

究極のエコシップとは？

—時代の流れに沿った船をいかにつくるか



日本郵船株式会社
秘書グループ調査役
合田 浩之氏



東京大学
大学院教授
大内 一之氏



株式会社Jコスト研究所
代表取締役
田中 正知氏
(ものづくり大学名誉教授)

これまで新技術を搭載したエコシップといった省エネ船の開発や実験が行われてきた。また、研究や実用化が進む非化石エネルギーが船舶に利用されることへの期待も高まっている。

海事関係者は、これからの世界が、近い将来、海事産業へのCO₂排出規制強化に向かうことに備えなければならない。総量規制が課され、大幅にCO₂を削減しなければならなくなれば従来型の船の技術は限界に達するだろう。そういう状況を想定したとき官民のこれまでの取り組みは十分であったのか。あるいは国際競争の中で日本の海事産業が競争力を維持するには、よりユーザー（生産者や消費者の）ニーズに応える船を開発しなければならない。

こうした点から船社の、メーカー出身の、大学（造船工学・環境技術）の各研究者にこれまでの船の開発のあり方を振り返り、課題を検討していただいたうえで、未来の船を展望していただいた。

〈エコシップ開発をめぐる〉

—国主導で開発が進められてきたスーパーエコシップは、電気推進システムに二重反転プロペラ型ポッド推進器を組み合わせるという原理の船であり、すでに内航船に導入されていますが、どう評価しますか。

合田 一定の評価ができると思います。CO₂削減の点ではまだ大きな効果は出ていませんが、少なくともSO_x、NO_x排出削減効果はあります。内航の場合、これからの担い手として若い人を確保するため船内労働環境をよくする必要がありますが、そういう意味でも非常に振動の少ない電気推進船は悪くないと思います。動力は、まだ重油を焚いて発電していますが、今は重油以外のクリーンなエネルギーの時代への過渡期にあると思います。将来、どこまでCO₂削減の目標を達成できるか課題です。TSLのような展開になれば、評価はされないでしょうが。

空船時も効率化を

田中 私は別の切り口でエコシップを考えています。通常、商船の開発者が船を考えると、満載航海時の効率を考えていますが、満載でないときの効率も考えた船の第一歩としてエコシップがあると考えています。現在の船の推進機関は主機と補機に分かれています。航海中は主機で停泊中は補機を回していますが、その間の微調整はできません。

私の考える船は例えば小型のエンジン10基を搭載し、満載時は10基全部を回し、貨物の少ない復路は2、3個を回し、係留中は1個だけを回すことでパワーロスを無くせます。エンジンを多く搭載し、速度を変速機でなく電力で調整することで、動かすエンジンの数を最適化するのです。

輸送手段の中で空荷の時にバラストのような重しを積むのは船だけです。ほかでは積荷の量によって燃費

が変わりますが、船はその変化を少なくしようとしている、あるいは最低限の積荷が無いと走れないようになっています。空荷の航海でバラストを積むのを止めて浮かせれば、その分水没する表面積が少なくなり燃費が減ります。ところが今は、行きも帰りもエンジンを焚いていますからパワー出力を落としても、それほど効率は変わりません。

大内 それはプロペラを海中に水没させなければなりませんから。

田中 電気推進プラスポッドにすれば、プロペラシャフトが無いですから、貨物が少ないとき、喫水が上がった分だけスクリューポッドを下げるができます。その延長でまったく新しい概念、バラスト不要の船が可能になるかもしれません。

大内 しかし、プロペラは径が大きいほど効率は良いです。そこが難しいところです。

表向き出力を上げるという方法もありますが、時化るとスラミング（船首船底が水面上に出て海面にパンチングする）を起こすので、ある程度沈めなければなりません。そこでバラスト量が決まり、時化ていないときはなるべくバラストを抜いて走っています。大型の運搬船ではバラストを積むことは避けられないでしょう。

田中 大型船では難しいかもしれませんが、あるサイズ以下の船ではポッド方式は効果的ではないですか。内航海運では定員が10人以上です。推進力を電氣的に統合できれば、荒天時も操船が楽であり、省力化ができるようです。そうしたメリットをもっと追求すべきではないでしょうか。

—大内先生は電気推進、二重反転プロペラポッドの組み合わせという発想についてどう思いますか。

大内 エコシップには既存の動力とは異なる動力についての思想がな

ければなりません。エコシップの「エコ」は「エコロジー」と「エコノミー」両方の意味であり、燃料が少なくなれば燃費も良く、環境にも良いのです。

ポッド型のような分散型発電方式は、取り扱いの面で優れていて、田中先生の仰ったように航路により必ずしも常に満載とならない船には適しています。これからそういうシステムは伸ばしていかなければならないと思います。

しかし今はその電力をディーゼルエンジンで重油を焚いて得ているわけです。つまり重油で原動機を回して発生させた運動エネルギーである回転力を発電機で電気エネルギーに変え、その電気エネルギーをモーターで再び運動エネルギーに変えてプロペラを回し船の動力を得ている。この変換過程で16～17%エネルギーをロスしています。電気エネルギーに変えずにエンジンとプロペラを直結とすれば、2%しかロスはありません。このシステムでは初めから15%のハンディがあるわけです。

確かに小さな原動機を自由に配置できるから機関室を小さくできるので船のホールドスペースをより広く取れます。電気は操作性が高いエネルギーであり乗組員には便利であるというメリットがありますが、省エネという点ではディーゼルエンジンで重油を焚いている限り15%のハンディを取り返すのは難しいです。また、二重反転プロペラ、ポッドといった最新の技術は複雑で、コストがかかるので建造費が高い船になります。そこで、政府が資金を補助し、内航の業者が建造していますが、この補助が無くなれば建造を続けるのは難しいでしょう。

