

# アジア圏国際コンテナ貨物流動のネットワークモデル (ver.2)

## - 対象地域の拡張および確率的利用者均衡配分の導入 -

A Network Model of international maritime container cargo flow in Asia (ver.2)

- Model Expansion and Application of Stochastic User Equilibrium Assignment -

柴崎隆一\*・切通良太\*\*・家田仁\*\*\*・角野隆\*\*\*\*

By SHIBASAKI Ryuichi\*, KIZUSHI Ryota\*\*, IEDA Hitoshi\*\*\*, KADONO Takashi\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、アジア諸国の経済的成長に伴い、国際海上コンテナ輸送におけるアジア地域発着の貨物の割合が増大している。同時に、規模の経済性を追求してコンテナ船が大型化し、大水深のバースと効率的な荷役システムを持った巨大港に貨物が集中したハブ&スポーク型輸送が定着した。また各船社は、グローバル・アライアンスによってグループ内船社相互のオペレーションを徹底して統合する方向に進んでいる。そのなかで、アジア諸港の急激な成長から取り残されないためにも、わが国においても重点的かつ戦略的な港湾整備を行うことが求められている。こうした背景のもと、筆者らは、コンテナの OD 貨物量を与件として、異なる船型利用やトランシップなどを含めたリンクフローを、ネットワーク表現を用いて出力するモデル（以下従来モデルとよぶ）を開発してきた<sup>1), 2)</sup>。本研究は、日本の港湾政策の評価だけでなく、アジア諸国における港湾投資・技術協力等の効果予測や、パナマ運河などのボトルネックを考慮した全球規模における船舶大型化の影響分析などが可能となるよう、従来モデルの対象範囲を大幅に拡張するとともに、従来モデルのもついくつかの論理的欠点を改善し、かつ、確率的利用者均衡配分の導入など、モデルの再現性の向上をめざした改良を行うことを目的とする。

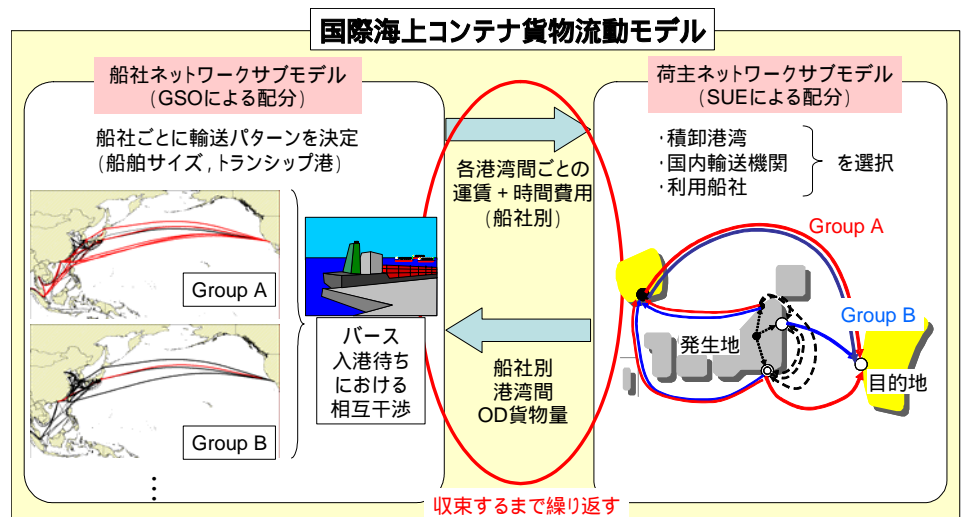


図1 本モデル構成の概念図

### 2. モデル改良の指針

#### (1) モデルの全体枠組

本モデルは、地域間のコンテナ OD 貨物量を所与とし、日本の各港湾や東アジア諸国の主要港湾、あるいはそれ以外地域における代表的な港湾間の海上輸送、および日本国内における背後輸送を対象に、国際海上コンテナ貨物流動を再現することを目的とするものである。具体的な手法としては、港湾間や各港湾内、および陸上におけるコンテナ貨物輸送ネットワークを構築し、コンテナ貨物の流動をネットワーク上の交通流に見立てて、コンテナ貨物輸送市場の主たる actor である輸送船社と荷主の行動原理に対応した、利用者均衡配分やシステム最適配分といったネットワークの配分原理に基づいて配分を行うものである。本モデルは、図1に示すように、輸送船社と荷主の両サブモデルから構成される。図1に示すように、輸送船社と荷主は、船社別の OD 貨物量や各港湾間の輸送運賃といった情報を相互に交換しながら、自らの行動原理に基づいた最適化行動を独自に行う結果、何らかの均衡状態に達するものと考えられる。なお、本モデルでは、荷主は無数に存在し、かつ輸送船社は寡占状態ではあるものの運賃競争が激しいため、両者とも輸送市場に対して決定力をもたず、両者の関係は対等であるものと仮定する。

