

船舶寄港データベースに基づく コンテナ貨物配分モデルによる 世界主要港湾のトランシップ貨物量の推計

柴崎 隆一¹・東 俊夫²・渡部 富博³・鳥海 重喜⁴

¹正会員 (一財)国際臨海開発研究センター研究主幹 国際港湾政策研究所
(〒107-0052 東京都港区赤坂1-9-20 第16興和ビル北館)

E-mail: shibasaki@ocdi.or.jp

²正会員 (一財)国際臨海開発研究センター 国際港湾政策研究所長
(〒107-0052 東京都港区赤坂1-9-20 第16興和ビル北館)

E-mail: azuma@ocdi.or.jp

³正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 港湾システム研究室長
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail: watanabe-t2w3@ysk.nilim.go.jp

⁴非会員 中央大学助教 理工学部情報工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

E-mail: toriumi@ise.chuo-u.ac.jp

著者らはこれまで、コンテナ船社と荷主の双方の最適行動を考慮したコンテナ貨物の配分モデルを構築してきたものの、コンテナ船社のモデルにおいては、どちらかといえばネットワークの形成や船舶サイズを選択に焦点をあてたモデルとなっており、個々の船舶やループ単位での寄港ルート決定問題は扱っていなかった。

本研究では、全世界のコンテナ船の寄港状況が網羅されているMDSデータベース(2010年5月)から作成したループ単位での寄港リスト(船舶スケジュール)を所与としたうえで、全世界の年間コンテナ貨物輸送需要(OD貨物量)を、特定航路への集中の不経済を考慮しつつ個々のコンテナ船に配分・輸送するネットワークモデルを構築した。本モデルにより、全コンテナ船の寄港リストが与えられた際に各コンテナが積み替えられる(トランシップされる)港を再現することが可能となる。計算結果を現状の主要港湾におけるトランシップ貨物量と比較し、再現性がおおむね良好であることを確認した。このモデルは、今後コンテナ船の寄港リスト決定モデルを構築する際に荷主の行動を記述するモデルとして利用することが期待される。

Key Words : *transshipment cargo, container cargo shipping, assignment model, vessel movement*

1. はじめに

近年の世界経済のグローバル化や国際的な水平分業の進展に伴い、国際海上コンテナ輸送の重要性はますます増加している。世界各地域がより密接に関わり合う貿易が増加し、国際海上コンテナ輸送船社においても、より世界的な展開を追求するようになり、船社の合併やアライアンスの強化が進み、グローバル化および寡占化が進展している。

筆者らはこれまで、世界規模の国際海上コンテナ輸送市場を対象に、コンテナ船社と荷主の双方の最適行動を考慮したコンテナ貨物の配分モデルを構築してきた¹⁾²⁾。ここでは、大規模な国際海上輸送ネットワークへの適用

を念頭に置きながら、コンテナ船社のモデルについては、主にネットワークの形成や船舶サイズを選択に焦点をあてたモデルとなっており¹⁾、個々の船舶やループ(1つのサービスを形成する単位)ごとの寄港ルート決定問題は扱っていなかった。

具体的には、現状の各船社・アライアンスのループ単位の寄港データを基礎としながらも、これらのデータを(アライアンスを基礎にした)船社グループ・船舶サイズカテゴリ・発着港湾ペアで集計して構成された、仮想的なサービス・ネットワーク上での配分問題として取り扱うことにより、選択肢が膨大となる個々のループの配船問題(寄港地選択・船舶サイズ選択など)に立ち入ることを避け、大規模な実輸送ネットワークに対しても現

実的な計算時間で適用可能なモデルとなっている。このような取扱いにより、世界規模での国際海上コンテナ貨物流動を一定の精度をもって再現することや、荷主の船社選択や輸出入港湾選択行動を考慮した荷主と船社の計算可能な相互干渉モデル（ナッシュ均衡モデル）の構築が可能となる²⁾などというメリットが得られる一方で、個々の船舶や個別ループの配船問題には立ち入らないことから、船社の個別的な戦術をモデルで再現しているとはいえず、個別港湾を対象とした政策シミュレーション等を実施する際の精度が不十分になりがちであるという課題を抱えている。

一方で、個々の船舶や個別ループの配船問題といった、船社の個別戦術レベルのモデルはORの分野を中心に様々なモデルが提案されており（たとえば若干古いがこの分野のレビュー論文としてはChristiansen, et al.^{3),4)}などを、最近のこの分野の研究成果としてはAgarwal and Ergun⁵⁾やMeng and Wang⁶⁾などをあげておきたい）、最近の計算機性能の飛躍的な進歩とも相まって、将来的には、船社の個別戦術レベルも精緻に再現した上で、筆者らがこれまでに構築したモデルのような特長も有する、大規模な国際海上コンテナ貨物のシミュレーション・モデルが構築可能になると予想される。

そこで本研究では、個々の船舶や個別ループの配船問題といった個別戦術レベルの船社モデルの構築はひとまず脇に置き、そのアウトプットの代わりとして現状の全世界のコンテナ船動静データ（各船社・アライアンスのループ単位の寄港データ）をそのまま所与の海上輸送ネットワークとして与え、荷主の立場から各ループへコンテナ貨物の配分を行い、各ループの輸送量や各港の取扱量（トランシップ貨物量）などを出力するモデルを構築するものである。このように各コンテナ船の詳細スケジュール（といってもデータの性格上具体的な寄港日時は入手できない）を与えたモデルを構築することにより、筆者らの従来モデルよりコンテナ輸送量や港湾取扱量の再現精度が改善されるかが焦点となる。なお、このように全世界のループ単位の寄港データをそのままネットワーク化しコンテナ貨物を配分したモデルを構築した研究は、筆者の知る限り他に存在しない。

2. モデル

(1) 基本構成

前章で述べたとおり、本モデルは、各船社の各ループのスケジュール（ネットワーク）を所与として、輸送需要（OD）固定の荷主が、利用するループを選択する問題である。

構成されるネットワークのイメージを図-1に示す。各ループの寄港順に港湾同士が海上輸送リンクで結ばれる

だけでなく、港湾内の流動もネットワークを構成する各リンク上の流動として表現される。当該港で積卸荷役を行う場合は、それぞれ船卸リンク、船積リンクを経由する。一方船内にとどまる場合は接岸リンクを経由する。これらのリンクは各船社・各ループごとに用意される。同一の船社の異なるループが同じ港湾に寄港する際は、船社別に設定された積替（トランシップ）リンクを経由することでコンテナの積替が可能になる。各コンテナは当初から発港と着港（OD）が固定されており、最初に利用船社が選択された後は、途中の港湾で船社を跨ぐ積替は行われないものと想定する。

本モデルでは、各コンテナ（を有する荷主）は、発港から着港までの総輸送時間（港湾での荷役時間、サービス頻度に関係する期待待ち時間、および海上航行時間の合計）が短くなるように船社およびループを選択するものと想定する。ここでモデル簡略化のため、運賃は考慮しない。これは、国際海上コンテナ貨物輸送市場においては、輸送船社の数が限られた寡占市場ではあるものの、船腹供給量を競うクルノー均衡を想定するにせよ運賃を競うベルトラン均衡を想定するにせよ、結果として各船社において同じODのコンテナに対しては運賃が同一になるとの想定もふまえている。なお、運賃も含めた配分モデルの構築についても既に検討は行っているものの、別稿に譲る。

各ループは投入された船腹量に応じたキャパシティ（供給能力）が存在するため、特定ループへの過度の貨物の集中は、船舶遅延や積み残しなどの規模の不経済（混雑）を招く。このことから、海上輸送リンクにおける混雑を考慮した、ネットワーク均衡配分（利用者均衡配分）手法を用いてコンテナの配分を行う。すなわち、Wardropの第1法則に基づき以下のように問題を定義する。

$$\min_x z(x) = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(x_a) dx \quad (1)$$

$$\text{s.t. } x_a = \sum_{(r,s) \in O \times D} \sum_{k \in K_{rs}} \delta_{a,k}^{rs} \cdot f_k^{rs} \quad \forall a, \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} - q_{rs} = 0 \quad \forall r, s, \quad \text{and} \quad (3)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad \forall k, r, s. \quad (4)$$

