

# 船舶動静データに基づく 外貿コンテナ総流動量推計手法

赤倉 康寛<sup>1</sup>・高橋 宏直<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 国土交通省 中国地方整備局 港湾空港部 港湾計画課 課長補佐  
(〒730-0004 広島市中区東白島14-15NTTクレド白島ビル13F)

<sup>2</sup>正会員 工博 国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾計画研究室長  
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

本研究は、外貿コンテナ輸送について、フル・セミコンテナ船の船舶動静データを基に、世界のコンテナ総流動量を推計することを目的としたものである。本研究では、まず、全世界でのフル・セミコンテナ船の寄港実績と船舶諸元とを結びつけた船舶動静データベースを作成した。次に、この船舶動静データベースを基に、コンテナ流動量と寄港実績の関係をモデル化し、各地域、国、港における総コンテナ取扱量をコントロールトータルとして、地域間、国間、港間の外貿コンテナ総流動量を、TEUベースで推計する手法を示した。そして、この推計値と各種の実績・推計データを比較することにより、推計手法の妥当性について検証を行った。さらに、この推計値を基に、世界主要航路の状況についての分析を行った。

**Key Words :** *container ship, navigation, port calling, the quantity of port handling container, the total quantity of container flow, TEU, TEU Capacity*

## 1. 序論

国際海上コンテナ輸送は、現在の全世界の経済活動にとって欠くことの出来ない物流手段である。世界中に張り巡らされたコンテナ輸送ネットワークは、これを取り巻く様々な情勢・要因に応じて、刻一刻と変化し続けてきている。

1997年後半のアジア経済危機は、太平洋航路に大きなインバランスをもたらした。1999年12月には、Maersk社がSea-Land社の国際コンテナ部門を買収し、保有船腹量において他社を大きく引き離してトップの座を確保し、大型船を続々と就航させている。この動きにつられるかのように、基幹航路においては、積載能力5,000TEU～7,000TEUの船型が主流になりつつある<sup>1)</sup>。大型船の導入は、コンテナ輸送ネットワークに大きな変化をもたらした。Singaporeは元々トランシップコンテナの取り扱いに重点を置いてきた港として有名であるが、ほぼトランシップコンテナのみを取り扱う港が、地中海のGioia Tauro, Algecirasを始めとし、中近東地区のAden, Salalah、さらにはシンガポール対岸のTanjung Pelepas港と出現した。さらに、積載能力18,000TEUに達するMalacca Maxの設計<sup>2)</sup>や、北極海航路の通年商業利

用の構想<sup>3)</sup>も明らかになっている。

以上のような、変化の激しい状況を的確に捉え、将来を予測していくために、国際コンテナ輸送に関する研究が数多く行われてきている。これらの中には、コンテナ輸送ネットワークについて、船社や荷主の港湾選択行動をモデル化したものが数多く見られる。稲村ら<sup>4)</sup>は、外貿コンテナ貨物の国内流動におけるフィーダー輸送をモデル化している。家田ら<sup>5)</sup>は、コンテナ輸送問題をネットワーク上で扱い、港湾施設の混雑効果や港湾のサービスレベル、船舶の規模の経済性を取り込んでモデルを構築している。渡部<sup>6)</sup>は、東アジア～北米西岸航路を取り上げ、コンテナターミナル整備と船社の行動に着目してモデルを構築し、2010年における同航路の体系を試算している。黒田ら<sup>7)</sup>は、船社と荷主それぞれに対して完全競争市場の成立を仮定してモデル化し、アジア主要港の整備が寄港便数に与える影響の把握を試みている。これらの研究においては、モデルの再現性を確認するために、外貿コンテナ流動データが、特にその輸送単位であるTEUベースで必要である。

世界中の港での外貿コンテナ総取扱量については、毎年集計値がTEUベースでランキングで示されている<sup>8)</sup>(本データは、外内貿コンテナ総取扱量である<sup>9)</sup>

とされているが、日本の主要港のデータより外貿コンテナ総取扱量であると判断される)。しかし、港での総取扱量のみであり、これによつては、コンテナ流動量、すなわちコンテナ流動のODは把握できない。また、米国輸出入貨物については、B/L(船荷証券)に基づく詳細なコンテナ流動実績データ<sup>9)</sup>が入手可能である。このデータに基づいて、アメリカ-アジア地域間のコンテナ純流動量が報告されている<sup>10)</sup>。また、日本の主要港については、外貿コンテナ取扱量を航路別や相手国別にTEUベースで集計している<sup>11) - 15)</sup>。しかし、同様の実績データを、世界の主要航路・港について網羅的に入手することは、不可能である。すなわち、全世界の外貿コンテナ流動量の実績データを集計した記録は見当たらない。

また、独自の情報ソースに基づいて、外貿コンテナ流動量を推計しているものがある。文献16)では、全世界の外貿コンテナ純流動量をTEUベースで推計しているが、多種の情報やそれに基づく推計値を用いているため“正確性に欠けるとと思われる”とされている。文献17)では、世界の主要地域間の外貿コンテナ総流動量を、文献18)では世界の地域内の外貿コンテナ総流動量をそれぞれ推計しているが、データソースも推計手法も明かではなく、その精度は不明である。また、国間や港間の外貿コンテナ流動量は一部の主要国を除き把握できない。以上のように、情報ソース及び推計手法が明らかで、その精度が確認された、世界中を網羅した外貿コンテナ総流動量の推計値も見当たらない。

このような状況のため、家田ら<sup>5)</sup>や黒田ら<sup>7)</sup>の研究では、モデルの再現性を確認する外貿コンテナ流動量の一部を、貨物重量や貿易額からTEUに換算して推定している。しかし、コンテナに積載されるのは多種多様な貨物であり、貨物重量や貿易額からの推定には相当程度の誤差が含まれる可能性を否定できない。

以上の点を考慮し、本研究は、全世界の外貿コンテナ総流動量を推計することを目的としたものである。本研究の成果により、TEUベースでの外貿コンテナ総流動量を把握することができる。これは、外貿コンテナ総流動量の需要予測や、需要への各種要因の影響の把握、さらには、これらに基づくコンテナ関連施設の整備・活用のための政策決定に必要な基礎資料となるものである。

本研究では、まず、全世界でのフル・セミコンテナ船の寄港実績と船舶諸元を結びつけた船舶動静データベースを作成した。次に、外貿コンテナ総流動量と船舶動静データの関係をモデル化し、各地域、国、港湾における外貿コンテナ総取扱量をコントロ

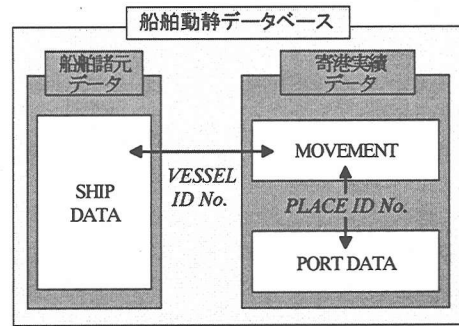


図-1 船舶動静データベースの概念図

ールトータルとすることにより、地域間、国間、港間の外貿コンテナ総流動量を推計した。さらに、この推計値を基に、世界主要航路の状況についての分析を行った。

## 2. 船舶動静データベース

本章では、全世界で就航したフル・セミコンテナ船(以降、両者を指す場合には単に“コンテナ船”とする。)の寄港実績と船舶諸元とによって作成した船舶動静データベースについて述べる。

