

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*

Modeling of international container transport market: Strategic loop restructure in trunk lines:

原進悟**, 竹林幹雄***, 金井仁志**, 黒田勝彦****

By Shingo HARA**, Mikio TAKEBAYASHI***, Hitoshi KANAI**, and Katsuhiko KURODA****

1. はじめに

ポストパナマックス船の登場により、船社はより大きな輸送規模の経済性を享受することが可能となった。この輸送規模の経済性をより大きく受けるために、船社は定期航路における寄港パターン（いわゆるループ）を再編するようになった。

ループの再編とは、船社が貨物量の多い、そして割安な港湾に寄航先を移し、このような港湾を軸に効率的な寄港順序に変えることである。このような動きに対応するために東アジア域内の港湾は価格やサービスによる船社獲得競争を繰り広げている。

この船社獲得競争、つまり、港湾間競争とは、経済と港湾が一体となって他国の経済と港湾が一体となったものとの競争¹⁾である。よって、航路から除外されることは、我が国の国際競争力の低下、さらにはわが国の経済力の低下につながるおそれがある。

このように、船社の航路の再編を含めた航路設定、港湾選択行動は港湾政策に大きな影響を及ぼすと考えられ、船社の行動を詳細に分析することが、今後の港湾製作を企画・立案する上で重要である。

本研究では、国際海上物流市場を考究するにあたり、特に定期航路船社のループ再編行動に着目する。本稿では特にループの再編に関し、簡単なモデル化を試み、ループ再編を可能にした場合の効果の計測を行う。

2. 航路の再編行動

本研究で取り上げるループ再編とは、

- 1) 船社が既存の定期航路では荷主のニーズに対応できない場合

*キーワード：定期航路の再編，アライアンス，港湾計画

**学生員，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）

***正員，工博，神戸大学工学部建設学科

****フェロー，工博，神戸大学工学部建設学科

- 2) 既存の定期航路では十分な利益が得られず航路を再構築により利益を得られる見込みがある場合

に行われると考えられる。具体的には次のような行動をとる。

- a) 定期航路内の寄港地の削減（抜港）
- b) 定期航路の集約
- c) 新規港湾への寄港

ここで、定期航路内の寄港地の削減（以下、抜港）、新規港湾への寄港は、定期航路の集約によって表現できる。これは、例えば、船社が次のような定期航路を所有している場合、

定期航路 1 - - -

定期航路 2 - - - (内は港湾番号)

仮に定期航路 2 に集約される場合、廃止される定期航路 1 の港湾は抜港されたと捉えることができる。

また、船社が次のような定期航路の所有している場合、

定期航路 3 - - -

定期航路 4 - - - (内は港湾番号)

仮に定期航路 3 に集約された場合、廃止される定期航路 4 の港湾は抜港され、港湾に新規に寄港すると捉えることができる。本モデルでは定期航路でのループの集約と抜港、新規港湾への寄港に上記のようなルールを仮定している。以後、このような簡単なルールのもとで抜港の可能性を検討する。

3. モデル

本モデルは文献 1)~3)で示したアライアンスの競争モデルをループの設定を戦略とした形式に拡張したものである。ここでは、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、

モデル化を行った．以下に船社行動における抜港の取り扱いについて述べる．本モデルで採用した基本的な前提条件は、文献 1) ~ 3)と同様であるため省略し、本研究独自の部分のみ述べる．

- 1) 抜港，新規港湾への寄港は定期航路の集約によりなされる．
- 2) 抜港対象港湾はアジア域内の港湾とし，端点の北米，欧州港湾は考慮しない．
- 3) 各定航船社の定期航路の中で類似した航路をグループ分けし，定期航路の集約を考える．
- 4) 定期航路は類似した航路のグループ内で定期航路から得られる利潤が最大の航路に集約し，それ以外の航路は廃止する．
- 5) 定期航路内の寄港地が 2 港の場合，定期航路の集約は考慮しない．
- 6) 類似したグループ内の定期航路に投入されている船舶は同一船型とする．
- 7) 定期航路の集約を行わない船社の航路は固定とする．

