

コンテナ輸送の基本モデル

小山健夫
KOYAMA, Takeo

(株)日本海洋科学技術研究所代表

1 はしがき

東南アジアの驚異的な経済発展を背景にコンテナ輸送が急速に拡大している。その勢いは最近の経済危機のあおりを受けて鈍化しているものの、近いうちに回復基調に入り再び活発化するものと見られる。とくに、遅れて経済発展が始まった中国経済の離陸が本格化することにより、アジアを中心とする海上輸送はますますその比重を強めると予測される。

コンテナ輸送の拡大は1988年頃から顕著になり、ここ10年間の海上輸送量、コンテナ船腹量は世界平均で年率およそ9%で増加している。比較的成長率の低い海運の世界にあって、年率9%という成長率は極めて大きな数字であり、過去の例としては石油危機直前の1970年代初期に見られた石油の海上輸送量の伸びに匹敵している。コンテナ輸送の対象である雑貨輸送量の対GNP弾性値は1.6程度と見られており、このことから雑貨輸送需要の比率が大きい東南アジアを中心としたコンテナ輸送に注目しなければならないことがわかる。

東南アジアを中心に起きた輸送の急成長により海上輸送の中心が移動し、シンガポール、香港、高雄等のコンテナ貨物取扱量が急増してきた。毎年の港湾統計が発表されるたびにこれらの港の順位が上がり、欧米や日本の伝統的な港湾の地位が相対的に低下している。場合によっては主要航路のコンテナ船がこれら地域の港に寄港しないという事態も発生し、国際航路のハブ港としての地位が失われるのではないかという心配や、「抜港」という新語まで誕生し、このままでは世界の海上輸送から取り残されてしまうのではないかという懸念も広がっている。

輸送量の増加に伴って船型の大型化が始まり、オーバパナマックスの6,000TEUというコンテナ船が投入されている。これに伴い港湾の15m水深化、ガントリークレー

ンのリーチを延ばすための大型化も必要になってきた。

すでに30年を経過したコンテナ輸送も、この大変革期の中で従来の枠組では理解しにくい構造変化を起している。何を以てハブというのか、ハブであることの意義は何なのか、船の大型化はどこまで進みそれに対する港湾整備はどのように進めればよいのか等、個別問題としては捉えにくい不確定要因が増え、議論の的が絞り難くなっている。

本論では、個別の細かい議論は別として、大まかな観点から急速に規模が拡大する国際コンテナ輸送を構造的に論じ、議論の基礎になり得るような考え方の枠組を、基本モデルという形で提示しそのモデルの要件について考察してみたい。

2 コンテナ船大型化の位置づけ

2.1 船の物理的特性

輸送機械としての船は、自動車、鉄道、航空機など他の輸送モードに比べかなり特殊な性格を持っている。これはその基本特性であって海上輸送を考へるとき避けられない基本条件である。

船は低速大量輸送に適した輸送手段であるといわれる。その理由の第一は浮力で支持されるため構造的に極めて楽な設計が出来ることが挙げられる。自動車や鉄道が車軸により支持されるため基本的に2点支持となり、航空機は主翼1枚で支えられるため1点支持となるのに対し、船はその全長にわたって浮力により分布的に支持されるため、きわめて軽い構造にすることが出来る。また、船にかかる主な外力は波であるが、海洋波の波長成分で150mを超えるものは少なく、この意味でも長さ200mを超える船の設計条件は楽になる。したがって、必要とあらばいくらかでも大型にすることが出来るといえる。

第二の特徴は推進抵抗である。低速の間はその主成

分が摩擦抵抗であり、抵抗は速力の2乗に比例する。ある程度以上速くなると速力の4乗に比例する造波抵抗成分が急増する。抵抗が急増する速力は船の大きさにより変わり、船の長さの平方根に比例する。すなわち、大型化すればするほど造波抵抗が顕著となる船速は高速の領域に移るため、一定船速を維持するための燃料効率は向上する。大まかに所要主機関出力を推定するときは下記のアドミラルティ係数と呼ばれるものを用いている。

$$C_{adm} = \frac{\frac{2}{\nabla^3} V^3}{HP}$$

∇：船の排水容積

V：航海速力

この係数の意味は摩擦抵抗分に対する所要出力と全抵抗分の所要出力の比を示すもので、 C_{adm} の値が大きいかほど燃料効率が高くなることになる。これを概念的に示すならば図1のようになる。航海速力を一定としたとき、船型(TEU)が大きくなるにしたがってこの値が増え、ある船型以上は一定となる。 C_{adm} の値が増えている間は造波抵抗が顕著であることに相当し、一定となった後は摩擦抵抗が主力となることを示している。この領域で船を作れば燃料効率の高い船にすることが出来る。