### (1) データ概要

船舶動静データベースは、寄港実績データと船舶諸元データをリンクさせて作成している。その概念図は、図-1のとおりである。寄港実績データは、寄港データ(MOVEMENT)と港湾データ(PORT DATA)から成り、これらは、PLACE ID No.でリンク付けされている。このデータは、全コンテナ船が、何月何日にどこの港に寄港したかを網羅したものである。船舶諸元データ(SHIP DATA)は、全コンテナ船のTEU Capacity, 載荷重量トン等の船舶規模と、全長、型幅、満載喫水等の主要寸法のデータである。船舶諸元データと寄港実績データは、VESSEL ID No.でリンク付けされている。

筆者らは、これらをLloyd's Maritime Information Services(以降、LMIS)のデータを基に作成した。LMISは、世界でもっとも権威ある<sup>19)</sup>海事統計のデータ元として知られている。その詳細については、文献20)を参照されたい。

### (2) データ特性

作成した船舶動静データベースのデータは、世界中を網羅している。しかし、そのデータには、ミスや不明データが存在する。

表-1 港湾統計と寄港実績データとの対比 (1998年)

港名	港湾統計 <sup>11), 15), 21)</sup>		寄港実績データ	
	フルコン船 セミコン船	合計隻数	フルコン船 セミコン船	合計隻数
東京	3,411 137	3,548	3,172 376	3,548
横浜	4,554 739	5,293	3,987 1,359	5,346
名古屋	3,688 535	4,233	3,319 914	4,233
大阪	3,182 583	3,765	2,622 1,162	3,784
神戸	4,595 573	5,168	4,010 1,196	5,206

表-2 船舶諸元データの不明データ数

諸元	不明データ数	割合
DWT	24	0.4%
全長	60	0.9%
幅	166	2.6%
満載喫水	44	0.7%

まず、寄港実績データの精度について、日本の主要港と比較したのが表-1である。港湾統計と寄港実績データは、コンテナを運搬した船舶の合計隻数については、東京港及び名古屋港で完全に一致しているほか、その他の港においても、その誤差は数十隻（概ね1%以下）に収まっている。しかし、フルコンテナ船とセミコンテナ船（コンテナ積在来船を含む）の分類でみると、相当程度の差がある。これは、LMISでセミコンテナ船（一般貨物船）と登録されている船の中で、港湾統計ではフルコンテナ船とみなされている船があるためである。なお、本研究のモデルの構築、分析等において、フルコンテナ船であるかどうかは全く関係がないため、この船種の相異は、以降において何ら影響を及ぼすものではない。

次に、船舶諸元データの特徴について、その不明データ数を記したのが表-2である。データベースを構成する船舶は、TEU Capacityが不明データでないものであり、1998年で合計6,355隻であった。これに対し、載貨重量トン（DWT）、全長、幅及び満載喫水について、数%以下の不明データが存在した。

以上のように、船舶動静データにも、船舶諸元データにもミスや抜け落ちが存在し、完全ではない。しかし、船舶の寄港実績や諸元の全てを完全に網羅したデータは存在せず、これ以上の精度と地理的対象範囲を保有するデータも見当たらないことから、LMISのデータを用いてデータベースを構築した。

表-3 コンテナ船国別寄港実績 (1998年)

	国名	総寄港回数	TEU Capacity 総計値
1	Japan	33,088	40,949,092
2	China	27,739	33,645,238
3	UK	26,476	14,791,493
4	USA	24,338	43,263,193
5	Spain	19,597	13,275,096
6	Netherlands	18,669	12,737,642
7	Singapore	18,376	24,752,123
8	Germany	16,688	12,384,181
9	Italy	15,289	13,227,041
10	Taiwan	14,276	20,013,561

### (3) データベース活用例

船舶動静データベースは、世界中でのコンテナ船の寄港実績と諸元が判明しているため、例えば、国別や港別の寄港実績を集計することができる。表-3は、1998年におけるコンテナ船の総寄港回数の上位10カ国を示したものである。第1位は日本であった。なお、表-3の最右列は、寄港したコンテナ船のTEU Capacityを合計した値である（すなわち、全寄港船の寄港回数×TEU Capacity）。この値は、その港に寄港したコンテナ船が最大で積載できるコンテナの個数を示している。このTEU Capacity総計値を見ると、第1位はアメリカ、第2位が日本となる。すなわち、アメリカは、平均して日本より大型のコンテナ船が寄港していると言える。なお、香港は1999年末に中国に返還されたことを踏まえ、中国に含めて取り扱っている。

以上が、船舶動静データベースの概要である。1998年に就航したコンテナ船6,355隻の延べ寄港回数の合計は466,241回であった。

### 3. 船舶動静データと外貿コンテナ総流動量の関係のモデル化による総流動量推計手法

本章では、船舶動静データと外貿コンテナ総流動量の関係をモデル化し、これを用いた外貿コンテナ総流動量の推計手法について述べる。

#### (1) 使用データ

モデルにおいて使用するデータは、船舶動静データベースによる寄港実績データと船舶諸元データ、さらに各港湾での外貿コンテナ総取扱量（TEUベース）である。外貿コンテナ総取扱量は、船舶が運搬したコンテナ量であるため空コンテナも含めたものとし、文献8)のデータ（以降、CI実績値）を用いる。

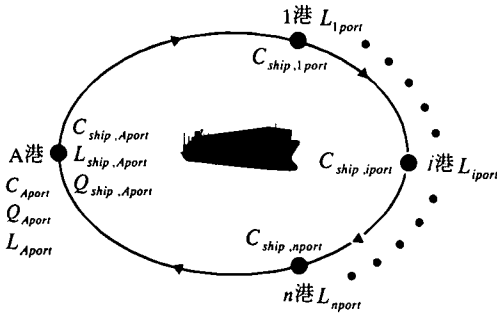


図-2 モデル模式図

## (2) 積み卸し係数の設定

コンテナ船の寄港実績と運搬された外貿コンテナ総流動量を結びつけるため、積み卸し係数  $L$  を式(1)のように設定する。

$$L = Q/2C \quad (1)$$

ここに、 $Q$  : 当該コンテナ船、港、国及び地域での外貿コンテナ取扱量

$C$  : 当該コンテナ船の TEU Capacity, または、当該港、国及び地域に寄港した船の TEU Capacity 総計値

$L$  は、コンテナ船が寄港した際に、その船の TEU Capacity に対して、どれだけのコンテナが積み卸されたのかを示す係数であり、港、国及び地域ではその平均値となる。したがって、全てのコンテナ船が、満載状態で寄港し、全コンテナを卸し、満載になるまでコンテナを積載した場合、当該港、国、地域のコンテナ取扱量  $Q$  は、寄港船の TEU Capacity 総計値  $C$  の 2 倍に相当するため、 $L$  は 1.0 となる。

