インターモーダル国際物流モデルによる日本の港湾政策シミュレーション 一内航海運の利用促進と外航コンテナシャトル便の導入に着目して—

柴崎 隆一(東京大学 大学院工学系研究科, shibasaki@tmi.t.u-tokyo.ac.jp)

若島 久幸(東京大学 大学院工学系研究科, wakashima-hisayuki563@g.ecc.u-tokyo.ac.jp)

梁子睿(東京大学大学院工学系研究科, liangziruijp@gmail.com)

水野 遊大 (元東京大学 工学部)

杉村 佳寿(九州大学 大学院工学研究院, sugimura@civil.kyushu-u.ac.jp)

Port policy simulations in Japan by a global logistics intermodal network simulation model:

Focusing on an enhancement of domestic maritime feeder shipping and an introduction of international container shuttle services

Ryuichi Shibasaki (Graduate School of Engineering, The University of Tokyo)

Hisayuki Wakashima (Graduate School of Engineering, The University of Tokyo)

Zilui Liang (Graduate School of Engineering, The University of Tokyo)

Yudai Mizuno (Ex School of Engineering, The University of Tokyo)

Yoshihisa Sugimura (Faculty of Engineering, Kyushu University)

要約

本稿は、国際海上コンテナ貨物輸送における国内内航フィーダー輸送および外航コンテナシャトル便の促進施策の影響を定量的に計測するため、著者らがこれまで構築してきたインターモーダル国際物流シミュレーションモデルを、内航フィーダー輸送におけるカボタージュ規制や品目による時間価値の相違等を考慮したモデルへと拡張し、我が国へ適用してモデルの再現性を確認した。構築したモデルを用いて、博多港を対象とした内航海運の新設・横持ち費用削減等の利用促進施策や外航コンテナシャトル航路の新設シナリオ、さらに両施策を組み合わせた複合シナリオを想定したシミュレーションを行い、両施策による内航・外航貨物輸送量の変化や、時間価値の異なる貨物構成の変化が及ぼす影響について検証した。

キーワード

海上コンテナ輸送,国際物流ネットワーク,港湾政策, 内航フィーダー,外航コンテナシャトル

1. はじめに

我が国は、四方を海に囲まれていることもあり、国際 貨物輸送の99.6%(重量ベース)が海上輸送によって担 われている。また、同様の理由により、国際海上コンテ ナ貨物の国内輸送においては、セミトレーラによる道路 輸送と内航海運が大きなシェアを占めており、鉄道輸送 の割合は非常に小さい(国土交通省港湾局, 2019a)。

国際海上コンテナ輸送の国内輸送における内航海運の利用は、本州以外の3島と国際戦略港湾(京浜港、阪神港)の間の輸送が中心となっており、本州内での利用や、国際戦略港湾以外の港湾で国際航路と接続するフィーダー輸送の利用はほとんどみられない(国土交通省港湾局,2019b)。一方で、トレーラ輸送はドライバー不足に直面しており、温暖化ガス排出削減等の環境の観点からもモーダルシフト政策の推進が望まれる。

また、現状においては、日本海側や西日本のコンテナ 港湾は、国際フィーダー航路により韓国の釜山港と結ば れ、釜山港でその他の国への国際航路と接続されること も多い。一般論としては、釜山港のサービスレベル(接続する外航ネットワークの豊富さや利用料金の低さ)が高いことから我が国を発着する国際海上コンテナ貨物にとっても有益であることが想像されるものの、ハブ機能の隣国への依存が進むと、自国の港湾における取扱量が減少し、スケールメリットが活かせず自国発着貨物の輸送コストの上昇につながるおそれがある。

さらに、これまであまり注目されてこなかった観点として、寄港数の増加による輸送時間の増加が指摘される(京田他, 2014)。国際海上貨物のコンテナ化が進み、平均的に見れば内容物の低価格化が進んだこともあり、少々時間をかけても多くの港湾に寄港し、確実に消席率(ロードファクター)を確保するサービスが主流となっている。一方で、生鮮食品やアパレルなどの貨物価値の逓減速度の速い貨物(perishable goods)や自動車部品などの単価の高い貨物などといった一部のコンテナ貨物は、輸送時間の早さを優先し、所要時間が相対的にかかるサービスはあまり利用されない(例:内航海運よりトレーラ等)(国土交通省港湾局, 2019a)。そこで、我が国の最新の港湾中長期政策である PORT 2030 においては、到達速度重視で途中寄港地をなるべく減らし目的地に直航する「外航コンテナシャトル便」を、国際戦略港湾と東南アジア港湾

(シンガポール等)との間で提供(誘致)する構想が示された(国土交通省港湾局,2018)。ここで東南アジアを対象としているのは、従来の我が国と東南アジア港湾を結ぶ航路の多くが中国系船社によって提供されており、途中で中国港湾に多数寄港するサービスが多いこと、また、我が国への寄港が非常に限られるアジア=欧州航路に東南アジア港湾で接続することで本船寄港時並みのサービスレベルを確保すること、逆に日本の港湾でアジア=北米航路に接続することで東南アジア貨物の国際戦略港湾でのトランシップが期待されること、等が理由である(柴崎,2020)。また、前述の韓国フィーダー航路においても同様に日本国内の寄港地の多いサービスが多く、上述のような相対的に急ぐ貨物にとっては利用しづらい側面がある。

そこで本研究では、このような国際海上コンテナ貨物輸送における国内内航フィーダー輸送および外航コンテナシャトル便の促進施策を対象として、その影響を定量的に計測することのできるシミュレーションモデルを構築し、想定される施策ごとのシナリオ分析を実施して、各施策の効果を予測することを目的とする。なお、ここでいう国内内航フィーダー輸送の促進施策としては、国内陸上輸送(トラック輸送)からのシフトと、国際フィーダー輸送(主に釜山港での積替)からのシフトの両者を対象とする。

施策分析の具体的な対象港としては、これまでこれら の施策実施の主たる対象となってきた国際戦略港湾を対 象とすることも考えられるものの、新しい内航・外航航 路の成立可能性を検討するという観点から、博多港を対 象とする。これは、博多港が、国際戦略港湾以外の港湾 の中で、日本国内の位置関係や釜山港との地理的関係か ら、国内トラック輸送と国際フィーダー輸送の両者と競 合する内航フィーダー航路の成立可能性が相対的に大き く、また諸外国との地理的関係から、外航コンテナシャ トル便の成立可能性も相対的に大きいと考えられるため である。博多港は、我が国の GDP の約1割を占める九州 を代表する港湾として現在もコンテナ取扱量が順調に増 加しているだけでなく、福岡空港やJR貨物駅(福岡貨物 ターミナル)、高速道路インターも近接しており物流拠点 としてのポテンシャルも高く(博多港長期構想検討委員 会, 2012)、また国内他港に先駆けた搬出入情報予約シス テムの導入実績(博多港ふ頭株式会社, 2017)や外航ター ミナルと内航ターミナルの接続改善施策の検討(福岡市, 2011) といった施策展開の柔軟性も有する港湾であり、 分析対象港湾として適切といえる。なお、本研究で構築 するシミュレーションモデルは、後で詳述する通り当該 港のシミュレーションに特化したものではなく汎用性が あるもので、国際戦略港湾を含む他港の施策シナリオ分 析にも適用可能となっており、それらの適用例は別稿に 譲る。

本稿の構成は以下の通りである。2. では、本研究で構築するシミュレーションモデルの満たすべき要件を整理 し既存研究を位置づけることにより、本研究におけるモ デル構築・改良のポイントを整理する。3. では本研究における改良点を中心にモデルの概要を説明し、4. で日本を中心にモデルを適用するにあたっての入力データの説明とモデルの妥当性の確認(収束状況および現状再現性)を行う。5. で博多港を対象としたシナリオ分析の概要を述べその結果を示す。6. で本研究の結論を述べる。

2. 本研究で構築するシミュレーションモデルの満たすべき要件と既往研究の整理

本研究で構築する国際海上コンテナ貨物のシミュレーションモデルは、以下の要件を満たす必要がある。理由を以下に述べる。なお、以下の検討においては、地域間または港湾間のコンテナ貨物輸送需要(OD貨物量)は所与で、国際海上コンテナ輸送ネットワーク上での貨物フローを算出するモデルを前提とする。

- ① 国内フィーダー輸送と国際海上コンテナ輸送の両方を 考慮し、かつ国内外の広範囲に及ぶ地域への影響を考 慮できること
- ② 国内フィーダー輸送における陸上輸送と内航輸送の競合、および国内フィーダー輸送と国際フィーダー輸送 の競合を考慮できること
- ③ 時間優先貨物 (「急ぐ貨物」) とコスト優先貨物 (「急がない貨物」) の相違を考慮できること
- ④ 国際・国内輸送ネットワークのサービスレベルに関する様々な政策変数(寄港地、頻度、船舶サイズ、輸送費用および時間、荷役費用および時間、積替費用および時間)を同時に考慮でき、かつリーズナブルな再現精度を有すること

条件①については、国内輸送ネットワークも含めた国際海上コンテナ輸送モデルの構築が必要なだけでなく、特に内航輸送は距離の長い国内輸送の利用が中心である(国土交通省港湾局,2019a)ことから、日本全域への影響を考慮する必要がある。また海上輸送ネットワークについても、たとえ検討の中心が東南アジアシャトル便であったとしても、北米航路や欧州航路への接続まで視野に入れた施策であるため、これらの航路への影響まで考慮する必要がある。

条件②については、国内フィーダー輸送において複数の輸送機関を考慮するだけでなく、国内フィーダー輸送と国際フィーダー輸送の競合も考慮することが重要である。このためには、内航フィーダー輸送を含みつつ各貨物の輸出入港が可変(選択可能)であるモデルが必要となる。このようなモデルが構築できれば、国内輸送に関する施策が外航輸送パターンに及ぼす影響や、逆に国際輸送に関する施策が国内輸送パターンに及ぼす影響や、逆に国際輸送に関する施策が国内輸送パターンに及ぼす影響も考慮可能となる。この際、内航フィーダー輸送と国際フィーダー輸送の特徴の相違を考慮することが重要である。具体的には、内航フィーダー輸送には国外船社が参入できないというカボタージュ規制を考慮する必要がある。

条件③については、時間価値の異なる貨物を同時に考

慮することが必要である。ここで、経路選択の基準は異なっても、輸送容量は全ての種類の貨物を合計した輸送量に対して影響することに注意が必要である。

条件④については、なるべく多くの変数を含みつつ、現状再現性が高くかつ安定した解の得られる(適切な感度を持つ)モデル、という相反した要求を満たす必要がある。ひとつの方法論としては、輸送事業者によるネットワークのサービスレベルの変化を内生化したモデルとはせず、これらに関わる政策変数についてはすべて外生的に与えることが考えられる。

以上の条件を念頭に、国際海上コンテナシミュレーションモデルに関する国内外の代表的な研究とその性質について、表1に整理する。表には、参考情報として、主たる分析対象地域、日本の国内輸送を含んでいるかどうか、荷主モデルの原理、荷主(貨物)だけでなく船会社の行動モデルも含んでいるかどうかについても記載している。なお、国際海上コンテナシミュレーションモデルに関する研究は他にも多数存在するものの、本表では、荷主の立場から貨物の配分を行っているものを対象として(研究としては船会社の立場から最適航路を決定するものの方が多数を占める(柴崎, 2017))、適用対象が広域にわたるもの、もしくは日本を対象としたものを中心に整理した。

表から、前述の通り、船会社によるサービスレベルの 最適化を内生化したモデル (表中右から2番目の列に○ がついた研究)については、現状再現性を確認しつつ(条 件④最右列) 広域に適用可能なモデル(条件①右列) を 構築したものは、著者らによる過去の研究(柴崎,2009: 柴崎他, 2010; Shibasaki et al., 2011) を除き存在しないこと がわかる。また、これらの著者らによる過去の研究にお いても、船会社のサービスネットワークの考慮方法が粗 く、船会社の行動を現実的に考慮したとは言い難い。そ こで、本研究では、著者らによる最近の研究(Shibasaki et al., 2017; 2019; 2020; Yamaguchi er al., 2021) で構築した荷 主の立場からの配分にフォーカスしたモデル(船会社の 行動は外生とするモデル)をベースに、これまで考慮で きていなかった要素、すなわち、内航フィーダー輸送に おけるカボタージュ規制の考慮、および品目による時間 価値の相違を追加し、日本を対象とした背後輸送ネット ワークを構築してシナリオ分析を行う。なお、ターミナ ルの混雑について考慮したモデルも別途構築中であるも のの、別稿に譲る。

表1に示される通り、全世界を分析対象としたモデルには、最短経路探索や確率ネットワーク配分(ロジットモデルを含む)などの比較的単純なモデルが採用されている。また、比較的広域を対象とした国際海上コンテナシミュレーションモデルを中心に整理していることもあり、複数の国内フィーダー輸送機関の競合を考慮したモデルや、品目による時間価値の違いを考慮したモデルはあまり多くない。表に示される研究の中では、井山他(2012)、佐々木他(2017)による一連のモデルは、条件①~③をすべて満たすものの、船会社の航路サービスネッ

トワークが明示的に考慮されていないため、コンテナシャトル便などの外航サービスの変化が扱えないという課題がある。

3. モデルの概要

本研究で使用するモデルは、Shibasaki et al. (2020) のモデル(以下「従来モデル」とよぶ)をベースに、内航フィーダー輸送におけるカボタージュ規制の考慮、および品目による時間価値の相違を考慮したモデルへと拡張したものである。モデルの概要を以下に示す。

