

航路再編の影響を検討するための国際海上コンテナ貨物輸送市場モデルの構築*

Modeling of Maritime Container Cargo Transport Market Considering the Impact of Adjustment on Liner Shipping Loop*

宮本葉月**, 黒田勝彦***, 竹林幹雄****, 原進悟**

Hazuki MIYAMOTO**, Katsuhiko KURODA***, Mikio TAKEBAYASHI****, Shingo HARA**

1. はじめに

国際海上コンテナ貨物輸送市場において、グローバル・アライアンスを組んだ定期航路運航船社(定航船社)は2000年時点で70%¹⁾を超えるコンテナ貨物輸送シェアを獲得しており、国際海上コンテナ貨物輸送市場はグローバル・アライアンスの行動に大きく左右される。

ここでグローバル・アライアンスについて考えてみると、グローバル・アライアンスを組むことによって定航船社は定期航路に大型船を投入することが可能になり、結果として輸送密度の経済性を享受することになる。さらにグローバル・アライアンス内で定航船社は航路を共有している。その航行パターン(ループ)の構成を合理化することでより多くの規模の経済性を享受する。実際の定期航路のデータ¹⁾²⁾では、定航船社は中国を中心とした航路の再編を頻繁に行っている。具体的に航路の再編とは、定期航路内の寄港地の削減(抜港)、寄港順序の変更、新規港湾への寄港である。

このような現状をふまえ、現在の国際海上貨物輸送市場を解き明かすためには、定航船社による航路再編のメカニズムを分析し、既存のループ型の航路に着目したモデルに組み込むことが必要である。

そこで本研究では定期航路の再編のメカニズムを検討するために、定航船社の航路再編を取扱うことができる国際海上貨物輸送市場モデルを構築する。さらにわが国の港湾を対象として抜港による貨物フロー及び船型への影響を分析し、港湾経営に与える影響について検討する。

2. モデル

港湾政策を考える上で、海運市場をモデル化することは不可欠であり、もっとも早くからモデル化に取り入れられてきたものは船社の行動である。船社の最適化行動に着目した初期の研究としてImaiら³⁾の研究があげられる。Imaiらは船社の港湾選択と航路設定を船社、荷主のコスト最小化を満足するように決定している。これによって大型船に対応できる港湾がよりいっそうハブ機能を拡大していくという結果にいたっている。しかし船社を1社として扱っているので貨物の獲得競争は表現されていない。また、荷主の行動も単純な運賃のみの最小化で表されている。

この後、黒田ら⁴⁾は船社と荷主の行動をより複雑に表現し「航路」という概念を取り入れたモデルを構築した。これはアライアンスに着目した研究であり、競争をCournot-Nash均衡と捉え、価格を明示的に表現したものである。この中で船社は便数を戦略とし貨物の獲得競争を行い航路の設定及び寄港港湾の選択を内生化した。より現実に近い国際海上輸送市場モデルとなった。しかし、ここで定期航路は固定としているので定期航路の再編を表現することが不可能である。そこで黒田ら⁵⁾は昨年、この研究⁴⁾を拡張する形で定航船社の航路再編を考慮した研究を行った。ここでは定航船社の航路再編行動を、利潤最大化を目的とした定期航路の集約と仮定した。

本研究ではさらに現実の市場の構造をより反映したモデルを構築するため基本となるモデルに変更を加えた。

以下に変更したモデルの前提条件を示し、定式化を行う。このモデルでは定期航路の情報は与件であり、航路再編はシナリオで与えるものとする。

市場及び定航船社について以下に示す。

- 1) アジア - 北米間、アジア - 欧州間は寡占市場、アジア域内は完全競争市場とする。

*キーワード：港湾計画，物流計画

**学生会員，神戸大学大学院自然科学研究科(〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1)

***フェロー，工博，神戸大学工学部建設学科

****正員，工博，神戸大学工学部建設学科

- 2) 市場は定航船社が量的寡占競争を行っている基幹航路市場と、域内船社が完全競争を行っている域内市場からなる階層性を有する。
- 3) 船社間競争をスペース供給量による量的競争とし、船社は各定期航路に投入する船型を戦略に利潤最大化を図る。
- 4) 船社は各定期航路の供給スペース数を満たす投入船型を決定する。ただし、各航路には同一船型のみ投入可能とし、運航頻度は週1便とする。
- 5) 船社が自社ターミナルを持たない港湾に寄港する際は船待ち時間を考慮する。

