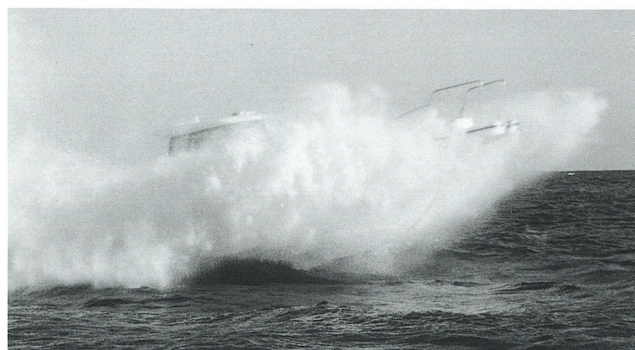


●目次●

乱流について その構造とエネルギー遷移	Page 2
小型船艇におけるサイドスラスタ 適用の現状について	Page 4
釜石市の新観光船『はまゆり』 について	Page 6
気候に及ぼす海洋の役割について	Page 8
フラクタルへの道 不思議な国の図形	Page 10

小型高速艇の安全性へ向けて

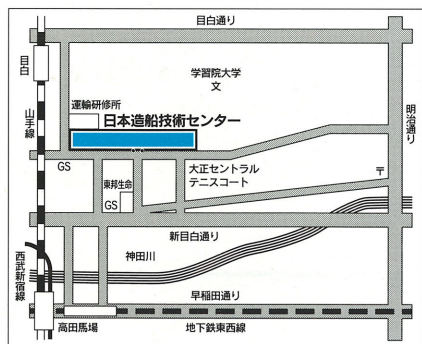


夏です。マリンスポーツの季節が来
ました。マリンスポーツの花形は何と
言っても、素敵なモーターボートで、
大海原を自由奔放に走りまわりながら、
フィッシングやダイビングに興じるこ
とでしょう。派手なスポーツカーがハ
イウェイを走って行くのにも似たマリ
ンスポーツの場合にも忘れてはならな
いことは安全運転です。

安全運転の基本の一つはドライバー
のマナーであることは言うまでもあり
ませんが、モーターボート自体が安全
な乗物でなければなりません。海上に
は陸上のような舗装道路も、整備され
た標識也没有。自然の波、風、
潮流が我物顔に振る舞う世界です。失
礼ですが、ドライバーの方々も一般的

には、エキスパートとは言えるような
方は少ないと言えるでしょう。これを
強いて、陸の上に例えると、山の中の
ダートロードを全速で走って行くよ
うなものですから、ドライバーのマナ
ーもさることながら、モーターボート
それ自体の構造、機能の面で安全運転
を十分に支えるものでなければなりま
せん。日本小型船舶検査機構（JCI）
においては、以上のような観点から、
小型高速艇の安全性の向上に日夜努め
られておられますが、造船技術センタ
ーも、JCIのご指導のもとに、小型
高速艇の安全性を目指しての活動を続
けております。

写真は那一環として行われた、実
海面での高速航走試験の様子です。



財団法人 **日本造船技術センター**
〒171 東京都豊島区目白1丁目3番8号
TEL 03(3971)0266 FAX 03(3971)0269

乱流について

— その構造とエネルギー遷移 —

1. はじめに — 流れの変化について —

水の流れは千変万化である。流れの特徴である渦については、人類は古代の遺跡のなかに抽象的なシンボルとして残して来た。渦の流れを科学的な目で観察した初めての人は天才レオナルド・ダ・ビンチであろう。図-1は彼が残した物体の後方に生じる乱れた流れのスケッチである。ブラントな物体前方の自由表面に生じる現象から後方に生じる渦の流れの特徴が的確に描かれており、興味はつきない。

このような流れの特徴を写真によって捉えているのが、図-2に示す円柱のまわりの流れである。流れの様子がレイノルズ数によって変化することは前世紀にオズボーン・レイノルズの実験によって示されて以来、流れの観察は近年になっても続けられて来ている。写真よりレイノルズ数が非常に低い場合、流れは、理想流体のように、円柱の前後左右の流れの様子は良く似ているが、レイノルズ数が大きくなるに従って、円柱の後端に、左右対称な渦が発生し、次第に大きくなり、後方に伸びて行く。レイノルズ数がある値となると、細長く伸びた渦が千切れて左右交互に渦を流れの中に放出するようになる。ここに到ると流れは左右非対称となり、時間的にも変動するようになる。更にレイノルズ数を上げると、流



図-1 レオナルド・ダ・ビンチのスケッチより

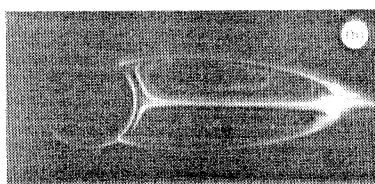
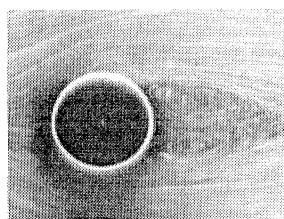
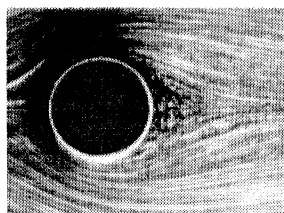


図-2 円柱後方の流れ
(レイノルズ数による変化)

れは複雑な様相を示す乱流に一変する(図-3)。

乱流の状態では、個々の部分は空間及び時間的に複雑に変動しているが、全体としては、漠然としてではあるが一定の流れの特徴が認められる。すなわち、円柱のまわりの流れで言えば統計的には、中心線に対し対称で、時間変動の無いレイノルズ数の低い流れの性質に似てくるといえる。

2. 乱流の構造について

粘性流れの特性を表わすナビエ・ストークスの式によって、乱流の基本的な性質を調べることにしよう。流れのある場所(x)、時刻(t)での速度をu、圧力をpとし、これらを大文字U、Pで表す平均値と $\hat{\cdot}$ を付した $\hat{u}$ 、 $\hat{p}$ で表す変動の和、すなわち $u = U + \hat{u}$ 、 $p = P + \hat{p}$ で表して、ナビエ・ストークの方程式に代入して平均す

る。紙面の制限で簡便なテンソル表示で表すと以下のとおりである。

$$\begin{aligned} & \partial U_i / \partial t + v_j \partial U_i / \partial x_j \\ &= -\frac{1}{\rho} \partial P / \partial x_j + \nu \partial^2 U_j / \partial x_j^2 \\ & \quad - \frac{1}{\rho} \cdot \partial (\rho \hat{u}_i \hat{u}_j) / \partial x_j \end{aligned}$$

但し、(i=1,2,3; j=1,2,3)で夫々の番号は直行座標系で言えば、

(x,y,z) ($\hat{u}$, $\hat{v}$, $\hat{w}$) (U,V,W)に相当する。

上式の右边第3項はレイノルズ応力と呼ばれる乱流特有の項であり、乱れの運動エネルギー

$$E = \frac{1}{2} (\hat{u}^2 + \hat{v}^2 + \hat{w}^2)$$

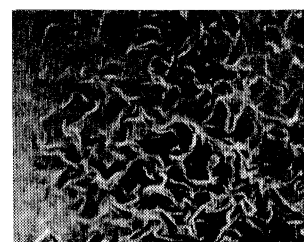
速度相関

$$(\hat{u} \hat{v}, \hat{v} \hat{w}, \hat{u} \hat{w})$$

より成っている。

変動が微小な場合は右边第3項のない層流の式となり、変動スケールの大きい場合は粘性影響を示す右边第2項に対して右边第3項が大きくなって来る。

乱流は図-4に示すように色々な波数を持った波を重ね合わせた現象として捉えられ、フーリエ級数という便利な式によって表される。又、レイノルズ応力によって表される乱流のエネルギーは波数kを渦の大きさのメジャーとするスペクトルの形で図-5のように表される。この図は乱流のエネルギーは色々な規模の渦のエネルギーより成り、大きな渦に与えられたエネルギーは中規模の渦に伝えられ、更に小規模の渦に伝えられ、小規模な渦の領域で粘性散逸によって熱になることを示している。



