

論文

我が国の国際海上コンテナ貨物の経路選択モデル構築 A Route Selection Model of Japanese International Maritime Container Cargo

佐々木 友子*・赤倉 康寛**・渡部 富博***

Tomoko SASAKI, Yasuhiro AKAKURA and Tomihiro WATANABE

要旨: 本分析では、我が国とアジア・欧米地域とのコンテナ貨物輸送について、新パナマ運河の供用開始や船舶の大型化、国内における輸送の効率化などにも対応できる犠牲量モデルを、国土交通省港湾局が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の2013年度調査結果を用いて、より実際に近いサービス水準を設定して相手地域・輸出入別に構築した。

その結果、生産・消費地別や経路別にみると再現が十分ではない結果も一部あるが、我が国の輸出入コンテナ貨物量を港湾別にある程度再現できるモデルが構築できた。さらに、構築した欧米輸出モデルを用いて我が国や海外フィーダー港と北米西岸港、東岸港間の船型を2016年時点とした場合や、船型がさらに大型化した場合の感度分析を実施し、北米への輸出貨物の経路選択の変化を定量的に推計した。

キーワード: 国際海上コンテナ貨物、犠牲量モデル、貨物流動

1. はじめに

企業の海外進出の進展や経済連携協定の締結などによる我が国の産業・貿易構造の変化や、輸送の効率化を目指した超大型コンテナ船の就航増、新パナマ運河の供用開始などをはじめとして、我が国の国際海上コンテナ貨物輸送を取り巻く状況は大きく変化している。このような状況の中、より効率的な港湾の計画・整備を行うためには、今後想定されるこれらの状況変化を的確に踏まえたより精度の高い港湾貨物の需要予測が必要である。

我が国の輸出入コンテナ貨物の流動モデルに関わる研究の一例としては、井山ら¹⁾が国土交通省港湾局が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(以下「コンテナ流調」とする)の2008年度の調査結果を用いて、アジア・基幹航路別、輸出入別にモデルを構築したものがあるが、北米との輸出入の経路としてロサンゼルス港を利用する経路のみを設定しており、パナマ運河を経由して北米東岸の港湾を利用する輸送経路が設定されていないため、新パナマ運河の供用開始などにより輸送費用や輸送時間が変化した場合の分析が行えないといった課題がある。またその後2013年度にコンテナ流調が実施され、最新のコンテナ流調データを用いることが可能になっている。

そこで本分析では我が国とアジア・欧米地域とのコンテナ貨物輸送について、新パナマ運河の供

* 正会員 国土技術政策総合研究所 港湾研究部, ** 正会員 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾システム研究室, *** 正会員 京都大学経営管理大学院 港湾物流高度化講座

用開始や船舶の大型化，国内における輸送の効率化などにも対応できる経路選択モデルを，2013年度コンテナ流調結果を用いて輸出入別に構築した。

2. 経路選択モデルの構築

2.1 犠牲量モデルの概要

本分析では経路選択モデルの構築にあたり，犠牲量モデルを用いた。犠牲量モデルは，輸送ルートを選択肢ごとに時間と費用で表現される総犠牲量（＝輸送費用＋輸送時間×貨物の時間価値）を設定し，その選択肢集合の中から総犠牲量が最も小さくなるルートが選択されるとするものであり，変数が時間と費用のみであるため，サービス水準の設定が容易であり扱いやすいという利点がある。

犠牲量を用いたルート選択の考え方を図-1に示す。図-1の上のグラフは縦軸を総犠牲量 S ，横軸を貨物の時間価値 α としたものであり，ルートの選択肢は3種類あると仮定すると，各ルートの総犠牲量はそれぞれ S_1, S_2, S_3 の3本の直線で表現される。図-1の下グラフは縦軸を確率密度関数 $f(\alpha)$ ，横軸を時間価値 α としたものであり，例えば貨物の時間価値が0から α_{12} までの確率 P_1 は，ルート1が選択される確率となる。各ルートの総犠牲量 S から求められた境界時間価値と，各ルートの選択確率の実績値を用い，実際の貨物流動をよりよく再現できる時間価値の分布を推計する。今回の分析においては文献¹⁾を参考に，時間価値の

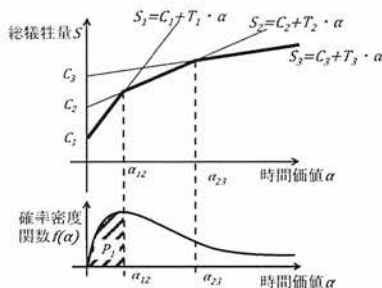


図-1 犠牲量モデル概念図

分布形として対数正規分布を用いることとした。対数正規分布の確率密度関数 $f(x)$ は式(1)，時間価値 α までの確率 $P(x \leq \alpha)$ は式(2)と表される。

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

ここに，

μ ：平均

σ ：標準偏差

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

文献¹⁾を参考に式(2)を変形すると， $P(x \leq \alpha)$ の標準正規累積分布関数の逆関数は式(3)となる。

$$\begin{aligned} \Phi^{-1}(P(x \leq \alpha)) &= \frac{\ln(\alpha) - \mu}{\sigma} \\ &= \frac{1}{\sigma} \ln(\alpha) - \frac{\mu}{\sigma} \quad (3) \end{aligned}$$

今回の分析においては，左辺は2013年度のコンテナ流調の実績を用いて P を算出する。右辺の $\ln(\alpha)$ 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する。図-2はこれらをプロットしたものであり，最小二乗法によりパラメータ $1/\sigma$ と $-\mu/\sigma$ を推定し，対数正規分布の分布形を決める μ ， σ が算出できる。