この状態遷移は当然速力により変わり、造波抵抗が顕著とならないようにするための船型は22knに比べて25knのほうが大型になる。

船を大型化すれば運用上も便利なところがある。船があまり大きくない場合姿勢保持のため重心位置に注意しなければならないが、ある程度以上大きくなると自由度が広がる。積荷の配置をそれほど配慮する必要がなければ、積荷の仕向け別別に積載することも容易で揚荷のときの荷繰りが容易になる。

2.2 大型化を阻む要因

以上から船には大型化を阻む物理的要因はなく、大型にするほど単位輸送量あたりのコストは少なくなるといえ

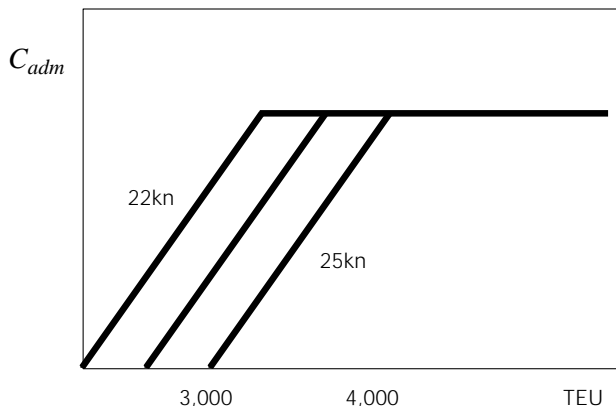


図1 アドミラルティ係数

る。しかし、大型化による単位輸送量あたりのコスト低減は漸減傾向にあり、大型化のための港湾建設投資増大、大量の荷役を行うため荷役時間が増加し船としての資本回転が低下する等のデメリットに打ち勝つことが次第に困難になる。

大きな問題ではないが、現在最大出力のディーゼルエンジンは7万馬力で、速力を維持しながら大型化するためには2軸推進としなければならないこともひとつの阻害要因である。

適切な船型を決める要素は、輸送需要のロットであり、輸送サービスの提供方法である。いくら輸送コストが低くともロットのないところに大型船を投入すればサービス便数が減り、実効的なdoor to doorの輸送時間が増大する。

以上まとめて、8,000TEU、10,000TEUという大型船が使われる可能性は極めて薄いというべきであろう。試算によればこれら大型船と6,000TEUのコンテナ単位あたりの輸送コストにはほとんど差が現れない。

3 コンテナ航路の基本モデル

3.1 航路のトポロジー

コンテナ船航路のトポロジーとしては下記3種類の形態があるとされている。

(1) Point to Point型

A港からB港までを直接に結びピストン輸送を行う。

(2) Hub and Spokes型

ハブである主要港間において幹線輸送を行いそれ以外の港に対しては別の手段によりフィーダー輸送を行う。

(3) 周回航路型

複数の主要港を周回する幹線輸送を行う。他の港についてはフィーダー輸送となるため、上記Hub and Spokesと同じであるとも考えられるが、周回する港の数がHub and Spokesよりも多い。また、寄港数が多い場合、目的地への所要日数増を防ぐ意味から逆回り航路が併設される。

これらの航路トポロジーの得失についてこれまで多くの議論がなされてきた。しかし、3種のトポロジー間の基本的な差異はあまりない。いずれも幹線航路上の港であり、その他の港に対してフィーダーサービスを行うということに変わりはない。強いていうならばPoint to Pointは発地着地ともに大きな輸送需要を持つ港間の輸送に重点が置かれ、Hub and Spokesはシンガポールや香港のようなフィーダー輸送の比重が高くコンテナ取扱量が非常に大きい港を示している。

3.2 周回航路の利点

コンテナ輸送の急速な拡大により状況はかなり変わりつつあり、周回航路型が主流となる傾向が顕著になってきた。図 2 に示すように寄港地が5港であればA B C D E Aと周回する。AからE, Dへ輸送する場合、順周りのみであれば輸送時間がかかるため、逆回りの航路も設定しておく。

