

技術解説

将来の船はどのように変わっていくか

——特に船型の変化に注目して——

田 中 拓*

1. 緒 言

将来の船，特に船型の問題について学問的に意味のある予想をたてることは途方もなく大変なことで，筆者もこれを十分に解説する自信を持っていない。それは現在の大型商船は技術的にはかなり完成された段階にあって，これを乗り越えたところに新しい海上輸送の進路を見付けようと考えれば，船に関する種々の基礎的な問題を同時に見直さなければならないからである。

R. R. Fulton が世界で最初の実用汽船，Clermont 号の航行に成功したのは170年前のことになるが，これが当時の将来船であったことには間違いない。実際に彼は船用の蒸気機関の実用化に成功しただけでなく，船型に関してもすでに水槽模型試験データを使用してかなりの研究の後が見られるなど，近代造船研究の嚆矢とするに足る実績を残している。

しかしながら今日の将来船の研究は，その内容の広がりや深さにおいて全く異なったものとなってしまった。わかりやすく原子力船の例をあげても，原子力主機関など将来の船の技術の要素を研究する難しさに加えて，原子力船そのものを実用化する研究の重要性は「むつ」の例からもわかる通りで，単なる工学研究の積み重ねでことを完成することはできなくなっている。

船は誰かによって発明されたと言うよりも，自然に備っているものとする方が実感に近い。それ故，船の研究，とりわけ船舶流体力学に関する船型の研究は，船の起こす波，船体周りの流れの様子，船体と舵の相互作用といった現象理解を意図した仕事が多く，このような現象の

analysis とその応用によって船の性能は著しく進歩してきた。これに対して船の研究に synthesis の概念が用いられるようになったのは，近年のことと考えてよい。

特にことわるまでもなく，analysis とはすでに存在しているものを理解することが主で，synthesis とは幾つかの物または概念を組合せて何かを創造しようとする行為をさしている。

在来の船の研究は多くの場合，船会社の仕様に基いた性能，諸元に最も適した船体，プロペラ，舵などを提供するために行われる。この研究の中で個々の analytical な研究が有用なのは，研究を実施するものの中に，船とはどのような物かと言うことがお互いの常識の中に定着しているからである。船を構成しているのは，船型，プロペラだけでなく構造，艤装はては港湾，法規と幅広いが，例えば20万トンの大型タンカーと言えれば，われわれは余り多言を用しなくてもその内容をほぼ明確に定義することができて，その基礎の上に自分の仕事をすすめることができる。このような，歴史的に完成された常識と設計のプロセスが造船，特に船型研究の中に蓄積され，工学としての体系を得て研究の基本となっている。

一方，synthetic な究研とは本質的にこのような常識に頼らない研究と言うことができる。例えば，水中翼による流体揚力の利用とかコンテナ輸送による荷役方式を海上輸送に応用しようとする時，多かれ少なかれ従来の海上輸送のシステムをそのまま用いることができない。したがって上記の新アイデアを生かすためには，設計者，研究者は海上輸送の方式や物流のシステムそのものに手を加える必要ができてくる。

このことは，次のように理解してもよいかもしれない。すなわち，船は明かに海上輸送全シ

* 田中拓 (Hiraku Tanaka), 船舶技術研究所, 推進性能部, 工学博士

システムの中の1つの要素に過ぎない。したがってそのシステムをすでに完成されたものとして固定して扱うなら、船と言う要素の入出力端子の条件を満足する最良のもの（例えば消費エネルギー最少のもの）を提供するのが造船屋の仕事となる。しかしもしシステムそのものが可変な場合には、新しい船の原理に基づき船の性能を最高度に発揮する海上輸送システムを考える必要があり、次に新システムと在来システムの比較、評価が重要な仕事となる。

後者が新形式船舶研究の骨組みでそこに synthesis の考え方が必要なことは言うまでもない。船型学では在来船のことを排水型水上船と呼んでいるが、この船型は文明始って以来の使用実績をもっているから、これを用いた海上輸送と造船のシステムは高度に完成され、それを培った社会資本は莫大なものとなっている。この複雑で固定化したシステムの内容を把握しうまく運用しているのが造船屋の造船屋たる所であろう。新形式船舶の研究は、このような常識を越えたところに存在し新しく大きな自由度を海上輸送システムに付加するところに終極的な意義があるけれども、そこに行きつくには、何段もの障害を通らなければならないだろう。このことはまた最後に述べることとして本論に入ることにする。