2.2 モデルの設定条件

2.2.1 輸送経路の設定

本分析においては経路として直航，国際フィー

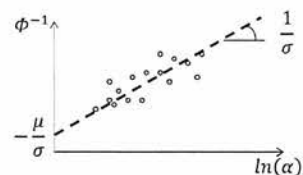


図-2 パラメータの推定

ダー、海外フィーダー、国際フィーダー+海外フィーダーの4つを設定する。「直航」とは、我が国の最初船積港・最終船卸港と相手地域代表港との間で積み替え無しで輸送されることを示す。「国際フィーダー」とは、我が国の最初船積港・最終船卸港と相手地域代表港との間において、我が国港湾で積み替えて輸送されることを示す。なおその際、積み替えが行われる我が国港湾を「国際フィーダー港」と示す。「海外フィーダー」とは、我が国の最初船積港・最終船卸港と相手地域代表港との間において、我が国以外の港湾で積み替えて輸送されることを示す。なおその際、積み替えが行われる我が国以外の港湾を「海外フィーダー港」と示す。「国際フィーダー+海外フィーダー」とは、我が国の最初船積港・最終船卸港と相手地域代表港との間において、我が国港湾での積み替えに加えて、我が国以外の港湾でも積み替えて輸送されることを示す。なお以降においては、「フィーダー」を「F」と表記する。

2.2.2 対象とする相手地域等の設定

アジアの対象地域は韓国、中国(中国西部除く)、香港、マカオ、台湾、ASEAN、東ティモールであり、対象地域を中国北部、中国中部、中国南部、台湾、韓国、タイ、フィリピン、東南アジア北部、東南アジア南部の9地域に区分した。アジアの対象地域と相手地域代表港の位置図を図-3に、地域区分別貨物量と代表港を表-1に示す。なお貨物量は2013年度のコンテナ流調の実績値より整理したものであり、調査期間の2013年11月の1ヶ月間に捕捉できた貨物量であることを注記する。

欧米の対象地域はアメリカ、カナダ、EU(キプロス除く)、ロシア(極東ロシア以外)ほか17ヶ国・地域である。欧米輸出の対象地域と相手地域代表港の位置図を図-4に、地域区分別貨物量と代表地・代表港を表-2に示す。輸出モデル構築にあたっては、欧州、北米西部、北米中西部、北米東部、北

米南部の5地域に区分した。北米の代表港については、米国西部貨物だけでなく、米国南部貨物や米国中西部貨物も米国西岸港湾の利用が多いとの分析結果²⁾を参考に、北米中西部、北米東部、北米南部は、ニューヨーク/ニュージャージー港(以下「NY/NJ港」とする)、サバンナ港といった東岸港だけでなく西岸のロサンゼルス港(以下「LA港」とする)も代表港とした。また、我が国港湾や海外F港と北米東岸港間の航路としてはパナマ運河経由、スエズ運河経由、喜望峰まわりなどが考えられるが、我が国から米国東岸へ海上輸送されるコンテナ貨物のうちパナマ運河経由の割合が9割程度であるとの分析結果³⁾をもとに、我が国港湾や海外F港と北米東岸港間の航路はパナマ運河経由



図-3 アジアの対象地域と相手地域代表港

表-1 アジアの地域区分別貨物量と代表港

地域区分	貨物量[千FT/月]		代表港
	輸出	輸入	
中国北部	398	1,512	青島港
中国中部	1,002	2,538	上海港
中国南部	609	1,464	香港港
台湾	386	340	基隆港
韓国	349	546	釜山港
タイ	481	593	レムチャバン港
フィリピン	129	179	マニラ港
東南アジア北部	257	430	ホーチミン港
東南アジア南部	567	646	ジャカルタ港
合計	4,178	8,249	

のみを設定した。

欧米輸入の地域区分別貨物量と代表地・代表港を表-3に示す。輸入モデル構築にあたっては、北米中西部貨物、北米東部貨物はそれぞれ北米輸入全体の約2%に過ぎなかったため、輸出と同様に4地域に細分化するのではなく、これら2地域の貨物を北米南部貨物に算入し、北米東南部とした。

なお、北米において自地域以外の港湾を利用する場合は、内陸鉄道輸送を利用して利用港湾までの輸送を行うこととした。以上の北米における設定概要について、輸出を例として図-5に示す。

海外F港は、我が国の輸出入コンテナ貨物流動

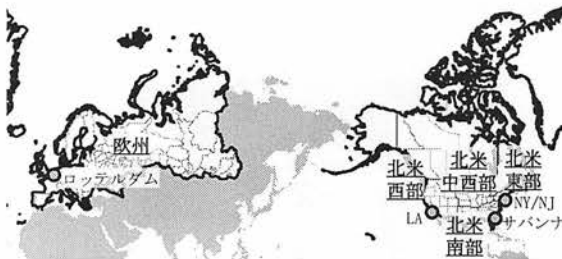


図-4 欧米輸出の対象地域と相手地域代表港

表-2 欧米輸出の地域区分別貨物量と代表地・代表港

地域区分	貨物量 [千 FT/月]	代表地	代表港
欧州	617	ロッテルダム港	ロッテルダム港
北米西部	351	LA 港	LA 港
北米 中西部	209	シカゴ	LA 港, NY/NJ 港, サバンナ港
北米東部	84	NY/NJ 港	LA 港, NY/NJ 港, サバンナ港
北米南部	205	サバンナ港	LA 港, サバンナ港
合計	1,466		

