

輸出コンテナ貨物流動に着目した最適港湾整備に関する研究

中 西 豪*・出口 一郎**・戸 崎 達 朗***

近年の財政事情の悪化と、少子高齢化社会を間近に控えた現在、国の財政に占める公共投資額の削減は避けられない状況である。そこで、効率的な社会資本整備を行うために、本研究では効率的な港湾整備計画を立てるのに資すると思われる一つの手法を提案する。ここでは、輸出コンテナ貨物の国内流動に着目し、集計ロジットモデルを用いてその流動特性を把握し、現状を適切に再現しうる数学的モデルを構築した。次いで、構築されたモデルを用いて輸出コンテナ貨物荷主が最も利便性を感じる港湾配備を算出し、考察した。

1. はじめに

1967年に日本でコンテナ貨物が神戸港摩耶埠頭で取り扱われて以来、コンテナによる海上輸送は次第に定着し、現在ではコンテナ化に向かない貨物を除く殆どがこれによって輸送されている。一方で1996年後半から始まった大手船会社の経営合理化を目的とする合併や買収の動きが活発化したのを受けて、船会社はコスト削減のための大型コンテナ貨物船建造に乗り出している。国際輸送ハンドブック(2001)によると、2003年までに着岸時の岸壁水深を16m必要とするSuper Over Panamax級のコンテナ貨物船が57隻投入される計画であり、これに対し日本は水深15mのコンテナターミナルを14バース所有しているに過ぎない。

このような背景に鑑み、国土交通省は第9次港湾整備七箇年計画において中枢国際港湾及び中核国際港湾に大規模コンテナターミナルの整備を進めているところである。しかし、近年の国家・地方財政の悪化及び少子高齢化社会の到来で社会保障費の国家財政に占める割合が増加することが不可避な状況の中で、今まで以上に効率的な公共事業整備が求められており、港湾整備もその例に漏れない。そのためには合理的・効率的な港湾整備が可能な計画を立てる必要がある。新たな港湾整備を行うにあたって配慮すべき事項を表-1に示す。

表-1 港湾整備のポイント

①	背後圏の都市計画との整合性
②	港湾の性格決定
③	波浪・海底地形などの自然発生
④	将来の来航船舶数・船型
⑤	将来の取扱貨物量

①と②に関しては行政レベルの問題であり、③に関しては力学的解析が可能な問題である。④、⑤は数理計画を用いた数学的な解析が可能であるにもかかわらず、そ

の研究成果は非常に限られているのが現状である。

家田ら(1998a, 1998b)は日本重要港を含む東アジア地域と欧州・豪州・北米港湾を対象に、国際輸送コンテナ輸送問題をネットワーク上で取り扱っており、総コストを最小にするパラメータを求めることによって、コンテナのトランシップ・港湾混雑効果・各種港湾のサービスレベル・船社間のグローバルアライアンスなどを取り込んだネットワークモデルを構築し、中核港湾への投資計画評価を行っている。黒田ら(1997, 2000, 2001)は、東アジア地域の重要港湾を対象にネットワークを設定し、荷主と船社の完全競争市場を仮定した上でシュタックベルグ均衡状態のモデルを構築し、貨物流動と配船数の予測を行い、そのモデルの適用例として、港湾整備・フィーダーサービス・大型貨物船の投入事例などを検討している。稲村ら(1997)は、内航船やトラックなどのフィーダー輸送手段を予測モデルに組み込み、東北地方を中心としたコンテナ貨物量予測モデルを作成している。また、樋口ら(2001)は現状のコンテナ貨物流動形態を詳細に分析した上で、日本重要港湾と東アジア地域を対象に、犠牲量モデルの概念及び対数正規分布型の時間価値分布を用いることで、輸出入別のコンテナ輸送にかかる時間価値を計算している。

これらのモデルは海上輸送と国内流動をリンクさせてネットワークを構築しているものが多いが、国内から発生する貨物量を与件とされており、それについて十分な議論を重ねているものが見受けられない。そこで本研究では輸出コンテナ貨物に焦点を絞り、その国内流動を集計ロジットモデルで説明することを試みる。ついで構築されたモデルの現状再現性を確認し、日本国内における輸出コンテナ貨物荷主の効用を最大にする港湾施設配備を算出し、その結果に基づいて港湾整備計画を検討することとする。

2. 輸出コンテナ貨物流動モデルの構築

2.1 仮 定

本研究では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に集計ロジットモデルを用いた。そのモデ

* 正 会 員 工 修 水産庁漁港漁場整備部計画課
** 正 会 員 工 博 大阪大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻
*** 学生会員 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻

