

SRC News

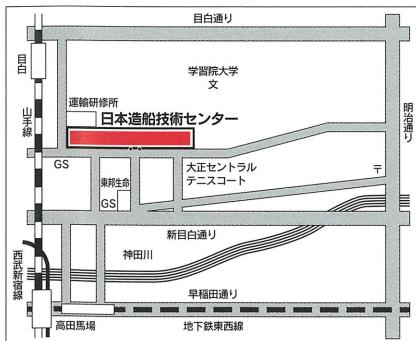
No.46 Feburary '2000

The Shipbuilding Research Centre of Japan

●目 次●

肥大船の船首まわりの流れについて(2)	Page 2
「乱流山」登山ガイド -実船相当寸法のCFD計算	Page 4
渦の話(2)	Page 6
水泳の話(2)	Page 8
海洋スペースの利用について	Page 10

2000年の夜明け

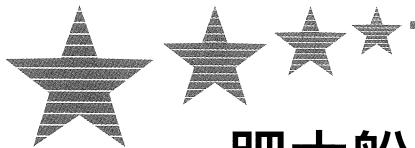


財団法人 日本造船技術センター

〒171-0031 東京都豊島区目白1丁目3番8号
TEL 03(3971)0266 FAX 03(3971)0269

2000年問題に揺れつつも無事に千世紀を越えて西暦2千年代に入りました。1桁の世紀から2桁の世紀に入った千年前と現在の私達を取り巻く状況の変化は驚くばかりです。特に1900年から2000年の100年間は驚異的な速度で世の中が変わりました。それに比べれば極く短期間ではありますが、造船技術センターも設立

以来33年間を経過し、その間一貫して船型試験技術を基に産業への支援を続けて参りました。2千年代の変化は過去のいずれの時代よりも激しいものとなることでしょうが、着実に技術を磨き、新しい技術を果敢に取り入れて我国造船産業を支える役割を荷つて行くべく努める所存です。



肥大船の船首まわりの流れについて（2）

前号に引き継ぎて波の話をします。

波の振幅が無視出来ないオーダーとなる非線型波について説明します。連続の条件と水底の条件は同じですが水面の運動学的条件の中に擾乱速度の項が省略されずに残ります。2次元の波の場合の線型条件と非線型条件を式で示します。線型条件では $y=0$ の静止水面において

$$\partial\phi/\partial t + g\eta = 0, \quad \partial\phi/\partial y = \partial\eta/\partial t \text{ ですが、}$$

非線条件では

$$\partial\phi/\partial t + 1/2 [(\partial\phi/\partial x)^2 + (\partial\phi/\partial y)^2] + g\eta = 0$$

および

$$\partial\phi/\partial t = \partial\eta/\partial t + \partial\phi/\partial x \cdot \partial\eta/\partial x \text{ となります。}$$

非線型方程式の解法に立ち入るつもりはありませんが、速度ポテンシャル ϕ や波振幅 η を分散の強さを表わす $h^2\kappa^2$ のベキ級数で表わし、更に水面付近の解をテイラー展開で表わし、以上の非線型条件にいれて演算し、 $(kh)^2$ のオーダーの同じ式を整理すると、線型解の次のオーダーの解(1次解)は

$$\frac{\partial\eta}{\partial T} + 3/2 \cdot \frac{C_D}{h} \cdot \eta \frac{\partial\eta}{\partial X} + \frac{C_D h^2}{6} \cdot \frac{\partial^2\eta}{\partial x^3} = 0$$

という非線型浅水波の式が得られます。ここで $C_D = \sqrt{gh}$ 、 h は水深です。 T 、 X は時間 t 、距離 $X - C_D t$ の座標変換値です。少し難しくなりましたので、この辺で式の展開の話はやめることにします。皆さんに理解して欲しいことは非線型解の示す現象が線型解の示す現象とは非常に違ったものだということです。ところで、上の式は

Kortevég de Vries方程式と呼ばれ、一般的な形は $\partial u/\partial t + u \partial u/\partial t + \mu \partial^3 u/\partial x^3 = 0$ で表されます。この式から得られる解の例を紹介します。図-1には非線型定常進行波の場合に得られるクノイド波で正弦波に比べ、山が鋭く谷が平らな波列です。また、条件によっては図-1中に示す孤立波が現れます。更に、いろいろな初期条件に対して得られる解として孤立波の集まりが得られます(図-2)。更にこれらの解の間の干渉を調べた例が図-3で、第1の波が第2の波に近づき、衝突し、離れて行つても、お互いの波の振幅や形状に殆ど差のない事が

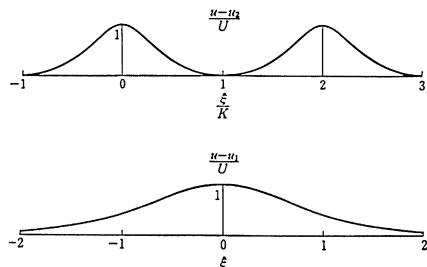


図-1 クノイド波と独立波

判ります。あたかも固体のような安定な波故に、ソリトンという陽子(プロトン)、中性子(ニュートロン)、電子(エレクトロン)に似た名前が付けられています。少し寄り道をしそうなところをどうするか。要は速度成分や波の振幅が小さいとするか、大きいとする

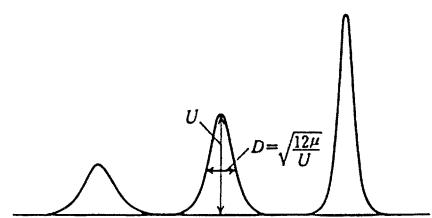


図-2 さまざまな振幅の独立波、ソリトン

かで、多様な現象が現れるものだと言うこと、波も面白いものだという事を少しでも感じて貰いたいこと、船首まわりの多様な水面の現象も非線型現象の一環であるとの理解に役立つて欲しいと願うからです。

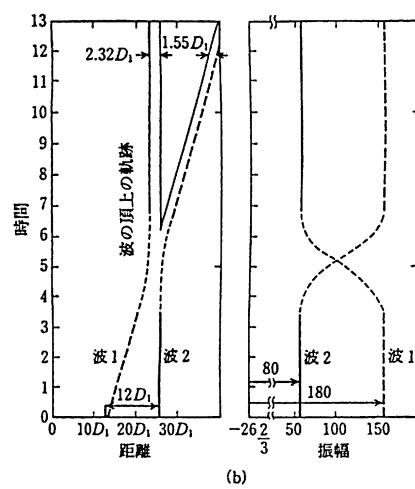


図-3 2つのソリトンの衝突、(a)衝突の概形、(b)波の軌跡と振幅の変化

4. 理論的な考察—船首まわりの水面

この話は、船の形状と推進性能とが、船のまわりの流れの現象を介してどのように結びついているかを、推進性能の1要素である造波抵抗を例にとって紹介することを目的としています。基本的な現象については既に2章で紹介しましたし、3章において、水面波の面白い性質、特に線形波と非線形波の特性について述べました。それは、どのように設計に使うのですかと言いたそうですが、生臭い話に行く前に、もう少し理論的な話を続けます。3章では2次

