

SRC News

No.66 January 2006

The Shipbuilding Research Centre of Japan

No. 66

●目次●

曳航水槽での斜追波中試験	page 1
トリマランの復原性について -復原力曲線と強風下の復原性-	page 2
日本造船技術センターにおける CFD利用の現状	page 4
模型船製作法の紹介	page 6
国際的規約の動向と内容解説 -損傷時復原性-	page 8
血液型分布に見る日本古代史	page 10
モザンビーク国向け浚渫船	page 12

曳航水槽での 斜追波中試験



本 部 (飯田橋)



試験センター (三鷹)



海難の話は自然の猛威に立ち向かう人類の知恵と勇気の物語として語り継がれて来ましたが、海洋の現象、特に、海洋波中の船舶の安全は依然として重要な研究課題です。

日本造船技術センターにあっては、400m水槽の広い水面と優れた造波機能に軽量で丈夫な模型船作成技術などを総合して、船舶の安全性のベースとなる耐航性能に関する試験にも対応しています。写真は、大振幅PMM試験装置による斜追波中試験の状況です。

海難の話は自然の猛威に立ち向かう人類の知恵と勇気の物語として語り継がれて来ましたが、海洋の現象、特に、海洋波中の船舶の安全は依然として重要な研究課題です。

日本造船技術センターにあっては、400m水槽の広い水面と優れた造波機能に軽量で丈夫な模型船作成技術などを総合して、船舶の安全性のベースとなる耐航性能に関する試験にも対応しています。写真は、大振幅PMM試験装置による斜追波中試験の状況です。

財団法人 日本造船技術センター

〒112-0004 東京都文京区後楽2丁目1番2号
興和飯田橋ビル7階
TEL 03-3868-7122 FAX 03-3868-7135

試験センター

〒181-0004 東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(独) 海上技術安全研究所2号館内
TEL 0422-24-3861 FAX 0422-24-3869

トリマランの復原性について

— 復原力曲線と強風下の復原性 —

はじめに

SRC News No.65に、トリマラン型高速船の復原性の特徴に、片舷副船体の復原力喪失状態があり、この状態でも全体として復原力をプラスに維持する条件で、主要目や配置を設定し、更に推進性能を推定して通常高速船と比較した例を紹介しました。本稿では、その特徴を具体的に復原力曲線で示し、強風下特性を評価してみます。

1. 復原性について

復原性とは、ある傾斜した状態から元の釣り合い状態に戻る能力を言い、静的復原力と動復原力に分類されます。前者は傾斜の状態から元へ戻るモーメントで、 $W \times GZ$ で表され、後者は釣り合い状態からある角度まで傾斜するのに要する仕事で、モーメント×角度の積分で表されます。傾斜角が微小範囲の初期復原力は、排水量 $W \times$ 復原艇 GZ がメタセンター高さ GM と傾斜角 θ により $W \times GM \times \sin \theta$ となりますが、傾斜が大きいと、水線面形状や水中形状が変化し、 $W \times GZ$ は初期復原力の式では表せなくなります。

2. 風による傾斜

傾斜角 0 で静止している状態で、真横から突風を受けた場合、まず、船の動的復原力と風の傾斜モーメントによる仕事が釣り合う最大傾斜まで傾き、風が継続すれば、静的復原力が釣り合う定常釣り合い角 θ_1 に戻ります。図-1に船体の静的復原力曲線と風による傾斜モーメント曲線を示します。ハッチング部分の上下面積が同じとなる角度が最大傾斜角度 θ_2 です。船舶復原性規則には、風圧モーメント式、諸係数、海域毎の標準風速を与え、船舶が満たす条件を規定しています。図-2にC係数基準(乙規定)の概略を記します。ここで、 D_w は定常風による傾斜偶力艇、 θ_1 は定常風による定傾斜角、 θ_0 は不規則波中同調横揺角、 θ_f は

海水流入角であり、ハッチング部分の上下の面積比をC係数と呼んでいます。

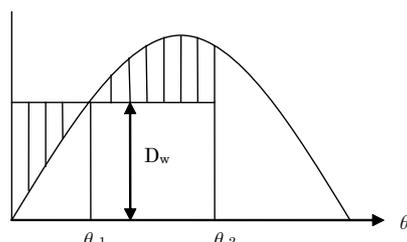


図-1 突風による最大傾斜角

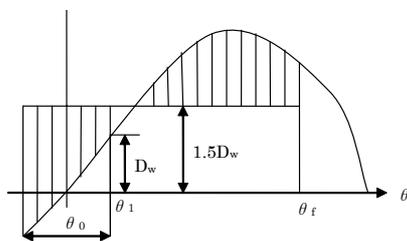


図-2 C係数基準

なお、定常風による傾斜偶力艇は $D_w = kAH/W$ で計算され、 k は近海区域以上の船については風速 26m/s 、沿海区域の船については 19m/s 、限定沿海の船については 15m/s の定常風を考えた係数です。また、不規則波中同調横揺角は $\theta_0 = \sqrt{138rs/N}$ で計算されます。ここで横揺減衰係数 $N=0.02$ を用い、有効波傾斜係数 $r=0.73+0.60G/d$ 、 OG は水面から重心までの垂直距離、波相度 $s=p-qT$ 、 $0.1 \geq s \geq 0.035$ で計算されます。

3. 復原性について

SRC News No.65で紹介した通常船型とトリマラン型的高速船から、載貨重量の同じケースを選定し、復原力曲線を求め、強風下復原性能を検討してみました。表-1に主要目、重量・重心、静的復原性等、計算条件を、図-3に念のために作成した通常船型及びトリマラン型高速船の中央断面形状を記します。船体形状はSRC News No.65記載の数式表示、即ち、無次元表示形式及び係数を採用します。

$$f(x) = 1 - |x|^2, \quad n = 2$$

$$g(z) = z^{1/m}, \quad m = 4$$

$$y(x, z) = f(x) \cdot g(z)$$

としています。

$$\text{なお、} x = X/(L/2), \quad -1 < x < 1,$$

$$y(x, z) = Y(X, Z)/(B/2),$$

$$z = Z/d$$

ここで $0 < z < 1$ では $g(z)$ は上記の式ですが、 $z > 1$ では $g(z) = 1$ とします。

表-1 主要目・重量・重心、静的復原性等、計算条件

	通常船型	トリマラン	主船体	副船体
L[m]	110.0	165.0	165.0	45.0
B[m]	20.0	32.0	16.5	3.0
D[m]	10.0	13.0	13.0	10.0
d[m]	5.0	6.0	6.0	3.0
Δ [t]	6013	9371	8929	2×221
DW[t]	2440	3004		
A[m ²]	1210	2145		
KG[m]	6.50	8.45		
GM[m]	1.99	2.19		

