

複数船社競合下におけるコンテナ航路設備計画

An Optimal Facility Planning for Containerized Shipping  
under Multi-carrier Competition

今井昭夫\* 三木楯彦\*\* 吉川和広\*\*\*

by Akio IMAI, Tatehiko MIKI,  
Kazuhiro YOSHIKAWA

Sea-borne container carriers are competing too hard each other on major container lines like the line between Far East and North America. They are seeking the effective planning method for the scale of transportation facilities such as ships, container terminals and containers. There are a few studies on planning these facilities under a given cargo which a carrier should transport without competitors.

In this study, we suggest a facility planning model with multi-carrier in order to determine the strategy of carriers in actual competition. In this model, the optimal service level and scale of facilities are determined by the two-person nonzero-sum game with payoff matrix given by two sub-models: (a) shipper's behavior sub-model, (b) carrier's facility planning sub-model.

Some case studies show the effectiveness of this model.

1. はじめに

現在海上コンテナ輸送は円熟期を迎えているが、その主要航路では船社間で激しい過当競争が行われている。各船社は荷主獲得のために運賃水準を下げ、逆にサービス水準を上げて他社と集貨競争をしているが、このような状況下では当然採算性が悪化し、各社ともコンテナ航路は赤字経営となっている。したがって個々の船社にとってはコンテナサービスの水準と、それに必要な諸設備の決定に関する合理的

方法が必要とされるが、これらを検討する場合、次の点が問題になる。

① 定期船航路では、たとえ定期船同盟に加盟していても原則的には自由競争であるため、自社獲得貨物は他社と自社のサービス水準の相対的關係で決定される。

② 通常コンテナターミナル（以後CTと呼ぶ）は長期借り受けするが、コンテナ船とほとんどのコンテナは自社保有である。このうちコンテナ船は耐用年数は約20年であり、単にピーク貨物量での必要設備を検討するだけでなく、その期間中の設備の運用も考慮した動的な設備計画が必要となる。

従来からコンテナ航路の配船およびこれに関する設備計画はいくつか研究されている。なかでもAl-Kazily<sup>1)</sup>と木村<sup>2)</sup>はコンテナ船、CT、コンテナの3設備を総合化した設備計画を提案している。前者の研究では1船社を対象とした計画であるが、後者では日本に寄港する同盟船社を1船社と見なし、運

\* 正会員 神戸商船大学助教授  
商船学部輸送科学科

(〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

\*\* 正会員 工博 神戸商船大学教授  
商船学部輸送科学科

\*\*\* 正会員 工博 京都大学教授  
工学部土木工学科

(〒606 京都市左京区吉田本町)

輸行政主体が日本全国に配置すべきCTの決定問題を扱っている。いずれにしても両研究は船社積み取り貨物量を与件として設備計画を検討しており、他船社との競合問題は考慮していない。さらに与件の貨物量は1時点の断面貨物量であり、これら研究は集貨競争下における個々の船社の設備計画としては十分とはいえない。

そこで本研究では2船社の競合下における、サービス水準と、運用計画も包含した設備計画の検討について考察する。なおこの種の計画は本来船社固有の問題であるが、港湾計画の立案においても変化の激しい利用船社の輸送形態を考慮した計画が必要であり、その意味で本計画問題は港湾計画にとっても有用であると考えられる。

## 2. 競合モデルの構造

### (1) 基本的な考え方

定期船航路は不定期船航路とは異なり、配船スケジュールが事前に公示されており、荷主もこれを前提として出荷計画を立案している。したがって定期船航路は公共性が極めて高く、船社の都合により配船スケジュールを頻繁に変更することは容易ではない。そこで本設備計画では全計画期間をいくつかの単位期間に分割し、検討すべきサービス水準と設備の運用はその単位期間毎に決定する。

また設備計画の代替案選択においては、公共施設のように収益が期待できない場合や、民間の設備投資でも収益が予想できない場合は、費用最小化で評価するが、収益が予想できる場合は利益最大化で評価する。このように複数の参加者が互いの利益最大化を前提として最適解を求める場合、ゲーム理論が有効な手法であることは知られているが、通常の経

済活動においては参加者の効用が異なり、参加者の利益の和は戦略により異なる。

そこで本研究では以上の点を考慮するため、多段非協力2人非ゼロ和ゲームによりモデル化を行い、最適サービス水準と設備計画を求める。以降では船社が決定すべきサービス水準と設備計画を戦略と呼ぶ。なおサービス水準とは寄港地数と各港での寄港頻度であり、設備計画とは、

- (i) コンテナ船の船型別保有隻数
- (ii) 各期の航路別配船隻数
- (iii) 各期のコンテナ保有量
- (iv) 各期のCT借受け規模

を決定することである。

モデル化においては以下の点を前提とした。

① 検討する設備の内CTのみをリースとし、他は自社整備する。現実には本船およびコンテナもリースを利用することもあるが、本計画は船社が長期戦略として整備すべき設備を決定する問題とし、リースは実際の運用に際して需要過多になった場合の利用に限定し、本計画では考慮しない。

② 計画対象期間は保有設備で最も耐用年数が高いコンテナ船の耐用年数とするが、定期船航路では本船の船型が航路の輸送需要に適さなくなっても、他航路に転配するなどして、よほどの事がなければ売船しない。したがって本モデルでは計画期間当初でコンテナ船の必要隻数を整備し、計画期間の途中で運航に適さなくなっても売船せず、転配するか係船するかして耐用年数まで保有する。