\*正会員，博(工)，国土交通省国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾システム研究室 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1, tel/fax : 046-844-5028, shibasaki-r92y2@ysk.nilim.go.jp), \*\*学生員，東京大学大学院社会基盤学専攻 交通・都市基盤計画研究室，\*\*\*正会員，工博，東京大学大学院社会基盤学専攻 交通・都市基盤計画研究室教授，\*\*\*\*国土交通省国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾システム研究室長 キーワード: 物資流動，国際海上コンテナ貨物，ネットワーク配分，輸送経路選択

(2) 輸送船社サブモデルの概要

(a) 船社モデルにおける輸送ネットワーク

各外航船社は、船社別に与えられた港湾間 OD 貨物量を所与とし、各港湾の入港・荷役料金や混雑状況、船型別の運航費用などの情報をもとに、トランシップを行う港湾や各港湾に就航する船舶のサイズなど、海上輸送の形態を決定するものとする。この際、船舶の規模の経済性が働くため、船舶が大型化するほど 1TEU あたりの運航費用は低下する。また、ある港湾間リンク（航走リンクとよぶ）に貨物が集中するほど、当該リンクの運航頻度が上昇し、時間費用が低下することも考慮する必要がある。一方、ある特定の港湾に船舶が集中すると、バースの整備状況に応じて入港待ち混雑が発生することがある。本サブモデルにおいて用いるネットワークは、図 2 に示す既存モデル<sup>1),2)</sup>のネットワークを、下記の点について改良したものである。

i) 航走リンクの分割（図 3）

従来モデルでは、入港から出港まで船舶に積み込まれたままの周航貨物と、当該港湾で船積みされる貨物（当該港湾を発地とする貨物とトランシップ貨物の和）に対し、同じ期待出港待ち時間を与えていたが、周航貨物の出港待ち時間の過大評価となるため、各港湾同士を結ぶ航走リンクを、周航航走リンクと船積航走リンクに分割し、かわりに各港湾内における周航リンクを削除する。

