

国際海上コンテナ航路の港湾別寄港頻度予測モデルの開発

Non-cooperative Game Analysis of International Container Shipping Behavior

藤野直明^{*1}、郡司浩太郎^{*2}、加藤博敏^{*3}、中崎剛^{*4}

By Naoaki Fujino, Kotaro Gunji, Hirotsi Katou, Takesi Nakazaki

1. はじめに

長期的な視点での国際海上コンテナターミナルの配置計画の立案にあたり、「発生集中地域（各県別）別の将来のコンテナ貨物量」が与えられた場合に、「どの地域の港湾にターミナルを整備しておくべきか？」が検討できるモデルが必要となる。

国際コンテナ港湾の配置に対しては、「国土政策上の視点」「荷主の利便性の視点」「船会社のオペレーションの視点」等それぞれの視点で考え方が異なる。本論文では、「船会社が最低週1便は寄港すると考えられる港湾は整備するもの」と考え、航路別に寄港地別の寄港頻度を推計することをモデル構築の目的とした。

船社の寄港地選択行動は、荷主の港湾選択行動の結果である港湾別の貨物量に依存すると考えられる。また、荷主の港湾選択行動は、港湾別の寄港頻度（つまり船会社の寄港地選択行動）に依存する。木村（1985）、KURODA, YANG（1994）によれば、現実には荷主と船会社とのゲームの均衡解によって与えられる。本論文においてもこの考え方を採用した。

本稿は、荷主と船会社の現実の行動をそれぞれ独立のモデルとして構築し、その均衡解として、我が

国港湾における将来の国際コンテナ航路の寄港状況（港別寄港頻度）と港別取扱貨物量を航路別に推計するモデルを構築したものである。

これまでのモデルとは、荷主の港湾選択行動について、航路別・輸出入別・品目別の時間価値分布を用いた犠牲量モデルを採用した点、また、船会社の行動については、船会社間の競争原理を非協力ゲームの考え方を用いたモデルとして構築した点が異なる。

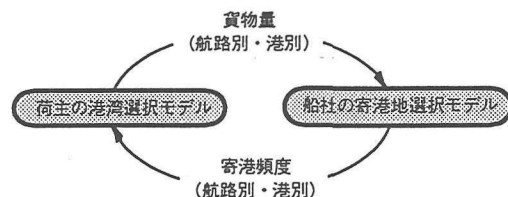
2. 国際コンテナ航路寄港地推計モデルの構築

（1）モデルの基本構造

今回のモデルでは、まず荷主の港湾選択行動と、船会社の寄港地選択行動をそれぞれ独立のモデルとして構築し、収束した値としてモデルの均衡解を求めた。

■荷主の港湾選択モデル；船会社の航路別港別寄港頻度を与えた場合の荷主の港湾選択行動モデル

■船社の寄港地選択モデル；荷主の港湾選択行動の結果である航路別・港湾別の貨物量を与えた場合の船会社の寄港地選択行動モデル



図ー1 モデルの基本構造

なお、航路区分としては、北米西岸（輸出）、北米西岸（輸入）、北米東岸、欧州、近東・地中海、豪州・オセアニア、韓国、中国、東南アジア、ナホトカ、南米を対象として検討を行った。

キーワード 港湾計画、交通行動分析、物資流動

*1 東京大学 大学院工学系研究科 先端学際工学専攻
博士課程／(株)野村総合研究所 社会システム研究部
(〒240 横浜市保土ヶ谷区神戸町134NRIタワー、
TEL 045-336-7191)

*2 (株)野村総合研究所 社会システム研究部
(同 上)

*3 正会員 運輸省港湾局計画課 専門官
(〒100 千代田区霞ヶ関2-1-3、TEL 03-3580-3111)

*4 運輸省港湾局計画課
(同 上)

(2) 荷主の港湾選択モデルの基本的考え方

荷主は、「港までの輸送運賃」、「港湾における諸経費」、「港での利用航路の本船寄港頻度」、「通関待ち時間」によって、港湾を選択するものと考えた。これは、代表的な荷主へのヒアリングによると、荷主は必ずしも距離的に最も近く、内陸輸送費用が最小となる港を選択しているわけではなく、航路頻度、通関時間などを考慮に入れた港湾選択行動をしていると考えられるためである。