③ 荷主の貨物量は各单位期間別に与件とし、荷主は各期における両船社のサービス水準の優劣で各船社への貨物量を決定する。

④ ここで考えるサービス水準とは、先に述べたよ

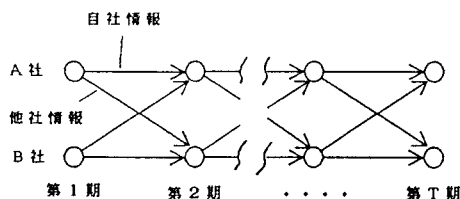


図1 ゲームにおける情報の構造

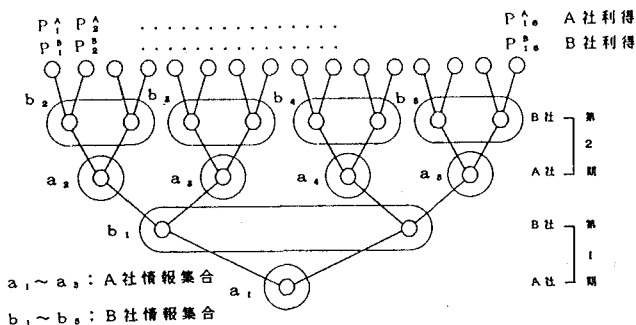


図2 多段ゲームの展開形

うに寄港地数と各港での寄港頻度である。運賃も自由競争下ではサービス水準の1要素であるが、定期船市場では通常運賃同盟で運賃水準が固定化されており、また盟外船であっても同盟運賃に近い運賃を採用している。そこで本モデルでは運賃は両船社とも同一とし、サービス水準としては考慮しない。

⑤ 先述のように単位期間毎にサービス水準を設定するが、両船社は各期のサービス水準を同時に公表し、相手船社の当期のサービス水準は事前には分からないと仮定する。また両船社は自社および他社の過去のサービス水準は記憶すると考えるので、ゲームの情報構造は図1のようになる。したがって本ゲームは完全記憶ゲームとなり、最適混合戦略の存在が保証される。

## (2) 非ゼロ和ゲームによる最適戦略

両船社は各期に荷主に対してサービス水準代替案を公表し、自社貨物を集貨する。本ゲームは多段ゲームであるので、各期での両船社のサービス代替案の組合せ（以後サービスミックスと呼ぶ）毎に自社の集貨量が求められる。さらにこのサービス水準と集貨量から、必要な設備計画と投資費用が求められ利得が決まる。これを展開形で示すと図2のようになる。これは対象期間を2期とした場合であるが、各ノードは両船社の手番を示し、船社は各手番で2つのサービス代替案を持っており、ノードから上に出ている枝で示されている。ノードを囲んでいる枠

$a_1 \sim a_5$ 、 $b_1 \sim b_5$ は両船社の情報集合である。各枝の上端に示されている値が両船社の利得である。

両船社の情報集合の組合せからなる図3に示すような利得行列を用いてゲームを行い、そのNash均衡解での情報集合の組合せを最適サービス水準とし、そのサービス水準の利得計算時に得られた設備計画を最適設備計画とする。