元の波の話をしましたが、船の波は2次元の平面を伝わっていく3次元波です。

3次元波の基本として、良く知られている現象は静かな水面の1点の擾乱源から、円弧状に広がる波(Cauchy & Poissonによって数学的な説明がされました)です。擾乱源が一定速度で前進すると、その後方に八字形の波が伝わっていくのが見られます。この波はKelvin波と呼ばれ、図-4のように、八字形の部分(diverging wave)と進行方向に直角なレンズ状の部分(transverse wave)より成っています。波を作りながら進む擾乱源を船とすれば、2章に述べたよ

うに船の後方に伝わる波も基本的に同じ性質をもつ線型波の一種です。さて、再び船のまわりの水面の運動の満たすべき条件を考えることにします。3章で述べた条件と少し異なるところは、平面を伝わる3次元波である事と、境界条件として波の発生源である船体の存在を考慮せねばなりません

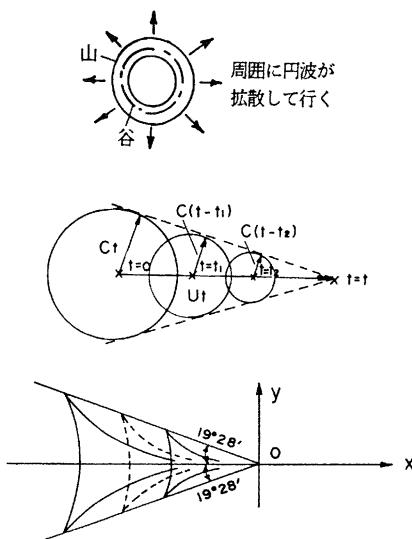


図-4 3次元波

が、連続の条件、水面の運動学的条件、水底の条件等は基本的に同じです。ここで、擾乱速度の成分として波動運動によるものと船の存在によるものとがありますが、これらが、前進速度に比べて充分小さいとするのが、線型造波抵抗理論の仮定です。これは、波の振幅が波長に比べて充分低い事と船が非常に薄く細長い事を意味しますが、実際の船はそれ程薄くも細長くもなく、特にタンカーやバルクキャリアーのような大型船では上記の線型仮定とは随分離れたものとなります。又、どのように細く薄くとも、船首尾端のよどみ点では前進速度と擾乱速度は同じ値となり線型仮定は満足されません。線型造波抵抗理論の示す特性は定性的にはどうあれ、定量的には設計の現場で精度を要する馬力推定に実用化される事はありませんでしたし、勿論、2章で述べた様な船首まわりの特異な水面の現象を説明出来るものではありませんでした。

この状況を開拓する為に、船首まわりの流速成分を具体的に計測した結果を図-5に示します。比較的低いフルード数においては、速度成分の大部分は波はない(水面固体壁)として求めた速度に一致し、水面のごく近くで僅かに波動によると思われる速度成分が見られます。この結果から一様な前進速度と船体による擾乱速度とは、船のまわりでは、同じ程度のオーダーとして、両者の和を前進速度のかわりとし、これに対して、波動による速度成分は充分に小さなオーダーとします。なお、船体による速度は水面が固体壁、すなわち、限りなく零

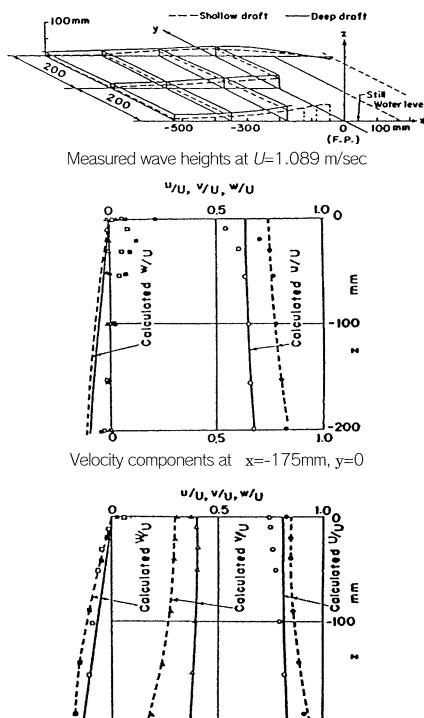


図-5 水面付止流場計測結果

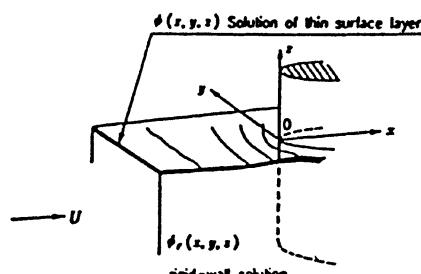


図-6 模型化された流場

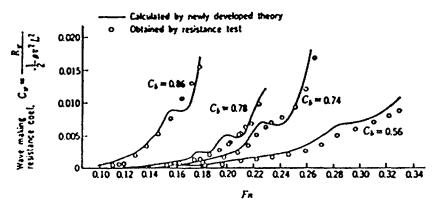


図-7 各種船型の造波抵抗実験と推算値の比較

Comparison of wave resistance measured and predicted

に近い速度として求める事にします。これを模式的に示すと図-6のようになります。線型造波抵抗理論に比べるといさか面倒になりますが、波動による速度成分は充分に小さいとしている為に実質的には線型造波抵抗理論に良く似た式が得られます。図-7に、この理論(低速理論)により求めた造波抵抗係数と実験値の比較を示します。通常の商船々型にあっても、かなり精度の良い対応が示されており、線型理論に比べて、改善された理論といえるでしょう。しかしながら、図-8に示すように、喫水

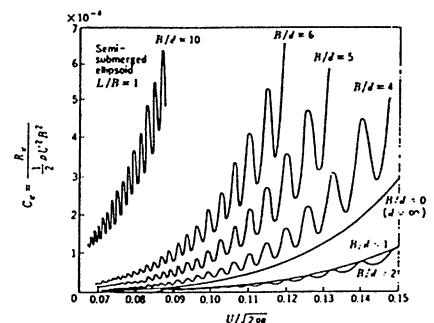


図-8 喫水変化と造波抵抗の変化

が浅くなるに従い、計算値と実験値の相違は大きくなり、フルード数に対して、振動する性質が現れて来ます。なお、現状では、低速理論をベースに、数値計算法(ランキンソース法)が開発され設計にも使われています。線型理論では考えられなかつた様な精度向上が達成されていますが、船型条件によっては、非合理的な結果も得られており今後共、計算手法の改善への検討が進められるものと考えます。(続く)

「乱流山」登山ガイド —実船相当寸法のCFD計算

右図を見て頂きたい。そこには「乱流山」とその頂上を目指して進む登山家=流体研究者の姿が見える。この乱流山は高くなるにつれて、いよいよ岩肌が陥しさを増し、登山家を寄せ付けなくなっている。当センターもその登山家の一員であり、レイノルズ数 10^9 を目指して努力している。この山にはいくつかの登山ルートがあるが、本稿では数値解析的な乱流登山ルートについて説明したい。

まず、何故我々が乱流山を登らなければいけないのかその理由を説明する。当センターの主要な業務は、「水槽試験」であり、多種多様な船の模型試験が実施されている。模型船の大きさは、小さいものでは全長2m程度、大きなものでは全長7m程度のものがあるが、実船では全長が300mを越えるものもあって、実船が模型船の数十倍の大きさであっても何ら珍しい事ではない。通常、水槽試験では実船と模型船のフルード数を一致させて試験を行い、レイノルズ数の影響については浸水面積の等しい平板の乱流摩擦抵抗の式によって対処している。この模型船と実船の寸法の違いによる流場への影響を流れの尺度影響と呼び、水槽試験では避けて通れない問題となっている。一般に、模型船と実船ではレイノルズ数で3桁程度の相違があり、模型船で 10^6 、実船では 10^9 を越えるオーダーである。従って、模型船と実船のレイノルズ数の違いを克服するために我々は乱流山を登っているのである。