ルを用いるために、以下に挙げる仮定を設ける。

- ① 輸出コンテナ貨物の荷主は經由港湾の選択に、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 輸出コンテナ貨物は都道府県の県庁所在地から発生するものとする。
- ③ 輸出コンテナ貨物の荷主は実際に経由したことのある港湾から、經由港湾を選択する。
- ④ 貨物仕出し地から經由港湾までは陸上輸送されるものとする。
- ⑤ 輸出コンテナ貨物の荷主は輸出相手国ごとに異なる判断基準を有するものとする。

①に関しては関西交通経済研究センター（1997）によるアンケート結果を参照したもので、荷主が經由港湾を選択する基準として表-2に示す要件を掲げており、費用に関するものを「距離」、表-2内の2と3に関しては当該港湾の所有する規模によるもの大きいと考え、このように設定した。

表-2 利用港湾を選ぶポイント

1	物流コストが低く抑えられること	51.50%
2	貨物船寄港隻数が多いこと	24.50%
3	港湾荷役が迅速であること	11.00%

③は集計ロジットモデルが有するIIA特性を回避するために設けた仮定である。IIA特性とは本モデルの場合、例えば東北地方の荷主が四国地方の港湾をみたときに十分に距離が長く、港湾の規模も同程度だと見なせるため、これらの港湾を過大評価してしまい、モデル全体に悪影響を及ぼすもので、これを回避するためにこのような仮定を設ける。また、全国の荷主が選択できる經由港湾として表-3に示す48港湾とする。

表-3 設定經由港湾

苫小牧	石狩湾新	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
伏木富士	金沢	敦賀	沼水	名古屋
四日市	舞鶴	大阪	堺泉北	神戸
和歌山下車	境	水島	福山	広島
三田尻中関	徳山下松	下関	岩国	宇部
三島川之江	高松	松山	今治	小松島
高知	北九州	博多	伊万里	大分
細島	志布志	那覇	—	—

④の仮定を説明するために、輸出コンテナ貨物の流動調査結果（運輸省港湾局，1999）を輸送距離別に集計し、自動車分担率（日本物流団体連合会，2001）を乗じて著者らが集計したものを表-4に示す。これより、全体の輸

出コンテナ貨物の約84.1%が自動車によって輸送されると推定されることから、簡単のため、100%自動車によって輸送されるものとした。また、⑤に関する仕向け国は、アジア圏が日本の貿易動向に及ぼす影響が強いことから表-5に示す17の国と地域を設定した。

表-4 輸出コンテナ貨物の自動車分担率

輸送距離	貨物量 (フレートトン)	自動車 分担率	自動車輸送量 (フレートトン)
100 km 未満	2,850,757	97.30%	2,773,787
100-300 km	1,512,301	76.80%	1,161,447
300-500 km	624,024	55.50%	346,333
500-750 km	175,639	52.10%	91,508
750-	30,411	31.90%	9,701
1,000 km 以上	20,538	21.40%	4,395
合計	5,213,671	—	4,387,172

表-5 設定仕向け国

韓国	フィリピン	欧州
中国	シンガポール	北米州
台湾	インドネシア	南米州
香港	マレーシア	アフリカ州
ベトナム	インド	南米州
タイ	その他アジア	—

以上の仮定を設けることにより、輸出コンテナ貨物の発生地より經由港湾を選択する行動を集計ロジットモデルを用いて、次のように表現する事ができる。

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

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 に輸出するときの都道府県 n の荷主が選択できる經由港湾の集合

(1) 式内の効用関数は仮定①より、(2)～(4)式のように設定した。港湾規模は当該港湾の所有するコンテナバース数またはクレーン数とし、線形型と対数線形型を用いてパラメータの算出を行うものとする。また、表現の簡略化のため、Case 1～4と呼ぶこととする。

$$\text{Case 1. } V_{ink1} = \beta_{11k} Z_{1in} + \beta_{21k} Z_{2i} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Case 2. } V_{ink2} = \beta_{12k} Z_{1in} + \beta_{22k} Z_{3i} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Case 3. } V_{ink3} = \beta_{13k} \log_{10} Z_{1in} + \beta_{23k} \log_{10} Z_{2i} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Case 4. } V_{ink4} = \beta_{14k} \log_{10} Z_{1in} + \beta_{24k} \log_{10} Z_{3i} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 Z_{1in} ：都道府県 n から港湾 i までの距離 (km)

