

船舶における技術の特異なライフサイクル ——次世代造船技術開発の序説として——

田中 拓*

海運界の不況と共に、造船技術の停滞がつづいている。このため次世代造船の技術開発の方向を探る多くの努力が世界的に続けられている。しかし歴史的に考えると、船の技術はこれまでも、発展と停滞の過程を繰返しており、今回の停滞期が特別な状況下にあるわけではない。このような船の技術のライフサイクルは、一般の技術よりも周期が長いことが特長で見逃しがちであったが、この過程を分析することによって、次世代への適切な対策を得ることができる。

Unusual Life Cycle Finding in Marine Technology Development

—Introductory Remarks on New Developments in Marine

Technology for Shipbuilding in the Future—

Hiraku TANAKA*

With the worsening depression in the shipbuilding industry, the development of marine technology has almost run to a complete standstill. By trying to find a new trend in the development of new marine technology for the future, many efforts have been made on the worldwide scale. However, in consideration of the historical background of marine technology which has repeatedly made progress and then come to a standstill, it is understood that the recent stagnation in marine technology is just part of the usual repetitive cycle. Because the life cycle of marine technology is unusually long, the current stage in this life cycle is not of a special nature. Nevertheless, we believe that a basic policy for development of the shipbuilding industry in the future should be identified through studies of the life cycle.

1. 緒言

船舶の寿命は通常15年位と考えられて、経済の好況・不況の循環サイクルより遙かに長い。このため海運経営のポイントは、経済の波を見極めながら、船の新造、売買、廃船や用船の形態を転換して行くことにある。しかし石油危機（1973）以後は、循環の波の上に先進国の産業構造変化が加わり、いわゆる重厚長大産業の不振が予想を超えて世界の荷動きを鈍化させた。これが世界の造船、海運に激甚な影響を与えたことはよく知られている。

この状況は確かに極めて重要で、船に関する近年の短期的様相は、完全に経済に支配されている。船の性能も、例えば大型コンテナ船で考えると、昭和50年代直前には戦艦の大和より遙かに速い30ノット

の時代に入ると考えられていたにも係らず、その10年後には20ノット前後で減速運航する有様となった。大型タンカーにしても、かつて35万重量トンに珍しくなく、100万トンタンカーの建造準備もほぼ完了して開発評価（航路基準、公害問題）が研究の中心となっていた事態は一転して、現代のタンカーの多くは、巨船のイメージでない。

これらの一連の事実だけで、造船技術が退歩後退したと考えるのは、明らかに短絡し過ぎた意見であるが、さりとて造船技術の現在と将来について正しい理解を持つ人も少ないと思われる。今、船の研究者が船の未来に何を画いているか、この難問は直ちに答え難いが、せめて答えの出し方なりとも説明を試みるのを本論の目的としている。

著者が造船の技術的退歩を否定したのは、誰しも海上輸送の重要性を究極的には否定できないことを先見的な論拠としている。船の論じ方の原点をこのような基礎の上に置く意味は、当然もっと掘り下げ

*船舶技術研究所推進性能部長

Director, Ship Propulsion Division, Ship Research Institute
原稿受理 昭和62年2月16日

て再検討（国際関係、航空機関係、未来社会の構図など）すべきことであるが、本論の性格上余りこの点にこだわらず、まずは船の存在を肯定した上で論をすすめたいと思う。

さて話を戻すと、前記のように造船と経済の話は重要であっても、海運、造船技術の真の姿（特に将来の船の姿）は、このストーリーの中に見付けることはできない。船の発達の方向は、船の技術者、研究者が追求してきた“時代の理想(思想)”の中にある。経済は技術的考え方の採用、不採用を決めるゲートのような役割をはたしていると考えられる。これは、将来の船の技術について一般的傾向を判りやすく解説するために重要な出発点の一つである。つまり先に示したように、近年のコンテナ船の船速は技術によらず経済によって決まっていると考え、「経済としての造船」と「技術としての造船」のストーリーは同時に説明しても、一般には理解し難いものになるであろう。著者はこのため、両者を可分とするような論拠を求めて、この考え方に従って船の技術に一種の長期なライフサイクルがあることを説明したいと考えている。しかしその前に、船の話は判りにくいことが多いので、船の技術の基本と思われる性質2点を補足し、理解の一助としておきたい。