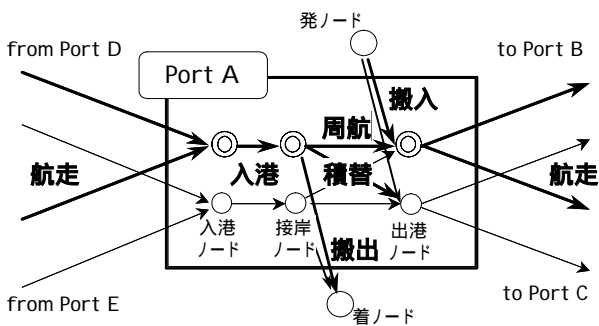


図 2 従来の船社サブモデルにおけるネットワーク

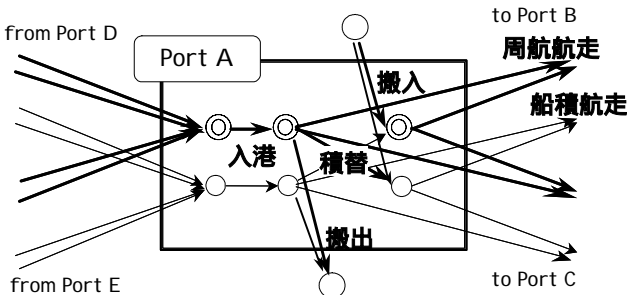


図 3 本サブモデルにおけるネットワーク

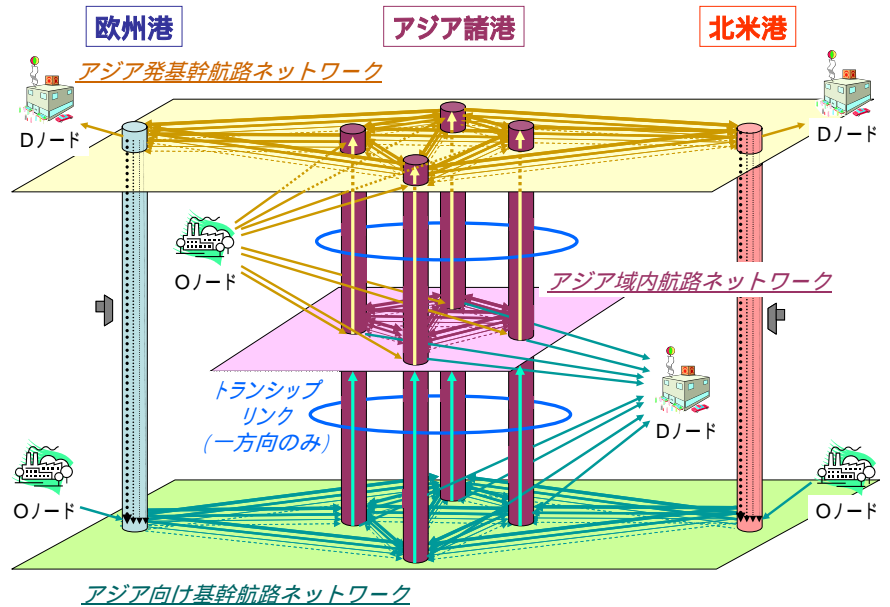


図 4 ネットワークの多層化の概念図

ii) ネットワークの多層化（図 4）

実際の国際海上コンテナの輸送形態を反映させるため、コンテナ船の航路を、アジア地域と地域外の港湾とを結ぶ基幹航路と、アジア域内航路に分割する。また、基幹航路と域内航路間のトランシップを片方向に制限するために、基幹航路をアジア発貨物の輸送ネットワークとアジア着貨物の輸送ネットワークに分割する。

iii) 船型区分の細分化

大型船の就航が進んでいる状況をふまえ、船型の区分を、従来モデルの 4 クラスから、特に大型船を中心に全 7 クラスに細分化した。

(b) 船社別 OD 貨物量の配分方法

本サブモデルは、従来モデルと同様、輸送船社グループごとの総コスト最小化問題 (GSO; Group-base System Optimum assignment) を解くものとする。この際、リンクコスト関数の一部にフローの減少関数を含むため、多数の局地解が存在する非凸問題となるので、初期値として現在のフローパターンを与え、現状を出発点とした近似的な最適解を求める。また、後述の船積航走リンクや入港リンクにおいては、当該リンクのコストが他リンクや他船社リンクのフローに依存するため、リンク相互に干渉が存在する際の解法である緩和法を用いる。

(c) リンクコスト関数の定式化

従来モデルと異なる、ネットワーク構成を変更した航走リンクについてのみ下記に示す。

i) 船積航走リンクコスト

$i$  を出発港、 $j$  を到着港、 $k$  を船型サイズのカテゴリー、 $n$  を船社グループとし、船社グループ  $n$  の船型サイズ  $k$  における  $ij$  港湾間の航走リンクを  $a$  としたとき、1 TEU あたりの航走リンクコストは以下のように定式化される。

$$C_a = \frac{a_{1k} + a_{2k}}{f_a \cdot cap_k} \cdot l_{ij} + vt \cdot \left\{ \frac{l_{ij}}{v_k} + b_1 \cdot \left( \frac{T \cdot f_a \cdot cap_k}{2 \left( q_a + \sum_x q_x \right)} \right)^{b_2} \right\} \quad (1)$$

ここで、

$C_a$  : 船積航走リンク  $a$  の 1 TEU あたりコスト (1,000円 / TEU),

$q_a$  : 船積航走リンク  $a$  の年間フロー (TEU),

$q_x$  : 当該リンクに関わる他リンク  $x$  の年間フロー (TEU),

$l_{ij}$  :  $i$  港と  $j$  港間の距離 (NM),

$v_k$  : 船型サイズ  $k$  の船速 (ノット),

$cap_k$  : 船型サイズ  $k$  の船腹量 (TEU/vessel, カテゴリー内の船舶の平均値),

$f_a$  : リンク  $a$  の消席率,

$T$  : 時間単位 (ここでは 1 年 = 8,760 時間とする),

$vt$  : 輸送されるコンテナの時間価値 (1,000円/hour/TEU),

$a_{1k}$  : 船型サイズ  $k$  の運営費用 (1,000円/NM/vessel),

$a_{2k}$  : 船型サイズ  $k$  の固定費用 (1,000円/NM/vessel),

$b_1, b_2$  : 運航頻度に係る未知パラメータ ( $b_1, b_2 > 0$ ).