輸送実績

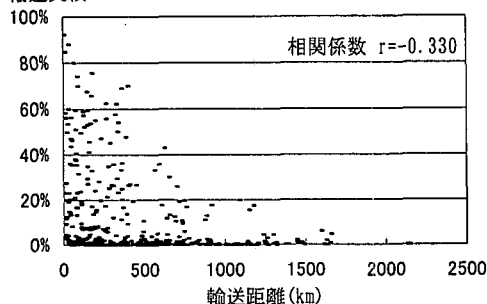


図-1 輸送実績割合と距離の関係

輸送実績

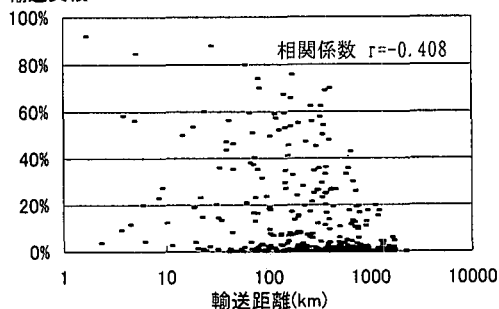


図-2 輸送実績割合と距離(常用対数)の関係

Z_{2i} : 港湾 i の所有するコンテナバース数

Z_{3i} : 港湾 i の所有するコンテナクレーン数

(2)～(5) 式のように線形型・対数線形型の両方を試みる理由は、都道府県 n から港湾 i までの経路を選択した割合とその輸送距離の関係から判断した。図-1, 2 はそれらを示したものであり、図-2 に示すように距離の常用対数をとる方が、若干高い相関係数を示すが、決定的な差がないため、両方の効用関数形状を採用し、その算出結果を比較するものとした。

2.2 パラメータ算出方法

(2)～(5) 式中のパラメータ $\beta_{11k} \sim \beta_{24k}$ の算出には各都道府県から港湾までの仕向け国別貨物量 OD が必要である。コンテナ貨物流動調査には仕向け国別貨物量 OD が記載されていない。本研究ではフレータ法を用いて仕向け国別の都道府県からの発生貨物量、及び港湾集中貨物量から仕向け国別貨物量 OD を推定した。仕向け国 k の貨物を都道府県 n の荷主が港湾 i を選択した実績を δ_{ink} とすると、パラメータは(6)式に示す対数尤度関数 L を最大にする極値点として求めることができる。

$$L = \ln L^* = \sum_{n=1}^N \sum_{j \in A_{nk}} \delta_{ink} \ln P_{ink} \rightarrow \text{Max} \dots \dots (6)$$