その一つは、先に述べた“時代の理想”と関係している。それは造船技術だけでなく建築、土木などいわゆる建設系と総称されている技術に共通した性質である。これらの技術は、人間の文明の発祥と共に起り、文化の発達を背景として進歩してきた。従って各時代の人々が船に何を求めたか、船の理想の姿をどのように考えたかは、一研究者の論文だけで決まるのではなく、文化の思想の中で育ってきたと考えるのが正しいと思われる。この考え方は、航空機や電子計算機の発想、開発、進歩発展の歴史が簡明に説明できると大幅に異なっている。船の発達が説明しにくい一因となる。

2番目の性格は、船の技術に係わる情報が歴史的に奥行きが深いだけでなく、極めて間口が広いことである。巨船からヨットまで総て船舶の二字で示され、造船と海運は別の社会であっても内容は同体であるに違いない。このため船の仕事に従事する人の重大な素養は、船の“常識”である。船の常識の多寡が船の専門家としての力量を測る一つの尺度となる場合も少なくない。

しかしながら、常識の摂取は研究者の栄養補給であるが同時に創造の目をくもらす危険な薬物の投与

でもある。創造は多くの場合非常識に根ざしている。このバランス感覚ぐらい船の研究に重要なものはない。例えば船の自動化などの集りで、船の後進性を指摘する制御エンジニアと後進性を否定する船の専門家の論議を聞くと、船の現実を知らない非常識と船を知り過ぎた過常識の不毛な論争と見える場合がある。船に適した大きさ、速力、船価などは、一定の“関係”をもっている。この“関係”は歴史的に定まったもので論理ではない、また専門家の常識とは船舶のもっているこの種の関係を体験的で系統的に知っていることであるが、船の改革は多く常識と非常識の葛藤の中から生れている。

2. 近代造船技術のライフサイクル

先に述べたように、船の技術の基本的な流れは研究成果の蓄積で考えるよりは、文明の変遷の写像として見る方が真実に近いものがある。これは、大航海時代（15、16世紀）の船の技術の理解には時代の文明の背景を知る必要があることを示しているが、当面の課題（船の技術の将来）に戻って考えると、19世紀以前のヨーロッパの造船、海運で、現在でもなお参考になる技術は余り見あたらないと思われる。

これは二つの意味があって、一つには19世紀の中頃に英国海運の研究者 Sir. N. Barnaby の言によると、1800年以前の5世紀間の造船技術の発達を調べても、船型や性能に目立った進歩は見られないと述べている。これに対して、英国海軍が最初に蒸気機関を動力に採用した1822年頃からは順調に発展して、1860年現在で見ると全軍艦の3/4を動力化し、スクリー船の総数はすでに343隻に達し、船の技術を一新したとのことである。つまり細部を省略しているが、Barnaby の考えでは、1820年代を境として現代につながる船の技術が育ったことになる。

今一つは、19世紀以前の船の技術のもつ言葉の意味が現代と違い過ぎるところにある。技術の背景にあるものが科学だと当然考えてしまう現在と、技術を成功経験の蓄積と考えた旧時代の意識の差である。科学技術史の研究に見られるように、ここには多くの重要な論点があって、後に述べるように現代にもつながる意味をもっている。例えばフランス革命の成果の一つとして Civil Engineer (土木工学) を生んだ Ecole Polytechnique (1794年設立) と、このような改革からもれた造船工学のその後の発展を比較するのは興味深い。

近代造船が開花した1820年代以降は、英国の産業

革命もほとんど最終の段階で造船技術にも影響を与え、その後、進歩史観をバックボーンとした技術中心の考え方、すなわち技術主義が次第に社会を支配しだして今日に至る。技術主義が陥りやすい誤りの一つは、一途に発展する技術を正常とし、技術的な目標の達成度合によって（例えば、船の速力だけに着目して）全体を評価する傾向があることで、この考え方のもとでは現代の造船のように成熟した技術を正当に評価することは難しいが、このことは最初に例を挙げた。