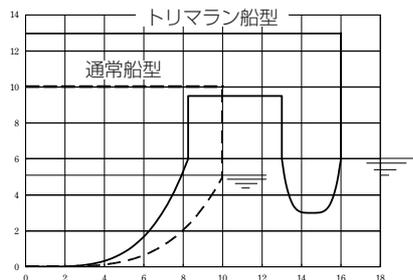


図-3 中央断面形状
(通常船型、トリマラン船型)

図-4に側面形状を示します。いずれも、上甲板上に高さ 3m の2層の上部構造を想定しています。

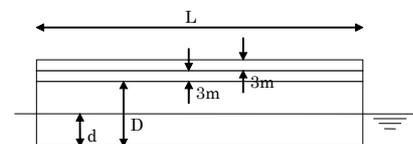


図-4 側面形状

4. 復原力曲線 (通常船型)

図-5に通常船型の復原力計算結果を示します。復原力は傾斜角とともに増して水面が上甲板端付近に達する角度で最大となり、減少に転じる典型的な特徴です。また、沿海域就航を条件での横風下の復原力評価を図中に併記してきます

が、評価指数C係数は2.38と安全側です。

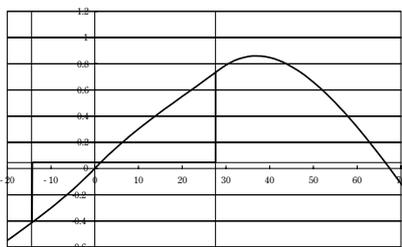


図-5 復原力計算結果 (通常船型)

5. 復原力曲線 (トリマラン型高速船)

図-6にトリマラン型高速船 (トリマランA) の復原力計算結果を示します。傾斜角が微小範囲では、通常型と同様に傾斜角と共に復原力は増加しますが、片舷の副船体船底が水面を離れて復原力を失う状態から水面が連結構造下部に接するまでの間は全体の復原力が若干減少する現象が見られ、次に上甲板端付近に水面が達するまで増加し、減少に転じます。なお、主副船体間連結の高さを3.5mとしています。初期復原力が小さいと、片舷副船体復原力喪失状態で、マイナス復原力となる場合もあります。この復原力が低い範囲では、かなり不安定になりますが、更に傾斜すれば復原力が増して安定になります。横から突風を受けると一挙に大きな最大傾斜角に達し、比較的大きな定常傾斜角に落ち着くと思われま

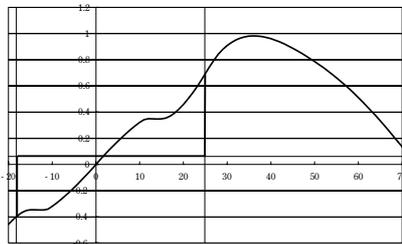


図-6 復原力計算結果 (トリマランA)

図-7に主副連結構造下部形状を傾斜時に浸水面積が増す様に配慮した形状を実線で示します (トリマランB)。図-8にそれらの復原力曲線を実線で示します。連結構造下部接水開始が早まり、接水面積が増す事から、復原力喪失範囲の

縮小効果が見られます。

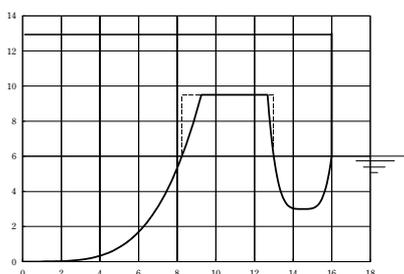


図-7 中央断面形状 (トリマランB)

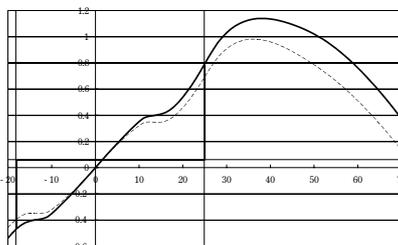


図-8 復原力計算結果 (トリマランB)

6. トリマラン船型の横揺周期について

沿海域就航を条件に船舶安全規則に従って横風下の復原力評価をC係数を使って行います。前述したようにC係数を求めるために横揺周期Tを与える必要がありますが、通常船型の場合は、 $T = 2\pi \cdot \kappa / \sqrt{g \cdot GM}$ 、環動半径 $k = cB$ 、 $c = 0.4$ で求めることにします。しかしながら、トリマラン船型の場合cが分かりません。そこで、トリマラン船型の環動半径を簡易的に求める方法について考察を加えます。

まず、準備として副船体は主船体と幾何学的に相似 (相似比 γ) であると仮定し、主副船体中心間距離 b とすると、以下の様な値になります。

$$\gamma = \sqrt[3]{\Delta_m / \Delta_s} = 0.29$$

$$b = (B - B_s) / 2 = 14.5$$

次に、船体全体の質量慣性モーメントを I とすると、

$$I = I_m + 2I_s$$

$$\Leftrightarrow I = I_m + 2\{I_m \times \gamma^5 + b^2(m_m \times \gamma^3)\}$$

となります。ここで、 I_m 、 I_s は主船体、副船体の質量慣性モーメントで、副船体の質量 m_s は主船体の質量 m_m を用いて

$m_s = m_m \times \gamma^3$ と表しています。

また、上式を環動半径 K を用いて表すと、

$$m\kappa^2 = m_m \kappa_m^2 + 2(m_m \kappa_m^2 \gamma^5 + b^2 m_m \gamma^3)$$

$$\Leftrightarrow \kappa^2 = \frac{m_m}{m} (\kappa_m^2 + 2\kappa_m^2 \gamma^5 + 2b^2 \gamma^3)$$

となります。ここで、 m は船体全体の質量、 K_m は主船体の環動半径です。

最後に、副船体一つ分の上下運動に対する付加質量 δm を考慮すると、

$$\kappa^2 = \frac{m_m}{m} \left\{ \kappa_m^2 + 2\kappa_m^2 \gamma^5 + 2b^2 \left(1 + \frac{\delta m}{m_m} \right) \gamma^3 \right\}$$

となります。

結局、 $K_m = 0.4B_m = 6.6m$ を用いて、 $\delta m / m_m = 0.02$ とすると $c = 0.224$ となりました。

7. 復原性評価

復原性評価結果を図-5、6、7、表-2、3に示します。図-6、7、表-2はトリマラン船型に対してだけ $c = 0.224$ を用いたもので、表-3は全ての船型に対して $c = 0.4$ を用いたものです。また、海水流入角 θ_e は中央断面の上甲板の端に開口部があると仮定して計算し、復原力消失角を θ_e としました。表-2、3ともに、通常船型よりは低いC係数になっていますが、トリマラン船型間の比較では初期復原力及び主副連結構造下部形状による影響が分かります。

表-2 C係数 (c=0.224)

	C係数	θ_0 [deg]	T [s]	θ_f [deg]	θ_e [deg]
通常船型	2.38	15.65	11.4	27.6	66.4
トリマランA	1.15	19.41	9.7	24.9	71.8
トリマランB	1.25	19.41	9.7	25.1	76.7

表-3 C係数 (c=0.4)