具体的には、摩擦抵抗の式をもとに、粗度修正係数やwake ratio等によって尺度影響を評価して実船馬力やプロペラ回転

乱流山の説明

図-1はUriel Frisch著Turbulenceからの引用で、Phillippe Delacheという天文学者が1977年に画いたものだそうです。

高いレイノルズ数の頂上をめざす4つの研究(アプローチ)の方法について簡単なコメントがあります。フランス語を原文どう

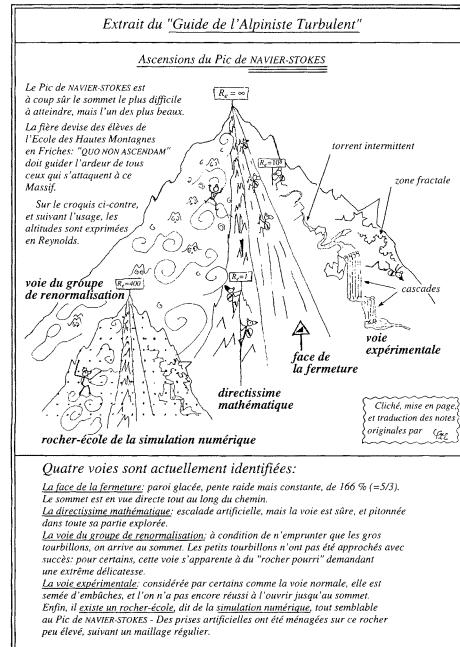


図-1 亂流研究のアプローチ

数の計算、また、笠島・田中法による船尾伴流分布の尺度影響による変化の推定も行っている。一方、数年前から実用に供されているCFD(Computational Fluid Dynamics)という数値計算による船体周囲流場の推定法を用いると、流れの尺度影響を数値計算によって推定する事も可能である。当センターでは数年前から、船舶技術研究所で開発されたNICEコードというCFDコードを用いてCFDシミュレーションを行える環境を整備し、性能推定や船型改良の指針を得る為のツールとして利用している。このNICEコードは擬似圧縮性を考慮してRaNS方程式を有限体積法により直接数値的に解く事で、船体周囲流場(波無し)の定常状態を数値計算で推定する事が出来る。計算する際にRaNS方程式への

入力パラメータとしてレイノルズ数を自由に設定できるので、理論上は我々が問題としている 10^6 から 10^9 までのレイノルズ数で計算を行うことで、船体周囲流場の尺度影響を調べる事が出来る。しかしながら、NICEコード自体は広く普及し実際の設計業務等に利用されているにも関わらず、実船相当のレイノルズ数での計算は殆ど行われていない。その理由について説明すると共に、CFDの今後について言及してみたい。

理由の一つとして実船相当のレイノルズ数でのCFD計算は、あまりにも計算に時間がかかるので、計算機の利用効率を著しく悪化させるという点が挙げられる。実は、NS方程式を数値的に解く場合、レイノルズ数が増加するにつれて計算の安

いが小さな渦の現象には向かない事、実験的手法はかなりうまくは行くものの決して頂上を究められないこと、そして我々の関心である数値シミュレーションは、本来の研究のミニチュア版であって、グリッドの調整によって僅かに高度を上げられるに過ぎない事等です。如何でしょうか?

定性が悪化するという現象が発生するので、時間刻みを細かくして安定に計算を進める必要があり、結果として時間ステップ数が増加し計算時間の増大を招いてしまう。筆者の経験では実船相当のレイノルズ数では、模型船の場合と比べて十倍以上の計算時間が必要である。結果が得られるのに数日もかかるような計算では、あまり実用的では無いと言える。別の理由として、使用している乱流モデルの問題がある。乱流山の縁に登山学校と分類されるナビ工・ストークス方程式の直接数値解はレイノルズ数で500程度までが限界とされ、それ以上は乱流の数学モデルを仮定し、それを実験により確認しつつ、徐々に高度を上げて来た経緯がある。NICEコードでもB-Lモデルに限らずほとんどの乱流モデルで用いられている各種係数は実をいうと実験的に決定されたものであり、模型実験自体は高くても 10^7 程度のレイノルズ数までが実験可能な範囲であるために、この乱流モデルをそのまま 10^9 に適用した計算結果があまり信用されないという点がある。最後に最も重要な理由として、事実上計算結果のValidationが不可能である事が挙げられる。ここでValidationとは計算結果の妥当性の検討を意味する言葉である。現在CFDは、船型開発の現場で実用的なツールとして用いられつつあるが、これは計算結果と模型試験の結果とを数多く比較して計算結果の妥当性を検討しているから可能なのである。いくら乱流モデルが信用できないとしても、実際の現象と寸分違わぬ計算結果を出してくれれば、実用的には充分かもしれない。ところが、悲しいかな実船相当レイノルズ数で計算しても、その結果が実際と比べて妥当かどうか検証出来ないのである。これでは計算結果を基に何かをしようと言う気にはならない。以上のような理由でCFDによる尺度影響の推定がほとんど行われていないのが現状である。

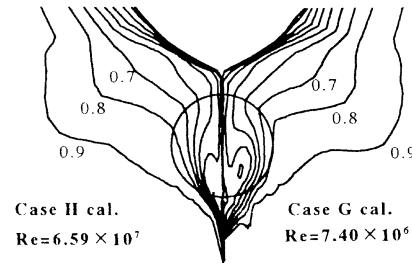


図-2 Comparison of axis velocity contours
(Case G and Case H at $x/L=0.4875$)

