1. はじめに

近年，中国をはじめとするアジア地域の急激な経済成長に伴い，アジア地域を発着とする貿易や貨物量も急激に増加している．特に，海上コンテナについてみれば，近年，中国をはじめとする各国・各港において大規模なコンテナターミナルの開発投資が行われ，港湾間・ターミナル間競争が激しくなっていることも背景に，各港のコンテナ貨物取扱量の伸びは著しい．**表-1**に示す2007年の世界の海上コンテナ取扱量ランキング（上位30港）をみると，上位5港をはじめ，30港中20港がアジア地域の港湾であることがわかる．特に，中国の港湾は9港がランクインしており，「世界の工場」であるという状況を如実に物語っている．また，ドバイ（8位，アラブ首長国連邦）やジャワハルラル・ネルー（24位，インド）を代表とする，中東や南アジアの港湾も最近急激に取扱量を伸ばしている．一方で，同じアジア地域に属しながらも，日本の港湾（東京の25位が最高）や2007年に遂に上海港に抜かれ中国第１位の座を譲り渡した香港など，伝統的な港湾の中には地位が低下しつつあるものも見られる．

このような状況のなか，わが国を含め，韓国・中国・アセアン諸国など，東アジア地域の各国・各港湾は，ライバル港との競争に打ち勝ち，あるいは遅れを取らないために，また，自国港湾の相対的な地位低下に伴い，自国発着貨物の輸送や延いては自国産業の国際競争力という観点から不利益をもたらさず，逆に優位性を得るために，活発な投資やさまざまな関連施策を実施している．では，はたして，このような政策の実施によりどの程度の効果が見込めるのだろうか？ その効果について効率的に議論を行うためには，これらの政策実施が国際物流や各国経済に及ぼす影響を，定量的に出力することが可能なシミュレーションモデルが非常に有効であると考えられる．そこで，本研究は，港湾投資や料金割引などハード・ソフト両面の様々な政策の実施により，東アジア地域における国際海上コンテナ貨物の流動がどのように変化するかについてシミュレーションが可能なモデルを構築することを目的とする．

本稿の構成は，下記のとおりである．はじめに，2. で本研究と同様の目的を持つ既往の研究を整理し，それとの対比において本研究の特徴を述べ，3. でモデルの基本的構成を述べる．4. で，実際に計算を行うために必要な入力データの内容と作成方法を述べ，5. で，実際にモデル計算を行い，モデルが実際に収束しているか，あるいは現状を再現できるか（現状再現性）について検証を行う．以上で構築されたモデルをもとに，6. で，感度分析的な政策シミュレーションとして，日本の主要港湾における貨物搬出入時間（リードタイム）や利用料金の引き下げによる貨物流動変化シミュレーションの結果を示す．最後に，7. で本研究の結論および今後の課題について述べる．

表-1 海上コンテナ取扱量世界上位30港（2007年，Containerisation International March 2008による）

2007年順位	2006年順位	港湾名	国	2007年取扱量（万TEU）	対前年増加率
1	1	シンガポール	シンガポール	2,790	12.5%
2	3	上海	中国	2,615	20.5%
3	2	香港	中国	2,388	1.4%
4	4	深圳	中国	2,110	14.2%
5	5	釜山	韓国	1,327	10.3%
6	7	ロッテルダム	オランダ	1,079	11.8%
7	8	ドバイ	UAE	1,065	19.4%
8	6	高雄	台湾	1,026	5.0%
9	9	ハンブルク	ドイツ	990	11.7%
10	11	青島	中国	946	22.9%
11	13	寧波・舟山	中国	936	32.4%
12	15	広州	中国	920	39.4%
13	10	ロサンゼルス	米国	836	−1.3%
14	14	アントワープ	ベルギー	818	16.5%
15	12	ロングビーチ	米国	731	0.3%
16	16	クラン	マレーシア	712	12.5%
17	17	天津	中国	710	19.3%
18	19	タンジュンペラパス	マレーシア	550	15.3%
19	18	NY/NJ*	米国	540	6.1%
20	20	ブレーメン	ドイツ	489	10.4%
21	21	ランチャバン	タイ	465	12.9%
22	22	厦門	中国	463	15.2%
23	24	タンジュンプリオク	インドネシア	390	8.3%
24	28	ジャワハルラル・ネルー	インド	389	26.3%
25	23	東京	日本	382	−3.8%
26	26	大連	中国	381	18.7%
27	32	ジョイアタウロ	イタリア	345	17.3%
28	25	アルヘシラス	スペイン	344	5.5%
29	29	コロンボ	スリランカ	338	9.7%
30	30	フェリクストー	英国	330	10.0%

*ニューヨーク・ニュージャージー

2. 既往の関連研究と本研究の特徴

2.1 港湾取扱貨物量の予測に関する既往の研究

本モデルのような，貨物需要（ＯＤ貨物量ともよばれる）を所与とし，輸送ルートやその一環としての各港湾の取扱量を出力することを目的とするモデルは，交通需要予測における４段階推定法[1]のうち，最後の配分モデル（経路選択モデル）に該当するものである．この配分モデルには，本研究で応用するロジットモデルやネットワーク配分モデルを含め，様々な方法が存在する．以下では，港湾取扱貨物量の予測にこれまで用いられてきた手法を中心に概観する[2]．

[1] ４段階推定法の内容については，たとえば森地・山形 [1)]等を参照されたい．

[2] 海外の港湾需要予測のレビューについては，たとえば

港湾取扱貨物量の予測手法として最も原始的なのは，上記配分モデルには該当しないものの，これまでのトレンドを外挿して将来推計値とするものである．港湾貨物取扱量と各国や地域のGDPの間には，比較的強い相関関係が存在することが多いため，精度的にみればかならずしも悪い手法とはいえない場合もあるものの，説明変数がGDPなどの社会経済状況を示す指標などに極端に限られるため，本研究の目的でもある，さまざまな政策実施効果のシミュレーションが困難であるという問題点がある．同様の問題は，より多くの説明変数を考慮可能な，多変量解析等の計量経済的手法に基づく予測においても指摘できる．これは，これらのモデルが，投資やソフト的施策によってインフラの利便性が向上した際に，荷主や船会社がどのように行動を変えるのかという点を考慮していないことに起因する．

そこで，荷主や船会社の行動を考慮可能なモデルが，先に述べた配分モデルの主流となる．最も単純な配分モデルは，費用（あるいは所要時間など）が最小となるルートにすべての貨物が配分されるという，最短経路探索[3]に基づく考え方である．これは，ルートごとに，すべての貨物が配分されるか，ゼロとなるかという二者択一のため，All or nothing配分，あるいは確定的配分とよばれることもある．この場合，モデル化は非常に簡単であるものの，何らかの政策が実施された結果，あるルート（港湾）の費用が他のルート（港湾）よりも，ほんの僅かでも有利になっただけですべての貨物が改善されたルートを利用することになり，政策シミュレーションとして用いるには不十分であることが多い．

貨物流動パターンがこのように極端に変化しないよう工夫されたものが，ロジットモデル[4]に代表される確率的配分モデルや犠牲量モデル[5]等の重ね合わせ的配分モデルである．確率的配分モデルは，モデル構築者が観測できない要因などにより，各貨物は，最少費用のルートだけでなく，ある一定の確率で多少費用の高いルートも流れると仮定するものである．また，犠牲量モデルは，たとえば貨物の時間価値にばらつきを認めることで，様々なルート選択パターンを産み出すものである．これらのモデルは，構成がシンプルで直観的に理解しやすいうえ，場合によっては高い再現精度を実現することも可能であることから，港湾局における需要予測[6]など，特に実務において用いられることが多かった．しかしながら，予め選択肢（予想利用ルート）を与える必要があることから，部分的（地域限定的）な分析にとどまることが多く，政策実施によりどの程度遠方まで効果が波及するかなど，大規模な計算には不向きである．また，これらはあくまで荷主側のモデルであり，船社の行動は考慮されないかアプリオリ（先験的）に与えられる程度であることから，船社の行動に影響を与えるような政策のシミュレーションには不十分であり，計算も煩雑になる，などの課題がある．

一方で，船社の行動モデルに着目した研究としては，寄港地選択問題を整数計画法などを用いて厳密に解くことや，あるいはGA（遺伝的アルゴリズム）等のいわゆるヒューリスティックな解法を用いて解くことなどが試みられている[7]．しかしながら，これらのモデルについても，大規模な計算を行おうとすると，モデルの構造的に選択肢が非常に多くなってしまうことなどから，困難が多いものと思われる．

Meersman et al.[2]などにまとめられている．

3 最短経路探索を実行するための代表的なアルゴリズムとしては，ダイクストラ法やラベル修正法などがある．詳しくは土木学会[3]や 8.1 節や久保[4] 4 章（ダイクストラ法のみ）等を参照されたい．なお，本モデル内での最短経路探索計算はラベル修正法を用いている．

4 ロジットモデルの詳細については，交通工学研究会[5]や土木学会[6]を参照されたい．

5 犠牲量モデルの詳細については，前出の森地・山形[1]等を参照されたい．

6 たとえば，国土交通省港湾局[7]や渡部ら[8]を参照されたい．ここでは，日本国内発着貨物の輸出入港湾選択問題に対しては犠牲量モデルが，海外発着貨物のトランシップ港選択問題に対してはロジットモデルが適用されている．渡部ら[8]には各モデルの概要も示されている．

7 船会社の行動モデルについては，Christiansen et al.(2004[9], 2007[10])や Haralambides[11]によくまとめられている．このうち Christiansen et al.[10]では，戦略計画決定段階（Strategic planning：輸送ネットワーク・ハブ港や寄港地の決定）と戦術計画決定段階（Tactical Planning：投入船舶やスケジュールの決定）に分けて定航船の典型的なモデルを紹介している．また，Haralambides[11]によれば，これらのモデルを難しくしている決定的な要因は，船舶に積まれるコンテナにとっての最適解が船舶のそれとは一致しない点にあると指摘している．これらの文脈で本研究を整理すれば，本研究で提案するモデルは，船舶数一致制約を緩和し船舶スケジューリングの最適化を諦めるというように，船舶よりはコンテナのフローに着目して，ハブ港や寄港地の決定といった戦略計画と投入船舶サイズという戦術計画の一部を同時に求めるモデルと位置づけられる．

なお，近年の船会社の行動モデル研究の例としては，東南アジア航路[12]や北米航路[13]を対象に最適船舶サイズを求めたもの，寄港地とスケジューリングの同時決定問題とヒューリスティック的な解法を提案しアジア＝欧州航路に適用したもの[14]などがあげられる．また，船社の行動モデルではないが，Kim et al.[15]は，政府の立場から，韓国国内の国際海上コンテナ輸送ネットワークの最適化問題を混合整数計画法によって解いている．我が国における船会社の行動モデル研究の代表例としては，竹林・黒田ら[16]によるアジア発着各航路の寄港地選択問題を厳密解法によって解いたもの，新谷・今井ら[17]による空コンテナを考慮した寄港地選択問題を GA によって解いたもの，などがあげられる．

2.2 荷主や輸送業者の行動を考慮したネットワークモデルに関する既往の研究

港湾貨物流動量の予測に限らず，本研究で構築するような，荷主と輸送業者の行動やその相互作用を考慮したネットワークモデルの代表的なものとして，Crainicらによって開発された，輸送業者の側に立った戦略的輸送計画モデルSTAN[18)-22)]や，Frieszらによって提案された荷主と輸送業者の段階モデルであるFNEM[23),24)]（Freight Network Equilibrium Model：貨物ネットワーク均衡モデル），あるいはその発展形としての両者の同時均衡モデル[25)]およびGSPEM[26),27)]（Generalized Special Price Equilibrium Model：一般空間価格均衡モデル）などがあげられる[8]．Friez and Kwon[28)]によれば，FNEMやSTANは，米国やカナダ等の政府機関によって今なお利用されている一方，GSPEMについては，Crainic et al.[20)-22)]も指摘するように，計算量が膨大になることなどから実用化が難しく，実問題への適用例は，Frieszら自身による米国における石炭産業と鉄道輸送を対象とした例[31)]に限定される．最近では，より高度な理論モデルの開発と簡単な仮想ネットワークを対象とした数値実験が主流となっている[32)-35)]．

一方で，現実の貨物流動を表現するモデルとしては，上記のFNEMやSTANのようなネットワークモデルに加え，単純な非集計モデルや最短経路探索モデルも用いられている[36)-38)]．また近年では，計算機性能の急激な進歩を背景に，サプライチェーン全体を数理的に最適化することを目的としたロジスティクス・ネットワーク設計モデル[21),39),40)]に関する研究も行われるようになってきている．これは，製品の原材料生産から最終商品の配送までを含む大規模なサプライチェーンネットワーク上で，各製品の集配拠点や工場の配置や生産量を決定するモデルであり，STAN等と同様，輸送業者の側に立った全体最適化モデルと位置づけられる．これらのモデルは，各貨物の実情などが捨象された抽象的なモデルとの批判[41)]もあるものの，大規模な実ネットワークに適用することを目的に解法の開発が行われており，実用的なアプローチといえるだろう．

2.3 国際海上コンテナ輸送市場を対象としたネットワークモデルに関する既往の研究と本研究の特徴

前節までで見たように，実問題への適用を念頭に置いたモデル化においては，①実務上有効であるために，ある程度まとまった数の政策変数や対象地域をカバーし，②モデル系全体がなるべく理論的に整合しているという条件のもとで，③現実的な所要時間内で計算可能であること，が必要となる．国際海上コンテナ輸送市場は，輸送会社（船社）の数がある程度限定されており（＝寡占市場），輸送会社数に依存する部分の計算量が少なくて済むことから，FNEMのように荷主と輸送業者の双方の行動を考慮したネットワークモデルが，広範な対象地域かつ政策変数を多く含む実現可能なモデルとして有効と考えられる．

実際の国際コンテナ貨物流動を対象に，上記のようなネットワークモデルによって表現することを試みた研究として，稲村ら[42)]，家田・柴崎ら[43),44)]，黒田・竹林ら[45)]などがある．このうち，稲村ら[42)]においては荷主と船社の均衡の概念は存在せず，家田・柴崎ら[43),44)]は，同一のネットワークに対し荷主と船社のいずれか一方の行動原理を仮定して比較するにとどまっている．また，黒田・竹林ら[45)]においては，荷主と船社の同時均衡をモデル化しているものの，無数の船社による完全競争市場を仮定した計算となっており，国際コンテナ貨物輸送市場は寡占状態であるという現状を反映していない．

そこで本研究は，家田・柴崎ら[43),44)]において構築された輸送ネットワークをベースとしつつ，無数の荷主と少数の船社グループから構成される国際コンテナ貨物市場において，荷主による各自の貨物輸送コストの最小化行動と各船社グループによる自グループの利潤最大化行動の結果，相手の行動を変えることなしに自分の行動をこれ以上最適化することができない，いわゆるナッシュ均衡状態にあると想定し[9]，コンテナ貨物を配分するモデルを構築するものである．具体的には，荷主サブモデルにおいては，シンプルながらも再現精度の高いロジットモデルのような確率的配分モデルと計算が簡便な確定的な最短経路探索モデルの両者のメリットを生かすため，確率的ネットワーク配分モデルに基づく段階的選択モデルを構築する．また，船社サブモデルについては，大規模ネットワークにおける計算可能性を優先し，ベルトラン型寡占市場モデルに基づく収入最大化モデルと，システム最適ネットワーク均衡配分モデルに基づく費用最小化モデルに分割して，均衡解を求めることとする．

[8] これらのモデルの特徴の比較については，Friez and Kwon[28)]を参照されたい．我が国においても土木学会[3)]や松本・渡辺[29)]等で紹介されている．また，我が国における空間価格均衡モデルの例としては，溝上[30)]があげられる（ただし溝上[30)]は，ネットワーク型均衡モデルではない）．

[9] 本研究のモデルとFNEMの最大の違いは，均衡を想定した荷主・輸送業者両モデルの繰り返し計算を行うか否かにある．一方で，本モデルは，大規模ネットワークにおける計算可能性を優先し，GSPEMのように同時最適化計算を行うモデルとはせず，段階的に両モデルの均衡解を求めるものとする．

3. モデルの構成

3.1 モデルの全体構成

本モデルは，**図-1**に示すように，地域間貨物需要（ＯＤ貨物量）や水深別バース数や利用料金などの各港湾のサービスレベル，さらには輸送ネットワークに関する情報（輸送費用・時間など）を所与として，海上および陸上のコンテナ貨物の輸送パターンを出力するものである．この出力を，港湾ごとに集計すれば，港湾別の取扱量やトランシップ貨物量が算出できる．

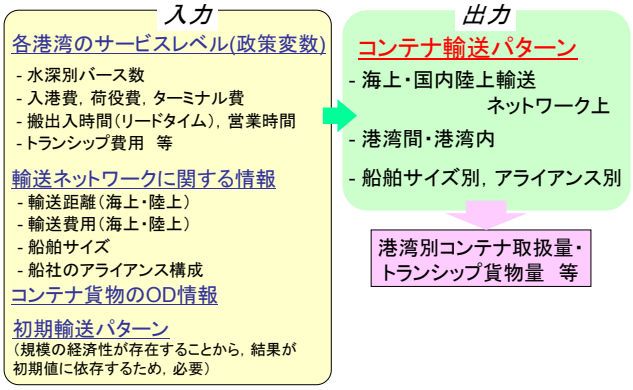


図-1　本モデルの入力と出力

図-2 に本モデルの全体構成を示す．前章でも触れたように，本モデルにおいては，国際海上コンテナ貨物輸送市場の主たる行動主体である「荷主」と「外航船社」の行動に着目する[10]．両者は，**図-2** に示されるように，地域間貨物需要を所与として，航路ごとの運賃・所要時間や需要等によってたがいに関係付けられるなか，それぞれ異なる原理（目的関数）にしたがって最適化行動をとり，相手の行動を所与とした場合，最終的に自己の目的関数をこれ以上最適化することのできない，ナッシュ均衡状態に至ると仮定される．

「荷主」は，個別の貨物ごとに，各外航船社グループが提示する航路別運賃や所要時間も参照しながら，費用や輸送時間にくわえ，モデル構築者が観測できない要因も含めた「認知された一般化費用」が最小となるように，輸出入時の利用港湾や海上輸送における外航船社を選択する．そこで，モデル構築者が観測できない要因も誤差項として含めることが可能な確率配分型のモデルを採用し，輸出入利用港湾の選択と外航船社グループの選択の２段階の選択行動モデルを構築する．このうち，第１段階（下位問題）の外航船社グループ選択問題においては，ロジットモデルを適用する．また，第２段階（上位問題）の港湾選択問題においては，通常のロジットモデルでは選択肢が膨大になり計算が困難になることから，確率的ネットワーク配分モデルを適用する．なお，第２段階では，第１段階（下位問題）の船社グループ選択の行動結果が，全船社合計の合成された航路別費用として組み込まれる，いわゆるネスティッド・ロジット型のモデルとなっている．

一方，「外航船社」は，貨物需要を所与として，アライアンス（外航船社グループ）ごとに利潤が最大となるよう行動するものと仮定し，自ループの利潤（＝収入－費用）が最大となるように，他グループの行動（運賃等）や荷主の船会社選択行動を考慮しながら，海上輸送経路（寄港地やトランシップ港）や輸送船舶サイズ，航路別運賃等を決定するものとする．ここでは，後で述べるように，利潤最大化行動を直接解くことが難しいため，航路別の収入最大化問題と総費用最小化問題に分割して解くものとする[11]．収入最大化問題については，各グループの航路別輸送費用・時間や他グループの運賃，荷主の船社選択行動を所与として自グループの収入が最大となる運賃を決定する[12]．これは，サービスレベルが異なるという差別化された財における寡占市場下の価格競争モデル（ベルトラン均衡モデル）と位置づけられる．また，総費用最小化問題については，各グループの航路別貨物需要を所与として，自グループの総輸送費用が最小となるように，輸送経路やサイズなどの輸送パターンを決定する．この問題には，リンクフロー依存型コストを持つシステム最適ネットワーク均衡配分モデルを適用する．

[10] このほかの行動主体として，「フォワーダー」，「港湾オペレーター（港湾運送事業者）」や「陸上輸送業者」なども存在するものの，モデルの簡略化のためここでは割愛する．

[11] ただし，後述するように，この解法は，一方を固定してもう一方を解くことを繰り返すことによって収束解を得るというものであり，ここで得られた解もナッシュ均衡解（局所解）に相当するため，実行可能解の中で最も利潤が大きくなっているという保証はない．

[12] このようにして得られた各船社グループの航路別運賃も，他グループの運賃決定行動を所与とした場合にこれ以上収入を最大化することができないという意味で，ナッシュ均衡解に相当する．

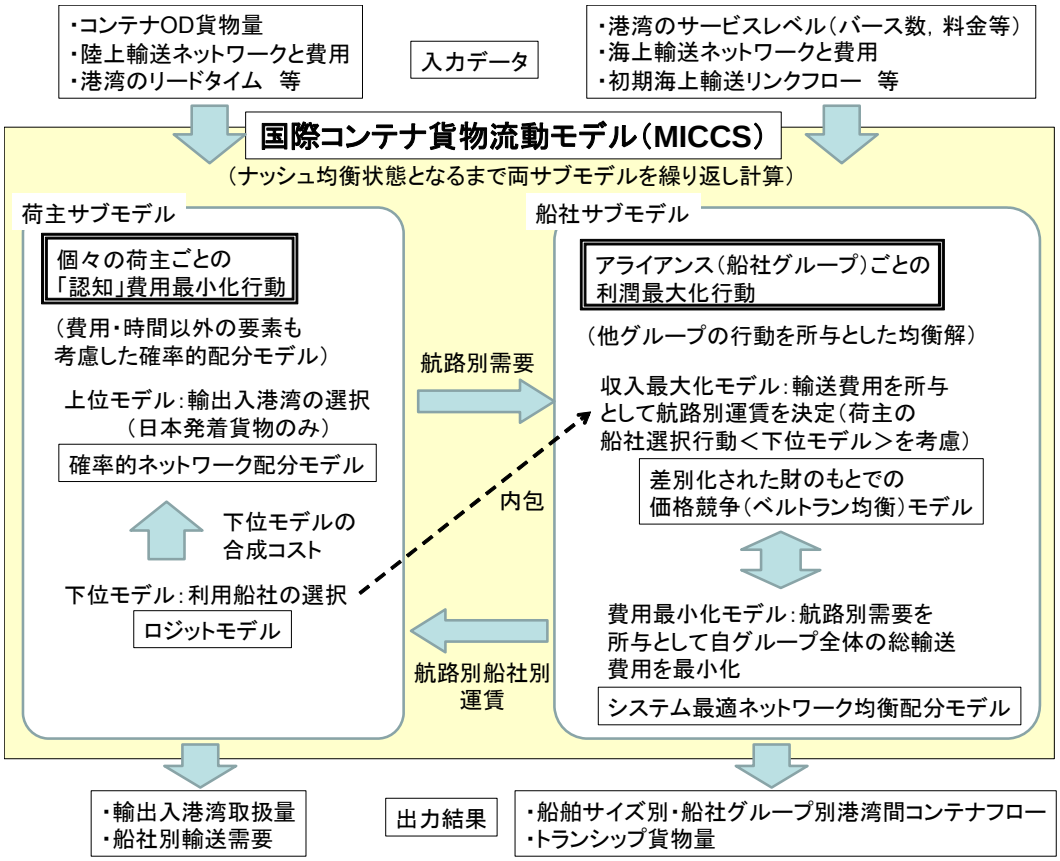


図-2　本モデルの全体構成

3.2 荷主サブモデル

3.2.1 荷主サブモデルの概要

前節で述べたように，荷主は，自己の貨物における「認知された一般化費用」が最小となるように，輸出入時の利用港湾や海上輸送における外航船社を選択すると仮定する．このため，モデル構築者が観測できない要因も誤差項として含めることが可能な確率配分型のモデルを採用し，利用港湾と利用船社の選択を２段階の選択行動として記述する配分モデルを構築する．

下位問題の船社選択モデルとしては，ロジットモデルを用いる．上位問題の港湾選択モデルにおいては，通常のロジットモデルでは選択肢が膨大になり計算が困難になることから，確率的ネットワーク配分モデルを用いる．これらのモデルは，下位問題の船社選択モデルの結果（合成された航路別費用）が，上位問題におけるコストとして組み込まれる，いわゆるネスティッド・ロジット型のモデルとなっている．

3.2.2 上位モデル：輸出入港湾選択モデル

(1)前提

この段階のモデルでは，図-3 に示されるようなネットワーク上における貨物量の配分を考える．ここで，海上輸送リンクは，実際の海上輸送経路や利用船社に関わらず，輸出港と輸入港を直接結ぶものと定義する（本研究においては，この海上リンク一本一本に相当するものを，「航路」と定義する）．なお，本モデルにおいて，モデル構築者の観測できない要因も考慮可能な確率的交通配分モデルとして，広く利用されているロジットモデルではなく，確率的ネットワーク配分モデルを用いた[13]のは，本モデルや今後の拡張モデルで想定するような大規模な輸送ネットワークにおいては，輸送経路を予め列挙する必要のあるロジットモデルでは，選択肢数が膨大になり計算が困難になると考えられるためである．

荷主は，陸上および海上輸送の運賃や所要時間を所与

[13] ただし，土木学会 3)に述べられているように，本モデルで採用する Dial[46]のアルゴリズムに基づく配分においては，経路（選択肢）の限定方法を除けば，通常のロジットモデルと等価となる．

[14]として，期待輸送費用が最小となるルートを選択する．**図-3** で省略されている，各港湾内のネットワーク構成を**図-4** に示す．ここでは，各港湾のリードタイム（搬入時・搬出時）を考慮するため，搬入・搬出リンクが設定されている．また，荷主サイドで意思決定する中継地での積替[15]を考慮するため，船社間積替リンク[16]も設定する．

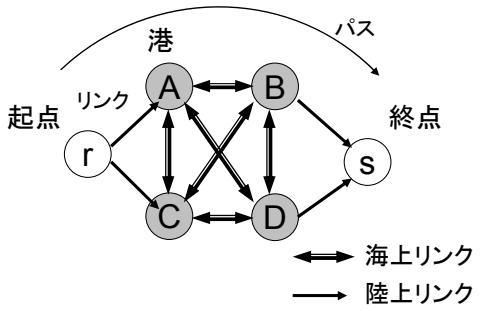


図-3 荷主サブモデル・上位モデルのネットワーク構成（概念図）

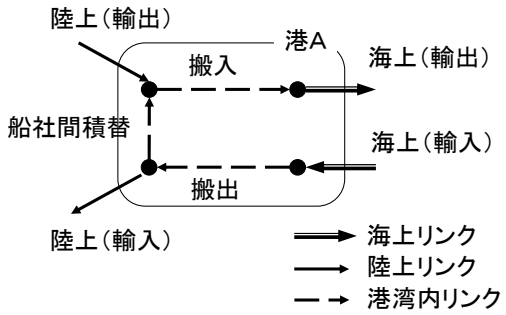


図-4 荷主サブモデル・上位モデルの港湾内ネットワーク構成

(2)定式化

本モデルにおける荷主の選択行動を定式化すれば以下のように表される．

$$f_{rsk} = Q_{rs} \cdot \frac{\exp\left(-\theta \cdot c_{rsk}\right)}{\sum_{k \in K_{rs}} \exp\left(-\theta \cdot c_{rsk}\right)} \qquad (1)$$

ここで，

f_{rsk} :OD ペア rs 間の経路（パス）k の経路貨物量，

Q_{rs} :OD ペア rs 間の貨物需要★（OD 貨物量，TEU），

θ :分散パラメータ，

c_{rsk} :OD ペア rs 間の経路（パス）k の輸送コスト（円/TEU），

K_{rs} :OD ペア rs 間の経路選択肢集合

である．このうち，OD ペアごとの地域間貨物需要 Q_{rs} は，3.1 でも述べたように，本モデルでは常に所与（外生変数）である．以下では，外生変数には★をつけて区分し，4. でその推計（設定）方法について述べる[17]．また，分散パラメータ θ は，モデル内の未知パラメータとして扱われ，現状を最も良く再現するように後ほど推計される．

経路ごとの輸送コスト c_{rsk} については，以下の式で表される．

$$c_{rsk} = \sum_{a \in k} \Lambda_a + \sum_{b \in k} CL_b + \sum_{i \in k} CP_i \qquad (2)$$

ここで，Λ_a は，経路 k に含まれる海上リンク a の期待最小コスト（合成コスト）であり，後述の下位モデルの選択結果を反映したログサム変数[18]である．具体的には，

$$\Lambda_a = -\frac{1}{\theta} \cdot \ln \sum_{g \in G} \exp\left(-\theta \cdot CM_{ag}\right) + \zeta \qquad (3)$$

ただし，

CM_{ag} :海上航路 a において船社グループ g を利用した際の費用（運賃＋時間費用，円/TEU，詳細の定義は 3.2.3 で述べる），

G :船社グループの集合★，

ζ :ログサム変数が負とならないための調整項

である．

また，CL_b は，経路 k に含まれる陸上リンク b の輸送コスト（一般化費用）であり，以下の式で表される．

$$CL_b = CLcost_b + vt_{shpr} \cdot CLtime_b \qquad (4)$$

ただし，

$CLcost_b$:陸上リンク b の輸送運賃★（円/TEU），

$CLtime_b$:陸上リンク b の輸送時間★（時），

vt_{shpr} :荷主の時間価値★（円/TEU・時）．

さらに，CP_i は，経路 k に含まれる港湾内リンク i（搬出・搬入・船社間積替リンク）のコストであり，以

[14] 正確には，あとで見る（式(3)参照）ように，海上輸送運賃については，下位問題における各船社の合成費用として表される．

[15] 荷主の希望する港湾間において単一の船社グループで提供されるサービスが存在しないため，中継港においてグループ間を跨ぐ積替を行うような状況に相当する．

[16] 後ほど船社モデルで登場する（同一船社内）積替リンクとは別個のものであることに注意が必要である．なお，本リンクは荷主側の手配を前提としていることから，同一船社内の積替に比べ抵抗（費用）は大きいことが想定される．

[17] 一方，外生変数および未知パラメータ以外の変数は，モデル内で内生的に決定される変数（内生変数）である．すべての内生変数は，本論文中のいずれかの式で定義されている．

[18] 段階選択モデルの上位モデルと下位モデルの接続における期待最小コストやログサム変数の定式化については，前出のロジットモデルの解説[5),6)]のネスティッド・ロジットモデルの項を参照されたい．

下の式で表される．

i) 搬入リンクの場合

$$CP_i = vt_{shpr} \cdot LTL_i \qquad (5)$$

ただし，

LTL_i:港湾 i の搬入時リードタイム★（時）．

ii) 搬出リンクの場合

$$CP_i = vt_{shpr} \cdot LTU_i \qquad (6)$$

ただし，

LTU_i:港湾 i の搬出時リードタイム★（時）．

iii) 船社間積替リンクの場合

$$CP_i = CTcost_i + vt_{shpr} \cdot CTtime_i \qquad (7)$$

ただし，

$CTcost_i$:船社間積替リンク i の輸送費用★（円/TEU），

$CTtime_i$:船社間積替リンク i の輸送時間★（時）．

(3)解法

以上で見たように，本モデルは，確率的ネットワーク配分問題となるため，Dial[46]のアルゴリズムによって各リンクの輸送量 y を求める．なお，フロー依存リンクをもたない確率的ネットワーク配分は，我が国では適用例があまり多くなく（例外として飯田・高山 [47]など），日本語の適切な解説書は少ない[19]ものの，海外では教科書でもよくとりあげられている（たとえば Cascetta[49]など）．

3.2.3 下位モデル：外航船社アライアンス選択モデル

(1)前提

この段階のモデルでは，輸出・輸入港湾（起点・終点港湾）を所与として，荷主が船社グループを選択する．なお，荷主は各グループの提供するサービスレベル（運賃，頻度，所要時間等）に基づいた選択を行い，各船社グループが実際にどのような運航（輸送ルートや使用船舶など）を行うかについては関知しないと想定する．

(2)定式化

本モデルは，次式で表される通常のロジットモデルで表現される．

$$q_{ag} = d_a \cdot prob_{ag} \qquad (8)$$

ここで，

q_{ag} :航路 a における船社グループ g の輸送量，

d_a :航路 a の貨物需要，

$prob_{ag}$:航路 a における船社グループ g の選択確率

であり，$prob_{ag}$ は以下の式で表わされる．

$$prob_{ag} = \frac{\exp\left(-\theta \cdot CM_{ag}\right)}{\sum_{g \in G} \exp\left(-\theta \cdot CM_{ag}\right)} \qquad (9)$$

また，各航路の貨物需要 d_a は，次式で上位モデルの配分結果と結び付けられる[20]．

$$d_a = \sum_{rs \in \Omega} \sum_{k \in K_{rs}} \delta^a_{rsk} \cdot f_{rsk}, \quad \forall a \in A \qquad (10)$$

ただし，

δ^a_{rsk} :クロネッカーのデルタ（OD ペア rs 間の経路 k にリンク a が含まれるとき１，含まれないとき０），

Ω :OD ペアの集合★，

A :航路の集合★（港湾数×（港湾数－１）の次元）．

また，海上航路 a において船社グループ g を利用した際の費用 CM_{ag} は以下の式で表される．

$$CM_{ag} = p_{ag} + vt_{shpr} \cdot CMtime_{ag} \qquad (11)$$

ただし，

p_{ag} :航路 a において船社グループ g が提示する運賃（円/TEU），

$CMtime_{ag}$:航路 a における船社グループ g の総輸送時間（待ち時間等も含む，時）．

これら両変数 p_{ag}，$CMtime_{ag}$ は，次節の外航船社サブモデルのアウトプットとして荷主サブモデルでは外生的に与えられる．ここで，金銭的費用として，船社が実際に各航路の運航でかかった費用ではなく，次節で述べる船社の収入最大化行動によって決定された運賃 p_{ag} を用いている点に，特に注意されたい．

(3)解法

(8)式より，航路 a における船社グループ g の輸送量 $q_{a,g}$ を得る．

[19] Dial のアルゴリズムについては，土木学会（1998[3]，2004[48]）における確率的ネットワーク「均衡」配分の解説中で取り上げられているので，興味のある読者は参照されたい．

[20] なお，実際の計算にあたっては，上位モデルの海上リンクが輸出港と輸入港をダイレクトに結ぶリンクとして表現されているため，上位モデルの計算結果から，海上リンクフロー y_a がそのまま d_a として取り扱われる．

3.3 外航船社サブモデル

3.3.1 外航船社サブモデルの概要

(1)前提

3.1 で述べたように，外航船社は，アライアンス（船社グループ）ごとに，荷主の選択行動や，その結果としての船社グループ別港湾間ＯＤ貨物量を所与として，利潤が最大となるように航路ごとの運賃や輸送パターン（輸送経路・寄港地，積替港，使用船舶サイズ）を決定する．

ここで，モデル計算を可能とするために，国際海上コンテナ輸送市場を構成する外航船社アライアンスについて，さらに以下のような仮定を置くものとする．

1）国際海上コンテナ輸送市場における寡占市場を想定し，外航船社は，かならずいずれかのグループに属するものとする．なお，単独で運航を行う船社については１船社で１グループとする．この仮定は，特に長距離（基幹）航路を念頭に置いたものであり，アジア圏と欧米を結ぶ基幹航路を中心とした分析には適していると考えられるものの，特に近距離航路については，実際には多数の船社が競争している状況にあることから，近距離の国際海上コンテナ貨物輸送市場における供給者の影響力については過大評価されていると考えられる．これに対応したモデルへの改良については，今後の課題としたい．

2）グループ内の各船社は，配船やスペースの融通，運賃戦略などにおいて完全に一体となった最適化行動を行う．そういった意味では，各船社グループは，その構成船社をすべて統合した巨大船社とみなすこともできる．一方で，異なるグループ間においては，スペースの融通等も含め，一切の協力的行為は行われないものと仮定する．

3）各港湾の全コンテナバースについて，すべての船社グループが使用可能であると仮定する．一般には，大船社ほど専用バースを使用する傾向にあるものの，モデルが相当に複雑になると予想されることから，専用バースは存在しないものとして取り扱う．したがって，入港待ち混雑（船混み）が発生するかどうかは，当該港湾に入港する全船社グループの総入港隻数に依存することとなる．

(2)定式化

船社グループごとの利潤最大化行動は，以下のように表される．

$$\max_{p,x} \pi_g , \qquad \forall g \in G \tag{12}$$

$$s.t.\ \ \pi_g = \sum_{a\in A} p_{ag} \cdot q_{ag}\left(p_{a1},\cdots,p_{ag},\cdots,p_{aG}\right) - \sum_{v\in V} x_{vg} \cdot t_{vg}\left(x_{11},\cdots,x_{vg},\cdots,x_{VG}\right) \tag{13}$$

すなわち，各グループ g の利潤 π_g は，総収入（(13)式右辺第１項）と総費用（同第２項）の差で表される．ここで，

x_{vg} :グループ g，リンク v のフロー，

$t_{vg}\left(x_{\cdot 1},\cdots,x_{vg},\cdots,x_{VG}\right)$:グループ g，リンク v のコスト，

V:リンクの集合

である．なお，各リンクのコスト関数 t_{vg} は，当該リンクのフローx_{vg} だけでなく，同じグループの他のリンクや他グループのリンクのフローにも依存する場合がある[21]（詳細は後述）ことに注意されたい．

また，(13)式に含まれる貨物需要[22]q_{ag} と輸送量 x_{vg} については，全貨物を輸送する必要があることから，以下の関係が成立する．

$$q_{ag} = \sum_{k\in K_{ag}} h_{akg} \tag{14}$$

$$x_{vg} = \sum_{a\in A}\sum_{k\in K_{ag}} \lambda^{v}_{akg} h_{akg} \tag{15}$$

ここで，

h_{akg} :航路 a，グループ g の OD 貨物量における経路（パス）k の経路貨物量，

λ^{v}_{akg} :クロネッカーのデルタ（航路 a，グループ g の OD の経路 k にリンク v が含まれるとき１，含まれないとき０），

K_{ag} :航路 a，グループ g の OD の選択肢集合

である．

(3)解法

通常，(12)式を解く際は，$\frac{\partial \pi_g}{\partial x}=0$ や $\frac{\partial \pi_g}{\partial p}=0$ などにより解くものの，$p(q(x))$（$=q^{-1}(p(x))$：逆需要関数）を x について微分したり，$t(x)$ を x や p について微分するのは，きわめて困難であるため，本モデルでは，緩和的解法として，(13)式の第１項で表される総収入の最大化と，

[21] したがって，すべての船社グループにおいて(12)式が成立するということは，他グループの行動基準（(12)式）を所与とした場合にこれ以上自グループの利潤を高めることのできない，いわゆるナッシュ均衡状態にあるといえる．

[22] (8)式の定義も参照のこと．

第２項で表される総費用の最小化を，それぞれ個別に解くこととする．具体的な手順は以下の通りである．

Step 0. $n = 0$ とし，初期の船社グループ別航路別貨物需要 $\{q_{ag}^{(0)}\}$，および運賃 $\{p_{ag}^{(0)}\}$ を計算する．なお，運賃の初期値（現状推計値）を直接与えることは難しいため，初期フロー $\{x_{vg}^{(0)}\}$ において定義される各リンクコスト $\{t_{vg}^{(0)}\}$ 下での最少費用経路における金銭費用の総和で代用する．

Step 1. $n = n + 1$

Step 2. 一期前の貨物需要 $\{q_{ag}^{(n-1)}\}$ および運賃 $\{p_{ag}^{(n-1)}\}$ を固定して費用最小化問題（3.3.3 参照）を解く．すなわち，

$$\max_{p,x} \pi_g$$

$$s.t.\ \ \pi_g = \sum_{a\in A} p_{ag}^{(n-1)} \cdot \bar{q}_{ag}^{(n-1)}\left(p_{a1}^{(n-1)},\cdots,p_{ag}^{(n-1)},\cdots,p_{aG}^{(n-1)}\right) - \sum_{v\in V} x_{vg}^{(n)} \cdot t_{vg}^{(n)}\left(x_{11}^{(n)},\cdots,x_{vg}^{(n)},\cdots,x_{VG}^{(n)}\right)$$

$$\Leftrightarrow \min_{x}\left\{\sum_{v\in V} x_{vg}^{(n)} \cdot t_{vg}^{(n)}\left(x_{11}^{(n)},\cdots,x_{vg}^{(n)},\cdots,x_{VG}^{(n)}\right)\right\}$$

$$\forall g \in G$$

Step 3. Step 2 で得られたフロー $\{x_{vg}^{(n)}\}$ およびコスト $\{t_{vg}^{(n)}\}$ を固定して収入最大化問題（3.3.2 参照）を解く．すなわち，

$$\max_{p,x} \pi_g$$

$$s.t.\ \ \pi_g = \sum_{a\in A} p_{ag}^{(n)} \cdot q_{ag}^{(n)}\left(p_{a1}^{(n)},\cdots,p_{ag}^{(n)},\cdots,p_{aG}^{(n)}\right) - \sum_{v\in V} \bar{x}_{vg}^{(n)} \cdot t_{vg}^{(n)}\left(\bar{x}_{11}^{(n)},\cdots,\bar{x}_{vg}^{(n)},\cdots,\bar{x}_{VG}^{(n)}\right)$$

$$\Leftrightarrow \max_{p}\left\{\sum_{a\in A} p_{ag}^{(n)} \cdot q_{ag}^{(n)}\left(p_{a1}^{(n)},\cdots,p_{ag}^{(n)},\cdots,p_{aG}^{(n)}\right)\right\}$$

$$\Leftrightarrow \max_{p}\left\{p_{ag}^{(n)} \cdot q_{ag}^{(n)}\left(p_{a1}^{(n)},\cdots,p_{ag}^{(n)},\cdots,p_{aG}^{(n)}\right)\right\}$$

$$\forall a \in A, \forall g \in G$$

ここで，２段目から３段目への変換は，各グループとも各航路の運賃を他の航路の運賃とは独立に決定することを示している[23]．

Step 4. Step 3 で得られた貨物需要 $\{q_{ag}^{(n)}\}$ を一期前の需要 $\{q_{ag}^{(n-1)}\}$ と比較して収束（$\dfrac{\sqrt{\sum_g\sum_a\left\{q_{ag}^{(n)}-q_{ag}^{(n-1)}\right\}^2}}{\sum_g\sum_a q_{ag}^{(n)}} < \varepsilon_G$，$\varepsilon_G$ は収束判定基準となる微小な正の数）しているか，繰り返し回数 n が上限値に達していれば終了[24]，収束していなければ Step1 へ戻る．

