

招待論文

海上輸送システムと造船技術の展望

REVIEW ON THE SEA-BORNE TRANSPORT AND THE SHIPBUILDING TECHNOLOGY



小山健夫

Takeo KOYAMA

工博 東京大学工学部船舶海洋工学科教授
(〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)

Key Words : seaborne transport, shipbuilding technology, commodity distribution

1. 海上輸送の現状

日本にとって物流に占める海運の役割は極めて大きい。

国内貨物輸送において内航海運はトン数で5.7億トン、トンキロで2,445億トンキロを輸送し(1990年度)それぞれ約8%および44%のシェアを分担している。この比率が示すとおり主として長距離の輸送を分担しており、また輸送ロットが大きいことも特徴である。トンキロ輸送量では昭和58年までは首位の座にあったが、石油ショック以来、内航海運の主力である石油輸送の低迷から伸び悩み、ついにその座を自動車に譲った。輸送品目としては相対的に減ったとはいえ石油製品が約1.3億トンであり約1/4を占めている。そのほか、鉄鋼製品、セメント、石灰石、石炭など原材料輸送が多い。しかし、最近では雑貨の伸びが大きく、長距離フェリー、RORO船、コンテナ船などによる、いわゆる自動車からのモーダルシフトへの期待が高まっている。

国際貿易においては海運の独壇場である。1991年度の統計では、輸入が714百万トン、輸出が75百万トンに上がっている。品目別で見れば、輸入は原油および石油製品が最も多く、鉄鉱石、石炭、穀物などが続いている。輸出では鉄鋼製品、機械類、セメント、自動車の順である。

とくに第2次石油危機以来、エネルギー源の原子力へのシフト、省エネルギー技術の進展によりエネルギー関係の輸送が停滞していたが、石油価格の下落、原子力エネルギー開発の停滞、エネルギー源の多元化への要請などから、最近では原油輸入が再び増加に転じ、石炭輸入は燃料用一般炭を中心にかなり大幅な伸びを示している。

エネルギー輸送面での変化はLNG(液化天然ガス)

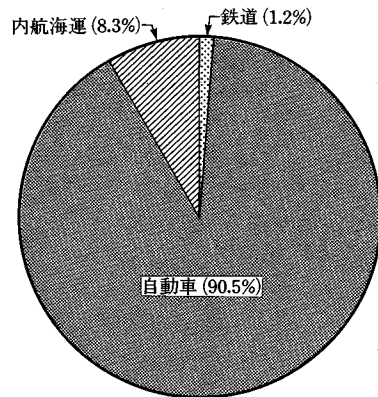


図-1 輸送機関別分担 (トン数)

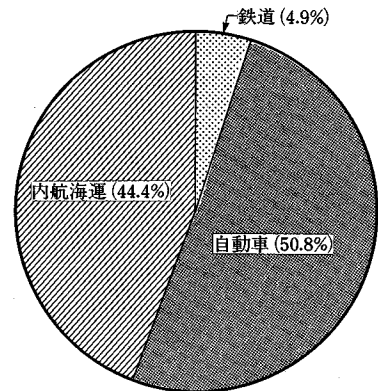


図-2 輸送機関別分担 (トンキロ)

において最も激しい、LNGは石油代替エネルギーとして注目され開発が進められていたが、環境保護の立場からクリーンエネルギーの代表として期待が集まり、開発が急ピッチとなった。LNGはメタンが主成分であるため、有害成分を含まない上、炭酸ガスの発生も少ないと

ころが好まれている。LNG 輸送のためには、 -163°C の超低温タンクを備えたタンカーが必要であり、その建造が増加している。最近では活発な需要増に対し、早くも天然ガス資源の供給面での懸念が指摘されるまでになっている。

輸出入共にいわゆる雑貨の輸送の伸びが最近では最も大きい。特に東南アジア圏を中心とするコンテナ貨物は年率 10% 台の爆発的ともいえる伸び率となっている。これに対応し、コンテナ船の大型化が進み、港湾も国内では神戸、横浜という伝統的な港に加え、東京、大阪、名古屋、清水などの近代的コンテナバースの整備が進んでいる。また、シンガポール、香港等では中継港としての役割も含め、世界最大規模のコンテナ港湾としての地位が確立した。

2. 輸送機械としての船の特徴

(1) 船の構造

輸送機械としての船の最大の特徴は荷重の支持方式である。鉄道車両、自動車が車軸により、また航空機が主翼により集中的に全重量を支持しているのに対し、船は浮力によって分布的に全重量を支持する。長さ方向で見れば、喫水線以下の各断面の面積に海水の比重をかけたものがその断面に作用する部分的な浮力であって、その合計が船全体の排水量となる。船は、その自重と積載された貨物や燃料等（これを載荷重量と呼んでいる）の和が排水量と等しい状態で水に浮かんでいる。

浮力によって分布的に支持されているということにより、船は構造物としては極めて合理的な構造方式をとることができる。例えば船の幾何学的外形をきめれば、ある喫水に対しその浮力分布は一意的に定まる。貨物の積載方法には自由度があるため、注意深く積むことによって、船の長さ方向に浮力分布と荷重の分布をほとんど等しくすることが可能である。このようにすれば船全体の長さ方向にほとんど曲げモーメントがかからないことになる。いいかえれば、海の上では必要とあればいくらでも大きい構造物を作ることが出来ることになる。

このことは脊椎動物にたとえてよく説明される。一般に脊椎動物は同一の物性をもつ骨格により支持されており、体重に占める骨の重量の比率は体重の増加に応じて多くなる。スズメやネズミに比べ、イヌやネコはその比率が高い。ウシやウマはさらに高くなり、ゾウにいたっては動物として成り立つためのほとんど限界にまで達する。しかし、クジラのように海中で生活すれば骨重量の比率は少なくて済み、比較的小量の骨格で大きな体重を支えることが出来る。