しかし、近代造船の当初は現在とは異なっている。すなわち、蒸気機関、スクリーブプロペラの採用、鉄船、鋼船の開発がすすんだ様子は、Fig. 1 に例示した大西洋客船会社の雄 Cunard Line の客船の高速化の過程に明示されている。すなわち客船は当時の先端技術なので技術主義的な評価が容易で、ここでは速い船と良い船の関係は成立していた。

この傾向に最初の陰りは、1920年代に現れた。その一つは、100年間英国が主として牽引して来た技術中心の経験主義的造船が、大西洋客船で言えば Aquitania (1914)、Bremen (1929)、Europe (1930) その他多数の優秀船の建造によってほぼ当時の文化の理想に到達したことである。これの別の見方は、19世紀の前半から中頃に培った要素技術の応用がほぼ限界に達したと言うことができ、後にもまとめて説明する。

技術主義の揺らいだきっかけを示した論文で、スコットランドの研究者 Liljegren の記した“Coal, Oil or Wind?”²⁾には、現時点でも興味深いことが色々と書かれている。この論文は、1910年頃発生した石炭の異常な高値 (Fig. 2 参照)、すなわち当時のエネ

ギー・ショックによって困った海運経営の建直しに関連している。この高値は、結果的にディーゼル機関の実用化を促進したが、Liljegren は石炭に代って自然のエネルギーである風力利用の帆装船を再検討しようと呼びかけて、自らディーゼルを補助動力とする近代的な帆装貨物船の研究を発表している。貴重な石炭資源の浪費の反省から始っているこの論文

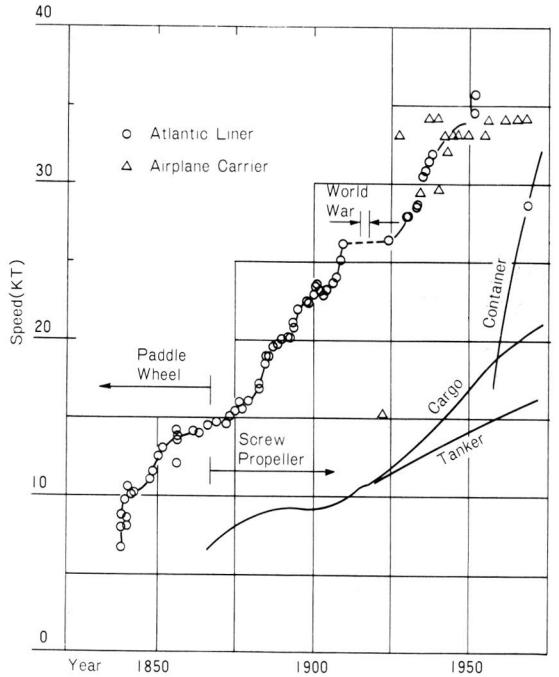


Fig. 1 キューナード社における大西洋客船の船速の発達 (参考として、一般商船、航空母艦の船速を含む)
 Historical trend of ship speed of the north atlantic passenger liner in the Cunard Line Co. (Including data of commercial vessels and airplane carriers)