## (3) 利得行列の算出

次にゲームで用いる利得の計算手順を述べる。利得計算においては、次のサブモデルを用いる。

### a. 荷主行動モデル

両船社のサービス水準を基に両船社の集貨量を求める。

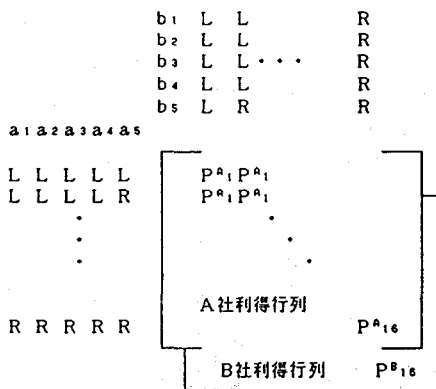
### b. 船社設備計画モデル

自社が公表したサービス水準と、その結果得られる予想集貨量を基に、各設備の保有量と運用計画を求める。

これら2つのサブモデルを使って、図4に示す手順で利得を計算する。

① まず各期の荷主総貨物量と両船社のサービスミックスから、「荷主行動モデル」により両船社の集貨量を求める。

② 船社が公表したサービス水準と、①で求めたサービスミックスに対応する獲得貨物量から、「船社設備計画モデル」を用いて設備計画および投資費用を求める。



注)  $a_1 \sim a_5$ 、 $b_1 \sim b_5$ は図2の情報集合を、L/Rは情報集合での左/右の戦略を示す

図3 船社ゲームの利得行列

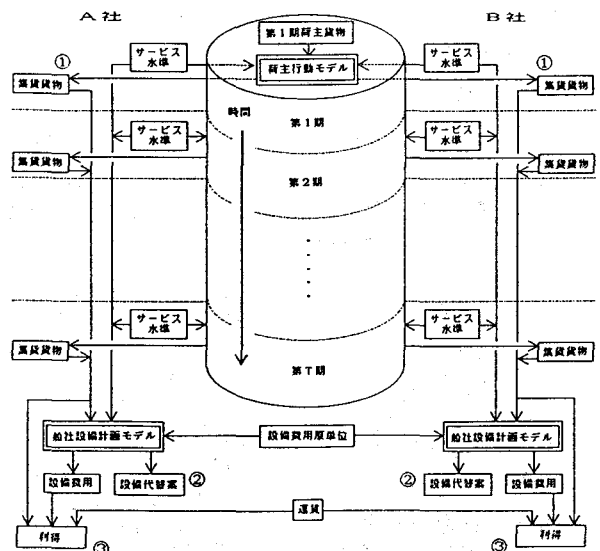


図4 船社利得の計算手順

③ ①で得られた船社の集貨量に運賃を乗じて収益を求め、これから②で得た投資費用を減じて利得を計算する。

④ 両船社のサービス代替案の組合せ毎に、①～③までの手順で利得を求める。

### 3. 荷主行動モデル

#### (1) モデルの定式化

本サブモデルは県別に1荷主を想定し、その県別貨物量と寄港地での船社別寄港頻度を基に、船社別港別集貨量を計算する。

計算では利用データの制約上、まず式(1)に示す重回帰型モデルで県貨物の港湾別配分率(図5)を求める。さらにこれに式(2)に示すように港湾別船社寄港比を乗じて両船社の港湾別貨物量を求める。

式(1)の重回帰型モデルの説明変数は、既往のアンケート調査<sup>3)</sup>による荷主の港湾選択要因の結果を参考にして、県港湾間距離、港湾別総寄港頻度、港湾別海貨業者数の3要素とした。重回帰分析で用いた目的変数の県港湾間貨物流動量としては、昭和53年の「全国コンテナ貨物流動調査」<sup>4)</sup>のデータを、県港湾間距離は道路距離を、寄港頻度および海貨業者数は昭和53年当時の実績値を用いた。

$$Y_{ij} = a X_{1ij} + b X_{2j} + c X_{3j} + d \quad \dots (1)$$

$$\text{ただし } Y_{ij} = y_{ij} / \sum_j y_{ij}$$

$$X_{1ij} = f(x_{1ij})$$

$$X_{2j} = g(x_{2j})$$

$$X_{3j} = h(x_{3j})$$

$Y_{ij}$  : i 県から j 港への貨物配分率

$X_{1ij}$  : i 県から j 港への距離要因指標

$X_{2j}$  : j 港の寄港頻度要因指標

$X_{3j}$  : j 港の海貨業者要因指標

$y_{ij}$  : i 県から j 港への貨物量

$x_{1ij}$  : i 県から j 港への道路距離

$x_{2j}$  : j 港の両船社の月間寄港頻度の合計

$x_{3j}$  : j 港の海貨業者数

f、g、h : 変数変換式

$$Z_{hj} = \sum_i (f_{hj} / \sum_i f_{hj}) Y_{ij} \cdot C_i \quad \dots (2)$$

$Z_{hj}$  : j 港での h 船社の集貨量

$f_{hj}$  : j 港での h 船社の月間寄港頻度

$C_i$  : i 県の貨物量

#### (2) 港別貨物比の重回帰分析結果

式(1)の重回帰型モデルの適用例を示す。適用した航路は、PSW(北米西岸南航路)、PNW(北米西岸北航路)、NY(北米東岸航路)の3航路で、輸出入で1本の回帰式を求めた。偏回帰係数の有意検定で有意となった説明変数だけを採用した結果、表1のような重回帰式が得られた。各航路とも距離要因は県-港間の最短距離との差の対数で表され、寄港頻度は各港の和との比の自乗で表される。なお対数の中の(+1)は最小県港湾距離のODの値を

表1 航路別重回帰分析結果

|                                                                                                                                            |                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| PSW航路 (R=0.89)                                                                                                                             |                   |
| $Y_{ij} = -0.1206 \log(x_{1ij} - \text{Min}(x_{1ij}) + 1) + 1.67 (x_{2j} / \sum_j x_{2j})^2 + 0.6492$                                      |                   |
| (t値) (-36.9096)                                                                                                                            | (9.8195)          |
| PNW航路 (R=0.82)                                                                                                                             |                   |
| $Y_{ij} = -0.099 \log(x_{1ij} - \text{Min}(x_{1ij}) + 1) + 1.7489 (x_{2j} / \sum_j x_{2j})^2 + 1.0119 (x_{3j} / \sum_j x_{3j})^2 + 0.4941$ |                   |
| (t値) (-21.5715)                                                                                                                            | (5.9357) (3.6857) |
| NY航路 (R=0.81)                                                                                                                              |                   |
| $Y_{ij} = -0.103 \log(x_{1ij} - \text{Min}(x_{1ij}) + 1) + 1.3975 (x_{2j} / \sum_j x_{2j})^2 + 0.5674$                                     |                   |
| (t値) (-20.3687)                                                                                                                            | (8.0399)          |

注) R : 重相関係数

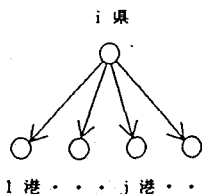
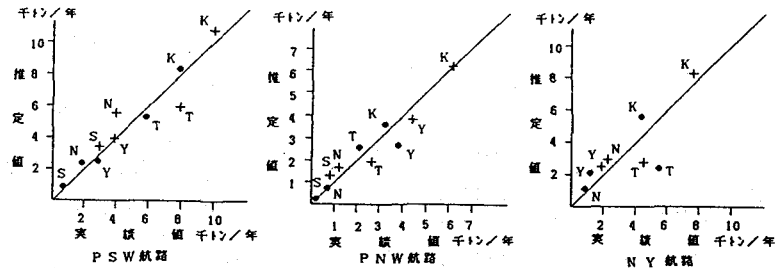