表-3 欧米輸入の地域区分別貨物量と代表地・代表港

地域区分	貨物量 [千 FT/月]	代表地	代表港
欧州	941	ロッテルダム港	ロッテルダム港
北米西部	794	LA 港	LA 港
北米 東南部	141	サバンナ港	LA 港, サバンナ港
合計	1,876		

において主要な積み替え港である、釜山港、光陽港、上海港、香港港、寧波港、深セン港、厦門港、基隆港、高雄港、台中港、シンガポール港、タンジュンペラバス港の12港を設定した。設定した海外F港の位置図を図-6に示す。

2.2.3 我が国の設定

我が国の代表港については、東京湾、伊勢湾、大阪湾の3地域は大規模な港湾が近距離にあるため、時間、費用で設定される犠牲量に差が出にくいことから、一括して扱うこととし、それぞれ京浜港、名古屋港、阪神港を設定した。それ以外の地域には各都道府県に1港を設定することとし、同一都道府県に複数の港湾がある場合は、コンテナ貨物の取扱量が多い港湾を代表港として設定した。以上のことから、国内の代表港としては合計35港を設定した(図-7)。

我が国の貨物の生産・消費地の設定は47都道府県とした。ただし生産・消費地と国内代表港との陸上輸送距離については、まず全国を207に区分



図-5 北米輸出における設定概要



図-6 海外F港位置図

した生活圏(第5回(2010年度)全国幹線旅客純流動調査(国土交通省総合政策局))において設定)別に生産・消費貨物量を集計し、同一都道府県内の生活圏を対象に各生活圏と国内代表港との距離を各生活圏の貨物量で重み付けを行った上で設定した。

2.3 サービス水準の設定

時間、費用のサービス水準の設定概要について表-4に示す。サービス水準はコンテナ流調が実施された2013年時点の水準とした。

輸送費用は個数ベースで設定することとし、文献⁶⁾よりコンテナタイプの比率は20フィートの個数:40フィートの個数=10:12であることから、例えばコンテナ1個あたりの海上輸送費用は、 $(1\text{TEUあたりの海上輸送費用} \times 10 + 1\text{FEUあたりの海上輸送費用} \times 12) \div (10 + 12)$ により算定した。またコンテナ流調はフレートトン(以下「FT」とする)ベースで集計されているが、上述のとおり輸送費用をコンテナ1個あたりと設定することから、貨物量もコンテナ1個あたりに換算する必要があるた

め、文献⁶⁾のコンテナタイプ別の個数比率とコンテナタイプ別の1個あたりの貨物量を用い、コンテナ1個あたりの貨物量を23.3[FT/個]と設定した。

さらに国内陸上輸送費用、国内陸上輸送時間の設定の前提となる国内陸上輸送距離の設定にあたっては、各生産・消費地と船積・船卸港との間のコンテナ詰め地の経路を考慮し、当該距離を輸出は1.07倍、輸入は1.05倍¹⁴⁾とした。

また2013年度のコンテナ流調データより、国内の生産・消費地と国内の船積・船卸港間の、トラ



図-7 国内代表港位置図

表-4 サービス水準の設定概要

	項目	対象	設定内容
時間	国内輸送時間	トラック・トレーラー	コンテナ詰め・取出地の経由とトラック・トレーラー輸送比率を考慮した陸上輸送距離と、走行速度 ⁹⁾ をもとに、長時間輸送の場合は休憩時間を考慮して設定。
		国際F	海上輸送距離と船舶の航行速度 ⁹⁾ をもとにした海上輸送時間のほか、積み卸し時間 ¹⁰⁾ 、航路便数 ¹¹⁾ [便/週]に基づく平均待ち時間(=7日×24時間÷航路便数+2)も考慮して設定。
	国際海上輸送時間	直航・国際F・海外F	海上輸送距離 ⁷⁾ と船型クラス別のコンテナ船の航行速度 ⁹⁾ をもとにした海上輸送時間のほか、積み卸し時間 ¹⁰⁾ 、航路便数 ¹¹⁾ に基づく平均待ち時間(=7日×24時間÷航路便数+2)も考慮して設定。また運河を通航する場合は、文献 ⁹⁾¹⁰⁾ をもとに通航時間も設定。
	港湾諸時間	直航・国際F・海外F	第10回輸入通関手続の所要時間調査(2012年)の結果 ¹¹⁾ や各社HP、プレスリリース資料などをもとに、通関手続、荷役時間を設定。海外Fの場合は海外F港におけるコンテナ滞留時間 ¹²⁾ も考慮して設定。
費用	北米内陸輸送時間	北米内陸輸送	鉄道会社HPをもとに北米代表港と北米代表地間のダブルスタックトレイン輸送時間を設定。
	国内輸送費用	トラック・トレーラー	コンテナ詰め・取出地の経由とトラック・トレーラー輸送比率を考慮した陸上輸送距離から、文献 ⁹⁾ などをもとに算出し、高速道路利用費用 ¹³⁾ も考慮して設定。
		国際F	海上輸送距離と船舶の航行速度 ⁹⁾ をもとにした海上輸送時間から文献 ⁹⁾ をもとに算出し、横持ち費用 ¹²⁾ や実勢運賃も考慮して設定。
	国際海上輸送費用	直航・国際F・海外F	海上輸送距離 ⁷⁾ と船型クラス別の船舶の航行速度 ⁹⁾ をもとにした海上輸送時間から船型クラス別の海上輸送費用計算式 ⁹⁾ をもとに算出し、実勢運賃も考慮して設定。また運河を通航する場合は、文献 ¹³⁾ をもとに通航料も設定。
	港湾諸費用	直航・国際F・海外F	ヒアリング等の結果を基に設定し、海外Fの場合は海外F港における港湾諸費用 ¹²⁾ も考慮して設定。
費用	北米内陸輸送費用	北米内陸輸送	鉄道会社HPをもとに北米代表港と北米代表地間のダブルスタックトレイン輸送費用を設定。

