

## 実海域実験による運航性能評価に関する研究

上野道雄\*<sup>1</sup>、辻本 勝\*<sup>1</sup>、原口富博\*<sup>1</sup>、石田茂資\*<sup>1</sup>、二村 正\*<sup>1</sup>  
宮崎英樹\*<sup>1</sup>、藤原敏文\*<sup>1</sup>、野中晃二\*<sup>1</sup>、塚田吉昭\*<sup>2</sup>、日夏宗彦\*<sup>2</sup>  
南 佳成\*<sup>2</sup>、今里元信\*<sup>3</sup>、原野勝博\*<sup>3</sup>、岡 修二\*<sup>4</sup>、矢吹英雄\*<sup>5</sup>  
齋藤重信\*<sup>5</sup>、野田英夫\*<sup>5</sup>

A Study on Estimate of Operational Performances of a Ship by Analysis of  
Full-scale Experimental Data at Actual Seas

by

Michio UENO, Masaru TSUJIMOTO, Tomihiro HARAGUCHI, Shigesuke ISHIDA,  
Tadashi NIMURA, Hideki MIYAZAKI, Toshifumi FUJIWARA,  
Koji NONAKA (Ship Dynamics Division),  
Yoshiaki TSUKADA, Munehiko HINATSU, Yoshimasa MINAMI (Ship Performance Division),  
Motonobu IMASATO, Katsuhiko HARANO (Ship Equipment and Marine Environment Division),  
Shuji OKA (Structure Mechanics Division),  
Hideo YABUKI, Shigenobu, SAITOH, Hideo NODA (Institute for Sea Training)

### Abstract

Full-scale ship trials at actual seas are carried out using a training ship Seiun-maru. The training ship is equipped with a data processing system using local area network with which many kinds of data such as ship speed, rudder angle, propeller revolution, wind, current, and waves etc. can be collected and stored as a set of data file easily.

Collected data are analyzed from viewpoints of ship manoeuvrability under external forces, long-term ship propulsion performance quality, crews work efficiency and comfortableness and manoeuvring motion in harbor.

On manoeuvring motion under external forces, validity of wind and current data are confirmed and manoeuvring motion in wind and current can be estimated by simulation under consideration of the effects of these external forces. On long-term ship performance quality, relations between external effects and propulsive quality are demonstrated by analysis of long-term global voyage data. Moreover, present evaluation procedure for long-term ship performance quality introduced by authors is confirmed to be effective and new estimation technique is also proposed. On crews work efficiency and comfortableness, subjective evaluation is carried out through questionnaires. The results of questionnaire are compared with measured acceleration data and relations between them are investigated. On manoeuvring motion in harbor, simulation model used in this paper is confirmed to be effective to estimate the motion in harbor.

All reported here in this paper indicate that data collected through the training ships information processing system using local area network is very useful and effective for researches on operational performances of ships at actual seas.

- 
- \* 1 運動性能部      \* 2 推進性能部  
\* 3 装 備 部      \* 4 構造強度部  
\* 5 航海訓練所

原稿受付 平成13年2月23日

審 査 済 平成13年7月27日

## 目次

1. 緒言	25	5.4.1 回答時の体調等	52
2. 実海域における操縦性能の研究		(1) 体調	52
2.1 はじめに	25	(2) 睡眠	52
2.2 模型実験と操縦運動シミュレーション計算	26	(3) 酔い止め薬	52
2.2.1 拘束模型実験結果	26	5.4.2 作業性と乗り心地	53
2.2.2 自由航走模型実験結果とシミュレーション計算結果	28	(1) 歩行	53
2.3 実海域における実船実験とシミュレーション計算	30	(2) 筆記	53
2.3.1 実海域実験と実船対応計算	30	(3) 作業性	53
2.3.2 実海域における実船の操縦運動とシミュレーション計算	30	(4) 気分	53
(1) 35度旋回	31	(5) 作業性や船酔いに影響を与える因子	53
(2) Z操舵	32	5.5 加速度の計測結果	53
(3) 逆転停止	33	5.6 加速度実効値と気分・体調との関係	54
2.4 まとめ	34	5.7 まとめ	55
参考文献	35	参考文献	55
付録：操縦運動方程式	35	6. 実海域における出入港シミュレーションの研究	
3. 実海域における推進性能の研究		6.1 はじめに	55
3.1 はじめに	37	6.2 操縦運動モデル	55
3.2 青雲丸の概要と計測データ	37	6.2.1 主船体働く流体力	56
3.3 結果と考察	37	6.2.2 プロペラ推力	56
3.4 まとめ	41	6.2.3 舵力および操舵により主船体に誘起される流体力	57
参考文献	41	6.2.4 水面上の船体に働く風圧力	57
付録：風向きと波向きについて	41	6.2.5 バウスラスターにより主船体に誘起される流体力	57
4. 実船性能の長期予測法に関する研究		6.3 スパイラル特性	58
4.1 はじめに	42	6.4 出入港時の計測例との比較	59
4.2 航海データ	42	6.4.1 K港出港時の計測例の比較(1998年11月7日)	59
4.3 確率論に基づく推定法	45	6.4.2 S港入港(1998年11月13日)	60
4.4 考察	49	6.4.3 H港出港(1998年11月28日)	61
4.5 まとめ	50	6.4.4 N港出港(1999年4月13日)	61
参考文献	50	6.5 まとめ	62
5. 実海域における乗員の作業性および乗り心地の研究		参考文献	62
5.1 はじめに	51	7. 結言	62
5.2 アンケート調査の方法	51	謝辞	63
5.3 回答者の構成および性質	52		
5.4 作業性と乗り心地	52		

## 1 緒言

船の性能推定あるいは評価手法の基礎としての船体運動論や抵抗・推進論等の研究はその多くが水槽実験等の研究室段階における検証を基盤としてきた。それは水槽実験等が対象とする問題を取り扱う際の現象のモデル化に適しているからであり、研究手法としては合理的であると考えられる。一方、実海域における性能を考えたとき、予測不可能な不規則な風や波、潮流といった外乱あるいは主機等の経年劣化や船側外板の生物汚損などのため、理想化された水槽実験のような状況は一般にはあり得ないと言っておく。

もちろん、理想化された状況だけでなく実海域の状況に対応した推定・評価手法も合理的な形で提案されている。しかし、このような理想化された状況を対象とした研究の積み上げとしての実海域における性能評価手法の検証のためには、実海域における性能計測が不可欠であると考えられる。また、運動性能や推進性能等のいわゆる船のハードに関する性能だけでなく、居住性や作業性といった人間工学的な観点から船の性能を考えようとするときなどについても実際の乗船経験に基づく主観的評価と船体運動の計測が不可欠と考えられる。このような背景から、近年、実海域における実船実験の重要性が広く認識されつつある。

しかしながら、実海域における実船実験の実施には様々な困難が伴う。波や潮流といった海象に関する定量的で信頼できるデータを取得することは一般に困難であるし、船の推力やトルクなどの計測には特別な機器の設置が必要となる。基本的な船首方位や船速等は近年のGPSの普及によって比較的容易にデータが取得できるようになったと考えられるが、船の制御のための入力としてのプロペラ回転数や舵角あるいは主機操作卓のハンドルノッチの状態などは船橋で視覚的に容易に把握できたとしても、電子化されたデータとして取得することは意外に困難である。さらに、目的とする計測を行うために必要な計測機器を取り付けて数種類のデータを個々に取得できたとしても、これら関連する計測項目の時間的な同期をとる必要があり、これもしばしばデータ処理上の問題点となる。

1997年10月に航海訓練所の練習船として建造された青雲丸は、近代的な運航設備はもちろんのこと訓練生のための各種の充実した教育設備・居住設備を

備えている。さらに、船舶の運航技術と造船に関する様々な実船実験の場を提供することを想定した研究支援設備も備えていることに大きな特長がある。実海域における船の各種状態を監視するための機器類を装備し、これらの情報が船内LANによる情報処理システムによって時々刻々処理され船内各所で確認できるほか、航海データとして保存することが可能である。これらのデータには、プロペラ翼角、プロペラ回転数、舵角、バウスラスト翼角、主機ハンドルノッチ等の船の制御に関するデータや、船速や位置、方位、旋回角速度、喫水、トリム角、ヒール角、軸推力、軸トルク等船の状態を表すデータ、さらには有義波高や有義波周期、風向、風速、潮流速度、潮流方向、水深といった気象海象データが含まれている。そして、これらのデータが時刻データとともに同期を取って一括して取得できるようになっている。この船内LANによる情報処理システムを利用することで、特別な計測機器を持ち込まなくても、さらには研究者が乗船しなくても乗員のみによる実海域の実船データの効率的収集が可能となる。

船舶技術研究所と航海訓練所はこの練習船青雲丸の設計段階からその研究支援設備の設計について検討をおこなってきた。本報告は練習船青雲丸を活用して船舶技術研究所と航海訓練所が共同で実施してきた研究項目のうちの操縦性能と推進性能、作業性および乗り心地、出入港操船の各項目についての研究成果をとりまとめたものである。

## 2 実海域における操縦性能の研究

### 2.1 はじめに

船の操縦性能を明らかにするためには、最終的には実海域における操縦性能試験が必要と考えられる。しかし、実海域における操縦性能試験データの信頼性がしばしば十分でないことや風や波、潮流といった外乱情報の不足のため実海域における試験結果を適切に評価することはそれほど容易ではない。

1997年に就航した航海訓練所の練習船<sup>1)</sup>は船内LANによる情報処理システムを装備しており、このシステムを利用することによって、多種類のデータを同期した時系列データとして取得することができる。これらのデータには船速や舵角、プロペラ回転数の他、風向や風速、潮流の流向や流速に関する

データが含まれている。著者らは本練習船の建造段階から操縦性能に関する拘束模型実験や自由航走模型実験を実施するとともに建造後は実海域における実船実験や水面上構造模型による風洞実験を実施してきた。

上述のような模型と実船に関する豊富なデータは本練習船の操縦性能を検討する上で有用であると考えられる。とりわけ、実海域における風と潮流のデータが得られていることは、IMO(国際海事機関)の操縦性暫定基準に関する検討項目の一つとしても取り上げられている操縦性能に対する外乱の影響評価といった問題を検討する上で重要であると考えられる。

本章では、まず基本的な操縦流体力等を求めるための拘束模型実験結果の一部について述べる。次に、自由航走模型実験結果とそのシミュレーション計算結果との比較検討によってシミュレーション計算の有効性についての検証を行う。さらに、実船対応のシミュレーション計算と実海域実験データとの比較検討によって、本練習船の船内LANによる情報処理システムで得られたデータの有効性を検証し、実海域の風と潮流の影響下での実船の操縦運動を解析する。

## 2.2 模型実験と操縦運動シミュレーション計算

本研究が対象としている練習船に関しては、その建造段階から船舶技術研究所その他で各種の模型実験が実施されてきた<sup>2)</sup>。著者らは、操縦運動に関して拘束模型実験と自由航走模型実験を実施してきた。拘束模型実験には斜航試験やプロペラ荷重度変更試験等が、自由航走模型実験<sup>3)4)5)</sup>には、速度試験、旋回試験、逆スパイラル試験、Z操舵試験、停止試験、加速旋回試験等が含まれている。また、外乱としての風の影響を調べるための風洞実験と、停止状態を対象とした波漂流力の計算<sup>6)</sup>も実施している。ここでは、これらの模型実験結果の一部として斜航試験とプロペラ荷重度変更試験、風洞実験の結果について述べ、これらの結果を用いたシミュレーション計算の有効性を自由航走模型実験結果との比較によって検証することとする。