ここで、 a : リンク、 A : リンク集合、 x_a : リンク a のフロー、 $t_a(\cdot)$: リンクコスト関数、 $z(\cdot)$: 目的関数、 r : 貨物の発生港、 s : 貨物の目的港、 O : 発生港の集合、 D : 目的港の集合、 k : 経路、 K_{rs} : OD ペア rs の経路集合、 $\delta_{a,k}^{rs}$: クロネッカーのデルタ（リンク a が経路 k に含まれるとき 1、そうでないとき 0）、 f_k^{rs} : 経路 k のフロー、 q_{rs} : r 港から s 港までの貨物輸送需要である。

以下では、各リンクのコスト関数について説明する。

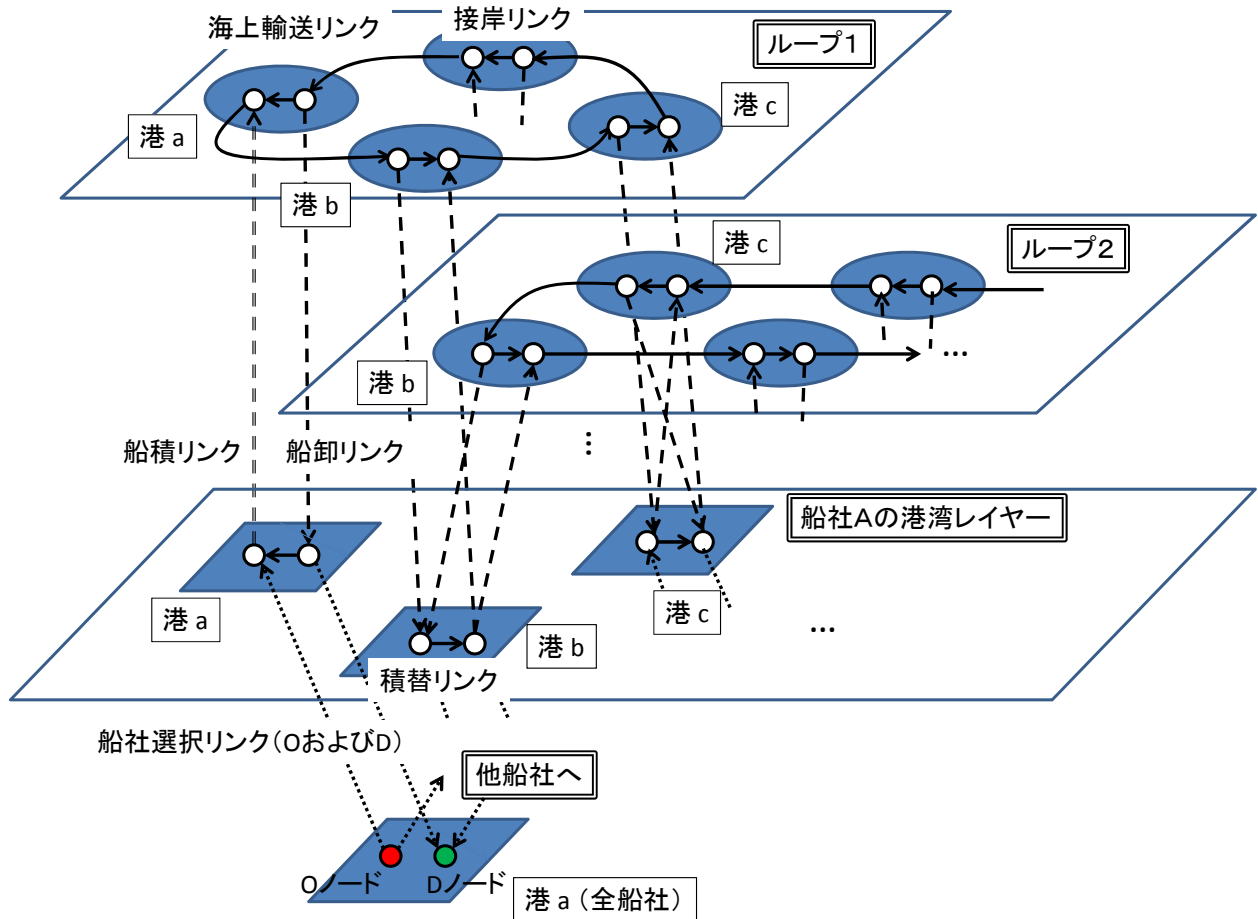


図-1 本モデルにおけるネットワーク構成のイメージ

(2) リンクコスト関数の設定

a) 海上輸送リンク

前節で述べたように、各リンクのコスト関数では、時間のみが考慮される。海上輸送リンクにおいては、以下に示すように海上航行時間および混雑が考慮される。

$$t_m(x_a) = \frac{l_a}{v_a} + TW_a \cdot b1 \left(\frac{x_a}{cap_a \cdot freq_a} \right)^{b2} \quad (5)$$

ここで、 t_m : 海上輸送リンクのコスト (hour)、 x_a : リンク a のコンテナフロー (TEU/年)、 l_a : リンク海上距離 (カイリ)、 v_a : 船速 (ノット)、 a : 当該リンクの起点港における船積リンク、 TW_a : 船積リンク a において船積みされる貨物の出航までの期待待ち時間 (hour)、 cap_a : 当該ループに投入されているコンテナ船の平均船腹量 (キャパシティ) (TEU/隻)、 $freq_a$: ループのサービス頻度 (隻/年)、 $b1, b2$: 混雑関数に関する未知パラメータである。

(6)式の第1項は海上航行時間を表している。第2項は混雑に伴う遅れ時間が表現されている。混雑は、当該区間の出発港で荷役に時間がかかり出発が遅延したり、船積みされる予定だった貨物が積み残され、次船まで待たされるというリスクを念頭に、出発港で船積される貨物

について通常課される出航までの期待待ち時間 TW_a に、当該区間の平均消席率 (ロードファクター)

$x_a / (cap_a \cdot freq_a)$ に関する混雑関数を乗ずることで定義

する。ここで、 TW_a は以下のように定義される。

$$TW_a = \frac{1}{2} \cdot \frac{YH}{freq_a} \quad (6)$$

なお、 YH : 年・時間換算係数 (8,736 時間/年) である。

$YH/freq_a$ は、当該ループの平均間隔 (hour) を表しており、出航までの期待待ち時間はその半分で定義する。

b) 船積リンク

船積リンクのコスト t_l (hour) は、船積荷役に要する時間および出航までの期待待ち時間の和で表される。

$$t_l(x_a) = TL_a + TW_a \quad (7)$$

ここで、 TL_a : 船積荷役に要する時間 (hour) である。

c) 船卸リンク、接岸リンク、積替リンク

各リンクのコストは以下で表される。

$$t_u(x_a) = TU_a \quad (8)$$

$$t_n(x_a) = TN_a \quad (9)$$

$$t_r(x_a) = TR_a \quad (10)$$

ここで、 t_i : 船卸リンクのコスト (hour) , t_r : 接岸リンクのコスト (hour) , t_c : 積替リンクのコスト (hour) , TU_a : 船卸荷役に要する時間 (hour) , TN_a : 接岸時間 (hour) , TR_a : 積替に要する時間 (hour) である。

d) 船社選択リンク

前項で述べたように、本モデルにおいて積替 (トランシップ) は同一船社内のみ認め、船社間の積替は認めないものとする。このため、船社選択リンクのコスト t_c (hour) は船社間積替の発生を防ぐに十分な大きさの値にする必要がある。

$$t_c(x_a) = SLN \quad (11)$$

ここで、 SLN : 十分に大きな値 (ここでは 10000 時間とする) である。

(3) 解法

フロー・ディペンデントなコスト関数 (海上輸送リンク) をもつ通常の利用者均衡 (UE) 配分問題であることから、通常の Frank-Wolfe アルゴリズムを用いて解を得る。なお、筆者らの既存モデル¹⁾と異なり、フローの逆関数 (規模の経済性) を有するリンクコストも存在しないため、唯一解が得られることが保証されており、局所解を得るために初期フローを用意する必要もない。

