

フィーダーサービスによる国内コンテナ貨物流動分析

Analysis on Domestic Physical Distribution of Container Cargo with Feeder Service

黒田勝彦* 楊贊** 竹林幹雄*** 安東昌輝****

Katuhiko KURODA* Zan YANG** Mikio TAKEBAYASHI*** Masaki ANDO****

1. はじめに

近年、環境改善の要請、また、労働力、道路混雑等の制約の下で、国内貨物輸送のモーダルシフトの重要性が指摘され、陸送から海上輸送への転換に着眼して、物流のニーズに答えられるような代替輸送手段、例えばテクノスパーライナー（TSL）が開発され、物流関連施設の整備が検討されている。その中に、フィーダーサービスによる外貿コンテナ貨物輸送のモーダルシフトは大変関心を寄せられている。

また、貨物輸送のコンテナリゼンションが進む中で、欧米と結ぶ基幹航路においては、効率を求めてコンテナ船の大型化が進み、寄港地の集約化の傾向が強くなり、国際港湾間の連携と競争という意味において、深水コンテナバースを有するハブコンテナ港湾の整備が急務となっている。一方、近海地域においては、近隣諸国との交流の活発化に応じて、地域国際流通港湾は、ハブ港と連係するフィーダー港としての役割も重ねて、その整備も早急に行わなければならないこととなっている。

このような港湾ネットワークを整備した場合、貨物流動は如何に変わるかを分析し、その結果を持って、ネットワークの整備効果を評価しなければならない。そこで、われわれは本研究において、港湾利

用者の船社と荷主の輸送市場におけるゲーム的な関係をつかみ、両者のシュタッケルベルグ均衡モデルを構築し、それを用いて、幾つかの港湾ネットワーク整備代替案のもとに、外貿コンテナ貨物の国内トラック輸送から海上フィーダーへのモーダルシフトをシミュレーションし、その流動状況を分析した上で、港湾ネットワーク整備代替案を評価する方法を提案する。

2. モデルの構築

(1) 船社及び荷主の行動分析

船社は企業として常に貨物輸送による利潤最大を追求しながら行動する。

コンテナ定期船輸送に関しては、不定期船輸送と違って、船社が不特定多数の荷主に輸送サービスを提供することとなり、輸送行為を実施する前に、運航スケジュール、投入船のデータ等のサービス内容を公表する必要がある。そのとき、港湾整備状況と与件に、荷主の最適貨物配分行動を予測して、就航航路、投入便数、投入船型、運賃などの配船スケジュール（以下、配船戦略という）を公表した上で、貨物を集荷する。ただし、運賃の決定に関しては、一般的に、道路輸送と同様、運賃は外生的に定められると考えられる。従って、船社の配船戦略の内容としては、就航航路、投入便数、投入船型となる。

船社は貨物ODと言ったような情報、コンテナ港湾の整備状況のもとに、荷主の貨物配分行動に関する予測を行い、最大利潤をもたらすような配船計画を先に提示する。この意味では、荷主に対して、常に上位プレーヤーとなる。ただし、荷主の最適貨物配分戦略を制約条件とする。

一方、荷主は貨物の託送者であり、輸送費用を常

キーワード	コンテナ、モーダルシフト、港湾計画	
★正会員	工博	神戸大学工学部建設学科 (TEL. 078-803-1011 FAX. 078-803-1016)
★★学生会員	工修	神戸大学自然科学研究科
★★★正会員	工修	神戸大学工学部建設学科
★★★★学生会員	工学士	神戸大学自然科学研究科 (〒650 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL. 078-803-1016 FAX. 078-803-1016)

に最小とする。

貨物の各港湾への配分（以下配分戦略と言う）は船社の配船戦略の枠内で、自主選択することができる。具体的に言うと、荷主は貨物のコンテナ港湾へのアクセス費用、港湾における船待ち時間と海上輸送時間による金利損失、及び海上運賃の和が最小となるよう、国内の利用可能なコンテナ港湾を選択し、それを経由する外貿貨物量を配分する。このように、荷主は船社が示した配船戦略に関する情報を与えられてはじめて、自分の最適貨物配分戦略を決定するから、ゲームにおいて下位プレーヤーの立場にある。

上述のように、コンテナ定期輸送市場においては、船社、荷主両者のゲーム関係は他プレーヤーに関する情報に格差があり、プレーヤーの戦略提示順序に差のあるシュタッケルベルグ問題に帰着できる。その概念図と決定順序は図1のようである。ゲームの均衡状態をシュタッケルベルグ均衡解として求めることができる。