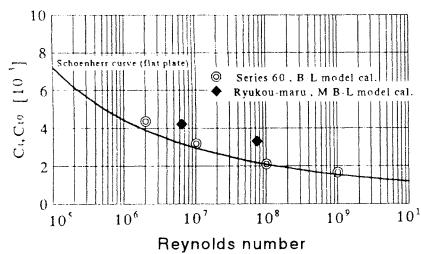


図-3 Reynolds number effect

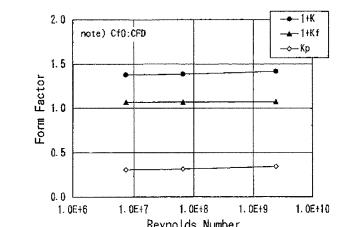


図-4 Reynolds number effect

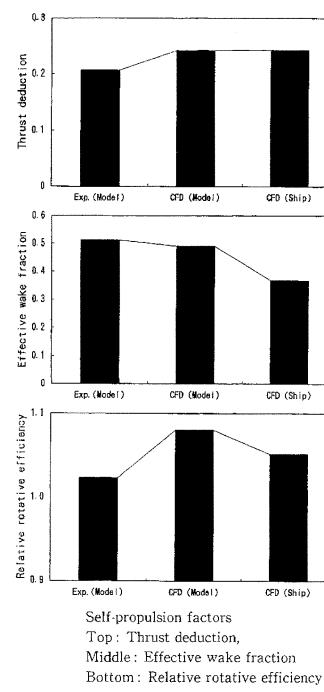


図-5 Reynolds number Effect

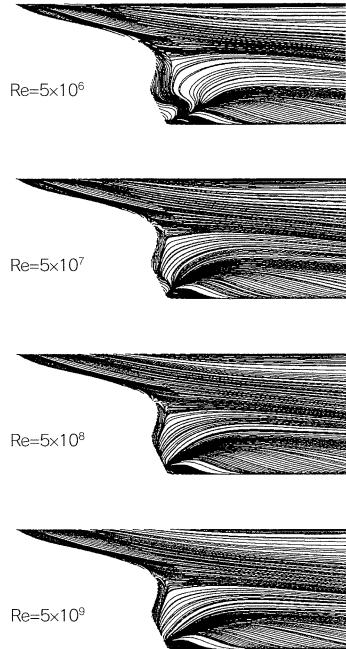


図-6 Reynolds number Effect

ここに示す図は以上の様な認識のもとに、敢えてピッケルとハーケンをふるつてチャレンジした計算結果である。実船馬力推定の前提となる平板摩擦抵抗式の外挿法やキャビテーション試験に際して用いられる伴流分布の修正法も結構良い線行つていいと考えられないだろうか。

このような現状を念頭におきつつ最後に実船相当レイノルズ数におけるCFDシミュレーションの今後の可能性について言及したい。まず、計算時間についてであるが、日進月歩であるPCの性能向上を見ると、近いうちに実船相当の計算が一晩あれば十分走らせられるようになり、特に問題で無くなるように感じる。妥当性の検討に関しては、かなり大変ではあるが、実船相当レイノルズ数でプロペラを含んだCFDシミュレーションを数多く行ない直接馬力推定をしてTrialの結果等と比較するという地道な方法が我々流体技術者がCFDによって、乱流山のより高みに近づく実際的な方法と言えないだろうか。参考に示した高レイノルズ数での計算例については、執筆者に特にお断りしていないが、ご勘弁頂けると考える。



渦の話（2）

前号では渦、すなわち回転する流れの表わし方やその基本的な性質について紹介しましたが、あまり唐突で理解しにくかったかもしれません。しかし、渦の話を進めるには避けて通れませんのでご容赦下さい。本稿では1歩前進2歩後退ということで、具体的な現象から再スタートします。

1. 渦の姿

人類が渦を記録の中にとどめたのは何時頃でしょうか。図-1は以前にも紹介した事のある古代ギリシャに先立つ1000年程前のミケネ時代の壺に描かれた渦巻模様です。図-2は古代アッシャリア(紀元前7~8世紀頃)の宮殿のレリーフです。河辺にそびえる城を攻める特殊部隊というところですが、所々に渦巻模様が見えます。ぐっと時代が下がった15世紀頃のルネサンス時代となると図-3のような流れを科学的に見ようとしたレオナルド・ダ・ビンチが現われます。渦の典型的な姿として良く紹介されるのが、図-4に示すようなカルマンの渦列です。カルマンの渦列発生の原因となる物体後端における流れの剥離や渦の挙動とレイノルズ数の関係(図-4)、更には乱流へと流れの理解が進むのは、実にこの200年間の事ですが、レオナルド・ダ・ビンチからレイノルズの時代の間(16~19世紀)にかけて、渦とは何かに始まり、その基本的な性質を数学の手法によって解き明かす努力がなされました。それについては、渦度、渦糸、渦管からストークスやヘルムホルツの定理等を前号にまとめて紹



図-1 クレタ島出土の壺

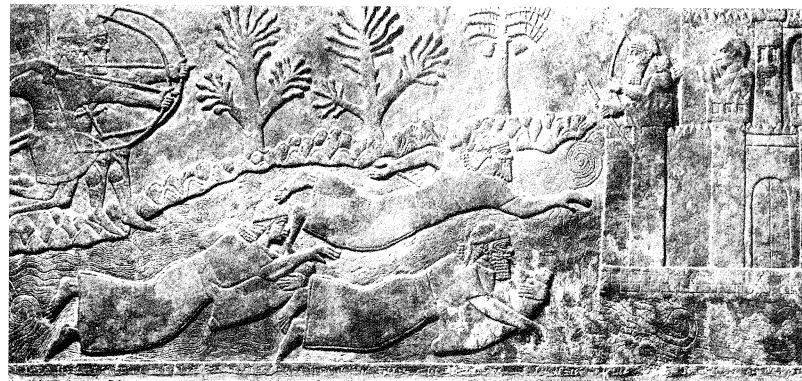


図-2 アッシャリアのフレスコ絵

介しています。本稿では、これらの性質をもとに、渦がそのまわりに作る流場について紹介する事にします。理解を容易にするため、電磁気現象と比べて説明します。



図-3 レオナルド・ダ・ビンチのスケッチより

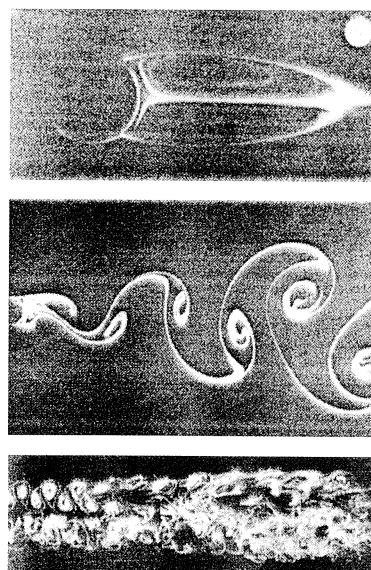


図-4 円柱後方の流れ
(レイノルズ数による変化)

2. ストークスの定理について

渦現象の性質の中で重要なストークスの定理とは、空間の閉曲線に囲まれた面内の微小なかつ無数の渦の集まり(面積分)が閉曲線に沿う線積分(循環)に等しいというごく当たり前の事を述べました。例えば重力場の中の現象について考えます。図-5にしめすように四角形の中心にFという力が加わるとき、四角形を一周するに要する仕事を考えますと、図中の式に示すようなFの回転が得られます。これらを加算すると、隣り合う辺は打ち消し合い、残った外周に沿う仕事のみが残ります。この関係は電磁場の場合も同様に成立つもので、自然界に共通な法則です。

$$\begin{aligned} \text{CD上の力} & F_y - \frac{\partial F_x}{\partial x} \times \frac{\Delta x}{2} \\ \text{AB上の力} & F'_y = F_y + \frac{\partial F_x}{\partial x} \times \frac{\Delta x}{2} \\ \text{BC上の力} & F_y + \frac{\partial F_x}{\partial y} \times \frac{\Delta y}{2} \\ \text{DA上の力} & F'_y = F_y - \frac{\partial F_x}{\partial y} \times \frac{\Delta y}{2} \end{aligned}$$

重力

(x, y)

Δx Δy

P F

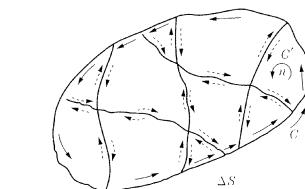


図-5 ストークスの定理を導く各区の力の線積分

3. 渦の作る速度場 (ビオバザールの方則)について

渦の誘起する速度場の式を求めるプロセスを図-6に示します。まず、閉曲線により囲まれた面を通る速度の面積分(流量)が求めるべき未知のベクトルの閉曲線に沿う線積分に等しいと仮定します。次に先に述べたストークスの定理により、未知ベクトルの回転が速度成分と等しい事が判ります。この関係より渦ベクトルと未知のベクトルの関係を求める上、質量のかわりに渦度としたポアソンの万有引力の式と同じ形式の方程式が得られます。なお、この方程式は電荷の作