## (3) モデル化の条件

港、国及び地域間の外貿コンテナ総流動量を求めるためのモデル化の条件は、以下の通りとする。

- ・ 外貿コンテナ総流動量は、各コンテナ船が輸送した外貿コンテナ量の総計値である。
- ・ 各コンテナ船が港、国及び地域で積み卸した外貿コンテナ量は、当該港、国及び地域の積み卸し係数と寄港 TEU Capacity 総計値の積に比例する（ただし、同一地域内への寄港は例外。この点については後述する）。この仮定は、積み卸し係数の初期値として、各コンテナ船の特性（航路や寄港順序等）を無視していることを示している。
- ・ 当該港、国及び地域での外貿コンテナ総取扱量 (CI 実績値) をコントロールトータルとし、各港、国及び地域での積み卸し係数を増減さ

せることにより、収束計算を行う。  
これらの条件に従い、モデル化を行う。

## (4) 推定モデル

今、A港及び1~ $i$ ~ $n$ 港のループで運航しているコンテナ船を想定する(図-2)。ここで、このコンテナ船が各港で積み卸した外貿コンテナ量である  $Q_{ship,iport}$  は未知である。一方、各港の外貿コンテナ総取扱量  $Q_{iport}$  と寄港船の TEU Capacity 総計値  $C_{iport}$  は既知であるため、結果として各港の積み卸し係数  $L_{iport}$  も既知となる。また、このコンテナ船による各港での寄港 TEU Capacity 総計値  $C_{ship,iport}$  も、データにより既知である。この条件下で、当該コンテナ船による各港間の外貿コンテナ総流動量  $Q_{ship,A-iport}$  を求める。

まず、モデル化の条件より、当該コンテナ船による A港-i港間の外貿コンテナ流動量  $Q_{ship,A-iport}$  は、1~ $i$ ~ $n$ 港のそれぞれの港における積み卸し係数と寄港 TEU capacity 総計値の積に比例するため、式(2)のようになる。

$$Q_{ship,A-iport} = Q_{ship,Aport} \frac{C_{ship,iport} L_{iport}}{\sum_{i=1}^n C_{ship,iport} L_{iport}} \quad (2)$$

当該コンテナ船による A港での外貿コンテナ流動量  $Q_{ship,Aport}$  は、式(1)より、当該コンテナ船の A港への TEU Capacity の寄港総計値  $C_{ship,Aport}$  と A港での積み卸し係数  $L_{ship,Aport}$  を用いて、

$$Q_{ship,Aport} = 2C_{ship,Aport} L_{ship,Aport} \quad (3)$$

と表される。式(2)及び式(3)より、式(4)が成立する。

$$Q_{ship,A-iport} = 2C_{ship,Aport} L_{ship,Aport} \frac{C_{ship,iport} L_{iport}}{\sum_{i=1}^n C_{ship,iport} L_{iport}} \quad (4)$$

既に述べたように、式(4)の右辺において、当該コンテナ船の寄港 TEU capacity 総計値  $C_{ship,iport}$  と各港の積み卸し係数  $L_{iport}$  は既知である。したがって、当該コンテナ船の A港における積み卸し係数  $L_{ship,Aport}$  が求めれば、当該コンテナ船による A港-i港間の外貿コンテナ流動量  $Q_{ship,A-iport}$  が算定される。しかし、この  $L_{ship,Aport}$  は不明であるため、A港の積み卸し係数  $L_{Aport}$  で仮置きする。

A港-i港間の外貿コンテナ総流動量  $Q_{A-iport}$  は、A港とi港に寄港したコンテナ船によるコンテナ流動量の総和であるから、

$$Q_{A-iport} = \sum_{ship} Q_{ship,A-iport} \quad (5)$$

となる。これにより、各港間の外貿コンテナ総流動量が算定される。しかし、算定においては、A港に

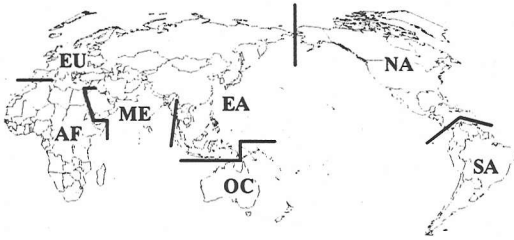


図-3 地域区分

における*i*港相手のコンテナ総流動量と、*i*港におけるA港相手のコンテナ総流動量がそれぞれ算定され、この両者は、積み卸し係数が真値でないため、一致しない。そこで、式(6)の関係式により、各港の外貿コンテナ総取扱量をコントロールトータルとして、仮置きした積み卸し係数  $L_{ship, Aport}$  を、相手港毎に一定であるとして、初期値を  $L_{Aport}$  としてその値を増減させることにより、収束計算を行い推定値を求める。

なお、この収束計算を行うことにより、(3)における、積み卸した外貿コンテナ量が積み卸し係数と寄港TEU Capacity総計値に比例する、との仮定に含まれる誤差の一部について、多少調整されているものと考えることが出来る。

$$Q_{Aport} = \sum_{port} Q_{A-iport} \quad (6)$$

以上の算定方法は、国間あるいは地域間においても同じである。実際の算定手順は、次節で述べる。

### (5) 算定手順

ここでは、(4)でのモデル化に基づいて、実際に算定を行う手順について述べる。算定は、地域ごとの総流動量から行う。この際、世界を大洋、運河等の位置関係から図-3の通り7地域に分ける。北米(NA)、南米(SA)、東アジア(EA)、オセアニア(OC)、中近東・西アジア(ME)、ヨーロッパ(EU)及びアフリカ(AF)である。

この外貿コンテナ総流動量の算定は、マトリクス計算となる。その算定手順を示したのが、図-4である。まず、船舶動静データベースにある全てのコンテナ船が、これらの地域に何回寄港しているのかを算定する。そして、式(4)及び式(5)（これらの式は港間になっている）より、地域間外貿コンテナ総流動量を算定する。算定においては、地域毎の外貿コンテナ総取扱量をコントロールトータルとし、対称行列の形で、フレーター法によりマトリクスのパターンを合わせて推定値を求める。次に、地域-国間流動量を算定する。この場合、国毎の外貿コンテナ

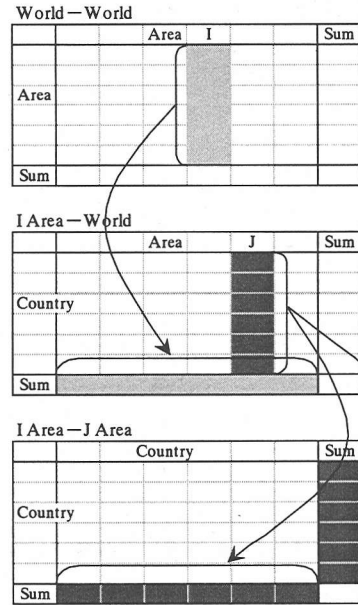


図-4 マトリクスの算定手順

総取扱量と、先に算定した地域間外貿コンテナ総流動量をコントロールトータルとして、推定値を求める。さらに、国間流動量の算定においては、国毎の外貿コンテナ総取扱量をコントロールトータルとして、対称行列の形で推定値を求める。これにより、国間外貿コンテナ総流動量が算定される。港間流動量については、国-港間流動量、港間流動量の順で同様に算定していく。

