国際海上コンテナの運用計画に関する考察

三 木 楯 彦*・今 井 昭 夫*

A Study on an Optimal Planning for the Sea-borne Container Management

Tatehiko MIKI and Akio IMAI

Abstract

Minimizing the number of containers which carriers should prepare for the sea-borne containerized transportation is largely due to an effective management planning of containers, especially in the unbalanced trade situation as between Japan and U. S.

In this paper two planning models, for decision of the number of containers carriers should possess, and for effective transfer of empty containers, are proposed. Some case studies show the efficiency of these models.

1. は じ め に

今日外貿定期船航路は一部の南北航路を除きほぼコンテナ化され、コンテナ輸送は世界的に円熟期に入った。コンテナ輸送は輸送効率を追求するため、巨額の設備投資が必要とされるが、コンテナ輸送の黎明期においては一応これらの整備計画が立案され、適正化が行われた。やがてコンテナ輸送が本格化するにしたがって船会社間の集荷競争が激しくなり、サービス水準の向上に拍車がかかった。このため運賃価格の下落や設備の過剰投資が見受けられ、したがってより精緻な整備計画が必要とされている。

コンテナ輸送に必要とされる設備はコンテナ船、コンテナ埠頭そしてコンテナである。この内単位当たりの投資額の大きな船と埠頭に関する計画はいくつか研究されているが、それらに比べて安価なコンテナ自体の運用計画はあまりなされていない。しかし日本の代表的船会社が運用するコンテナは約8万個であり、一個70万円としても560億円にもなりコンテナ保有量の適正化も非常に重要であることは明らかである。

船会社がコンテナを運用する場合、つぎの2つの点が問題となる。

- ① コンテナ航路を開設する場合、将来の貨物量を予測し、それを満たすだけのコンテナをどれだけ保有しなければならないかを決定する必要がある。
- ② ①によって決定されたコンテナ数で例えば2国間の輸送サービスを開始した場合、両国間の往航、復航の貨物量が等しければ、往航で利用したコンテナをそのまま復航貨物に利用すればよいことになる。しかし往復航貨物量が等しくなく、また貨物量が例えば年内で変動している場合では、一方の国で空コンテナが不足し、他国で空コンテナが過剰になり得る。この場合、コンテナを効果的に回送しなければ不足側で一時的にリースコンテナを借り、過剰側でその在庫を保管する余分のスペースを確保する必要がある。したがってそのことを回避するために合理的な回送計画を立案しなければならない。

そこで本研究では①の問題をコンテナ整備計画、②をコンテナ回送計画と呼び、それぞれの合理的な計画策定の提案を行うことにする。

2. コンテナ整備計画

2.1 コンテナ整備計画の概要

コンテナの保有量を決定する場合、後に述べるコンテナ回送の問題が大きく影響する。つまり1.でふれたよう

* 正会員 神戸商船大学 (〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

に通常貨物量は変動しており、空コンテナの過不足が生じる。不足した場合、一時的にリースコンテナを借りるが、その利用頻度が高ければ、リース費用の高額なリースコンテナをその都度借りるよりも、自社コンテナを多めに整備することになる。したがって有効な回送計画が立案できれば、過不足が減少し自社コンテナの保有量も低減できる。

しかしコンテナの耐用年数はスチール製で約10年、アルミ製では約15年という長期であり⁽¹⁾、この間における貨物量の変動を予測することは難しい。したがって回送計画を考慮して自社コンテナの保有量を求めることは事実上不可能である。

そこで本研究では、コンテナ整備計画は耐用年数の長さを考慮し長期計画としてとらえ、耐用年数内の平均年間貨物量を基にして保有量を求める問題と考える。

2.2 コンテナ整備計画モデルの定式化

本計画では2港間の定期コンテナ航路において、年間総貨物量を基にして保有量を決定するが、モデル化にあたっては以下の前提条件を考えた。

- ① 貨物を積載したコンテナ（以下、実コンテナと呼ぶ）は本船が仕向港に寄港後揚荷され、直ちに荷主へ搬出される。
- ② そのコンテナが荷主先でデバンニングされて空コンテナとして港に戻り、再び復航貨物を積む場合は直ちに次の荷主へ搬出される。
- ③ バンニング、デバンニングのための内陸流動にかかる時間は両者とも等しい。
- ④ 各航海において輸送される貨物量は等しい。つまり年間総貨物量を年間航海数で除した値とする。

