

船社・荷主等の挙動を考慮した国際コンテナ流動モデル

～ 東アジア-北米西岸航路について ～

Model Development for Container Cargo Flow considering Behavior of Carriers and Domestic Shippers in Asia / North America Eastbound Route

渡部 富博* 樋口 直人** 森川 雅行***
Tomihiro WATANABE Naoto HIGUCHI Masayuki MORIKAWA

1. はじめに

世界経済のグローバル化が一層進展する中、物流コストの削減などを目指した効率的な物流体系の構築が、また、財政改革等を背景により効率的・効果的な社会資本整備が求められている。

近年その貨物量増大が著しい国際海上コンテナ輸送に関して言えば、船社が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るほか、荷主はジャストインタイム輸送、低廉かつ信頼性の高い輸送を求める等、輸送へのニーズを高度化・多様化させている。

また、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、内航海運の規制緩和等、我が国の国際海上コンテナ輸送をとりまく環境も大きく変化している。

このような状況下で、より効率的・効果的に港湾の計画や整備を進めるには、従来の個別港湾レベルでの貨物量の検討に加え、船社や荷主の行動を踏まえつつ、貨物流動等をグローバルに捉え、将来の輸送体系変化などにも十分対応した検討を実施する必要がある。

これまで筆者等は、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貨物流動ルートに着目し、港湾の取扱貨物量や本船寄港数を説明するモデル構築を行ってきた。しかしながら、既報の分析¹⁾では、今後の内航海運の規制緩和や港湾整備・航路開設などに関わる荷主のルート選択の挙動分析、コンテナ船1寄港あたりの積込コンテナ数（以下「積取量」と呼ぶ）など船社サイドの分析等に課題があった。

そこで本分析では、荷動き量が大きく、船社間競争が激しい東アジア-北米西岸航路（東航）を対象に、既報のモデル分析に加え、我が国の荷主の港湾選択やルート選択に関する検討、船社の寄港行動分析等を行い、より精度の高い国際コンテナ流動モデルの構築を目指したものである。

2. 東アジア-北米航路（東航）の貨物流動分析

(1) 積取量の貨物量

東アジア-北米航路（東航）の各国別（積取国別）のコンテナ貨物量の推移を図-1に示す。これより、日本については70万TEU程度で横這い、他の国も近年ではほぼ横這いあるいは微増であるのに対して、中国のコンテナ貨物が大きく伸びていることがわかる。

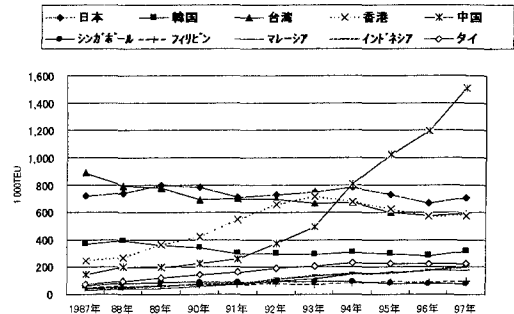


図-1 東アジア-北米航路（東航）の積取国別のコンテナ貨物量の推移
（参考文献 2）より作成）

(2) 運航ルート

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-1に示す。表-1より、近年、コンテナ船の大型化が進んでおり、より効率的な輸送を目指しルートの寄港地数も減少していることが伺える。

表-1 東アジア-北米西岸航路のコンテナ船と寄港数

年	ルート数	コンテナ船		ルート平均寄港港湾数	
		船数	平均船型	日本	アジア計 (日本除く)
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3）より作成）

なお、1997年の37ルート中、各国／地域への寄港は、東京湾29ルート、伊勢湾16ルート、大阪湾27ルート、香港26ルート、台湾23ルート等となっており、東京湾・大阪湾・香港は7～8割の航路で寄港地に選定されている。日本の東京・伊勢・大阪の所謂三大湾のいずれにも寄港するルートは14ルート、また博多港、清水港、仙台港等の地方の港湾にも寄港するルートは8ルートある。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をしていることがわかる。

(3) アジア-北米間のコンテナ貨物流動

国際コンテナ貨物輸送においては、港湾毎の取扱量は

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 横浜須賀市長瀬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

