

# 国際フェリー・RORO船輸送に 関わる動向分析と犠牲量モデル構築

渡部 富博<sup>1</sup>・佐々木 友子<sup>2</sup>・井山 繁<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 京都大学経営管理大学院港湾物流高度化講座特定教授（前国土技術政策総合研究所港湾研究部長）

（〒606-8501 京都市左京区吉田本町）

E-mail: watanabe.tomihiro.2x@kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 主任研究官

（〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1）

E-mail: sasaki-t92y2@mlit.go.jp

<sup>3</sup>正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 室長

（〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1）

E-mail: iyama-s2pu@mlit.go.jp.

アジア経済の発展や産業構造の変化などにより、コンテナ船輸送よりも速く航空機輸送よりも安く運べる国際フェリー・RORO船輸送へのニーズが高まっているが、我が国の国際フェリー・RORO船航路は、新規航路が開設はされているものの、休止や寄港地変更なども多くなされてきており、状況を呈しているという迄には未だ至っていない。

このような状況を踏まえ、本稿は、国際フェリー・RORO船の航路などの最近の動向分析を行うほか、費用と時間で経路選択を説明する犠牲量モデルを用いて、我が国と中国中部エリアとのコンテナ貨物輸送についてコンテナ船、国際フェリー、国際RORO船の船種区分を考慮して経路選択モデルを構築し、今後の国際フェリー・RORO船輸送のあり方を考える際の基礎ツールとするものである。

**Key Words :** *International Ferry, International RORO Ship, Sacrifice Model, Container Cargo Flow*

## 1. はじめに

産業構造の水平分業化などを背景に、近隣の中国や韓国などとの国際物流において、コンテナ船よりも速く、港湾での積替えを自走（RORO方式）で行える国際フェリー・RORO船輸送へのニーズが大きくなっている。

これまで筆者らは、国際フェリー・RORO船に関する輸送サービスの状況や輸送される貨物の特性などの分析<sup>1)</sup>、ロジットモデルを用いた国際フェリー・RORO船輸送の貨物流動の推計モデル構築<sup>2)</sup>などを実施してきたが、その後、九州・沖縄と台湾とを結ぶ新規のRORO船航路の開設や、既存の国際RORO船航路の寄港地追加などが続いたほか、逆に平成27年秋～冬には稚内港、博多港、下関港で相次いで国際フェリーや国際RORO船航路が休止となるなど、航路ネットワークが大きく変化してきている。

このように一進一退を続けている国際フェリー・RORO船輸送の活性化方策を検討するための資料とするため、本稿では、既報<sup>1)</sup>以降の最近の国際フェリー・

RORO船航路などの動向分析を行うほか、近隣諸国との国際コンテナ貨物の輸送において国際フェリー・RORO船・コンテナ船のどの船種のどの港湾からの輸送を選択するかを説明できる経路選択モデルを犠牲量モデルを用いて構築し、構築モデルを用いて航路休止の影響分析などを行い、国際フェリー・RORO船輸送の施策評価の精度向上に向けた検討を行うものである。

なお、筆者らは国際フェリー・RORO船輸送に関わる経路選択モデルを、積み替えの有無をはじめとした種々の要因を説明変数として取り入れることが可能なロジットモデルで構築<sup>2)</sup>している。しかしながら、ロジットモデルでは、生産・消費地別に候補経路の想定が必要などモデルの操作が煩雑であること、また今後の国際フェリー・RORO船輸送の拡大において、海上コンテナ輸送からの転換の検討も必要であり、費用や輸送時間が主たる選択要因と思料されることから、本稿では、貨物の時間価値分布、輸送経路の費用と輸送時間のみで各経路の選択確率を推計する犠牲量モデルを構築することとした。

## 2. 国際フェリー・RORO船輸送の動向

### (1) 国際フェリー・RORO船航路の最近の動向

平成25年3月時点における我が国の国際定期フェリー・RORO船航路の開設状況は、既報<sup>1)</sup>において図-1のとおり整理されている。

しかしながら、国際フェリー航路や国際RORO船航路を取り巻く環境は大きく変化しており、航路の改編や、新設、休止などもその後相次いだことから、平成25年3月以降の国際フェリー・RORO船航路の変化などを関連資料などをもとに整理したものが表-1である。また、表-1をもとに平成29年7月現在の我が国の国際フェリー・RORO船航路図を図-2に示す。

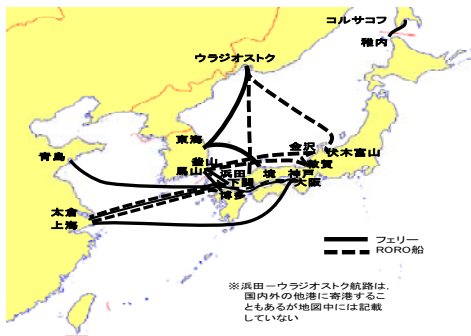


図-1 国際定期フェリー・RORO船航路 (H25.3現在) 1)

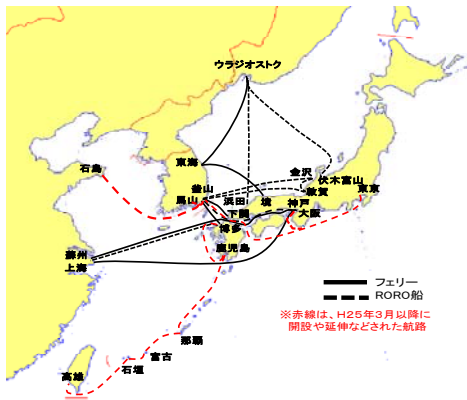


図-2 国際定期フェリー・RORO船航路 (H29.7現在)

国際フェリー航路については、平成27年秋～冬に稚内港と下関港で相次いで航路の休止があったほかは大きな変化はない。国際RORO船航路については、平成26年6月に九州・沖縄地区と台湾との間に開設、韓国との間のRORO船航路の日本での寄港地の変更や中国の石島港までの延伸など航路が拡充される一方で、平成27年冬に博多港のRORO船航路が休止されるなど大きく航路がこの4年間で変化している。

### (2) 国際フェリー・RORO船による貨物の荷姿の動向

国際フェリーや国際RORO船では、コンテナのほか、活魚車、精密機械を運ぶエアサス付きトレーラーや荷物室の側部が広く開閉するウィングトレーラー、長尺の貨物など種々の荷姿の貨物が輸送されている(写真-1参照)。また、コンテナが国際フェリーやRORO船で輸送される場合にも、船内でもシャーシに載せられるケースと、船の船倉に直接コンテナが置かれる(直置き)の2通りの輸送方法がある。