このトポロジーの最大の利点は各港の需要がそれほど多くなくとも、それらをまとめることによって経済的な大型船を使うことが出来る点にある。仮に各港で都合よく1,000TEUずつ積荷と揚荷があるときは、常に寄港数倍のコンテナを運んでいることになり、5港の場合5,000TEUの大型コンテナ船を無駄なく使うことができる。同じ理屈でいけば6港7港の場合、あるいは寄港数が少ない場合でも取扱量の大きい港を周回する場合6,000TEUや7,000TEUの超大型コンテナ船を使うことができTEUあたりの輸送コストを下げることができる。このようにしてオーバーパナマックスの大型コンテナサービスが行われるようになったと理解すべきであろう。

大型コンテナ船を使うことの難点は、これだけ巨大な船を満たすに十分な需要を持つ港が限定される事であった。たとえば日本全体で毎日1隻分の輸送量をまとめるためには、京浜阪神地区にターミナルを集約する他ない。しかし周回サービスで1隻当り1,000TEU程度の需要があればよいとすれば全国で毎日数10便コンテナ船の寄港があっても十分成立つことになり、サービス頻度が高まるためdoor to doorの輸送時間はかなり短縮される可能性がある。

この方式の利点はフィーダー輸送の不経済をかなり解消できることである。フィーダーはハブで積替えをしなければならず、そのハンドリングに余分な費用が発生すると共に輸送時間が大幅に増加する。週2回、あるいは週3回の寄港に対し1,000TEU程度の集荷力のある港は日本全国で見ればかなりの数になる。たとえば北米 釜山航路の幹線航路の船の一部が新潟や金沢に寄港すると

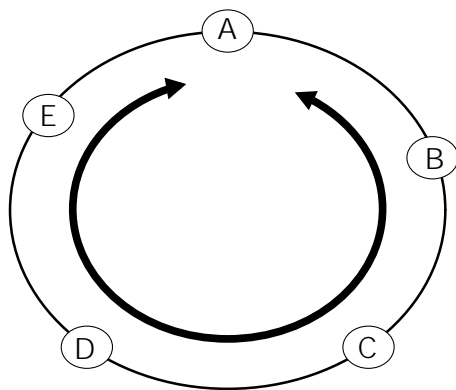


図 2 周回型航路

いうことも可能性としては十分ありうる。

これらの港に毎日ではないといえ幹線航路のコンテナ船が寄港することになれば、輸送の利便性はきわめて高くなる。幹線航路の寄港を誘致できるか否かはポートセールスにかかっており、オペレーターから見れば超大型港湾と共にこれら地方港数港に選択的に寄港することは質のよい集荷ができるか否か、まさしく条件次第ということになる。

3.3 周回航路の難点

周回航路の難点は輸送時間が長くなることである。寄港数が多くなるに従い一周にかかる所要日数が増えてしまう。しかし、5港程度であればそれ程には長くない。日米間で見ればPoint to Pointサービスの航海日数が30ノットの高速船を使っても8日かかるのに対し平均12日程度には収まる。さらにPoint to Pointでは十分な集荷力のある港がなく毎日サービスを期待しにくいことを考慮すれば、超大型コンテナ船による高頻度低コスト周回サービスには到底対抗できない。

更に大きな難点としては資本規模の問題がある。5港程度の北太平洋周回航路をとってみると所要日数はおおよそ40日程度となる。毎日サービスをしようとするれば40隻を要し逆回り航路をセットすればその2倍、80隻のコンテナ船を用意しなければならない。1航路に100隻近くの船を投入できる巨大船社はなく、これがグローバルアライアンスと呼ばれる企業連合の必然的な意義であろう。通常この連合は運賃政策にからんで議論されるが、むしろ周回サービスを実現するには企業連合しかないと見る方が理解しやすい。運賃政策からみれば周回サービスは全体として採算がとれればよく、個々の港間の輸送費について意味付けが困難であるため、むしろ買い叩かれやすく運賃維持にこれまで以上に苦労しなければならないであろう。

3.4 コンテナサービスの基本モデル

以上の考察により当面は周回航路型のサービスが一般的に定着すると考えられる。コンテナサービスを考えるにあたりこれを基本モデルとして差支えないと思われる。このモデルの特徴は4,000から7,000TEUの大型コンテナ船がベルトコンベアのように周回しており、頻繁に各港に寄港する。各港での積卸量はあまり多くはなく、1,000ないし1,500TEU程度である。取扱量の多い港には毎日何隻もの大型船が寄港し、少ない港には毎週数回一部の船が選択的に寄港するというイメージである。