以上の手順により、地域間、国間、港間の外貿コンテナ総流動量が、船舶動静データベースより算定される。

### (6) 同一地域流動比率

地域間流動量の算定においては、同一地域内での寄港の取り扱いが問題となる。同一地域外であれば、(3)に仮定したように、積み卸し係数と寄港TEU Capacity総計値の比で、一律に算定される。しかし、同一地域内の寄港にまでこの仮定を適用することは出来ない。なぜなら、同一地域外への航路において、同一地域内間のコンテナは少量の取り扱いであろうと考えられるからである。例えば台湾から日本に寄港してアメリカに行くコンテナ船の場合、基本的には台湾・日本からアメリカへのコンテナを運搬するのであって、台湾から日本へのコンテナはその空きスペースを活用する形となる。しかし、これを積み卸し係数と寄港TEU Capacity総計値の比で一律に計算してしまうと、台湾-日本間もアメリカへのコンテナと同等に輸送することになってしまう。この点

表-4 横浜港・北米航路における相手地域別コンテナ取扱量 (1999年)

地域名	取扱量	構成比
アジア	140,826	20.0%
ヨーロッパ	31	0.0%
北アメリカ	562,074	79.8%
オセアニア	1,060	0.2%
総計	703,965	100.0%

取扱量の単位：TEU

表-5 同一地域内流動比率  $k$  の設定による横浜港・北米航路のコンテナ取扱量の変化

		$k$			
		0.00	0.10	0.15	0.20
取扱量 推計値	1997年	1,032	887	839	797
	1998年	784	680	646	618
平均変化率		0%	-13.7%	-18.2%	-22.1%

取扱量の単位：'000TEU

をふまえて、同一地域内寄港にかかる算定は、以下の形とした。

- ・同一地域内でしか寄港していないコンテナ船については、同一地域の積み卸し係数と寄港TEU Capacity総計値により外貿コンテナ総流動量を算定する。
- ・同一地域外へ寄港しているコンテナ船については、同一地域内での寄港は、同一地域外での寄港の15%相当比だけを結果として取り扱うものと仮定する。(本来、地域内流動は空きスペースの活用であり、地域間流動量は地域内流動量の影響を受けない。しかし、ここでは、地域間流動は、結果として全体で15%相当比が取り扱われていると仮定している)

後者を定式化すると、以下のようになる。

$$Q_{ship,A-Area} = Q_{ship,Aarea} \frac{kC_{ship,Aarea}L_{Aarea}}{kC_{ship,Aarea}L_{Aarea} + C_{ship,Barea}L_{Barea} + \dots + C_{ship,Garea}L_{Garea}} \quad (7)$$

$$Q_{ship,A-Barea} = Q_{ship,Aarea} \frac{C_{ship,Barea}L_{Barea}}{kC_{ship,Aarea}L_{Aarea} + C_{ship,Barea}L_{Barea} + \dots + C_{ship,Garea}L_{Garea}} \quad (8)$$

ここに、 $k$  : 同一地域内での外貿コンテナ流動比率を表す係数=0.15

式(7)は、あるコンテナ船の同一地域内 (A地域内) での外貿コンテナ総流動量、式(8)は、同一地域外

(A-B地域) での外貿コンテナ総流動量の算定式である。ここで、同一地域内でのコンテナ流動比率  $k$  を0.15倍としているのは、横浜港の北米航路のデータに基づいているものである。横浜港を始めとし、日本の主要港での北米航路の外貿コンテナ取扱量は、東アジア-北米航路における外貿コンテナ取扱量であり、この中には東アジア-日本間の外貿コンテナ取扱量が含まれている。この点について、文献12)の2000年5月号のTOPICSでは、横浜港の北米航路の相手地域別外貿コンテナ取扱量が集計されている(表-4)。この表-4より、横浜港においては北米航路の外貿コンテナ取扱量の約20%がアジア域内流動であることが分かった。そのため、同一地域内流動比率  $k$  を、横浜港の北米航路が約20%低下する値に設定することとした。

ここで、同一地域内流動比率  $k$  を変化させた場合の、横浜港北米航路の取扱量推計値の変化量を示したのが表-5である。例えば、1997年において  $k=0$  の場合の推計値が1,032,000TEUであるのに対し、 $k=0.10$  とした場合の推計値は887,000TEUと算定され、この差し引き分145,000TEUは、同一地域航路である東アジア航路の取扱量の増加となる。表-5より、1997年と1998年の横浜港北米航路の取扱量推計値は、 $k$  を0.15と設定すると概ね20% (18.2%) が東アジア航路の取扱量の増加となった。このことから、 $k=0.15$  とした。この  $k$  の値は、横浜港・北米航路との非常に局所的な数値であり、これを全世界に適用するには問題があると考えられるが、日本の他の主要港も含めその他にこのようなデータが見当たらなかったことから、 $k$  を世界一律で0.15とした。この点については、大きな問題であり、今後の課題としたい。

#### 4. 推計手法の検証

本章では、先に構築した手法による推定結果を、様々なデータと対比することにより、推計手法の妥当性を検証する。なお、1. で述べたとおり、全世界を対象とした、外貿コンテナ総流動量の実績値や、情報ソースと手法を明らかにした推計値は見当たらないため、一般的な検証は出来ない。

##### (1) 港湾統計との対比

日本の主要港 (東京、横浜、名古屋、大阪及び神戸港) について、各港の港湾統計<sup>11)・15)</sup>と本研究による推定値を比較した。港湾統計では、外貿コンテナ取扱量を航路別と相手国別で集計している。この

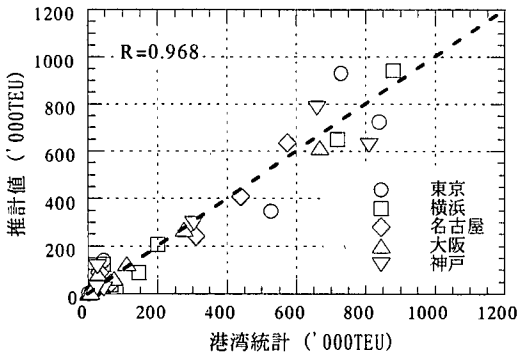


図-5 港湾統計と本研究の推計値の比較 (1998年)

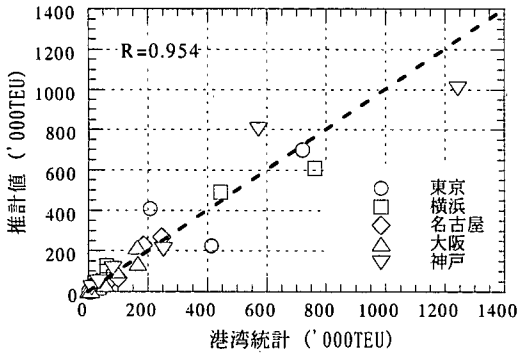


図-6 港湾統計と本研究の推計値の比較 (1988年)