図5 貨物の港湾配分率の概念



注) T : 東京、Y : 横浜、S : 横浜、N : 名古屋、K : 神戸

+ : 輸出、● : 輸入

図6 荷主行動モデルによる港別貨物量

0にして基準化するためである。海貨業者数はPNW航路だけが有意となったが、寄港頻度同様、各港の和との比の自乗で表される。したがって距離的には近距離港は集貨上かなり有利であるが、ある程度遠距離であれば各港間にさほど違いは生じない。また寄港頻度と海貨業者数はその数の自乗で影響し、多いほど集貨上有利となる。

さらにこの重回帰式に渠別貨物量を乗じ、港湾別貨物量を求め、昭和53年の実績港湾貨物量と比較したのが図6である。PSWでは東京港の輸出が実績より低く、PNWでは横浜港の輸入が、NYでは東京港の輸出入が低くなっている。しかしその他の港湾では各航路とも現象再現性が高く、本重回帰型モデルは有用であるといえる。

#### 4. 船社設備計画モデル

本サブモデルは自社のサービス水準と荷主行動モデルにより求めた各期の自社貨物量を基に、計画期間の設備計画を決定する。設備計画の決定内容は、

- (i) コンテナ船の船型別保有隻数
- (ii) 各期の航路別配船隻数
- (iii) 各期のコンテナ保有量
- (iv) 各期のCT借受け規模

の4要素であり、総設備費用最小化の数理計画問題として解を求める。

モデル化に際しては以下の前提を基にした。

- ① 複数航路の設備を総合的に最適化する。
- ② 自社保有設備の設備費は定額償却し、最小化すべき総設備費は現在価値で表す。
- ③ 各航路とも海外の寄港地は1港とする。
- ④ 日本でのCTは各航路で共有する。
- ⑤ ある航路に配船する船は全て同型船にする。
- ⑥ サービス水準として寄港地と当港での月間寄港数を与え、自社貨物量として寄港地別月間TEU数(20フィート換算のコンテナ個数)を与件とするが、自社貨物量の年内変動は無いものとする。
- ⑦ 1航海の輸送貨物量は月間自社貨物量を月間寄港数で除した値とし、航海毎の貨物量の増減はない。

船社設備計画モデルを以下に示すが、各記号は表2に、また目的関数に含まれる各費用原単位は表3に示すとおりである。

#### (目的関数)

$$\text{Min } C^T = \sum_v (C^{AC}_v + C^{AM}_v + C^{AR}_v) + C^{AH} + C^{AP} + C^{AY} \dots\dots\dots(3)$$

ただし

$$C^{AC}_v = \sum_t \alpha_t \cdot C^C_v \sum_{i,j} n_{itv}$$

$$C^{AM}_v = \sum_t \alpha_t \cdot C^M_v \cdot (f_v - \sum_{i,j} n_{itv})$$

$$C^{AR}_v = \sum_t \alpha_t \sum_i C^R (g_{it}, C^N, E_v) \cdot n_{itv}$$

$$C^{AH} = 2 \sum_t \alpha_t \cdot C^H \cdot \beta \sum_i \sum_p (L^{1itp} + L^{0itp})$$

$$C^{AP} = \sum_t \alpha_t \cdot C^P \cdot h_t$$

$$C^{AY} = \sum_t \alpha_t \sum_p C^Y (y_{ot})$$

表2 船社設備計画モデルの記号説明

| 記号         | 説明                                                |
|------------|---------------------------------------------------|
| 添字         |                                                   |
| l          | 航路                                                |
| t          | 期                                                 |
| v          | 船型区分 (1000~5000TEU船まで500TEU毎)                     |
| p          | 港                                                 |
| 決定変数       |                                                   |
| $f_v$      | v 船型船の建造隻数                                        |
| $n_{itv}$  | 1 航路で t 期に v 船型船を配船する場合の 1、配船しない場合 0 を表す 0~1 整数変数 |
| 補助変数       |                                                   |
| $C^T$      | 総費用                                               |
| $C^{AC}_v$ | v 船型船の運航時総船費                                      |
| $C^{AM}_v$ | v 船型船の係船時総船費                                      |
| $C^{AR}_v$ | v 船型船の運航時総運航費                                     |
| $C^{AH}$   | 総コンテナ荷役費                                          |
| $C^{AP}$   | 総コンテナ費用                                           |
| $C^{AY}$   | 総CT賃借費                                            |
| $f^{2it}$  | 1 航路で t 期に必要な最小配船隻数                               |
| $g_{it}$   | 1 航路で t 期における 1 航海の航海時間 (時)                       |
| $h_t$      | t 期におけるコンテナ保有量 (TEU)                              |
| $y_{ot}$   | t 期に p 港で必要な CT 規模 (TEU)                          |
| 定数         |                                                   |
| $C^C_v$    | v 船型船の 1 期 1 隻当りの運航時船費                            |
| $C^M_v$    | v 船型船の 1 期 1 隻当りの係船時船費                            |
| $C^H$      | コンテナ 1 TEU 当りの荷役費                                 |
| $C^N$      | 1 馬力 1 時間当りの運航費                                   |
| $C^P$      | コンテナ 1 TEU の 1 期当りの保有費用                           |
| $C^R$      | 運航費を表す関数                                          |
| $C^Y$      | CT の費用関数                                          |
| $H_{it}$   | 1 航路の t 期での月間寄港頻度                                 |
| $L^{1itp}$ | 1 航路で t 期に p 港での月間輸入貨物量 (TEU)                     |
| $L^{0itp}$ | 1 航路で t 期に p 港での月間輸出貨物量 (TEU)                     |
| $M$        | 1 カ月の日数                                           |
| $V^{2it}$  | 1 航路で t 期に必要な最小船型 (TEU)                           |
| $E_v$      | v 船型の馬力                                           |
| $V_v$      | v 船型の積載量 (TEU)                                    |
| $\alpha_t$ | t 期の現価係数 (1 年当りの割引率=0.12)                         |
| $\beta$    | 1 期の月数                                            |
| $\phi$     | コンテナ保有数を表す関数                                      |
| $\psi$     | 航海時間を表す関数                                         |