電気推進の技術は、今後、根本の動力が電池、燃料電池などゼロエミッション船では必須な技術ですが、石油動力船では省エネ効果は薄いと



スーパーエコシップ（海上技術安全研究所HPより）

思います。

田中 今、日本で国際競争力があるものの一つがハイブリッドカーです。かつてエンジンに発電機を付けて何の意味があると言っていたホンダも結局、取り組むことになりました。コストはかかるけれども量産により、だんだん安くなり、ハイブリッドは自動車業界を救う技術になっています。船も新たな技術やシステムを伸ばしていく必要があると思います。

大内 ハイブリッドカーは、燃費が3分の1、4分の1になる事実があるから、売れているのです。

田中 スクリューを上下することを可能にすれば、実用化に向けた展開になってくると思います。今のままの船の形で、推進器の部分だけ変えても大きな省力にはつながらないでしょう。あの技術をもっと生かせる新たな発想が必要です。

日本の新船開発のプロジェクトというのは、例えば、北極海資源開発を想定して構想されたアルキメディアンスクリューの砕氷船ガリンコ号も観光船にとどまっていますが、その技術を発展させる余地はあります。ところが新しい技術を開発しても、一般に知られることなくいつの間にか立ち消えになっています。

トータルで見れば、エコシップは大きな可能性を秘めています。仕組みをさらに深く研究、開発していけ

ば、道が開けるのではないかと思います。ところが業界は、あまり研究に熱心ではありません。私も総合学術会議で審査したことがありますが、スーパーエコシッププロジェクトは、当初活発な議論があり、鳴り物入りで始まり、かなりの補助金が投入され、国に積極的に取り組む姿勢がありましたが、その後、補助金額も減らされ尻すぼみの感があります。

継続的な技術開発が必要

技術の応用という点では、内航船をスーパーエコシップにして沿岸を走らせるだけでは大きな効果は発揮できない。離島航路、観光船などもっと難しい課題を与え、継続して、徹底して研究開発を進めるべきです。継続するには開発の経過を佐渡のトキのようにメディアで伝え一般からの注目を集め、見守られながら技術を育てていってほしいと思います。

合田 海外では一般に艦船の技術開発に民間もかかわっています。民間だけの技術開発には制約があります。軍との連携は、その是非はともかくとして、優れた船の開発につながっていることは事実でしょう。

大内 結局、船を運航する人が儲からなければ、新船開発は持続しないと思います。燃費が変わらず船価が高ければ売れない、船価が高くて燃費が大幅に下がれば売れます。

今のエコシップは15%の増加を新技術・先端技術を駆使して相殺しているだけです。補助金が無いつくれませんし、売れません。世の中が変わり石油が枯渇するようになれば別でしょうが。昨年のような高船価では1、2割程度の燃費削減ではインパクトは小さいです。

合田 油価については、今は不況で下落していますが、高油価の時代

はまた来るでしょう。またSOX規制強化でC重油が使用できなくなるかもしれません。今ではコスト割れかもしれませんが、そういう時代であれば経済的に成り立つという可能性も考慮して今後の船を考えることは悪いことではないでしょう。

大内 確かに、田中先生のおっしゃるように、さらなる省エネ、CO₂削減に向け新たな可能性を追求していくことは大事ですが、船の世界では昔からいろいろな試行錯誤がなされてきました。おっしゃったアルキメディアンスクリューにしても昔は螺旋形でしたが、衝突して螺旋が一重になったところスピードが向上し、けがの功名で今のプロペラが出来ました。採用できる技術も時代によって変わってきます。軸を可動式にするという発想ですが、大型船の場合には大きなトルクの軸を上げ下げするには、その周辺の強度の補強や上げ下ろしの装置などそれに伴う技術の開発が必要になります。

田中 確かにすぐに10万トン以上などの大型船に適用するのは難しいでしょう。

今はチャレンジ精神が希薄

大内 小型船から徐々に大きくしていけばよいでしょう。

昔に比べると、そうした難しいことに挑戦していく発想や気力が、造船・海運業では薄れてしまったようです。最近ではようやく、環境技術の導入が叫ばれ景気に活気が出てきそうですが、まだ保守的な体質があると思います。

合田 そこには、業界の置かれた事情があります。造船所に特別な仕様を依頼したときに、受けていただける会社は限られます。目先の受注に應えることに精一杯で20～30年先を考える余裕がありません。かかる費用などを考えると注文に応じられない造船所の方が多いでしょう。

海運会社の側も既存の船で実験する場合には、荷主の理解を得なければならないことがあるでしょうし、既存の取引に何らかの影響が及ぶ恐れがあれば、技術部門はなかなか営業部門の理解を得られないでしょう。

しかし、造船所が新たな船の開発建造に踏み切るには、船社の側が納得の行く構想を示し、建造コストはカバーしなければならないでしょう。

田中 日本のトラック業界は安全・環境規制に十分対応してきませんでしたが、乗用車は、強化される安全・環境規制を懸命になってクリアしてきた結果、技術は世界一となりました。

逆にトラックは二流になってしまい、自治体の運営するバスは国産ですが、民間観光バスはほとんど外国車です。新たな課題に挑戦しない限り、産業は衰退していきます。産業の競争力を育てるには行政もある程度援助しなければなりません。総合科学技術開発会議でも、まず造船業からあれをやりたいこれをやりたいという夢が出てきません。

大内 新たな船がなかなか開発できない理由の一つは、実験船がなかなか造れないことです。一方、自動車はいくらでも試作ができます。新たな技術を搭載した船、新たな船型の船を造る場合には実験船の建造と実験航海が必要です。大型船も計算上大丈夫という結論だけでよく実験せずに建造、航行させたところ野島崎沖で相次いで折損しました。PCCのプロペラにしてもある程度大きくしたら根元から折れました。実験が難しいことから船は、少しずつしか改良されない傾向にあります。

