

1. はじめに

中国やASEAN地域などの東アジア地域各国の急速な経済発展により、我が国とそれらの国々との貿易額や貨物量も飛躍的に増大している。

特に近年その成長が著しい中国は、およそ10年前の2000年では我が国との貿易額はアメリカ合衆国に次ぎ2位で、約9.2兆円だったのに対し、2010年では、我が国の最大の貿易相手国となり、貿易額は約24兆円と2.6倍の驚異的な伸びとなっている。また、金額は中国には及ばないものの、その他の東アジア諸国の主要国についても、韓国では2000年には約5.5兆円だった貿易額が2010年に7.3兆円、台湾は5.8兆円から6.1兆円、タイは2.6兆円から4.4兆円といずれも増加しており、これまで最大の貿易相手国であったアメリカ合衆国との貿易額が23.1兆円から14.8兆円へと約4割も減少しているのと対照的である¹⁾。

また、世界における港湾での国際海上コンテナ貨物取扱量も、2000年の2億2500万TEUから2008年の5億200万TEUと約2.2倍となっているが、中国は2000年の3500万TEUから2008年の1億3900万TEUとおよそ4倍の伸びで、全世界の港湾での取扱量の約3割に迫る勢いである²⁾。

このような東アジア地域を中心とする経済状況を反映して、我が国のみならず世界的にも国際海上コンテナの各地域との航路の改編、輸送に用いられるコンテナ船の大型化、寄港地などの変化が相次いでいる。また、国内においても高速道路の低料金化などによる物流経路の変化、国際コンテナ戦略港湾施策の推進などコンテナ物流を取り巻く環境が大きく変化している。

今後も効率的な国際海上コンテナ物流に資する港湾整備や施策展開のためには、これらの物流環境や諸条件の変化を踏まえた物流ルートや取扱貨物量の予測等を行い、施策の企画立案や実施への活用、効果の検証等に用いることができるツールの開発が求められる。

これまでも筆者らは、国際海上コンテナ貨物の詳細輸送ルートの把握を行う³⁾とともに、物流環境や諸条件の変化による輸送ルートや貨物量変化等を分析し、コンテナ貨物の時間価値分布の算出⁴⁾などを行ってきた。

本分析では、重要性がますます高まる東アジア地域と我が国のコンテナ貨物についてさらに詳細な分析を可能とするため、国内外のフィーダー輸送などの輸送ルートの多様化、経済発展の著しいASEAN諸国との貨物量増大などを考慮した対象地域の拡大など既報⁴⁾の犠牲量モデルの改良を行うとともに、船社の寄港行動を各港湾でのコンテナ貨物の積卸量で簡便に考慮するフローを取り入れ、犠牲量モデルを用いたアジア地域の海上コンテナ流動分析の拡張を行う

ものである。

以下では、まず2章において、本分析で国際海上コンテナ貨物のルート選択モデルとして用いた犠牲量モデルの概要について説明する。次に3章において、今回のモデル拡張を行った対象国、輸送ルート毎の実績貨物に用いた「全国輸出入コンテナ貨物流動調査」⁵⁾（以下、「コンテナ貨物流動調査」という。）の概要、東アジア諸国や国内各港の航路便数や港湾間距離、陸上・海上輸送の費用や時間などの設定に用いたデータの概要について説明する。続く4章では、実際上記データを用いて構築したモデルによる東アジア諸国とのコンテナ貨物量の推計値と実績値との比較を行い、再現性の検証を行う。5章では、各港のコンテナ貨物の取扱量や便数に関わる分析を行うため、各港でのコンテナ船1寄港あたりのコンテナ貨物積卸量を考慮したフローに拡張し、船社の寄港行動を簡便に取り込んで貨物量変化を分析できるようにした計算による貨物量変化について述べる。

2. 犠牲量モデルの概要

2.1 犠牲量モデルと他のモデル

犠牲量モデルは、貨物や旅客が輸送、移動するルートを選択する際に、選択者が時間と費用から構成されるルート毎の犠牲量が最も小さくなるルートを選択するというものである。

貨物の配分モデルには確率的に貨物を配分するモデルの他、最も望ましい選択肢にすべての貨物が配分される確定的なモデルも存在するが、条件変化により貨物配分が極端に変化するなどの欠点が指摘されている。また確率的に貨物を配分するモデルには観測可能な確定項と観測不可能な要因により確率的に変動する確率項から構成される効用関数を考慮し、効用差で選択確率を決定するプロビットモデルやロジットモデル、大規模ネットワークにおけるルート選択が考慮可能なネットワーク均衡モデルなども存在する。これらの確率的配分モデルには、国際海上コンテナ貨物流動に適用した研究例^{6),7)}もあり、複数の政策変数やルート選択要因を考慮できることや、荷主、船社など意思決定者の相互作用（均衡）を考慮できるなどの特徴をもつモデルであるが、逆にモデル構築に必要となる基礎データが膨大となることや変数が多いためモデルの同定に手間がかかるなど、使い易さの面から問題も存在する。

そこで既報及び本分析では、時間と費用というルート選択の際の主要な2要素を考慮しつつ、計算や構成がシンプルで種々の条件変化に対応できる犠牲量モデルを用いたモデル構築を行うこととした。

2.2 犠牲量モデルの概念

(1) 犠牲量モデルの概念

犠牲量は以下の式で表現され、ルート r の総犠牲量 S_r は各ルートで要する時間 T_r と貨物や旅客の特性に応じて決まる時間価値 α の積にルート毎に要する運賃や輸送費などの費用 C_r を足したものとなる。

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

S_r : 総犠牲量, C_r : 費用, α : 時間価値, T_r : 時間

犠牲量を用いたルート選択の考え方を図-1 に示す。

ここで、縦軸は総犠牲量、横軸は時間価値、選択できるルートが3種類あると仮定すると、3本の直線は式(1)で表現されるルート毎の犠牲量で、その総犠牲量がそれぞれ S_1, S_2, S_3 で表されている。

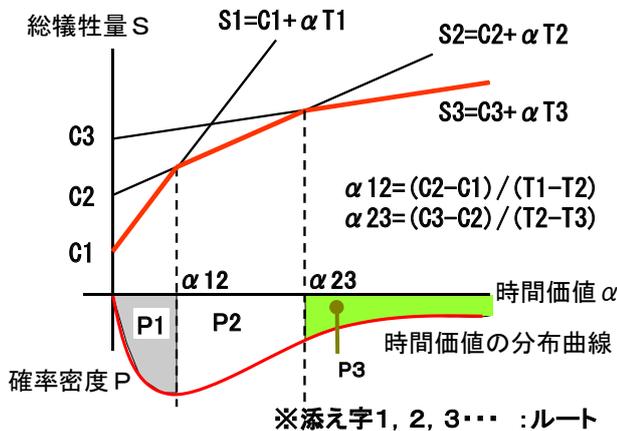


図-1 犠牲量モデル概念図

貨物の出発地から目的地までの輸送ルート为例にとると、図-1 では貨物の時間価値の大小によって総犠牲量の値が異なり、またある時間価値を境に犠牲量が最小となるルートも変化することが分かる。例えば、犠牲量 S_1 で表現されるルート1と犠牲量 S_2 で表現されるルート2の交点の時間価値を α_{12} 、ルート2とルート3の交点の時間価値を α_{23} とすると、貨物の時間価値が0から α_{12} まではルート1、時間価値が α_{12} から α_{23} まではルート2、 α_{23} より時間価値の大きいところではルート3の経路が犠牲量最小のルートとなり、貨物は貨物毎の特性に由来する時間価値によっていずれかのルートを経由することとなる。(図-1 では3直線のうち最も小さい犠牲量となる線分。)

(2) 時間価値推計方法

モデルによる貨物推計値の配分は、推計された貨物の時間価値分布を基に行う。時間価値に関する既往の研究につ

いては参考文献8), 9)などを参考にされたい。既報及び今回の分析に用いた時間価値の分布型はこれまでの研究成果などを参考に対数正規分布を仮定することとし、分布型を求める際に必要となるルートの選択確率はコンテナ貨物流動調査⁵⁾の実績値に基づいて行った。

以下に時間価値分布の算出について説明する。

x の対数をとった $\ln(x)$ が正規分布に従う分布を対数正規分布と呼び、対数正規分布の確率密度関数 $f(x)$ は式(2)のとおり表される。

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

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、

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

ここで $s = \frac{\ln x - \mu}{\sigma}$ とおくと

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

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

(Φ は標準正規累積分布関数)

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してやることで、 μ, 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 P については、例えば各生産・消費地別のコンテナ貨物のルート別の貨物量の比がコンテナ貨物流動調査より算出されるので、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。

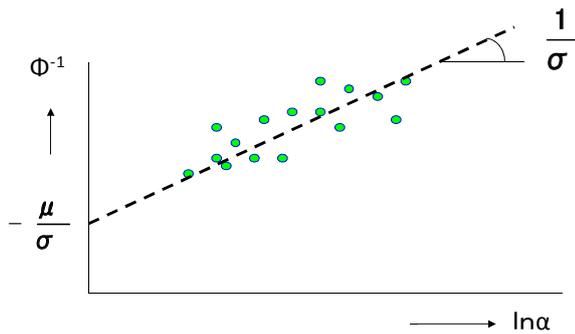


図-2 パラメーターの推計

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図-2のとおり最小二乗法によりパラメーターを算出することとなる。

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ことから、既報と同様に時間価値の代表値として対数正規分布の中央値(式(6))を用いて算出している。

$$\alpha = \exp(\mu) \quad (6)$$

3. 分析に用いたデータ・設定の概要

本章では、今回の分析においてルート毎の貨物量実績値の算定に用いた平成20年のコンテナ貨物流動調査や犠牲量の設定の際に用いた陸上・海上輸送、港湾内やトランシップなどの所要時間や費用算出に用いた各種データについて概要を説明する。

3.1 全国輸出入コンテナ貨物流動調査の概要

全国輸出入コンテナ貨物流動調査は、我が国の国際海上コンテナ貨物の流動実態を把握し、効率的な国際海上コンテナ輸送体制を確立するための基礎資料を得ることを目的として、国土交通省が主体となって実施している調査である。昭和45年以降、およそ5年毎に調査が実施され、最新のデータは平成20年に調査されたデータであり、既報と同様にその最新データを用いてルート毎の実績値から貨物量の比率を算出した。

調査対象貨物は、その期間中に全国の税関において輸出入申告された海上コンテナ貨物であり、関西や特に九州で取扱量の多い、国際フェリーや国際RORO船で輸送される貨物も含まれている。ただし、少額貨物(1品目20万円以下)、軍関係貨物、コンテナ本体及びその付属品等の貨物は調査の対象から除外されている。

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。

コンテナ貨物流動調査で把握できるルートの情報を大まかに示すと、輸出、輸入のそれぞれについて、以下のとおりとなる(図-3)。

○輸出コンテナ貨物

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

○輸入コンテナ貨物

仕出(原産)国→最初船積港→海外仕出港→国内船卸港→(輸送機関)→コンテナ取出場所→国内消費地



図-3 輸出コンテナの調査対象経路(イメージ)

3.2 時間・費用算出の基データ、地域設定などの概要

本節では、各ルートの犠牲量の設定の際の基礎情報となる費用、時間の設定に用いた各種データの概要及び分析の対象とした地域の設定等について説明する。

(1) 経由する港湾、分析地域等の設定

以下では、貨物のルート設定の際に必要な貨物が発地から着地まで運ばれる間に経由することとなる国内港湾、トランシップされる海外港湾、今回の分析の対象とした貨物の輸出入相手地域の設定や考え方について説明する。

a) 国内の代表港の設定

貨物は各県から国内のいずれかの港を経由して、目的地に運ばれることとなる。この際、実際に経由する国内の港湾は国際海上コンテナを取扱うすべての港湾であるが、本分析では、既報と同様に東京湾、伊勢湾、大阪湾、北部九

州の4地域及びそれ以外の地域には各都道府県に1港の合計35港配置することとした(図-4)。上記の4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く、一括して扱うこととしている。また、各都道府県の代表港の設定においては、各消費・生産のコンテナ貨物の実際のルート距離の誤差をできるだけ小さくするため、①コンテナ貨物の取扱量の多い港湾、②都道府県内の各地域からの距離に大きな偏りが生じない港湾(県内の中心に近い港湾)の2つの要素を考慮して設定している。

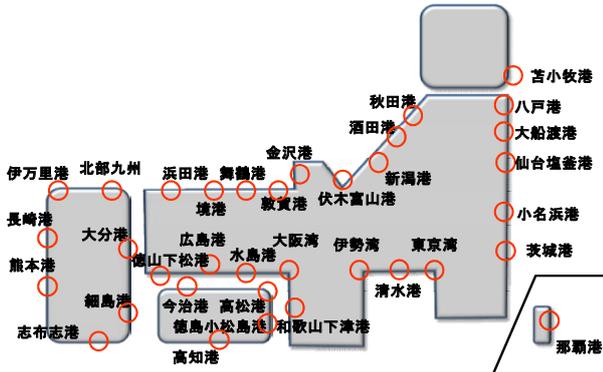


図-4 国内の経由港湾設定

b) 分析地域と海外フィーダー港の設定

今回のモデル構築は、東アジア地域を対象として行った。既報においては、東アジア地域でコンテナ貨物量の多い中国、韓国、台湾、タイなどの一部の地域を対象にモデル構築を行っているが、今回はその地域に加え、経済発展が著しく、今後、我が国とのコンテナ貨物の輸出入の増加が見込まれることが想定されるASEAN10カ国をすべて対象地域に含めることとした。表-1に今回と既報の対象国の一覧とコンテナ貨物流動調査での貨物量シェアを示す。