3. 使用データ

(1) 対象港湾

モデルは、原則として 2010 年時点のデータに基づき構築するものとする。

基本的な方針としては、2010 年時点で内貿コンテナや空コンテナを含め年間取扱量が 50 万 TEU を超える全港湾を対象とする。CI-Online⁷⁾によれば、2010 年のコンテナ取扱量が 50 万 TEU を超える港湾は全世界に 155 港存在する。これに、以下に示すような多少の増減を加える。

- ① 本モデルで使用する船舶動静データベース (MDS データベース、詳細は次節参照) において寄港データがほとんど存在しない中国の 3 港 (Taichang : 2010 年のコンテナ取扱ランキング 56 位, Nanjing : 93 位, Zhangjiagang : 105 位) を除く。これらの港湾は、内貿コンテナが中心と推測される。
- ② 中国の Shenzhen (深セン : 4 位) は塩田ターミナル (Shenzhen-Yantian) と蛇口ターミナルをはじめとする珠江デルタ各ターミナル (Shenzhen-Shekou) に分

割する。分割の理由は、どちらも取扱量が非常に大きく無視できないターミナルであるうえ、塩田ターミナルのみ香港 (Hong Kong : 3 位) の東 (東シナ海沿岸) に位置しており、香港との位置関係が異なる (寄港順に影響する) ためである。なお、ターミナルごとの取扱量は中国港口年鑑等で把握できる。

- ③ 互いに非常に近接していたり、同一市内に位置する港 (Singapore : 2 位と Jurong : 119 位, パナマの Puerto Manzanillo : 71 位と Cristobal : 123 位, エジプトの Alexandria : 113 位と El Dekheila : 124 位, ウクライナの Odessa : 191 位と Illichivsk : 204 位) は同一港とみなす (順位の高い方で代表させる)。
- ④ 中国の福州 (Fuzhou) , 台湾の台中 (Taichung) , 英国のロンドン (Tilbury および Thamesport) , ガーナの Tema (Tema) , ナイジェリアのラゴス (Lagos, Apapa, および Tin Can Island) は CI-online 上で 2010 年の取扱量が不明であるものの、前年取扱量や他の情報源から 2010 年の取扱量が 50 万 TEU を超えていると想定されることから、本モデルの対象とする。以上より、最終的に、対象港湾は 156 港となった。リストを付録の表-A1 に示す。

また、各港の船積荷役時間 TL_a 、船卸荷役時間 TU_a 、積替時間 TR_a は、簡便化のため、全港湾・船社・ループ共通でそれぞれ 48 時間、24 時間、12 時間とした。筆者らの既往モデル構築時に収集したデータなどを元にすればもう少し細かい設定も可能ではあるものの、今回はモデルの振る舞いを確認することが主目的であることから、あえて港湾によるサービス時間の差別化は行わないこととした。

(2) 船舶動静 (ループ) データ

ネットワークデータの元となる船舶動静データは、筆者らの既存の研究と同様に MDS Transmodel Inc. が提供する MDS containership databank データ⁸⁾ (以下 MDS データ) を使用する。このデータは、各コンテナ船ごとに、船名、IMO 番号、運航船社、共同運航船社、スロットチャーター船社、MDS 定義による航路分類、寄港地リスト (寄港順)、年間サービス頻度、船腹量 (TEU ベース)、トン数 (DWT)、船速などが収録されている。データサンプルを表-1 に示す。なお、輸送実績 (ロードファクター等) や具体的な入港日時は収録されていないことに注意が必要である。MDS データは、一部に不完全なデータはあるものの、他の動静データ (IHS Fairplay 等、1 行につき 1 movement のデータ) と異なり、各コンテナ船の寄港地が整理され、共同運航やスロットチャーターの関係も整理されており、航路サービス (ループ) ごとの集計・分析が可能である点が特徴となっている。

表-1 MDSデータベースのデータサンプル

IMO	NAME	FNAME	ROUTE	ROUTE	AROUTE	SERVICE	VESSEL	PARTN	ALLIANC	SLOT	OPERATOR	CORP
7607247	KARUNIA JAYA I	INDUNA	74	41	SING/INDO	OK SHPP	4	-	-	-	OK SHPP	CAYAHA SAMUDER
7602756	BREANT	-	41	21	GER/FIN	STELLA LINES - GE	1	-	-	-	STELLA LINES	STELLA LINES
7120720	ANJA FUNK	LEVER	41	21	EUR/LAT/RUS	AHLERS	1	-	-	-	AHLERS	AHLERS
7116834	RIO MAGDALENA	ARGOSY	29	16	USEC/C AM	HYSEA SHPP	1	-	-	-	HYSEA SHPP	HYSEA SHPP
7027722	HALCON DEL MAR	LORELEI	34	61	VEN COASTAL	CABOVEN - 1	1	-	-	-	CABOVEN	KING OCEAN

SERV	OWNER	BENOWN	BOWNER	FLA	TE	TYF	DW	SPEE	YEA	UPDATE	PORT
208	KARUNIA TIRTA BUANA OK SHPP	SING	INDO	115	FC	2555	12	1977	2007/9/4	SNG/JAK/SUR/SEM/SNG	
52	LILLGAARD	LILLGAARD	FIN	UK	262	RR	3328	13.5	1979	2007/12/5	BMN/HMB/KTK/BMN
28	ARABELLA ENT	-	-	PAN	172	SC	3570	15	1971	2001/5/22	ROT/ANT/RIG/SPB
12	MALGRAT DE MAR COR	HYSEA INVEST	US	PAN	181	BB	2500	14.5	1972	2009/1/29	PMT/PCT/STM/PMT
52	AQUILLA SHPP	KING OCEAN	US	VEN	124	FC	2210	15.5	1970	2006/7/6	PCB/MCB/PCB/LGR/GUT/ELG/PCB

表-2 世界のコンテナ船社トップ 20 (2010年現在)

No	グループ	グループ名 (船社名)	所属アライアンス	グループ所属船社	年間就航船 腹量* (2010 年, 1000 TEU)	世界シェア
1	Group A	Maersk	-	Maersk Line, Norfolkline Ferries, Safmarine Container Lines, MCC Transport, Mercosul Line	16,199	10.7%
2	Group B	MSC	-	Mediterranean Shipping Co (MSC)	13,353	8.8%
3	Group C	CMA-CGM	-	CMA-CGM, ANL Container Line, China Navigatrion Co.(CNC Line), Campagne Marocaine de Navigation (Comanav), Delmas, MacAndrews, Gemartrans, OT Africa Line, US Lines	9,441	6.3%
4	Group D	Evergreen	-	Evergreen Marine, Italia Marittima (LT), Jatsu Marine	5,408	3.6%
5	Group E	Hapag-Lloyd	Grand Alliance	Hapag-Lloyd, CP Ships	3,538	2.3%
6	Group F	APL	New World	APL	4,016	2.7%
7	Group G	CSAV	-	CSAV (Compania Sud Americana de Vapores), CSAV Norasis Liner Services	2,548	1.7%
8	Group H	Cosco	CKYH	Cosco Container Lines, Shanghai Panasia	5,387	3.6%
9	Group I	Hanjin	CKYH	Hanjin Shipping, Senator Lines	3,062	2.0%
10	Group J	CSCL	-	China Shipping Container Lines (CSCL), Shanghai Puhai	3,094	2.0%
11	Group K	MOL	New World	Mitsui-OSK Lines, Meimon Taiyo Ferry, Shosen Mitsui Ferry	3,395	2.2%
12	Group L	NYK	Grand Alliance	Nippon Yusen Kaisha (NYK), Tokyo Senpaku Kaisha (TSK), NYK-Hinode Line, NYKLauritzenCool, Kinkai Yusen	2,806	1.9%
13	Group M	OOCL	Grand Alliance	Orient Overseas Container Line (OOCL)	3,376	2.2%
14	Group N	Hamburg-Sud	-	Hamburg-Sud, Alianca Transportes Maritimos, Crowley Liner Services, Ybara y Cia Sudamerica	3,199	2.1%
15	Group O	K-Line	CKYH	Kawasaki Kisen Kaisha, Kawasaki Kinkai Kisen Kaisha	3,172	2.1%
16	Group P	Yang Ming	CKYH	Yang Ming Marine Transport Corp, Kuang Ming Shipping	2,962	2.0%
17	Group Q	ZIM	-	Zim Integrated Shipping Services, Gold Star Line, Laurel Navigation	2,019	1.3%
18	Group R	HMM	New World	Hyundai Merchant Marine	2,442	1.6%
19	Group S	PIL	-	Pacific International Lines (PIL), Advance Container Line, Pacific Direct Line Ltd	2,185	1.4%
20	Group T	UASC	-	United Arab Shipping Co (UASC)	1,021	0.7%
その他船社					58,409	38.7%
合計					151,033	100.0%