市場はアジア - 北米間、アジア - 欧州間の基幹航路でグローバル・アライアンスを形成し量的競争を行う複数の同盟船社と、アジア域内で完全競争を行う無数の域内船社、および荷主で構成されるものとする。通常、寡占市場においては Bertrand 型の価格競争ないし Cournot 型の量的競争を仮定するしたシェア競争を想定することが多い。Bertrand 型競争は市場が未成熟で、ライバル会社を市場から撤退させるための戦略としてとらえられることが多い。一方、Cournot 型競争は成熟した寡占市場で仮定されることが多い。本研究で対象とする海運市場で基幹航路に関しては、市場再編がほぼ収束し、安定していると考えられるため、Cournot 型競争を基本としたモデル化を行う。アジア域内航路では基幹航路のような全体を統括するような同盟が存在せず、個々の航路ごとに存在する運賃同盟の運賃に対する影響は小さく価格が不安定である。また基幹航路で存在したグローバル・アライアンスも組織されておらず、多数の船社による完全競争市場と考えられる。このように基幹航路とアジア域内の2つの市場を仮定し、階層性を持たせたことが大きな変更点である。

船社は供給スペース数を戦略とした競争を行うが、現在すべての航路で週1便のサービスが行われているので頻度は固定とし、船社は投入船型を操作して利潤最大化を目的に行動する。より現実的なモデルにするために、船社が自社ターミナルを持たない港湾での沖待ち時間を考慮する。

各アライアンス下の定航船社 n の直面する利潤最大化問題は以下のように定式化される。

$$Obj: Z^n(V_j^n | V_j^n) = \sum_{rs} \left\{ p^{rs}(V_j^n) \cdot \sum_k x_k^{n,rs} \right\} - \sum_j RC_j^n(A_j^n, T_j^n) - \sum_j PC_j^n(A_j^n) - \sum_j \sum_i \varepsilon_{Cgt_i} \cdot \delta_{n,j}^{i,op} \cdot Cgt_i(PF_i^{op}) \rightarrow \max \quad (1)$$

$$Subject\ to: x_k^{n,rs} \leq V_k^{n,rs} \quad (2)$$

$$\max_l \sum_{rs} \sum_k \delta_{n,rs,k}^{j,l} \cdot x_k^{n,rs} \leq V_j^n \quad (3)$$

$$\Psi_{n,j}^i \cdot D_j^n(A_j^n) \leq PD_i^n \quad (4)$$

ここで定義式を以下に示す。

$$A_j^n = V_j^n / 52 \quad (5)$$

$$D_j^n(A_j^n) = 1.435 \cdot (A_j^n)^{0.265} \quad (6)$$

$$V_k^{n,rs} = \sum_j \delta_{n,rs,k}^j \cdot V_j^n \quad (7)$$

$$p^{rs}(V_j^n) = (d^{rs})^{\alpha_d} \cdot (V^{rs})^{\alpha_V} \cdot (X^{rs})^{\alpha_X} \quad (8)$$

$$V^{rs} = \sum_{n,k} V_k^{n,rs} \quad (9)$$

$$RC_j^n(A_j^n, T_j^n) = 52 \cdot \beta_0 \cdot \{A_j^n\}^{\beta_A} \cdot T_j^n \quad (10)$$

$$PC_j^n(A_j^n) = 4 \cdot \sum_i \delta_{n,j}^i \cdot PC_i(A_j^n) = 4 \cdot \sum_i \delta_{n,j}^i \cdot \{ \eta_i(A_j^n) + \eta_{i0} \} \quad (11)$$

(1)式は定航船社の目的関数であり、(2)、(3)、(4)式はそれぞれ、船社が経路に配分された貨物量以上のスペース数を供給しなければならないという制約、経路と定期航路の間の供給スペース数制約、各港湾での水深制約である。船型は(5)式によって定義され、(6)式の入港可能水深はパラメータ推計により算出した。(8)式は運賃関数、(10)式は運航コスト関数、(11)式は年間港湾料金を求める式である。