うち、航路別は、極東地域内の取扱量を除けば総流動量に対応し、相手国別は純流動量に対応する。本研究は総流動量の推定であるため、航路別のデータを用いることとする。なお、各港の外貿コンテナ総取扱量は、CI実績値に合わせた。

1998年と1988年一年間の主要港について、港湾統計の航路別実績と本研究による推計値とを比較したのが、図-5、図-6である。図-5、図-6によれば、本研究の推計値は、港湾統計のデータと非常によく精度で一致していると言える。しかし、港湾統計と本研究の推計値は、以下の点で異なっている。

- ・ アジア域内流動量の評価：3. (6)で述べたように、アジア域外への航路は、アジア域内の貨物をも取り扱っている。しかし、本研究の推計手法では既にこれを補正している。したがって、本研究による推計値は、港湾統計データよりアジア域外へは過小評価、アジア域内へは過大評価となる。
- ・ 通過地域の流動量の評価：本研究の推計手法では、欧州、アフリカ航路の途上にある中近東・西アジアの取り扱いを、欧州、アフリカ地域へと同等に算定している。しかし、中近

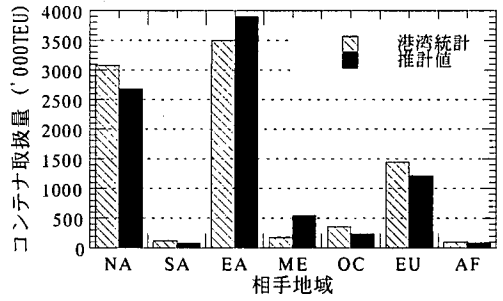


図-7 相手地域別の港湾統計と推計値の差 (1998年)

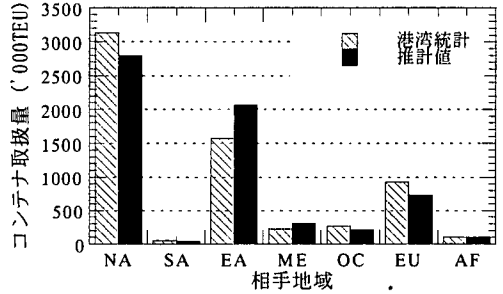


図-8 相手地域別の港湾統計と推計値の差 (1988年)

東・西アジアは通過点であって、これは明らかな過大評価である。

以上の点から、相手地域毎に見ると、アジア域内流動は過大評価、その他地域へは過小評価、ただし、中近東・西アジア地域へだけは大きな過大評価となっている。これを示したのが、図-7、図-8である。

なお、それぞれの値は、主要港での相手地域毎の外貿コンテナ取扱量の合計値である。

## (2) アメリカー東アジア地域間の総流動量実績との対比

1. で述べたように、アメリカ輸出入コンテナについては、純流動量、総流動量の詳細なデータが入手可能である（以降、PIERS実績値<sup>9)</sup>）。このデータと、推計値を比較する。なお、この総流動量はPIERSデータの中のトランシップ実績を用いて把握したものである。

1997年及び1987年のアメリカー東アジア地域での外貿コンテナ総流動量であるPIERS実績値と本研究による推計値を比較したのが、図-9、図-10である。東アジア地域とは、日本、中国、台湾、韓国、シンガポール、タイ、フィリピン、マレーシア及びインドネシアである。さらに、図-9には、日本の主要港のデータ（東京、横浜、名古屋、大阪及び神戸港）も加えてある。この図-9、図-10より、本研究の推計値は、PIERS実績値と非常によく相関を示している

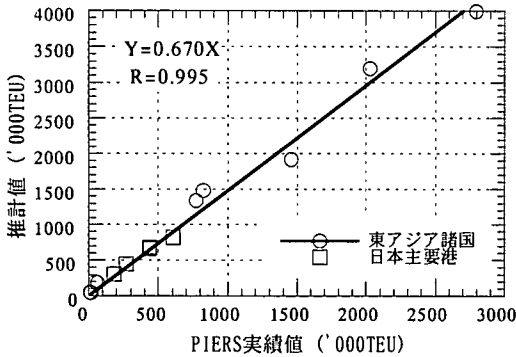


図-9 PIERS実績値と本研究の推計値の比較 (1997年)

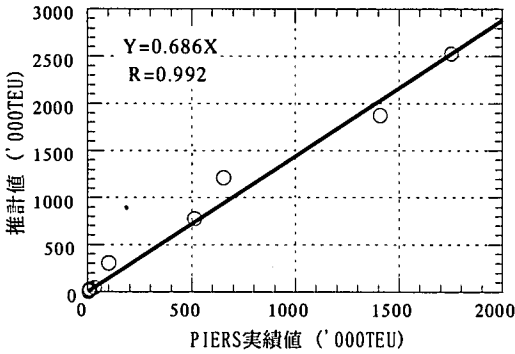


図-10 PIERS実績値と本研究の推計値の比較 (1987年)

ものの、その絶対量が70%弱となっていることが分かる。これは、PIERS実績データが以下のような特性を持っているからである。

- ・ PIERS 実績データはコンテナ貨物の実体積であり、空きコンテナ、空きスペースは実績値に含まれていない。一方、本研究の推計値は空きスペース、空きコンテナが含まれている。
- ・ PIERS 実績データには、アメリカー東アジア航路で輸送されたものの、最終目的地がアメリカもしくは東アジア地域ではないコンテナ、すなわちアメリカ及び東アジアでトランシップされ、域外へ輸送されたコンテナは含まれていない。一方、本研究の推計値には域外へのトランシップコンテナも含まれる。

以上のような特性のため、本研究の推計値は、PIERS 実績データより大きくなる。この点について、参考として示したのが表-6である。表-6では、港湾統計<sup>11), 12), 15)</sup>により空コンテナ量が把握できた東京、横浜及び神戸港について、①本研究の各港の対アメリカ推計値、②港湾統計の北米航路実入比率、③対アメリカ実入推計値(=①×②)と、④PIERS 実績データとを比較したものである。③対アメリカ実入

表-6 本研究の推計値と PIERS 実績値の関係 (1997年)

港名	東京	横浜	神戸
本研究の推計値	821	682	667
港湾統計実入コンテナ率	0.824	0.821	0.862
実入推計値	677	560	575
PIERS 実績値	607	439	432
空スペース+域外 Tranship	70	121	143

単位: '000TEU

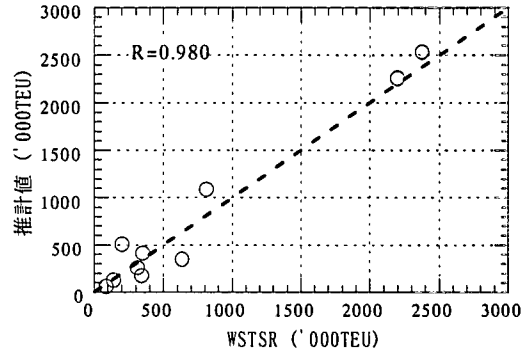


図-11 WTSR と本研究の推計値の比較 (1988年)