Table 2.1 Principal dimensions of a training ship

Item	Ship	Model
Length: L(m)	105.00	4.2900
Breadth: B(m)	17.90	0.7313
Draft: d(m)	5.96	0.2435
trim(m)	0.0	0.0
lcb(%L aft from midship)	2.14	2.14
Displacement(ton)	5827.0	0.3870
Prop. diameter: $D_p$ (m)	4.70	0.1859
Prop. pitch: P(m)	4.94	0.2060
$P/D_p$	1.05	1.1079
Prop. ex. area ratio	0.65	0.61
Prop. brade number	4	4
Rudder area: $A_R$ (m <sup>2</sup> )	10.03	0.0223
$A_R/Ld$	1/65.9	1/46.8
Rudder aspect ratio: $\lambda$	1.8650	1.4694

### 2.2.1 拘束模型実験結果

斜航試験およびプロペラ荷重度変更試験に用いた模型船の主要寸法を実船の主要寸法とともに Table 2.1 に示す。舵とプロペラの要目は模型実験以降の設計変更のため実船と模型船で異なったものとなっている。この実験に使った模型プロペラのピッチは変更可能であるが、プロペラ回転中にピッチを変化させられる機構にはなっていない。また、舵はフラップ舵である。

Fig. 2.1 に斜航試験結果を示す。Fig. 2.1 では、横軸の斜航角( $\beta$ )は船の前進状態から後進状態までの広い範囲をとっており、舵とプロペラがついている状態(HPR)と舵とプロペラともについていない状態(H)の2種類のデータを示している。プロペラは停止の状態にある。これらのデータから操縦運動中の斜航に関する流体力微係数を求めることができる。

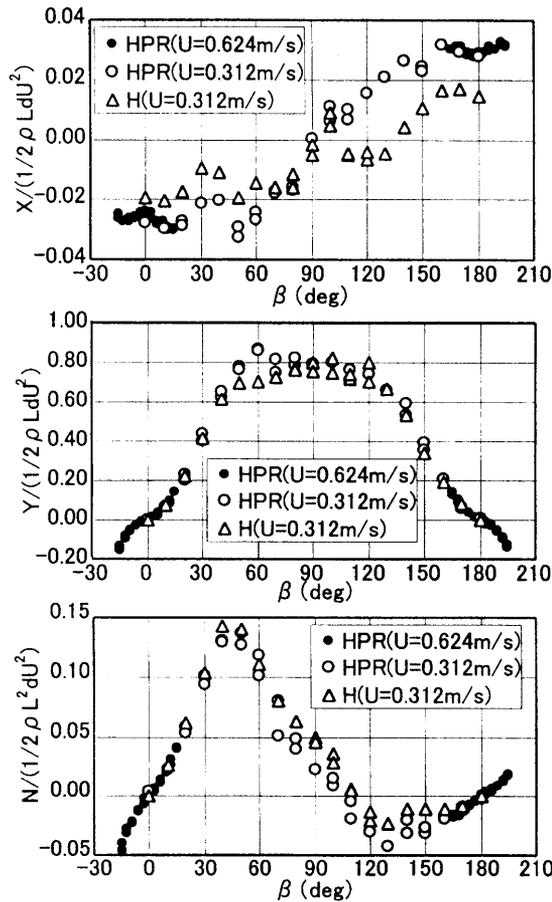


Fig. 2.1 Forces and moment in oblique motion

Fig. 2.2 にプロペラ荷重度変更試験の結果を示す。Fig. 2.2 はプロペラのピッチは基準状態の 25.5 度で、舵角が 0 度の状態のものである。無次元化にはプロペラ回転数 (n) とプロペラピッチ (P) を用いており、横軸は前進定数  $J (= U/nP, U: 船速)$  を表す。プロペラ荷重度変更試験においては、プロペラピッチを基準ピッチにした状態のほか、後進ピッチ 2 種類についても実験をおこなっており、さらに、これらのピッチ角それぞれについて舵角 0 度の状態のほか右 35 度および左 35 度の状態でも計測している。Fig. 2.2 は前進と後進それぞれの状態に対してプロペラ順転と逆転の状態を組み合わせ示している。実船は可変ピッチプロペラを装備しており、速度の変更や逆転停止に至るまでプロペラピッチを変化させることが実際には多いと考えられるが、練習船という性格上、固定ピッチで逆転状態をとることも考えられる。自由航走模型実験や実船における固定ピッチ状態のプロペラ逆転停止試験のシミュレーション計算には Fig. 2.2 に示すようなデータが必要となる。

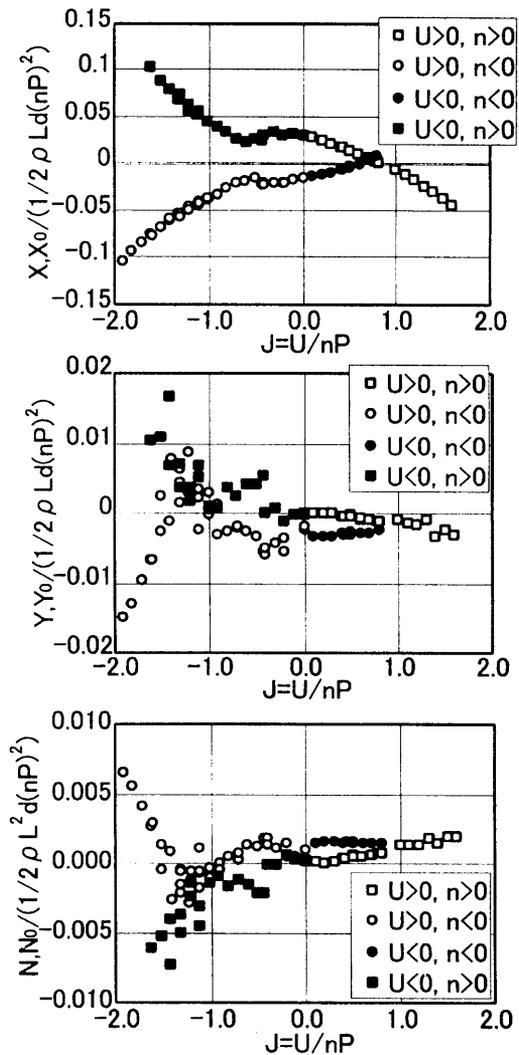


Fig. 2.2 Forces and moment for variable propeller load condition

斜航試験やプロペラ荷重度変更試験は操縦性能を推定する上で最低限必要な平水中の流体力微係数等を求めるためのものである。しかし、実海域での実船データには風や波といった外乱成分が混入してすることは避けられない。

そこで、風に関しては、練習船の水面上の形状の模型 (長さ 1.05m) を用いた風洞実験によって風荷重 ( $X_A, Y_A, N_A$ ) の計測をおこなった。Fig. 2.3 に風洞実験結果を示す。実海域の風は上下方向にある風速分布を持っており、その分布が風のおよぼす力に影響する<sup>7)</sup>と考えられる。風洞実験では、Fig. 2.3 中に示すように、粗面板を用いない風洞固有の風速分布と、粗面板を用いて海上風を模擬した風速分布の 2 種類の状態で計測を実施した。無次元化に用いた風速 ( $U_A$ ) には実船の風速計位置に対応する高さ (模型寸法

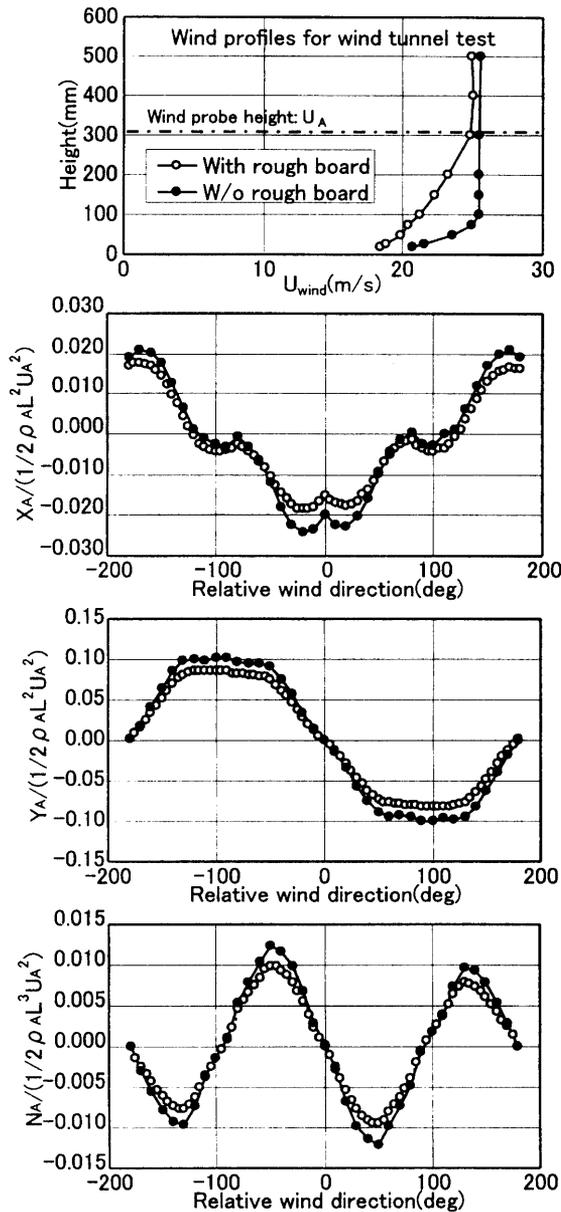


Fig. 2.3 Wind profile, wind forces and moment

で水面から 306.5mm)での風速を用いた。Fig. 2.3の結果から、相対風向角に対する風による力とモーメントの傾向が風速分布に影響されることがわかる。相対風向角は0度が正面向かい風、180度が追い風の状態である。後述する実船のシミュレーション計算では、実際の風向および風速の計測値をもとに、この模型実験結果のうちの粗面板を使って海上風分布を模擬した状態の結果から実船に働く風の力を推定した。

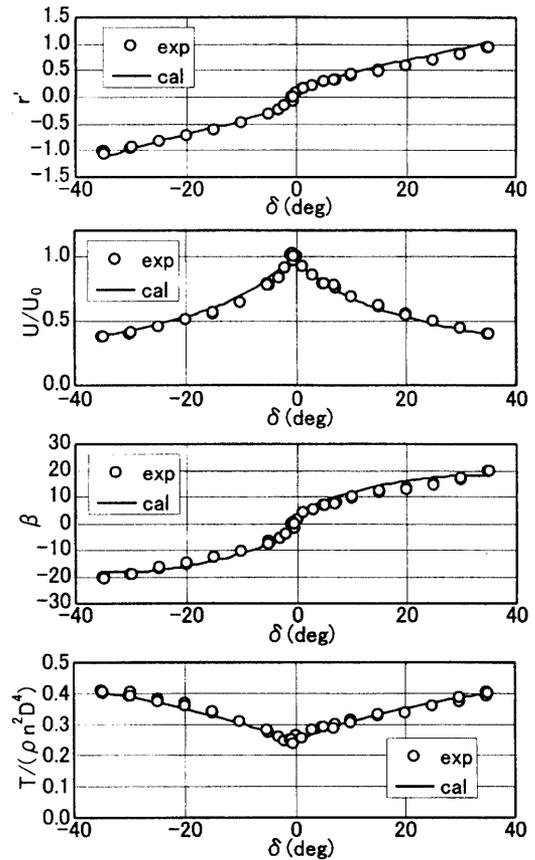


Fig. 2.4 Steady turning characteristics(model)