フィーダー輸送はもともと周回航路的なパターンをとってきており、上記の幹線航路における周回優位の論理が

より小型で低速な船を使うことでそのまま成立つてある。すでに現象として現れているようにフィーダー輸送の国際化は更に進むと見なければならず、国際輸送と内航輸送との仕分けが困難になるであろう。

港湾立地計画の観点から見れば、利用もされない地方港湾を多く建設し、そのためハブ港の整備が遅れてしまったという批判がある。しかし、周回航路の優位性から見れば年間数百万TEUにも及ぶ取扱量の港湾は先進国には必要ないといえる。むしろ規模の経済を満たす程度の機動的な港湾を8~10港もって幹線航路の寄港を誘致すると共に、地方港湾は内航にこだわることなく国際フィーダー輸送に対し積極的にポートセールスを展開することが国内の輸送総体からみて合理的選択であると思われる。

4 コンテナターミナル基本モデルの要件

4.1 日本の港湾の非効率性

日本のコンテナヤードオペレーションの効率の悪さは幾度となく指摘されている。効率の悪さは施設使用料のコストに跳ね返って物流コストを増加させ、日本経済の基盤を弱体化させるとともに、いわゆる国際ハブ港としての競争力を弱くしている。

夜間、休日の出入港、24時間荷役問題等社会的問題もさることながら、技術的に見てもコンテナヤードオペレーションの基本モデルがなく、議論の焦点が定まらない悩みがある。周回サービスによる多頻度寄港が定着しつつあるとき、かつてのWeekly Service時代のモデルを引きずっている側面がある。日本のコンテナヤードがもつ競争力上の弱点は土地代の高さにあるが、輸送規模の拡大にもかかわらず基本的構造を適応させないままに対応しているところにも問題がある。

4.2 シミュレーションモデルとその階層

コンテナヤードのオペレーションを合理化する目的で多くのシミュレーションモデルが作られてきた。ほとんどのモデルは「待ち合わせ」モデルであるといっておいて差支えない。船の出入港離着棧、ガントリークレーンによる本船荷役、ヤードシャーシーによる蔵置場所への移動、トランスレーナを使った蔵置、引取り用陸送トラックの到着、コンテナ引渡し、ヤード出場の流れはまさしく典型的な待ち行列モデルに対応する。

待ち行列理論の基本となるパラメータはこれら各Activityのトラフィック密度(稼働率)である。これはシステムを構成する各Activityのフル稼働状態に対する実際の稼働状況の比を示すものである。流れ作業による製造

現場のように各Activityの連鎖が完全に管理されている状態ではフル稼働状態が実現できる。しかし、連鎖の中に多少ともランダムネスが入ってくると待ち行列が発生し業務の流れが乱されてしまう。顧客の到着あるいはサービス時間に生ずる避けられないランダムネスに対し、どの程度の余力をもたせておけば順調なオペレーションとなるかを分析する手法が待ち合わせ問題である。

したがって、シミュレーションを行う前に、まず各機能のフル稼働状態の明確な定義を行う必要がある。その上で全体的なヤードオペレーションのポリシーに基づいた上位階層のマクロなシミュレーションを行い個々のActivityのトラフィック密度がシステム特性に与える影響を把握することが必要である。この階層のシステム特性は待ち行列モデルで言う各機能要素の顧客の到着率()と、サービス率(μ)で決まり、その比 λ/μ がトラフィック密度である。

上位階層のシステム特性を把握し問題点を明確にしてあればその下位の各機能についての個別的解析が可能になる。その目的は必要とされるサービス特性を満たすような各機能のオペレーションポリシーを設計し、その効果をシミュレーションにより確認することである。目的を達成できない場合は工夫をこらすことによってポリシーを変更しなければならず一般には相当数の繰り返しが必要である。

美しいアニメーション付きのシミュレーションツールが使えるようになってきているが、これらは最終確認やそれを提案としてデモンストレーションを行うときには有効であるが、システム設計の段階ではより機動的なプラットフォームを使うべきである。

4.3 ヤード共用オペレーション

コンテナヤードの効率化を考えると、まず気になるのがヤードの共用問題である。岸壁が空いている時間が長くしたがってガントリークレーンの空き時間も長い。あるヤードの蔵置場所がいっぱいのときも隣のヤードはがら空きという状況を見かける。一定の能力をもつ施設が複数ある場合、それを独立したサービスチャンネルとして利用するよりも共用の複数チャンネルとして利用するほうが効率的になることは待ち行列問題の初歩的常識である。