	C係数	θ_0 [deg]	T [s]	θ_f [deg]	θ_e [deg]
通常船型	2.38	15.65	11.4	27.6	66.4
トリマランA	1.63	15.34	17.4	24.9	71.8
トリマランB	1.82	15.34	17.4	25.1	76.7

まとめ

トリマラン型高速船の復原性能特性を復原力曲線と船舶安全規則を用いて評価しました。片舷副船体の復原力喪失時に不安定にはなり、傾斜角が大きくなりますが、十分な初期復原力と主副船体連結構造下部高さや形状を適切に設定することによって、安全上問題とはならない設計ができることを確認しました。



日本造船技術センターにおける CFD利用の現状

CFD関連プログラムについて

造船技術センターにおいては、約10年前からCFDの船型設計への実用化を進めており、現在では船型改良を行う際に有用なツールとして利用されている。当センターにおけるCFD利用の現状を紹介する事とし、今号では使用しているプログラムについて概略を説明する。

一般にCFDの大きな流れは次の3つのステップで行われる。

①計算用格子生成

船体形状データから、NSソルバーで使用する計算格子を生成する。

②NSソルバー

計算用格子上で流体现象の支配方程式であるNavier-Stokesの方程式を数值的に解く。

③後処理（可視化）

NSソルバーの計算結果から、抵抗値計算、圧力分布描画、限界流線描画、船尾伴流描画などを行う。

計算格子生成について

計算格子生成は、CFD実行において最も重要で、しかも手間がかかるステップである。すなわち、生成した格子により計算の安定性と精度が大きく影響を受けるため適切な格子分割数の設定や船首船尾等流れが著しく変化する場所への格子集中化などが必要である。

NSソルバーについて

NSソルバー実行ステップでは計算時間は多少かかる場合があるが、基本的に一度計算を開始するとあとは結果を適宜チェックするくらいであり手間は要しない。良い計算格子が生成できていればこのステップで問題が起こる事はないが、計算格子が悪く計算が発散するなどの問題が発生した場合、もう一度計算格子生成ステップに戻る必要がある。

後処理（可視化）について

後処理（可視化）は計算結果を利用しやすい形にするステップである。CFDでは計算結果として船体周囲の3次元空間における流速、圧力等が得られるので、必要な情報を希望する形式で可視化する事ができる。一般的には船体表面圧力分布、船体表面上限界流線、船尾伴流分布、船側波形や造波波形の等高線などを可視化する事が多い。

上記処理を行うために 現在使用しているプログラムの一覧を下に示す。それぞれのプログラムが対応可能な計算は表のとおりである。後処理プログラム Tecplot以外のプログラムは海上技術安全研究所が開発したものである。

日本造船技術センターにおけるCFD関係プログラム一覧

① 格子生成プログラム

HullDes

② NSソルバー

		NICE	NEPTUNE	SURF
波無し	直進	○	○	○
	斜航	○	○	○
	自航	○	○	○
浪有り	直進	—	○	○
複雑形状		—	—	対応可

③ 後処理（可視化）プログラム

AMLEXE (NICE対応)

TECPLOT (NICE, NEPTUNE, SURF対応)

○格子生成プログラム HullDes

このプログラムは船体の形状データ（オフセット点データやIGESで定義された船体表面データ）からCFD計算に必要な計算格子を生成するプログラムである。格子生成可能な船型は、裸殻の単胴船型（舵は1つのみ可能）であり、2軸船、多胴船や船尾フィンなどの付加物には現在のところ対応する機能を有していない。

○NICE

NICEは Navier-Stokes Implicit Computation with cell-centered layoutの略で、当センターにおいて標準的に使用され約十年の使用実績がある。NICEはNS方程式の時間平均であるレイノルズ方程式を数值的に解くプログラムである（NEPTUNE、SURFも同様）。レイノルズ方程式は乱流については別の方程式（乱流モデル）と連立する形式となっている。使用可能な乱流モデルはBaldwin-Lomax乱流モデル（以下、BLモデル）とSR222修正BLモデルがある。それぞれのモデルの詳細な説明はここでは行わないが、おおむねBLモデルはコンテナ船などの瘦せ型船に、SR222修

正BLモデルはタンカーなど肥大船に適した乱流モデルであるといえる。とはいえ、乱流モデルは最適なものを選ぶのが難しく、両方の乱流モデルの計算結果を適宜参照しながら、計算結果の分析を進める事になっている。尚、当センターで使用しているNICEは自由表面計算の機能をもっていない。

○NEPTUNE

NEPTUNEはNEwton-Relaxation Scheme for Pseudo-Compressibility Based TUrbulent Navier-Stokes Equationsの略で、使用可能な乱流モデルはBLモデルとSR222修正乱流モデルに加えてSpalart-Allmaras乱流モデル（以下SAモデル）と修正SAモデルである。SAモデルはBLモデルより精度が高い乱流モデルである。NEPTUNEは造波計算が可能なプログラムである。また、多重格子法という計算を高速に収束させる手法により、計算時間の短縮化が図られている。この方法は最初から全ての格子点を使って計算をするのではなく、最初の一部の粗い格子で全体の流れの概略を計算し、最後に全ての格子点を使って計算をする事で計算時間を短縮している。

○SURF

SURFはSolution algorithm for Unstructured Reynolds averaged Navier-Stokes Equation with Finite Volume Methodの略で、適用可能な乱流モデルはSAモデルと修正SAモデルである。SURFはNEPTUNE、NICEと異なり非構造格子法がベースとなっているので、上記NEPTUNE、NICEより計算時間が多少増加する。また、非構造格子法がベースという事で計算格子さえ生成できれば2軸船、多胴船や船尾フィンなどの付加物付きにも対応が可能である。尚、非構造格子法とは格子形状として六面体だけでなく、四面体など多面体の格子に対応可能な計算法であり、複雑な形状においても格子を柔軟に対応させて生成する事ができる特徴がある。

○AML.EXE

本プログラムは市販のものではなく、海技研と中手CFD研究会（造船所7社と造船技術センターで構成）が共同で開発

したプログラムである。NICEの計算結果について様々な可視化が可能となっている。

○TECPLOT

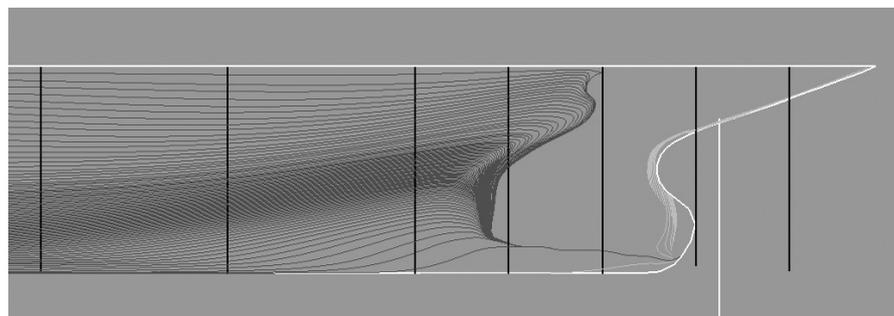
TECPLOTは市販されている汎用可視化プログラムであり、非構造格子にも対応しており、NICE、NEPTUNE、SURF全ての計算結果を可視化する事が可能である。