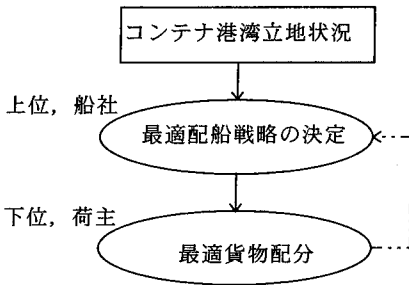


図1 輸送市場での船社と荷主のゲーム的關係

(2) 定式化

船社は運賃収入から船舶運航費用、船舶保有費用、貨物取扱料、経営費用を差し引いての企業利潤を最大することを常に追求するが、コンテナターミナルの整備状況の枠でしか、配船出来ないし、貨物ODの状況、荷主の貨物配分行動を考慮しながら運航スケジュールを組まなければならない。

ここで、船舶運航費用とは船舶を運航させる際に発生する入港料金、トン税、岸壁使用料、航行費用、船舶保有費用とは船舶償却費、船員費、貨物取扱費用とは主として荷役費、また経営費用とは店費のことである。しかし、店費は会社の組織によるもので、

ここで考えないことにする。各項目は以下のように定式する。

運賃収入 FI :

$$FI = \sum_k \sum_i \sum_j \left\{ rf_{ij} \cdot \left[x_{kij} + x_{jik} + \sum_h (x_{khij} + x_{jihk}) \right] + \sum_h rf_{hi} \cdot (x_{khij} + x_{jihk}) \right\} \quad (2.1)$$

ここで、

h, フィーダー港；

i, j, 外航コンテナ船寄港港湾, j は外国港湾；

k, 国内都道府県（以下ゾーンという）；

rf_{ij} , 貨物の港湾 i, j 間の海上運賃率（円／トン）；

x_{kij} , ゾーン k から港湾 i → j 貨物量（トン）；

x_{khij} , ゾーン k から港湾 h → i → j 貨物量（トン）；

運航費用 OC :

$$OC = \sum_i \sum_j \sum_o GT_{ij}^o \cdot Y_{ij}^o \cdot (b_i^o + b_j^o + ph_i^o + ph_j^o + t_i^o + t_j^o + p_i^o + p_j^o) + \sum_i \sum_h \sum_f GT_{hi}^f \cdot y_{hi}^f \cdot (b_i^f + b_h^f + ph_i^f + ph_h^f) \quad (2.2)$$

ここで、

o, 外航船の船型種類；

f, フィーダー船の船型の種類；

GT, 船舶の船型（トン）；

Y, 外航コンテナ船の配船便数（隻／年）；

y, フィーダーコンテナ船の配船便数（隻／年）；

b_i^o , i 港での船型 o の岸壁使用料（円／トン）；

ph_i^o , i 港での船型 o の入港料（円／トン）；

t_i^o , i 港での船型 o のトン税（円／トン）；

p_i^o , i 港での船型 o の水先料金（円／トン）；

船舶保有費用 SC :

$$SC = \sum_i \sum_j \sum_o (cs^o + cc^o) \cdot ct_{ij}^o \cdot Y_{ij}^o / 365 + \sum_i \sum_h \sum_f (cs^f + cc^f) \cdot ct_{hi}^f \cdot y_{ih}^f / 365 \quad (2.3)$$

ここで、

cs^o , 船型 o の船舶の償却費（円／隻／年）；

cs^f , 船型 f のフィーダー船の償却費（円／隻／年）；

cc^0 , 外航船の船員費 (円/隻/年);
 cc^f , フィーダー船の船員費 (円/隻/年);
 ct_{ij}^0 , 港湾 i, j 間の船型 o のサイクルタイム (日);

貨物取扱費用 CC :

$$\begin{aligned}
 CC = & \sum_i \sum_j \sum_k \sum_h (x_{khij} + x_{jihk} + x_{kij} + x_{jik}) \cdot (w_i + w_j) \\
 & + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_h (x_{khij} + x_{jihk}) \cdot (w_i + w_h)
 \end{aligned} \quad (2.4)$$