*MDSデータに基づき筆者ら推計

このデータをループ単位で集計し、図-1に示した海上輸送ネットワークを構築する。また、ループごとの平均船速 v_a (ノット) や平均船腹量 (キャパシティ) cap_a (TEU/隻) , 年間サービス頻度 $freq_a$ (隻/年) も MDS データから得る。

集計の具体的な手順を以下に示す。

a) 共同運航・スロットチャーターにおける各船社へのキャパシティの分割

当該サービスが複数の船社による共同配船で行われている場合や、配船に参加しない船社がスロットチャーターを行っている場合でも、予め当該ループにおける各船社の1隻あたりキャパシティを以下のように定め、船社間のスペースの事後的な融通は行わないものとする。すなわち、同じ船に複数船社の貨物が相乗りしている場合でも、コスト関数は個別に計算し、混雑に起因する追加的所要時間 (5式第2項) は船社によって異なるものとする。これは、モデル計算の便宜上置く仮定であるものの、各船社が貨物需要に応じてスペースを自由に融通し合うと仮定するよりは実際的であるとの考えに基づいている。

当該サービスが複数の船社による共同配船で行われている場合は、どの船社が実際に運航しているかに関わらず、当該船舶に (実際の運航船社を含め) 共同運航と記載のある船社の数で当該船舶の船腹量を均等に分割し、これをループごとに集計して1隻あたりの平均船腹量を算出する。また、スロットチャーターの場合は、共同運航船社の半分のスペースを確保する (0.5 社分) と仮定して同様に分割する。たとえば、当該運航船社ほか3社の共同運航、その他に2社がチャータースロットを行っている場合は、運航船社および共同配船船社は1隻のキャパシティの各20%、スロットチャーターの船社は各10%のキャパシティを予め割り振る。

このようにして MDS データから得られた船社別・ループ別の船腹量を、世界のコンテナ船社上位20社 (保有船腹量ベース) について船社ごとに集計した結果を表-2に示す。表の船社は2010年の保有船腹量の順に並べられており、以上の方法によって推計した就航船腹量と若干順位が異なることがわかる。この原因としては、上記推計方法による誤差の他に、保有船舶の稼働率も影響しているものと思われる。

以降のモデル計算では、このようにして抽出した上位20船社のみを計算対象とし、これらの船社が1社も参加していない航路 (ループ) や、上位20社以外の船社の船腹量については無視する。これは、本研究においては、世界的なコンテナ荷動きや大規模トランシップ港での積替にフォーカスしたモデルを構築することを念頭に、計算の簡便化を目的として行うものである。この結果、

MDS データ (2010年5月) に収録されている2857ループのうち、本モデル計算の対象となるのはおよそ1/3の988ループにとどまる。ただし、表-2に示した通り上位20社の船腹量は全体の6割を超えており、また基幹航路とよばれる世界の主要航路はすべて含まれていると考えてよい。いずれにせよ、以上で置いた仮定については、計算結果の考察の際に十分留意する必要がある。

b) モデル非対象港の除外とネットワークの作成

各ループにおいて前節で定義したモデル対象156港以外の寄港地を削除する。また、MDSデータの寄港リストの最初と最後の港湾名が異なる場合は、当該リストが寄港順に示されていない可能性も考えられるものの、ここでは港湾の掲載順に寄港し、最後はリスト先頭の港湾に戻るものとみなす。このようにして対象港湾が2以上含まれないループを除いた結果、ネットワーク構築の対象となる航路は770ループとなった。

ここで、前述のように MDS データは具体的な寄港日時に関する情報を含んでいないため、トランシップ港での複数ループの接続について考慮できない。すなわち、トランシップ後の出航までの期待待ち時間 TW_a も、当該港を発地港とする貨物と同じ(6式で定義されるもの) とする。同様に、接岸時間 TN_a についても港湾、船社、ループに関わらず12時間と仮定する。

c) ネットワーク作成の例外

以上で一般的なループのネットワーク・データ作成手順を示したものの、以下の2つの特徴を有するループについては注意を要する。

①同一ループにおいて2回以上同じ港に寄港するケースの取扱い

この場合、同一の港に複数回寄港する場合でも、寄港順を保持するために船卸・船積・接岸リンクは別々に設定するものとする (図-2)。

②同一ループにおいて複数の寄港ルートが存在するケースの取扱い

いくつかのループ (航路) においては、主要港以外の寄港ルートが複数存在するケースがある。この場合のネットワークは、図-3に示すように途中で海上輸送リンクが分岐するように構成される。この場合、分岐後の各リンクのサービス頻度 $freq_a$ は分岐前の頻度 $freq_a$ とは異なる。このため、分岐後の各港 (図-3中のb, c, d港) において船積みされる貨物の期待出港待ち時間 TW_a は、分岐前 (a港) および再集約後 (e港) の港湾における期待出港待ち時間 TW_a と異なる。同様に、分岐後の各港 (b, c, d港) で船卸される貨物についても (たとえ分岐前の港湾で船積みされた貨物であっても) 期待出港待ち時間は TW_a となるため、分岐後の各港における船卸り

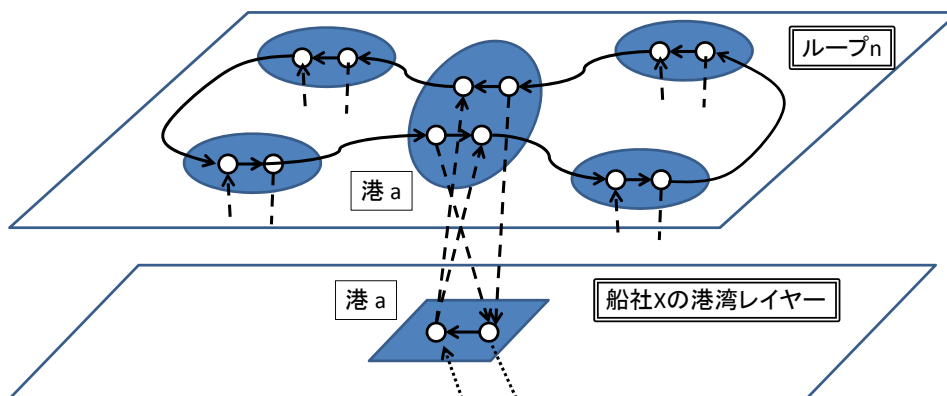


図-2 本モデルのネットワーク構成 (2) 1つのループで同一港湾に複数回寄港する場合の取扱い

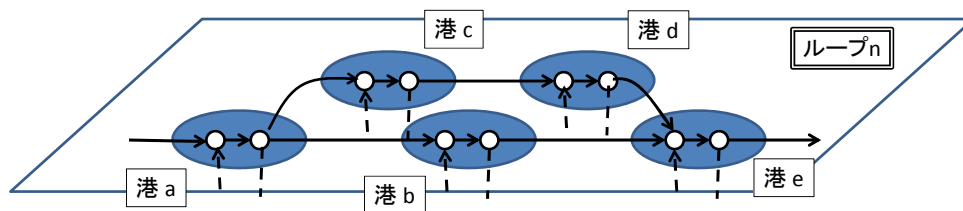


図-3 本モデルのネットワーク構成 (3) 1つのループが複数のルートに分かれる場合の取扱い

リンクコストにおいてその差分 ($TW_a - TW_a$) を調整する。すなわち、これらの港湾における船卸リンクのコスト式 (8)は

$$t_u(x_a) = TU_a + \frac{1}{2} \cdot YH \cdot \left(\frac{1}{freq_a} - \frac{1}{freq_{a'}} \right) \quad (8)$$