表-1 既報と今回の対象地域の輸出入コンテナ貨物量シェア

	仕向・原産国	貨物量シェア	今回	既報
中・韓・台	中国	38.35%	○	○
	香港	1.91%	○	○
	韓国	4.36%	○	○
	台湾	3.50%	○	○
ASEAN	タイ	5.91%	○	○
	インドネシア	3.62%	○	
	マレーシア	2.36%	○	
	ベトナム	2.09%	○	
	フィリピン	1.42%	○	
	シンガポール	1.06%	○	
	ミャンマー	0.10%	○	
	カンボジア	0.04%	○	
	ブルネイ	0.01%	○	
	ラオス	0.01%	○	
	シェア合計		64.73%	54.03%

これにより東アジア地域で我が国との輸出入コンテナ貨物

量シェアが1%以上のすべての国を対象国に加えることとなり、我が国全体の輸出入コンテナに占める東アジア地域の対象国のシェアは約54%から65%となった。(対象地域は図-5のとおり。)

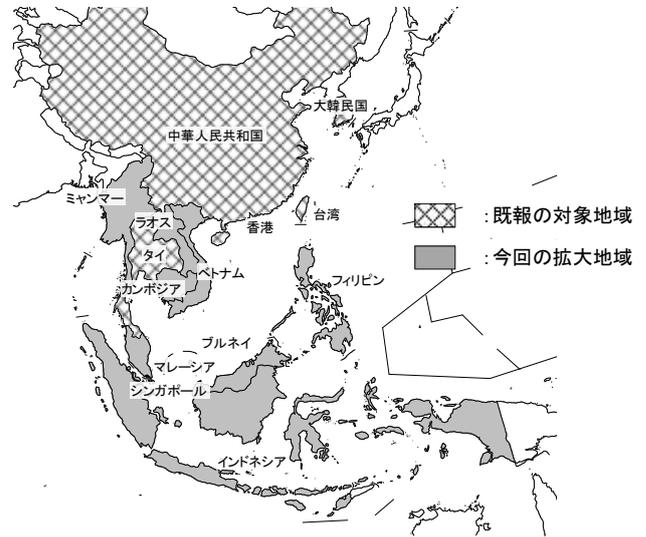


図-5 東アジアモデルの対象国

また、計算の際には、拡大した対象国をいくつかの地域に分割あるいは統合して計算を行った。地域区分については、貨物量が多く南北にも長い中国は3分割し(図-6)、一方で貨物量が比較的少なく、地理的に近接している東南アジア諸国は①ベトナム・ラオス・カンボジア・フィリピン、②タイ・ミャンマー、③インドネシア・マレーシア・ブルネイをそれぞれまとめて3地域(図-7)として扱うこととした。

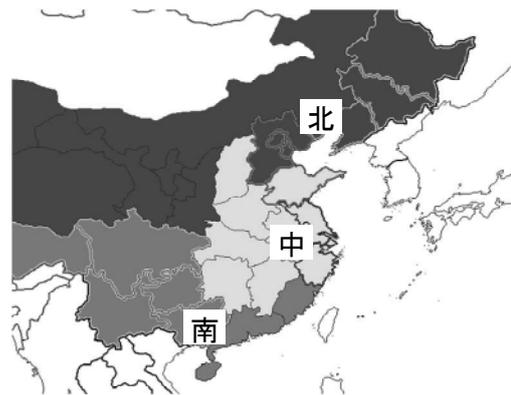


図-6 中国の3地域区分

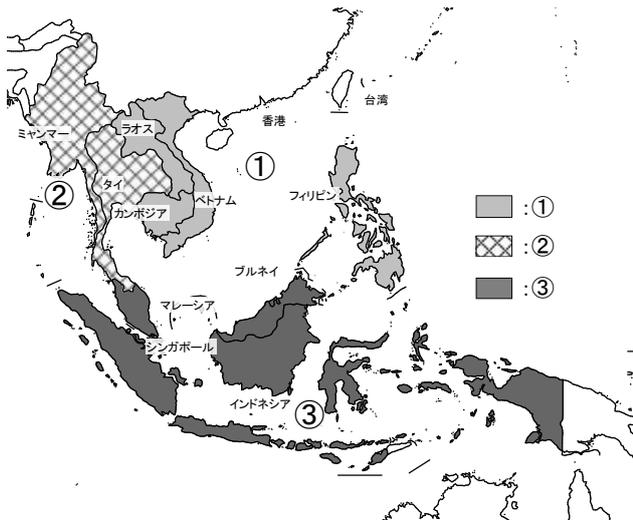


図-7 東南アジアの複数国の3地域の区分

代表港についても、貨物の取扱量が多く含まれる国間に距離的に偏りが生じないことを考慮し、選定した。貨物量分析における地域区分と代表港の設定は表-2のとおり。

表-2 東アジアの地域区分と代表港の設定

国名	地域の内訳	代表港
中国	北 遼寧・吉林・黒龍江・北京・天津・河北・山東内・蒙古・陝西・甘肅・青海・寧夏・新疆	大連
	中 上海・江蘇・浙江・山西・安徽・江西・河南・湖北・湖南	上海
	南 福建・広東・海南・広西・重慶・四川・貴州・雲南・チベット	香港
韓国	—	釜山
台湾	—	高雄
タイ・ミャンマー	—	レムチャパン
シンガポール	—	シンガポール
インドネシア・マレーシア・ブルネイ	—	タンジュンプリオク
ベトナム・ラオス・カンボジア・フィリピン	—	ホーチミン

対象地域の拡大に伴い、輸送ルートの変異も大きく変化するため対応の必要がある。以下に主要地域別の直送貨物の海外フィーダー貨物の割合を示す(表-3, 図-8)。表-3に示すとおり、既報で対象地域とした中国、韓国、台湾と我が国の輸出入コンテナ貨物は、そのほとんどが海外の港湾で積み替えされないダイレクト貨物であることが分かる。また、対象地域のなかで比較的海外フィーダー率の高いタイでもその割合は15%程度となっていたため、既報のモデルはダイレクトで輸送されるルートのみを考慮するモデルとしていた。一方で今回の対象地域の拡大により追加される地域と我が国の海外フィーダー率は、ベトナム・ラオス・カンボジア・フィリピンでは約39%、インドネシア・マレーシア・ブルネイは約46%などのように3割を超える地域が多く存在する。

表-3 地域別のコンテナ貨物量と海外フィーダー貨物量の割合

	H20		
	⑦総貨物量	⑧フィーダー貨物量	⑨フィーダー率(⑧/⑦)
中国	5,375	257	4.8%
韓国	581	2	0.3%
台湾	467	15	3.3%
タイ・ミャンマー	802	125	15.6%
シンガポール	142	20	14.2%
インドネシア・マレーシア・ブルネイ	798	366	45.9%
ベトナム・ラオス・カンボジア・フィリピン	475	187	39.4%
その他アジア	589	431	73.3%
アジア小計	9,229	1,404	15.2%
欧州	1,430	354	24.7%
北米	1,823	254	13.9%
南米	350	144	41.2%
大洋州	304	94	30.9%
アフリカ	206	153	74.2%
合計	13,342	2,403	18.0%

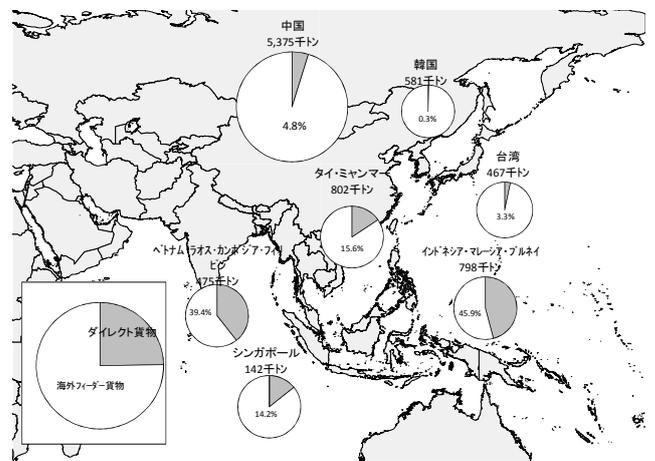


図-8 地域別のコンテナ貨物量と海外フィーダー貨物(H20)

そこで今回のモデル構築では、ダイレクトでの輸送ルートのほかに、海外フィーダー輸送されるルートを設定し、分析を行うこととした。

海外フィーダー港の設定については、積み替え貨物量が多い釜山港、香港港、高雄港、シンガポール港、上海港を海外フィーダーの代表港に設定し、分析対象ルートに加えることとした。(図-9)。

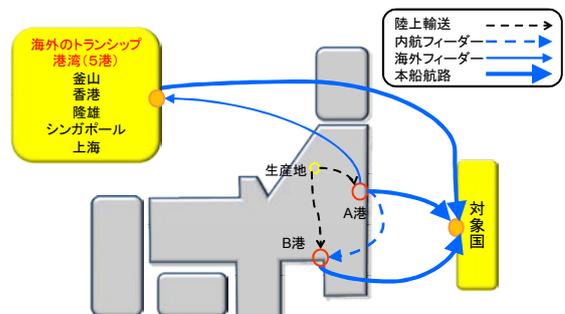


図-9 フィーダー輸送を含む輸送ルートのイメージ図

以上より、今回分析できるルートの候補は、我が国からの輸出コンテナ貨物を例にとると、1つの地域について生産地である都道府県あたり国内の35港を1stポート、国内35港+海外5港の40港を2ndポートとする1,400ルートとなり、既報のアジアモデルの各都道府県あたり国内35港からのダイレクト輸送である35ルートのみを考慮したモデルから分析対象範囲が大きく広がった。(表-4)

表-4 各県とアジア地域との輸送ルート候補数

発地		1stポート		2ndポート		着地	ルート数
生産県	→ (陸送)	○国内35港	⇒	○国内35港	⇒	対象地域	1,225
				○海外5港			⇒
合計							1,400

なお、ここで言う1stポートとは、輸出の場合、国内で初めてコンテナ船に積み込まれる港湾であり、2ndポートとは、1stポートから国内外のフィーダー輸送を経由した後、最後に積み替えられる港湾となる。(輸入の場合は逆に国内外のフィーダー輸送を経由した後、最後に貨物が卸される港が1stポートとなる)また、ダイレクト輸送の場合には1stポートと2ndポートは同一の港湾となる。たとえば仙台塩釜港から横浜港に内航フィーダー輸送され、東京湾から中国に輸出された場合には、1stポートは仙台塩釜港、2ndポートは東京湾となる。また、2回のフィーダー輸送を経由した場合(上記で東京湾からさらに釜山港を経由して中国に輸出された場合)は、今回は1stポートを東京湾、2ndポートを釜山港として設定し、海外フィーダーの輸送実績を優先的に扱うこととした。(内航フィーダ輸送の実績として考慮しなかった2回フィーダー輸送貨物の割合を海外フィーダー輸送割合の多いインドネシアで確認すると、輸出入貨物ともに1%未満。)

(2)時間、費用等犠牲量の設定に用いた各種データ

犠牲量は前章で説明のとおり、費用(C)を定数項、時間(T)を傾きとする時間価値 α の関数であり、ルート毎にそれぞれ要する時間と費用を設定する必要がある。犠牲量の設定にあたっては既報では、主に「港湾投資の評価に関する解説書2004」¹⁰⁾の輸送コストなどのデータを用いていたが、使用データとしてやや古く、貨物の実績データとして分析に用いた平成20年のコンテナ貨物流動の実態と乖離していることが懸念された。このため今回のモデル構築では時間、費用の設定に関わるヒアリングや各種資料等を利用してそのデータを更新することとした。

また、国際フェリーや国際RORO船で輸送されるコンテナ

貨物については、実際には通常のコンテナ船とは要する時間や費用等は異なっており、今回は航路便数については、国際フェリーや国際RORO船のサービス水準を踏まえたものとした。一方、海上速度や港湾料金等については、通常のコンテナ船と同じサービス水準で輸送されることとして計算を行った。

a)時間の設定

時間は大きく分けて、①陸上輸送時間、②海上輸送時間、③港湾における諸時間、④船舶の待ち時間である。①陸上輸送時間については、国土交通省の総合交通分析システムNITASを利用し、各都道府県の県庁所在地を各県の代表地点とし、そこから前述の代表港までの距離を算出した上で、その距離を、一般道34.5km/h、高速道73.1km/hの今回データ更新した速度で除して算出した。②海上輸送時間については設定した国内の代表港から行先の港湾までの(内航フィーダーであれば国内の輸送先の港、海外フィーダーもしくはダイレクトであれば海外フィーダー港または対象国の代表港までの)距離を算定¹¹⁾し、それぞれの航路の代表的な船舶(海外フィーダー船及び本船は地域によって500TEU~2,000TEUのコンテナ船(表-5)、内航フィーダー船は1000DWTのコンテナ船(表-6))の速度で除して算出した。船型毎の速度は内外航船ともに近年の動向に従い、新データを用いた。

表-5 コンテナ船の速度・費用

船型(TEU)	速度(ノット)	コスト式(円/TEU) ※dは日数
500	16.3	C=8,170+11,170*d
1,000	18.5	C=7,530+10,190*d
2,000	20.7	C=5,720+8,150*d

表-6 内航フィーダー輸送に用いた速度・費用

船型(DWT)	速度(km/h)	コスト式(円/個) ※Tは時間
1,000	27	C=18,700+640*T

※複合一貫輸送に対応した内貿ターミナルで取り扱うコンテナは12ftコンテナを想定している。

③港湾における諸時間の内訳は、通関時間、本船荷役時間、フィーダー輸送の際の積卸時間等であり既報との変更点はない。通関時間については財務省関税局の調査¹²⁾を参考に輸出入ともに48時間を設定、内航フィーダー輸送の港湾諸時間は、フェリーとRORO船・コンテナ船の貨物積卸時間の平均をとって1.5時間を設定、海外フィーダーの場合は積卸や待機等に要する総時間として、24時間を設定した。