以上のような手順により収束が確認されれば，そのときのフロー $\{x_{vg}^{(n)}\}$ や需要 $\{q_{ag}^{(n)}\}$ のもとでは，各船社グループの収入最大化と費用最小化が同時に実現されている[25]こととなり，利潤が（少なくとも局所的には）最大化されていることを意味する．

以下では，各航路の収入最大化行動モデルと，全航路を対象とした総費用最小化行動モデルについて述べる．

3.3.2 収入最大化行動モデル：航路別運賃の決定

(1)前提

前述のように，本研究では，国際海上コンテナ輸送市場は複数少数の外航船社および船社グループ（アライアンス）による寡占市場であると想定する．また，ここでは，各船社グループが，他グループの運賃を参考にしながら自グループの運賃を決定する[26]という，いわゆるベルトラン均衡[27]的なモデルを想定する．ただし，ここで

---

[23] (8)，(9)式に示されるように，各グループ g の航路 a の運賃 p_{ag} は，他グループの同一航路の運賃 $p_{ag'}(g' \in G)$ には依存するものの，自グループや他グループの他の航路の運賃 $p_{a'g}$, $p_{a'g'}$ $(a' \in A)$ とは無関係である．

[24] 具体的な繰り返し計算回数の上限値や，収束判定基準値については，モデルの振る舞いも確認しながら試行錯誤的に決定する．最終的な設定値については，3.4 の**表-2** を参照されたい．

[25] このような状況下では，支出最小化行動を変化させずに収入をこれ以上増加させることはできないし，収入最大化行動を変化させずに支出をこれ以上減少させることができない．これもある種のナッシュ均衡的状況といえる．

[26] ここでは，前項で述べたように，収入最大化モデルが費用最小化モデルと切り離された形で構築されているため，収入最大化モデルにおける各航路の費用は，固定されているとみなせる．

[27] 寡占市場において，各寡占企業が価格競争を行っていると想定できる場合をベルトラン均衡という．財が完全に同質な場合，価格が最も安い企業が全需要を独占することとなるため，ベルトラン均衡においては各企業の価格は最終的に一致する．ただし，本研究で想定するように，財が差別化されている場合には，最終的な価格は企業によって異なる．一方，

供給される輸送サービスは，価格指標以外のさまざまな要素も考えられるため，当該航路における運賃の最も安いグループが全需要を総取りするのではなく，運賃が相対的に高いグループにもある程度の需要が見込まれるものと想定する（具体的には，(8), (9)式に示したように，供給量 q が価格 p を説明変数とする確率モデルで表わされる）．すなわち，運賃以外の要素で差別化された財におけるベルトラン均衡（価格競争）モデルの一種となる．

(2)定式化

各船社グループ g は，航路（輸出港と輸入港の組み合わせを指す）ごとの総需要 d_a を所与として，荷主の船社選択行動[28]や同一航路の他グループ g'（$\forall g' \in G, g' \neq g$）の運賃 $p_{ag'}$ も参考にしながら，航路ごとの収入が最大となるよう運賃 p_{ag} を決定する．すなわち，

$$\max_{p_{ag}} \left\{ p_{ag} \cdot q_{ag}\left(p_{a1}, \cdots, p_{ag}, \cdots, p_{aG}\right) \right\} \quad \forall a \in A, \forall g \in G \qquad (16)$$

$$s.t.\ \ q_{ag} = d_a \cdot prob_{ag} \quad \text{（(8)式の再掲）}$$

(3)解法

具体的な解法は，以下の通りである．本手順によって得られた収束解も，他社の行動を所与として互いに最適化されたナッシュ均衡解である．

Step 0. n = 0 とし，p_{ag} の初期値 $\left\{p_{ag}^{(0)}\right\}(\forall g \in G)$ を与える[29]．

Step 1. $n = n + 1$

Step 2. 任意のグループ g について，自社の運賃以外を所与（1 期前の運賃に固定，すなわち，$\bar{p}_{ag}^{(n-1)}, \forall g' \neq g$）としたとき，1 階の収入最大条件

$$\frac{\partial \left\{ p_{ag}^{(n)} \cdot q_{ag}\left(\bar{p}_{a1}^{(n-1)}, \cdots, p_{ag}^{(n)}, \cdots, \bar{p}_{aG}^{(n-1)}\right) \right\}}{\partial p_{ag}^{(n)}} = 0 \qquad (17)$$

を準ニュートン法に基づいて解き[30]，n 期の自社運賃 $p_{ag}^{(n)}$ を得る．

Step 3. すべての船社の運賃 $p_{ag}^{(n)}, \forall g \in G$ に関する収束条件（$\sum_g \left\{ prob_{ag}^{(n)} - prob_{ag}^{(n-1)} \right\}^2 < \varepsilon_R$）を満たしているか，繰り返し回数 n が上限値に達していれば終了，そうでなければ Step 1 へ戻る．

3.3.3 総費用最小化行動モデル：海上輸送パターンの決定

(1)前提

3.3.1 Step 3 に示される総費用最小化問題は，総収入最大化問題と異なり，航路別の最適化ではなく，輸送システム系全体の最適化問題である．各船社グループは航路別の貨物需要を所与として，自グループの総輸送費用が最小となるように，輸送経路やサイズなどの輸送パターンを決定する．この問題は，リンクフロー依存型コストを持つシステム最適ネットワーク均衡配分モデルとして定式化される．また，本モデルも，3.3.1(1)前提の３）で述べたような入出港時における船混みや，総取扱量に依存する 1 貨物あたりのターミナル利用料を通じて，収入最大化モデルと同様，他グループの行動結果に影響を受けると仮定される．

(2)定式化

船社グループごとの総費用最小化行動は，以下のようにあらわされる．

$$\min_{x} \left\{ \sum_{v \in V} x_{vg} \cdot t_{vg}\left(x_{11}, \cdots, x_{vg}, \cdots, x_{VG}\right) \right\} \quad \forall g \in G \qquad (18)$$

これは，交通ネットワーク均衡配分手法におけるシステム最適配分（System Optimum）に相当する．ここで，既述のように，各リンクのコスト関数 t_{vg} は，当該リンクのフロー x_{vg} だけでなく，同じグループの他のリ

供給量の競争が仮定できる場合をクールノー均衡という．理論的な観点からの両者の比較考察については，Binger and Hoffman[51]，太田[52]等を参照されたい．太田[52]では，差別化された財の下でのベルトラン均衡を扱っている．また，土井[53]は，海運市場を対象にクールノー均衡とベルトラン均衡の考察を行っている．また，金本ら[54]は，電力市場を対象に両者のモデルの定量的な比較分析を行っている．

[28] (16)式で(8)式が与件とされているということは，(8)式で表される荷主の行動原理を，各船社グループが十分把握していると仮定されていることを意味している．

[29] 全体の収束計算の初回においては，便宜的に各航路の金銭費用（3.3.1(3)解法の Step 0 参照）を与え，それ以降の計算においては，1 回前の計算で求めた各航路の運賃を与える．

[30] (17)式に(8), (9), (10)式を代入して解けば $prob_{ag}^{(n)} \neq 0$ のとき $prob_{ag}^{(n)} + \frac{1}{\theta \cdot p_{ag}^{(n)}} - 1 = 0$ となるので，関数 $f\left(p_{ag}\right) = prob_{ag} + \frac{1}{\theta \cdot p_{ag}} - 1$ 上の点 $\left\{p_{ag}^{(n-1)} f\left(p_{ag}^{(n-1)}\right)\right\}$ における接線の y 切片（$-f\left(p_{ag}^{(n-1)}\right) / f'\left(p_{ag}^{(n-1)}\right) + p_{ag}^{(n-1)}$）が $p_{ag}^{(n)}$ となる．

ンク $x_{v'g}, \forall v' \in V$ や他グループのリンクのフロー $x_{vg'}, \forall g' \in G$ にも依存する場合があることに注意が必要である．すなわち，他のリンクのフローの干渉があるネットワーク均衡配分問題となる．

(3)ネットワーク構成

図-5 に船社総費用最小化行動モデルのネットワーク構成を示す．これらのネットワークが，船社グループごとに設定されている．以下に各リンクの概要を述べる．

i) 航走リンク：港と港を結ぶリンクである．すべての港湾の組み合わせについて結ばれる．また，船舶サイズ別に設定されており，通過したリンクをみれば輸送船舶サイズがわかる．さらに，港湾内リンクとのネットワーク構成上，以下の４種類に分けられる（**図-6** も参照のこと）．

①停泊-航走-停泊リンク：前後の港どちらにおいても荷役されず，船舶に積まれたままとなる貨物が通過するリンクである．前後の港においてそれぞれ停泊リンクを通過し，船卸・船積リンクは通過しないように設定される．

②船積-航走-船卸リンク：出発港で荷役されて船積され，到着港でも荷役され船卸される貨物が通過するリンクである．出発港においては船積リンクを通過し，到着港においては船卸リンクを通過するように設定される．

③停泊-航走-船卸リンク：出発港では荷役されず船舶に積まれたままであるが，到着港では荷役され，船卸される貨物が通過するリンクである．出発港においては停泊リンクを通過し，到着港においては船卸リンクを通過するように設定される．

④船積-航走-停泊リンク：出発港で荷役され，船積されたが，到着港では荷役されずに船舶に積まれたま

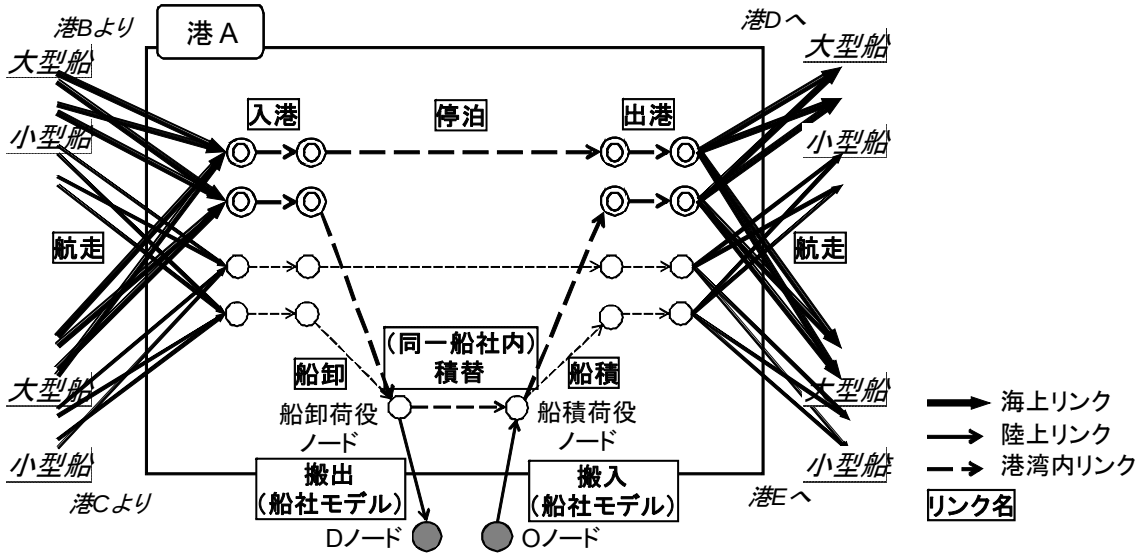


図-5 船社総費用最小化モデルのネットワーク構成（その１・特に港湾内ネットワークに着眼）

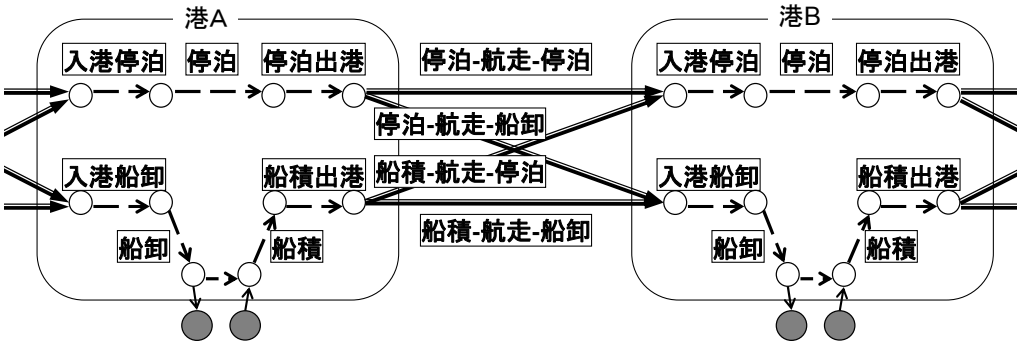


図-6 船社総費用最小化モデルのネットワーク構成
（その２・特に４種類の航走リンクに着眼，船型サイズの区分は省略）

まとなる貨物通過するリンクである．出発港においては船積リンクを通過し，到着港においては停泊リンクを通過するように設定される．

ii) 入港リンクおよび出港リンク：各港湾における船舶の入出港を表現するリンクである．航走リンクと同様，船舶サイズごとに設定される．また，航走リンクを４種類に区分したのと同様の考えに基づき，港湾内で荷役されるか否かによって，①入港停泊（停泊出港）リンク，②入港船卸（船積出港）リンクの２種類に分けられる．なお，3.3.1 で述べたように，入港リンクおよび出港リンクのコストにおいて，専用バースは想定していないため，他船社の入港および出港フローにも影響される．また，当該港湾に入出港可能な水深のバースが存在しない場合，当該サイズ以上の船舶は原則として入出港できない．

iii) 停泊リンク：入港停泊リンクと停泊出港リンクを結ぶ．船舶サイズごとに設定される．

iv) 船卸リンク：各サイズの入港船卸リンクと搬出リンクおよび同一船社内積替リンクを結ぶ．船舶サイズごとに設定される．ただし，終点の船卸荷役ノードは各港湾に一つの設定である．

v) 船積リンク：船卸リンクと逆で，搬入リンクおよび同一船社内積替リンクと各サイズの船積出港リンクを結ぶ．船舶サイズごとに設定される．ただし，起点の船積荷役ノードは各港湾に一つの設定である．

vi) （同一船社内）積替リンク；船卸荷役ノードを起点とし，船積荷役ノードを終点とする．各港湾に１本ずつ設定される．

vii) 搬出リンクおよび搬入リンク；搬出リンクは，船卸荷役ノードを起点とし，D（集中）ノードを終点とする．搬出リンクは，O（発生）ノードを起点とし，船積荷役ノードを終点とする．すなわち，当該港湾を発地または着地とする貨物は必ず通過する．各港湾にそれぞれ１本ずつ設定される．

(4)リンクコスト関数

各リンクのコスト関数は，基本的に，各リンクに関係する金銭費用と時間費用から構成される．ここで，各船社グループの費用最小化行動の対象となる費用について，金銭的費用だけでなく，時間費用（所要時間×金銭時間換算係数）も含めるのは，保険料など，輸送時間に比例して発生する費用もあるものと考えられるためである．なお，以下で示す各リンクのコスト関数において，金銭時間換算係数（船社にとっての時間価値）vt_{carr} は，各船社グループ間で同じ数値と仮定する．さらに，実態に基づき実際の数値を特定することは困難と考えられるため，荷主サブモデルの分散パラメータ θ と同様，未知パラメータとしてモデルに含め，現状を最もよく再現する値をのちほど推計することとする（詳細は 5. のパラメータ推計を参照）．

i) 航走リンク

海上輸送時の金銭費用と時間費用を考える．出発港や到着港において船積・船卸されるか，あるいは船に積まれたまま停泊しているかで異なるのは，サービス頻度に関わる項を考慮するか否かという点である．貨物が当該港で船積・船卸される際は，海上輸送時間に加え，（頻度の逆数×1/2）で表される期待待ち時間を考慮する．すなわち，海上輸送全体の所要時間には，出港するまでの待ち時間も含めることとする．一方，貨物が当該港において船に積まれたまま停泊している場合は，荷役の要する時間だけ停泊した後，直ちに出港すると考えられることから，出港までの待ち時間は考慮しない．これは，一度船に積まれた貨物は，船社の船舶スケジューリング等の都合で当該貨物の船卸地でない港湾に入港することがあっても，サービス頻度に依存する出港待ち時間は，２回以上加算されないことを意味している．

①停泊-航走-停泊（Passing-Cruising-Passing: PCP）リンク

$$GPCP_{vg} = \left\{ \frac{CR_{wg}}{lf_{ijwg} \cdot cap_w} + vt_{carr} \right\} \cdot \frac{l_{ij}}{vl_w} \qquad (19)$$

ここで，

$GPCP_{vg}$: リンク v（=ijw），船社グループ g のコンテナ 1TEU あたりの停泊-航走-停泊リンクコスト（円/TEU），

w :船舶サイズを表す変数，

i :出発港を表す変数，

j :到着港を表す変数，

CR_{wg} :船舶サイズ w，グループ g の単位時間あたり航行時費用★（円/時/隻），

lf_{ijwg} : 出発港 i，到着港 j，船舶サイズ w，グループ g の消席率（ロードファクター，４種類の航走リンク共通），

cap_w :船舶サイズ w の船腹量★（キャパシティ，TEU/隻），

vt_{carr} :金銭時間換算係数（船社の時間価値）（円/時/TEU），

l_{ij} :港湾 ij 間の距離★（カイリ），

vl_w: 船舶サイズ w の船速★（ノット）
である．

(19)式右辺{ }内の第１項は，海上輸送に関わる運航費用，第２項は時間費用を表す．運航費用は，１隻あたり単位時間あたりの航行時費用として定義される CR_{wg} を，１隻あたりのコンテナ輸送量（$lf_{ijwg} \times cap_w$）で除することで，１ TEU あたりのコストを算出する．また，輸送時間は（リンク距離／船速）で表されている．

上記変数のうち，CR_{wg}，cap_w，l_{ij}，vl_w は，外生的に与えられるものの，消席率 lf_{ijwg} については，当該船社・船舶サイズ・港湾間の４種類の航走リンクコストの和が最小となるよう，内生的に決定されるものとする（ただし，$0.1 \le lf_{ijwg} \le 0.9$）．詳細については，**付録 A** を参照されたい．

② 船積-航走-船卸（Loading-Cruising-Unloading: LCU）リンク

$$GLCU_{vg} = \left\{ \frac{CR_{wg}}{lf_{ijwg} \cdot cap_w} + vt_{carr} \right\} \cdot \frac{l_{ij}}{vl_w} + vt_{carr} \cdot \frac{1}{2} \Big/ \frac{XC_{ijwg}}{lf_{ijwg} \cdot cap_w} \quad (20)$$

$$XC_{ijwg} = XLCU_{ijwg} + XPCU_{ijwg} + XLCP_{ijwg} + XPCP_{ijwg} \quad (21)$$

ここで，

$GLCU_{vg}$: リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの船積-航走-船卸リンクコスト（円/TEU），

XC_{ijwg}: 出発港 i，到着港 j，船舶サイズ w，グループ g における，全航走リンクフローの合計値（TEU/時），

$XLCU_{ijwg}$, $XPCU_{ijwg}$, $XLCP_{ijwg}$, $XPCP_{ijwg}$: 出発港 i，到着港 j，船舶サイズ w，グループ g における，船積-航走-船卸リンクフロー，停泊-航走-船卸リンクフロー，船積-航走-停泊リンクフロー，停泊-航走-停泊リンクフロー（TEU/時）．

(20)式で表される船積-航走-船卸リンクコスト $GLCU_{vg}$ は，(19)式で表される停泊-航走-停泊リンクコスト $GPCP_{vg}$ に，船積出港時の平均待ち時間を表す第２項を追加した形になっている．すなわち，単位時間あたりフローを，１隻あたりのコンテナ輸送量で除することで，単位時間あたりのサービス頻度（$\frac{XC_{ijwg}}{lf_{ijwg} \cdot cap_w}$）が算出される．これの逆数の 1/2 が，船積出港時において必要な平均待ち時間となる．なお，ここで，単位時間あたりフロー XC_{ijwg} は，当該リンク（船積-航走-船卸リンク）フロー $XLCU_{ijwg}$ だけでなく，同一港湾間，同一サイズ，同一船社グループのフローの総計となることに注意が必要である[31]．

③停泊-航走-船卸（PCU）リンクおよび④船積-航走-停泊（LCP）リンク

$$GPCU_{vg} = GLCP_{vg} = \left\{ \frac{CR_{wg}}{lf_{ijwg} \cdot cap_w} + vt_{carr} \right\} \cdot \frac{l_{ij}}{vl_w} + vt_{carr} \cdot \frac{1}{4} \Big/ \frac{XC_{ijwg}}{lf_{ijwg} \cdot cap_w} \quad (22)$$

ここで，

$GPCU_{vg}$: リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの停泊-航走-船卸リンクコスト（円/TEU），

$GLCP_{vg}$: リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの船積-航走-停泊リンクコスト（円/TEU）．

基本的には(20)式と同様の考え方に基づく．ただし，リンクコストの対称性をもたせるため，出港待ち時間を船積側と船卸側に等分する．すなわち，各リンクの期待出発待ち時間が $\frac{1}{4} \Big/ \frac{XC_{ijwg}}{lf_{ijwg} \cdot cap_w}$ となる．

ii) 入港リンクおよび出港リンク

入出港時にかかる港湾費用と船混みによる入出港待ち時間を考える．航走リンクと停泊，船積，船卸の各リンクを結ぶリンクのため，**図-5** および**図-6** に示されるように，入港リンクは入港停泊リンクと入港船卸リンク，出港リンクは停泊出港リンクと船積出港リンクのそれぞれ２つに分けられる．ただし，これらのリンクのコスト関数は同一である．

[31] 同じコンテナ船の中に，直前の寄港地で積み込まれた貨物やそうでない貨物，次の寄港地で卸される貨物やそうでない貨物が混載されて輸送されていることを意味している．

①入港停泊（Arriving-Passing: AP）リンクおよび②入港船卸（Arriving-Unloading: AU）リンク

$$GAP_{vg} = GAU_{vg} = \frac{CE_{iw}/2}{\overline{lfa_{iwg}} \cdot cap_w} + \left(\frac{CA_{wg}}{\overline{lfa_{iwg}} \cdot cap_w} + vt_{carr} \right) \cdot TWA_{iw} \cdot \frac{24}{op_i} \quad (23)$$

ここで，

GAP_{vg}: リンク v（$=iw$），グループ g のコンテナ 1TEU あたりの入港停泊リンクコスト（円/TEU），

GAU_{vg}: リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの入港船卸リンクコスト（円/TEU），

CE_{iw}: 港湾 i，船舶サイズ w の入出港費用★（円/隻），

CA_{wg}: 船舶サイズ w，グループ g の単位時間あたり停泊時費用★（円/時/隻），

$\overline{lfa_{iwg}}$: 港湾 i に入港する船舶サイズ w，グループ g の船舶の平均消席率，

op_i: 港湾 i のターミナル内荷役における一日あたり平均オペレーション時間★（時/日），

TWA_{iw}: 港湾 i，船舶サイズ w の船混みによる平均入港待ち時間 (時).

(23)式最右辺第１項は，コンテナ船の入港費を表す．１隻あたりの入港費として定義される $CE_{iw}/2$ を[32]，１隻あたりのコンテナ輸送量で除することで，１ TEU あたりのコストを算出する．また，港湾 i に入港する船舶サイズ w，グループ g の平均消席率 $\overline{lfa_{iwg}}$ は，各航走リンクの消席率 $lf_{i'iwg}$（i'は直前の寄港地）を用いて以下のように表される．

$$\overline{lfa_{iwg}} = \frac{\sum_{i'} \left\{ XC_{i'iwg} \cdot lf_{i'iwg} \right\}}{\sum_{i'} XC_{i'iwg}} \quad (24)$$

(23)式最右辺第２項は，入港待ち混雑による費用を表す．待ち時間に関係する費用としては，単位時間あたり停泊時船舶費用 $\frac{CA_{wg}}{\overline{lfa_{iwg}} \cdot cap_w}$ およびその他の時間費用（金銭時間換算係数 vt_{carr}）が含まれる．また，一日のうち荷役作業を行う時間（平均オペレーション時間）に応じて，実際の入港待ち時間が増大する．

船混みによる平均入港待ち時間 TWA_{iw} は，待ち行列理論等から厳密解を算出するという方法も考えられるものの，計算の簡便のため，ここでは，(25)式に示されるべき乗形の関数で表現する[33]．

$$TWA_{iw} = \gamma_1 \cdot \left\{ \varphi\left(NVA_{iw}, TU_{iw}, NB_{iu}^{-1} \right) \right\}^{\gamma_2} \quad (25)$$

ここで，

γ_1, γ_2: 入港待ち時間関数に関するパラメータ★，

NVA_{iw}: 港湾 i，船舶サイズ w の単位時間あたりの入港隻数（隻/時），

TU_{iw}: 港湾 i，船舶サイズ w の一隻あたりの船卸荷役時間（時/隻），

NB_{iu}: 港湾 i，バース水深カテゴリ u のバース数★，

$\varphi\left(NVA_{iw}, TU_{iw}, NB_{iu}^{-1} \right)$: バース処理能力に関する関数.

(25)式に表されるように，入港待ち時間は，単位時間あたりの入港隻数 NVA_{iw} と一隻あたりの船卸荷役時間 TU_{iw} に比例し，バース数 NB_{iu} に反比例するものと考えられる．このうち，単位時間あたりの入港隻数 NVA_{iw} は以下のように表される．

$$NVA_{iw} = \sum_g \left(\frac{XAP_{iwg} + XAU_{iwg}}{\overline{lfa_{iwg}} \cdot cap_w} \right) \quad (26)$$

XAP_{iwg}, XAU_{iwg}：港湾 i，サイズ w，グループ g の入港停泊リンクフローおよび入港船卸リンクフロー（TEU/時）

ここで，前述のように，各港湾の全バースにおいて，すべての船社グループが共同で使用するという仮定に基づき，NVA_{iw} は全グループの合計値として定義されていることに注意されたい．

また，一隻あたりの荷役時間 TU_{iw} は以下の式で表される．

$$TU_{iw} = TAU_{iw} + \frac{\overline{lfag_{iw}} \cdot cap_w}{prod_i \cdot NC_{iw}} \cdot \frac{XU_{iw}}{XU_{iw} + XP_{iw}} \quad (27)$$

ここで，

TAU_{iw}: 港湾 i における船舶サイズ w の入港時に最低限必要な時間★（時），

$\overline{lfag_{iw}}$：港湾 i に入港する船舶サイズ w の船舶の平均消席率，

$prod_i$: 港湾 i における１クレーンあたりの荷役効率★（プロダクティビティ，TEU/時），

NC_{iw}: 港湾 i におけるサイズ w の船舶の荷役における使用クレーン数★，

[32] 入出港時の合計が港費 CE_{iw} に一致するよう設定する．

[33] なお，アジア地域以外の港湾については，地域代表港としての仮想的な設定であることから，入出港待ち時間は想定しない（$TWA_{iw} = 0$）．

XU_{iw}, XP_{iw}: 港湾 i における船舶サイズ w の船卸および停泊貨物量（TEU/時）

である．なお，$\overline{lfag_{iw}}$ は，

$$\overline{lfag_{iw}} = \frac{\sum_g \sum_{i'} \left\{ XC_{i'iwg} \cdot lf_{i'iwg} \right\}}{\sum_g \sum_{i'} XC_{i'iwg}} \tag{28}$$

と表わされる．

(27)式は，一隻あたりの荷役時間が，入港時にパイロットや接岸作業等で最低限必要な時間 TAU_{iw} と，荷役個数に比例する荷役作業時間の和で表されることを意味している．また，荷役作業時間は，１隻あたりの平均船卸貨物個数 $\overline{lfag_{iw}} \cdot cap_w \cdot \frac{XU_{iw}}{XU_{iw} + XP_{iw}}$ を単位時間・１バースあたりの処理能力 $prod_i \cdot NC_{iw}$ で除することで得ている．

さてここで，(25)式において，バース処理能力に関する関数を明確化せず $\varphi\left(NVA_{iw}, TU_{iw}, NB_{iu}^{-1}\right)$ と記述したのは，状況によって関数形が異なると考えられるためである．具体的には，バースの水深ランクとサイズ別の入港船舶数が１対１関係ではないことに起因する．すなわち，大水深のバースには大型・小型のサイズを問わず船舶が入港可能であるが，水深が浅いバースには小型船舶しか入港できない．この関係を２種類の船舶サイズおよびバース水深ランクにおいて模式的に表したものが**図-7** である．この状況において，大型バースの方が相対的に混雑している場合（$\frac{NVA_{iL} \cdot TU_{iL}}{NB_{iL}} > \frac{NVA_{iS} \cdot TU_{iS}}{NB_{iS}}$）には，大型船は大型バース，小型船は小型バースに入港するため，それぞれのバース処理能力は以下のように表される．

$$\varphi_L\left(NVA_{iL}, TU_{iL}, NB_{iL}^{-1}\right) = \frac{NVA_{iL} \cdot TU_{iL}}{NB_{iL}},$$

$$\varphi_S\left(NVA_{iS}, TU_{iS}, NB_{iS}^{-1}\right) = \frac{NVA_{iS} \cdot TU_{iS}}{NB_{iS}}.$$

一方で，小型バースの方が相対的に混雑している場合（$\frac{NVA_{iL} \cdot TU_{iL}}{NB_{iL}} < \frac{NVA_{iS} \cdot TU_{iS}}{NB_{iS}}$）は，混雑が均等化されるように一定割合 α の小型船が大型バースを利用し，結果として両バースの混雑待ち時間は等しくなる．すなわち，

$$\varphi_L\left(NVA_{iL}, TU_{iL}, NB_{iL}^{-1}\right) = \left(NVA_{iL} + \alpha \cdot NVA_{iS}\right) \cdot \frac{TU_{iL}}{NB_{iL}},$$

$$\varphi_S\left(NVA_{iS}, TU_{iS}, NB_{iS}^{-1}\right) = \left(1 - \alpha\right) \cdot NVA_{iS} \cdot \frac{TU_{iS}}{NB_{iS}},$$

$$\varphi_L = \varphi_S$$

より α を消去して，

$$\varphi_L = \varphi_S = \left(NVA_{iL} + NVA_{iS}\right) \cdot \frac{TU_{iL} + TU_{iS}}{NB_{iL} + NB_{iS}}$$

となる．

なお，ここで示した式は２つの船舶サイズを考慮した場合の結果であり，船舶サイズのカテゴリ数が３以上の場合は，より複雑な手順が必要となる．詳細は**付録 B** を参照されたい．

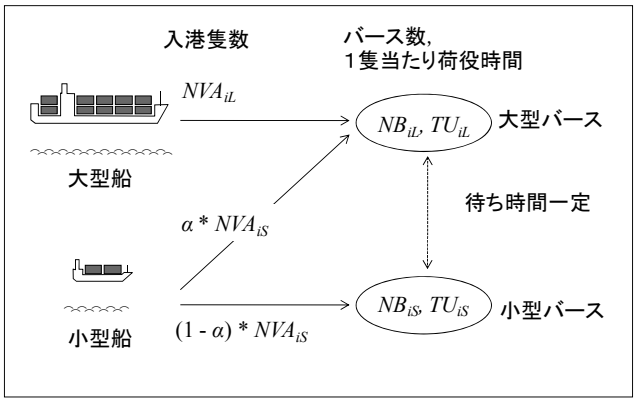


図-7 バース水深と入港待ち混雑の関係

③停泊出港（Departing-Passing: DP）リンクおよび④船積出港（Departing-Loading: DL）リンク

入港停泊リンクおよび入港船卸リンクと同様に定義する．

$$GDP_{vg} = GDU_{vg} = \frac{CE_{iw}/2}{\overline{lfd_{iwg}} \cdot cap_w} + \left(\frac{CA_{wg}}{\overline{lfd_{iwg}} \cdot cap_w} + vt_{carr} \right) \cdot TWD_{iw} \cdot \frac{24}{op_i} \tag{29}$$

ここで，

GDP_{vg}: リンク v（=iw），グループ g のコンテナ 1TEU あたりの停泊出港リンクコスト（円/TEU），

GDU_{vg}: リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの船積出港リンクコスト（円/TEU），

$\overline{lfd_{iwg}}$: 港湾 i を出港する船舶サイズ w，グループ g の船舶の平均消席率，

TWD_{iw}: 港湾 i 船舶サイズ w の船混みによる平均出港待ち時間（時）

であり，このうち $\overline{lfd_{iwg}}$，TWD_{iw} はそれぞれ，

$$\overline{lfd_{iwg}} = \frac{\sum_{i'} \left\{ XC_{ii'wg} \cdot lf_{ii'wg} \right\}}{\sum_{i'} XC_{ii'wg}}, \tag{30}$$

$$TWD_{iw} = \gamma_1 \cdot \left\{ \varphi\left(NVD_{iw}, TL_{iw}, NB_{iu}^{-1} \right) \right\}^{\gamma_2}, \tag{31}$$

ここで,

NVD_{iw}: 港湾 i，船舶サイズ w の単位時間あたりの出港隻数（隻/時），

TL_{iw}: 港湾 i，船舶サイズ w の一隻あたりの船積荷役時間（時/隻）

と表わされる．またこれらは,

$$NVD_{iw} = \sum_g \left(\frac{XDP_{iwg} + XDU_{iwg}}{\overline{lfd_{iwg}} \cdot cap_w} \right) \tag{32}$$

ただし,

XDP_{iwg}, XDU_{iwg}: 港湾 i，サイズ w，グループ g の停泊出港リンクフローおよび船積出港リンクフロー（TEU/時），

と表わされ，一方,

$$TL_{iw} = TAL_{iw} + \frac{\overline{lfdg_{iw}} \cdot cap_w}{prod_i \cdot NC_{iw}} \cdot \frac{XL_{iw}}{XL_{iw} + XP_{iw}} \tag{33}$$

ただし,

TAL_{iw}: 港湾 i における船舶サイズ w の出港時に最低限必要な時間★（時），

$\overline{lfdg_{iw}}$: 港湾 i を出港する船舶サイズ w の船舶の平均消席率,

XL_{iw}: 港湾 i におけるサイズ w の船積貨物量（TEU/時），

ここで,

$$\overline{lfdg_{iw}} = \frac{\sum_g \sum_{i'} \left\{ XC_{ii'wg} \cdot lf_{ii'wg} \right\}}{\sum_g \sum_{i'} XC_{ii'wg}} \tag{34}$$

と表わされる．

iii) 停泊（Passing）リンク

停泊中の船舶費用およびその他の時間費用を考慮する．また荷役時間は，船社グループ別[34]の船卸に要する時間 TUG_{iwg} と船積に要する時間 TLG_{iwg} の合計である．

$$GP_{vg} = \left(\frac{CA_{wg}}{\overline{\overline{lfa_{iwg}} \cdot cap_w}} + vt_{carr} \right) \cdot TUG_{iwg} + \left(\frac{CA_{wg}}{\overline{\overline{lfd_{iwg}} \cdot cap_w}} + vt_{carr} \right) \cdot TLG_{iwg} \tag{35}$$

ここで,

GP_{vg}: リンク v（=iw），グループ g のコンテナ 1TEU あたりの停泊リンクコスト（円/TEU），

$$TUG_{iwg} = TAU_{iw} + \frac{\overline{lfa_{iwg}} \cdot cap_w}{prod_i \cdot NC_{iw}} \cdot \frac{XUG_{iwg}}{XUG_{iwg} + XPG_{iwg}},$$

$$TLG_{iwg} = TAL_{iw} + \frac{\overline{lfd_{iwg}} \cdot cap_w}{prod_i \cdot NC_{iw}} \cdot \frac{XLG_{iwg}}{XLG_{iwg} + XPG_{iwg}}.$$

iv) 船卸（Unloading）リンク

船卸に要する時間 TUG_{iwg} に関係する費用（停泊時の船舶費用およびその他の費用）に加え，ターミナルの利用に伴う費用（ターミナル費）も考慮する．具体的には，下式で表される．

$$GU_{vg} = \frac{CT_i}{XH_i} + \left(\frac{CA_{wg}}{\overline{\overline{lfa_{iwg}} \cdot cap_w}} + vt_{carr} \right) \cdot TUG_{iwg} \tag{36}$$

ここで,

GU_{vg}: リンク v（=iw），グループ g のコンテナ 1TEU あたりの船卸リンクコスト（円/TEU），

CT_i: 港湾 i の単位時間あたりターミナル費用★（円/時），

XH_i: 下式で定義される港湾 i の総取扱量（TEU/時）

$$XH_i = \sum_w XL_{iw} + \sum_w XU_{iw} \tag{37}$$

本リンクでは，取扱量によらず予め決められている固定的な施設利用料をターミナル費と定義し，貨物１個を取り扱うごとに発生する荷役費用と区別する[35]．本モデルでは各コスト関数は１ TEU あたりのコストとして定義されるため，１ TEU あたりターミナル費用についてみれば，取扱量が増えるほど減少するという，規模の経済が働く．

v) 船積（Loading）リンク

船卸リンクと同様の考え方による．

[34] (27)，(33)式で定義される入港・出港リンクにおける船積・船卸時間 TU_{iw}，TL_{iw} は全船社共通に設定されており，以下の TUG_{iwg}，TLG_{iwg} とは異なることに注意が必要である．

[35] 荷役費用は，トランシップ貨物の荷役料金の設定の必要上，本リンクには含めず，搬入・搬出・積替リンクに含める．

$$GL_{vg} = \frac{CT_i}{XH_i} + \left(\frac{CA_{wg}}{\overline{lfd_{iwg}} \cdot cap_w} + vt_{carr} \right) \cdot TLG_{iwg} \quad (38)$$

ここで，

GL_{vg}: リンク v（$=iw$），グループ g のコンテナ 1TEU あたりの船積リンクコスト（円/TEU）．

vi) 積替（Transshipment）リンク

$$GT_{vg} = 1.5 \cdot CH_i + vt_{carr} \cdot TT_i \quad (39)$$

ここで，

GT_{vg}: リンク v（$=i$），グループ g のコンテナ 1TEU あたりの積替リンクコスト（円/TEU），

CH_i: 港湾 i における搬出・搬入貨物の 1TEU あたり荷役費用★（円/TEU），

TT_i: 港湾 i における積替作業時間★（時）．

なおここで，積替貨物の荷役費用は，港湾投資の評価に関する解説書 2004[56]の記述等に基づき，搬出・搬入貨物の荷役費用の 1.5 倍と仮定している．

vii) 搬出リンクおよび搬入リンク

$$GO_{vg} = GD_{vg} = CH_i \quad (40)$$

ここで，

GO_{vg}: リンク v（$=i$），グループ g のコンテナ 1TEU あたりの搬入リンクコスト（円/TEU），

GD_{vg}: リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの搬出リンクコスト（円/TEU）．

(5)解法

一般的なフロー依存型システム最適ネットワーク均衡配分の計算手法[36]に基づき各リンクフローの計算結果を得る．ただし，(4)でみたように，各リンクにおいてリンク間の相互干渉（あるリンクのコストが，当該リンクのフローだけでなく，他リンクのフローにも依存する状況）があるため，緩和法[37]によって求める．

また，配分計算の単位は船社グループであるものの，入出港リンクや船積・船卸・停泊リンクにおいては，全船社合計の入出港船舶数や貨物取扱量に依存したコスト関数となっているため，各船社グループについて，他グループのフローを固定して配分計算を行い，これを順に繰り返すことにより，グループ間のフローの干渉を考慮するものとする．具体的な手順は，以下のとおりである．

Step 0. $n = 0$ とし，初期フロー $\left\{x_{vg}^{(0)}\right\}$に対するリンクコスト $\left\{t_{vg}^{(0)}\right\}$を求める．

Step 1. $n = n + 1$

Step 2. 自グループ g 以外の各グループ g'（$g, g' \in G$，$g \neq g'$）のフローを一期前のフロー $\left\{x_{vg'}^{(n-1)}\right\}$に固定して自グループの費用最小化問題を解く．すなわち，

$$\min_x \left\{ \sum_{v \in V} x_{vg}^{(n)} \cdot t_{vg}^{(n)} \left(\begin{array}{l} x_{11}^{(n-1)}, \cdots, x_{V1}^{(n-1)}, \\ \cdots, \\ x_{1g}^{(n)}, \cdots, x_{vg}^{(n)}, \cdots, x_{Vg}^{(n)}, \\ \cdots, \\ x_{1G}^{(n-1)}, \cdots, x_{VG}^{(n-1)} \end{array} \right) \right\}, \forall g \in G$$

これを全グループについて行う．

Step 3. Step 2 で得られたフロー $\left\{x_{vg}^{(n)}\right\}$を一期前のフロー $\left\{x_{vg}^{(n-1)}\right\}$と比較して収束（$\frac{\sqrt{\sum_g \sum_v \left\{x_{vg}^{(n)} - x_{vg}^{(n-1)}\right\}^2}}{\sum_g \sum_v x_{vg}^{(n)}} < \varepsilon_C$，$\varepsilon_C$ は収束判定基準となる微小な正の数）しているか，繰り返し回数 n が上限値に達していれば終了，収束していなければ Step1 へ戻る．

なお，航走リンクや船積・船卸リンクのように，リンクコストがフローに対して反比例の関係（すなわち，規模の経済性が働いている状況）となっているリンクもあることから，ネットワーク均衡配分計算上の凸性が保障されず，得られる解は局所解であり，最適解とは限らない．そのため，本モデルにおいては，現状のリンクフローを初期値として与え，これを起点に配分計算を行うことで，現状を出発点とした場合の（現状の近傍にある）最適解を得るものと位置づけられる．

[36] システム最適ネットワーク均衡配分モデルの具体的な求解方法については，土木学会（1998[3], 2004[48]）や Sheffi[55]を参照されたい．