次に定式化を示す。図1は2港間航路の船舶運航ダイアグラムであるが、これに基づいてコンテナの流動パターンを考える。今P港からS港への貨物量が逆方向の貨物量よりも多く、また本船はP港から出発することにする。

P港→S港の貨物量がS港→P港の貨物量よりも多いため、P港から本船でS港へ向かう実コンテナは、

(a) S港で空になってから、P港向けの貨物を積んでP港へ向かう。

(b) S港で空になり、余剰コンテナとして直ちにP港へ向かう。

の2つの流動パターンに分けられる。

まずパターン(a)は図1上では、①P港で本船に荷役後S港へ向かう。②S港到着後荷主へ搬出され、デバンニング後空コンテナとなってS港に戻る。③直ちに次の荷主へ搬出され、バンニング後実コンテナとなって再びS港に戻り本船を待つ。④本船でP港へ向かう。⑤P港到着後荷主へ搬出され、デバンニング後P港に戻る。⑥次の荷主へ搬出され、バンニング後実コンテナとなって再びP港に戻り本船を待つ、となる。

一方パターン(b)は、①P港で本船に荷役後S港へ向かう。⑦S港到着後荷主へ搬出され、デバンニング後空コンテナとなってS港に戻り本船を待つ。⑧本船でP港へ向かう。⑨荷主へ搬出され、バンニング後実コンテナとなって再びP港に戻り本船を待つ、となる。

したがって、パターン(a)の①～⑥のターンラウンド時間 T_a^i 、およびパターン(b)の①～⑨のターンラウンド時間 T_b^i はそれぞれ次式で示される。

$$T_a^i = 2(T^c + m \cdot T^i) \quad \dots\dots(1)$$

$$T_b^i = 2(T^c + n \cdot T^i) \quad \dots\dots(2)$$

ここで T^c ：片道航海時間、 T^i ：寄港間隔である。また m はパターン(a)において実または空コンテナが港に到着してから、P港で⑤⑥、S港で②③と流動している間に各港に本船が寄港していた回数を示し、

$$(m-1)T^i < 2T^d \leq m \cdot T^i \quad \dots\dots(3)$$

を満たす値である。ここで T^d ：内陸流動時間である。

図1 2港間航路のコンテナ流動パターン

同様に n はパターン(b)においてコンテナがP港で⑨, S港で⑦を流動している間の本船寄港回数を示し, 次式を満たす値である。

$$(n-1) T^i < T^d \leq n \cdot T^i \quad \dots\dots(4)$$

それぞれのパターンのターンラウンド時間内にP港に本船が寄港する回数を F_a , F_b とすると,

$$F_a = T_a^i / T^i, F_b = T_b^i / T^i \quad \dots\dots(5)$$

となる。

ところで, 往航および復航の1航海当りの貨物輸送量 (TEU) は前提④より, 次式で表される。

$$D_p = T^i \cdot N_p / Y, D_s = T^i \cdot N_s / Y \quad \dots\dots(6)$$

ここで D_p , D_s : P港→S港, S港→P港への1航海当り貨物量, N_p , N_s : P港→S港, S港→P港への年間総貨物量, Y : 1年間の日数 (=365) である。