2. 新形式船舶研究の目的

現在一般に用いられている排水型水上船は、あらゆる型の船の中で最も経済性が高いと考えてよい。これは図-1に示すように、排水型水上船はあらゆる輸送機関の中で最も抗揚比が低くだけでなく、貨物を満載している時には喫水が深く燃費がかさむが、貨物が少ない場合には燃料消費が著しく少ない特徴にも負うところが大きい。しかしそれ以上に先に述べたように、この船型の長い使用実績が、この船の最も特性のよいところで働くように海上輸送システムの方を組立てたからだと思われる。

したがって、従来船型が用いられている既成の航路をそのまま新形式船舶がとって変えることは、特殊な例外を除いて絶対になくと考えてよい。新形式船舶を用いるチャンスは2つあって、1つは、ホバークラフトの水陸両用の機

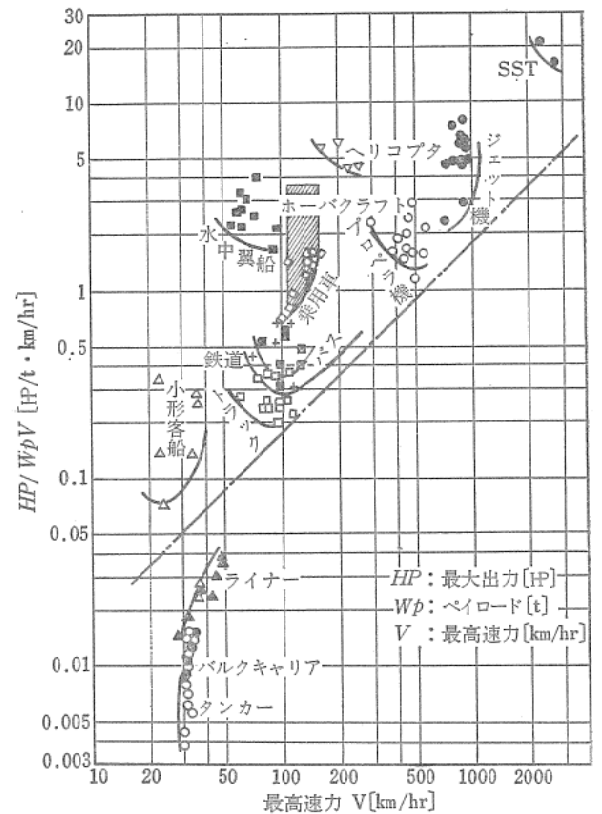
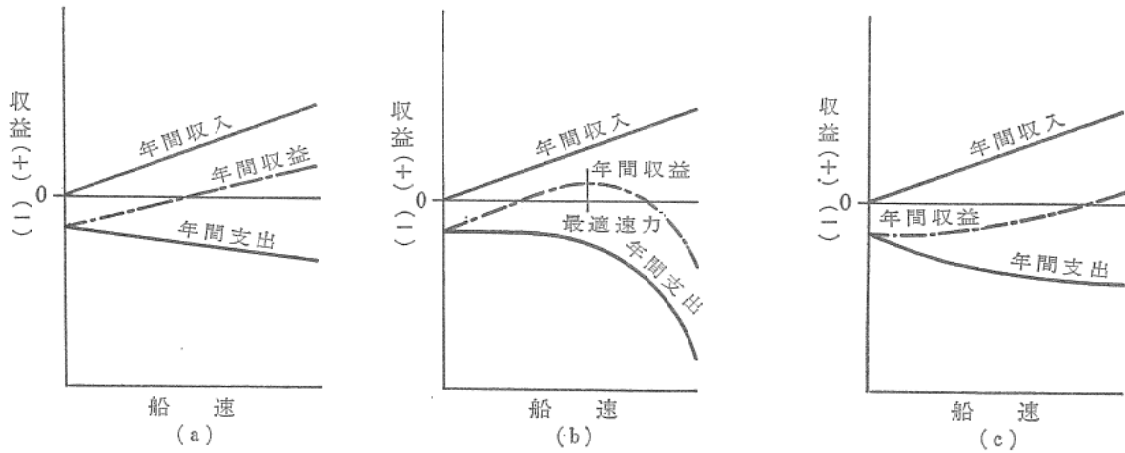