浮力分布と荷重分布を等しくできるのは海面が文字どおり水平の場合である。長さ方向に浮力分布と荷重分布を等しくしておいても、波が立てば浮力分布が変わるた

めそのバランスはくずれずれる。船の長さや波長が等しいときバランスのくずれが最も厳しく、波の山が船の中央に来た場合と、谷が来た場合とで相当大きな振幅の曲げモーメントを発生する。これを波浪荷重といっているが、海洋波の波長が 150 m を超えることは極めて稀であるため、長さ 200 m を超えるような大型船にとっては、外力としての波浪荷重はより小型な船に比べ相対的に小さなものとなる。

船の長さ方向全体にかかる曲げモーメントは上に述べたとおりであるが、各断面において喫水方向にかかる水圧は極めて大きい。宇宙ロケットの圧力変化が地表の 1 気圧から真空までであるのに対し、水深 10 m ですすでに 1 気圧の外圧となる。タンカーの場合のように、積載貨物が液体で船倉内でも深さ方向に圧力が増える場合は船の内圧と外圧のバランスに期待できる可能性もあるが、固体貨物の場合、あるいは液体貨物であってもその断面に必ずしも貨物が常に積載されるとは限らないため、一般に非常に大きな喫水の船を作ることにはされない。大喫水の船は港湾の水深の制約によっても実現困難であることは当然である。

(2) 船の抵抗と推進

船を一定の速力で走らせようとするとき抵抗を受ける。速力を保つためにはその抵抗に相当する推力を推進器によって発生させなければならない。

船の抵抗はその形状が十分流線型であり、渦の発生が抑えられている限りにおいて、摩擦抵抗と造波抵抗がその主要な要素である。摩擦抵抗は船体表面近傍において周囲の水の流速に変化が起きることによって生じる。水の粘性によりこの流速分布がエネルギーの散逸を起こし摩擦抵抗を生む。一方造波抵抗は、概念的には船の長さ方向の排水量分布の変化が、船が進む事によって周囲の水に圧力変化を起こして水面に波を発生させ、運動エネルギーをもつ波が無遠慮に発散することによって生ずる抵抗である。したがって排水量変化の少ない船、具体的には細長い船では造波抵抗は少ない。いずれにしてもこれらの抵抗は避けることは出来ず、いかにしてこれを低減させるかが技術改良の対象となる。大まかにいえば、摩擦抵抗は速力のほぼ 2 乗に、造波抵抗はほぼ 4 乗に比例して増加する。したがって、低速船では摩擦抵抗が主体であり、高速船においては造波抵抗が主体となる。

船型改良は造波抵抗の低減に力点をおいて進められてきた。造波抵抗は船が作る波によって発生するので、いかにして波を立てない船を作るかが問題である。初期においては、まず船が作る波を観察し、その波と逆位相の波を発生させる仕掛けをつけて互いに打ち消し合うようにして造波抵抗の低減を図った。これが初期のバルバスバウと呼ばれる球状船首である。現在では船の各部から発生する波の要素が相互に打ち消し合うように船体そのも

の形状を工夫し、設計速度において波の出にくい船型を設計する技術が確立している。このように計画された船もバルバスバウをもっているが、旧来の船型に比べ非常に小型のものですむようになっている。造波抵抗理論の確立以前に比べ、現在の高速船の抵抗は同一速度において、約1/2にまで減少している。

特に低速船の場合は摩擦抵抗の低減が重要であるが、現在のところ船体表面の清浄を保つことに重点が置かれている。船体表面が汚損・腐食すると摩擦抵抗は急増する。最近まで船は年1回はドックに入り、各部のメンテナンスを行うと共に船底塗料の塗り変えを念入りに行ってきた。劣化した表面の塗料が自然にはげ落ちるセルフポリッシングコーティング (SPC) や海洋環境に悪影響をおよぼさずしかも海水内の生物が付着しにくい塗装技術によって改善が行われている。将来の技術としては、空気のマイクロバブルを船体表面から吹き出す、あるいは特殊なポリマーを流すなどして摩擦抵抗そのものの低減を図る方法が期待されている。

船の推進器としてはほとんど例外なく船尾に配置したスクリュープロペラが使われている。19世紀後半に使われはじめたものであるが、改良を重ねながら使い続けられ、現在でも最も効率的な推進器である。スクリュープロペラの効率は推進器面単位面積あたりに発生する推力 (プロペラ荷重度) が小さいほど高いため、できるだけ大直径のプロペラを低回転で回すことが望ましい。低回転で回すことはキャビテーションの発生を防ぐためにも要求される。大型船の場合、プロペラの荷重度が大きくなる傾向があり、効率改善のためプロペラを短いノズルでかこむ、あるいはプロペラの回転方向に無駄に消費されるエネルギーを回復するため、2重反転プロペラを用いることなどが行われている。

プロペラを駆動するためのエンジンとしてはディーゼルエンジンが主流である。1970年代までは単機3万馬力を超える大型エンジンの製作が出来ず蒸気タービンが使われてきたが、現在では6万馬力程度までならばディーゼルエンジンを使用できる。船用ディーゼルエンジンは現在最も熱効率の高いエンジンであり、しかも最も品質の悪い粗悪油の使用に耐えることが出来る。

(3) 輸送機械としての船のとらえ方

以上述べたことにより輸送機械として船をどのようにとらえるべきかをまとめてみる。まず、浮力支持型であることが最大の特徴である。これにより必要とあらばいくらでも大きな構造物として構成することが可能である。

いかえれば追加投資無しに大型化できる極めて特殊な構造物である。車両は車軸により、航空機は主翼により集中的に支持されるため、大型化のためには大規模な補強が必要である。高層建築は耐震という面では柔構造