図1にモデルの全体構成を示す。モデルは、全世界の地域間国際海上コンテナ貨物輸送需要 (OD 貨物量)を入力とする。また、国際海上輸送ネットワークおよび背後圏輸送ネットワークとそのサービスレベルも所与としてネットワーク配分を行い、モデルの出力結果として得られるネットワーク上のリンクフローに基づき、各港湾のコンテナ取扱量等を出力するものである。モデルの現状再現性を確認したのち、輸送コストや輸送時間の削減に資する政策について、モデルにおけるコスト関数やサービスレベルの設定を変化させたシミュレーションを実施することにより、そのインパクトを推測する。

モデルは、国際海上輸送ネットワークおよび背後圏輸 送ネットワークのそれぞれの実ネットワークに基づく2 つの下位モデルと、両モードを統合し簡素化されたイン ターモーダル貨物輸送ネットワーク上で配分を行う上位 モデルから構成される。具体的には、2つの下位モデルに おいては、それぞれの詳細な輸送ルートに加え、輸送船 社(国際海上貨物輸送サブモデル)や背後輸送機関(背 後圏貨物輸送サブモデル)の選択が行われる。これらの モデルにおいては、各輸送モードの混雑の影響を考慮す るために利用者均衡配分手法を適用する。下位モデルで 得られた OD ペアごとの運賃や輸送時間が、上位モデル の国際海上輸送リンクや背後輸送リンクのコストとなる。 一方、上位モデルにおいては、簡素化されたインターモー ダル貨物輸送ネットワーク上で、輸出入港や船社を跨い だ積替(トランシップ)の選択を行う。上位モデルの国 際海上輸送リンクや背後輸送リンクは、それぞれの下位 モデルの OD ペア間の経路を表し、上述の通り下位モデ ルの計算結果としての運賃や輸送時間がリンクコストと なる。上位モデルにおいては、運賃や所要時間以外のモ デル構築者が観測できない要素も選択に影響しているこ とを想定し、リンクコストが最小の経路以外にも一定の 確率でフローが流れる確率ネットワーク配分手法(Dial 配分)を適用する。このような上位モデルの配分計算に より国際海上輸送リンクや背後輸送リンクのフローが更 新されると、これが下位モデルの OD 貨物量となる。

このようにネットワークを2層に分けて配分する理由としては、国際貨物輸送市場の特徴とモデル構築技術上の観点の2点があげられる。1点目については、特に国際海上コンテナ輸送においては、荷主にとっての輸送費用である運賃は、輸送船社にとっての実際の輸送費用と大きく乖離し、貨物輸送需要と船腹供給量の関係で決まる

表 1: 国際海上コンテナシミュレーションモデルに関する代表的な研究

		:件 D	条·		条件 ③		条件 ④					参	考				
	国内	国内		国内				政策	変数			_					
	フーー送国海コテ輸の方考ィダ輸と際上ンナ送両を慮	カール できる かい できる かい できる 上送内 輸の合考 かい でき 感 ない おい かい	フーー送国フーー送競を慮イダ輸と際イダ輸の合考**	品にる間値相の慮目よ時価の違考	寄港地	頻度	速度変化	船舶 の量制・ 混雑	タミル容制混ーナの量・雑	輸送費用	再現 性 確認	日の内送考慮	主る析象域 域	荷主 モデ ル 原理 ***	船社行モル内会の動デを包	備考	
木俣・竹林(2019)						0	0				0	0	0	日本	LG		
木俣・竹林(2020)	0			0		0	0		0		0	0	0	日本	SUE	0	
Kawasaki et al. (2019) Kawasaki et al. (2020)	0	-		0			0	-	0	0	0	0	0	日本	LG	0	
井山他(2012) 佐々木他(2017)	0	0	0	0	0		0	-			0	0	0	日本	SF		
Tavasszy et al. (2011)	0	0		\triangle				0			0	Δ		全世界	LG		
Liu et al. (2014)	\triangle	0				0		0	0		0			全世界	LG	0	
ITF (2019)		0									0			全世界	SP		航空 も含 む
Lin and Huang (2017)						0			0		0	0		太平洋 航路	UE		
Fan et al. (2009) Fan et al. (2012)	0	0		0			0		0	0	0	0		北米	SO		
Jones et al. (2011) Wang et al. (2018)	0	0	△ (道路と 鉄道)	0						0	0	0		米国	UE SO (鉄道)		
Holguín-Veras et al. (2020)			△ (道路と 鉄道)		0						0	0		米国	LG		
Comi and Polimeni (2020)			0				0				0	0		地中海	LG		
Shao et al. (2018)		0	△ (道路と 鉄道)								0			一帯	SP		
Yang et al. (2018a)	0	0		Δ	0		0			Δ	0			一帯	AHP		
Yang et al. (2018b)	0	0		Δ		0	0		0		0			一帯	LP	0	
Meersman et al. (2020)	0	0			0						0			一帯	SP		
Meng and Wang (2011)	0		△ (道路と 鉄道)	Δ	0				0	0	0			中国+ アセア	SUE		
Wang and Meng (2017)	0			Δ					0	0	0			-ン ·	LG	0	
Aritua et al. (2018)					Δ						0			南アフ リカ、 インド	SP		
柴崎(2009) Shibasakiet al. (2010) 柴崎他(2011)	0	0		Δ		Δ			Δ		0	0	0	日本、 中国、 アセア ン	UE	0	
Shibasaki et al. (2017; 2019; 2020) Yamaguchi et al. (2021)	0	0	0	Δ		0	0		0		0	0		世界各地	SA+UE		
本研究	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	日本	SA+UE		

注:〇=考慮、 \triangle =不十分ながら考慮。なお、欧州を対象とした研究では「国内フィーダー」は EU 域内、「国際フィーダー」は EU 域外 外と読み替える。*「広域」とは、国内フィーダー側は一国全体を、国際海上コンテナ輸送側は世界の主要航路を目安とする。**国内フィーダー輸送と国際フィーダー輸送の特徴の相違(カボタージュ規制など)を明示的に考慮できていないものを \triangle とする。*** AHP =階層分析法、LG =ロジットモデル、LP =線形計画法、SA =確率ネットワーク配分、SF =犠牲量モデル、SO =システム最適配分、SP =最短経路探索、SUE =確率的利用者均衡配分、SE =利用者均衡配分。

地域間輸送需要 $(OD貨物量) Q^{od}$ -ダル貨物輸送ネットワークモデル 背後輸送 背後輸送 02 ・簡素化されたインターモーダルネットワーク上において、 両サブモデルの結果 (一般化輸送費用=輸送時間×時間価値+運賃) を基に配分 モデル構築者の観測できない要因(誤差項)を考慮した、確率的ネットワーク配分モデル (一番安いルート以外のルートにも一定の確率で配分される) 輸送時間・費用 陸上(発着ゾーン 輸送時間・費用 海上(港湾間) OD 港湾間) OD qhoi, qhid $FL_{oi}+vt\cdot TL_{oi}$ $FL_{jd}+vt\cdot TL_{jd}$ FM_{rs} , TM_{r} 貨物輸送ネットワーク 国際海上コンテ <u>背後圏貨物輸送ネ</u> サブモデル ·全世界約150港(年間取扱量50万TEU以上)+対象地域 の地方港,世界20大船社+対象地域のローカル船社 ・MDSデータより航路サービスごとにネットワークデータ (頻度, 寄港地, 船舶サイズ等) 作成 ・道路,鉄道,内航海運を含む ・日本国内のネットワークのみを考慮 ・各輸送機関の容量を考慮した一般化 輸送費用と運賃の相違を考慮 船舶の容量を考慮した輸送時間に基づく配分 基づく配分 (利用者均衡配分) ・輸送機関の選択も含む (利用者均衡配分) 利用船社の選択も含む

各リンクの貨物フローx

港湾取扱量,機関分担率

整理•集計

図 1: インターモーダル国際物流モデルの全体構成 出典: Shibasaki et al., 2020 を改変。

と考えられる。このため、国際海上輸送ネットワークにおいてはパスベースで海上輸送運賃を算出する必要があり、国際海上輸送ネットワークにおける配分計算と分離して、上位モデルに入力する海上輸送運賃を算出する必要がある。2点目については、2層構造ではなく両者を統合した大規模の実ネットワークに確率的利用者均衡配分を適用する場合、選択肢間におけるIIA(無関係な選択肢からの選択確率の独立)特性の存在などにより、実用的な計算時間で実用的な再現精度を有するモデルの構築が現時点で困難と考えられる。この点については、多段階配分や並列計算手法の導入により改善される可能性があり、今後の課題とする。

上位モデル (輸出入港と

船社を跨いだ トランシップ の選択)

下位モデル (詳細な 輸送ルート

の選択)

以下では、上位モデルおよび下位モデルの概要、および本研究における改善点について述べる。

3.1 上位モデルの概要 (簡素化されたインターモーダル 貨物輸送ネットワークモデル)

本モデルにおいては、簡単のため、1 TEU (TEU は 20ft コンテナ換算係数) ごとに、品目 c に分類される貨物1について、発地o から着地d までの輸送経路 h を荷主が選

択する状況を想定する。このとき、荷主は、各経路の輸送時間や費用といった貨物Iによらない確定的な情報(確定項 V_h^{odc})と、過去の経緯に基づく商習慣やそれに伴うサンクコスト等、個々の荷主の事情に応じた追加的な輸送時間や費用(誤差項 ε_h^{odl})の和 U_h^{odl} について、これを最小とする経路を選択するものとする。すなわち、

など

$$\min U_h^{od,l}, \ \forall l, h \in H^{od}, (o, d) \in O \times D$$
 (1)

$$s.t. \ U_h^{od,l} = V_h^{od,c} + \varepsilon_h^{od,l} \tag{2}$$

ここで、 H^{od} : 発地o から着地dまでの経路集合、O: 発地の集合、D: 着地の集合である。

ここで誤差項は互いに独立かつガンベル分布に従うと仮定すると、発地oから着地dまでの品目cの経路hの輸送量(経路交通量) F_h^{odc} は以下の式で表される。

$$F_{h}^{od,c} = Q^{od,c} \cdot \frac{exp\left(-\theta \cdot V_{h}^{od,c}\right)}{exp\left(-\theta \cdot V_{h}^{od,c}\right) + \sum_{h' \in H^{od}} exp\left(-\theta \cdot V_{h'}^{od,c}\right)},$$

$$h \neq h', \forall h, c, (o, d) \in O \times D$$
(3)

ここで、 Q^{odc} : 発地oから着地dまでの品目cの貨物輸送需要(TEU/年)、 θ : ガンベル分布の分散パラメータである。確定項については、輸送費用と時間費用の和(一般化費用)で表されるものとする。

$$V_h^{od,c} = (FL_{oi}^c + FTO_{ij}^c + FL_{jd}^c) + vt^c \cdot (TL_{oi}^c + TPX_i + TTM_{ij}^c + TPM_i + TL_{id}^c), i, j \in h, \forall h, c, (o, d) \in O \times D$$

$$(4)$$

さらに、本モデルでは、異なる船社間の積替も考慮されるため、輸出港iから輸入港jまでの品目cの合計国際海上輸送運賃 FTO_{ij}^c および合計国際海上輸送時間 TTM_{ij}^c は、下位の海上モデルで算出された船社ごとの輸送時間や運賃に基づき、以下の式で表される。

$$FTO_{ij}^{c} = \sum_{(r,s)\in h} FO_{rs}^{c} + \sum_{r\in h, r\neq i, r\neq j} (\tau \cdot CR_r - CPX_r - CPM_r),$$

$$i, j \in h, \forall c$$

$$(5)$$

$$TTM_{ii}^{\ c} = \sum_{(r,s)\in h} TM_{rs}^{\ c} + \sum_{r\in h, r\neq i, r\neq j} \tau \cdot TPR_r, \ i, j \in h, \forall c$$
 (6)

ここで、 FO_{rs}^c : ある船社によって輸送される経路 h に含まれる発港 r から着港 s までの品目 c の国際海上輸送運賃 (港湾荷役費用も含む) (USD/TEU)、 CR_r : 同一船社内の積替に要する費用 (USD/TEU)、 τ : 異なる船社間の積替に追加的に要するコストに関する係数 $(\tau > 1)$ 、 CPX_r 、 CPM_r : 発港および着港における荷役費用 (USD/TEU)、 TM_{rs}^c : ある船社によって輸送される経路 h に含まれる発港 r から着港 s までの品目 c の国際海上輸送時間 (hour)、 TPR_r : 同一船社内の積替に要する時間 (hour) である。ここで、(5) 式において発着港の港湾荷役費用を差し引いているのは、定義によりこれらが国際海上運賃 FO_{rs}^c に含まれるためである。

上記の $(2)\sim(6)$ 式において品目 c を考慮している点が従来モデルと異なる。なお、実態に基づき、 $(4)\sim(6)$ 式に含まれる港湾リードタイム、荷役料金、積替費用・時間等の港湾諸コストは品目によらないことを想定している