図-1 輸送機関の抗揚比の比較
(赤木新介, 交通機関論より)

能とか潜水船などの特殊な性能を利用する特殊船として用いられる場合と他の1つは、排水型水上船が到達不可能な性能が要求された場合である。

現在の海上輸送がもっている技術上の問題点の多くは、輸送速度と安全性に帰することができ。船が他の乗物にくらべて速力が遅い主な原因は、水の密度が大きく流体抵抗が大きいためであるが、逆に密度の大きな水のおかげで大きな静的揚力（排水量）を簡単に利用することができる。将来の航空機の payload の限界を仮に300トン位とするとこの2,000倍位の船でもすでに建造可能で、一方速力の方は船は航空機の1/20~1/40程度だから、輸送モーメント (ton-km/hour) で比較すると圧倒的に船が優れている。

幾分余談になったが、要は船が水に頼っていることには功罪あって、その欠点の方は低速の高経済性（低い抗揚比）は、高速になるにしたがって急速に劣化してしまうので船の高速化は難しいことが言える。経済性が劣化する理由が



図一 船速と経済性
(a)および(c)型の輸送機関を理想とするが、現実には(b)型のものしかない

造波抵抗の増加と耐航性能すなわち波浪中性能が悪くなるのが第一に挙げられるが、経済性として考えても図一に示すように、燃料消費量は速度の3乗に比例するのに、運賃収入の方は速度に比例した形でしか増加しないから、ある程度以上の速力では、採算がとれなくなるのは当然である。

さて上記の他、実際には種々の理由で、大量輸送を目的とした排水型商船の高速化には限界があるがその限界を正しく推定することは、海運界の景気、運賃レートと深い関係が有って難しい。しかし、やや絶対的な限界を推定する考え方が2種あって両者の結果は大略一致している。

その1つは、図一と同じような抗揚比を用いる方法である。抗揚比を若干変形したものを無次元表示してこれを有効抗揚比(K)と呼ぶことにする。

$$K = \frac{1}{75\eta\rho} \cdot \frac{C_R}{C_L} = \frac{SHP}{V \cdot \Delta}$$

ただし、 η_P は推進効率、 C_R/C_L は抗揚比
 $C_R = (DRAG) / \frac{1}{2} \rho V^2$, $C_L = (LIFT) / \frac{1}{2} \rho V^2$,
 Δ は排水重量、 V は船速、
 $SHP = 75 \times PS$ を示す。さらに少し手を加えて、
 Froude数 $F_n = V / \sqrt{L \cdot g}$, L は船の長さ、
 g は重力の加速度。を用いると、

$$K/F_n^2 = \frac{1}{75\eta\rho} \left(\frac{L}{V^2} \right) C_R$$

(ただし船の場合 $LIFT = \Delta$ の関係を用いている)

K/F_n^2 は、わかりやすい図表となつて、多数の船(約300隻)の資料をまとめると図一3の結果が得られる。

この図から種々のことが推測できるが当面有用なのは、 $F_n = 0.27$ 位から急速に抗揚比が大きくなって経済性の劣化が予想されることである。 $F_n = 0.27$ と言うと現用の高速コンテナ