(6) 式は β に関する無制約最大化問題と見なすこと

ができ、準ニュートン法(矢部・八巻, 2001)を用いて、パラメータを算出した。

2.3 パラメータ算出結果と現状再現性

2.2 に示した方法により仕向け国別に算出したパラメータを用いて現状を再現した結果を図-3～6 に示す。

図-3～6 はいずれも港湾への集中貨物量を示しており、縦軸に実際に取り扱った貨物量を、横軸に構築され

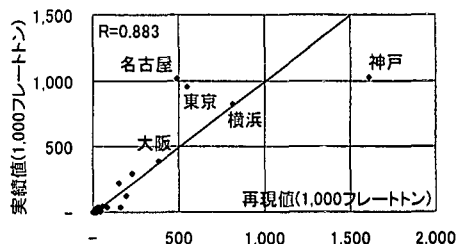


図-3 Case 1 の現状再現性

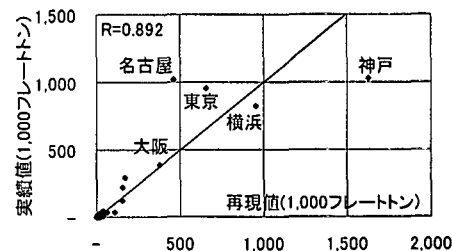


図-4 Case 2 の現状再現性

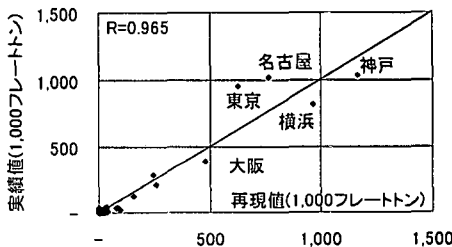


図-5 Case 3 の現状再現性

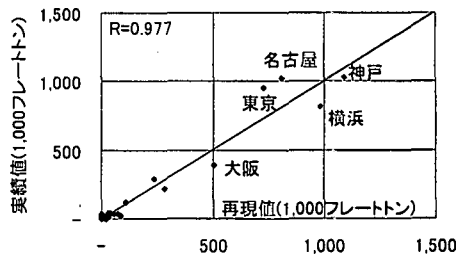


図-6 Case 4 の現状再現性

たモデルにより再現された貨物量を示している。また、 R は実績値と再現値との相関係数を示している。これらの図を比較すると、Case 1, 2の線形型効用関数では名古屋港で過小に、神戸港で過大に再現されているが、Case 3, 4の対数線形型効用関数ではこれらの誤差が大きく改善されていることがわかる。また、Case 1, 3の効用関数に距離とパース数を用いたものより、Case 2, 4の距離とクレーン数を用いた効用関数によるモデルの方が若干ではあるが、現状再現性が良好であることがわかる。

3. 最適な港湾配備の算出

3.1 算出の考え方

前章までで、輸出コンテナ貨物荷主の経由港湾選択行動を説明しうるモデルを構築し、対数線形型のモデルが現状をよりよく再現していることが確認された。ここでは集計ロジットモデルに内包されている効用関数に着目し、これを最大にする港湾配備を算出する。集計ロジットモデルにおける効用関数とは、多肢選択問題の場合、選択主体である者が、全ての選択肢を定量的に検討するための基準である。したがって、日本国内全ての荷主の効用を最大にする港湾配備を求めることを考える。

現状再現性の良好であった対数線形型効用関数を用いたCase 3, 4のモデルを、最適な港湾配備算出に用いる。Case 3よりCase 4の方が良好な再現性を示しているが、その差は微小であることから、今回は両方のモデルを独立に用いて比較することとした。また、効用関数を直接足し合わせると、実際には運ばれた実績があるものの、その割合が極めて低い経路も同じ次元を有するものとして足し合わせることとなる。本研究では、実際に運ばれた平成10年の実績を効用関数に乗じたものを足し合わせ、それを最大化することもそれぞれのケースにおいて試みることにする。

どこの港湾にどの程度の規模を配備するのが、輸出コンテナ貨物の荷主にとって効用が高いかを明確に算出するためには、ある程度の整備量を決めた上で求める必要がある。なぜなら、港湾整備をするに従い、荷主の効用が上昇するのは自明であり、構築されたモデルもそのような特質を示す。本研究では輸出入コンテナ貨物流動調査が行われた平成10年から平成13年までに新規に増設されたコンテナクレーン数・コンテナパース数を制約条件とし、また表-3に示す港湾を対象として、輸出コンテナ貨物の荷主にとって最適な港湾配備はどのようなものだったかを、実際に整備された港湾と比較を行う。

3.2 目的関数と制約条件

以上より、解くべき問題は効用関数の制約付き最大化問題に帰着することができ、次のように目的関数をあらわすことができる。

$$\sum_k \sum_n \sum_l V_{ink3} \rightarrow \text{Max} \quad \cdots \cdots \cdots (7)$$

$$\sum_k \sum_n \sum_l V_{ink3} \delta_{ink} \rightarrow \text{Max} \quad \cdots \cdots \cdots (8)$$

$$\sum_k \sum_n \sum_l V_{ink4} \rightarrow \text{Max} \quad \cdots \cdots \cdots (9)$$

$$\sum_k \sum_n \sum_l V_{ink4} \delta_{ink} \rightarrow \text{Max} \quad \cdots \cdots \cdots (10)$$

制約条件は平成10年から13年までに整備・増設された13パース、クレーン15基とする（港湾荷役機械化協会、2000）。

3.3 算出方法

制約付き最大化問題を解く手法として、逐次2次計画法が用いられるのが一般的であるが、算出される解が実数で算出されるため、パース数・クレーン数という整数値を取り扱う本問題にはこの手法は適当ではない。

そのため、48港湾に13パース・クレーン15基を整備する全ての組み合わせを考え、その中で荷主の効用を最大にする港湾配備を我々が求める答えとする。しかし、全ての組み合わせ数がそれぞれ約5兆、93兆となるため、これを全て計算して最大値を求めるのは事実上不可能である。したがって本研究では、全ての組み合わせを計算する手法を若干緩和し、以下のように算出した。

- ① 増設されたパースを4つとし、そのときの全ての組み合わせに対して荷主の効用を算出する。その中から効用の上位10,000に相当する組み合わせを残す。
- ② ①からパースを1つ増やし、48万の組み合わせに対して効用を算出し、同様に上位10,000に相当する組み合わせを残す。
- ③ ②を繰り返し、増えたパースが13になるまで繰り返す。クレーンに関しても同様である。