本稿の3章で構築する国際フェリー・RORO船輸送に関わるモデルは、コンテナの荷姿である貨物のみが対象となる調査データを用いるため、ここでは、活魚車やトレーラーなどの非コンテナ貨物が、国際フェリーやRORO船輸送においてどの程度のシェアを占めているかを分析することとした。

分析は、国土交通省港湾局が実施したユニットロード貨物流動調査のデータ<sup>4)</sup>を用いることとした。この調査は、調査対象が平成24年11月の1か月の就航航路のうちの任意の4航海について回答をしてもらう調査であるため、国際フェリー航路7航路、国際RORO船航路5航路の集計結果となるが、その分析結果は図-3のとおりとなる。国際フェリーでは非コンテナ貨物の比率は輸出で約1/4、輸入約1割であるほか、国際RORO船の非コンテナ貨物の比率は、輸出約1/3、輸入はほとんど無しという状況であった。

表-1 国際定期フェリー・RORO船航路の最近の状況

航路	船種	H25年 3月 航路概要	H29年 7月 航路概要	備考 ( )はH29.7の就航船舶
日本～ロシア	フェリー	コルサコフー 稚内ーコルサコフ	—	休止 [H27年9月]
	RORO船	ウラジオストクー伏木富山ーウラジオストク	ウラジオストクー伏木富山ーウラジオストク	(ELGA, INDIGIRKA)
日本～中国	RORO船	ウラジオストクー浜田ーウラジオストク	ウラジオストクー浜田ーウラジオストク	(RORO OCEAN QUEEN)
	フェリー	上海ー大阪ー神戸ー上海	上海ー大阪ー神戸ー上海	(新鑑真)
	フェリー	上海ー大阪ー上海	上海ー大阪ー上海	(蘇州号)
	フェリー	青島ー下関ー青島	—	休止 [H27年12月]
	RORO船	上海ー博多ー上海	—	休止 [H27年12月]
日本～韓国	RORO船	太倉ー下関ー太倉	太倉ー下関ー太倉	
	RORO船	—	高雄ー那覇ー鹿児島ー博多ー鹿児島ー那覇ー先島諸島(宮古・石垣)ー高雄	新規 [H26年6月] (みやらびII)
	フェリー	釜山ー大阪ー釜山	釜山ー大阪ー釜山	(ハンスタードリーム)
	フェリー	釜山ー下関ー釜山	釜山ー下関ー釜山	(はまゆう、星希)
	フェリー	釜山ー博多ー釜山	釜山ー博多ー博多	(ニューカメリア)
日本～韓国	RORO船	釜山ー大阪ー釜山ー大阪ー釜山ー金沢ー敦賀ー馬山ー釜山	釜山ー東京ー大阪ー釜山ー石島ー釜山 釜山ー大阪ー東京ー馬山ー釜山ー大阪ー馬山ー釜山	石島港(中国)、東京港の追加など寄港地変更 (サンスタードリーム) (スターリンクホープ <sup>5)</sup> )
	RORO船	釜山ー金沢ー敦賀ー釜山	釜山ー敦賀ー金沢ー馬山ー釜山	寄港順序変更 (スターリンクワン)
日本～韓国	フェリー	ウラジオストクー東海ー境ー東海ーウラジオストク	ウラジオストクー東海ー境ー舞鶴ー境ー東海ーウラジオストク	舞鶴港の追加 (イースタードリーム)

資料:参考文獻1)ならびに、船社や各港湾のHP、海上定期便ガイド等を基に作成



写真-1 国際フェリー・RORO船の非コンテナ貨物例

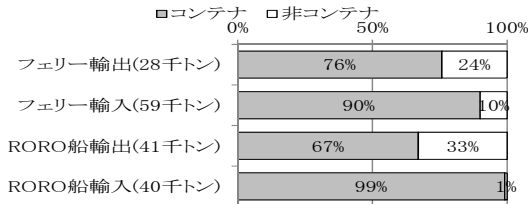


図-3 国際フェリー・RORO船輸送の貨物の荷姿比率

### 3. 国際フェリー・RORO船貨物流動モデル構築

我が国の国際フェリーや RORO 船航路を利用するコンテナ貨物について、コンテナ船輸送との分担がどのようになっているかを検討するために、国内の生産・消費地別の輸送経路を把握できる国土交通省が5年に1度実施している全国輸出入コンテナ貨物流動調査<sup>5)</sup>を用いてモデル構築を行うこととした。

#### (1)モデル構築に用いた貨物流動データと地域区分など

全国輸出入コンテナ貨物流動調査の調査項目は、コンテナ貨物の流動状況、利用港湾やルートなどが把握できるように、生産地・消費地の市町村、コンテナ詰め場所・取出場所、船積港・船卸港、仕向港・仕出港、仕向国・仕出(原産)国などが設定されているほか、輸送した貨物の貨物量(フレートトン)、品目、申告価格(円)、国内での輸送手段などの項目が設定されている。

したがって、国際フェリー・RORO船輸送される貨物のうち、荷姿がコンテナのものであれば、例えば輸出であれば下記のように経路が追えることとなる。

- ・国内生産地→コンテナ詰め場所→(輸送機関)→国内船積港→海外仕向港→最終船卸港→仕向国

平成20年度の全国輸出入コンテナ貨物流動調査データを用いて、我が国の国際フェリー・RORO船航路の状況も踏まえて、表-2に示すように中国を北部エリア・中部エリアに区分して、輸出入別に韓国・中国北部・中国中部との貨物量を船種(コンテナ船・フェリー・RORO船)別に整理した結果を表-3に示す。

船種別の取扱量は、各船種とも輸出に比べて輸入の方が貨物量が多く、韓国とのフェリー輸送は全体の約1割のシェア、中国との国際フェリー・RORO船による輸送のシェアは、コンテナ船による輸送貨物量が多いことも

あり、1~2%程度にとどまっている。

このような状況も踏まえつつ、本稿では、韓国・中国北部・中国中部のうち、日本との輸出入貨物量が最も多く、国際フェリーとRORO船の双方が就航していた中国中部エリアを対象に、輸出入別にモデル構築を行うこととした。

なお、平成20年時点では、現在はRORO船が就航している下関-太倉航路が旅客も乗船可能なフェリーであり、北部九州地域から国際フェリーと国際RORO船の双方が中国の中部エリアに就航していたことを踏まえ、コンテナ船航路も加えると3つの船種が北部九州から就航していたことから、モデル構築にあたり平成20年度の全国輸出入コンテナ貨物流動調査のデータを用いることとした。

また、日本国内の生産・消費地の区分については、既報<sup>7)</sup>で設定している全国を207区分とする生活圏区分を用いて分析を行うこととした。

表-2 分析候補の地域区分

国名	地域の内訳	
中国	北部エリア	遼寧・吉林・黒竜江・北京・天津・河北・山東・内モンゴル
	中部エリア	上海・江蘇・浙江・山西・安徽・江西・河南・湖北・湖南
韓国	—	—