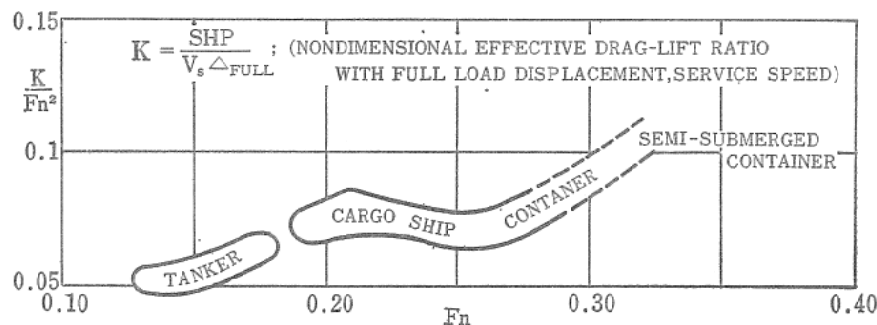


図3 商船の速力(Froude数)の増加に伴う抗揚比の変化

船の速度で、 $F_n=0.3$ 以上を常用の速度としているコンテナ船は現在のところない。しかし後に述べる半潜水船の K/F_n^2 が図示の位置(約0.1)に予想されるので、 $F_n=0.33$ 前後が排水型水上船の商船としての限界となるかもしれない。

また別に、船舶技術研究所では、3年程前から35ノットの速力をもつ3,000個積コンテナ船の船型の開発研究をすすめている。この船の主機馬力は約240,000馬力、機関室の長さだけでも100m、全長300mと言うスーパー・コンテナ船である。この船はプロペラを4個もち、商船としてはおそらくこれ以上の主機馬力の船は設計できないと考えられるので、期せずして高速コンテナ船の限界に挑戦した形になった。

この船の35ノットにおける Froude 数は $F_n=0.33$ であるが、万一これ以上の高速化が商船に要求されたら、従来の(高速化=大型化)の図式がとれなくなって、主機馬力の限界と省エネルギーの関係から高速化は小型化につながって行くであろう。この場合、船の長さ L が小さくなって F_n は飛躍的に増大し、在来船

型の見直しは必至となり、新型式船舶の出番となってくる。

詳細な説明をする余裕はないが、新型式船舶研究の重要な目的が海上輸送の高度化にあるが、問題はそれだけではない。米国の場合を例にすると、耐航性能の向上、作業環境の改善その他多方面にわたっていることを付言しておく。

3. 新型式船舶の種類

新型式船舶の問題を初めて組織的に調べて、排水型水上船が本質的にもっている欠点を克服するためには、どのような船型が考えられるかといった問題を論じたのは米国海軍の Boericke だと言われている。この論文の内容は、現在の新型式船舶研究が目ざしているものと必ずしも一致していないが、とにかく1959年に発表されたこの研究には、半潜水船などの新型式船舶のいくつかに研究の端緒を見ることができる。

船を水に依存している輸送機関の総称と考えて、これを原理的に分類したものを表-1に示す。

この表は、船の最も重要な機能である揚力(一般には浮力)の発生機構別に分類したものの

表-1 船型の分類

揚力(浮力)の調整				σ_c と feasibility の関係	船型	複合船型
方	式	機 構				
Static	$\Delta=LF$ ($W=\Delta$) 排水型船舶	自然に備わっている(浮力)		σ_c と無関係	排水型水上船	SSS SES
		浮力の調整機構を付加する必要がある(ballast tank)		σ_c は重い方がよい (DW の不足を ballast で補う)	潜水船	
Dynamic	$W=LF$ ($W \neq \Delta$) 非排水型船舶	機械的な Lift 発生機構をもつ必要がある	Ground effect	σ_c は軽い方がよい	エアクッション船	HSS ACV
			Hydrofoil		水中翼船	
			Hydro-plane		滑走船	

Δ ; displacement weight LF ; lifting force
 W ; total weight DW ; dead weight
 σ_c ; cargo density
 SSS; semi-submergedship (半潜水船)
 SES; surface effect ship
 ACV; air cushion vehicle
 HSS; hydrofoil semi-submarine

陸上輸送

である。静的水圧によって浮いている排水型の水上船と潜水船を比較して見ると、後者は浮力の調整機構（バラスト・タンク）をもつ必要があり、この分だけ船体が大きくなる。バラスト・タンクは載貨重量、燃料重量、海水比重差による浮力変化などの総計以上をカバーする必要があり、経済性に著しく悪い影響を与える。