推計値と④PIERS 実績値との差は、空きスペース及び域外へトランシップされたコンテナ量の推計値となる。

### (3) 主要地域間総流動量推計値との対比

独自の情報ソースと推計手法に基づいて推計されたデータと、本研究による推計値を比較する。この情報ソースも推計手法も不明であるため、その精度を推し量ることは出来ない。

まずは、世界の主要地域間の外貿コンテナ総流動量を推計した文献<sup>17)</sup>のデータ(以降、WTSR 推計値)である。この WTSR 推計値には、以下の二つの欠点がある。そのため、本研究の推計値との対比では、修正を行っている。

- ・ 同一地域間の外貿コンテナ総流動量のデータが二つあり、どちらの値が正しいのかが不明である。例えば、1988年のアメリカの欄では、対日本のコンテナ総流動量は1,443,000TEU、日本の欄では対アメリカコンテナ総流動量は1,587,000TEUとなっている。そのため、本研究の推計値と対比する際にはこれらの平均値を用いた。
- ・ 各国における外貿コンテナ総取扱量が、CI 実績値と相当程度食い違っている。CI 実績値が、各港、国への Questionair に基づいている<sup>8)</sup>以上、これと大幅に食い違っているのは、推計



表-7 Drewry 推計値と本研究の推計値の比較 (1997年)

地域名	NA	EA	EU
Drewry推計値	8.3	35.2	18.8
本研究の推計値	8.1	35.8	16.4

単位：'000,000TEU

表-8 全世界地域間総流動量推計値 (1998年)

	NA	SA	EA	ME	OC	EU	AF	SUM
NA	7,502	2,512	14,133	1,239	500	7,173	342	33,402
SA	2,512	290	717	70	19	1,283	88	4,979
EA	14,133	717	38,052	8,761	1,834	12,120	1,179	76,795
ME	1,239	70	8,761	5,799	171	3,589	541	20,169
OC	500	19	1,834	171	438	457	70	3,489
EU	7,173	1,283	12,120	3,589	457	18,011	2,592	45,224
AF	342	88	1,179	541	70	2,592	361	5,173
SUM	33,402	4,979	76,795	20,169	3,489	45,224	5,173	189,230

単位：'000TEU

の精度に疑問が残る。このため、本研究の推計値と対比する際には、国毎の外貿コンテナ総取扱量の CI 実績値に対する WSTSR 推計値の比率で、各国・地域間の外貿コンテナ総流動量を修正した。

1988年値について、以上の修正を施し、主要地域間の WSTSR 推計値と本研究の推計値を比較した結果が図-11 である。比較に用いたのは、アメリカ、日本、オセアニア（オーストラリア、ニュージーランド）、北部ヨーロッパ（イギリス、ドイツ、フランス）、南部ヨーロッパ（イタリア、スペイン）の5つの国・地域間外貿コンテナ総流動量である。ただし、ヨーロッパ内の総流動量は WSTSR には示されていないため、除いている。図-11 によれば、全体としてある程度の一致が見られる。WSTSR データは、前述のように欠点が多く、マクロで物流を見る際に傾向を観察する<sup>21)</sup>程度のもものと捉えられているようであるが、その傾向は、本研究の推計値と一致が見られた。

#### (4) 域内総流動量推計値との対比

域内の外貿コンテナ総流動量を推計した文献<sup>18)</sup>のデータ（以降、Drewry 推計値）と、本研究の推計値を比較する。この Drewry 推計値もその情報ソース、推計手法が不明であり、その精度を検証することは出来ない。

Drewry推計値の実績に基づく推計は1996年値であり、その後2001年までの将来予測値と年平均成長率が記されている。本研究の推計値は、1997年値であるため、Drewry推計値の1996年値に1年間分の成長

表-9 全世界地域間総流動量推計値 (1988年)

	NA	SA	EA	ME	OC	EU	AF	SUM
NA	3,356	726	7,983	357	516	4,501	259	17,697
SA	726	119	165	28	28	617	58	1,741
EA	7,983	165	9,640	1,783	931	4,122	548	25,172
ME	357	28	1,783	670	90	1,376	122	4,426
OC	516	28	931	90	514	415	33	2,527
EU	4,501	617	4,122	1,376	415	7,060	2,058	20,150
AF	259	58	548	122	33	2,058	470	3,548
SUM	17,697	1,741	25,172	4,426	2,527	20,150	3,548	75,260

単位：'000TEU

表-10 地域間総流動量年平均伸び率

流動	1988年	1998年	年伸び率
NA-EA	7,983	14,133	5.9%
NA-EU	4,501	7,173	4.8%
EA-EU	4,122	12,120	11.4%
NA内	1,678	3,751	8.4%
EA内	4,820	19,026	14.7%
EU内	3,530	9,006	9.8%
その他	10,996	29,407	10.3%

単位は、'000TEU

率を掛けて比較した。その結果が表-7であるが、Drewry推計値と本研究の推計値は、ほぼ一致していた。なお、Drewryの各地域が具体的にどの国まで含めるのかは示されていないため、本研究において設定している地域と多少異なっている可能性はある。

以上、4種類のデータと本研究の推計値を比較し、本研究の推計値はそれぞれのデータと非常に良い相関関係があることが分かった。比較に用いたデータが、いずれも推計値と直接比較できるものではないため、課題は残るものの、本研究の推計手法の妥当性がほぼ検証されたものと考えられる。

## 5. 主要航路についての分析

本章では、本研究による推計値を用いて、外貿コンテナ流動の主要航路についての分析を行う。

### (1) 地域間流動量の推移

表-8に全世界の地域間外貿コンテナ総流動量の1998年推計値を、表-9に1988年推計値を示す。この地域間流動表は、コンテナ取扱量で示しているため、同一地域内はダブルカウントされている（発地も目的地も域内であるため）。また、数値は地域間流動であるため、対称行列となる。さらに、フレーター法による収束計算のためにトータル値を調整して入力しており、各地域の合計取扱量はCI実績値とは完

表-11 北米-東アジア総流動量推計値 (1998年)

	JPN	CHN	TWN	KOR	SGP	OTH	SUM
USA	2,366	4,309	1,599	1,335	1,325	493	11,427
CAN	231	288	86	81	83	35	804
OTH	433	567	252	298	194	138	1,882
SUM	3,030	5,164	1,937	1,714	1,602	666	14,113

単位は、'000TEU

表-12 北米-東アジア総流動量推計値 (1988年)

	JPN	CHN	TWN	KOR	SGP	OTH	SUM
USA	2,538	1,333	1,673	720	470	97	6,831
CAN	339	93	73	73	35	17	631
OTH	159	82	98	57	72	52	520
SUM	3,036	1,509	1,845	850	577	167	7,982

単位は、'000TEU

表-13 東アジア-欧州総流動量推計値 (1998年)