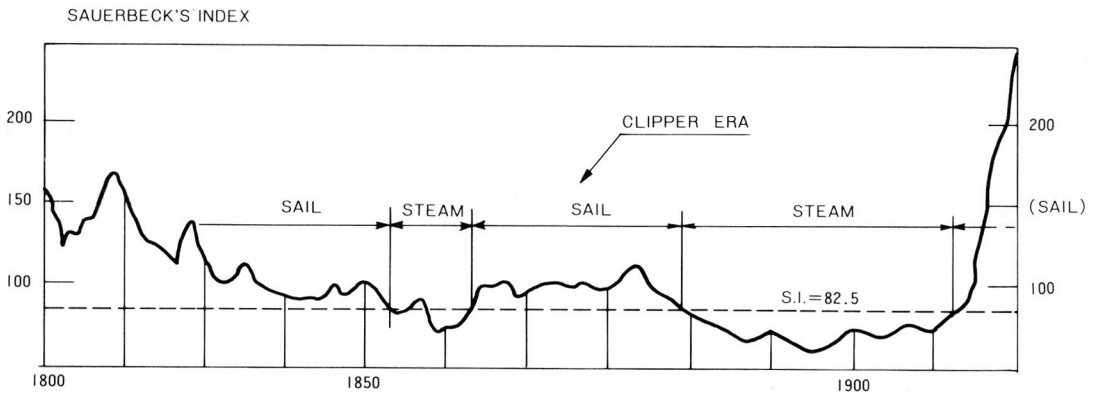


Fig. 2 蒸気船の発達と19世紀の物価指数 (Sauerbeck's Index) の関係
 Relation between development of steamer and prices of commodities (Sauerbeck's Index) in Nineteenth Century²⁾

の論じ方は、50年後の石油危機における省エネルギー船の考え方と類似点が多く、後に述べる船の技術のライフサイクルを暗示している。

当時は、Fig. 3 に示すように、1910年代に世界の50%を超える船を建造した英国が、1920年代には30%以下に激減して英国造船の危機が論じられた(Sir. A. Yarrow³⁾)。これは、造船技術に革新的な部分が失われてきた結果として、造船は当時の後進工業国(日本など)でも建造可能となったため、英国としてはこれまで経験主義に代る科学的造船技術の研究の促進が急務とされてきた。

この科学的基礎をもつ造船研究は次第に一般的傾向になったが、1930年代前後の20年近い経済の慢性的不況と大戦直前の事情が積極的に科学を吸収して造船産業の体質を改める余力を生まなかった。

戦後の復興期を終えて1950年以後は、戦時中に貯えた造船研究のポテンシャルが一気に効果を示し、わが国の場合では、高度成長時代の旗手として科学的な造船技術は成果を發揮した。この時期の造船の有様はわれわれの記憶にも明らかなので詳しく述べる必要はないが、欧米先進国と日本が中心となったこの科学的造船の時代も約25年の後に再び1970年代のエネルギー情勢を引金として一時代を画することになる。

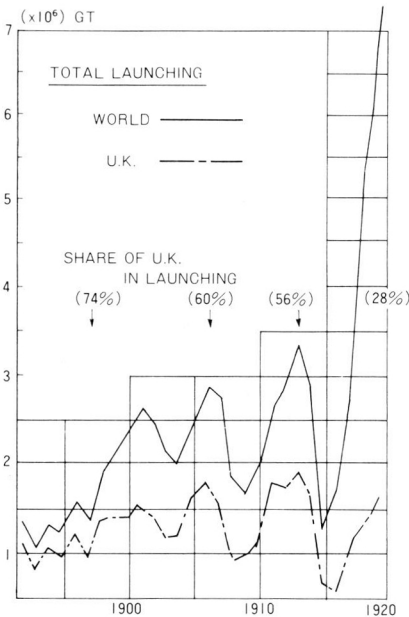


Fig. 3 20世紀初頭における船の進水量と英国の役割
At the beginning of the Twentieth Century total launching of ship and share of the United Kingdom

造船技術に関する限り高度成長の時代が終息したのは、単に石油の高価格に伴う経済変化のためだけではない。時代の変遷の中で造船界が完結できなかった技術開発が、載貨重量100万トンの超大型タンカーや航海速度が35ノット(主機約24万馬力)、長さ300米の超高速コンテナ計画であったことを考えると、1950、1960年代を中心に培った革新的な要素技術も1970年代後半には完熟したと言えるだろう。従って現在は、1930年代と同様に次の新しい造船の発展期を待つ技術の停滞期を経過しつつある。

上述のように、19世紀と20世紀に造船の技術が経験した発展と停滞の過程は極めて類似しているところが多い。特に異なっているのは、前世紀のものは、19世紀の中頃までに創造された要素技術を基に成功経験を中心にシステム構成させた船であったのに対して、今世紀のものは、造波理論、海洋波の統計的性質とその船体応答の理論、溶接の研究、大量生産方式などの科学的研究の結晶としての船であった。そしてこの船の歴史的過程の彼方にはEcole Polytechniqueの時代があったが、船が当時の科学者の興味を引けなかったことは、その後の船の歴史に大きな影響を残したことになる。