と書き直される。

(3) 港湾間距離データ

対象各港湾間の海上距離 l_a (カイリ) については、鳥海⁹⁾で構築した海上輸送ネットワーク上にこれまで含まれていなかった港湾を追加したうえで、最短経路探索を行った結果を用いる。

なお、これも鳥海⁹⁾で構築した当該海上輸送ネットワークの動画表示システムに、MDS データに基づく仮想コンテナ船舶動静データを入力した結果のサンプルを図-4に示す。

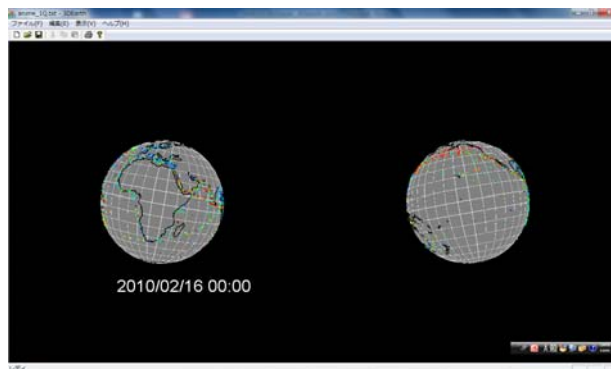


図-4 MDS データに基づくコンテナ船舶動静の動画表示サンプル

(4) コンテナ輸送需要データ (ODデータ)

港湾 r から s までのコンテナ貨物輸送需要 (OD 貨物量) q_{rs} は以下の手順で推計する。

a) 国・地域間コンテナOD

国・地域間 OD 貨物量は IHS 社によって提供されている Global Trade Navigator (GTN) データ¹⁰⁾を基本とする。GTN データベースでは、2010年時点の世界 84 カ国・地域間の海上コンテナ貨物 OD 表 (TEU ベース) が入手できる。これを、以下の加工プロセスのため 46 カ国・地域に集約する。例として、日アセアン間のコンテナ貨物流動を図-5に示す。

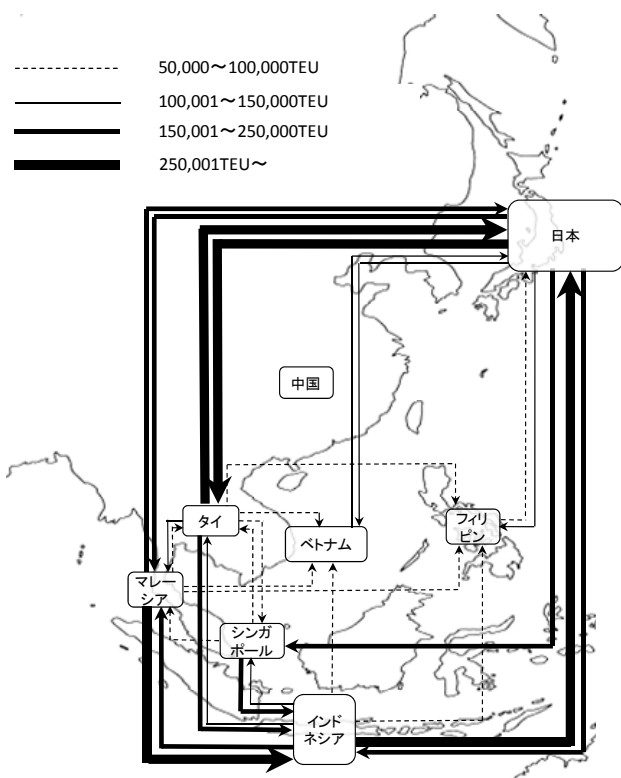


図-5 日・アセアン間のコンテナ貨物流動 (OD 貨物量) (2010年)

b) CI-onlineデータによる補正

①上記 a)の GTN データ¹⁰⁾の国・地域別コンテナ貨物量集計値と②(1)の CI-Online⁷⁾から得られる各港湾コンテナ取扱量の国・地域別集計値を比較すると、後者のデータからトランシップ貨物量や内貿コンテナ・空コンテナ貨物量を除いたとしても非常に差異が大きい(付録の表-A2 参照)。ここで、前述のトランシップ貨物量や内貿コンテナ・空コンテナ貨物量は、Drewry Maritime Research¹¹⁾による推計値を用いる。後者のデータ(②)の方が CI-Online⁷⁾と Drewry Maritime Research¹¹⁾という2種類のデータを組み合わせており、また様々な仮定(個別データの無い場合は、同一地域内の国・港湾で同じ内貿コンテナ率や空コンテナ率を用いるなど)を置いているにもかかわらず、筆者らは、これらのデータベースが海上コンテナ輸送を直接対象とした調査研究に基づいて構築されていることから、貿易統計をベースにしていると考えられる前者の GTN データ(①)よりも、海上コンテナ輸送に関するデータベースとしてはより信頼性が高いと考えている。

このため、a)の国・地域間コンテナ OD を、②の CI-Online⁷⁾と Drewry Maritime Research¹¹⁾データから得た国・地域別コンテナ取扱量(輸出入・実入り)集計値をコントロールトータルとして、フレーター法により補正し、新たな国・地域間コンテナ OD 表を作成する。

c) 港湾ベースODへの分割

上記 b)の国・地域間コンテナ OD 表を、当該国・地域内の各港湾のコンテナ取扱量シェア(輸出入・実入り)で比例配分することで、港湾間コンテナ OD 表を作成する。ただし、OD 作成の対象としているのは国際コンテナのみである(GTN データは国際貿易のみを対象としている)ため、同一国の港湾間の OD 貨物量はゼロとなることに注意が必要である。すなわち、b)で作成した OD 表において同一地域内の OD 貨物量がゼロでない場合でも、すべて当該地域の他国間同士の OD 貨物量として比例配分する必要がある。

d) モデル非対象船社の輸送分担分の除外

このモデルではコンテナ船の供給量に応じた混雑を考慮するため、船腹供給量とコンテナ輸送需要のバランスが重要となる。このことから、表-2 に示したモデル対象上位 20 船社以外の中小船社により輸送される分の貨物需要を、予め除外しておく必要がある。

すなわち、MDS データに基づき、モデル対象各港への入出港船腹量を船社別に集計し、モデル対象全船社の合計シェアを算出する。これを c)で得た港湾間コンテナ OD 表の港湾別集計値(輸出入別港湾取扱量)に乗じた値をコントロールトータルとして、c)で得た港湾間コンテナ OD 表を初期値としたフレーター法により、モデル対象船社のみを対象とした新たな港湾間コンテナ OD 表を作成する。

4. モデル計算結果

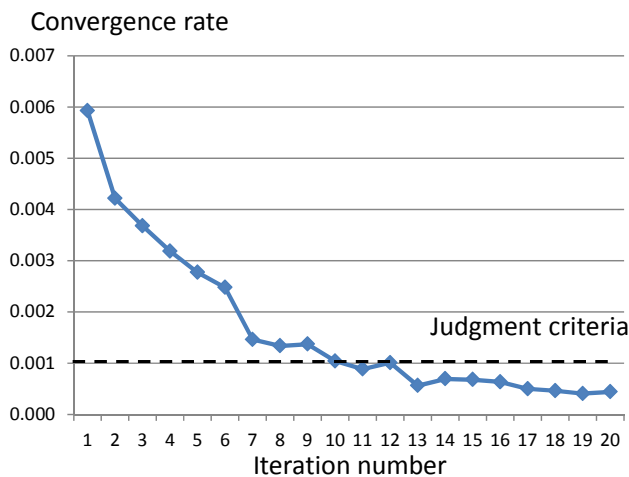
(1) 未知パラメータの推計

2. で示したモデルには、(5)式の混雑関数に2つの未知パラメータ b_1, b_2 が含まれる。これらの未知パラメータは、推計結果が現状を最も良く再現するように推定される。ここでは、モデルの再現性チェックの指標として、主要港におけるトランシップ率(トランシップ貨物量/コンテナ取扱量)を用いる。すなわち、