	JPN	CHN	TWN	KOR	SGP	OTH	SUM
GBR	260	794	215	128	646	71	2,113
NLD	330	835	227	133	721	69	2,315
ESP	111	362	98	62	277	62	973
DEU	266	797	210	140	639	74	2,126
ITA	127	575	113	112	449	103	1,479
FRA	106	274	75	64	236	40	794
BEL	79	402	88	83	296	49	996
OTH	96	541	96	91	393	104	1,321
SUM	1,374	4,579	1,122	812	3,657	573	12,117

単位は、'000TEU

表-14 東アジア-欧州総流動量推計値 (1988年)

	JPN	CHN	TWN	KOR	SGP	OTH	SUM
GBR	141	176	133	64	178	53	744
NLD	157	207	135	70	207	54	831
ESP	61	71	52	26	64	12	286
DEU	148	202	117	66	207	68	808
ITA	71	85	59	31	87	18	351
FRA	66	83	63	32	83	14	341
BEL	72	104	68	33	98	26	400
OTH	77	88	43	33	82	37	360
SUM	792	1,016	670	356	1,005	282	4,122

単位は、'000TEU

全には一致しない。

表-8によれば、1998年の地域間総流動量は、第1位が東アジア域内(流動量=38,268/2)、第2位が北米-東アジア、第3位が東アジア-欧州であり、いずれの航路も、東アジア関連であった。一方、1988年の場合、第1位が北米-東アジア、第2位がアジア域内、第3位が北米-欧州であった(表-9)。

表-8と表-9のデータを主要3地域とその他の地域に分けて、それぞれの10年間における年平均伸び率を

表-15 東アジア域内総流動量推計値 (1998年)

	JPN	CHN	TWN	KOR	SGP	MYS	PHL	THA	IDN	OTH	SUM
JPN	0	2,491	451	621	436	90	268	283	87	28	4,755
CHN	2,491	840	2,182	1,407	2,138	398	870	592	376	79	11,374
TWN	451	2,182	0	203	400	101	504	203	153	38	4,234
KOR	621	1,407	203	0	241	44	168	69	53	72	2,878
SGP	436	2,138	400	241	0	836	409	684	710	84	5,937
MYS	90	398	101	44	836	0	87	48	94	31	1,729
PHL	268	870	504	168	409	87	0	129	195	21	2,650
THA	283	592	203	69	684	48	129	0	67	27	2,101
IDN	87	376	153	53	710	94	195	67	0	4	1,739
OTH	28	79	38	72	84	31	21	27	4	116	500
SUM	4,755	11,374	4,234	2,878	5,937	1,729	2,650	2,101	1,739	500	37,897

単位は、'000TEU

表-16 東アジア域内総流動量推計値 (1988年)

	JPN	CHN	TWN	KOR	SGP	MYS	PHL	THA	IDN	OTH	SUM
JPN	0	650	666	401	181	36	156	97	45	31	2,263
CHN	650	67	409	112	171	28	134	98	24	2	1,695
TWN	666	409	0	121	204	53	251	104	21	2	1,831
KOR	401	112	121	0	43	9	13	9	8	3	719
SGP	181	171	204	43	0	129	103	156	95	1	1,083
MYS	36	28	53	9	129	0	49	39	18	3	363
PHL	156	134	251	13	103	49	0	76	3	2	787
THA	97	98	104	9	156	39	76	0	21	0	601
IDN	45	24	21	8	95	18	3	21	0	0	236
OTH	31	2	2	3	1	3	2	0	0	11	57
SUM	2,263	1,695	1,831	719	1,083	363	787	601	236	57	9,635

単位は、'000TEU

算定したのが表-10である。東アジア域内が大きな伸び率を示しているが、それに次いで東アジア-欧州が伸びており、北米-東アジアと差が出ている。また、その他地域内も10%を越える伸び率を示していることが分かった。以上のように、本モデルの推計値によって、世界的なコンテナ総流動量の推移を分析することが出来る。

## (2) 北米-東アジア間流動量

次に、北米-東アジア間の国間外貿コンテナ総流動量を算定したのが表-11及び表-12である。北米は、アメリカ(USA)、カナダ(CAN)、東アジアは、日本(JPN)、中国(CHN)、台湾(TWN)、韓国(KOR)及びシンガポール(SGP)の各国を取り上げた。OTHは当該地域のその他の国である。なお、この国間流動においても、フレーター法による収束計算のためのトータル値の調整を行っているため、その合計値は表-8及び表-9の地域間流動量の値と一致しない。

表-11及び表-12によれば、1988年から1998年の10年間において、対北米で大きな伸びを示したのが中国及びシンガポールであることが分かる。一方、日

本及び台湾は、1998年の対アメリカ外貿コンテナ総流動量より1988年の総流動量の方が多くなっている。しかし、それでもなお、シンガポールの対アメリカ総流動量は、日本の取扱量の約半分である。この状況を見ると、北米-東アジア間の外貿コンテナ総流動量においては、アメリカ-中国の占める割合が、この10年間で急激に増大してきたことが分かる。

### (3) 東アジア-欧州間流動量

三大幹線航路のうち、この10年間で唯一年平均伸び率が10%を超えた東アジア-欧州間の国間外貿コンテナ総流動量を表-13及び表-14に示す。欧州としては、イギリス(GBR)、オランダ(NLD)、スペイン(ESP)、ドイツ(DEU)、イタリア(ITA)、フランス(FRA)、ベルギー(BEL)の各国を算定した。東アジア-欧州間においても、北米-東アジア間と同様、中国とシンガポールが大きな伸びを示している。1988年では、日本は中国及びシンガポールと同等程度の総流動量を示していたが、1998年では、中国及びシンガポールの約1/3となっている。それでもなお、日本の総流動量は韓国の2倍弱に相当している。

### (4) 東アジア域内流動量

最後に、アジア域内の外貿コンテナ総流動量を算定したのが表-15及び表-16である。域内流動であるため、対称行列となっている。追加した国は、マレーシア(MYS)、フィリピン(PHL)、タイ(THA)、及びインドネシア(IDN)である。なお、中国については、香港と中国大陸との寄港実績やコンテナ総流動量が外貿として捉えられていると想定されるため、中国国内にしか寄港していないコンテナ船のみ、中国国内流動を外貿として取り扱おうと仮定し、算定を行った。その他の国については、当該国内のみに寄港したコンテナ船はほとんどなかった。

表-15及び表-16によると、中国は当然として、北米や欧州との総流動量ではあまり大きな伸びを示していなかった日本や台湾でも、アジア域内への総流動量は大きく伸ばしていることが分かる。また、1998年の日本-中国間の取扱量は、日本-アメリカ間の総流動量を超えており、日本の外貿コンテナ総流動量の相手国の第1位はアメリカではなく中国となっていると考えられる。また、1998年の東アジア域内流動については、日本、台湾、韓国等北方の国においては、対中国の総流動量が多く、フィリピン及びタイの中部の国においては対中国と対シンガポールの総流動量が拮抗しており、南方のマレーシア及びインドネシアでは対シンガポールの総流動量が多いことが分かる。これにより、地理的な条件から、