田中 同じ船を建造していれば、やがて人件費の安い国が船の建造を主導することになります。

大内 韓国、中国と同じ土俵で同じ船をつくっていて勝てるかということは昔から言われてきました。し

かし、日本の造船首脳は同じ土俵でコストダウンし生産性を高める道を選択し、現場の賃金を抑え、工数を減らし何とか競争力を維持してきたのです。新たな船の建造は、市場が小さいですからなかなか収益につながらないため踏み切れない。もちろん従来型の船だけつくっている駄目だと思いますが。

——逆に長期的に新エネルギー船の研究開発に取り組む場合でも、造船所は並行して従来の技術の改良も進めなければならないですね。

合田 船用エンジンについては完成形に近づいている、エネルギー効率向上についてはできることは残っておらず、さらに効率が高まるかどうかは船社の運航の問題だと言う人が多いですが、はたしてそうなのでしょうか。

世界の船用エンジンメーカー3社が市場を寡占していることが、既存の枠から抜け出ることを躊躇させているのではないかという気もします。革命的な推進機器が出てくると寡占状態が崩れる可能性がありますから。

排熱利用は省エネのフロンティア

大内 エンジンは今以上の性能、エネルギー効率向上は難しいと言われています。しかし排熱の回収利用という省エネ方法はいまだ残っていますし、船舶省エネのフロンティアの一つだと思います。

田中 火力発電所はガスタービンの出力で蒸気タービンを回していますが、船のエンジンとはどれくらい熱効率の差がありますか。

大内 内燃機関の中では船のディーゼルエンジンは熱効率50%以上で最も優れています。車の4サイクルエンジンは30%くらいです。火力発電所でも50%に達していないと思います。冷却水の排水温度をあまり高くできないといった制約があり、熱効率は理論値に達しないようです。

〈物流の視点から〉

——資源運搬船やコンテナ船の大型化は今後も進むのでしょうか。

大内 スケールメリットを追求すれば当然、大型化され、それに伴いインフラも大型化する必要があります。今後世界の海上荷動きは増えると言われています。この10年は年率10%近い水準の伸び率でした。今は不況ですが、新興国の経済が回復すればこれから2050年まで最低でも平均3%増えると予想されています。そうすると2050年には海上輸送トンマイルが3倍、必要船腹量が今の3倍になります。一方で現在検討されているCO₂削減シナリオは2050年には今の半減が目標になっていますが。

運輸だけCO₂削減を免除という訳にはいきません。飛行機はバイオ燃料に移行するしか選択肢が無い様に見えますが、値段が高いですし、植物が原料であるバイオ燃料の大量生産は当然広大な肥沃な土地を必要とするので、人間にとってエネルギーより大切な食糧を奪うという問題があります。

石油動力から風力などゼロエミッション船に移行するのはある意味で革命であって、すぐには実現困難であり、当面は焚く油を減らす必要があります。これまでに種々の要素技術を研究したところ、同じ速度・積載量で今の船舶での燃料消費量を半減できる可能性があります。そのほか、船のオペレーションによる減速も燃料節減には大きな効果があります。コンテナ船は25ノットで走っていますが、これを18ノットくらいに減速すれば、船を余分に投入しても燃料消費は半分になります。

合田 各船のトンマイル当たりの消費量は減るでしょうが、同じ航路に投入されている全船の総量排出量が本当に半減するのでしょうか。

大内 燃料油消費量の増加率は速度の増加率の3乗倍ですから、減速効

果は大きいです。

合田 船社はすぐ「減速」と言いますが、荷主さんは物によっては割り増しを払ってでも速く運んで欲しいと言われるのではありませんか。

製品の輸送量は増えない

田中 今後、世界の貿易量は減っていくと思います。内需拡大政策で中国からの輸出が減ります。13億の人口のうち一部の富裕層以外は主に一次産品を消費する層です。今後は



後者が工業製品を消費するようになれば原材料は中国内外で動いても、製品の輸出量は減ることになり、米国では中国からの輸入量が減り国内の製造が拡大するとなれば世界の貿易量が現在より格段に増えていくことは考えにくくなります。

また、安価な雑貨などは中国の安い人件費で作ってきたので米国へ輸送してもペイしていましたが、これから中国の人件費は上がっていきます。国内で売れるようになり、輸出する必要も無くなります。

原料は世界に偏在していますから、経済成長を受けてバルカーはもっと必要になるでしょう。しかし製品輸送のコンテナ船はあまり増えないのではと見ています。

合田 私もコンテナ船の荷動きはそれほど増えないと思います。現在こそアジアー北米、アジアー欧州と

いった長距離航路の輸送量は多いですが、トランクリンはどこかで限界に達し、一方域内輸送が拡大し、将来は長距離輸送は域内輸送の補完的な存在になっていくのではと思います。原料は日本や経済成長国は海外に依存せざるを得ません。石油は近い将来、輸送量のピークが来るかもしれませんが、それに取って代わるガスが、そして引き続き三大パルクの輸送量が増加するでしょう。

コンテナ船ではペイしない高価格品

田中 製品の中で高速のコンテナ船や飛行機で動くのは価格の高いものになるのではないのでしょうか。今、コンテナ船は中国から米国へ雑貨を運んでいます。雑貨では1コンテナ当たりの貨物の価格が1000万円以下でしょう。ところが今日本から出て行く高付加価値製品で重量当たりの価格が一番安いのが自動車であり、パソコン、液晶テレビなどは1コンテナ当たり数億円です。1台10万のパソコンを今のコンテナ船のリードタイムで運ぶとペイしないのです。ですから飛行機で運ばなければなりません。飛行機ですと米国まで通関手続を入れて3日、船は2週間くらいです。企業経営は、いかにお金を速く回すかの勝負です。ですから高い品物はなるべく速く回したいのです。