具体的な計算方法としては、前述の通り、Dial の手法 (Dial, 1971; 土木学会, 1998) に基づきリンクフロー x を配分する。そのフローが、そのまま下位モデルの OD 貨物量となる。すなわち、

$$qm^{rs,c} = x_{rs}^{\ c}, \ \forall c, (r,s) \in R \times S$$
 (7)

$$qh^{oi,c} = x_{oi}^{\ c}, \ \forall c, (o, i) \in O \times I \tag{8}$$

$$qh^{id,c} = x_{id}^{\ c}, \ \forall c, (j, d) \in J \times D \tag{9}$$

ここで、 qm^{rsc} : 国際海上輸送モデルの品目cのrs港湾間 OD 貨物量(TEU/年)、 qh^{olc} , qh^{idc} : 背後圏輸送モデルの品目cの発地oから輸出港iまで、および輸入港jから着地dまでの OD 貨物量(TEU/年)、 x_{rs} , x_{jd} , x_{od} : 上位モデルのリンクフロー(TEU/年)、I,J: 輸出港iおよび輸入港jの集合、R,S: 発港rおよび着港sの集合である。

3.2 下位モデルの概要 (国際海上コンテナ貨物輸送ネットワークサブモデル)

本サブモデルは、国際海上輸送ネットワークのみを対 象とした配分モデルである。図2に示すように、各定航 サービスを異なるリンクで表現したネットワークを予め 用意して、その上での配分問題を解く。本モデルは外航 海運ネットワークのみを対象としており、本研究では、 政策シミュレーションにおいて重要となる内航海運のカ ボタージュ規制を明示的に表現するため、同一国内の別 の港湾で積卸されないように、港湾間を結ぶ航走リンク を二重にするネットワーク構成へと変更した。具体的に は、図2下に示すように、あるサービスが同一国内で複 数の港湾に寄港する際に、既存の航走リンクに並行して 船積専用の航走リンクを設定し(既存の航走リンクには 船卸リンクのみを接続)、これが当該国の最後の港湾を出 発した後に既存の航走リンクと統合されるようなネット ワーク構成とする。これにより、それぞれのサービスに おいて同一国内の港湾間で貨物が船積・船卸されること が不可能となり、外航船が国内フィーダー輸送を行えな い、というカボタージュ規制を考慮することが可能とな る。なお、当該船会社の所属国においては同一国内港湾 間での積卸が可能となるものの、本研究ではそこまでは 考慮していない。

各サービスに就航する船舶には船腹量(容量)に基づく混雑が生じ、頻度も週1便などに限られているため、本モデルは頻度ベース(Frequency-based)の均衡配分問題(Bell et al., 2011)となる。また、国際海上コンテナ貨物輸送市場は運賃競争が激しいことから、同じODペアの貨物に対する運賃は輸送船社によらず等しくなるものと仮定し、所要時間に対する均衡配分問題を設定する。すなわち、個々の荷主が、貨物の集中による混雑時間(積み残しの発生等)を含めた総海上輸送時間が最小となるよう船会社や輸送ルートを選択した結果、それぞれのODペアについて、どの利用される経路も所要時間が等しくなる、以下の式で表される利用者均衡状態が達成されるものと想定する。

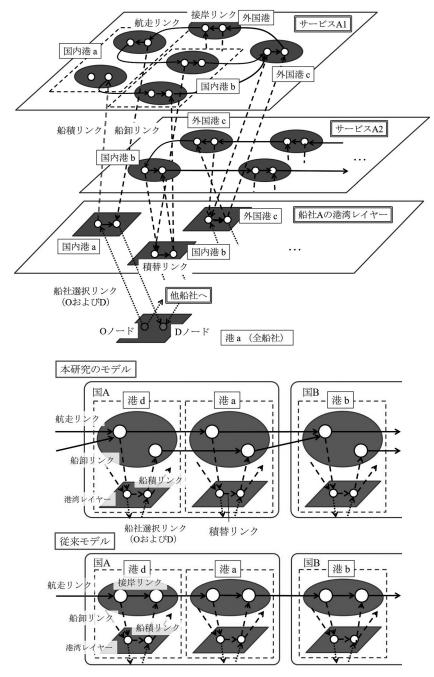


図2:本研究における国際海上コンテナ貨物輸送サブモデルのネットワーク(上)と航走リンク部分の拡大図(下)

$$\min_{x} z(x) = \sum_{a \in A_m} \int_0^{x_a} t(x_a) dx$$
 (10)

s.t.
$$x_a = \sum_{(r,s) \in R \times S} \sum_{k \in K^{rs}} \delta_{a,k}^{rs} \cdot f_k^{rs}, \forall a$$
 (11)

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} - \sum_{c} q m^{rs,c} = 0, \ \forall (r,s) \in R \times S$$
 (12)

$$f_k^{rs} \ge 0, \ \forall k, (r,s) \in R \times S \tag{13}$$

ここで、z(.):目的関数、 x_a : リンク a のフロー(TEU/年)、 A_m : 海上モデルのリンク集合、t(.): 海上モデルのリンクコスト関数(所要時間関数)、 K^r : OD ペア rs の経路集合、 f_k^{rs} : OD ペア rs の経路 k のフロー、 δ_{ak}^{rs} : クロネッカーのデルタである。なお、(10)式は所要時間のみの均衡配分

問題であるため、本問題では品目の違いは考慮されない。 クロネッカーのデルタ δ_a^{hr} は下式で表される。

$$\delta_{a,k}^{rs} = \begin{cases} 1 & \text{if } a \in k \\ 0 & \text{if } a \notin k \end{cases}$$
 (14)

港間の航走リンクにおける所要時間関数は下式で表される。

$$t^{n}(x_{a}) = \left(\frac{lm_{a}}{v_{a}} + nb_{a} \cdot TBE_{a} + \gamma_{a}^{s} \cdot TS + \gamma_{d}^{p} \cdot TP\right)$$
$$+ TW_{a} \cdot b1\left(\frac{x_{a} + x_{a}}{cap_{a}} \cdot freq_{a}\right)^{b2}, \forall a$$
 (15)

ここで、 t^n : 航走リンクの所要時間関数、 lm_a : 海上距離(カ

イリ)、 v_a : 船速 (ノット)、 nb_a : リンク内 a におけるモ デル対象外港湾の寄港回数、 TBE_a : 停泊時間 (hour)、 γ_a , γ_a^P :スエズ運河およびパナマ運河通過に関するダミー変 数(リンクaがスエズ運河またはパナマ運河を通過する 場合は 1、そうでない場合は 0)、TS, TP: スエズ運河およ 起点港で接続する船積リンク、 $TW_{a'}$:船積リンクにおける 期待出航待ち時間 (hour)、a": 当該航走リンクと対とな る(同一発着港、同一サービス)の航走リンク、 $x_{a''}$: 当 該航走リンクと対となる航走リンクのフロー(TEU/年)、 capa: 各サービスにおける当該船社の供給船腹量 (TEU/ 便)、freqa:運航頻度(便/年)、b1,b2:混雑関数に関す るパラメータ(従来モデルにおいてトランシップ貨物量 の現状再現性の観点から推計した b1 = 2.308、b2 = 1.017を利用)である。ここで船積リンク a'における期待出航 待ち時間 TWa (hour) は、以下の通り運航間隔 (頻度の逆 数)の1/2と定義する。

$$TW_{a'} = \frac{1}{2} \cdot \frac{YH}{frea_{a'}} \tag{16}$$

ここで、YH: 時間換算係数(52 (週/年)・7(日/週)・24(hours/日) = 8,736 (hours/年)) である。

上記航走リンクのコスト関数において従来モデルと異なる点は、1. で述べた通り本研究では寄港地数が重要な要素となるため、モデルに含まれない港湾でも(その分の輸送距離の増加はデータの都合上考慮できないものの)寄港時間 TBE_a だけは考慮することとした点と、前述の通り内航カボタージュ規制を考慮するため航走リンクを二重にするよう変更したことを受け、混雑関数が、同一発着港・同一サービスである対となる航走リンクと併せた 2本のリンクフローの合計で定義されている点である。

他のリンクの所要時間関数は従来モデルと同じくフローに依存しない定数となっているため、本モデルは唯一解を持つ利用者均衡配分問題となり、その解である均衡時間は以下で表される。

$$TM_{rs}^{c} = \min_{t} \left\{ \sum_{a \in k} t(x_a) \right\}, k \in K^{rs}, \forall c, (r, s) \in R \times S$$
 (17)

ここで、本研究において上述の通り航走リンクを二重に変更したことにより、(15) 式で表されるリンクコスト関数は他リンクのフロー $(x_{a''})$ も含まれる関数として定義されることから、他リンクによる干渉付きの利用者均衡配分問題となり、緩和解法(土木学会,1998)によって解くこととなる。具体的な解法のアルゴリズムとしては、Frank-Wolfe によるアルゴリズムを適用する。

また、配分結果に基づきパスベースで算出する海上輸送運賃 FO_{rsc} についても、従来モデルと同様に算出する。ただし、各輸送船社gの平均費用c(.)を計算するための仮想経路 k^{sc} については、一般化費用最小となる経路を想定するため、品目cによって経路および運賃が異なることとなる。すなわち、

$$FO_{rs}^{\ c} = \max_{\alpha \in \mathcal{O}^{S}} AC^{rs,g,c}, \ \forall c,(r,s) \in \mathbb{R} \times S$$
 (18)

$$AC^{rs,g,c} = \sum_{a \in \mathbb{R}^{g,c}} c(x_a), \ \forall g, c, (r, s) \in R \times S$$
 (19)

$$k^{g,c} = \arg \left[\min_{k} \left\{ \sum_{a \in k} \left[c(x_a) + vt^c \cdot t(x_a) \right] \right\} \right], k \in K^{rs}, \ \forall g,c$$
 (20)

ここで、 $AC^{rs,gc}$: 輸送船社 g の OD ペア rs における品目 c の平均輸送費用、 G^{rs} : OD ペア rs の輸送に参加する船社 の集合である。なお、(18) 式は、OD ペア rs の輸送に参加する船社の中で、当該ペア間の輸送費用が最も高い船 社の費用が運賃に等しい(=利潤がゼロ)ことを表している。

3.3 下位モデルの概要(背後圏貨物輸送サブモデル)

背後圏貨物輸送サブモデルは、道路・鉄道・内航水運(内航海運)の各輸送機関を含む。ネットワーク構成は図3に示す通りであり、道路ネットワークと鉄道ネットワークは貨物駅を表す接続リンクで接続し、ODノードは必ず道路ネットワークに接続するものとする。内航海運(フェリー)リンクは道路と鉄道の別に考慮する。鉄道と内航海運については、海上輸送サブモデルと同様に運航頻度

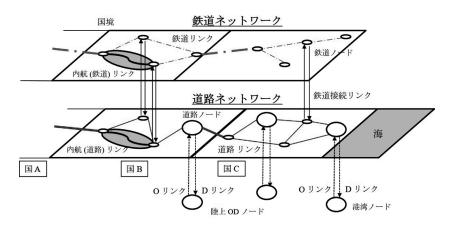


図 3: 背後圏輸送サブモデルのネットワーク 出典: Shibasaki et al., 2020 を改変。

を考慮する。また、国境を越える際には越境費用および 時間が追加的に課される。

本サブモデルでは、国際海上輸送サブモデルと異なり、 運賃は原則として輸送距離に比例するものと想定し(距離によらない固定費用分は OD リンクや接続リンクにおいて考慮する)、また無数の輸送業者による競争を前提に、 各リンクの運賃が各リンクにおける輸送業者の限界費用に等しくなると仮定して、一般化費用に基づく均衡配分問題として以下のように定義する。

$$\min_{x} z'(x) = \sum_{\alpha = -d^{h}} \int_{0}^{x_{\alpha}} u_{c}(x_{\alpha}) dx$$
 (21)

$$s.t. x_a = \sum_c \left(\sum_{(o,i) \in O \times I} \sum_{k \in K^{oi}} \delta_{a,k}^{oi} \cdot f_k^{oi,c} + \sum_{(j,d) \in J \times D} \sum_{k \in K^{jd}} \delta_{a,k}^{oi} \cdot f_k^{oi,c} + f_k^{oi,c} \right), \forall a$$
 (22)

$$\sum_{k \in K^{oi}} f_k^{oi,c} - q h^{oi,c} = 0, \ \forall c, (o,i) \in O \times I$$
 (23)

$$\sum_{k \in \kappa^{jd}} f_k^{jd,c} - q h^{jd,c} = 0, \ \forall c, (j,d) \in J \times D$$
 (24)

$$f_k^{oi,c} \ge 0, \ \forall k, c, (o, i) \in O \times I$$
 (25)

$$f_k^{jd,c} \ge 0, \ \forall k, c, (j, d) \in J \times D$$
 (26)

ここで、z'(.):目的関数、 A_m :背後圏モデルのリンク集合、u(.):背後圏モデルのリンクコスト関数(一般化費用)、 K^{oi} , K^{id} : OD ペア oi および jd の経路集合、 f_k^{oic} , f_k^{jdc} : OD ペア oi および jd の品目 c に関する経路 k のフロー、 $\delta_{a,k}^{oi}$, $\delta_{a,k}^{oid}$: クロネッカーのデルタである。

クロネッカーのデルタ $\delta_{a,k}^{oi}$, $\delta_{a,k}^{jd}$ は下式で表される。

$$\delta_{a,k}^{oi} = \begin{cases} 1 & \text{if } a \in k \\ 0 & \text{if } a \notin k \end{cases}$$
 (27)

$$\delta_{a,k}^{jd} = \begin{cases} 1 \text{ if } a \in k \\ 0 \text{ if } a \notin k \end{cases}$$
 (28)