ここで,

w_i , i 港における荷役費 (円/トン);
 従って, 船社の行動モデルは次のようになる。

$$\max SB = FI - OC - SC - MC \quad (2.5)$$

sub. to

$$Y_{ij} \geq 0; y_{ih} \geq 0 \quad \forall h, i, j \quad (2.6)$$

$$\sum_j If_{ij} \cdot cp^0 \cdot Y_{ij}^0 / (365 \cdot u_i^0) \leq Z_i \quad \forall i \quad (2.7)$$

$$\sum_h If_{ih} \cdot cp^f \cdot y_{ih}^f / (365 \cdot u_i^f) \leq z_i \quad \forall i \quad (2.8)$$

$$\sum_i \sum_o If_{ij}^o \cdot cp^f \cdot Y_{ij}^o \geq \sum_k C_{kj}^E \quad \forall j \quad (2.9)$$

$$\sum_i \sum_o If_{ij}^o \cdot cp^f \cdot Y_{ij}^o \geq \sum_k C_{jk}^I \quad \forall j \quad (2.10)$$

$$\text{荷主の行動} \quad (2.11)$$

ここで,

If_{ij}^0 , 港湾 i, j 間船型 o の外航船の積載率;
 If_{ij}^f , 港湾 i, j 間船型 o のフィーダー船の積載率;
 cp^0 , 船型 o の外航船のキャパシティー;
 cp^f , 船型 o のフィーダー船のキャパシティー;
 C_{kj}^E , ゾーン K と外国港湾 j 間の輸出貨物量;
 C_{jk}^I , 外国港湾 j とゾーン K 間の輸入貨物量;

また,

式 (2.6) は配船便数の非負条件;

式 (2.7) と (2.8) は港湾コンテナバース数による制約,

式 (2.9) と (2.10) は貨物を全部運べるように配船しなければならないという制約である。

一方, もう一つの制約条件としての荷主の行動モデル (式 (2.11)) は前節の分析により, 次のように定式化できる。

$$\begin{aligned}
 \min NC = & \sum_k \sum_i \sum_j \left[tf_{ki} (x_{kij} + x_{jik}) + \sum_h tf_{kh} (x_{khij} + x_{jihk}) \right] \\
 & + \sum_k \sum_i \sum_j rf_{ij} \cdot (x_{kij} + x_{jik}) \\
 & + \sum_k \sum_i \sum_j \sum_h (rf_{ij} + rf_{hi}) \cdot (x_{khij} + x_{jihk}) \\
 & + \sum_k \sum_i \sum_j pc_k^E \cdot x_{kij} \cdot (1+r)^{lt_{ij}^E} \\
 & + \sum_k \sum_i \sum_j pc_k^I \cdot x_{jik} \cdot (1+r)^{lt_{ij}^I} \\
 & + \sum_k \sum_i \sum_j (pc_k^E \cdot \sum_h x_{khij} + pc_k^I \cdot \sum_h x_{jihk}) \cdot (1+r)^{ft_{hi}}
 \end{aligned} \quad (2.12)$$

sub. to

$$x_{kij} \geq 0, \quad \forall i, j, k \quad (2.13)$$

$$x_{jik} \geq 0, \quad \forall i, j, k \quad (2.14)$$

$$x_{khij} \geq 0, \quad \forall i, j, k \quad (2.15)$$

$$x_{jihk} \geq 0, \quad \forall h, i, j, k \quad (2.16)$$

$$\sum_i \sum_h (x_{kij} + x_{khij}) = C_{kj}^E, \quad \forall k, j \quad (2.17)$$

$$\sum_i \sum_h (x_{jik} + x_{jihk}) = C_{kj}^I, \quad \forall k, j \quad (2.18)$$

$$\sum_k (x_{kij} + \sum_h x_{khij}) \leq \sum_o cp^0 \cdot If_{ij}^0 \cdot Y_{ij}^0, \quad \forall i, j \quad (2.19)$$

$$\sum_k (x_{jik} + \sum_h x_{jihk}) \leq \sum_o cp^0 \cdot If_{ji}^0 \cdot Y_{ji}^0, \quad \forall i, j \quad (2.20)$$

ここで,

tf_{ki} , k ゾーンから i 港までの貨物陸送賃率 (円/Km);
 pc_k^E , ゾーン k の輸出貨物の単価 (円/トン);
 pc_k^I , ゾーン k の輸入貨物の単価 (円/トン);
 r , 利子率;
 lt_{ij}^E , 輸出貨物を明け渡すまでの所要時間 (日);
 lt_{ij}^I , 輸入貨物を受け取るまでの所要時間 (日);
 f_{hi} , フィーダーによるラグタイム (日);