例えば、長距離航路において九州を発生集中地とする貨物が、寄港頻度の少ない九州の港湾を選択せずに、阪神地域の港湾を利用するケースや、韓国航路のように、関東地方を発生集中地とする貨物が、内陸輸送費用が何倍にもなるにも関わらず、通関時間が短く、寄港頻度が多い関門港を利用するケースなどに典型的に観察される。

こうした時間を重視した荷主の港湾選択行動は金利コストだけでは説明が困難である。このため全国輸出入コンテナ貨物流動調査から推計された「航路別・輸出入別・品目別の時間価値分布関数」を用いた犠牲量モデルとして、荷主の港湾選択モデルを構築した。

$$\text{総犠牲量 } S = C + \alpha(l, m, n) \times T$$

ここで、

C；内陸輸送費用+倉庫諸費用+荷役経費等

α ；時間価値

T；所要時間（内陸輸送時間+通関時間+本船待ち時間）

l, m, n ；航路別 l 、輸出入別 m 、品目別 n

なお、航路別・輸出入別・品目別の時間価値 α の分布型は、下記の関数型を採用した。

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

また、品目区分は輸出入ともに16品目、発生集中地域として47都道府県別に検討を行った。

(3) 船社の寄港地選択モデルの基本的考え方

日本へ寄港する多くの船会社は、航路別に船会社間での貨物獲得競争（いかに積載効率を上げ、利潤を拡大するかの競争）を行っている。ここでは、船会社の1便1便がゲームのプレイヤーであるとし、以下のようなゲーム（非協力ゲーム）を航路別に行っていると考え、船会社間の競争状況を反映させた寄港地選択モデルを構築した。

(a) ゲームの内容

①プレイヤー；日本へ寄港する全ての国際コンテナ航路の各便をゲームのプレイヤーとする。

②情報；全てのプレイヤーは航路別の港湾 i 別貨物量 P_i 及び総貨物量 $\sum P_i$ 、競争するプレイヤーの数（航路別の本船寄港便数； N ）を知っているとす。このプレイヤー数； N は航路別に異なり、下式で計算される。

$$N = \text{総発生集中貨物量} / (\text{船腹量} ; S \times \text{積載率})$$

さらに、全てのプレイヤーは、各プレイヤーの獲得すべき貨物量の最大値（船腹量）とそれが競争関係にある他のプレイヤーと等しいことを知っている。また、全てのプレイヤーは、航路別の平均寄港回数を知っている。

③行動；プレイヤーはある一定の回数だけ、寄港地を選択する。これは、船会社は荷主に対してスピード（リードタイム）の面で競争しているため、航路別にみた「1便当たりの寄港回数」はほぼ一定となるためである。（モデルでは現状の航路別の平均寄港回数を採用した。）

④利得；船会社の利得は貨物量である。すなわち、各寄港地で獲得できた貨物量の合計である。この貨物獲得の基本ルールは、次のようなものである。港湾 i において各プレイヤーが獲得できる貨物量 Q_i は、港湾 i の総取扱貨物量を P_i 、港湾 i に寄港するプレイヤーの数を F_i とすると、次のようになる。

$$Q_i = P_i / F_i$$

つまり、港湾別貨物量 P_i が大きくても、 F_i が十分大きい場合は、船会社間の競争が厳しいことになり、獲得できる貨物量 Q_i は小さくなるということである。船会社は、こうした船会社間の競争の結果として決定される貨物量 Q_i を寄港地それぞれで確保するのである。

(b) プレイヤーの戦略分析と航路別港湾別寄港頻度の推計方法

各プレイヤーの目的は、「積載効率100%を上限として、これを最大化するために寄港地を選択していく」ことである。このときのプレイヤーの戦略は、大きく2つのステップから考えることができる。