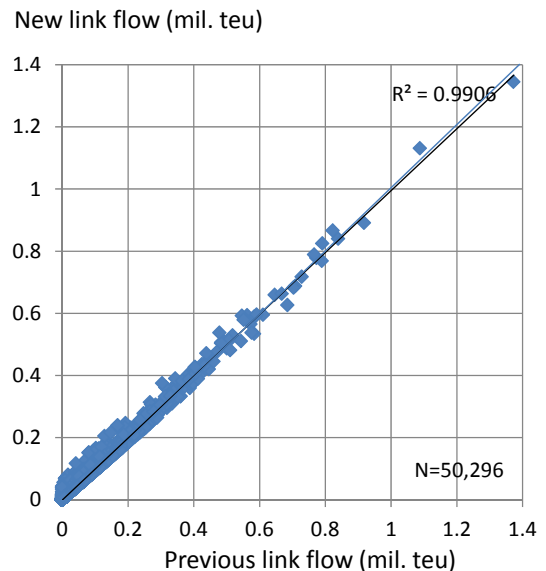
$$\min_{b_1, b_2} z' = \sum_{p \in P} (\hat{R}_p - R_p)^2 \quad (12)$$

ここで、 z' : 目的関数、 p : 港湾、 P : 港湾の集合(Drewry Maritime Research¹¹⁾に個別値が示されている港湾のみを対象)、 R_p : トランシップ率(実績)、 \hat{R}_p : トランシップ率(モデル推計値)である。

具体的には、未知パラメータは再急降下法により求める。ここで目的関数 z' の1階微分を解析的に解くのが難しいため、各パラメータを各々独立に微小変化させた場合の目的関数の変化に基づき降下方向を決定する。50 回近くの繰り返し計算の結果、両パラメータは $(b_1, b_2) = (2.309, 1.017)$ と推計された。推計された b_2 が



a) 繰り返し計算回数と収束率



b) 収束基準値前後の収束計算（左図の第10回および第11回）
におけるリンクフローの変動状況

図-6 モデル収束の確認

なり1に近いことから、混雑関数（ロードファクターの増加による所要時間増加の割合）はほぼ線形であることがわかる。また、推計された bl が2を若干上回ることから、満載状態（ロードファクター100%）においては運航間隔（期待出航待ち時間の2倍）を若干上回る時間だけ混雑によって割り増されることがわかる。すなわち、およそ次の船まで待たされる時間分が割り増される結果となっており、パラメータ推計値の妥当性が伺える。

(2) 収束状況の確認

前節で推計されたパラメータのもとで繰り返し計算を行った際のモデルの収束状況を図-6に示す。ここで、各回（iteration）の計算時間は、Intel(R) Core(TM) i5-2520M CPU (2x2.50 GHz)および4.00 GB RAMのノートPCで90～120秒程度であった（なお、ネットワークの走リンク数は50,296本である）。図-6a)に示すように、収束速度はやや遅く、繰り返し計算回数10回前後で基準値（ 10^3 ）を下回る。また、収束基準値を初めて下回ったとき（繰り返し計算回数11回目）のリンクフローの、1回前の計算結果との比較を図-6b)に示す。概ね収束していると判断される。

(3) モデル再現性

(1)の未知パラメータ推計でも用いた、主要港（個別値が掲載されている港湾＝2010年トランシップ貨物量が100万TEUを超える港湾）におけるトランシップ率の実績値とモデル推計値の比較を、図-7に示す。

図より、いくつかの例外を除き、シンガポール、ロッテルダム、上海などを含む主要港のトランシップ率はお

おむね良好に再現されていることがわかる。最も大きな相違は中国の連雲港（Lianyungang）であり、トランシップ率の推計値がゼロとなっている。また、香港における実績値と推計値の相違も大きい。これらの港では、トランシップ貨物の定義が本研究の定義と若干異なることも相違の原因の一つとしてあげられる。すなわち、連雲港においては、鉄道に積み替えられチャイナランドブリッジ経由で中央アジア方面へと運ばれる（またはその逆方向の）コンテナもトランシップとしてカウントされている可能性がある。また、香港においても、実質的にはトランシップ貨物であるものの統計上は「再輸出」にカウントされトランシップ扱いとならない貨物が、トランシップ貨物と同程度の量存在する。その他再現性が比較的悪い港湾についても、同様の原因が存在しないか今後さらに検討していきたい。

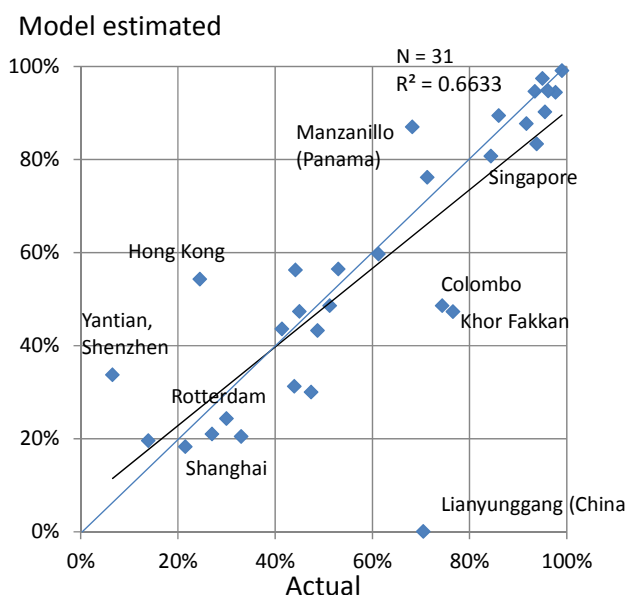


図-7 モデル再現性の確認：主要港におけるトランシップ率の実績値と推計値の比較

5. おわりに

本稿では、全世界のコンテナ船の寄港状況が網羅されているMDSデータベース（2010年5月）から作成したループ単位での寄港リスト（船舶スケジュール）を所与と

したうえで、全世界の年間コンテナ貨物輸送需要（OD貨物量）を、特定航路へのコンテナの集中による不経済（混雑）を考慮しつつ個々のコンテナ船に配分・輸送するネットワークモデルを構築した。本モデルにより、全コンテナ船の寄港リストが与えられた際に各コンテナが積み替えられる（トランシップされる）港を再現することが可能となる。計算結果を現状の主要港湾におけるトランシップ貨物量と比較し、再現性がおおむね良好であることを確認した。

本稿においては、議論の見通しをよくする目的もあり、各ODペアに対する運賃はどの船社とも同一と仮定し、所要時間のみでネットワーク均衡配分を行うモデルを構築した。今後は、筆者らによる既存のモデル²⁾と同様に、運賃（輸送価格）の決定メカニズムも内包した配分モデルを構築する予定である。また、1.で述べたように、本稿では、船社の行動モデルはひとまず脇において、各船社の配船スケジュールを所与とするところから出発しているものの、港湾政策の評価などのためには船会社の行動を内生化するか、もしくはできる限り蓋然性のある代替案を客観的に列挙する必要がある。船社の配船スケジュール決定に関する知見を蓄積していきたいと考えている。

付録

表-A1 本モデルの対象港湾および取扱量・トランシップ貨物量

No	港湾名	国/地域	GTN データによる地域区分	2010年取扱量 (1000TEU)	2010年トランシップ取扱量 (1000TEU)	トランシップ率
1	Tokyo	Japan	Japan	4,285	689*	16.1%*
2	Yokohama	Japan	Japan	3,281	528*	16.1%*
3	Nagoya	Japan	Japan	2,549	410*	16.1%*
4	Osaka	Japan	Japan	1,980	318*	16.1%*
5	Kobe	Japan	Japan	2,556	411*	16.1%*
6	Hakata	Japan	Japan	749	120*	16.1%*
7	Busan	South Korea	South Korea	14,194	6,272	44.2%
8	Gwangyang	South Korea	South Korea	2,085	335*	16.1%*
9	Incheon	South Korea	South Korea	1,903	306*	16.1%*
10	Dalian	China	China	5,242	843*	16.1%*
11	Yingkou	China	China	3,338	537*	16.1%*
12	Tianjin/Xingang	China	China	10,080	1,621*	16.1%*
13	Qingdao	China	China	12,012	1,931*	16.1%*
14	Lianyungang	China	China	3,870	2,728	70.5%
15	Shanghai	China	China	29,069	6,263	21.5%
16	Ningbo	China	China	13,144	1,830	13.9%
17	Fuzhou	China	China	1,223 (2009)	197*	16.1%*
18	Quanzhou	China	China	1,051	169*	16.1%*
19	Xiamen	China	China	5,820	936*	16.1%*
20	Shenzhen (Yantian)	China	China	10,134	662	6.5%
21	Shenzhen (Shekou,	China	China	12,376	5,123	41.4%