なお, 式 (2.12) の中,

第一項は荷主の国内陸送コスト,
 第二項は外航便のみを利用する貨物の海上運賃,
 第三項はフィーダー船も利用する貨物の運賃,
 第四項は外航船のみを利用する輸出貨物の輸送間に発する金利コスト,
 第五項は外航船のみを利用する輸入貨物の輸送間に発する金利コスト,
 第六項はフィーダー船も利用する貨物の輸送間に発する金利コストである。

3. 国内港湾ネットワークへの適用例

このモデルを用いて、以下のような計算を行い、港湾ネットワークが変化した場合の船社配船パターン、またそれに応じての貨物配分パターンの変化を検討した。

まず、現在、外航コンテナ船が寄港しているコンテナ港を設定1とし、モデルの実用性の検討を含め、船社の配船と貨物の配分のシュタッケルベルグ均衡解を求めた。その結果は図2.1に示している通り、実績値とよく一致しており、実用できると言えおう。

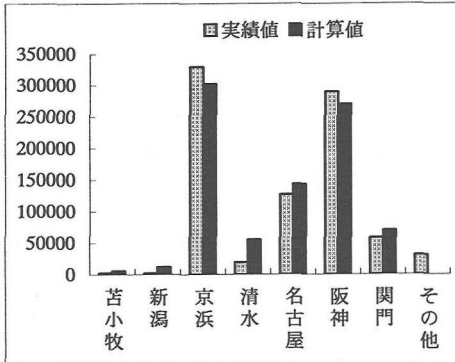


図2.1 計算値と実績値との比較

それから、コンテナ船の大型化に伴い、寄港地が集約されることが予想される。そこで、京浜港、名古屋港、阪神港、それに関門海峡にある関門港のみを寄港地とし（設定2）、集約された場合の貨物流動も検討した。その結果は表2.1に示している。

表2.1 (百万円)

	設定1	設定2
船社の利潤	19,460	19,701
荷主のコスト	107,242	108,063

この結果を見ると、寄港地の減少により、船社は運航コストを減らせることができ、利潤の増大につながる。一方、寄港地が集中した配船を受け、最寄りの港湾を利用できなくなる荷主が増え、その分の貨物の港湾アクセス費用が増大することとなり、つまり、外航コンテナ船の寄港地が減少する場合に、荷主のコスト増を避けるため、もしくは、1章で述べたことを含めて考えたうえで、フィーダー港を整備しなければならない。

フィーダー港が整備され、フィーダーサービスが実施された場合、船社の利潤と荷主のコストの変化は表2.2に示している通りである。ここで、外航コ

ンテナ船が寄港するハブ港は京浜港、名古屋港、阪神港、関門港とし、フィーダー港は苫小牧、仙台、茨城、清水、広島、志布志、沖縄とした。便数はフィーダー船の総便数である。

表2.2 (百万円)

	35 便	63 便	設定 2
総便数	35 便	63 便	設定 2
船社の利潤	51,722	51,631	19,701
荷主のコスト	106,724	106,197	108,063

表の結果を見ると、船社はフィーダー運賃収入より利潤増となり、荷主も最寄り港湾数の増加で、アクセス費用が減少し、またフィーダー運賃は陸送運賃よりやすいことから、コスト減となった。

4. おわりに

本研究において、船社と荷主のコンテナ貨物輸送市場における行動をゲーム理論の観点から考察し、シュタッケルベルグ均衡モデルとして、定式化を行いました。現状コンテナ輸送市場のデータを用い、モデルの実用性を検討し、それを確認できる結果を得られた。また、輸送モードの変化を想定し、それに伴う港湾ネットワークの変化より、港湾整備の効果を試算した。

今後の課題として、まず、現時点でのフィーダー便は計算容量の問題で、幾つかのケースとして外生的に与えているが、本来なら外航便と同時に決定されるべき、今後の計算では、アルゴリズムを更に吟味する必要がある。また、今回は2段階の計画問題としてモデル化を進んだが、政府は港湾整備に関して決定権を持ちながら、国民経済を助長するよう、言い換えれば、荷主の利益を考慮した港湾整備を行わなければならないから、ゲームのプレーヤーでもあり、その行動をモデル化した三段階の計画モデルを立て、アルゴリズムを開発する予定である。

参考文献：

- 1) K.KURODA and Z.YANG Stackelberg Equilibria Analysis of Container Cargo Behavior, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.1, No.1, 1995.
- 2) J.F.BARD An Algorithm for Solving the General Bi-level Programming Problem, Mathematics of Operations Research, Vol. 8, No. 2, MAY 1983