ックでの輸送距離とトレーラーでの輸送距離に占めるトラックでの輸送距離比率の全国平均を算出すると、輸出では0.57、輸入では0.25であったことを用いて、先述の国内陸上輸送距離のうち、トラック輸送される距離とトレーラー輸送される距離をそれぞれ設定した。なお距離は、帰り荷が無いと仮定し、それぞれ往復距離を設定した。

さらにヒアリングをもとにトラックサイズを設定し、文献⑨などをもとにコンテナ1個あたりの必要トラック台数を算出すると輸出時は10t車3台、輸入時は4t車6台であり、トラック1台あたりの輸送費用にこの必要トラック台数をかけてコンテナ1個あたりのトラック輸送費用を設定した。

2.4 モデルの検討結果

2.4.1 アジアモデルの検討結果

アジアモデルの検討結果を示す。モデル構築に用いた実績貨物量は2.2に示したとおり輸出は4,178[千FT/月]、輸入は8,249[千FT/月]である。

2.1で述べた μ , σ の推定方法により、輸出では $\mu=7.71$, $\sigma=1.73$ 、輸入では $\mu=7.56$, $\sigma=1.60$ と推定された。確率密度関数を描画したものを図-8に示す。なおパラメータを推定した際の最小二乗法の回帰直線のあてはまり具合を示す相関係数 R は輸出は0.752、輸入は0.743であり、かなり高い相関がある¹⁵⁾という結果となった。なお2.1で述べたとおり、回帰はコンテナ流調の実績を用いて算出した P の標準正規累積分布関数の逆関数と、設定されたルート of の最も小さい犠牲量に関わる交点(境界時間価値)の対数を用いて行っているが、実績として選択された経路は必ずしも設定した犠牲量が最小の経路ではない場合があり、これらは除いて回帰されることとなる。本分析において回帰に用いたデータ数は、輸出では646、輸入では643であり、貨物量ベースにすると、輸出では約87%にあたる3,628[千FT/月]、輸入では約90%にあたる

7,460[千FT/月]が選択した経路であり、設定した犠牲量が最小ではない経路を実績として選択した貨物量は限られている。

最初船積・最終船卸港別貨物量について実績値を横軸、現況再現値を縦軸にしてプロットしたものを図-9に示す。相関係数は、輸出は0.993、輸入は0.999であり、いずれもかなり高い相関がある¹⁵⁾という結果となった。

さらに相手地域別・経路別貨物量の実績値と現況再現値について、輸出は図-10、図-11に、輸入は図-12、図-13に示す。輸出貨物では、中国南部において海外F貨物の実績値約35[千FT/月]に対して現況再現値は約118[千FT/月]と過大に、台湾において海外F貨物の実績値約21[千FT/月]に対して現況再現値は約71[千FT/月]と過大に推計されるなどしたが、直航・海外Fなどの経路別貨物量をおおむね再現できた。また輸入貨物では、中国中部において海外F貨物の実績値約76[千FT/月]に対して現況再現値は約157[千FT/月]と過大

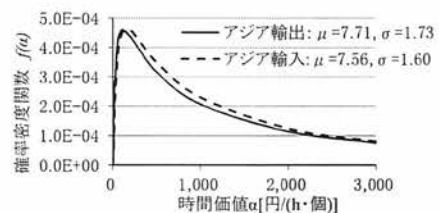


図-8 時間価値の確率密度関数推定結果(アジア輸出・アジア輸入)

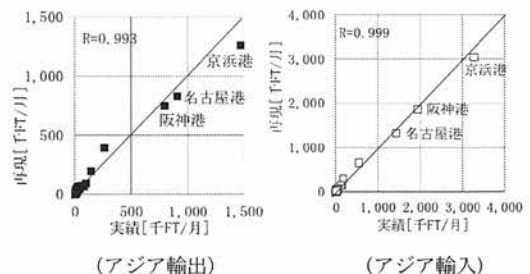


図-9 最初船積・最終船卸港別貨物量の実績値と現況再現値(アジア)

に、タイにおいて海外F貨物の実績値約74[千FT/月]に対して現況再現値は約122[千FT/月]と過大に推計されるなどしたが、直航・海外Fなどの経路別貨物量をおおむね再現できた。なお再現精度が低かった部分について、例えば愛媛県から中国南部への輸出の場合、実績としては松山港から阪神港へ輸送し、積み替えて輸出される国際F経路の選択が多かったものの、現況再現では松山港から釜山港へ輸送し、積み替えて輸出される海外F経路の選択が多く再現されていた。総海上輸送距離は釜山経由海外F経路の方が短く、総輸送時間・

総輸送費用ともに釜山経由海外F経路の方が小さく設定されたためである。このように、総輸送時間・総輸送費用ともにより小さい経路があるにもかかわらず選択されている経路は、国内における積み替えを選好する荷主に選択されていることなどが考えられる。

2.4.2 欧米モデルの検討結果

欧米モデルの検討結果を示す。モデル構築に用いた実績貨物量は2.2に示したとおり輸出は1,466[千FT/月]、輸入は1,876[千FT/月]である。

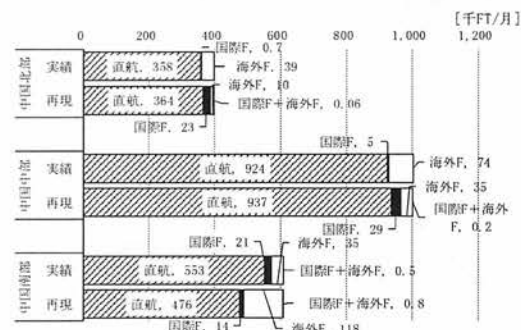


図-10 相手地域別・経路別貨物量の実績値と現況再現値(アジア輸出:中国北部・中国中部・中国南部)