表-3 各国・地域との船種別貨物量(※20.11月)

(輸出)		(ト/月)						
		コンテナ船	フェリー	RORO船	合計			
韓国		201,461	90.3%	21,684	9.7%	0	0.0%	223,145
中国	北部エリア	259,062	98.7%	3,395	1.3%	0	0.0%	262,457
	中部エリア	479,399	98.5%	4,658	1.0%	2,433	0.5%	486,490

(輸入)		(ト/月)						
		コンテナ船	フェリー	RORO船	合計			
韓国		326,101	91.0%	32,271	9.0%	0	0.0%	358,372
中国	北部エリア	1,036,980	97.7%	24,882	2.3%	0	0.0%	1,061,862
	中部エリア	1,711,209	97.7%	29,824	1.7%	10,571	0.6%	1,751,604

#### (2)構築モデルについて

##### 1)構築モデル構造について

多くの説明変数を導入可能なロジットモデルでの国際フェリーに関する貨物流動モデルは、筆者ら<sup>23)</sup>により既に構築している。ただし、ロジットモデルでは、航路の新設などでは、生産・消費地別に候補経路の想定が必要などモデルの操作が煩雑であるなどの課題もある。また、海上コンテナ輸送されている貨物の経路の主たる選択要因は、所要時間と費用であると思われることから、コンテナ船による輸送よりも割高と言われている国際フェリー・RORO船輸送にどのような輸送サービス条件となればシフトされる可能性があるかを検討するモデルとしては時間と費用の二つの説明変数であれば十分と考え、貨物の時間価値分布をもとに輸送経路の費用と輸送時間のみで各輸送経路の選択確率を説明する犠牲量モデルで貨物流動モデルを構築することとした。

2) 犠牲量モデル概要<sup>6)</sup>

犠牲量モデルは、輸送ルート選択にあたり、時間と費用から構成されるルート毎の総犠牲量が最も小さいルートが選択されると考えるモデルである。輸送ルート毎の総犠牲量は式(1)で表現され、ルート r の総犠牲量 S<sub>r</sub> は時間 T<sub>r</sub> と時間価値 α の積にルート毎に要する費用 C<sub>r</sub> を足したものとなる。

$$S_r = C_r + T_r \cdot \alpha \quad (1)$$

S<sub>r</sub> : 総犠牲量, C<sub>r</sub> : 費用, α : 時間価値, T<sub>r</sub> : 時間

犠牲量を用いたルート選択の考え方を図-4 に示す。図の縦軸は総犠牲量、横軸は時間価値であり、3本の直線は仮に選択肢となるルートが3つあった場合の各ルートの総犠牲量 S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub> を表している。図中の C<sub>i</sub>, T<sub>i</sub> は、それぞれルート i (i = 1 ~ 3) を選択した際の輸送費用と輸送時間である。図の犠牲量を用いた経路選択では、貨物の時間価値によって総犠牲量が最小になるルートが異なることとなり、ルート 1 とルート 2 の時間価値の交点を α<sub>12</sub>, ルート 2 とルート 3 の交点を α<sub>23</sub> とすると、時間価値 0 から α<sub>12</sub> まではルート 1, 時間価値 α<sub>12</sub> から α<sub>23</sub> まではルート 2, α<sub>23</sub> より時間価値の大きいところではルート 3 の経路の総犠牲量が最も小さいルートなので、選択されるということとなる。

各ルートの選択確率は図-4 の P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> で表わされ、国内の生産・消費地別に選択した経路の貨物量比率の実績値があれば、各ルートの総犠牲量から求められた境界時間価値 α と貨物量の比から算出されたルート毎の選択確率を比較し、実際の貨物比率をよりよく再現できる時間価値の分布を推計することとなる。

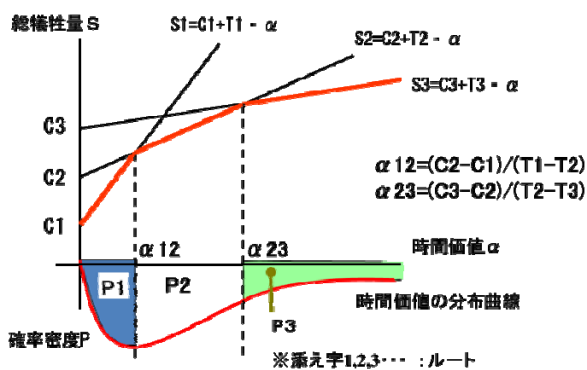


図-4 犠牲量モデル概念図

(3) 時間価値推計方法<sup>6)</sup>

時間価値の分布形については、正規分布や対数正規分布など各種の分布形も想定されるが、既往の文献<sup>6)</sup>を参考に、対数正規分布を用いることとした。

時間価値分布を対数正規とする場合の具体的な時間価値分布の推計手順は以下のとおりである。

まず対数正規分布の場合は、x の対数をとった ln(x) が正規分布に従う分布と考えるので、対数正規分布の確率密度関数 f(x) は式(2)のとおりとなる。

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right] \quad (2)$$

μ, σ はそれぞれ正規分布の平均, 標準偏差

ここで確率 x までの累積密度関数を P とすると、式(3)となる。

$$P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (3)$$

さらに  $s = \frac{\ln x - \mu}{\sigma}$  とおくと

$$P(X \leq x) = \int_{-\infty}^{\frac{\ln x - \mu}{\sigma}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{1}{2}s^2\right] \sigma \cdot ds$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{\ln x - \mu}{\sigma}} e^{-\frac{1}{2}s^2} ds = \Phi\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right) \quad (4)$$

(Φ は標準正規累積分布関数)

さらに、式(4)の逆関数をとると以下の式(5)が導かれ、貨物の比率である確率 P が分かればその標準正規累積分布関数の逆関数値が時間価値 x の対数值 ln(x) と比例関係となるため、それぞれの値を直線回帰することで、平均 μ, 標準偏差 σ のパラメータを求めることができることとなる。

$$\Phi^{-1}(P(X \leq x)) = \frac{\ln x - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

式(5)の左辺の確率 P については、各生産・消費地別に貨物の輸送経路別の貨物量が実績としてわかっている場合、上述のとおりその標準正規累積分布関数の逆関数をとることで求められる。一方、右辺の ln(x) については、設定されたルートの最も小さい犠牲量に関わる交点(境界時間価値)を計算し、その対数をとることにより算出される。