④の船舶の待ち時間の算出についても既報と同様に内航フィーダー、海外フィーダー、本船ともにそれぞれの港湾

の航路便数を求め^{13), 14)}以下の式により平均待ち時間を算出した。

$$T_w = \frac{7 \times 24}{Fr} \times \frac{1}{2} \quad (7)$$

T_w : 待ち時間 (時間), Fr : 航路便数 (便/週)

b) 費用の設定

費用は大きくは、①陸上輸送費用、②海上輸送費用、③港湾諸費用に分けられる。単価については20FTコンテナ1個あたりの費用を想定している。まず①陸上輸送費用については、陸上輸送時間の場合と同様にNITASで算出した距離を、一般道及び高速道路のそれぞれの利用率¹⁵⁾に従って費用を算出しており、既報と同様とした。②海上輸送費用については、時間設定の場合と同様に主要港湾間距離を設定し、地域によって500TEU～2,000TEUのコンテナ船の輸送費用により算出しており、内航フィーダーについても1,000DWTのコンテナ船の輸送費用を用いて算出した(表-5, 6)。これらの費用については最新データへの更新を行った。③入港料、トン税、パイロット料、タグボート料、荷役料などから構成される港湾諸費用は、既報からの変更はない。

○ダイレクト輸送

時間 T	陸送時間	本船待時間	通関+積み時間	本船海上輸送時間
費用 C	陸送費用	港湾諸費用	本船海上輸送費用	

○海外フィーダー輸送

時間 T	陸送時間	F船待時間	通関+積み時間	海外F船海上輸送時間	海外F積替え時間	本船海上輸送時間
費用 C	陸送費用	港湾諸費用	海外F船海上輸送費用	海外F積替え費用	本船海上輸送費用	

○内航フィーダー輸送

時間 T	陸送時間	内航F船待時間	内航F積み時間	内航F船海上輸送時間	卸し+通関+積み時間	本船待時間	本船海上輸送時間
費用 C	陸送費用	港湾諸費用①	内航F船海上輸送費用	港湾諸費用②	本船海上輸送費用		

(F船はフィーダー船)

図-10 時間・費用の設定項目概要

4. モデルの再現性の検証

本章では前章までの設定条件や基礎データに基づいて、犠牲量モデルの時間価値分布を推計し、コンテナ貨物の輸送ルートや貨物量等の再現性の検証、条件変化による輸送ルートの変化等について分析を行う。

4.1 時間価値分布

(1) 時間価値分布

時間価値分布の推計においては、今回の対象地域のそれぞれについて計算しているが、1地域のみではルートの実

績貨物が少なく、時間価値の精度が低くなってしまいうものもあったため、対象地域毎に算出した結果を東アジア全域でまとめ、回帰分析により時間価値分布を算出した。

今回の東アジア地域全体のコンテナ貨物の時間価値を求める際の候補となるルートは、輸出入それぞれ1都道府県あたりで、1st ポート国内35港×2nd ポート40港(国内35港+海外5港)×対象9地域=12,600ルート、全都道府県では12,600ルート×47都道府県=592,200ルートとなる。

a) 輸出貨物

輸出貨物について各ルートの犠牲量より求められた交点である境界時間価値の値の対数を横軸にとりルートの貨物量の比率から求められた標準正規累積分布関数の逆関数の値を縦軸として9地域分の結果すべてをプロットし、直線回帰した結果が図-11である。

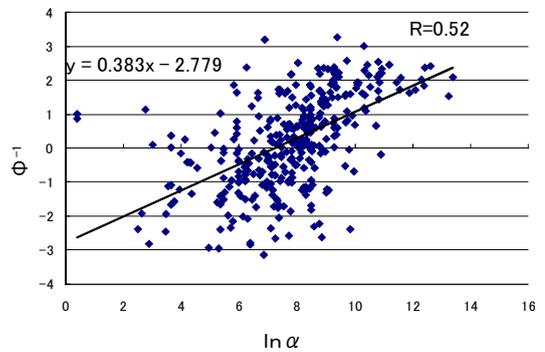


図-11 輸出コンテナ貨物の時間価値推計結果

回帰に用いた交点の数は369、相関係数は0.52、標準正規分布の平均μは7.23、標準偏差2.61となった。

b) 輸入貨物

次に輸入貨物について同様に推計結果を図-12に示す。交点の数は381、相関係数は0.54、標準正規分布の平均μは7.05、標準偏差2.55となった。

輸入貨物では、相関係数も0.54と輸出貨物より良好な相関関係を得て推計することができた。

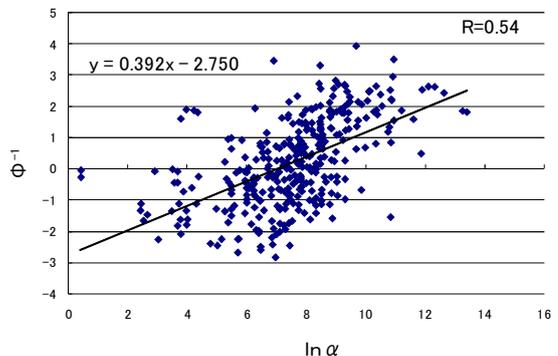


図-12 輸入コンテナの時間価値推計結果

c)まとめ

輸出入貨物の時間価値推計の試算結果を表-7 にまとめて示す。また、この推計結果から求められた時間価値分布の確率密度関数は図-13 のとおりである。

これらの数値から求められる平均時間価値（中央値）の試算結果は、輸出 1,380 円/h・TEU、輸入 1,155 円/h・TEU となり（表-7）、既報の輸出 1,590 円/h・TEU、輸入 1,233 円/h・TEU から輸出貨物は約 200 円/h・TEU、輸入貨物は約 100 円/h・TEU 貨物の平均時間価値が減少する結果となった。これは、今回のモデルの対象地域が広がり貨物の時間価値が多様化したことや、時間価値が比較的高いと推測されるダイレクト貨物以外のフィーダー貨物も対象に時間価値分布の算出を行ったことが大きく影響していると思料される。

表-7 アジア 航路時間価値試算結果

		輸出	輸入
平均	μ	7.23	7.05
標準偏差	σ	2.61	2.55
相関係数	R	0.52	0.54
データ数		369	379
平均時間価値 (円/h・TEU)	α	1,380	1,155

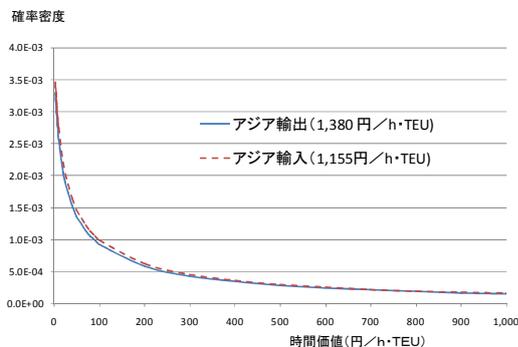


図-13 アジア 航路の時間価値の確率密度関数

4.2 輸送ルート、貨物量の再現性

上記で推計された時間価値分布に基づき、貨物の時間価値に応じて犠牲量が最も小さくなるルートに貨物を配分して、輸送ルート毎の貨物量を算出し、モデルの再現性の検討を行う。輸出の場合を例にとると、貨物は目的地に到着するまでに各都道府県から国内35の1stポート国内35もしくは海外5の2ndポートを経由する候補ルートがあるため、各県で生産された貨物を時間価値に応じて配分し、それを港湾毎に集計するなどしてコンテナ貨物流動調査の実績値と比較した。

(1) 総貨物

まず、ダイレクト、内航フィーダー、海外フィーダーなどのすべての貨物を対象とするすべての地域について国内35港と海外フィーダー港の5港で集計し、モデル推計値と実績値との比較を行った（地域毎の貨物量グラフは付録A参照）。図-14は輸出貨物、図-15は輸入貨物でモデル推計値と実績値を並べて表示している。貨物の少ない港湾の貨物及び海外フィーダー港の貨物についても再現されているが、輸出入ともに伊勢湾の貨物が少なく推計され、大阪湾の貨物が大きく推計される傾向にある。これは大阪湾と伊勢湾は距離的に近接していること、大阪湾には大阪港、神戸港という大港湾が2つ存在し、設定航路便数が多いのに対し、伊勢湾には名古屋港と並立するような大きな港湾が他にないため、湾内の航路便数の差異による船舶待ち時間の差によりモデルでは大阪湾に貨物が多く流れる傾向が表れたと考えられる。

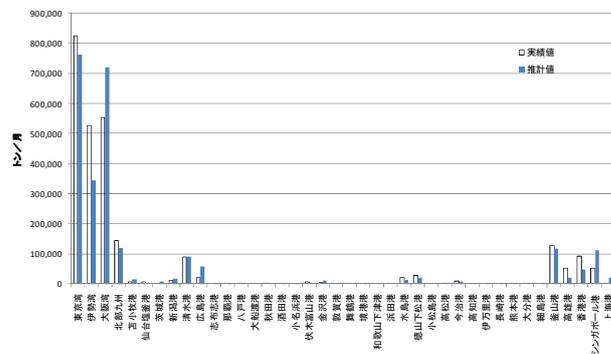


図-14 総貨物の2ndポートでの貨物量集計結果（輸出）

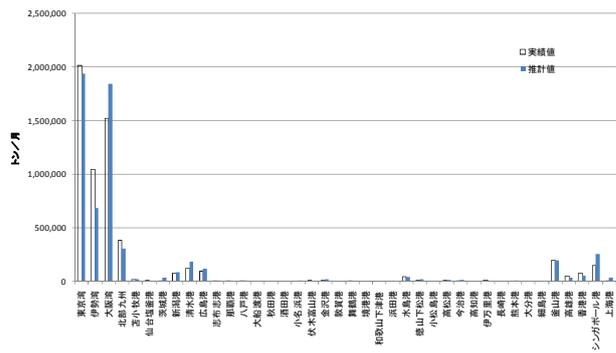


図-15 総貨物の2ndポートでの貨物量集計結果（輸入）

(2) 海外フィーダー貨物

今回のモデルでは、東南アジア諸国で多い海外フィーダー貨物の分析を行うことも視野に、ルートを詳細に設定しており、海外フィーダーされる貨物について国内のいずれの港を経由したか、いずれの都道府県の貨物が海外フィー

ダーされているかについて、モデルによる推計値と実績値の比較検討を行った。

全貨物に占める海外フィーダー貨物の割合は、輸出貨物では、実績値が12.5%，モデルによる再現値が12.8%，輸入貨物については、実績値が8.2%，再現値が9.5%と海外フィーダー貨物の総量に関しては、ある程度の再現性が確保できた。

次に海外フィーダー貨物が国内の35港いずれの港を経由して輸出入されたかを分析するため、海外フィーダー貨物について1stポートで集計したものを図-16, 17に示す。

全体的には、フィーダー実績の少ない港湾も含めて比較的良好な再現性となった。一方で、海外フィーダーの実績貨物の多い港湾のモデル推計値が少なく、海外フィーダー貨物の少ない港湾の推計値が大きく算出される傾向となった。

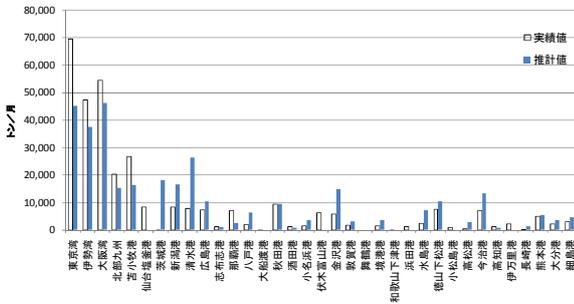


図-16 海外フィーダー貨物の1stポートでの貨物量集計結果（輸出）

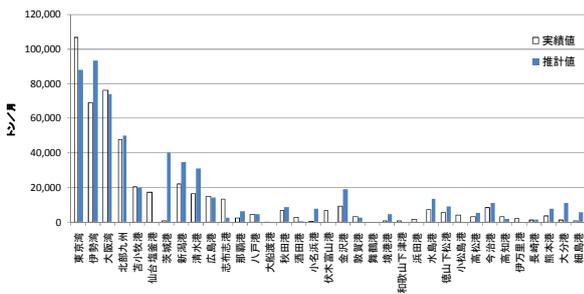


図-17 海外フィーダー貨物の1stポートでの貨物量集計結果（輸入）

次に海外フィーダー貨物について、輸出貨物は貨物の生産された都道府県、輸入では貨物が消費される都道府県別に貨物の集計を行った結果を図-18, 19に示す。これによれば、上記の港湾別に集計した結果とも関連しており、1stポート集計結果で推計値が大きく算出された茨城港のある茨城県は、やはり同様に実績貨物より大きく推計値が算出されており、逆に実績値はあるもののモデル推計ではほと