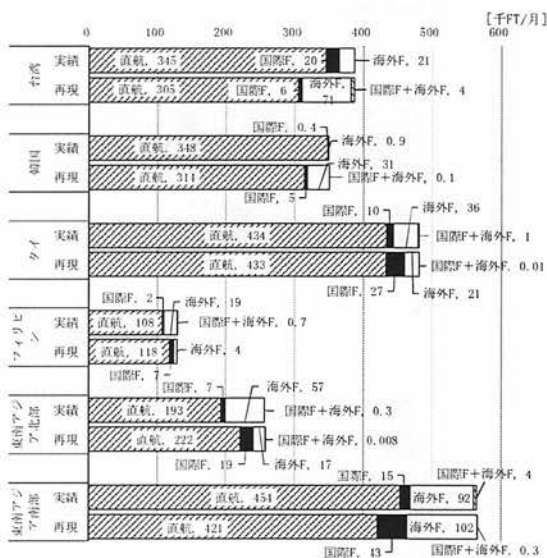


図-11 相手地域別・経路別貨物量の実績値と現況再現値(アジア輸出:中国北部・中国中部・中国南部以外)

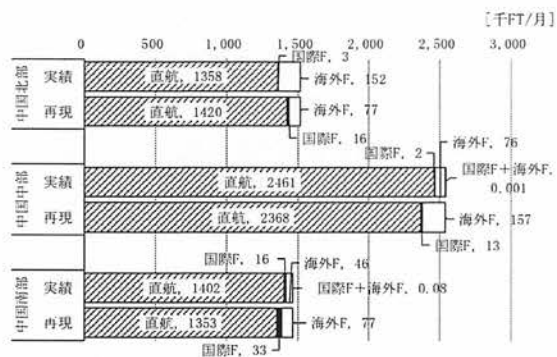


図-12 相手地域別・経路別貨物量の実績値と現況再現値(アジア輸入:中国北部・中国中部・中国南部)

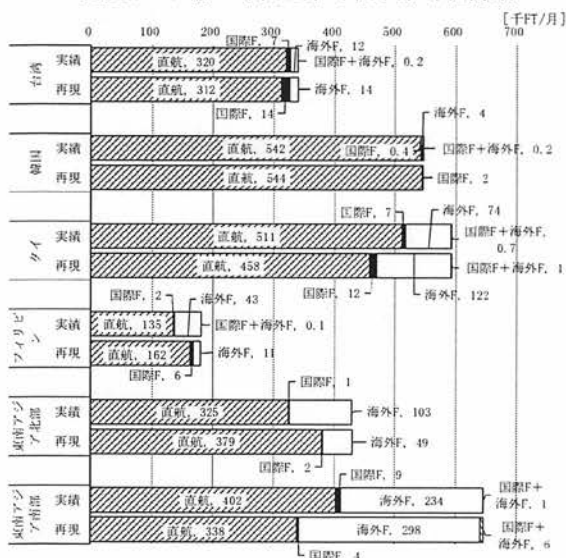


図-13 相手地域別・経路別貨物量の実績値と現況再現値(アジア輸入:中国北部・中国中部・中国南部以外)

2.1 で述べた μ , σ の推定方法により，輸出では $\mu=8.00$, $\sigma=2.33$ ，輸入では $\mu=7.87$, $\sigma=1.84$ と推定された．確率密度関数を描画したものを図-14 に示す．なおパラメータを推定した際の最小二乗法の回帰直線のあてはまり具合を示す相関係数 R は輸出は 0.750 でかなり高い相関がある¹⁵⁾，輸入は 0.600 で高い相関がある¹⁵⁾という結果となった．本分析において回帰に用いたデータ数は，輸出では 380，輸入では 184 であり，貨物量ベースにすると，輸出では約 80%にあたる 1,169[千 FT/月]，輸入では約 79%にあたる 1,490[千 FT/月]が選択した経路であり，設定した犠牲量が最小ではない経路を実績として選択した貨物量は限られている．最初船積・最終船卸港別貨物量について実績値を横軸，現況再現値を縦軸にしてプロットしたものを図-15 に示す．相関係数は輸出は 0.995，輸入は 0.997 であり，いずれもかなり高い相関がある¹⁵⁾という結果となった．

さらに相手地域別・経路別貨物量の実績値と現況再現値について，輸出貨物は図-16 に，輸入貨物は図-17 に示す．輸出貨物では，欧州において海外 F 貨物の実績値約 190[千 FT/月]に対して現況再現値は約 155[千 FT/月]と過小に，北米西部においては国際 F 貨物の実績値約 29[千 FT/月]に対して現況再現値は約 0.3[千 FT/月]と過小に推計されるなどしたが，直航・海外 F などの経路別貨物量をおおむね再現できた．また輸入貨物では，欧州において海外 F 貨物の実績値約 396[千 FT/月]に対して現況再現値は約 535 [千 FT/月]と過大に，北米西部においては国際 F 貨物の実績値約 17[千 FT/月]に対して現況再現値は約 1[千 FT/月]と過小に推計されるなどしたが，直航・海外 F などの経路別貨物量をおおむね再現できた．なお再現精度が低かった部分について，例えば北米西部から宮城県への輸入の場合，実績としては LA 港から釜山港へ輸送し，積み替えて輸入される海外 F 経路