拡大図

図-3 乱流のパターン例

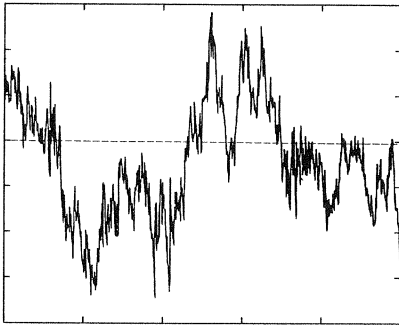


図-4 乱流現象の時間変化例

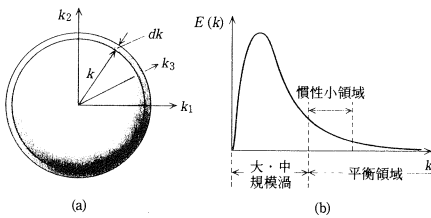


図-5 一様等方性乱流のエネルギースペクトル。(a) 波数空間、(b) エネルギースペクトル

この関係は乱流エネルギーの供給を示すパラメータ $\epsilon = -dE/dt$ と粘性によるエネルギー散逸を示す動粘性係数 ν で表わすと、小規模な渦の領域（平衡領域）でのエネルギーの釣り合から、

$$E(k) = \epsilon^{1/4} \nu^{5/4} F(k/kd),$$

$$kd = \epsilon^{1/4} \nu^{-3/4} \text{ というコロモゴルフの}$$

平衡領域スペクトルが得られる。乱れのスケールの大きな、粘性の影響の小さいところ（慣性小領域）ではエネルギーは

$$E(k) = C \epsilon^{2/3} k^{-5/3}$$

という関係（コロモゴルフの-5/3乗スペクトル）が得られる。定数Cは1.3~1.7の範囲にあるとされている。 ϵ の意味を説明するために、物体背後に生じる渦のエネルギーを考えてみよう。図-6のような自動車の時間あたりのエネルギー消費は抵抗×速度で表わせる。

このエネルギーの流体の単位質量あたりの消費率は

$$\epsilon = W/\rho L^3, \text{ ここで } W = \frac{\rho}{2} C_D L^2 U^3$$

であるから、

$$\epsilon = \frac{U^2}{2} C_D / (L/U)$$

となる。

分子は流れの質量あたりのエネルギー、分母は流体がLの距離を動く時間を表してい

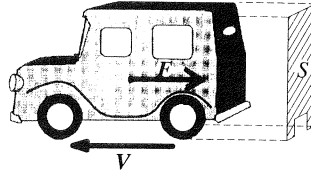


図-6 ϵ の説明図

る。すなわち ϵ は渦が流体の現象の代表的な長さを移動する際に運ぶ単位質量あたりのエネルギーを示している。ここで抵抗係数 C_D はレイノズル数が充分大きいとほぼ一定であるから、 ϵ には殆ど粘性の影響がないこととなる。

図-7 に乱流スペクトルの一例を示す。すなわち渦の規模の微小なところ以外の広い範囲ではコロモゴルフの-5/3乗則が成立し、更に大規模な渦の範囲で異なった関係が示されている。

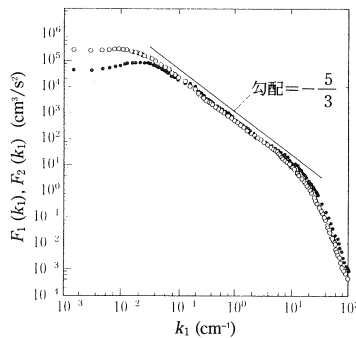


図-7 コロモゴルフのエネルギースペクトル

3. 乱流現象の例

図-8 に血管の中の拍動流、図-9 に水面の砕波、図-10 に大気圧の変動、図-11 に海の表面温度の現象を夫々のエネルギースペクトルで示す。以上からコロモゴルフの-5/3乗則は色々な現象に共通に現れる普遍的な法則であることが分かる。

4. おわりに

以上で、コロモゴルフによって示された比較的大きなスケールで均一な乱流の強さが支配的な条件下での乱流エネルギーに関する法則を示した。しかしながら数十キロ、数百キロから大洋の大きさに匹敵する渦からごく小さなスケールの渦までを支配する法則、あるいは不均一な分布による影響等

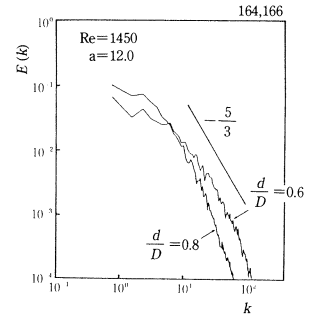


図-8 血管中拍動流

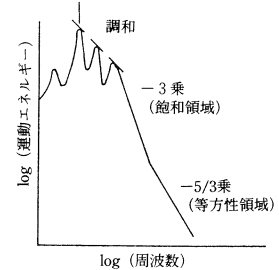


図-9 砕波下の流速変動

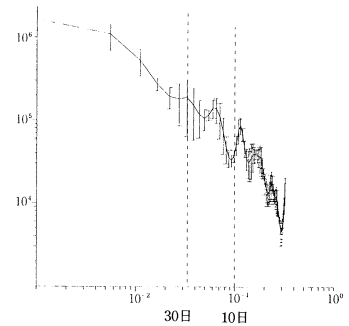


図-10 大気圧の変動

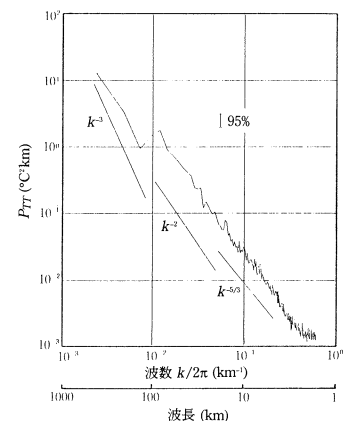


図-11 海面温度の変動

未解決の問題は多い。

このような中で、我々の対象とする船体まわりの流れをどのように位置付け、かつ、取り組むかが大きな課題である。

小型船艇におけるサイドスラスタ適用の現状について

1. はじめに

港内の離接岸や方向転換、狭水路中や大洋中の低速航行時の航路保持、作業中の位置保持等の為の操船装置として、サイドスラスタは船や海洋構造物に広く採用されている。

近年におけるフェリーの大型化高速化は、洋上の時間短縮と同時に港内における時間短縮も要求され、離接岸に要する時間の短縮の観点から、サイドスラスタによる操船能力の向上が図られている。又、海洋汚染防止や都市近郊のプラント基地における災害防止等より、タンカーやガスカリヤーにおける操船能力向上は重要な課題である。