### 2.2.2 自由航走模型実験結果とシミュレーション計算結果

本練習船の操縦運動を評価するため本船を対象としたシミュレーション計算を行うこととした。操縦運動方程式には、本練習船がフラップ舵を装備していることを考慮<sup>9)</sup>したMMG型<sup>9)</sup>のモデルを用いることとし、シミュレーション計算に必要なすべての係数は前節で述べた模型実験や他の模型実験結果<sup>9)</sup>を利用して決めることとした。操縦運動方程式の詳細は付録に示すとおりである。以下では、水槽において風や波の影響が少ない状態で実施されている自由航走模型実験結果との比較検討によってシミュレーション計算の有効性を確認する。

定常旋回時の無次元旋回角速度( $r$ )、船速比、斜航角、推力( $T$ )と舵角( $\delta$ )との関係をFig. 2.4に示す。船速比は直進時の船速( $U_0$ )との比をとったものである。斜航角の一部に若干の定量的な差が見られるもののシミュレーション計算結果は模型実験結果とよい対応を示していることがわかる。

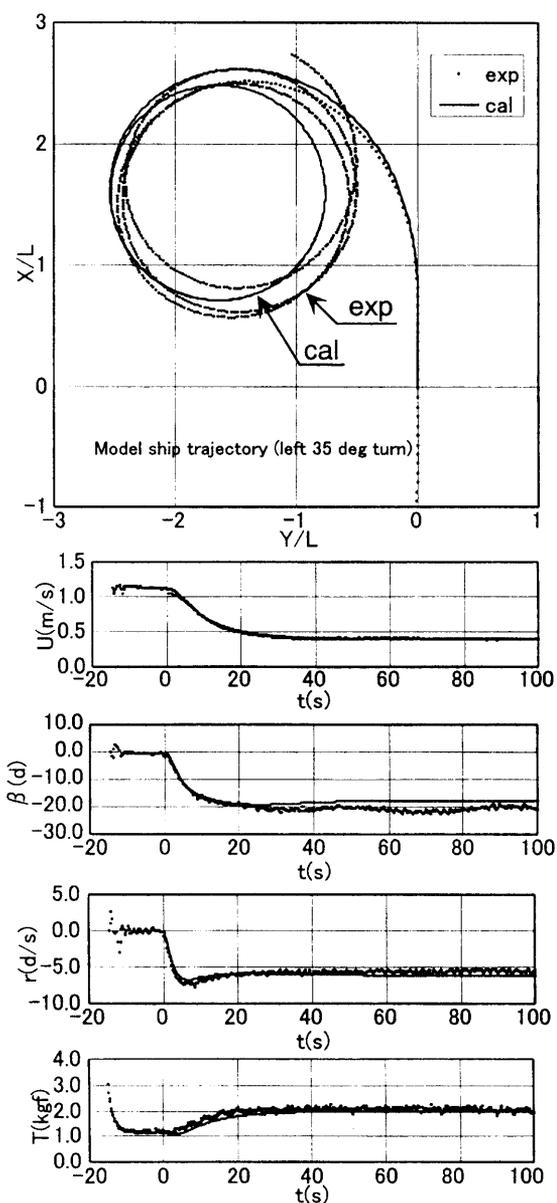


Fig. 2.5 Left 35deg. turn(model)

実船船速10kt相当での左35度旋回時の航跡と旋回角速度( $r$ )、斜航角、船速比、推力の時系列データをFig. 2.5に示す。ここでも斜航角の定常値に実験と計算に若干の差が認められるが、過渡状態を含めてシミュレーション計算は模型船の現象をよくとらえていると考えられる。

実船船速10kt相当での右20度Z操舵時の航跡と舵角、船速、斜航角、旋回角速度、船首方位角( $\psi$ )、推力の時系列データをFig. 2.6に示す。4回目の操舵の時刻には少し差が見られるが、3回目の操舵まではいずれの計測項目もシミュレーション計算結果と非常によい一致を示していることがわかる。

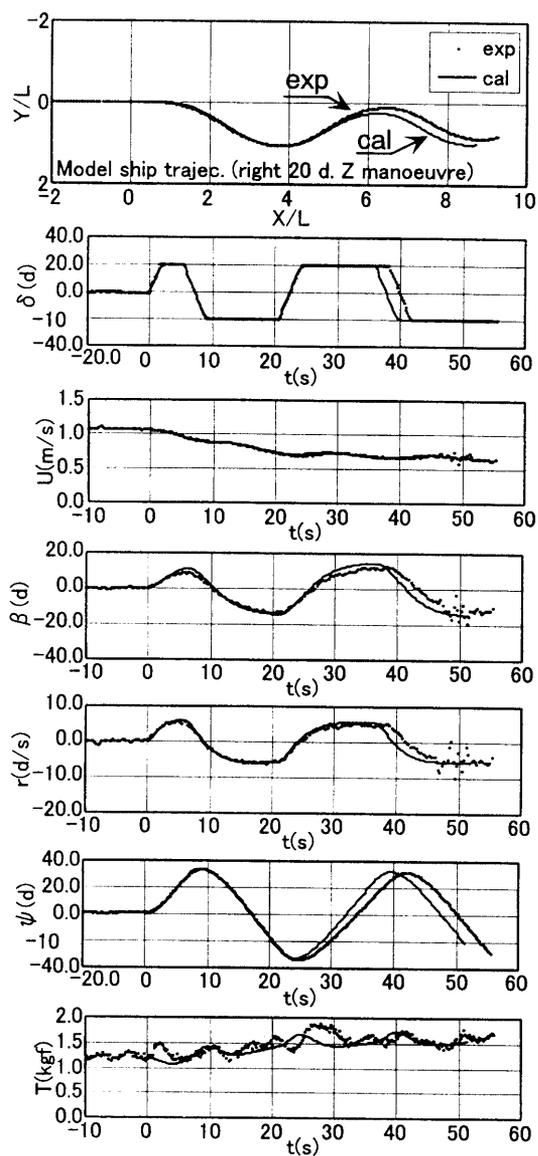


Fig. 2.6 Right 20 deg. Z manoeuvre(model)

実船船速10kt相当での逆転停止時の航跡と船速、斜航角、旋回角速度、推力の時系列データをFig. 2.7に示す。プロペラ回転数は正転6.25rpsから逆転7.50rpsまで0.4412rps/sの変化率で減少させた。舵位置は中央に保った状態にある。このシミュレーション計算でのプロペラ逆転時の流体力にはFig. 2.2のプロペラ荷重量変更試験のデータを用いた。シミュレーション計算は船速が十分小さくなった時点で終了している。

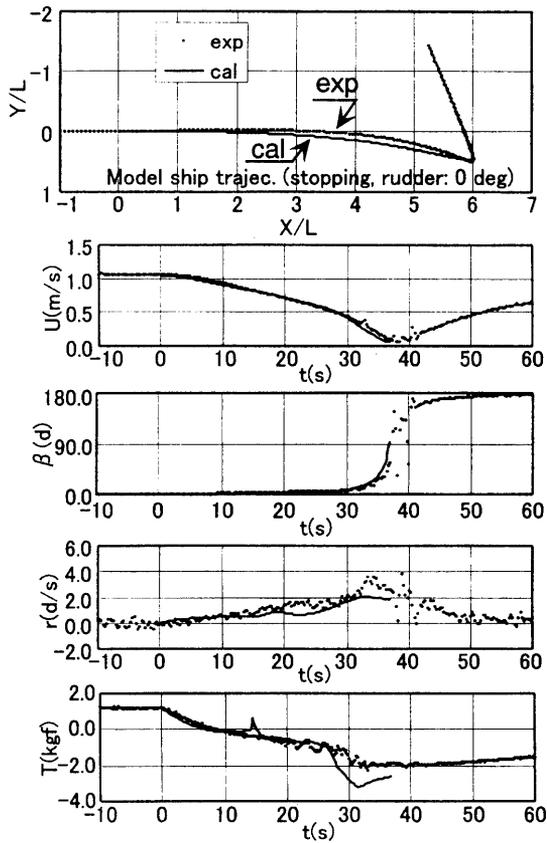


Fig. 2.7 Stopping with 0 deg.  
rudder angle(model)

旋回角速度にやや定量的な差が見られるものの、シミュレーション計算結果は模型実験結果をよく説明していると考えられる。推力のシミュレーション計算結果の途中にスパイク状に値が変化する箇所が見られるが、これはプロペラ回転数がほぼ零になる点であって、前進定数が無限小あるいは無限大になる点に対応する。この模型実験の場合、プロペラ回転数は滑らかに正転から逆転に変化しているため、上述の現象は回転数零付近のごく限られた状態における力の推定誤差によるものと考えられるが、全体の傾向に対しては大きな影響をおよぼしていないことがこのシミュレーション計算結果からわかる。以上の自由航走模型実験結果との比較検討によって本シミュレーション計算は練習船の操縦運動を記述する上で有効であると考えられる。

## 2.3 実海域における実船実験とシミュレーション計算

### 2.3.1 実海域実験と実船対応計算

操縦性能に関する実海域実験は1997年8月と10月、1998年1月(2回)と5月に実施された。船内LANによる情報処理システムには縦揺れや横揺れ等の船体運動のデータが含まれていないため、1998年1月の1回目までは船舶技術研究所職員がジャイロ等を独自に設置して縦揺れや横揺れ等の船体運動を計測した。ただし、これらの計測時には波はほとんどなく風も弱い海象下であった。一方、1998年1月の2回目と同年5月の実験では、ある程度の風の影響は認められたが波による影響は小さいと考えられる状況であった。

本練習船には電磁ログや光ファイバージャイロ等の計測機器も装備されているが、以下で示すデータはGPSとドップラソナー、風向風速計、ジャイロコンパス、舵角指示器に基づくものであり、すべて対地データとして表示している。

実海域における実船対応のシミュレーション計算を行うため、前節の模型船対応のシミュレーション計算に用いた係数のうちの伴流係数と抵抗に関する係数を実船に対応するように推定して変更した。さらに、最終的に建造された実船のプロペラと舵は模型実験段階からの設計変更がなされたため、この設計変更に対応しておこなわれた一部追加の模型実験結果も参考にして実船対応の係数の推定をおこない、シミュレーション計算を行うこととした。

### 2.3.2 実海域における実船の操縦運動とシミュレーション計算

自由航走模型実験は前述のようにプロペラピッチを固定して実施せざるを得なかったが、実海域の実船実験でも可変ピッチ状態での計測<sup>10)</sup>に加えて、一部の計測で模型実験に対応した固定ピッチ状態での計測がおこなわれた。ここでは固定ピッチ状態での実海域実船データを取り上げてシミュレーション計算結果と比較検討することとする。

実海域における一連の計測では、前述のように波の影響はほとんどないと考えられる海象下であったことから、シミュレーション計算に波の影響は考慮

しないこととした。風と潮流については、船内LANのデータにこれらが含まれているため、風と潮流の影響を考慮した実船対応のシミュレーション計算を行うこととした。以下に示す例では風と潮流のデータは計測中に大きくは変動しなかったためシミュレーション計算では風向と風速および潮流方向と潮流速度は計測データの平均値で一定として計算した。風についてはFig. 2.3のデータをもとに時々刻々の相対風向と相対風速の関数として風の力とモーメントを計算して外力として入力した。また、潮流については潮流方向へ潮流速度で流されるものとして計算した。