の選択が多かったものの，現況再現では LA 港から仙台塩釜港へ輸入される直航経路の選択が多く再現されていた．総海上輸送距離は直航経路の方が短く，総輸送時間・総輸送費用ともに直航経路の方が小さく設定されたためである．このように，

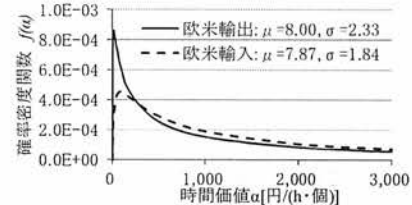


図-14 時間価値の確率密度関数推定結果(欧米輸出・欧米輸入)

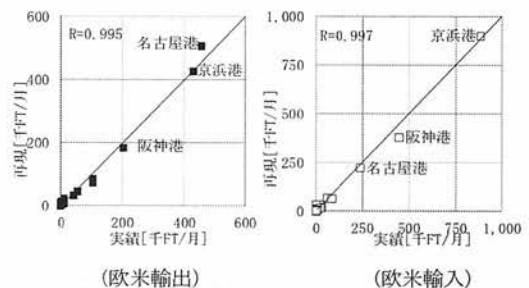


図-15 最初船積・最終船卸港別貨物量の実績値と現況再現値(欧米)

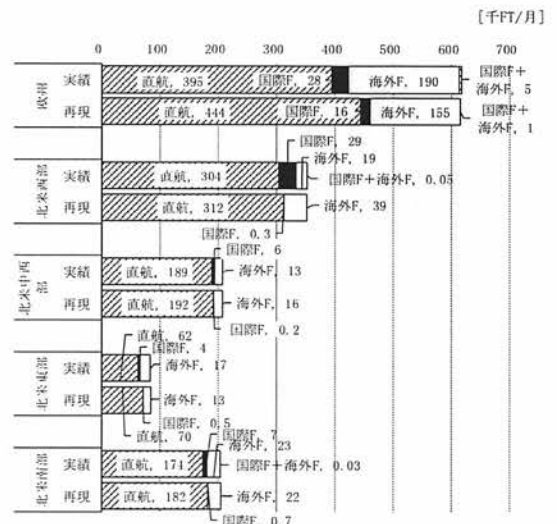


図-16 相手地域別・経路別貨物量の実績値と現況再現値(欧米輸出)

総輸送時間・総輸送費用ともにより小さい経路があるにもかかわらず選択されている経路は、例えば、競合する経路に対する競争性を確保するため、実際の運賃は設定した輸送費用より大きなディスカウントが掛けられている可能性が考えられる。

欧米輸出モデルにおいて、経路として北米西岸港(LA 港)利用経路と北米東岸港(NY/NJ 港, サバンナ港)利用経路(パナマ運河経由)を設定した北米中西部, 北米東部, 北米南部について, 相手地域別・北米西岸東岸別貨物量の実績値と現況再現値を図-18 に示す。北米中西部においては東岸港利用経路が実績約 14[千 FT/月]に対して現況再現値は約 1[千 FT/月]と過小に, 北米南部においては東岸港利用経路が実績約 72[千 FT/月]に対して

現況再現値は約 47[千 FT/月]と過小に推計されたが, 北米東部においては東岸港利用経路が実績約 39[千 FT/月]に対して現況再現値は約 32[千 FT/月]とおおむね再現できており, 西岸港利用経路と東岸港利用経路の経路選択割合はおおむね再現できた。また欧米輸入モデルにおいて、経路として北米西岸港(LA 港)利用経路と北米東岸港(サバンナ港)利用経路(パナマ運河経由)を設定した北米東南部について, 北米西岸東岸別貨物量の実績値と現況再現値を図-19 に示す。西岸港利用経路が実績約 2[千 FT/月]に対して現況再現値は約 41[千 FT/月]と過大に, 東岸港利用経路が実績約 139[千 FT/月]に対して現況再現値は約 100[千 FT/月]と過小に推計された。

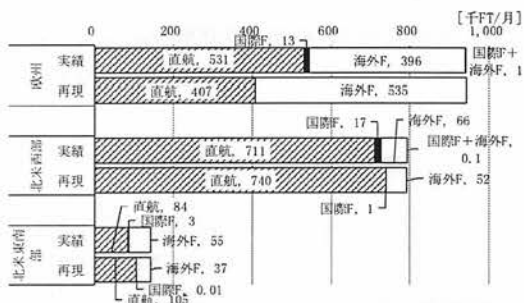


図-17 相手地域別・経路別貨物量の実績値と現況再現値(欧米輸入)

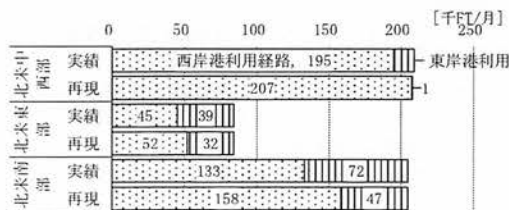


図-18 相手地域別・北米西岸東岸別貨物量の実績値と現況再現値(欧米輸出)

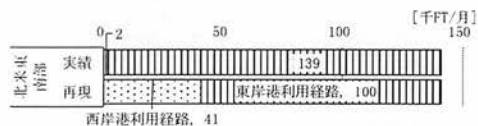


図-19 北米西岸東岸別貨物量の実績値と現況再現値(欧米輸入)(北米東南部)