小型船艇の分野にあつては、例えば高速客艇において、ごく少人数の乗組員により短時間内に離接岸を行う必要があることや、漁船、作業船、調査船において、作業時に大きな横力を出したり、位置の保持等の能力が必要とされている。更に、遊漁船のような19GT未満の小型舟艇においては、瀬渡しや好ポイントの保持等の低速時操船能力の向上が評価されて、サイドスラスタ採用の実績が増加している。

以上のような背景のもとに、国内サイドスラスタメーカー各社は、公称推力50kgの小型のものから、大型船を対象とする40トン程度までの広範囲な機種を揃えて対処している。

サイドスラスタの力量や寸法の決定には以上のような豊富な経験を有するメーカー各社に依頼する事例が多いと思われるが、初期設計における検討に際して、サイドスラスタの力量や寸法の概略を求める程度の検討の為に、実績をベースとした設計資料が発表されている(1)。

しかしながら、これらは大型船を対象とした資料であり、小型船艇を対象としたデータは皆無のようである。

本稿は、以上のようなサイドスラスタに関する現状を背景に、主として小型船艇を対象とするサイドスラスタの機

種、力量、寸法を調査整理し、これらをベースに設計資料としてまとめた結果を紹介する。

2. 小型船艇を対象とするサイドスラスタの現状 —製品調査結果

小型船艇を対象とするサイドスラスタはモーター出力5PSのものから、300PS程度の機種がある。

なお、機種としては円筒型のダクトの中に固定ピッチのインペラを収めた方式が最も多く、可変ピッチインペラ方式の機種を大きく上回っている。又、浅喫水船を対象とするダクトを「へ」型に曲げて、水流を斜め下方に噴出する方式や船底から水を吸い込み両舷あるいは片舷に噴出する方式やオムニ方式と称する噴出口に取り付けてあるシャッターによって水の噴出方向を変える方式もある。

サイドスラスタの駆動方式としては、電動モーター駆動、ディーゼル機関駆動および油圧ポンプ駆動方式があり、搭載船の条件に適した方式が採用されている。又、可変ピッチプロペラ、舵およびサイドスラスタを組み合わせ、より高度の操船機能を目指す操船システム(ジョイスティックシステム)も実用化されている。

3. 初期検討データ

サイドスラスタの出力や推進を概略決める方法として造船設計便覧に記載の資料を抜粋して以下に示す。

図3-1および図3-2は船長と喫水および水線上側面積とサイドスラスタ駆動馬力との関係のデータをプロットしたものである。

図3-3から図3-5はHawkinsらの方法と称し、排水量(LT)より、回頭角速度のあるべき値を図3-3から求め、図3-4および図中の式によって必要な推力を求め、図3-5によってダクト面積を仮定した上で、必要な馬力を求めることが出来るようになっている。しかし

ながら、記載のデータは殆どが1000トン以上の船であつて、小型船艇を対象とするには適当ではないと考えられる。

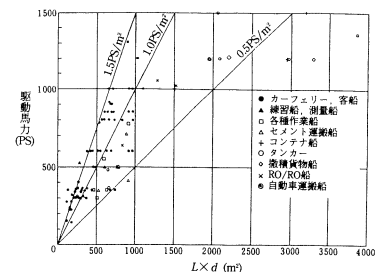


図3-1 パウスラスタの装備実績(1)

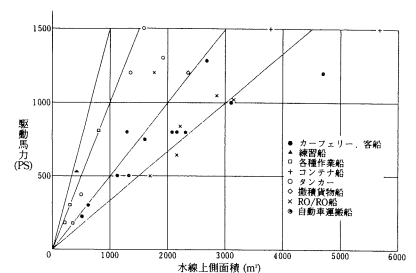


図3-2 パウスラスタの装備実績(2)

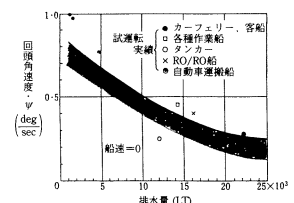


図3-3 パウスラスタ要目推定図表(1)

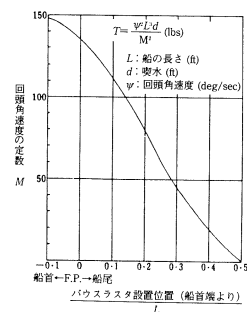


図3-4 パウスラスタ要目推定図表(2)

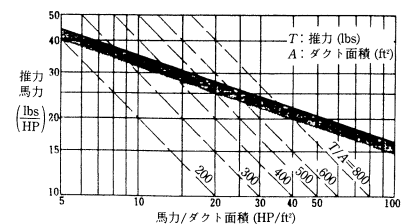


図3-5 パウスラスタ要目推定図表(3)

4. サイドスラスターの要目選定について

前述した製品カタログや大型船を対象とするサイドスラスター能力決定方法を参考にして、小型船用のサイドスラスター能力や要目を大略選定する手法を以下のように提案する。図4-1に推力と出力の関係をプロットして示している。推力/出力比（ T/P ）は通常のサイドスラスターでは10～13程度であるが、「へ」字型に曲がったダクトや船底より吸い込む方式では9～10程度である。必要な推力が与えられれば、対応する出力を求めることが出来る。図4-2および図4-3に推力、出力、インペラ直径および回転数との関係をプロットして示す。推力を与えることにより、インペラ直径とインペラ回転数を求めることが出来る。

基本となる必要な推力を求める方法としては、図4-4に船種毎に $A=T/L \cdot d$ の実績を比較して示す。すなわちタグボートでは $A=13 \sim 25$ 、遊漁船では $A=5 \sim 27$ 、フェリーでは $A=11 \sim 20$ であるが、小型船艇ではタグボート、遊漁船およびフェリーの平均値として $A=16$ 程度としておくのが無難であろう。但し、船の条件により変化する事を考慮する必要がある。必要な回頭角速度を得るために、サイドスラスター推力はどうあるべきかについて、以下のような簡易式によって検討する。すなわち、回

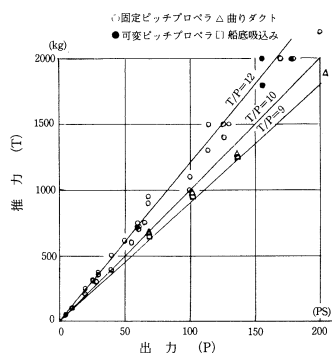


図4-1 小型船用サイドスラスター推力・出力資料

頭角速度（deg/sec）は以下のような式で表せる。

$$W_0 = K_1 \times K_2 \sqrt{T} / (L \cdot d \cdot L^2) \\ = K_1 \times K_2 \sqrt{A} / L$$

$$K_1 = 36.6 \sqrt{0.5 - a}, \quad K_2 = 0.75$$

a は F. P. 又は A. P. からバウスラスターあるいはスタンスラスターまでの距離と船長の比を示す。

小型船艇におけるバウスラスターを対象として、S.S.No. 9 1/2 の位置に設置するとすると以上式は

$$W_0 = 18.4 \times \sqrt{A} / L$$

となる。図4-4のフェリー、遊漁船やタグボートの平均値として $A=16$ により、 $W_0 = 73.6 / L$ （deg/sec）となる。データの最大値に近い $A=25$ 、低目の値 $A=9$ を含めて、船長（ L ）と必要とされる回頭角速度の関係を図4-5に示す。船長（ L ）が90m～100m程度での W_0 の値はHawkinsの方法中の図表に示されている値とほぼ一致する。図4-5をガイダンスとして、船長（ L ）より回頭角速度 W_0 を求め、