[37] 他リンクのフローを一期前のものに固定し，当該リンクのコスト関数への影響を取り除く方法．詳細な解法については，土木学会 [3]を参照のこと．

3.4 荷主サブモデルと船社サブモデルの相互関係および収束計算の方法

3.4.1 概要

前節までに，荷主サブモデルと船社サブモデルの構成について述べた．3.1 で述べたように，荷主は，船社サブモデルの出力である船社グループ別の港湾間運賃 p_{ag} や所要時間 $CMtime_{ag}$ を参照して，港湾や船社の選択を行う．ここで，船社グループ別航路（輸出入港湾ペア）別所要時間 $CMtime_{ag}$ は，3.3.3 で述べた総輸送費用最小化行動の結果，船社別航路別に荷主にとっての（＝荷主の時間価値を用いて計算された）一般化費用を最小にするルートの所要時間とする．一方，外航船社は，荷主の選択行動（(8)式）や，その結果としての船社グループ別港湾間 OD 貨物量 q_{ag} を所与として，利潤が最大となるよう行動する．

最終的に本モデル計算において到達したい状況は，すべての荷主にとっても，またすべての外航船社グループにとっても，自らの目的関数（輸送費用や利潤など）が最適化されているパレート効率的状況であるが，そのような究極の解を得ることは容易でないため，ここでは，すべての荷主とすべての外航船社にとって，他者の行動を所与とした場合に自らの目的関数をこれ以上高めることができない，というナッシュ均衡解を得ることを目標とする．

また，本研究では，荷主サブモデルと船社サブモデルの両者を含めたモデル全体の最適化計算においても，前節で述べた外航船社の費用最小化行動モデルの計算と同様の考え方により，現状を出発点とし，両サブモデルの計算を繰り返しながら局所解としての収束解を得ることとする．

3.4.2 収束計算の方法

図-8 に計算手順の概要を示す（ただし，**図-8** では，全体の見通しを良くするために，計算の出発点は描かれていない[38]）．荷主サブモデルが港湾と船社の 2 段階選択モデル，船社サブモデルが収入最大化と輸送費用最小化の２つのモデルから成っていることから，やや複雑な手順となっている．すなわち，**図-8** 中の①に示される，荷主の第 1 段階選択（港湾選択）は，(3)式に示された航路別の期待最小コスト（当該航路における各船社の運賃や所要時間の合成変数）や陸上輸送コストを参照しながら，実行される．この結果を受け，②に示されるように，得られた各航路の貨物需要 d_a（船社別需要 q_{ag} ではないことに注意）に対し，各外航船社は航路別の収入が最大となるように運賃 p_{ag} を決定する．この際，船社の収入最大化行動には，荷主の船社選択行動（(8)式）が内包化されている（しかし，上位の港湾選択行動は考慮されていない）．これによって決定された船社グループ別港湾間 OD 貨物量 q_{ag} を所与として，③で各船社グループが総費用最小となるよう輸送パターンを決定し，船社グループ別航路（輸出入港湾ペア）別所要時間 $CMtime_{ag}$ や運航費用 $CMcost_{ag}$ を出力する．

ここで，繰り返し計算の手順として，単純に①→②→③→①→…と繰り返していくと，船社の収入最大化行動モデルと費用最小化行動モデルの間に必ず荷主の港湾選択モデルが挟まることになり，船社サブモデルのおおもとの行動原理である利潤最大化が，より実現されにくくなることが考えられる．また，船社の運賃や輸送パターンの決定，荷主の船社選択行動に比べると，荷主の港湾選択行動は，実際に利用港湾を変更する際には，事務拠点や倉庫などを移す必要があるなど，様々な手続きや費用がかかると考えられることから，他の決定に比べ，やや長期的なスパンで行われるものと考えられる．以上より，ここでは，1 か月～四半期程度の短期的スパンを念頭に置いた，船社の運賃や輸送パターンの決定および荷主の船社選択行動の計算（**図-8** 中の②，③に相当）と，半年～1 年程度の中期的スパンを念頭に置いた，荷主の港湾選択行動の計算（**図-8** 中の①に相当）を入れ子の構造とした計算を行う[39]．具体的には，以下の手順で計算する．

Step 0. n = 0 とし，初期フロー $\{x_{vg}^{(0)}\}$ に対するリンクコスト $\{t_{vg}^{(0)}\}$ および船社グループ別港湾間ＯＤ貨物量（航路別需要）$\{q_{ag}^{(0)}\}$ の初期値（現状値）を与え，3.3.1(3) の Step 1～4 に示した解法にしたがって，初回の船社サブモデルの計算を行う．これにより，船社グループ別航路別の所要時間 $\{CMtime_{ag}^{(0)}\}$ や運賃

[38] 実際の収束計算において出発点となるのは，計算手順の Step 0 でも述べられているように，**図-8** 中の③である．これは，入れ子構造の最も下位に位置するモデルから計算することで，収束計算の安定を図るためである．

[39] このような入れ子構造を仮定することが，船社の行動モデルに，荷主の船社選択行動は内包化されているものの，港湾選択行動の方は考慮していない，というモデル構造の説明にもなっている．すなわち，船社は，自らが短期的なスパンで最適化行動を行っているため，荷主の船社選択という短期的な行動は把握可能であるものの，中期的なスパンでなされる

$\left\{p_{ag}^{(0)}\right\}$を求める．なお，この段階ではあくまで初期解を求めることが目的のため，ここでの繰り返し計算は3回を上限とする．

Step 1. $n = n + 1$

Step 2. 前回計算された船社グループ別航路別の所要時間$\left\{CMtime_{ag}^{(n-1)}\right\}$や運賃$\left\{p_{ag}^{(n-1)}\right\}$に基づき，3.2.2 に示される荷主の輸出入港湾選択モデルの計算を行う．これにより，船社グループ合計の航路別貨物需要$\left\{d_{a}^{(n)}\right\}$を得る．

Step 3. Step 2 で得た船社グループ合計の航路別貨物需要$\left\{d_{a}^{(n)}\right\}$，および前回計算された運賃$\left\{p_{ag}^{(n-1)}\right\}$を初期値とし，3.3.2(3) の Step 1～3 に示された船社の収入最大化行動モデルの解法にしたがい，船社グループ別の貨物需要$\left\{q_{ag}^{(n)}\right\}$を求める．

Step 4. Step 3 で得た船社グループ別航路別貨物需要$\left\{q_{ag}^{(n)}\right\}$，および前回計算された運賃$\left\{p_{ag}^{(n-1)}\right\}$を初期値とし，3.3.1(3) の Step 1～4 に示された解法にしたがい，船社サブモデルの計算を行う．船社サブモデルの計算が収束するか，繰り返し計算回数の上限に達するまで計算を繰り返す．これにより，船社の費用最小化モデル・ネットワークにおけるリンクフロー$\left\{x_{vg}^{(n)}\right\}$や，船社グループ別航路別の所要時間$\left\{CMtime_{ag}^{(n)}\right\}$や運賃$\left\{p_{ag}^{(n)}\right\}$を得る．

Step 5. Step 4 で得られた船社の費用最小化モデル・ネットワークにおける4種類の航走リンクフローの和$\left\{XC_{ijsg}^{(n)}\right\}$を一期前のリンクフローの和$\left\{XC_{ijsg}^{(n-1)}\right\}$と比較して収束（$\dfrac{\sqrt{\sum_{g}\sum_{s}\sum_{j}\sum_{i}\left\{XC_{ijsg}^{(n)}-XC_{ijsg}^{(n-1)}\right\}^{2}}}{\sum_{g}\sum_{s}\sum_{j}\sum_{i}XC_{ijsg}^{(n-1)}}<\varepsilon$，$\varepsilon$ は収束判定基準となる微小な正の数）しているか，繰り返し回数 n が上限値に達していれば終了，収束していなければ Step1 へ戻る．

港湾選択行動は把握できない，という状況を想定している．

表-2 に，モデル計算における試行錯誤を通じて最終的に決定した，各収束計算における計算条件（繰り返し計算回数の上限，収束判定の対象とする変数，判定条件）を示す．

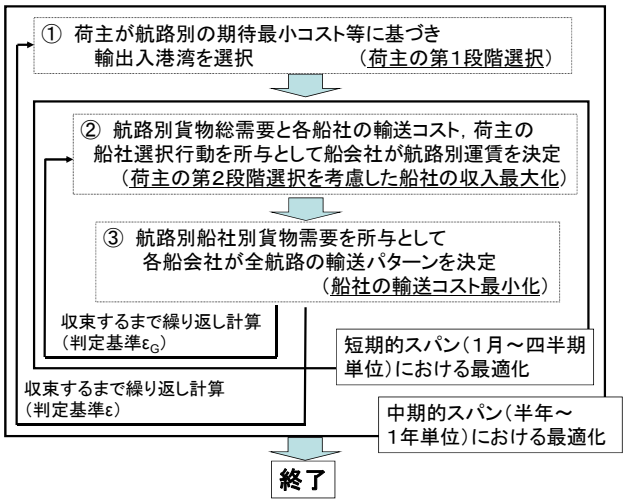


図-8 モデル全体の計算手順の概念図

表-2 本モデルの各収束計算における計算条件

○船社の収入最大化行動モデル	
繰り返し計算回数の上限	10
収束判定対象となる変数	$prob_{ag}$
収束判定基準 ε_R	$1.0*10^{-10}$
○船社の総費用最小化行動モデル	
船社グループ別配分計算の繰り返し計算回数の上限	10
収束判定対象となる変数	x_{vg}
収束判定基準 ε_C	$1.0*10^{-6}$
○船社サブモデル全体（図-3における②と③の繰り返し計算）	
繰り返し計算回数の上限	10
収束判定対象となる変数	q_{ag}
収束判定基準 ε_G	$1.0*10^{-4}$
○モデル全体（図-3における①と②・③の繰り返し計算）	
繰り返し計算回数の上限	5
収束判定対象となる変数	XC_{ijsg}
収束判定基準 ε	$1.0*10^{-4}$

4. 入力データの準備

本章では，本モデルの計算にあたって必要な，さまざまな入力データの作成方法について述べる．3.で説明した様々な変数のうち，外生的に与える必要のある変数，および現状に最も合うように後ほど推計する未知パラメータについて，**表-3** に示す．そのほかの変数は，モデルの中で内生的に決められる．

表-3 本モデルにおいて外生的に与えられる変数の一覧

○モデルの外生変数

変数	説明	初出の式
Q_{rs}	ODペアrs間の貨物需要（OD貨物量）	1
G	船社グループの集合	3
$CLcost_b$	陸上リンクbの輸送運賃（円/TEU）	4
$CLtime_b$	陸上リンクbの輸送時間（時）	4
vt_{shpr}	荷主の時間価値（円/TEU･時）	4
LTL_i	港湾iの搬入時リードタイム（時）	5
LTU_i	港湾iの搬出時リードタイム（時）	6
$CTcost_i$	船社間積替リンクiの輸送費用（円/TEU）	7
$CTtime_i$	船社間積替リンクiの輸送時間（時）	7
Ω	ODペアの集合	10
A	航路の集合	10
CR_{sg}	船舶サイズs，グループgの単位時間当たり航行時費用（円/時/隻）	19
cap_s	船舶サイズsの船腹量（キャパシティ）(TEU/vessel)	19
l_{ij}	港湾ij間の距離（NM）	19
vl_s	船舶サイズsの船速(knot)	19
CE_{is}	港湾i，船舶サイズsの入出港費用（円/隻）	23
CA_{sg}	船舶サイズsグループgの単位時間当たり停泊時費用(円/時/隻)	23
op_i	港湾iのターミナル内荷役に関する平均業務時間（時/日）	23
γ_1，γ_2	入港待ち時間関数に関するパラメータ	25
NB_{iu}	港湾i，バースカテゴリuのバース数	25
TAU_{is}	港湾iにおける船舶サイズsの入港時に最低限必要な時間(時)	27
$prod_i$	港湾iにおける1クレーンあたりの荷役効率(TEU/時)	27
NC_{is}	港湾iにおけるバースカテゴリsの1バースあたりクレーン数	27
TAL_{is}	港湾iにおける船舶サイズsの出港時に最低限必要な時間(時)	33
CT_i	港湾iの単位時間あたりターミナル費用（円/時）	36
CH_i	港湾iにおける搬出･搬入貨物の1TEUあたり荷役費用（円/TEU）	39
TT_i	港湾iにおける積替作業時間（時）	39

○未知パラメータ

変数	説明	初出の式
θ	分散パラメータ	1
ξ	ログサム変数の調整項	3
vt_{carr}	金銭時間換算係数（船社の時間価値）（円/時/TEU）	19

4.1 モデル対象港湾・地域

貨物需要（OD 貨物量）の対象ゾーンは，日本は 47 都道府県ベースとする．また，日本以外の諸国については，国際海上輸送のみを取り扱い背後の陸上輸送等は考慮しないこととし，貨物の発着地は各港湾に一致するものとする．すなわち，各港湾を代表地とするゾーン設定とする．

モデル対象港湾は，多くの港湾を含めることが可能な点が，本シミュレーションモデルの特徴のひとつであることを考慮しつつも，計算時間短縮のためあまり数が増えすぎないよう，わが国については**図-9** に示す 17 港を，わが国以外の東・南アジア地域については**図-10** に示す 23 港を，その他の地域については**図-11** に示す 10 港を対象とする．ただし，アジア以外の 10 港は，地域代表港として便宜的に設定するものであり，対象となる港湾の個別情報（バース数など）はほとんど考慮しない．

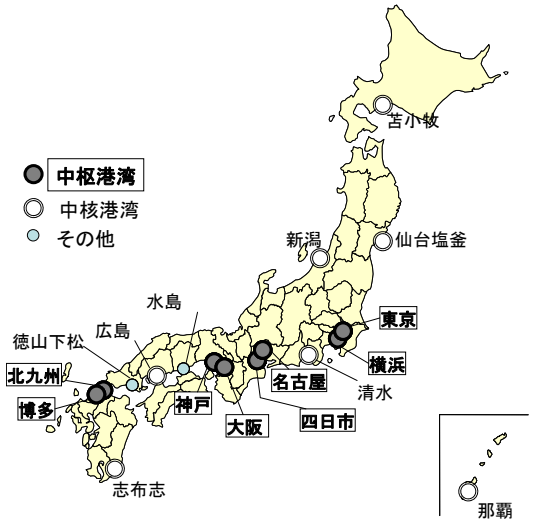


図-9 モデル対象港湾（日本）

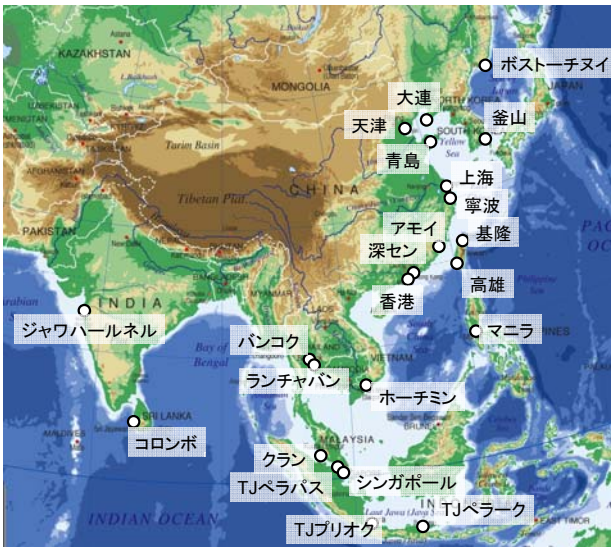


図-10 モデル対象港湾（日本以外の東・南アジア諸国）

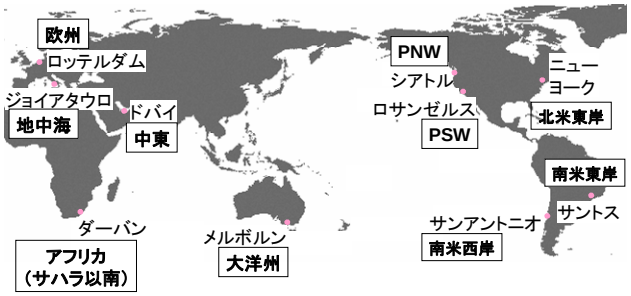


図-11 モデル対象港湾（その他地域）

4.2 地域間OD貨物量[40]

4.2.1 2国間国際海上コンテナ貨物輸送量

基本的な方針としては，2国間貿易額データを出発点に，輸送機関分担率やコンテナ化率を乗じることによって作成する．ここで，本研究におけるデータ作成の基準年は，後述のコンテナ流動調査[58]の実施年である2003年とする．

出発点となる2国間貿易額は，今後の経済政策シミュレーションや将来予測実施との整合性を考慮し，GTAPデータベース[59]の貿易額データ（ver 6.0，2001年ベース）を用いる．GTAP（Global Trade Analysis Project：世界貿易分析プロジェクト）は，全世界87ヶ国・52品目を対象とした応用一般均衡モデルおよびそのデータベースから構成されており，ここでは，米本・柴崎ら[60]に示される日本8地域・中国7地域への分割を含む全世界48ヶ国・地域，10品目（うち貿易財5品目）の貿易額データを用いることとする．

この品目別2国間（日本・中国については地域別．以下同様）貿易額をもとに，Global Insight社のGlobal Trade Navigatorデータ[61]から得られる，2国間貿易額，輸送機関別2国間貿易額，2国間輸出入貨物量を用いて，2003年ベースの2国間国際海上コンテナ貨物輸送量データを作成する．具体的な手順は以下のとおりである．

① GTAPデータベースより得られる2001年ベースの品目別2国間貿易額に，Global Trade Navigatorデータの2001年と2003年の貿易額データより得られる品目別輸出入国別[41]の貿易額の伸び率を乗じることにより，2003年ベースの品目別2国間貿易額（31カ国・地域[42]，5貿易財品目）を得る．

② ①の品目別2国間貿易額（2003年ベース）を，Global Trade Navigatorデータより得られる品目別輸出入国別の，海上輸送分担率[43]，海上輸送貨物のトン・金額換算係数，海上コンテナ分担率[44]，TEU・トン換算係数を順に乗じることにより，2国間国際海上コンテナ貨物輸送量データ（2003年，TEUベース）を作成する．なお，本研究のデータベースは，原則としてFOB価格で構築するものとし，輸出国側と輸入国側でデータが一致しない場合には，輸出国側のデータを採用するものとする．

4.2.2 地域間貨物量への変換

以上で，2国間の国際海上コンテナ貨物輸送量データは作成できたものの，Global trade Navigatorデータを含め，国より細かい各地域レベルにおける，2地域間貿易額や2地域間輸出入貨物量に関するデータは存在しない．せいぜい，日本のコンテナ貨物流動調査データ[58]や，あるいは中国[63]やアメリカ[64]の税関データのように，自国地域別相手国別の輸出入コンテナ貨物量や貿易額がわかる程度である．しかも，多くの国においては，このようなデータも存在しない．そこで，本研究では，上記で得られた2国間国際海上コンテナ貨物輸送量をベースに，以下の手順で地域間貨物需要（地域間OD貨物量）Q_{rs}を推計する．

① 日本発着貨物については，上述のように，コンテナ貨物流動調査[58]により，自国地域別相手国別輸出入コンテナ貨物量が得られるため，このシェアを用いて，日本8地域別の発着相手国別コンテナ貨物量を，都道府県別相手国別貨物量に比例配分する．

② アジア各港発着貨物については，自国のコンテナ貨物取扱量（ただしトランシップ貨物量は除く．港湾取扱量の推計方法については，4.6を参照のこと）に占める自港のシェア[45]を用いて，2国間国際海上コンテナ貨物輸送量を比例配分することで，自国港湾別相手国別（日本が相手国の場合は47地域別）輸出入コンテナ貨物量を推計する．なお，相手国側も日本を除くアジア各港である場合は，相手国側についても同様の操作を行い，自国港湾別相手国港湾別輸出入コンテナ貨物量を得る．

③ アジア地域外発着貨物については，当該地域に含まれるすべての国の貨物を集計し，相手国が日本の場合は，大陸別日本47地域別貨物量を，相手国が日本以外の東・南アジア諸国の場合は大陸別相手港湾別貨物量を作成する．なお，アジア地域外同士を発着する貨物は本モデルの計算対象外とし，ゼロとす

---

[40] 本節および4.6の内容については，柴崎・渡部ら[57]も参照されたい．ただし，データ推計の方法や手順等が大幅に変更されている箇所もある．

[41] Global Trade Navigatorデータは全世界70ヵ国・77品目データを対象としており，このデータを上記GTAPベースの貿易額データと整合するように集計して用いる．

[42] 本研究の計算対象とならない国については，全世界48ヶ国・地域のGTAPデータベースを，GTAデータ[62]等を用いて分割するなどしたうえで，データベースから除外する．

[43] Global Trade Navigatorデータには，海上，航空，陸上およびその他，の3種類の輸送機関別の貿易額データが収録されている．

[44] Global Trade Navigatorデータには，4種類（Dry Bulk, Liquid Bulk, General Cargo/Neo Bulk, Container）の輸送形態別の海上輸送貨物量データが収録されている．

[45] 本モデルの対象港湾のみを集計の対象とする．したがって，ある国のモデル対象港が1港しかない場合は，その国に占める当該港のシェアは100%となる．

る．また，北米（本研究では，パナマ以北を指す）については，各国を最大で PNW，PSW，北米東岸の３地域に分割した貨物量データを作成する必要があるため，各国の主要港の取扱量を参考にして，上記３地域のシェアを各国別に算出し，それを集約することとする．

地域間貨物量（全 80 ゾーン）の推計結果を，**付録 C** に示す．

4.3 海上・陸上輸送ネットワーク

4.3.1 海上輸送ネットワーク

海上ネットワークデータとしては，本モデルの対象港全 50 港間相互の距離 l_{ij}（NM）を用意する必要がある．すなわち，必要データ数は，50×49÷2＝1225 となる．これらのデータについては，距離表 [65]や Netpas Distance[66]等を用いて整理した．その結果を，**付録 D** に示す．

本研究において考慮する船舶サイズとしては，**表-4** に示すような４区分（すなわち，W = 4）とする．また，これらのサイズに対応するバース水深カテゴリと，その関係についても**表-4** に示す．

さらに，計算対象とする船社グループとしては，**表-5** に示す８グループ（G = 8）とする．これは，モデル計算対象年である 2003 年時点のアライアンス構成等を参考に設定したものである．

表-4 本研究で設定するコンテナ船サイズとバース水深カテゴリ

○コンテナ船

w	サイズ (TEU)	平均サイズ cap_w (TEU)	入港可能なバースカテゴリ
1	- 1000	500	1-4すべて
2	1000 - 2500	1750	2,3,4
3	2500 - 4000	3250	3,4
4	4000 -	6000	4

○バース

u	水深 (m)
1	11.0以下
2	11.0 - 13.0
3	13.0 - 14.0
4	14.0以上

表-5 本研究で設定する船社グループ

グループ	アライアンス名	主な構成船社
A	単独	Maersk
B	単独	Evergreen, LT
C	単独	MSC
D	Grand Alliance	MOL, APL, Hyundai, NOL
E	New World	HAPAG-LLOYD, MISC, NYK, OOCL, P&O
F	CKYH	COSCO, KL, Yang Ming, Hanjing
G	（その他アジア系）	Cho Yang, CSAV, Heung-A, Namsung, UASC, Sinotrans, Wan Hai
H	（その他アジア以外系）	CMA-CGM, PIL, ZIM, Wilhelmsen

サイズ別やグループ別の船腹量等のシェアについては，**4.6** で述べる．

4.3.2 陸上輸送ネットワーク

陸上ネットワークデータについては，**4.1** で述べたように，本モデルにおいて背後輸送ネットワークを考慮するのは日本だけなので，日本のデータのみ用意する必要がある．筆者ら [67]は，これまでに，わが国の国内道路輸送ネットワークデータを作成し，一般化費用が最小となる経路探索等を行ってきた．本モデルにおいて，この既往ネットワークをそのまま利用することは，７万リンク以上というネットワークの規模や，今回のモデルでは，**4.4.3** に示すように，対距離低減型[46]の陸上リンクコスト関数を設定することから考えると，やや不適切である．そこで，あらかじめ，既往ネットワークにおいて，以下に示す条件のもとで，生産消費地である都道府県（47）とモデル対象港湾（17）間の経路探索を行い，全都道府県と対象港湾の組み合わせ（47×17）におけるトラック走行距離 lg_b，所要時間 tm_b，および有料道路料金 tl_b を算出し，このマトリックスを仮想的陸上輸送ネットワークとして今回のモデル計算ネットワークに組み込むこととする．

- 対象ネットワーク：平成 16 年度道路情報便覧データ[68]に基づくネットワークに，筆者らが独自に設定した臨港道路を追加したネットワーク．ここで，海上コンテナ貨物の約半数は海上コンテナ以外の形態で輸送されていることを考慮し，海上コンテナ搭載車両の通行可能ネットワークではなく，全ネットワークを対象とした検索を行っている．
- 探索条件：一般化費用（時間評価値×所要時間＋有料道路料金）を最小とする経路をダイクストラ法 [3),4)]で探索した．ここで，時間評価値としては，国土交通省道路局で使用されている 101 円／分（普通貨物車，平成 11 年価格）を用いた[47]．また，有料道路料金や走行速度についても，各道路や種別，地域によって異なる値を設定している．

陸上走行距離，所要時間および有料道路料金の推計結果を，**付録 E** に示す．

[46] 輸送距離が長くなるにつれて，距離の増加率に対する運賃の増加率の比が小さくなることをさす．

[47] ここでの経路探索における時間評価値は，上記一般化費用の定義をみてもわかるように，貨物の時間価値に加え運賃等の金銭費用も含まれ，本研究の荷主サブモデルにおける，純粋な輸送時間に対する時間価値とは性格が異なるものである．

4.4 輸送費用

4.4.1 海上輸送費用

海上輸送費用については，黒川ら [69]，森ら [70]等に基づき，以下のように設定する．なお，ここでは，船社グループ g によらず費用は同一と仮定する．

(1) 航行時運航費用 CR_w

変動費用である運航時燃料費 $CRFU_w$（円/時）と固定費用である船費 CSP_w（円/時）にわけられる．

$$CR_w = CRFU_w + CSP_w \tag{41}$$

$$CRFU_w = c1 \cdot c2 \cdot \left(c3 \cdot cap_w\right)^{\frac{2}{3}} \cdot vl_w^{\ 3} \tag{42}$$

$$CSP_w = (c4_w + c5_w + c6_w + c7 + c8 + c9 + c10_w + c11_w) * (1 + re) / D / 24 \tag{43}$$

ここで，変数 $c1$～$c11$, re, D の説明およびここでの設定値について**表-6** にまとめる．

また，サイズ別の船速 vl_w については，実際のコンテナ船のデータに基づき推計した以下のような近似式を用いる．

$$vl_w = 5.836 \cdot cap_w^{\ 0.167} \tag{44}$$

表-6 海上輸送費用式（(41)-(43)式）における変数の設定値一覧

変数	説明	単位	設定値
c1	燃料油単価	円/t	8925 (=85US$/t*105円/US$)
c2	燃料消費量係数	−	$2.380*10^{-7}$
c3	排水量換算係数	DWT/TEU	19.07
$c4_w$	船価（元利均等払）	円/年	総額:{-6.966*Ln(GT)+89.36}*GT*10^4（ここで，GT_w=(cap_w+15.13)/0.0680）耐用年数14年，年率4.5%の複利計算により年間定期支払額を算出
$c5_w$	船員費	円/年	船員数×船員給与×12 船員数:2.959*Ln(GT_w)−8.477 船員給与:58.3万円 (=185(US$/日)*105*30(日))
$c6_w$	船用品費	円/年	624.7*GT_w+2108
c7	修繕費	円/年	毎年，船価総額の2%
c8	船舶保険費	円/年	毎年，船価総額の0.3%
c9	固定資産税	円/年	船価総額*1.1/耐用年数/2*税率(1.4%)
$c10_w$	雑費	円/年	648.6*GT_w-1574
$c11_w$	投滑油費	円/年	必要燃料油(t/時)*1.0%*24*稼働日数D*単価(20万円) 必要燃料油:c2*(c3*cap_w)$^{2/3}$*$vl_w^{\ 3}$
re	営業経費率	−	9.0%
D	年間稼働日数	日/年	350

(2) 停泊時運航費用 CA_w

航行時運航費用と同様に，変動費用である停泊時燃料費 $CAFU_w$（円/時）と固定費用である船費にわけられる．このうち，船費については，航行時運航費用における船費と一致する．すなわち，

$$CA_w = CAFU_w + CSP_w \tag{45}$$

$$CAFU_w = 0.17 \cdot (\mathrm{PS_w} \cdot 0.09) \cdot 0.98 \tag{46}$$

ここで，PS_w は補機出力であり，

$$\mathrm{PS_w} = 1.2 \cdot GT_w^{0.6} \cdot 2 \tag{47}$$

と表わされる．

4.4.2 港湾費用

港湾費用については，前章で述べたとおり，1TEU あたりの費用として定義される荷役費 CH_i（円/TEU），1 隻あたりの費用として船舶サイズ別に定義される入出港費 CE_{iw}（円/隻），1 ターミナルあたりの費用として定義されるターミナル費 CT_i（円/時）の 3 種類にわけられる．これらの入力値については，各種資料を参考に，**表-7** の通り設定した．なお，これらの数値は，あくまで筆者らによる想定値であり，現実と異なる可能性もあることを注記しておく．今後，これらのデータの精度を高めることで，モデルの信頼性をより向上させることができると考えている．

また，荷主サブモデルにおける船社間積替費用 $CTcost_i$ については，ターミナル間の短距離ドレージ費用を想定し，**4.4.3** の陸上輸送費用における「輸送距離 10km 以下の際の固定費用」である 24,475(円/TEU)を適用することとする．

4.4.3 陸上輸送費用

我が国におけるトラック輸送による輸送費用 $CLcost_b$（円/TEU）については，港湾投資の評価に関する解説書 2004[56]の記載をもとに，以下のように設定した．なお以下の各式で，輸送距離を 2 倍するのは，トラックが生産消費地と輸出入港湾間を往復する（すなわち，片道は空）と想定しているためである．

i) 往復輸送距離（$2 \cdot lg_b$）が 10km 以下の場合

$$\mathrm{CLcost_b} = 1116 \cdot \left(2 \cdot lg_b\right) + 24475$$

ii) 往復輸送距離が 10～100km の場合

$$\mathrm{CLcost_b} = 877.7 \cdot \left(2 \cdot lg_b\right) + 26846$$

iii) 往復輸送距離が 100～200km の場合

$$CLcost_{b} = 568.8 \cdot (2 \cdot lg_{b}) + 57735$$

iv) 往復輸送距離が 200～500km の場合

$$CLcost_{b} = 405.3 \cdot (2 \cdot lg_{b}) + 90453$$

iv) 往復輸送距離が 500km より大きい場合

$$CLcost_{b} = 272.0 \cdot (2 \cdot lg_{b}) + 157100$$

表-7 本モデルにおける各港湾の費用の設定値
（本文中と表記単位が異なる点に注意されたい）

i	港湾名		荷役費 CH_i（千円/TEU）	入出港費（千円/隻）				ターミナル費 CT_i（百万円/年）
				CE_{i1}	CE_{i2}	CE_{i3}	CE_{i4}	
1	日本	苫小牧	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
2	日本	塩釜	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
3	日本	東京	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
4	日本	横浜	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
5	日本	新潟	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
6	日本	清水	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
7	日本	名古屋	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
8	日本	四日市	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
9	日本	大阪	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
10	日本	神戸	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
11	日本	水島	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
12	日本	広島	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
13	日本	徳山下松	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
14	日本	博多	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
15	日本	北九州	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
16	日本	志布志	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
17	日本	那覇	15.0	1,762	2,054	2,492	3,369	1,080
18	韓国	釜山	8.0	650	942	1,380	2,257	690
19	ロシア	ヴォストチーヌイ	2.0	746	1,038	1,477	2,353	500
20	中国	大連	5.0	675	967	1,405	2,282	500
21	中国	天津	5.0	675	967	1,405	2,282	500
22	中国	青島	5.0	675	967	1,405	2,282	500
23	中国	上海	5.0	675	967	1,405	2,282	500
24	中国	寧波	5.0	675	967	1,405	2,282	500
25	中国	厦門	5.0	675	967	1,405	2,282	500
26	中国	深セン	5.0	675	967	1,405	2,282	500
27	中国	香港	10.0	1,577	1,869	2,307	3,184	2,262
28	台湾	基隆	12.0	1,237	1,529	1,968	2,844	870
29	台湾	高雄	12.0	1,237	1,529	1,968	2,844	870
30	フィリピン	マニラ	3.0	655	947	1,385	2,262	500
31	ベトナム	ホーチミン	7.2	646	938	1,377	2,253	150
32	タイ	ランチャバン	8.4	731	1,024	1,462	2,339	160
33	タイ	バンコク	8.4	731	1,024	1,462	2,339	160
34	マレーシア	TJペラパス	4.0	965	1,258	1,696	2,573	350
35	マレーシア	ポートケラン	6.0	965	1,258	1,696	2,573	500
36	シンガポール	シンガポール	7.0	1,008	1,300	1,738	2,615	622
37	インドネシア	TJペラーク	5.0	774	1,066	1,504	2,381	500
38	インドネシア	TJプリオク	5.0	774	1,066	1,504	2,381	500
39	インド	ジャワハールネル	5.0	746	1,038	1,477	2,353	351
40	スリランカ	コロンボ	8.0	746	1,038	1,477	2,353	500
41	PNW		27.0	1,650	1,942	2,381	3,257	500
42	PSW		27.0	1,650	1,942	2,381	3,257	500
43	北米東岸		27.0	1,650	1,942	2,381	3,257	500
44	南米西岸		5.0	746	1,038	1,477	2,353	500
45	南米東岸		5.0	746	1,038	1,477	2,353	500
46	中東		5.0	746	1,038	1,477	2,353	500
47	地中海		13.0	1,309	1,602	2,040	2,917	500
48	欧州		13.0	1,309	1,602	2,040	2,917	500
49	アフリカ		5.0	646	938	1,377	2,253	500
50	大洋州		11.0	931	1,223	1,661	2,538	500

4.5 輸送時間

4.5.1 海上輸送時間

海上輸送時間を算出するための変数（l_{ij}, vl_w 等）については，前節まででですべて説明されている．

4.5.2 港湾内における必要時間

入港・出港混雑待ち時間の算出に必要な，各港湾におけるカテゴリ別のバース数 NB_{iu} については，Containerisation International Yearbook[71]や各港 HP などを参考に**表-8** に示すとおり設定した．

また，各港湾における搬入時および搬出時リードタイム LTL_i, LTU_i（時），船社間積替時間 $CTtime_i$（時），ターミナル内荷役に関する平均業務時間 op_i（時/日），入港時および出港時に最低限必要な時間 TAU_{iw}, TAL_{iw}（時，ここでは，船舶サイズによらず一定と仮定する），（同一船社内）積替作業時間 TT_i（時）については，個別の港湾についての情報が少ないことから，以下のような手順で設定した．すなわち，はじめに，港湾の規模や発展段階，あるいはトランシップ貨物の比率（トランシップ貨物を重視したオペレーションを行っているかどうかの代理指標とみなす）等に基づいて総合的に勘案し，各港湾のサービスレベルを，**表-8** に示す４段階に設定した．そして，上記各変数について，このサービスレベルごとに，**表-8** 下段に示すように試行錯誤的に設定した．

さらに，１クレーンあたりの荷役効率 $prod_i$（TEU/時），バースカテゴリ別の１バースあたりクレーン数 NC_{iw} についても，データが少ないため，各港共通の設定（$prod_i = 45$, $NC_{iw} = w + 1$）とした．また，入港待ち時間関数に関するパラメータ γ_1, γ_2 は，筆者らのこれまでの試行錯誤的計算に基づき，$\gamma_1 = 120.0$, $\gamma_2 = 5.0$ で固定した[48]．

4.5.3 陸上輸送時間

陸上輸送時間 $CLtime_b$ については，4.3.2 で算出した tj_b をそのまま用いることとする．また，荷主の時間価値 vt_{shpr} については，港湾投資の評価に関する解説書 2004[56]を参考に，全貨物共通で 1,348（円/TEU・時）に設定した．

[48] 過去には分散パラメータ θ 等と同様に未知パラメータとして推計の対象としたこともあったが，計算ケースによる推計結果の変化があまりみられないことから，今回は最初から固定することとした．

表-8 本研究で設定した港湾諸元
（費用に関する変数を除く）

i	港湾名		サービスレベル	バース数			
				NB_{i1}	NB_{i2}	NB_{i3}	NB_{i4}
1	日本	苫小牧	3	0	0	0	1
2	日本	塩釜	3	0	1	0	1
3	日本	東京	3	3	2	0	10
4	日本	横浜	3	0	7	10	6
5	日本	新潟	3	4	1	0	0
6	日本	清水	3	0	5	0	1
7	日本	名古屋	3	3	6	0	2
8	日本	四日市	3	0	2	0	0
9	日本	大阪	3	3	4	5	3
10	日本	神戸	3	5	8	5	10
11	日本	水島	3	5	0	0	0
12	日本	広島	3	7	0	0	1
13	日本	徳山下松	3	0	1	0	0
14	日本	博多	3	0	1	2	1
15	日本	北九州	3	3	4	0	0
16	日本	志布志	3	4	0	0	0
17	日本	那覇	3	0	0	1	0
18	韓国	釜山	2	0	7	2	11
19	ロシア	ヴォストチーヌイ	4	0	2	2	0
20	中国	大連	4	0	3	4	0
21	中国	天津	4	0	1	4	3
22	中国	青島	4	0	2	0	6
23	中国	上海	4	7	6	5	4
24	中国	寧波	4	0	0	3	3
25	中国	厦門	4	0	2	3	0
26	中国	深セン	4	0	1	0	10
27	中国	香港	1	0	0	0	23
28	台湾	基隆	3	0	14	0	0
29	台湾	高雄	2	4	5	0	10
30	フィリピン	マニラ	4	19	7	2	1
31	ベトナム	ホーチミン	4	10	6	2	0
32	タイ	ランチャバン	3	0	0	0	7
33	タイ	バンコク	4	21	0	0	0
34	マレーシア	TJペラパス	1	0	0	0	6
35	マレーシア	ポートケラン	1	0	0	0	19
36	シンガポール	シンガポール	1	6	15	4	18
37	インドネシア	TJペラーク	4	11	0	0	0
38	インドネシア	TJプリオク	4	2	4	0	6
39	インド	ジャワハールネル	4	0	5	0	0
40	スリランカ	コロンボ	2	4	1	2	4
41	PNW		2	0	0	0	100
42	PSW		2	0	0	0	100
43	北米東岸		2	0	0	0	100
44	南米西岸		2	0	0	0	100
45	南米東岸		2	0	0	0	100
46	中東		2	0	0	0	100
47	地中海		2	0	0	0	100
48	欧州		2	0	0	0	100
49	アフリカ		2	0	0	0	100
50	大洋州		2	0	0	0	100

サービスレベル	搬入時リードタイム	搬出時リードタイム	同一船社内積替時間	船社間積替時間	ターミナル内荷役に関する平均オペレーション時間	入港時および出港時に最低限必要な時間*
	LTL_i（時）	LTU_i（時）	TT_i（時）	$CTtime_i$（時）	op_i（時/日）	TAU_{iw}, TAL_{iw}（時）
1	24	24	12	24	24	1
2	48	24	24	48	24	1
3	48	48	48	96	24	1
4	72	72	72	144	24	1

*船舶サイズによらず共通

4.6 現状フロー・港湾間OD等

本節では，本研究のモデルが何らかの状態を起点に収束計算を行う必要があること（3.4 参照）や，サブモデルのなかに初期依存性を持つものがある（3.3.3(4)参照）ことから必要となる，各内生変数の初期値の推計方法について述べる．具体的に，初期値が必要な変数は，１回目の船社サブモデル計算において外生的に与える必要のある航路別・船社グループ別の貨物輸送需要（船社別港湾間 OD 貨物量）$q_{ag}^{(0)}$，および船社の総費用最小化行動モデルにおいて，フロー依存型のコスト関数を持つリンクのフロー（４種類の各航走リンクのフロー $XPCP_{ijsg}^{(0)}$，$XLCU_{ijsg}^{(0)}$，$XPCU_{ijsg}^{(0)}$，$XLCP_{ijsg}^{(0)}$および港湾総取扱量 $XH_i^{(0)}$）である．以下では，手順の関係から，港湾総取扱量，航走リンクフロー，船社別港湾間 OD 貨物量の順に推計方法を説明する．

4.6.1 港湾総取扱量

4.1 で推計方法を述べた地域間 OD 貨物量 Q_{rs} は，日本発着貨物については 47 都道府県別，日本以外の発着貨物については港湾別の貨物量であった．ここでは，日本発着貨物についても，コンテナ貨物流動調査データ[58]を用いて，日本以外発着貨物と同様の考え方（2 国間貨物量データを港湾別シェアで比例配分する．ただし，ここでは日本８地域別データではなく，日本全体の貨物量を比例配分するものとする）により，本モデルの対象港湾 17 港を発着地とする港湾別の貨物量データを作成する．これを，港湾間（全船社合計）OD 貨物量とよぶ（**付録 F** に推計結果を示す）．これを港湾別に集計したものが，モデルの初期値としての各港湾の輸出・輸入貨物量となる．これに対し，各港の統計等より別途推計した各港のトランシップ貨物率[49]を考慮することで，総取扱貨物量（＝輸出入貨物量／（１－トランシップ貨物率））が得られる．このようにして設定された港湾別貨物量を，**表-9** に示す．ここで，表に示された取扱量が，実際の各港の 2003 年における実入りコンテナ取扱貨物量と多少異なるのは，①地域間 OD 貨物量推計時点での誤差（特に GTAP データベースと Global Trade Navigator の貿易額データの間に多少の相違があることに起因する誤差），②モデルで考慮されていない国々との輸出入貨物を考慮していないことに起因する誤差（過小推計），③モデルで考慮されている国については，逆に，モデルに含まれない中小港湾の取扱貨物もモデル対象港湾で取り扱われる，と仮定されていることに起因する誤差（過大推計）等が存在するためである．