3. モデルを用いた感度分析

2016 年 6 月に新パナマ運河が商用での供用を開始し, 13,000TEU~14,000TEU までのネオパナマックスクラスのコンテナ船が通航可能となった¹⁶⁾。また 2017 年 6 月に米国ニュージャージー州のベイヨンとニューヨーク州のスタテン島を結ぶベイヨンブリッジのかさ上げが行われ, 14,000 TEU 以上の船舶も通航できるようになった¹⁷⁾。このように北米東岸港利用航路の平均船型が, 更なる輸送の効率化を目指して大型化しうる情勢変化が起きている。船型が大型化するとコンテナ 1 個あたりの海上輸送費用や海上輸送時間が低減する⁶⁾ことが考えられ, 輸送経路の選択に影響を及ぼすことが想定できる。そこで, 2. で構築したモデルのうち, 西岸港利用経路と東岸港利用経路の経路別貨物量をおおむね再現できた欧米輸出モデルを用い, 北米への輸出貨物を対象として, 平均船型が変化した際の経路選択確率の変化について, 以下の 3 ケースの感度分析を行った。

ケース 1 では, 平均船型を 2016 年時点に設定し, 感度分析を行った。2016 年時点の平均船型を

文献¹⁸⁾をもとに算出すると、我が国港湾に寄港する北米西岸港利用航路、海外F港に寄港する北米西岸港利用航路、海外F港に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路はいずれも7,000TEUクラス程度、我が国港湾に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路は5,000TEUクラス程度であった。ここで2013年時点の平均船型を文献⁸⁾をもとに算出すると、我が国港湾に寄港する北米西岸港利用航路、我が国港湾に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路、海外F港に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路はいずれも5,000TEUクラス程度であり、海外F港に寄港する北米西岸港利用航路は6,000TEUクラス程度であった。我が国港湾に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路は2013年と2016年で変化がほとんどみられなかったものの、それ以外は2013年に比べて2016年は大型化していた。

ケース2では、ケース1からさらに我が国港湾に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路の平均船型も海外F港と同様に7,000TEUクラス程度に大型化した場合について感度分析を行った。

ケース3では、北米東岸港利用航路の平均船型が大型化する情勢変化が起きていることを踏まえ、我が国港湾に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路、海外F港に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路の平均船型がともに8,000TEUクラス程度に大型化した場合について感度分析を行った。以上の平均船型クラスの設定について表-5に示す。

感度分析ケースごとの経路別貨物量を、2013年度のコンテナ流調の実績値、2013年現況再現値とともに図-20に示す。まず、実績では東岸港利用経路の選択確率は約14.7%であったが、2013年現況再現では約9.7%と過小に推計されており、以下の感度分析では実際の感度と比較して低く算定されている可能性がある旨留意されたい。

我が国港湾に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路の船型は5,000TEUクラス程度、それ以外は7,000TEUクラス程度としたケース1においては、東岸港利用経路の選択確率は約9.0%となった。我が国港湾に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路の船型のみ5,000TEUクラス程度であったため、東岸港利用経路の選択確率は2013年現況再現から約0.7%ポイントの減少となったが、大きな変化は見られなかった。これは文献³⁾の、2014年1月から2016年10月の日本から米国への船卸港別貨物量の推移についての分析において、パナマ運河拡張後に米国東岸港の利用割合が大幅に増えたという傾向は見受けられないという結果と概ね一致している。

次に、我が国港湾に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路の船型も7,000TEUクラス程度としたケース2においては、東岸港利用経路の選

表-5 平均船型クラス設定

		我が国港湾	海外F港
パナマ運河経由 北米東岸港 利用航路	2013 再現	5,000TEU	5,000TEU
	ケース1※1	5,000TEU	7,000TEU
	ケース2※2	7,000TEU	7,000TEU
	ケース3※3	8,000TEU	8,000TEU
北米西岸港 利用航路	2013 再現	5,000TEU	6,000TEU
	ケース1※1	7,000TEU	7,000TEU
	ケース2※2	7,000TEU	7,000TEU
	ケース3※3	7,000TEU	7,000TEU

※1:2016年の平均船型のケース

※2:我が国港湾に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路の平均船型が海外F港に寄港するパナマ運河経由北米東岸港利用航路の平均船型と同程度に大型化したケース

※3:パナマ運河経由北米東岸港利用航路の平均船型がさらに大型化したケース

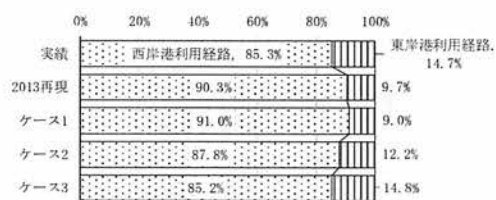


図-20 感度分析ケースごとの経路別貨物量(北米輸出)

択確率は約 12.2%となり、2013 年現況再現から約 2.5%ポイント、ケース 1 から約 3.2%ポイント上昇した。

さらに、我が国港湾に寄港するパナマ運河經由北米東岸港利用航路、海外 F 港に寄港するパナマ運河經由北米東岸港利用航路の平均船型がともに 8,000TEU クラス程度としたケース 3 においては、東岸港利用経路の選択確率は約 14.8%となり、2013 年現況再現から約 5.1%ポイント、ケース 1 から約 5.8%ポイント上昇した。

我が国港湾に寄港するパナマ運河經由北米東岸港利用航路の船型は、2016 年時点では 2013 年時点から大きな変化がみられず、モデルを用いた感度分析でも東岸港利用経路の選択確率に大きな変化はなかったが、今後は船型が大型化する可能性も考えられ、その際の経路選択確率の変化について定量的に分析することができた。