$$T / L^3 \times d = 2.95 \times 10^{-3} \cdot W_0^2$$

によって推力を求めることが出来る。

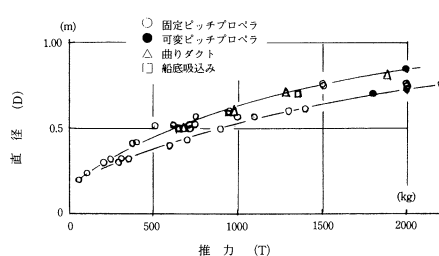


図4-2 小型船用サイドスラスター推力・インペラ直径、回転数資料（1）

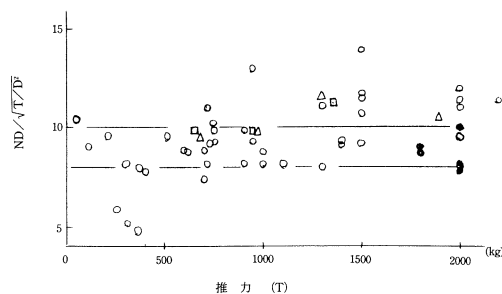


図4-3 小型船用サイドスラスター推力、出力、直径回転数資料（2）

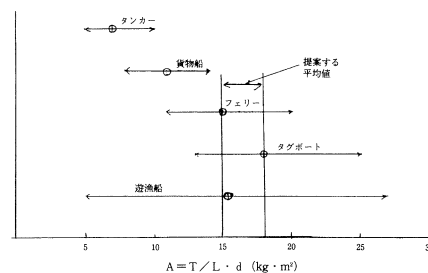


図4-4 サイドスラスター必要推力例

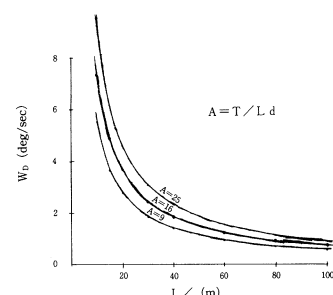


図4-5 回頭角速度と船長との関係

5. おわりに

サイドスラスターメーカー各社の資料や大型船に関する初期検討方法を参考にして小型船艇を対象とするサイドスラスターの検討方法を提案した。出来るだけ簡便で、役に立つ方法を意図しているが、一方において理論的な面でのレビューや搭載実績の調査において不完全な事は否定出来ないところであり、これらをご理解の上で利用して頂ければ幸いです。なお、本稿作成の上で協力頂いたメーカー各社に御礼申し上げます。

6. 参考文献

- (1) 造船設計便覧
- (2) サイドスラスターに関する各社カタログ等
 - かもめプロペラ株式会社
 - ナカシマプロペラ株式会社
 - 株式会社マズミ内燃機工業所
 - 三協テクノ株式会社

釜石市の新観光船『はまゆり』について

1. はじめに

本船は釜石市の観光事業振興を目的として建造された双胴型高速旅客船である。就航範囲は、観光を主とする釜石港をベースとした港内外の周航や、陸中海岸に沿って大槌、吉里吉里等を往復する海域で、その他に納涼船、イルカウォッチング等の各種催しや連絡船としての業務にも従事する。

なお、本船は細長型の高速艇型船型に前後2つの双胴間連通の水中翼を装備して、波浪中の運動低減を図っている。一方、船内配置としては広い余裕のある客室や遊歩甲板を設け、観光船としての機能を追求している。更に、身障者の乗船へ配慮して各種の工夫をこらしている。

当センターは、本船の計画から導入に向けてのコンサルタントおよび建造監理を担当したので、その概要を紹介する。

2. 計画の概要

本船の調達については（財）岩手県観光開発公社に委託され、多目的観光船としての機能と人に優しい観光船を基本コンセプトとして、公募によるプロポーザル方式により基本設計がなされた。

本船は陸中海岸国立公園に就航する船にふさわしい優美さとスピード感にあふれた外観を備え、いろいろな観光目的にマッチしうのような広い客室やラウンジスペースを確保している。また、身障者対策として、広い通路や車椅子用のトイレ等を装備している。

(1) 主要目等

全長	28.0 m
登録長	26.8 m
垂線間長	24.8 m
幅	7.6 m
単胴幅	2.7 m
深さ	2.7 m
計画満載喫水	1.3 m
総トン数	109 トン
航海速力	22 ノット
航行区域	限定沿海／平水
旅客定員	平水 229人 限定沿海 160人
乗務員	4人

(2) 主機関等

主機関 ディーゼル 12LAK-ST2
1,100PS×1850rpm×2基

推進器

5翼固定ピッチ/ミッド・プロペラ

目的とする水中翼を前後に2つ装備している。

船体は軽合金製として軽量化を図り、プロペラは5翼固定ピッチハイスキュードプロペラを採用して、船体振動の軽減を図っている。

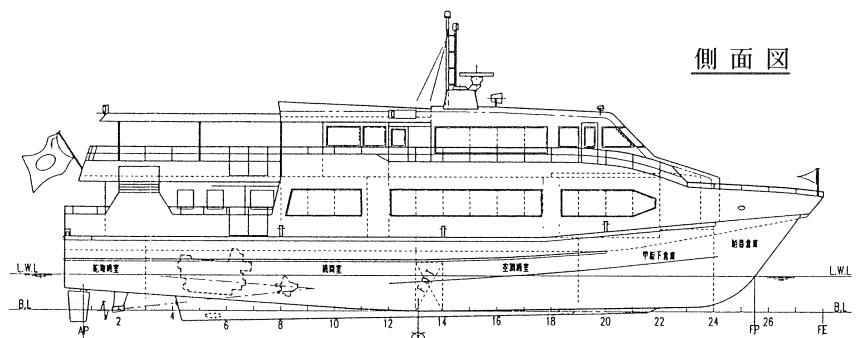
3. 本船の特徴

(1) 船型等

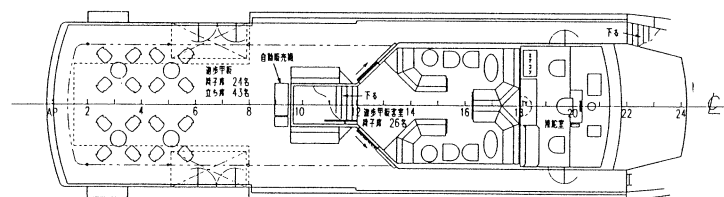
船型は単胴形状をディープV型高速艇とする双胴船であり、遊歩甲板、上甲板を有する。左右の単胴間には波浪中運動低減

(2) 客室等

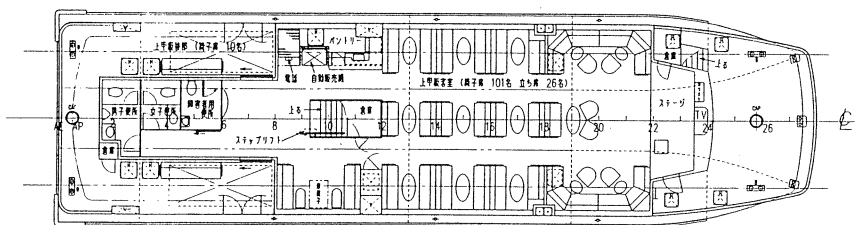
客室（上甲板）の両サイドには一枚ガラス風に仕立てた大きな窓を配し、遊覧時の広い視界を得ると共に、窓際に座席数を多く配することにより遊覧時の快適なスペースの確保を図っている。



