

# 国際海運における空コンテナ取り扱いのモデル化\*

Modeling of handling scheme on empty cargos in international maritime transport market\*

竹林幹雄\*\*・小八重晴子\*\*\*・原進悟\*\*\*\*・黒田勝彦\*\*\*\*\*

By Mikio TAKEBAYASHI\*\*・Seiko KOBAYASHI\*\*\*・Shingo HARA\*\*\*\*・Katsuhiko KURODA\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

国際コンテナ貨物輸送市場を考える上で、出入のインバランスに起因する空コンテナ（以後、空コン）のハンドリングの効率化は無視できない課題である。空コンハンドリングを取り扱った研究はWhiteをはじめとしていくつか存在する<sup>1)-3)</sup>ものの、キャリアの費用最小化行動に限った分析となり、キャリアの取った行動が市場動向にどのように波及するのか、といった視点からは議論されていない。

本稿は、キャリアと市場動向の相互作用を勘案しつつ空コンハンドリングの問題を取り扱うための方法論を提案する。

## 2. モデル

### (1) 概要

本稿で提案するモデルは、金井ら<sup>4)</sup>によって開発された海上コンテナ輸送市場を基本とし、サブ問題として空コンハンドリング問題を組み込むという形式を取る。なお、金井らのモデルに関しては再録となるため、ごく簡単にモデルの概要を述べるにとどめる。

\*キーワード: 海上コンテナ輸送市場, 港湾計画, 最適化

\*\*正員, 工博, 神戸大学工学部建設学科

(兵庫県神戸市灘区六甲台町1-1,

TEL & FAX: 078-803-6017)

\*\*\*正員, 工修, (株)日東電工

(大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号)

\*\*\*\*学生員, 神戸大学大学院自然科学研究科博士前期課程

\*\*\*\*\*フェロー, 工博, 神戸大学工学部建設学科

### 2) ネットワークモデル

#### a) 市場

基本的には金井らのモデルに従う。次のような市場を考える。rs間OD貨物量( $X^{rs}$ )は与件でありネットワークのサービスレベルに依存せず、一定である。港湾に関わる諸条件(各種費用, 位置)も与件であり, 各港湾運営政策(料金政策, パース拡張政策)も与件とする。船社は競争的關係にあるアライアンス船社(クールノー型の寡占であると仮定)と, アライアンス船社の輸送を補完するためのフィーダー船社で構成されるが, 市場ではアライアンス船社が価格決定しているものとする。荷主は船社の用意する輸送メニューを熟知し, 最適な輸送経路を選択する。輸送経路はアライアンス船社の運行する定期航路(ループ)とフィーダー輸送で構成され, ループの形状は既知であるとする。

#### b) 荷主の行動および定式化

荷主の行動については, 次のような変更を加えた。荷主は効用最大化行動を取り, その効用構成は運賃, 輸送時間および輸送能力(スペース数)とする。ただし, 荷役費用は金井らに従い, 全額荷主が負担するものとし, 船社の提供する運賃のうち競争的に決定される部分に関しては荷役費用を含まないものとした。効用の実現に関しては, ランダム効用理論を適用し, 荷主の経路選択において確率配分が実現するものと仮定した。すなわち, 輸送経路を構成するリンクにおける混雑の発生を勘案しないというものである。

荷主の行動の帰結は通常のLogit型では次のように表される。

$$x_k^{n,rs} = \frac{\exp\{\mu \cdot U(p_k^{n,rs}, V_k^{n,rs}, T_k^{n,rs})\}}{\sum_k \exp\{\mu \cdot U(p_k^{n,rs}, V_k^{n,rs}, T_k^{n,rs})\}} X^{rs} \quad (1)$$

ただし,

$$U(p_k^{n,rs}, V_k^{n,rs}, T_k^{n,rs}) = (p_k^{n,rs})^\tau + (V_k^{n,rs})^\nu + (T_k^{n,rs})^\omega \quad (2)$$

である。ここで,  $x_k^{n,rs}$ :  $n$ 社の経路 $k$ を利用するODペア $rs$ の貨物流量,  $\mu$ :パラメータ,  $U$ :荷主の効用,  $p_k^{n,rs}$ :  $n$ 社の経路 $k$ を利用する場合のOD間輸送費用,  $V_k^{n,rs}$ :  $n$ 社の経路 $k$ を利用する場合のOD間供給スペース数,  $T_k^{n,rs}$ :  $n$ 社の経路 $k$ を利用する場合のOD間輸送時間であり, 次のように表すものとした。

$$T_k^{n,rs} = \sum_j \sum_l \delta_{j,l}^{rs} \cdot T_l \quad (3)$$

$T_l$ : 港湾間輸送時間,  $\delta_{rs,nj}$ : 船社 $n$ が運営するループ $j$ のリンク $l$ が経路 $rs$ に含まれていれば1, そうでなければ0となるバイナリ変数, である。