[49] 柴崎・渡部ら[57]を参照されたい．

表-9 本研究で設定した各港の初期取扱量とその内訳

i	港湾名		貨物量(千TEU, 2003年) 総取扱量 XH_i	輸出	輸入	トランシップ	トランシップ率
1	日本	苫小牧	101	36	65	0	0%
2	日本	塩釜	68	39	29	0	0%
3	日本	東京	2,538	905	1,324	308	12%
4	日本	横浜	1,831	776	837	218	12%
5	日本	新潟	82	20	62	0	0%
6	日本	清水	411	254	157	0	0%
7	日本	名古屋	2,017	1,071	946	0	0%
8	日本	四日市	147	82	65	0	0%
9	日本	大阪	1,193	320	829	44	4%
10	日本	神戸	1,554	784	730	40	3%
11	日本	水島	70	38	32	0	0%
12	日本	広島	111	71	41	0	0%
13	日本	徳山下松	70	49	20	0	0%
14	日本	博多	308	123	185	0	0%
15	日本	北九州	310	165	145	0	0%
16	日本	志布志	19	3	16	0	0%
17	日本	那覇	29	4	25	0	0%
18	韓国	釜山	12,102	4,212	2,805	5,084	42%
19	ロシア	ヴォストチーヌイ	449	348	102	0	0%
20	中国	大連	1,314	803	511	0	0%
21	中国	天津	2,265	1,384	880	0	0%
22	中国	青島	3,302	2,019	1,284	0	0%
23	中国	上海	8,829	5,397	3,432	0	0%
24	中国	寧波	2,050	1,253	797	0	0%
25	中国	厦門	1,963	1,200	763	0	0%
26	中国	深セン	6,558	4,008	2,549	0	0%
27	中国	香港	14,499	370	1,441	12,687	88%
28	台湾	基隆	2,322	1,045	1,206	71	3%
29	台湾	高雄	7,656	2,482	2,863	2,312	30%
30	フィリピン	マニラ	2,332	574	1,024	733	31%
31	ベトナム	ホーチミン	1,635	897	738	0	0%
32	タイ	ランチャバン	2,650	1,662	877	112	4%
33	タイ	バンコク	1,182	746	393	43	4%
34	マレーシア	TJペラパス	5,257	139	98	5,020	95%
35	マレーシア	ポートケラン	9,282	2,545	1,787	4,950	53%
36	シンガポール	シンガポール	12,985	1,482	986	10,518	81%
37	インドネシア	TJペラーク	1,658	1,058	600	0	0%
38	インドネシア	TJプリオク	2,812	1,795	1,017	0	0%
39	インド	ジャワハールネル	3,186	1,577	1,609	0	0%
40	スリランカ	コロンボ	1,450	229	217	1,003	69%
41	PNW		3,140	1,091	2,049	0	0%
42	PSW		9,313	2,633	6,680	0	0%
43	北米東岸		4,307	1,234	3,072	0	0%
44	南米西岸		465	266	199	0	0%
45	南米東岸		839	482	357	0	0%
46	中東		4,767	3,120	1,647	0	0%
47	地中海		2,615	587	2,028	0	0%
48	欧州		8,589	3,221	5,368	0	0%
49	アフリカ		1,382	633	749	0	0%
50	大洋州		2,097	1,250	847	0	0%

4.6.2 航走リンクフロー

船舶サイズ別船社グループ別の港湾間輸送実績は，MDS Transmodal 社の航路別船社別寄港実績データ [72] から明らかとなる寄港地順・頻度・船舶サイズを整理する[50]ことで，船舶サイズ別船社グループ別港湾間年間就航船腹量（TEU ベース）を求め，これに消席率を乗じることで得られる．ここで，消席率については実績データが得られないため，外航船社へのインタビュー調査等により，アジア域内航路については全区間 0.8，アジア域内と域外を結ぶ航路については，そのうちアジア域内区間は 0.4，その他の区間（アジア域内外を跨ぐ区間およびアジア域外相互間）は 0.8 と設定した[51]．

図-12 に，このようにして得られたアジア地域発着全リンクの合計延べ就航船舶数および輸送貨物量（リンクフロー）に対する船舶サイズ別内訳を，また**図-13** にリンクフローの船社グループ別内訳を示す．さらに，**図-14** に，全世界の港湾間リンクフロー（サイズ・船社合計，往復も合計）の推計図を示す（なお，各リンクの具体的な推計値については，膨大なデータとなるため本論文への掲載は省略した）．

図-12 に示されるサイズ別内訳をみれば，輸送貨物量のほうが延べ就航船舶数よりも若干大型船のシェアが大きいものの，サイズカテゴリ４（4000TEU 以上）が４割程度，カテゴリ２（1000-2500TEU）およびカテゴリ３（2500-4000TEU）が約 1/4～３割程度を占め，カテゴリ１（1000TEU 以下）のシェアがもっとも小さいという傾向は同じであることがわかる．また，**図-13** に示される船社別内訳をみれば， グループ A，E，H などのシェアが比較的大きいことがわかる．

このようにして得られたフローを，４種類の航走リンクフロー（①停泊-航走-停泊リンク，②船積-航走-船卸リンク，③停泊-航走-船卸リンク，④船積-航走-停泊リンク）へ分割する方法については，実績データを収集することは困難であることから，以下の方法で推計する．

i) 当該港湾間の推計フロー XC_{ijwg} に対する，４種類のフローのシェアをそれぞれ $r1_{ij}$, $r2_{ij}$, $r3_{ij}$, $r4_{ij}$（ただし，$0 \le rn_{ij} < 1, n = 1,2,3,4$）とする．このとき，以下の式が成り立つのは自明である．

$$r1_{ij} + r2_{ij} + r3_{ij} + r4_{ij} = 1 \tag{48}$$

ii) 発港 i の出港フローの合計を F_i，着港 j の到着フローの合計を F_j とする．すなわち，

$$F_i = \sum_g \sum_w \sum_j XC_{ijwg} \tag{49}$$

$$F_j = \sum_g \sum_w \sum_i XC_{ijwg} \tag{50}$$

[50] モデル対象港湾でない寄港地を寄港地リストから「飛ばす」（削除していく）ことで，モデル対象港湾間のみの就航船腹量データを作成する．ただし，この作業の結果，寄港地リストにおいて同一の寄港地が連続することとなった場合は，その間のフローはゼロとして取り扱う．

[51] アジア域内外を結ぶ航路のアジア域内区間における消席率を 0.4 と設定したのは，アジア域内外を結ぶような長距離航路では，アジア域内の各港で順に貨物を積み（または順に貨物を卸し），アジア域内外を跨ぐ際の消席率が 0.8 となるようなルーティングを想定しており，最初の区間の消席率 0 と最後の区間の消席率 0.8 の平均をとったためである．

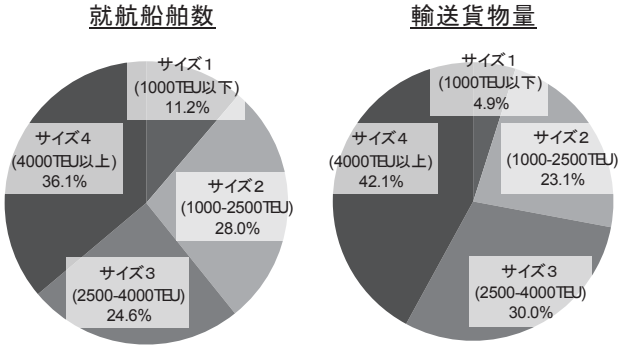


図-12 航走リンクにおける延べ就航船舶数および輸送貨物量（リンクフロー）のサイズ別内訳（現状推計値）

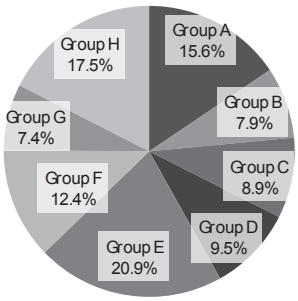


図-13 航走リンクにおける輸送貨物量（リンクフロー）の船社グループ別内訳（現状推計値）

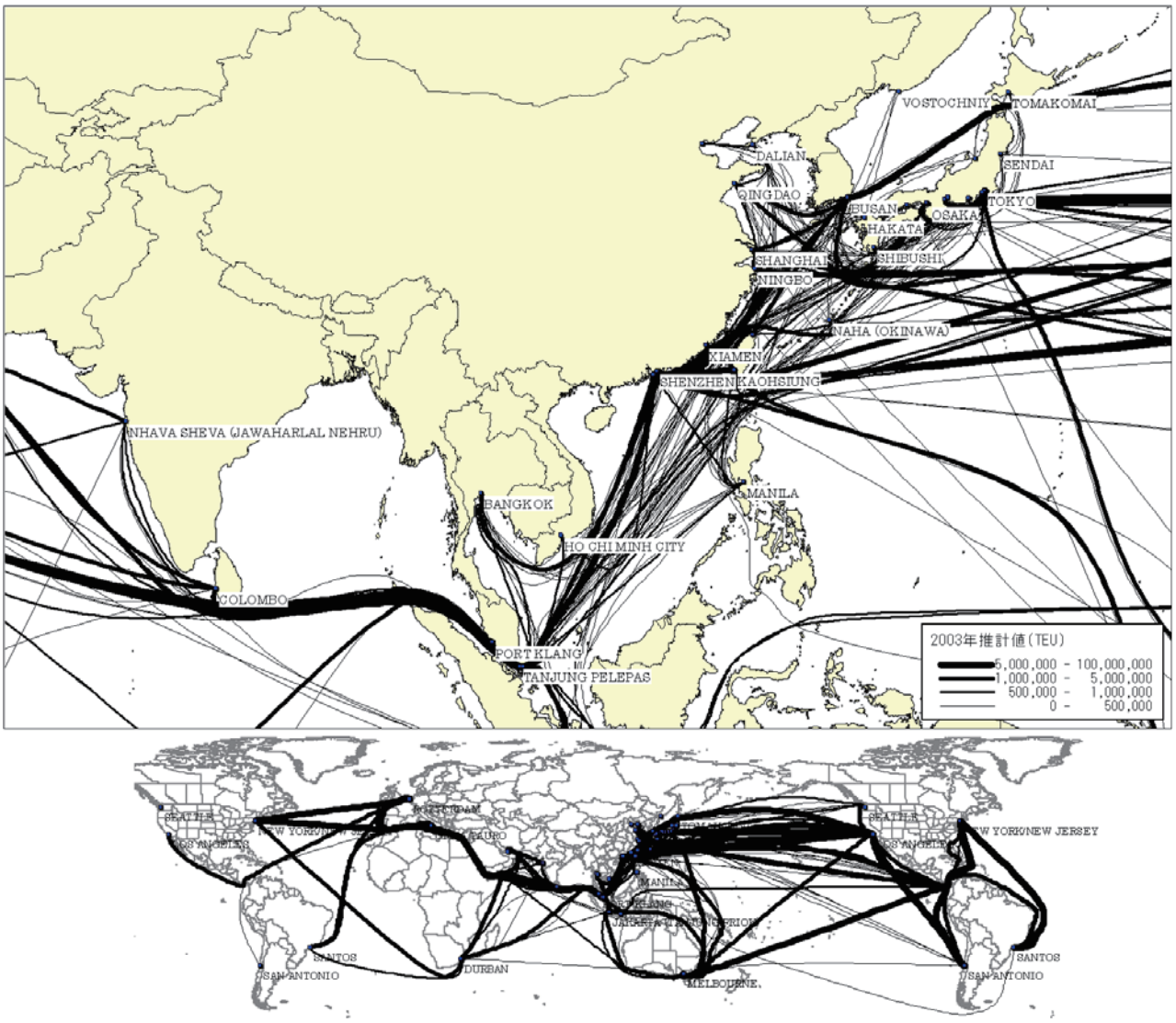


図-14 港湾間リンクフロー現状推計図（2003 年年間値）

また，4.6.1 より得られる発港 i の船積貨物量（輸出貨物量＋トランシップ貨物量／２）を Y_i，着港 j の船卸貨物量（輸入貨物量＋トランシップ貨物量／２）を Y_j とする．

iii) このとき，停泊リンクフローと船積または船卸リンクフローの関係より，下式を仮定する．

$$r2_{ij} + r4_{ij} = \frac{Y_i}{F_i} \tag{51}$$

$$r2_{ij} + r3_{ij} = \frac{Y_j}{F_j} \tag{52}$$

上式は，全取扱貨物量に対する船積・船卸貨物量の比（右辺）が，各航路（相手港湾別）にも相似的に成り立つ（左辺）との仮定に基づくものである．

iv) さらに，停泊-航走-停泊リンクと船積-航走-船卸リンクの関係にも同様の相似関係を仮定する．

$$\frac{r2_{ij}}{r1_{ij} + r2_{ij}} = \frac{Y_i + Y_j}{F_i + F_j} \tag{53}$$

v) (48)，(51)，(52)，(53)式の連立方程式より，$r1_{ij}$, $r2_{ij}$, $r3_{ij}$, $r4_{ij}$ を求める．

vi) ただし，v)で求めた $r1_{ij}$, $r2_{ij}$, $r3_{ij}$, $r4_{ij}$ のいずれかが $0 \le rn_{ij} < 1$ を満たさない場合には，以下の方法で解を得る．

① $Y_i/F_i < Y_j/F_j$ の場合，$r4_{ij} = 0$ として，(53)式の仮定を除く．すなわち，

$$\begin{aligned} r1_{ij} &= 1 - Y_j/F_j\ (>0) \\ r2_{ij} &= Y_i/F_i\ (>0) \\ r3_{ij} &= Y_i/F_i - Y_j/F_j\ (>0) \\ r4_{ij} &= 0 \end{aligned}$$

② $Y_i/F_i > Y_j/F_j$ の場合は，$r3_{ij} = 0$ として，(53)式の仮定を除く．すなわち，

$$\begin{aligned} r1_{ij} &= 1 - Y_i/F_i\ (>0) \\ r2_{ij} &= Y_j/F_j\ (>0) \\ r3_{ij} &= 0 \\ r4_{ij} &= Y_i/F_i - Y_j/F_j\ (>0) \end{aligned}$$

なお，(51)，(52)，(53)式の仮定は非常に強いものであるが，他に推定の方法がないため便宜的に置いているものであることに注意されたい[52]．

[52] このため，次章の未知パラメータ推計における現状再現性検証の対象となる航走リンクフローは，4 種類合計のフローとする．

4.6.3 船社別港湾間 OD 貨物量

4.6.1 で作成した全船社合計港湾間 OD 貨物量を初期値とし，同じく 4.6.1 で作成した輸出入港湾取扱貨物量（トランシップ貨物量は除く）を船社グループ別の入出港フローで比例配分した，船社グループ別港湾別輸出・輸入貨物取扱量をコントロールトータルとして，フレーター法により，船社グループ別港湾間 OD 貨物量を算出する．なお，スペースの都合上，推計結果の掲載は省略する．

5. 未知パラメータの推計とモデルパフォーマンスの検証

5.1 未知パラメータの推計方法と結果

5.1.1 推計方法

本モデルに含まれるパラメータ（4. の**表-3** 参照）のうち，荷主の選択行動モデル（(1)式および(8)式）に含まれる分散パラメータ θ，荷主の下位モデルの選択結果を反映するログサム変数（(3)式）が負とならないための調整パラメータ ζ，および船社の費用最小化行動モデルに含まれる金銭時間換算係数（船社にとっての時間価値）vt_{carr} の３つは，外生的に与える必要がある変数の中でも，どのような値を設定すればよいかの根拠材料に乏しいことから，未知パラメータとして，モデルの計算結果が現状をもっともよく再現するように決定することとする．

このうち，分散パラメータ θ は，確率配分型モデルにおける誤差項の分布形を規定するもので，(1)式や(9)式を見ても明らかなように，値が大きいほど，各選択肢（ルート）の費用差がより反映されるようになり，最少費用ルートに流れるフローが大きくなるなど，確定的配分に近づく．一方，値が小さくなると，ルート間の費用差が重要でなくなり，どのルートも同程度に選ばれやすくなる．

また，ログサム変数の調整パラメータ ζ は，(3)式で表わされる各航路 a のログサム変数 Λ_a が，「当該航路における各船社グループのサービスレベルを考慮した全体的な使いやすさ（に反比例するコスト）」を表しており，調整パラメータを考慮しない場合，各グループのサービスレベルが全体的に向上すると負になることもあり得ることから，便宜的に導入するものである．ただし，輸出入事務にかかわる手続き費用や諸経費など，荷主が

国際海上輸送を利用する際にかならず発生する費用と解釈することもできるだろう．

さらに，船社にとっての時間価値 vt_{carr} についてみれば，vt_{carr} = 0 の場合は，各船社にとっては，どんなに時間がかかっても，輸送費用を安くすることへのインセンティブが働くことを意味し，直観的に考えてやや非現実的な状況となる．一方で，荷主と比べれば，時間のウェイトはより小さくなる（すなわち，4.5 で設定した荷主の時間価値 vt_{shpr} = 1,348 円/TEU/時よりは小さい）ことが予想される．

ここで，未知パラメータ推計において比較対象とする現状値としては，4 種類の船社グループ別船舶サイズ別のアジア地域を発地または着地とする[53]航走リンクフローの和を用いる．この現状値と推計値の誤差二乗和の平方の，現状のフローに対する比を目的関数値とし，これが最小となるパラメータの組み合わせを求める．ここで，上記の３つの未知パラメータのうち，ログサム変数の調整パラメータ ζ については，最も Λ_a が小さい航路において，Λ_a が実際のコスト（運賃＋時間費用）とおおむね等しくなることも考慮し，試行錯誤的に ζ = 200,000（円）と設定した．残りの２つの未知パラメータについては，両者が目的関数値に対して比較的トレードオフの関係にあることも考慮し，以下に示す最急降下法（最適勾配法）[54]によって求めることとする．

i) パラメータの探索範囲を設定する．探索範囲は適切に設定することが必要である．範囲が広すぎると解が非現実的な値となったり，計算が不可能になることもあり，また，計算時間もかかる．一方で，範囲が狭すぎると適切な解が見つけられない可能性がある．

ii) 格子探索（グリッドサーチ）によって，探索範囲内で目的関数が最小となるパラメータの組み合わせを求める．これを初期解とする．

iii) 初期解を起点とした１次元（直線的）探索方向を決定する．最急降下法では，通常，初期解における目的関数の微分値を計算することにより降下方向（最急勾配方向）を求めるが，本モデルにおいては微分計算が不可能であるため，各パラメータについて，それぞれ初期解から微小変化させた場合の目的関数の変化量を求め，これらを合成することにより探索方向を決定する．

iv) 初期解を片方の端点とし，探索方向と i)で設定した探索範囲の交点をもう一方の端点とした直線上において，目的関数値が最小となる点を求める．ここでは，計算速度を速めるため，黄金分割法を用いて探索した．

v) iv)で得た点を新たな初期解として，目的関数値が収束判定基準（**表-11** 参照）以下となるか，予め決めておいた繰り返し計算回数の上限に達するまで，iii)に戻り計算を繰り返す．この際，繰り返し回数が進むにつれて，1 次元探索の距離を徐々に短くすることで収束を早める．

5.1.2 推計結果

上記手順 ii)の格子探索を，$2.0*10^{-6} \le \theta \le 1.0*10^{-5}$（円），$10 \le vt_{carr} \le 1{,}000$（円/TEU/時）の範囲内で行った結果を**表-10** に示す．表に示されるように，θ = $6.0*10^{-6}$（円），vt_{carr} = 100（円/TEU/時）のとき目的関数が最小となった．

次に，この点を出発点に，試行錯誤的に決定した**表-11** に示す条件のもとで，5.1.1 の手順 iii)～v)にしたがって推計計算を行った．その結果，θ = $5.98*10^{-6}$（$円^{-1}$），vt_{carr} = 97.1（円/TEU/時）[55]のとき目的関数が $4.190*10^{-2}$ となり最小となった．

表-10 未知パラメータに関する格子探索結果
（目的関数値，10^{-2}）

θ (10^{-6}) / vt_{carr}	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
10	5.228	4.978	4.696	4.495	4.449	4.539	4.762	4.870	4.903
100	4.652	4.484	4.342	4.245	**4.208**	4.224	4.293	4.355	4.428
1000	4.559	4.527	4.438	4.342	4.305	4.347	4.309	4.346	4.405

表-11 未知パラメータ推計計算における計算条件

1次元探索における探索計算（黄金分割法）回数の上限	15
1次元探索の打ち切り基準（前回の航走リンクフローとの誤差二乗和の平方の，前回リンクフローの和に対する比）	$1.0*10^{-4}$
最急降下計算の繰り返し回数の上限	3
目的関数値の収束判定基準	$1.0*10^{-4}$

なお，本モデルの計算時間は，Dell Precision T7400（CPU: クワッドコア・インテル Xeon プロセッサー（2x6MB L2 キャッシュ，3.16GHz, 1333MHz FSB）x2，メモリ 16GB）を使用した場合で，１ケース（１つのパラメータの組み合わせ）ごとに 10～15 分程度かか

[53] ここで，目的関数値の計算を「アジア地域を発地または着地とする」航走リンクフローに限定したのは，4.2.2 で述べたように，アジア地域外同士を発着する貨物は本モデルの計算対象外としたため，アジア地域外発着のフローについては，再現性を問うことが難しいことによる．

[54] 最急降下法や最適勾配法については，たとえば長尾 [73]を参照されたい．また，交通ネットワーク均衡配分計算における求解方法として最も一般的に利用される Frank-Wolfe アルゴリズムも，最急降下法（最適勾配法）の一種である（探索方向を求める際に前回の解（リンクフロー）を用いている）．

[55] 荷主の時間価値の約 7.2%に相当する．

る．したがって，30～50 ケース程度の計算が必要となる格子探索や最急降下法によるパラメータ推計計算では，PC の性能によっても大きく異なるものの，おおむね６時間～半日程度要する．

5.2 モデル計算における収束状況の確認

これまで述べてきたように，本モデルは，何重もの収束計算が入れ子構造になっており，これを繰り返して最終的な均衡解（ナッシュ均衡解）を求めるものである．いずれの収束計算においても，理論的に必ず収束するという保証はなく，実際に解が収束し，ナッシュ均衡状態となっているか，事後的に確認する必要がある．

以下では，１）船社の収入最大化モデルにおける各船社の航路別運賃，２）船社の総費用最小化モデルにおける各船社の入港リンクフロー，３）船社サブモデル全体の収束計算（収入最大化モデルと総費用最小化モデルの交互計算）における船社別航路別貨物需要，４）モデル全体収束計算（荷主サブモデルと船社サブモデルの交互計算）における航走リンクフローについて，計算の収束状況を確認する．なお，以下の検証にあたっては，前節で推計した最終的な均衡（と思われる）解周辺における収束状況を確認することとする．

5.2.1 船社の収入最大化モデルにおける収束状況

3.3.2 で述べた船社の収入最大化モデルにおいては，各船社グループは，他グループの運賃を参照しながら自グループの運賃を決定する．

図-15 に，一例として，収束解における，横浜－香港航路（貨物輸送需要：77,598 TEU/年）の各船社グループの運賃と年間収入の関係を示す．ここでは，直感的に理解しやすいよう，モデル計算で得られた運賃を基準にその変化率と収入の関係を示している．図より，いずれの船社グループにおいても，現在の運賃において収入が最大となっており，ナッシュ均衡状態にあることがわかる．他の航路についても，同様の状況である．

また，本研究の収入最大化モデルにおいては，費用が運賃を上回る，いわゆる赤字航路においても，当該航路から特に撤退することはないものと想定している[56]．このような想定は，寡占市場のモデルにおいてはやや奇異な仮定と受け止められるかもしれないが，ここでは，コンテナ船のスケジューリングが，１ループで複数の寄港地を周回することが多く，特定の航路（特定の港湾間）だけ撤退することはサービス維持の観点から難しい，という現実の状況を想定している．確認のため，**図-16** に，本モデルによって計算された各航路における船社別の１TEU あたりの利潤（＝運賃－費用）の分布を示す．全体の約 3/4（76.2%）の航路において，利潤が正となっている．さらに，ここではスペースの都合上図表で示すことはしないが，赤字航路はフローの小さいものが多いため，航路別の収益でみると，赤字航路における総赤字額は，黒字航路における総黒字額の 0.5%程度にすぎない（船社グループ別に見ても，赤字航路が最も多いグループでも総黒字額の 3%程度となっている）．この結果は，本モデルにおいて，多少の赤字航路を他の黒字航路でカバーするという船社の配船戦略を再現しているとも解釈できよう[57]．

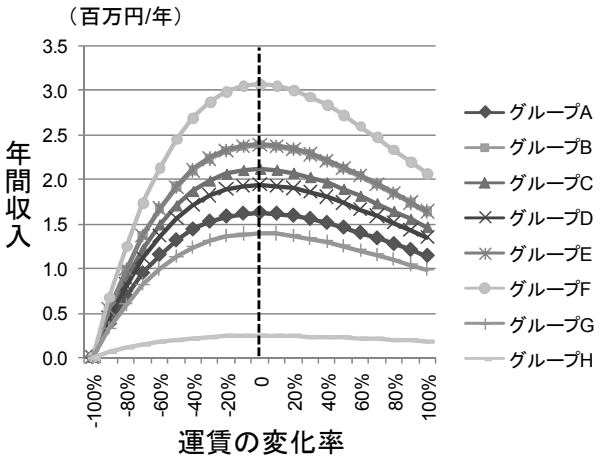


図-15 横浜－香港航路（貨物輸送需要：77,598 TEU/年）における各船社グループの運賃と年間収入

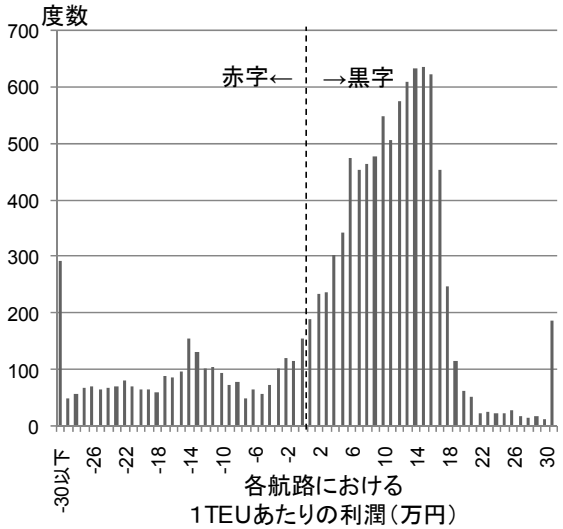


図-16 各航路（船社別）の利潤の分布

[56] 3.3.2(3)に示される収入最大化モデルの解法においても，赤字航路からの撤退処理等の手順は含まれていない．

[57] 赤字航路からは撤退するとの仮定に基づいたモデル計算も可能である．今後の課題としたい．

5.2.2 船社の総費用最小化モデルにおける収束状況

3.3.3 で述べた船社の総費用最小化モデルにおいては，航走リンクフローの和 XC_{ijwg} を含む，船積-航走-船卸，停泊-航走-船卸，船積-航走-停泊の３つの航走リンクや，総港湾取扱量 XH_i を含む船卸・船積リンクなど，フローの減少関数となるコストをもつリンクに加え，入港リンクフロー $XAP_{iwg}+XAU_{iwg}$ や出港リンクフロー $XDP_{iwg}+XDL_{iwg}$ を含む入港停泊・入港船卸リンクおよび出港停泊・出港船積リンクや，船卸貨物量 XUG_{iwg} や船積貨物量 XLG_{iwg} を含む船卸リンクや船積リンクなど，フローの増加関数となるコストを持つリンクも含まれる．さらに，入港停泊・入港船卸リンクおよび出港停泊・出港船積リンクにおいては，他船社 g'の入港リンクフロー $XAP_{iwg'}+XAU_{iwg'}$や出港リンクフロー$XDP_{iwg'}+XDL_{iwg'}$も含まれる．

このため，5.1 で得られたパラメータのもとでのモデル計算における，各船社の総費用最小化モデルの収束状況を**図-17** に示す．図より，船社の総費用最小化モデルにおいては，おおむね５～10 回程度の繰り返し計算で収束することがわかる[58]．

また**図-18** に，本モデルで推計された，各港湾における船舶入出港時混雑[59]の待ち時間を示す．図より，深セン・天津等といった中国の港湾や釜山港において，特に出港時に相当の混雑がみられる．ただし，船社の時間価値（金銭時間換算係数）が小さいため，船社の総費用最小化モデルの収束速度に対しては，ほとんど影響していないものと考えられる．

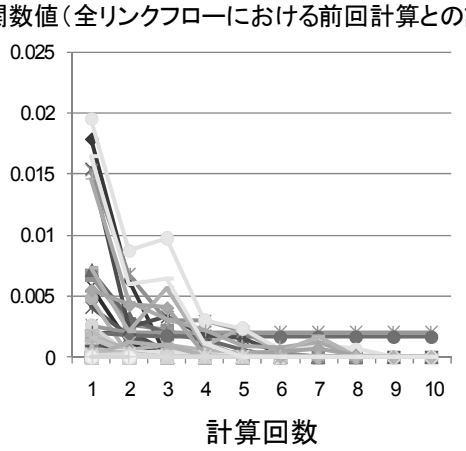


図-17 船社の総輸送費用最小化モデルにおける収束状況

5.2.3 船社サブモデル全体の計算における収束状況

図-19 に，目的関数値（航路別船社別需要 q_{ag} の前回計算結果との誤差二乗和の平方の，需要の総和に対する比）の収束状況を示す．図より，２～３回の繰り返し計算で目的関数値が 10^{-3} 以下とはなるものの，計算回数を増やしてもそれ以上はあまり収束しない傾向がよみとれる．

図-20 に，繰り返し計算の初回および最終回における，航路別船社別貨物需要の一期前との比較を示す．図より，計算の最終段階においては，貨物需要は一期前の計算結果からほとんど変化せず，**図-19** に示される状況（目的関数値が 10^{-4}～10^{-3} 程度）でも十分収束しているといえることがわかる．

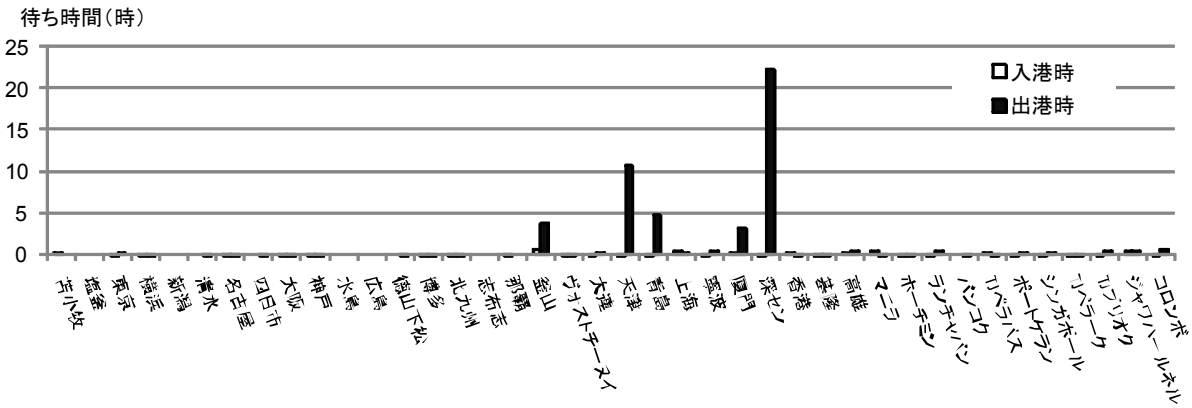


図-18 本モデルで推計された各港湾における船舶入出港混雑の待ち時間

[58] 3.4 の**表-2** に示される収束計算の条件（繰り返し回数上限 10 回，収束判定基準 10^{-6}）も，このような収束の状況等を確認しながら，試行錯誤的に決定したものである．

[59] なお，入港時と出港時で混雑による待ち時間が異なるのは，3.3.3 の船社の総費用最小化モデルにおいて，入港リンクと出港リンクが別々に設定され，両者の船舶数の一致制約が考慮されていないことによる．

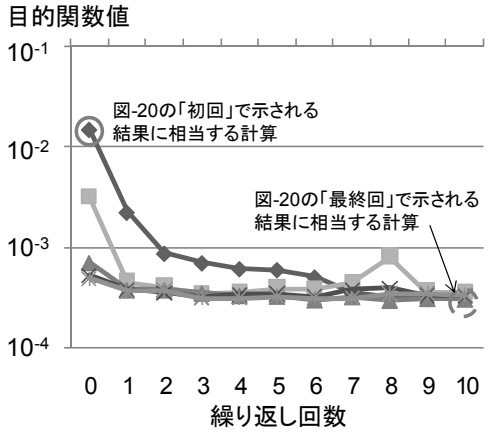


図-19 船社サブモデル全体計算における収束状況

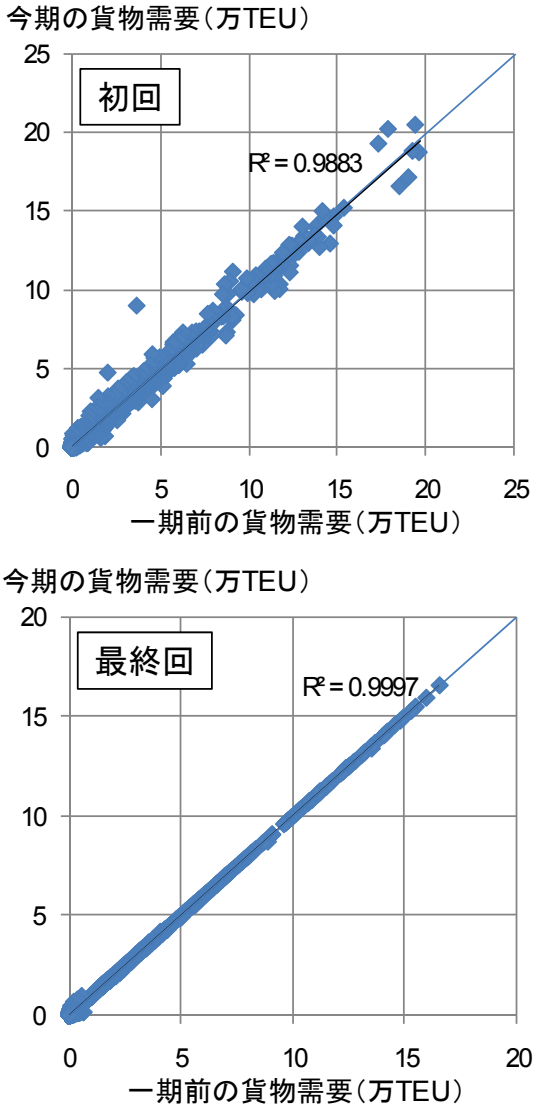


図-20 船社サブモデル繰り返し計算における
一期前の航路別船社別貨物需要との比較

5.2.4 モデル全体の計算における収束状況

図-21 に，目的関数値（船社別航走リンクフロー XC_{ijwg} の前回計算結果との誤差二乗和の平方の，リンクフローの総和に対する比）の収束状況を示す．なお，図-21 には，参考として，未知パラメータ推計計算の初期値（$\theta = 6.0*10^{-6}$，$vt_{carr} = 100$）における収束状況も示す．図より，４～５回の繰り返し計算で目的関数値が 10^{-3} 以下となり，その後は船社サブモデルの全体計算と同様に頭打ちとなる傾向がわかる．

図-22 に，繰り返し計算の初回および最終回（５回目）における，船社別航走リンクフローの一期前との比較を示す．図より，船社サブモデルの全体計算と同様，計算の最終段階においては，航走リンクフローは一期前の計算結果からほとんど変化していないことがわかる．

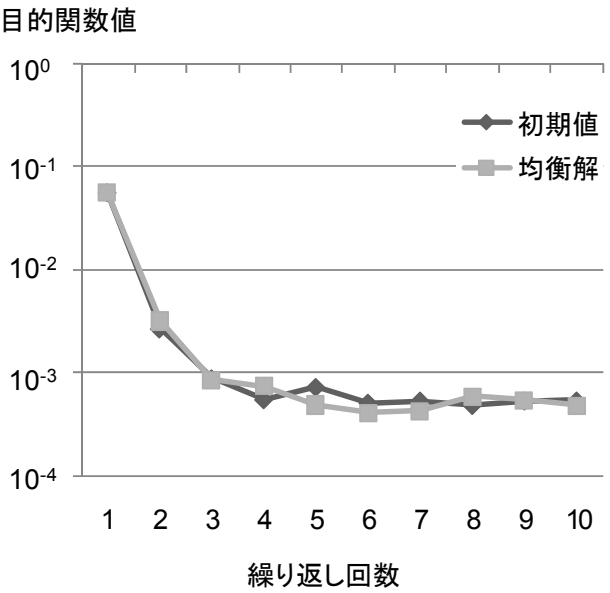


図-21 モデル全体計算における収束状況

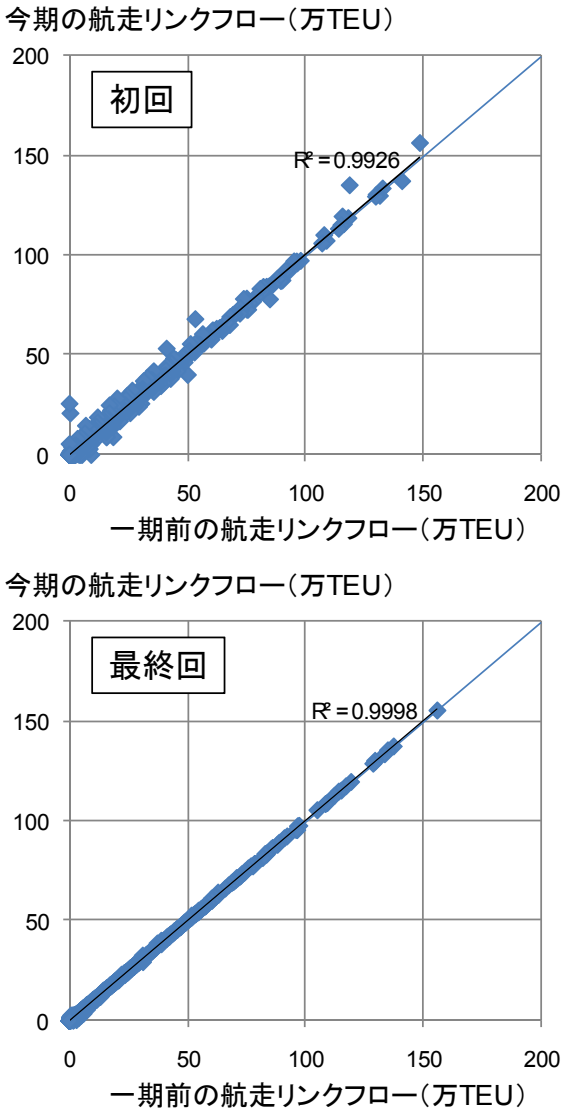


図-22 モデル全体の繰り返し計算における一期前の船社別航走リンクフローとの比較

5.3 モデル現状再現性の確認

本節では，3. で構築したモデルに対して，4. および前節で作成・推計したパラメータを代入した計算の結果について，現状値と比較することで，モデルの再現性を確認する．

5.3.1 港湾取扱量

図-23 に，日本の各港における[60]輸出入貨物取扱量の合計値における現状値とモデル推計値の比較を示す．図に示されるとおり，東京・横浜・神戸港をはじめとして，おおむね現状を再現する結果となっていることが確認できる．ただし，名古屋や仙台塩釜・新潟・那覇港等，いくつか港湾で現状に対して過小な推計値となっており，大阪や北九州港で現状に対して過大な推計値となっている．

また，図-24 に，アジア各港におけるトランシップ貨物取扱量の現状値とモデル推計値の比較を示す．これまで，この種のモデルでは，このトランシップ貨物の再現性（特にシンガポールやタンジュンペラパスなどトランシップ貨物率の高い港湾において）が低いことが多かったことに比べると，本モデルの推計結果は，なお多少の誤差は存在するものの，主要港湾のトランシップ貨物量において，高い再現性（重相関係数も高く，また近似直線もほぼ 45 度線に一致する）を得ることができた．また，図の左下部分を見ると，現状では統計上トランシップがゼロとなっている港湾においても，計算結果においては，いくらかのトランシップ貨物量が推計されている．特に深センや上海をはじめとする中国の港湾でこの傾向がみられ，この原因としては，実際には国内フィーダー輸送への積替等，トランシップ貨物取り扱いの実績が多少あっても統計上把握されていないという可能性も考えられる．あるいは，これら中国の港湾の今後のトランシップ貨物取り扱いのポテンシャルを表していると解釈することもできるだろう．

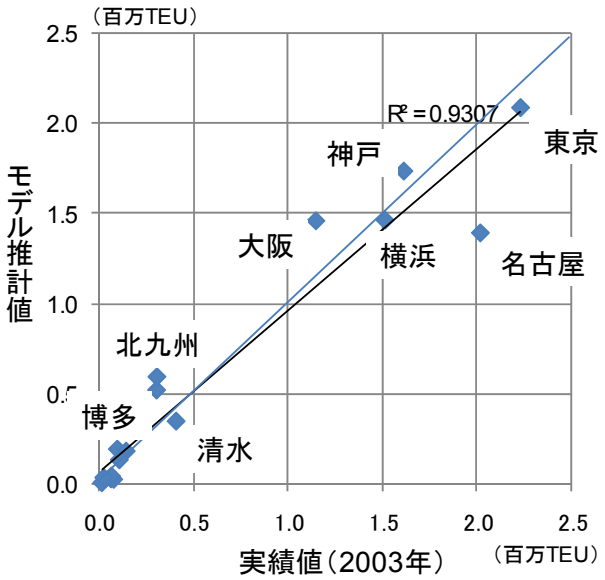


図-23 日本の港湾における輸出入貨物取扱量の現状値（2003 年）とモデル推計値の比較

[60] 図-16 において日本の港湾のみが図化の対象であるのは，4.1 で述べたように，荷主の輸出入港湾選択行動を考慮しているのが日本発着貨物のみであるためである．