る電場へも適用されます。自然を支配する方程式の単純でかつ共通な性質に驚くばかりです。あとは得られた方程式をもとに、渦糸上の微小な部分が、 r だけの距離はなれた場所に作る速度とその性質が求められます。循環 Γ の渦糸の作る速度のベクトルは渦糸に対し、又、距離の方向に対しても直角である事や速度は

距離の2乗に反比例することが判ります。この関係は電磁場の場合には、エールステッドの実験による電磁誘導現象の発見に始まり、アンペールの理論的研究により全く同じ方程式が得られています。これをもとにモーターや発電機の原理であるフレーミングの法則等読者の皆さんにはなじみ深いところと考えます。

速度ベクトルの面積分 = 未知ベクトルの線積分

$$\begin{aligned} \text{速度ベクトルの面積分} &= \text{未知ベクトルの回転(rot)の面積分} \\ \text{速度ベクトルの回転(rot)} &= \text{未知ベクトルの面積分} \\ \text{未知ベクトルの回転(rot)} &= \text{速度ベクトル } (\xi, \eta, \zeta) \\ \xi = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial v}{\partial y}, \eta = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x}, \zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial w}{\partial y} \end{aligned}$$

速度ベクトルの回転(rot) = 渦ベクトル (ξ, η, ζ)

= 未知ベクトルの2次微分方程式

$$\frac{\partial \omega}{\partial z} - \frac{\partial \eta}{\partial z} = \xi = -\nabla^2 F, \quad \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial \omega}{\partial x} - \eta = -\nabla^2 Q, \quad \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = \zeta = -\nabla^2 H$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

Poissonの方程式(重力場、電場、渦場)と解の形式

重力場 $\nabla^2 P = -4\pi\rho$

電場 $\nabla^2 Q = \rho/\epsilon_0$ 誘電率 ϵ_0 の作る電場 $\nabla^2 V = -\rho/\epsilon_0$

渦度 ζ/ρ の作る速度場 $\nabla^2 F = -\zeta/\rho$

誘起速度と距離、渦との直交性(×は何の表示か)

$$F = \frac{1}{4\pi} \iint \left(\frac{\zeta}{r^3} dx dy dz' \right) \delta F = \frac{\zeta}{4\pi} \iint dx dy dz', \quad \delta u = -\frac{1}{4\pi} \left\{ (y-y')\zeta - (z-z')\eta + \frac{(x-x')\omega}{r^3} \right\}$$

$$\delta u \cdot (x-x') + \delta \eta \cdot (y-y') + \delta \omega \cdot (z-z') = 0 ; \text{ 直交ベクトルに直交}$$

$$\delta u \cdot \zeta + \delta \eta \cdot \eta + \delta \omega \cdot \omega = 0 ; \text{ 渡ベクトルに直交}$$

$$\delta \zeta = \sqrt{\delta u^2 + \delta \eta^2 + \delta \omega^2} = \frac{1}{4\pi} \omega \frac{dx dy dz'}{r^3} \sin \theta = \frac{1}{4\pi} \rho \frac{ds}{r^3} \sin \theta$$

直線渦糸の作る速度場

$$\omega'(\zeta, \eta, \omega) \quad (x, y, z) \quad (u, v, w)$$

$$\zeta = \frac{\Gamma}{4\pi} \int_{-\infty}^{\rho} \frac{ds}{(1+s)^{1/2}} = \frac{\Gamma}{2\pi r}$$

図-6 ビオバザールの法則の導出

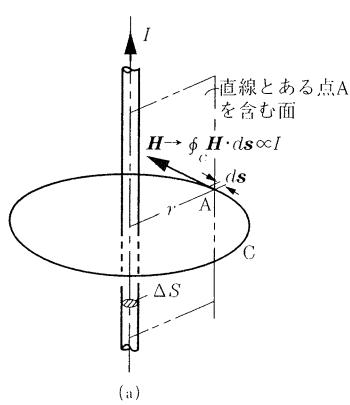
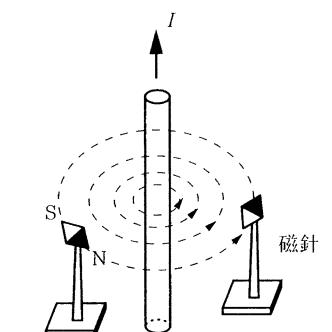


図-7 電磁誘導現象



水泳の話（2）

前回は泳者の身長と抵抗との関係について簡単な計算をしてお見せしました。但し、これは水面に浮かんだ状態のマネキン人形を曳いた場合に相当しています。体の各部を動かし推進力を作り出す泳ぎの実態とはかなり違う可能性があります。この様な泳者の実態に少しでも近づくべく、まず、泳法の分類・分析から始めます。競泳の種目としてはクロール、バックストローク、バタフライおよびブレストロークがあります。夫々のタイプを図-1に示します。このうち、クロールとそれをひっくり返した様なバックストロークは人間以外の自然界では見られませんが、バタフライは鯨等の水中に生活する哺乳類において、ブレストストロークは蛙等に見られる泳法です。鰐や蛇、魚類等身体を左右に動かす泳法は人間には無理でしょう。

クロールおよびバックストロークは、左右の腕を交互にオールの様に水中に入れしで水を押す運動と左右の足を交互に上下に動かして、スクリューの様に水を後方へ蹴り出す運動によりそれぞれ推進力を得ます。言い遅れましたが、水を押す、あるいは蹴り出す事によって、水に運動（エネルギー）を与え、その反力として推進力が得られます。運動を模式化して、これに流体力学的な考察をします。腕のうごきは肩から肘までの上腕Aと肘から手首までの下腕B及び手首の先の手Cが回転するヒンジで結合しており、A, B, Cは水中を移動する際に出来るだけ水を後方に動かす様に夫々の角度や速度を調整していると考えます。速力Uで進みつつ、回転角速度 ω で動かすとします。これは、準定的には、A, B, Cの各微小部分が U および ω によって合成された長さ方向の速度の流れから受ける抗力を手から肩までの腕全体に、かつ水中に入ってから出る迄の時間に関して積分した力が反力として推進力になると考えます。なお、水中に入れたA, B, C部分を斜め横方向に動かし、櫓のようにB, Cに揚

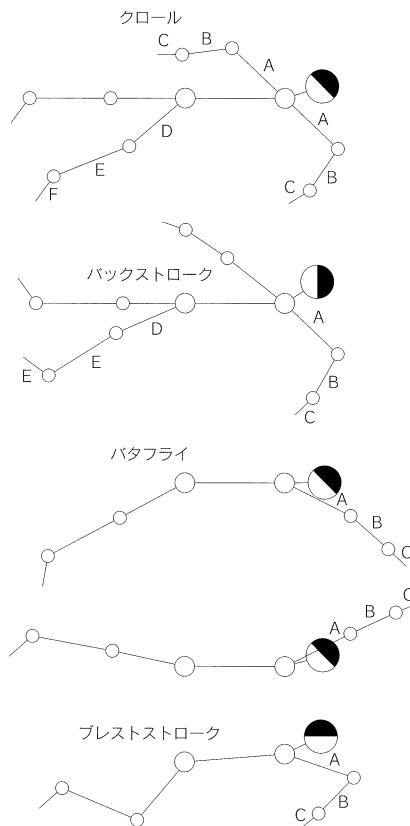
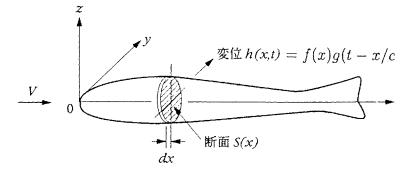