背後圏輸送サブモデルの各リンクコスト関数は、基本的には従来モデルと同様に定義される。ただし、全てのリンクコストが一般化費用で表され、これに含まれる時間価値vfが品目cごとに定義されることから、各リンクコストも品目別に定義される点が異なる(時間価値以外のパラメータは品目によらず共通である)。道路、鉄道、内航海運のいずれも混雑項が含まれる(混雑関数のパラメータは、従来モデルにおいて現状再現性の観点から推計した値を利用)ことから、(21) 式は品目の違いを考慮した利用者均衡配分問題となり、マルチクラス配分(土木学会、2003)の解法を適用して得られた均衡解であるODペア別の品目別一般化費用は、以下で表される。

$$GL_{oi}^{c} = \min_{k} \left\{ \sum_{a \in k} u_{c}(x_{a}) \right\}, k \in K^{oi}, \forall c, (o, i) \in O \times I$$
 (29)

$$GL_{jd}^{c} = \min_{k} \left\{ \sum_{s \in k} u_{c}(x_{d}) \right\}, k \in K^{jd}, \forall c, (j, d) \in J \times D$$
 (30)

このように得られた OD ペア別一般化費用と、(4) 式に含まれる上位モデルへのインプット(運賃 FL_{oi}^{c} , FL_{jd}^{c} および輸送時間 TL_{oi}^{c} , TL_{jd}^{c}) の関係は以下で表される。

$$GL_{oi}^{\ c} = FL_{oi}^{\ c} + vt^{c} \cdot TL_{oi}^{\ c}, \ \forall c, (o, i) \in O \times I$$

$$(31)$$

$$GL_{id}^{c} = FL_{id}^{c} + vt^{c} \cdot TL_{id}^{c}, \forall c, (j, d) \in J \times D$$
(32)

3.4 全体解法

前述の通り、下位モデルの2つの均衡配分問題は唯一解の存在が保証されている。一方、下位モデルのアウトプットを基に計算する上位モデルと、上位モデルのアウトプットを基に計算する下位モデルについては繰り返し計算が必要となり、また収束も唯一解も保証されない。このため、モデル全体の収束については、事後的に計算が収束していることを確認することとする。また、なるべく現実的な初期値から開始することで、現実的な解が得られるよう工夫する方針とする。具体的には、下位モデルの計算から開始し、初回の海上輸送サブモデルには別途推計する港湾間貨物輸送需要 $qm^{i,c(0)}$ を入力する。一方で、背後圏輸送サブモデルの入力となるOノード〜輸出港間または輸入港〜Dノード間貨物輸送需要の初期値 $qh^{o,c(0)}$, $qh^{i,c(0)}$ は関連データが存在せず推計が困難であるため、0とする。

4. 日本への適用

前章で作成したモデルを、全世界を対象とした国際海 上輸送ネットワークと、日本を対象とした背後圏輸送ネットワークから構成されるインターモーダル貨物輸送ネットワークに適用する。以下では、必要となる入力データを説明し、計算の収束および現状再現性を確認する。

4.1 入力データ

4.1.1 世界の対象港湾と国際海上輸送ネットワーク

本シミュレーションの対象港湾は、2016年の年間外貿コンテナ取扱量(空コンテナおよびトランシップコンテナを含む)が50万TEU以上の176港(日本の7港湾:東京、横浜、清水、名古屋、大阪、神戸、博多を含む)に加え、外航サービスが2便以上寄港する日本の港湾46港の、合計222港を対象とした。

対象とする船会社は、全世界の主要 20 社に加え、追加した日本の港湾に寄港する船社を中心に 18 社を追加し、合計 38 社を対象とした。2016 年 8 月現在のの MDS Containership Databank に収録される国際コンテナ輸送定期航路全 2,475 サービスのうち、これらの対象港湾に寄港する対象船社のサービスは 960 であり、サービス数で言えば全体の 4 割弱しか占めていないものの、船腹量ベースで言えば世界全体の 67%を占める。

また、本研究において、3.2 で示したような、内航輸送におけるカボタージュ規制を考慮するための航走リンク 二重化の対象とするのは、計算の煩雑化を避けることを 念頭に、特に本研究で着目する日本のみとする。その結果、 港湾内リンクなども含む国際海上輸送サブモデルのリンク総数は101,458となった。

なお、(15) 式に示した通り、本研究では、モデル対象外の港湾の寄港時間も考慮するため、MDS Containership Databank から収集するデータとして、(モデルの対象となる港の) 寄港地とその順序、運航船社、船腹量、船速、運航頻度に加え、国際海上輸送サブモデルの各航走リンクにおけるモデル対象外港湾の数 (nb_a) も含めたネットワークを作成する。さらに、本研究で追加した港湾からの海上距離については、従来モデルと同様、鳥海 (2010)の方法により得る。輸送費用に関する各種のパラメータも、基本的には従来モデルと同じ設定とする。

4.1.2 日本の対象ゾーンと背後圏輸送ネットワーク

本研究では、背後圏輸送サブモデルを考慮するのは日本のみとする。207 生活圏のうち、離島など国際海上コンテナの輸送が想定されない地域を統合した199 ゾーンの代表点をOD ノードとし、4.1.1 に示した日本の外航コンテナ53 港との間の輸送ネットワークを、以下の手順で構築した。

はじめに、道路ネットワークについては、ネットワー ク規模が膨大となることを避け、国際物流車両だけで道 路容量を圧迫することはほぼないことも踏まえ、道路情 報便覧データを基に作成した国際海上コンテナ搭載セミ トレーラ車が通行可能なネットワーク (2016年時点、40 ft コンテナを想定、海路は除く)上で道路種別ごとに走行 速度を設定したうえで、所要時間最短となる経路探索を 予め行った結果(距離、時間)を利用した。このネットワー クは、筆者らによる過去の研究(柴崎他, 2005)と同様、 標準的な国際海上コンテナ搭載セミトレーラ車を想定し、 道路の上空障害・橋梁障害・曲線障害・極小幅員により 徐行などの条件付きでも通行できない道路を除外したも のである。ここで、本研究で作成した道路ネットワークは、 O/D ノードと外航コンテナ港湾の間だけでなく、これら のノードと後述の鉄道駅や内航コンテナ港湾との間、お よび鉄道駅と内航コンテナ港湾との間も接続している(た だし、リンク本数の削減を目的として、同一港湾内に外 航と内航のノードが存在するときは当該ノード同士のみ を接続し、他港とは接続しない)。以上の結果、鉄道への 接続リンクを含めた日本国内の道路リンク総数は、63,522 となった。

鉄道ネットワークについては、JR貨物のウェブサイト(日本貨物鉄道,2018)に掲載された20 ft コンテナの取扱が可能な61駅を対象に、掲載された路線図に基づきネットワークを構築した(関東および関西地区においては、ネットワークが複雑になりすぎることを避けるため一部簡便化)。この結果、鉄道リンクの総数は122となった。駅間距離、所要時間、運航頻度は貨物時刻表(鉄道貨物協会,2018)により設定した。

内航海運ネットワークについては、海上定期便ガイド (内航ジャーナル, 2018) で20 ft コンテナを取扱うサー ビスを抽出し、従来モデルと同様にパスベースでリンク を設定したうえで、同一港湾間を結ぶサービスはひとつのリンクに統合した。所要時間と運航頻度も海上定期便ガイドの記載に基づき設定し、複数のサービスをひとつのリンクに統合する際は所要時間は各サービスの平均値、運航頻度は合計値をとった。また、海上輸送距離の設定においては、必要に応じてフリーソフト(port.com)を使用した。以上の結果、ネットワークに含まれる内航コンテナ港湾は39港で、内航リンクの総数は156となった。

道路リンクコストは、従来モデルの構築時に実際の運 賃データより回帰分析によって得た値(距離比例費用: 1.0 US\$/km/TEU、距離によらない固定費用: 60.0 US\$/ TEU) をそのまま用いた一方で、トラック輸送では帰り 荷が確保し難いという問題は一部で解消が進んでいるこ と勘案し、輸送距離については従来モデルのような往復 距離ではなく、片道距離の1.5倍に設定する。鉄道リンク コストは、我が国において鉄道による国際海上コンテナ の背後輸送にはインフラ面で様々な課題が存在するとい う実情(山鹿他, 2004; 国土交通省鉄道局・総合政策局, 2015) を鑑み、距離比例費用を 1.0 US\$/km/TEU(従来モ デルの2倍)、距離によらない固定費用は0(従来モデル と同様)とする。なお、トラックから鉄道への積替えには、 従来モデルと同様、鉄道の固定費用とは別にトラックの 固定費用(調達費用)が加算される。内航リンクコストは、 船腹量が 300 TEU の内航コンテナ船を想定して外航船の 費用関数より算出した距離比例費用 (0.23 US\$/km/TEU) を設定し、また固定費用については、実態を踏まえ、外 航コンテナ船の半額(225 US\$/TEU)と想定した港湾荷役 費用に加え、外航船との積替えについては 60 US\$/TEU の 追加費用がかかると想定する。また鉄道と内航の輸送距 離は片道距離で定義する。

4.1.3 ゾーン間および港湾間貨物輸送需要(OD貨物量)

地域間および港湾間国際海上コンテナ貨物輸送需要は、 原則として従来モデルと同様の方法によって作成する。 すなわち、World Trade Service (WTS) データより世界の 110 国・地域間の国際海上コンテナ貨物輸送需要 (TEU/年) を入手し、これをモデル対象港湾やその背後圏の拡がり を考慮して一度 47 地域へ集約した後、同地域内における 各港湾の外貿コンテナ取扱量シェアまたは各ゾーンのコ ンテナ発着貨物量シェアで比例配分することによって得 る。本研究では、国土交通省港湾局の分類も参考に、表2 に示す通り、「急ぐ貨物」と「急がない貨物」の2品目群 に分類してOD表を作成した。ここで「急ぐ貨物」としては、 1. で述べたような、自動車部品や産業機械のような単位 重量当たりの付加価値の高い貨物や、衣類や製造食品の ような時間の経過に伴う価値の低減が著しい貨物を想定 した。結果として、WTS データの 201 品目のうち急ぐ貨 物には84品目、急がない貨物は117品目が分類された。 なお表2には、WTSデータより得られる各品目群のシェ アも示す。

さらに、WTS データより得られる海上貨物の品目 i 別 総貿易額 V_i (USD/年)、総貨物量 T_i (ton/年)、総コンテ

本研究における	主な品目	シェア (TE	時間価値		
品目分類	土な品目	日本発着貨物	全世界	vt ^c (USD/TEU/hour)	
急ぐ貨物	自動車部品、産業機械、電気機械、 金属製品、衣類、製造食品	27.7 % (輸出) 29.7 % (輸入)	14.9 %	0.80	
急がない貨物	鋼材、再利用自動車、完成自動車、紙・パルプ、化学薬品、非鉄金属、家具 装備品、木製品、樹脂類、輸送用容器、 その他	72.3 % (輸出) 70.3 % (輸入)	85.1 %	0.26	

表 2:本研究における品目分類

ナ貨物量 C_i (ton/年)、総コンテナ輸送量 E_i (TEU/年)をもとに、品目別のコンテナ化率が C_i/T_i で表されることを踏まえ、各品目群 c に属するコンテナ貨物の時間価値 vt_c を以下の式により算出した。

$$vt_{c} = \{ (1+ir)^{\frac{1}{24\cdot365}} - 1 \} \cdot \frac{\sum_{i \in c} (V_{i} \cdot C_{i}/T_{i})}{\sum_{i \in c} E_{i}}, \forall c$$
 (33)

ここで、ir: 年間の貨物価値低減率 (/年) であり、本研究では品目によらず 10% と想定した。以上より算出した時間価値 vf も表 2に示す。全世界のコンテナ貨物の 15% 程度を占める急ぐ貨物の時間価値は、急がない貨物の 3倍以上大きいことがわかる。なお、急ぐ貨物の特徴としては、貨物の単価 $V_i \cdot C_i/T_i$ が大きいケースだけでなく、前述の衣類や製造食品のように陳腐化しやすく貨物価値低減率 ir が大きいケースも考えられるものの、現時点においては品目別の貨物価値低減率を設定するための情報が十分に入手できていないことから、この点については今後の課題とする。

さらに、OD貨物量の国・地域内分割に必要となる各港湾の外貿コンテナ取扱量は、各種統計資料(Lloyd's List, 2017; Drewry Maritime Research, 2017)や各港湾のウェブサイトより収集した。また、日本各ゾーン(生活圏)におけるコンテナ発着貨物量については、2013年全国輸出入コンテナ貨物流動調査データ(国土交通省港湾局, 2014)に基づき、品目分類別および相手国・地域別に、全国の総輸出入コンテナ貨物量に対する各ゾーンのコンテナ発着貨物量シェアを作成し、国レベルのOD貨物量を分割した。

4.2 計算の収束の確認

(10) 式に示される海上輸送サブモデルの均衡配分問題を、Frank-Wolfeのアルゴリズムに基づく繰り返し計算の結果を図4に示す。図に示す通り、概ね9~10回の繰り返し計算により、収束率(各回で計算されたリンクフローの差異の二乗和平方根の、リンクフロー総和に対する比)が従来モデルと同じ基準である10³を下回った。また、(21) 式に示される背後圏サブモデルの均衡配分問題も同様に解いたところ、1回目の計算で従来モデルの収束基準を毎回下回る結果となった。これは、本研究では日本の背後圏のみを考慮しており、後で見るように、混雑項が厳しく設定されている鉄道が日本ではほとんど利用されず、モデルとして混雑項がほとんど効かなかったためと