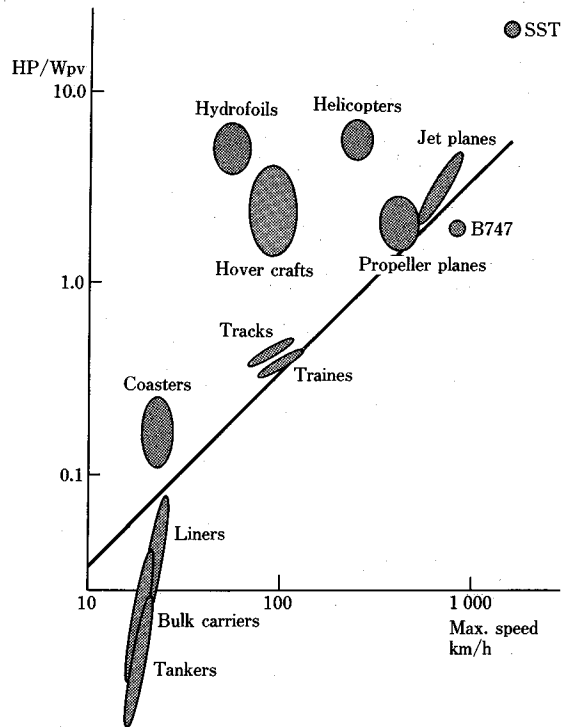


図-3 輸送効率の比較 (カルマンガブリエリ線図)

設計の思想が使えるが、積層されるため下層の構造は上層の構造を累積的に支える必要がある。

船の場合、極端に喫水を深くすると耐水圧構造のための大きな追加投資が必要であるが、長さや幅を広げて大型化する場合ほとんど制約がない。しかも船に対する最大の外力である海洋波の強さは当然船の大きさには無関係であるため、船が大型化するほど相対的に影響力が少なくなる。

推進効率に関しても大型化が好ましい。摩擦抵抗は水に浸かっている表面積に比例し、造波抵抗は主として船首船尾において発生するため、船が大型化し長くなれば相対的に小さくなる。

輸送機関の効率比較にカルマン・カブリエリ線図がよく用いられる。これは図-3に示すように横軸に各輸送機関の最大速度をとり、縦軸に輸送効率の逆数、すなわち単位重量の貨物を単位距離運ぶに要するエネルギーをとって比較するものである。両者を対数軸にプロットすると、船、鉄道、自動車、飛行機など代表的な輸送機関はその最高速度に応じ右上がりの直線上に並んでいる。これは、輸送効率からみる限り、速度を上げようとするれば、それに伴って燃料消費の増加を負担しなければならない事、また、特定の速度に対し適合する輸送機関の選択が決まるという事を示している。船の部分を見ると、大型船は常識はずれともいえるほど輸送効率が高いことがわかる。一方、小型になるほど、また少しでも高速化

しようとするほど、輸送効率は極端に悪化する。

一般的に船は、所定の輸送需要に対し、できるだけ輸送ロットを大きく、低速で輸送しようとする。その結果、船の数は驚くほど少なく、例えば5000トン以上の船の数は世界中合わせて2万隻弱に過ぎない。小型高速船を利用する場合は、他に代替輸送機関が得られない、あるいは単に燃料効率から輸送をとらえるのではなく、輸送システムの一環としての要求がある場合に限定される。また、船自体も水中翼やエアクッション等、一般船とは異なる原理を使って抵抗軽減を図る必要がある。

3. 原料輸送

(1) 概要

大型専用船による原料輸送の合理化は、1970年代の日本の産業構造を変革する非常に大きな要因であった。

例えば鉄鋼業の産業立地について見れば、従来その主要原料である鉄鉱石、石炭いずれかの産地に製鉄所を建設し、原料輸送のためのコストを節約することが常識であった。しかし、何らかの方法により輸送コストがかからないとすれば、この常識は破られる。このことは他の素材依存型産業についても同様である。

前章に述べたように、船には大型化を制約する要因は少なく、大きくするほど単位輸送量あたりのコストは低減する傾向がある。また、専用化ということを考えれば、専用化すれば特定の用途にしかその船は使えなくなるため、原料のピストン輸送を行う場合、片道は満船、片道は空船という典型的な片荷航海となり、積み付け効率は高々50%という非効率なものとなる。従って、専用化の経済性を考えれば船の大きさに関してある損益分岐点が存在することになる。

経済活動が増大し、輸送需要が伸びてくると、この損益分岐点を超える大型専用船の使用が是認されるようになり、大型専用船の利用が輸送コストを低減させて輸送需要を増大し、さらに大型の専用船の利用を促すという循環を発生させる。1970年代の日本産業の発展はこのようにして支えられた。多量の原料輸送を必要とする産業の立地は、原料の産地よりも大型専用船を利用できるか否かによって決まるようになり、いち早く整備が進んだ日本の臨海工業地帯は世界で最も安価な原料の供給を受けることが出来る状態になった。

このような形で日本に輸入されている代表的な品目と輸送量は1991年の統計で、原油、石油製品合わせて2.4億トン、鉄鉱石1.3億トン、石炭1.1億トン、穀物3千万トン等である。世界全体のこれら品目の海上荷動き量に占める日本のシェアは、石油関係で約15%、鉄鉱石、石炭に至ってはそれぞれ36%および31%もの大きな割合におよんでいる。石油危機以来産業構造が変化し、これら素材型産業の日本経済に占める地位は相対的に低下

しつつあるが、絶対的に輸送量が低下しているわけではなく、最近ではエネルギー源としての石炭、LNG（液化天然ガス）の輸入量が増加し、原油、石油製品の輸入も再び増加の傾向にある。

(2) タンカー輸送

大型専用船の代表は原油タンカーである。原油を精製した石油製品の輸送も多いが、原油は分溜精製後余すところなく使われるため、国際輸送では原油のままの輸送が圧倒的に多い。1992年、世界全体の原油輸送量は13億トンであり、このうち1.9億トンが日本向けに輸送されている。なお、原油として輸入されたものは国内で精製されるが、これら石油製品の大部分が再び内航海運によって国内輸送されている。内航海運において品目別には石油の輸送が最も多く、年間1.3億トンにおよんでいる。