そこでP港において第1航海から F_b 番目の航海までに必要なコンテナ数 C_b (TEU) は, この間のS港向け貨物量に等しく, 式(2), (5), (6)より次式のように表せる。

$$C_b = D_p \cdot F_b = 2N_p(T^c + n \cdot T^i) / Y \quad \dots\dots(7)$$

また $F_b + 1$ 番目の航海から F_a 番目の航海までに新たに必要なコンテナ数 C_a は, この期間にS港での余剰分がP港に回送されるので, P港向けの貨物量に等しい。これは式(1), (2), (5), (6)より次式のようになる。

$$C_a = D_s(F_a - F_b) = 2N_s(m - n) T^i / Y \quad \dots\dots(8)$$

したがって, 自社コンテナ保有量 C は式(7), (8)より, 式(9)のようになる。

$$C = C_b + C_a = 2\{N_p(T^c + n \cdot T^i) + N_s(m - n) T^i\} / Y \quad \dots\dots(9)$$

また往復航貨物量が同じ場合, 自社コンテナ保有量 C は, 片道の貨物量を, $N = N_p = N_s$ とすると,

$$C = 2N(T^c + m \cdot T^i) / Y \quad \dots\dots(10)$$

となる。

式(9)より往復航貨物量が均等でない場合は少ない方の貨物量つまり N_s の増減によってコンテナ数も増減する。また式(9), (10)より航海時間 T^c の増減によってもコンテナ数が増減することが容易に分かる。なお内陸流動時間 T^d と寄港間隔 T^i の影響については次の適用事例で考察する。

2.3 コンテナ整備計画モデルの適用事例

先に述べたようにコンテナ保有量は貨物量 N_p , N_s , 航海時間 T^c の増減によって変化することが容易に分かる。したがって, ここでは内陸流動時間 T^d と寄港間隔 T^i の影響について考察する。

コンテナ数

×1000 (TEU)

図2 内陸流動時間および寄港間隔がコンテナ保有数に及ぼす影響

図2は往復航貨物量が均等で年間貨物量 N が104千 TEU, 航海時間 T^c が14日間の場合において, T^d と T^i によるコンテナ数の影響を示している。

これによると T^i 別にみた場合, T^d の増加によりコンテナ数は増加傾向を示している。しかし T^d 別に T^i の影響をみると全体的には増加傾向を示しているものの, T^i の区間によってはコンテナ数は一定であったり, また減少している。これは式(10)の右辺の括弧内第2項の m の影響と考えられる。つまり式(3)によって T^i が増加しても m が変化しない区間では, コンテナ数は T^i に比例して増加する。しかしバンニングとデバンニングが連続して行われたときの inland 流動日数 $2T^d$ が T^i の整数倍の区間では, T^i が増加しても式(10)の右辺の $m \cdot T^i$ が一定となるためコンテナ数は増加しない。さらに T^i が増加しても m が減少する区間ではコンテナ数は減少してしまう。

つぎに本モデルは年間総貨物量を用いており, 年内の貨物変動は考慮していないが, 貨物変動があった場合どの

程度の乖離が生じるか考察する。図3は年内変動がない場合とある場合のコンテナ数の変化を示している。航海時間 T^c は14日間, inland 流動時間 T^d と寄港間隔 T^i はそれぞれ7日間, そして年間総貨物量は104千 TEU としている。変動は2ヶ月を1周期とする正弦波で与え, 振幅は1航海当りの平均貨物量の20%~100%まで変化させ, 変動がない場合は振幅を0%にして図中に示している。そして各振幅において両港の貨物変動の位相差を4ケース変化させている。

図3 貨物の需要変動がコンテナ保有数に及ぼす影響

に位相差の違いをみると同位相で最も多く, 1ヶ月の位相差ではいずれの振幅でもコンテナ数が同数となっている。これは相手港へ実コンテナとして輸送され, そこで空コンテナになるまでの時間と位相差が一致しているため, 両港ともどの時間断面でも空コンテナの過不足が発生しないからである。

以上より貨物変動が激しい場合は, 年間総貨物量に基づいている本モデルの算出値は低めに求められることが分かる。

3. コンテナ回送計画⁽²⁾

3.1 コンテナ回送計画の概要

2国間のコンテナ航路の場合, 両国間の往航, 復航の貨物量が等しければ, 往航で利用したコンテナをそのまま復航貨物に利用すればよいことになる。

しかし貨物量の需要予測が正確に行えず大量の自社コンテナを保有しているにもかかわらず, 次のような理由により港や inland ターミナル等の空コンテナのデポではコンテナの過不足が生じている。

