

港湾取り扱い貨物量予測モデルの構築とそれに基づく 港湾整備計画の検討

出口 一郎*・戸崎 達朗**・森 安裕 貴***

集計ロジットモデルを用いて輸出・輸入コンテナ貨物の流動モデルを作成し、その再現性、移転性を確認した。このモデルを用い、1999 年から 2001 年の 2 年間で整備されたクレーン 21 基 (14 港湾) について、荷主にとって利便性の高くなる整備方法を検討した結果、直江津、名古屋、岩国、三田尻中関、松山、細島の 6 港では実績と一致した。整備されなかったが、荷主にとって効用の大きいと考えられるクレーン整備は、本州西部地方と四国地方の港湾に集中する結果となった。また、阪神淡路大震災後の全国の港湾におけるコンテナ貨物分担率についても妥当な再現性が得られた。

1. ま え が き

近年、アジア諸国の港湾の成長や我が国の港湾コストの高さ、通関手続きの煩雑さから我が国港湾のコンテナ取扱貨物量は伸び悩み、日本港湾の相対的地位は低下している。このような状況の中、スーパー中枢港湾の育成による主要港湾のハブ機能を回復させようという施策が進む一方で、地方港湾の整備が進んだことによるコンテナ取扱量の地方分散化も進んでおり、我が国の港湾整備のあり方が問題となっている。コンテナターミナルの整備には大規模な投資が必要である。このような投資を効率的なものとするためには、コンテナ貨物流動に関するより正確な予測が必要となる。

コンテナ貨物流動に関しては、すでにいくつかの研究が行われ、モデル化されている (たとえば、家田ら, 1998; 黒田ら, 2000; 樋口ら, 2001)。それらの研究においては、輸送賃金や船舶の混雑による遅れ、貨物船寄港頻度の変化による費用の変化など、考え得る様々な要因を組み込んだモデルが構築されている。さらに、モデルの対象地域についても、東アジア全域や北米欧州まで含めた広域的なものから局所的なものまで様々である。対象地域を広域的なものに設定してあるモデルは、日本国内から輸出する、あるいは国内に輸入する経由港湾として 4 大湾 (東京湾・伊勢湾・大阪湾・北部九州) に限定してあるものが多く、経由港湾に 4 大湾に加え地方港湾を設定しているものでも日本国内におけるコンテナ貨物流動を十分に議論している研究は見当たらない。またこれらの研究のほとんどが、船社にとっての最適な整備状況を明らかにしているものである。

著者ら (中西ら, 2002) も、輸出コンテナ貨物流動モデルを提案し、輸出荷主から見た港湾の最適整備の検討を行っている。本研究でも荷主 (輸出・輸入業者) の港湾選択行動に焦点を当て、1993 年及び 1998 年の輸出及び輸入を含めたコンテナ貨物の国内流動を再現しうるモデ

ルを構築し、そのモデルを用いて荷主にとって最も利便性が高い港湾整備に関して検討することが目的である。

2. コンテナ貨物流動モデルの構築

(1) モデル構築のための仮定

著者らは、先に輸出コンテナ貨物の国内における流動を説明するモデルとして、集計ロジットモデルを用いた。本研究においても、ロジットモデルを適用して輸出・輸入コンテナ貨物流動モデルを構築する。すなわち、輸出入貨物の荷主は、輸出入貨物の経由港として、荷主にとって効用が最大となる港湾を選択すると考える。このとき、ロジットモデルを適用するにあたり、輸出入貨物に対して以下のような仮定を設ける。

- ①荷主は、経由港湾の選択に距離と港湾の規模を評価して自らにとって最も効用の高い港湾を選択する。
- ②港湾まで (港湾から) の：貨物はすべて陸上輸送されるものとし、各港湾へ最寄りのインターチェンジから経由港湾まで (経由港湾から各都道府県に向かう際の最寄りのインターチェンジまで) を輸送されるものとする。
- ③荷主は輸出入相手国ごとに異なる判断基準を持つ。
- ④荷主は、各都道府県からの一定の距離範囲内に含まれる港湾から経由港湾を選択する。
- ⑤経由港湾の選択権は輸入者にある。

これらの仮定のうち、②以外は、先に輸出貨物流動モデルを構築する際に用いた仮定と同じである。先のモデルでは、輸出貨物は、都道府県所在地から発生するものとしたが、本研究では、輸送実態を考え、最寄のインターチェンジからとした。また、⑤については、輸入業者へのアンケート調査 ((財) 高知県政策総合研究所, 2003) から、わが国の輸入コンテナ貨物については表-1 に示