***：正会員：工修 運輸省港湾技術研究所 計画基準研究室長

表-2 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）

(TEU)												
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								その他
				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	239,808	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4より作成)

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-2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（香港17.2万TEU、台湾5.5万TEU、シンガポール4.7万TEU等）にフィーダー輸送されている。

(4) 日本国内における貨物流動

我が国の生産地別の北米向けコンテナ貨物については、運輸省が中心となって実施している1ヶ月間の貨物流動実態調査である「全国輸出入コンテナ貨物流動調査」⁵⁾により把握できる。その実態調査結果によれば、これまで東京湾の港湾を利用していた地方圏の荷主が、地方港湾における北米航路の開港に伴い、地方港湾を利用をする等、荷主の港湾選択行動に変化が見られる。また、地方港経由で東京湾や大阪湾に海上フィーダー輸送を行ういわゆる国内海上フィーダー輸送航路の開港も盛んであり、国内における貨物流動（経路選択等）の状況にも変化がみられる。

3. 船社・荷主等の挙動を考慮したコンテナ流動モデル構築

(1) モデルの全体構成

モデルは、図-2のとおり、日本における生産地別の発生貨物量の港湾選択確率（北米への利用ルートの選択確率）を計算し各港湾別の貨物量を求める「国内ブロック（荷主の港湾選択モデル）」と、既報の分析でも検討を行っていたアジア主要国と北米とのOD貨物量をベースに、フィーダー輸送を含めたコンテナ流動予測やコンテナ船の寄港隻数予測を行う「アジアブロッ

ク」から構成される。

既報の分析では、各国から発生するコンテナ貨物量（以下「ローカルターミナル需要」と呼ぶ）、特に日本の4大中枢国際港地域（東京湾・伊勢湾・大阪湾・北部九州）のローカル需要については、荷主の港湾選択行動などの検討ステップを設けず、港湾別の貨物量取扱シェア等に基づき設定していたが、今回「国内ブロック」を追加し荷主の港湾選択行動等も組み込んだモデル体系とした。

なおモデルは、本船サブモデルの出力「本船寄港隻数」が、国内ブロックの検討の際の本船寄港隻数と乖離している場合、即ち荷主の港湾選択行動分析で想定する寄港頻度と異なる場合には、アジアブロックの本船サブモデルの計算値を国内ブロックにフィードバックして、国内ブロックとアジアブロックの寄港隻数がほぼ同じ隻数に収束するまで計算を行うモデル構造となっている。

更に、アジアブロックにおいては、各国貨物のフィー

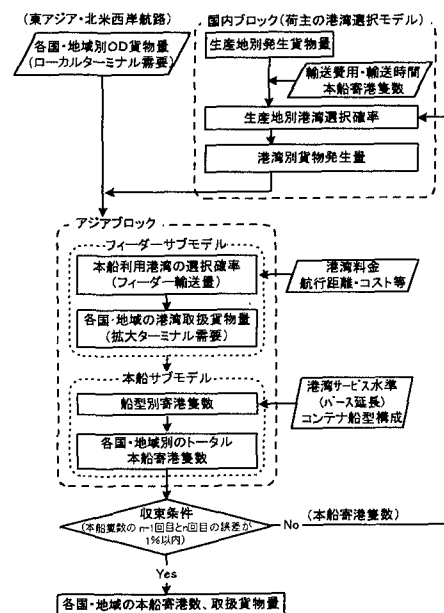


図-2 国際コンテナ流動モデルの全体フロー

ダー輸送等を考慮した上での港湾取扱貨物量（以下「拡大ターミナル需要」と呼ぶ）をフィーダーサブモデルで求め、それをもとに本船サブモデルにおいて本船寄港数を検討するが、今回、既報の分析にはない各港における貨物積取量によるコンテナ船の寄港判断検討を追加した。

アジア地域と北米間のフィーダー輸送を含めたアジアブロック部分の検討にあたっては、表-2に示したアジアの主要国・地域を分析の対象とし、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、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。国内ブロックの生産地については、都道府県別とした。