① 貨物量が絶えず変動しており, 例えば往復航の総貨物量が等しくてもある期間の断面では, 往復航が均等ではない。

② 荷主戸口でデバンニングに時間がかかり, 空コンテナとなってデポに返却されるタイミングと, 空コンテナの需要のタイミングが一致しない。

このような理由により空コンテナが過不足した場合, 一時的にリースコンテナを借り, 過剰側でその在庫を保管する余分のスペースを確保する必要があり運用費の増加になる。

そこで船会社は空コンテナの回送計画を立てているが, 担当者が経験に基づいて主観的・恣意的に回送計画を立案しているため, その効果があまり出てこないのが現状である。そのため回送計画のシステム化が運用費の低減に大きく役立つと思われる。

さて, 回送計画を立てる場合, 貨物量の予測が精緻に行われなくてはならない。そこで本回送計画においては, 半年程度の短期間の回送問題を対象とする。そして自社コンテナ保有数は前記整備計画の結果を用いることにす

る。

3.2 コンテナ回送計画モデルの前提

本モデル作成上の前提を以下に述べる。

① 対象航路

日本を起点とするコンテナ航路は、米国航路、欧州航路、豪州航路などがあるが、これら大陸方面航路には、例えば米国航路では北米西岸（北）航路（PNW）、北米西岸（南）航路（PSW）そして北米東岸航路（NY）というように複数の航路がある。そして大陸内においては複合一貫輸送により、各航路の港間では内陸のターミナルを介してコンテナの流動が存在する。したがって本モデルは大陸の複合一貫輸送ルートを包含した複数航路を対象とする。

② 貨物量

回送を最適化するには各港での必要コンテナ数が明確でなければならないが、輸送需要の予測は今回の検討の対象外とし、与件とする。

③ コンテナの内陸流動

輸入されたコンテナは荷主戸口でデバンニングのため港から搬出され、一定期間後空となって戻る。さらに空コンテナは荷主戸口でバンニングするため搬出され、実コンテナとして戻り本船に積まれて輸出される。本モデルではこれら内陸流動期間は一定値を与件とする。

④ リースコンテナ

リースコンテナの借用形態にはいくつかの種類がある。例えば長期にわたって借りるロングタームリースや、日本で借りて仕向国でデバンニングの後に返却する比較的短期のスポットリースなどがあるが、船会社はロングタームリースを通常自社コンテナと見なして運用する。そこで本モデルで考えるリースコンテナはスポットリースとし、1貨物の輸送に供された後に仕向国で返却されるものとする。

⑤ 回送手段

通常船会社は国際間の回送には本船の余席を利用する。もし余席以上のコンテナを回送するとすれば、実コンテナを次航海に回して余席を大きくするか、船をチャーターして運べばよい。しかし前者はサービス水準の低下になるため通常行われず、後者はチャーター料が高く、このようにしてわざわざ回送するよりリースコンテナを借りたほうが得策である。したがって本モデルでも国際間の回送には本船を用い、国内間の回送には本船または陸送手段を使うこととする。

⑥ ターミナルにおける過剰在庫

回送の都合上、ターミナルの蔵置容量以上の在庫コンテナを蔵置する場合は、他の一時保管場所に保管し、保管費用を課せられることにする。

⑦ 初期配置個数

ターミナルに初期配置する自社コンテナ数は先のコンテナ整備計画の計算値を用いる。

3.3 コンテナ回送計画モデルの定式化

本モデルでは図4に示すように一定の日数を単位期間とし、本船は各期首に入港し、荷役後当該期首にすばやく出航する考える。したがって実、空の両コンテナの荷役は期首に行われる。またコンテナの荷主戸口への搬出入も期首に行われるとする。

したがって本モデルでは各港での各期首における空コンテナ数と必要コンテナ数の関係を満たすように、空コンテナの回送とリースコンテナの使用を検討し、総運用費を最小化すればよい。そこで本モデルを多段階の輸送問題として定式化して解を求める。