動的な浮力を用いている船型としては、air cushion による地面効果を利用した エアクッション船（またはホバー・クラフト、GEM, ACV とも呼ばれている）、hydro-foil を用いた水中翼船および、水面揚力による滑走船などがある。それぞれに特徴があるが、共通した欠点は比重の重い貨物は運べない。

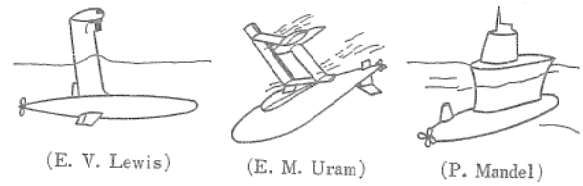
これに対して、潜水船は比重の軽い貨物の運搬には多量のバラストを持たなければ潜水できないが、この点貨物の比重は喫水によって自然に調整してしまう在来船型の経済性上の利益は莫大なものがある。

表一1の排水型水上船以外の船型を新形式船舶と呼んでいるわけであるが、いずれもとくに新しい船型というわけではない。水中翼船も70年前に試作に成功しているが、滑走型の船型では1894年にすでに長さ31.5mの Turbinia 号（英国）が34.5ノットという驚異的の速力を出すことに成功している、因みにこの船はタービン船の最初だとも言われている。

これらが大型の商船として育たなかった理由は、先に述べたように、排水型水上船のもっている優れた性能とこれに基いて作られた海上輸送システムの中に新形式船舶がうまく入ることができなかったことによるが、近年は複合船型と言う形でこれが見直されようとしている。

すなわち、排水型水上船の高速性能の弱点を潜水船型と組合せることによって補うことを考えた半潜水船はこの典型で、大量高速輸送に適している。この他、表一1に示すような型のもので、それぞれ排水型水上船では到達不可能な性能を発揮し、新しい海上輸送の道をひらこうとしている。

このような研究は、米国とくに海軍が熱心で他国を引きはなしている。半潜水船も50年程前に米国の特許広報にあったものを Boericke が

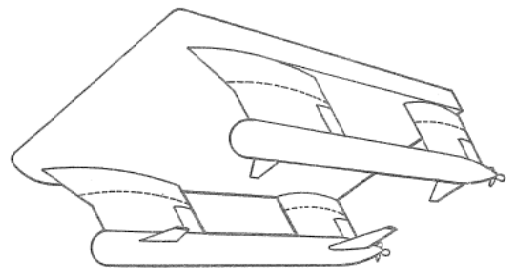


図一4 初期に提案された半潜水船型の例

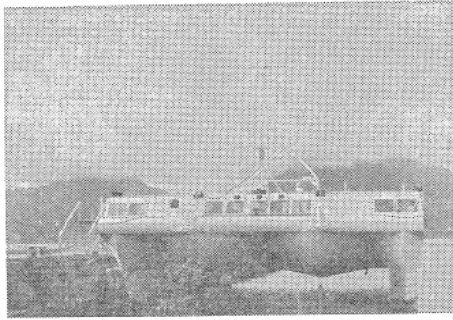
紹介したのが始まりであるが、最初は図一4に示すようなまことに解りやすいSF的なものが研究された。近年数年の間に米国だけでも数種のもものが提案されている。これらは研究者によって統一のない名称で呼ばれていたが、2年程前から米国海軍によって主流となっている双胴型半潜水船に限り SWATH (small water-plane area twin hull) に統一されている。わが国は、米国に次いで熱心な研究が続けられているが、SSS (semi-submerged ship) とでも呼ぶ方がよいと筆者は考えており幾分一般化している。

SSS は、船体が水面に接する部分の面積を極端に小さくし、主船体を水面下に居室や操船のコクピットを水上に配置した船型であるが、いわゆる水線面積が小さいため、安定性を保つために双胴にする必要がある。この船型に波浪の影響を受けにくいので、追い波状態の一部を除いて耐航性能は抜群によい。推進性能は現在では極めて優れているとは言えないが、その可能性は十分にある。