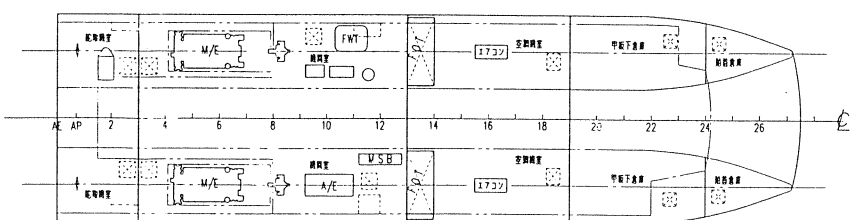
側面図



遊歩甲板



上甲板



上甲板下

図-1 一般配置図

身障者の利用を考慮して、段差を無くした広い通路と共に客席には車椅子用スペースを用意している。また、客室後部中央にある遊歩甲板への階段にはリフターを設置している。

(3) 振動・騒音対策

振動・騒音対策として主機関は防振ゴムで支持すると共に、Vドライブ減速機を採用することにより主機関を客室から離れた船尾側に配置している。

騒音レベル（主機90%出力時に）

上甲板客室中央部	72.5	dB
遊歩甲板客室中央部	65	dB
操舵室	62	dB

4. 試運転等

速力試験、操縦性試験、波浪中の運動計測（水中翼有無状態）、振動騒音計測を行い、所期の性能を得たことを確認した。速力試験にて計測された馬力、回転数および速力と水槽試験結果をもとに推定した値を図-2に示す。馬力と速力の関係は非常に良く一致している。

波浪中における上下方向の加速度計測結果を図-3に示す。水中翼により加速度は50%も減少しており、乗心地の改善に水



写真-1 航走状況

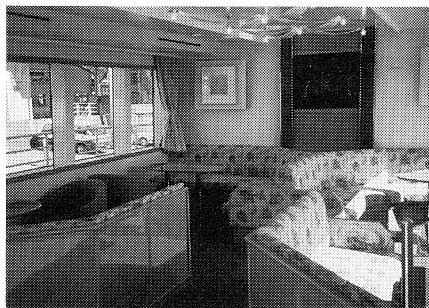


写真-2 ラウンジ



写真-3 電動ステップリフト

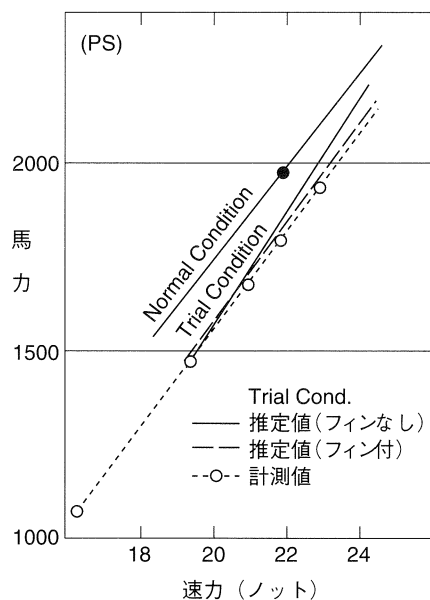


図-2 速力試験結果

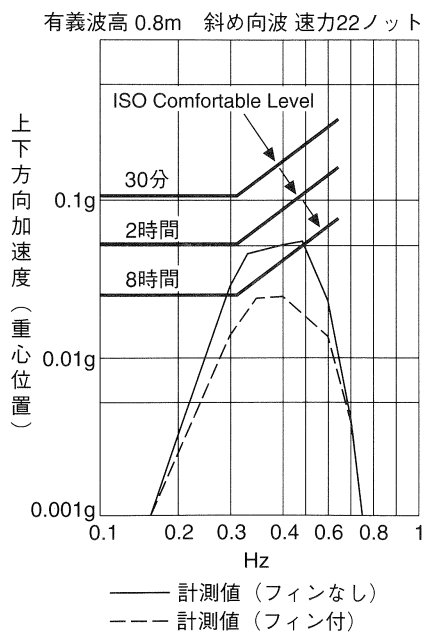


図-3 加速度計測結果

中翼の効果は大きいことが示されている。

振動騒音計測結果は、客室、遊歩甲板上において、ISOのガイドラインを下回っている。

5. おわりに

『はまゆり』は平成9年3月20日に釜石港で引き渡しが行われ、平成9年4月20日より就航している。三陸海岸初の高速双胴旅客船として就航した『はまゆり』の活躍をお祈りすると共に、本船の設計コンサルタントおよび建造監理を進めるにあたり、常にご支援とご高配を賜った釜石市、岩手県観光開発公社、ならびに関係社各位、また、建造にあたった横浜ヨット株式会社は、常に誠意ををもって建造にあたったことを付記します。

気候におよぼす海洋の役割について

1. はじめに

人間活動によって発生する炭酸ガスが急激に増えることによって、地球規模で温暖化が進んでいるとされております。温暖化によって何が起るのか、又、どのような対策を考えるべきか等々、国際的な大きなテーマとなっております。しかしながらその前提として、地球温暖化のメカニズムやその程度等をクリアにする必要があり、その中に占める海の役割の大きな事が指摘されております。私達は海というと海運や水産業という経済的な面から見ることに慣れておりますが、地球環境に及ぼす役割についても理解を深める必要があると考えます。中手船型研究会（HRC）の活動の一環として、東京大学名誉教授の永田 豊先生に「気候と海」というテーマで講演をお願い致しました。本稿及び次稿に先生のご好意によりその内容を掲載致します。なお、文章は永田先生が三重大学退官記念講演会用にまとめた冊子の中から、主要なところを抜粋しております。

2. 局地的気候に与える海洋の影響

暖流である黒潮の洗う紀伊半島や伊豆・房総半島等が暖かいと、よく言われます。黒潮はその上の大気に熱を与えながら流れており、それ自身は徐々に冷えて行きます。ですから、その近くの海域が暖くなるわけです。このことは亜寒帯域で太平洋や大西洋のような大洋を挟んで2つの地点の気温を調べてみるとよく分かります。たとえば、大気から熱を奪っている親潮の影響を受けている北緯43度20分に位置する根室と、大気に熱を与えているアラスカ海流の影響を受けている北緯49度11分のカナダのバンクーバーの気温を比べてみると、前者の年平均気温が12.3℃、後者が9.8℃ですが、それぞれの月平均気温の最も低い時期で比べると、2月の根室が-5.4℃であるのに、ずっと北にある1月のバンクーバーは+2.5℃とはるかに暖かいのです。（すなわちバンクーバーの夏は非常に涼しく、しのぎ易い。）バンクーバーに近い緯度にある極東のハバロスク（北緯48度31分）では、年平均気温が1.5℃に