日本のコンテナヤードは歴史が古いため船社毎の専用ヤードとして運用されている。コンテナサービスが始まった30年前には混乱を避けるためやむをえなかったであろうが、大変革期に入った今日、また情報技術が格段に進歩した今日、再考しなければならない大きな問題のひとつである。

すくなくとも共用オペレーションによりどの程度の合理化が期待できるかを明確に把握しておく必要がある。効果があると確認できればその実施に伴う困難はなにかを考え、克服する手段を工夫すればよい。

4.4 フル稼働時のオペレーションモデル

フル稼働ということは現実にはありえないことであるが、待ち行列理論の基本パラメータであるトラフィック密度の概念を明確化するために必要であり、下記のとおり考察してみる。

あるコンテナヤードのひとつのバースを取りあげ、コンテナ船寄港毎の積卸量を一定値 V_0 とする。積卸しそれぞれにかかる所要時間 T_g はガントリークレーン投入台数により決まるがこれも一定値と仮定する。荷卸されたコンテナは一旦蔵置されたのち T_t という時間スパンの中でコンテナヤードを出場していく。一方、一隻分の積荷のほうも T_t かけてヤードに集積され T_g という時間をかけて船に積みこまれると仮定する。

フル稼働状態を考えているのであるから一隻のコンテナ船が到着し T_g をかけて V_0 個のコンテナを卸し、直ちにすでに集荷蔵置されている V_0 個のコンテナを T_g をかけて積み出港する。出港と同時に次のコンテナ船が入港して同じ作業を繰り返す。このような仮想の連鎖を考えると、コンテナヤードに蔵置される到着船毎のコンテナ数は図 3 のように変わる。図の中で実線は到着コンテナを示し点線は出発コンテナを示している。

フル稼働状態になるためには図を見てわかるとおり、コンテナ引取りあるいは集積時間はコンテナ船荷役時間の整数倍である必要がある。

$$N = \frac{T_t}{2T_g}$$

この整数関係が成立つときコンテナヤードの蔵置量は積卸し合わせて、ピーク時に次式に示す量が必要であることが容易にわかる。

$$V = \frac{[N + (N - 1) + \dots + 2 + 1] \times 2}{N} V_0 = (N + 1)V_0$$

またガントリークレーンのコンテナ1個当りの荷役時間

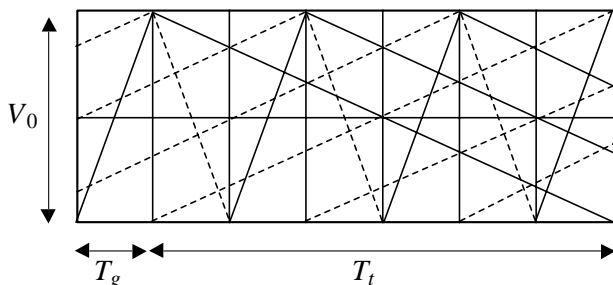


図 3 フル稼働時の蔵置スキーム

を t_g とすれば必要ガントリークレーン数は次式のようになる。

$$G = \frac{t_g}{T_g} V_0$$

マクロなシミュレーションでは上記のフル稼働状態に対し現実的条件を入れながらスムーズなヤード運営が可能なトラフィック密度の条件を求めていくことになる。

複数バースの場合、ガントリークレーン数、蔵置量は上記のバース数倍になる。

現実にはフル稼働になるような完全な管理は不可能で、スムーズな運営には一定の余裕あるいは適正なトラフィック密度を設定することが必要になる。このとき前節に述べた複数チャンネル(ヤードの共有ポリシー)を採用すれば、個別運用のポリシーに比べて余裕が少なくても(高いトラフィック密度をとることができる)。

4.5 要素機能各論

マクロなシミュレーションで大局的な傾向は把握できるが、具体的な運用の改善策は得られない。以下に各要素機能毎の性格の表現と基本モデルとして考慮すべき要点をまとめてみる。

(1) コンテナ船出入港と本船荷役機能

本船荷役時間を T_g に納める為必要なガントリークレーンの数についてはすでに述べた。基本モデルとしてはバース間でガントリークレーンを共用するか否か、共用するとしても一隻当たり何台まで投入できるかについてのモデルが必要である。荷役場所が集中している場合は多数のクレーンを投入することはできない。