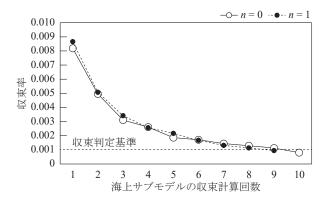


図4:海上輸送サブモデルの計算収束状況

考えられる。

モデル全体の繰り返し計算については、3.4 で述べた通り、事後的にフロー等が収束していることを確認する必要がある。ここで、上位モデルおよび 2 つの下位モデルからなる 1 セットの計算でも 1 時間半程度(Intel® Xeon®Gold 5118 CPU(2.30 GHz および 2.29 GHz)、メモリ 64.0 GB の計算機を使用)かかることを踏まえ、図 5 に示すように、日本各港のコンテナ取扱量についてみても繰り返し計算 2 回と 3 回の時でそれほど大きな変化がないことを確認できたことから、以降のシミュレーションではモデル全体の繰り返し計算回数を 2 回に固定する。なお、

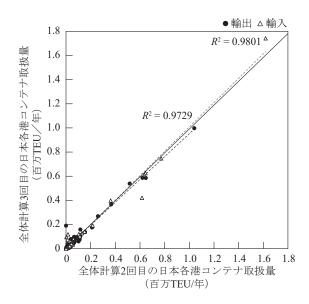


図5:モデル全体の計算収束状況

次章のシミュレーション分析の多くのシナリオ計算においても同程度の収束状況となっていることから、本モデルが一定の安定性を有していることが推察される。

4.3 モデル再現性の確認

図6に、本研究で背後輸送ネットワークを考慮した我が国の港湾を対象に、輸出入別コンテナ取扱量の実績値とモデル推計値(上位モデルの港湾内輸出リンクフローおよび輸入リンクフロー)の比較を示す。重相関係数などをみれば、全体として概ね良好な再現性が得られており、博多港や北九州港の再現性についても輸出入とも良好といえるものの、特に同一湾内(東京・川崎・横浜、名古屋・四日市)の配分に課題がある。なかでも、横浜港や神戸港のように同一湾の中で消費地からやや遠い港湾で取扱量が過小推計され、川崎港や四日市港のように比較的規模の小さい港で過大推計となっている。すなわ

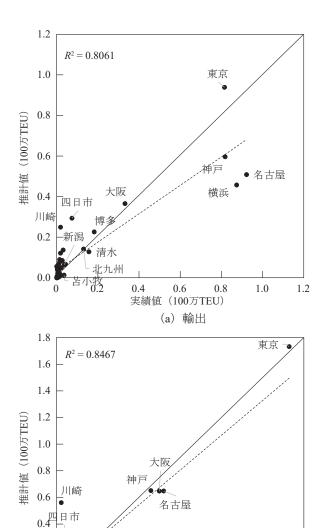


図 6:日本各港における輸出入貨物量の再現性

0.8 1.0

横浜

実績値(100万TEU) (b) 輸入

1.2

1.4

1.6 1.8

新潟

0.2

0.0

博多

🖊 北九州

6.2^{*} 0.4

ち、各港湾における海上輸送サービスのレベル (寄港サービス数など) の差別化がモデルにおいて不十分であることが示唆され、今後の課題といえる。

図7に、我が国の各発着地域と輸出入港湾間の背後貨物輸送量の実績値とモデル推計値(上位モデルの背後輸送リンクフロー)の比較を示す。図より、重相関係数は十分に大きいものの、輸出入とも、直近の港湾の利用(豊田地域〜名古屋港、横浜地域〜横浜港等)が過小推計され、近隣諸港の利用(豊田地域〜四日市港、東京23区地域〜川崎港等)が過大推計される傾向が観察される。関連して表3に、我が国における背後輸送距離(発着地-輸出入港湾ペア別の貨物量による重み付き全国平均値)の実績値とモデル推計値の比較を示す。表より、輸出については推計値は実績値より小さく、輸入については大きいことがわかる。以上の結果より、特に輸入貨物において

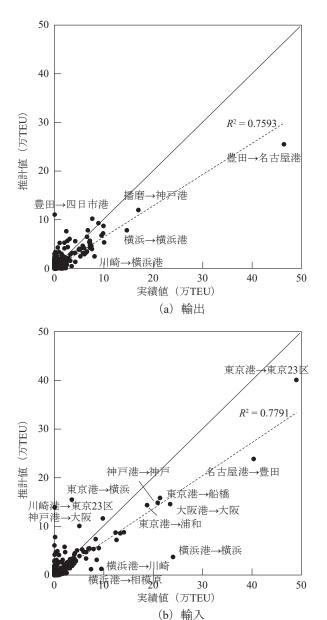


図7:日本の背後輸送リンクフロー(発地域→輸出港、輸入港→着地域)の再現性

表3:我が国における背後輸送距離(重み付き全国平均、km)

	輸出	輸入	輸出入平均
実績	98.0	62.6	78.4
推計結果	73.9	73.7	73.8

は、確率配分モデルを導入したことにより、モデル推計において直近の港湾だけでなく近隣港湾も利用される傾向にあり、平均輸送距離も増加したと考えられる。一方で、輸出貨物においては、同様に近隣諸港の利用は過大に推計される一方で、実績値としては一定程度存在する、長距離の背後輸送により主要港湾を利用する貨物がモデルで十分再現できていないことが推察される。ここで、表3において輸出入平均の推計値は実績値と同水準であることから、本モデルにおいて輸出貨物と輸入貨物で異なる時間価値や分散パラメータを設定するなどの差別化をすべきであったことが示唆される。

また表 4 に、我が国における背後輸送機関シェアの実績値とモデル推計値の比較を示す。ここで実績値は、全国輸出入コンテナ貨物流動調査データ(国土交通省港湾局,2014)の発着地 - 輸出入港湾別の「主たる輸送機関」に基づくフレートトンキロ(ただし距離は道路ネットワークに基づく)、推計値は輸送機関別の背後輸送ネットワークフローに基づくTEUキロにより算出した。表より、各輸送機関のシェアは十分に再現されているといえる。

さらに図8に、2016年実績値(Drewry Maritime Research, 2017)が入手可能な世界の主要ハブ港35港における、トランシップ率(上位モデルの船社間積替リンクのフローと下位モデルの船社内積替リンクのフローの和を、これ

表 4: 我が国における背後輸送機関シェアの再現性 (トンキロベース)

	トラック	鉄道	内航
実績	91.8 %	0.12 %	8.1 %
推計結果	92.7 %	0.11 %	7.2 %

らの積替貨物量と輸出入貨物量の和で割ったもの)の実 績値とモデル推計値の比較を示す。図に示される通り、 実績値と推計値の重相関係数も十分大きく、良好な再現 性が得られているといえる。なお、2013年データで構築 された従来モデルと比べると、重相関係数 (Shibasaki et al., 2020 においては 0.741) がかなり改善されている。こ れは、2013年モデルにおいて最も再現性の悪かった連雲 港(中国)が、2016年の主要ハブ港リストから除外され たことが大きな要因である。除外された理由は、連雲港 のトランシップ貨物量実績値の信頼性に問題があったた めと推測され、筆者らのモデルによって、当該港の実績 値の信頼性への疑義が事前に示されていたともいえる。 また、地中海地域や中東(ペルシャ湾内)においてトラ ンシップ率がやや過小推計される港湾が多いこと、逆に 中国においてトランシップ率がやや過大推計される港湾 が多いことなどは従来モデルと共通の傾向となっており、 今後の改善が必要と考えられる。

5. 博多港を対象としたシミュレーション分析5.1 背景

九州は、面積、人口、域内総生産が日本全体の約1割を占め「1割経済」と呼称されるなか、そのうち生産の約6割、消費の約7割、人口の約4割が福岡県に集中し、人

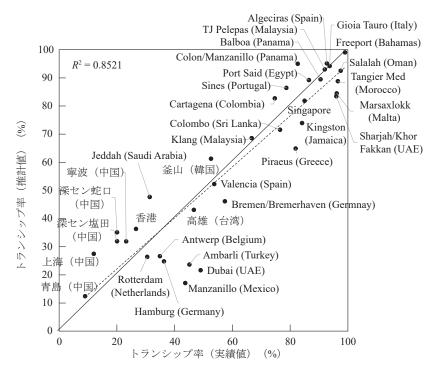


図8:世界主要ハブ港湾におけるトランシップ率の再現性

口及び経済の重心となっている。福岡県には政令指定都市である福岡市、北九州市が存在し、それぞれ博多港と北九州港を擁している。九州全体の国際海上コンテナ取扱個数は年間約174万TEUであり、そのうち55%を博多港、28%を北九州港で取り扱っている。福岡市は第三次産業の割合が9割を超える商業都市、一方の北九州市は臨海部工業地帯を抱える工業都市である。背後圏の違いにより、両港の性格は異なり、博多港は九州全域の市民生活に直結した商業港であるのに対し、北九州港は直背後の重工業を支える工業港と位置づけられる。

博多港の国際海上コンテナ取扱量は国内第6位で、平 成以降に急成長している港湾である。1960年に策定され た港湾計画では工業港としての発展を目指していたもの の、1996年に福岡市の政策として第三次産業に基軸を移 す方針に転換されたことを受け、以後は博多港も商業港 として発展していくこととなった。博多港の施策展開と しては、コンテナ物流機能の強化を図っており、2009年 の国際コンテナ戦略港湾応募時の計画書では、「日本海側 ゲートウェイづくり」、「日中韓シームレス物流の実現」 を目標とし、内航航路の充実・拡大による集荷の実現(日 本海側内航フィーダーを含む)、鉄道輸送による集荷策を 掲げており(福岡市, 2010)、2012年の博多港長期構想で も、近接性を活かしたアジアとの連携を自らの戦略の中 心に据えている(博多港長期構想検討委員会, 2012)。こ うしたこれまでの戦略を踏襲しながら、今後の博多港を 占う上で重要となる施策も展開されている。まず、集荷 における内航海運の充実という点では、13年間途絶えて いた博多港と日本海側港湾を繋ぐ航路として博多ー敦賀 間の RORO 船航路が 2019 年 4 月に開設されている (福 岡市, 2018)。モーダルシフト、リダンダンシー確保の観 点からの効果に加え、敦賀-苫小牧間航路への接続も加 味すれば、日本全国への海路を活用した接続性が高まり、 博多港の集荷能力を高めることも期待されている。また、 農産品等輸出拠点(フード・ハブ)の形成の動きもある。 九州が「1割経済」と呼称される中で農業産出額の全国 シェアは約2割であり、農産品の生産拠点となっている (農林水産省九州農政局, 2019)。生産された農産品は海外 にも輸出されており、博多港からの農産品輸出背後圏は、 九州域内が95%であり、そのうち熊本県内75%、佐賀 県内7.5%と九州全体の輸出拠点となっている(国土交通 省港湾局, 2019a)。

しかし、コンテナターミナル同士およびRORO 船ターミナルが別埠頭に分散しており、積み替えを考慮した場合に非効率であること、商業港ゆえの輸入超過型から脱却するための輸出貨物の創出が必要であること、フード・ハブへと昇華するためのリードタイムを削減する必要があるなど課題は多い。日本海側貨物を博多港に集約するためには、内航フィーダー船優先バースを確保し、効率的な積み替えが必要となり、また、農水産品の輸出相手国はアジアが基本となるなかで、アジアへの輸出においては、博多港は他地域よりも短距離であるという優位性を持ちながら、香港やシンガポールへの直航便はなく、

直航便で早く目的地に到着する神戸港まで陸送するケースも見受けられ、その優位性を活かしきれていない。フード・ハブへと成長するためには、ダイレクト航路やシャトル便の開設が重要となる。

5.2 内航海運シナリオ

以上の背景に基づき、はじめに、内航航路新設のシナリオとして、博多港と日本海側および北海道港湾(敦賀、金沢、新潟、苫小牧)を結ぶ内航コンテナ航路の新規就航を想定する。4.で述べた我が国における内航航路の平均的な設定(船腹量 300 TEU、距離比例費用 0.23 US\$/km/TEU、港湾荷役費用 225 US\$/TEU、外航船との積替え費用(横持ち費用)60 US\$/TEU)を基本設定とし、寄港地や上記設定値、および頻度を変更した表 5 に示すシナリオについてシミュレーションを実施した。ここで、Baseケースは、前章 4.で示した現状再現結果である。また、博多港の横持ち費用を 0 とするシナリオにおいては、外航貨物と内航による国内フィーダー貨物を同一のふ頭で取り扱うことを想定し、本項で考慮する新設航路だけでなく、博多港を発着する全ての内航航路を対象とした施策とする。

図9に、各シナリオにおいて博多港を発着する内航輸送量の、Base ケースからの変化量を示す。図より、どの寄港地シナリオ (D2~D6) においても、横持ち費用削減、距離比例費用の減少、頻度の増加といった新規サービスの利便性が向上するにつれて (例えば、D2-1 から 2-2、2-3、2-4、2-5 とシナリオが進むにつれて)、新規航路の輸送量が増加することがわかる。ただし、頻度の増加については、D2-3 から 2-4、あるいは D3-3 から 3-4 のように頻度を週1 便から週3 便にした場合でも輸送量の増加は3倍未満であり(週3 便から週6 便への増加も同様)、頻度増加による輸送量増加の効果は低減する。