（2）分析データ

モデルの検討にあたっての使用データは、アジア地域と北米間のフィーダー輸送を含めたコンテナ貨物流動状況については、表-2に示したデータを、また日本国内の荷主の港湾選択・ルート選択については、前出のコンテナ貨物流動調査⁵⁾を用いた。更に97年現在の港湾整備量については、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、各港の資料や文献⁶⁾から97年1月現在のコンテナバースの整備延長を整理して用いた。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⁷⁾、港湾料金は運輸省の試算値の料金⁸⁾を準用した。

（3）アジアブロック

アジアブロックは、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北米向けのコンテナ船に載せるか（以下「ダイレクト輸送」と呼ぶ）、②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という各輸送ルート毎の選択確率を求めるフィーダーサブモデルと、拡大ターミナル需要や港湾施設整備量等をもとに本船の寄港数を検討する本船サブモデルからなる。

各モデル構造については、既報の分析¹⁾において、フィーダーサブモデルについてはi国・地域の代表港湾i港を定め、自国・地域からの発生貨物が、i港からダイレクト輸送されるか、他の国・地域へのフィーダー輸送されるかを考え、候補となる各ルートrの選

【フィーダーサブモデルのモデル構造】

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

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

P_{ir} : i港におけるルートrの選択確率

V_{ir} : i港におけるルートr選択時の効用関数

$X_{ir1}, X_{ir2}, X_{ir3} \dots$: 説明変数

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

択確率 P_{ir} を求める集計ロジット型モデルとしている。

説明変数は、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、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である。パラメータの推計結果は表-3のとおりであり、現況再現性も良好であった。

表-3 フィーダーサブモデルのパラメータ推計結果¹⁾

	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
ウイークリーサービス	7.76	2.8	7.35	2.6
デイリーサービス	7.64	7.4	7.77	7.4
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	-	-

また、本船サブモデルについては、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、以下の構造式としている。

なお、本船サブモデルの構築では、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）も考慮している。

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

Y_{si} : i港の船型クラスSの本船寄港隻数(隻/3ヶ月)
 X_{i1} : i港の拡大ターミナル需要(TEU/3ヶ月)
 X_{i2} : i港の-12m～-14mのコンテナバース延長(m)
 X_{i3} : i港の-14m以深のコンテナバース延長(m)
 C_s : 東アジア-北米西岸航路の投入コンテナ船船型クラスSの隻数比率
(C1: 2000～4000TEU, C2: 4000TEU以上)
 α, β, γ : パラメータ

パラメータ推計結果は表-4のとおりであり、現況再現性も良好であった。

なお、この予測式から算出されるi港の本船寄港数 Y_i と、フィーダーサブモデルの出力であるi港の拡大ターミナル需要 T_i を用いて、1寄港あたりの積取量 T_i/Y_i を求め、標準的な積取量（500TEU、1000TEU等）と大きく乖離する場合には、本船サブモデルにおいて寄港隻数を増減させ修正するステップを新たに導入し、より現実的な寄港行動に近づけることとした。

表-4 本船サブモデルのパラメータ推計結果¹⁾

	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～-14mバース長	1.22 E-2	2.0	-	-
-14m以深バース長	4.27 E-2	2.3	2.44 E-2	1.7

（5）国内ブロック（荷主の港湾選択モデル）

生産地（都道府県）別の荷主の港湾選択を考えるに

あたっては、どの港湾を選択の候補とするか、更にはその港湾から他の大港湾へ海上フィーダーされるか、あるいは当該港湾にて大型コンテナ船に積み込むかなど、多くの選択肢がある。

特に港湾の候補については、大型船が頻繁に寄港する4つの中枢国際港湾のほかに、釜山や高雄などの近隣の大規模なコンテナ港湾、仙台、清水等の北米航路がある程度の頻度で寄港する港湾（以下「中核国際港湾」と呼ぶ）、さらには、北米航路の直接の寄港はないが、アジア域内や4大中枢港湾などへのフィーダー輸送が可能な地方港湾がある。

