

国際海上コンテナの戦略的な運用計画に関する考察*

A Strategic Planning Problem for Container Managements on Container Shipping Network*

新谷浩一**・今井昭夫***

By Koichi SHINTANI** and Akio IMAI***

1. はじめに

近年、アジア地域の急速な経済成長によって、コンテナ流動は世界的規模で急増している。同時に、アジア地域と他地域間の貿易格差が拡大し、コンテナ船の寄港地では、空コンテナの過不足の問題が深刻化している。その状況の中、船社は各寄港地の空コンテナの過不足を是正するため、多数の空コンテナの回送を行わなければならない。さらにいえば、空コンテナの回送がうまく行えず、空コンテナが不足した場合は、一時的にリースコンテナを借入れ、余った場合は、その在庫を蔵置するためのスペースを確保する必要がある。これらの発生頻度が高くなればコンテナ運用費が激増し、経営を圧迫することになる。加えて、船社が保有する自社コンテナ規模の大小によっても、その費用は影響を受ける。したがって、船社は自社コンテナの保有規模やコンテナの運用に関する計画立案を合理的に行わなければならない。しかし現状では、船社は空コンテナの回送計画を立て、復荷の確保に力を尽くしているものの、やはりそれには限界がある。

ここ数年来、我が国主要港湾の取扱貨物量の減少によって、船社は提供するコンテナ船の航路数や便数などのサービス率を低下させている¹⁾。今後の我が国の港湾政策を検討するにあたって、空コンテナの問題も考慮する必要がある。例えば、貨物量は他のアジア諸国の主要港湾よりも少なくとも、空コンテナの調達が可能に行える港であれば、「空コンテナ基地」という付加価値によって、寄港地として選択される可能性も出てくる。

さて現在、規模の経済を追求するためにコンテナ船

の大型化が進んでいる。2005年現在において最大で9,000TEUクラスのコンテナ船が就航している²⁾。船型サイズにソフト的かつハード的な制約がある一定のレベルで存在するにせよ、今後もさらに大型化が進行すると考えられる。

次にコンテナ船の航路形態に視点を移す。コンテナ船の基幹航路においては、コンテナ船の大型化のメリットを活かすために、ハブ・アンド・スポーク輸送(Hub-and-spoke, 以下、H&Sとよぶ)が行われている。その一方で、例えば、5,000TEUクラスのコンテナ船で巡回型輸送(Multi-port calling, 以下、MPCとよぶ)も行われている。船社にとっては新規航路の開設や既存航路の再編成を行う場面で、どちらの航路形態が有利となるのかがわかれば、戦略的視野からみて有用な情報になると考える。加えて、空コンテナの回送の見地から超大型コンテナ船のメリットを明確にする必要もある。さらに、港湾政策を検討する上で、その対象となる港湾が、船社の航路の中でどのような位置づけとなり得るのか客観的に知ることは重要である。

そこで本研究では、欧州航路と北米航路を対象に、船社の自社コンテナの保有規模やその運用方法に着目し、それぞれの航路でH&SとMPCのどちらが有利となるのかを考えていく。具体的には、H&SとMPCの航路ネットワークに空コンテナの回送を組み込んだ形で数理モデルの構築を試み、ターミナル規模の拡張効果や地域間貿易不均衡の大小による航路形態の優位性を分析し、考察を加える。

2. 問題設定

(1) 既往の研究

空コンテナの回送に関する研究は、海外のもの³⁾⁻⁸⁾が多い。それらは主に、港・内陸デポ・バンパール・荷主間の陸上輸送に焦点が当てられ、輸送手段はトラックないし鉄道である。しかし、本研究で想定するような、海で隔てられた地域間の回送は本船の余席でも

* キーワーズ：物流計画，港湾計画，空コンテナ

** 正員，博(工)，大島商船高等専門学校商船学科
(〒742-2193 山口県大島郡周防大島町小松1091-1,
TEL/FAX0820-74-5502, e-mail:shintani@oshima-k.ac.jp)

*** 正員，工博，神戸大学海事科学部
(〒658-0022 神戸市東灘区深江南町5-1-1, TEL078-431-6261,
FAX078-431-6365, e-mail:imai@maritime.kobe-u.ac.jp)

って行われるのが現実的である。それに鑑み、著者はこれまで本船による空コンテナの回送に関する研究を行ってきた⁹⁾⁻¹³⁾。文献9), 10)では、船社の自社コンテナ保有コスト、コンテナのリースコストおよび港での蔵置コストを合算した総コストの最小化を目的とし、それらのトレード・オフを表現している。文献11)-13)では、運賃収入から空コンテナの回送にかかるコストを含めた船舶関連コストやペナルティコスト、さらに自社コンテナ保有コストを差し引いた、利益を最大とする航路パターンを求めている。