概略の説明は以上である。次号以降に「乱流モデル」、「非構造格子法」についてのより詳しい解説と、具体的なCFDを利用した船型改善の検討例について紹介する予定である。

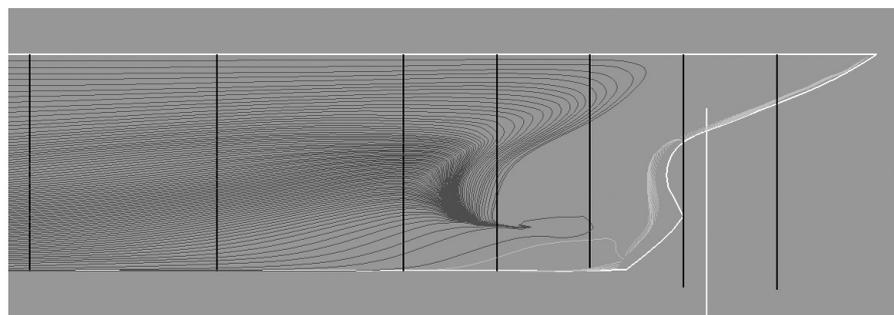
CFD利用の一例

船尾流場の可視化結果を示す。ここで示す図は船体表面上の限界流線を可視化したもので、流れの剥離の様子やねじれの様子を知る事ができる可視化手法である。A船では船尾端に至るかなり以前に流れが剥離して抵抗性能や推進性能が悪化しているようである。一方、C船では限界流線が船尾端までスムーズに流れる船型となっている。A、B、C船について水槽試験を実施したところ、A船、B船、C船の順に推進性能が数%ずつ向上する事が確認された。

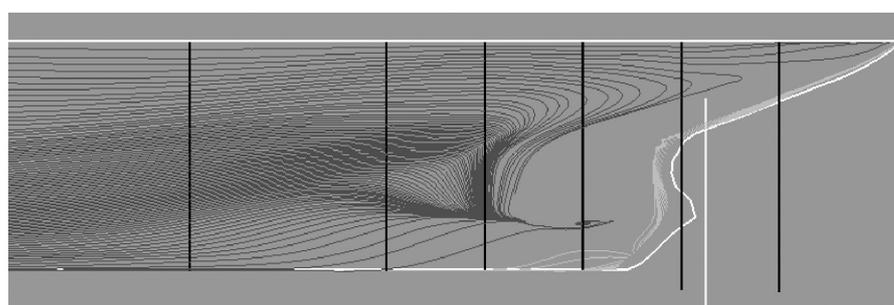
A船



B船



C船



模型船の種類と製作法

— 水槽試験の目的に応じた模型船作り —

SRCでは水槽試験に使用する模型船や模型プロペラは特殊なケース以外は自作しており、これらに関して以前SRCニュース22、23号で目白時代の事例を紹介したことがあります。以来10年以上が経過し、この間に三鷹への移転があり、これを機に工作設備を一新し、工作技術にも新時代のニーズに応えるべく工夫を重ねてきています。今回はSRCが用いている工作法のいくつかをご紹介します。

1. 模型船の材料と特徴

SRCでは水槽試験に使用する模型船は船長6mクラスを標準としています。模型船の材料は主に木材と蠟（パラフィン）ですが、木材の積層で作る模型船は、現在では特に強度が要求される試験のみに使用し、パラフィンを主体とした模型船が一般的に使用されます。パラフィンは60℃程度で溶解し再利用・加工がし易いという長所がある反面強度が弱く木材より重いという欠点があります。そこでSRCでは20年程前から内側を軽量の合板で作し、外側にパラフィンを溶着することで双方の長所を活かしたもの（通称パラウッド船）を標準としています。

2. パラウッド模型船の製作法

標準的なパラウッド船の製作手順を以下に示します（図-1）。

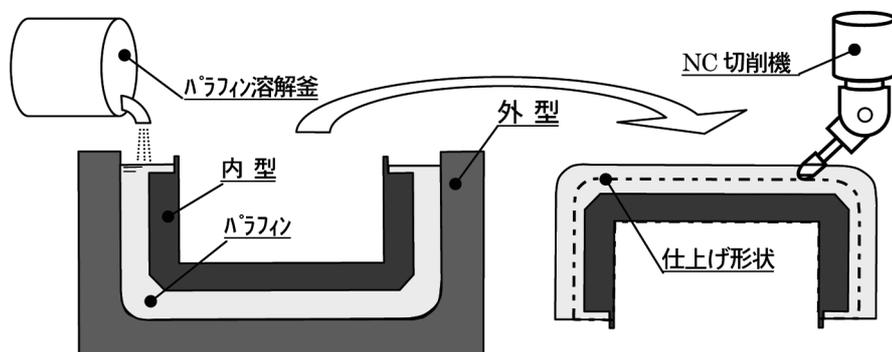


図-1 パラウッド船の製作法

① 内型の製作

内型は模型船の骨格の役割を果たします。外側に溶着させるパラフィンの厚さを必要最小限にするため完成寸法よりひと回り小さくし、また、鑄造時に溶けたパラフィンが内部に漏れないようにする必要があります。

② 外型の製作

外型は高温のパラフィン溶解液を受け入れ、冷えて固まるまで保持する役割を果たすので水密性と十分な強度が必要です。

③ 鑄造

溶解釜で溶したパラフィンを内型と外型の間に注入します。内型が浮力で浮き上がらないようにしっかり固定します。冷えて固まったら外型を外して反転してNC切削機にセットします。

④ 切削

NC切削機で+0.5mm程度の精度まで切削します。外型の精度によっては何段階かに分けて削っていきます。

⑤ 仕上げ

NC切削機で削り終わった船体表面を手作業で丁寧にスクレップ仕上げし、表面を滑らかにします。

⑥ 付加物等の取付および諸マークの記入
船尾管、舵、ビルジキール、バウスターなどを取付け、模型船番号、喫水線、ステーション番号等を記入します。

3. 模型船の軽量化（その1）

船の性能評価として平水中の推進性能以外に耐航性能や操縦性能等の試験があります。しかし、パラウッド模型船では実船より裸殻の重量比が高いため、例えば軽荷状態の耐航性能（波浪中）試験をしようとしても試験状態を作ることが不可能な場合があります。

このような問題に対してSRCでは通常のパラウッド船より更に軽量化を図った模型船工作法を実用化しています。この工作法は、図-2に示すように内型とパラフィンの間にウレタンを加えることによりパラフィンの量を減らし、船体重量の低減を図るもので、多少手間が掛かりますが、実船の軽荷状態を再現できる軽い模型船を製作できます。又、この方法によれば内型の曲面部分はウレタンで補正が可能なので従来の内型よりシンプルな構造で済むというメリットもあります。