(1) 35度旋回

Fig. 2.8に船速10kt、右35度旋回時の航跡と船速、斜航角、旋回角速度の結果を示す。プロペラ翼角は、標準の25.5度ではなく16.9度の固定ピッチ状態となっている。直進状態の船速は10ktである。プロペラ翼角16.9度のプロペラ性能は標準ピッチ状態のデータ等から推定した。この計算の波と風の条件は、対地風速( $U_A$ )6.67m/s、対地風向( $\psi_A$ )357.38度、対地潮流速度( $U_C$ )0.36m/s、対地潮流方向( $\psi_C$ )82.98度である。対地風向と対地潮流方向は操舵開始時の船首方位角を0度として時計回りを正とした上流方向を示している。したがって、この実船データでは、風に関しては操舵時において向かい風、潮流に関しては操舵時に右舷側から流れてくる状態となっていることになる。波については船内LANのデータによれば有義波高が1.21m、有義波周期が7.45秒であり、必ずしも無視できる波の条件ではないが大きな影響を与えるほどではないと考えられる。

Fig. 2.8中の航跡図の中には計測中の潮流の軌跡図も別途示している。この図は操舵開始時に原点にあった流体が計測中に潮流のみによって移動する航跡を表しており、これによって潮流影響の程度を知ることができる。旋回角速度の立ち上がりがシミュレーション計算結果の方がやや早く、400秒前後の船速と斜航角に若干の差が見られるほかは実海域データとシミュレーション計算結果は比較的良好に対応をしていると考えられる。潮流の影響は約2.5船長分左に流すように影響していることがわかり、航跡全体のゆがみの大きな部分を占めるものと思われる。

船速10kt、左35度の旋回時の結果をFig. 2.9に示す。この計測でもプロペラ翼角は16.9度の固定ピッチ

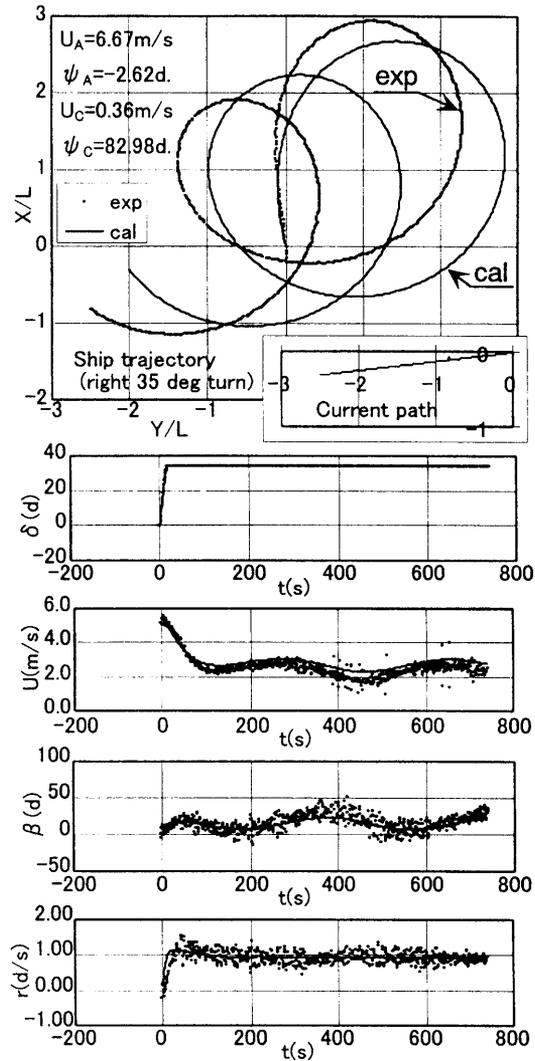


Fig. 2.8 Right 35 deg. turn(ship)

状態となっている。この計算では、対地風速6.43m/s、対地風向0.48度、対地潮流速度0.41m/s、対地潮流方向70.09度である。波については船内LANのデータでは有義波高が1.23m、有義波周期が7.33秒で、右35度旋回の場合とほぼ同じ状態であることがわかる。また、計算結果についても、右35度旋回の場合と同じように船速の低下がシミュレーション計算結果では計測値ほど大きくないため、旋回角速度がよい一致を示しているにもかかわらず航跡で旋回半径がシミュレーション計算結果の方がやや大きくなる結果となっている。しかし、それ以外は風および潮流下の運動の特徴をよく捉えていると思われる。

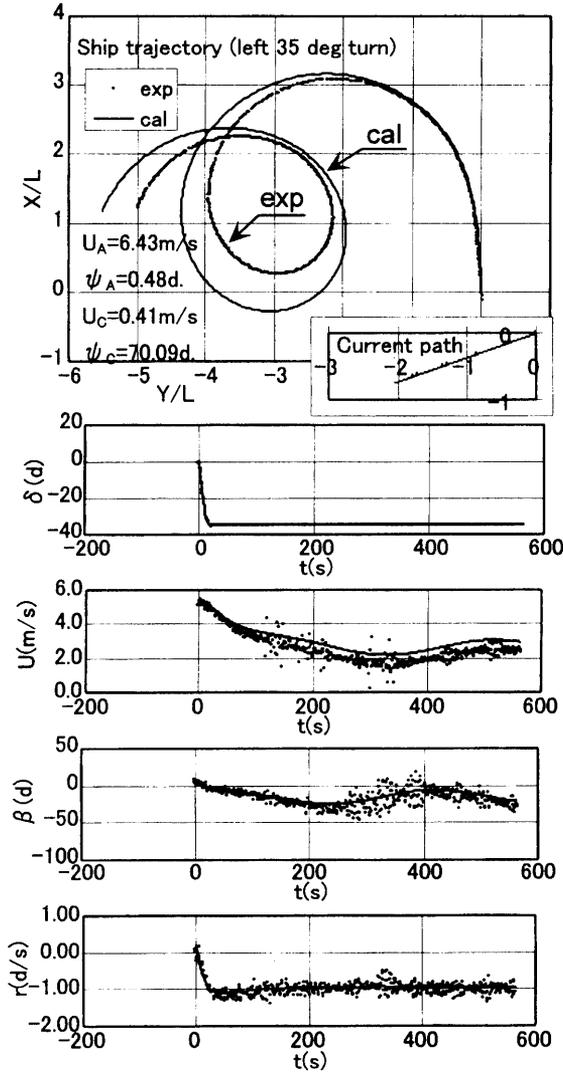


Fig. 2.9 Left 35 deg. turn(ship)

(2) Z操舵

船速10kt、右および左20度Z操舵の結果をそれぞれFig. 2.10およびFig. 2.11に示す。右20度Z操舵の場合は対地風速3.51m/s、対地風向214.32度、対地潮流速度0.09m/s、対地潮流方向204.80度、左20度Z操舵の場合は対地風速4.08m/s、対地風向243.75度、対地潮流速度0.17m/s、対地潮流方向164.85度となっており、潮流の影響は小さい状況にある。波については船内LANのデータでは右20度Z操舵の場合は有義波高が0.61m、有義波周期が9.31秒、左20度Z操舵の場合は有義波高が0.63m、有義波周期が9.82秒であり、その影響は小さいものと考えられる。プロペラ翼角は標準の25.5度であるが、プロペラ回転数を低くすることによって直進状態の船速は前述の35度旋回の場合と同じく10ktとなっている。

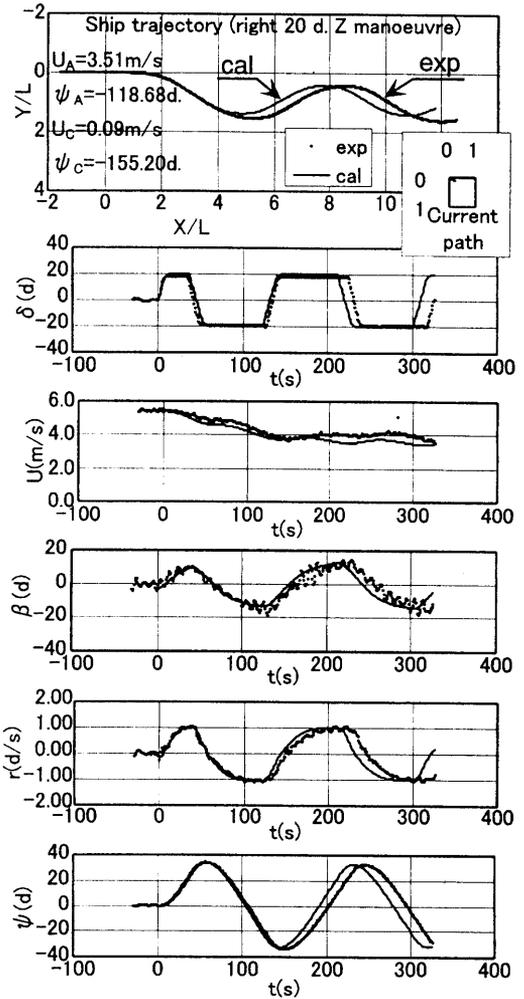


Fig. 2.10 Right 20 deg. Z manoeuvre(ship)

いずれの状態も風は操舵前の直進時に左舷やや後方からの風となっており、航跡にその影響が若干見られる。操舵時刻はシミュレーション計算結果の方がやや速くなる傾向が見られるが、それでも第3操舵くらいまでは時刻歴によい一致が見られる。実海域データの斜航角には波周期に近い高周波の振動が見られるが、シミュレーション計算結果は旋回角速度や船速低下の様子においても実海域の状態をよく表していると思われる。船首方位角についてもシミュレーション計算結果は実海域データをよく説明しており、IMOの操縦性暫定基準で問題となるオーバーシュート角もシミュレーション計算結果と実験結果はよく一致していると言ってよいと思われる。

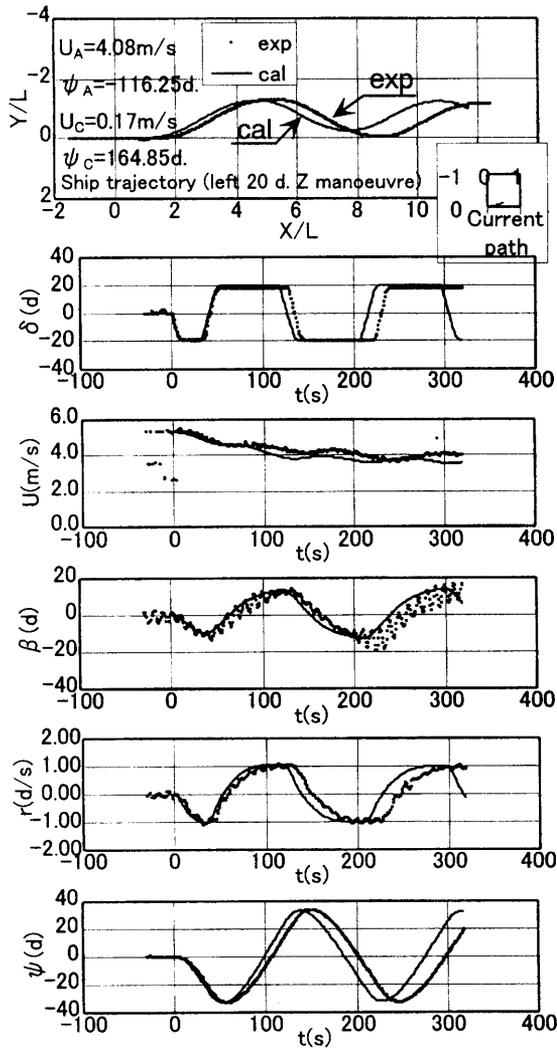


Fig. 2.11 Left 20 deg.  
Z manoeuvre(ship)