また、 T_g に対し船の離着岸時間が無視できないようであればこの時間も別にとり入れなければならない。この問題に関連し、日本においてはパイロット資格保持者が将来急減すると予測されており、多くの港に高頻度寄港するようになるとすれば離着岸支援システムの開発も急がなければならない。

(2) ヤードシャーシ運用機能

ガントリークレーンによる積卸と蔵置場所との間はヤードシャーシにより運ばれる。この運搬経路のルーティングと道路幅、到着コンテナ船毎にどの部分の蔵置場所を使用するかポリシーがコンテナヤード全体の利用効率に大きく関わってくる。

特定のコンテナヤードでみれば運搬経路は決まり、運搬物も20あるいは40フィートコンテナに限定されているので工場内輸送で用いられるような自動搬送装置の利用も検討すべきであろう。

(3) コンテナの蔵置

フル稼働時の仮定で求めたコンテナ必要蔵置量は蔵

置方法には触れていない。日本のコンテナヤード最大の経済的弱点は土地代が高いことである。その緩和策としてコンテナ蔵置積段数を増やし土地利用効率を高めている。

積段数を増やした場合、当然下積みにされたコンテナの取り出し時間が増え、蔵置機能におけるサービス時間が長くなる。さまざまな工夫がなされ超大型自動倉庫のような考え方も検討されたが投資額の割合に取出し時間の短縮が得られない。

蔵置における分類あるいはソーティングは最も重要であり、さまざまなポリシーが考えられる。揚荷コンテナ全体についてはトランスシップと陸送、陸送コンテナについては荷主別分類、積荷コンテナについては船別、仕向け地別分類について考慮すべきであろう。しかし、あまりにも分類を細かくするならば広い所要蔵置面積が必要となり土地利用効率を劣化させる。

その他、コンテナIDの自動読取り、トランスレーナの空き時間を使った荷繰り、陸送トラックの到着時間に合わせた予約システムなどの情報化、ハンドリングの自動化なども重要な運用ポリシーである。

これら要素機能につき、考えられるあらゆる組み合わせについて幅広く密度の濃いシミュレーションを行い相互比較を行っておく必要がある。

5 おわりに

コンテナ輸送の歴史はすでに30年を経過し考慮すべきことはすでに検討し尽くされているように思えるが、東南アジアの爆発的なコンテナ輸送需要を背景に枠組が大きく変わってきた。大きな変化は超大型コンテナの投入と周回航路の定着である。このような変化のもとで既存海運国のコンテナ輸送に対するパラダイムも変えざるを得ない。従来の枠組みに縛られて考えていると対応を誤る恐れもある。

このような意図でコンテナ輸送を考えるに当たっての骨格となると思われる論点を「基本モデル」という形で整理してみた。基本モデルによって明らかになった主な論点は下記のとおりである。

- (1) 幹線輸送においてはすでに始まっている4,000～7,000TEUの大型船による周回サービスが定着する。周回サービスは5～7港を周回することによって船の積載効率を改善し輸送コストを削減する効果をもたらす。また、1港あたりの積卸量が毎日1,000TEU程度あれば幹線航路の船が寄港する可能性がある。
- (2) 取扱量の大きな港は寄港便数の増加によってその需要をまかなう。従って、大型船の多頻度寄港への対応が必要となる。逆に、条件が整えば小規模港湾でも週2便あるいは週3便という頻度で幹線航路のコンテナ船が選択的に寄港する可能性が生じうる。
- (3) 具体的な配船は積載効率と良質な貨物を求めるオペレータ、港湾の発展を求める管理者のポートセールス、フォワーダーと荷主の間のダイナミクスにより決まる。
- (4) 8,000TEUを超えるような更に大型のコンテナ船導入は、積載率をバランスよく維持することの困難、荷役時間が長くなるという難点、大型化によるコスト低減が漸減するなどの理由でその可能性は極めて薄い。
- (5) 周回航路による多頻度寄港に対応するため、従来考えられていなかったコンテナヤード施設共用についての考察が必要である。
- (6) コンテナヤードの効率性改善策を検討するためにはシミュレーションによらなければならないが、その基本となるフル稼働状態についての定義を提案した。
- (7) 階層型シミュレーションの枠組を示し、具体的改善策を検討するための要素機能について論点を整理した。とくに土地代の高い日本のコンテナヤード効率化のためには、コンテナ蔵置システムについての研究が必要である。

(原稿受付 1999年6月1日)