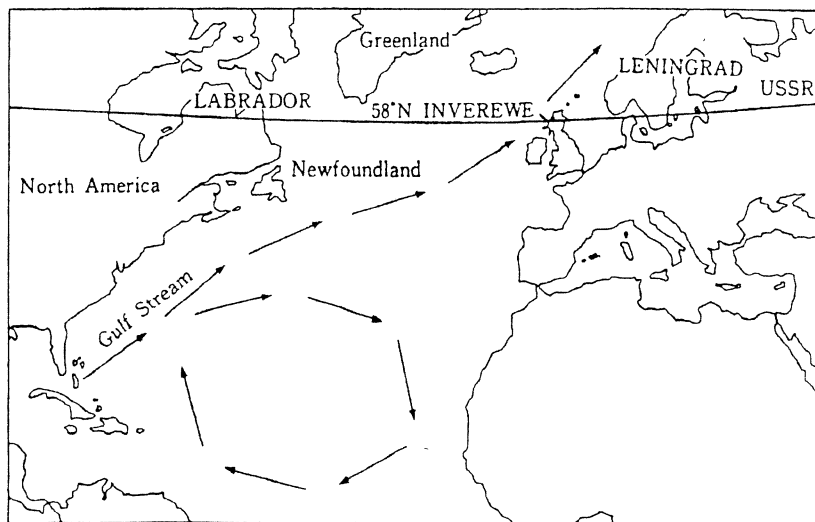


図-1 スコットランドの北部に亜熱帯植物園が存在しえる理由（National Trust for Scotland, Inverewe Subtropical Garden のパンフレット）

過ぎず、最も寒い1月の月平均気温は何と-21.5℃です。同じことは北大西洋についても言えます。連合王国（英国というイングランドだけで、スコットランドもウェールズも入らない。United Kingdomというのが正式名称：国際問題にかかわるという所にも気を使う必要があります！）のロンドンの年平均気温が10.5℃、アメリカのボストンのそれが10.8℃ですから、殆ど同じです。しかし、その位置はロンドンが北緯51度28分であるのに対し、ボストンは42度22分、ロンドンの方がはるかに高緯度に位置しているのです。このようなことは、海流が熱を高緯度の方に運んでおり、ロンドンやバンクーバー沖では、海が大気に盛んに熱を与えることを考えないと説明することは不可能です。私自身がネス湖のネツィイを見るために2泊3日の観光バスに乗った際に見学した、スコットランドの北端近くのあるインバーユーイの亜熱帯植物園では、なんと北緯58度の土地に、亜熱帯の花が戸外で咲き乱れているのです。さらに、北極圏に入ってノルウエー領のスピツベルグ（その一部のスピツベルゲンの方が有名かもしれませんが）は北緯74-81度という北極点のすぐ側の島で、夏ではあるにせよ草花が咲いているのです。図-1に示すように、北大西洋の亜熱帯の水は、連合王国の東岸からスカンジナビアに沿って北上

し、北極海の流入しますが、この海流が多量の熱（このあたりでは太陽が与える熱量に匹敵するか、むしろ多い）がこのような信じられないような暖かい気候を極地にも作り上げているのです。

3. 海洋が担う熱の南北輸送

海洋が大量の熱を運んでおり、気候に大きな影響を与えることは、以上に見てきたことでも明らかでしょう。よく知られているように太陽放射によって地球が受け取る熱量と、地球から赤外輻射の形で地球外に逃げて行く熱量を調べて見ると、赤道付近では熱の供給過剰、極地方では供給不足であることが示されます。これを解消するためには、地球上で熱を南北に輸送する仕組みがなければならず、もしそれがなければ、極地方の気温は現在より数十度も低くなり、赤道域の気温は現在より数十度も高くなります。もしそうなれば、中緯度のかなり狭い範囲にしか生物は生存出来ないでしょう。

この熱の南北輸送を担っているのが大気と海水の大循環です。図-2に地球上の熱の南北輸送を大気と海洋がどの様に分担しているかを示します。全体として見ると、大気のほうが若干多いのですが、北半球の比較的低緯度の部分ではかえって海洋の役割の方が大きいことが分かります。このように地球環境を

決めている最も基本的な要素、熱の南北輸送においても海洋は大気と同じ程度の役割を果たしています。ですから、海洋を抜きにして地球の気候を論ずることは出来ないのです。

図-2で、海洋の運ぶ量と大気の運ぶ量を加えてやると、ぴったりと全体の輸送量になります。ただし、それほど科学が進歩している訳ではありません。種を明かすと、3つを別々に計算したのではなく、人工衛星等の資料を使って全体としての輸送量を先ず求め、次に利用できるだけの気象観測資料を利用して大気の輸送量を求め、その差を海洋が運んでいる筈だと海に押し付けただけです。過去の気候問題の研究では、分からないことは全部海洋に押し付けてしまう傾向があります。まるで海洋はゴミ溜め扱いです。ひどい人は、海洋物理学は大気物理学に比べて遅れていると思ひ込む始末です。本当にそうなら、「進んでいる大気物理学」の知識・手法を、「遅れている海洋物理学」に適用して海洋学を進展させられるのですが、歴史上からも殆どそのようなことは起こってません。全ての学問は、「現時点で解明できない難しい所」で立ち往生しているもので、「遅れているように見れば」その学問領域はより複雑で難しいか、資料不足かいずれかです。将来の気候変動を「正確に予測」するためには、大気に匹敵する量の熱を運んでいる海洋の働きを無視できませんし、分からぬことを海に押しつける訳にもいきません。「気候変動を予測するための海洋研

究」WOC Eの立案に際して、われわれは先ず「現在の知識・技術でどんな研究が実施が可能か」ということから議論を始めたのはそのためです。

弁解がましくなりましたので、海洋物理学者も遊んでいるわけではないことを説明しておきましょう。厄介なことに海洋では、大洋毎に事情が違い、太平洋・大西洋等々それぞれ別々に計算しなければなりません。最も研究の多い南北大西洋について熱の南北輸送を求めた例を図-3に示します。種々の方法を用いた結果を示しますが、人により方法により結果がかなりばらつきます。だからこの結果を図-2に入れる訳にはいかなかったのです。この図でまん中に示したものは、海の中の温度や塩分の分布から、それを生み出すためにはどんな流れがなければならないかを計算し、その流れの分布から海の運ぶ熱輸送を計算したものです。この計算が行われた時に利用出来る観測資料は数も質も十分でなかったため、計算には大きな誤差が出ています。Wunsch博士が計算した2本の線は、有り得る値の上限と下限、誤差の範囲を示します。WOC Eの基準線の観測ラインで、温度を0.002℃、塩分も0.002 psu までの精度で測ることにしていますが、この上限と下限の2つの線を一致させるには、他にも条件がありますが、それだけの精度がどうしても必要だからです。WOC E計画の主要な提唱者の Wunsch 博士の考えが一つの基礎となっているのです。この

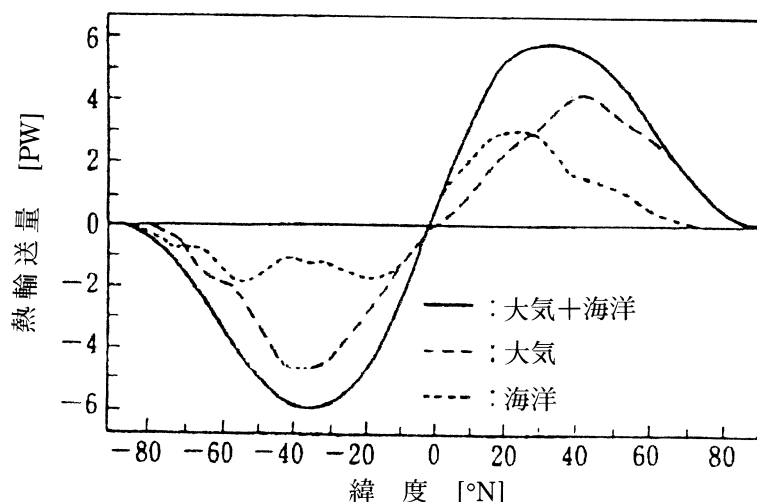


図-2 大気と海洋の担う熱の南北輸送 (Masuda, 1988)