4. おわりに

本分析では、我が国とアジア・欧米との輸出入コンテナ貨物量を、港湾別にある程度再現できる犠牲量モデルが構築できた。さらに構築した欧米輸出モデルを用いて我が国や海外フィーダー港と北米西岸港、東岸港間の船型を 2016 年時点とした場合や、船型がさらに大型化した場合の感度分析を実施し、北米への輸出貨物の経路選択の変化を定量的に推計した。

今後はサービス水準のさらなる精査や、経路選択行動をより再現できるようなモデルの構造を模索するなどして、更なる精度向上により今回構築したモデルの拡充・高度化を目指すほか、施策時の経路選択変化の定量的分析に用いるなど、引き続き分析を行うこととする。

謝辞

本研究は科学研究費補助金(基盤研究 C 課題番

号 16K06549)の助成を受けたものである。本研究にご協力・ご助言を頂いた方々に感謝する。

引用・参考文献

- 1) 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.2，2012
- 2) 岩崎幹平・渡部富博・佐々木友子：我が国の海上コンテナ貨物の米国における流動状況に関する分析，国土技術政策総合研究所資料，No.851，2015.6
- 3) 岩崎幹平・安部智久：世界のコンテナ船動静及びコンテナ貨物流動分析(2016)，国土技術政策総合研究所資料，No.965，2017.3
- 4) 国土交通省：平成 22 年度道路交通センサス
- 5) 内航ジャーナル株式会社：2013 年版 海上定期便ガイド，2013.2
- 6) 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 2011，2011.7
- 7) IHS Fairplay：Ports and Terminals Guide 2011-2012
- 8) (株)オーシャンコマース：国際輸送ハンドブック 2014 年版，2013.12
- 9) 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構：パナマ運河拡張とニカラグア大運河計画，http://oilgas-info.jogmec.go.jp/pdf/5/5337/1409_out_l_ni_pa_canal.pdf，2014.9，2016 年 11 月 11 日アクセス
- 10) 在エジプト日本国大使館：エジプト基礎情報～産業，http://www.eg.emb-japan.go.jp/j/egypt_info/basic/sangyou.htm，2016 年 11 月 11 日アクセス
- 11) 財務省：貿易の円滑化，http://www.mof.go.jp/customs_tariff/trade/facilitation/index.html，2016 年 11 月 11 日アクセス

- 12) 日本内航海運組合総連合会：国内コンテナ・フィーダーに関する研究，http://www.e-naiko.com/kaiun_data/rprt-feeder201110all.pdf，2011.10，2016年11月11日アクセス
- 13) 日本海事センター：パナマ運河通航料と北米東岸向けコンテナ輸送，<http://www.jpmac.or.jp/img/research/pdf/B201440.pdf>，2014.1，2016年11月11日アクセス
- 14) 玉井和久・佐々木友子・渡部富博：輸出入海上コンテナの我が国の地域別貨物量とその流動に関する一考察，国土技術政策総合研究所資料，No.898，2016.3
- 15) 岩永雅也・大塚雄作・高橋一男：社会調査の基礎，財団法人放送大学教育振興会，2001.3
- 16) パナマ運河庁：Panama Canal Welcomes Largest Capacity Vessel To-Date Through its Expanded Locks，<https://www.pancanal.com/eng/pr/press-releases/2016/12/20/pr614.html>，2016.12，2017年8月24日アクセス
- 17) Lloyd's List：New York/New Jersey fights for Midwest market with raising of Bayonne Bridge，<https://lloydslist.maritimeintelligence.informa.com/LL108841/New-York-New-Jersey-fights-for-Midwest-market-with-raising-of-Bayonne-Bridge>，2017年8月24日アクセス

for-Midwest-market-with-raising-of-Bayonne-Bridge，2017.6，2017年8月24日アクセス

- 18) (株)オーシャンコマース：国際輸送ハンドブック 2017 年版，2016.12

著者紹介

佐々木 友子（正会員）

国土交通省国土技術政策総合研究所（神奈川県横浜須賀市長瀬 3-1-1），平成 18 年 3 月九州大学大学院工学府都市環境システム工学専攻修了，同年 4 月国土交通省入省，平成 23 年 9 月より国土技術政策総合研究所勤務，現在同研究所港湾研究部主任研究官，土木学会会員。

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

赤倉 康寛（正会員）

国土交通省国土技術政策総合研究所，平成 7 年 3 月東北大学大学院工学研究科土木工学専攻修了，同年 4 月運輸省入省，平成 28 年 4 月より国土技術政策総合研究所港湾システム研究室長，博士（工学），土木学会・日本物流学会・International Society for Integrated Disaster Risk Management 会員。

E-mail: akakura-y83ab@mlit.go.jp

渡部 富博（正会員）

京都大学経営管理大学院，昭和 63 年 3 月東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻修了，同年 4 月運輸省入省，港湾技術研究所，国土交通省国土技術政策総合研究所などを経て平成 29 年 7 月より京都大学経営管理大学院港湾物流高度化講座特任教授，土木学会会員。

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

A Route Selection Model of Japanese International Maritime Container Cargo

Tomoko SASAKI, Yasuhiro AKAKURA and Tomihiro WATANABE

ABSTRACT : We developed a route selection model of Japanese international maritime container cargo flow by using sacrifice model. This model can estimate the impact on container cargo flow by the Panama Canal expansion, enlargement of container ships, and improvement in domestic transportation. It reproduces the volume of port cargo precisely although some portions of the model require further improvement. And by using this model, we estimated the impact on container cargo flow exported to North America by enlargement of container ships.

KEYWORDS : *International Maritime Container Cargo, Sacrifice Model, Cargo Flow*