表3 設備費用原単位

| 設備区分            | 費用モデル                        |
|-----------------|------------------------------|
| 船 船             |                              |
| 船 費*            | $C^C_v = 2V_v + 15650$ (運航時) |
| (10万円/年)        | $C^M_v = 0.5C^C_v$ (係船時)     |
| 運航費             | $C^R = 7.26$                 |
| (円/(時・馬力))      |                              |
| C CT賃借費(万円/年)   | $C^Y = 4TEU + 30541$         |
| T 当り荷役費(万円/TEU) | $C^H = 4$                    |
| コンテナ保有費         | $C^P = 10$                   |
| (万円/(TEU・年))    |                              |

\* 船費は直接船費(償却費、金利、保険等)と間接船費(船員費、修繕費)から成る

(制約条件)

$$\left. \begin{aligned} V^{Dit} &\leq \sum_i i^{itv} \cdot V_v \quad (\text{すべての } i, t \text{ において}) \\ \sum_i i^{itv} &= 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

ただし

$$V^{Dit} = \text{Max} \{ L^{Litp} / H^{it}, L^{Oitp} / H^{it} \}$$

[p は海外港]

$$f^{Dit} = \sum_i n^{itv} \quad (\text{すべての } i, t \text{ において}) \dots\dots(5)$$

$$\text{ただし } f^{Dit} = g^{it} \cdot H^{it} / (24M)$$

$$f_v \geq \sum_i n^{itv} \quad (\text{すべての } t, v \text{ において}) \dots\dots(6)$$

$$\left. \begin{aligned} n^{itv} &> 0 \quad (i^{itv} = 1 \text{ のとき}) \\ &= 0 \quad (i^{itv} = 0 \text{ のとき}) \end{aligned} \right\} \dots\dots(7)$$

$$h_t = \phi(L^{Litp}, L^{Oitp}, g^{it}) \dots\dots(8)$$

$$g^{it} = \psi(L^{Litp}, L^{Oitp}, n^{itv}) \dots\dots(9)$$

制約式(4)は各航路で輸送貨物量以上の船型を配船する条件、および前提⑤の同型船の配船を表している。さらに式(5)は航路毎の配船隻数を、式(6)

は対象期間内の船型別建造隻数を、式(7)は配船船型の0、1整数変数と配船隻数との対応を表している。また式(8)のコンテナ保有規模 $h_t$ は輸出入貨物量(TEU)と航海時間の関数<sup>5)</sup>で与えられ、式(9)の航海時間は輸出入貨物量と航路配船隻数の関数<sup>6)</sup>として表される。

## 5. 競合モデルによる最適戦略の決定

### (1) 2人非ゼロ和ゲームの解法

両船社の混合戦略 $(x_i^*, y_j^*)$ が次式のNash均衡点条件を満足するとき $(x_i^*, y_j^*)$ を最適混合戦略とする。

$$\left. \begin{aligned} \sum_j \sum_i P^{Aij} x_i^* y_j^* &\geq \sum_j \sum_i P^{Aij} x_i y_j^* \\ \sum_i \sum_j P^{Bij} x_i^* y_j^* &\geq \sum_i \sum_j P^{Bij} x_i y_j^* \end{aligned} \right\} \dots\dots(10)$$

(i=1, ..., m, j=1, ..., n)

ここで  $x_i^*$  : 船社Aの最適混合戦略

$x_i$  : 船社Aのその他の戦略

$y_j^*$  : 船社Bの最適混合戦略

$y_j$  : 船社Bのその他の戦略

$P^{Aij}$  : 船社Aの利得 (>0)

$P^{Bij}$  : 船社Bの利得 (>0)

したがって $(x_i^*, y_j^*)$ が2人非ゼロ和ゲームの均衡解である必要十分条件は式(11)である。

$$\left. \begin{aligned} \sum_j \sum_i P^{Aij} x_i^* y_j^* &\geq \sum_j P^{Aij} y_j^* \\ \sum_i \sum_j P^{Bij} x_i^* y_j^* &\geq \sum_i P^{Bij} x_i^* \end{aligned} \right\} \dots\dots(11)$$

(i=1, ..., m, j=1, ..., n)

ここで $P^{Aij}$ 、 $P^{Bij}$ を次式のように定義すると、

$$\left. \begin{aligned} P^{Aij} &= \gamma - P^{Aij} \\ P^{Bij} &= \gamma - P^{Bij} \end{aligned} \right\} \dots\dots(12)$$