また、敦賀港との往復サービス(D2)よりも金沢港との往復サービス(D3)の方が、同じサービスレベル(例えば、D2-1 と 3-1、D2-2 と 3-2等)で比較すれば輸送量が多く、寄港地が追加される(D4、D5、D6)につれて輸送量がさらに増加することもわかる。さらに、ひとつ先の港まで新規サービスが延長されると、途中寄港地となった港湾までの輸送量は減少する傾向がある(例えば、D5の各シナリオにおいては金沢港までの輸送量が D4 の各シナリオに比べて減少し、D6の各シナリオにおいては新潟港までの輸送量が D5 の各シナリオに比べて減少する傾向にある)ものの、この点については D5-4 と 6-4 における金沢港と新潟港のように、例外も存在することがわかる。

一方、同じく図9に示される新規航路以外の博多港を発着する内航航路の輸送変化量をみると、全ての内航航路を対象として博多港の横持ち費用が減少するシナリオ(D2-2、3-2、4-2、5-2、6-2)では、これらの既存航路でも輸送量が若干増加する。また、敦賀港寄港シナリオ(D2-3~2-5)においては、新規航路の利便性が増加するとともに既存航路の輸送量が同程度減少している(理由の考察については後述)。一方、その他のシナリオにおけるイン

		博多港 .		新設内	航航路		dere and a	
シナリオ		横持ち費用		寄港	 地		頻度 (便/週)	
		(US\$/TEU)	敦賀	金沢	新潟	苫小牧	(OS\$/KIII/TEO)	(文/週)
Base		60						
横持ち費用削	減	0						
(D1)								
	2-1	60	0				0.23	1
数加索洲	2-2	0	0				0.23	1
敦賀寄港 (D2)	2-3	0	0				0.105	1
	2-4	0	0				0.105	3
	2-5	0	\circ				0.105	6
	3-1	60		0			0.23	1
	3-2	0		0			0.23	1
金沢寄港 (D3)	3-3	0		0			0.105	1
(D3)	3-4	0		0		Times	3	
	3-5	0		0			0.105	6
	4-1	60	0	0			0.23	1
	4-2	0	0	0			0.23	1
敦賀・金沢寄港 (D4)	4-3	0	0	0			0.105	1
(D4)	4-4	0	0	0			0.105	3
	4-5	0	0	0			0.105	6
	5-1	60	0	0	0		0.23	1
敦賀・金沢・新	5-2	0	0	0	0		0.23	1
潟寄港	5-3	0	0	0	0		0.105	1
(D5)	5-4	0	0	0	0		0.105	3
	5-5	0	0	0	0		0.105	6
	6-1	60	0	0	0	0	0.23	1
敦賀・金沢・新	6-2	0	0	0	0	0	0.23	1
潟・苫小牧寄港	6-3	0	0	0	0	0	0.105	1
(D6)	6-4	0	0	0	0	0	0.105	3
	6-5	0	0	0	0	0	0.105	6

表 5: 内航海運シナリオ(航路新設)の設定

パクトは一様でなく、新規航路の頻度が増加すると既存 航路の輸送量が若干減少するシナリオが見られる(D3-4、 3-5、6-4、6-5等)一方で、D5-3~5-5のように既存航路 の輸送量が増加するシナリオも見られる。このようにシ ナリオによって反応が異なる理由については、今後精査 が必要である。

また図 10 に、各シナリオにおける博多港の内航貨物取扱量の Base ケースからの変化を示す。これより、図 10 に示す外航一内航間横持ち貨物増加量が、図 9 に示す新規内航航路の輸送量と各シナリオ(すぐ下で述べる D3-2、3-3、4-2、 $5-3\sim5-5$ 、6-3 を除く)においておおむね一致することがわかる。すなわち、新規内航航路で輸送される貨物のほとんどすべてが博多港における横持ち輸送により外航航路と接続しており、図 10 の「横持ちを除く内航貨物量」に含まれる、相手港で外航航路と接続する貨物はほとんど存在しないことがわかる(本研究のモデルは国際貨物のみを対象とし、純粋な内貿貨物は対象とし

ていないことに注意されたい)。さらに、D3-2、3-3、4-2、5-3~5-5、6-3 など、図9において既存内航航路の輸送貨物量が増加するシナリオでは、その増加量と新規航路の輸送貨物量との合計が図10における横持ち貨物量の増加分とほぼ等しくなっていることから、既存内航航路の輸送貨物の増加分も、博多港での横持ち輸送により外航航路と接続されるものと推察される。新規航路を想定せず博多港における横持ち費用のみを削減したシナリオD1においても、(既存航路における)横持ち輸送量が増加している点も含め、本項のシナリオにおいて横持ち費用を削減したのが博多港のみであることを踏まえれば、このようなシミュレーション結果(博多港においてのみ横持ち輸送が増加し、相手港における横持ち輸送はほとんど影響しない)は妥当といえる。

一方で、図9において既存内航航路の輸送貨物量が減少する D2-3 \sim 2-5、3-4、3-5、4-3、6-4、6-5 等のシナリオにおける内航貨物取扱量の変化を図10でみると、横持

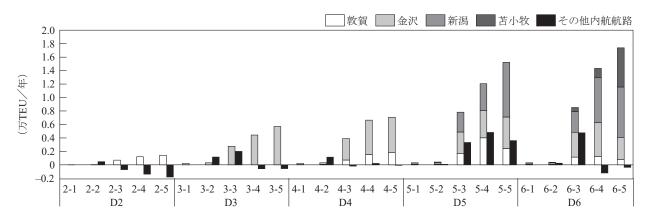


図9: 博多港を発着する内航輸送量のシナリオ別変化 (Base ケースとの比較)

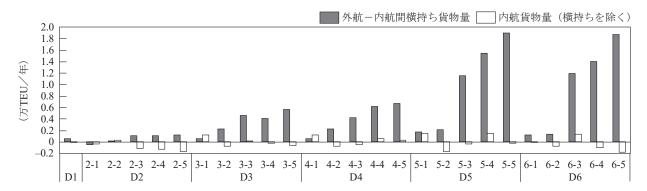


図 10: 博多港における内航貨物取扱量のシナリオ別変化 (Base ケースとの比較)

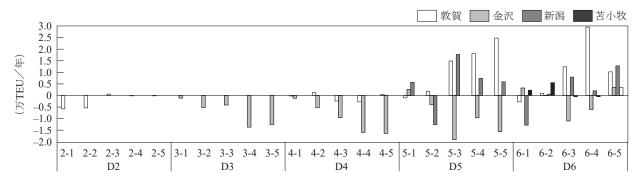


図 11:新規内航航路の寄港地における外航貨物取扱量(輸出入合計)のシナリオ別変化(Base ケースとの比較)

ちを除く内航貨物量が減少する傾向にあることがわかる。これは既存内航航路の相手港(その多くは阪神港である)における外航への横持ち輸送の減少を意味する。すなわち、量は多くないものの、敦賀港や金沢港などから博多港を経由し外航へ接続する貨物と、博多港から阪神港等を経由し外航へ接続する貨物に何らかの競合関係(トレードオフの関係)があることが示唆される(例えば、敦賀港等の背後圏の拡大により阪神港の背後圏が相対的に縮小した等)。

図 11 に、各シナリオにおける新規内航航路の寄港地における外航貨物取扱量の Base ケースからの変化を示す。これより、金沢港においては、ほとんどのシナリオにおいて内航貨物の増加量以上に外航貨物が減少しており、内航へのシフトが金沢港の背後圏を狭めている(金沢港

発着の外航サービスの競争力を弱めている)ことがわかる。一方で、敦賀港・新潟港・苫小牧港については、シナリオによっては外航貨物量も増加している。この相違は、これら3港の背後圏は、金沢港と異なり、東京湾・伊勢湾・大阪湾など太平洋岸の港湾との競合が存在することに起因すると考えられ、これら3港において内航航路の新設により背後圏が拡大すると、太平洋岸諸港の背後圏が若干狭まることでこれらの港湾における外航サービスの競争力が若干弱まり、外航貨物についても太平洋岸諸港から上記3港へのシフトが起きるケースがあると考えられる。この結果は、一段落前で述べた考察とも整合的である。

以上をまとめると、日本海側港湾(苫小牧港を含む) と博多港を結ぶ内航コンテナ航路を新設した場合、現

状の横持ち費用や内航輸送費用を想定する(D2-1、3-1、 4-1、5-1、6-1) と利用量は数百 TEU に限定されるものの、 同一ふ頭の利用による横持ち費用の削減や内航輸送費用 の削減 (D2-3、3-3、4-3) により、年間数千 TEU 程度の 利用が見込まれる可能性がある。特に内航輸送費用の削 減(D3-2 と 3-3、D5-2 と 5-3 等の比較) や、金沢港ある いは新潟港への接続(D2-3、3-3、5-3 間の比較) は、内 航輸送貨物量を増加させる。サービス頻度を増加させる とさらに輸送量の増加が期待できるものの、頻度の増加 率ほど輸送貨物量の増加は見込めず、1 便あたりの輸送量 は減少する (D3-3 ~ 3-5 間の比較、D4-3 ~ 4-5 間の比較 等)。また新設航路で輸送される貨物の大部分は、相手港 ではなく博多港で積み替えられ外航に接続する。これら のシナリオにおいて博多港を発着する既存内航航路の輸 送量は増加する場合も減少する場合もあるが、増加する 場合は博多港での外航との接続(横持ち)が増加し、減 少する場合は相手港での外航との接続(横持ち)が減少 する。また、内航航路の相手港における外航貨物取扱量は、 背後圏が太平洋岸の港湾と競合する港湾においては、場 合によっては背後圏の拡大により増加することがある。

なお、上記の各シナリオにおける博多港の外航貨物量 (輸出入貨物量)は、新規内航航路の輸送貨物量の大きな 増加が見込まれる D5-3~5-5 や D6-3~6-5 では他シナリ オに比べ減少傾向にあるものの、全般的な反応は一様で はなかった。これは、本項で想定した新規内航航路が既 存の博多港の背後圏(九州一円等)と競合せず、既存の 博多港利用貨物のトラック利用から内航航路利用へのシ フトが特に発生しなかったためと考えられる。

5.3 外航海運シナリオ

次に、外航シャトル便航路新設のシナリオとして、博 多港を起点に表6に示すようなサービスの新設を想定す る。ここで、運航船社はONEによる運航を想定した日本 郵船・商船三井・川崎汽船の3社による共同運航、船舶 サイズおよびサービス頻度については現状のサービスレ ベルや事前試行に基づきそれぞれ1000 TEU および週2便 を想定、速度についてはシャトル便であることから比較的速い25 ノットを想定した。表6に示す通り、東・東南アジアの主要港への博多港との間の単純往復シナリオ(II)に加え、シンガポールを含めた海外2 寄港を想定したシナリオ(I2)、北九州港の寄港も想定したシナリオ(I3)も検討する。ここで、前述の通り博多港が輸入中心の港であることを踏まえ、I2 やI3 の海外2 港に寄港するシナリオにおける途中寄港は博多からシンガポールへの南航のみの途中寄港(シンガポールから博多への北航では途中寄港せず)、I3:北九州寄港シナリオにおける北九州港への寄港も博多港出港後の南航時の寄港を想定する。

図12に、各シナリオにおいて推計された新サービスの 消席率(実入りコンテナのみ、南航:日本最終港出港時、 北航:日本最初港入港時)を示す。図より、単純往復シ ナリオ(II)においては、シンガポール往復(II-5)が南 航・北航ともに最も消席率が大きく、ホーチミン(II-3) やレムチャバン(II-4)との往復はサービスを維持するほ どの消席率が確保できなかった。また、2港寄港(I2)や 北九州寄港(I3)により単純往復よりも消席率を増加させ ることができ、特に南航の消席率はI3-0(博多→北九州→ シンガポール→博多)が最も大きく北航並みの値を確保 でき、また、さらに高雄(I3-1)または香港(I3-2)寄港

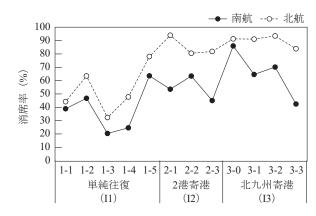


図12:推計された新設シャトル便の消席率(日本発着時)

							-	
シナリス	 オ	博多	北九州	高雄	香港	ホーチミン	レムチャバン	シンガポール
	1-1	0		0				
	1-2	0			0			
単純往復 - (I1) -	1-3	0				0		
	1-4	0					0	
	1-5	0						0
	2-1	0		0				0
2 港寄港 (I2)	2-2	0			0			0
(12)	2-3	0				0		0
	3-0	0	0					0
北九州寄港 (I3) -	3-1	0	0	0				0
	3-2	0	0		0			0
	3-3	0	0			0		0

表 6: 外航海運シナリオ (シャトル便新設) の設定

を追加したシナリオでも南航・北航とも十分な消席率を確保できていることがわかる。このように、博多港発着の東南アジアシャトル便を導入する際には、博多港が輸入貨物中心の港であることを踏まえ、①東南アジア一円および欧州方面航路とのスムーズな接続が期待されるシンガポールとの間を結ぶ航路とすること、②速達性の高いサービスを提供するというシャトル便の特徴を損ねない範囲で、南航時に北九州港あるいは高雄港や香港港へ寄港することにより、輸出貨物もある程度確保することができること、が明らかとなった。