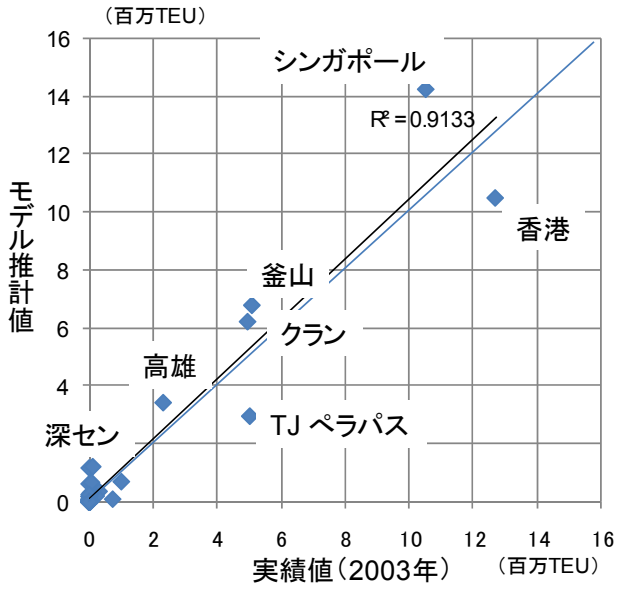


図-24 アジア各港におけるトランシップ貨物取扱量の現状値（2003 年）とモデル推計値の比較

5.3.2 港湾間貨物輸送量（航走リンクフロー）

図-25 に，全船社グループ合計・全船舶サイズ合計・4 種類の航走リンク合計の，アジア発着港湾間貨物輸送量（航走リンクフロー）の現状値とモデル推計値との比較を示す．また，同じくアジア発着航走リンクにおける就航船舶数および貨物輸送量のサイズ別内訳の現状値とモデル推計値との比較を**図-26** および**図-27** に，貨物輸送量の船社グループ別内訳および航走リンク種類別内訳の比較を**図-28** および**図-29** に示す．

図-25 に示される結果をみると，近似直線の傾きに示されるように，全体的な傾向としては，モデル推計値が現状値よりもやや過小に推計されている一方で，一部のリンクフローの多いリンクでは，逆にモデル推計値が過大推計となっていることがわかる．すなわち，モデル推計値においては，現状よりも，特定のリンクにフローが集中しており，モデル計算において，航走リンクにおける規模の経済性が，実際よりもより強く働いていることが推測される．

図-26 に示される航走リンクフローの就航船舶数に関するサイズ別内訳の比較をみれば，本モデルでは，サイズカテゴリ 2 以下の船舶数のシェアが過大に推計され，カテゴリ 3 以上の船舶数シェアが過小に推計されていることがわかる．また，**図-27** に示される航走リンクフローの輸送貨物量に関するサイズ別内訳の比較をみれば，本モデルでは，サイズカテゴリ 2 の船舶（1000TEU-2500TEU）のシェアが過大に推計され，残りのカテゴリの船舶がそれぞれやや過小に推計されていることがわかる．両者を比較すると，就航船舶数のサイズ別内訳において現状との差が大きい．また，**図-28** に示される航走リンクフローの船社グループ別内訳の比較をみれば，本モデルの再現値においては，グループ B, G, H 等のシェアが増加し，グループ A，E，F のシェアが減少していることがわかる．さらに，**図-29** に示される航走リンクフローのリンク種類別内訳の比較をみれば，現状においては，通過-航走-通過リンクが全体の 3/4 を占めているのに対し，モデル推計値においては，通過-航走-通過，通過-航走-船卸，船積-航走-通過の 3 リンクがそれぞれ約 3 割を占める結果となっている．

以上をまとめると，**図-29** に示されるリンク種類別内訳において，現状と推計結果が最も大きく異なっており，この結果と**図-25** に示された特定のリンクへの集中傾向を合わせて考察すれば，現状に比べ，モデルで再現されたコンテナ輸送ネットワークにおいては，1 ループあたりの寄港数が比較的少なく，2,3 の大港湾を結ぶサービスが多くを占めていることが考えられる．現実には，1 つのループでより多くの寄港地を回るようなサービスも多いものと考えられ，このようなループの再現性を高めることが今後の課題といえるだろう．

また，**図-26** に示される就航船舶数に関するサイズ別内訳において，**図-27** に示される輸送貨物量に関するサイズ別内訳よりも現状と推計結果がより異なっているのは，特に大型船において消席率が過大に推計されているためと考えられる．消席率の過大推計傾向については，**付録 A** にも述べるように，本モデルにおいて入出港船舶数の一致制約が考慮されていないことに起因するものと思われる．このような条件をモデルに追加することも，今後の課題である．

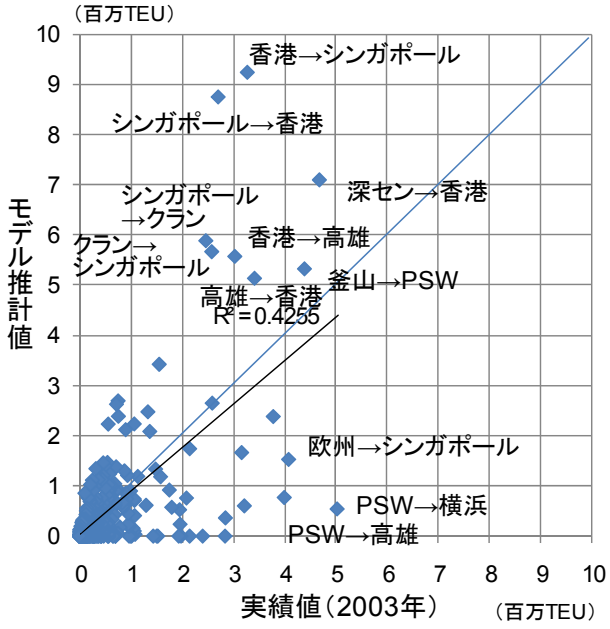


図-25 アジア発着航走リンクフロー（全船社グループ合計・全船舶サイズ合計・4 種類のリンク合計）の比較

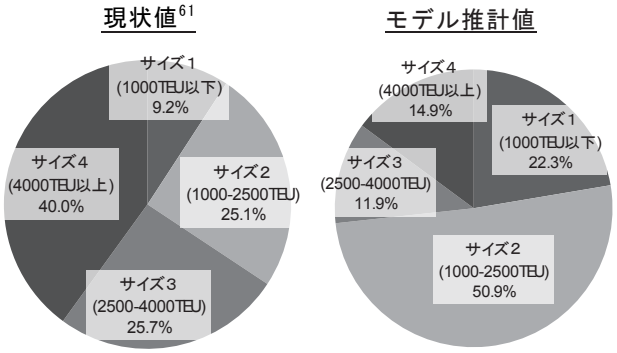


図-26 アジア発着航走リンクにおける就航船舶数のサイズ別内訳の比較

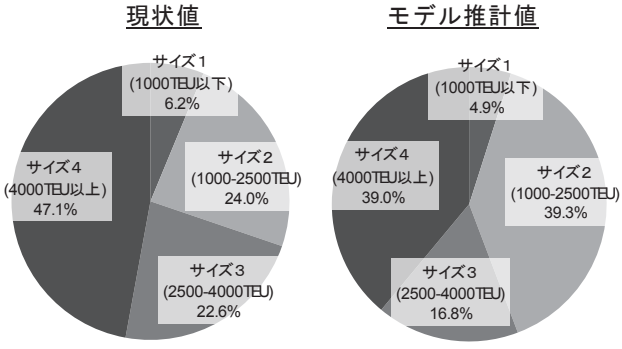


図-27 アジア発着航走リンクにおける輸送貨物量（リンクフロー）のサイズ別内訳の比較

61 本図は，アジア発着リンク（アジア域内相互および域内・域外間リンク）のみを対象としたものであり，全航走リンクフローを対象とした図-12 の現状値とは異なる．以降も同様．

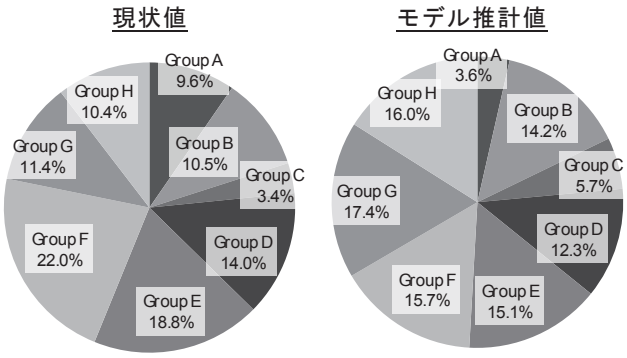


図-28 アジア発着航走リンクにおける輸送貨物量（リンクフロー）の船社グループ別内訳の比較

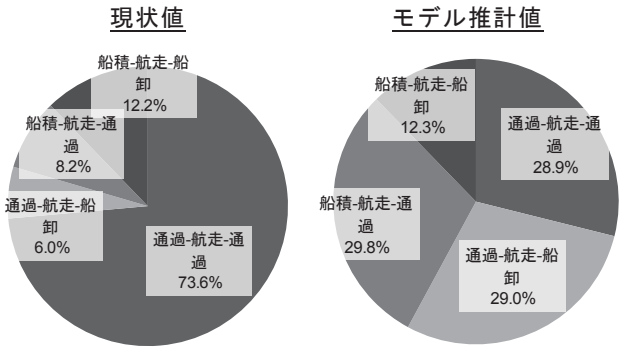


図-29 アジア発着航走リンクにおける輸送貨物量（リンクフロー）の航走リンク種類別内訳の比較

5.3.3 日本発着貨物の利用港湾シェア

4. で述べたように，本モデルにおいて，日本については 47 都道府県を貨物の発着ゾーンとし，各ゾーンごとに輸出入港湾が選択される．各都道府県発着貨物における，東京湾諸港（東京・横浜）および大阪湾諸港（大阪・神戸）を利用する貨物のシェアの，現状値とモデル推計値の比較を，図-30 および図-31 に示す．本モデルにおける各港湾の利用確率は，分散パラメータ θ を含む 3.2.2 の(1)式で一元的に表わされ，また θ の値が比較的小さいことから，現状に比べやや利用港湾が分散傾向にあるものの，東京湾諸港の利用シェアは関東をはじめとして東北・甲信越地方等で大きく，また大阪湾諸港の利用シェアは近畿をはじめとして，北陸・中国・四国地方で大きいなど，現状とモデル推計結果でおおむね同様の傾向であった．

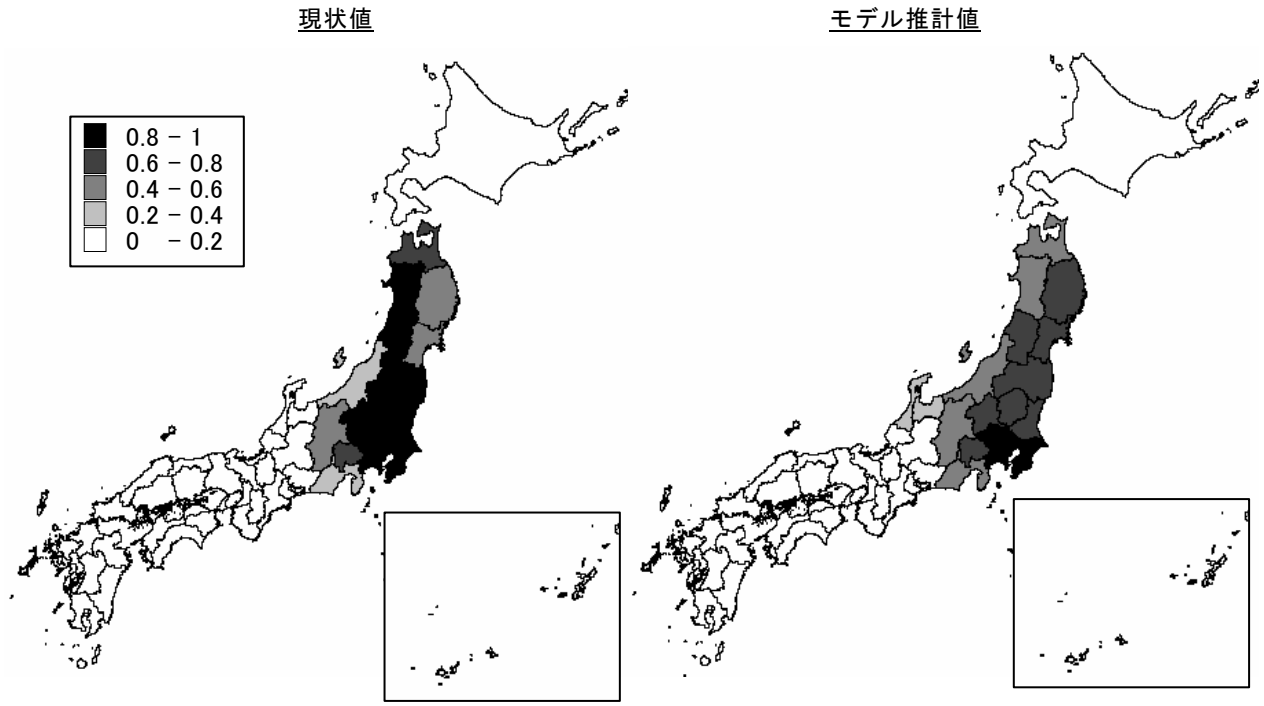


図-30 都道府県別東京湾諸港（東京・横浜）利用貨物シェア（輸出入合計）

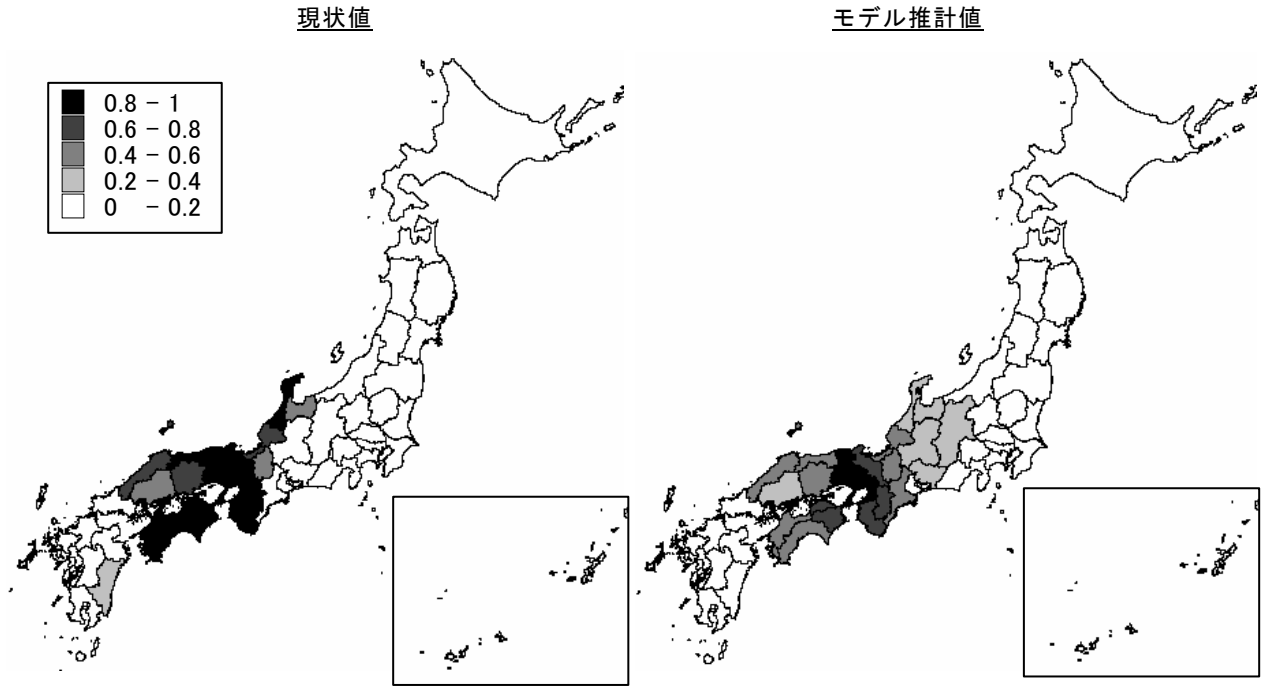


図-31 都道府県別大阪湾諸港（大阪・神戸）利用貨物シェア（輸出入合計）

6. モデルを用いた政策シミュレーション例

本章では，モデルの感度分析的な政策シミュレーションとして，4.および5.1で設定・推計されたパラメータに基づき，日本や海外の主要港湾（ここでは３大湾の６港：東京，横浜，名古屋，四日市，大阪，神戸を対象とする）を対象とした港湾搬出入時間（リードタイム）等の短縮や利用料金の低減に関するシミュレーションを行う．

6.1 日本の主要港湾における搬出入時間等の短縮

6.1.1 シナリオの設定

日本の主要港湾（東京，横浜，名古屋，四日市，大阪，神戸）を対象に，以下のシナリオについてシミュレーションを行った．

シナリオ０：現況再現値（5.3で示された推計結果）

シナリオ１：同一船社内積替時間 TT_i および船社間積替時間 $CTtime_i$ を釜山・高雄港並み（**表-8** 参照）に短縮

シナリオ２：シナリオ１に加え，港湾からの搬出時（輸入時）リードタイム LTU_i も釜山・高雄港並みに短縮

シナリオ３：シナリオ２に加え，港湾への搬入時（輸出時）リードタイム LTL_i を香港・シンガポール港並みに短縮

6.1.2 シミュレーション結果

上記各シナリオにおける，シミュレーション結果の比較を，我が国の港湾における輸出入貨物量について**図-32** に，我が国の港湾を含むアジア各国の主要港湾におけるトランシップ貨物量について**図-33** に示す．**図-32** より，上記施策を実施することにより，実施対象となった港湾においては，輸出入貨物量がおおむね増加することがわかる．特に，輸出入貨物の輸送時間に直接影響するシナリオ２，３において，現状よりも，東京湾合計で1%程度，伊勢湾合計・大阪湾合計でそれぞれ３～５％程度貨物量が増加する．一方で，施策実施対象でない日本の港湾においては，ほとんどの港湾で輸出入貨物量が減少する．

また，**図-33** より，日本の施策実施港湾においては，トランシップ貨物量が，各シナリオごとに段階的に２～４倍程度増加する．一方，周辺諸国のハブ港湾についてみると，釜山はほぼ横ばい，香港・高雄・シンガポール等で２～５％程度の段階的な減少となった．

6.2 日本および海外の主要港湾における搬出入時間等の短縮

6.2.1 シナリオの設定

6.1で示した日本の主要港湾に加え，アジアの主要港湾（釜山，上海，深セン，高雄）を対象に，以下のシナリオについてシミュレーションを行った．

シナリオ３’：日本およびアジアの主要港湾について，同一船社内積替時間 TT_i，船社間積替時間 $CTtime_i$，港湾からの搬出時（輸入時）リードタイム LTU_i を釜山・高雄港並みに短縮，搬入時（輸出時）リードタイム LTL_i を香港・シンガポール港並みに短縮

6.2.2 シミュレーション結果

6.1のシナリオ０，３および上記シナリオ３’における，アジア主要港湾のトランシップ貨物量を，**図-34** に示す．日本の各港湾については，シナリオ３にくらべ，シナリオ３’において５～10%程度トランシップ貨物量が減少する．一方で，シナリオ３’で新たに施策実施対象となったアジアの港湾においては，特に中国の２港（上海・深セン）でトランシップ貨物量が急激に増加している．また，施策実施対象でないアジアの主要港湾についてみると，香港やシンガポールにおいてトランシップ貨物量がさらに減少していることがわかる．

6.3 日本の主要港湾における港湾利用諸料金の低減

6.3.1 シナリオの設定

6.1と同じ日本の主要６港湾を対象に，荷役料金 CH_i とサイズ別入出港費 CE_{iw} について，現状（**表-6** 参照）から 10～90%削減（20%おきに計算）したときのシミュレーションを行う．なお，ターミナル費用 CT_i については，モデル内において，取扱貨物量の増加により，1TEU あたりの費用が内生的に減少するというメカニズムを考慮していることから，ここで外生的に削減することは行わない．

シミュレーション結果

我が国の港湾における輸出入貨物量について**図-35** に，アジア各国のトランシップ貨物量について**図-36** に示す．**図-35** に示されるように，前節までで示した搬出入時間等削減のシミュレーションと比較し，各港湾の輸出入貨

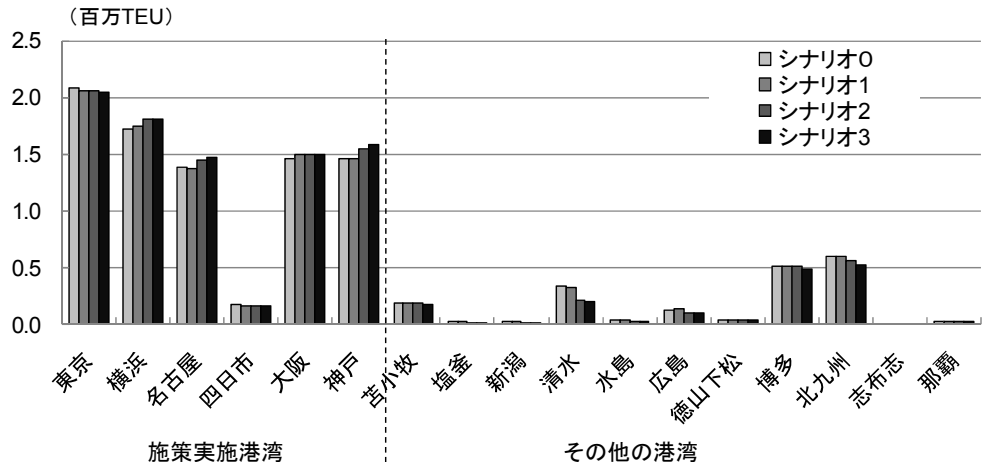


図-32 日本の主要港湾における搬出入時間等短縮シミュレーションの結果（日本各港の輸出入貨物量）

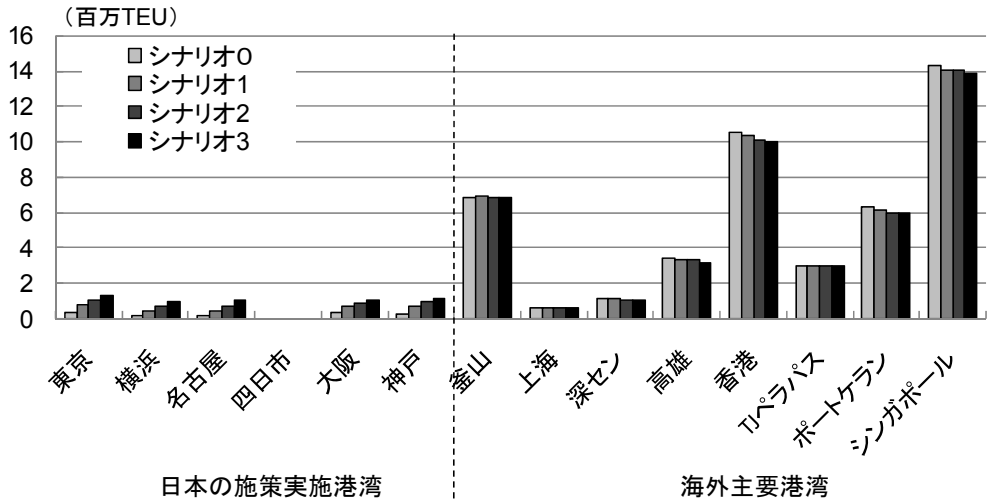


図-33 日本の主要港湾における搬出入時間等短縮シミュレーションの結果（アジア各港のトランシップ貨物量）

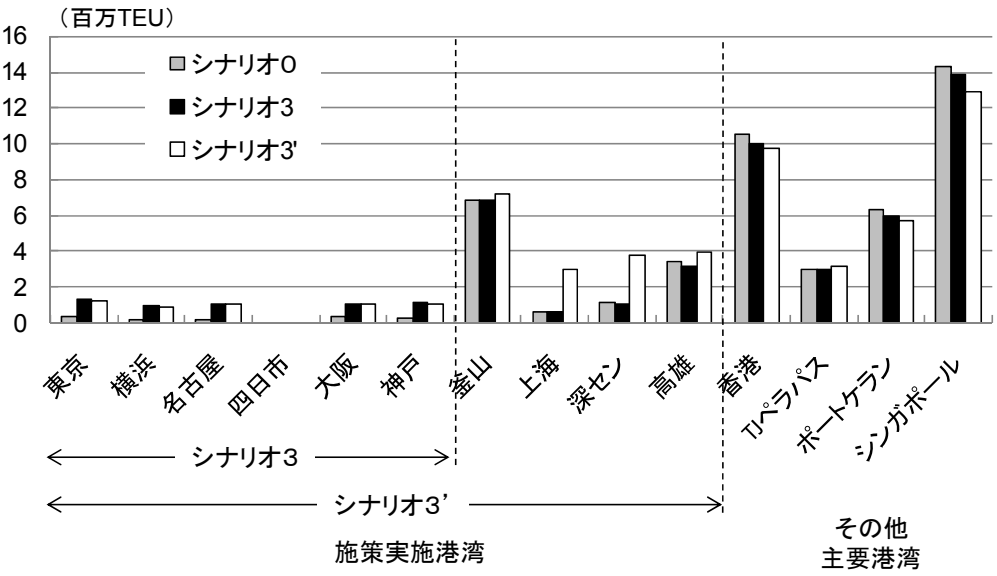


図-34 日本および海外の主要港湾における搬出入時間等短縮シミュレーションの結果
（アジア各港のトランシップ貨物量）

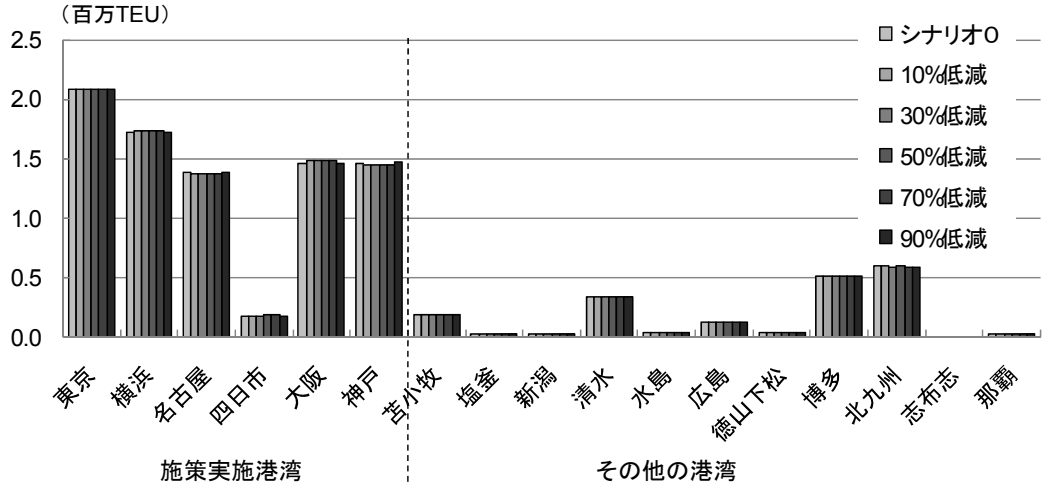


図-35 日本の主要港湾における利用料金低減シミュレーションの結果（日本各港の輸出入貨物量）

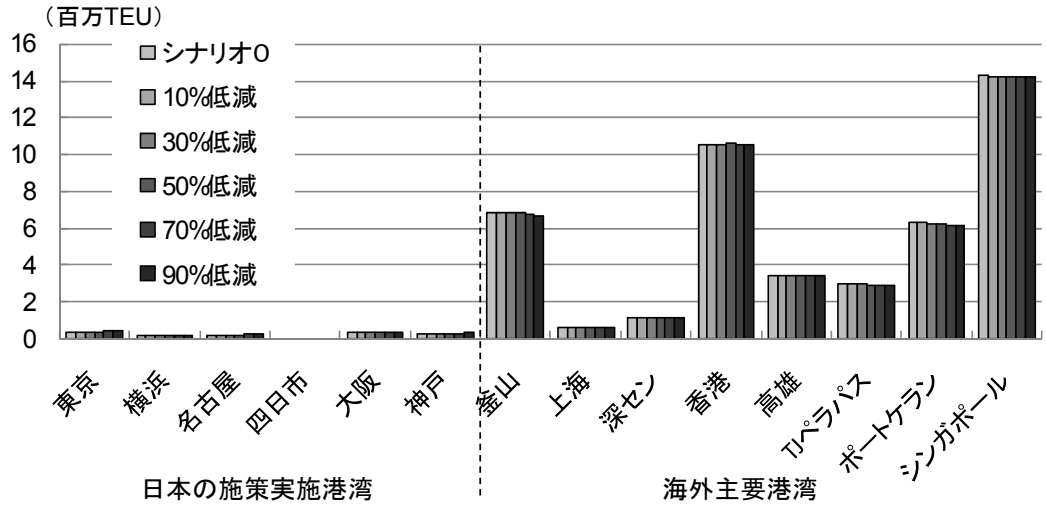


図-36 日本の主要港湾における利用料金低減シミュレーションの結果（アジア各港のトランシップ貨物量）

物量への影響がより小さく，0.1～0.5%程度の増加となっている．**図-36** に示されるトランシップ貨物量についても，最大でも，90%削減時の東京港や名古屋港における 25～30%程度の増加にとどまる．また，アジア主要港湾におけるトランシップ貨物量の減少率もせいぜい１～2%程度となっている．

6.4 荷主の時間価値変化のシミュレーション

6.4.1 シナリオの設定

本章の最後に，荷主の時間価値 vt_{shpr} の変化が，モデル推計結果に与える影響についてのシミュレーション結果を示す．ここまでのモデル計算においては，**4.5.3** で述べたように，荷主の時間価値 vt_{shpr} は，港湾投資の評価に関する解説書 2004[56]を参考に，全貨物共通で 1,348（円/TEU・時）に設定されていた．最近では，コンテナ化の進展に伴い，コンテナ内の貨物単価が低下しているといわれている．そこで，荷主の時間価値が，上記設定値よりも 10%低下した場合（*vtshpr* -10%），および比較対象として 10%上昇した場合（*vtshpr* 10%）のシミュレーションを行った．

6.4.2 シミュレーション結果

我が国の港湾における輸出入貨物量について**図-37** に，アジア各国のトランシップ貨物量について**図-38** に示す．**図-37** より，荷主の時間価値低下に伴い，東京・大阪・神戸港等の輸出入貨物量が減少し，横浜・名古屋・新潟・北九州港等の貨物量が増加する．また，時間価値が増大した場合は，おおむね逆の傾向となっている．さらに，**図-38** をみれば，荷主の時間価値が低下するに従って，多くの港湾でトランシップ貨物量が増加することが

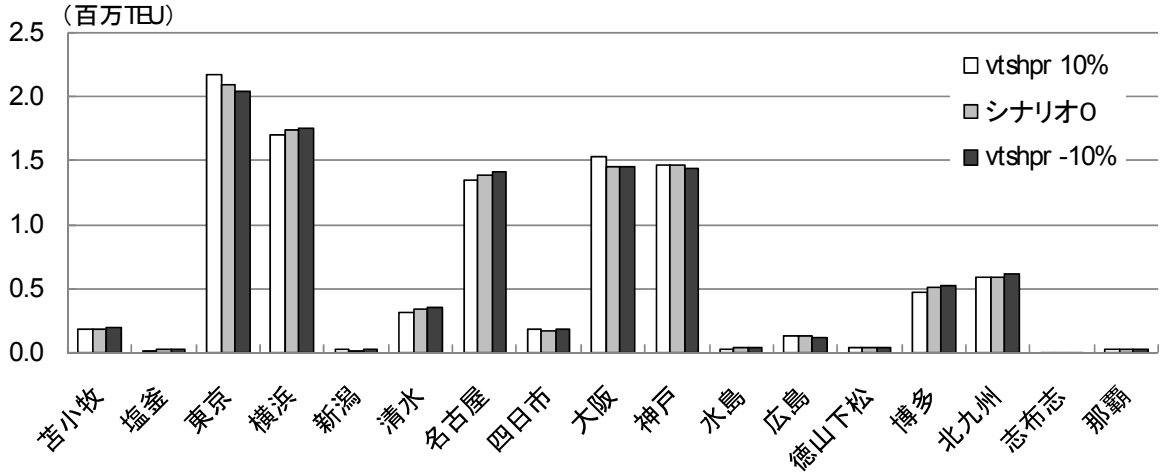


図-37 荷主の時間価値変化シミュレーションの結果（日本各港の輸出入貨物量）

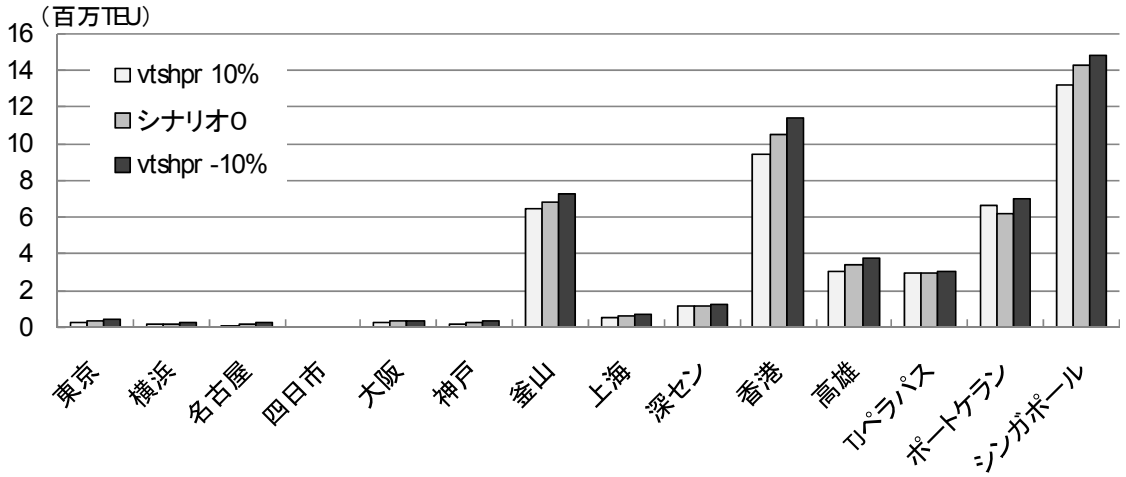


図-38 荷主の時間価値変化シミュレーションの結果（アジア各港のトランシップ貨物量）

わかる．すなわち，荷主の時間価値が低下すると，輸送時間が多少かかってもより金銭費用の安い航路やルートに貨物がシフトし，トランシップ貨物の増加などが観察されるものと考えられる．

6.5 シミュレーション結果のまとめ

6.1 で示した港湾の搬出入時間や積替時間の短縮シミュレーションにおいて，搬出入時間を短縮すると輸出入貨物量が増加し，また段階的な時間短縮により，施策実施港湾においてはトランシップ貨物量が段階的に増加し，その他の主要港湾においては段階的に減少するなどの結果が得られた．これは，モデルの振る舞いを確認するための感度分析としてみれば，おおむね妥当な結果といえる．また，6.2 で示したように，海外の主要港湾においても同様の施策を実施した場合は，日本の施策実施港湾においては効果がやや減少することや，特に中国の港湾において効果が大きいこと等が確認できた．

一方，6.3 で示した港湾利用諸料金の低減による貨物量増加の効果は，6.1 および 6.2 の搬出入時間等の短縮による効果と比べると，限定的であることがわかった．これは，搬出入時間等の短縮が１日単位（金銭費用換算で 1TEU あたり２万円以上）であるのに対し，利用料金の低減は，90%低減しても 1TEU あたり 1 万円程度であるという，インパクトの大きさの違いにも起因するものと思われる．

また，6.4 に示した荷主の時間価値変化のシミュレーションのように，政策変数以外のモデル内の主要パラメータの変化によっても，貨物の集中・分散の傾向が変化することが明らかとなった．今後は，発着地域別や品目別に時間価値を設定するなどして，よりきめ細かいシミュレーションを行うことが課題である．

7. 本研究の成果と今後の課題

7.1 本研究の成果

本研究では，港湾投資や料金割引などハード・ソフト両面の様々な政策の実施により，東アジア圏を中心とした国際海上コンテナ貨物の流動がどのように変化するかのシミュレーションが可能なモデルの構築を行った．また，モデル計算に必要なさまざまな入力データおよび未知パラメータを作成・推計し，これをモデルに入力することで，本モデルの計算結果が，少なくとも港湾取扱量やトランシップ貨物量においては，現状をおおむね再現できることを確認した．さらに，港湾のリードタイムや利用料金などの政策変数を変化させることによって，各港の取扱貨物量の変化を分析した．得られた結果は，おおむね妥当と評価できるものであった．

このモデルの最大の特徴は，多くの政策変数（**表-3** に示されたすべての変数を変化させてシミュレーションすることが可能である）を含み，また，比較的ネットワークが大規模になっても計算可能な点にある．したがって，本研究の 6.2 で示したような，アジア各国で同時に政策を実施したり，あるいは陸上輸送ネットワーク改善等も含めたさまざまな政策オプションの効果について比較するような場合に最も強みを発揮するものと思われる．近年では，わが国においても，アジア地域との結びつきが強まり，他国の政策がわが国の経済活動や物流に与える影響について考慮する必要が，今後ますます高まるものと考えられる．また，政策実施の効果を議論する際にも，今まで以上に，たとえば港湾分野にとどまらないようなより広い範囲を対象に，効率的な施策の実施を議論しなければならない状況となることが予想され，本モデルのような，広範な政策オプションを同じ条件でシミュレーションできるようなモデルの必要性はますます高まるものと考えられる．

7.2 今後の課題

今後の課題を以下に述べる．

(1)モデルの再現精度向上

本モデルは，アジア地域の主要港湾における港湾取扱量やトランシップ貨物量といったレベルでは，おおむね現状を再現することが可能となったが，中小の港湾やフローのレベルではさらなる再現精度の向上が必要である．特に，一回の運航で多数の寄港地を巡るようなループの再現性に乏しく，大きな課題となっている．改良の方向としては，本文中でも述べたように，入港船舶数と出港船舶数が一致するという制約条件を追加したモデルの構築等を検討する必要がある．また，今回のモデル再現性の検証は海上フローを中心に行ったものの，同様に，陸上フロー（各地域ごとの輸出入港湾選択の結果）についても再現性の検討が必要である．

(2)モデル対象範囲の拡張

対象範囲拡張の具体的方向としては，①港湾の追加等による全世界海上輸送ネットワークモデルへの拡張，②輸送機関の追加（特に日本以外のアジア地域の内陸ネットワークの追加），の２つがある．いずれについても，すでに拡張追加作業に着手しており，たとえば，中国やその特定地域（広東省珠江デルタ地方），あるいは東南アジアなどを対象に，これらの地域の道路・鉄道・内航水運のネットワークも含めた総合的な国際物流モデルの構築・政策シミュレーションを実施している．このようなモデルにより，たとえば内陸国境地域における越境輸送抵抗の削減政策（CBTA: Cross Border Transport Agreement）の効果のシミュレーションなどが可能となる．これらのモデルについても，今後，機会を改めて発表していきたい．

(3)貿易予測モデルとの統合による総合的貨物需要予測システムの構築

本研究で構築したモデルは，地域間貨物需要は変動しないものとして，所与としてモデルに入力するものとして取り扱われている．筆者らは，FTA や EPA などの貿易政策や国際経済政策が国際貨物流動に及ぼす影響を計測するため，貿易予測モデル，および本モデルのような物流モデルとの統合システムについても構築を行っている．このようなシステムが構築されれば，本研究でシミュレートしたような貨物輸送環境の改善により，国際経済や貿易活動に与える影響についても計測可能となる．

（2008 年 11 月 14 日受付）

謝辞

本研究の実施にあたっては，国内外の学会等において，東京大学家田教授をはじめとする研究者の方々，および高橋部長をはじめとする港湾研究部の皆様や空港研究部石倉主任研究官に貴重なご意見をいただきました．ここに感謝申し上げます．

参考文献

1) 森地・山形：交通計画（新体系土木工学 60），技報堂出版，1993 年，296p.