元々石油関連の輸送は爆発事故が多く、一般貨物との混載が困難であった。従って石油タンカーは当初輸送経済よりは安全に対する配慮からの開発が行われ、その歴史は今世紀初頭にさかのぼる。第2次大戦を機にタンカーの大型化が始まったが、1960年頃は4万トン程度にとどまっていた。大型専用化による循環が始まったのは1965年以降である。大型化は8万トン、12万トン、16万トンと急速に進み、1966年にはついに21万トンタンカー「出光丸」が竣工する。

以降20万トンを超える原油タンカーをVLCC（Very Large Crude oil Carrier）と呼ぶようになるが、中東・日本間の原油輸送コストは4万トンタンカーに比べ、VLCCは1/3にまで低減された。当時原油の現地価格は1バレル2ドル程度であり、日本での原油価格に占める輸送費がバレルあたり1.5ドルから0.5ドルに低下したことになる。VLCCによる輸送費に低減が社会経済に与えた影響は極めて大きい。

このような状況のなかでタンカーの大型化は日本の造船技術にとって最大のターゲットとなり、一種の信仰化ともいえる現象を起こしていた。大型化は25万トン30万トンと進み、1972年には48万トンタンカー、「グローブティクトーキョー」が出現した。計画段階では100万トンタンカーの開発も進められた。

日本の産業は安価な石油エネルギーの豊富な供給によって急速に膨張し、原油の輸入量の増加は1970年代初頭では年率10%を超えるようになった。当初エネルギー供給の予測によれば、1980年代には日本の原油輸入量は5億トンに達するものと見られており、この輸送にあたるための原油タンカーをどのようにして整備するかが大問題であった。

1973年に起きた第1次石油ショックはこのような状況に致命的な影響を与えた。急速に膨張するタンカー需要に備え発注されたタンカーの受注残は1億トンあり、

当時の既存船腹量の1/3にもおよんでいた。これら発注済みのタンカーのかかなりの部分は建造をキャンセルされたが、多くはそのまま建造が進み、これによる船腹過剰がその後15年間にわたって海運造船界の経営を苦しめ続ける要因となった。

当時の爆発的なタンカーブームの折、冷静な判断を求めることは無理があったにしても、今にして思えば多くの反省点がある。第一に、石油輸送が年率10%という急激な伸びを示していた訳であるが、一方で石油の確認埋蔵量を年間の生産量で割ったいわゆるR/Pの値は徐々に下がりはじめており、エネルギー源の石油依存は早晚頭打ちにならざるを得なかった。第二に、VLCCによる安価な輸送手段は、いわばひとつの技術開発の成果として得られ、それによる条件の変化すなわち石油依存度の上昇は一定レベルにおさまるはずであった。新技術の浸透は指数的に拡大するのではなく、ロジスチック曲線的な動きをすることに気付くべきであった。

1975年をピークに短時間のうちに急速に建造が行われたVLCCの船隊は、ようやく今その寿命を迎えつつあり、船腹量と輸送の需給バランスが回復し、また寿命のきた船の代替建造が行われつつある。

(2) バルクキャリアによる輸送

バルクキャリアは貨物を梱包することなく、そのままの形で船倉内に積みつけて輸送する大型専用船である。鉄鉱石、石炭、穀物などを大量に輸送する場合に用いられる。通常船の上には荷役設備をもたず、専用の岸壁設備を使って荷役が行われる。普通積み込みにはベルトコンベア、揚げ荷にはクレーンが使われ、大型の岸壁では毎時5000トンの能力をもつ荷役ユニットが数台用いられる。一般に距離の短い航路ほど輸送時間に占める荷役時間の比重が大きくなるため、高速な荷役装置が用いられる傾向にあり、船の中に巨大なベルトコンベアシステムを設け毎時2万トンの荷役を行う例もある。

当然のことながら、バルクキャリアによる大量輸送は原料の産地から需要地まで一貫した生産と輸送の体制が組まれている。例えば鉄鉱石の最大の産地であるオーストラリアにおいては、露天掘りされる鉄鉱石を一すくい30トンのパワーシャベルで120トン積みのダンプカーに積み込む。これを工場に運び鉄鉱石の粒形をそろえ、あるいはペレットに加工した後、1編成16,000トンの列車によって港に運ぶ。バルクキャリアにはこの列車にして約10編成分の鉄鉱石を積み込むことができる。荷揚げは製鉄所内にある専用の岸壁で行われ、ベルトコンベアで一旦貯蔵用のヤードに山積みされた上で溶鉱炉へ送られる。

バルクキャリアによる輸送は鉄鉱石の輸送が最も大規模であり、10～15万トン程度の船が多く使われるが、最大では25万トンの船も使われている。鉄鉱石のもう

ひとつの特徴は他の貨物に比べ比重が著しく大きいことである。このため鉄鉱石を専用運ぶ鉄鉱石専用船は船体に比べ船倉容積を小さくしている。一般のバルクキャリアで鉄鉱石を運ぶ場合は、船の長さ方向に7～9個に分けられている船倉ひとつおきに積み込んでいる。このため鉄鉱石を積み予定のバルクキャリアは建造当初から1倉おきに積むための構造上の補強を行っている。

石炭輸送は従来製鉄用原料炭の輸送が中心であったが、石油危機以来その埋蔵量が豊富であることから注目を集め、燃料用一般炭の輸送が増加している。石油危機以来代替エネルギーへの転換は、日本では特に原子力を中心に行われてきたが、最近ようやく石炭火力発電所の計画が本格化し、この傾向に拍車がかけられるようになった。石炭の産地は伝統的にアメリカ東岸であり、日本への輸入にはパナマ運河の制約から7万トン以上の大型船の利用は出来なかった。しかし、アメリカ西部炭の開発とそこから西岸に向けての鉄道輸送路の整備、さらには石炭輸出用港湾の建設も進んだことにより、大型船による石炭輸送が増えてくると見込まれている。