なお  $\gamma = \text{Max} \{ P^{Aij}, P^{Bij} \}$

式(11)を満たす $(x_i^*, y_j^*)$ を求めるには、式(13)を満たす $(x_i^*, y_j^*)$ を求めればよい。

$$\left. \begin{aligned} u_i &= \sum_j P^{Aij} \tilde{y}_j - 1, \quad v_j = \sum_i P^{Bij} \tilde{x}_i - 1 \\ \sum_i u_i \tilde{x}_i &= 0, \quad \sum_j v_j \tilde{y}_j = 0 \\ \tilde{x}_i, \tilde{y}_j, u_i, v_j &\geq 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots(13)$$

$x_i^* = \tilde{x}_i / \sum \tilde{x}_i, \quad y_j^* = \tilde{y}_j / \sum \tilde{y}_j$

$$\left. \begin{aligned} \text{いま } z = \begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \vdots \\ \tilde{x}_m \\ \tilde{y}_1 \\ \vdots \\ \tilde{y}_n \end{bmatrix}, w = \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_m \\ v_1 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}, q = \begin{bmatrix} -1 \\ \vdots \\ -1 \end{bmatrix} \\ A = \begin{bmatrix} P^{A11} & \dots & P^{A1n} \\ \vdots & & \vdots \\ P^{Am1} & \dots & P^{Amn} \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} P^{B11} & \dots & P^{B1n} \\ \vdots & & \vdots \\ P^{Bm1} & \dots & P^{Bmn} \end{bmatrix} \\ M = \begin{bmatrix} 0 & A \\ B^t & 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \right\} \dots\dots(14)$$

とくと、式(13)は

$$w = Mz + q, w \geq 0, z \geq 0, w^t z = 0 \dots\dots(15)$$

を満たす $w, z$ を求める問題になり、そしてこれは「Lemkeの相補掃出し法」によって求められる。

以上のようにして求められるNash均衡解は、唯一とは限らない。そこで複数のNash均衡解が存在する場合、以下で示される均衡解 $(\hat{x}_i^*, \hat{y}_j^*)$ を狭義の均衡解と定義する。

表4 設定貨物量とサービス水準

| 総貨物量<br>千トン<br>月 | 航路  |     | 1期  |     |  |     | 2期  |     |  |     | 3期  |     |  |  |  |
|------------------|-----|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|--|-----|-----|-----|--|--|--|
|                  | PSW | 輸出  | 251 |     |  |     | 319 |     |  |     | 387 |     |  |  |  |
|                  |     | 輸入  | 179 |     |  |     | 218 |     |  |     | 257 |     |  |  |  |
|                  |     | PNW | 輸出  | 143 |  |     |     | 182 |  |     |     | 221 |  |  |  |
|                  |     |     | 輸入  | 307 |  |     |     | 398 |  |     |     | 488 |  |  |  |
| NY               | 輸出  | 135 |     |     |  | 161 |     |     |  | 187 |     |     |  |  |  |
|                  | 輸入  | 160 |     |     |  | 197 |     |     |  | 233 |     |     |  |  |  |

| サービス水準代替案<br>回月 | 社案 | 航路 | 港   | T |   |   |   | S |   |   |   | N |   |   |   | K |   |   |   |
|-----------------|----|----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|                 |    |    |     | T | S | N | K | T | S | N | K | T | S | N | K | T | S | N | K |
|                 | A  | 1  | PSW | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 |
|                 |    |    | PNW | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 |
|                 |    |    | NY  | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 |
|                 |    | 2  | PSW | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 |
|                 |    |    | PNW | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 |
|                 |    |    | NY  | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
|                 | B  | 1  | PSW | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
|                 |    |    | PNW | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
|                 |    |    | NY  | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
|                 |    | 2  | PSW | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| PNW             |    |    | 2   | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |   |
| NY              |    |    | 2   | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |   |

注) 港名 (T: 東京, S: 清水, N: 名古屋, K: 神戸)

$$\sum_{i,j} \sum_{k,l} P_{ijkl} \hat{x}_i \hat{y}_j \geq \sum_{i,j} \sum_{k,l} P_{ijkl} x_i y_j \} \dots (16)$$

$$\sum_{i,j} \sum_{k,l} P_{ijkl} \hat{x}_i \hat{y}_j \geq \sum_{i,j} \sum_{k,l} P_{ijkl} x_i y_j \}$$

両船社にとって複数の均衡戦略が存在する場合、このような狭義の均衡戦略があれば、両船社とも他の均衡戦略よりも狭義の均衡戦略を取る方が明らかに有利である。そこで狭義の均衡戦略が存在すれば、これを両船社にとっての最適戦略とする。

## (2) 競合モデルの適用例

競合モデルの適用例として日本-北米間の航路を考える。この航路はPSW、PNW、NYの3航路から成り、単位期間を7年として21年間の対象計画期間を3期に分割してモデル化する。NY航路は通常パナマ運河を通過するため、通称パナマックス船型以上の大型船は通過できないが、本適用例では運河通過における船型の制約は設けていない。設定した3期の貨物量は、昭和45年から53年までの北米3航路の邦船社積取量のトレンドから求めた昭和70年、77年、84年の各期の輸出入貨物量の予測値を用いた。この各貨物量の合計値を表4に挙げる。また荷主行動モデルの入力となるこの貨物量の単位はTWであるが、出力である船社別集貨量はTEU/20TWで換算してTEUで求めている。さらにPNWの港別集貨量の計算に