2) Meersman, H., Van de Voorde, E., Van Hooydonk, E., Verbeke, A., Winkelmans, W., Huybrecht, M.: *Port Competitiveness*, De Boeck University, 2002, 155p.
3)（社）土木学会　土木計画学研究委員会　「交通ネットワーク」出版小委員会：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，1998 年，331p.
4) 久保：ロジスティクスの数理，共立出版，2007 年，197p.
5)（社）交通工学研究会編：やさしい非集計分析，交通工学研究会，1993 年，141p.
6)（社）土木学会　土木計画学研究委員会：非集計行動モデルの理論と実際，土木学会，1996 年，240p.
7) 国土交通省港湾局：港湾取扱貨物量の見通しの試算結果について，交通政策審議会第１０回港湾分科会資料，2004 年，http://www.mlit.go.jp/singikai/koutusin/kouwanbun/10/images/shiryou1-2.pdf.
8) 渡部・平井・田中・柴崎・小島：国際海上コンテナ貨物流動モデルと大水深ターミナル整備評価に関するシナリオ別分析，国総研研究報告第 13 号，2003 年.
9) Christiansen, M., Fagerholt, K., Ronen, D.: Ship Routing and Scheduling: Status and Perspectives, *Transportation Science*, Vol.38, No.1, 2004, pp.1-18.
10) Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., Ronen, D.: Maritime Transportation, in *Transportation, Handbook in Operations Research and Management Science Vol. 14*, North Holland, Chapter 4, 2007, pp.189-284.
11) Haralambides, H. E.: Structure and Operations in the Liner Shipping Industry, in *Handbook of Transport Modelling (2nd ed.)*, Elsevier, Chapter 40, 2008, pp761-775.
12) Ng, A. K. Y., Kee, J. K. Y.: The Optimal Ship Sizes of Container Liner feeder Services in Southeast Asia: A Ship Operator's Perspective, *Maritime Policy and Management*, Vol.35, No.4, 2008, pp.353-376.
13) Hsu, C. I., Hsieh, Y. P.: Shipping Economic Analysis for Ultra Large Containership, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.6, 2005, pp.936-951.
14) Agarwal, R., Ergun, O.: Ship Scheduling and Network Design for Cargo Routing in Liner Shipping, *Transportation Science*, Vol.42, No.2, 2008, pp.175-196.
15) Kim, H. J., Chang, Y. T., Lee, P. T. W., Shin, S. H., Kim, M. J.: Optimizing the Transportation of International Container Cargoes in Korea, *Maritime Policy and Management*, Vol.35, No.1, 2008, pp.103-122.
16) 竹林・黒田・金井・原：グローバル・アライアンス間の競争を考慮した国際コンテナ貨物輸送市場モデルの開発とその適用，土木学会論文集，No.800/IV-69，2005，pp.51-66.
17) 新谷・今井・西村：空コンテナの回送を考慮したコンテナ船のロケーション・ルーチング問題，日本航海学会論文集，第 111 号，2004，pp.273-284.
18) Crainic, T. G., Florian, M., Leal, J. E.: A Model For The Strategic Planning of National Freight Transportation By Rail, *Transportation Science*, Vol.24, No.1, 1990, pp.1-24.
19) Crainic, T. G., Florian, M., Guelat, J. Spiess, H.: Strategic Planning of Freight Transportation: STAN, an Interactive-Graphical System, *Transportation Research Record*, No.1283, 1990, pp.97-124.
20) Crainic, T. G., Laporte, G.: Planning Models For Freight Transportation, *European Journal of Operational Research*, Vol.97, 1997, pp.409-438.
21) Crainic, T. G.: Long-Haul Freight Transportation, in *Handbook of Transportation Science*, Kluwer Academic Publishers, Chapter 13, 1999, pp.433-491.
22) Crainic, T. G., Kim, K. H.: Intermodal Transportation, in *Transportation, Handbook in Operations Research and Management Science Vol. 14*, North Holland, Chapter 8, 2007, pp.467-537.
23) Friesz, T. L.: Transport Network Equilibrium, Design and Aggregation, *Transportation Research A*, Vol.19, 1985, pp.413-427.
24) Friesz, T. L., Gottfried, J. A., Morlok, E. K.: A sequential shipper-carrier network model for predicting freight flows, *Transportation Science*, Vol.20, No.2, 1986, pp.80-91.
25) Friesz, T. L., Viton, P. A., Tobin, R. L.: Economic and computational aspects of freight network equilibrium models: a synthesis, *Journal of Regional Science*, Vol.25, No.1, 1985, pp.29-49.
26) Harker, P. T., Friesz, T. L.: Prediction of intercity freight flows, I: theory & II: mathematical formulations, *Transportation research Part B*, Vol.20, No.2, 1986, pp.139-174.
27) Harker, P. T.: Predicting intercity freight flows, *VNU Science Press*, 1987, 261p.
28) Friez, T. L., Kwon, C.: Strategic Freight Network Planning Models and Dynamic Oligopolistic Urban Freight Networks, in *Handbook of Transport Modelling*

(2nd ed.), Elsevier, Chapter 32, 2008, pp.611-629.

29) 松本・渡辺：都市間貨物輸送予測に関する計量経済モデルとネットワークモデルの研究展望，土木学会論文集，No.494/IV-24，pp.117-125，1994

30) 溝上：産業間の連関性と空間的な価格均衡を考慮した物資流動モデル構築の試み，土木学会論文集，No.494/IV-24，pp.53-61，1994

31) Harker, P. T., Friesz, T. L.: The use of equilibrium network models in logistics management: with application to the U.S. coal industry, *Transportation Research Part B*, Vol.19, No.5, 1985, pp.457-470

32) Brotcorne, L., Labbe, M., Marcotte, P., Savard, G.: A Bilevel Model and Solution Algorithm for a Freight Tariff-Setting Problem, *Transportation Science*, Vol.34, No.3, 2000, pp.289-302

33) Harker, P. T.: Multiple Equilibrium Behaviors on Networks, *Transportation Science*, Vol.22, No.1, 1988, pp.39-46.

34) Hurley, W. J., Pettersen, E. R.: Nonlinear Tariffs And Freight Network Equilibrium, *Transportation Science*, Vol.28, No.3, 1994, pp.236-243.

35) Miller, T. C., Tobin, R. L., Freisz, T. L.: Stackelberg Games on a Network with Cournot-Nash Oligopolistic Competitors, *Journal of Regional Science*, Vol.31, No.4, 1991, pp.435-454.

36) Malchow, M., Kanafani, A.: A disaggregate analysis of factors influencing port selection, *Maritime Policy and Management*, Vol.28, No.3, 2001, pp.265-277.

37) Southworth, F., Peterson, B. E.: Intermodal and international freight network modeling, *Transportation Research Part C*, Vol.8, 2000, pp.147-166.

38) SCENES: SCENES European Transport Forecasting Model Specifications, ME&P, Deliverable D2 of SCENES project funded by the European Commission on 4th RTD Framework, Cambridge.

39) 久保：ロジスティクス・ネットワーク設計モデル，ロジスティクス工学，経営科学のニューフロンティア８，朝倉書店，第 11 章，2001，pp.163-192.

40) 鄭：グローバルサプライチェーンネットワーク設計問題に対する近似解法，日本物流学会第 25 回全国大会予稿集，2008，pp.149-152.

41) D'este, G: Freight and Logistics Modeling, in *Handbook of Logistics and Supply-Chain Management*, Pergamon, Chapter 35, 2001, pp.521-534.

42) 稲村・中村・具：海上フィーダー輸送を考慮した外貿コンテナ貨物の需要予測モデル，土木学会論文集，No.562/IV-35，1997，pp.133-140.

43) 家田・柴崎・内藤：日本の国内輸送も組み込んだアジア圏国際コンテナ貨物流動モデル，土木計画学研究・論文集，16，1999，pp.731-741.

44) Ieda, H., Shibasaki, R., Naito, S., Mishima, D.: Model Development for East Asian Container Shipping Considering Multifarious Use of Vessels and Ports, *World Conference on Transportation Research Proceedings*, Vol.8, No.3, 2000, pp.213-226.

45) 黒田・竹林・武藤・大久保・辻：外航定期コンテナ流動予測モデルの構築とアジア基幹航路への適用，土木学会論文集，No.653/IV-48，2000，pp.117-131.

46) Dial, R.: A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration. *Transport Research*, vol. 5, 1971, pp. 83-111.

47) 飯田・高山・金井・水口：Dial 確率配分法を導入したリンク交通量による道路網交通需要推計法，日本都市計画学会学術研究論文集，Vol.19，1984，pp.13-18.

48) （社）土木学会　土木計画学研究委員会　交通需要予測技術検討小委員会：道路交通需要予測の理論と適用　第Ⅱ編利用者均衡配分モデルの展開，土木学会，2006，453p.

49) Cascetta, E.: *Transportation Systems Engineering: Theory and Methods*, Applied Optimization 49, Kluwer Academic Publishers, 2001, 708p.

50) Ball, M. O., Magnanti, T. L., Monma, C. L., Nemhauser, G. L.: *Network Routing,* Handbook in Operations Research and Management Science, Vol. 8, North Holland, 1995, 785p.

51) Binger, B. R., Hoffman, E.: Microeconomics with Calculus, HarperCollins Publishers, 1988（木村訳：微積分で学ぶミクロ経済学　第 16 章　寡占と不完全競争，CAP 出版，1996，pp.531-580）.

52) 太田：寡占，地域・都市・交通分析のためのミクロ経済学，東洋経済新報社，第３章４節，2002，pp.144-168.

53) 土井・坂下：海運同盟と戦略的アライアンスの分析，交通経済学，東洋経済新報社，第７章３節，2002，pp.159-166.

54) 金本・蓮池・藤原：寡占市場の政策評価　－卸電力取引市場の評価，政策評価ミクロモデル，東洋経済新報社，第５章，2006，pp.173-223.

55) Sheffi, Y.: *Urban Transportation Networks*, Pretice-Hall,

New Jersey, 1985.
56) 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 2004，(財)港湾空間高度化環境研究センター，2004.
57) 柴崎・渡部・角野・神波：アジア圏を中心とした国際海上コンテナの OD 貨物量推計に関する研究，国土技術政策総合研究所研究報告，No.25，2005，47p.
58) 国土交通省港湾局：平成 15 年度全国輸出入コンテナ貨物流動調査，2003.
59) Dimaranan, B. V., Ed.: Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 6 Data Base, Center for Global Trade Analysis, Purdue University, 2006.
60) 米本・柴崎・渡部：日中地域間アジア国際産業連関表を用いた貿易・開発政策等の地域別移輸出入額への影響分析，国土技術政策総合研究所資料，No.451，2008，34p.
61) IHS Global Insight Inc.: Global Trade navigator.
62) Global Trade Information Services, Inc. : Global Trade Atlas Navigator.
63) Goodwill China Business Information Limited: China Trade Information Import & Export Database, 2003.
64) Commonwealth Business Media, Inc.: Port Import Export Reporting Service Data, 2003.
65) 日本航海士編：世界港間距離図表（二訂版），海文堂，1993.
66) Seafuture, Inc.: Netpas Distance, 2007.
67) 柴崎・渡部・角野：国際海上コンテナ貨物の国内自動車輸送における通行上の制約と経済損失に関する分析，国土技術政策総合研究所研究報告，No.18，2004，57p.
68) （財）日本道路交通情報センター：道路情報便覧 2004 年　CD-ROM 版.
69) 黒川・鶴田・嶋：海上コンテナ輸送ネットワークの設計に関する研究―東・東南アジアの中心として―，日本航海学会論文集，Vol.101，1999，pp.259-269.
70) 森・石川・川上：外貿コンテナ輸送コストモデルの開発，土木計画学研究・講演集，Vol.17，pp.1075-1078，1995.
71) Informa UK Ltd: Containerisation International Yearbook 2005（および各年版），informa trade & energy.
72) MDS Transmodal Ltd.: MDS Containership Databank November 2003.
73) 長尾：最適化アルゴリズム，昭晃堂，2000，pp.56-60.

記号表

○荷主サブモデル（3.2）

i) 添字記号

a	海上リンク
b	陸上リンク
g	船社グループ
i	港湾
k	経路（パス）
r	OD ペアの発地
s	OD ペアの着地

ii) 集合

A	航路の集合
K_{rs}	OD ペア rs 間の経路選択肢集合
G	船社グループの集合
Ω	OD ペアの集合

iii) 変数

c_{rsk}	OD ペア rs 間の経路（パス）k の輸送コスト
CL_b	経路 k に含まれる陸上リンク b の輸送コスト（一般化費用）
$CLcost_b$	陸上リンク b の輸送運賃
$CLtime_b$	陸上リンク b の輸送時間
CM_{ag}	海上航路 a において船社グループ g を利用した際の費用
$CMtime_{ag}$	航路 a における船社グループ g の総輸送時間
CP_i	経路 k に含まれる港湾内リンクコスト
$CTcost_i$	船社間積替リンク i の輸送費用
$CTtime_i$	船社間積替リンク i の輸送時間
d_a	航路 a の貨物需要
f_{rsk}	OD ペア rs 間の経路（パス）k の経路貨物量
LTL_i	港湾 i の搬入時リードタイム
LTU_i	港湾 i の搬出時リードタイム
p_{ag}	航路 a において船社グループ g が提示する運賃
$prob_{ag}$	航路 a における船社グループ g の選択確率
Q_{rs}	OD ペア rs 間の貨物需要
q_{ag}	航路 a における船社グループ g の輸送量
vt_{shpr}	荷主の時間価値
δ^a_{rsk}	クロネッカーのデルタ（OD ペア rs 間の経路 k にリンク a が含まれるとき１，含まれないとき０）
θ	分散パラメータ
Λ_a	経路 k に含まれる海上リンク a の期待最小コスト
ζ	ログサム変数の調整項

○船社サブモデル（3.3）

i) 添字記号

a, a'	航路（海上リンク）
g, g'	船社グループ
i, i', j	港湾
k	経路（パス）
n	収束計算の繰り返し回数
u	バース水深カテゴリ
w	船舶サイズカテゴリ
v, v'	リンク

ii) 集合

A	航路の集合
K_{ag}	航路 a，グループ g の OD の選択肢集合
G	船社グループの集合
U	バース水深カテゴリの集合
W	船舶サイズカテゴリの集合
V	リンクの集合

iii) 変数

CA_{wg}	船舶サイズ w，グループ g の単位時間あたり停泊時費用

CE_{iw} 港湾 i，船舶サイズ w の入出港費用
CH_i 港湾 i における搬出・搬入貨物の 1TEU あたり荷役費用
CR_{wg} 船舶サイズ w，グループ g の単位時間あたり航行時費用
CT_i 港湾 i の単位時間あたりターミナル費用
cap_w 船舶サイズ w の船腹量（キャパシティ）
d_a 航路 a の貨物需要
GAP_{vg} リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの入港停泊リンクコスト
GAU_{vg} リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの入港船卸リンクコスト
GD_{vg} リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの搬出リンクコスト
GDP_{vg} リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの停泊出港リンクコスト
GDU_{vg} リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの船積出港リンクコスト
GL_{vg} リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの船積リンクコスト
$GLCP_{vg}$ リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの船積-航走-停泊リンクコスト
$GLCU_{vg}$ リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの船積-航走-船卸リンクコスト
GO_{vg} リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの搬入リンクコスト
GP_{vg} リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの停泊リンクコスト
$GPCP_{vg}$ リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの停泊-航走-停泊リンクコスト
$GPCU_{vg}$ リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの停泊-航走-船卸リンクコスト
GT_{vg} リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの積替リンクコスト
GU_{vg} リンク v，グループ g のコンテナ 1TEU あたりの船卸リンクコスト
h_{akg} 航路 a，グループ g の OD 貨物量における経路（パス）k の経路貨物量
l_{ij} 港湾 ij 間の距離
lf_{ijwg} 出発港 i，到着港 j，船舶サイズ w，グループ g の消席率（ロードファクター）
$\overline{lfa_{iwg}}$ 港湾 i に入港する船舶サイズ w，グループ g の船舶の平均消席率
$\overline{lfag_{iw}}$ 港湾 i に入港する船舶サイズ w の船舶の平均消席率
$\overline{lfd_{iwg}}$ 港湾 i を出港する船舶サイズ w，グループ g の船舶の平均消席率
$\overline{lfdg_{iw}}$ 港湾 i を出港する船舶サイズ w の船舶の平均消席率
NB_{iu} 港湾 i，バース水深カテゴリ u のバース数
NC_{iw} 港湾 i におけるサイズ w の船舶の荷役における使用クレーン数
NVA_{iw} 港湾 i，船舶サイズ w の単位時間あたりの入港隻数
NVD_{iw} 港湾 i，船舶サイズ w の単位時間あたりの出港隻数
op_i 港湾 i のターミナル内荷役における一日あたり平均オペレーション時間
p_{ag} 航路 a において船社グループ g が提示する運賃
$prob_{ag}$ 航路 a における船社グループ g の選択確率
$prod_i$ 港湾 i における１クレーンあたりの荷役効率（プロダクティビティ）
$q_{a,g}$ 航路 a における船社グループ g の輸送量
TAL_{iw} 港湾 i における船舶サイズ w の出港時に最低限必要な時間
TAU_{iw} 港湾 i における船舶サイズ w の入港時に最低限必要な時間
TL_{iw} 港湾 i，船舶サイズ w の一隻あたりの船積荷役時間
TT_i 港湾 i における積替作業時間
TU_{iw} 港湾 i，船舶サイズ w の一隻あたりの船卸荷役時間
TWA_{iw} 港湾 i，船舶サイズ w の船混みによる平均入港待ち時間
TWD_{iw} 港湾 i 船舶サイズ w の船混みによる平均出港待ち時間
t_{vg} グループ g，リンク v のコスト
vl_w 船舶サイズ w の船速
vt_{carr} 金銭時間換算係数（船社の時間価値）
XAP_{iwg} 港湾 i，サイズ w，グループ g の入港停泊リンクフロー
XAU_{iwg} 港湾 i，サイズ w，グループ g の入港船卸リンクフロー
XC_{ijwg} 出発港 i，到着港 j，船舶サイズ w，グループ g における全航走リンクフローの合計値
XDP_{iwg} 港湾 i，サイズ w，グループ g の停泊出港リンクフロー
XDU_{iwg} 港湾 i，サイズ w，グループ g の船積出港リンクフロー
XH_i 下式で定義される港湾 i の総取扱量
XL_{iw} 港湾 i におけるサイズ w の船積貨物量
$XLCP_{ijwg}$ 出発港 i，到着港 j，船舶サイズ w，グループ g における船積-航走-停泊リンクフロー
$XLCU_{ijwg}$ 出発港 i，到着港 j，船舶サイズ w，グループ g における船積-航走-船卸リンクフロー
XP_{iw} 港湾 i における船舶サイズ w の停泊貨物量
$XPCP_{ijwg}$ 出発港 i，到着港 j，船舶サイズ w，グループ g における停泊-航走-停泊リンクフロー
$XPCU_{ijwg}$ 出発港 i，到着港 j，船舶サイズ w，グループ g における停泊-航走-船卸リンクフロー
XU_{iw} 港湾 i における船舶サイズ w の船卸貨物量
x_{vg} グループ g，リンク v のフロー
γ_1, γ_2 入港待ち時間関数に関するパラメータ
ε モデル全体の収束判定基準
ε_C 船社の総費用最小化行動モデルの収束判定基準
ε_G 船社サブモデルの収束判定基準
ε_R 船社の収入最大化行動モデルの収束判定基準
θ 分散パラメータ
λ_{akg}^{v} クロネッカーのデルタ（航路 a，グループ g の OD の経路 k にリンク v が含まれるとき１，含まれないとき０）
π_g 各グループ g の利潤
ψ バース処理能力に関する関数

付録 A 航走リンクにおける消席率（ロードファクター）lf_{ijwg}の推計方法と結果

出発港 i，到着港 j，船舶サイズ w，グループ g の航走リンクにおける消席率 lf_{ijwg}（停泊-航走-停泊，船積-航走-船卸，停泊-航走-船卸 ，船積-航走-停泊の４種類共通）は，この４種類の航走リンクコストの合計が最小となるように，リンクごとに決定されるものと仮定する．すなわち，

$$\min_{lf_{ijwg}} CC_{ijwg} \tag{A1}$$

$$\begin{aligned} s.t.\ CC_{ijwg} &= XPCP_{ijwg}\cdot GPCP_{ijwg} \\ &+ XLCU_{ijwg}\cdot GLCU_{ijwg} \\ &+ XPCU_{ijwg}\cdot GPCU_{ijwg} \\ &+ XLCP_{ijwg}\cdot GLCP_{ijwg} \end{aligned} \tag{A2}$$

(19)，(20)，(22)式および

$$0.1 \le lf_{ijwg} \le 0.9 \tag{A3}$$

制約条件(A3)は，消席率があまり現実的でない値とならないための条件である．特に上限値については，貨物需要の変動や空コンテナの積載が必要であることを考慮し，1.0 ではなく 0.9 としている．

ここで，(A1)式の lf_{ijwg} についての一階条件 $\frac{\partial CC_{ijwg}}{\partial lf_{ijwg}} = 0$ を解けば，

$$lf_{ijwg} = \frac{XC_{ijwg}}{cap_w}\cdot\sqrt{\frac{\left(\frac{CR_{wg}}{vt_{carr}}\cdot\frac{l_{ij}}{vl_w}\right)}{\left(\frac{XLCU_{ijwg}}{2}+\frac{XPCU_{ijwg}+XLCP_{ijwg}}{4}\right)}} \tag{A4}$$

を得る．(A4)式より得られる lf_{ijwg} が制約条件(A3)を満たさない場合は，lf_{ijwg} = 0.1 または lf_{ijwg} = 0.9 が解となる．

なお，厳密に各航路の最適消席率を求めるためには，航走リンク以外の，コスト関数に消席率が含まれるリンク（入出港リンク，停泊・船卸・船積リンク）のコストも含めて，費用が最小となる消席率を計算する必要がある．また，システム最適均衡配分の求解過程で必要となるコスト関数の微分計算においても，厳密には，消席率を含むコスト関数式に対し(A4)式を代入してから，行う必要がある．しかしながら，これらの計算は非常に煩雑になるため，本研究のモデルでは行わない．したがって，上記の計算は，各コスト関数式において消席率を外生的に（たとえば，一律に同じ数値を）与えるよりはましな手段として，便宜的に推計を行っているものと位置づけられる．

以上より得られる最適消席率の確認のため，船舶サイズカテゴリ w = 1（1000TEU 以下）と w = 4（4000TEU 以上）における，港湾間距離 l_{ij}，航走リンクフローXC_{ijwg} と，推計された消席率 lf_{ijwg} の関係を**図 A-1** に示す．なお，**図 A-1** は，船舶サイズカテゴリによって縦軸・横軸の目盛幅が異なることに注意されたい．また，ここに示されるのは，停泊-航走-停泊・船積-航走-船卸・停泊-航走-船卸・船積-航走-停泊の４種類の航走リンクフローの比を 7:1:1:1 に固定[62]した，模式的な推計結果である[63]．図より，(A4)式からも推察されるように，港湾間リンクフローおよび距離が小さいほど，最適消席率が小さくなるという関係が読み取れる．

また，**図 A-2** に，モデル計算における最終的な均衡状態（シナリオ０）での航走リンクフローと消席率の関係を示す．ここで，非負リンク 1141 本のうち，消席率が 0.9 であるリンクが 932，0.1 であるリンクが 104，その間を取るものが 105 であった．消席率が 0.9 であるリンクが多いのは，金銭時間換算係数（船社にとっての時間価値）vt_{carr} があまり大きくないこともあり，多くの場合，船社にとっては消席率の上昇がコスト節約に繋がることを意味している．ただし，本モデルでは考慮されていない，入出港船舶数の一致条件を追加した場合には，コンテナと船舶の両者のフロー保存則を成立させるための変数として，消席率が大きく変化する可能性があることにも注意が必要である．

また，図に示されるように，港湾間リンクフローが同じでも，船舶サイズやリンク距離，４種類の航走リンクフローのシェアが異なるため，最適消席率が異なることもある．

[62](A4)式からもわかるように，他の条件が同じであれば，停泊-航走-停泊リンクフローの比が大きくなると，最適消席率はより大きくなる．

[63] 船社の時間価値 vt_{carr} は 5.1 で示した推計値を用いている．

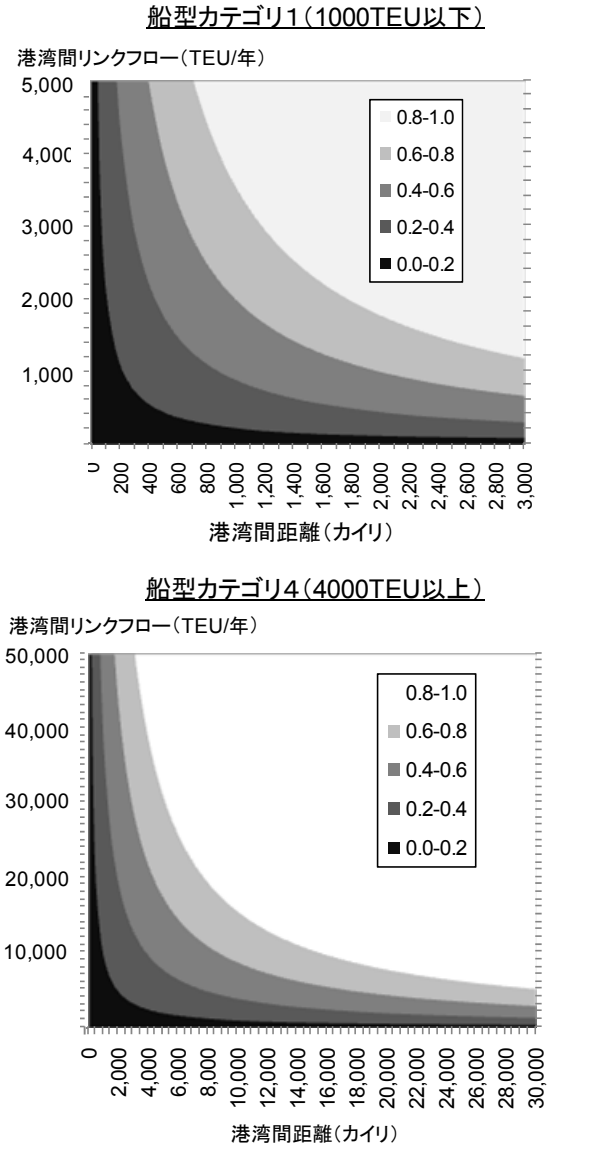


図 A-1 港湾間距離・リンクフローと最適消席率の関係
（船舶サイズによって目盛幅が異なることに注意）

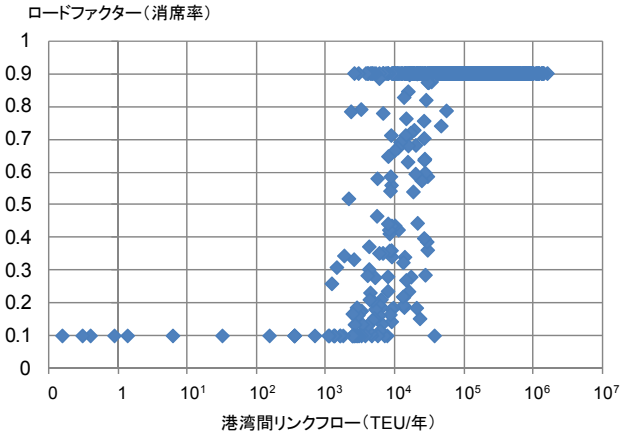


図 A-2 均衡状態における各航走リンクの
消席率（非負リンクのみ）

付録 B 船社費用最小化モデルにおける入出港リンクの待ち時間計算方法詳細

以下では入港リンクを例に計算手順を示す．ここで，港 i の水深カテゴリ $u(\in U)$におけるバース数を NB_{iu} とする．また，港 i の船舶サイズカテゴリ $w(\in W)$における単位時間あたりの入港隻数を NVA_{iw}，一隻あたりの船卸荷役時間を TU_{iw} としたとき，船舶サイズ w の総船卸荷役時間 TTU_{iw} は NVA_{iw}・TU_{iw} で表わされる．

基本的には，小型バースから大型バースに向かって計算を行い，当該サイズ以下のバース混雑度（合計バース数 NBS_{iu}，総船卸荷役時間 $TTUS_{iu}$）と当該サイズより大きなバースの混雑度（合計バース数 NBL_{iu}，総船卸荷役時間 $TTUL_{iu}$）を比較し，前者が後者を上回る場合は，小型船が大型バースを利用することによって混雑が均等化するのに対し，後者が前者を上回る場合は，大型船は小型バースを利用できないので，両者の混雑度に変化はなく，大型バースの方が混雑したままである，というものである．

Step 0（計算準備）

計算を開始する水深カテゴリを US とする．初期状態においては，$US = 1$ である．

Step 1（小型バースのバース数および総船卸荷役時間の計算）

$u = US$，$w = US$，$NBS_{iu} = NB_{iu}$，$TTUS_{iu} = TTU_{iw}$ とおく．

Step 2（小型バースのバース数が 0 の場合の処理：計算対象水深カテゴリの引き上げ）

$NBS_{iu} = 0$ のとき，$u' = u$，$u = u + 1$，$w = w + 1$ として，$NBS_{iu} = NB_{iu}$，$TTUS_{iu} = TTU_{iw} + TTUS_{iu'}$とおく．このステップを $NBS_{iu} > 0$ となるまで繰り返す．

Step 3（大型バースのバース数および総船卸荷役時間の計算）

Step 1 において $NBS_{iu} > 0$ のとき（または，Step 2 において $NBS_{iu} > 0$ となったとき），$NBL_{iu} = \sum_{u'=u+1}^{U} NB_{iu'}$，

$TTUL_{iu} = \sum_{w'=u+1}^{W} TTU_{iw'}$ とする．ただし，$u + 1 > U$ の場合（計算対象水深カテゴリが最大水深のとき）は $NBL_{iu} = 0$ とする．

Step 4（小型バースのほうが相対的に混雑している場合の処理：小型バースの混雑度を確定し，次の計算へ）

Step 3 において $NBL_{iu} > 0$ のとき，$\frac{TTUS_{iu}}{NBS_{iu}}$ と $\frac{TTUL_{iu}}{NBL_{iu}}$ を比較し，$\frac{TTUS_{iu}}{NBS_{iu}} \le \frac{TTUL_{iu}}{NBL_{iu}}$ のとき，

$$\varphi_w\left(NVA_{iw}, TU_{iw}, NB_{iu}^{-1}\right) = \frac{TTUS_{iu}}{NBS_{iu}}, \quad w = US, \cdots, u,$$

$US = u + 1$ として Step 1 へ戻る．

Step 5（大型バースのほうが相対的に混雑している場合の処理：計算対象水深カテゴリの一段階引き上げ）

Step 4 において $\frac{TTUS_{iu}}{NBS_{iu}} > \frac{TTUL_{iu}}{NBL_{iu}}$ のとき，$u' = u$，

$u = u + 1$，$NBS_{iu} = NB_{iu} + NBS_{iu'}$，

$TTUS_{iu} = TTU_{iw} + TTUS_{iu'}$として Step 3 へ戻る．

Step 6（当該港における最大水深カテゴリにおける処理（終了処理））

Step 3 において $NBL_{iu} = 0$ のとき，

$$\varphi_w\left(NVA_{iw}, TU_{iw}, NB_{iu}^{-1}\right) = \frac{TTUS_{iu}}{NBS_{iu}}, \quad w = US, \cdots, u$$

$$\varphi_w\left(NVA_{iw}, TU_{iw}, NB_{iu}^{-1}\right) = \infty, \quad w = u + 1, \cdots, W$$

として終了．

付録 C 本モデルの入力となる地域間貨物需要（Q_{rs}）

表 C-1 日本各地域輸出貨物（TEU/年，2003 年値）

	韓国	ロシア	中国	中国	中国	中国	中国	中国	台湾	台湾	フィリピン	ベトナム	タイ	マレーシア	マレーシア	シンガポール	インドネシア	インドネシア	インド	スリランカ	PNW	PSW	北米東岸	南米西岸	南米東岸	中東	地中海	欧州	アフリカ	大洋州	合計
	釜山	ウラジオストーク	大連	天津	青島	上海	寧波	厦門	深セン	香港	基隆	高雄	マニラ	ホーチミン	ランチャバン	バンコク	ペラバス	ポートケラン	シンガポール	タンジュンペラパク	ジャワ島ハールネル	コロンボ										
北海道	1,414	7	149	257	374	1,001	232	223	743	1,096	550	1,307	366	367	897	403	31	558	392	181	308	161	1,163	3,141	1,423	95	189	766	608	2,103	259	709	21,501
青森県	204	0	18	31	46	122	28	27	91	433	390	926	39	300	230	103	4	70	514	56	95	436	0	946	911	1,325	0	10	10	303	12,428	79	109	20,286
岩手県	406	69	38	66	96	257	60	57	191	642	17	40	93	1,044	214	96	3	59	26	13	22	444	130	226	218	317	0	6	211	706	2,420	414	252	8,852
宮城県	1,391	48	160	275	401	1,073	249	239	797	6,332	187	443	198	1,680	427	192	13	236	235	224	379	1,151	308	3,539	3,408	4,958	267	778	2,309	4,596	17,909	553	5,048	60,001
秋田県	757	0	67	116	168	450	105	100	334	2,311	88	209	110	715	62	28	29	528	67	145	246	8	14	92	88	128	0	119	559	405	1,099	166	71	9,385
山形県	762	4	95	163	238	637	148	142	473	1,885	90	214	178	437	142	64	3	55	74	5	8	90	0	217	209	304	20	8	314	817	2,870	344	625	11,634
福島県	1,649	32	209	360	525	1,404	326	312	1,043	6,039	816	1,938	615	2,975	1,175	527	45	817	399	85	145	847	197	2,898	2,791	4,060	1,479	2,991	11,870	5,550	10,079	3,965	6,857	75,022
茨城県	8,935	11	2,599	4,478	6,529	17,457	4,052	3,882	12,965	4,114	2,528	6,004	1,814	742	5,768	2,588	301	5,502	5,798	1,078	1,829	299	317	10,567	30,978	12,412	35	183	1,877	1,329	8,654	443	1,851	167,921
栃木県	8,522	85	895	1,543	2,250	6,015	1,396	1,338	4,467	2,154	2,484	5,898	1,790	641	5,268	2,364	329	6,009	2,071	466	791	327	28	2,697	7,906	3,168	391	369	3,028	1,563	8,146	632	2,572	87,604
群馬県	29,884	6	515	887	1,294	3,458	803	769	2,569	1,066	1,871	4,442	2,986	847	1,831	821	89	1,623	2,237	162	274	108	36	5,727	16,791	6,728	18	77	1,156	871	2,888	115	1,783	94,730
埼玉県	13,506	27	3,572	6,155	8,976	23,997	5,571	5,337	17,823	4,679	6,988	16,595	7,387	3,579	13,001	5,833	580	10,600	3,853	1,797	3,048	395	395	9,486	27,810	11,143	559	236	3,828	2,084	11,202	1,351	1,583	232,977
千葉県	20,806	15	3,571	6,153	8,972	23,988	5,569	5,335	17,816	11,379	7,281	17,289	7,219	2,449	10,249	4,599	763	13,927	12,318	2,830	4,800	760	258	9,276	27,194	10,896	302	576	5,340	1,450	12,322	677	3,259	259,637
東京都	29,213	81	2,674	4,607	6,718	17,960	4,169	3,994	13,339	3,648	5,516	13,099	5,786	1,279	18,321	8,221	765	13,973	7,351	2,504	4,247	676	8	5,252	15,397	6,169	327	2,866	5,474	2,575	8,759	3,541	2,994	221,505
神奈川県	29,062	39	3,366	5,800	8,458	22,613	5,250	5,029	16,795	6,412	9,054	21,500	11,675	3,720	21,356	9,582	794	14,508	9,456	5,295	8,980	775	180	12,919	37,876	15,176	1,497	1,406	8,943	8,707	14,076	4,432	5,266	329,997
新潟県	11,626	14	621	1,069	1,559	4,169	968	927	3,096	2,363	2,362	5,609	821	316	2,367	1,062	106	1,938	2,854	616	1,045	169	7	1,476	4,326	1,733	36	102	805	317	3,134	143	1,116	58,872
富山県	5,151	30	262	452	659	1,763	409	392	1,309	1,751	380	902	477	609	615	276	67	1,231	846	164	278	265	15	496	1,282	595	242	58	316	1,038	1,406	105	764	24,536
石川県	1,959	2	543	935	1,364	3,647	847	811	2,709	877	201	477	439	425	1,472	197	33	602	204	108	182	167	50	329	850	394	51	11	928	1,591	1,648	51	67	22,861
福井県	5,140	1	448	773	1,127	3,012	699	670	2,237	1,002	1,228	2,915	434	200	1,472	661	38	687	853	195	330	187	39	640	1,804	755	0	20	844	215	688	21	411	29,745
山梨県	1,964	1	126	217	317	847	197	188	629	243	275	654	139	102	432	194	15	275	117	400	679	85	36	730	2,141	858	17	3	268	68	872	42	152	13,286
長野県	1,931	14	372	640	933	2,496	579	555	1,854	1,215	1,220	2,898	975	52	1,106	496	60	1,090	1,016	150	255	13	1	2,831	8,301	3,326	50	46	181	301	5,199	36	791	40,982
岐阜県	1,422	21	456	785	1,145	3,060	710	681	2,273	3,642	879	2,087	1,407	607	1,566	702	59	1,080	1,474	203	344	77	272	1,606	4,150	1,925	94	151	1,114	1,952	3,807	62	996	40,809
静岡県	18,040	53	1,830	3,154	4,599	12,296	2,854	2,734	9,132	4,500	9,634	22,877	7,090	2,592	5,183	2,326	298	5,445	8,698	6,387	10,832	3,136	189	24,774	72,631	29,101	912	3,153	4,197	8,991	30,638	1,124	8,568	327,970
愛知県	19,507	248	3,999	6,891	10,049	26,866	6,237	5,975	19,954	18,932	7,016	16,661	8,387	11,290	15,889	7,129	687	12,549	6,733	4,441	7,532	4,228	432	39,568	102,258	47,430	2,238	6,762	22,662	17,797	70,102	10,741	20,519	561,709
三重県	7,490	9	1,682	2,898	4,226	11,300	2,623	2,513	8,392	10,090	2,014	4,782	2,603	2,156	3,978	1,785	213	3,899	5,052	817	1,385	1,479	676	6,456	16,685	7,739	854	707	5,026	3,137	20,372	445	2,766	146,250
滋賀県	19,725	79	1,346	2,319	3,381	9,040	2,099	2,010	6,714	2,062	2,848	6,762	1,215	2,528	4,835	2,170	293	5,354	3,383	1,832	3,107	46	69	8,022	22,619	9,462	62	180	2,183	1,892	10,293	188	2,489	140,608
京都府	3,138	5	1,040	1,792	2,614	6,988	1,622	1,554	5,190	883	2,022	4,802	2,175	101	4,356	1,955	201	3,678	579	373	633	243	160	4,753	13,401	5,606	57	50	1,079	595	2,035	205	1,333	75,217
大阪府	24,103	22	4,427	7,628	11,124	29,740	6,904	6,614	22,088	10,118	10,100	23,984	10,905	3,014	15,185	6,813	599	10,942	9,797	3,452	5,855	1,258	303	8,707	24,552	10,271	1,274	513	6,357	3,927	14,896	2,196	4,423	302,092
兵庫県	19,753	44	5,972	10,290	15,005	40,117	9,313	8,921	29,795	5,566	5,509	13,082	9,093	2,078	17,300	7,762	923	16,865	12,211	4,814	8,165	1,414	194	10,073	28,402	11,881	440	2,959	4,558	5,912	18,874	3,142	4,169	334,596
奈良県	2,290	2	131	227	330	883	205	196	656	689	424	1,007	326	204	762	342	14	261	1,265	217	368	209	20	657	1,853	775	27	4	443	317	930	16	489	16,541
和歌山県	4,109	0	266	458	668	1,785	414	397	1,326	691	621	1,474	279	98	545	245	18	325	299	218	370	179	7	608	1,715	717	30	123	99	485	1,066	72	193	19,900
鳥取県	1,123	30	70	121	177	472	110	105	351	3,790	670	1,592	204	0	58	26	36	660	1,471	69	117	9	0	1,212	1,904	1,727	12	1	408	283	884	455	1,198	19,346
島根県	375	0	54	93	135	361	84	80	268	919	57	136	89	8	150	67	5	91	577	22	38	13	6	249	392	355	0	15	62	271	1,305	247	237	6,761
岡山県	9,066	58	708	1,221	1,780	4,758	1,105	1,058	3,534	6,927	2,882	6,843	1,339	2,687	3,279	1,471	133	2,431	1,023	1,276	2,164	2,910	359	2,822	4,433	4,023	309	1,565	5,739	4,493	26,819	1,051	7,370	117,637
広島県	11,050	79	1,780	3,066	4,472	11,955	2,775	2,659	8,879	7,013	3,766	8,943	2,377	6,459	3,531	1,585	85	1,551	1,120	522	885	849	195	4,950	7,775	7,055	2,297	3,549	7,755	7,267	10,457	4,197	5,293	146,189
山口県	22,292	25	2,168	3,736	5,448	14,566	3,381	3,239	10,818	13,277	4,393	10,433	1,413	1,017	3,432	1,540	276	5,045	2,663	1,000	1,697	750	292	2,943	4,622	4,195	159	143	7,599	4,437	17,560	1,152	5,767	161,481
徳島県	631	0	97	166	243	649	151	144	482	2,296	158	376	171	1,824	476	214	9	170	274	23	38	77	0	2,572	2,926	3,683	0	103	2,554	3,982	8,062	1,943	4,192	38,683
香川県	1,190	0	118	204	298	796	185	177	591	2,159	131	311	284	561	818	367	3	62	108	10	18	297	82	489	556	700	634	1,210	7,179	770	2,493	1,641	447	24,888
愛媛県	5,845	82	479	825	1,203	3,217	747	715	2,389	8,716	2,075	4,927	368	2,426	529	237	56	1,029	441	335	569	1,669	275	2,098	2,386	3,004	657	1,146	317	3,348	18,406	9	4,626	75,154
高知県	855	16	13	22	32	85	20	19	63	468	76	181	83	41	14	6	2	40	145	28	48	30	70	149	170	214	0	137	248	127	575	0	191	4,169
福岡県	22,965	105	2,133	3,675	5,358	14,326	3,326	3,186	10,640	11,745	6,921	16,435	6,460	5,760	9,753	4,376	490	8,941	3,973	2,515	4,266	2,552	507	3,949	8,277	4,960	1,550	895	9,722	7,856	28,204	5,245	7,520	228,584
佐賀県	1,960	0	174	301	438	1,172	272	261	870	1,502	443	1,051	332	208	184	83	17	305	234	32	54	14	0	535	1,121	672	182	127	711	273	2,054	297	10	15,888
長崎県	131	30	39	66	97	259	60	58	192	192	58	137	99	0	230	103	1	20	135	0	0	3	0	307	644	386	0	0	540	492	1,549	14	96	5,940
熊本県	690	32	131	225	328	877	204	195	651	736	315	749	255	417	182	82	16	290	113	216	367	136	64	7,905	16,568	9,929	49	1,515	375	1,534	6,070	278	1,559	53,052
大分県	2,168	0	238	410	598	1,598	371	355	1,187	782	391	928	154	1,156	582	261	18	337	94	244	414	130	150	724	1,517	909	0	254	845	677	2,887	53	291	20,726
宮崎県	4,543	0	265	457	666	1,780	413	396	1,322	3,178	512	1,217	272	173	367	165	28	506	3,279	260	441	345	0	2,555	5,355	3,209	0	1,313	3,748	2,486	8,818	29	4,108	52,204
鹿児島県	987	0	95	164	239	639	148	142	474	357	144	343	19	107	459	206	28	502	436	19	33	25	8	360	755	453	24	93	272	194	1,939	158	535	10,357
沖縄県	0	0	9	16	23	61	14	14	46	73	448	1,063	21	4	532	239	15	270	3	2	3	0	0	11	23	14	85	0	0	15	9	0	54	3,065