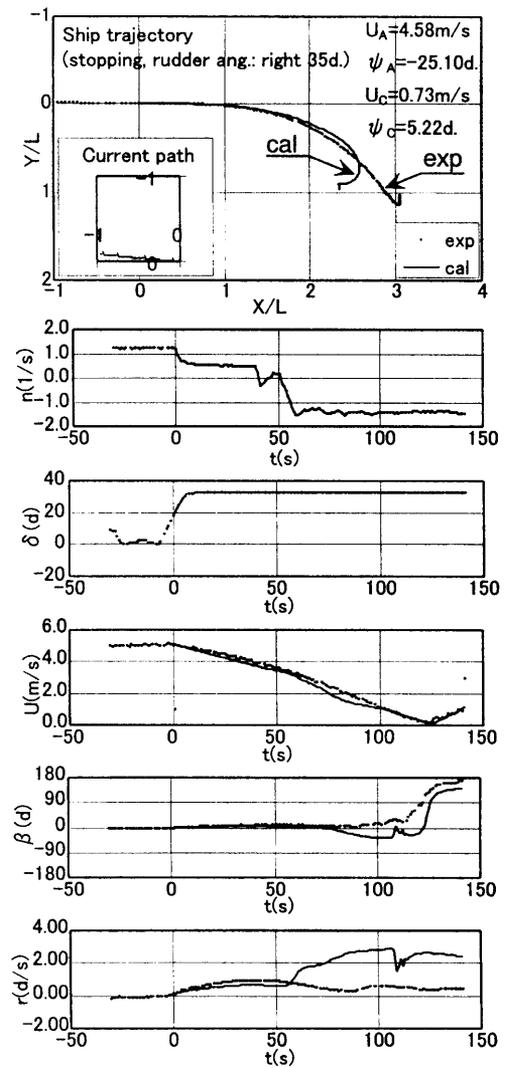


Fig. 2.12 Stopping with right 35  
deg. rudder angle(ship)

(3) 逆転停止

逆転停止試験の結果を Fig. 2.12 と Fig. 2.13 に示す。いずれも直進時はプロペラ翼角 25.5 度で 10kt の船速である。Fig. 2.12 は舵を右 35 度にとった場合、Fig. 2.13 は左 35 度にとった場合の結果である。風と潮流については右 35 度に舵を取った場合は対地風速 4.58m/s、対地風向 334.90 度、対地潮流速度 0.73m/s、対地潮流方向 5.22 度であり、左 35 度に舵を取った場合は対地風速 4.67m/s、対地風向 289.16 度、対地潮流速度 0.33m/s、対地潮流方向 355.77 度である。波については、右 35 度の場合は有義波高が 0.27m、有義波周期が 6.33 秒、左 35 度の場合は有義波高が 0.24m、有義波周期が 7.22 秒であり、前述の Z 操舵の場合以上にその影響は小さいものと考えられる。

実船データでは舵を取る時刻とプロペラ回転数が減少し始める時刻には若干差があるが、シミュレーション計算ではプロペラ回転数が減少し始める時刻を時刻 0 とし、この時点での船の状態を初期状態として入力した上で、実船で計測されたプロペラ回転数および舵角の時系列をシミュレーション計算の入力に用いた。シミュレーション計算における舵の効果はプロペラが正転の状態のみで考慮している。また、プロペラ逆転時に船に働く流体力には自由航走模型実験対応のシミュレーション計算の場合と同じく、Fig. 2.2 のデータを用いた。

船速の変化はほぼ実験結果とよい一致を示しているが、旋回角速度はプロペラ回転数が負になる付近からシミュレーション計算結果と計測結果には大きな開きが出てくる傾向が見られる。そのため、航跡

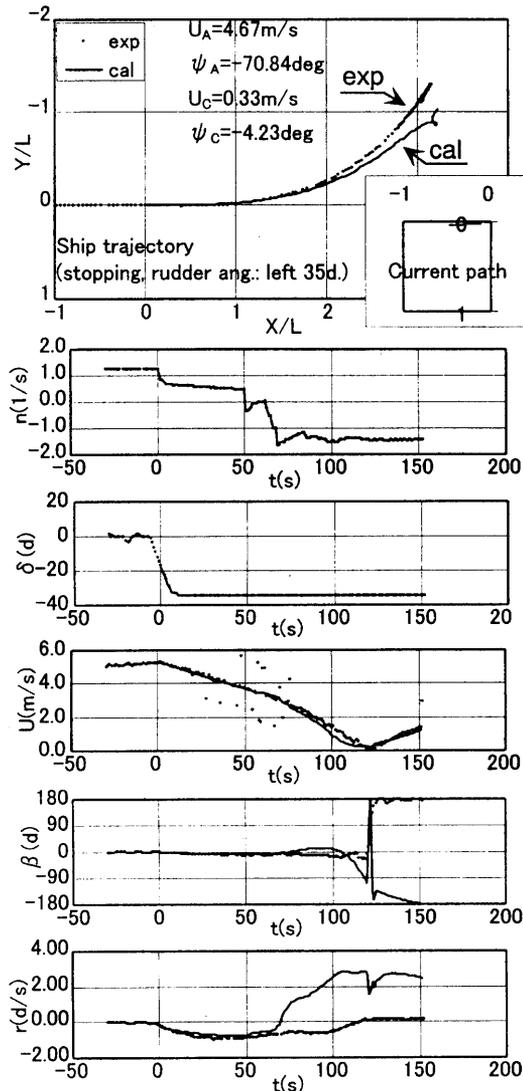


Fig. 2.13 Stopping with left 35 deg. rudder angle(ship)

には停止直前のところで計測結果にはない挙動がシミュレーション計算結果に現れる結果となっている。これらのプロペラ逆転の状態における差の原因は主としてプロペラ逆転時に働く力がFig. 2.2の値と異なるためと思われる。実際、プロペラ正転時の流体力はプロペラの設計が変更された後に再度模型実験を実施してその性能を確認し、そのデータが本シミュレーション計算に反映されているのに対し、プロペラ逆転時の再実験はおこなっておらず、したがって、実船のプロペラ逆転時の流体力は本計算に用いたFig. 2.2の値と大きく異なる可能性が考えられる。

しかし、プロペラが逆転に入るまでの挙動は計算でも十分精度よくシミュレートできていると思われる。特に、Fig. 2.12とFig. 2.13の計測値の傾向の違

いに見られる舵力の影響の差は、風および潮流下においてもシミュレーション計算がよく表現していると考えられる。

## 2.4 まとめ

練習船の操縦性能に関して、その設計段階から模型実験による拘束模型実験および自由航走模型実験を実施して実船の性能推定や設計変更のための基礎データを収集してきた。建造後は実海域における操縦性能評価のための実船データの計測もおこない、風や潮流といった外乱下における実海域データを収集することができた。

最終的な建造段階で、操縦性能にとって最も重要な舵とプロペラに関する設計変更がなされたため、厳密な意味では模型船と実船の相関に関する問題を検討できなかったが、今回、模型実験データとの比較検討によって検証された操縦運動モデルを用いることにより、実海域という外乱下での実船の操縦運動がシミュレーション計算でよく説明できることが確認された。ただ、逆転停止性能については、プロペラが逆転に入るまでの挙動はよく推定できたもののプロペラが逆転に入ってから推定に計測結果とシミュレーション計算結果に定量的な差が見られることから、プロペラ逆転時の流体力の推定がプロペラと舵の異なる模型実験による推定では十分ではないことも明らかとなった。

今回の実海域における実船の操縦性能計測とそのシミュレーション計算によって、船内LANによる情報処理システムを用いて収集された操縦性能関連データの有効性が確認されたと考えられる。特に風と潮流といった外的要因を表すデータの有効性が確認されたことは実海域での操縦性能推定にとって重要であると考えられる。

今後、外乱下の実海域データから平水中の操縦性能をどのような手法で推定できるかといった重要な問題等を取り扱う際にも、本研究で得られたデータが有効に活用されることが期待される。また、現在の船内LANによる情報処理システムに含まれていない波の時系列データや縦揺れ、横揺れといった船体動揺のデータについても今後整備していくことが実海域における船の性能を評価する上で重要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 矢吹英雄, 倉持貴好: 航海訓練所練習船「青雲丸」の概要, 日本造船学会誌, 第 826 号, (1998), pp. 262-267.
- 2) 練習船青雲丸-建造の記録-, 航海訓練所, (1997).
- 3) 上野道雄, 二村 正, 藤原敏文, 野中晃二: 自由航走模型船を用いた操縦性能実験へのGPSの応用, 船舶技術研究所研究発表会講演集, 第 68 回, (1996), pp. 228-233.
- 4) 上野道雄, 二村 正, 藤原敏文, 野中晃二: 自由航走模型船を用いた操縦性能実験におけるGPS(RTK-OTF測位システム)の有効性について, 関西造船協会誌, 第 228 号, (1997), pp. 113-122.
- 5) Ueno, M., Nimura T., Fujiwara T. and Nonaka, K.: Evaluation of RTK-OTF positioning system for free running manoeuvrability test of a model ship, Proceedings of Oceans '97, (1997).
- 6) Ueno, M., Nimura T.: On steady drifting motion of a ship in waves, Proceedings of 5th IFAC conference on manoeuvring and control of marine craft, (2000), pp. 393-398.
- 7) 藤原敏文, 上野道雄, 二村 正: 船体に働く風圧力の推定, 日本造船学会論文集, 第 183 号, (1998), pp. 77-90.
- 8) 芳村康男, 佐々木紀幸, 竹川正夫: フラップ舵を装備する船舶の操縦性能とその推定, 日本造船学会論文集, 第 181 号, (1997), pp. 191-196.
- 9) 平野雅祥, 高井忠夫, 松本憲洋: 造船設計への操縦運動モデルの応用 II -実船の操縦性能推定-, 第 3 回操縦性シンポジウム, 日本造船学会, (1981), pp. 101-136.
- 10) 矢吹英雄, 佐々木紀幸, 芳村康男: CPP 1軸1舵船の停止性能について-実船実験によるFPPとの比較-, 日本航海学会論文集, 第 101 号, (1999), pp. 95-102.