合田 モデルチェンジまで半年とすると、コンテナ船で30日間かけて運ぶ間キャッシュは回らない。そういう事情にあるお客様は、減速すればお困りになるのではないかと思います。船社は燃料費が削減できて経営上プラスですが。

田中 高価格品の商売は商品の回転を速くできなければペイしませんから、コンテナ船の船足が遅くなれば、巨大市場米国で売れる商品は米国内、メキシコなど海外で生産をせざるを得なくなります。さらに、政情

安定化してくれば南米です。リードタイムが長い限り儲かりませんから日本から逃げていくことになります。——自動車も同じですか。

田中 自動車も需要がある地域の近辺で作るのが一番回転が速くなります。1千万円を超えるような高級車は量産効果を考えれば、一カ所で作り世界中に配送することも収益を良くします。それが難しい低価格車は世界にいくつか生産拠点を置き、そこから消費地へ輸送するしかない。そうすると大洋横断の荷動きが少なくなってきます。

大内 航空はコンテナ船より運賃がはるかに高いのに利用するのはキャッシュフローだけが目的でしょうか。航空の方がカーゴダメージも少なくクリーンで安全な輸送であるという認識はあるのでしょうか。

田中 そういうことはありません。速さが一番のメリットです。

大内 航空運賃はこれから船よりも値上がり方が激しくなるのでしょうか。

田中 激しくなるでしょう。だから荷主からすると飛行機と船の中間の輸送手段が欲しいのです。ところが船は、速度を落として逆方向に行っています。大型化して遅くしています。

大内 船は速度で二分化すればよいのでしょうか。

田中 その通りです。

合田 私もおっしゃる通りだと思います。多頻度で少量を運ぶ船と、ロット貨物をゆっくり運ぶ船への二極化です。

田中 (高速船としては) 昔のティークリッパーが欲しいです。高船価であっても早く目的地に着けばその分高く売れるからペイします。そういう商品があるのです。

合田 コンテナ船の中の荷物は多彩ですが、航路ごとに見ると、どの船社も同じような船を投入していま



す。船型、速度など同じです。

域内を面でつなぐ船

田中 コンテナ船のそもそものコンセプトはスピードです。高くてもそのスピードが魅力だったのです。様々なものをコンテナで運ぶようになり、求められる速度の平均がだんだん遅くなり、遅くてもよい貨物に流されて全体のスピードが落ちていきました。それによって日本の工業製品は米国向けの商売で不利になっています。中国からの雑貨輸送に便乗して一桁以上高い工業製品を運んでいます。

これからの船の輸送は3形態となるでしょう。資源を運ぶ遅い船、長距離を速く走る船、さらに域内を走る船です。3番目は例えば日本の多くの港から中国の多くの港へ面でつなぐ船、大きさは内航船とあまり変わらない小型船を頻繁に就航させるのです。

(工業製品の) 荷主が求めるのはドアツードアの輸送です。問題は何を運ぶかではなく、いくら価値のものをいくらで運ぶかです。この視点が忘れられがちです。

運ぶ側にとっては、大型船の方がスケールメリットを出せるでしょうし、ハブアンドスポークは効率的でしょうが、荷主からすればポイントツーポイントで速く運べる輸送手段

が欲しいのです。それができればそれなりの対価を払います。

大内 欧州と米国間の輸送について約10年ごとに35とか40ノットといったファストシップの構想が出されます。船型もカタマランなどの構想が出されますが、なかなか実現はしませんが、そういう船の需要があるのですね。

田中 そうです。荷主が船社、造船所などをお願いしたいのは、日本のワンポイント（横浜あるいは大洗辺り）を出てから米国のワンポイント（オークランドなど）に荷役を入れて7日で着く船です。

大内 35ノットくらいであれば、着くでしょう。

田中 30ノットプラス数ノットは実現可能ですね。そのスピードで直行便で運ぶのです。

大内 しかし、25ノットの船を35ノットにするにはかなりのエネルギーの増加になります。ですから所要時間を減らすにはまず、日本国内の通関などの手続や内陸の横持ちにかかる時間の短縮が先決だと思います。

田中 その問題もあります。新しい政権に期待したいです（笑）。高速道路が安くなれば利便性の高い港にトラックが集中できます。高速道路が高いために運ぶのが大変です。そのため例えば北海道ー横浜間の運賃と北海道から直接米国まで行く運賃に差がありませんでした。

大内 世の中がだんだん忙しくなり、半年で自動車もコンピューターもモデルチェンジするようになりましたが、そういうことが今後も続くのでしょうか。

製品サイクルはさらに短く？

田中 続くと思います。サイクルは短くなります。

大内 スローな世界に戻りませんか。頻繁に性能が変わらなくても、基本の性能があればよいのではない

ですか。

合田 われわれはすでに基本的な生活、生命を維持するための衣食住の需要は満たされています。さらに満たそうとしているのは瞬時に盛り上がり、程なくして消滅する移ろいやすい消費需要です。

田中 自動車はかつて日本で生産を終えたプラントをそのまま持って行き、一世代前の車を海外で売り利益を出していたことがあります。ところが今は情報が同時に伝わりますからそうしたことはできません。かつてDELがコンピューターでやりましたが、これからは自動車も注文して納品されるまで2週間になるでしょう。日本の今の生産技術では注文から3日目に車が完成します。船で米国まで1週間で運び米国で3日で配送することが可能になるのです。そうなれば、高級品を日本国内でつくって収益を上げることができるのです。