上記の過程を図示して再現すると、Fig. 4のよう

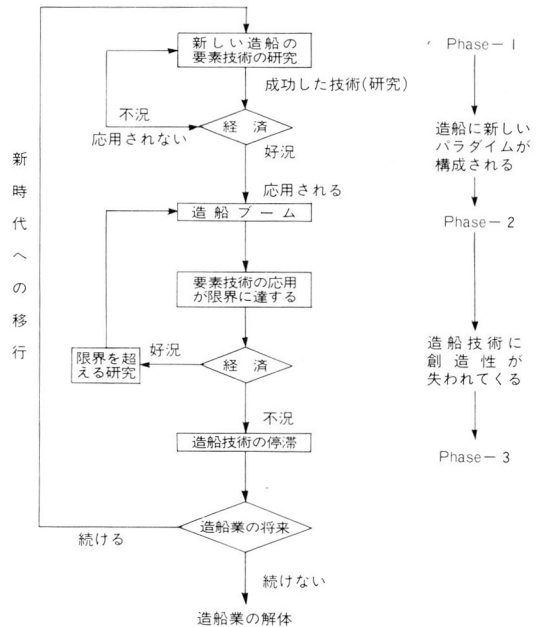


Fig. 4 技術としての造船のサイクル
Cyclic process of technical development in shipbuilding

になる。すなわち造船技術の盛衰は、最初のフェーズで一群の新しいタイプの要素研究がおこる。この時期は次の時代の準備なので、混沌とした多くの試みの中から一群の成功者が現れても本人はまだ次世代の担い手であることを意識していない。これらの多数の創造的研究成果も、一つだけでは大きな力とならず、相乗効果がなければ次世代を形成できないであろう。19世紀前半では、蒸気機関、プロペラ、鋼構造などの一連の要素開発成功はこれに相当している。

次のフェーズは、造船需要の増加によって開かれる。この間の技術と経済の関係は複雑で Fig. 4 のように、経済を技術の採否を定めるゲートとするようなモデル化は単純すぎている。しかし最初に述べたように、技術と経済を可分とするストーリーを画くのでなければ、船の技術の発達を分析的に考えることはできない。すなわち Fig. 4 は、船の技術の展開（ライフサイクル）をモデル化したフローチャートで、この中で経済の影響は最も単純化した形で表現せざるを得ない。

造船の需要が増加すると、すでに準備された新しい要素開発群が有効に用いられて、次第にブームを盛り上げて行く。しかし要素技術が応用されつくして应用の方が技術の適用範囲を超えてくると（1970年代の超大型、超高速化に相当）、技術は完熟して技術そのものがエネルギーを失ってくる。やがて社会的（例えばエネルギーショック）インパクトが造船・海運に不況を呼ぶと、船も技術的に停滞期に入り次の要素開発を待つことになる。技術が完熟すると造船は難しい技術でなくなるので、労賃の安い国に技術移転がおこり、造船国は交替することになる。

しかし次世代の海運が興隆する時期に、なお船の供給国であり続けたいなら、次の造船のために創造的な要素技術の研究を始める必要がある。わが国は現在正にこの状況にあり、具体的には次項で説明する。しかしその前に2つの重要な事項についてコメントを加えておきたい。

19世紀の船のサイクルは約100年間継続し、約20年の停滞の後、今世紀のサイクルは約30年間続いた。問題の最初は、その間を支配した船の考え方、すなわち科学研究で言えばパラダイム (paradigm) が何であり、次世代には何を予想するかの問いかけである。前世紀は、前述のように技術主義的な考え方が中心で、今世紀は科学的研究と経済性の追求がその上位にあったと考えられるが、次世代が定着するに