また、中核港湾やその他の地方港湾からは、中枢港湾や釜山等への海上フィーダー輸送が否か、中枢港湾からも他の中枢港湾へのフィーダーがないか等、ルートの候補も多い。

このような状況のもと、生産地別の荷主の港湾選択（ルート選択）の検討にあたっては、各ルートの所要時間や費用などから総犠牲量を算出することとし、貨物の時間価値分布により各ルート毎の犠牲量も変化し選択されるルートもかわることに留意し、生産地と北米とのOD貨物量を、利用港湾毎（経路毎）に配分する方法をとった。

各経路の総所要費用の算出にあたっては、陸上輸送、港湾内、北米への海上輸送等のすべての費用を、総所要時間に関しても、陸上、海上、そして各港湾での北米航路の運航頻度をもとにした港での平均的待ち時間を計上し、貨物時間価値を乗じて総犠牲量を算出した。

なお、貨物の時間価値に関しては、10年度実施のコンテナ流動調査⁵⁾の結果をベースに、時間価値分布の形状として利用が多い対数正規分布を仮定してその分布形を、図-3のとおり算出した。

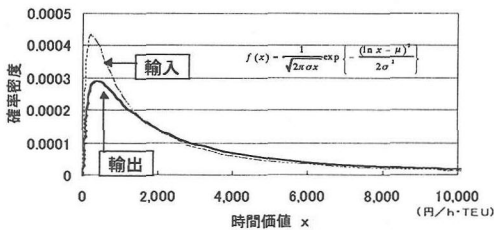


図-3 コンテナ貨物の時間価値分布

この時間価値の分布（輸出）をもとに、時間価値毎に生産地別・利用候補となるルート別の総犠牲量を算出し、利用港湾（港湾選択確率）を求めた。その計算結果を図-4に示す。東京湾、伊勢湾、大阪湾、北部九州の4つの中枢国際コンテナ港湾、中核国際港湾の中では最も取扱貨物量が多い清水港において、良好な現況再現性が確認できた。ただし、実績値と推計値との不整合も一部にみられることから、総犠牲量の算出や時間価値分布分析等の更なる検討が必要である。

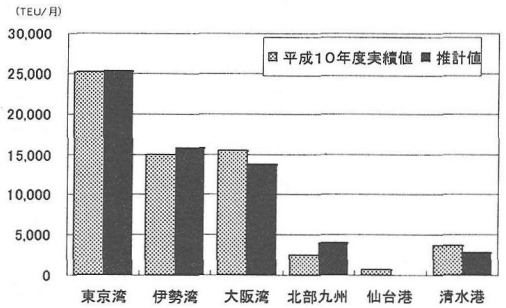


図-4 国内ブロックの現況再現性

4. まとめ

既報の分析¹⁾において、アジアと北米間のコンテナ貨物流動を、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、フィーダー輸送も含めた状況を説明するモデルが構築されていた。それに加え、今回の分析では、既報の分析では十分ではなかった荷主の港湾選択行動、更には積取量からの判断による簡易な船社の寄港行動判断ステップをモデルに組み込み、より精度の高い国際コンテナ流動モデルの開発ができた。

しかしながら、荷主の港湾選択モデルやアジアブロックの各モデルについては、モデルの精度向上はもとより、将来への適合性の検討等、残された課題も多い。

今後は、今回提案した船社・荷主等の挙動を考慮したモデルのさらなる改良を進めるとともに、北米航路（西航）や欧州航路など他の航路についての検討を進め、将来の我が国の港湾整備と港湾取扱量、本船寄港数等の分析を行い、今後の港湾整備に反映させたいと考えている。

参考文献

- 1) 渡部富博ほか：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，土木学会土木計画学研究講演集21，1998.11
- 2) 世界の主要地域間定期船荷動き量調査報告書：（財）海事産業研究所，1998.8
- 3) オーシャンコマース社：国際輸送ハンドブック
- 4) Journal of Commerce:Piers Port Import Export Reporting Services,1997.1-1997.3
- 5) 全国輸出入コンテナ貨物流動調査報告書，1999.3 運輸省港湾局
- 6) The National Magazine Co. Ltd. :Containerization International Year Book 1998
- 7) 森浩ほか：土木学会土木計画学研究講演集No.17：外資コンテナ輸送コストモデルの開発，1995.1
- 8) （財）日本海事広報協会：平成9年日本海運の現況