図4 船舶運航ダイアグラム

(1) 目的関数

最小化すべき総費用は自社コンテナの回送費用、リースコンテナ費用そしてターミナルで余剰となったコンテナの一時保管費用の合計とする。自社コンテナの回送で本船利用の場合、船費は本モデルでは目的関数には入れないので、回送費用としては港での荷役費用のみを考える。陸路の場合は鉄道費用を回送費とする。リース料は貨物の輸送ルート別に設定する。

したがって目的関数は以下のように定義される。

$$\text{Min } C = \sum_t \sum_i \sum_j C_{ij}^L \cdot L_{tij} + \sum_t \sum_i \sum_j (C_{ij}^H + C_{ij}^H) \cdot E_{tij} + \sum_t \sum_i \sum_j C_{ij}^T \cdot X_{tij} + \sum_t \sum_i C^Q \cdot Q_{ti} \quad \dots\dots(11)$$

ここで、 C_{ij}^L : i ターミナルから j ターミナルまでのリース費、 C_{ij}^H , C_{ij}^H : i ターミナルおよび j ターミナルでの荷役費、 C_{ij}^T : i ターミナルから j ターミナルまでの陸送費、 C^Q : オーバフローコンテナの蔵置費、 L_{tij} : t 期に借りた i ターミナルから j ターミナル向けのリースコンテナ数、 E_{tij} : t 期に i ターミナルから j ターミナルへ本船回送した空コンテナ数、 X_{tij} : t 期に i ターミナルから j ターミナルへ陸上回送した空コンテナ数、 Q_{ti} : t 期に i ターミナルでオーバフローしたコンテナ数、である。

($t=1\dots\dots T$, $i, j=1\dots\dots l$) 単位: コンテナ数, 貨物量 (TEU)

(2) ターミナルにおける利用可能コンテナ数の制約

ある時点の期首における空コンテナの利用可能数を考える。図5は本船が寄港した場合の港におけるコンテナの流れである。このように本船寄港時では、前期の在庫数、当期に荷主戸口から戻った空コンテナ数、他港から陸路回送された空コンテナ数、そして本船で回送された空コンテナ数の合計が利用可能コンテナ数となる。これが当期以降の荷主貨物の輸送、または他のターミナルへの回送に用いられる。なお本船が寄港しない場合の港湾ターミナルおよび内陸デポでは本船回送分は含まれない。したがって利用可能コンテナ数は次式のように定義される。

$$A_{ti} = S_{t-1i} + R_{ti} + I_{ti} + k_{ti} \cdot G_{ti} \quad \dots\dots(12)$$

$$R_{ti} = \{D_{ui} \mid t = u + \alpha\} \quad \dots\dots(13)$$

$$D_{ti} = \sum_h \{B_{shi} \mid t = s + \beta_{hi}\} \quad \dots\dots(14)$$

$$I_{ti} = \sum_h \{X_{shi} \mid t = s + \gamma_{hi}\} \quad \dots\dots(15)$$

$$G_{ti} = \sum_h \{E_{shi} \mid t = s + \beta_{hi}\} \quad \dots\dots(16)$$

ここで k_{ti} : 係数で、 t 期に本船が i ターミナルに寄港する時=1/しない時=0, A_{ti} : t 期の i ターミナルにおける利用可能コンテナ数、 S_{t-1i} : $t-1$ 期の i ターミナルにおける在庫コンテナ数、 R_{ti} : t 期に荷主から i ターミナルに戻った空コンテナ数、 I_{ti} : t 期に他ターミナルから i ターミナルに陸上回送された空コンテナ数、 G_{ti} : t 期に他ターミナルから i ターミナルに本船回送された空コンテナ数、 D_{ti} : t 期に i ターミナルに自社コンテナで輸入された総貨物量、 B_{shi} : s 期に h ターミナルから i ターミナルに自社コンテナで輸送された貨物量、 α : 空コンテナの内陸流動日数、 β_{hi} : h ターミナルから i ターミナルまでの本船輸送日数、 γ_{hi} : h ターミナルから i ターミナルまでの陸上輸送日数、である。