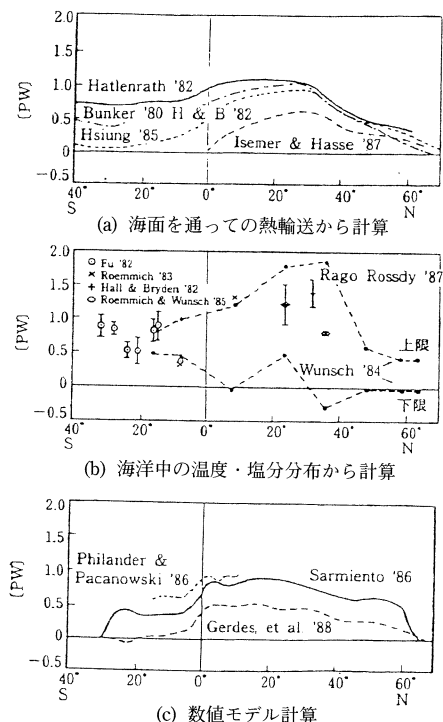


図-3 種々の研究者により、種々の方法により測定された大西洋での海洋の運ぶ熱の南北輸送 (Schott, 1989)

図を見て「そんな馬鹿な」とすぐ感じた人は十分学者になれる素質があります。人により、方法により相当のばらつきがあるのですが、全ての結果が赤道の南側、南大西洋は低温の南極の方から高温の赤道の方へ熱を運ぶのです！

海の流れ・海流は地衡流の釣合にあり、ほぼ等温線に沿って流れていますから、あまり効率よく熱を運んでいる訳ではありません。しかし、黒潮はその上の大気に熱を与えながら自分自身は冷えていき、亜熱帯循環の北側を構成する黒潮続流や北太平洋海流でも同様です。従って、同じ流線をたどって行くと北へ向かう黒潮のところの温度は南に向かうカリフォルニア海流のところよりずっと高いことになります。この差が結局は熱を高緯度へ運ぶことになるのです。南大西洋のブラジル海流とベンゲラ海流でも状況は同じで、表面の海流系はちゃんと熱を暑い赤道域から寒い極域に向けて熱を運んでいます。したがって、南大西洋の奇妙な振舞いは表層の海流だけを考えては説明できないのです。(次号に続く)

フラクタルへの道

不思議な国の図形

近年フラクタルという言葉をあちらこちらで聞くことがあります。大きな本屋へ行くと理工学の書棚には必ずカオスやフラクタルの教科書が置いてありますがから読者の中には十分に勉強されている方も居るでしょう。しかし、数学いや幾何学は苦手で、ましてや非ユークリッド幾何学の代表であるフラクタルには馴染みのない読者も多いと思いますので、徒然なるままにフラクタルについて書きおきます。

皆さんは目の前にある物や現象をどのように理解しているでしょうか。多分連続した滑らかな平面や曲面、中断することなく連綿と続く現象を思い浮かべることと思います。これを偉大なるニュートンは次のように表現しております。「連続的に変化する変数 t の関数 $f(t)$ があり t と共に連続的に変化するとすれば、すなわち $\Delta f(t) = f(t + \Delta t) - f(t)$ が、 Δt を限りなく小とすると、同じように限りなく小さくすると仮定するとき $\Delta f(t) / \Delta t$ は Δt を限りなく小さくするときに、1つの値に近づく。」これが、微分可能な連続関数で、世の中の事象は全てこのような関数で表わせる、あるいは、このような関数で表わせる事象を対象にするというものです。

しかし、世の中には変な関数もあるのです。例えば、図-1に示すような正三角形が次々と小さくなって行くとどうなるでしょうか。無限に小さくなった図は私達の目には1本の直線にしか見えず、当然ニュートンが定義した性質を持つように思えるでしょうが、電子顕微鏡で観察すると、鋸のように正三角形の並ぶ不思議な図形が見える筈であり、当然これはニュートンの定義した性質に合いません。付け加えますと、この図形長さは通常の感覚では最初の正三角形の底辺と同じように見えますが、正しくは、他の二辺の和となります。実はこのような性質をもつ図形（関数）は特に珍らしいもの

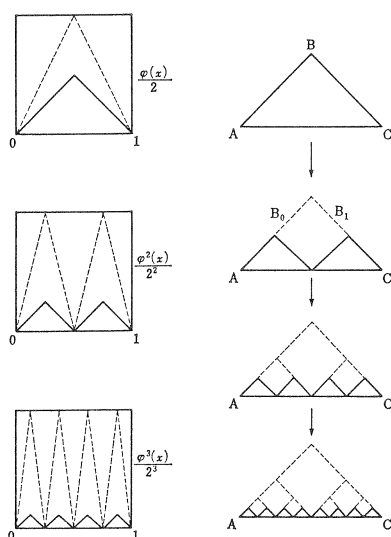


図-1 正三角形より成る図形

ではないことが19世紀の末頃から判って来ました。ところで、このような変な図形のもう1つの特徴は図形の小さな部分をとり出してみると全体の図の縮小された図となっていることです。これを自己相似と称される変な図形の重要な性質です。図-2に例を示しますが、マンデルブローによって数学的理想の姿としてフラクタルという概念でまとめられ提案されました。又、難しい表現で申し訳ありませんが、フラクタルはカオスの逆のプロセスから生まれることが示されています。難しいことは抜きにして、変な関数によって得られる変な図形（フラクタル）の美しい形態を楽しんで下さい（図-3、図-4、図-5）。なお、これらの図はコンピュータによる膨大な量の計算によって得られており、特にコンピュータ時代の数学と言えます。

ところで、このような変な図形には私達の住む3次元の世界と異なる次元があります。例えば図-1の線は私達には1次元と見えますが、他の2辺の長さを持つからには幅を持つと考えられます。この幅を数学的に表するのがフラクタル（ハウスドルフ）次元です。すなわち、自己相似なフラクタル図形の場合は例えば

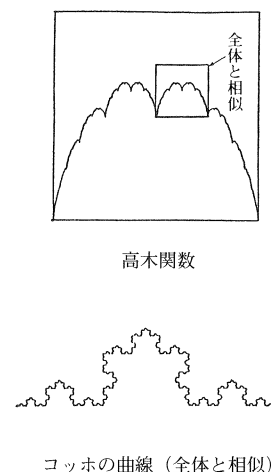


図-2 全体と部分の相似

図-1において上の図形を N 個に分割して、得られる縮小率 r により、

$$r(N) = 1/N^{1/D} \text{ 又は}$$

$D = \log N / \log (1/r)$ で表す、ことによって定義されます。0.66次元や1.26次元などという表現を聞いても驚かないで下さい。このようなフラクタル形状は、海岸線や山の稜線、樹木の形や川の形を表わすのに使われておりますが、逆に言えば自然界は本来フラクタルな性質を持っているとも言えましょう。