【第1ステップ】

各プレイヤーは、一般的に貨物を集荷し易い港湾、すなわち Q_i が比較的大きい港湾から寄港しようとする。また、他のプレイヤーも同様に考えると推測する。このとき、各プレイヤーは、総貨物量 $\sum P_i$ と延べ寄港回数 $\sum F_i$ (=日本への寄港便数 $\times$ 平均寄港回数) とを知っているため、以下のユニット貨物量1(1寄港で獲得できる貨物量) ; U_1 を計算できる。

$$U_1 = \sum P_i / \sum F_i$$

さらに、各プレイヤーは、全ての港における港湾別の仮想的な寄港頻度 ; V_i を計算することができる。

$$V_i = P_i / U_1$$

このとき、全ての港湾 i において、 $V_i \leq N$ (当該航路の総便数=プレイヤーの数) であれば、これでゲームは終了し、 F_i が確定する。

$$F_i = V_i$$

なお、仮に実際に観測される F_i が V_i よりも小さな港湾 j が存在する時には、必ず F_i が V_i よりも大きな港湾 k が存在し、港湾 k における競争は港湾 j における競争よりも激しい ($Q_i \geq Q_k$)。このため、港湾 k に寄港していた船会社は、港湾 j への寄港に切り替える。この結果、 F_i は V_i に収束していくこととなる。

【第2ステップ】

ある港湾 m において、 $V_m > N$ であれば、全てのプレイヤーが m 港湾へ寄港した場合でも、全てのプレイヤーが、 U_1 以上の貨物量を獲得できることになる。実際に、東京湾、大阪湾、伊勢湾等における貨物の集中度は十分に大きいことがあり、 $V_m > N$ ($m = m_1, m_2, m_3 \dots$) となる航路が存在する。こうした航路においては、当該港湾に寄港することで、 U_1 以上の貨物を獲得できるということである。

このため、 m 港湾へは全てのプレイヤーが寄港することになるが、獲得できる貨物量は、第1ステップで述べた U_1 よりも大きい $Q_m (=P_m/N)$ となる。このため、次の港湾への寄港を考える基準となるユニット貨物量は、 U_1 から U_2 へと変化する。

$$U_2 = (S - \sum Q_m) / (\text{平均寄港回数} - \sum 1)$$

すなわち、集中度が大きい港湾が存在する場合には、 U_1 以上の貨物が獲得でき、次に寄港する港湾については、残りの寄港可能な回数の範囲で、さらに第2ステップのゲームを行うこととなる。

$$V_i' = P_i / U_2 \quad (i \neq m)$$

これでゲームは終了し、 F_i が確定する。

$$F_i = V_i' \quad (i \neq m)$$

$$= N \quad (i = m)$$

以上の考え方をまとめると、以下のようになる。

$$V_i \leq N \quad \forall i \text{ の場合 } F_i = V_i$$

$$V_m > N \quad \exists m \text{ の場合 } F_i = V_i' \quad (i \neq m) \\ = N \quad (i = m)$$

なお、現実には、3大湾での平均獲得貨物量とそれ以外の港湾における平均獲得貨物量は、かなりの格差が存在する。航路別にみた格差を図-2に示す。

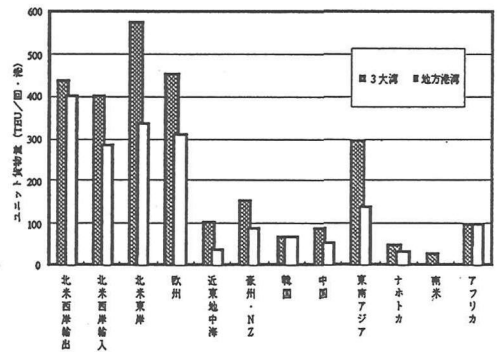


図-2 航路別にみたユニット貨物量の現状(1992年)