現在のところ、半潜水船は世界に一隻だけ1975年に米国海軍が建造した試験船があって、予期以上の性能を示して成功している。この船は図一5に船体下部を示すように、魚雷型の主船体が一對、と水面より上にあつてプラットホームと呼ばれるアルミ合金製の甲板およびこれ



図一5 SWATH 船型の例

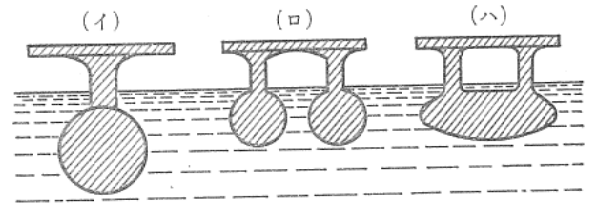


図一六 世界で初めて建造された SWATH 型半潜水船 (Kaimalino号)

を支える4本の支柱で構成されている。水面よりの上の部分は、筆者が撮影した写真(図一六)でもわかるように、従来の船とは全く趣きを異にしている。

この船は現在、ハワイ諸島オアフ島の Naval Undersea Center に属し、海洋観測船の母船として使用中であるが、全長87'-10"、幅49'-8"排水量190トン、で速力25ノット、2,100hp (GE-T64) ガスタービン2基搭載している。名前を Kaimalino と言い、ポリネシアの言葉で静かな海と言う意味だそうであるが、荒海でも動揺が少なく極めて乗心地が良いということであった。

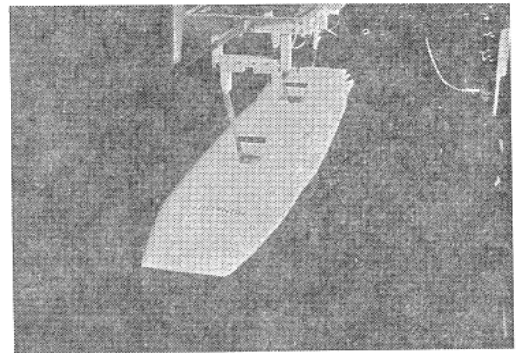
さて、Kaimalinoは特殊船として優れているが、大量の海上輸送には、排水量が不足し、航続距離も足りない。これは試作船として主船体を小さく設計した結果であるが、もし必要に応



半潜水船の3つの基本型。

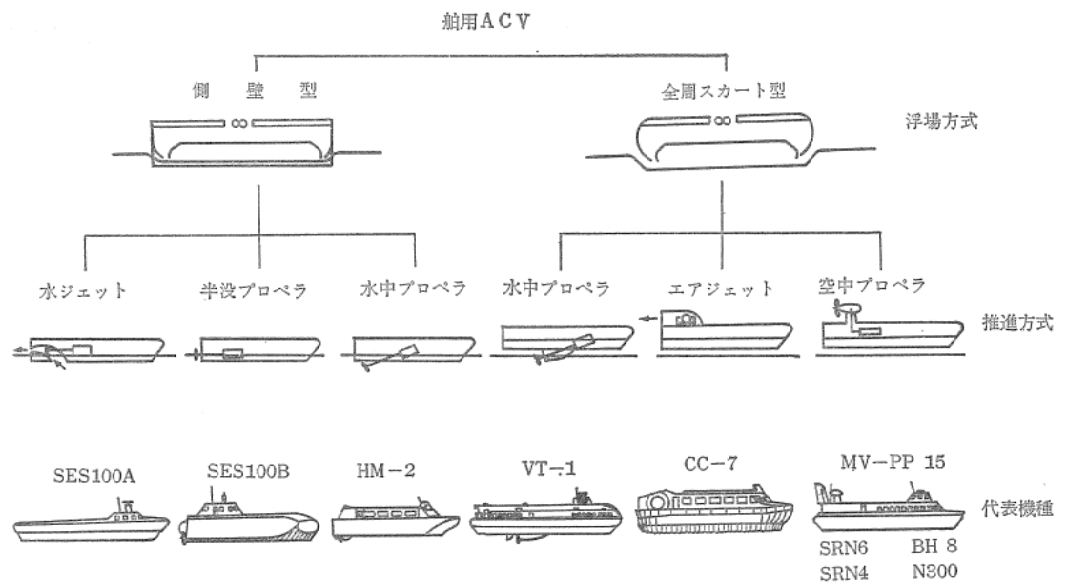
図一七 半潜水船の3種の基本型

- (イ)は、半潜水船の原型
- (ロ)は、SWATH型 (小型船用)
- (ハ)は、扁平没水体 (大型船用)