表 C-2 日本各地域輸入貨物（TEU/年，2003 年値）

	韓国	ロシア	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	台湾	台湾	フィリピン	ベトナム	タイ	タイ	マレーシア	マレーシア	シンガポール	インドネシア	インドネシア	インド	スリランカ	PNW	PSW	北米東岸	南米西岸	南米東岸	中東	地中海	欧州	アフリカ	大洋州	合計
	釜山	ウォストチーヌイ	大連	天津	青島	上海	寧波	厦門	深セン	香港	基隆	高雄	マニラ	ホーチミン	ランチャバン	バンコク	Tレベラパス	ポートケラン	シンガポール	Tレベラーク	Tプリオク	ジャワハールネル	コロンボ											
北海道	4,711	2,112	748	1,289	1,880	5,026	1,167	1,118	3,733	165	1,060	2,517	488	5,683	2,814	1,263	118	2,157	391	1,557	2,641	1,682	534	16,270	21,035	15,852	4,438	8,129	5,667	4,617	30,415	5,403	19,145	175,825
青森県	229	0	69	119	174	464	108	103	345	70	68	161	68	0	571	256	7	134	0	25	43	308	0	1,414	1,285	1,338	992	531	14,859	1,367	3,646	1,588	2,161	32,505
岩手県	194	0	70	121	177	473	110	105	352	22	28	67	93	286	298	134	12	221	2	68	116	192	0	3,259	2,962	3,084	600	0	0	150	662	0	729	14,587
宮城県	818	2,256	256	441	643	1,720	399	383	1,277	56	124	294	41	5,688	1,533	688	41	750	143	1,264	2,145	872	0	8,532	7,756	8,075	159	1,233	0	903	14,257	463	26,397	89,606
秋田県	89	0	57	98	143	383	89	85	284	0	26	62	59	191	165	74	24	432	67	391	662	1	0	977	888	924	3,196	343	0	2,014	24,820	250	214	37,008
山形県	240	62	115	199	290	774	180	172	575	104	89	212	38	939	575	258	28	510	451	64	108	28	78	1,813	1,648	1,716	457	9,952	0	764	1,153	5,741	2,013	31,345
福島県	657	1,940	253	437	637	1,702	395	378	1,264	127	174	413	1,340	3,076	1,818	816	103	1,884	424	1,024	1,737	1,558	878	9,068	8,243	8,582	2,496	2,843	0	3,860	18,347	3,489	3,504	83,470
茨城県	6,959	958	2,817	4,855	7,079	18,927	4,394	4,209	14,057	83	2,016	4,786	624	948	5,858	2,629	256	4,681	1,010	3,090	5,240	459	145	13,475	32,818	14,107	924	109	4,945	737	10,885	2,301	6,166	182,547
栃木県	6,481	55	1,565	2,696	3,931	10,511	2,440	2,337	7,807	14	1,180	2,802	5,188	330	6,266	2,811	537	9,812	1,925	2,114	3,586	214	191	6,095	14,846	6,382	179	469	5,809	516	3,086	501	4,425	117,101
群馬県	7,064	306	1,700	2,930	4,272	11,422	2,652	2,540	8,483	4	1,315	3,124	2,163	523	4,237	1,901	139	2,544	475	2,926	4,962	221	203	3,642	8,871	3,813	206	1,191	2,367	2,167	5,943	1,173	3,005	98,484
埼玉県	14,689	538	5,119	8,820	12,861	34,385	7,982	7,647	25,538	210	3,753	8,913	4,180	2,454	10,446	4,687	754	13,768	1,763	4,585	7,776	331	139	10,564	25,730	11,060	161	1,137	2,420	1,422	8,112	1,060	6,778	249,782
千葉県	12,698	325	3,922	6,758	9,855	26,348	6,117	5,859	19,569	80	3,522	8,363	2,510	1,685	14,544	6,526	802	14,647	3,834	4,421	7,498	396	139	14,052	34,224	14,711	1,699	1,791	4,822	2,077	11,319	2,431	4,120	251,665
東京都	24,454	1,385	6,076	10,470	15,268	40,820	9,476	9,078	30,318	102	3,809	9,046	4,313	5,237	34,128	15,313	1,204	21,989	4,488	15,703	26,633	1,293	233	41,293	######	43,231	5,503	16,089	19,184	6,495	39,281	10,664	23,585	596,730
神奈川県	20,004	2,412	5,485	9,452	13,783	36,849	8,554	8,195	27,368	182	4,244	10,077	3,900	4,187	17,820	7,996	591	10,792	7,431	7,182	12,181	1,412	129	22,215	54,107	23,258	5,709	8,883	4,551	3,987	28,657	8,844	12,381	392,817
新潟県	8,639	149	2,614	4,503	6,567	17,557	4,076	3,904	13,040	19	1,676	3,981	328	460	2,199	987	103	1,878	169	294	499	341	19	2,221	5,410	2,325	111	58	0	43	2,120	0	622	86,911
富山県	1,148	59	235	405	591	1,580	367	351	1,174	23	177	420	74	112	631	283	66	1,207	499	495	839	95	0	1,014	1,961	1,033	78	48	915	180	2,282	251	143	18,738
石川県	2,441	22	249	429	625	1,671	388	372	1,241	0	334	793	166	125	1,033	463	73	1,341	117	1,245	2,111	24	0	321	620	327	0	54	0	170	311	31	74	17,171
福井県	1,943	320	331	569	830	2,220	515	494	1,649	7	188	445	41	61	706	317	8	142	161	220	373	4	0	715	1,709	746	234	470	805	201	1,540	278	193	18,437
山梨県	610	0	252	434	632	1,691	393	376	1,256	5	262	623	3,126	166	986	442	19	339	65	185	313	47	65	534	1,300	559	116	973	0	115	1,124	422	752	18,180
長野県	1,615	46	845	1,456	2,123	5,676	1,318	1,262	4,216	12	548	1,302	1,312	306	1,888	847	95	1,741	132	928	1,573	20	10	1,682	4,098	1,761	104	761	0	199	2,255	1,387	1,967	43,486
岐阜県	2,769	19	2,404	4,142	6,040	16,148	3,749	3,591	11,993	16	912	2,165	770	986	2,451	1,100	104	1,893	958	1,633	2,769	577	329	3,416	6,609	3,482	63	1,736	814	1,525	3,916	1,179	1,599	91,855
静岡県	13,534	4,303	2,840	4,893	7,136	19,077	4,429	4,242	14,169	42	5,088	12,082	12,421	2,998	14,546	6,527	332	6,070	2,757	9,120	15,467	848	733	11,803	28,747	12,357	1,874	2,766	5,294	1,369	22,716	2,389	10,297	263,267
愛知県	21,856	1,296	5,887	10,144	14,793	39,550	9,181	8,795	29,374	153	5,089	12,085	4,752	4,114	21,759	9,763	1,001	18,292	3,847	12,711	21,558	803	536	21,008	40,646	21,414	5,288	8,988	13,338	4,651	31,268	8,236	21,578	433,756
三重県	5,891	2,000	1,575	2,713	3,956	10,578	2,456	2,352	7,856	110	1,551	3,684	3,018	699	11,045	4,956	248	4,531	2,705	2,693	4,567	373	0	3,510	6,792	3,578	68	3,621	1,714	924	10,623	1,878	1,954	114,218
滋賀県	4,937	364	1,426	2,458	3,584	9,582	2,224	2,131	7,117	8	1,418	3,367	1,700	408	6,854	3,075	256	4,675	267	2,172	3,683	21	20	1,311	3,135	1,367	145	364	949	441	4,204	16	342	74,022
京都府	2,850	0	1,295	2,232	3,255	8,702	2,020	1,935	6,463	5	845	2,006	870	483	771	346	34	622	152	394	668	24	0	692	1,655	722	119	604	4,101	286	3,425	95	457	48,128
大阪府	32,530	2,453	13,888	23,930	34,896	93,297	21,659	20,748	69,293	89	8,789	20,871	12,204	3,513	27,194	12,202	1,301	23,758	5,179	14,142	23,986	1,257	317	17,798	42,561	18,565	2,844	4,873	9,722	3,372	24,347	4,918	16,261	612,755
兵庫県	13,163	828	4,496	7,747	11,297	30,204	7,012	6,717	22,433	134	2,540	6,031	6,265	2,583	12,382	5,556	336	6,143	4,374	4,394	7,452	648	188	24,137	57,720	25,177	2,666	5,158	4,200	2,368	12,837	6,358	9,439	312,982
奈良県	1,786	150	1,040	1,792	2,614	6,988	1,622	1,554	5,190	10	304	721	156	224	746	335	25	459	40	150	255	22	0	451	1,079	471	97	182	0	27	2,336	0	1,012	31,839
和歌山県	4,597	0	694	1,196	1,743	4,661	1,082	1,037	3,462	3	256	608	524	80	1,072	481	86	1,576	460	450	763	86	139	231	552	241	181	16	0	20	1,189	27	63	27,575
鳥取県	924	330	260	449	654	1,749	406	389	1,299	0	89	212	209	83	918	412	51	940	0	28	48	0	0	523	716	512	466	280	0	0	1,032	0	580	13,560
島根県	245	0	73	126	183	490	114	109	364	8	465	1,104	25	56	231	104	8	149	22	58	98	21	0	1,326	1,816	1,298	301	1,911	0	229	277	428	755	12,393
岡山県	3,338	247	777	1,339	1,952	5,220	1,212	1,161	3,877	61	2,373	5,635	1,273	1,972	2,296	1,030	79	1,450	259	2,971	5,040	473	68	6,626	9,075	6,488	1,853	7,326	2,871	1,706	17,009	3,489	5,423	105,967
広島県	18,075	2,294	1,324	2,281	3,326	8,892	2,064	1,977	6,604	86	1,806	4,290	641	1,952	2,408	1,080	139	2,531	916	1,024	1,736	365	281	5,959	8,162	5,836	313	1,137	537	2,778	17,120	878	10,258	119,071
山口県	6,657	596	278	478	698	1,865	433	415	1,385	87	2,533	6,014	239	1,202	3,548	1,592	118	2,149	1,044	1,316	2,233	651	257	3,558	4,874	3,485	1,905	209	15,561	1,249	7,706	6,163	5,086	85,586
徳島県	750	133	149	257	375	1,002	233	223	745	65	200	474	37	2,436	2,516	1,129	68	1,246	0	430	729	194	107	1,823	1,878	1,747	1,274	1,200	0	1,213	5,814	270	1,909	30,625
香川県	1,896	0	334	576	839	2,244	521	499	1,667	53	509	1,209	706	681	2,654	1,191	107	1,961	178	290	492	385	181	3,903	4,021	3,741	64	1,803	5,792	676	1,092	3,759	979	45,003
愛媛県	2,925	0	216	373	544	1,453	337	323	1,079	26	523	1,242	475	349	1,049	471	71	1,298	1,139	2,581	4,377	440	0	4,087	4,211	3,917	1,384	2,087	1,263	1,291	9,088	1,009	7,601	57,231
高知県	180	1,614	68	117	171	456	106	101	339	0	77	183	176	302	203	91	17	316	15	223	378	90	93	264	272	253	359	1,135	0	371	8,511	0	3,161	19,644
福岡県	15,554	2,722	4,001	6,894	10,054	26,879	6,240	5,977	19,963	68	3,830	9,095	2,782	5,204	16,196	7,267	556	10,148	1,432	8,623	14,626	1,327	367	11,010	17,713	10,948	2,480	6,567	4,765	2,593	31,527	2,981	9,043	279,434
佐賀県	1,575	0	577	995	1,450	3,878	900	862	2,880	5	656	1,558	1,150	950	1,575	706	85	1,560	289	377	639	16	188	932	1,499	927	690	1,502	0	426	1,199	1,240	1,478	32,763
長崎県	1,907	0	171	295	431	1,152	267	256	856	13	75	179	320	24	200	90	178	3,255	150	16	27	445	0	287	462	286	33	0	0	1,504	1,512	457	599	15,447
熊本県	1,433	42	374	644	938	2,509	582	558	1,864	31	313	744	98	46	1,217	546	33	598	82	129	219	49	3	1,595	2,566	1,586	351	20	3,921	134	926	33	686	24,869
大分県	631	0	317	546	796	2,129	494	474	1,582	19	67	159	772	301	509	228	8	148	546	262	444	2	0	1,676	2,697	1,667	0	5	0	173	1,798	2,065	308	20,824
宮崎県	1,415	0	128	220	321	858	199	191	637	0	210	499	25	117	1,707	766	15	283	1,295	395	669	203	63	2,462	3,961	2,448	13	885	0	199	965	159	3,766	25,073
鹿児島県	500	0	210	363	529	1,414	328	314	1,050	1	65	155	55	114	402	181	2	43	662	509	863	16	0	2,437	3,920	2,423	1,796	523	0	23	349	168	3,534	22,948
沖縄県	878	0	234	404	589	1,574	365	350	1,169	89	742	1,763	1,643	293	455	204	19	354	333	718	1,219	1	0	2,956	4,756	2,940	95	179	0	702	1,550	36	4,136	30,747

表 C-3 世界各地域輸出入貨物（TEU/年，2003 年値）

		日本	韓国	ロシア	中国	中国	中国	中国	中国	中国	台湾	台湾	フィリピン	ベトナム	タイ	タイ	マレーシア	マレーシア	シンガポール	インドネシア	インドネシア	インド	スリランカ	PNW	PSW	北米東岸	南米西岸	南米東岸	中東	地中海	欧州	アフリカ	大洋州	合計
			釜山	ヴォストチーヌイ	大連	天津	青島	上海	寧波	厦門	深セン	香港	高雄	マニラ	ホーチミン	バンコク	TJペラパス	ポートケラン	シンガポール	TJペラーク	TJプリオク	ジャワ ハールネル	コロンボ											
日本		0	379,730	1,427	50,018	86,186	125,679	336,012	78,004	74,723	249,561	180,944	108,035	256,542	100,617	69,995	179,549	80,562	8,592	156,936	116,262	45,802	77,683	29,442	6,379	210,564	541,109	256,262	17,331	36,724	144,819	118,606	439,005	52,329	125,719	4,741,151
韓国	釜山	278,480		6,832	77,495	133,532	194,720	520,598	120,855	115,772	386,655	123,804	29,312	69,604	55,905	106,906	51,493	23,105	4,105	74,978	37,198	38,501	65,301	30,672	16,711	107,928	316,143	181,521	34,919	58,233	207,485	174,954	384,562	89,421	94,593	4,211,896
ロシア	ヴォストチーヌイ	32,335	9,956	0	3,813	6,571	9,582	25,617	5,947	5,697	19,026	801	2,443	5,802	2,077	5,130	7,041	3,159	172	3,138	3,436	531	900	9,610	574	5,071	17,294	17,512	1,751	2,335	41,380	22,230	71,506	5,107	297	347,842
中国	大連	77,816	40,370	812	0	0	0	0	0	0	0	13,408	5,026	11,934	6,830	8,018	5,060	2,270	1,026	18,742	7,570	7,880	13,365	12,025	736	60,279	198,212	84,166	4,324	6,490	24,165	43,434	125,616	11,319	12,505	803,397
中国	天津	134,085	69,562	1,398	0	0	0	0	0	0	0	23,103	8,660	20,564	11,769	13,816	8,719	3,912	1,768	32,294	13,044	13,578	23,029	20,720	1,268	103,867	341,541	145,026	7,450	11,183	41,640	74,841	216,451	19,504	21,548	1,384,339
中国	青島	195,526	101,436	2,039	0	0	0	0	0	0	0	33,690	12,628	29,967	17,192	20,147	12,714	5,705	2,578	47,092	19,021	19,799	33,581	30,215	1,849	151,461	498,043	211,481	10,864	16,308	60,720	109,134	315,633	28,441	31,422	2,018,676
中国	上海	522,752	271,197	5,452	0	0	0	0	0	0	0	90,071	33,762	80,173	45,883	53,865	33,992	15,252	6,893	125,904	50,854	52,935	89,781	80,781	4,942	404,942	1,331,553	565,409	29,047	43,601	162,339	291,778	843,868	76,038	84,009	5,397,074
中国	寧波	121,355	62,958	1,266	0	0	0	0	0	0	0	20,910	7,838	18,612	10,652	12,505	7,891	3,541	1,600	29,228	11,806	12,289	20,842	18,753	1,147	94,006	309,116	131,258	6,743	10,122	37,686	67,735	195,901	17,652	19,502	1,252,914
中国	厦門	116,251	60,310	1,212	0	0	0	0	0	0	0	20,030	7,508	17,829	10,204	11,979	7,559	3,392	1,533	27,999	11,309	11,772	19,966	17,964	1,099	90,052	296,114	125,737	6,459	9,696	36,101	64,886	187,661	16,910	18,682	1,200,214
中国	深セン	388,255	201,422	4,049	0	0	0	0	0	0	0	66,897	25,076	59,546	34,078	40,006	25,246	11,328	5,120	93,510	37,770	39,315	66,682	59,997	3,671	300,756	988,962	419,936	21,573	32,383	120,571	216,708	626,752	56,475	62,395	4,008,477
中国	香港	2,468	6,841	22	7,251	12,495	18,220	48,713	11,309	10,833	36,180	0	2,312	5,490	12,606	4,998	3,034	1,361	225	4,104	3,089	1,085	1,841	2,545	1,139	19,562	59,460	22,796	513	1,203	2,687	4,465	55,640	1,851	3,993	370,334
台湾	基隆	65,920	13,112	1,092	15,326	26,409	38,510	102,958	23,901	22,896	76,469	57,912	0	19,620	25,837	13,041	5,851	2,391	43,664	11,974	7,740	13,127	7,552	2,540	40,834	155,195	82,282	3,910	9,534	24,605	26,902	79,448	10,364	14,323	1,045,039
台湾	高雄	156,535	31,135	2,594	36,394	62,711	91,446	244,488	56,757	54,370	181,594	137,520	0	46,588	61,354	30,967	13,895	5,677	103,687	28,433	18,379	31,172	17,933	6,032	96,491	368,529	195,389	9,284	22,641	58,428	63,882	188,659	24,611	34,011	2,481,577
フィリピン	マニラ	83,354	20,395	282	3,515	6,056	8,831	23,611	5,481	5,251	17,537	18,831	8,415	19,982	0	3,685	10,017	4,494	3,830	69,950	10,846	2,506	4,251	6,646	346	23,988	75,299	33,757	1,709	754	37,918	10,300	41,229	3,134	8,657	573,939
ベトナム	ホーチミン	64,625	37,113	1,559	7,131	12,288	17,919	47,908	11,122	10,654	35,582	3,777	9,382	22,232	24,533	0	1,183	531	922	16,848	14,110	2,725	4,622	2,857	234	40,179	137,413	55,517	669	2,165	2,815	88,174	204,858	2,913	12,455	896,994
タイ	レムチャバン	245,420	55,948	1,088	16,397	28,253	41,199	110,149	25,571	24,495	81,809	56,499	25,733	61,106	44,274	18,025	0	0	3,132	57,213	32,587	16,327	27,692	4,636	4,581	63,747	195,740	88,073	2,604	10,493	39,304	57,653	150,951	28,236	42,732	1,661,677
タイ	バンコク	110,118	25,104	493	7,357	12,677	18,486	49,423	11,473	10,991	36,707	25,351	11,546	27,418	19,865	8,088	0	0	1,405	25,671	14,621	7,326	12,425	2,080	2,055	28,603	87,827	39,517	1,168	4,708	17,635	25,868	67,730	12,669	19,174	745,579
マレーシア	TJペラパス	10,261	4,184	43	1,012	1,743	2,542	6,797	1,578	1,511	5,048	2,619	3,150	7,480	6,296	4,158	3,975	1,784	0	0	21	1,391	2,360	3,925	3,433	3,091	9,522	4,253	1,079	1,335	11,590	7,386	18,060	1,916	5,798	139,341
マレーシア	ポートケラン	187,418	76,416	786	18,479	31,842	46,432	124,140	28,819	27,807	92,201	47,835	57,538	136,630	114,996	75,942	72,603	32,576	0	0	392	25,411	43,098	71,685	62,705	56,462	173,920	77,685	19,702	24,384	211,692	134,913	329,872	34,994	105,900	2,545,075
シンガポール	シンガポール	52,650	19,165	427	18,376	31,663	46,172	123,444	28,657	27,452	91,683	44,856	12,376	29,388	54,735	26,149	45,713	20,511	6,486	118,473	0	34,408	58,358	51,201	11,268	11,104	162,269	140,417	1,355	5,663	33,927	27,918	82,979	40,606	21,679	1,481,530
インドネシア	TJペラーク	115,587	46,265	182	8,791	15,148	22,089	59,056	13,710	13,133	43,662	12,246	12,836	30,481	25,749	12,559	15,145	6,796	3,387	61,866	55,100	0	0	19,613	3,978	25,665	78,040	36,947	4,210	10,885	42,538	83,402	125,392	21,839	32,169	1,058,066
インドネシア	TJプリオク	196,043	78,469	309	14,910	25,692	37,464	100,164	23,253	22,275	74,393	20,771	21,771	51,697	43,672	21,301	25,687	11,526	5,745	104,928	93,453	0	0	33,266	6,747	43,530	132,361	61,647	7,141	18,462	72,148	141,456	212,673	37,040	54,561	1,794,553
インド	ジャワ ハールネル	18,834	23,817	5,940	6,899	11,887	17,334	46,345	10,759	10,306	34,421	8,293	5,890	13,986	14,628	10,438	2,817	1,264	7,012	128,070	15,523	7,093	12,031	0	10,843	51,845	155,719	77,207	4,434	17,117	201,067	161,103	310,296	154,935	18,649	1,576,801
スリランカ	コロンボ	6,632	2,602	3,952	75	130	189	506	117	112	375	313	148	352	1,131	163	826	371	31	565	417	456	774	1,753	0	16,047	50,377	19,110	887	560	14,084	9,897	93,115	804	2,009	228,884
PNW		294,935	110,940	970	21,195	36,521	53,256	142,383	33,054	31,663	105,749	32,422	20,764	49,308	14,818	6,024	18,875	8,469	841	15,361	20,259	13,069	22,166	35,197	3,208	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,091,447
PSW		592,176	309,398	2,553	50,677	87,321	127,334	340,437	79,031	75,707	252,847	82,603	55,890	132,719	37,784	18,172	52,333	23,481	2,447	44,687	61,377	39,229	66,534	89,382	9,151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,633,272
北米東岸		300,760	123,607	2,545	23,943	41,256	60,161	160,845	37,340	35,769	119,461	34,878	22,348	53,068	16,582	7,102	25,129	11,275	1,325	24,196	26,790	21,201	35,958	45,275	3,447	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,234,261
南米西岸		54,085	28,847	1,079	3,520	6,065	8,844	23,646	5,489	5,258	17,562	6,495	7,455	17,702	1,099	379	2,153	966	3,008	54,937	10,481	946	1,605	2,200	1,791	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	265,612
南米東岸		110,144	52,918	6,375	7,573	13,049	19,028	50,873	11,810	11,313	37,784	26,952	8,210	19,496	12,790	4,904	13,473	6,045	491	8,965	8,758	6,289	10,667	33,810	407	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	482,123
中東		141,187	105,558	7,280	25,274	43,550	63,505	169,786	39,415	37,757	126,102	29,802	581,152	1,380,019	50,323	4,373	21,375	9,591	1,647	30,081	8,996	12,894	21,870	193,725	14,308	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,119,554
地中海		62,236	60,967	3,336	7,689	13,266	19,345	51,720	12,007	11,502	38,413	31,813	11,536	27,394	12,912	21,961	20,894	9,375	1,314	24,008	27,100	17,772	30,143	67,446	2,954	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	587,116
欧州		434,549	225,025	29,822	55,659	95,906	139,853	373,907	86,801	83,150	277,705	135,743	55,585	131,994	67,958	41,012	107,774	48,357	6,534	119,344	137,625	65,905	111,780	372,642	16,573	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,221,206
アフリカ		94,508	33,185	3,862	6,981	12,029	17,540	46,895	10,887	10,429	34,830	20,517	9,946	36,217	7,924	676	12,351	23,085	6,440	10,923	193,091	1,632	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	632,515
大洋州		240,681	117,360	566	15,159	26,120	38,090	101,835	23,641	22,646	75,634	29,598	15,946	37,866	72,470	17,098	32,878	14,752	5,907	107,891	72,250	48,781	82,735	40,219	9,650	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,249,773
合計		5,507,979	2,806,311	101,616	510,919	880,367	1,283,772	3,432,256	796,787	763,274	2,549,181	1,441,307	1,205,503	2,862,620	1,024,241	738,060	876,617	393,420	97,820	1,786,679	985,557	599,776	1,017,262	1,608,857	217,398	2,048,571	6,679,757	3,072,304	199,128	356,979	1,647,345	2,027,827	5,367,862	749,106	846,784	56,482,244

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／奥崎隆徳・・渡部富博（l_{ij}）一覧（カイリ）

国名		日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	日本	韓国	ロシア	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	台湾	台湾	フィリピン	ベトナム	タイ	タイ	マレーシア	マレーシア	シンガポール	インドネシア	インドネシア	インド	スリランカ	PNW	PSW	北米東岸	南米西岸	南米東岸	中東	地中海	欧州	アフリカ	大洋州
	港湾名	苫小牧	塩釜	東京	横浜	新潟	清水	名古屋	四日市	大阪	神戸	水島	広島	徳山下松	博多	北九州	志布志	那覇	釜山	ヴォストーチヌイ	大連	天津	青島	上海	寧波	厦門	深セン	香港	基隆	高雄	マニラ	ホーチミン	ランチャバン	バンコク	TJペラパス	ポートケラン	シンガポール	TJパラーク	TJプリオク	ジャワハール	コロンボ										
日本	苫小牧	0	298	561	550	318	596	691	684	837	832	898	886	808	778	753	978	1,270	754	449	1,290	1,447	1,236	1,234	1,269	1,631	1,888	1,889	1,454	1,653	2,150	2,751	3,272	3,327	3,276	3,454	3,248	3,546	3,585	5,683	4,833	4,132	4,534	9,923	8,046	12,065	6,775	14,820	15,088	8,171	5,371
日本	塩釜	298	0	295	284	511	330	425	418	571	566	632	726	729	818	767	738	1,074	878	695	1,368	1,524	1,314	1,253	1,288	1,558	1,816	1,817	1,356	1,555	1,970	2,659	3,177	3,232	3,149	3,327	3,121	3,279	3,435	5,556	4,706	4,287	4,654	10,035	8,214	12,246	6,648	14,693	14,961	8,044	5,092
日本	東京	561	295	0	14	773	126	221	213	367	362	428	521	525	614	562	534	871	674	948	1,166	1,322	1,112	1,051	1,086	1,356	1,614	1,615	1,153	1,358	1,780	2,455	2,973	3,028	2,945	3,123	2,917	3,092	3,252	5,352	4,502	4,517	4,862	10,237	8,117	12,194	6,444	14,489	14,757	7,840	4,891
日本	横浜	550	284	14	0	762	115	210	203	356	351	417	510	514	603	551	523	860	663	939	1,154	1,310	1,100	1,039	1,074	1,343	1,602	1,603	1,141	1,345	1,768	2,443	2,961	3,016	2,932	3,110	2,904	3,080	3,240	5,339	4,489	4,504	4,849	10,224	8,108	12,181	6,431	14,476	14,744	7,827	4,878
日本	新潟	318	511	773	762	0	808	903	896	745	737	668	627	548	519	494	718	1,008	519	489	1,050	1,206	996	991	1,026	1,372	1,629	1,630	1,195	1,394	1,891	2,492	3,013	3,068	3,016	3,194	2,988	3,305	3,326	5,423	4,573	4,396	4,798	10,187	8,262	12,329	6,515	14,560	14,828	7,911	5,481
日本	清水	596	330	126	115	808	0	138	131	286	282	349	441	445	534	482	454	794	594	989	1,084	1,240	1,030	969	1,004	1,274	1,531	1,532	1,071	1,275	1,693	2,364	2,885	2,940	2,857	3,035	2,829	3,020	3,165	5,264	4,414	4,547	4,892	10,267	8,158	12,224	6,356	14,401	14,669	7,752	4,921
日本	名古屋	691	425	221	210	903	138	0	17	243	239	306	398	402	491	439	411	751	551	1,066	1,041	1,197	987	926	961	1,231	1,488	1,489	1,028	1,232	1,653	2,325	2,846	2,901	2,818	2,996	2,790	2,995	3,125	5,225	4,375	4,645	4,990	10,365	8,235	12,322	6,317	14,362	14,630	7,713	4,963
日本	四日市	684	418	213	203	896	131	17	0	236	231	299	391	394	484	432	404	747	543	1,065	1,034	1,190	980	918	953	1,224	1,480	1,481	1,020	1,225	1,645	2,317	2,838	2,893	2,810	2,988	2,782	2,987	3,117	5,217	4,367	4,643	4,986	10,361	8,234	12,318	6,309	14,354	14,622	7,705	4,959
日本	大阪	837	571	367	356	745	286	243	236	0	13	93	166	217	312	260	313	665	373	808	863	1,019	809	797	832	1,133	1,391	1,392	931	1,135	1,568	2,232	2,753	2,808	2,732	2,910	2,704	2,923	3,039	5,139	4,289	4,795	5,140	10,515	8,386	12,472	6,231	14,276	14,544	7,627	4,942
日本	神戸	832	566	362	351	737	282	239	231	13	0	84	157	208	303	252	308	662	367	803	857	1,012	800	787	822	1,128	1,386	1,387	926	1,130	1,563	2,227	2,748	2,803	2,727	2,905	2,699	2,918	3,034	5,134	4,284	4,792	5,137	10,512	8,383	12,469	6,226	14,271	14,539	7,622	4,939
日本	水島	898	632	428	417	668	349	306	299	93	84	0	108	140	235	183	277	634	297	727	787	943	733	721	756	1,095	1,352	1,353	902	1,106	1,543	2,203	2,724	2,779	2,703	2,881	2,675	2,914	3,010	5,110	4,260	4,860	5,205	10,580	8,410	12,537	6,202	14,247	14,515	7,598	5,136
日本	広島	886	726	521	510	627	441	398	391	166	157	108	0	88	194	115	227	593	253	666	743	899	689	677	712	1,051	1,308	1,309	858	1,062	1,499	2,159	2,680	2,735	2,659	2,837	2,631	2,870	2,966	5,066	4,216	4,961	5,306	10,681	8,496	12,638	6,158	14,203	14,471	7,554	5,099
日本	徳山下松	808	729	525	514	548	445	402	394	217	208	140	88	0	115	63	196	553	176	619	666	822	612	600	635	974	1,231	1,232	797	996	1,493	2,093	2,614	2,669	2,618	2,796	2,590	2,830	2,928	5,025	4,175	4,958	5,303	10,678	8,534	12,635	6,117	14,162	14,430	7,513	5,053
日本	博多	778	818	614	603	519	534	491	484	312	303	235	194	115	0	58	285	515	117	603	584	740	529	502	537	883	1,140	1,141	706	905	1,402	2,002	2,523	2,578	2,527	2,705	2,499	2,812	2,837	4,934	4,084	4,874	5,276	10,665	8,620	12,807	6,026	14,071	14,339	7,422	5,083
日本	北九州	753	767	562	551	494	482	439	432	260	252	183	115	63	58	0	233	551	121	561	610	766	556	544	579	918	1,175	1,176	742	940	1,437	2,037	2,558	2,613	2,563	2,741	2,535	2,847	2,872	4,970	4,120	4,844	5,246	10,635	8,566	12,777	6,062	14,107	14,375	7,458	5,143
日本	志布志	978	738	534	523	718	454	411	404	313	308	277	227	196	285	233	0	380	335	793	719	875	662	540	575	847	1,103	1,104	643	848	1,285	1,945	2,466	2,521	2,445	2,623	2,417	2,656	2,752	4,852	4,002	4,961	5,306	10,681	8,590	12,638	5,944	13,989	14,257	7,340	4,903
日本	那覇	1,270	1,074	871	860	1,008	794	751	747	665	662	634	593	553	515	551	380	0	544	1,050	828	981	705	472	507	547	798	799	337	554	918	1,589	2,110	2,165	2,082	2,260	2,054	2,305	2,389	4,489	3,639	5,281	5,626	11,001	9,989	12,958	5,581	13,626	13,894	6,977	4,272
韓国	釜山	754	878	674	663	519	594	551	543	373	367	297	253	176	117	121	335	544	0	712	559	733	498	476	514	886	1,275	1,159	719	923	1,413	1,988	2,488	2,535	2,508	2,690	2,486	2,837	2,790	4,911	2,490	4,693	5,313	10,236	9,857	11,236	2,494	8,446	10,755	7,233	5,121
ロシア	ヴォストーチヌイ	449	695	948	939	489	989	1,066	1,065	808	803	727	666	619	603	561	793	1,050	712	0	1,053	1,229	994	969	1,010	1,378	1,768	1,652	1,209	1,414	1,898	2,481	2,981	3,028	3,000	3,182	2,979	3,307	3,282	5,403	4,541	4,384	5,004	9,872	9,633	11,729	6,409	8,940	11,247	7,724	5,523
中国	大連	1,290	1,368	1,166	1,154	1,050	1,084	1,041	1,034	863	857	787	743	666	584	610	719	828	559	1,053	0	242	289	528	567	1,005	1,395	1,278	859	1,050	1,564	2,108	2,608	2,655	2,628	2,810	2,606	3,009	2,916	5,031	4,168	5,164	5,784	10,651	10,314	11,363	6,037	8,566	10,874	7,358	5,513
中国	天津	1,447	1,524	1,322	1,310	1,206	1,240	1,197	1,190	1,019	1,012	943	899	822	740	766	875	981	733	1,229	242	0	466	704	744	1,182	1,572	1,456	1,036	1,227	1,741	2,285	2,785	2,832	2,805	2,987	2,783	3,186	3,093	5,208	4,345	5,341	5,961	10,828	10,491	11,540	6,214	8,743	11,051	7,535	5,690
中国	青島	1,236	1,314	1,112	1,100	996	1,030	987	980	809	800	733	689	612	529	556	662	705	498	994	289	466	0	351	406	844	1,234	1,116	698	889	1,403	1,947	2,447	2,494	2,467	2,649	2,445	2,848	2,755	4,870	4,007	5,106	5,726	10,593	10,256	11,200	5,876	8,404	10,713	7,197	5,352
中国	上海	1,234	1,253	1,051	1,039	991	969	926	918	797	787	721	677	600	502	544	540	472	476	969	528	704	351	0	132	595	984	868	448	639	1,154	1,697	2,197	2,244	2,217	2,399	2,196	2,599	2,505	4,620	3,758	5,080	5,700	10,568	10,131	10,953	5,626	8,156	10,464	6,948	5,104
中国	寧波	1,269	1,288	1,086	1,074	1,026	1,004	961	953	832	822	756	712	635	537	579	575	507	514	1,010	567	744	406	132	0	613	1,002	886	466	657	1,172	1,715	2,215	2,262	2,235	2,417	2,214	2,617	2,523	4,638	3,776	5,121	5,741	10,609	10,172	10,971	5,644	8,175	10,482	6,966	5,122
中国	厦門	1,631	1,558	1,356	1,343	1,372	1,274	1,231	1,224	1,133	1,128	1,095	1,051	974	883	918	847	547	886	1,378	1,005	1,182	844	595	613	0	423	312	228	171	619	1,141	1,641	1,688	1,661	1,843	1,640	2,064	1,950	4,064	3,201	5,476	6,096	10,963	10,203	10,405	5,070	7,600	9,908	6,392	4,760
中国	深セン	1,888	1,816	1,614	1,602	1,629	1,531	1,488	1,480	1,391	1,386	1,352	1,308	1,231	1,140	1,175	1,103	798	1,275	1,768	1,395	1,572	1,234	984	1,002	423	0	125	614	479	738	1,005	1,505	1,552	1,530	1,712	1,509	1,974	1,855	3,933	3,071	5,876	6,496	11,352	10,303	10,302	4,939	7,469	9,777	6,297	5,076
中国	香港	1,889	1,817	1,615	1,603	1,630	1,532	1,489	1,481	1,392	1,387	1,353	1,309	1,232	1,141	1,176	1,104	799	1,159	1,652	1,278	1,456	1,116	868	886	312	125	0	498	363	646	913	1,413	1,460	1,438	1,620	1,417	1,882	1,763	3,841	2,979	5,760	6,380	11,236	10,187	10,210	4,847	7,377	9,685	6,205	4,984
台湾	基隆	1,454	1,356	1,153	1,141	1,195	1,071	1,028	1,020	931	926	902	858	797	706	742	643	337	719	1,209	859	1,036	698	448	466	228	614	498	0	242	734	1,314	1,814	1,861	1,830	2,012	1,809	2,179	2,110	4,234	3,371	5,311	5,914	10,767	9,950	10,557	5,240	7,770	10,077	6,552	4,800
台湾	高雄	1,653	1,555	1,358	1,345	1,394	1,275	1,232	1,225	1,135	1,130	1,106	1,062	996	905	940	848	554	923	1,414	1,050	1,227	889	639	657	171	479	363	242	0	546	1,121	1,621	1,668	1,628	1,810	1,607	1,991	1,901	4,031	3,169	5,518	6,128	10,981	9,916	10,348	5,037	7,567	9,875	6,343	4,746
フィリピン	マニラ	2,150	1,970	1,780	1,768	1,891	1,693	1,653	1,645	1,568	1,563	1,543	1,499	1,493	1,402	1,437	1,285	918	1,413	1,898	1,564	1,741	1,403	1,154	1,172	619	738	646	734	546	0	914	1,400	1,447	1,324	1,506	1,303	1,521	1,536	3,727	2,865	5,941	6,531	11,368	9,671	9,983	4,734	7,263	9,572	5,978	4,423
ベトナム	ホーチミン	2,751	2,659	2,455	2,443	2,492	2,364	2,325	2,317	2,232	2,227	2,203	2,159	2,093	2,002	2,037	1,945	1,589	1,988	2,481	2,108	2,285	1,947	1,697	1,715	1,141	1,005	913	1,314	1,121	914	0	602	649	654	835	632	1,278	1,090	3,056	2,194	6,588	7,184	10,361	9,664	9,473	4,063	6,593	8,900	5,487	4,414
タイ	ランチャバン	3,272	3,177	2,973	2,961	3,013	2,885	2,846	2,838	2,753	2,748	2,724	2,680	2,614	2,523	2,558	2,466	2,110	2,488	2,981	2,608	2,785	2,447	2,197	2,215	1,641	1,505	1,413	1,814	1,621	1,400	602	0	58	794	976	773	1,419	1,231	3,197	2,335	7,088	7,684	10,861	10,164	9,678	4,204	6,734	9,041	5,628	4,555
タイ	バンコク	3,327	3,232	3,028	3,016	3,068	2,940	2,901	2,893	2,808	2,803	2,779	2,735	2,669	2,578	2,613	2,521	2,165	2,535	3,028	2,655	2,832	2,494	2,244	2,262	1,688	1,552	1,460	1,861	1,668	1,447	649	58	0	842	1,023	820	1,466	1,278	3,244	2,382	7,135	7,731	10,908	10,211	9,725	4,251	6,781	9,088	5,675	4,602
マレーシア	TJペラパス	3,276	3,149	2,945	2,932	3,016	2,857	2,818	2,810	2,732	2,727	2,703	2,659	2,618	2,527	2,563	2,445	2,082	2,508	3,000	2,628	2,805	2,467	2,217	2,235	1,661	1,530	1,438	1,830	1,628	1,324	654	794	842	0	198	27	781	564	2,410	1,547	7,087	7,677	10,116	9,497	8,945	3,416	5,946	8,254	4,841	3,889
マレーシア	ポートケラン	3,454	3,327	3,123	3,110	3,194	3,035	2,996	2,988	2,910	2,905	2,881	2,837	2,796	2,705	2,741	2,623	2,260	2,690	3,182	2,810	2,987	2,649	2,399	2,417	1,843	1,712	1,620	2,012	1,810	1,506	835	976	1,023	198	0	210	963	746	2,228	1,365	7,269	7,859	10,298	9,679	8,767	3,234	5,764	8,072	4,659	4,071
シンガポール	シンガポール	3,248	3,121	2,917	2,904	2,988	2,829	2,790	2,782	2,704	2,699	2,675	2,631	2,590	2,499	2,535	2,417	2,054	2,486	2,979	2,606	2,783	2,445	2,196	2,214	1,640	1,509	1,417	1,809	1,607	1,303	632	773	820	27	210	0	760	543	2,431	1,568	7,066	7,656	10,095	9,476	8,956	3,437	5,967	8,275	4,862	3,868
インドネシア	TJパラーク	3,546	3,279	3,092	3,080	3,305	3,020	2,995	2,987	2,923	2,918	2,914	2,870	2,830	2,812	2,847	2,656	2,305	2,837	3,307	3,009	3,186	2,848	2,599	2,617	2,064	1,974	1,882	2,179	1,991	1,521	1,278	1,419	1,466	781	963	760	0	393	3,072	2,210	7,154	7,597	10,718	8,841	8,882	4,079	6,590	8,898	4,877	3,330
インドネシア	TJプリオク	3,585	3,435	3,252	3,240	3,326	3,165	3,125	3,117	3,039	3,034	3,010	2,966	2,928	2,837	2,872	2,752	2,389	2,790	3,282	2,916	3,093	2,755	2,505	2,523	1,950	1,855	1,763	2,110	1,901	1,536	1,090	1,231	1,278	564	746	543	393	0	2,699	2,105	7,333	7,776	11,800	9,828	8,508	3,705	6,217	8,525	4,503	3,386
インド	ジャワハールネトル	5,683	5,556	5,352	5,339	5,423	5,264	5,225	5,217	5,139	5,134	5,110	5,066	5,025	4,934	4,970	4,852	4,489	4,911	5,403	5,031	5,208	4,870	4,620	4,638	4,064	3,933	3,841	4,234	4,031	3,727	3,056	3,197	3,244	2,410	2,228	2,431	3,072	2,699	0	881	9,490	10,081	8,123	9,581	7,935	1,119	3,995	6,303	3,795	5,531
スリランカ	コロンボ	4,833	4,706	4,502	4,489	4,573	4,414	4,375	4,367	4,289	4,284	4,260	4,216	4,175	4,084	4,120	4,002	3,639	2,490	4,541	4,168	4,345	4,007	3,758	3,776	3,201	3,071	2,979	3,371	3,169	2,865	2,194	2,335	2,382	1,547	1,365	1,568	2,210	2,105	881	0	7,298	7,889	8,560	9,460	7,709	1,887	4,431	6,739	3,608	4,995
PNW		4,132	4,287	4,517	4,504	4,396	4,547	4,645	4,643	4,795	4,792	4,860	4,961	4,958	4,874	4,844	4,961	5,281	4,693	4,384	5,164	5,341	5,106	5,080	5,121	5,476	5,876	5,760	5,311	5,518	5,941	6,588	7,088	7,135	7,087	7,269	7,066	7,154	7,333	9,490	7,298	0	1,145	6,032	5,929	8,467	9,344	9,417	21,244	6,710	7,326
PSW		4,534	4,654	4,862	4,849	4,798	4,892	4,990	4,986	5,140	5,137	5,205	5,306	5,303	5,276	5,246	5,306	5,626	5,313	5,004	5,784	5,961	5,726	5,700	5,741	6,096	6,496	6,380	5,914	6,128	6,531	7,184	7,684	7,731	7,677	7,859	7,656	7,597	7,776	10,081	7,889	1,145	0	4,922	4,820	7,358	9,935	8,308	20,135	10,133	6,991
北米東岸		9,923	10,035	10,237	10,224	10,187	10,267	10,365	10,361	10,515	10,512	10,580	10,681	10,678	10,665	10,635	10,681	11,001	10,236	9,872	10,651	10,828	10,593	10,568	10,609	10,963	11,352	11,236	10,767	10,981	11,368	10,361	10,861	10,908	10,116	10,298	10,095	10,718	11,800	8,123	8,560	6,032	4,922	0	4,659	4,911	7,977	4,203	16,030	5,649	9,933
南米西岸		8,046	8,214	8,117	8,108	8,262	8,158	8,235	8,234	8,386	8,383	8,410	8,496	8,534	8,620	8,566	8,590	9,989	9,857	9,633	10,314	10,491	10,256	10,131	10,172	10,203	10,303	10,187	9,950	9,916	9,671	9,664	10,164	10,211	9,497	9,679	9,476	8,841	9,828	9,581	9,460	5,929	4,820	4,659	0	3,492	9,435	8,045	7,491	5,800	6,106
南米東岸		12,065	12,246	12,194	12,181	12,329	12,224	12,322	12,318	12,472	12,469	12,537	12,638	12,635	12,807	12,777	12,638	12,958	11,236	11,729	11,363	11,540	11,200	10,953	10,971	10,405	10,302	10,210	10,557	10,348	9,983	9,473	9,678	9,725	8,945	8,767	8,956	8,882	8,508	7,935	7,709	8,467	7,358	4,911	3,492	0	8,112	5,397	17,224	4,155	7,284
中東		6,775	6,648	6,444	6,431	6,515	6,356	6,317	6,309	6,231	6,226	6,202	6,158	6,117	6,026	6,062	5,944	5,581	2,494	6,409	6,037	6,214	5,876	5,626	5,644	5,070	4,939	4,847	5,240	5,037	4,734	4,063	4,204	4,251	3,416	3,234	3,437	4,079	3,705	1,119	1,887	9,344	9,935	7,977	9,435	8,112	0	3,849	6,157	3,972	6,528
地中海		14,820	14,693	14,489	14,476	14,560	14,401	14,362	14,354	14,276	14,271	14,247	14,203	14,162	14,071	14,107	13,989	13,626	8,446	8,940	8,566	8,743	8,404	8,156	8,175	7,600	7,469	7,377	7,770	7,567	7,263	6,593	6,734	6,781	5,946	5,764	5,967	6,590	6,217	3,995	4,431	9,417	8,308	4,203	8,045	5,397	3,849	0	14,235	5,512	8,786
欧州		15,088	14,961	14,757	14,744	14,828	14,669	14,630	14,622	14,544	14,539	14,515	14,471	14,430	14,339	14,375	14,257	13,894	10,755	11,247	10,874	11,051	10,713	10,464	10,482	9,908	9,777	9,685	10,077	9,875	9,572	8,900	9,041	9,088	8,254	8,072	8,275	8,898	8,525	6,303	6,739	21,244	20,135	16,030	7,491	17,224	6,157	14,235	0	6,918	11,094
アフリカ		8,171	8,044	7,840	7,827	7,911	7,752	7,713	7,705	7,627	7,622	7,598	7,554	7,513	7,422	7,458	7,340	6,977	7,233	7,724	7,358	7,535	7,197	6,948	6,966	6,392	6,297	6,205	6,552	6,343	5,978	5,487	5,628	5,675	4,841	4,659	4,862	4,877	4,503	3,795	3,608	6,710	10,133	5,649	5,800	4,155	3,972	5,512	6,918	0	5,320
大洋州		5,371	5,092	4,891	4,878	5,481	4,921	4,963	4,959	4,942	4,939	5,136	5,099	5,053	5,083	5,143	4,903	4,272	5,121	5,523	5,513	5,690	5,352	5,104	5,122	4,760	5,076	4,984	4,800	4,746	4,423	4,414	4,555	4,602	3,889	4,071	3,868	3,330	3,386	5,531	4,995	7,326	6,991	9,933	6,106	7,284	6,528	8,786	11,094	5,320	0