コンテナ輸送のネットワークが構築されていることが推定される。

以上のように、本研究の成果を用いれば、世界中の外貿コンテナ総流動量の推定し、その分析を行うことが出来るものである。

## 6. 結論

本研究は、コンテナ船の動静データに基づいて外貿コンテナ総流動量を推計することを目的としたものである。本研究の結論は以下のとおりである。

- (1)世界中のコンテナ船の寄港実績データと船舶諸元データを保有する船舶動静データベースを構築した。
- (2)船舶動静データと外貿コンテナ総流動量の関係をモデル化し、総流動量を推計する手法を示した。
- (3)提案した手法による推計値を、様々なデータと比較することにより、その妥当性がほぼ検証された。
- (4)世界の主要航路の国間外貿コンテナ総流動量の推計値を算定し、それぞれについて分析を加えた。

本研究の手法により、世界中の地域間、国間及び港間の外貿コンテナ総流動量を推計することが可能となった。しかし、本研究で提案している手法には以下の問題点が残されている。

- (1)地域内流動の比率を、横浜港・北米航路のデータより世界一律で設定しているが、これは地域や国により変化するものと考えられる。同様に、地域間流動であっても、流動比率は一定ではなく、例えば、東アジア-欧州航路における中近東・西アジアの流動比率は、同航路の東アジア及び欧州の流動比率より低いはずである。また、地域、国及び港での積み卸し係数の設定も初期値は航路や寄港順序によらず一定であるとしている。収束計算の過程で、この設定による誤差はある程度低減されていると考えられるものの、初期値をもっと詳細に設定することが望ましい。これら流動比率や積み卸し係数は航路の状況、投入船型、寄港ルート、船社や荷主の港湾選択行動等様々な条件により決定されるはずのものであり、今後そのための理論構築が必要である。
- (2)本研究のモデルの検証に用いた実績データは、いずれも本モデルの推計値と直接比較が出来るものではなかった。本モデルの妥当性を検証するには、さらに異なった実績データとの対比が必要である。
- (3)本研究のモデルの元データであるLMISデータには、2. 述べたようにミスや抜け落ちが存在す

る。また、もう一つの元データであるCI実績値についても、国内流動を含んでいる等港や国によって統計の中身が異なっている場合がある。これらの元データのミスや不統一は、当然、本研究のモデルの推計精度を下げている。しかし、現在のところ、世界統一データで、これらのデータを越える精度を持つものは見当たらない。これらの問題点については、今後の課題としたい。本研究の手法は、以上のような問題点を持つてはいるものの、これまで見当たらなかった、全世界の外貿コンテナ総流動量を、TEUベースで、情報ソースや推計手法を明らかにした上で、推計することを可能にしたものである。そのため、課題克服の研究を推進する一方、これらの推計値を用いた各種の分析を進めたい。

さらに、本研究の発展としては、各国、各港での実入コンテナ総取扱量が入手できるならば、本研究の手法を用いて、実入・空コンテナのそれぞれの総流動量を求めることが出来ると思われる。また、各国、各港のトランシップ状況が判明するならば、本研究の推定結果とトランシップ状況を重ね合わせるにより、外貿コンテナ純流動量の推定への道も拓ける可能性がある。このような発展のために、各機関でのデータの蓄積、発表を期待したい。その際、それぞれの機関で独自の集計方法をとるのではなく、国際的に統一された方法である必要があろう。

本研究の手法による推計値は、外貿コンテナ輸送ネットワークの現状分析や将来予測、さらには外貿コンテナ関連施設の整備・活用のための政策決定に必要な基礎資料を提供するものであり、非常に有用な推計手法であると考えている。

謝辞：フレーター法による収束計算について、(株)八千代エンジニアリングの山内康弘氏に貴重な御助言をいただきましたことをここに記し、感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 日本郵船調査グループ編：世界のコンテナ船隊及び就航状況。(社)日本海運集会所, 2000.
- 2) Niko Wijinoist, Marco Scholtens, Frans Waals : Malacca-Max The Ultimate Container Carrier, Delft University Press, 1999.
- 3) 日本経済新聞：北極海航路商業的利用が実現へ、1999年11月20日付け記事, 1999.
- 4) 稲村肇, 中村匡宏, 具滋永：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.130-140, 1997.
- 5) 家田仁, 柴崎隆一, 内藤智樹, 三島大輔：アジア域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, 土木計画学研究・論文集, No.15, pp.469-480, 1998.
- 6) 渡部富博：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～, 平成10年度港湾技術研究所講演会講演集, pp.126-150, 1998.
- 7) 黒田勝彦, 竹林幹雄, 武藤雅浩, 大久保岳史, 辻俊昭：外航定期コンテナ流動予測モデルの構築とアジア基幹航路への適用, 土木学会論文集, No.653/IV-48, pp.117-131, 2000.
- 8) Informa Group : Containerisation International Yearbook, Readlink Subscription Services.
- 9) The Journal of Commerce : Port Import Export Reporting Service.
- 10) (財)海事産業研究所：世界の主要地域間定期船荷動き量調査報告書-日本・極東/北米(米国)定期航路の船社グループ別・品目別・国別荷動き量-
- 11) 東京都：東京港港勢
- 12) 横浜市：横浜港統計年報
- 13) 名古屋港管理組合：名古屋港統計年報
- 14) 大阪市港湾局：大阪港港勢一斑
- 15) 神戸市港湾整備局：神戸港大観
- 16) 商船三井営業調査室：定航海運の現状1997/1998, 1998.
- 17) DRI/Mc-Graw-Hill and Mercer Management Consulting, Inc. : World Sea Trade Service Review, 1994.
- 18) Drewry Shipping Consultants : Short Sea Container Markets - The feeder and Regional Trade Dyanamo -, 1997.
- 19) 長塚誠治：21世紀の海運と造船-世界と日本の動向-, 成山堂書店, 1998.
- 20) 赤倉康寛, 佐藤光子, 高橋宏直：世界コンテナ船動静分析(2000), 港湾技研資料, No.963, 2000.
- 21) 吉川千里：統計から見たコンテナ物流, 連載「コンテナリゼーションと複合輸送」③, CONTAINER AGE AUGUST 1992, pp.51-56, 1992.

(2000.11.1受付)

# AN ESTIMATING METHOD FOR THE TOTAL QUANTITY OF WORLD CONTAINER CARGO FLOW BY USING THE SHIP MOVEMENT DATA

Yasuhiro AKAKURA and Hironao TAKAHASHI

This paper proposes the estimating method for the total quantity of world container cargo flow by using the ship movement data of world container ships. At first, ship movement database is made up by making the link between the data of port calling of container ships and the data of container ship dimensions. Second, the model that connects the total quantity of container cargo and the data of ship movement is developed. By using this model, the total quantity of container cargo between areas, countries and ports can be calculated. The results of calculation by proposed methods are compared with various statistical data. Finally, the analyses of world main routes of container shipping are done by using the results of calculation by proposed method.