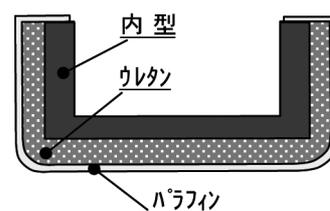


図-2 軽量模型船の構造

4. 模型船の軽量化（その2）

前項で紹介した工法は大型船に対応する模型船の軽量化方法ですが、小型・軽量の高速アルミ船などを対象とする模型試験では、更に軽い模型が求められます。SRCでは更に軽量化を図った図-3に示すような工作法も実用化しています。この方法は軽量の木材の骨格とウレタン材を組み合わせて完成状態に近い形状を作り、それをNC切削機で整形加工した後、

パラフィンの代わりに表面を薄いFRPでコーティングするもので、非常に軽量で表面の丈夫な模型船ができます。なお表紙の写真中の模型船はこの工法で製作しました。

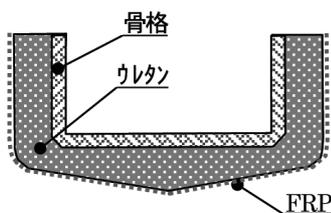


図-3 超軽量模型船の構造

5. 分割模型の製作

水槽試験の種類（目的）の1つに、船体に加わる力の分布を計測する場合があります。このような目的には模型船を分割して製作し、それらを検力計を介して接合することで力の分布を計測することができます。（図-4）

このような試験目的に対してはSRCでは目的に応じた分割模型船の工作法、特に接合部分のシール構造等を工夫し、実用化しています。

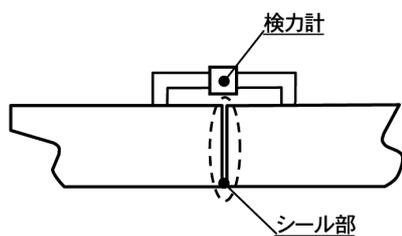


図-4 分割模型船の概念図

6. 多様なニーズへの対応

ここまで代表的な製作法を御紹介してきましたが、この他にも試験目的に応じた下記のような対応もしています。

1) 船体形状の修正

船型設計においては、鉛筆と消しゴムで図面を直すように短時間に船型を修正して、形状の変化を調べられたらと思っているのではないのでしょうか？ SRCではこのような期待に応えるために、NC切削機を有効活用して比較的短時間に船体形状を局部的に改造出来る方法も用意しています。

2) 省エネ付加物の比較試験

船体付加物のような装置の性能を比較する試験の場合は、付加物を短時間で交換できるしくみや試験順序を工夫しています。

3) 耐航性能試験

高速船の波浪中試験などでは、模型船が相対的に大きな波と出会う過酷な条件での試験があります。このような試験では模型船に実船の甲板に相当するような防水構造を付加して、波浪が甲板上に打ち込んで船内に浸水しないような対策をします。この防水構造はバラストウエイトや試験装置の入れ出しのために取り外し式にするなどの工夫もしてあります。

4) 模型船の保管

SRCでは試験の終わった模型船は最大で6ヶ月保管することになってはいますが、いろいろな試験を追加実施するケースも増えていきます。この影響で模型船の保管隻数が増える結果となり、保管スペースの不足が問題となってきました。SRCではこのようなニーズにも対応すべくできるだけ船体を変形させないように考慮した図-5に示すような空間を有効に活用した立体式の模型船保管庫を設置しました。

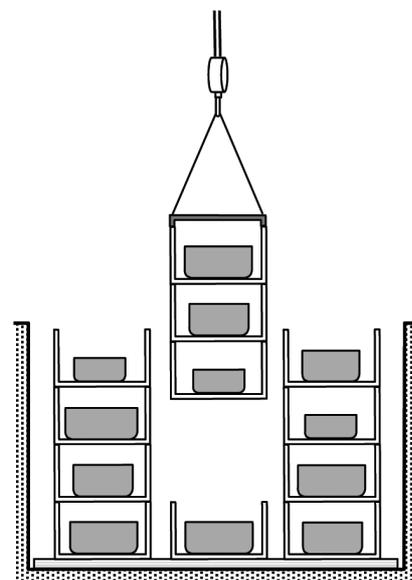
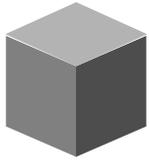


図-5 模型船の立体保管庫（概念図）

7. おわりに

以上紹介しましたように、SRCでは多様化する水槽試験のニーズに対応した試験法の確立とともに、模型船作りにも創意工夫の努力を続けています。これからも関係各方面からのご指導を宜しくお願い致します。



国際的規約の動向と内容解説

— 損傷時復原性 —

はじめに

IMO/SLF小委員会において1994年から損傷時復原性規則の調和作業が実施され、第80MSCにて改正案が採択されました。発効は2009年1月1日となる予定です。

従来、客船の損傷時復原性の基準は決定論に基づく74SOLAS第II-1章B部とこれと同等な基準として扱われる確率論に基づくA265 (VIII) があり、貨物船の損傷時復原性の基準については確率論に基づく74SOLAS第II-1章B-1部があります。損傷時復原性に関する調和作業は、基本的には旅客船の基準を確率論で統一しようとするものですが、SLFの審議は、全船種の船舶に適用できる統一したものを作成する方向で議論したものであり、現行の確率論に基づく貨物船の基準も、基準を調和させるとの観点のもとに改訂されたものです。

これは、損傷時復原性は、元來決定論に基づき定められていましたが、主機関が小型化し、居住区が増大したこと、同じ区画配置でも損傷長さの変化に従い規模の異なった浸水の評価できないこと、主寸法、載貨状態、浸水率の変動、残存復原性などの影響を考慮すべきことなどの理由で確率論で評価すべきとの結論に至ったものです。

すなわち、ある区画の浸水の発生、それによる転覆、沈没の発生を確率論的に扱おうとするものです。

この調和により、1992年に発効したSOLAS条約II-1章B-1部の貨物船への要件（現行貨物船規則）が変更されることとなり、我が国の造船業にとっても大きな影響があるものとなりました。