タンカー輸送における荷役は、液体貨物であるがゆえに港湾の十分水深のある沖合いにドルフィンまたはブイを設置し、そこまでパイプラインをつなげれば済むが、バルクキャリアの場合岸壁に着岸させ、岸壁の設備を用いて荷役を行わなければならない。大型船を用いる場合、その喫水に見合った港湾の建設が大きな問題である。逆に、船としての性能を大きく損なうことなく、いかにして浅い喫水の大型船を開発するかが造船上の技術開発課題となる。

その他穀物をはじめある程度多量の貨物輸送需要がある品目についてバルクキャリアによる輸送が行われる。これらの輸送には2～7万トン程度の船が使われるが、特殊な貨物をのぞいて特定の貨物の輸送、あるいは特定の航路にしばった使い方はされない。需要に応じ、季節に応じて世界中を色々な用途に応じ航海している。このような輸送サービスの形態を従来から不定期船あるいはトランプシップと呼んでいる。

4. 雑貨輸送

(1) 雑貨輸送の構造的変化

産業構造の変化により原料輸送分野の輸送の伸び悩みが目立つのに対し、輸送統計上で「その他貨物」と呼ばれる雑貨の輸送は引き続き順調な伸びを示し、特に1980年代以降さらに加速される傾向にある。統計上「その他貨物」のカテゴリは石油関係の合計をしのごき、分類上「その他」ではすまされない状態になりつつある。

輸送の形態からみれば、前章に述べた比較的マイナーなバルクキャリア輸送とコンテナ輸送の分野の伸びといえることができる。特に東南アジアを中心としたコンテナ

輸送の最近の伸びは著しく、年率10%を超える状態が続いている。

海上輸送の伸びが年率10%を超えるということは1970年代を中心として起きたタンカーブーム以来の出来事であり、これがいつまで続くのかについては分らない面が多い。タンカーブームに対する反省点として2点あげた。しかし輸送形態や輸送需要の発生そのものが比較的単純な原料輸送に比べ、雑貨の輸送については見直し困難な点が多い。

従来雑貨輸送については経済活動との関連により理解されてきた。経済活動が活発化すればそれに応じて輸送需要が増えるという見方である。理由は必ずしも明らかではないが一応うなづける見方であろう。このような見方からすれば、例えば世界GNPの伸びに弾性値をかけて輸送需要を推定できる。あるいは各地域のGDPに関連づけて地域間の輸送需要を推定することが出来よう。しかし最近の東南アジアを中心とした急激な雑貨輸送増加の原因はこのような理由のみによっては説明できないものがある。

未だ十分な検証が行われているわけではないが、現象的には雑貨の輸送において構造的な変化が起きていることが指摘できる。一言でいえばあらゆるものの生産において起きているグローバル化である。あまり目立たないことであるが、生産システムの高度化により、多くの製品がどこでも作るできるようになりつつある。かつてカメラ、時計、テレビ、VTR等のいわゆるハイテク製品は先進国特有の製品であった。製品の技術レベルによって生産の棲み分けが行われ、各国の技術進歩の段階に応じてその国の産業分担が決まり、国々の分業と相互の交流によって国際協調が行われると信じられていた。このような状況下では製品毎の貿易量によって国際貿易を計ることができる。

しかし、最近では生産拠点がグローバル化すると共に部品段階での貿易、中間製品段階での輸送が過去に比べ非常に多くなっている傾向にある。冷戦終結後の政治状況によってこのようなことが可能となったともいえるが、より構造的には生産システムの高度化により、生産に要する技能レベルへの要求が低くなり、製品そのものの技術レベルに無関係に製造が可能になってきていることに注目すべきではないか。このことは多量生産品について特に著しく、かつてハイテク製品の代表のよういわれたVTRが、現在多くのいわゆる発展途上国においても製造が可能となってきていることによって証明される。

このような状況が進むと、あたかも工場の中の生産ラインが工場を出て、さらに国境を越えて動いているかのように、複数の国で部品を作り、それを別の国で中間製品に加工し、さらに消費地において最終製品としてまと

めあげるといふことになり、輸送量を製品単位の需要から求めることは意味がなくなってしまふ。

このような現象はすでに国内においてかなり多くみられ、国際企業にとってグローバルなロジスティックスシステムの構築が大きな関心となる。また、日米貿易摩擦問題において、製品レベルの問題解決を図っても、製品輸入を増やせば部品輸出が増えるという現象が起るため、効果的な対策とならない等の問題を起こしている。

原料輸送が極めて単純なシステム構造をとるのに対し、雑貨輸送の構造は複雑である。世界経済の新しい枠組みを考慮にいれ、十分に理解した上で必要な輸送システム体系を構築することが求められている。

(2) コンテナ輸送

コンテナ輸送が本格化する1970年代まで、雑貨は主として一般貨物船と呼ばれる定期船によって運ばれていた。1万トン程度の2層または3層の甲板をもつ船で、適宜梱包された貨物を混載状態で積みつけていた。荷役は普通船上のデリックを用いて行い、荷崩れを防ぐため積み荷に合わせてダンネージと呼ぶ仕切り板を設置するための作業に多大な時間を要していた。ダンネージ作業の運航費に占めるコストは大きく、燃料費を上回っていた。

定期船は、きめられた航路を所定のスケジュールにしたがって運航されるものであり、航路別、貨物の品目別に標準の運賃が協定によりきめられている。定期船航路に就航させる海運会社は、この条件下で輸送貨物の取得を競うため、サービスの向上に努めることになる。サービスの競争はとりあえずは船の速度であるが、輸送は本来ドアツードアで行われるものであり、その意味では手間のかかる荷役作業が最大の問題点である。