ただし、計画期の初期における在庫コンテナ数は自社コンテナの初期配置数とする。つまり W_i : i ターミナルに配置する自社コンテナ数とすると、 $S_{0i} = W_i$ となる。また内陸ターミナルの場合は、係数 $k_{ti} = 0$ である。

(3) 在庫コンテナとリースコンテナの制約

利用可能コンテナ数から当期に荷主戸口へパンニングのために必要なコンテナ数と、他港への回送数を減じた数が当期首の在庫コンテナ数となる。ここでもし利用可能数が必要数より少ない場合、また以降の回送計画多めに在庫コンテナを残し、そのため必要数を充足するだけの自社コンテナを割り当てない場合、必要数と割り当てた自社コンテナ数の差がリースコンテナとなる。

図5 港におけるコンテナ流動モデル

したがって在庫コンテナ数と、リースコンテナ数は次の関係を満足しなければならない。

$$S_{ti} = A_{ti} - N_{ti} + \sum_j L_{tij} - H_{ti} - k_{ti} \cdot O_{ti} \quad \dots\dots(17)$$

$$L_{tij} = \{F_{vij} - B_{vij} \mid v = t + \alpha\} \quad \dots\dots(18)$$

$$N_{ti} = \sum_j \{F_{vij} \mid v = t + \alpha\} \quad \dots\dots(19)$$

$$H_{ti} = \sum_j X_{tij} \quad \dots\dots(20)$$

$$O_{ti} = \sum_j E_{tij} \quad \dots\dots(21)$$

ここで N_{ti} : t 期に i ターミナルに必要な荷主向けの空コンテナ, F_{vij} : v 期に h ターミナルから i ターミナルへ輸送する貨物量, H_{ti} : t 期に i ターミナルから他のターミナルへ陸上回送される空コンテナ数, O_{ti} : t 期に i ターミナルから他のターミナルへ本船回送される空コンテナ数, である。

(4) 船型制約

空コンテナが本船で回送される場合, 余席に積まれる。したがって実/空コンテナの合計個数は船型と等しいか小さくなければならない。したがって, すべての t 期, i ターミナルにおいて次式が満足されなければならない。

$$\sum_h \sum_j y_{sthij} \cdot (E_{shj} + F_{shj}) \leq V \{E_{shj} \mid t = s + \beta_{hi}\} \quad \dots\dots(22)$$

ここで y_{sthij} : 係数で, s 期に h ターミナルから j ターミナルへ輸送される実/空コンテナが途中 t 期に i ターミナルに寄港する場合=1/しない場合=0, V : 船型である。

(5) オーバフロー蔵置数

オーバフロー蔵置数は, すべての t 期, i ターミナルにおいて次式で表される。

$$Q_{ti} = \begin{cases} S_{ti} - Y_i & (S_{ti} > Y_i) \\ 0 & (S_{ti} \leq Y_i) \end{cases} \quad \dots\dots(23)$$

ここで Y_i : i ターミナルの蔵置容量である。

3.4 コンテナ回送計画モデルの適用事例

適用事例として図6に示すような日本と米国間の2航路におけるコンテナ回送を検討する。本船の運航パターンは図5に示すとおりで, 各航路とも寄港間隔は2期間である。日本の港1(T1)と米国西岸の港2(T2)と港3(T3)との間を航路Aが, 港1と米国東岸の港4(T4)と港5(T5)との間を航路Bがそれぞれ結んでいる。そして米国中部には内陸ターミナル6(T6)が設けられている。表1に示すデータにより36期間(4, 5ヶ月)の計算を行ったが, ここで各ターミナルに初期配置する自社コンテナ数は, 前述したコンテナ整備計画により求められる。