この両者から最も貨物のルート選択の実績の再現性が良くなるように、最小二乗法により直線の傾きである 1/σ と、切片である -μ/σ を算出し、対数正規分布の分布形を決めることとなる平均 μ, 標準偏差 σ を算定する。なお、時間価値の代表値算出の際には、他の値と大きく乖離した値の影響を小さくできる対数正規分布の中央値が式(6)で算出できる。

$$\text{中央値 } m = \exp(\mu) \quad (6)$$

(4) 輸送経路の設定

犠牲量モデルの構築にあたっては、207 生産・消費地別の輸送経路について、輸送費用や輸送時間を設定する必要がある。以下には設定した経路や、各経路の輸送時間・費用の設定にあたり用いたデータなどを示す。

### 1) 国内の港湾の設定

国内の各生産・消費地の貨物が、海外の港湾との輸送において利用する国内の港湾は、国際海上コンテナ定期航路や国際フェリー・RORO船航路などがある港湾である。本稿のモデルの構築にあたっては、その港湾設定にあたり、東京湾、伊勢湾、大阪湾、北部九州の4地域に港湾を設定することとしたほか、この4つの港湾が存在しない道府県に1港の代表港湾を設定することとし、合計35港を配置した。

また、海上輸送のコンテナ船や、国際フェリー、RORO船、国内フェリーなどの航路ネットワークやサービス水準については、全国輸出入コンテナ貨物流動調査が実施された平成20年11月時点のものを設定することとした。例えば、大阪湾や北部九州と中国中部エリアとの輸送では、国際フェリーやRORO船航路を、コンテナ船による輸送とは別に輸送経路として設定することとした。

### 2) 海外の港湾などの設定

我が国と中国中部エリアのコンテナ航路については、中国側の代表港湾を上海港として、日本港湾との海上輸送距離などを算出し、所要時間などの算出に用いたが、国際フェリー・RORO船航路については、実際の寄港地である太倉港などを設定した。さらに、中国中部エリアの港湾に海上輸送されず、海外の他の国・地域の港湾で積み替えられて輸送される貨物も存在することから、海外の港湾で積み替えられる貨物を海外フィーダー貨物と呼ぶこととし、積み替えられる海外の他の国・地域の港湾（海外フィーダー港）として、国際海上コンテナ貨物の積み替え実績なども勘案し、釜山港、上海港、高雄港、香港の4港湾に設定した。

### 3) 国内の輸送手段設定

海外との貨物を積み卸しする国内の港湾と国内の生産・消費地との間の主な輸送機関としては、トレーラーなどによる陸上輸送、鉄道輸送、国内の内航海運を利用した海上輸送が想定される。

国際フェリーやRORO船を利用する輸出入コンテナ貨物について、国内の船積港湾／船卸港湾と、背後の生産・消費地との間の主要な輸送手段を平成20年度の全国輸出入コンテナ貨物流動調査データを用いて国際フェリー、国際RORO船について分析したのが表-4である。

表-4 港湾との主要な輸送手段 (トン/月)

	輸出貨物				輸入貨物			
	フェリー		RORO船		フェリー		RORO船	
トレーラー	53,592	99.43%	2,500	98.08%	113,367	98.91%	6,403	60.57%
内航海運	105	0.19%	49	1.92%	823	0.72%	3,370	31.88%
鉄道	201	0.37%	0	0.00%	432	0.38%	798	7.55%
合計	53,898	100.00%	2,549	100.00%	114,622	100.00%	10,571	100.00%

※相手港湾は釜山港、青島港、太倉港、上海港、天津新港

鉄道はRORO船で輸送される輸入貨物の国内輸送手段で8%のシェアとなっているものの、輸出やフェリーでは1%以下であることから、モデルの構築にあたっての国内輸送手段は、トレーラーと内航海運を設定することとした。

### 4) 設定した輸送経路とサービス水準

以上をもとに、想定した国内の港湾や海外のフィーダー港湾、国内の輸送手段や海外との海上輸送経路の例などを図-5に示す。また、表-5には、輸出の場合の今回分析する輸送経路の概要を示す。

ダイレクト輸送、海外フィーダー輸送、国際フィーダー輸送のそれぞれの設定経路数を合計すると、 $39 \times (35+n)$  となり、国際コンテナ船・RORO航路が就航する港湾数のnが2であれば、207の生活圏のそれぞれについて、 $39 \times 37$ で計算されることとなり、1443経路が候補として考えられることとなる。

各経路の輸送時間や輸送費用などの設定にあたっては、表-6に示すデータを用いたほか、コンテナ船、国際フェリー、RORO船の運航頻度も経路選択に大きな影響を及ぼすと考え、運航頻度から計算される港湾での平均待ち時間も総所要時間の算出にあたり考慮することとした。

$$\text{待ち時間} = \frac{7 \text{ day} \times 24 \text{ hr}}{\text{航路便数 (便/週)}} \times \frac{1}{2} \quad (7)$$

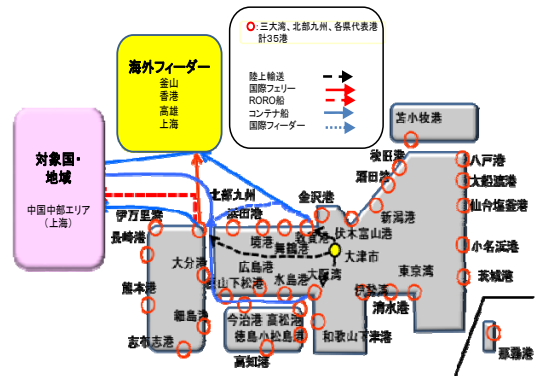


図-5 代表港湾の設定と経路設定例

表-5 輸送経路の設定 (輸出の場合)

	発地	1stポート (最初に貨物が船に積み込まれる港湾)	2ndポート (本船に積み込まれる港湾)	着地	備考 (生産地あたりの設定経路数)
ダイレクト輸送	国内207生活圏 (陸送)	コンテナ船 35港	コンテナ船 35港	対象国港湾	35+n通り
		国際フェリー・RORO船 n港	国際フェリー・RORO船 n港		
海外フィーダー輸送	国内207生活圏 (陸送)	コンテナ船 35港	海外フィーダー港 4港	対象国港湾	(35+n) × 4通り
		国際フェリー・RORO船 n港	(外航)		
国際フィーダー輸送	国内207生活圏 (陸送)	コンテナ船 34港	コンテナ船 35港	対象国港湾	34 × (35+n)通り
			国際フェリー・RORO船 n港		