コンテナ船によるサービスは1960年代からアメリカのトラック業者によりはじめられ、その後世界的に広まるようになった。コンテナサイズの標準化も進み、荷役時間が短縮されると共に、陸上のトラックあるいは鉄道との複合一貫輸送システムが整備された。従来型の一般貨物船による輸送に比べ、ドアツードアの輸送時間は1/3程度に短縮された。現在ではほとんどの定期船航路はコンテナ化されている。

国際航路に用いられるコンテナは8×8×20フィートのサイズを標準としており、現在では長さが2倍の40フィートコンテナが多く使われている。輸送統計やコンテナ船の積載量を示すには20フィートコンテナ換算のTEUという単位が使われる。コンテナ輸送の初期には800TEU程度あったコンテナ船はその後次第に大型化している。最近この傾向がさらに強まり、4000TEUを越える大型コンテナ船の時代に移りつつある。

大口の荷主からはコンテナにまとめて運び込まれ、文字どおりドアツードアの輸送が行われるが、小口貨物は

一旦フレートステーションに集められ、そこでひとつのコンテナに混載される。コンテナ船が到着する前に積み込むコンテナはコンテナヤードに集結され、船が到着すると揚げ荷のコンテナを卸したあと一斉に積み込まれる。したがって、コンテナヤードは一隻のコンテナ船の積載量の2倍以上の蔵置能力をもつことになる。コンテナの荷役は岸壁のガントリークレーンによって行われる。これはコンテナ荷役専用のクレーンで、コンテナ1個あたり約2分で荷役を行っている。

コンテナの種類には冷凍機をもった冷凍コンテナや液体貨物用のタンクコンテナなど特殊なコンテナもある。冷凍コンテナには船側から電源が供給される。

コンテナ船は船倉内にガイドセルをもちコンテナを収納すると共に甲板上にもコンテナを積載する。積載量は船倉内よりは甲板上の方が多い。甲板上に積載する場合、コンテナを固縛する作業に手間がかかるが、最近ではハッチカバーをもちガイドセルを甲板上に突き出し、セル内にコンテナを収納する事によって固縛作業を省略するコンテナ船が出現している。この場合船倉内に浸入してくる海水はポンプによって排出する。

5. TSLの開発

(1) 開発目標

最近造船の世界ではTSL(テクノスーパーライナー)開発の話題が注目されている。これは次のような開発目標をもつ超高速貨物船である。

- (a) 速力: 50ノット
- (b) 貨物積載重量: 1000トン
- (c) 航続距離: 500海里
- (d) 耐航性: 波浪階級6の荒海で航行可能

開発は造船大手7社によるTSL技術研究組合により1988年から6年間の予定で行われている。

当初は要素技術の開発のみを目標に5年計画で行われていたが、社会的期待が大きい事、要素技術開発が順調に進んでいる事などから研究期間を1年延長して、実海域模型試験を含めた開発計画に変更された。TSL開発は水中翼方式、エアクッション方式の2つの船型について進められているが、実海域模型試験は、それぞれの方式につき17mと70mという大型模型船を用いて、1994年度に行われる予定になっている。

物理的に船は低速大容量の輸送に向けた交通機関であるが、これをなんとかして高速で走らせたいという事は技術者の夢である。また、輸送経済的にみても、陸上輸送機関では鉄道、自動車が時速100Km/h程度で走行可能であるのに対し、海をわたる交通機関には船と飛行機しかなく、速力差において20倍以上の違いがある。中間のコストで中間の速力が出せる交通機関があれば便利であろうという事は誰しも考える事であろう。

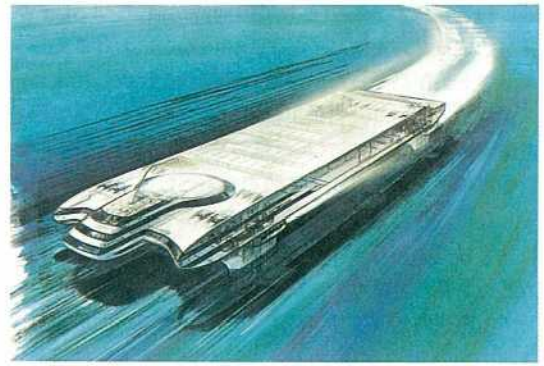


図-4 テクノスーパーライナー完成予想図
(運輸省海上技術安全局)

技術開発目標のレビューをしてみよう。速力50ノットという目標は、海上を走る船としてはかなり限界に近い数字である。短時間に限ってこの速力で走るという事については過去にも多くの例があるが、定常的なサービスとしてこの速力を維持するという事はかなり困難である。この程度の速力になると、推進器のみならず船体の各部にキャビテーションが発生する可能性がある。

貨物積載重量についてはあらかじめフィージビリティスタディを行って、需要との関係で設定すべきであろうが、当初かなりこしだめ的に決められたというのが事実経過である。ただし、その後行われたフィージビリティスタディの結果、比較的よいところをついているという評価をえている。船としては小型の部類に属するが、トラックであれば100ないし150台分、列車では1編成分に相当し、かなり大きな輸送機関である。逆に、これ以下のサイズにしようとするれば荒海の中の性能確保が非常に困難となる。

航続距離は、エンジン馬力と燃料タンクの容量との関係で決まり、貨物積載重量とのトレードオフになる。積載重量を下げて航続距離をのばす、あるいはその逆の関係が成り立つ。

問題は耐航性である。TSLのような高速物流船は高速航行と共にその信頼性が要求される。風が強い、波が荒いなどという理由で欠航が続くようであればTSLの利用価値は失われてしまう。開発目標にあげられている波浪階級6という数字は、大まかにいえば台風の直撃を受けた場合に相当する。すなわち台風の直撃を受けない限り航行可能である事を目標としている事になるが、サービスの信頼性に関連し、それ以下の海象条件下で50ノット航行が可能であるか否かについては未だ明らかではない。そのために実海域模型試験が計画されているというよい。