大内 世の中がどこへ向かうかの予測は難しいですが、そのように疾走していった結果がCO₂の排出量の増大ではないですか。



田中 そのようにスピードを追求すれば結局、飛行機を利用せざるを得なくなりますが、それはCO₂を消費しますから、船で運びたいのです。

大内 残念ながら船は空気の千倍の密度のある水と接触しています。30ノットでも時速約60kmです。飛行

機は時速600km、800kmです。その間の交通機関がありません。

田中 郵船さんは飛行船を開発していましたね。

合田 最後の担当でしたのでその件はあまり申し上げられません(笑)。ただ、中間の輸送手段は検討すべきだと思います。すべての貨物でなく、高級品だけを運ぶものですから小型高速船は可能性があるのではないですか。

田中 そうです、大型船は要りません。小型船を高速化し、値段は(同型船の)2、3倍で何とかありませんか。

大内 私も昔、商船三井で飛行船をやっていました。飛行船は時速200km近くまで出せます。ただ、それは対空速度です。

田中 200kmでは高高度では動かない(対地速度がゼロ?)ですね。

大内 ですから大型にしなければならない。

合田 そうすると離着陸の場所がありません。

大内 新たにインフラが要ります。今の所、中間の輸送手段は飛行船くらいしか考えられないのです。

田中 新しい小型船として、南太平洋のポリネシア人の船のようなトリマラン、カタマランのような細長い船を考えています。そうした船型で速度を35、36ノットにして逆算すれば、現在と同じくらいの燃費になります。船型はトリマランが一番よいと思います。デッキを広くして、荷役も速くできるようにしたいです。

大内 高級品は重量も軽いですから可能でしょう。造船学会でもマルチハル船研究会を設けて、そうした船の研究を行っています。欧州でも研究が進んでいます。

田中 欧州がそうした船を造っているのを日本が指をくわえて見ている手はないでしょう。欧州域内はもともと船無しでも生きていけます。

日本は島国ですし、東南アジアのフィリピン、インドネシアも島国です。そうした国に生活物資を運ぶのに各港を巡るRORO船の小型船の需要があると思います。

大内 そうした輸送を想定してTSLが開発されたわけですが。

田中 TSLは文献にも載らない船です。私も乗船しましたが、なぜ観光船として使わないのでしょうか。大島などへ行くとか。100トンものランプを積んでいるのは問題ですが。

——RORO船は日本は日中航路で運航実績(上海スーパーエクスプレス)がありますね。

合田 既存のRORO式荷役の船はありますが、造船所側にとってはそれをさらに技術開発して採算が取れるかという問題があるかもしれません。

大型船に集中してきた日本

大内 日本の造船所は世界トップになってからは大型船開発・建造に注力し、小型船を疎かにしてきました。ところがその後大型船の受注も韓国に取られているのです。

田中 小さな、小回りの利く船は、オーストラリアに取られるようになりました。

合田 大きな技術革新は、小さな船での工夫の積み重ねとすれば、小さな船に取り組まなければ技術革新の芽はあまり無いのかとも思います。RORO船については今後あまり大型化しないと思います。

田中 RORO船は小さい船が良いのです。

合田 今のフェリー/RORO船以上の性能の船を造ろうとすると、欧・豪の造船所でなければ造れないでしょう。

大内 高速船には、造波抵抗がつかまといいます。造波抵抗を示すフルード数は船の長さに比例し、船速の平方根に反比例しますので、同じ速

度では小さい船の方が造波抵抗の割合が大きくなります。コンテナ船は大型化して造波抵抗の割合が減り、効率が良くなっているわけです。

田中 コンテナ船を大型化して得をしているのは誰ですか。

大内 コンテナ船の功績は世界の物流の増大です。それにより世界の経済が豊かになりました。しかし船社はあまり儲かりません。

田中 コンテナ船運賃の根拠がよくわかりません。

大内 昔は同盟タリフがあり、貨物の種類で運賃が異なりっており高価値貨物の運賃はそれなりに高かったようですが、今はボックスレートとなり、中身の貨物の種類にかかわらずコンテナ1個当たりの運賃は一律です。

田中 昔、私は一回り小さいコンテナ船をつくり、復航貨物が無ければ、既存のコンテナの中に入れて一般コンテナ貨物として返せばよいと提案したことがありました。その小型船は全長を長く、デッキを広くし、荷揚げが早く済むよう2段か3段積みにし、シャトル運航してはどうですか。そういう船ができれば、日本の製造業のあり方が変わってくるでしょう。日本国内で作ったものが短期間で世界中で売れるわけです。

大内 全貨物のうちのわずかの、飛行機で運ぶかどうかの貨物のために35ノットの船をつくることにはなかなか踏み切れないでしょう。

合田 そういう船は特定の荷主さんとの協議でつくることになるのでしょうか。

大内 継続的に積荷が無ければ船社は引き受けないでしょう。

——それは一部の有力荷主の専用船になりますか。

田中 そういう船が必要なのは有力な荷主だけです。(製造業で)外貨を稼げる日本の会社はそれほど多くありません。自動車、電気、医療機

器、事務機器などです。

—城内の輸送もリードタイムの短縮が求められますね。

大内 城内では横持ち時間の短縮でかなりリードタイムが短くなるでしょう。

田中 城内は内陸輸送距離が相対的に長くなります。多くの生産地、消費地が内陸にありますから。

城内輸送はRORO船

合田 城内海上輸送はRORO船が適しています。

大内 フェリーもです。

田中 フィリピンから豪州の島国海域を、例えば郵船さんが小型船でくま無く就航してはどうです(笑)。

合田 儲かりますか(笑)。

大内 そういうサービスは、陸上の景気に荷動きが大きく左右されるでしょう。

田中 島国間で輸送するものは生活必需品が多いのではないですか。日本が島間の物流をリードすることを目指して民間だけでなく、政府も開発を支援すればよいと思います。

〈ゼロエミッション船の動力〉

—今後は船の動力もゼロエミッションに向かわざるをえませんね。

合田 油を焚いている限り、根本的な問題の解決にはなりません。船型の改良、付加物による省エネを図ってもその効果は限定的でしょう。本質的にCO₂を減らしたければ、油を焚くことを止めることです。