は未だ時間を要する。

その次は、技術のライフサイクルに Fig. 5 に示すように各種のパターンがあるが⁴⁾、この中で船の技術は特殊な形態をもち、古い技術がすたれずに新しい技術と同時に用いられる傾向がある。世界中のどの港でも、古い船と新造の船が同居している様子はよく見られるところで、前記の技術サイクルは、Fig. 5（下図）に示す太線（包絡線）の成長・停滞の様子を説明したに過ぎない。従って船の技術動態の全面を論じるためには、Fig. 4 より更に大規模なモデル化を Fig. 5 の技術ライフサイクルパターンを加味して検討しなければならない。

3. 最近の造船技術

現在は造船技術の停滞期にあるので、当面重要なのは次の船のサイクルに合せた要素技術（基礎的研究）の研究であることを前項で述べた。これにターゲットを合せた研究はすでに国の指導で準備中であるが、未だ構図が完成するには2年位を要すると思

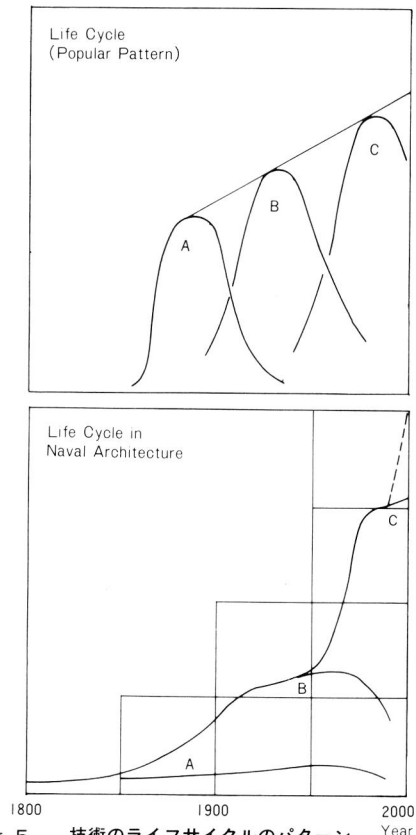


Fig. 5 技術のライフサイクルのパターン
 (上図：一般技術、下図：造船技術)
 Patterns of life cycle in technology (Top: popular pattern, Bottom: marine technology)