表-1 輸入業者の経由港湾選択割合

自社 (輸入者)	75.10%
日本の商社	8.30%
その他	16.60%

* 正会員 工博 大阪大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻
** 正会員 工修 日本総研
*** JR 四国

すように国内の輸入者が經由港湾を選択する割合が高いことより、このような仮定を設けた。

(2) 仕向国(地域)、仕出国(地域)及び經由港の設定

仮定③より、輸出貨物の仕向国(地域)及び輸入貨物の仕出国(地域)については、輸出入コンテナ貨物流動調査(運輸省港湾局, 1999)をもとに、各国・地域の取扱貨物量シェアが1%以上になる表-2に示す23の国・地域及び表-2に示す20の国・地域を設定した。

表-2 輸出貨物の仕向国(地域)

韓国	中国	台湾	タイ	シンガポール
マレーシア	フィリピン	インドネシア	インド	アラブ首長国連邦
その他アジア州	イギリス	オランダ	ドイツ	スペイン
イタリア	その他欧州	カナダ	アメリカ	その他北米州
南米州	アフリカ州	大洋州	—	—

表-3 輸入貨物の仕出国(地域)

韓国	中国	台湾	タイ	シンガポール
マレーシア	フィリピン	インドネシア	その他アジア	イギリス
フランス	ドイツ	その他欧州	カナダ	アメリカ
その他北米州	南米州	アフリカ州	オーストラリア	その他大洋州

仮定④、⑤は、荷主は經由港湾の選択肢を設け、その中から經由港湾を選択するだろうと考え設定したものである。經由港湾として1998年度輸出入コンテナ貨物流動調査報告書に掲載されている表-4に示す49港湾とし、經由港湾の選択肢の範囲距離は、同報告書より、各都道府県からある經由港湾まで輸送された貨物量のうち、その仕向国へ輸送された(あるいは仕出国から輸送された)貨物量の0.5%以上が運ばれている最長の距離をとり、その距離を半径とした一定の距離範囲内に含まれる荷主はその經由港湾を選択肢に含むことができるものと設定しており、貨物の仕向国(あるいは仕出国)ごとにその距離範囲は異なっている。

表-4 經由港湾

苫小牧	石狩湾新港	八戸	塩釜	秋田	酒田	小名浜
鹿島	日立	千葉	東京	横浜	川崎	新潟
直江津	伏木富山	金沢	敦賀	清水	名古屋	四日市
舞鶴	大阪	堺泉北	神戸	和歌山下津	境	水島
福山	広島	下関	徳山下松	三田尻中関	岩国	宇部
小松島	高松	松山	今治	三島川之江	高知	北九州
博多	伊万里	長崎	大分	細島	志布志	那覇

(3) コンテナ貨物流動モデル

以上の仮定のもとで、輸出コンテナ貨物及び輸入コンテナ貨物の荷主が經由港湾を選択する行動は、集計ロジットモデルを用いて次式のように定式化される。

$$P_{ink} = \frac{\exp(V_{ink})}{\sum_{j \in ink} \exp(V_{jnk})} \quad (1)$$

ここに、 P_{ink} : 都道府県 n の荷主が輸出相手国 k の貨物

を輸出する(あるいは輸入業者が輸入国 k の貨物を輸入する)際に經由港湾 i を選択する時の確率

V_{ink} : 都道府県 n の荷主が輸出相手国 k の貨物を輸出する(あるいは輸入業者が輸入国 k の貨物を輸入する)際に經由港湾 i を選択する時の効用

A_{nk} : 輸出相手国 k に輸出するとき(輸入先 k から輸入するとき)の都道府県 n の荷主が選択できる經由港湾の集合

V_{in} については「個人が選択肢を選択することによって確実に得られる効用」で、以下 V_{in} のことを効用関数と呼ぶ。効用関数を定式化する際には、個人 n の特性を示す指標と選択肢の特性を示す指標の2つが重要となり、それぞれ以下のように記号化する。