ここで、 V_j^n :船社 n の定期航路(以下、航路) j での供給スペース数(TEU)、 V_j^n :船社 n 以外の船社の航路 j での最適な供給スペース数(TEU)、 p^{rs} :港湾 rs 間の輸送運賃(米ドル)、 $x_k^{n,rs}$:船社 n が港湾 rs 間の経路 k で輸送する年間貨物量(TEU)、 RC_j^n :船社 n の航路 j の運航費用(米ドル)、 PC_j^n :船社 n の航路 j での港湾料金費用(米ドル)、 Cgt_i :船社 n の航路 j の混雑費用(米ドル)、 A_j^n :船社 n が航路 j に投入している船の船型(TEU)、 T_j^n :船社 n の航路 j の周回時間(日)、 $V_k^{n,rs}$:船社 n の港湾 rs 間の経路 k の供給スペース数(TEU)、 V_j^n :船社 n の航路 j の供給スペース数(TEU)、 D_j^n :船社 n の航路 j の運航コンテナ船の水深(m)、 PD_i^n :船社 n の港湾 i の入港可能水深(m)、 d^{rs} :港湾 rs 間の海上距離(海里)、 V^{rs} :港湾 rs 間の供給スペース数(TEU)、 $\delta_{n,rs,k}^{j,l}$:船社 n の港湾 rs 間の経路 k が航路 j のリンク l を利用している時1、そうでない時0となるクローネッカデルタ、

$\delta_{n,j}^i$: 船社 n の航路 j が港湾 i に寄港している時 1, そうでない時 0 となるクローネッカデルタ, $\Psi_{n,j}^i$: 船社 n の航路 j が港湾 i に寄港している時 1, そうでない時 0 となるバイナリー変数, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: パラメータ変数, である.

続いてアジア域内船社の行動を以下に示す.

- 1) アジア域内では 域内船社は域内全ての港湾間 OD で二点間輸送する.
- 2) 域内船社は, 港湾 OD 間のローカル輸送貨物と, 基幹航路へのフィーダー貨物を輸送する.
- 3) 域内船社はアジア域内の港湾間 OD ペアでのみ輸送サービスを担う.
- 4) 域内船社は多数存在し, 運航は多頻度とする.
- 5) 域内運賃は外生的に限界費用で与えられ, 域内船社はゼロ利潤でサービスを行う. この運賃は, 域内サービスを提供している定航船社にも適用される.

定航船社は基幹航路を優先的に運航し, アジア域内の輸送はその余剰スペースを埋めるために行うに過ぎないと考える. そこで域内船社の輸送運賃は競争運賃ではなく, 域内船社の限界費用まで切り下がると仮定する.

このように, 域内船社の行動は定義され, 以下のように定式化される.

$$p_{int\ ra}^{rs} = MRC_{int\ ra} \cdot T_{int\ ra}^{rs} \quad (12)$$

ここで, $p_{int\ ra}^{rs}$: 港湾 rs 間の域内船社の輸送運賃(米ドル), $MRC_{int\ ra}$: 1 日当たりの限界費用(米ドル)である.

最後に荷主の行動は以下のように定式化される.

$$x_k^{n,rs} = \frac{\exp\{-\theta_r^s \cdot U_k^{n,rs}\}}{\sum_n \sum_k \exp\{-\theta_r^s \cdot U_k^{n,rs}\}} \cdot X^{rs} \quad (13)$$

$$U_k^{n,rs} = \tau_p \cdot p_k^{n,rs} + \tau_T \cdot T_k^{n,rs} + \tau_{HC} \cdot HC_k^{n,rs} + \tau_V \cdot V_k^{n,rs} \quad (14)$$

ここで, $U_k^{n,rs}$: 荷主の効用関数, X^{rs} : 港湾 rs 間の OD 貨物量, $p_k^{n,rs}$: 船社 n の港湾 rs 間の経路 k を利用したときに荷主が支払う運賃(US ドル), $T_k^{n,rs}$: 船社 n の港湾 rs 間の経路 k の輸送時間(日), $HC_k^{n,rs}$: 船社 n の港湾 rs 間の経路 k の荷役料金(米ドル), である.

3. 数値計算

モデルを 2000 年の港湾間 OD データ⁶⁾および各船社の定期航路データ¹⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾を用いて, モデルの再現性を検証した. 表-1 に対象とする 6 つのアライアンスを示す.