図八 大型船用半潜水船の主船体に用いる扁平没水体模型の性能試験 (船舶技術研究所)

じて主船体をこのまま大きくしたらどうなるであろうか。主船体相互の干渉が無視できないだけでなく喫水が過大となって実用船として使用できなくなる。このために筆者などは、図一七に示すように左右両舷の主船体をつないだ型の半潜水船を提案し研究した。



図一九 エアクッション船型の分類 (村尾麟一, 船研創立10周年記念講演集より)

この半潜水船は、扁平没水体を主船体とした半潜水船と呼んでいるが、主船体の没水深度を浅くすると船体の上面と下面の流れが水面影響で不均一になり、船尾渦（自由渦）および誘導抵抗を生じて設計を難しくする。しかし排水量が十分にとれるので商船としての将来性が期待できる。船舶技術研究所で試験中の扁平没水体の写真を図-8に示した。

複合船型の他の例に、エアクッションを利用したものがある。図-9に示すように、船用のエアクッション船には、全周スカート型と側壁型の2種類があって、前者が宇高連絡船（国鉄）などでも用いられている本来のエアクッション船で、後者は空気圧を保持する船体周りのスカート船首尾端部だけにとどめ、両舷側には側壁をとりつけて気密性を高めたものである。

この船型にも多くの呼び名があって、わが国ではホーバークラフトなどの商品名が一般化しているが、米国海軍で全周スカート型のものに限ってACV（air cushion vehicle）、側壁型のものはSES（surface effect ship）と呼ぶように統一している。

最近の情報によると、米国海軍では、最も将来性のある新型式船舶はSESと考えているようである。SES耐航性能の点で水中翼船よりはるかに優れており、高速における推進・耐航性能が良い点で滑走船をしのいでいる。米国でSESの性能に注目しているのは、軍用の意味が大きいが、商船としての将来も見逃すことができない。

エアクッション船は1953年に英国で開発された高速用の新型式船舶であるが、クッションに用いる空気の損失が大きいのと耐航性能が悪いため、大型船の開発が疑問視されていたが、SESの開発がすすむにつれて実用化に自信が

もたれるようになった。さらに排水型水上船と複合させて、両側壁を双胴船とし、浮力の一部を側壁の排水量でもたせることにより、一層の安全性を増す可能性があると言える。

4. むすび

交通機関および輸送に関する問題の一般論は比較的当然なことを系統だてて述るだけで、しかも具体的な問題の解決策は一般論から得られるよりもむしろ個々の特殊事情によって決まる場合が多く、著者は一般論の無力を感じている。

最初に述べたように新型式船舶が実用化される1つの途に、特殊船として利用される可能性がある。北極海の輸送には潜水商船の利用が好適であると考えられる場合であるが、実際にはさらに前段階があり、耐航性のよいSSSを海洋開発に使用し、高速性能を誇るSESを離島間航路や観光に用いるなどの時代はすでに到来していると考えている。

このことは言い換えると、新型式船舶の研究も長い模索の時代を終え、実用船に結びつく開発の時代に入ったと考えてよいであろう。新型式船舶が研究から大衆化の時代に入ると、最も重要なのは技術より価格との競争であろう。

新型式船舶はこれまでの造船と異なり、船をbuiltからproductする時代に換えて行くに違いない。日本の造船界の体質改善が要求されている今日、新型式船舶の技術開発はいろいろと示唆するものを含んでいる。しかし造船の歴史の中には、変革が不連続に起こったことはほとんどない。ディーゼル機関が発明されて船用に実用化されるまで20年かかったように、船の変化は、海上輸送システムの変化と均衡を保ちながら静に変わって行く。連続性こそ将来の船の方向をさぐるキー・ワードだと考えている。