Z_{ink} : 個人 n の選択肢 i の k 番目の特性

β_k : k 番目のパラメータ

効用関数は、これらの記号を用いていくつかの形で定式化されるが、本研究では以下のような関数形状のものをを用いる。

$$V_{in} = \sum_k \beta_k \log_{10} Z_{ink} \quad (2)$$

本研究では、先に示した仮定等に基づき、以下に示す2ケースの効用関数を用いて検討を行う。

$$V_{in} = \beta_1 \log_{10} Z_{in1} + \beta_2 \log_{10} Z_{in2} \quad (3)$$

$$V_{in} = \beta_1 \log_{10} Z_{in1} + \beta_3 \log_{10} Z_{in3} \quad (4)$$

ここに、 V_{in} : 都道府県 n の荷主が經由港湾 i を選択するときの効用

Z_{in1} : 都道府県 n から港湾 i 間の距離(km)

Z_{in2} : 港湾 i が所有するクレーン数

Z_{in3} : 港湾 i の寄港船数(隻/年)

$\beta_1 \sim \beta_3$: パラメータ

すなわち、式(3)で表される港湾の規模をクレーン数で表すケース(case 1とする)及び式(4)のように港湾の規模を寄港船数で表すケース(case 2とする)である。

式(3)、(4)中のパラメータ $\beta_1 \sim \beta_3$ の決定には、輸出貨物の場合は各都道府県から港湾までの仕向国別の、輸入の場合は各港湾から都道府県までの仕出港別のODが必要となる。しかし、コンテナ貨物流動調査には、都道府県-港湾OD、都道府県-相手国OD、港湾-相手国ODの3種類のODが掲載されているが、仕向け国別あるいは仕出港別の貨物量ODは記載されていない。本研究では、輸出貨物についてはフレーター法を用いて仕向け国別の各都道府県からの発生貨物量を、港湾集中貨物量から仕向け国別貨物量ODを推定した。輸入貨物については、上記3種類のODをもとに国別都道府県-港湾ODを作成した。また、距離については、実際の道路を通過しての距離を調査し、クレーン数は「日本における

コンテナクレーン一覧表」(港湾荷役機械システム協会, 2003)に掲載されている数を, 寄港数に関しては「国際輸送ハンドブック」(Ocean Commers, 1994-2003)から集計した。

(4) パラメータの推定

パラメータ β_k の推定に当たっては, 同時確率 L^* を最大にするパラメータ β_k を推定する方法である最尤推定法を用いる。個人 n が選択肢 i を実際に選択した割合を δ_{in} とすると, 同時確率 L^* は, 以下ようになる。

$$L^* = \prod_{n=1}^N \prod_{i \in A_n} P_{in}^{\delta_{in}} \dots\dots\dots (5)$$

ここに, N : 個人数の合計

ここで, (5) 式の L^* をパラメータ β_k の関数と見なすと, L^* はパラメータ β_k に関する尤度関数となる。(5) 式の L^* を最大にするパラメータ β_k を推定するのであるが, 積のままでは計算上の不都合が生じやすいので, L^* の対数を取りこれを最大にするパラメータ β_k を推定する。すなわち,

$$L = \ln L^* = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in A_n} \delta_{in} \ln P_{in} \rightarrow \text{Max} \dots\dots\dots (6)$$

ここに, L^* : 対数尤度関数

(6) 式を満たすパラメータ β_k の算出方法には, 大きくわけてニュートン・ラフソン法を解くものと無制約最適化問題を解くものの2種類がある。本研究では無制約最適化問題を準ニュートン法で解く手法を選択する。

パラメータの有意性は t 検定を用い, モデル全体の有意性を見る指標に McFadden の決定係数 ρ^2 を用いる。

(5) 再現性について

仕向け国別(輸出の場合)及び仕出国別(輸入の場合)に推定された全てのパラメータは, Case-1, Case-2 とともに距離に関して負で港湾の規模に関しては正の値となり, t 値についても全て 1.96 以上の値が得られた。したがって, 全てのパラメータが有意であると結論できる。また, ρ^2 についても全て 0.2 以上でモデルの適合度も良好であると考えられる。

これらのパラメータを用いて計算される 1998 年度の各港湾の輸出コンテナ貨物取扱量と実績値の比較を行ったところ, Case-1 の場合は 0.983, Case-2 の場合も 0.975 と高い相関係数を示す良好な再現性が得られた。以下では, 若干再現性がより高いと考えられる Case-1 の結果についてのみ示す。

図-1 及び 2 に Case-1 の場合に再現された輸出及び輸入コンテナ貨物量の実績値と再現値の比較を示す。これらの図より, 輸出, 輸入貨物量とも相関係数 0.98 以上の良好な再現性が得られていることがわかる。