本研究では自社コンテナの運用という観点から、2つの基幹航路を対象に、その地理的条件を取り込んで、H&SとMPCのどちらが優位な航路形態となるかを検証するものである。

(2)空コンテナの回送の必要性

例えば、2国間のコンテナ航路の場合、往復航の貨物が等しくて、コンテナ貨物のバンニング・デバンニングに時間がかからないとする。そのとき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く、空コンテナは発生しない。しかし現実問題では、貨物量は時間軸に対して常に変化するし、コンテナが陸揚げされて空コンテナとして再び港に戻ってくるタイミングは各コンテナによって異なる。

このような理由により、各寄港地では空コンテナの過不足を生じる。空コンテナが不足した場合は、他から回送してくるか、一時的にリースコンテナを借り入れることになる。逆に余った場合は、その在庫を他へ回送するか、その港で蔵置する必要がある。

(3)前提条件

ここでは計画対象期間を6ヶ月とし、コンテナの空→実入り→空という状態の時系列変化を考慮して、次の検討事項を決定する。

- (i) 空コンテナの余剰地点から不足地点への回送量を決定する。
 - (ii) 空コンテナの不足地点で、どの仕向地貨物に自社コンテナを割り当てるのかを決定する。
- また、次に本問題のモデル作成上の前提条件を示す。
- (i) 対象航路は北米航路と欧州航路とする。
 - (ii) 対象とする航路形態はH&SとMPCとする。
 - (iii) 貨物需要は時間軸に対して変動する、1寄港あ

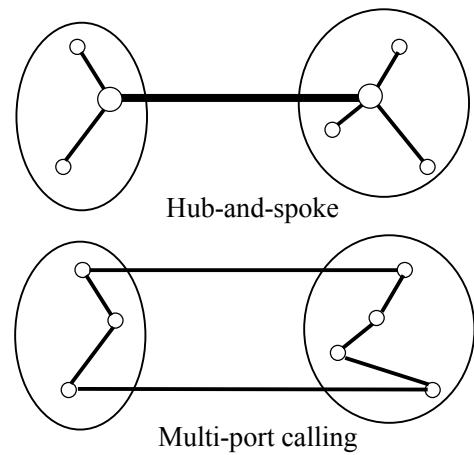


図1 想定する航路形態

りの貨物量を与件とする。

- (iv) コンテナの内陸流動日数は、港-荷主-港間の内陸移動時間と考え、7日間とする。
- (v) リースコンテナは、ここではスポットリースを対象とし、一度貨物輸送に供された後、仕向地で返却されるとする。なお、ロングタームリースコンテナは自社コンテナと考えることにする。

(4)想定する航路形態

本研究では分析を容易にするため、対象とする航路形態を図1に示すようにH&SとMPCの2つとした。前者は10,000TEUの超大型船が投入されるとし、後者は既存の船型サイズ5,000TEUのコンテナ船が投入されると考えることにする。計画期間中に輸送する貨物量を2つの船型で等しくするために便数を10,000TEU船は週1便、5,000TEUは週2便とする。対象とする寄港地数は、北米航路は14港、欧州航路は15港とする。それらの港に関して、H&SとMPCを生成することになるが、具体的な方法は文献14)を参照のこと。

3. 定式化

(1)概説

本問題は、空コンテナ回送コスト、リースコスト、空コンテナ蔵置コストおよび自社コンテナ保有コストを合算した総コストを最小化する整数計画問題として次のように定式化される。ここでは紙面スペースの制約により MPC に関する定式化のみを示す。決定変数は E_{ij} , L_{ij} , S_{ii} , FT である。本問題はフロー問題とな

るので、線形計画問題として求解が可能である。

(a)目的関数

[MPC]

$$\begin{aligned} \text{Min. } & \sum_t \sum_i \sum_j (C_i^H + C_j^H) E_{tij} + \sum_t \sum_i \sum_j C_{ij}^L L_{tij} \\ & + \sum_t \sum_i C_i^S S_{ti} + C^F FT \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 C_i^H : i 港での荷役コスト、 C_j^H : j 港での荷役コスト、 C_{ij}^L : i 港から j 港までのリースコスト、 C_i^S : i 港での蔵置コスト、 C^F : 自社コンテナ保有コスト、 E_{tij} : t 期に i 港から j 港までの回送される空コンテナ数、 L_{tij} : t 期に i 港から j 港までリースされるコンテナ数、 S_{ti} : t 期に i 港で蔵置される空コンテナ数、 FT : 自社コンテナ保有規模