※国際フィーダー輸送の1stポートは、国内の本船積み港湾への輸送であるので輸送先候補数はコンテナ港湾35港-1港=34港としている

※発地の207生活圏ごとの設定経路数は、備考欄の合計とvari (35+n) × (1+4+34) = 39 × (35+n)通りとなる

表-6 費用と時間の各種設定項目と設定概要

項目	対象船舶	設定概要	備考	
費用	陸上輸送費用	—	20FTコンテナの料金を実勢運賃も考慮して設定。高速道路利用率も考慮。	
	海上輸送費用	外航船(コンテナ)	500TEUコンテナ船舶での1TEUの輸送費用、実勢運賃などを元に設定	文献7、関係者ヒアリング等をもとに設定
		国際フェリー・RORO船	各々の航路の実勢料金を元に設定	タリフ、業者ヒアリング、船社のHP等をもとに設定
	港湾諸費用	内航船	1000DWTコンテナ船の輸送費用を元に設定	文献7
外航船(全船種)		国内ならびに海外での港湾荷役費用、THC(ターミナルハンドリングチャージ)、BAF(燃料油割増)を考慮して設定 ※海外港湾での積み替えについては、積み替えに関わる港湾諸費用を計上	業者ヒアリングや文献9、文献10等も参考に設定	
時間	陸上輸送時間	—	陸上輸送距離とトレーラーの走行速度(一般道路34.3km/h, 高速道路74.5km/h)を元に算出。長時間輸送の場合は、休憩・休息時間を考慮。	
	海上輸送時間	外航船(コンテナ)	海上輸送距離及び500TEUコンテナ船の航行速度を元に算出し、途中の寄港地等も考慮して1~2日程度を加算	文献7等を元に設定
		国際フェリー・RORO船	既存航路のダイヤから実時間を設定	船社のHP、文献11等を元に設定
	港湾諸時間	内航船	海上輸送距離と1000DWTコンテナ船の航行速度を元に算出	文献7等を元に設定
		外航船(全船種)	通関手続き・荷役時間を設定	文献7等を元に設定
		内航船	海外でのトランシップに係る総時間	文献7等を元に設定
	船舶待ち時間	外航船(コンテナ)	荷役や積み込みなどの手続きに関する時間を船種(RORO船・フェリー・コンテナ船)毎に設定	文献7、ヒアリング等を元に設定
		国際フェリー・RORO船	航路便数に基づき平均待ち時間を設定	文献13、日本海事新聞等を元に設定
内航船		航路便数に基づき平均待ち時間を設定。ただし週1便は約2日程度と想定	文献11、各船社のWEBなどを元に設定	
内航船	航路便数に基づき平均待ち時間を設定	文献11、文献14を元に設定		

(5)モデル構築(時間価値分布の推計)結果

中国中部エリアについて、時間価値分布の分布形を決めるパラメータを推計した結果を輸出入別に示す。

1)中国中部エリア貨物(輸出)の時間価値分布

中国貨物の中部エリアへの輸出貨物について、回帰分析結果を図-6に、算出された直線の傾きや切片から、平均値 $\mu$ と標準偏差 $\sigma$ を算出し、確率密度関数の分布を描いたものを図-7に示す。

回帰分析結果は、分析に用いたデータ数は147、パラメータ推計のために行った重回帰分析の相関係数は0.73であり、高い相関があるという結果となったほか、

平均 $\mu$ は6.00、標準偏差1.52となり、時間価値の中央値が403円/h・TEU、平均値が1,281円/h・TEUとなった。

2)中国中部エリア貨物(輸入)の時間価値分布

同様に中国貨物の中部エリアからの輸入貨物について、回帰分析結果を図-8に、確率密度関数の分布を描いたものを図-9に示す。

回帰分析に用いたサンプル数は211、重回帰分析の相関係数は0.73であり、高い相関があるという結果となったほか、平均 $\mu$ は5.99、標準偏差1.37で、時間価値の中央値が399円/h・TEU、平均値が1,021円/h・TEUとなった。

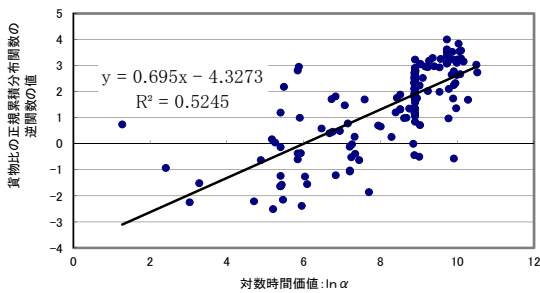


図-6 中国(中部:輸出)の回帰分析結果

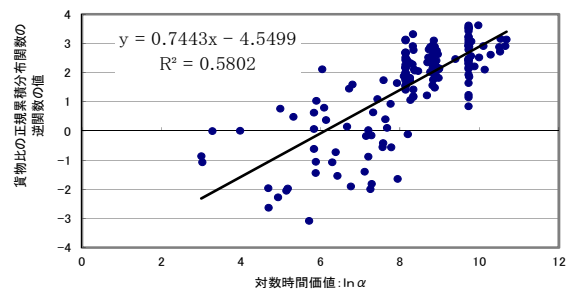


図-8 中国(中部:輸入)の回帰分析結果

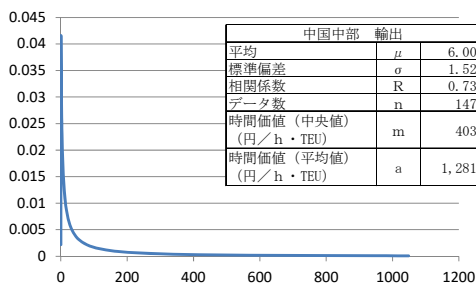


図-7 中国(中部:輸出)の時間価値確率密度関数

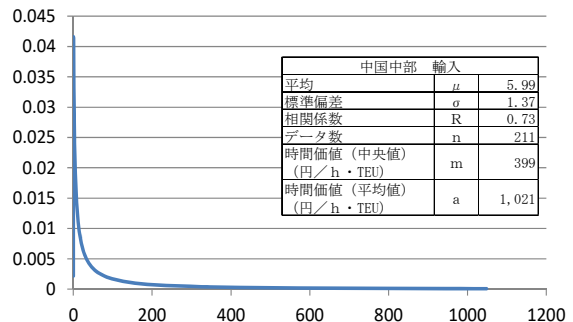


図-9 中国(中部:輸入)の時間価値確率密度関数

(6)モデルの再現性

1)中国中部エリアへの輸出貨物

中国中部エリアとの国際フェリー、RORO 船航路は、モデル構築に用いた全国輸出入コンテナ貨物流動調査が実施された平成 20 年秋には、大阪湾の神戸・大阪港から上海港への国際フェリー航路と北部九州の博多港から上海港への国際 RORO 船航路及び下関港から太倉港への国際フェリー航路が存在していたことから、大阪湾と北部九州について、取扱量やコンテナとの分担関係など、モデルの再現性を検討した。