さらに, Case-1 のコンテナ貨物流動予測モデルに関して, 1998 年度のコンテナ貨物流動調査に基づいて推定さ

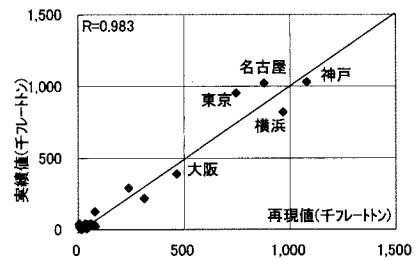


図-1 輸出コンテナ貨物量の再現性

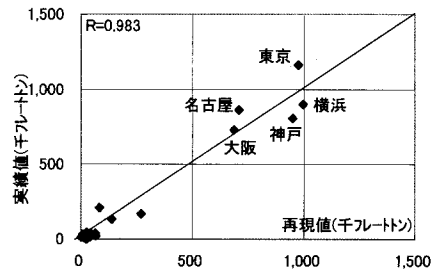


図-2 輸入コンテナ貨物量の再現性

れたパラメータを用いて, 1993 年度のコンテナ貨物流動調査(運輸省港湾局, 1994)でのコンテナ貨物流動を再現し, モデルの移転性を検討した。その結果, 輸入, 輸出いずれのコンテナ貨物流動も, 相関係数 0.98 以上で良好な再現性が得られた。この結果により, 構築されたモデルは他の年度のデータを用いて他の年度の再現を行ってもある程度の現状再現性を持つと判断し, 効用関数に関しても他の年度への移転性を持つと考え, 1998 年度データを用いて推定されたパラメータを用いて決定される効用関数を用いて, 次の章での分析を行うものとする。

3. 震災年度のコンテナ貨物流動の再現とその考察

1995 年の阪神淡路大震災の際に, 神戸港での輸出入コンテナ貨物量の減少が他のどの港湾に影響したのかを分析する。まず, 前節で構築したコンテナ貨物流動予測モデルを 1994 年度の年間貨物取扱量に適用し, その再現性を確認した上で, 1995 年度の神戸港被災に伴うクレーンの減少及びその復旧過程を考慮し, 1995 年度の年間取扱貨物量の再現を行い, 両者を比較することにより, 神戸港の機能低下の影響について考察する。

このとき 1994, 1995 年から 1998 年にかけてコンテナ貨物取扱港湾が増加していることから, 1994, 1995 年の設定港湾は表-5 に示す 24 港とする。また, 以下の仮定を設けた,

① 1994, 1995 年の総貨物発生・集中量は, 「日本の港湾 2001」(日本海事広報協会, 2001)記載の 24 港湾での輸

出入コンテナ貨物量の合計とする。

- ② 1994, 1995 年と 1998 年では、各都道府県別、仕向・仕出国別での発生・集中貨物量シェアは変化せず、各都道府県の荷主の性格も変化しない。
- ③ 貨物量の再現にあたって、パラメータの推定に用いた説明変数である、港湾からの距離および港湾のクレーン数以外の要因は考慮しない。
- ④ 1995 年の神戸港のクレーン数については、震災後の復旧によりクレーン数が大きく変化したため、「神戸港港湾施設復旧誌」(神戸市港湾局, 1998)より、使用可能なクレーン数の経月変化を考慮して月ごとの取扱貨物量の計算を行なう。

表-5 1993 年度対象港湾

苫小牧	八戸	日立	千葉	東京	横浜	新潟
伏木富山	金沢	清水	名古屋	四日市	大阪	神戸
広島	下関	徳山下松	岩国	松山	今治	北九州
博多	志布志	那覇	—	—	—	—

図-3 に輸出入合計貨物量の再現結果を示す。再現値と実績値の相関係数は 0.982 で、比較的良好な再現性が得られている。各港湾についてみると、東京・清水・大阪・広島・博多港などの再現値は実績値より過大であり、横浜・神戸・北九州港などは過小に再現されている。

神戸港の貨物量が過小評価された理由は、神戸港での貨物量の著しい減少を防ぐために 24 時間荷役のサービスや日曜荷役などの措置がとられたためと考えられる。

表-6 は、1994 年と 1995 年の各港における取扱貨物の比較を、全貨物量の 1 % 以上を扱う港湾について示したものである。

ただし、実績値及び再現値は、全貨物量に対する分担率で表している。表-6 より、実績では東京・横浜・名古屋・大阪・博多の各港湾で 1 % 以上のシェアの増加がみられ、再現結果でもこれらの港湾でのシェア増加が計算されているが、増加率は、実績よりは全般に小さい。この理由も、再現値は、各港湾のクレーン数と、港湾までの距離のみを用いて計算された結果であることによるものと考えられる。