従来モデルと異なるのは、当該リンク以外のフロー  $\sum_x q_x$  が存在する点である。 $q_x$  として考慮すべきリンクフ

ローは、当該リンクと同一船型・同一港湾間の周航航走リンク、および基幹航路の場合はアジア着 (もしくはアジア発) 貨物ネットワークにおける当該リンクと同一船型・同一港湾間の船積航走リンクおよび周航航走リンクのフローである。

### ii) 周航航走リンクコスト

船積航走リンクコストの第 3 項を除いたものとなる。すなわち、

$$C_a = \frac{a_{1k} + a_{2k}}{f_a \cdot cap_k} \cdot l_{ij} + vt \cdot \frac{l_{ij}}{v_k} \quad (2)$$

## (3) 荷主サブモデルの概要

### (a) 荷主サブモデルにおけるネットワーク

各荷主は、各港湾間の船社別運賃や背後輸送条件などを考慮し、背後輸送経路、積卸港湾および輸送船社を決定する。なお、データ入手等の都合上、本研究において背後輸送を考慮するのは日本国内のみとした。他の国々については、すべての貨物が港湾発着ベースであると仮定し、荷主は輸送船社選択のみを行うものと仮定した。また、地域間 (日本以外の各国にあっては港湾間) のコンテナ OD 貨物量は所与とし、サービスレベルの変化による総需要の増減は考慮しない。また、日本国内におけるコンテナ貨物の背

後輸送機関としては、輸送実績からトラックと内航海運を考慮するものとする。本来は、これらの輸送業者の行動も考慮すべきであるが、外航船社と比べれば業者数が非常に多いため、無数の業者による完全競争状態を仮定し、かつ、実際の状況から判断して荷主に輸送市場の決定権があるものと仮定できるため、本モデルでは荷主以外の主体の行動は省略する。

本サブモデルにおいて用いるネットワークは、図 5 に示すように、従来モデルのネットワークを大幅に変更している。主な特徴は、下記に示すとおりである。

### i) 外航輸送部分の仮想ネットワーク化

外航輸送ネットワークに関して、従来モデルでは、荷主サブモデルにおいて船社サブモデルと同一のネットワークを用いていたが、荷主は、トランシップ港など海上輸送経路の選択や輸送船舶サイズの選択は行わず、海上運賃や頻度などのサービスレベルを判断基準に輸送船社の選択のみを行う、と捉えたほうが実態を近似するものと考えられる。そこで、本サブモデルにおいては、外航輸送部分について、各港湾間をダイレクトに結ぶ仮想リンクを船社別に構築することとする。この際、仮想リンクのコストは船社別の最小費用経路における費用 (輸送費用および輸送時間費用の和) とする。

### ii) 外航コンテナヤード (CY) ノードの分割

異なる輸送船社間のトランシップを表現するため、外航コンテナヤードノードを船社別、発着貨物別に分割し、外航 CY ノード相互を積替リンクで結ぶこととする。

### (b) OD 貨物量の配分方法

本サブモデルにおいては、内航輸送ネットワークの一部にフローディペンデントなリンクコスト関数を含む。一方、荷主の背後輸送経路・機関および積卸港湾・輸送船社選択行動は、明示的に考慮する要因以外の要素にも左右されるものと考えられるし、またすべての荷主がすべての輸送経路について完全な情報を有していないこと

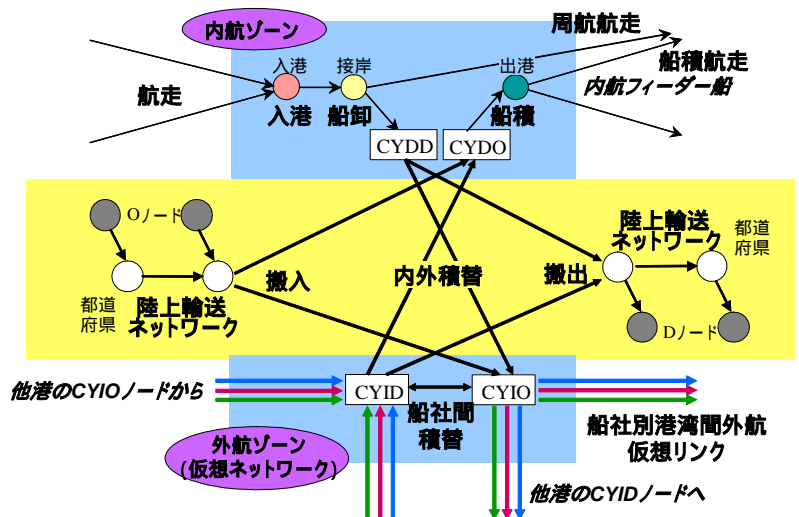


図 5 本研究における荷主サブモデルネットワークの概念図

も多いと考えられるため、確率的利用者均衡配分 (SUE) を適用する。具体的には、ランダム効用理論に基づいたロジット型確率配分を Dial のアルゴリズムに基づいて行い、逐次平均法によって解を得る。この際、リンク尤度式に含まれるロジットモデルのパラメータは、各リンクコスト関数に含まれる他の未知パラメータと同時に、現状を最もよく再現する値を推定するものとする。