んど算出されなかった仙台塩釜港の所在県である宮城県は、同様にモデル推計値があまりでない結果となった。

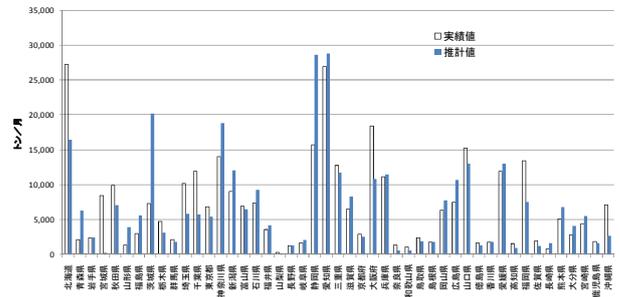


図-18 海外フィーダー貨物の生産地別貨物量集計結果（輸出）

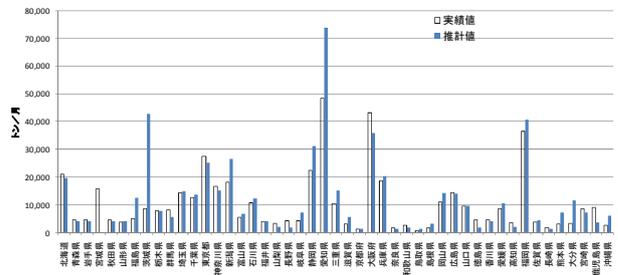


図-19 海外フィーダー貨物の消費地別貨物量集計結果（輸入）

(3) 内航フィーダー貨物

全貨物に占める内航フィーダー貨物の割合は、輸出貨物で実績値 0.78%，モデル推計値 1.9%，輸入貨物で実績値 0.3%，モデル推計値 1.0%と推計値が過大となった。また、海外フィーダー貨物と同様に、フィーダー輸送され、国内で最終的に積まれた 2nd ポート（輸出の場合、輸入の場合は国内で最初に貨物が卸された港）で集計（図-20, 21）するとともに海外フィーダー貨物の場合と同様に内航フィーダー輸送される貨物が生産・消費された都道府県別に集計（図-22, 23）を行った。

港湾別の集計では、輸出入ともに東京湾、大阪湾の貨物が、県別の集計では、特に宮城県の推計貨物が過大推計となった。

内航フィーダー貨物については、総貨物に占める割合が輸出入ともに 1%に満たない量であり、そのルート貨物についてモデルで高い再現性を得ることは困難ではあったものの貨物量の多寡の傾向などはとらえられており、一定の再現性の向上が見受けられた。

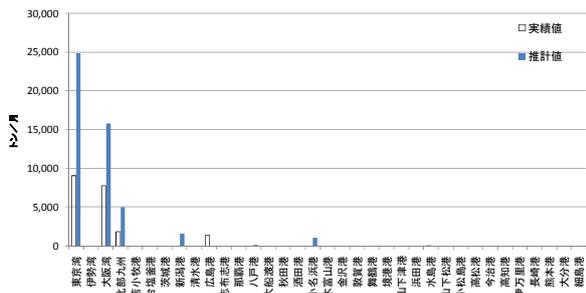


図-20 内航フィーダー貨物の2ndポートでの貨物量集計結果（輸出）

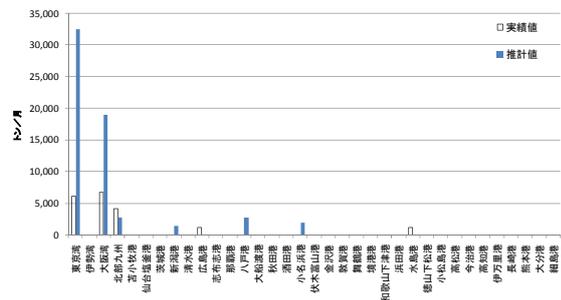


図-21 内航フィーダー貨物の2ndポートでの貨物量集計結果（輸入）

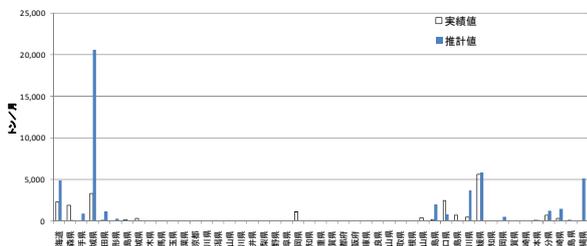


図-22 内航フィーダー貨物の生産地別の貨物量集計結果（輸出）

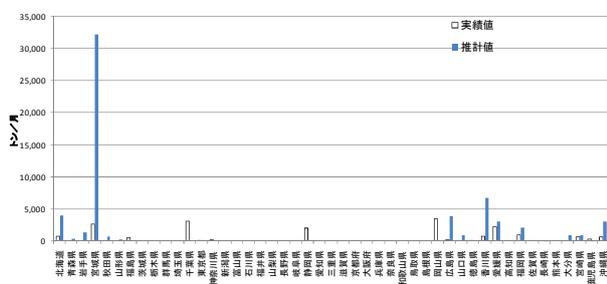


図-23 内航フィーダー貨物の消費地別の貨物量集計結果（輸入）

5. 積卸量を考慮した輸送ルート分析への拡張

本章では、各港でのコンテナ貨物積卸量を考慮したフローに拡張し、船社の寄港行動を簡便に取り込んで貨物量変化を分析できるようにしたモデルによる貨物量変化について述べる。具体的には、各港での取扱貨物量と航路便数からコンテナ船の1寄港あたりの積卸量を考慮し、その多寡に応じて航路便数を増減させ、その後のサービス水準の変更による貨物量の変化等について検証する。

5.1 分析フロー

(1) 計算の流れ

ここでは、積卸量を考慮して便数を増減させる計算フローの概要について述べる。

まず、これまでの計算順序に従い、①各ルートの犠牲量を設定、②犠牲量が最小となるルートを選択、③貨物の輸送ルートに基づき時間価値分布を推計、④時間価値分布の推計結果に基づき、生産地の貨物を目的地までのルートで犠牲量最小のルートに配分し、港湾取扱貨物（暫定値）の算出までを行う。

次に寄港数チェックブロックとして、①港湾毎に集計した貨物量（暫定値）と犠牲量設定の際に用いたコンテナ船の便数を利用して、積卸量（TEU/便）を算出、②積卸量が基準値以上ならば、便数を1便追加、基準値以下ならば、便数を1便減少させる。更新された航路便数では、そのルートに関係する犠牲量が増加することとなるため、再度犠牲量を設定し直し、貨物輸送ルートの再計算を行い、積卸量の基準値内に収束するまで計算を繰り返すという流れとなる。以上の計算フローを図-24に示す。

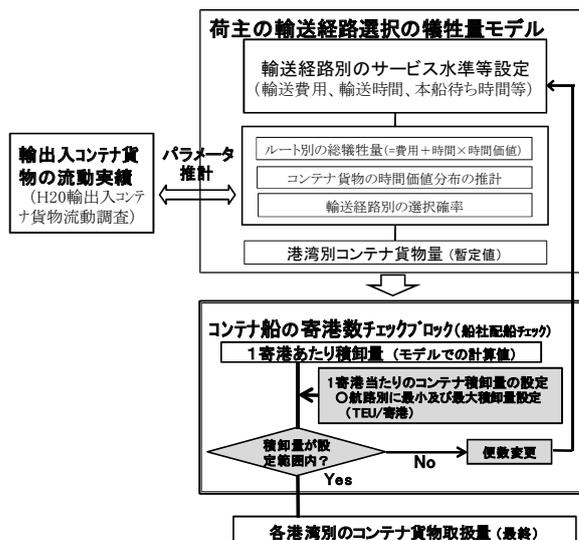


図-24 積卸量を導入した貨物量推計フロー

(2) 積卸量の条件設定

積卸量の条件設定の概要は以下のとおり。参考文献16)には、航路別にコンテナ積卸率の低い船舶から順に昇順に並べて10%, 25%, 50%, 75%, 90%をカバーする値が掲載されているため、今回は積卸量が少なく、減便する基準として、10%値、積卸量が多く、増便する基準として90%値を参考に各地域に投入されるコンテナの船型等を考慮して、表-8のとおり設定して用いることとした。

表-8 対象地域別の積卸量設定値

国名	TEU/便	
	積卸量基準 (増便)	積卸量基準 (減便)
中国	300	20
韓国	200	20
台湾	500	50
タイ・ミャンマー	500	50
シンガポール	500	50
インドネシア・マレーシア ブルネイ	500	50
ベトナム・ラオス カンボジア・フィリピン	500	50

実際の計算に際しては、輸出入別計算を行うことから、各地域の輸出入割合に応じた割合で1便当たりの積卸量を案分して設定値とした。また、貨物実績の基礎データは平成20年のコンテナ貨物流動調査であり、積卸量は、TEUでなくフレート・トンで算出されるため、TEUあたりのトン数で換算し、基準値との比較を行った。

5.2 貨物量の変化と検証

本節では積卸量を踏まえ、積卸量に応じて便数を増減させ、新たな犠牲量に応じて貨物をルートに再配分して集計した貨物量の変化について検証する。また、各港の積卸量に応じて変化した各地域の航路便数の増減も示す。

(1) 国内取扱貨物量の変化

前節の積卸量の設定に基づき、便数を増減させた後の各港湾の貨物量を輸出の場合は最終船積港(輸入の場合は最初に卸す港、2ndポート)で集計し、積卸量を考慮しないモデルの推計値と比較したグラフを輸出入別に示す。(図-24, 25)

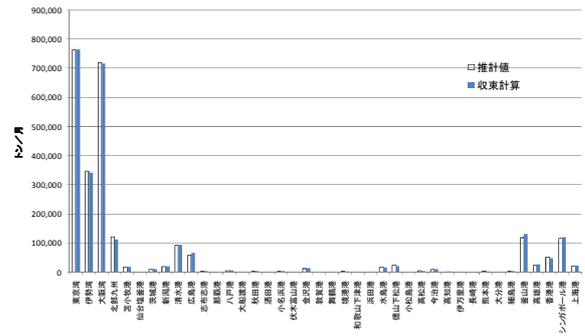


図-24 積卸量を導入した貨物量変化 (2ndポート輸出)

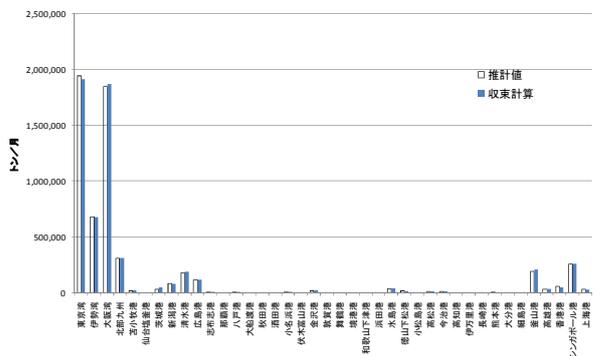


図-25 積卸量を導入した貨物量変化 (2ndポート輸入)

貨物量が多い港湾については、輸出入ともに貨物量の大きな変化はないが、全体的な傾向として国内港湾が減少、海外のフィーダー港が増加の傾向にある。積卸量の考慮によるサービス水準の変化によって、輸出貨物全体では、5.1%、輸入貨物では1.7%の海外フィーダー貨物の増加となった。

貨物量が少ない港湾については、貨物量が積卸量の設定値に満たないため、便数が減便となり、貨物を減らしている港湾も見受けられた。国内の港湾のうち積卸量を考慮する前から貨物があった港湾について貨物の増減割合を図に示す。まず図-26は輸出貨物についてであるが、貨物量の多い港湾については、貨物の増減率は大きくないが、貨物量が少ない港の貨物量の増減率は大きく、特に九州ではそれぞれの地域別に設定された積卸量の基準値以下で航路便数が0となったため、3港の貨物が0、熊本港や志布志港でも当初設定の便数が積卸量のために減便となり、最終的には6、7割の貨物量になる計算結果となった。

次に輸入貨物について同様に図-27に示す。輸入についても、貨物量の多い港の変化率の増減は大きくないなどの

傾向は、輸出の場合とほぼ同じ、増減率の大きな港湾も輸出の場合と多くの港湾が重なる結果となった。

一方で、輸出では、酒田港の減便により、山形県などの貨物を集めて貨物増となっていた秋田港では、輸入では便数減によるサービス水準低下で貨物が無くなるほか、九州地方の便数減少によるサービス水準の低下による貨物量の減少が総じて輸出の場合ほど大きくなかったなどの傾向が見られた。

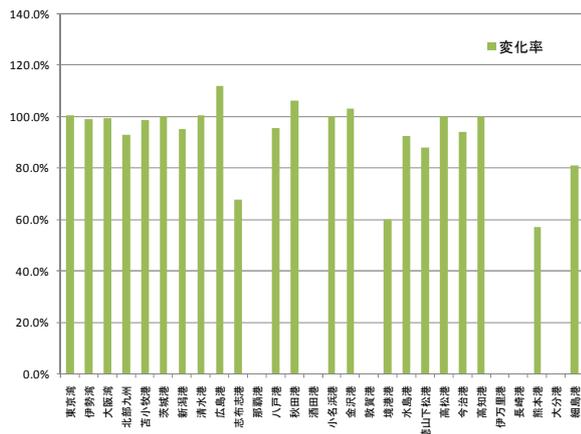


図-26 積卸量の考慮の有無による貨物変化率（輸出）

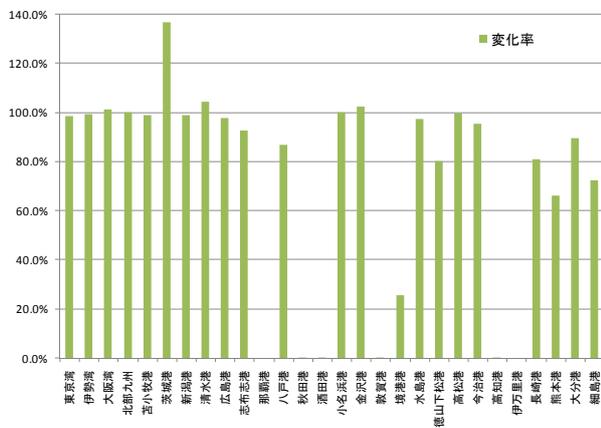


図-27 積卸量の考慮の有無による貨物変化率（輸入）

(2) 航路便数および積卸量の変化

収束計算を行うことにより、積卸量の設定値以上の貨物がある港湾は便数を増加し、逆に設定値以下の場合には減少させることにより、収束計算終了後には、各港の航路便数が変化することとなる。