### c) 船社の行動

船社はアライアンスに属する船社と補完的に働くフィーダー船社で機能が異なる。本モデルでも市場はアライアンス船社に支配されていると考え、競争もこのアライアンス間で行われるものとする。アライアンスはスペース供給数による利潤最大化を行うが、そのための操作変数は各ループへの投入隻数であるとする。フィーダー船社はOD市場での独占、または輸送不能などによりクールノー型競争の仮定に矛盾しないよう、市場を整合的に機能させるためにのみ働く。ゆえにその輸送能力および運賃は与件である。ここで、次の点に注意する必要がある。すなわち、船社が収益とできるものは、「実入り」コンテナからだけであり、空コンを輸送した場合は費用（損失）にしかならない。そこで、本モデルでは、この空コンによる費用の増加も考慮して船社はネットワークを構成する、と考えることにした。

このように考えた場合、船社は以下の2つの項目を検討しなければならない。

自アライアンスのネットワークの中で、実コン輸送を行いつつ、空コンの輸送も整合的に行う。インバランスを解消するため、リースによりまかなう。

の場合は、ネットワークの構成を考える際、空コン配送も同時に考えるというものになる。これは一般にいう、コンテナの保有コストを考慮した結果、リースするよりも保有して配送した方が安価である、

という場合を表している。一方、の場合は、空コンの輸送は発生しないものの、リースによる損失を考慮しなければならない。これはの逆で空コンを配送し、保有による固定費用を払うよりも、リースでまかなった方が安価である場合に相当する。

実際の市場では、が混在して実現されると考えられる。しかし、いずれの船社、またはどの市場で、が実現されるのかをモデル化することは非常に難しい。したがって、本稿では全てのアライアンス船社が または のパターンで活動するという極端な場合を取り上げ、検討することとした。

### d) 船社行動の定式化

c)で述べたように、アライアンス船社は自己の行動がネットワークデザインによる利潤最大化行動と、空コンの取り扱いの合理化という費用最小化行動とを同時に扱うことになり、後者はさらに行動、行動にわけられる。

このような問題は利潤最大化行動（主問題とする）に対して、費用最小化行動が最適制約として機能する最適制約問題（MPEC）に帰着できる。MPECに関しては、その解法に関して標準的な解法は未だ存在しないが、ここではPatrikksonらが提案する感度分析をもとにした解法を採用することとした。

まず、主問題を定式化する。主問題では金井らの場合とほぼ同形式になる。なお、以後空コンと実コンを区別するために空コンの輸送量を $y$ で表すこととする。

$$\begin{aligned} \max : Z^n(F_j^n) = & \sum_{rs} \sum_k (p_k^{rs} \cdot x_k^{n,rs}) \\ & - \sum_j RC_j^n \cdot FR_j^n - \sum_j \sum_h \delta_h^j PC_h \cdot FR_j^n - C^n(y) \end{aligned} \quad (4)$$

sub. to

$$\sum_{rs} \sum_k \delta_j^{k,l} \cdot x_k^{n,rs} \leq FR_j^n \cdot A_j^n \quad \text{for } \forall l \in \Omega^j \quad (5)$$

$$\sum_j \delta_j^a \cdot f_j^n \leq HF^{n,a} \quad \text{for } \forall a \in \Lambda^n \quad (6)$$

$$C^n(y) = \min \{ C^n(\hat{y}) \} \quad (7)$$

$$f_j^n \geq 1 \quad (8)$$



次に空コン取り扱いに関しては，2章2)c)のふたつの考え方をそれぞれ[S-1]，[S-2]として定式化した．

[S-1]

$$\begin{aligned} \min C^n(y, FR_j^n) = & \sum_j \sum_p \sum_q EC_{pq}^n y_{pq}^{n,j} \\ & + \sum_j \sum_p HC_p(y_p^{I,j} + y_p^{O,j}) + \delta^n \cdot \sum_p \sum_q p_{feeder}^{pq} y_{pq}^{feeder} \end{aligned} \quad (13)$$