	Chiwan, Dachan Bay)					
22	Guangzhou (Nansha, Huangpu)	China	China	12,550	6,119	48.8%
23	Hong Kong	Hong Kong	Hong Kong	23,699	5,808	24.5%
24	Keelung	Taiwan	Taiwan	1,963	316*	16.1%*
25	Taichung	Taiwan	China	1,193 (2009)	192*	16.1%*
26	Kaohsiung	Taiwan	Taiwan	9,181	4,866	53.0%
27	Manila	Philippines	Philippines	3,155	507*	16.1%*
28	Davao	Philippines	Philippines	524	84*	16.1%*
29	Haiphong	Vietnam	Vietnam	954	91*	9.6%*
30	Ho Chi Minh	Vietnam	Vietnam	3,856	369*	9.6%*
31	Cai Mep/Vung Tau	Vietnam	Vietnam	512	49*	9.6%*
32	Laem Chabang	Thailand	Thailand	5,068	485*	9.6%*
33	Bangkok	Thailand	Thailand	1,453	139*	9.6%*
34	Pasir Gudang	Malaysia	Malaysia	876	84*	9.6%*
35	Tanjung Pelepas	Malaysia	Malaysia	6,530	5,988	91.7%
36	Port Klang	Malaysia	Malaysia	8,872	5,437	61.3%
37	Penang	Malaysia	Malaysia	1,106	106*	9.6%*
38	Singapore/Jurong	Singapore	Singapore	29,179	24,631	84.4%
39	Tanjung Perak (Surabaya)	Indonesia	Indonesia	2,427	232*	9.6%*
40	Tanjung Priok (Jakarta)	Indonesia	Indonesia	4,613	441*	9.6%*
41	Chittagong	Bangladesh	Other Indian Subcontinent	1,329	374*	28.2%*
42	Kolkata	India	India	526	148*	28.2%*
43	Chennai/Madras	India	India	1,520	428*	28.2%*
44	Jawaharlal Nehru (JNPT)/Nhava Sheva	India	India	4,752	1,339*	28.2%*
45	Mundra	India	India	1,149	324*	28.2%*
46	Colombo	Sri Lanka	Other Indian Subcontinent	4,137	3,078	74.4%
47	Port Mohammad Bin Qasim	Pakistan	Pakistan	779	219*	28.2%*
48	Karachi	Pakistan	Pakistan	1,370	386*	28.2%*
49	St Petersburg	Russia	Russia	1,931	232	12.0%
50	Vancouver BC	Canada	Canada	2,514	141*	5.6%*
51	Seattle	USA	United States	2,134	119*	5.6%*
52	Tacoma	USA	United States	1,455	81*	5.6%*
53	Oakland	USA	United States	2,330	130*	5.6%*
54	Los Angeles	USA	United States	7,832	438*	5.6%*
55	Long Beach	USA	United States	6,263	351*	5.6%*
56	Honolulu	USA	United States	939	53*	5.6%*
57	Manzanillo (Mexico)	Mexico	Mexico	1,509	460*	30.5%*
58	Lazaro Cardenas	Mexico	Mexico	796	242*	30.5%*
59	Balboa	Panama	Central America	2,759	2,621	95.0%
60	Manzanillo (Panama) /Cristobal/ Colon	Panama	Central America	2,289	1,562	68.2%
61	Puerto Limon	Costa Rica	Central America	858	261*	30.5%*
62	Puerto Cortes	Honduras	Central America	539	164*	30.5%*
63	Veracruz	Mexico	Mexico	663	202*	30.5%*
64	San Juan	USA (Puerto Rico)	Caribbean Basin	1,526	465*	30.5%*
65	Caucedo	Dominican Rep	Caribbean Basin	1,005	306*	30.5%*
66	Kingston	Jamaica	Caribbean Basin	1,892	1,627	86.0%
67	Freeport	Bahamas	Caribbean Basin	1,125	1,114	99.0%

68	Houston	USA	United States	1,812	101*	5.6%*
69	Miami	USA	United States	847	47*	5.6%*
70	Port Everglades	USA	United States	793	44*	5.6%*
71	Jacksonville	USA	United States	857	48*	5.6%*
72	Savannah	USA	United States	2,825	158*	5.6%*
73	Charleston	USA	United States	1,384	77*	5.6%*
74	Virginia	USA	United States	1,895	106*	5.6%*
75	Baltimore	USA	United States	611	34*	5.6%*
76	New York/New Jersey	USA	United States	5,292	296*	5.6%*
77	Montreal	Canada	Canada	1,331	75*	5.6%*
78	Buenaventura	Colombia	Colombia	663	68*	10.2%*
79	Guayaquil	Ecuador	Ecuador	1,093	112*	10.2%*
80	Callao	Peru	Peru	1,346	137*	10.2%*
81	Valparaiso	Chile	Chile	879	90*	10.2%*
82	San Antonio	Chile	Chile	871	89*	10.2%*
83	Cartagena	Colombia	Colombia	1,433	146*	10.2%*
84	Puerto Cabello	Venezuela	Venezuela	630	64*	10.2%*
85	Santos	Brazil	Brazil	2,722	278*	10.2%*
86	Paranagua	Brazil	Brazil	672	69*	10.2%*
87	Navegantes	Brazil	Brazil	568	58*	10.2%*
88	Itajai	Brazil	Brazil	957	98*	10.2%*
89	Rio Grande	Brazil	Brazil	647	66*	10.2%*
90	Montevideo	Uruguay	Other East Coast of South America	672	69*	10.2%*
91	Buenos Aires	Argentina	Argentina	1,731	177*	10.2%*
92	Shahid Rajaei (Bandar Abbas)	Iran	Arabian Gulf	2,593	249*	9.6%*
93	Dammam	Saudi Arabia	Arabian Gulf	1,333	128*	9.6%*
94	Mina Zayed (Abu Dhabi)	UAE	Arabian Gulf	530	51*	9.6%*
95	Dubai/Jebel Ali	UAE	Arabian Gulf	11,600	5,498	47.4%
96	Khor Fakkan/Sharjah Combined	UAE	Arabian Gulf	3,023	2,315	76.6%
97	Salalah	Oman	Arabian Gulf	3,485	3,405	97.7%
98	Jeddah	Saudi Arabia	Arabian Gulf	3,831	1,683	43.9%
99	Aqaba	Jordan	Other Mediterranean	619	59*	9.6%*
100	El Sokhna	Egypt	Egypt	607	171	28.2%
101	Port Said	Egypt	Egypt	3,475	2,477	71.3%
102	Damietta	Egypt	Egypt	1,096	187*	17.0%*
103	Alexandria/El Dekheila	Egypt	Egypt	1,496	255*	17.0%*
104	Tangier/Tangier Med	Morocco	W. Med	2,058	1,980	96.2%
105	Las Palmas De Gran Canaria	Spain (Canary Is)	Western Africa	1,187	334	28.2%
106	Ashdod	Israel	Israel	1,018	173*	17.0%*
107	Haifa	Israel	Israel	1,264	215*	17.0%*
108	Beirut	Lebanon	Other Mediterranean	949	162*	17.0%*
109	Lattakia	Syria	Other Mediterranean	586	100*	17.0%*
110	Mersin	Turkey	Turkey	1,024	174*	17.0%*
111	Izmir	Turkey	Turkey	728	124*	17.0%*
112	Ambarli/Istanbul	Turkey	Turkey	2,540	432*	17.0%*
113	Constantza	Romania	Romania	557	95*	17.0%*
114	Odessa/Illichivsk	Ukraine	Ukraine	653	111*	17.0%*
115	Piraeus	Greece	C. Med	878	149*	17.0%*