(c) リンクコスト関数の定式化

本モデルのリンクコスト関数のうち、内航入港・内航船積・内航船卸・内外積替リンクおよび陸上輸送に関する各リンクについては、従来モデルと同様である。また、内航船積航走リンク・内航周航航走リンクについては、船社サブモデルにおける外航リンク (式 1.2) と同様の考え方による。その他のリンクについて下記に示す。

i) 外航仮想リンクコスト

上述のように、外航仮想リンクのコストは、船社別の最小費用経路における費用 (輸送費用および輸送時間費用の和) である。すなわち、

$$C_a = \min C(i, j, g) \quad (3)$$

ここで、

$C_a$  : 外航仮想リンク  $a$  の 1 TEU あたりコスト (1,000 円/TEU),

$C(i, j, g)$  : 船社グループ  $g$  における港  $ij$  間の総輸送費用 (運輸費用, 運行時間費用, 出港待ち時間費用, 入港待ち時間費用, 荷役料金などを含む)

ii) 外航船社間積替リンクコスト

従来モデルの内外積替リンクのコストと同様の考え方により、次式で表す。

$$C_a = f_{tg_i} + vt \cdot t_{tg_i} \quad (4)$$

ここで、

$f_{tg_i}$  : 外航船社間の積替費用 (1,000 円/TEU),

$t_{tg_i}$  : 外航船社間の積替時間 (hour)。

3. モデル対象港湾の拡大

従来モデルにおける対象港は、1995 年時点においてコンテナ取扱のある日本国内の全港湾 30 港, その他のアジ

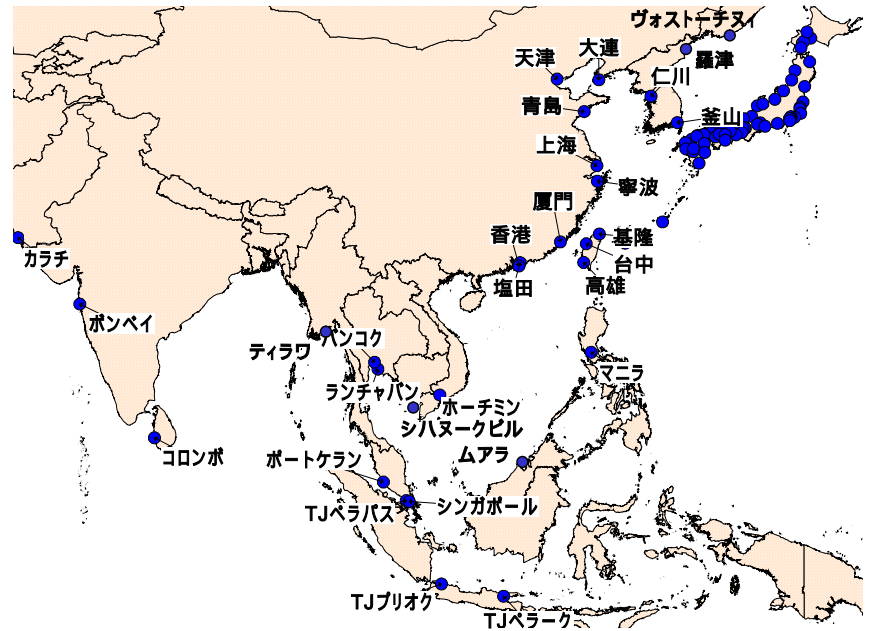


図6 本モデルの対象港湾 (アジア地域 (上), その他の地域 (下))

ア諸港 13 港, アジア域外の仮想港湾 (北米・欧州・豪州) 3 港の, 合計 46 港を対象としていた。本研究では、東アジア地域における近年のコンテナ取扱量の急激な増加をふまえ、東アジア諸国については基本的に 1 国 1 港以上は対象とすることとし、特に取扱量増加の著しい中国については、香港港を含め従来モデルの 4 港から 8 港へ倍増させた。さらに、アジア域外港湾についても、APEC 加盟国を中心に、航路別に代表港湾を計 20 港設定した。この結果、本モデルの対象港湾は、従来モデルの 2 倍近い図 6 に示す 77 港となっている。

4. おわりに

モデルの推定結果および従来モデルとの再現性の比較等については、紙面の都合上当日口頭で発表する。

参考文献

1) 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, pp.731-741, 1999. 2) Shibasaki, R., Ieda, H., and Watanabe, T., An International Container Shipping Model in East Asia and Its Transferability, International Symposium On Global Competition in Transportation Market, 2002.