ここでは、この改正案の概要について述べることにします。

改正案の概要

1. 確率による損傷時復原性基準の考え方

一般的な確率論の立場で衝突しても船が生存する確率はどのように計算されるかを考えると、まず、船の衝突する確率 P_C を考える必要があります。これは、海上交通の混雑度、船固有の操縦性、操船者の技能などに左右されるでしょうが、1年当たり1隻当たりでみるとそれほど大きな値とはなりえないでしょう。次に、衝突が発生したときにある（i番目の）区画（または区画群）が浸水する、条件付き確率 $(P_{fiC})_i$ に着目することとなります。よってある区画に浸水する確率は $P_C \times (P_{fiC})_i$ となり、またいずれかの区画に浸水する条件付き確率は

$$\sum_{i=1}^N (P_{fiC})_i = 1$$

となります。ここでNはすべての区画の組み合わせの数です。さらに、ある区画が浸水したときに船が転覆も沈没もせず生存する条件付き確率 P_{Sif} を考慮する必要があります。極端な場合には静的平衡のみにてこの値は決まりますが、そうでない場合は船体運動や海象の影響も受けることとなります。以上を踏まえると、衝突して船が生存する確率 P_{Su} は次のように計算されます。

$$P_{Su} = P_C \times \sum_{i=1}^N \{(P_{fiC})_i \times (P_{Sif})_i\}$$

当然ながら衝突して転覆または沈没する確率は $1 - P_{Su}$ です。この値を1年、1隻当たりで示すとき、 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ が社会的に許容される範囲ともいわれ、原子力発電所や航空機の安全性においてしばしば言及されています。船が転覆あるいは沈没すると乗員、乗客、積み荷、船舶などに被害が生じます。このような被害の金額を $1 - P_{Su}$ に乗じたものがリスクとなります。このようなリスクが一定値以

下とすることは経済と安全のトレードオフを考えるうえで意味があります。

さて、SOLAS条約に含まれている確率論的損傷時復原性要件、あるいはSLFで議論された改正案は上記の一般的な考え方をいくらか変えて扱っています。まず、衝突の確率は考えません。つまり何らかの衝突が発生したときに船が生存できる条件付き確率のみを扱うということです。この結果、最終的な値は0.2とか0.7とか1以下でかなり大きなものとなります。そしてこの値を到達区画指数 (Attained Subdivision Index) Aと呼びます。すなわち、

$$\sum_{i=1}^N \{(P_{fiC})_i \times (P_{Sif})_i\}$$

をAと読み替えたことになる訳です。またここで、 $(P_{fiC})_i$ に代わり p_i 、 $(P_{Sif})_i$ に代わり s_i が用いられます。すなわち、 p_i は当該区画室が浸水する確率を表し、船の長さや区画の形状によって決定される値です。 s_i はある区画が浸水した場合、波浪中にあっても転覆、沈没せずに生存する確率を表すことになり、平衡状態で基準以上の復原性を有している場合には、「1」、沈没もしくは転覆する場合には、「0」、その中間では損傷時の海象も考慮した生存確率を与える式により決定されます。

次に規則では、リスクではなく、この条件付き確率がある許容できるレベル以下となるように要求されることとなります。この値を要求区画指数 (Required Subdivision Index) Rと呼び、船の大きさや乗員数など社会的経済的価値に依存しています。すなわち、許容リスク/被害額がRとみることもできる訳です。規則では、船の長さの関数として与えられます。そして最終的に、

$$A = \sum_{i=1}^N p_i s_i > R$$

であれば、損傷時復原性要件に合格したと判定されます。このような基本的な考え方は、A.265, SOLAS条約Ⅱ-1章B-1部でも変わっておらず、調和作業では、 p_i や s_i 、Rをいかに計算するかを客船、貨物船について統一していくことが議論されました。

2. 到達区画指数Aの算定

Aを計算するための喫水の数、トリムの影響、損傷高さの影響、浸水率、生存確率に関しての s_i 、甲板滞留水の影響を表す s_w 、マイナーダメージなど要素ごとに色々な議論がなされたが、結論としては、3喫水についてAを計算することになりました。

すなわち、満載状態 (ds)、60%載貨状態 (dp)、軽荷状態 (dl) について下記の式で重み付けの上、平均化した到達区画指数Aを算出する訳です。

$$A=0.4A(ds)+0.4A(dp)+0.2A(dl)$$

こうして到達区画指数Aが計算され、要求区画指数Rと対比して、AがRより大きい場合、その船舶は合格とすることになります。他にA(ds)、A(dp)、A(dl)についての要求指数も満足する必要があります。

3. 確率論に基づく新規則の特徴

以上のようにして今後は旅客船、貨物船を問わず統一された確率論に基づく損傷時の復原性が判定されることになりましたが、その特徴をまとめて言うと次のようになります。

1) 統計に基づいた損傷の発生確率を考慮して、船全体としての生存確率をある水準以上確保することができます。

2) 反面、全てのケースについて生存することは要求されてはいないので、ある損傷については沈没する可能性も生じ

ます。

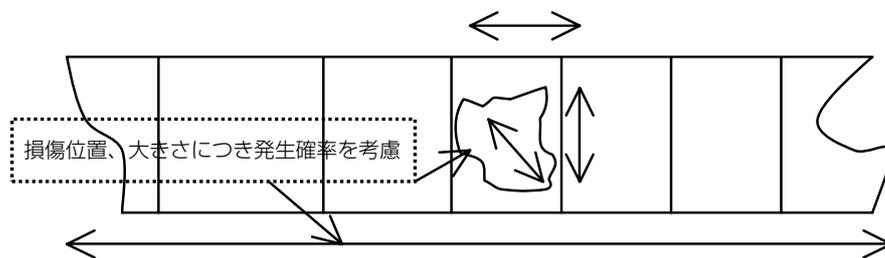
3) 以上のように、計算は比較的簡単に行うことができます。

4) 区画設定の自由度が大きいのも特徴です。

4. 高速船の損傷時復原性基準

最高速度（毎秒あたりメートル）が $3.7\sqrt{\nabla}^{0.1667}$ で算出される数値以上出せる能力を有する高速船（ ∇ は排水容積）については、SOLAS10章に取り入れられたいわゆるHSCコードによらなければなりません。

この詳細についてはまたの機会に譲ることに致しましょう。



荷崩れをおこした木材運搬船



海岸線の岩場に座礁した木材運搬船

上記写真は「海と安全」2005・冬号 P.52、53 「海保だより

海上保安庁 交通部]

の写真を許可を得て掲載しました。

血液型分布に見る日本古代史

SRC News No64迄、3回に分け、世界各地の血液型特性（A,B型比率とO型比率の比[A/O]、[B/O]）を紹介し、日本列島特性について考察しました。本稿では、日本列島の特性成立過程、日本古代史をたどってみます。

1. 日本列島特性の地理的分布

表-1に、都府県の血液型特性（以後、特性とする。）を示します。[B/O]が約0.7から0.8の狭い範囲に、[A/O]は0.9

から1.7と広く分布します。図-1に、[A/O]が、北の青森から南の鹿児島へ向けて増加し、南琉球の[A/O]は東北と同じで、北の九州へ向けて増加する様子を示します。これが、A型の東西勾配と呼ばれ、最終氷河期以降一万年に渉る拡散・交流により定着した基層（東日本・縄文型）特性と3千年前頃から一千年以上に渉る渡来（西日本・弥生型）特性の北上に伴う交流を通して成立した日本列島の独自の特性とされています。図-2