3. 結論と課題

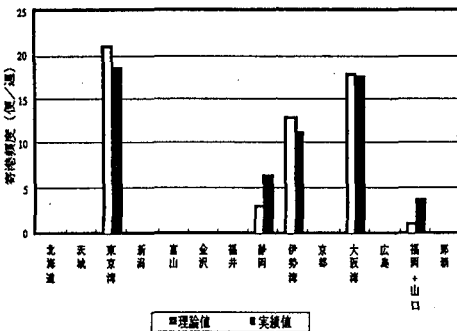
1) 結論

今回構築した荷主の港湾選択モデルと船社の寄港地選択モデルは、荷主と船会社の行動をゲーム的にシミュレーションしたものである。この結果、下図

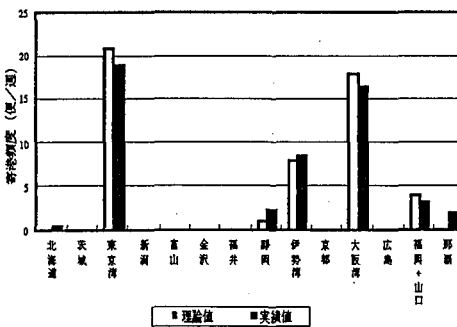
に示すように、現状の航路別・港湾別寄港頻度がかなりの確度で説明できることが分かった。(図-3 参照)

なお、今回のモデルには、港湾の地理的条件や稼働の特殊等の要因は考慮していない。例えば、北米西岸航路では清水の港湾の寄港頻度が実績よりも若干低めに推計されているのは、清水港が24時間稼働しており、3大湾の間にあり地理的にも寄港しやすいためと推測される。

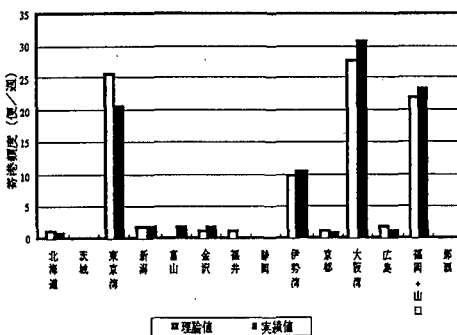
モデルによる現状推計結果 一北米西岸航路(輸出)一



モデルによる現状推計結果 一北米西岸航路(輸入)一



モデルによる現状推計結果 一韓国航路一



モデルによる現状推計結果 一東南アジア航路一

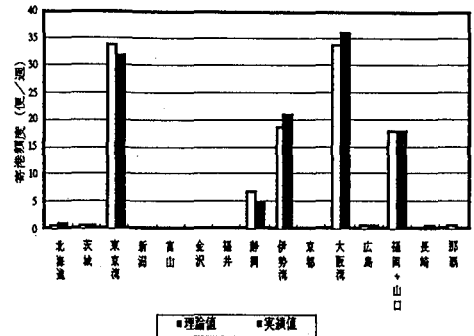


図-3 モデルの現況再現性

2) 課題

今回構築したモデルは、日本に寄港する本船便数が日本全体の貨物量によって規定されていることを前提としている。しかし、現実の船会社の航路オペレーション(寄港行動)は、日本の貨物だけを考えているわけではなく、アジア諸国も含めた航路全体での積載率を最大化していくものである。

このため、将来的に日本の港湾で積み卸しされる貨物(日本発着貨物+日本でトランシップされる海外貨物)のウェイト(=日本積み卸し貨物のシェア)が相対的に低下する場合には、日本への本船寄港便数そのものに影響することが予想される。こうした動きは、北米西岸航路において、近年日本を経由しないアジアダイレクト航路が増加していることから予想できる。

今後は、アジア諸国も含めた航路全体での日本寄港の位置づけを踏まえたモデルを検討していく必要がある。

謝辞:本研究の実施に際し、ヒアリング調査にご協力下さった多数の船会社、荷主企業他、関係者各位にお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 木村東一:外貿港湾選択評価手法とその応用に関する研究、京都大学学位論文、1985
- 2) Katsuhiko KURODA, Zan YANG: Stackelberg Equilibria Analysis of Container Cargo Behavior、応用地域科学学会 神戸大会研究発表会、1994.12
- 3) E. Rasmusen(1989)、細江守紀・村田省三・有定愛展訳(1990)、「ゲームと情報の経済分析」九州大学出版会