田中 私は油を焚くことを止めるという考え方には懐疑的です。地球上で炭酸ガスがある程度出さないわけにはいかない。課題は、排出を止めることではなく、生産や生活量との間でバランスを取る、排出量を制限することです。特に移動物体は何らかの形でエネルギーを運び移動しなければならない。その形状は液体が一番良いのです。自動車、航空機、

船はエネルギー運搬体としての液体を焚いて移動しています。地上で固定されている施設では太陽光、風力などが利用できますが、移動体ではある程度化石燃料の使用はやむをえないのではないのでしょうか。その燃料がバイオエタノールであれば一番良いですが、いずれにせよ移動体が運ぶエネルギー運搬体は液状でなければなりません。

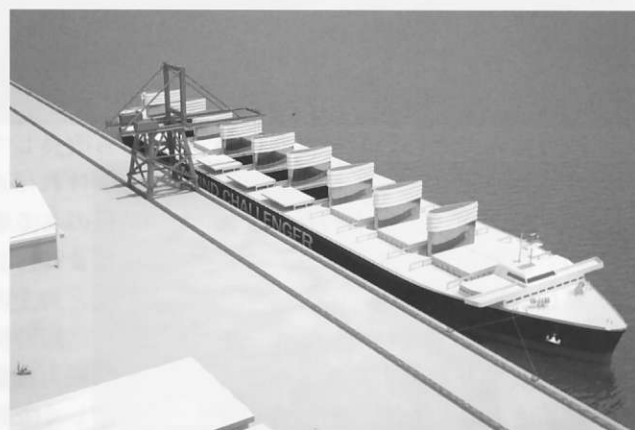
1日200トン消費する大型コンテナ船の燃料を10%ヤトロファ油に転換するだけで1隻当たり東京ドーム312個分の農園が必要になりますよ。

大内 船だけは現場でエネルギーが調達できます。

—大内先生は、帆船を将来の商船として研究されているようですが、商船を風力で動かす試みはこれまでにあったのですか。

大内 帆船というと滑らかな曲線の帆が風を一杯にはらみ進んでいく姿を想像しますが、従来の帆船は帆の操作のためのロープワークが大変ですし、操船に熟練を要します。帆船は翼の形状も空気力学的には最良のものとは言えません。次世代の帆船は、ジャンボジェット機の主翼を垂直にデッキ上に立てたような揚力係数が高く硬い材質の翼で推進力を出す必要があります。硬い翼を最初に開発したのが日本船用機器開発協会の浜田さんと、新愛徳丸という船に装備されました。

この翼はキャンバーを付けただけ



風力推進ケーブルサイズバルカー（航海中（上）／荷役中（下）
（大内氏提供）

の板でしたが、従来の帆船よりも上り性能が良いです。追っ手はあまりよくありませんが。揚力を最大に利用できる風向きである横からの風に対しても良いようです。リーフ（縮帆）する場合縦に2つに折りたたむタイプなのであまり面積は小さくなりません。前方の見通しも悪くデッキの艀装品と干渉しがちで荷役に差し支えます。

これらはオイルショックで油の価格が高くなり検討されたものですが、帆船といっても機主帆従（エンジンがメインで帆は補助的な推進力）ですからゼロエミッションを狙ったものではなく、省エネのため風力を利用するわけです。燃料削減率も平均すれば10%程度に止まり、その後油が下がりましたので、数隻つくって

立ち消えになりました。最近、ドイツで帆船カイトがつくられました、あれも機主帆従です。

ゼロエミッション船の動力の候補としては、原子力、風力、燃料電池、電池等があります。原子力はそれ自体有望ですが、パブリックアクセプタンスを得なければなりません。船はどうしても沈没したときのことを考えておく必要がありますから、近い将来には無理でしょう。

合田 あくまでも私個人の意見ですが、原子力船はパブリックアクセプタンスを得るのに20、30年かかっても、将来のクリーンエネルギーとして取り組んでもいいのではないかと思います。

田中 原子力は、根本的な安全にかかわる問題がたくさんあり、なかなか難しいと思います。

大内 これまで「むつ」、「オットーハーン」、「サバンナ」など原子力船が建造されましたが、結局商用化されませんでした。

帆船のVLCC

田中 軍艦は民意と関係なく開発を進められますが、商用化には壁があります。商船に乗せる規模になると原子炉の扱いは非常に厄介です。

大内 そこで私は、自然エネルギーである風力に取り組んでいます。私の考えておりますのは、帆の伸縮をテレスコピックに行う構造とし、中にパンタグラフが付いていてリーフ（縮帆）出来るようにします。大きさは20m×50m、1000㎡くらい的大型帆を開発する必要があります。風速15mの横風が吹くと、20トンのスラスト（前進力）が出ます。そうすると帆を10基甲板に並べればVLCCやケーブサイズバルカーを15ノット近くで動かせるので、ゼロエミッション船としてこれから研究する余地は十分にあります。小さい船から始め、最終的には大型船に行こ

うと思っています。

田中 飛行機屋の発想からしますと、帆はずん胴よりもテーパー（先を尖らせる）した方がいいかもしれません。効率が上がるし、折りたたみどきに楽ですから。

私もものづくり大学で自作艇を制作する授業をやっていたので帆船も研究していますが、帆船というものはよく出来ていて、風を受けると一番帆、二番帆のピッチが変わってきます。その光景は上空から見ると見事です。