に、各都府県の[A/O]と地理的位置関係を示します。[A/O]と位置関係が連続的に対応して変化する範囲を黒く塗っていますが、青森から列島中央を南下して長野に至る範囲は明瞭な東西勾配（+）ですが、長野以北の中央部を囲む様に、日本海側は北陸から上越へ、太平洋側は近畿南部から東海、関東南部を経て北部に延びる広い範囲や中国、四国から東九州にかけての範囲では、逆勾配（-）となり、近畿から中国と、九州北部から南と西に向けての地域では（+）勾配が見られます。次に、勾配逆転地域について考察します。

表-1 日本列島主要部血液型特性分布

A/O	B/O				ユーラシア大陸	記号
	0.60-0.65	0.68-0.76	0.78-0.84	0.92-1.05		
0.88-0.97	鹿島	甌島、青森	樺太アイヌ	北津軽	ロシアウズムルト	A
1.06	-	岩手	南琉球	-	ネパールグルカ	B
1.12-1.13	北琉球、対馬	-	秋田	朝鮮北部	-	C
1.16-1.19	胆振アイヌ	宮城、山形	石川	朝鮮中部	エストニア、ラトビア	D
1.22	-	福島	群馬/茨城長野	-	ウズベク、ネパール	E
1.27	-	奈良/島根	福井/和歌山/静岡/千葉	-	ウクライナ	F
1.30-1.32	沖縄本島	三重	東京/埼玉/山梨、栃木	-	モルダビア	G
1.35	-	大阪/愛知/神奈川	-	-	-	H
1.38-1.39	-	京都/兵庫/大分	-	-	-	I
-	-	富山	福岡、新潟	朝鮮南部	ロシアバシキル	J
1.41-1.43	-	熊本/鳥取	広島 滋賀	-	ハンガリー	K
1.46-1.48	-	山口/佐賀	-	老岐	-	L
1.50-1.52	-	鹿児島	徳島/香川/高知	-	-	M
1.56-1.60	-	-	宮崎/岐阜/長崎	甌島	-	N
1.64-1.66	-	-	愛媛	岡山	-	O
1.78-1.82	岡山牛窓町	-	-	隠岐	-	P

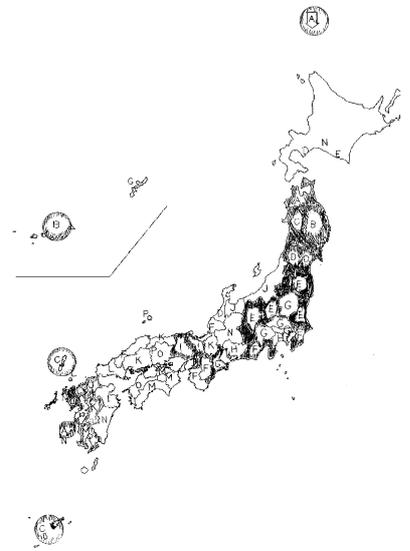


図-2 縄文人の南下

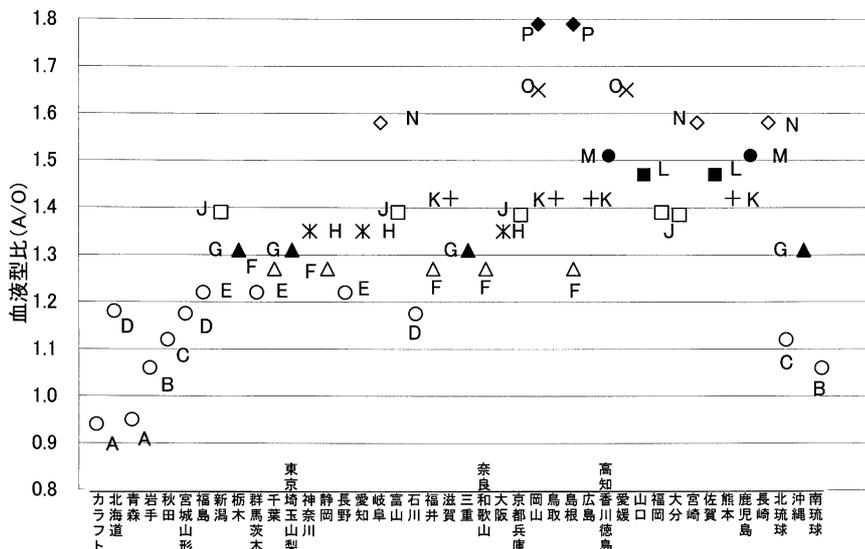


図-1 我国における血液A型の東西勾配

2. 西南九州、四国及び瀬戸内海地域

図-3に[A/O]が最も高い地域を黒く塗った地図を示します。九州西部から南部を回り、四国全土を覆い、中国の岡山と対して瀬戸内海を扼し、飛び地の様に岐阜に延びています。なお、東西日本の植生や文化基層を分けるブレキシトン線が岐阜を横切っており、西九州を起点とする弥生勢力が南九州を経由して四国に渡り、瀬戸内海沿いに北上して縄文の南境に達した道筋の様に見えます。古事記

の神武天皇東遷に記された日向を出て、豊予水道を北上し、筑紫、阿岐、吉備の滞在16年に及び瀬戸内海彷徨との対応や記述に窺える南方的習俗は弥生勢力のルーツと列島拡大の経緯を一人の英雄の物語に凝縮したものと思えます。

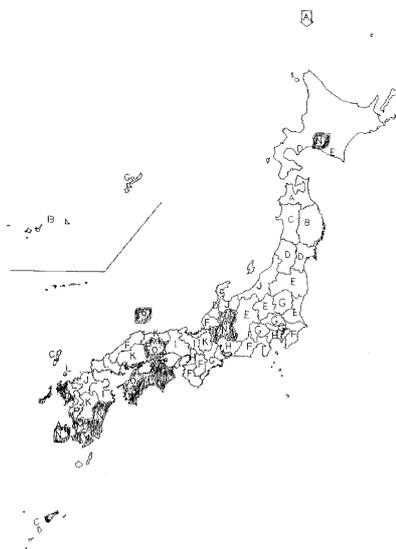


図-3 弥生人の北上

3. 北九州、中国、近畿、北陸地域

[A/O]が、西南九州より若干低い地域を黒く塗って、図-4に示します。九州は北から中部へ、中国地方は岡山を除く全域から近畿北部を経て、日本海沿いに北陸・上越に共通の特性が伸びています。

弥生勢力が西日本を席捲し、縄文勢力の強い列島中央部を避けて北上して行った経路を見るようです。環濠集落跡、戦死者の遺体、銅剣や銅鐸等に代表され、魏志倭人伝の倭国騒乱時代に対応するのかもしれませんが、縄文地域の裏側の北陸への進出等、政治権力の意志も窺えるように思えます。古事記に見る神武以降崇神天皇までの大和周辺から近畿北部を固め、中国、北陸方面への勢力拡大に対応し、歴代后妃が服属勢力出身であるこ