表-1 対象とするアライアンス

アライアンス名	構成 船社			
The New World Alliance	MOL	Hyundai	APL	
Grand Alliance	NYK	Hapag-Lloyd	P&O Nedlloyd	OOCL
United Alliance	Hanjin	DSR-Senator	Choyang	
Cosco K-Line Yanming	K-Line	COSCO	Yangming	
Maersk Sealand	Maersk	SeaLand		
Evergreen/Lloyd-Triestio	Evergreen	Lloyd-Triestio		

(1) 港湾コンテナ取扱貨物量の再現性

まず, 各港湾の取扱貨物量の推計値と実測値を図-1 に示す. 全アジア域内の港湾の取扱貨物量の再現性は自由度補正済みで重決定係数 $\text{adj}R^2=0.971$ であり, 十分高い再現性が得られた.

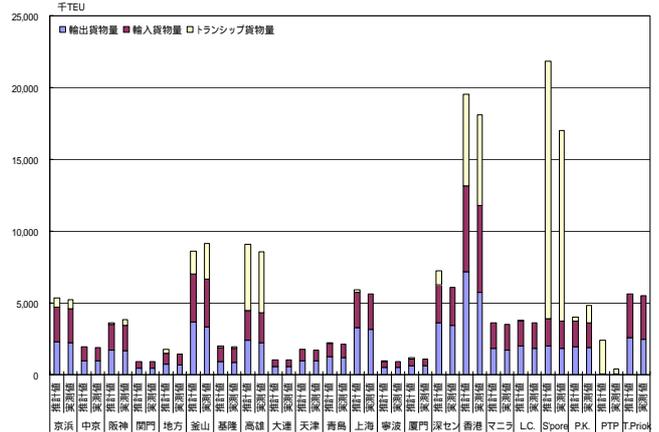


図-1 コンテナ取扱貨物量の推計値と実測地の比較

ここで, 港湾間 OD は与件であるため, 各港湾の直輸出入貨物量は実測値と推計値がほぼ等しくなる. したがって, トランシップ貨物量の再現性によって港湾取扱貨物量の再現性を照査する.

トランシップ貨物量のデータが得られた港湾は表-2 の 9 港湾のみであった. この 9 港湾で再現性を比較したグラフを図-2 に示す.

表-2 トランシップ貨物量の比較 (TEU)

	実測値	推計値
京浜	602,400	632,443
阪神	431,900	111,969
釜山	2,454,200	1,574,817
基隆	95,000	71,808
高雄	4,244,800	4,617,202
香港	6,334,000	6,391,383
S'pore	13,328,200	17,959,370
P.Kelang	1,205,600	301,731
T.Pelepas	375,000	2,398,774

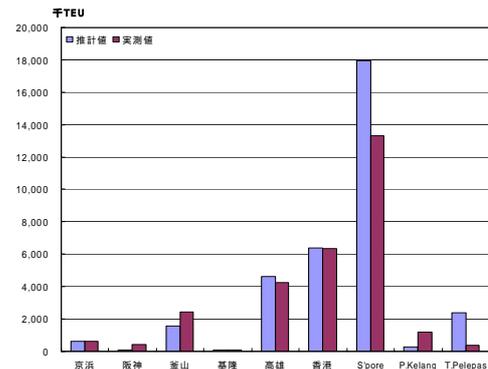


図-2 トランシップ貨物量の現状値と推計値の比較

トランシップ貨物量の再現性は自由度修正済みで重決定係数 $\text{adj}R^2=0.952$ であり高い再現性を得ることができたと言えるが、シンガポール港やタンジュンペラパス港ではフィーダー輸送とのアクセス性が高いために、実測値を上回っている。また、阪神港で 26%しか再現できなかったのは、京浜港に比べて最終寄港港となる航路が少ないためにフィーダー輸送で接続するほどの利点が少ないと判断されたからだと考えられる。