ここで，3)は船社 n が航路 j において抜港，新規港湾への寄港を行うことによって航路 j' となる場合，航路 j と航路 j' は類似航路と定義する．つまり，先述した定期航路の集約と抜港，新規の港湾への寄港の関係を満たす航路のグループを類似航路グループとする．

船社は航路の設定を決定する δ_j^i および航路上の運行便数 F_j^n を明示的な操作変数として利潤を最大化する．

定航船社の直面する利潤最大化問題は次のように定式化される．

$$\text{Obj: } Z^n(F_j^n, \delta_j^i) = \sum_{rs} \sum_k (p^{rs} \cdot x_k^{n,rs}) - \sum_j RC_j^n \cdot FR_j^n - \sum_i \sum_j \delta_j^i \cdot PC_i \cdot FR_j^n \rightarrow \text{Max} \quad (1)$$

$$\text{Sub.to. } \sum_{rs} \sum_k \delta_k^l \cdot x_k^{n,rs} \leq FR_j^n \cdot A_j^n, \quad \text{for } \exists l \in \Lambda^j \quad (2)$$

$$\sum_j \delta_j^a \cdot F_j^n \leq RF^{n,a} \quad (3)$$

$$F_j^n \geq 1 \quad (4)$$

$$x_k^{n,rs} = \arg \max \{H(F, \delta)\} \quad (5)$$

$$FR_j^n = \frac{365}{T_j^n / F_j^n} \quad (6)$$

$$RC_j^n = T_j^n \cdot (MFO^a + CA^a) \quad (7)$$

$$p^{rs} = (d^{rs})^\alpha \cdot (V^{rs})^\beta \quad (8)$$

$$V^{rs} = \sum_n V^{n,rs} = \sum_n \sum_k \Gamma(V_k^{n,rs}) = \sum_n \sum_k \Gamma(\min\{\delta_k^j \cdot FR_j^n \cdot A_j^n\}) \quad (10)$$

ここで F_j^n :船社 n が定期航路 j に投入する隻数(隻)， δ_j^i :定期航路 j 内の港湾 i に寄港するとき 1，それ以外は 0 を取る 2 値変数， FR_j^n :船社 n の定期航路 j の各港湾に期間内に寄港する隻数(隻/年) 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 の定期航路 j を運行する費用(米ドル)， PC_i :港湾 i での港湾料金(米ドル)， A_j^n :船社 n が定期航路 j に投入している船の船型(TEU)， T_j^n :船社 n の定期航路 j を 1 回周回する時の所要時間(日)， MFO^a :船型 a の船で航行する時の燃料費(米ドル)， CA^a :船型 a の船で航行する時の船費(米ドル)， d^{rs} :港 rs 間の海上距離(海里)， V^{rs} :港湾 rs 間の供給可能サービス容量(TEU)， $V^{n,rs}$:船社 n の港湾 rs 間の供給可能サービス容量(TEU)， $V_k^{n,rs}$:船社 n の港湾 rs 間の経路 k の供給可能サービス容量(TEU)， δ_k^l :経路 k がリンク l を含んでいる時 1，含んでいない時 0 となる 2 値変数， Γ :経路 k に含まれているリンクが 2 回以上最小値として利用される時 2 回目以降をゼロとする 2 値変数， Λ^j :定期航路 j を構成しているリンクの集合，である．

次にフィーダー船社の行動は以下のように定式化される．本モデルは文献 1) ~ 3)のモデルと同様，特定のアライアンスにおいて基幹航路のみでサービスできない「孤立」OD 市場が存在しないようにフィーダーサービスを導入することとした．ゆえにフィーダーサービスは自己の目的関数を有せず，市場を均衡させるためだけに存在すると仮定している．このため，便宜上輸送能力は無限大とし，運賃および輸送時間は与件とする．このとき，フィーダーサービスによる運賃構成は以下ようになる．

$$p_{feeder}^{rg} = d^{rg} \cdot fp \quad (12)$$

$$p_k^{n,rs} = \delta_k^{rg} p_{feeder}^{rg} + \delta_k^{gh} p^{gh} + \delta_k^{hs} p_{feeder}^{hs} \quad (13)$$