今回の設定では特に貨物量の少ない港湾において、設定値を下回り、減便されるケースが多く、貨物量の多い港湾は、設定値の範囲内で便数の変化のない場合がほとんどで

あった。

今回は東アジアを9地域に分割して計算を行っており、それぞれの地域について、代表港湾からの便数が設定されており、ここですべてに言及することはしないが、9地域のうち我が国と最も輸出入貨物量の多い中国の中地域の輸入貨物に関する航路便数と積卸量の変化を紹介する。

まず、本地域との国内35港の航路便数については、茨城港、境港、伊万里港の3港について変化があり、茨城港は1便から2便への1便増加、境港、伊万里港はそれぞれ当初の0.5便、1便が0便となった。これに伴い、茨城港の輸入貨物の卸し量は270TEU/便から208TEU/便へと変化した（図-28）（取扱貨物総量は増加するが増便のため船舶あたりの貨物の卸し量は減少）。

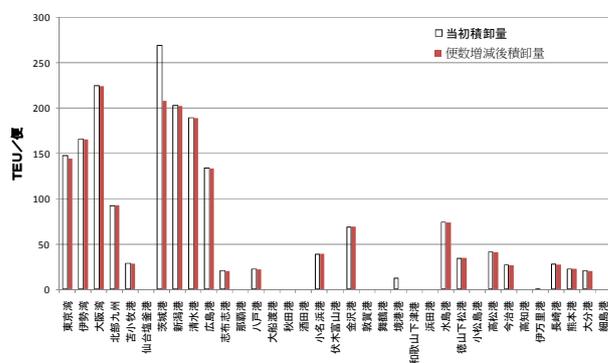


図-28 積卸量の考慮の有無による積卸量変化（中国（中地域）輸入）

一方、茨城港の便数増によるサービス水準の向上に伴い、付近の東京湾の貨物量も変化し、148TEU/便から145TEU/便への卸し量減少が見られた。また、便数が減少した境港、伊万里港はそれぞれ航路便数が0となり、それに伴い、貨物の取扱量も無くなる結果となった。

(3) 海外フィーダー貨物の変化

次に積卸量考慮による収束計算の前後での海外フィーダーの貨物量の変化について検証する。

貨物の集計は海外フィーダーされる前に経由する国内の港別（輸出の場合、輸入の場合はフィーダー港を経由した後に経由する国内の港別）に集計し、便数変化前後の取扱量の増減率を算出した。

図-29に輸出貨物の集計結果を示す。海外フィーダー貨物の割合が増加している港湾は九州の港が大きくなった。前項の結果も踏まえると、九州で積取量の基準を満たさず便数が低下したことにより、海外フィーダーされる貨物が大きく増加する結果となって表れている。

次に輸入について図-30に示す。輸入については、九州

の港湾以外にも、境港、徳山下松港などの海外フィーダー貨物の増加率が大きくなった。また清水港は海外フィーダー貨物が2割以上減少しているが、前項の輸入貨物の収束計算前後の貨物の増加量とほぼ同程度となっており、海外フィーダーされていた貨物が積卸量が大きいことにより、増便され、サービス水準が向上したことにより、海外フィーダー港を経由せず、ダイレクト輸送されるルートに貨物がシフトしたことが予測される。

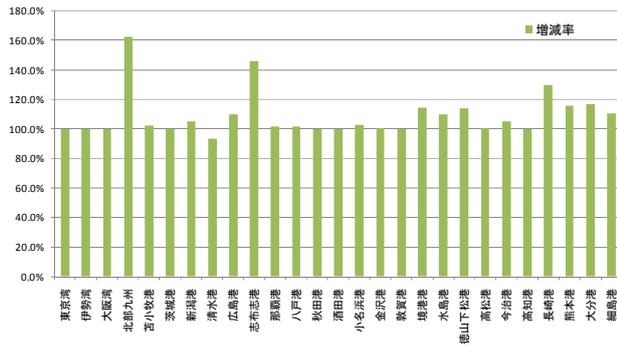


図-29 積卸量の考慮の有無による海外フィーダー貨物の変化率（輸出）

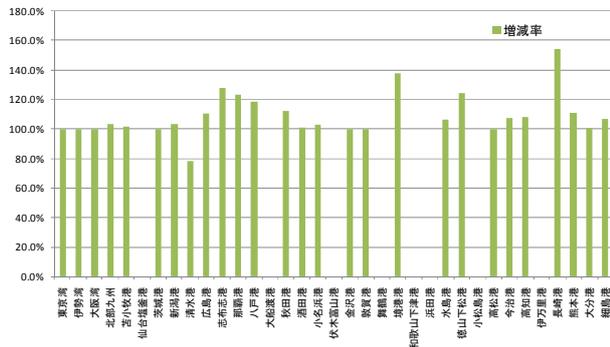


図-30 積卸量の考慮の有無による海外フィーダー貨物の変化率（輸入）

6. 結論

本分析では、今後我が国との貨物量の増大が最も見込まれる東アジア地域に焦点をあて、東アジア地域全体を対象とした分析を可能とする地域の拡大及びそれに伴うルートの多様化に対応した設定ルートの詳細化を行い、種々の貨物の輸送ルートの詳細分析を可能とするモデルを構築した。

具体的には、既報のアジアを対象とした犠牲量モデルについて、対象地域を中国、韓国、台湾、タイから、ASEAN10カ国をすべて含む地域に拡大した。また、それに伴い、比率が上昇しているフィーダー貨物に対応するため、国内外

のフィーダー輸送ルートの分析を可能とするための海外5港、国内35港のフィーダー港を設定し、設定ルートの多様化を行った。

さらに新たに船社の寄港行動を考慮した計算フローとするため、コンテナ貨物の港湾毎の取扱量と航路便数から積卸量を算定し、実績値から設定した積卸量の踏まえた航路便数の増減を行い、それに基づくサービス水準の変化による貨物輸送ルート変化の分析を行うことを可能とした。

対象地域の拡大に伴う基礎データの更新、積卸量の導入に伴う船舶の大型化の動向や船社の意向など、配慮すべき事項の増加に対応しつつ、今後は現実に即したモデルの精度向上に努めることとしたい。

(2011年2月14日受付)

謝辞

本分析を行うにあたっては、国土交通省政策統括官付参事官室、港湾局、国総研港湾研究部など多くの方々から資料提供やご助言を頂きました。末尾ながら、ここに示して深く感謝致します。

参考文献

- 1) 貿易統計（財務省）<http://www.customs.go.jp/toukei/info/>
- 2) Informa Maritime & Transport : Containerisation International Year Book (2010, 2002)
- 3) 渡部富博，鈴木恒平，井山繁：我が国発着国際海上コンテナ貨物の流動状況・貨物特性に関する基礎的分析，国土技術政策総合研究所資料，No. 551，2009年
- 4) 井山繁，渡部富博：犠牲量モデルを用いたコンテナ貨物の時間価値に関する一考察，国土技術政策総合研究所資料，No. 589，2010年
- 5) 国土交通省：平成20年度全国輸出入コンテナ貨物流動調査
- 6) 平井洋次，田中淳，渡部富博：東アジアにおける国際海上コンテナ貨物流動モデルの構築，国土技術政策総合研究所資料，No. 45，2002年
- 7) 柴崎隆一，渡部富博：東アジア圏を中心とした国際海上コンテナ貨物流動シミュレーションモデルの構築，国土技術政策総合研究所研究報告，No. 37，2009年
- 8) 青山吉隆，西岡敬治：交通計画における時間価値研究の系譜，土木計画学研究発表会講演集，1980年1月，pp. 61-70
- 9) 樋口直人，渡部富博，森川雅行：国際海上コンテナの時間価値に関する研究，港湾技研資料，No. 0987，2001年
- 10) 港湾事業評価手法に関する研究委員会編：港湾投資の研

価に関する解説書 2004, 2004 年 10 月

- 11) Sea/Rates.com: <http://www.searates.com/>
- 12) 第 9 回輸入手続所要時間調査結果 (財務省)
<http://www.mof.go.jp/jouhou/kanzei/ka210716.htm>
- 13) オーシャンコマース社: 国際輸送ハンドブック 2008 年
- 14) 日本海事新聞社: 日本海事新聞 2009. 1. 30
- 15) 国土交通省: 全国貨物純流動調査報告書 平成 19 年 3 月, 167p
- 16) 赤倉康寛, 二田義規, 渡部富博: 我が国の港湾における外貿航路別コンテナ積卸率, 国土技術政策総合研究所研究報告, No. 36, 2008 年

