合計	1,220	1,121	1,019	594	1,134
	韓国	556	561	571	569	503
	台湾	612	618	611	618	602
	香港	691	729	765	731	674
	中国	608	601	594	602	592
	シンガポール	618	608	611	608	603
拡大ターミナル需要 (TEU/3ヶ月)	東京湾	84,194	83,855	83,703	83,765	118,196
	大阪湾	47,122	41,549	41,415	41,066	91,174
	伊勢湾	45,729	45,476	45,371	45,431	62,146
	北部九州	10,676	10,122	25	19	43,700
	日本合計	187,722	181,002	170,514	170,281	315,216
	韓国	246,653	245,383	250,081	253,371	191,008
	台湾	337,673	326,986	309,779	327,865	312,631
	香港	407,148	415,455	420,403	417,071	362,411
	中国	24	239,795	240,550	239,934	232,563
	シンガポール	169,261	179,937	196,848	180,033	174,823

注) 日本大水深無は2010年の将来延長の-14m以深のバース新規整備分を-12~-14mのバース整備とするケース

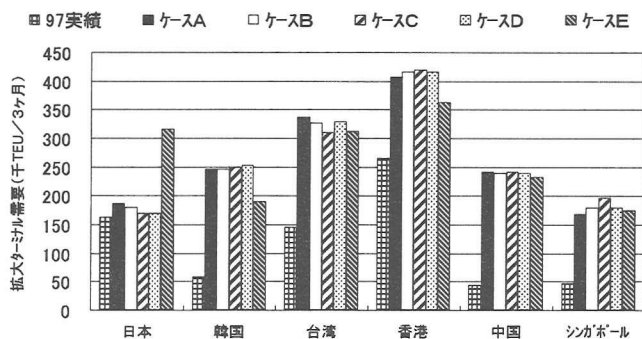


図-9 2010年主要国拡大ターミナル需要推計結果

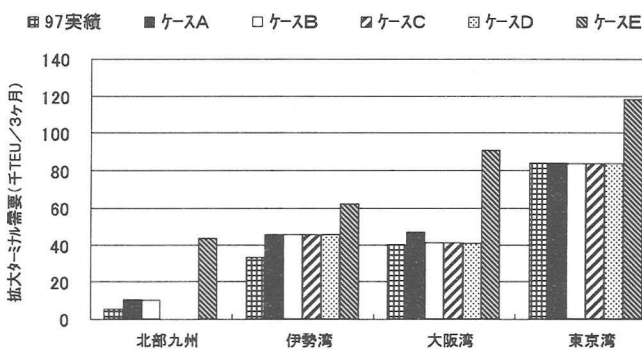


図-10 2010年我が国四大中枢港湾地域の拡大ターミナル需要推計結果

5. まとめ

今回の検討では、船社の行動結果としての国際コンテナ船の寄港隻数やフィーダー輸送による貨物量等を、港湾料金、港湾施設の整備状況、輸送コスト、運航頻度等でマクロに捉え、その状況を説明するモデルが構築でき、今後のコンテナ船の大型化や大水深バースの整備如何によって、我が国への大型船の寄港や取扱貨物量が変化することが検証できた。

ただし、フィーダーサブモデルや本船サブモデルについては、実績値と予測値の一部乖離もみられることからいっそうの精度向上・改良が望まれる他、我が国の将来需要の4大中枢港湾への配分問題、空コンテナの問題、今後のコンテナ船の大型化等の船型予測問題、港湾におけるソフト面のサービスや自社ターミナルと寄港の関連など課題も残されている。

今後は、アジア-北米航路(西航)や欧州航路など他の基幹航路についての検討も含め、本モデルを更に改良・発展させ、今後の港湾政策を考える際の基礎資料となる将来の本船寄港やコンテナ貨物流動の状況をより正確に予測できるよう、引き続き分析を進めたい。

本研究の実施にあたり、(株)三菱総合研究所 森浩氏、加藤二郎氏の協力をえた。ここに謝辞を表するものである。

参考文献

- 1) 木村東一：外貿港湾選択評価手法とその応用に関する研究，京都大学博士論文，1985.11
- 2) 郭子堅，長尾義三，榛沢芳雄：国際コンテナ輸送ネットワークの再編に関する基礎的研究，港湾経済研究 No.33. 1995.3, pp255-269
- 3) 黒田勝彦，楊賛：国際ハブ・コンテナ・ターミナルの最適ネットワーク計画，地域応用科学研究会発表論文，1994.12
- 4) 家田 仁，柴崎隆一，内藤智樹：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，土木計画学研究・講演集20，1997.11
- 5) 村田利治，渡部富博，石川浩章：幹線コンテナ定期航路における船社の寄港挙動モデル：日本沿岸域学会論文集，1998.3
- 6) オーシャンコマース社：国際輸送ハンドブック
- 7) Journal of Commerce:Piers Port Import Export Reporting Services, 1997.1-1997.3
- 8) 運輸省港湾局：コンテナ航路網の再編による港湾への影響調査報告書，1992.3
- 9) 森浩ほか：土木学会土木計画学研究講演集No.17：外貿コンテナ輸送コストモデルの開発，1995.1
- 10) (財) 日本海事広報協会：平成9年日本海運の現況
- 11) Journal of Commerce:Piers Port Import Export Reporting Services, 1994.1-1994.3
- 12) (社) 日本海運集会所：Distance Tables for World Shipping
- 13) 日本航海士会：World-wide Distance Chart
- 14) The National Magazine Co. Ltd. :Containerization International Year Book 1995, 1998
- 15) 経済企画庁：グローバリゼーション・ワーキンググループ報告書，1998.4
- 16) 経済企画庁：グローバリゼーションと21世紀経済の課題，1997.5

船社の寄港挙動モデルによる国際コンテナ航路体系の分析

～東アジア～北米西岸航路について～

渡部富博・善見政和・石橋宏典

本研究は，東アジア～北米西岸航路（東航）を対象に，コンテナターミナル整備と船社の行動に着目し，その寄港地選択を説明するモデル構築を行い，国際コンテナ航路体系の分析を行ったものである。

分析では，国際コンテナ航路の寄港隻数，フィーダー輸送貨物等を港湾料金，港湾施設，輸送コスト，運航頻度等で説明するモデルの構築ができた。

また，構築したモデルにより，2010年における東アジア地域でのコンテナ貨物流動，大型船の本船寄港の状況等を様々なケースによりシミュレーションでき，港湾料金や船舶の大型化，大水深バースの整備等が今後の港湾整備の重要なファクターであることが確認された。

A modeling of Carriers' Behavior of Container Ship Calling at Ports

～ Routes between East Asia and West Coast of North America～

Tomihiko WATANABE, Masakazu YOSHIMI, Hironori ISHIBASHI

In this paper, container demand and ship routings from East Asia to the West coast of North America (east bound) are analyzed. Then port facilities and behavior of ship owners are studied to find the relationship between them and ship routing.

Model to explain the number of callings and feeder routings are constructed. The main explanatory factors are port fees, facility levels, and transport costs.

This model can also be used to show routing in East Asia in 2010. It is confirmed that reduction port fees and development of deep berths are key factors in establishing the Japanese container routing system.