ここで p_{feeder}^{rg} :港湾 rg 間をフィーダー船社を用いて

輸送したときの運賃(US ドル) , f_p :海上輸送距離あたりの固定運賃(US ドル) , $p_k^{n,rs}$:港湾 rs 間で船社 n の経路 k を利用したときに荷主が支払う運賃(US ドル) である . これは通常基幹航路であれば Cournot の寡占価格 p^{gh} のみ負担すればよいが , フィーダーを新たに用いているため , その費用はアライアンスの競争価格には含まれず別途負担されると定義したためである . これはフォワーダを利用した場合の料金構成と同意であると考えられ , 本モデルでは結果的にフィーダーサービスはフォワーダを通じて行われる , と解釈してもよい .

最後に , 荷主 (貨物) の行動について簡単に述べる . 荷主は船社の経路運賃の他 , トランシップ料金 , フィーダー運賃をも考慮して貨物を配分する . ここで , 荷主に提示される「価格」は , この競争の価格分にローディング等の費用が上乘せされている形式となる . つまり , 荷主の行動は以下のように示される .

$$x_k^{n,rs} = \frac{\exp\{-\mu \cdot U(p_k^{n,rs}, T_k^{n,rs}, HC_k^{n,rs})\}}{\sum_k \exp\{-\mu \cdot U(p_k^{n,rs}, T_k^{n,rs}, HC_k^{n,rs})\}} X^{rs} \quad (11)$$

Sub. to

$$\sum_n \sum_k x_k^{n,rs} = X^{rs} \quad (12)$$

$$U(p_k^{n,rs}, V_k^{n,rs}, HC_k^{n,rs}) = \tau(p_k^{n,rs}) + v(T_k^{n,rs}) + \omega(HC_k^{n,rs}) \quad (13)$$

$$HC_k^{n,rs} = \sum_l \sum_i \delta_k^l \cdot \Psi_i^l \cdot hc_i$$

(14)

ここで , $U(p_k^{n,rs}, T_k^{n,rs}, HC_k^{n,rs})$: 荷主の効用関数 , X^{rs} : 港湾 rs 間の OD 貨物量(TEU) , $T_k^{n,rs}$: 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 の全荷役料金(US ドル) , hc_i : 港湾 i での荷役料金(US ドル) , Ψ_i^l : リンク l が港湾 i をトランシップ港湾としている時 1 , そうでない時 0 となるクローネッカデルタ , である .

4 . 定期航路の集約

本研究では定期航路の集約は , 各船社が自己の定

期航路内で類似航路の抽出を行い , グループ分けを行うことで評価を行うこととした . これは膨大な計算量を削減するとともに , 市場の動向を分析した結果現在設定されている航路から短期的には大きく変化することはないと考えられたためである . グループ分けの結果は講演時に発表する .

グループ内で定期航路の集約が成立するのは次に示す条件を満たす場合である .

- 1) 定期航路の集約を行った船社の利益から既存の定期航路 , つまり , 集約を行わない場合の利益を差し引いたとき , その値が正である .
- 2) 類似航路グループ内で集約を行ったときの利益と行わない場合の差が最も大きい .

ここで , 2)については各航路 j でのコスト , つまり , 運航コスト , 港湾利用料金の差を最大化することを目的と考えてよい . 定期航路の集約についての定式化を以下に示す .

$$Obj: Z_j^n(\delta_j^i(t)) = \sum_j RC_j^n \cdot FR_j^n + \sum_j \sum_i \delta_j^i \cdot PC_i \cdot FR_j^n - \left(\sum_j RC_j^n \cdot FR_j^n + \sum_j \sum_i \delta_j^i \cdot PC_i \cdot FR_j^n \right) \quad (14)$$

Sub. to

$$\sum_j \delta_j^i - \sum_j \delta_j^i = 0 \quad (15)$$

ここで , t : 選択される港湾の組み合わせの番号であり , 既存航路で寄港する港湾の近傍港湾との組み合わせで表現されるものである . 式(14)は航路 j に着目して , その再編成により増加する Z_j^n を港湾の組み合わせ t を選んで最大化するという意味である . 式(15)は類似航路の関係を表した式である .