## 付録: 操縦運動方程式

操縦運動を記述する運動方程式を次のように表す<sup>9)</sup>。

$$\left\{ \begin{array}{l} (m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr = \\ X_{uu}u^2 + X_{vr}vr + (1-t)T \\ - (1-t_R)F_N \sin \delta + X_A + X_W \\ (m + m_y)\dot{v} + (m + m_x)ur = \\ Y_vv + Y_rr + Y_{vv}|v| + Y_{rr}|r| + Y_{vvr}v^2r \\ + Y_{vrr}vr^2 - (1+a_H)F_N \cos \delta + Y_A + Y_W \\ (I_z + J_z)\dot{r} = \\ N_vv + N_rr + N_{vv}|v| + N_{rr}|r| + N_{vvr}v^2r \\ + N_{vrr}vr^2 - (x_R + a_Hx_H)F_N \cos \delta + N_A \\ + N_W \end{array} \right. \quad (2.1)$$

ここで、 $m$ は船の質量、 $I_z$ は船首揺れに関する慣性モーメントを表す。 $m_x$ と $m_y$ 、 $J_z$ はそれぞれ前後揺れと左右揺れ、船首揺れに関する付加質量を表す。 $u$ と $v$ 、 $r$ はそれぞれ前進速度と横方向速度(右舷側を正)、回頭角速度(右回頭を正)を表し、 $\dot{u}$ 等は前進速度等の時間微分を表す。また、右辺の $u$ と $v$ 、 $r$ に関する各項は粘性に起因する流体力を表す。 $T$ はプロペラ推力、 $t$ は推力減少率を表す。 $F_N$ は舵直圧力、 $\delta$ は舵角、 $x_R$ は舵位置の前後方向座標、 $t_R$ と $a_H$ 、 $x_H$ は船体と舵との干渉係数を表す。 $X_A$ と $Y_A$ 、 $N_A$ は風による力とモーメント、 $X_W$ と $Y_W$ 、 $N_W$ は波による力とモーメントをそれぞれ表す。

舵直圧力 $F_N$ は次式で表される。

$$F_N = \frac{\rho}{2} f_\alpha(\lambda) a(\delta) A_R U_R^2 \sin \alpha_R \quad (2.2)$$

ここで、 $\rho$ は水の密度を表し、 $A_R$ は舵面積を表す。 $a$ は舵角 $\delta$ を変数とする舵のフラップの効果を表す関数<sup>1)</sup>、 $f_\alpha$ は次式で定義される舵の縦横比 $\lambda$ を変数とする揚力傾斜を表す。

$$f_\alpha(\lambda) = \frac{6.13\lambda}{2.25 + \lambda} \quad (2.3)$$

$U_R$  は舵有効流入速度を表し、次式で定義される。

$$U_R = U(1 - w_R)\sqrt{1 + cg(s)} \quad (2.4)$$

ただし、

$$c = \begin{cases} 0.935 (\delta - \delta_i \geq 0) \\ 1.065 (\delta - \delta_i < 0) \end{cases} \quad (2.5)$$

$$g(s) = \frac{\eta\kappa\{2 - (2 - \kappa)s\}s}{(1 - s)^2} \quad (2.6)$$

$$\eta = \frac{D_p}{H}, \kappa = 0.6 \frac{1 - w_p}{1 - w_R} \quad (2.7)$$

であって、ここで、 $U$  は船速、 $D_p$  はプロペラ直径、 $H$  は舵高さ、 $\delta_i$  は直進時の舵角を表す。 $s$  はプロペラスリップ、 $w_p$  はプロペラ位置での伴流係数を表し、次式で計算される。

$$1 - w_p = 1 - w_{p0} \exp(-4.0\beta_p) \quad (2.8)$$

ただし、

$$\beta_p = \beta - x_{pr}/U \quad (2.9)$$

であって、ここで、 $\beta$  は斜航角、 $x_{pr}$  はプロペラ位置の前後方向座標を表す。 $w_{p0}$  は直進状態におけるプロペラ位置での伴流係数を表す。

$w_R$  は舵位置での伴流係数を表し、直進時の値を  $w_{R0}$  として次式で計算される。

$$w_R = w_{R0} \frac{w_p}{w_{p0}} \quad (2.10)$$

$\alpha_R$  は舵有効流入角を表し、次式で与えられる。

$$\alpha_R = (\delta - \delta_i) - \gamma_R \beta_R \quad (2.11)$$

(184)

ただし、

$$\beta_R = \beta - 2.0x_{Rr}/U \quad (2.12)$$

$$\gamma_R = \frac{(1 - s)}{\sqrt{(1 - s)^2 + 0.6\eta(2 - 1.4s)s}} c_s \quad (2.13)$$

$$c_s = \begin{cases} c_3 \beta_R (\beta_R \leq c_{s0}/c_3) \\ c_{s0} (\beta_R > c_{s0}/c_3) \end{cases} \quad (2.14)$$

$$c_{s0} = 0.5, c_3 = 0.45$$

である。

プロペラ逆転時は(2.1)式の舵および推力の項に替わってFig. 2.2に示す前進定数  $J$  の関数である力およびモーメント  $X_0, Y_0, N_0$  が働くものとする。したがって、操縦運動方程式は次式となる。

$$\begin{cases} (m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr = \\ X_{uu}u^2 + X_{vr}vr + X_0 + X_A + X_W \\ (m + m_y)\dot{v} + (m + m_x)ur = \\ Y_vv + Y_r r + Y_{vv}|v| + Y_{rr}|r| \\ + Y_{vvr}v^2r + Y_{vrr}vr^2 + Y_0 + Y_A + Y_W \\ (I_z + J_z)\dot{r} = \\ N_vv + N_r r + N_{vv}|v| + N_{rr}|r| \\ + N_{vvr}v^2r + N_{vrr}vr^2 + N_0 + N_A + N_W \end{cases} \quad (2.15)$$

後述する実海域の実船対応のシミュレーション計算では潮流の影響も考慮する必要があるが、潮流に関しては、船が潮流速度で潮流方向に流されるものとして計算することとした。

### 3 実海域における推進性能の研究

#### 3.1 はじめに

船舶の総合的な推進性能は実海域を運航する状態で測られるべきである。しかし、現状では推進性能に直接影響を及ぼす風波等の外乱と、それに同期した船の推進諸性能データの収集が困難なため、平水中での試運転成績で評価される場合が多い。平水中の性能はその船の基本性能として重要ではあるが、長期に亘る総合的な推進性能を考察する場合、実海域における外乱下の運航データを分析する必要がある。しかし、今まで公に提供される実船データや実海象データが極めて少なかったことなどから、実海域の推進性能の評価法自体も含め十分に研究されているとは言い難い。

平成9年に就航した運輸省航海訓練所所属の練習船青雲丸<sup>2)</sup>は気象、海象情報や主機馬力等のデータを船内LANにより時系列的に収集するシステムを備えている。本章では青雲丸の世界一周運航時のデータを分析し、外洋航路における実海域性能の評価結果を示す。

#### 3.2 青雲丸の概要と計測データ

青雲丸は垂線間長105m、幅17.9m、喫水6.3mの比較的瘦せた船型である。プロペラは4翼で、ハイリスキュー可変ピッチプロペラである。計測データは、日時、船位、船速、スラスト、トルク、風向風速、有義波高、喫水等、推進性能を評価する上で必要な項目とした。そのデータサンプリング周期は10分とした。計測値は波の有義値以外は瞬時値である。秒単位のサンプリング周期としなかったのは船体運動がモニタリングされていないことによる。Table 3.1に今回の航海実績を示す。

Table 3.1 Route of voyage

departure	arrival	term
Tokyo	Long Beach	1998.6.18 - 6.29
Long Beach	Balboa	1998.7.10 - 7.11
Balboa	Lisbon	1998.7.12 - 7.23
Lisbon	Venice	1998.7.27 - 8.1
Venice	Singapore	1998.8.5 - 8.21
Singapore	Tokyo	1998.8.23 - 8.31

#### 3.3 結果と考察

Fig. 3.1に全航海の船速Vs(対水速度)とBHPの計測値を示す。BHPはトルクと回転数の計測値から算出した。生値では破線で示した試運転時よりも小さいBHPで運航されている部分がかかりあることがわかる。また、データのばらつきも大きいように見える。このデータには外乱影響、水温変化、排水量変化がすべて含まれていることと瞬時値の結果であることを考えると、この図から直接性能の評価を行なうことは適当でないと思われる。

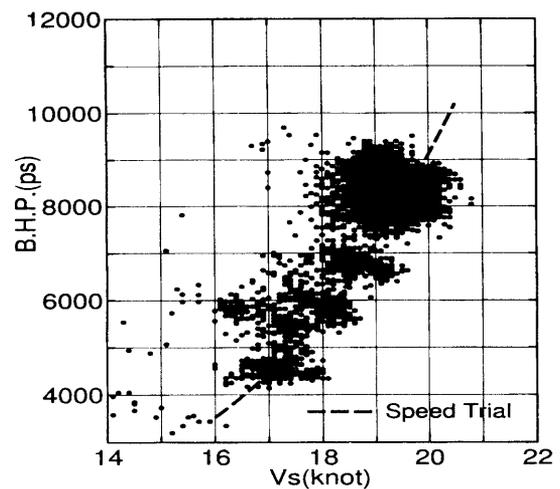


Fig. 3.1 Measured BHP-Vs data through round-the-world voyage

Fig. 3.1では、航路別で顕著に現れる水温影響が入ったままであるので、これを取り除いたデータで評価すべきである。ここでは、水温の差から推定される摩擦抵抗差分に相当する推進性能変化を、船研で行なった水槽試験結果を基に推定した。ここでは、計測値と同じ船速におけるBHPを水温15度相当に

補正した。次に、データのばらつき具合をみるため、時系列データとして整理する。

Fig. 3.2 に東京-ロングビーチ間の時系列データを示す。

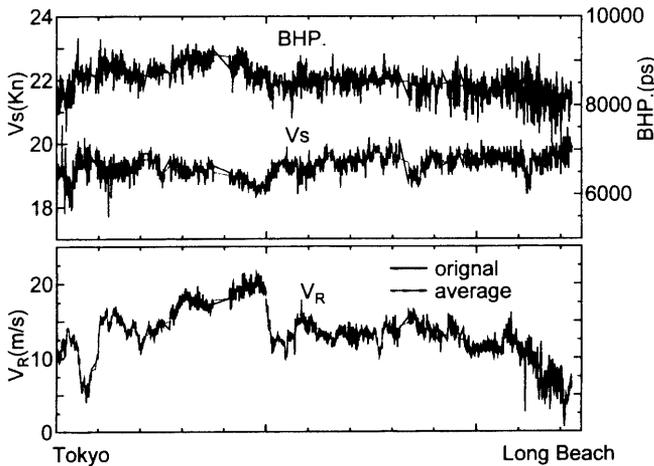


Fig. 3.2 Time history of relative wind speed, ship speed and BHP in Tokyo-Long Beach voyage

風速やトルク等の計測値は瞬時値であるので、分散の大きいデータになっている。このデータを各計測点前後30分づつ、計1時間分のデータで平均したものを同図に示した。大きな外乱に対する変化の特徴は捉えつつ、分散は小さく押さえられているので、今後、考察するデータはすべて1時間移動平均したものをを用いた。

Fig. 3.3 には水温15度相当と局所平均補正した船速とBHPの関係を示した。図中のFull(1)は各港出港時の平均状態、Full(2)は入港時の平均状態で水槽試験した結果から推定した性能曲線である。Fig. 3.1に比べてデータのまとまりがよくなっていて、外乱等の影響で速度低下が生じているのがわかる。この図にあるデータの固まりは主に航路の違いによる。なお、試運転時よりBHPが小さい部分のデータの大半は、追い風時のものである。

遠洋航海中の船舶は排水量が時々刻々変化するので、推進性能を評価する指標としては、排水量が考慮されたものが好ましい。アドミラルティ係数(以下Cadmと記す)は面積の次元に排水量 $\nabla$ の $2/3$ 乗を用いているので適当と思われる。なお、 $Cadm = \nabla^{2/3} V_s^2 / BHP$  は、抵抗係数が一定と考えたときの有効馬力 $\nabla^{2/3} V_s^2 \times V_s$ と軸馬力の比を意味している。したがってCadmに速度ベースで与えられた抵抗係数を乗