大内 次世代の帆船の技術開発は世界であまり進んでいませんが、いくら改良しても帆船ですから風が吹かなければ進まないで、エンジンで風のあるところに移動しなければなりません。しかし、これだけ天気予報と海上の予報が発達していますから、短時間で風のある所へ行けます。風力推進船は急がない、定時性が厳しくない船から利用できるでしょう。

船社も省エネ船の構想を発表しています。船底にバブルを這わせ抵抗を少なくしたり、二軸にしてプロペラを大きくしてエネルギー効率を高めたりするようですが、消費量を半減するのは難しいし、費用もかかります。一方、ここで述べた帆主機従の帆船では5割削減は簡単にできます。工夫すれば7割減くらいまで行くでしょう。油を焚くのは入出港と風の無いときだけですから。

——ある航路で風の無いときが一定期間内にどれだけあるかは予測がつかないのではないですか。

大内 海上で風速5m/s以下の日は少ないのです。海洋風の平均風速8～10m/sあります。風速5m/s以下の時は油を焚くという事を考えながら航海士はうまくコースを取っていくのです。航海技術の見せ所です。

田中 帆船の世界記録をご存知ですか。ザ・レース、世界一周の競技

ですが、平均速度20ノットです。バルク船を走らせるには十分です。

大内 通常のバルク船は公称15ノットでも実際は12～13ノット程度です。いくら速くてもVLCC、ケーブサイズは15ノット以下です。PCCは一寸早く18～20ノットです。

田中 私はPCCを速くしたいのです。PCCに満載された自動車の総価格は船の価格よりは高いです。

大内 帆を大きくすればするほど大きなエネルギーが取得できます。しかし、帆船で船速を早くするのは結構大変です。15ノットは風速7.5m/sの向かい風とほとんど同じスピードです。さらに20ノット、25ノットと船速を早くすると、それぞれ10m/s、12.5m/sの向かい風と同等となり、向かい風の頻度が多くなり、効率的な風の利用がしにくくなってきます。

田中 これまで造られた帆船は全長がせいぜい50～60mです。100mを超える長さになれば、造波抵抗の割合は小さくなります。バルク船のように幅広くすれば安定性も上がります。

大内 帆の大型化が可能になったのは、カーボンファイバーなど軽くて強い新素材ができたからです。

——帆船は船社としてはどうですか。

定時性は譲れない

合田 帆船を海運で導入するには、物流の考え方を根本から改めなければなりません。当面、バルカーで速度が遅くなることを受け入れても、定時性までは譲れないと思います。

田中 定時性を守ることはできるでしょう。私もヨットをやっていましたが、レジャー用ヨットとサラリーマンの乗るオーナーヨットとは違います。オーナーヨットは全長13mくらいで20馬力のエンジンを積んでいます。風力は3ノットか4ノットで

すが、10ノットくらいで帰ってこなければならぬとき、定時性を守るためにエンジンを稼働させます。この時理想をいえば、風力の変化に柔軟に対応し、スピードを維持する出力を調整するには電気が良いのです。発電装置が要りますが。

大内 その場合は電気しかないです。電気推進エンジンを3基くらい載せ、風力で出力が足りなければ回すのです。

—その発電機を回すには重油を焚くのですか。

大内 将来は電池などを使うとしてもまずは石油燃料のエンジンを使わざるを得ません、いずれにしても風力が足りない時だけですむのです。

田中 無論、当面は動力はディーゼルエンジンと帆のハイブリッドで、長距離の航海で帆、近距離輸送や港内ではエンジンを使い分けるのです。入出港時の帆の扱いは重労働ですから。

大内 栈橋に着けるのが難しいのです。

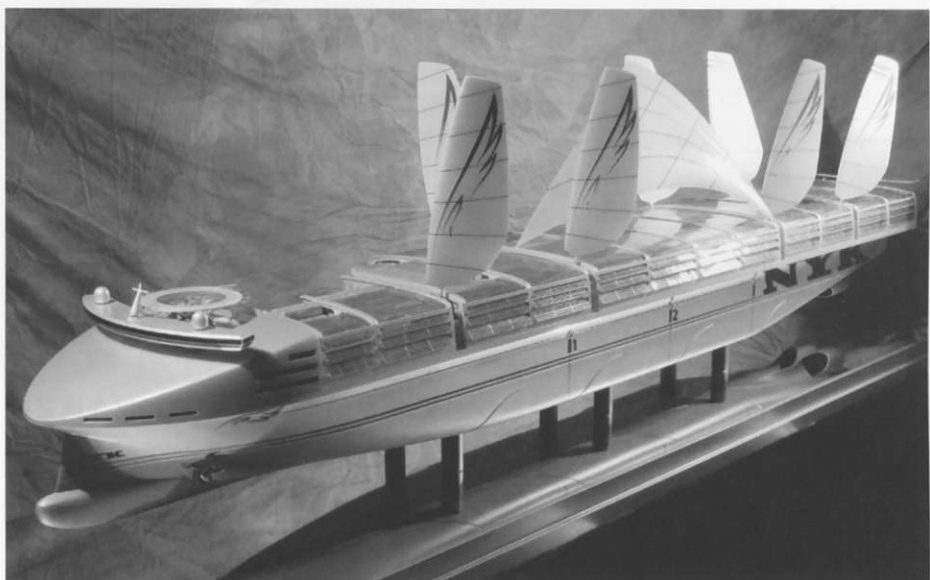
合田 2030年くらいになると、石油に安価ではアクセスできなくなる可能性が高いので、脱重油の方向を考えていかなければなりません。

田中 長期的にはそうですね。いずれ石油が使えなくなることを想定して、帆船の、技術、運航を考えていけば良いと思います。私は5～10年後に初のバルク帆船が建造できると見えています。