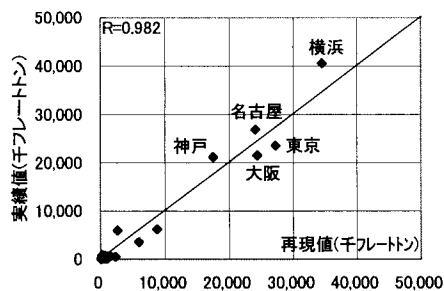


図-3 1995 年度取扱貨物量の再現性

表-6 震災前後の分担率の変化

港湾	再現値のシェアの変化(%)			実績値のシェアの変化(%)		
	1994 年	1995 年	増減	1994 年	1995 年	増減
東京	16.81	17.61	0.80	13.84	15.21	1.36
横浜	21.13	22.31	1.18	22.73	26.26	3.53
清水	3.74	3.86	0.12	2.17	2.29	0.12
名古屋	13.28	15.59	2.31	15.07	17.40	2.33
大阪	12.13	15.78	3.65	8.97	13.94	4.97
神戸	20.11	11.32	-8.79	28.68	13.67	-15.00
広島	1.44	1.50	0.06	0.22	0.34	0.12
北九州	1.57	1.72	0.14	2.97	3.87	0.91
博	5.48	5.69	0.12	2.81	4.01	1.20

4. 最適港湾整備に関する検討

2.で構築したモデルを用いて最適な港湾整備に関する分析を行う。具体的には 1998 年度以降に設置されたクレーンについて、荷主にとって最も効用の高いと考えられる港湾がどの港湾であったかを求める。

表-7 に、1998 年度の各港湾のクレーン数と、1999, 2000 年度に各港湾で増設されたクレーン数(港湾荷役機械システム協会, 2003)を示す。表-7 より、1999 年度及び 2000 年度にかけて、本研究での対象港湾に対して整備されたクレーン数はそれぞれ 6 基と 15 基であることが分かる。この整備実績に対して、荷主にとって最も利便性の高い港湾整備という観点から考えた場合のクレーン配置についての計算を行う。

計算を行うにあたり、以下のような仮定を設けた。

- ・ 1998 年から 2000 年にかけて、荷主の性格は不変である。
- ・ 荷主は、各都道府県ごとに、各仕向国もしくは各輸入相手国ごとに存在するものとする。
- ・ 整備するクレーンに関して、ある 1 つの港湾に対して重複して設置することもある。

これらの仮定の下で、1999 年及び 2000 年に整備された合計 21 基のクレーンの最適配置を計算するわけであるが、49 港湾に対して 21 基のクレーンを設置する全ての組み合わせに対して、荷主の効用を計算することは、不可能に近い。その回避方法として、いくつかの方法を検討したが、ここでは、以下の方法を用いることとした。すなわち、クレーンを 1 基ずつ増加させ、その効用の合計を大きい順に 10,000 まで残し、その 10,000 通りに対して再び 1 基のクレーンを増加させ、効用の合計の大きい順に 10,000 を残すことを、求めたいクレーン数まで繰り返す。