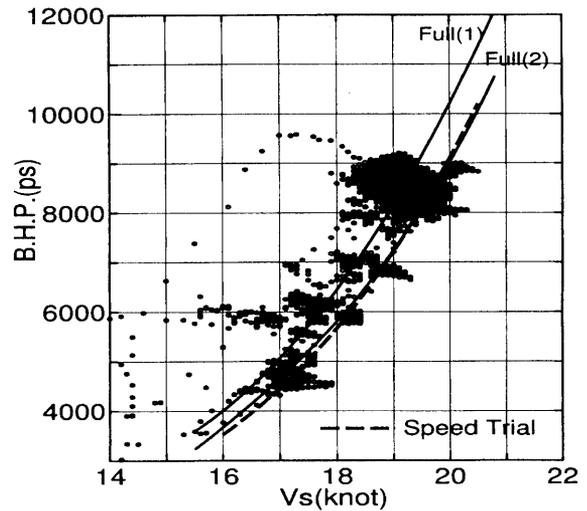


Fig. 3.3 Corrected BHP-Vs data through round-the-world voyage

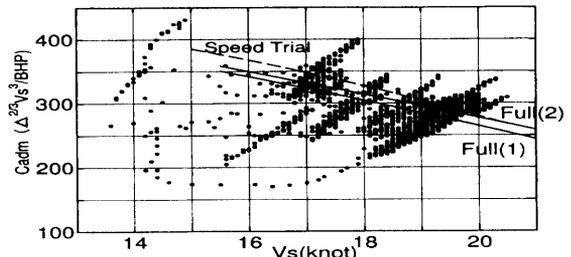


Fig. 3.4 Cadm-Vs data through round-the-world voyage

じれば、推進係数に比例した値が得られる。

Fig. 3.4に船速とCadmの関係を示す。今回の解析に使用したデータはプロペラ回転数がほぼ一定で運用されているため、これらはプロペラ回転数の違いで群を構成している。船速が18~20ノット付近にある群は、プロペラ回転数が主に136~144回転のデータである。どの群でみてもCadmと速度の関係は線形的であると見られる。またその比例係数もプロペラ回転数の違いによらずほとんど同一の値をとるとみてよい。今回のようにプロペラ回転数がほぼ一定で運用されている場合については、この傾きが大きいことは、わずかな速度の低下が大きな推進性能の低下をきたすことに対応するので、この傾きはある意味で推進性能の良否を示しているものと思われる。

外乱影響と推進性能を調べるため、Fig. 3.4のプロペラ回転数が136~144回転のデータを抽出し、風と波が推進性能に及ぼす影響を調べた。波の影響を考察する際は波向きが重要な要素となる。モニタリ

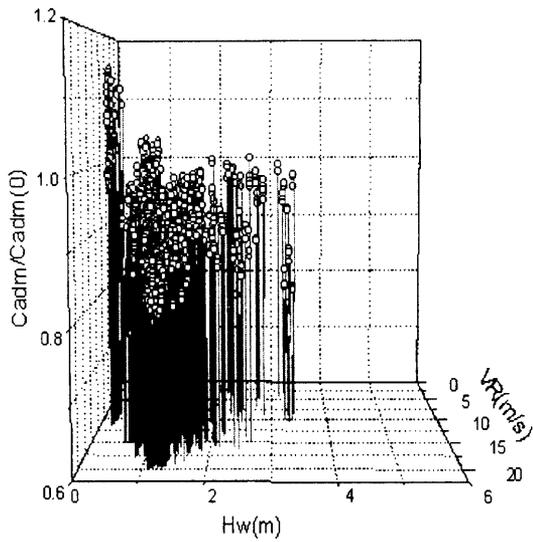


Fig. 3.5 Relation of Cادم with winds and waves(head sea)

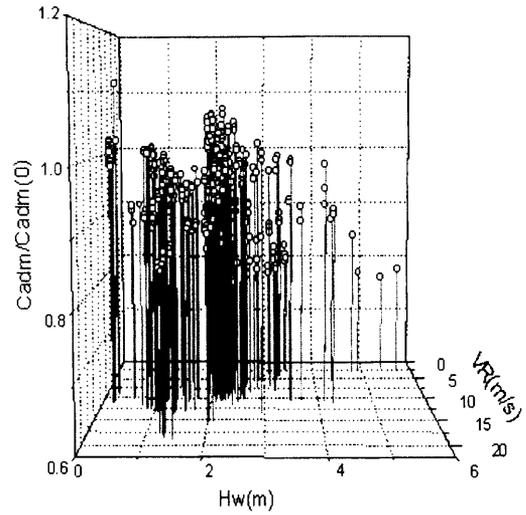
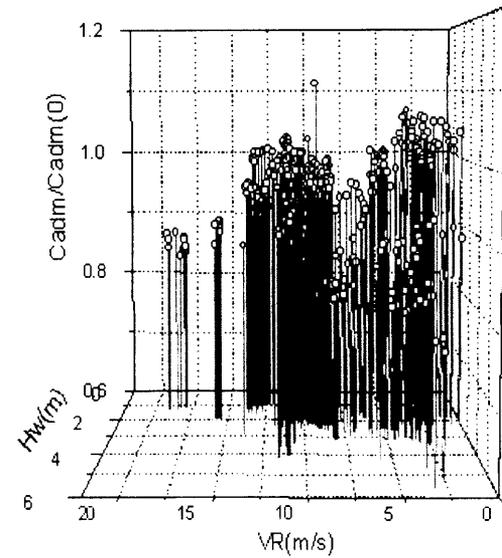
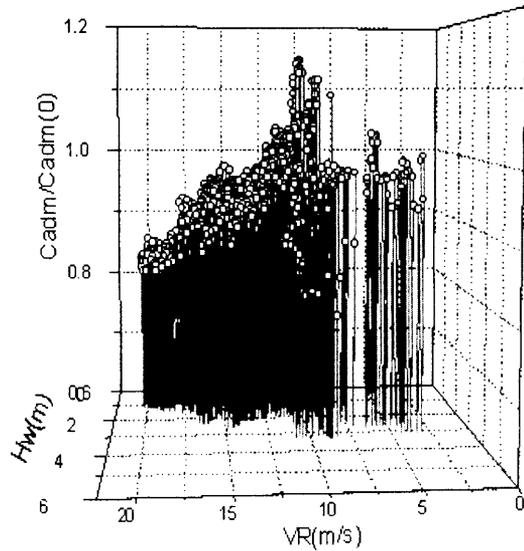


Fig. 3.6 Relation of Cادم with winds and waves(bean sea)



ングシステムには波向きは記録されていないので、3時間おきの目視観測データが記録されている区間のみ補間して与えた。

Fig. 3.5に向かい波群のデータを相対風速VR(相対風速のうち船体進行方向成分で、正が向かい風)、有義波高HwとCادمの関係を示した。Cادمは、抽出したデータのうちビューフォート階級が3以下のデータを集めて平均したものをCادم(0)とし、これで正規化した。今回のデータでは、Hwは3.5m以下のものばかりであるが、波高が高くなるにつれ推進性能が低下している。また、波高が2m以下の群を見ると、相対風速の増加が推進性能の低下に大きな影響を与えることがわかる。なお、Fig. 3.5のHw～

0mでCادم/Cادم(0)>1のデータは、絶対風速が-1m/s前後(船が停止しているとする、わずかに追い風)のときに得られたデータである。ここではCادم(0)はビューフォート3以下のデータを平均したものであるが、波も極めて小さく、また絶対風速もわずかに追い風側であったため、Cادم/Cادم(0)が1を超えたものと思われる。

Fig. 3.6に横波群のデータを示す。波の影響を見るとHw>3.0m付近から推進性能が低下している。風の影響を見るにはVRの大きいデータの数比較的少ないが、向かい波群と同じく相対風速が増加すると推進性能が大きく低下している。その性能低下量も向かい波群とほぼ同じである。

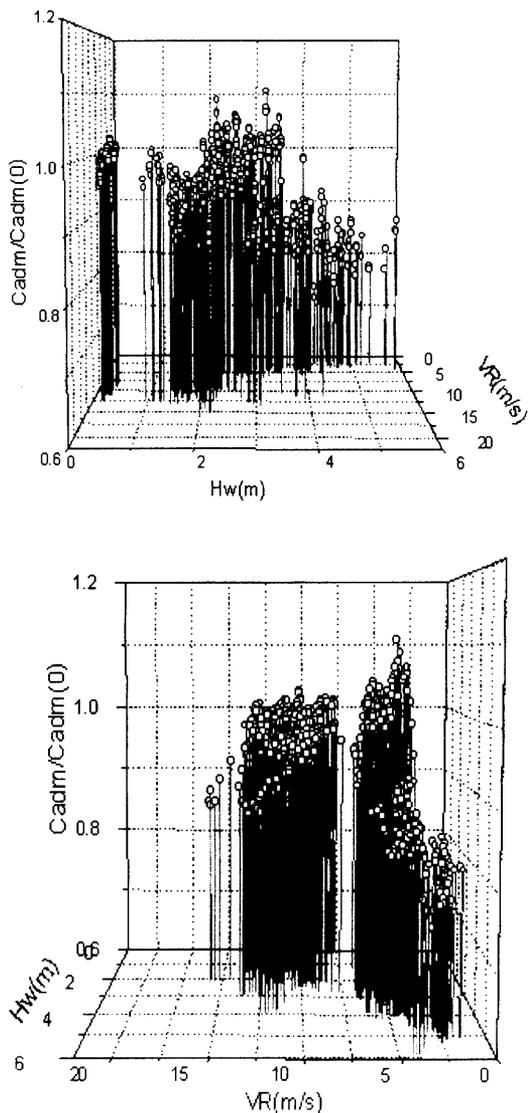


Fig. 3.7 Relation of Cadm with winds and waves(following sea)

Fig. 3.7に追い波群のデータを示す。風の影響はVRが高々15m/s程度ということと波による抵抗が向かい波のように抵抗増加に大きく寄与しないこともあり、今回のデータでは、向かい波群ほどは風の影響は大きくないようである。波の影響を見ると、 $H_w > 3.5\text{m}$ 付近から推進性能低下が激しく、追い波であっても波高が大きい海象では、推進性能の低下をきたすことが理解される。

Fig. 3.5~3.7に示した風とCadm、あるいは波とCadmの関係ではそれぞれ波および風の影響も混在している。これを、純粋に風とCadm、波とCadmの関係を見るには理論的にそれぞれの成分を分離して評価する必要がある。そこで、波および風による抵

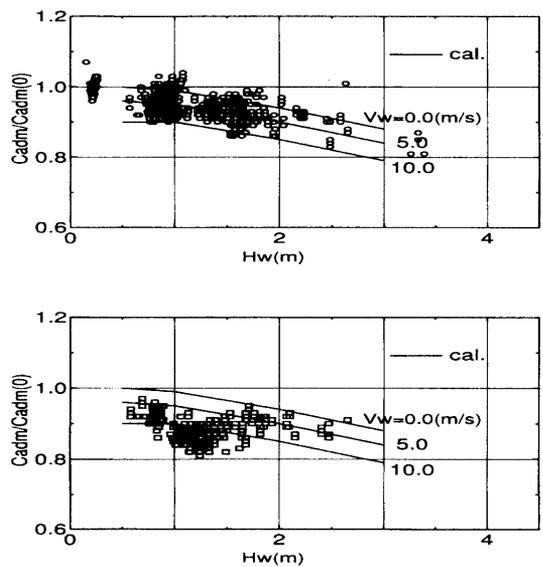


Fig. 3.8 Estimated Cadm considering wind and wave effects

抗増加をそれぞれ理論的、実験的に推定し<sup>2)</sup>、これによる推進性能の低下分を計算した。波スペクトルはHwの結果からISSCスペクトルを当てはめた。方向スペクトルについては分布影響を考慮せず、目視観測で得られた波向きからのみ波が来るものとして計算した。