図7は計算結果の内, 計画期間内のOD別回送個数の合計とリースコンテナ数の合計を示している。これによると輸入貨物量が最も多いT2に空コンテナが大量に集まるため, T2からの回送が多くなっている。また本船回送数は, 貨物量が米国向けのほうが日本向けよりも多いため, 米国から日本向けが多くなっている。一方陸上回送は陸送費が大きく影響しており, 回送費が安い短距離回送ばかりになっている。リースコンテナはリー

図6 適用事例のコンテナ輸送ネットワーク

図7 回送パターンとリースの利用
パターンの計算結果

表1 適用事例の入力データ

項 目		設 定 値
単 位 期 間		3 日
内陸流動日数 (α)		2 期間
航海時間 (β)	航路 A	3 期間 (T 1 $\longrightarrow$ T 2, T 3 $\longrightarrow$ T 1) 2 期間 (T 2 $\longrightarrow$ T 3)
	航路 B	7 期間 (T 1 $\longrightarrow$ T 4), 1 期間 (T 4 $\longrightarrow$ T 5) 8 期間 (T 5 $\longrightarrow$ T 1)
陸上輸送日数 (γ)		1 期間 {T 2 $\longleftrightarrow$ T 3, T 4 $\longleftrightarrow$ T 5 T 6 $\longleftrightarrow$ T 2, T 3, T 4, T 5} 2 期間 {T 2 $\longleftrightarrow$ T 4, T 5 T 3 $\longleftrightarrow$ T 4, T 5}
荷 役 費 (C^H)		5 万円 (各港)
陸 送 費 (C^T)		8 万円 {T 2 $\longleftrightarrow$ T 3, T 4 $\longleftrightarrow$ T 5 T 6 $\longleftrightarrow$ T 2, T 3, T 4, T 5} 16 万円 {T 2 $\longleftrightarrow$ T 4, T 5 T 3 $\longleftrightarrow$ T 4, T 5}
リ ー ス 費 (C^L)		15 万円 T 1 $\longleftrightarrow$ T 2 20 T 1 $\longleftrightarrow$ T 3 22 T 1 $\longleftrightarrow$ T 4 16 T 1 $\longleftrightarrow$ T 5 21 {T 1 $\longleftarrow$ (T 2) $\longrightarrow$ T 4* T 1 $\longleftarrow$ (T 3) $\longrightarrow$ T 4} 18 {T 1 $\longleftarrow$ (T 2) $\longrightarrow$ T 5 T 1 $\longleftarrow$ (T 3) $\longrightarrow$ T 5} 16 {T 1 $\longleftarrow$ (T 2) $\longrightarrow$ T 6 T 1 $\longleftarrow$ (T 3) $\longrightarrow$ T 6} 17 {T 1 $\longleftarrow$ (T 4) $\longrightarrow$ T 6 T 1 $\longleftarrow$ (T 5) $\longrightarrow$ T 6}
ターミナル蔵置容量 (Y)		6700 (T 1), 4000 (T 2) (単位: TEU) 3000 (T 3), 1800 (T 4) 2200 (T 5), 2100 (T 6)
船 型 (V)		3840 TEU (航路 A), 2300 TEU (航路 B)
OD別総貨物量 (F)		14517/17868** {T 1 $\longleftrightarrow$ T 2} 8896/12124 {T 1 $\longleftrightarrow$ T 3} 7259/11912 {T 1 $\longleftrightarrow$ T 4} 11400/13300 {T 1 $\longleftrightarrow$ T 5} 5956/ 3629 {T 1 $\longleftarrow$ (T 2) $\longrightarrow$ T 4} 4042/ 5338 {T 1 $\longleftarrow$ (T 2) $\longrightarrow$ T 5} 9927/ 7259 {T 1 $\longleftarrow$ (T 2) $\longrightarrow$ T 6} 1900/ 3800 {T 1 $\longleftarrow$ (T 3) $\longrightarrow$ T 4} 1815/ 3971 {T 1 $\longleftarrow$ (T 3) $\longrightarrow$ T 5} 5338/ 6062 {T 1 $\longleftarrow$ (T 3) $\longrightarrow$ T 6} 1815/ 1985 {T 1 $\longleftarrow$ (T 4) $\longrightarrow$ T 6} 1900/ 3800 {T 1 $\longleftarrow$ (T 5) $\longrightarrow$ T 6}
自社コンテナ数 (W)		27900 (T 1), 2700 (T 2), 2200 (T 3) 4500 (T 4), 5100 (T 5), 5200 (T 6)