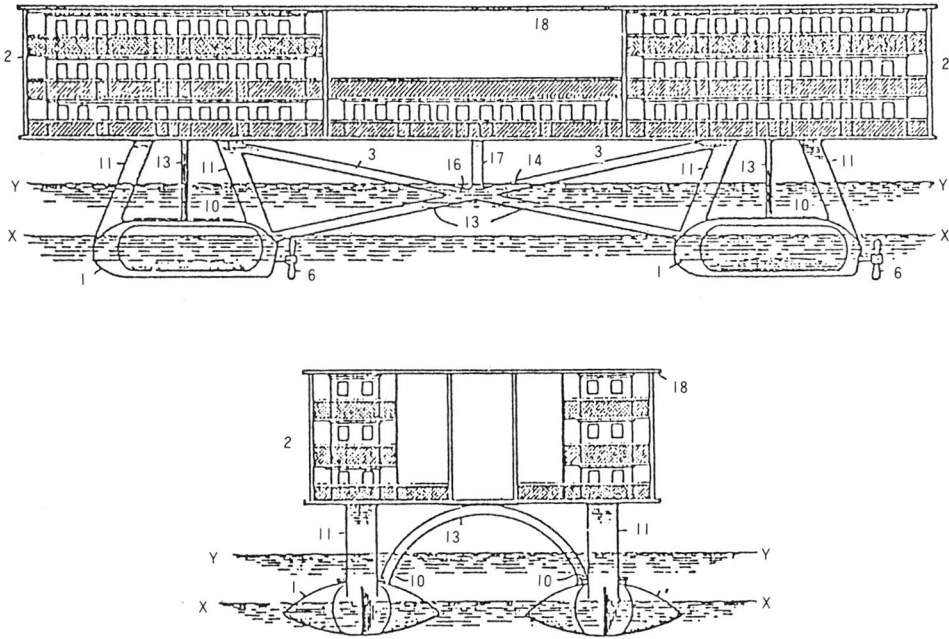


Fig. 6-A 1932年に公表された半潜水船
Semi-submerged-ship published in 1932

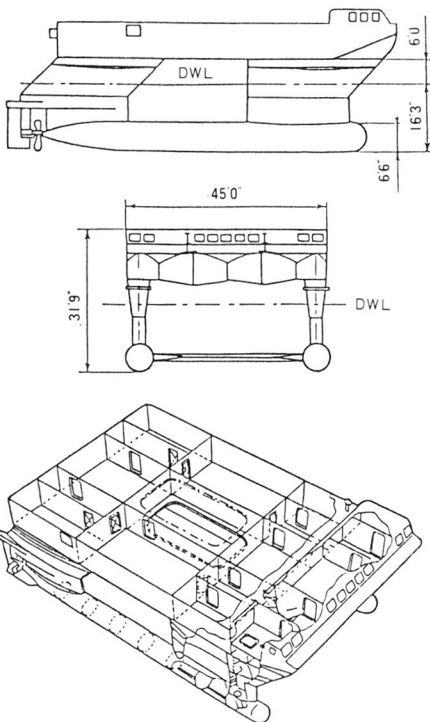


Fig. 6-B 1974年に米国海軍で完成した半潜水船
Kaimalino 号
Semi-submerged-ship (Kaimalino) completed
in U.S. Navy in 1974

われる。以下に船の性能の研究を中心に若干のトピックについて述べる。

船の設計は一般に船型を定めるところから始る。専門家が“船型”と呼ぶのは、水面から下の船の形に限られており、船の性能の主要な部分は船型設計の良否で定る。船の構造（強度）設計や機装設計は、一般的には船型設計の下流側にあると言える。このような設計法も次世代の造船技術の改善目標の一部であるべきだが、実現には莫大な情報処理の技術が必要なので容易に実施できない。

さて伝統的な船型設計の第1の目標は、推進性能の改善で、燃費の節減（省エネ）は古くから船型設計のバックボーンであった。このための研究は無数に行われているので、船の省エネ性能は著しく改善されていると見えるが、現実には余り進歩していない。若し船の省エネ性能の評価を、一定の貨物を輸送するに要するエネルギー（エネルギー消費原単位）にとるなら、30年前の船と今の船は余り変っていない⁵⁾。その代りに船の形状は大きく変ってる。このことから、船の性能上の進歩とは省エネ改善ではなく、船型の自由度の発見であると言うことができる。

すなわち、海運は航路、荷姿その他の事情で最も使い易い船の長さ、幅、喫水などの仕様を工夫して設計に要求する。海運が望む形状の船は、一般に推進性能を悪くする方向のものが多く（例えば幅の広

い船を求めると)、これを何とか一定の省エネ基準の商船にするのが、設計者の能力であった。

船の省エネ設計とは、一面建造コストとの戦いである。先に述べた Liljegren のモータクリッパーの提案と同様に、石油の高騰期に近代帆装商船の研究が各国で発表された。近代帆装船は、流体力学の知識によって帆装能力を極限に追求し、帆推力に応じてエンジンを調整運転しようとするもので、帆装によって20%近い燃費が節約できる。約20隻近いこの種の船舶のほとんどはわが国で造られて大きな成功を得たが、石油が安いと建造コスト高の方が問題となって実用の範囲が狭まっている。

以上は通常商船の改良方策の例であるが、伝統的な船型にとらわれず、もっと革新的なものを探索する試みは以前からあった。通常船型は大きな欠点を二つもっている、一つは細長い空間は利用率が極めて悪い、次は船体の水面貫通部(水線)の特異性である。後者については若干の説明を要するが、船は航走時に波を造るので大きな抵抗が発生し、海の波がもとで船は動揺するが、共に船体の水面貫通部の性質に由来する。このため浮力を発生する部分を水面下深くおき、甲板を水面上においてその間を細いストラットでつないで水面貫通部の影響を極力小さくする、いわゆる半潜水船型の研究がある。