図-1 泳法比較

力を発生させて推力を得る方法も有得ます。足の場合は左右の足の上下動により水に長さ方向へ運動量を与える事により推力を得ます。すなわち、太股の部分D, 脛の部分Eおよび足の部分Fが夫々ヒンジで結合して、鯨の足びれの様な形態となると考えられます。このようなメカニズムについて、魚の泳ぎに関する研究成果を参考に説明を試みます。

細長い魚の泳ぎについてライトヒルが提示した方法を図-2に示します。すなわちCという速度で進む波の形に体をくねらせて、Vという速度で進む細長い魚の発生する平均的な推進力Tと推進効率 η は、運動が $h=f(x) \cdot g(\tau - X/C)$ で表わすとすると、波速Cが前進速度Vより大きく、尾端での振動振幅の勾配が0となるのが望ましい事が判ります。又、ライトヒルの解析では、



魚の平均推力と推進効率

$$\bar{T} = \frac{1}{2} \left[m_a \left\{ \left(\frac{\partial h}{\partial t} \right)^2 - V^2 \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 \right\} \right]_{x=0}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{2} \left\{ \frac{\bar{v}^2}{v(\partial h / \partial t)} \right\}_{x=0}$$

$$\bar{T} = \frac{1}{2} \left[m_a \left\{ \left(1 - \frac{V^2}{c^2} \right) f^2 g'^2 - V^2 f'^2 g^2 \right\} \right]_{x=0}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{2} \left\{ \left(1 - \frac{V}{c} \right)^2 f^2 g'^2 + V^2 f'^2 g^2 \right\} / \left\{ \left(1 - \frac{V}{c} \right) f^2 g'^2 \right\}$$

$f'(l) = 0$ とおけば両式は著しく簡単化されて、

$$\bar{T} = \frac{1}{2} \left\{ m_a f^2 g'^2 \right\}_{x=0} \left(1 - \frac{V^2}{c^2} \right)$$

$$\eta = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{V}{c} \right)$$

図-2 魚の推力と効率

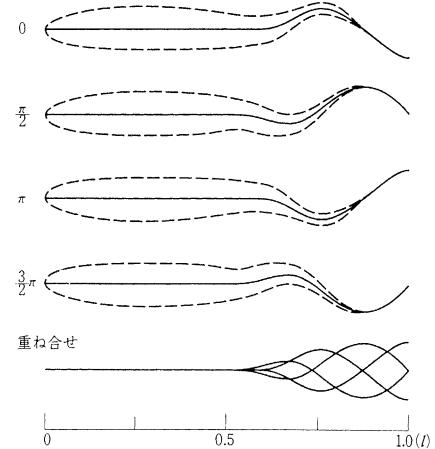


図-3 望ましい泳法

図-3に示す様に体の前半分は殆ど運動せず、後半部のみが運動する形態が望ましいとされています。

次に、上下方向の往復運動と前後方向のピッキング角の変化運動をしながら、一定の速度で前進する対称断面翼の推進力発生の様子を図-4に示します。この関係を図-5に示す2点ヒンジ振動翼の推力発生モデルで説明されています。詳細は次回になりますが、泳者の足のモデルに大

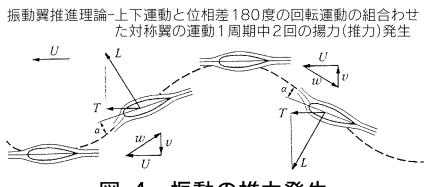


図-4 振動の推力発生

2点ヒンジ振動翼モデル

揚力、抗力、モーメントによる推力係数: $C_t = C_{tL} + C_{tD} + C_{tM}$
 $\alpha, \alpha', \alpha''$ 動力係数: $C_p = C_{pL} + C_{pD} + C_{pM}$
 アームの揺れ角: α 翼のアームへの揺れ角: β
 アームの揺れ周波数: $f = \omega_0 / 2\pi$ 泳動数: $S_w = U_0 f / R$

計算例

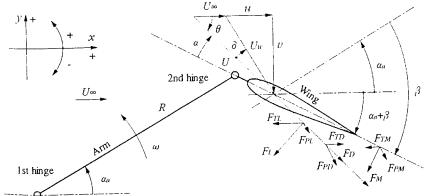


図-5 2点ヒンジ振動翼推力発生モデル

分近づいて来ました。

次にバタフライ泳法ですが、筆者の経験では腰より前、へそのあたりを中心に頭と足を上下に揃えて振動させます。なお、両腕は左右を揃えて、クロールのように水中を動かしますので、推進力発生のメカニズムはクロールの場合と同じです。体の動きの良く似たイルカの動き(体中心軸)の観察結果を図-6に示します。先に示したライトヒルの提示した傾向と違って、頭の方も動いていますが、この方が振動翼本来の姿ではないかとの意見もあります。ブレストストロークは、手足共に水を押す力の反力を推進力としていると考えられます。なお、図-7に抵抗に関係のある排水量長比の値を淡水魚、小型鯨と標準的な人間の値を比べました。人間は哺乳類の為か鯨やイルカに似た値となるのは興味深いところです。なお、図表はシップアンドオーシャン財団刊水棲動物の高速遊泳能力に学ぶより抜粋させて戴きました。

(次号に続く)

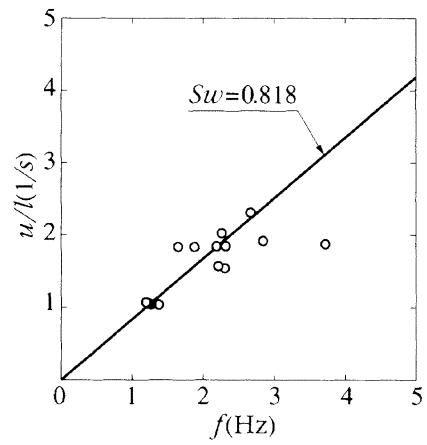
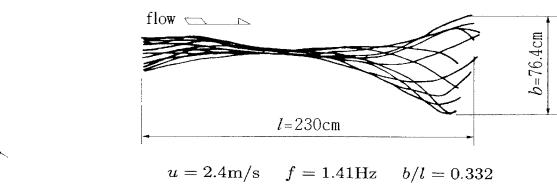
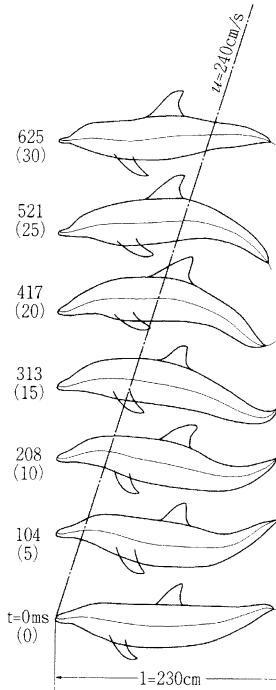