また図13に、各シナリオにおける博多港および北九州 港の輸出入貨物量の Base ケースからの変化を示す。図に 示される通り、北九州に寄港しないシナリオ(I1、I2)の 多くで博多港の輸出入貨物量(多くは輸入貨物量)が増 加し、北九州港の輸出入貨物量が減少している。特に図 12 に示した消席率の大きいシンガポール単純往復シナリ オ (I1-5) や 2 港寄港シナリオ (I2-1、2-2) においてその 傾向が顕著である。一方、北九州寄港シナリオ(I3)にお いては、両港の貨物量とも増加している。より具体的には、 輸入貨物量は博多港で増加する一方で北九州港で減少し、 輸出貨物量については博多港で減少する一方で北九州港 で増加した結果として、両港とも輸出入合計の取扱量が 増加している。これは、各港の特徴を踏まえた寄港順で シャトル便を設定することにより、両港の特徴がより強 化され、結果として両港合計の魅力度が増加したことを 意味している。

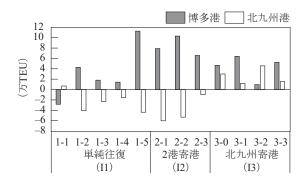


図 13: 博多港および北九州港の輸出入貨物量のシナリオ 別変化 (Base ケースとの比較)

5.4 内航海運・外航海運の複合シナリオ

さらに、上記の新規内航航路と外航シャトル便航路開設の複合シナリオに関するシミュレーションを行う。具体的には、新規内航航路については、本研究で検討した中でも費用対効果が最も大きいシナリオのうちのひとつと考えられる D5-3 (敦賀・金沢・新潟寄港、博多港の横持ち費用削減、内航輸送の距離比例費用の減少、週1便)を想定し、外航シャトル便として表6に示した各シナリオを検討する。

はじめに、各複合シナリオにおける博多港を発着する 内航輸送量の Base ケースからの変化量を、図 14 に示す。 図の左端に示される外航シャトル便の就航がないシナリ

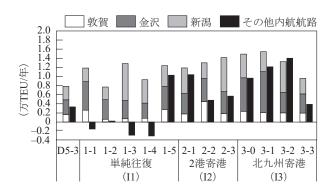


図 14: 各複合シナリオにおける博多港を発着する内航輸送量の変化 (Base ケースとの比較)

オ(図9のD5-3の再掲)と比べ、ほとんどのシナリオで 新規内航航路の輸送量は大きくなっており、またI-5 およびI2、I3の各シナリオにおいてはその他の内航航路の輸送量も増加していて、内航航路新設と外航航路新設の相 乗効果が一定程度ある(外航航路の新設により、内航航路の輸送量が新設航路と既存航路を併せて最大で年間1.6万TEU程度増加する)ことがわかる。

一方で、外航シャトル便の消席率については、ほとん どのシナリオにおいて、図12に示される外航シャトル便 の新設のみを想定した結果とわずかな相違しか見られな かった(北航・南航とも最大でも2%ポイント程度の相 違にとどまり、差異がほとんど見られないため図は省略)。 図 14 に示す新規内航航路の輸送増加量に比べれば、外航 シャトル便の輸送容量(年間 10.4 万 TEU) は相対的に大 きいものの、それだけでは差異がこれほど小さいことは 説明できない。そのため、新規内航航路で輸送される貨 物がそのまま外航シャトル便を利用するというよりは、 外航シャトル便の新設によってまず東南アジア・欧州方 面の貨物が既存の(博多港に寄港する)外航航路からシャ トル便にシフトし、その結果スペースの空いた既存外航 航路と新規あるいは既存の内航航路を博多港で中継し、 例えば日本海港湾と中国等との間の輸送が行われている ことが推察される。このような段階的な効果の波及とい う考え方は、内航を利用する貨物は(トラック輸送との 対比において費用は安いものの時間はかかるため) 急が ない貨物が相対的に多いと考えられる一方で、外航シャ トル便を利用する貨物は(既存外航航路との対比におい て) 急ぐ貨物が相対的に多く、利用貨物の特性が異なる と考えられることとも整合する。

5.5 貨物構成(時間価値)変化のシミュレーション

最後に、時間価値の異なる貨物(「急ぐ貨物」と「急がない貨物」)を考慮したモデルの構築が本研究の大きな特徴のひとつであることから、感度分析的な検討として、前項 5.4 の複合シナリオを前提に、総輸送需要は変化しないと仮定し、日本発着貨物において①急ぐ貨物が現状より一律に 50 % 増加した場合(同量だけ急がない貨物が減少)と、②急ぐ貨物が現状より一律に 50 % 減少した場合(同増加)についてシミュレーションを行った。

図15に、各複合シナリオにおける外航シャトル便の日 本発着時の消席率の変化を示す。本図では、5.4と同じ各 複合シナリオ(内航航路シナリオは D5-3、外航航路シナ リオは表8に示す各シナリオ)において、急ぐ貨物と急 がない貨物の構成が変化した上記①・②のケースについ て、5.4 で示した貨物構成を変化させる前の各複合シナリ オにおける結果からの変化を示している(以下の図 16 お よび図17も同様の考え方で作成されている)。図に示さ れる通り、①急ぐ貨物の増加ケースにおいては、どのシ ナリオにおいても南航・北航とも概ね消席率が1~4% ポイントほど増加し、②急ぐ貨物の減少ケースにおいて は、おおむね消席率が減少(最大で-6%ポイント程度) する結果となった。また、①・②とも、南航の方が北航 に比べ増減の大きいシナリオが多かった。外航シャトル 便が主に急ぐ貨物をターゲットとしていることを踏まえ れば、このように①においてシャトル便の消席率が増加 し、②において減少するのは妥当な結果といえる。また、 日本の輸出貨物を輸送する南航においては輸入貨物を輸 送する北航よりももともと急ぐ貨物の比率が高いことか ら、急ぐ貨物が50%増減したときの影響が大きいことも 妥当な結果といえる。

一方で、図16に示す博多港を発着する内航輸送量(新規航路およびその他の既存航路)の変化については、①・②の間でそれほど明確な傾向は見られない。これは、5.4

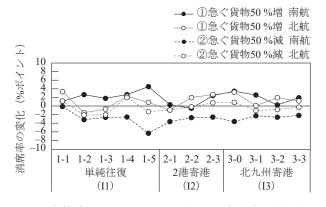


図15:各複合シナリオにおいて貨物構成(時間価値)を変化させた場合の新設シャトル便消席率の変化

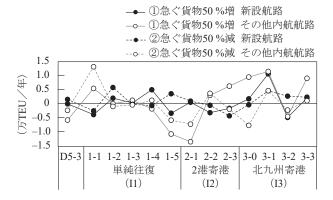


図 16: 各複合シナリオにおいて貨物構成(時間価値)を変化させた場合の博多港発着内航輸送量の変化

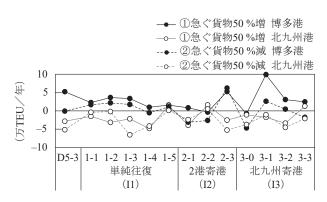


図 17: 各複合シナリオにおいて貨物構成(時間価値)を変化させた場合の博多港および北九州港の輸出入貨物量変化

で述べた通り、外航シャトル便は急ぐ貨物(の比率)がより利用し、内航航路は急がない貨物がより利用するサービスと方向性が異なり、その両者(前者については 5.4 で述べた通り間接的な波及)の影響を受けるためと考えられる。また、図 17 に示す博多港および北九州港の輸出入貨物量の変化をみると、5.4 で示した現状の貨物構成を前提とした複合シナリオと比べて、①・②のケースとも博多港では貨物量が増加する一方で、競合する北九州港では減少するシナリオが多い。ただし、上で見たように、外航シャトル便については①急ぐ貨物の増加ケースで利用が増加、②急ぐ貨物の減少ケースで利用が減少という明確な傾向が観察されるため、多くのシナリオにおいて①の方が②に比べて博多港も北九州港も取扱量は大きい(博多港においては増加量が大きく、北九州港においては減少量が小さい)結果となっている。

6. 結論

本稿は、国際海上コンテナ貨物輸送における国内内航 フィーダー輸送および外航コンテナシャトル便の促進施 策の影響を定量的に計測するため、著者らがこれまで構 築してきたインターモーダル国際物流シミュレーション モデルを、内航フィーダー輸送におけるカボタージュ規 制、モデルに含まれない港湾への寄港、および品目によ る時間価値の相違を考慮したモデルへと拡張した。さら にこのモデルを我が国へ適用するため、2016年時点デー タ(国際海上輸送ネットワーク、背後圏輸送ネットワーク、 地域間 OD 貨物量) を作成してモデルへ入力し、計算が 十分に収束していること、および日本各港における輸出 入貨物量、我が国における貨物発着地域と輸出入港湾間 の背後輸送フロー・平均輸送距離および輸送機関シェア、 世界主要ハブ港湾におけるトランシップ率の観点から十 分な再現性を有することを確認した。そのうえで、博多 港を対象として、内航海運の利用促進に関連する政策(航 路新設、横持ち費用や海上輸送費用の削減、頻度の増加) および外航コンテナシャトル航路の新設、さらに両者を 組み合わせた複数のシナリオについてモデル・シミュレー ションを実施した。以下に、シミュレーション分析によっ

て得られた知見を整理する。

はじめに、内航海運の新設に関しては、博多港と日本海側港湾および苫小牧港を結ぶ内航コンテナ航路を新設した場合、現状の横持ち費用や内航輸送費用を想定すると利用量は数百 TEU に限定されるものの、同一ふ頭の利用による横持ち費用の削減や内航輸送費用の削減により、年間数千~1万 TEU 程度の利用が見込まれる可能性があることがわかった。特に内航輸送費用の削減や、金沢港あるいは新潟港への接続が、内航輸送貨物量の増加の効果が大きい。またサービス頻度を増加させるとさらに輸送量の増加が期待できるものの、頻度の増加率ほど輸送貨物量の増加は見込めず、1 便あたりの輸送量は減少する。これらの施策を通じて、これまで日本海港湾から外国港湾(その多くは釜山港と考えられる)を経由して輸送されていた貨物の一部が、博多港経由の輸送ルートにシフトする可能性が示された。

博多港を起点とする東南アジア向けコンテナシャトル 便の新設については、シンガポール港との間の単純往復、 あるいは同港との往復を前提に南航時に高雄港または香 港港へ追加で寄港することにより、週2便の就航でも南航・ 北航とも十分な消席率を確保できるという結果となった。 また、南航時にさらに北九州港に寄港することで南航の 消席率をより高めるとともに、両港の取扱量の増加にも 寄与する結果が得られた。すなわち、博多港は、輸入貨 物に着目すれば単独でもこのようなシャトルサービスが 成立する可能性がある一方で、輸出貨物については、北 九州港や高雄港・香港港への立ち寄りを通じてサービス が成立するのに十分な輸出貨物を確保することで、研究 背景で触れた博多港を発地とする輸出貨物の振興にも繋 げていく必要性があるといえる。なお、本稿で検討した シャトルサービスは日系または東南アジア系船社による 運航が想定され、従来の日本~東南アジア航路を運航す る中国系船社とコスト構造が異なる可能性があるものの、 本研究のモデルでは船社によるコスト構造の相違までは 考慮していない点に注意が必要である。

さらに、上記の新規内航航路と新規外航シャトル便を 両方実現した場合には、外航航路の輸送量や外航貨物の 港湾取扱量にはさほど大きな影響はないものの、内航航 路の輸送量は最大でさらに 1.6 万 TEU ほど増加する結果 となった。このような相乗効果は、外航シャトル便は主 に急ぐ貨物が利用し、内航航路は主に急がない貨物が利 用すると考えられることから、新規内航航路で輸送され る貨物がそのまま外航シャトル便を利用するというより は、既存の外航航路からシャトル便へ東南アジア・欧州 方面の貨物がシフトした後の空いたスペースを利用し、 日本海港湾からの内航貨物が博多港で中継され中国方面 等へ輸送されるという波及の経路を辿っているものと推 察される。加えて、この新規内航航路と新規外航シャト ル便の双方の実現を前提として、今後我が国を発着する コンテナ貨物のなかで、急ぐ貨物の割合が増加すれば外 航シャトル便の消席率も増加し、急ぐ貨物の割合が減少 すれば消席率も減少する一方で、内航輸送貨物量につい ては、上記のような外航シャトル便利用の増加(または減少)との相乗効果による増加(または減少)と、急がない貨物の減少(または増加)による利用減少(または増加)が相殺され、貨物構成の変化がもたらす影響は一様ではないという結果が得られた。以上のような新規内航航路と新規外航シャトル便を組み合わせたシナリオは、本研究のような広域コンテナ流動シミュレーションモデルを用いることによってはじめて分析が可能となる。ただし、本研究で行った貨物の時間価値変化のシミュレーションは、日本全国の貨物構成が一様に変化することを前提としており、たとえば今後博多港の背後圏だけで貨物構成が変化した場合のシミュレーションを実施した場合には、異なる示唆が得られる可能性もある。