付録

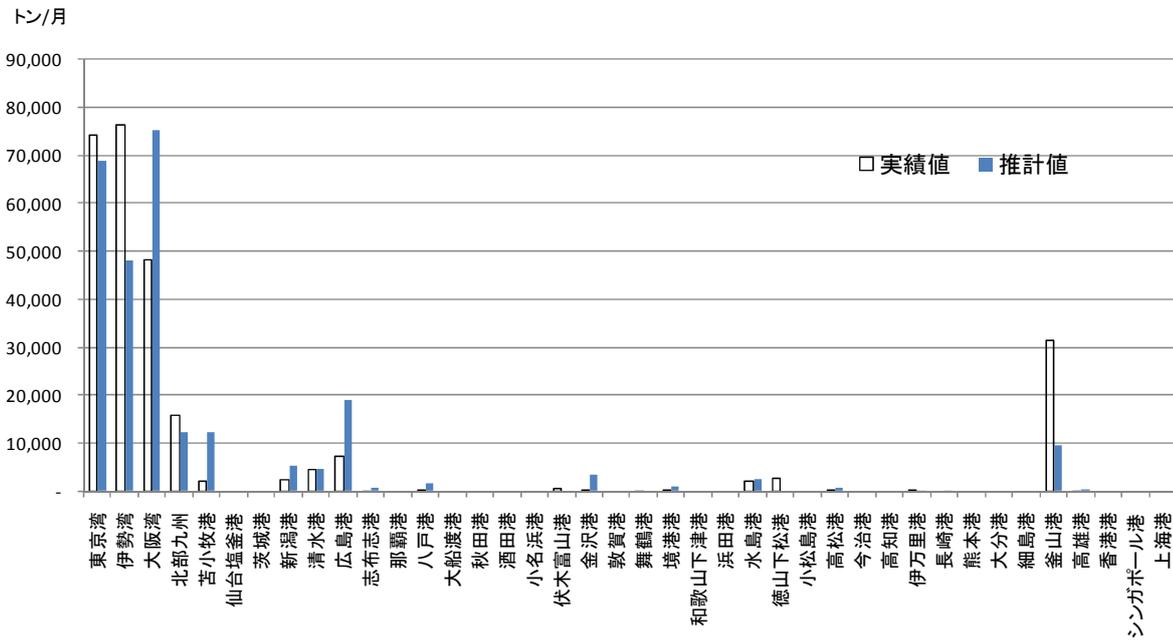


図-A.1 中国（北）輸出の2ndポート別の実績及び推計貨物量

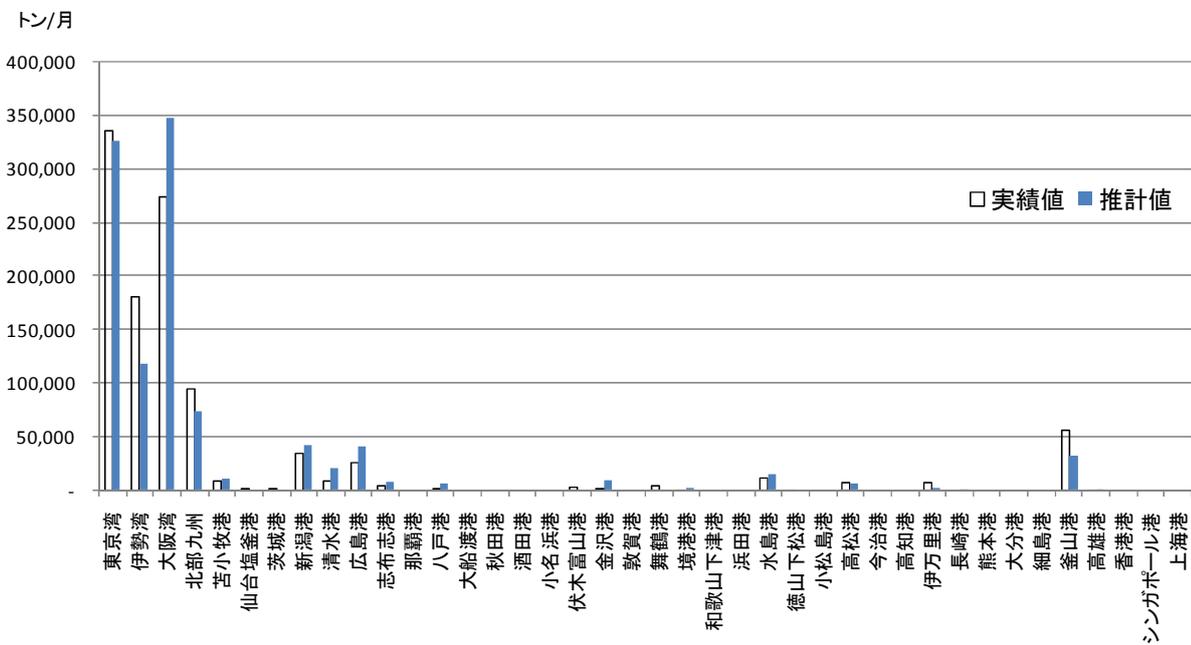


図-A.2 中国（北）輸入の2ndポート別の実績及び推計貨物量

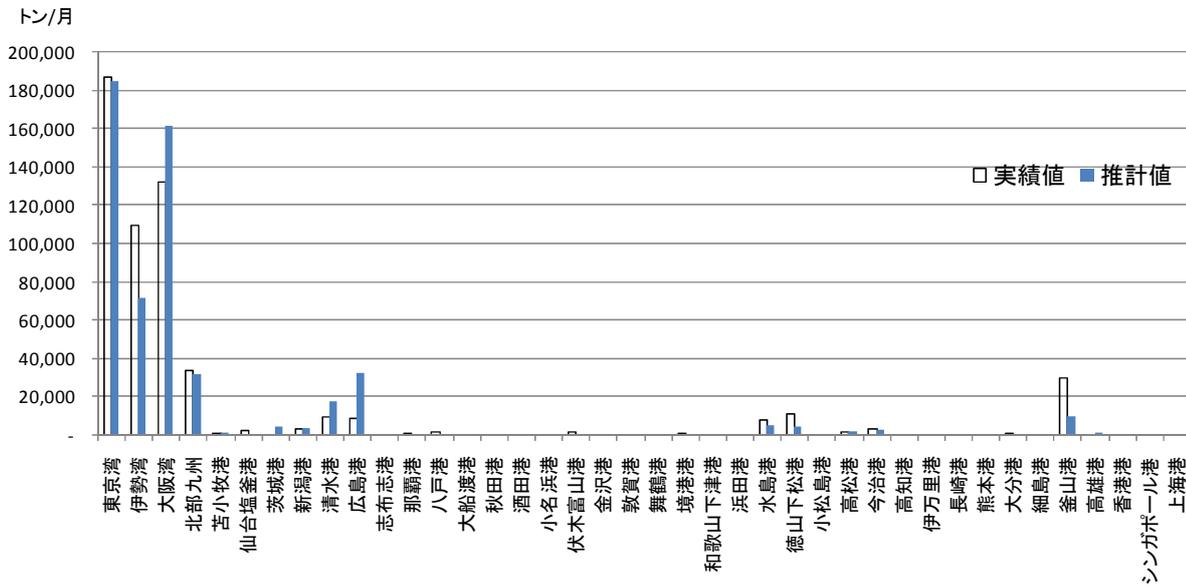


図-A.3 中国（中）輸出の2ndポート別の実績及び推計貨物量

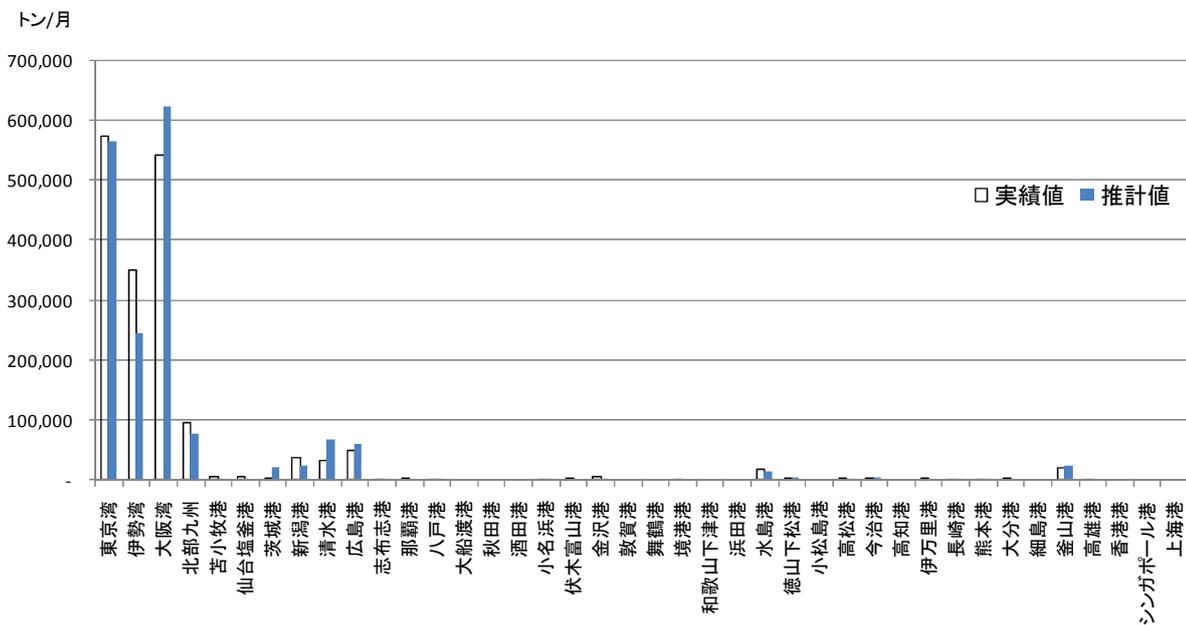


図-A.4 中国（中）輸入の2ndポート別の実績及び推計貨物量

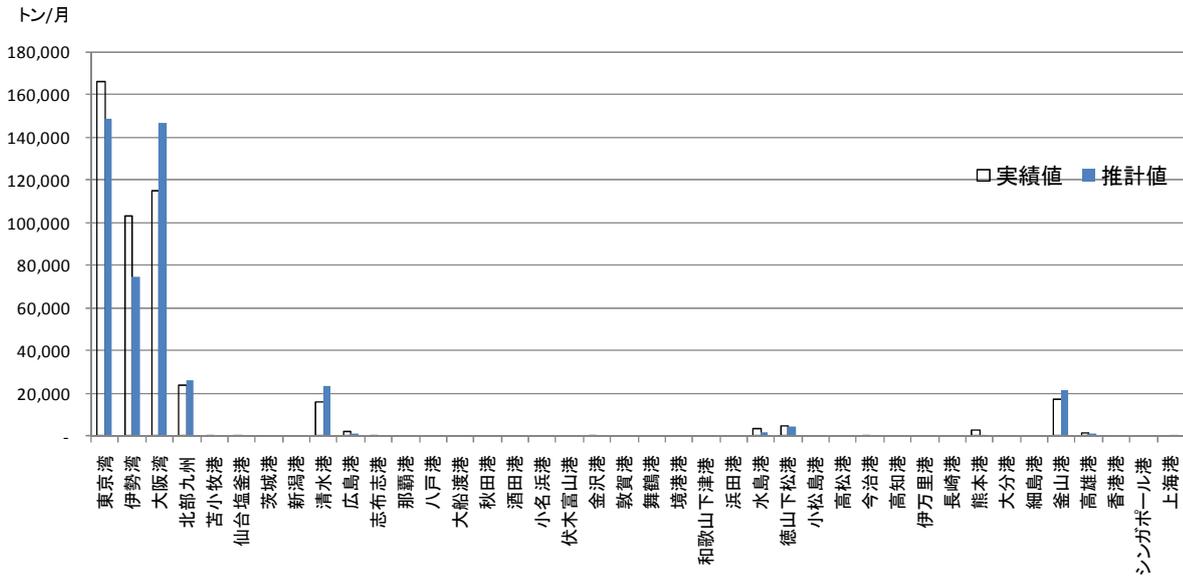


図-A.5 中国（南）輸出の2ndポート別の実績及び推計貨物量

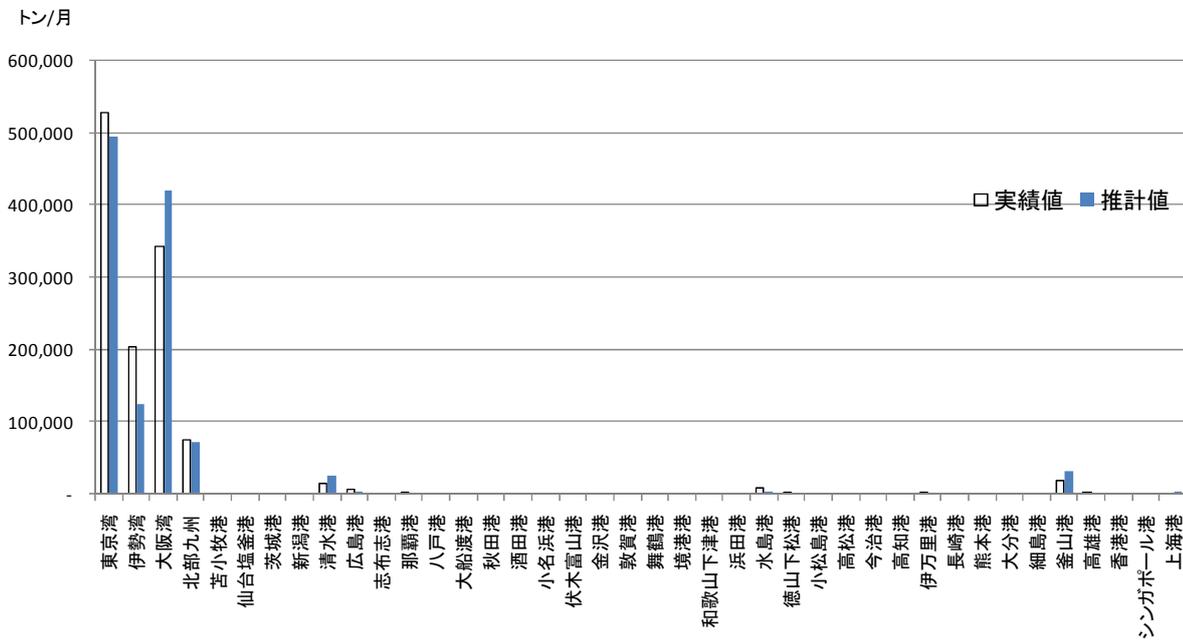


図-A.6 中国（南）輸入の2ndポート別の実績及び推計貨物量