図-6 イルカの泳法

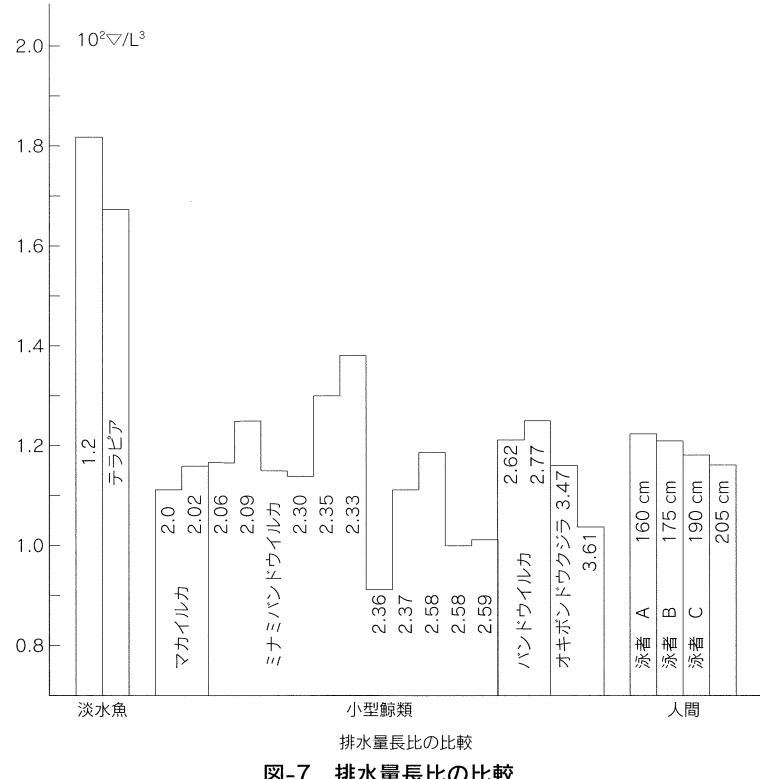
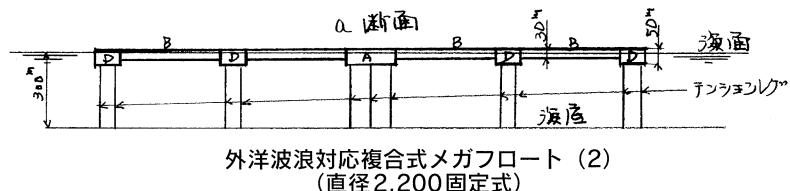
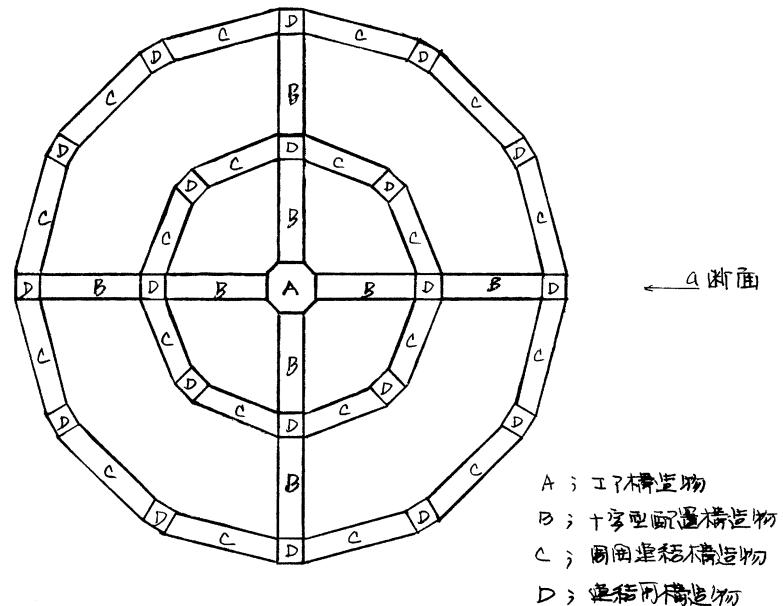
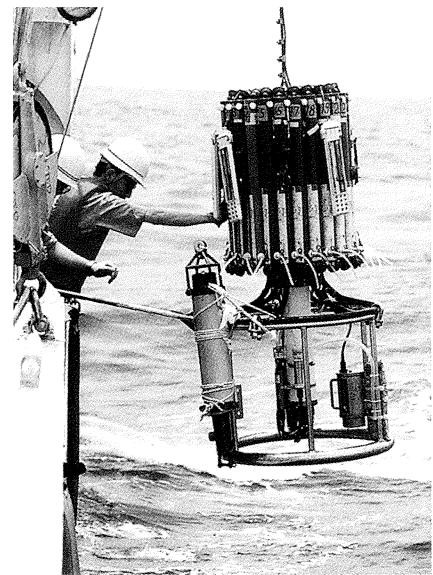


図-7 排水量長比の比較

海洋スペースの利用について

大昔、西ローマ帝国滅亡の頃、アッチラ王に率いられた狂暴なフィン族の攻撃を逃れてアドリア海の奥にある葦の茂る沼沢地に逃げ込んだ弱小部族がありました。彼らベネチア族は沼に杭を打ち込みその上に土を盛って永住の地を建設し、その後の最大の危機であったシャルルマーニュの大軍の攻撃を撥ね返して、地中海から黒海に君臨する巨大な海洋国家を建設しました。ベネチア族が葦の間に小船を乗り入れた頃の西ヨーロッパを襲つた危機は、ユーラシア大陸のほぼ全域で起きた民族移動であり、その背景には地球規模の気候変化があったと推察されています。現在では、2酸化炭素等による温暖化とそれによる気候変動や海面の大幅な上昇が懸念されており、2酸化炭素発生削減対策が世界的に検討されています。しかしながら、すでに排出され、又排出され続けている膨大な量、国際的合意の難しさ等より、気候変動や海面上昇は避けがたいという意見もあります。そうであれば逃げる対策ばかりではなく厳しい現実に立ち向かう対策も必要かと思います。海面上昇による国土の喪失にたいしては、防潮堤の嵩上げや埋め立てても必要でしょうが、ベネチア族の様に海のなかに生活空間、即ち、新たな国生みを志してはどうでしょうか。陸地から遠く離れた広大な海洋の真中に国土を建設するのです。その様な国土の基本的な形態として図に示すような超大型海洋構造物を考えてみました。即ち、核となる円筒形の大型係留浮体を中心とし、長さ数百メートルの箱型浮体を伸ばしていくことにより非常に大きな係留浮体の組み合わせたシステムが得られます。夫々の浮体構造物の中に陸上の生活と変わらない生産、消費、流通等が可能な装置や居住区を設けて、1つの独立した有機体としての機能を持たせます。一生を海上の国土で過ごす海族も現れるでしょうが、利根川や隅田川の小船の上で生まれ、川と共に生きる水上生活を見ていたのはついこの前の様に思い出します。発想の転換と言う

程でもありませんが、2000年の夜明けを告げる鐘の音を聞きながら1文ものにしました。なお、ベネチアはその後、トルコ帝国との戦争に疲れ、ナポレオンにより独立国からイタリアの一都市になりましたが、その輝きは現在も人々を引きつけて止みません。



外洋波浪対応複合式メガフロート(2)
(直径2,200固定式)