付録 E　本モデルで設定した日本の陸上輸送距離 lg_b，輸送時間 tm_b および有料道路料金 tl_b 一覧

○輸送距離（km）

	苫小牧	仙台塩釜	東京	横浜	新潟	清水	名古屋	四日市	大阪	神戸	水島	広島	徳山下松	博多	北九州	志布志	那覇
北海道	66.9	700.3	1,064.9	1,092.9	857.6	1,228.3	1,352.6	1,362.7	1,499.8	1,514.3	1,649.6	1,776.4	1,869.0	2,045.4	1,971.0	2,332.4	3,048.0
青森県	406.8	372.3	736.8	764.8	426.5	900.3	921.5	931.6	1,068.7	1,083.2	1,218.5	1,345.3	1,437.9	1,614.3	1,539.9	1,901.3	2,616.9
岩手県	524.5	181.8	546.4	574.3	343.7	709.8	838.7	848.9	986.0	1,000.4	1,135.8	1,262.6	1,355.1	1,531.5	1,457.1	1,818.5	2,534.2
宮城県	697.6	16.1	374.0	402.0	197.6	537.5	682.3	692.4	836.7	851.2	986.5	1,113.3	1,205.8	1,382.3	1,307.9	1,669.3	2,384.9
秋田県	592.7	231.6	579.5	612.6	240.4	687.2	735.4	745.5	882.6	897.0	1,032.4	1,159.2	1,251.7	1,428.2	1,353.7	1,715.2	2,430.8
山形県	747.9	74.9	374.8	407.9	139.2	525.2	631.1	641.3	778.4	792.8	928.2	1,055.0	1,147.5	1,323.9	1,249.5	1,610.9	2,326.6
福島県	821.2	142.8	247.3	280.4	157.1	397.7	565.5	575.7	726.4	771.0	906.4	1,033.2	1,125.7	1,302.1	1,227.7	1,589.1	2,304.8
茨城県	952.4	258.5	127.0	155.0	286.2	290.5	481.6	499.1	663.6	677.4	835.2	962.0	1,054.5	1,230.9	1,156.5	1,517.9	2,233.6
栃木県	941.6	263.1	134.3	167.4	243.0	284.7	451.0	461.1	611.9	625.7	783.5	910.3	1,002.8	1,179.2	1,104.8	1,466.2	2,181.9
群馬県	1,029.6	351.2	125.7	146.0	226.0	247.7	341.0	351.1	501.9	515.7	673.5	800.2	892.8	1,069.2	994.8	1,356.2	2,071.9
埼玉県	1,053.8	359.9	29.2	59.8	336.3	177.1	368.2	385.8	543.9	569.8	725.3	852.1	944.7	1,121.1	1,046.7	1,408.1	2,123.7
千葉県	1,067.7	373.7	46.8	73.8	383.6	207.4	398.5	416.1	574.3	600.1	755.7	882.5	975.0	1,151.4	1,077.0	1,438.4	2,154.1
東京都	1,065.0	371.0	15.5	41.0	333.8	159.0	350.1	367.7	525.8	551.7	707.3	834.0	926.6	1,103.0	1,028.6	1,390.0	2,105.7
神奈川県	1,095.6	401.7	30.7	6.8	362.5	147.5	338.6	356.2	514.4	540.2	695.8	822.6	915.1	1,091.5	1,017.1	1,378.5	2,094.2
新潟県	880.8	232.1	328.6	349.0	22.3	428.2	476.4	486.5	623.6	638.1	773.4	900.2	992.8	1,169.2	1,094.8	1,456.2	2,171.8
富山県	1,125.6	474.7	366.2	377.8	267.2	308.0	249.1	265.8	377.0	391.4	526.8	653.6	746.1	922.6	848.1	1,209.6	1,925.2
石川県	1,188.0	537.1	420.6	432.2	329.5	362.4	247.9	240.7	318.7	333.1	468.5	595.3	687.8	864.2	789.8	1,151.2	1,866.9
福井県	1,263.1	612.2	481.1	492.7	404.6	354.4	172.2	164.9	242.9	257.4	392.7	519.5	612.0	788.5	714.1	1,075.5	1,791.1
山梨県	1,154.0	475.6	130.2	141.8	374.4	90.2	279.8	301.3	452.1	465.9	623.6	750.4	843.0	1,019.4	945.0	1,306.4	2,022.0
長野県	1,068.1	417.2	243.3	263.7	209.6	238.6	286.7	296.9	447.7	461.5	619.2	746.0	838.5	1,015.0	940.6	1,302.0	2,017.6
岐阜県	1,328.6	677.7	389.1	377.6	470.1	227.7	50.6	60.2	189.4	205.1	362.8	489.6	582.2	758.6	684.2	1,045.6	1,761.2
静岡県	1,241.7	547.7	176.6	165.1	460.1	15.2	180.4	198.0	356.1	382.0	537.5	664.3	756.9	933.3	858.9	1,220.3	1,935.9
愛知県	1,325.1	667.1	358.2	346.7	466.6	196.8	24.3	41.4	192.2	218.0	373.6	500.4	592.9	769.3	694.9	1,056.3	1,772.0
三重県	1,407.9	749.9	409.1	397.6	549.4	247.7	56.5	38.5	145.3	171.1	326.7	453.5	546.0	722.5	648.0	1,009.5	1,725.1
滋賀県	1,401.3	750.4	476.7	465.2	542.8	315.3	124.1	106.9	80.4	96.2	253.9	380.7	473.2	649.6	575.2	936.6	1,652.3
京都府	1,419.1	768.2	484.9	473.4	560.6	323.5	132.3	115.1	68.2	83.9	248.8	375.6	468.1	644.6	570.1	931.6	1,647.2
大阪府	1,498.2	847.3	523.0	511.5	639.7	361.6	170.4	153.2	12.7	42.3	209.7	336.5	429.1	605.5	531.1	892.5	1,608.1
兵庫県	1,510.8	859.9	554.4	542.9	652.3	393.0	201.7	184.6	31.2	5.9	177.8	304.6	397.1	573.5	499.1	860.5	1,576.2
奈良県	1,456.0	803.1	477.8	466.2	597.5	316.4	125.1	108.0	49.8	75.7	243.1	369.9	462.4	638.9	564.4	925.9	1,641.5
和歌山県	1,548.5	890.4	565.1	553.5	690.0	403.7	212.4	195.3	74.5	100.3	280.7	407.5	500.0	676.4	602.0	963.4	1,679.1
鳥取県	1,550.0	899.1	683.3	671.8	691.5	521.9	339.7	332.4	202.9	184.1	155.9	269.6	364.7	520.6	446.2	807.6	1,523.2
島根県	1,673.9	1,023.0	807.3	795.8	815.4	645.9	454.3	437.2	304.8	286.1	184.1	179.4	272.9	405.7	331.3	692.7	1,408.4
岡山県	1,619.8	968.8	681.7	670.1	761.3	520.3	329.0	311.9	183.3	149.8	41.6	168.4	261.0	437.4	363.0	724.4	1,440.0
広島県	1,773.3	1,122.4	835.2	823.7	914.8	673.8	482.6	465.4	336.8	303.3	137.2	7.1	92.2	268.6	194.2	555.6	1,271.2
山口県	1,907.9	1,257.0	969.8	958.3	1,049.5	808.4	617.2	600.1	471.5	438.0	271.9	132.2	48.4	152.2	77.8	439.2	1,154.9
徳島県	1,617.1	966.2	663.3	651.8	758.6	501.9	310.6	293.5	140.1	112.8	137.8	269.8	362.3	538.7	464.3	580.0	1,357.3
香川県	1,662.8	1,011.9	709.0	697.4	804.3	547.6	356.3	339.2	185.8	158.5	74.2	206.2	298.7	475.2	400.7	546.1	1,323.5
愛媛県	1,797.6	1,146.7	844.9	833.4	939.1	683.5	492.3	475.2	321.8	294.5	161.5	196.4	288.9	465.3	390.9	396.8	1,174.2
高知県	1,770.8	1,119.9	817.0	805.4	912.3	655.6	464.3	447.2	293.8	266.5	158.3	280.1	372.6	549.1	474.6	486.4	1,263.7
福岡県	2,052.5	1,401.6	1,114.4	1,102.8	1,194.0	953.0	761.7	744.6	616.0	582.5	416.4	276.7	192.9	9.3	82.7	300.5	1,016.1
佐賀県	2,092.2	1,441.3	1,154.1	1,142.5	1,233.7	992.7	801.4	784.3	655.7	622.2	456.1	316.4	232.6	68.5	122.4	274.3	989.9
長崎県	2,183.4	1,532.5	1,245.3	1,233.7	1,324.9	1,083.9	892.6	875.5	746.9	713.4	547.3	407.6	323.8	159.7	213.6	356.3	1,072.0
熊本県	2,150.5	1,499.6	1,212.4	1,200.9	1,292.0	1,051.0	859.7	842.6	714.0	680.5	514.4	374.7	291.0	124.9	180.7	193.0	908.6
大分県	2,095.7	1,444.8	1,157.6	1,146.0	1,237.2	996.2	804.9	787.8	659.2	625.7	459.6	319.9	236.1	166.5	125.9	263.1	1,027.9
宮崎県	2,278.0	1,627.1	1,339.9	1,328.3	1,419.5	1,178.5	987.2	970.1	841.5	808.0	641.9	502.2	418.4	282.4	308.2	85.5	860.1
鹿児島県	2,312.8	1,661.9	1,374.7	1,363.2	1,454.3	1,213.3	1,022.0	1,004.9	876.3	842.8	676.7	537.0	453.3	287.2	343.0	90.2	737.5
沖縄県	3,048.5	2,397.6	2,110.4	2,098.9	2,190.0	1,949.0	1,757.7	1,740.6	1,612.0	1,578.5	1,412.4	1,272.7	1,188.9	1,022.9	1,078.7	825.9	6.1

○輸送時間（時）

	苫小牧	仙台塩釜	東京	横浜	新潟	清水	名古屋	四日市	大阪	神戸	水島	広島	徳山下松	博多	北九州	志布志	那覇
北海道	1.1	14.1	20.1	20.6	18.6	22.3	27.4	27.4	29.0	29.2	31.0	32.7	34.2	36.6	35.4	41.6	66.7
青森県	9.2	6.5	12.5	13.0	9.6	14.7	18.4	18.4	20.0	20.2	22.0	23.7	25.2	27.6	26.4	32.6	57.7
岩手県	11.6	2.8	8.7	9.3	7.3	11.0	16.1	16.1	17.7	17.9	19.7	21.4	22.9	25.3	24.0	30.3	55.4
宮城県	13.8	0.5	6.4	7.0	4.3	8.7	13.1	13.1	14.5	14.7	16.5	18.2	19.7	22.2	20.9	27.1	52.2
秋田県	13.3	4.5	11.7	12.4	5.8	14.1	14.6	14.6	16.2	16.4	18.2	19.9	21.4	23.8	22.6	28.8	53.9
山形県	16.3	1.8	7.8	8.4	2.9	10.0	11.5	11.5	13.1	13.3	15.2	16.9	18.3	20.8	19.5	25.8	50.8
福島県	15.3	2.3	3.9	4.6	3.0	6.1	11.6	11.6	14.3	13.5	15.3	17.0	18.5	20.9	19.7	25.9	51.0
茨城県	18.0	4.5	2.5	3.1	6.4	4.8	7.0	7.3	13.6	13.0	15.0	16.7	18.2	20.6	19.4	25.6	50.7
栃木県	16.7	3.8	2.6	3.2	5.3	4.8	9.2	9.2	12.0	11.5	13.4	15.1	16.6	19.0	17.8	24.0	49.1
群馬県	19.5	6.5	2.5	2.8	4.1	5.7	7.5	7.5	10.2	9.7	11.7	13.4	14.8	17.3	16.0	22.3	47.3
埼玉県	19.0	5.5	1.2	1.8	6.5	3.4	5.5	5.8	8.8	9.3	11.0	12.7	14.2	16.6	15.4	21.6	46.7
千葉県	20.0	6.5	1.1	1.5	7.6	3.9	6.0	6.4	9.3	9.8	11.5	13.2	14.7	17.1	15.9	22.1	47.2
東京都	19.8	6.4	0.6	1.1	5.4	2.7	4.8	5.2	8.1	8.6	10.3	12.0	13.5	15.9	14.7	20.9	46.0
神奈川県	20.4	6.9	0.6	0.2	6.0	2.5	4.7	5.0	8.0	8.4	10.1	11.9	13.3	15.8	14.5	20.8	45.8
新潟県	19.0	5.1	5.8	6.1	0.6	8.1	8.7	8.7	10.3	10.4	12.3	14.0	15.4	17.9	16.6	22.9	48.0
富山県	22.7	8.7	7.5	7.8	4.3	6.9	5.5	5.7	7.1	7.3	9.1	10.8	12.3	14.7	13.5	19.7	44.8
石川県	23.1	9.1	8.2	8.5	4.7	7.6	4.8	4.8	6.1	6.3	8.2	9.9	11.3	13.8	12.5	18.8	43.9
福井県	24.0	10.0	9.8	10.1	5.7	5.6	3.5	3.5	4.9	5.1	7.0	8.7	10.1	12.6	11.3	17.6	42.6
山梨県	20.3	7.3	3.0	3.2	6.4	2.3	5.1	5.7	8.5	8.0	10.0	11.7	13.1	15.6	14.3	20.6	45.6
長野県	21.9	7.9	3.8	4.2	3.5	4.7	5.3	5.3	8.0	7.5	9.5	11.2	12.7	15.1	13.9	20.1	45.2
岐阜県	26.4	12.4	5.9	5.8	8.0	3.6	1.7	1.6	3.7	3.7	5.6	7.3	8.8	11.2	10.0	16.2	41.3
静岡県	22.2	8.7	2.9	2.8	8.7	0.6	2.5	2.8	5.8	6.3	8.0	9.7	11.2	13.6	12.4	18.6	43.7
愛知県	26.3	12.5	5.2	5.1	8.0	2.9	0.7	0.8	3.6	4.1	5.8	7.5	8.9	11.4	10.1	16.4	41.5
三重県	27.5	13.7	6.4	6.3	9.2	4.1	1.6	1.2	3.0	3.5	5.2	6.9	8.4	10.8	9.5	15.8	40.9
滋賀県	26.7	12.7	7.3	7.1	8.4	4.9	2.4	2.3	1.7	1.7	3.7	5.4	6.8	9.3	8.0	14.3	39.4
京都府	26.8	12.8	7.5	7.4	8.4	5.2	2.7	2.6	1.9	1.9	4.7	6.4	7.9	10.3	9.1	15.3	40.4
大阪府	28.4	14.4	8.0	7.9	10.0	5.6	3.1	3.0	0.6	1.0	3.1	4.8	6.3	8.7	7.5	13.7	38.8
兵庫県	28.8	14.8	8.7	8.5	10.5	6.3	3.8	3.7	0.8	0.2	3.1	4.8	6.2	8.7	7.4	13.7	38.8
奈良県	28.0	15.2	7.4	7.3	9.7	5.0	2.5	2.4	1.5	2.0	4.2	5.9	7.3	9.8	8.5	14.8	39.8
和歌山県	30.0	16.1	8.3	8.2	11.6	6.0	3.5	3.4	1.9	2.3	4.9	6.6	8.1	10.6	9.3	15.5	40.6
鳥取県	29.9	15.9	12.1	11.9	11.5	9.7	7.7	7.7	3.8	3.9	3.5	6.2	7.3	10.9	9.6	15.8	40.9
島根県	32.6	18.6	14.8	14.7	14.3	12.5	7.6	7.5	5.3	5.3	4.3	4.4	6.1	8.1	6.9	13.1	38.2
岡山県	30.4	16.4	10.2	10.0	12.1	7.8	5.3	5.2	3.2	2.8	1.0	2.7	4.1	6.6	5.3	11.6	36.6
広島県	32.3	18.4	12.1	11.9	14.0	9.7	7.2	7.1	5.1	4.8	2.5	0.2	2.3	4.7	3.4	9.7	34.8
山口県	34.1	20.1	13.9	13.7	15.8	11.5	9.0	8.9	6.9	6.6	4.3	2.5	1.2	2.6	1.3	7.6	32.7
徳島県	30.3	16.3	10.3	10.2	12.0	8.0	5.5	5.4	2.5	2.1	2.9	4.8	6.2	8.7	7.4	13.7	39.0
香川県	31.5	17.5	11.5	11.3	13.1	9.1	6.6	6.5	3.6	3.3	1.9	3.8	5.3	7.7	6.4	12.5	37.8
愛媛県	33.6	19.6	13.5	13.4	15.2	11.1	8.6	8.5	5.6	5.3	3.7	4.3	5.7	8.2	6.9	10.7	35.9
高知県	33.5	19.5	13.5	13.4	15.2	11.2	8.7	8.6	5.7	5.4	2.8	6.4	7.9	10.3	9.0	12.6	37.8
福岡県	36.5	22.5	16.2	16.1	18.1	13.8	11.3	11.2	9.2	8.9	6.6	4.9	3.6	0.3	1.5	4.9	30.0
佐賀県	37.7	23.7	17.4	17.3	19.4	15.1	12.6	12.5	10.5	10.1	7.8	6.1	4.8	1.2	2.8	4.8	29.8
長崎県	38.7	24.7	18.4	18.3	20.3	16.1	13.6	13.5	11.4	11.1	8.8	7.1	5.8	2.1	3.7	7.0	32.1
熊本県	38.5	24.5	18.2	18.1	20.1	15.8	13.3	13.2	11.2	10.9	8.6	6.9	5.5	1.9	3.5	3.9	29.0
大分県	38.2	24.2	17.9	17.8	19.9	15.6	13.1	13.0	11.0	10.6	8.4	6.6	5.3	2.9	3.3	6.1	31.2
宮崎県	42.3	28.3	22.0	21.9	24.0	19.7	17.2	17.1	15.1	14.7	12.4	10.7	9.4	4.3	7.3	1.6	28.3
鹿児島県	40.6	26.6	20.3	20.2	22.2	17.9	15.4	15.3	13.3	13.0	10.7	9.0	7.7	4.0	5.6	1.9	25.9
沖縄県	66.4	52.4	46.1	46.0	48.0	43.8	41.3	41.2	39.2	38.8	36.5	34.8	33.5	29.8	31.4	27.7	0.3

○有料道路料金（千円）

	苫小牧	仙台塩釜	東京	横浜	新潟	清水	名古屋	四日市	大阪	神戸	水島	広島	徳山下松	博多	北九州	志布志	那覇
北海道	2.9	71.0	85.9	87.1	62.7	95.0	80.1	80.7	88.7	88.3	94.3	101.5	104.3	114.0	110.8	124.3	325.8
青森県	60.6	10.4	25.3	26.5	3.5	34.4	20.9	21.4	29.5	29.1	35.1	42.3	45.1	54.8	51.6	65.1	266.6
岩手県	60.6	9.2	24.1	25.3	1.4	33.2	18.8	19.4	27.4	27.0	33.0	40.2	43.0	52.7	49.5	63.0	264.5
宮城県	71.8	0.0	14.9	16.1	1.1	24.0	17.8	18.4	27.7	27.3	33.3	40.5	43.2	53.0	49.7	63.3	264.8
秋田県	60.6	3.4	9.5	9.8	0.0	14.0	17.4	18.0	26.0	25.6	31.7	38.9	41.6	51.3	48.1	61.7	263.1
山形県	62.7	0.4	6.2	6.4	0.8	14.0	18.7	19.2	27.3	26.9	32.9	40.1	42.9	52.6	49.4	62.9	264.4
福島県	79.7	6.6	14.2	14.5	3.9	22.0	10.4	11.0	16.5	23.7	29.7	36.9	39.6	49.4	46.1	59.7	261.1
茨城県	79.6	8.5	6.0	7.2	0.3	15.1	30.9	31.6	16.4	22.1	32.7	39.9	42.6	52.4	49.1	62.7	264.1
栃木県	87.3	14.3	7.0	7.2	0.3	14.8	10.9	11.5	17.0	22.7	33.3	40.5	43.2	52.9	49.7	63.2	264.7
群馬県	82.8	9.8	5.9	6.5	10.0	3.8	7.6	8.1	13.6	19.3	29.9	37.1	39.8	49.6	46.3	59.9	261.3
埼玉県	86.5	15.4	0.7	0.7	5.8	8.2	24.1	24.7	29.9	29.9	42.9	50.0	52.8	62.5	59.3	72.8	274.3
千葉県	82.9	11.9	1.9	3.1	6.9	9.5	25.3	26.0	31.2	31.2	44.1	51.3	54.0	63.8	60.5	74.1	275.6
東京都	85.9	14.9	0.0	0.7	17.5	8.2	24.1	24.7	29.9	29.9	42.9	50.0	52.8	62.5	59.3	72.8	274.3
神奈川県	87.1	16.1	1.2	0.0	18.2	6.9	22.8	23.4	28.6	28.6	41.6	48.7	51.5	61.2	58.0	71.5	273.0
新潟県	62.7	1.2	16.0	16.7	0.0	12.6	15.9	16.5	24.6	24.2	30.2	37.4	40.1	49.9	46.6	60.2	261.6
富山県	74.7	13.7	10.3	8.5	12.1	1.9	3.1	2.5	10.2	9.8	15.8	23.0	25.7	35.5	32.2	45.8	247.2
石川県	80.3	19.3	13.9	12.1	17.7	5.5	6.6	6.0	7.9	7.5	13.5	20.7	23.4	33.2	29.9	43.5	245.0
福井県	83.9	22.9	11.5	9.8	21.2	18.5	3.5	2.9	4.8	4.4	10.4	17.6	20.4	30.1	26.9	40.4	241.9
山梨県	100.0	26.9	6.1	4.3	14.8	0.0	10.2	7.5	13.0	18.7	29.3	36.5	39.2	49.0	45.7	59.3	260.7
長野県	70.5	9.5	13.8	14.4	7.8	6.2	9.6	10.2	15.7	21.3	31.9	39.1	41.8	51.6	48.3	61.9	263.4
岐阜県	78.7	17.7	23.3	22.0	16.0	13.2	0.0	0.0	9.0	10.0	20.6	27.8	30.5	40.3	37.0	50.6	252.1
静岡県	96.8	25.8	10.0	8.7	14.0	0.0	13.1	13.8	19.0	19.0	31.9	39.1	41.8	51.6	48.3	61.9	263.4
愛知県	79.8	17.6	22.1	20.8	17.2	12.1	1.1	1.6	7.1	7.1	20.0	27.2	29.9	39.7	36.5	50.0	251.5
三重県	84.4	22.2	24.7	23.4	21.7	14.7	0.7	0.0	3.8	3.8	16.7	23.9	26.6	36.4	33.1	46.7	248.1
滋賀県	88.1	27.0	27.6	26.3	25.4	17.5	3.5	2.2	4.3	5.3	15.9	23.1	25.8	35.5	32.3	45.9	247.3
京都府	87.3	26.3	27.8	26.5	24.6	17.8	3.7	2.5	2.4	3.4	8.3	15.5	18.2	28.0	24.7	38.3	239.7
大阪府	88.0	27.0	29.2	27.9	25.3	19.2	5.2	3.9	0.0	0.7	13.1	20.3	23.0	32.8	29.5	43.1	244.6
兵庫県	88.3	27.3	29.9	28.6	25.6	19.9	5.9	4.6	1.4	0.0	9.1	16.3	19.0	28.8	25.5	39.1	240.6
奈良県	89.1	21.2	27.2	25.9	26.5	17.2	3.1	1.9	1.4	1.4	12.6	19.8	22.5	32.2	29.0	42.6	244.0
和歌山県	88.4	26.1	32.1	30.8	25.7	22.1	8.1	6.8	2.4	2.4	13.1	20.3	23.0	32.8	29.5	43.1	244.5
鳥取県	87.3	26.3	26.5	25.2	24.6	16.5	1.5	0.9	8.6	4.1	2.6	1.2	5.7	6.3	3.1	16.7	218.1
島根県	87.9	26.9	27.1	25.8	25.2	17.1	18.0	16.7	12.6	8.1	0.0	0.0	0.0	5.7	2.5	16.1	217.5
岡山県	91.7	30.7	40.2	38.9	29.0	30.2	16.2	14.9	9.4	6.5	1.7	8.9	11.6	21.4	18.1	31.7	233.2
広島県	101.5	40.5	50.0	48.7	38.9	40.0	26.0	24.7	19.2	16.3	6.5	0.0	0.6	10.4	7.1	20.7	222.2
山口県	108.1	47.1	56.6	55.3	45.4	46.6	32.5	31.3	25.8	22.8	13.1	4.4	0.0	6.5	3.2	16.8	218.2
徳島県	101.3	40.3	43.8	42.5	38.7	33.8	19.8	18.5	15.3	12.9	13.9	21.1	23.8	33.6	30.3	30.7	238.8
香川県	101.1	40.1	43.6	42.3	38.4	33.6	19.6	18.3	15.1	12.7	10.4	17.5	20.3	30.0	26.8	32.9	241.0
愛媛県	103.5	42.5	50.2	48.9	40.8	40.2	26.2	24.9	21.7	19.3	8.5	9.6	12.4	22.1	18.9	24.1	232.2
高知県	103.1	42.1	45.6	44.3	40.4	35.6	21.6	20.3	17.1	14.7	17.3	10.6	13.4	23.1	19.9	25.7	233.8
福岡県	114.3	53.3	62.9	61.6	51.7	52.8	38.8	37.5	32.0	29.1	19.3	10.7	6.3	0.1	3.2	13.6	215.1
佐賀県	113.1	52.1	61.6	60.3	50.4	51.6	37.6	36.3	30.8	27.9	18.1	9.5	5.0	3.2	2.0	10.6	212.0
長崎県	120.1	59.0	68.6	67.3	57.4	58.6	44.5	43.2	37.7	34.8	25.0	16.4	12.0	10.1	8.9	11.1	212.6
熊本県	117.3	56.3	65.9	64.6	54.7	55.8	41.8	40.5	35.0	32.1	22.3	13.7	9.3	7.3	6.2	5.4	206.8
大分県	111.6	50.6	60.1	58.8	48.9	50.1	36.0	34.8	29.3	26.3	16.6	7.9	3.5	5.9	0.5	0.5	208.4
宮崎県	113.8	52.8	62.3	61.0	51.1	52.3	38.3	37.0	31.5	28.6	18.8	10.2	5.7	14.3	2.7	2.3	204.5
鹿児島県	125.8	64.8	74.3	73.0	63.1	64.3	50.2	49.0	43.5	40.6	30.8	22.2	17.7	15.7	14.7	2.2	200.0
沖縄県	325.8	264.8	274.3	273.0	263.1	264.3	250.2	249.0	243.5	240.6	230.8	222.2	217.7	215.7	214.7	202.2	0.0

付録 F　初期港湾間貨物需要（d_a，全船社合計，日本港湾発着貨物のみ，TEU/年，2003 年）

○日本輸出

	韓国	ロシア	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	台湾	台湾	フィリピン	ベトナム	タイ	タイ	マレーシア	シンガポール	インドネシア	インドネシア	インド	スリランカ	PNW	PSW	北米東岸	南米西岸	南米東岸	中東	地中海	欧州	アフリカ	大洋州
	釜山	ウォストチーヌイ	大連	天津	青島	上海	寧波	厦門	深セン	香港	基隆	高雄	マニラ	ホーチミン	ランチャバン	バンコク	TJペラパス	TJプリオク	TJプリオク	ジャワハールネ	コロンボ										
苫小牧	4,431	38	1,112	1,585	1,870	5,319	1,021	1,046	2,726	1,717	1,913	2,211	389	665	1,922	1,297	3	4,664	1,256	179	225	44	0	309	912	530	0	10	517	176	649	284	792
仙台塩釜	4,708	1	133	179	224	674	126	120	411	1,009	1,033	1,439	93	353	488	263	0	355	144	0	0	0	41	7,762	13,425	5,736	200	199	0	593	44	6	52
東京	69,786	416	9,947	15,587	29,694	53,256	14,144	11,585	43,966	34,185	28,805	67,906	18,764	5,211	27,206	14,323	301	18,488	25,100	6,181	8,124	2,133	876	83,089	149,875	55,349	282	2,262	6,743	7,627	95,899	1,115	2,438
横浜	54,039	723	6,514	10,440	17,508	36,982	8,893	8,028	29,041	25,277	21,938	50,068	18,480	12,565	32,769	17,716	212	25,174	13,930	7,171	10,523	2,799	1,286	15,437	72,669	43,162	11,748	10,611	70,115	44,145	33,735	27,210	54,537
新潟	4,261	0	420	596	547	1,911	326	357	770	1,836	918	736	0	167	1,646	1,303	0	339	106	329	380	121	0	13	137	69	0	0	607	1,470	9,749	39,721	773	2,411
清水	7,991	21	499	898	1,249	5,499	1,199	786	2,790	6,518	13,725	44,111	7,631	2,026	4,549	1,505	242	1,889	3,309	11,003	9,551	4,397	361	15,915	39,938	16,052	0	607	1,470	9,749	39,721	773	2,411
名古屋	68,556	260	11,074	16,453	29,563	57,294	14,422	11,934	40,498	26,928	34,474	67,676	17,902	12,494	40,071	21,465	374	22,392	20,896	15,315	18,316	6,077	934	76,004	140,760	61,792	9,205	8,976	34,224	25,781	119,038	10,223	35,033
四日市	12,464	422	1,313	1,870	2,372	7,760	1,591	1,187	3,936	4,912	4,936	9,331	2,520	1,762	5,353	2,920	229	4,508	1,839	1,732	1,803	580	533	0	0	0	0	19	235	46	3,764	0	6
大阪	40,057	73	4,679	7,018	10,753	28,313	6,449	5,008	15,994	19,042	17,189	35,769	8,125	5,163	14,971	7,734	376	8,096	5,240	2,987	3,131	1,359	851	7,908	17,617	10,670	88	604	3,497	3,025	9,031	1,092	14,942
神戸	50,428	659	9,693	15,025	27,009	53,653	13,233	11,690	43,172	27,725	19,031	41,530	14,778	13,512	21,181	10,537	194	31,459	31,342	6,924	10,240	4,451	796	36,697	82,981	39,194	658	8,206	27,477	30,641	90,682	5,538	13,344
水島	6,424	0	657	854	1,017	2,915	540	460	1,784	1,871	4,148	5,433	205	1,052	1,529	939	0	553	393	1,725	2,087	215	0	66	113	39	0	0	196	0	881	0	123
広島	2,125	5	3,083	3,967	4,551	13,549	2,451	2,202	7,170	245	4,747	5,390	3,083	26	3,267	2,029	0	513	465	167	198	44	0	106	254	131	1,764	3,398	86	1,054	263	290	1,412
徳山下松	7,960	0	1,076	1,369	1,626	4,745	867	760	2,618	2,467	4,515	5,331	1,588	1,339	2,193	1,317	0	2,104	941	1,169	1,397	325	18	140	232	163	0	10	32	39	1,052	18	179
博多	12,025	70	791	1,131	1,565	4,291	924	683	2,635	6,914	4,521	8,811	2,456	7,554	8,081	4,659	84	2,027	6,535	1,713	1,869	724	53	4,677	10,240	3,933	0	327	5,560	3,297	9,268	1,126	2,710
北九州	14,281	11	2,267	3,278	5,290	11,884	2,770	2,225	7,729	4,134	16,441	30,810	9,542	1,352	10,527	5,790	177	7,707	1,670	4,277	4,902	2,599	107	168	511	267	0	105	2,219	1,100	2,684	2,820	1,713
志布志	0	0	28	55	113	347	73	81	321	48	78	273	6	0	303	68	0	751	582	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	0	0	0
那覇	0	0	2	5	9	22	5	4	33	49	227	2,131	25	1	375	139	0	168	3	0	0	0	0	10	408	163	0	0	0	615	0	0	0

○日本輸入

	韓国	ロシア	中国	中国	中国	中国	中国	中国	中国	台湾	台湾	フィリピン	ベトナム	タイ	タイ	マレーシア	シンガポール	インドネシア	インドネシア	インド	スリランカ	PNW	PSW	北米東岸	南米西岸	南米東岸	中東	地中海	欧州	アフリカ	大洋州
	釜山	ウォストチーヌイ	大連	天津	青島	上海	寧波	厦門	深セン	香港	基隆	高雄	マニラ	ホーチミン	ランチャバン	バンコク	TJペラパス	TJプリオク	TJプリオク	ジャワハールネ	コロンボ										
苫小牧	4,179	664	1,721	2,221	2,389	7,542	1,090	1,152	2,142	1	1,167	1,194	456	934	2,261	1,732	1	722	0	5,050	5,015	49	0	1,895	4,280	3,238	0	54	10,662	454	3,149	197	3,313
仙台塩釜	3,250	1,005	587	773	929	2,889	411	435	889	13	486	577	0	65	1,706	1,049	0	457	71	867	1,091	412	0	4,359	3,032	3,252	0	0	0	27	227	29	667
東京	75,631	5,251	25,140	39,046	53,241	147,374	34,184	36,998	90,820	834	19,648	41,981	34,038	13,141	63,125	31,170	1,534	61,150	14,844	36,566	46,282	2,394	2,579	115,335	144,523	71,803	459	2,106	8,967	7,413	117,309	4,299	10,826
横浜	27,885	17,747	9,912	15,830	21,496	62,840	12,260	13,833	44,401	393	4,828	12,820	6,058	5,233	18,959	9,451	97	10,382	8,698	8,240	14,823	2,069	601	51,892	125,058	58,294	22,474	35,619	67,061	23,228	33,182	30,408	95,591
新潟	9,495	0	4,411	5,586	6,191	19,143	2,586	2,463	4,344	14	2,165	2,205	27	567	2,394	1,859	0	647	24	522	536	317	0	60	326	181	0	125	0	0	1,016	0	17
清水	8,813	2,955	1,065	1,668	2,557	6,711	1,603	1,526	3,839	17	3,368	7,667	11,369	3,516	12,760	5,386	86	3,320	2,253	7,583	11,402	536	957	8,143	12,080	6,179	1,033	1,929	0	1,670	22,031	1,642	5,126
名古屋	38,838	18,441	19,815	29,782	40,268	113,438	24,326	25,566	62,904	333	17,231	33,490	12,088	19,232	37,577	18,779	783	38,935	5,934	29,971	39,491	2,620	2,116	49,501	73,271	38,213	10,421	13,693	39,744	10,178	67,199	11,769	33,738
四日市	4,859	28	823	1,189	1,773	4,365	1,082	831	1,822	19	2,965	5,885	6,448	809	12,172	6,643	119	2,310	999	5,165	5,455	22	0	342	858	296	0	43	944	0	56	0	315
大阪	39,484	3,378	26,874	40,344	61,925	150,573	39,724	32,407	72,779	145	15,394	33,244	9,233	10,930	40,445	20,662	1,402	27,053	3,869	34,530	37,027	1,608	1,148	16,625	26,463	15,140	5,310	5,587	18,034	1,724	26,142	1,172	39,738
神戸	23,041	4,683	13,417	19,996	24,182	74,550	14,247	17,686	43,851	364	6,579	11,183	8,463	12,699	19,237	10,574	205	26,146	11,830	11,194	14,841	4,044	2,085	69,709	116,610	48,891	4,708	17,983	14,614	7,769	67,714	12,795	19,495
水島	3,793	0	730	994	1,189	3,753	540	580	1,526	0	1,429	2,141	2,026	1,602	1,786	1,023	0	994	500	3,320	4,493	21	27	221	350	121	0	0	868	0	24	0	98
広島	19,041	0	877	1,142	1,310	4,146	577	606	1,216	19	657	763	384	719	1,791	1,122	0	1,016	1,708	1,210	1,440	0	0	550	148	333	0	95	0	249	1,983	20	244
徳山下松	5,632	222	106	136	149	478	65	66	128	77	2,516	2,800	105	0	1,835	1,214	0	467	1,058	470	518	0	0	192	305	128	0	32	0	4	719	10	2,234
博多	17,824	1,858	2,862	4,184	5,850	15,310	3,414	2,842	7,670	49	2,718	5,815	2,682	14,356	20,213	11,645	214	5,620	980	7,130	8,054	1,180	289	8,460	16,441	7,638	0	2,958	2,117	1,222	9,374	350	4,071
北九州	10,128	579	5,043	7,340	9,887	26,972	5,887	5,566	13,198	20	3,544	6,607	2,382	1,515	8,481	4,699	94	3,129	1,170	7,521	8,516	327	63	972	1,252	702	4,767	1,553	179	262	2,472	4,431	3,021
志布志	115	0	33	68	142	448	80	114	307	1	67	153	3	27	1,218	272	0	33	286	0	231	0	0	1,781	3,454	1,128	0	226	0	0	48	0	5,588
那覇	1,265	0	105	270	470	1,336	239	256	1,719	103	242	2,617	1,201	160	453	168	1	387	372	0	970	0	0	4,916	4,418	1,722	341	25	0	75	282	21	1,618