大阪湾と北部九州の港湾の中国中部エリアへの輸出貨物の船種別の貨物量、分担率を表-7に示す。

大阪湾、北部九州ともコンテナ船を含めた港湾全体の取扱量については、大阪湾が実績 11.8 万トンが推計 9.2 万トンと若干過小推計ではあるが、北部九州は実績 2.9 万トンに対し推計 3.1 万トンと、概ね再現ができた。

国際フェリー、RORO 船の輸送貨物の推計については、大阪湾の国際フェリー貨物は実績 5 千トン、シェア 3.9%のところを、推計では 4 千トン、シェア 4.3%と概ね再現できた。

ただし、国際 RORO 船と国際フェリーの双方が就航する北部九州の港湾については、国際 RORO 船輸送の実績 2 千トン、シェア 8.3%に対して、推計は 4 千トン、シェア 12.1%と若干過大推計となったほか、国際フェリーについては、実績貨物が 50 トンと少ないこともあり、推計値は 0 で再現ができず課題を残した。

表-7 国際フェリー・RORO 船就航港湾での船種別取扱量 (中国中部：輸出) (トン/月)

		実績値		推計値	
		実績値	シェア	推計値	シェア
大阪湾の港湾 で本船積み の貨物	コンテナ船	113,720	96.1%	88,319	95.7%
	国際フェリー	4,608	3.9%	4,003	4.3%
	合計	118,328	100.0%	92,322	100.0%
北部九州の港 湾で本船積み の貨物	コンテナ船	26,905	91.6%	27,025	87.9%
	国際フェリー	50	0.2%	0	0.0%
	国際RORO	2,433	8.3%	3,719	12.1%
	合計	29,388	100.0%	30,744	100.0%

次に、大阪湾と北部九州の港湾を利用する国際フェリー・RORO船貨物について、貨物の背後圏がどの程度再現できているかを分析した。まず、国内の生産地を全国10地域別にみた際の地域別の実績と推計との比較を図-10および図-11に、207生活圏別の背後圏別のシェアの実績と推計の比較を図-12および図-13に示す。

大阪湾のフェリー利用貨物の背後圏は、中部地方の貨物は、三重県の貨物が実績に対してかなり過小推計となったことで実績に比べて推計が3割強過小推計となったほか、近畿地方貨物は実績の1.8倍と過大推計となっていた。

北部九州の国際RORO船利用貨物の背後圏は、実績が

あまり多くない関東地方、近畿地方、中部地方などの貨物が過大推計の一方で、九州地方の貨物は、その太宗を占める宮崎県の貨物が推計ではかなりの過小推計となるなど、地域別の再現性には課題が残った。

大阪湾、北部九州とも、図-12や図-13に示したように、かなり広範囲にわたる国際フェリーや国際RORO船貨物の背後圏を、ある程度は再現できているものの、まだまだ再現が十分できていない背後圏もあった。

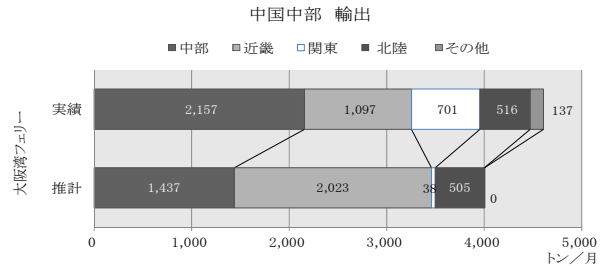


図-10 大阪湾国際フェリー貨物の背後圏(10地域)別取扱量(中国中部：輸出)

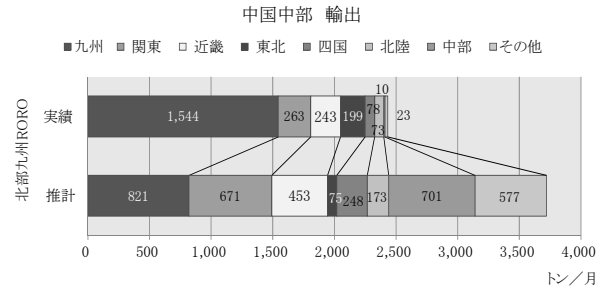


図-11 北部九州の国際 RORO 船貨物の背後圏(10 地域)別取扱量(中国中部：輸出)

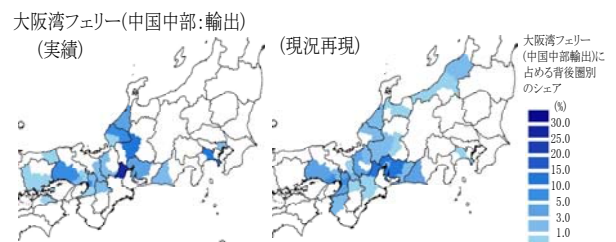


図-12 大阪湾の国際フェリー貨物の背後圏(207生活圏)別取扱量(中国中部：輸出)



図-13 北部九州の国際 RORO 船貨物の背後圏(207 生活圏)別取扱量(中国中部：輸出)

2)中国中部エリアからの輸入貨物

中国中部エリアからの輸入貨物についても、輸出貨物と同様に、国際フェリー航路がある大阪湾、国際RORO船航路と国際フェリー航路の双方が存在していた北部九州について、取扱量やコンテナとの分担関係などモデルの再現性を検討した。

大阪湾と北部九州の港湾の中国中部エリアからの輸入貨物の船種別の貨物量、分担率を表-8に示す。

大阪湾、北部九州ともコンテナ船を含めた港湾全体の取扱量については、大阪湾が実績54.1万トンが推計52.0万トン、北部九州が実績9.5万トン、推計8.8万トンと、概ね再現ができた。

ただし、国際フェリーや国際RORO船での輸送貨物については、全体に占めるシェアが非常に小さいということもあり、大阪湾の国際フェリーの貨物量は、実績2.9万トンのところが5.5万トンと過大推計、シェアも実績5.4%に対して推計10.5%と過大推計、北部九州のRORO船利用貨物も、実績1.1万トンに対して推計1.8万トン、シェア実績11.1%に対して推計21.1%と過大推計、北部九州の国際フェリーは実績貨物量が849トン、シェアで0.9%と少ないこともあり、再現ができていないなど、課題を残した。

表-8 国際フェリー・RORO船就航港湾での船種別取扱量 (中国中部：輸入) (トン/月)

		実績値		推計値	
		実績値	割合	推計値	割合
大阪湾の港湾で本船積みの貨物	コンテナ船	511,777	94.6%	465,932	89.5%
	国際フェリー	28,975	5.4%	54,520	10.5%
	合計	540,752	100.0%	520,453	100.0%
北部九州の港湾で本船積みの貨物	コンテナ船	83,505	88.0%	69,246	78.9%
	国際フェリー	849	0.9%	0	0.0%
	国際RORO	10,571	11.1%	18,480	21.1%
合計	94,925	100.0%	87,727	100.0%	