大内 私も同感です。例えば、年間に何トン運ぶことだけ決まっている航路など、配船可能なところから使っていけばよいのです。今は少ないでしょうが、昨年までバルク船は相当の沖待ちをしていましたが、何とか船のやり繰りをしています。

合田 沖待ちは港の能力不足により起きるもので、気象条件とは別の問題でしょう。

—船上での風力発電はいかがです



か。

大内 ローター型の風力発電は、40%くらいの変換効率が精一杯で、その電力でモーターを回すとまたロスが出ます。同じ風速と（帆と風車の）面積では風力を直接前進力に変換する帆船の方が効率は抜群に良いです。

田中 帆船が一般に認知されるために、風力発電の羽を一般商船のデッキに並べ、帆も切り上がり角度をよくするなど、徐々に改良してはどうでしょう。

大内 しかし、基本的に決め手は帆の面積と揚力係数です。

ジョイントインダストリープログラムといった形で荷主も募り、特にバルク貨物を運ぶ帆船を試験的に建造してはどうですか。船社の協力は得られませんか。

—郵船さんの2030年スーパーエコシップも一部風力を利用しますね。

合田 新素材の帆とハッチカバーが太陽電池パネルを兼ね補助推進力となっています。

田中 8000TEUのコンテナ船であ



NYKスーパーエコシップ2030

る点、首を傾げます。

合田 主たる動力は燃料電池です。私は燃料電池は可能性があると思っています。

大内 燃料電池研究者が、将来的に実現は難しいと言っています。

田中 今のところエネルギー運搬体として水素を使った燃料電池はナンセンスです。水素は、容積当たりのエネルギー密度が低く、爆発などの危険性が高く使えません。

合田 弊社のスーパーエコシップ

に搭載する燃料電池は最初は水素ではなく、LNGを使うものです。CO₂を出しますが、重油よりは少ないです。水素利用は当分難しく実用化は2050年頃と言われており、それまでの過渡期はおそらく天然ガスになると思います。

大内 燃料電池のコストは安くないですか。

田中 安くなる目途が立っていません。今現在自動車用の燃料電池を作ると、触媒だけで1億円です。

大内 コストが高いので自動車メーカーは燃料電池から二次電池に転換しましたが、船に二次電池が使えるかということ、それは長い航海に必要な電力量からしてありえないでしょう。

合田 そうでしょうか。経済産業省の技術ロードマップなどを参照すると、燃料電池は可能性があるのでしょし、2030年、2050年というレンジで考えれば、石油社会からいずれガス化社会・水素（と電気の）社会に移行しているでしょう。

先祖返りする輸送手段

田中 自動車での電池利用いわゆる電気自動車も短距離を除いてありえないと思います。

途中で電池切れでは話になりません。充電しながら走る広い意味でのハイブリッド車に落ち着くと思います。ちなみに最初につくられた自動車は電機自動車ですから、自動車も先祖返り（Jターン）しているのです。船もJターンでいいでしょう。線型もトリマラン、カタマランが研究されていますが、それらも船の原型です。

大内 南洋の原住民NYKスーパーエコシップ2030船ですね。

田中 彼らは帆船で島から島へ何千kmの距離を走るのです。

昔中東、インド洋ではアラビアンナイトに出てくるダウ船が三角帆で走っていました。中国からジャンク

が独特の四角い帆でベトナムあたりまで動いていました。1800年代にやってきたペリーの黒船も途中は帆で動いていました。

大内先生の案は、それらが進化したものであり、可能性があると思います。

大内 ある程度、強度計算など実験データを取っていますが、実現可能性はかなりあります。

——帆船を商船にするには今後どのような課題がありますか。

田中 強度を強くするには船型はモノハルかマルチハルがいいか、研究が必要です。

大内 スラストを増やすために本数を増やすことも必要です。デッドウェイトも増やさなければなりません。帆の軽量化も課題です。20m×50mの帆はカーボンファイバーで作ると1枚30数トンです。肉厚10mmで薄いです。飛行機の主翼のようなものです。

田中 飛行機の主翼はもっと軽いです。ジャンボ機は総重量が400トン、本体（機体、エンジン）だけで100トンです。

大内 ボーイング787はカーボンファイバーの使用率が50%超えるようですね。

まずは貨物を探すこと

合田 技術的な課題もありますが、最適な貨物を探すことが先決でしょう（笑）。

大内 それはバルク貨物だと思います。

合田 バルク貨物のうちからどれが適当かを探すことです。

——帆船構想に船会社は納得しますか。

大内 CO₂削減問題を抱える船社は納得するでしょう。造船所はあまりやりたがらないかもしれませんが。

合田 船社でも人によって受け止め方は様々でしょう。私個人として



ハワイのアウトリガーボート(大内氏提供)

はまだ遠い世界のような感じですが、いろいろハードルはあるでしょうが、研究には値すると思います。

田中 今日は将来の夢として帆船の話が出ましたが、昔から船を見ていて気付いていたことですが、中世までの帆船などの船はきれいな形をしていましたが、そこから断面積が四角になりました。濡れ面積を最小にするには球面の方が良いのではないですか。復元力などの問題もあるのでしょうか。

大内 （断面を四角にするのは）つくりやすいからでしょう。表面積を最小にするには球形に近い方が良いでしょう。そうなれば揺れは激しいです。

田中 揺れを防ぐにはアウトリガーを付けてはどうですか。

大内 そうなるとマルチハル船です。

田中 南太平洋の原住民はマルチハル船をバルサなどの長い木を使い船をつくり、効率良く走らせています。

——結局、話は南太平洋へ行きますね（笑）。本日は興味深いお話をありがとうございました。