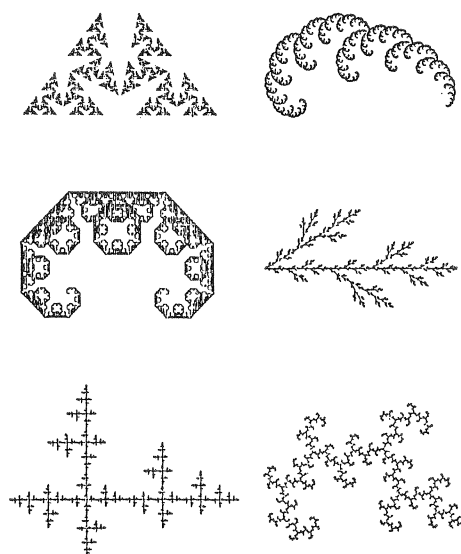


図-3 いろいろなフラクタル図

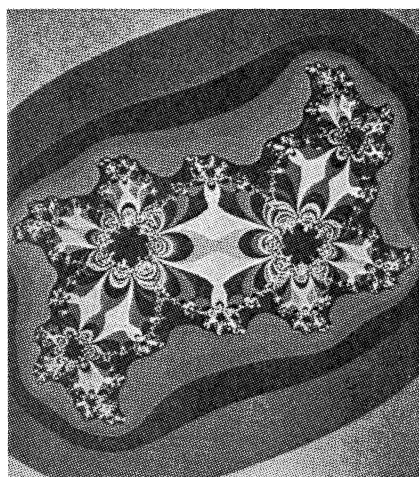


図-4 フラクタル図型
(ジュリア集合)

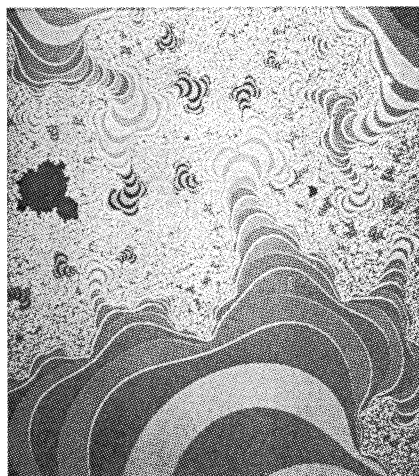


図-5 フラクタル図型
(マンデルブロー集合)

委員会他

第9回懇談会

期 日 平成9年3月14日(金)

場 所 ホテル 東京 会議室

第70回業務運営委員会

期 日 平成9年3月21日(金)

場 所 日本海運倶楽部 会議室

第110回理事会

期 日 平成9年3月26日(水)

場 所 日本海運倶楽部 会議室

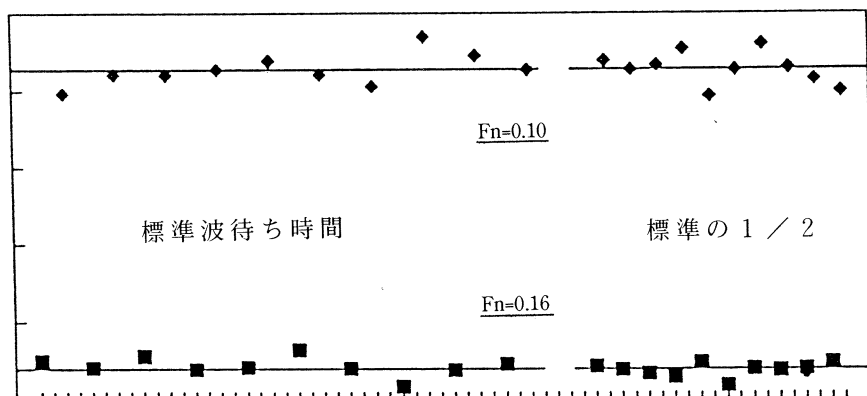
第61回HRC(造工中手船型研究会)

期 日 平成9年3月26日(水)、27日(木)

場 所 造船技術センター 会議室

水槽試験はかつて開発すべき重要な技術であった時代がありました。いわゆる造船に関する学会や集まりの中に、水槽委員会や水槽会議という名があるのはその事を物語っております。確かに建造した事もない大型肥形船の性能を水槽試験と流力の考察によって0.1ノット以内の精度で保証するとなれば、開発テーマそのものとなったでありましょう。当センターを含む内外の大型水槽設備で実施されているいろいろなプラクチスは以上のような厳しい要求精度を達成するための努力の成果と言えましょう。しかしながら星霜移り人は去り、徒然草にありますように苔むしたプラクチスが夫々のバックグラウンドも忘れ去られて残っているという事はないでしょうか。昨今のISO9000に戦々恐々とする状況はいささか残念に思います。

最近の低船価と言わぬまでも、コスト低減は私達のテーマであり、当センターにあつては、いろいろな角度からコスト低減と相反する付加価値向上に取り組んでおりますが、その中の1例として、航走後の波待ち時間が計測結果に及ぼす影響の調査結果を紹介します。波待ち時間を変えても抵抗値には殆んど影響はありません。模型の状態を含め充分な検討の上に結論を出す必要はありますが、現状を見直して合理的なプラクチスの再構築の必要なことを示しているとも考えられます。21世紀への発展は、現状をしっかり固めてこそ期待しうるとの理解のもとに、当センターにあつては、日々の業務改善に努めております。



編集後記

青葉の季節も過ぎようとしておりますが、読者の皆さんは如何ですか。今回は海洋学の話題を紹介しました。造船や海運に出て来る海の話題は、あまりにも身のまわりの事に過ぎるようですので、数百年から数千年の時間的スタンスの話題としましたが、ここでも気候変動問題となると目前のテーマであるようです。

乱流の話はご理解頂けたでしょうか。「工学は扉を押して開けて進む。」という果敢さは必要ですが、理学的な武装を充分にしておかないと、竹槍になりかねません。大変難しいテーマでもあり、筆者自身が勉強しています。

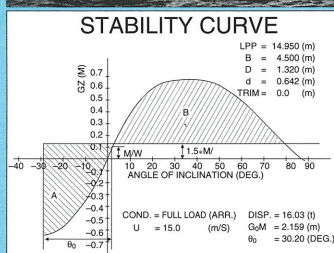
(K. T)

新造船と復原性



船名 第三東栄丸

用途	遊漁兼用船
船主	安川 光男
造船所	株式会社 船忠
竣工	平成8年9月
総トン数	18トン
航行区域	限定沿海
主要寸法(m)	長さ × 型幅 × 型深さ 14.95 4.50 1.32
主機	連続最大出力 700PS 回転数 1,950rpm 基数 1基
最大速力	28.0ノット
旅客定員	36名



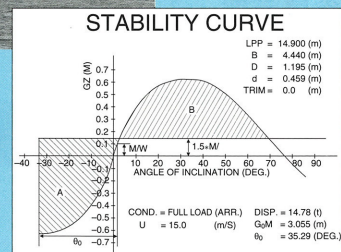
本船は千葉県九十九里浜、銚子沖より大原沖付近を主漁場とする小型遊漁兼用船である。主要寸法は、この種の船舶としては上限に近い値であり、最大復原ても65cm程度と安定した性能を有している。

船名 第七丸長丸

用途	遊漁兼用船
船主	丸 裕二
造船所	石黒造船株式会社
竣工	平成8年12月
総トン数	19トン
航行区域	限定沿海
主要寸法(m)	長さ × 型幅 × 型深さ 14.90 4.44 1.195
主機	連続最大出力 650PS 回転数 1,900rpm 基数 1基
最大速力	30.2ノット
旅客定員	46名



第七丸長丸は神奈川県城ヶ島付近を中心に、相模湾一帯を主漁場とする小型遊漁兼用船である。本船は乾舷約0.7m、最大復原てこは60cmを越えており、安定性の備わった船舶となっている。



申込みの受付

試験等の申込み、問合せは当センター企画室までお願いします。

〒171 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)