もともと飛行機と船のあいだをうめる交通機関として考えられたものであるが、現状では国内物流において自

自動車輸送に代わるものとしての期待が強い。TSLの開発が始まった時を同じくして、国内輸送におけるモーダルシフト論が高まった。当時の好景気を反映し物流ニーズが急速に高まり、自動車輸送に頼りすぎている実態と道路混雑、あるいは運送業に携わる要員不足が表面化し、自動車輸送をなんとかして鉄道あるいは内航海運へシフトしなければならないという機運が高まった。鉄道輸送は旅客輸送の運行ダイヤとの関係で、時間的にも量的にも多くを期待できない。内航海運は量的には問題ないとしても輸送時間があまりにもかかりすぎる。このような状況の中でTSLの計画が始まったため大きな注目を集めるに至った。TSL開発は極めて恵まれた環境で始まった事になる。

最近の不況の中で物流システムの能力不足は多少解消された状態になっているが、東名・名神の容量不足は依然続いているし、長期見通しによっても第2東名・名神の完成後も容量不足の解消には遠いとみられている。

TSLの速力50ノット、航続距離500海里という開発目標は、国内輸送からみると東京圏と北海道あるいは九州を結ぶルートに適合している。両ルート共に距離は約500海里であり、これを50ノットで走れば10時間で結ぶ事ができる。港内での離着操船と荷役を2時間で済ませれば片道ちょうど12時間となり、1日1往復のサービスが可能となる。このようなサービスが実現できれば現在航空便によるしかない翌日配達で東京圏と北海道九州間で可能となる。ただし、東京湾の中に入り減速航行をしながら東京湾に直接入港しようとすると、1日1往復のサービスは時間的に無理があり、北海道ルートでは茨城県、九州ルートでは神奈川県あるいは静岡県内の適当な港を使う必要がある。北海道ルートでは日本海経由で新潟から関越自動車道を使う方法も考えられる。

TSLの開発と並行してフィージビリティスタディが行われている。TSLは建造費燃料費共に相当高額になるため、輸送コストはたとえば現在の長距離フェリーに比べかなり高くなると推定される。従って輸送対象となる貨物は運賃負担力の大きいものである必要がある。このような貨物に対して競合する輸送機関は自動車と鉄道フレートライナーであるが、サービスレベルを考慮したロジックモデルによる予測結果によれば、北海道、九州ルート共に片道年間約30ないし40万トンの輸送需要が期待できる。これはTSL 1ないし2隻分の輸送量にあたる。

モーダルシフト論からいえば、TSLへの期待は東名・名神の高速道路混雑解消対策である。海路をつかったの東京と名古屋大阪へのルートは地形上大回りとなり、しかも短距離であるために期待できないとするのが通説である。しかし、実際には東京湾、伊勢湾、大阪湾の中でのある程度の減速航海を考慮しても、速力50ノットの

TSLの場合東京名古屋を5時間あまり、東京大阪でも8時間程度で結ぶ事ができる。これらの数字は現在の鉄道フレートライナーより速い輸送サービスとなる。このルートでは神奈川県静岡県に着けるのではほとんど意味がないため、幅狭港湾内の高速船航行の安全性についての詳細な検討が必要である。

国際航路への適用についても色々な可能性が考えられる。国内と違いこの種のサービスに競合する交通機関がない事がひとつの大きな可能性である。逆に、航続距離の短さが大きな制約要因となる。500海里という航続距離では日本からはロシア、韓国、中国に限られ、TSLに適合する貨物が多いと期待できる台湾、香港、シンガポール等が範囲外となってしまう。途中給油という事も考えられないわけではないが、高速性が特徴のTSLにとって寄り道がある事は大きな阻害要因であろう。

国際航路における貨物輸送の現状は、船の速力よりも貿易手続きの合理化を求める面が強い。コンテナ輸送の場合、手続きに手間取る事などから、船が着いてコンテナが引き取られるまで平均で1週間もの日数を要している。当面、この問題の解決が先決である。この状況は情報化の進展により解決できる問題であり、早晚改善される事は当然であるが、コンテナ輸送の現状、航続距離の制約からみて、台湾、香港、シンガポールなどのルートに、TSLのような高い仕様の船がすぐに使われるとは考えにくい。

ロシア、中国については航続距離の問題はないが、社会経済の一体化であるグローバル化が進むことによって、高速輸送需要が拡大するものとすれば、TSLが使われるには時間がかかるであろう。

韓国ルートについては、すでに関釜フェリーでは手続きの合理化が行われているなど、TSLの適用について国内輸送とそれほど違わない条件が整っている。日韓貿易のO/Dをみると、国内では対韓貿易の強い地域性はみられないほど広く分布している。このことは、TSLを使う場合伝統的な関釜ルートより舞鶴、敦賀など日本列島の中心部とつながり方が有望という可能性を示すものである。韓国内の交通状況を見ると、ソウル、プサン間の高速道路の混雑は日本の東名名神以上であり、現在計画中といわれるソウル、日本海沿岸の港湾までの高速道路とTSLを用いれば文字どおり日韓貿易の新時代を築くものとなる。

6. 将来の技術目標

国際貿易、国内輸送における海運の役割の現状と将来、物理的特性からみた船の特徴についてまとめてみた。

海上輸送と造船技術という展望からみると、大きく分けて二つの問題があると考えられる。一つは構造的変化が起きていると考えられる雑貨輸送の近代化であり、第

二にはこれからも引き続き重要な原料輸送システムの安定的な維持である。

現在コンテナ輸送は国際貿易においてますます重要になりつつあり、活発な需要のもとコンテナ船はますます大型化しつつある。一方で手続き面でのシステム化が遅れ、せっかく港に着いてもすぐには引き取れず、ドアツードアの輸送時間短縮が十分にはなされていない。国内輸送にみられるように、今後グローバル化の進展と共に輸送時間短縮への要請はますます強まるとみべきであろう。