* T 2を経由してT 1, T 4間を輸送することを意味する

** 左方向の貨物量/右方向の貨物量

表2 回送計画のケーススタディ

ケース	1	2	3	4
変更点	基準値	$C^H: 5 \rightarrow 2.5$ 万	$C^H: 5 \rightarrow 7.5$ 万	蔵置容量半分
本船回送数	6397	12650	3228	6939
陸上回送数	7018	1848	7086	6476
延べ回送個数(個数×期)	47489	62662	30188	50615
リース個数	504	504	3537	504
延べ蔵置個数(個数×期)	321544	308361	356110	320938

ス費が最も安いT1→T2向けの貨物に使われている。

次に回送関係費およびターミナルの蔵置容量を変えた場合、どのように回送パターンが変わるか考察してみる。表2はその結果を示したものである。同表中の延べ回送個数とは回送個数とそのコンテナが回送に要した日数の積を計画期間内で合計した値であり、また延べ蔵置個数とは一日当りの蔵置個数の計画期間内の合計である。ケース1は先の計算結果であり、ケース2は荷役費がケース1の半額、ケース3は荷役費がケース1の1.5倍、そしてケース4は諸経費はケース1と同一で、蔵置容量が減少した場合である。

ケース2では荷役費の減少により本船回送数がケース1の倍に増え、逆に陸上回送が減少している。また本船回送が増加しているため回送時間がかかり、そのため延べ回送個数が増加している。

ケース3では荷役費が増加したため、本船回送がケース1の半分に減っている。この場合陸上回送もあまり増加していない。したがって全体的に回送数が減少し、逆に延べターミナル蔵置個数が増加している。このため空コンテナが大量に不足し、リースコンテナの利用が増える結果となっている。

ケース4では蔵置容量を減少させたため、ケース1に比べて延べターミナル蔵置個数が減少しており、なるべくターミナルに在庫を抱えない結果になっている。本船と陸上回送数の合計は殆ど同じであり回送の回数は変わらないが、本船回送分が増え、なるべく時間がかかる回送手段を選んでいる。そのことによって本船を在庫蔵置施設として利用し、余剰在庫の費用を低減させていることが分かる。このことは延べ回送個数の増加をみても明らかである。

4. おわりに

本研究ではコンテナの運用問題を、自社コンテナの保有量を決定する整備計画問題と、空コンテナの回送パターンを決定する回送計画問題の2つの問題に分けて考察を行った。

整備計画としては、2港間航路を対象にして自社コンテナの適正保有量を簡便に求める算出式を提案した。これを用いた計算事例により、内陸流動時間と寄港間隔が保有量に及ぼす影響、および貨物量の変動による算出値の誤差についてある程度把握することができた。

回送計画では回送問題を多段階の輸送問題と位置づけ、比較的短期間の回送パターンの決定方法を提案した。

これら計画モデルを用いることにより、船会社がより合理的にコンテナの運用計画を立案できる可能性が示された。これにより従来の経験に基づく計画から脱却でき、コンテナ運用費の低減が可能になると考えられる。

今後の課題としては、今回は貨物量やコンテナの内陸流動時間などの不確定要素を確定的に取り扱ったが、これらを確率的に取り扱うモデルについて検討を加える必要がある。

参考文献

- (1) 大阪商船三井船船：「コンテナ10年一運用と実績」, CONTAINER AGE, pp.17~19, 1980年1月号
- (2) 吉川和広, 三木楯彦, 今井昭夫：国際海上コンテナ輸送における最適コンテナ回送計画に関する考察, 土木計画学研究・講演集, No.9, pp.99~105, 1986