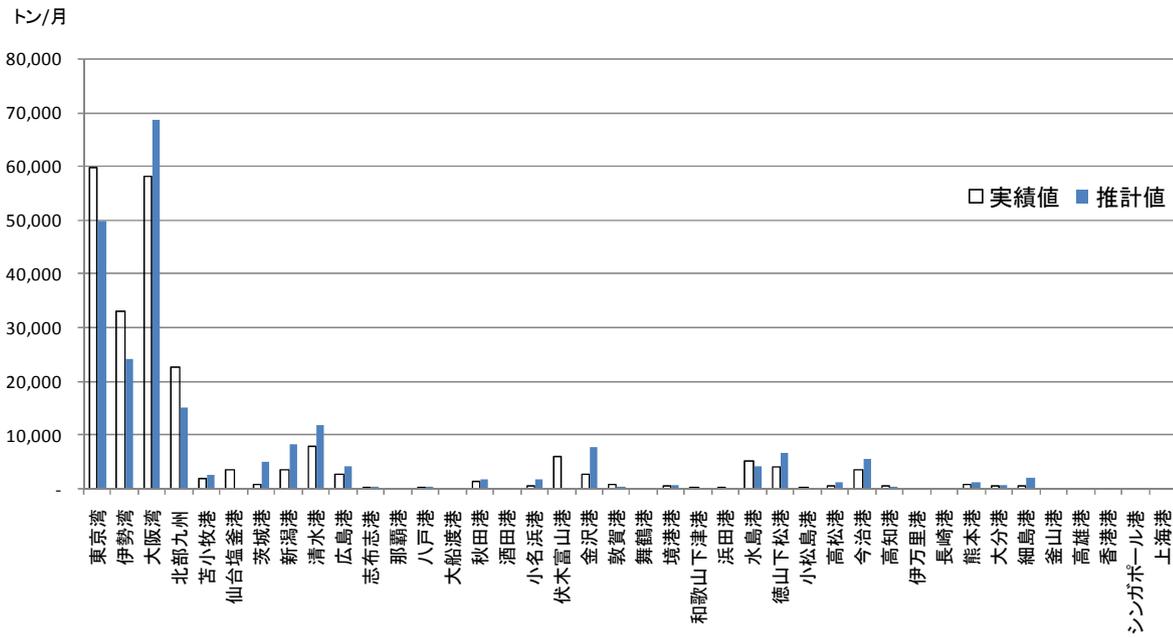


図-A.7 韓国輸出の2ndポート別の実績及び推計貨物量

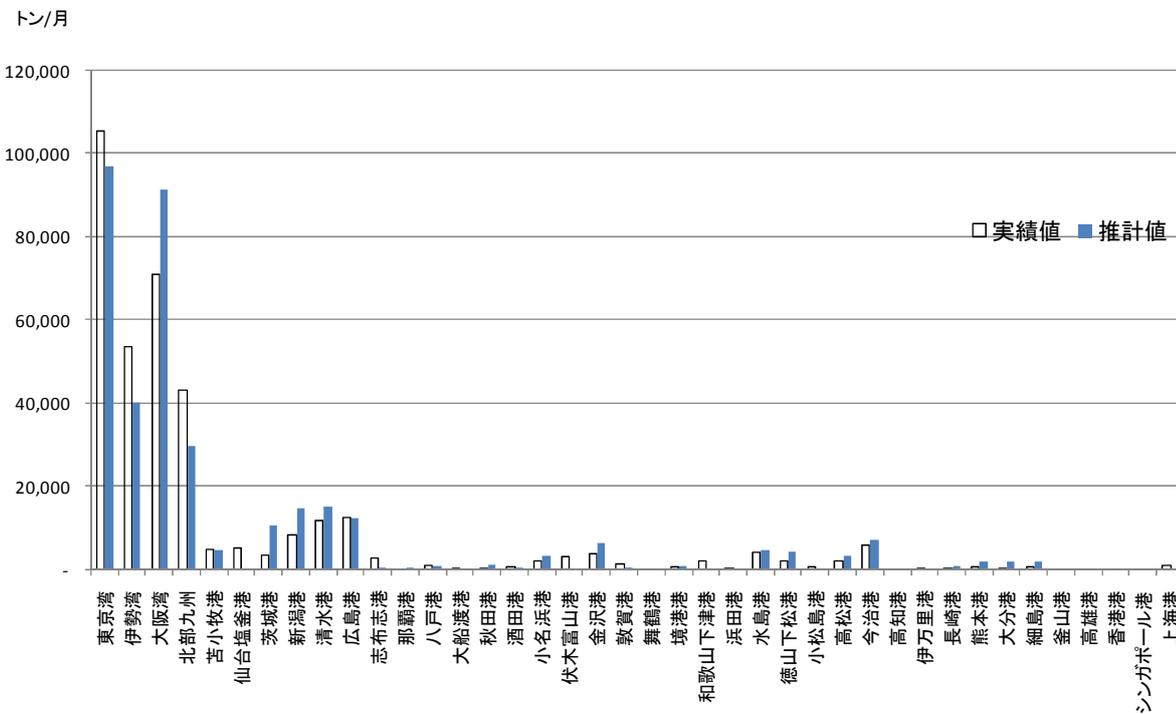


図-A.8 韓国輸入の2ndポート別の実績及び推計貨物量

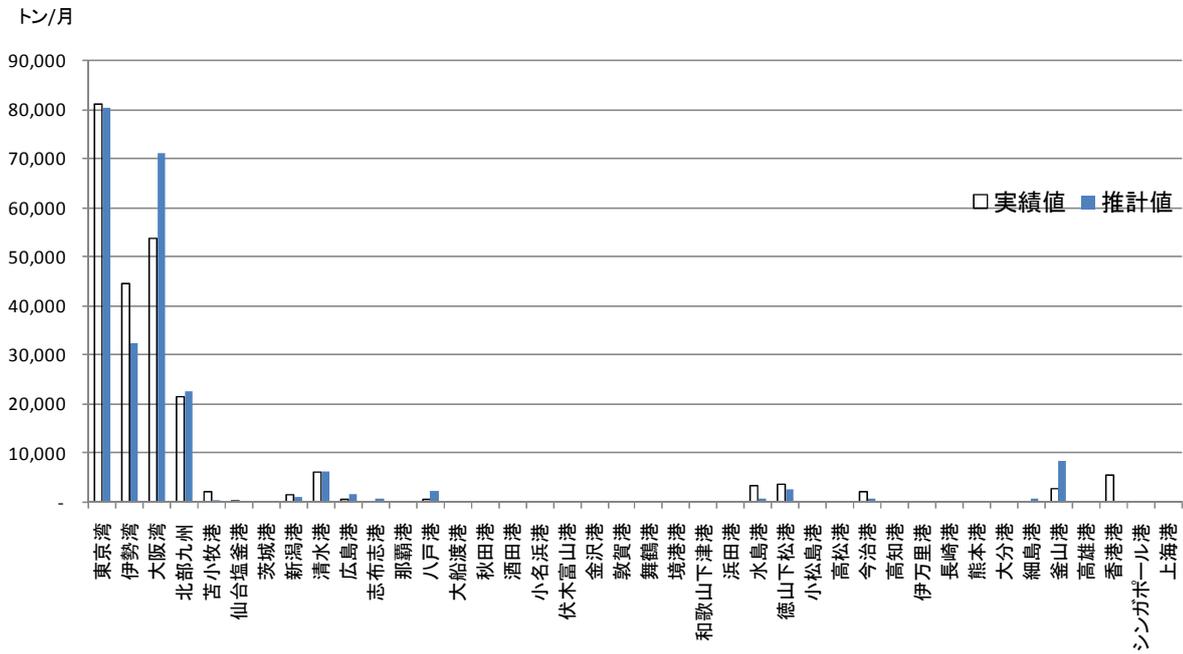


図-A.9 台湾輸出の2ndポート別の実績及び推計貨物量

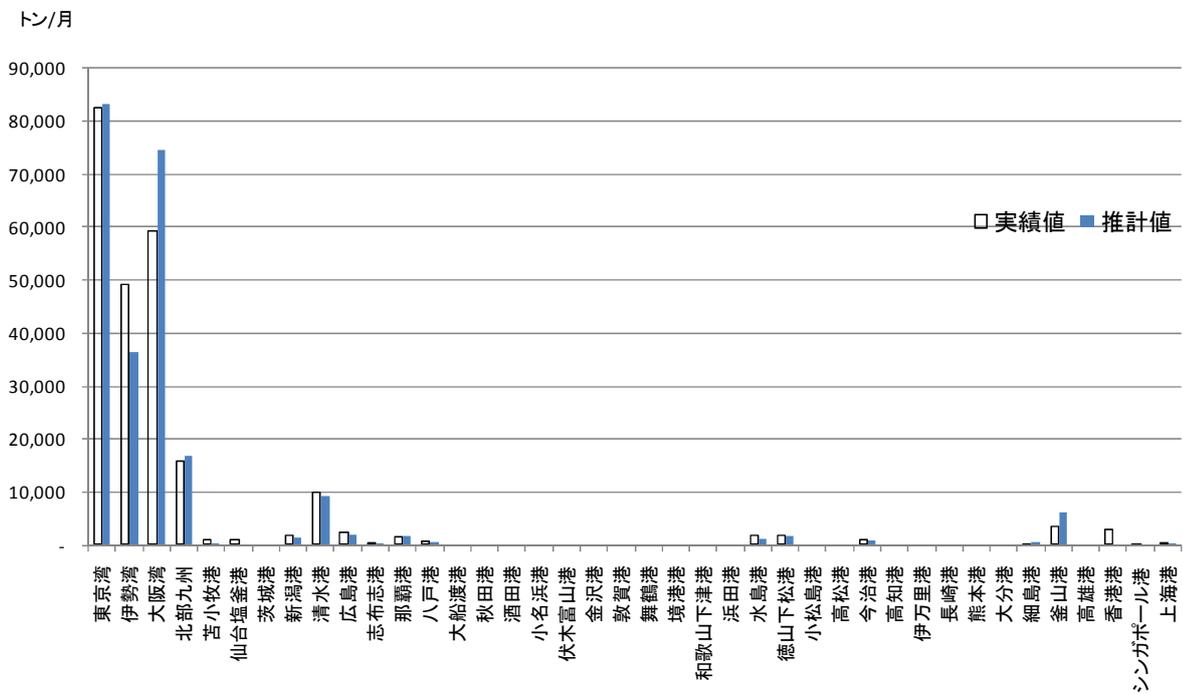


図-A.10 台湾輸入の2ndポート別の実績及び推計貨物量

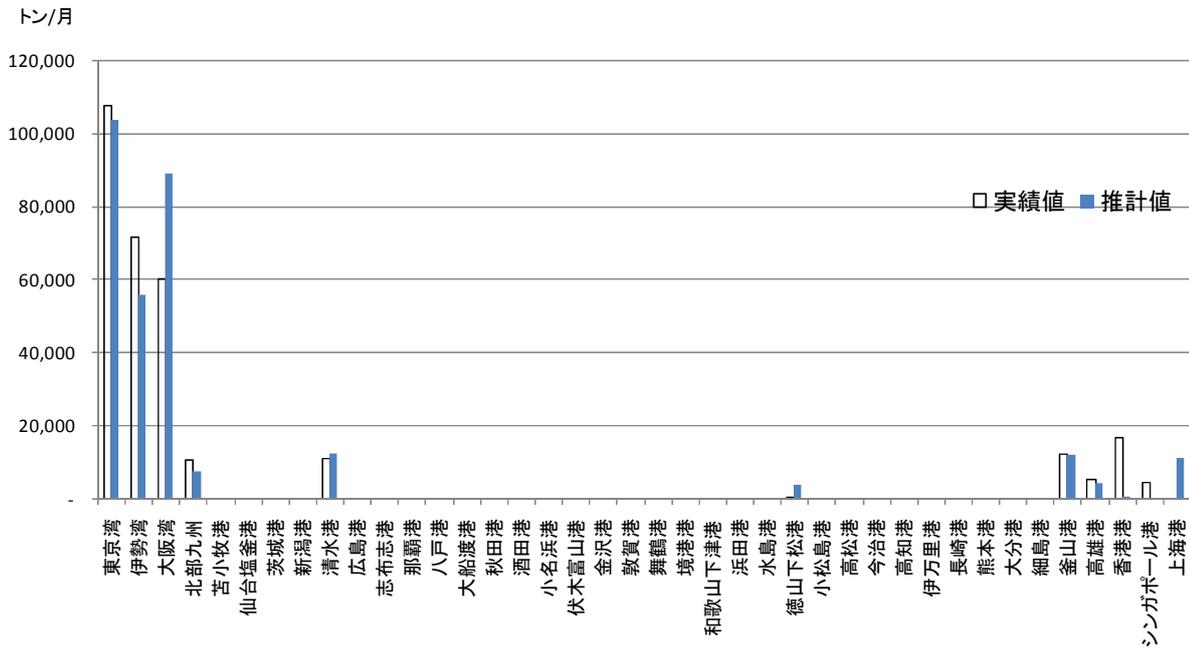


図-A.11 タイ・ミャンマー輸出の2ndポート別の実績及び推計貨物量

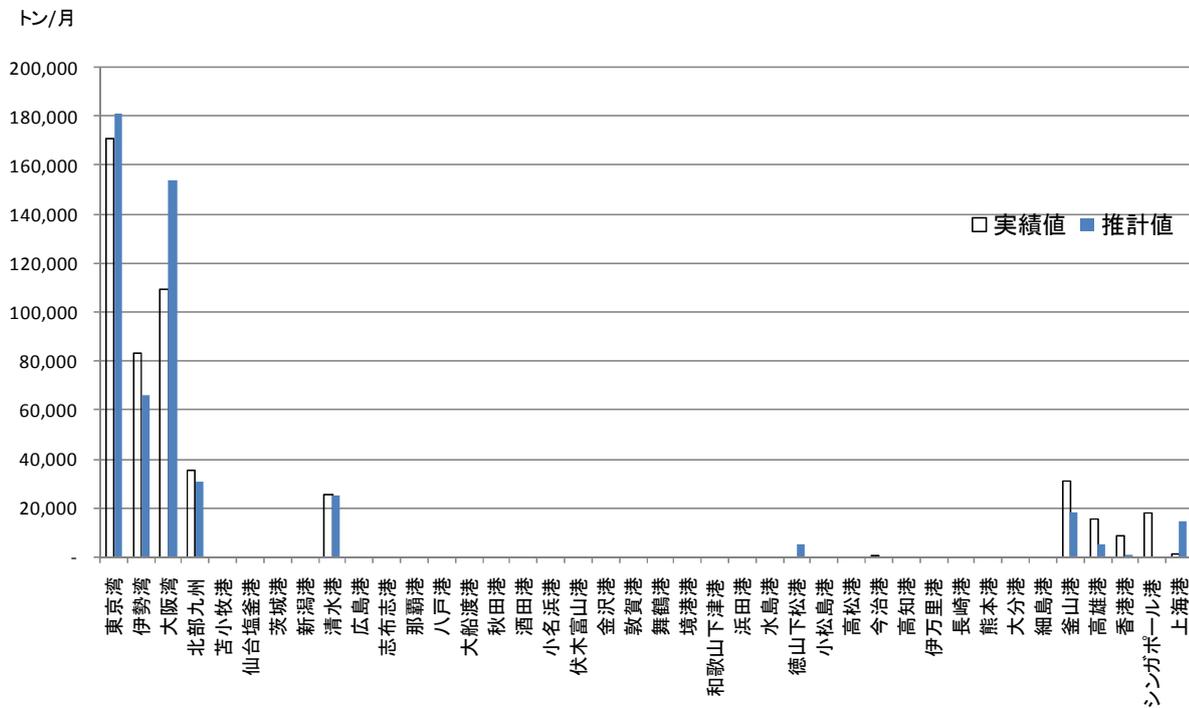


図-A.12 タイ・ミャンマー輸入の2ndポート別の実績及び推計貨物量

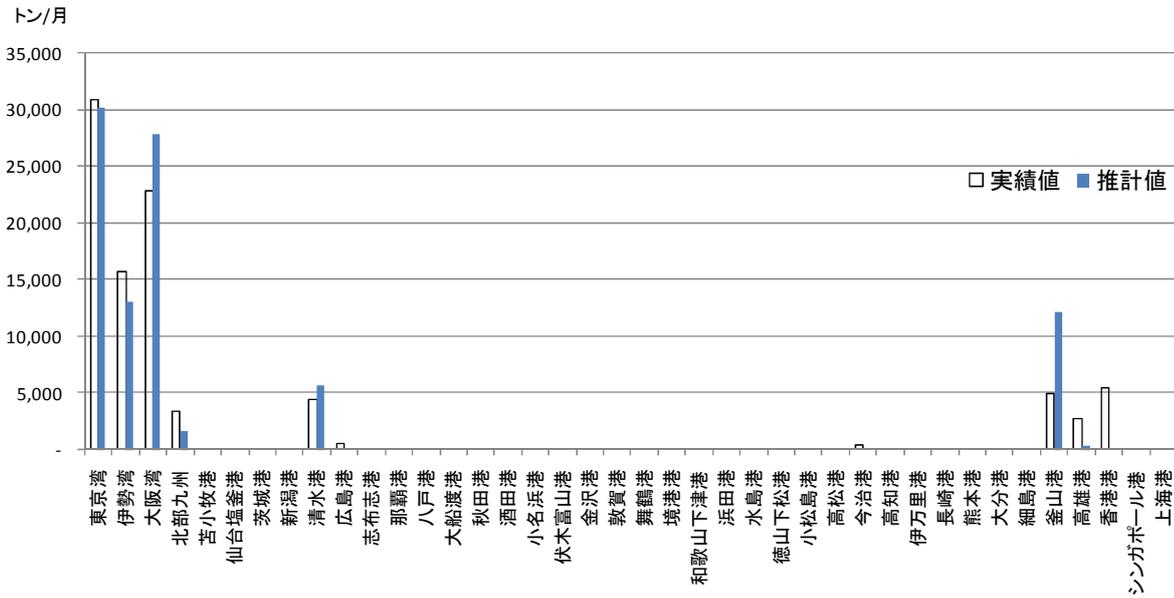