(2) 各定期航路での投入船型の再現性

投入船型の再現性は自由度修正済みで重決定係数 $\text{adj}R^2=0.793$ であった。現状値と推計値の比較を図-3に示す。

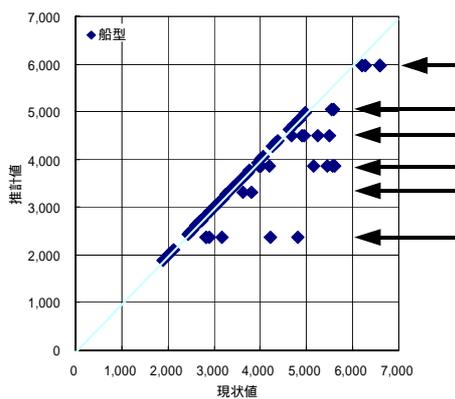


図-3 投入船型の現状値と推計値の比較

図の矢印 ~ の大きさの船型はそれぞれモデルで設定している水深で 11m, 12m, 12.5m, 13m, 13.4m, 14m を示している。推計値ではモデルの水深制約によって各船社の投入船型が切り下げられている。しかし現状値では水深制約を満たしていない船型の船が入港している。このことから、現実には船社は積載率で喫水を調整することによって水深の浅い港にも入港させていると考えられる。

4. シナリオスタディと航路再編の現状

以上のモデルを用いて、ある船社 4 の航路で、以下の 2 つのシナリオを与えて船社の利潤を比較したものを図-4 に示す。

- 1) 日本の港湾を上海港に変更
- 2) 日本の港湾を抜港

基本ケースを 1 とすると船社 4 では日本の港湾を抜港すると利潤は約 1.7 倍まで大きくなっている。この結果から、船社が利潤を最大にすることを目的に航路再編を行うと、船社 4 にとって日本の港は抜港される対象となる可能性が大きい。これは船社 4 が中華系の船社であり、日本の港湾に寄港するよりも中国を中心とした航路設定をするほうが効率的であるからだと考えられる。

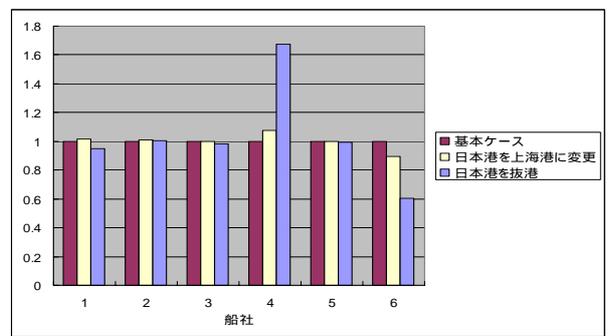


図-4 基本ケースとシナリオの比較

また、以下の図-5 は中国の地域別に 2001 年から 2003 年の寄港数の変化を示したものである。この図より、中国港湾への寄港数が短期間で大幅に増加していることがわかる。特に華東では約 2 倍になっている。

以上のシナリオと寄港数の変化から、中国を中心とした航路再編が今後も頻繁に行われると考えられる。

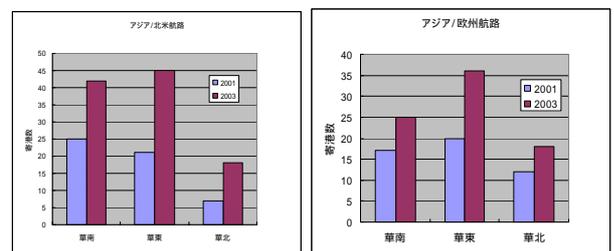


図-5 中国寄港数の変化(アジア/北米航路・欧州航路)

航路再編を内生化したモデルについては紙面の都合上、講演時に発表する。

[参考文献]

- 1) *Containerisation International Yearbook 2002*: Informa UK Ltd
- 2) 定航海運の現状 2002/2003 加速するグローバルゼーション: 商船三井営業調査室: 2003.11
- 3) Akio Imai, Stratos Papadimitriou: Port Choice for Hubs in the Container Liner Networks of Eastern Asia
- 4) 振り子型輸送を考慮した国際コンテナ輸送市場モデルの開発: 金井仁志, 竹林幹雄, 黒田勝彦, 藤田智喜: 土木計画学研究・講演集 Vol.28, 2003.11
- 5) 国際海上コンテナ輸送市場モデルの開発: 定期航路におけるループの戦略的再編: 原進悟, 竹林幹雄, 金井仁志, 黒田勝彦: 土木計画学研究・講演集 Vol.30, 2004.11
- 6) *The Journal of Commerce: Port Import Export Reporting Service*: 2000
- 7) 国際輸送ハンドブック 1996-2003:(株)オーシャンコマース
- 8) アジアの主要コンテナ港調査: JETRO: 2003,3
- 9) コンテナ貨物量の推移: MOL: 2001