このとき、荷主の効用の最大値を示す式は以下である。

$$\sum_k \sum_n \sum_i \sum_m V_{inkm} = \text{Max} \dots\dots\dots (7)$$

ここに、添字の k は輸出入における国別を、 n は都道府県を、 i は港湾 i を、 m は輸出と輸入を表す。

表-7 に算出された結果のうち、紙面の関係上効用増

表-7 クレーンの整備実績と算出された最適配備

港湾	1998 基数	1999 基数	2000 基数	順位					港湾	1998 基数	1999 基数	2000 基数	順位				
				1	2	3	4	5					1	2	3	4	5
苫小牧	2	0	0						和歌山下津	1	0	1					
石狩湾新港	1	0	0						境	1	0	0	1	1	1	1	1
八戸	1	0	1						水島	1	0	0	1	1	1	1	1
塩釜	0	0	0						福山	1	0	0	1	1	1	1	1
秋田	1	1	0						広島	2	0	0					
酒田	1	0	1						下関	1	0	0					
小名浜	2	0	1						徳山下松	2	0	0	1	1	1	1	1
鹿島	0	0	0						三田尻中関	0	1	0	1	1	1	1	1
日立	1	0	0		1				岩国	0	1	0	1	1	1	1	1
千葉	2	0	0						宇部	0	0	0					
東京	25	0	0					1	小松島	1	0	0	1	1	1	1	1
横浜	37	0	0						高松	1	0	0	1	1	1	1	1
川崎	2	0	0						松山	0	0	1	1	1	1	1	1
新潟	3	0	0						今治	2	0	0					
直江津	0	1	0	1		1		1	三島川之江	0	0	0	1	1	1	1	1
伏木富山	3	1	0						高知	1	0	0					
金沢	1	0	0						北九州	10	0	0					
敦賀	2	0	0						博多	6	0	0	3	2	2	3	2
清水	6	0	0					1	伊万里	0	0	0	1	1	1	1	1
名古屋	22	0	2	3	4	4	2	3	長崎	1	0	0					
四日市	4	0	0						大分	2	0	0					
舞鶴	1	0	0	1	1	1	1	1	細島	1	1	0	1	1	1	1	1
大阪	22	0	0						志布志	1	0	0					
堺泉北	3	0	0						那覇	1	0	0	1	1	1	1	1
神戸	56	0	0						合計	234	6	15					21

加が大きい上位5ケースのクレーン配置の組み合わせを示してある。表-7より、1998年度から2000年度にかけての、整備実績としては、東北・関東地方に多く整備され、中部地方から西側ではあまり整備されていない。また、横浜港においては6基のクレーンが整備されており、東京港にも2基整備されていることから、21基のクレーンのうち、8基ものクレーンが東京湾に集中している。

一方、算出結果では直江津港・名古屋港・岩国港・三田尻中関港・松山港・細島港の6港湾が多くの場合で一致している。この結果は、上位10位までのクレーン配置でも、同様であった。また、東京港・和歌山下津港においても算出されている。しかし、八戸港・秋田港・酒田港・小名浜港・横浜港・伏木富山港については一致していない。さらに、実際には整備されていないが荷主にとっては整備すべきであったと算出されたのは、博多港、那覇港ほか本州西部地方と四国地方に主に集中する結果となり、荷主にとっては全国にくまなく整備することが望ましいという結果になった。

5. あとがき

集計ロジックモデルを用いて輸出・輸入コンテナ貨物の流動モデルを作成し、その再現性、移転性を確認した。このモデルを用い、1999年から2001年の2年間で整備されたクレーン21基(14港湾)について、荷主にとって利便性の高くなる整備方法を検討した結果、直江津、名古屋、岩国、三田尻中関、松山、細島の6港では実績と一

致した。整備されなかったが、荷主にとって効用の大きいと考えられるクレーン整備は、本州西部地方と四国地方の港湾に集中する結果となり、荷主にとっては全国にくまなく整備することが望ましいという結果になった。また、阪神淡路大震災後の全国の港湾におけるコンテナ貨物分担率についても妥当な再現性が得られた。

参 考 文 献

- 家田仁・内藤智樹・柴崎隆一(1998): 日本国内輸送も組込んだアジア圏国際コンテナ貨物流動モデル, 土木計画学研究・論文集, No. 21(2), pp. 717-720.
- 稲村 肇・中村匡宏・具 滋永(1997): 海上フィーダー輸送を考慮した外貨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. 113-140.
- 運輸省港湾局(1994, 1999): 輸出入コンテナ貨物流動調査報告書.
- 黒田勝彦・竹林幹雄・武藤雅浩・大久保岳史・辻 俊昭(2000): 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.
- 港湾荷役機械システム協会(2003): 日本におけるコンテナクレーン一覽表.
- (財)高知県政策総合研究所(2003): 高知県政策総合研究所HP; <http://www.kprc.org>
- 中西 豪・出口一郎・戸崎達朗(2002): 輸出コンテナ貨物流動に着目した最適港湾整備の冠する研究, 海工論文集, 第50巻, pp. 151-155.
- 樋口直人・渡部富博・森川雅行(2001): 国際海上コンテナ貨物の時間価値分布に関する研究; 港湾技研資料, No. 987.
- Ocean Commerce Ltd. (1994, 1996, 1999, 2000, 2001, 2003): 国際輸送ハンドブック.