(b)港における利用可能コンテナ数

図2に本船が寄港した場合の港におけるコンテナの流れを示す。

$$A_{ti} = S_{t-i} + R_{ti} + G_{ti} \quad (2)$$

$$R_{ti} = D_{ui} \quad \{\text{ただし, } t = u + \alpha\} \quad (3)$$

$$D_{ti} = \sum_h B_{whi} \quad \{\text{ただし, } t = w + \beta_{hi}\} \quad (4)$$

$$G_{ti} = \sum_h E_{whi} \quad \{\text{ただし, } t = w + \beta_{hi}\} \quad (5)$$

ここで、 A_{ti} : t 期に i 港における利用可能コンテナ数、 R_{ti} : t 期に荷主から i 港に戻った空コンテナ数、 G_{ti} : t 期に i 港に回送された空コンテナ数、 D_{ti} : t 期に i 港に自社コンテナで輸入された総貨物量、 B_{whi} : w 期に h 港から i 港まで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 港から i 港までの本船輸送日数

(c)蔵置コンテナとリースコンテナの制約

$$S_{ti} = A_{ti} - N_{ti} + \sum_j L_{tij} - O_{ti} \quad (6)$$

$$L_{tij} = F_{vij} - B_{vij} \quad \{\text{ただし, } t = v - \alpha\} \quad (7)$$

$$N_{ti} = \sum_j F_{vij} \quad \{\text{ただし, } t = v - \alpha\} \quad (8)$$

$$O_{ti} = \sum_j E_{tij} \quad (9)$$

ここで、 N_{ti} : t 期に i 港に必要な荷主向けの空コンテナ、 F_{vij} : v 期に i 港から j 港へ輸送される貨物量、 O_{ti} : t 期に i 港から他の港へ回送される空コンテナ数
(d)船型制約

$$\sum_{p=1}^i \sum_{q=j}^n (E_{wpq} + F_{wpq}) \leq V \quad (10)$$

ここで、 V : コンテナ船の船型サイズ、 n : 起点港のダミーノード

(e)港の蔵置容量の制約

$$S_{ti} \leq T_i \quad (11)$$

ここで、 T_i : i 港の蔵置容量

(f)自社コンテナ保有規模の制約

$$FT = \sum_i (N_{ti} + O_{ti} + S_{ti}) + \sum_i \sum_j (B_{tij} - L_{tij}) \quad (12)$$

(g)決定変数の非負・整数制約

$$E_{tij}, L_{tij}, S_{ti}, FT_t \geq 0 \text{ and integer} \quad (13)$$

(2)定式化におけるMPCとH&Sの相違点

MPCは海上におけるすべてのコンテナ輸送を本船でのみ行うが、H&Sでは幹線輸送は超大型船、支線輸送はフィーダ船が担当する。したがって、本船の船型サイズ制約に関する式10はMPCとH&Sで異なる。

次に計画期について述べる。コンテナ船の便数は、H&Sでは週1便、MPCでは週2便としているので、双方の計画期間の時間的間隔は異なるが、最終的に全計画期間長が6ヶ月となるよう設定している。

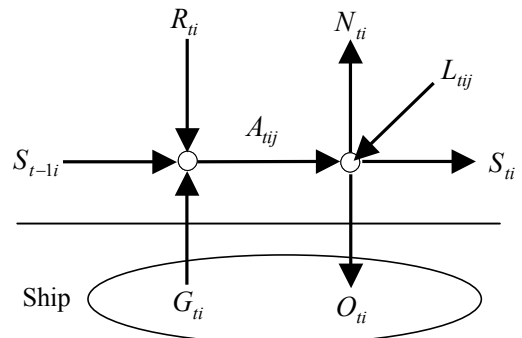


図2 港におけるコンテナ流動

4. 数値計算

本問題の数値計算を行うにあたって、LINDO社の数値計画パッケージソフトLINGO9.0を用いた。紙面スペースの都合により計算結果の一例を示す。

ここでは、アジア-欧州ならびに北米間の貿易における、その不均衡の割合の大小によって、総コストに与える影響をみるために感度分析を行った。これにより、貿易不均衡の状況下でH&SとMPCのどちらが自社コンテナの運用において有利となるのかがわかる。

具体的には、アジア対北米ならびに欧州の貿易不均衡の比率を段階的に変化(1:1, 2:1, 3:1)させて計算を行った。つまり、その比率が1:1の場合は貿易量が均衡している状態を表し、3:1の場合はアジア発貨物が北米および欧州発貨物の3倍であることを意味する。ただし、いずれのケースも発生集中貨物量は一定である。