以上のように、特に地理的に内航航路と外航シャトル 航路の結節点としてのポテンシャルを有し、かつ輸入貨 物が多いという特徴を持つ博多港において、横持ち費用 等の削減を伴う日本海港湾との新規内航航路や、輸出貨 物需要を補うための北九州港などへの追加寄港も含めた シンガポール港との間の新規外航シャトル便が成立する 可能性が示された。また、時間価値の異なる貨物の構成 の将来的な変化を想定した影響シミュレーションを行う こともできた。今後は、新規航路の成立可能性について、 新規航路の導入費用なども含めた費用対効果の観点や、 他港湾への同様の新規航路の導入シナリオとの比較など から総合的に検討していく必要があり、こうした検討は 今後の港湾政策への提言になりうる。例えば、日本海側 港湾と博多港間の内航コンテナ航路の新設により国内発 着貨物の輸送ルートが外国港湾経由から博多港経由へと シフトし、外航シャトル便の新設により隣接する博多港 と北九州港の取扱貨物量が互いに干渉しながらも条件次 第では両港の貨物量が増えるという本稿の結果は、日本 海側拠点港政策に対するひとつの答えであり、国内回帰 を目的とする国際コンテナ戦略港湾政策に整合する形で 北部九州港湾が担いうる役割と両港の協働の必要性が示 唆される。ただし、本稿で想定したシナリオの実現への ハードルは大きく、政府および港湾管理者の相当な覚悟 が必要となる。

さらに、今後は、このようなシナリオ・シミュレーションを、地理的特性や輸出入貨物構成の異なる他の港湾に対しても適用することで、港湾の特性に応じた効果的な利用促進施策の提案や効率的な国際海上コンテナ輸送ネットワークの実現に向け、知見を蓄積していきたいと考えている。特に、本研究におけるシナリオ分析では、従来は博多港の背後圏でなかった地域との間に新規の内航航路を想定したため、既存の背後圏を対象として行うべき陸上輸送(道路・鉄道)と内航輸送との競けていき陸上輸送(道路・鉄道)と内航輸送との競けている分析が行えなかったことから、そういったシナリオについても検討していく必要がある。また、将来の貨物構成についても、実態やこれまでのトレンドに基づいて、より実現可能性のあるシナリオを想定する必要がある。さらに、ほとんどのシナリオでは安定した解が得られ、得られた結果も概ね解釈可能であったものの、一部のシ

ナリオにおいては解が安定しなかったり解釈が難しい結果となることもあった。これは、均衡配分の計算手法や複数のサブモデルを交互に計算するというモデル構成に起因すると考えられることから、多段階配分や並列計算手法の導入により一部サブモデルと上位モデルを統合するなど、より安定した解の得られるモデルへの改善も今後の重要な課題のひとつである。

謝辞

日本の道路ネットワーク上における所要時間と距離の 算定にあたっては、(一財)計量計画研究所にご協力いた だきました。ここに感謝申し上げます。

引用文献

- Aritua, B., Havenga, J., Simpson, Z., and Chiew, E. W. L. (2018). Unlocking India's logistics potential: The value of disaggregated macroscopic freight flow analysis. World Bank Policy Research Working Paper.
- Bell, M. G. H., Liu, X., Angeloudis, P., Fonzone, A., and Hosseinloo, S. H. (2011). A frequency-based maritime container assignment model. *Transportation Research Part B*, Vol. 45, 1152-1161.
- Comi, A. and Polimeni, A. (2020). Assessing the potential of short sea shipping and the benefits in terms of external costs: Application to the Mediterranean Basin. Sustainability, Vol. 12, 5383.
- Dial, R. (1971). A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration. *Transport Research*, Vol. 5, 83-111.
- 土木学会「交通ネットワーク」出版小委員会 (1998). 交 通ネットワークの均衡分析―最新の理論と解法―. 土 木学会.
- 土木学会 交通需要予測技術検討小委員会 (2003). 道路交通需要予測の理論と適用 第 I 編 利用者均衡配分の適用に向けて、土木学会.
- Drewry Maritime Research (2017). Container forecaster 2016/17 annual review. London, UK.
- Fan, L, Wilson, W. W., and Tolliver, D. (2009). Logistical rivalries and port competition for container flows to US markets: Impacts of changes in Canada's logistics system and expansion of the Panama Canal. *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 11, No. 4, 327-357.
- Fan, L., Wilson, W. W., and Dahl, B. (2012). Congestion, port expansion and spatial competition for US container imports, *Transportation Research Part E*, Vol. 48, 1121-1136.
- 福岡市 (2011). 日本海側拠点港の形成に向けた計画書 (概要版) ―東アジアに面する日本海ゲートウェイ・博多港―.
- 福岡市(2018). RORO 船「博多港/敦賀港」新規航路開設について一日本海側の九州-本州間航路 13 年ぶりに就航-(平成 30 年 8 月 29 日報道発表資料).
- 福岡市・北九州市 (2010). 国際コンテナ戦略港湾選定に 向けた計画書.
- 博多港長期構想検討委員会 (2012). 博多港長期構想一ア

- ジアの中で輝きを放つオンリーワンのみなとづくり一. 博多港ふ頭株式会社 (2017). 博多港国際コンテナターミナルにおける情報化への取組み (貿易手続きに係る官民協議会第3回 (平成29年12月25日) 資料).
- Holguín-Veras, J., Kalahasthi, L., Campbell, S., González-Calderón, C.A., and Wang, X. (2020). Freight mode choice: Results from a nationwide qualitative and quantitative research effort. *Transportation Research Part A*, Vol. 143, 78-120.
- ITF-OECD (2019). *ITF transport outlook 2019*. OECD Publishing, Paris.
- 井山繁・渡部富博・後藤修一 (2012). 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, I 1181-I 1186.
- Jones, D. A., Farkas, J. L., Bernstein, O., Davis, C. E., Turk, A., Turnquist, M. A., Nozick, L. K., Levine, B., Rawls, C. G., Ostrowski, S. D., and Sawaya, W. (2011). US import/export container flow modeling and disruption analysis. *Research in Transportation Economics*, Vol. 32, No. 1, 3-14.
- Kawasaki, T., Tagawa, H., Tamane, T., Hanaoka, S., and Watanabe, T. (2019). Effects of incentive policy on maritime stakeholders in Japanese local ports. *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 13, 2260-2277.
- Kawasaki, T., Tagawa, H., Watanabe, T., and Hanaoka, S. (2020).
 The effects of consolidation and privatization of ports in proximity: A case study of the Kobe and Osaka ports. *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, Vol. 36, 1-12.
- 木俣順・竹林幹雄(2019). 日本荷主の海上輸送ニーズの変化に関する考察―我が国発東南アジア向け輸出コンテナ貨物を対象とした3時点比較分析―. 運輸政策研究, Vol. 21, 39-47.
- 木俣順・竹林幹雄 (2020). 東南アジア航路の国内寄港地 集約に関するネットワーク分析. 運輸政策研究, Vol. 22, 6-19.
- 国土交通省港湾局 (2014). 平成 25 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 (2018). 港湾の中長期政策「PORT 2030」.
- 国土交通省港湾局 (2019a). 平成 30 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 (2019b). 平成 29 年度外内貿ユニットロード貨物流動調査調査概要.
- 国土交通省鉄道局・総合政策局 (2015). 輸出入コンテナ 貨物の鉄道輸送の促進に向けた調査報告書.
- 京田康宏・井上聰史・森地茂・稲村肇 (2014). 近海コンテナ航路の港間リードタイムと港湾選択. 土木計画学研究・講演集, Vol. 49, 105.
- Lin, D. Y. and Huang, K. L. (2017). An equilibrium-based network model for international container flows. *Maritime Policy & Management*, Vol. 44, No. 8, 1034-1055.
- Liu, Z., Meng, Q., Wang, S., and Sun, Z. (2014). Global intermodal liner shipping network design. *Transportation Research Part E*, Vol. 61, 28-39.

- Lloyd's List (2017). Containerisation international top 100 container ports 2016. (online).
- Meersman, H., Sutalo, N., Voorde, E.V., Hassel, E., and Vanelslander, T. (2020). Belt and road initiative: More competition between sea and rail? A generalized cost approach. In *Freight transport. Modeling in emerging countries* (Kourounioti, I., Tavasszy, L., Friedrich, H., Eds.) Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, Chapter 9; pp.185-212.
- Meng, Q. and Wang, X. (2011). Intermodal hub-and-spoke network design: Incorporating multiple stakeholders and multi-type containers. *Transportation Research Part B*, Vol. 45, 724-742.
- 内航ジャーナル株式会社 (2018). 2018 年版海上定期便ガイド.
- 日本貨物鉄道株式会社. エリア別サービス案内. https://www.jrfreight.co.jp/service/area (閲覧日:2018年9月15日).
- 農林水産省九州農政局 (2019). 見たい!知りたい!九州 農業.
- 佐々木友子・赤倉康寛・渡部富博 (2017). 我が国の国際 海上コンテナ貨物の経路選択モデル構築. 日本沿岸域 学会論文集, Vol. 30, No. 3, 79-90.
- Shao, Z.-Z., Ma, Z.-J., Sheu, J.-B., and Gao, H.O. (2018). Evaluation of large-scale transnational high-speed railway construction priority in the belt and road region. *Transportation Research Part E*, Vol. 117, 40-57.
- 柴崎隆一 (2009). 中国におけるコンテナターミナル整備 と輸送費用削減効果―国際貨物流動モデルの拡張とシミュレーション分析―. 国土技術政策総合研究所研究 報告, No. 39.
- 柴崎隆一 (2017). 港湾貨物量予測の基本的な考え方 (土木学会土木計画学ハンドブック編集委員会編―土木計画学ハンドブック―, II編 11.3.2). コロナ社, pp. 568-571.
- 柴崎隆一 (2020). 東南アジアのコンテナシャトル便の成立可能性.「みなと」のインフラ学—PORT2030 の実現のための処方箋— (山縣・加藤編) 第4章,成山堂,pp. 48-59.
- 柴崎隆一・渡部富博・角野隆 (2005). 国際海上コンテナの 国内輸送ネットワークにおける通行上の制約に関する分析と解消効果の試算. 運輸政策研究, Vol. 7, No. 4, 15-26.
- Shibasaki, R., Watanabe, T., and Araki, D. (2010). How is model accuracy improved by usage of statistics? An example of international freight simulation model in East Asia. *Asian Transport Studies*, Vol. 1, No. 1, 33-46.
- 柴崎隆一・渡部富博・家田仁 (2011). 船社・荷主の最適行動を考慮した国際海上コンテナ輸送の大規模シミュレーション. 土木学会論文集 D3, Vol. 67, No. 4, 455-474.
- Shibasaki, R., Iijima, T., Kawakami, T., Kadono, T., and Shishido, T. (2017). Network assignment model of integrating maritime and hinterland container shipping: Application to Central America. *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 19, No. 2, 234-273.
- Shibasaki, R., Tanabe, S., Kato, H., and Lee, P.T.-W. (2019). Could Gwadar port in Pakistan be a new gateway?: A network simulation approach in the context of the Belt and Road

- Initiative. Sustainability, Vol. 11, No. 20, 5757.
- Shibasaki, R., Kato, H., and Ducruet, C. (eds.) (2020). *Global logistics network modelling and policy: Quantification and analysis for international freight.* Elsevier.
- Tavasszy, L., Minderhoud, M., Perrin, J. F., and Notteboom, T. (2011). A strategic network choice model for global container flows: Specification, estimation and application. *Journal of Transport Geography*, Vol. 19, 1163-1172.
- 鉄道貨物協会 (2018). 2018 貨物時刻表.
- 鳥海重喜(2010). 海上航路ネットワークを用いたコンテナ船の運航パターン分析. オペレーションズ・リサーチ, Vol. 55, No. 6, 359-367.
- Wang, H., Nozick, L., Xu, N., and Gearhart, J. (2018). Modeling ocean, rail, and truck transportation flows to support policy analysis. *Maritime Economics & Logistics*, Vol. 20, 327-357.
- Wang, X. and Meng, Q. (2017). Discrete intermodal freight transportation network design with route choice behavior of intermodal operators. *Transportation Research Part B*, Vol. 95, 76-104.
- Yamaguchi, T., Shibasaki, R., Samizo, H., and Ushirooka, H. (2021). Impact on Myanmar's logistics efficiency of the East-West and Southern Corridor development of the Greater Mekong Subregion: A global logistics intermodal network simulation. Sustainability, Vol. 13, No. 2, 668.
- 山鹿知樹・柴崎隆一・角野隆・渡部富博 (2004). 鉄道および船舶による国際海上コンテナ貨物の国内輸送特性に関する分析. 日本沿岸域学会論文集, Vol. 7, No. 1, 39-50.
- Yang, D., Jiang, L., and Ng, A. K. Y. (2018a). One belt one road, but several routes: A case study of new emerging trade corridors connecting the Far East to Europe. *Transportation Research Part A*, Vol. 117, 190-204.
- Yang, D., Pan, K., and Wang, S. (2018b). On service network improvement for shipping lines under the one belt one road initiative of China. *Transportation Research Part E*, Vol. 117, 82-95.

Abstract

This paper extends the existing global logistics intermodal network simulation model developed by the authors so that the model can consider the cabotage restriction and the difference in value of time by commodities, for examining domestic maritime feeder and international container shuttle services in Japan. After validating the model fitness by inputting various data as of 2016, various policy scenarios in Hakata port on promiting domestic maritime feeder shipping including an introduction of new service and reduction of transshipment cost and introducing an international container shuttle service, as well as combined scenarios of both domestic and international shippings are examined, from the viewpoints of changes in container volume transported by domestic and international maritime shipping and their sensitivities by changing cargo value of time.

(受稿: 2021年9月30日 受理: 2021年12月29日)