必要な各港の海貨業者数は、昭和53年実績の無限定一般港運業者、海貨業者、新海貨業者の合計数を用い、各年とも東京(103)、清水(5)、名古屋(32)、神戸(119)としている。

両船社とも表4のように各期に2つのサービス水準代替案を用意しているが、PSWは両代替案とも同じサービス水準を、さらに他航路は両船社で異なるものの、どちらの船社においても代替案1の方が代替案2よりも水準を高く設定している。またA社はどの代替案においても清水港には寄港していない。以上のように全3期で各期両船社2サービス水準代替案を用意しているので、全部で64のサービスミックスになる。運賃は前提で述べたように両社とも同

表6 均衡戦略での設備計画

(a) A社 設備計画

| 期  | 航路        | 1期         |         |      |       | 2期         |         |      |       | 3期         |         |      |       | 保有船数 |
|----|-----------|------------|---------|------|-------|------------|---------|------|-------|------------|---------|------|-------|------|
|    |           | 集貨量(TEU/月) | 船型      | 船数   | 輸出/輸入 | 集貨量(TEU/月) | 船型      | 船数   | 輸出/輸入 | 集貨量(TEU/月) | 船型      | 船数   | 輸出/輸入 |      |
| 1  | PSW       | 5556       | 3892    | 2500 | 4     | 7060       | 4744    | 2500 | 4     | 8568       | 5592    | 2500 | 4     | 5000 |
|    | PNW       | 3552       | 7024    | 3000 | 2     | 4254       | 8092    | 3000 | 2     | 3368       | 7336    | 3000 | 2     | 3500 |
|    | NY        | 2031       | 2127    | 3500 | 2     | 2418       | 2730    | 3500 | 2     | 2896       | 3233    | 3500 | 2     | 2500 |
|    | CT運賃(TEU) | 東京港        | 3 2 1 3 |      |       | 東京港        | 4 0 6 6 |      |       | 東京港        | 3 9 5 9 |      |       | 係船無し |
| 64 | CT運賃(TEU) | 清水港        | —       |      |       | 清水港        | —       |      |       | 清水港        | —       |      |       |      |
|    | CT運賃(TEU) | 名古屋港       | 1 2 9 6 |      |       | 名古屋港       | 1 6 9 8 |      |       | 名古屋港       | 1 7 4 2 |      |       |      |
|    | CT運賃(TEU) | 神戸港        | 2 4 1 3 |      |       | 神戸港        | 3 0 4 6 |      |       | 神戸港        | 2 9 7 0 |      |       |      |
|    | 合計船数(TEU) | 6 0 5 8 6  |         |      |       | 7 1 1 1 7  |         |      |       | 7 2 8 8 9  |         |      |       |      |

(b) B社 設備計画

| 期  | 航路        | 1期         |         |      |       | 2期         |         |      |       | 3期         |         |      |       | 保有船数 |
|----|-----------|------------|---------|------|-------|------------|---------|------|-------|------------|---------|------|-------|------|
|    |           | 集貨量(TEU/月) | 船型      | 船数   | 輸出/輸入 | 集貨量(TEU/月) | 船型      | 船数   | 輸出/輸入 | 集貨量(TEU/月) | 船型      | 船数   | 輸出/輸入 |      |
| 1  | PSW       | 5556       | 3892    | 2500 | 4     | 7060       | 4744    | 2500 | 4     | 8568       | 5592    | 2500 | 4     | 3000 |
|    | PNW       | 3552       | 7024    | 3000 | 2     | 4254       | 8092    | 3000 | 2     | 3368       | 7336    | 3000 | 2     | 2500 |
|    | NY        | 2031       | 2127    | 3500 | 2     | 2418       | 2730    | 3500 | 2     | 2896       | 3233    | 3500 | 2     | 1500 |
|    | CT運賃(TEU) | 東京港        | 3 2 1 3 |      |       | 東京港        | 4 0 6 6 |      |       | 東京港        | 3 9 5 9 |      |       | 係船無し |
| 64 | CT運賃(TEU) | 清水港        | 1 1 3 2 |      |       | 清水港        | 1 4 0 6 |      |       | 清水港        | 1 4 8 4 |      |       |      |
|    | CT運賃(TEU) | 名古屋港       | 1 2 9 6 |      |       | 名古屋港       | 1 6 9 8 |      |       | 名古屋港       | 1 7 4 2 |      |       |      |
|    | CT運賃(TEU) | 神戸港        | 2 4 1 3 |      |       | 神戸港        | 3 0 4 6 |      |       | 神戸港        | 2 9 7 0 |      |       |      |
|    | 合計船数(TEU) | 6 0 0 9 2  |         |      |       | 7 0 9 0 8  |         |      |       | 7 2 3 0 3  |         |      |       |      |

表5 狭義の均衡戦略

| 戦略番号 | 船社 | 1期 | 2期 | 3期 |
|------|----|----|----|----|
| 1    | A  | 1案 | 1  | 1  |
|      | B  | 1  | 1  | 1  |
| 17   | A  | 1  | 1  | 1  |
|      | B  | 2  | 1  | 1  |
| 54   | A  | 2  | 1  | 1  |
|      | B  | 2  | 2  | 2  |
| 64   | A  | 2  | 2  | 2  |
|      | B  | 2  | 2  | 2  |