[S-2]

$$\begin{aligned} \min C^n(y) = & \sum_j \sum_p \sum_q EC_{pq}^n y_{pq}^{n,j} \\ & + \sum_j \sum_p HC_p(y_p^{I,j} + y_p^{O,j}) + \sum_p \sum_q p_{feeder}^{pq} y_{pq}^{feeder} \end{aligned} \quad (14)$$

sub. to

$$\sum_r \sum_k x_k^{n,rp} - \sum_r \sum_k x_k^{n,pr} = \sum_j y_p^{I,j} - \sum_j y_p^{O,j} = t_p^n \quad \text{for all } p \quad (15)$$

$$y_{qp}^j - y_{pq}^j = y_p^{I,j} - y_p^{O,j} \quad \text{for all } p \text{ and } j \quad (16)$$

$$0 \leq y_{pq}^j \leq Vrest_{pq}^j = (FR_j^n \cdot A_j^n - \sum_{rs} \delta_k^{j,pq} \cdot x_k^{n,rs}) \quad (17)$$

$$0 \leq y_{pq}^{feeder} \quad (18)$$

$y_{qp}^{nj}$ : 航路  $j$  上の港湾  $q$  から港湾  $p$  に向かって運ばれる空コン数,  $y_{pq}^{nj}$ : 港湾  $q$  から港湾  $p$  に向かってフィーダー輸送で運ばれる空コン数,  $y_p^{I,j}$ : 港湾  $p$  から航路  $j$  に積み込まれる空コン数(含:積替),  $y_p^{O,j}$ : 港湾  $p$  から航路  $j$  に積み降ろされる空コン数(含:積替),  $t_p^n$ : 船社  $n$  の港湾  $p$  でのコンテナインバランス,  $EC_{pq}^n$ : 船社  $n$  の港湾間リンク  $pq$  上での空コンテナ遊休損失費用,  $Vrest_{pq}^{nj}$ : 船社  $n$  の航路  $j$  上の港湾間  $pq$  での残余供給可能スペース数,  $\delta_k^{j,l}$ : 船社  $n$  が保有隻数に余剰があり, 投入隻数を変更することによって空コンテナの配送にかかる費用削減が見込める場合 1, そうでないとき 0 をとる 2 値変数,  $\delta_k^{j,l}$ : 経路  $k$  が定期航路  $j$  の港湾間リンク  $l(pq$  と等価)を使用しているとき 1, そうでないとき 0 をとる 2 値変数である．

(13)は の場合の空コン輸送の目的関数を表す．荷主の貨物配分の結果生じる空コンを, 定期航路上にコスト最小を目的に配分するものとする．自社保有の定期航路上で配分しきれない場合は, 便数を投入し航路を変更し制約を満足するようにネットワークを改変しなけれ

ばならない行動する．(14)は の場合の空コン輸送の目的関数を表す．自社航路とフィーダー輸送を比べ, コスト最小とする輸送(調達)方法を選択するというものである．空コンの輸送(調達)にかかる費用は港での荷役費用とコンテナにかかる遊休損失費を考慮する．すなわち,

$$EC_{pq} = (p_{con} \cdot \alpha^1 + p_{con} \cdot \alpha^2 + p_{con} \cdot \alpha^3) \cdot \frac{T_{pq}^{n,j}}{365} \quad (19)$$

$p_{con}$ : コンテナの購入価格(与件),  $\alpha^*$ : パラメータであり, それぞれ保管費用, 減価償却費, 金利に対するウェイトである．

(15)は港湾上でのフローの保存を表し, 空コンテナの積み込み量と積み降ろし量の差はその港での空コンテナの過不足量に等しいことを表す．(16)はループ上でのフローの保存を表す．(17)は容量制約を表し, 各定期航路上で実入りコンテナを積み込んだあとの空スペースを利用して空コンテナを配送するものとする．

### 3 . 数値計算例

紙面の都合上, 数値計算例に関しては講演時に発表する．

#### 参考文献

- 1) White, W. W: Dynamic Transshipment Networks: An Algorithm and its application to the Distribution of Empty Containers, Networks 2(3), pp.211-236, 1972.
- 2) Chen, C and Cheung, R: A Two-Stage Stochastic Network Model and Solution Methods for the Dynamic Empty Container Allocation Problem, Transportation Science 32 (2), pp.142-162, 1998.
- 3) Kurokawa, H, Tsuruta, S, *et.al.*: A Study on the design of the marine container transportation network, 1999.
- 4) 金井仁志, 竹林幹雄ほか: 振り子型輸送を考慮した国際海上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.
- 5) Lopez, E.: How do ocean carriers organize the empty containers reposition activity in the USA? Working paper prepared for the European School on New Institutional Economics, 2003