手続き面での遅延問題は、グローバル化の進展と共に自然に解決出来るであろう。例えば日本・アメリカの航路において、ドアツードアで10日のサービスを行うためにどのような技術が必要かを考えてみると、この10日間を航海時間、荷役時間、陸上輸送時間にどのように割り当てるかが問題である。航海時間を6日とすれば所要の船速は35ノットとなり、7日かけても良ければ30ノットとなる。両側の陸上輸送に3日要するとすれば、荷役には極めて激しい要求となる。さらに重要なのは、海上輸送と陸上輸送のロットサイズの極めて大きな相違である。現在のように4000 TEU 積みのコンテナを用いたのでは、いくら高速の荷役設備を開発しても、最初に出てくるコンテナと最後に出てくるコンテナでは、時間的に大きな差が生じてしまう。

現在のコンテナサービスは、長時間のドアツードアを想定し、その条件に適した形態となっているわけで、それをかなり短縮しようとするれば、まったく新しい方式、比較的小型の高速コンテナ船と高速荷役設備の組み合わせ、それらを支える情報処理システムの開発が必要になる。

船の技術的な特徴が低速大量輸送に向けたものであり、この分野では圧倒的な経済性を示すという事実は今後も変わらない。石油やガスの輸送で一部パイプラインに代替される可能性はないとはいえないが、船による輸送はこれと十分に競合できる。一方、1970年代までは大型化、専用化を中軸に技術開発が進められた。その結果、原料輸送の分野での技術開発はほとんど究極のところまで進んだともいえる。新しい貨物の出現で専用化という要請は生ずるにしても、この分野での問題はむしろ安全性、信頼性の確保に重点がおかれる事になる。

良い事ではないが、経済性を追求する過程での技術開発には比較的自然的に総合的な配慮が働くのに対し、安全性、信頼性追求のための技術開発はともすると視点が片寄りがちとなる傾向がある。これは、ある程度大規模なシステムでは、それが実現し運用に入った後にその不具合な点が現れる、あるいは長期に運用を続けるうちに社会の考え方がかわり、当初は考えなかった新しい要求が追加されるという形で起こる。新しい要求を満たすため

手直しが行われるが、そのとき、当初の設計の意図を十分に理解し、想定した運用環境を知った上で実施されるという保証はどこにもない。その時々において場当たりの対策が行われるのでは十分な対策とはならない。

最近原油タンカーの重大事故が連続して発生し、今後そのような事故を未然に防ぐために対策が急がれている。とりあえずは、船体を2重船殻化し、衝突、座礁事故が起きた場合も積み荷の原油が流出しないようにしようという方向で検討が行われている。それはそれとして有意義な対策であるが、本来的には事故発生後の対策よりも、事故を起こさないための対策がより重要である。VLCCによる原油輸送の歴史はすでに25年を経過し、初期の白熱した事故防止対策に対する議論が忘れられようとしている。また、船の運航にあたる船員の資質も変わり、使命感にあふれエリートとしての誇りをもった船員から、コスト低減を目的に、第三国の船員資格管理の明確とはいえない人々に代わっている。

成熟した技術でありながら、長期にわたって必要とされる技術をどのようにして維持していくかは、今後社会のインフラストラクチャを維持していく上で大きな問題になることは明らかである。維持には既存のシステムを運用することと、それが老朽化したとき新しいものに代替することの両面がある。社会変化が速くなった今、10年程度の比較的短期間のうちに、いつのまにか運用環境が変わってしまうことがある。老朽化したため新しいシステムと交換しようとしたとき、既にその技術が失われてしまっているということもありえないことではない。事実アメリカでは、運輸技術において顕著であり、鉄道車両、造船という分野で回復不能な状況になっている。

これまで、個別生産であり、またある程度大規模なシステムの製造運用は、その分野に一生を捧げようとする技術者によって支えられてきた。一方、大量生産の分野では生産システムが高度化し、その製品の信頼性は極めて高く、しかも製造にあたる人間に要求される技能レベルは逆に低くなっている。この相違は、前者の製造運用に必要な知識あるいは情報が人間の頭の中に蓄えられ、外部からは利用できない形になっているのに対し、後者ではそれが体系化され、個別の人間の外部に組織化されていることによる。知識や情報が人間の内部に潜在的に存在する限り、それを必要とするシステムは所有者である人間を失うと正常な運用が出来なくなり、代替システムの製造もできなくなる。また、知識の習得にも努力を要し、その技術に一生を捧げる決意なしには不可能である。

航空機、原子力の分野では、個性、大規模性が強いにもかかわらず、比較的良く情報の外部化が実施されている。これらの分野では情報の外部化のコストを負担で

きる形で産業そのものが始まったためといえる。大量生産分野では、まさしく製品が大量であるために個々の製品が分担すべき外部化コストが無視でき、更に外部化を行うことによって生産そのものの製造コストを大幅に低減できている。

海運、造船、あるいはより広く社会のインフラストラクチュアに関連する産業の特性は上記のいずれのパターンにも当てはまらない。しかも一生を捧げようとする要員の確保はほぼ絶望的である。待遇改善等のインセンティブによって確保しようという動きもあるが、社会一般の動きからは離れる方向であろう。しかし、この問題

の本質が情報の外部化コストの負担法にあるとするならば、解決策はある。製造、運用に必要な個別知識を整理するための情報処理技術は革命的に進歩しつつある。この技術を戦略的にとらえ、少人数で短期間に、しかもまちがいのない設計が出来る支援システム、その結果を効率的かつ柔軟に実現する工程計画システム、さらには船のライフサイクル全般にわたってメンテナンスが可能となる運用システムを構築することが、この分野において最も重要な技術開発であると考えている。

(1993. 4. 28 受付)