雑感—2 1世紀に向けて—

20世紀の造船技術の大きなトレンドに、船の大型化、高速化というものがありました。戦争の世紀を代表とする大艦巨砲、そして戦後の海上物流量の増加を背景とする商船の大型・高速化(タンカーやコンテナ船がその代表例ですか)です。

これは戦後の世界的な経済発展の当然の帰結ではありましたが、一面、資源・エネルギーの大量消費をも意味し、結果として大量の廃棄物、地球規模の気候温暖化等、種々の困難な課題を生みだすことにつながっています。

こうした課題に対し、例えば自動車産業では、世界的な規模のグループ再編成、最近のモーターショーに見られるような種々のエコカーにより、各企業がそれ各自の戦略を展開し、来世紀への発展を期しています。造船業界の場合、船舶がこれらの課題に寄与する割合は相対的に大きくなく、かつ企業の生存の可否を制する程のものとも思えません。とはいえIMOがNOx, SOxを2000年を目途に削減することを決定し、次の目標としてCO2の削減も視野に入れる等、環境問題はやはり避けて通ることができない問題となるでしょう。

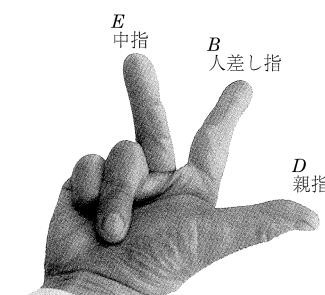
運航経済性の面からの商船のエネルギー消費量の削減は、今後とも続けていかねばならない永遠の課題です。今後は併せてNOx, SOx, CO2 の排出量を考慮した最適運航等、ソフト面を重視した技術開発

も重要ではないでしょうか。舶用エンジンや燃料のあり方が変わってくることも考えられます。最近開催されたシンポジウムでは、東大名誉教授の平田先生が“地球温暖化抑制と舶用機関の将来”という講演の中で、陸上での発電、産業、家庭、民生全般に関するCO2削減対策に関する検討状況や見通しについて述べられ、船のエネルギーについても、高効率のコンバインドサイクル機関や原子力推進そして水素を用いた燃料電池へ、といった将来の展開を示しておられます。最終的には、建造から解散までの船舶が生涯に排出する環境負荷物質、消費するエネルギーを総合的に考えるLife Cycle Assessment (LCA) 的なアプローチによって造船技術や船舶を評価する手法も必要でしょう。

2000年代の造船業界は、低船価による厳しい受注競争により幕があがることは確実な情勢です。このような状況の中で次の時代を見据えた技術開発を行うことは困難なことかもしれません。しかし、技術によって諸悪の根元である低船価競争の悪循環を断ち切ることも重要な戦略のように考えます。環境問題対策を軸とした技術開発は、その戦略のための重要な鍵になるのではないうでしょうか？ 20世紀の日本造船センターの活動をじっくり考えてみたいと思っています。



左手の法則



右手の法則

雑文 フレミングの法則について

渦の話しおついで電磁誘導について簡単に触れましたが、ここでフレミングの左手の法則と右手の法則について紹介します。ビオサバルの法則により電流はその直角方向に磁界を作り、その磁界は電流に力を与えます。それらの方向を示すのが左手の法則です。次に回路が磁界の中を移動すると回路中に電気が作られます。回路の運動方向と磁界および発生する電界の関係が、フレミングの右手の法則です。前者がモーターの、後者が発電機の原理です。

編集後記

我国宇宙開発産業の基盤とも言えるロケットの発射失敗とそれを忘れさせるかのようなスペースシャトル上の毛利さんの活躍が報じられました。自主技術こそ國の基盤と一途に思い続けた世代にとって複雑な思いを抱かせました。他人の……は決して悪いことではありませんし、又、事情も知らず安易な判断は良くありませんが、造船の分野では他国の毛利さんに活躍の場をあたえる側にまわりたいものです。(K.T)

平成 12 年度技術士第二次試験（国家試験）のお知らせ

－技術士法に基づく「技術士」になるための試験－

1. 受験申込受付期間(予定)及び受付場所

期 間：平成 12 年 3 月 27 日（月）～ 4 月 7 日（金）（土曜日・日曜日を除く。）

時 間：午前 10 時～正午及び午後 1 時～午後 5 時

受付場所：社団法人 日本技術士会 技術士試験センター

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 4-1-20 田中山ビル 8 階 電話 03-3459-1333

2. 試験の日時

①筆記試験

日 時：平成 12 年 8 月 23 日（水）…建設部門

〃 24 日（木）…機械、船舶、航空・宇宙、電気・電子、化学、繊維、金属、資源工学、水道、衛生工学、農業、林業、水産、経営工学、情報工学、応用理学、生物工学、環境の各技術部門

午前 9 時～正午及び午後 1 時～午後 5 時

②口頭試験（筆記試験合格者のみ）

日 時：平成 12 年 12 月上旬から 12 月中旬までのうちの 1 日

3. 試験科目

19 技術部門の中から 1 技術部門を選択。「船舶部門」については次のとおり。

①必須科目	船舶一般
②選択科目 及び選択科 目の内容	船体、造船工作及び造船設備：商船、特殊船、漁船、浮遊式海洋構造物その他の船舶の船体（プロペラを含む。）の性能、構造、工作及び建造に関する事項 船台、ドック、造船機械工場その他の造船設備に関する事項 サルベージに関する事項 舶用機械：舶用原動機、機関補機、舶用電気・電子機器、甲板機械その他の舶用機械に関する事項 上記 2 科目のうちから 1 科目を選択

4. 試験地

①筆記試験地：札幌市、仙台市、東京都、新潟市、名古屋市、大阪府、広島市、福岡市、那覇市

②口頭試験地：東京都

5. 受験資格

次のいずれかに該当する者が第二次試験を受けることができます。

①科学技術（人文科学のみに関するものを除く）に関する専門的応用能力を必要とする事項についての計画、研究、設計、分析、試験又は評価の業務（補助的業務を除く）に従事した期間が通算して 7 年を超える者。

②技術士補として技術士を補助したことがある者で、その補助した期間が通算して 4 年を超える者。

注：年齢・学歴による制限は一切ありません。

6. 受験申込書の請求先・詳細についての問い合わせ先

科学技術庁長官指定試験機関

社団法人 日本技術士会 技術士試験センター

〒105-0001 東京都港区虎ノ門 4-1-20 田中山ビル 8 階 電話 03-3459-1333

受験申込書の請求方法

返送先を明記し、270 円切手を貼った角形 2 号の返信用封筒と、郵便定額小為替 700 円分を同封して上記住所まで依頼文書を送付して下さい。

（受験申込書用紙、受験の手引等は、2 月中旬から配布いたします。）

申込みの受付

試験等の申込み、問合せは右表の番号までお願いします。

〒171-0031 東京都豊島区目白 1-3-8

TEL 03-3971-0266 FAX 03-3971-0269

財団法人 日本造船技術センター(SRC)

電話機のダイヤルイン方式導入についてのご案内	
●役員及び総務部	03-3971-0266
●技監	03-3971-1074
●流体技術部長	03-3971-0259
●流体技術部 涉外担当及び試験課	03-3971-0268
●流体技術部 技術課	03-3971-0296
●エンジニアリング部	03-3971-0267
●ファックス番号	03-3971-0269