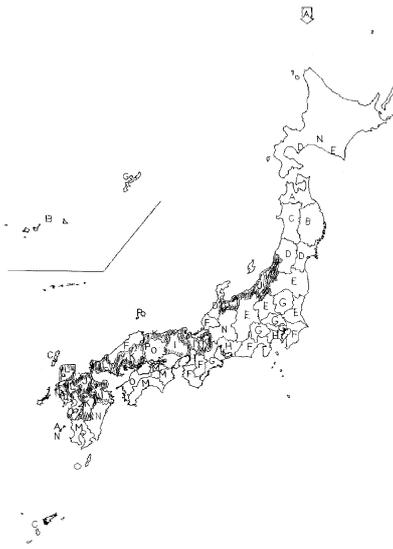


図-4 縄文人と弥生人の西日本、北陸への拡散

とから、弥生と縄文両勢力の交流が進み、後者による吸収が[A/O]の低下に現れていると考えられます。

4. 出雲、近畿、東海、関東地域

[A/O]が、3. の地域より低く、長野より若干高い地域を黒く塗って図-5に示します。近畿南部から東海地域、関東

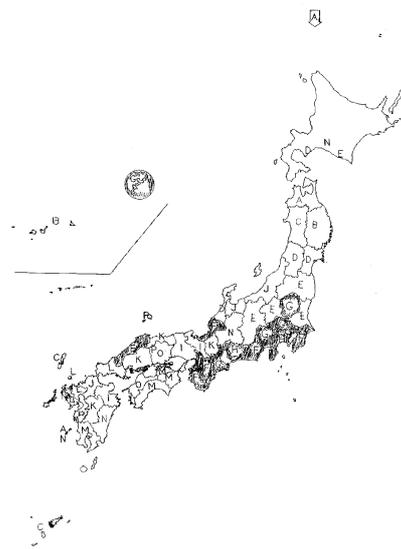


図-5 大和と出雲の結びつきと関東への進出

南部から北部にかけてと、飛地の様に山陰の出雲地方に共通の特性が広がっています。大和、出雲両勢力連合が西日本を抑え、東海道沿いに関東南部から北部を制して、東北南部へと列島統一の意志が読取れる様です。前方後円墳、埴輪、鉄剣の銘文に見る大和勢力との関係など時代は古墳時代に進みました。古事記に見る崇神天皇の尾張以東12道の制覇、越からの東北南部侵攻、関東の天皇家出自有力氏族出現や渡来勢力入植等の記述は特性分布と良く対応します。一方、出雲は先行する神話時代からの大和に次ぐ有力勢力とされており、山陰という飛地にも拘らず特性を共有する程の濃密な関係にあったと考えられます。これら地域が縄文型に近い理由に、本来の縄文勢力圏への進出と交流は弥生勢力の縄文勢力への吸収を一層推し進めたと思いますが、出土品等に見る騎馬文化は縄文型と共通な特性を持つ勢力渡来の可能性も否定できません。

朝鮮南部との騎馬文化の共有、古代中国周辺の西方系騎馬民族の活動、西方系遺伝特性を持つ古代中国人の存在、高句麗広開土王碑や記紀に見る朝鮮半島進出は権力中枢への西方系勢力の影響を伺わせませす。しかしながら、日本列島の稲作文化継続の事実は、弥生型の縄文型への吸収が権力中枢の変質を齎した主要な背景と思われる。バイキング出自のロシア・キエフ王朝の急速なロシア化、フランス出自のノルマン系イングランド王朝のフランスへの執着は、千年前に日本列島に起ったことと同じように思えます。

おわりに

血液型特性勾配の反転する地域に着目し、特性分布と古事記の記述の対応から古代日本の成立をたどってみました。統計的数値から個々の事件を追うことはできませんが歴史の動きを俯瞰し、理解するには役立ちそうです。

モザンビーク国向け浚渫船

2005年12月 日本造船技術センターの本部でモザンビーク国向け「1,000m³ トレーリングサクシオン・ホッパー浚渫船」の入札が行われ三菱重工業(株)が落札した。今後建造に入り引渡しは2007年春の予定である。

本船の主要目は下記のとおり。

主寸法 : 65.0m x 14.0m x 4.7m
-4.0m

泥艙容量 : 1,000m³

浚渫深度 : 20.0m

速力 : 航海-10.2kt 浚渫-6kt

乗組員 : 36名

主機関 : 1,200PS x 2基

本計画は(独)国際協力機構の無償供与資金によるもので、2004年6月に日本造船技術センターが同機構より基本設計調査を受託し2005年6月実施機関であるモザンビーク国浚渫公社より実施設計

調査及び建造監理業務を受注し、この程入札に漕ぎ付けたものである。

本船が航路浚渫にあたるモザンビーク国ベイレ港はモザンビーク国の主要港で

あるばかりでなくアフリカ内陸国にとっても重要な港であり、1999年に本船とほぼ同型船が日本で建造供与されている。



委員会等

第17～20回浮体式洋上風力発電に関する研究WG

平成17年10月11日(火) 13:30～17:00 海技研

平成17年11月21日(月) 13:30～17:00 SRC本部

平成17年12月16日(金) 13:30～17:00 SRC本部

平成18年 1月23日(月) 13:30～17:00 SRC本部

第93回HRC委員会

平成17年12月21日(水) 13:00～17:00

SRC本部



造船設計技術伝承のなかで、線図創生は難しい項目の一つです。主な理由は、いろいろな設計条件を満足する特殊な曲面形状を描き出す技術を身につけねばな

らなかつたことにあります。造船技術センターでは、3次元曲面幾何学を応用し、ベテランが描く初期線図レベルの図面をパソコンで創生するシステムを開発し、改良を続けていますが、筆者も及び腰でパソコン画面を睨みつつ、従来の図面作業と違う感覚に戸惑いつつ、線図創生を

楽しんでいます。曲面幾何学も一つ次元を上げれば、一般相対性理論ですから、線図創生も宇宙創生の秘密に通じるとの妄想に浸るのも楽しいのではないのでしょうか。(K.T)

申し込みの受付

試験等の申し込み、問い合わせは右表の担当までご連絡をお願いいたします。

〒112-0004 東京都文京区後楽2丁目1番2号
興和飯田橋ビル7階

〒181-0004 東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(独)海上技術安全研究所2号館内



Shipbuilding Research Centre of Japan

財団法人 日本造船技術センター

<http://www.srcj.or.jp>

本部(飯田橋)	
役員・代表	03-3868-7122
総務部	03-3868-7124
ファックス	03-3868-7135
海洋技術部	03-3868-7125
海外協力室(OSCC)	03-3868-7127
技術開発部	03-3868-7126

試験センター(三鷹)	
センター長・総務室	0422-24-3861
ファックス	0422-24-3869
技術顧問	0422-24-3863
技術部	0422-24-3862
試験部	0422-24-3867
設計システム開発課	0422-24-3870