半潜水船型も、帆装船と同様、前の造船の時代の1920年前後と戦後は1960年代以後に行われている。Fig. 6-A は戦前の特許申請図(1932)の例であるが実用にならなかった。Fig. 6-B は1974年に米国海軍が完成した Kaimalino 号で、驚嘆すべき性能を示している。

現在約10隻の半潜水船が完成しその大半は日本で造られているが、第1船の Kaimalino 号は発想から完成までに約10年を要した。これは通常の船型の開発と異なり類似船型がないことが最大の理由である。

上記に戦後の船型研究の一端を記し、ここにも技術開発のサイクルが見られる例を示した。1920年代のものは多く発案のみで実現していないが、戦後は科学的な知識を背景に開発に成功しているものが多い。

しかし半潜水船の開発に約10年を要した意味は、やはり造船研究における経験の重みを示している。次の造船の時代に必要な船型開発の技術として、この経験をコンピュータシミュレーションで置き換えることが今真剣に検討されている。Fig. 7はこの例

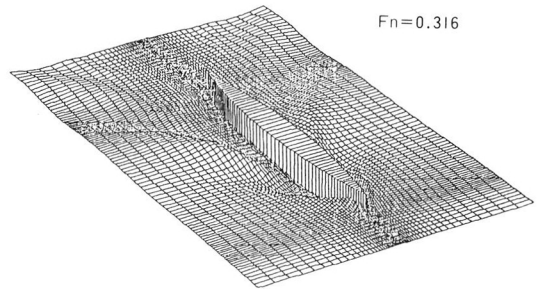


Fig. 7 コンピュータ・シミュレーションされた波紋図 (Froude No. =0.316)⁶⁾

Perspective view of calculated wave configurations at $Fn = 0.316$ (wave height is three times magnified.)⁶⁾

で、船体周りの流れをナビエ・ストークス (Navier-Stokes) 方程式で示し、これを数値的に解いて水面の波紋をシミュレートしたものである。

この種の数値シミュレーションは、理論計算とも模型実験とも異なった性質を持っている。実現現象の正確な数値シミュレーションに成功すれば計算機の上で短時間に経験を繰返すことができる。この数値シミュレーションが船の技術の上に大きな改革を呼ぶことは明らかであるが、技術のサイクルに与える影響はまだ明確でない。

4. 結言

近年の海運界の不況は、かつてない大規模なものであり、造船業の沈滞、造船技術の停滞にも激甚な影響を与えている。著者は、これらを同一事象として考えるのは適切でなく正しい理解を妨げると考えた。このため、技術のライフサイクルを抽出し、このサイクル中の現在のフェーズが明確になれば、当面の対応と将来の見通しを得ることができると考えられる。この目的で、経済と技術の発達を可分とするモデルを作り説明した。

この小論は、本研究の序説として述べたもので、各所により完全な説明を必要とする所があるが、紙数の都合とバランス上省略している。特に将来への対応は、極く一部に限られたのでライフサイクルに関連したところを中心に述べた。未完成な論であるが、本小論により討議の輪が広がることを願って止まない。

参考文献

- 1) Barnaby, Nathaniel: On Mechanical Invention in its Relation to the Improvement of

- Naval Architecture, Trans. of Institute of Naval Architecture, 1860, pp. 145-159
- 2) Liljegren, C. O. : Coal, Oil or Wind? Trans. of Institute of Engineers and Shipbuilders in Scotland, 1920, pp. 246-270
- 3) Yarrow, Sir Alfred : Notes on our Economic Position as a Shipbuilding Country, Trans. of Institute of Naval Architecture, 1920, pp. 43-63
- 4) van Duijn, Jacob J. : Fluctuations in Inno-
 tions over Time, Long Waves in the World Economy (edited by C. Freeman) Frances Pinter (Publishers) London and Dover N. H., 1984, pp. 19-30
- 5) 田中拓他「船舶の省エネルギー化達成度の調査」第42回船舶技術研究所講演集、1983年
- 6) 日野孝則「船体まわり自由表面流れの数値シミュレーション」船舶技術研究所研究発表会講演集、1986年、pp. 68-71