116	Marsaxlokk	Malta	Other Mediterranean	2,371	2,265	95.5%
117	Cagliari	Italy	C. Med	553	94*	17.0%*
118	Taranto	Italy	C. Med	582	99*	17.0%*
119	Gioia Tauro	Italy	C. Med	2,852	2,676	93.8%
120	Naples	Italy	C. Med	535	91*	17.0%*
121	Leghorn (Livorno)	Italy	C. Med	628	107*	17.0%*
122	La Spezia	Italy	C. Med	1,285	219*	17.0%*
123	Genoa	Italy	C. Med	1,759	299*	17.0%*
124	Marseilles/Fos	France	France	953	162*	17.0%*
125	Barcelona	Spain	W. Med	1,948	332*	17.0%*
126	Valencia	Spain	W. Med	4,207	2,156	51.2%
127	Algeciras	Spain	W. Med	2,810	2,626	93.4%
128	Felixstowe	UK	United Kingdom	3,400	408*	12.0%*
129	London (Tilbury)/ Thamesport	UK	United Kingdom	424**	51*	12.0%*
130	Southampton	UK	United Kingdom	1,540	185*	12.0%*
131	Liverpool	UK	United Kingdom	681	82*	12.0%*
132	Dublin	Eire	United Kingdom	554	67*	12.0%*
133	Lisbon	Portugal	W. Med	513	87*	17.0%*
134	Bilbao	Spain	W. Med	531	90*	17.0%*
135	Bordeaux	France	France	632	76*	12.0%*
136	Le Havre	France	France	2,358	283*	12.0%*
137	Zeebrugge	Belgium	N. Europe	2,390	287*	12.0%*
138	Antwerp	Belgium	N. Europe	8,468	2,286	27.0%
139	Rotterdam	Netherlands	N. Europe	11,146	3,344	30.0%
140	Bremen/Bremerhaven	Germany	N. Europe	4,871	2,192	45.0%
141	Hamburg	Germany	N. Europe	7,900	2,610	33.0%
142	Gdansk	Poland	N. Europe	509	61*	12.0%*
143	Gothenburg	Sweden	N. Europe	796	96*	12.0%*
144	Abidjan	Ivory Coast	Western Africa	530	149*	28.2%*
145	Tema	Ghana	Western Africa	590**	166*	28.2%*
146	Lagos/Apapa/ Tin Can Island	Nigeria	Western Africa	500**	141*	28.2%*
147	Cape Town	South Africa	Southern Africa	697	196*	28.2%*
148	Durban	South Africa	Southern Africa	2,529	713*	28.2%*
149	Mombasa	Kenya	Kenya	696	196*	28.2%*
150	Djibouti	Djibouti	Other East Africa	600	169*	28.2%*
151	Brisbane	Australia	Australia	929	62*	6.7%*
152	Sydney	Australia	Australia	2,020	135*	6.7%*
153	Melbourne	Australia	Australia	2,322	155*	6.7%*
154	Fremantle	Australia	Australia	583	39*	6.7%*
155	Auckland	New Zealand	New Zealand	894	60*	6.7%*
156	Tauranga	New Zealand	New Zealand	591	39*	6.7%*

出典：CI-online⁷⁾および Drewry Maritime Research¹¹⁾

* Drewry Maritime Research¹¹⁾による地域別平均トランシップ率に基づき推定
**筆者らによる推計

表-A2 実入りコンテナ貨物取扱量（トランシップを除く）のデータ間比較（2010年）

	地域区分(46カ国・地域)	実入りコンテナ年間取扱量（万TEU）		②/①
		①GTN データ ¹⁰⁾ の集計結果	②CI-online データ ⁷⁾ の集計結果	
1	Japan	1,167	1,254	1.075
2	South Korea	958	936	0.977

3	China	4,280	7,734	1.807
4	Hong Kong	372	1,450	3.893
5	Taiwan	584	564	0.967
6	Philippines	178	336	1.895
7	Vietnam	335	437	1.302
8	Thailand	509	485	0.953
9	Malaysia	443	514	1.161
10	Singapore	273	367	1.344
11	Indonesia	545	542	0.995
12	India	377	513	1.360
13	Pakistan	121	113	0.937
14	Other Indian Subcontinent	152	149	0.978
15	Arabian Gulf	834	1,021	1.225
16	Russia	304	232	0.763
17	Canada	311	343	1.105
18	United States	2,864	2,961	1.034
19	Mexico	174	164	0.947
20	Central America	205	186	0.907
21	Caribbean Basin	197	196	0.999
22	Colombia	107	154	1.437
23	Ecuador	66	78	1.180
24	Peru	92	101	1.102
25	Chile	162	212	1.310
26	Venezuela	50	64	1.284
27	Brazil	417	532	1.275
28	Argentina	121	134	1.107
29	Other E. Coast of S. America	37	45	1.201
30	Egypt	202	278	1.374
31	Israel	142	147	1.037
32	Turkey	290	352	1.214
33	Romania	30	36	1.199
34	Ukraine	49	42	0.865
35	C. Med	409	569	1.393
36	W. Med	505	562	1.112
37	Other Mediterranean	184	179	0.972
38	France	280	359	1.281
39	United Kingdom	413	564	1.365
40	N. Europe	1,694	2,422	1.430
41	Western Africa	294	218	0.742
42	Southern Africa	226	260	1.151
43	Kenya	35	37	1.054
44	Other East Africa	82	76	0.933
45	Australia	277	458	1.654
46	New Zealand	104	171	1.643
	Other Region*	710	44	0.062
	Total	22,158	28,591	1.290

*詳細定義は不明な部分もあるものの、両データで含まれる国が異なると考えられる。本文中で示したコンテナ貨物 OD の作成対象からは除外する。

参考文献

- 1) 柴崎隆一，渡部富博，家田仁：港湾の特性を考慮し

- た大規模国際海上コンテナ輸送ネットワーク上の船社の費用最小化モデル, pp., 土木学会論文集, 2011.
- 2) 柴崎隆一, 渡部富博, 家田仁 : 船社・荷主の最適行動を考慮した国際海上コンテナ輸送の大規模シミュレーション, pp., 土木学会論文集, 2011.
 - 3) Christiansen, M., Fagerholt, K., and Ronene, D. : Ship Routing and Scheduling: Status and Perspectives, *Transportation Science*, 38(1), pp.1–18, 2004.
 - 4) 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, pp.189-284, 2007.
 - 5) Agarwal, R. and Ergun, O. : Ship Scheduling and Network Design for Cargo Routing in Liner Shipping, *Transportation Science*, 42(2), pp.175–196, 2008.
 - 6) Meng, Q. and Wang, X. : Intermodal Hub-and-spoke Network Design: Incorporating Multiple Stakeholders and Multi-type Containers, *Transportation Research Part B*, 45, pp.724-742, 2011.
 - 7) Informa UK Ltd. : CI-online, <http://www.ci-online.co.uk/>.
 - 8) MDS Transmodal Ltd. : MDS Containership Databank May 2010.
 - 9) 鳥海重喜 : 海上航路ネットワークを用いたコンテナ船の運航パターン分析, *オペレーションズ・リサーチ*, Vol.55, No.6, pp.359-367, 2010.
 - 10) IHS Global Insight Inc. : Global Trade navigator.
 - 11) Drewry Maritime Research : *Container Market Review and Forecast, Annual Report 2011/12*, London, UK.
- (2013. 5. 7 受付)

TRANSSHIPMENT CARGO ESTIMATION IN WORLD MAJOR PORTS
BY A CONTAINER CARGO ASSIGNMENT MODEL
BASED ON CONTAINERSHIP MOVEMENT DATABASE

Ryuichi SHIBASAKI, Toshio AZUMA, Tomihiro WATANABE and Shigeki TORIUMI