図-A.13 シンガポール輸出の2ndポート別の実績及び推計貨物量

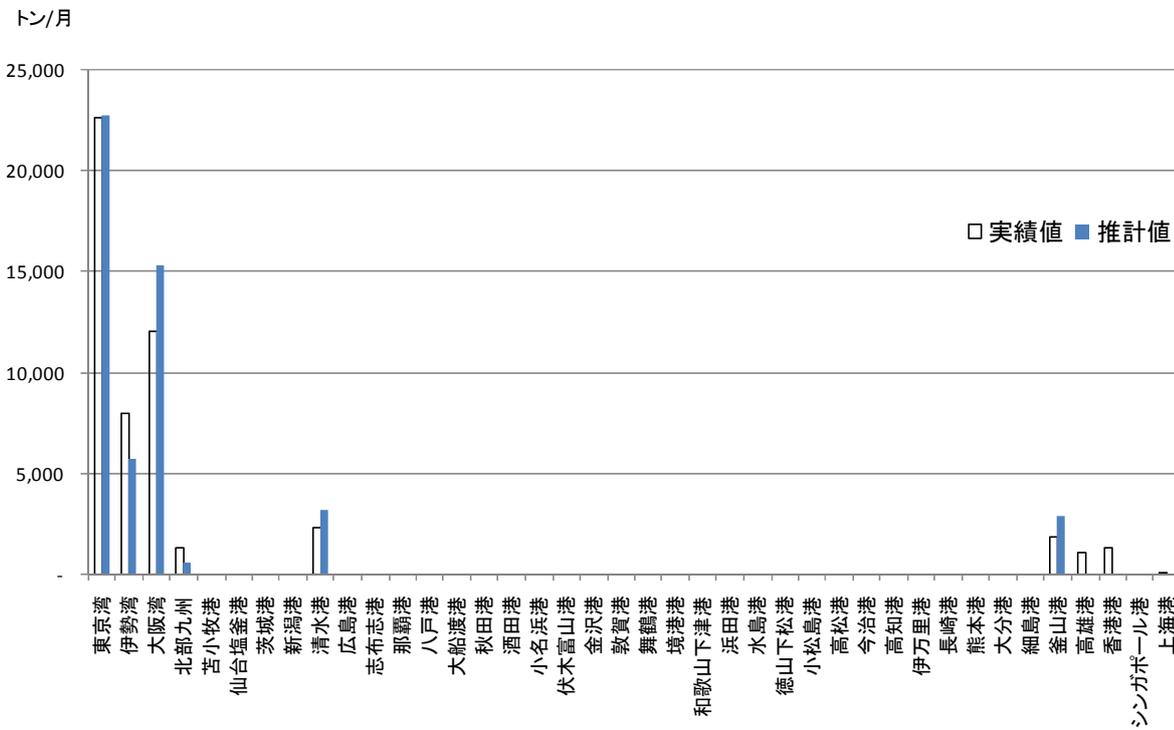


図-A.14 シンガポール輸入の2ndポート別の実績及び推計貨物量

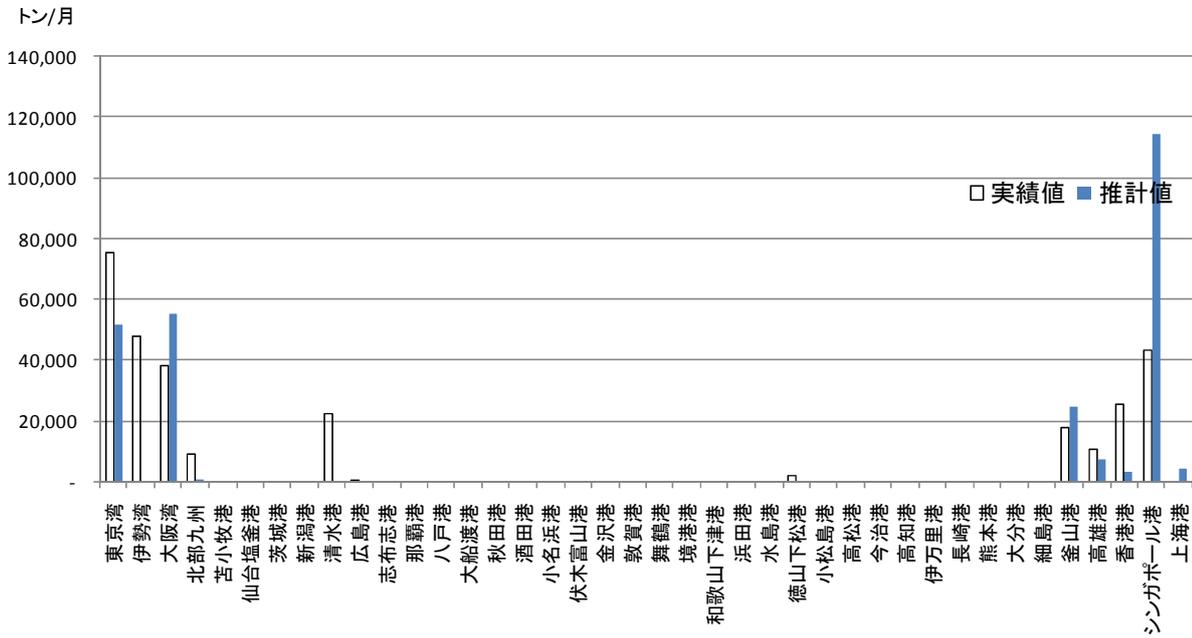


図-A.15 インドネシア・マレーシア・ブルネイ輸出の2ndポート別の実績及び推計貨物量

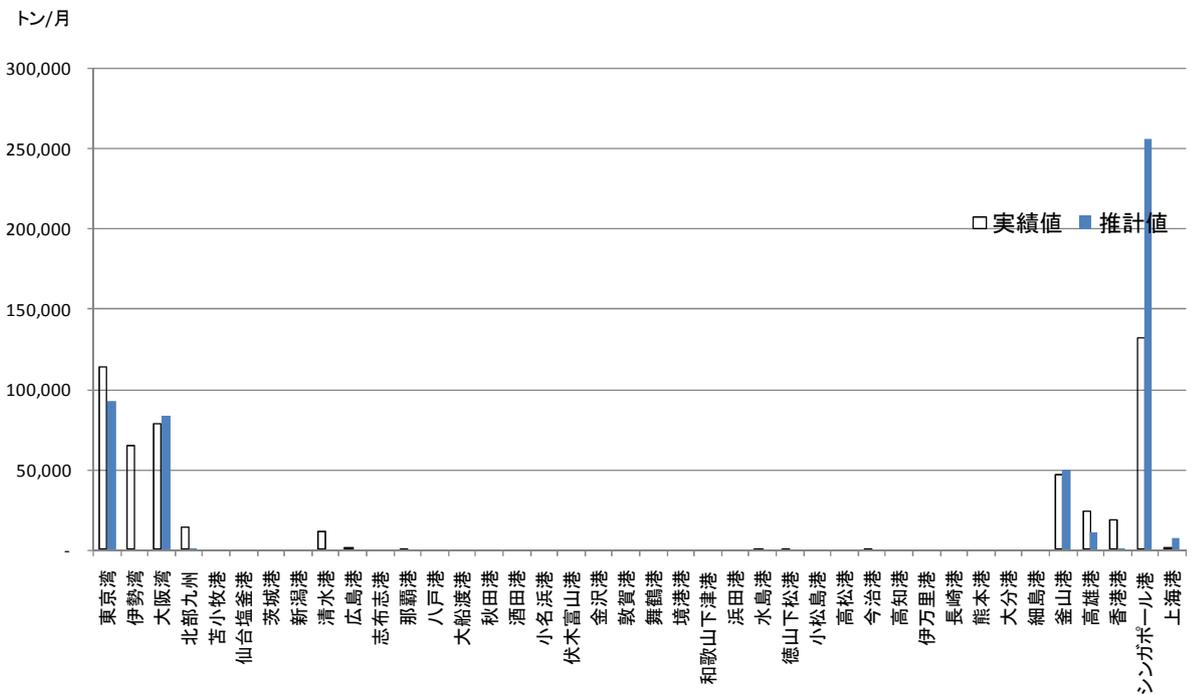


図-A.16 インドネシア・マレーシア・ブルネイ輸入の2ndポート別の実績及び推計貨物量

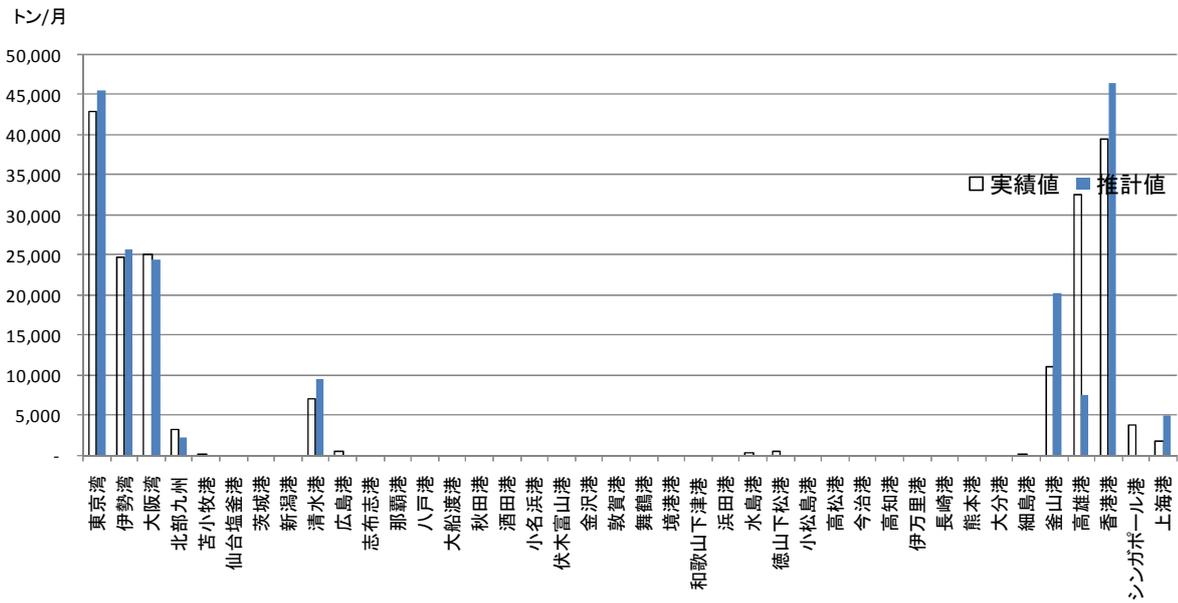


図-A.17 ベトナム・ラオス・カンボジア・フィリピン輸出の2ndポート別の実績及び推計貨物量

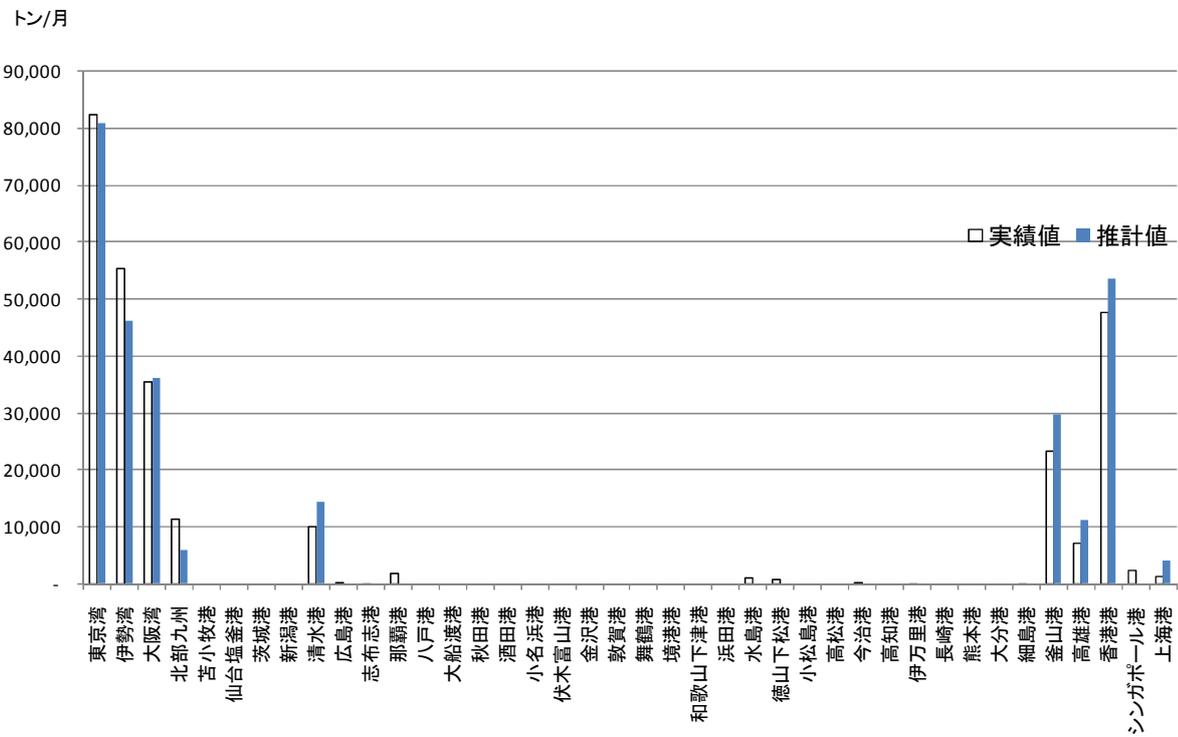


図-A.18 ベトナム・ラオス・カンボジア・フィリピン輸入の2ndポート別の実績及び推計貨物量