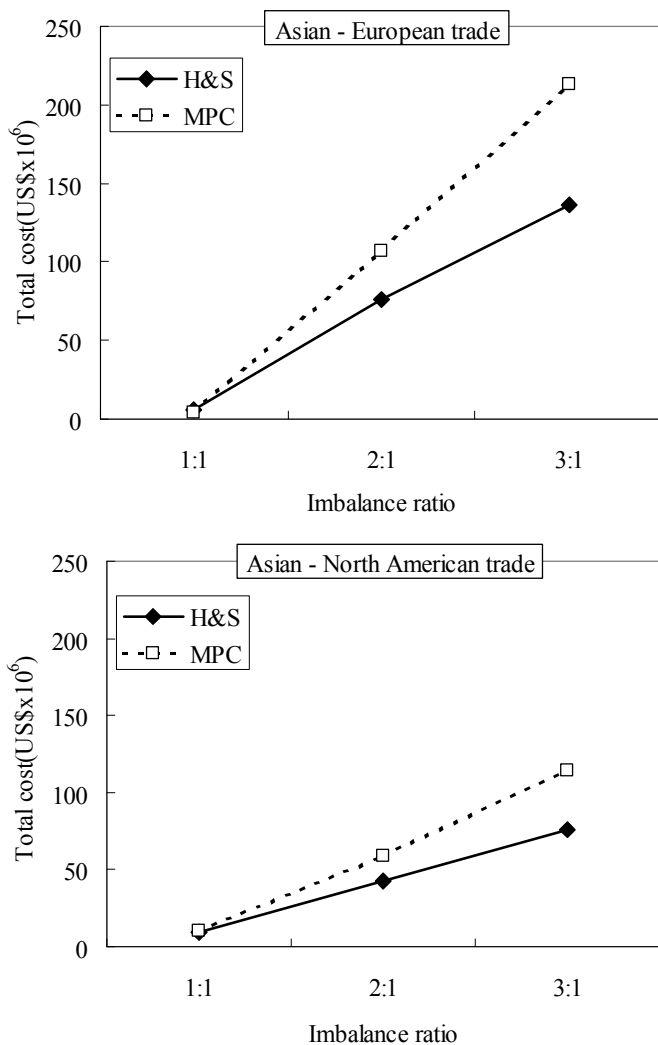


図3 貿易不均衡の割合変化に対する総コスト

5. 計算結果

図3に計算結果を示す。欧州および北米航路の両方でMPCに比べて、H&Sの総コストが小さくなっていることがわかる。また、不均衡の割合が大きくなるにつれて、H&SとMPCの総コストの差は大きくなっている。したがって、H&SはMPCに比べて貿易不均衡の状況下では、自社コンテナの運用面で有利であることがわかった。さらに、欧州航路に比べて、北米航路ではH&SとMPCの総コストの値およびその差が小さい。その要因として、航路長と関わりがあると考えられるので、さらなる分析によって明らかにしたい。

他の計算・分析結果についても講演時に示す予定である。

参考文献

- 1) 新谷浩一: 国際海上コンテナ輸送における寄港ルートネットワークに関する研究, 神戸大学学位論文, 2005.
- 2) オーシャンコマース: 国際輸送ハンドブック2006年版, 2005.
- 3) Gavish, B.: A decision support system for managing the transportation needs of a large corporation, AIIE Transactions 13, pp.61-85, 1981.
- 4) Crainic, T.G.; Gendreau, M.; Dejax, P., Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers, Operations Research 41, pp.102-126, 1993.
- 5) Cheung, R.K., Chen, C.: A two-stage stochastic network model and solution methods for the dynamic empty container allocation problem, Transportation Science 32, pp.142-162, 1998.
- 6) Choong, S.T., Cole, M.H., Kutanoglu, E.: Empty container management for intermodal transportation networks, Transportation Research E 38, pp.423-438, 2002.
- 7) Li, J.-A., Liu, K., Leung, S.C. H., Lai, K.K.: Empty container management in a port with long-run average criterion, Mathematical and Computer Modelling 40, pp.85-100, 2004.
- 8) Jula, H., Chassikos, A., Ioannou, P.: Port dynamic empty container reuse, Transportation Research Part E (42), pp.43-60, 2006.
- 9) 三木楯彦, 今井昭夫: 国際海上コンテナの運用に関する考察, 日本航海学会論文集, 第78号, pp.103-111, 1988.
- 10) Imai, A., Rivera, F.: Strategic Fleet Size Planning for Maritime Refrigerated Containers, Maritime Policy and Management 28 (4), pp.361-374, 2001.
- 11) 新谷浩一, 今井昭夫, 西村悦子: 空コンテナの回送を考慮したコンテナ船のロケーション・ルーティング問題, 日本航海学会論文集, 第111号, pp.273-284, 2004.
- 12) Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S.: A Genetic Algorithm Based Approach to Constructing Container Shipping Network with Empty Container Repositioning among Calling Ports, Infrastructure Planning Review No.22, JSCE, 2005.
- 13) Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S.: The container shipping network design problem with empty container repositioning, Transportation Research Part E. (in press)
- 14) Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S., Liu, M.: The economic viability of container mega-ships, Transportation Research Part E (42), pp.21-41, 2006.