次に、大阪湾と北部九州の港湾を利用する国際フェリー・RORO船貨物について、貨物の背後圏がどの程度再現できているかを分析した。国内の消費地を全国10地域別にみた際の実績と推計との比較を図-14および図-15に、207生活圏別の背後圏別のシェアの実績と推計の比較を図-16および図-17に示す。

大阪湾の国際フェリー利用貨物の背後圏は、近畿地方・中部地方・関東地方・北陸地方ともに実績に比べて過大推計ではあるが、総量に占める地域別のシェアは、若干の過大推計や過小推計ではあるものの、ある程度再現ができた。

北部九州のRORO船の背後圏は、関東地方の実績が5千トンのところを推計では6割以上減となる1.7千トン、また、中部地方と近畿地方は過小推計、九州地方や中国地方は過大推計など再現性があまり良くなかった。関東の実績貨物の大半は、中国中部エリアから国際

RORO船を利用して北部九州に輸送され国際フィーダー船に積み替えて東京港経由で千葉県圏の生活圏へ輸送される電算機類であり、特定荷主の特定の輸送経路である可能性が高く、今回の犠牲量モデルではそれを再現することができなかったものと思料される。

大阪湾、北部九州とも、輸出貨物と同様に、図-16や図-17に示したようにならかなり広範囲にわたる背後圏をある程度は再現できるモデルが構築できたものの、まだまだ再現が十分ではない背後圏もあった。

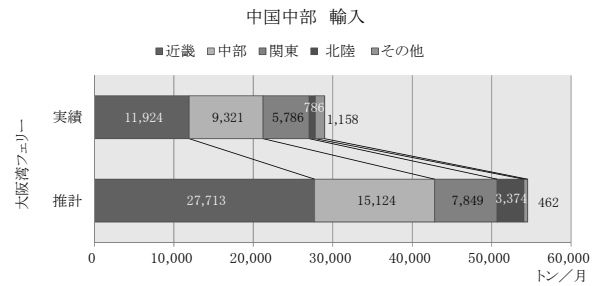


図-14 大阪湾国際フェリー貨物の背後圏(10地域)別取扱量(中国中部：輸入)

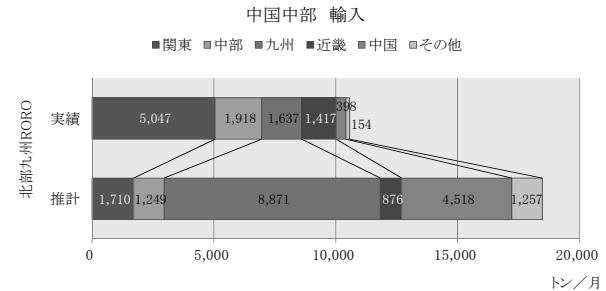


図-15 北部九州RORO船貨物の背後圏(10地域)別取扱量(中国中部：輸入)

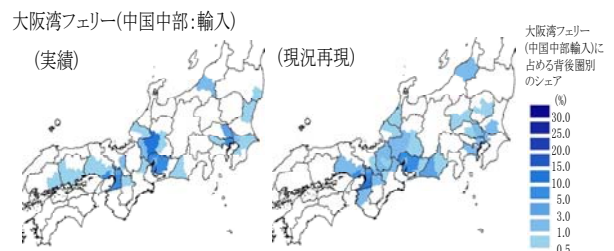


図-16 大阪湾国際フェリー貨物の背後圏(207生活圏)別取扱量(中国中部：輸入)

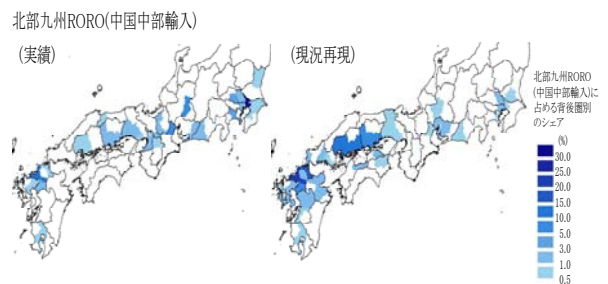


図-17 北部九州の国際RORO船貨物の背後圏(207生活圏)別取扱量(中国中部：輸入)



4. 構築モデルを用いた国際コンテナ・RORO船に関わる施策の検討と精度向上に向けて

3章で構築した犠牲量モデルは、コンテナ船で輸送される貨物全体からみると非常に小さなシェアである国際フェリー・RORO船利用の貨物の輸送経路を推計するものであり、モデルの現況再現性も良いとは言えない部分もあるが、構築したモデルは、かなり広範囲に集荷している国際フェリーや国際RORO船の貨物がある程度は再現できており、現況再現値が、施策や航路サービス水準の変化などによってどの程度変動するかという検討には活用が可能である。

例えば、国際フェリーやRORO船の運賃や輸送時間、あるいは競合機関であるコンテナ船のサービス水準が変動するとどのような影響がでるかや算定可能である。

以下では、構築したモデルを用いて航路網変化の分析例を示すほか、今後の国際フェリー・RORO船輸送に関わる施策評価の向上に向けて、今後の検討課題などを整理した。

(1) 航路網変化に関する分析への活用

航路網変化に関する分析についていえば、今回構築した中国中部エリアとの航路については、表-1に示したとおり平成27年12月に、博多港-上海港間に週2便の頻度で運航していたRORO船輸送サービスが休止しており、その影響分析ができる。

具体的に、構築したモデルを用いて、北部九州と中国中部エリアとの国際RORO船の輸送サービスが、平成20年当時の週2便から休止(0便)となった際に、これまで国際RORO船輸送を使っていた貨物がどの港湾のどの船種(コンテナ、フェリーなど)を使うこととなるかを分析した結果を以下に記載する。

北部九州と中国中部との貨物量は、輸出よりも輸入貨物のほうが多いことから、輸入貨物に関して、3章で構築した輸入の犠牲量モデルを用いて分析を行うこととした。計算結果を、表-9に示す。

北部九州のRORO船利用の貨物量は、実績では11千トに対し、RORO船のサービスを週2便としたモデルの推計値(現況再現値)では、18千トンと過大推計となっているが、この18千トンの北部九州のRORO船を利用すると推計されている貨物が、仮に北部九州と中国中部とのRORO船サービスが無しとなると、その45%にあたる8千トンの貨物が同じ北部九州のコンテナ船を利用するほか、29%にあたる5千トンの貨物は大阪湾の国際フェリー航路を、残りは10%が水島港のコンテナ船、8%が広島港のコンテナ船利用などとなった。