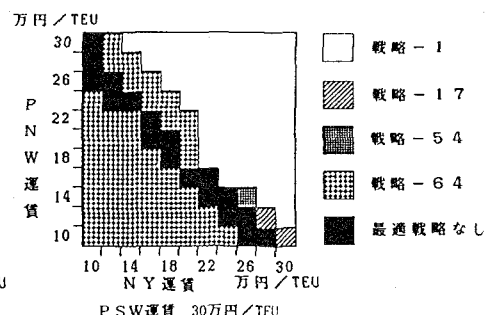
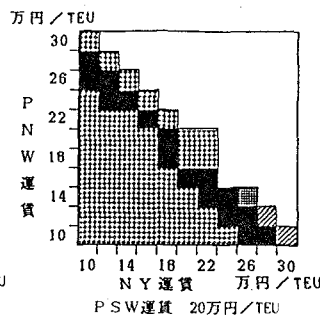
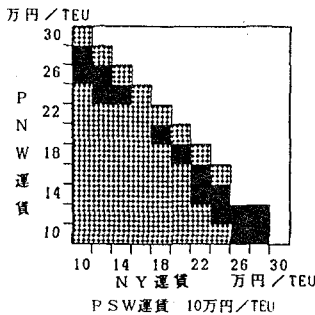


図7 競合モデルによる最適戦略

一運賃であるが、TEU 当り10～30万円で変化させて計算している。図7に結果を示すが、P S W運賃を10、20、30万円の3段階に変化させ、それぞれのケースを1つの図で示している。そして各ケースともP N W、N Y運賃を10～30万円に変化させて、最適戦略の領域を示している。全64のサービスミックスの内、図7に現れている最適戦略のサービスミックスは表5のとおりである。例えば1番目のサービスミックスである戦略-1は両船社とも全期間においてサービス水準代替案-1で運航し、17番目のサービスミックスである戦略-17であればA社は各期代替案-1で、B社は第1期が代替案-2で、以降は代替案-1で運航することを意味する。図7を見ると各ケースとも右上半分の運賃水準では戦略-1、左下では戦略-64が最適戦略になっている。しかしP S W運賃が20と30万円のケースでは、P N Wが10～14万円かつのN Yが26～30万円の範囲は戦略-17、54が狭義の均衡戦略になっている。なお左上から右下への黒く塗潰した部分は狭義の均衡戦略の存在しない部分である。また表6は両船社の戦略-1と64の設備計画であるが、他の戦略の場合は紙面の制約上省略している。これによるとどちらの戦略においてもA社よりB社の方が寄港地と寄港頻度が多いためB社の集貨量が多く、したがってB社の方がC T規模およびコンテナ保有規模が大きい。配船形態に関してはA社は両戦略とも各航路では全期間通じて一定の船型を配船している。一方B社は戦略-64では同様だが、戦略-1ではP N W、N Y航路の配船船型は期によって異なり、また第1期目では5000TEU 船が1隻係船されている。

以上よりP N W、N Yの両運賃の合計が約40万円以上の高水準であれば両社とも最も高いサービスを提供するのが最適な戦略となり、それ以下に運賃水準が下落すれば最低水準の戦略が最適といえる。またどのP S W運賃でも図7のようにほぼ同じパターンになっており、ほとんど最適戦略に影響を及ぼしていないことが分かるが、これはどのサービス代替案でもP S Wのサービス水準が同じであることが原因である。

## 6. おわりに

本研究では従来集貨量を与件として求めていたコ

ンテナ航路の設備計画を、2人非ゼロ和ゲームを用いた競合モデルとして表し、自由競争下のコンテナ航路の現状に即した方法で設備計画を提案した。なお船社のサービス水準としては寄港地数と寄港頻度を採用し、運賃は採用しなかった。

本研究の結果、従来の研究では触れられていない最適戦略に及ぼす運賃水準の影響が明白になった。本研究の適用例ではP N W、N Y両運賃の合計が40万円程度の運賃水準が最適戦略の閾値となり、それ以上であれば高水準、それ以下であれば低水準の戦略が最適となった。

現在、北米航路の邦船社は5社であり、各社とも本モデルにおけるB社の戦略-1相当のサービスを提供しているが、各社とも赤字経営となっている。単純には比較できないが、TEU 当りの運賃水準はP S W、P N Wが約12万円、N Yが約20万円であることを考えると、本モデルでは戦略-64が最適解になっており、現状の戦略-1のサービスは水準が高過ぎ、赤字経営であるのは当然といえる。このように本モデルは必ずしも船社間競争の現実を表してはいないが、これは本モデルが利益最大化への最適戦略の決定が目的であるからである。

なお過当競争下では航路撤退が最適戦略になる場合も考えられるが、本モデルではゲームに用いる利得行列に利得0の戦略を加えることにより、容易に対応できる。

## 参考文献

- 1) Al-Kazily, J: Modeling Containerized Shipping For Developing Countries, Transportation Research Part-A, Vol. 16A, No. 4, pp. 271-283, 1982.
- 2) 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, 1985.11.
- 3) 名古屋港管理組合, 名古屋港利用促進協議会: 港湾振興意向調査報告書〈その2〉, 1984.9.
- 4) 大蔵省関税局, 他: 全国における輸出入コンテナ貨物流動調査報告書, 1979.7.
- 5) 三木楯彦, 今井昭夫: 国際海上コンテナの運用計画に関する考察, 日本航海学会論文集 第78号, pp. 103-111, 1988.3.
- 6) 前掲書 1)