3.4 算出結果

表-6に輸出コンテナ貨物の荷主にとっての最適な港湾配備を算出した結果と、実際の整備実績と比較したものを示す。算出結果は使用した目的関数別に示している。

また、用いる目的関数によって得られる結果に差異があるものの、どの目的関数が理論的に正しいということを一概に決定づけることができず、得られた結果に対して場所的に、また整備数に関して論じることが困難であるので、ここでは4ケース中3ケース以上一致しているものに関して考察を加えるものとする。

まず、中枢国際港湾に着眼点においてこの結果を整理してみると、博多港に整備することが、輸出コンテナ貨物荷主の効用の上昇に寄与することがわかる一方、他の中枢国際港湾への整備は、荷主にとってあまり魅力の感じられるものでないことがわかる。

表-6 港湾最適配備算出結果

	整備実績		算出結果					整備実績		算出結果			
	バース	クレーン	(7)式	(8)式	(9)式	(10)式		バース	クレーン	(7)式	(8)式	(9)式	(10)式
秋田	1	1	1	1	1	1	水島	1	1	1	1	1	1
酒田	2	1	1	1	1	1	福山	—	—	1	—	2	—
東京	1	3	—	1	—	—	下関	—	—	—	—	1	—
横浜	—	1	—	1	—	—	岩国	—	—	1	1	1	1
川崎	—	—	—	—	1	—	高松	—	—	1	—	1	—
直江津	1	1	1	1	1	1	松山	1	1	1	—	1	1
金沢	—	—	1	—	1	1	博多	—	—	2	4	1	5
神戸	—	—	—	—	—	1	那覇	1	1	1	1	1	1
堺	—	—	1	1	1	1	合計			13	13	15	15
備考	上記以外の整備実績として、鹿島：2バース・クレーン2基、四日市：クレーン1基、三田尻中関：1バース・クレーン1基、細島：2バース・クレーン1基												



図-7 整備実績と算出結果の地理的比較

他の重要港湾との関係を見るために、整備実績と算出結果を地図上にプロットしたものを図-7に示す。

これより、荷主の効用上昇を期待しうる港湾は主に日本海側港湾、瀬戸内地方、九州北部並びに沖縄に分布している結果となった。これは表-2に示したように、荷主はトータルコストが最も抑えられることを重要視することを考えると、輸送コストのかかりにくい貨物の発生地に近い港湾を選択することは荷主にとって望ましいことであるので、このように日本全体にくまなく整備することをよしとする結果になったものと考えられる。

4. 結 論

本稿では、将来の港湾整備を輸出コンテナ貨物荷主の立場に立て、彼らが望む整備について論じた。日本を広域的に見渡して輸出コンテナ貨物の行動特性を把握し、それを数学的に大雑把ではあるが表現することができたので、巨視的な視点に立った港湾配備を算出することができた。

しかし、著者らが構築したモデルは非常に単純化されたものであり、算出された結果がより説得力を帯びるた

めには、他の物流に関する数々の要因を数学的にモデルに組み込まなくてはならないと考えている。また、輸出貨物の動向だけでなく、輸入貨物、コンテナ貨物船などのコンテナ物流市場を構成する要因について、また東南アジア、東アジア地域など、さらに広域的な物流動向について、整理・分析を進め、それらを適切に表現しうるモデルを構築する必要がある。

参 考 文 献

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. 113-140.

家田 仁・柴崎隆一・内藤智樹・三島大輔 (1998a): アジア圏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.

家田 仁・内藤智樹・柴崎隆一 (1998b): 日本国内輸送も組み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・講演集, No. 21 (2), pp. 717-720.

運輸省港湾局 (1999): 平成 10 年度輸出入コンテナ貨物流動調査報告書.

関西交通経済研究センター (1997): 神戸港のハブ機能強化に関する調査研究報告書, 日本財団事業成果ライブラリー.

黒田勝彦・楊 賢・竹林幹雄 (1997): フィーダーサービスによるコンテナ貨物流動分析, 土木計画学研究・論文集, No. 14, pp. 551-558.

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.

黒田勝彦・竹林幹雄・武藤雅浩・大久保岳史 (2001): ポストパナマックス級コンテナ船導入が外航コンテナ貨物輸送市場に与える影響分析, 土木学会論文集, No. 667, IV-50, pp. 123-136.

土木学会土木計画学研究委員会編 (1995): 非集計行動モデルの理論と実際, 丸啓.

日本物流団体連合会 (2001): 数字でみる物流 2001.

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, 港研資料, No. 987.

矢部 博・八巻直一 (2001): 非線形計画法, 朝倉書店, pp. 20-56.