表-9 北部九州国際RORO船サービスの変化の分析

実績値	①実績値	②現況再現値	③北部九州のRORO船無し想定ケース	
			(トン/月)	増減(=③-②)
大阪湾 (コンテナ船) (国際フェリー)	511,777 28,975	465,932 54,520	465,932 59,825	0 5,305
水島港	17,781	52,839	54,749	1,910
広島港	49,443	25,285	26,679	1,394
境港	792	1,152	1,152	0
徳山下松港	3,740	7,234	7,724	490
北部九州 (コンテナ船) (RORO船)	83,505 10,571	69,246 18,480	77,577 0	8,330 -18,480
(国際フェリー)	849	0	0	0
伊万里港	1,852	2,137	2,137	0
大分港	1,933	1,023	1,023	0
長崎港	841	1,523	1,523	0
熊本港	141	3,394	3,394	0
志布志港	1,258	3,094	3,094	0
釜山港積み替え	18,996	10	1,061	1,051
計	732,454	705,870	705,870	0

(2) モデル・施策評価の精度向上に向けて

今回の構築した犠牲量モデルは、平成20年度の全国輸出入コンテナ貨物流動調査の実績データを用いて、国際フェリー、RORO船、コンテナ船による輸送の実績を最も再現できるように、貨物の時間価値分布を対数正規分布で推計したものである。

この時間価値分布の推計精度を上げて、モデルの現況再現性を向上させるのは勿論のこと、例えば輸出入別に推計した今回の時間価値を、品目別に推計するなどの検討や、輸送に関わる運賃などについても、公表されていないものも多く想定してモデル構築をしている部分も多いので、より経路選択に影響を及ぼすと考えられる実勢運賃データに関する情報収集などを行いモデルに反映する必要がある。

また、前節の航路網変化などの分析では、貨物の時間価値分布は現況再現モデルのまま固定して推計をしたが、各航路で輸送される貨物の品目構成の変化や、我が国の貿易相手国の変化などにも配慮が必要となる。例えば表-10には我が国への衣類品のアジアの主要国からの近年の輸入量の動向を示すが、10年ほど前には中国からの輸入量が9割近くを占めていたものが、最近ではベトナムやインドネシアといった東南アジア諸国からの輸入量が増え中国のシェアは7割程度に落ち込んでいる。今後も最新のデータを用いて時間価値分布を随時推計し、より精度の高い港湾貨物量推計に利用できる時間価値分布の推計結果となっていることを確認することなどが必要となる。

表-10 我が国の衣類の主要な輸入国

	2016年		2010年		2005年	
	トン	シェア	トン	シェア	トン	シェア
中国	702,767	69.9	902,905	88.3	958,275	91.4
ベトナム	104,881	10.4	41,315	4.0	22,805	2.2
インドネシア	35,574	3.5	9,732	1.0	6,574	0.6
タイ	13,471	1.3	9,742	1.0	11,079	1.1
全世界	1,005,432	100.0	1,022,844	100.0	1,047,944	100.0

資料) 日本繊維輸入組合の貿易統計によるランキングデータをもとに整理

さらに、同じ品目でも輸送を急ぐか否かという状況が変わると、輸送に支払う費用と輸送時間のトレードオフも変化することから、国際フェリー・RORO船の予測においても、そのような情勢変化をどのように踏まえて推計をするかが課題である。

## 5. おわりに

本稿では、最近の国際フェリー・RORO船輸送航路などの動向分析を行ったほか、中国中部エリアとの国際コンテナ貨物の輸送において国際フェリー・RORO船・コンテナ船のどの船種のどの港湾の経路を選択するかを説明できる経路選択モデルを犠牲量モデルを用いて構築した。

構築したモデルは、我が国の国際フェリーやRORO船のシェアがコンテナ船輸送に比較するとかなり小さいことや、経路選択における費用や時間をより細やかに評価できるように我が国の生産・消費地を47都道府県ではなく207区分にまで細部化したこと、国際フェリーやRORO船の背後圏が非常に広範囲にわたるほか、大口荷主もおり実勢運賃の把握なども難しいなどの理由から、精度がよいモデルが構築できたとは言えないものの、施策による貨物流動の変化などの動きをとらえるには活用できるモデルが構築できた。

今後は4 (2)で記述した最新データを用いた時間価値分布の随時推計や情勢変化も考慮し、より精度の高いモデルとなるように引き続き検討を進めたい。

## 参考文献

- 1) 後藤修一・渡部富博・安部智久：国際フェリー・RORO 船による海上輸送の特性に関する基礎的分析，土木学会計画学研究・講演会 VOL.47, 2013.6
- 2) 佐々木友子・渡部富博：我が国と中国中部地域との国際フェリー・RORO 船貨物流動に関わるロジットモデルの構築，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，2015.
- 3) 佐々木友子・渡部富博：我が国と韓国・中国北部地域との国際フェリー・RORO 船貨物流動に関わるロジットモデルの構築，日本沿岸域学会 沿岸域学会誌 第 28 巻第 3 号，pp.51-62,2015.12
- 4) 平成24年度 ユニットロード貨物流動調査，国土交通省港湾局
- 5) 平成 20 年度全国輸出入コンテナ貨物流動調査，国土交通省港湾局
- 6) 井山繁・渡部富博・後藤修一：犠牲量モデルを用いた国際海上コンテナ貨物流動分析モデルの構築：土木学会論文集 B3 (海洋開発) Vol.68, No.4, 2012.
- 7) 港湾事業評価手法に関する研究委員会編：港湾投資の評価に関する解説書 2011,2011 年 7 月
- 8) 全国貨物純流動調査：国土交通省，2005 年
- 9) 貨物運賃と各種料金表：日本交通社，2010 年
- 10) 国内コンテナ・フィーダーに関する研究：日本内航海運組合総連合会，2011 年
- 11) 内航ジャーナル株式会社：2009 年版海上定期便ガイド
- 12) 第 9 回輸入手続の所要時間調査結果，財務省，2009 年 9 月
- 13) オーシャンコマース社：国際輸送ハンドブック 2008 年
- 14) (株)日刊海事通信社：2009 年フェリー旅客船ガイド

(?????? 受付)

## An Analysis and Development of Sacrifice Model on International Ferries/RORO ships Transportation

Tomihiko WATANABE, Tomoko SASAKI and Shigeru IYAMA

International ferries/RORO ships transportation is fast and efficient ,so the demand is increasing under close economic relations within Asian countries. Some new ferries/RORO ships services between Japan and neighborhood countries started/suspended in these days , and calling ports of the ferries/RORO ships were often changed under the changing of demand. So transportation by using international ferries/RORO ships within East Asia is not enough active.

In these circumstances, we analyze on transportation of international ferries/RORO ships ,and develop a sacrifice model of international ferries/RORO ships transportation to consider the policy design.