なお , 最適化計算に関しては , 本モデルではネットワークの形状が与えられた場合の FR_j^n の最適化を Nash 均衡問題として解く Phase 1 と(14)式で示される δ_j^i を最適化する Phase 2 を交互に解き , その収束解をもって最適解として採用した . このような問題を分割して解く必要性は , 式(1)に示されるとおり各

アライアンスは2種類の異なる操作変数を有することに起因する。すなわち、 FR_j^n は航路が設定されない限り決定することができない。一方、航路は既に与えられた頻度で得られる貨物フローを参照することでのみ決定される。すなわち、Phase 1 はアライアンス間の競争による均衡を探索する問題、Phase 2 は各アライアンスが自己の収益性を局所的に最大化する問題として規定されるのである。

他方、本モデルは Phase1 と Phase2 の繰り返し計算により求解されるが、式(1)が非凸関数であることから複数均衡解が存在する。ゆえに求められた解の一意性を保証することは困難であるが、本稿では初期解に対する数値的な攪乱を加え、数値的な安定性を確認することで非劣性解としての必要条件を満足しているものとして最適解として採用した。

5. 数値計算

モデルを2000年の港湾間ODデータおよび各船社の定期航路データを用いて、モデルの現状再現性、抜港、新規港湾への寄港、そして定期航路の集約について分析した。数値計算結果については講演時に発表する。この時対象とした船社及び港湾を表-1、表-2に示す。

表-1 対象船社及びアライアンス

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		

表-2 対象港湾

港湾No.	1	2	3	4
代表港湾名	京浜港	中京港	阪神港	関門港
略表記	京浜	中京	阪神	関門
国・地域	日本			
港湾No.	5	6	7	
代表港湾名	釜山港	基隆港	高雄港	
略表記	釜山	基隆	高雄	
国・地域	大韓民国	台湾(中華民国)		
港湾No.	8	9	10	
代表港湾名	大連港	天津港	青島港	
略表記	大連	天津	青島	
国・地域	中華人民共和国			
港湾No.	11	12	13	14
代表港湾名	上海港	広東港	香港港	シンガポール港
略表記	上海	広東	香港	S'pore
国・地域	中華人民共和国			シンガポール
港湾No.	15	16	17	18
代表港湾名	タンジュンプリオク港	ポートケラン	マニラ港	レムチャパン港
略表記	T.P.	P.K	マニラ	L.P.
国・地域	インドネシア	マレーシア	フィリピン	タイ王国
港湾No.	19	20	21	22
代表港湾名	北米東海岸	北米西海岸	地中海	欧州北岸
略表記	米東岸	米西岸	地中海	欧州
国・地域	アメリカ合衆国		欧州連合	

6. おわりに

本研究では、既存の研究では考慮されていなかった定期航路の再編を取り扱うモデルを構築した。本モデルで分析可能なものを簡単に述べる。

- 1) 航路の再編が港湾に与える影響の分析
- 2) 抜港される港湾の特徴の分析
- 3) 港湾政策の評価
- 4) 航路の変化の分析
- 5) 将来予測

本研究で提案したモデルにより航路におけるループの再編を表現可能となった。しかし、一方で新たな課題も明らかになった。主なものを以下に述べる。

- 1) 本モデルでは類似航路を外生的に与えているため、船社が内生的に航路の集約を行うようにモデルを改変する。
- 2) 船社は定期航路の集約を行うのみで、航路数は維持、減少しか起こりえない。
- 3) 本モデルでは航路の再編に影響があると考えられる固定コストを考慮していない。

参考文献

- 1) 港湾と地域の経済学 2003 土井正幸 多賀出版
- 2) 金井仁志, 竹林幹雄, 黒田勝彦, 藤田智喜: 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, 土木計画学研究・講演集 Vol.28, 2003.11
- 3) Mikio Takebayashi, Katsuhiko Kuroda, Hitoshi Kanai, and Tomoki Fujita: MODELLING OF INTERNATIONAL CONTAINER CARGO TRANSPORT MARKET, WCTR 2004 (投稿中)
- 4) 竹林幹雄, 黒田勝彦, 金井仁志, 藤田智喜: 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需要モデルの開発とその適用, 土木学会論文集 IV (投稿中)