波による抵抗増加は、向かい波は実験結果を用い他はSalvesenの方法<sup>3)</sup>で、また風の抵抗は自動車運搬船のデータ<sup>4)</sup>を用いて推定した。推進性能の低下は、実船計測されたプロペラ回転数と、計算で得られた抵抗増加結果から、プロペラ荷重度変更試験結果を用いて、船速とプロペラ推力を推定し、馬力を計算して評価した。解析した結果の一例をFig. 3.8に示す。図は、向かい波の場合で、Hwを横軸にとり、向かい風の大きさVwをパラメータとして推進性能の低下を予測した。Vw = 0m/sの線は絶対風速が0m/sの場合で、波のみによる抵抗増加による推進性能の低下を示す。風速が大きくなるにつれ、推進性能の低下は顕著になる様子が分かる。上図の○印は絶対風速0~5m/s未満の実測値をプロットしたもので、下図の□印は5~10m/sまでをプロットしたものである。風速の大きい方がCadm/Cadm(0)の小さい所に分布している。推定値と比較すると、上図の実測値は推定値の0および5m/sの範囲をほぼ覆っており、Hwが大きくなるにつれCadm/Cadm(0)が小さくなり、この傾向も推定値と同様である。下図では推定値の10m/s付近にあるもののHw = 1~1.5mの範囲では推

推定値よりも小さい。

全体として、実測値はかなりデータがばらついていてので定性的傾向を比較するのは容易ではないが、得られた曲線はデータ群を覆うように位置していることから、それほどはずれた予測はしていないと思われる。

最後に、東京-ロングビーチ間のCadmを推定した結果をFig. 3.9に示す。前半の風が大きいところでは、波はそれほど大きくなく、風の影響が推進性能に及ぼす影響を見るには適当なデータである。ここでは、風による抵抗増加によりCadmが低下している様子が推定でき、かつ実測値との一致も良好である。この部分の推進性能の低下は大きく、風の推進性能に及ぼす影響はかなり大きいといえる。全体的に見れば、推定値は定性的に外乱影響をよく表現しているといえる。これから、波浪推算等で波高、波向きおよび波周期が、また広域の天気予報等による風速風向が事前に推定できれば、水槽試験結果を用いて推進性能が精度良く推定できることが示された。

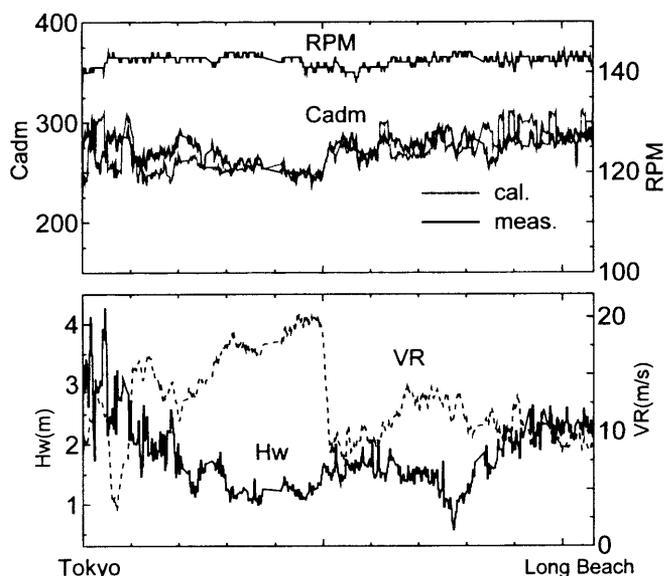


Fig. 3.9 Estimated Cadm in Tokyo-Long Beach Voyage

### 3.4 まとめ

外洋を航行している船舶の推進性能関連の時系列データを得、これを解析することにより実海域における推進性能と外乱影響の関係が一部示された。今回の結果から、風による推進性能の低下が実海域の運航状態においても大きいことが確認された。ただ

し、本結果には高波高向かい波時のデータがないため、波浪影響による推進性能の低下が顕著に現れていないが、高波高追い波時でも推進性能の低下が認められていることから、波浪が推進性能低下に及ぼす影響を考慮することは重要である。今回は船体運動データがないため、外乱-船体運動-推進性能の関係が明らかでないが、今後この部分のデータ取得につとめ、模型試験結果と実船データとの相関を調査したい。また、波向データや全方向波に対する波の抵抗増加推定の精度向上、波浪推算による波高、波向、波周期の予測が必要である。

### 参考文献

- 1) 矢吹英雄他:航海訓練所練習船青雲丸の概要,日本造船学会誌,第826号,(1998)
- 2) 長谷川純他:練習船の波浪中推進性能試験結果,第70回船研講演会講演集,(1998)
- 3) N.Salvesen:Second-order Steady-state Forces and Moments on Surface Ships in Oblique Regular Waves, Int Symp. on the Dynamics of Marine Vehicles and Structures in Waves, London, April, (1974)
- 4) 辻豊治:船体に働く風圧力に関する模型試験,船舶技術研究所報告,第7巻,第5号,(1970)

### 付録:風向きと波向きについて

外洋を航走する船が遭遇する波は、風の吹走距離や吹走時間、風速で決まるので、ある時点で船で観測される波向と風向には、直接の関連性は薄い。しかし、季節と航路によっては、長時間一定の針路を保ちつつ、その間ほぼ一定の風向を受けながら航走する船は、風向と波向には強い相関を持つであろうことが期待できる。そこで、北太平洋を航走している時に得られた風向と、目視波向データを補間したものを比較してFig. 3.aに示した。図中、丸印が目視波向、四角印が補間された波向、黒丸が自動計測された風向である。また、方向で0度は北、90度は東を意味する。また、部分的に補間データが断続している部分は、自動計測された風向データが欠落しているところに対応している。時間によっては、70~80度程度違うところもあるが、全体的な傾向として

は、ほぼ一致しているといえる。波向の自動観測が困難な状況を考えると、波浪推算による波向の推定も重要であるが、季節、航路や風向等の履歴を考慮した上で、風向から波向を簡便に推定する手法も考察すべきであろう。

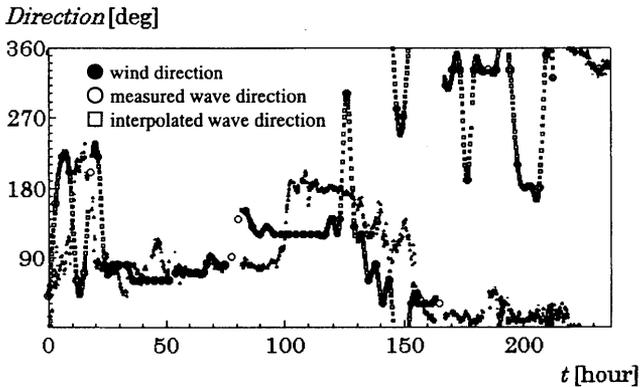


Fig. 3.a Automatically measured wind directions and interpolated wave directions using observed data

## 4 実船性能の長期予測法に関する研究

### 4.1 はじめに

船舶の総合的な性能の推定、評価を行うためには、船舶の基本性能としての平水中性能だけでなく、実海域での船舶性能の推定、評価を行う必要がある。3章では実航海における時系列データを用いた実海域推進性能の推定、評価について検討を行ったが、瞬時値として得られる実測値の集合を用いてどのように実状を推定・評価するかという点について更に検討が必要であった。

一方、実海域を航行する船舶の性能推定及び評価法として確率論を基にした手法が細田ら<sup>2)</sup>により提案され、開発されている<sup>23)</sup>が、その手法の検証は船舶が遭遇した海象の計測精度の問題や、航海実績が公表されない等のため十分実施されていない。

本章では船内にLANを持ち、自動的に航海データを収集するシステムを備えている1997年10月に就航した運輸省航海訓練所練習船青雲丸<sup>4)</sup>の航海データを用いて、船速、単位時間あたりの燃料消費量、主機馬力の変化について確率論を基にした理論推定を実施する。そしてその結果と青雲丸航海データとの比較を行うことにより、理論推定手法の検証を行

う。さらに実海域における船速、単位時間あたりの燃料消費量の確率密度関数を用いて航海時間、総燃料消費量の期待値を求め、定時性、運航経済性を評価する手法について提案を行う。

### 4.2 航海データ

青雲丸は毎年1回6月中旬から8月末にかけて世界一周航海を行い、その他の時期は日本近海を航海している。本船は主機関に低速ディーゼル、プロペラに4翼ハイスキュー可変ピッチプロペラを装備した1基1軸船である。

今回解析を行う航海データは1998年4月中旬から1999年12月末にかけて、青雲丸の航海中に10分に1度自動収集したものである。これを1998年及び1999年の世界一周航海時に得られたデータと、1998年から1999年の間の4時期に日本近海を航海して得られたデータの3種類に分類して解析を行う。

自動計測されたデータのうち解析に有効なデータ数をTable 4.1に、そのときの船位をFig. 4.1からFig. 4.3に黒丸で、そしてデータの時系列をFig. 4.4からFig. 4.6に示す。

Table 4.1 Effective number of data measured in T.S. Seunmaru voyage.

Kind of voyage	Effective number of data
round-the-world; 1998	4867
round-the-world; 1999	2110
around Japan	1812

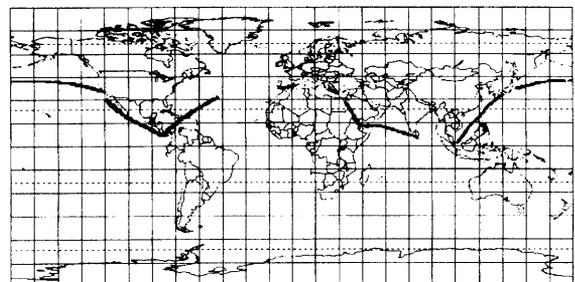


Fig. 4.1 Effective measurement positions through the round-the-world voyage in 1998.

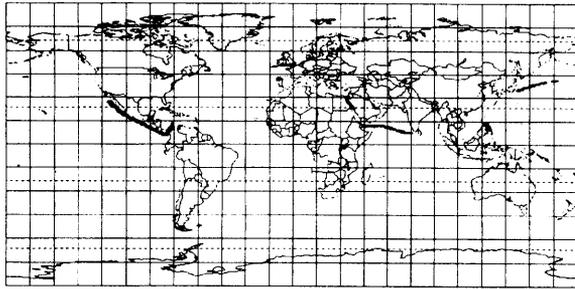


Fig. 4.2 Effective measurement positions through the round-the-world voyage in 1999.

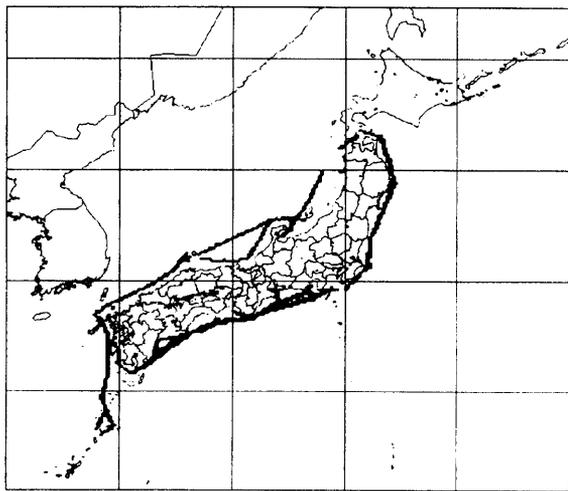


Fig. 4.3 Effective measurement positions of the voyages around Japan from 1998 to 1999.

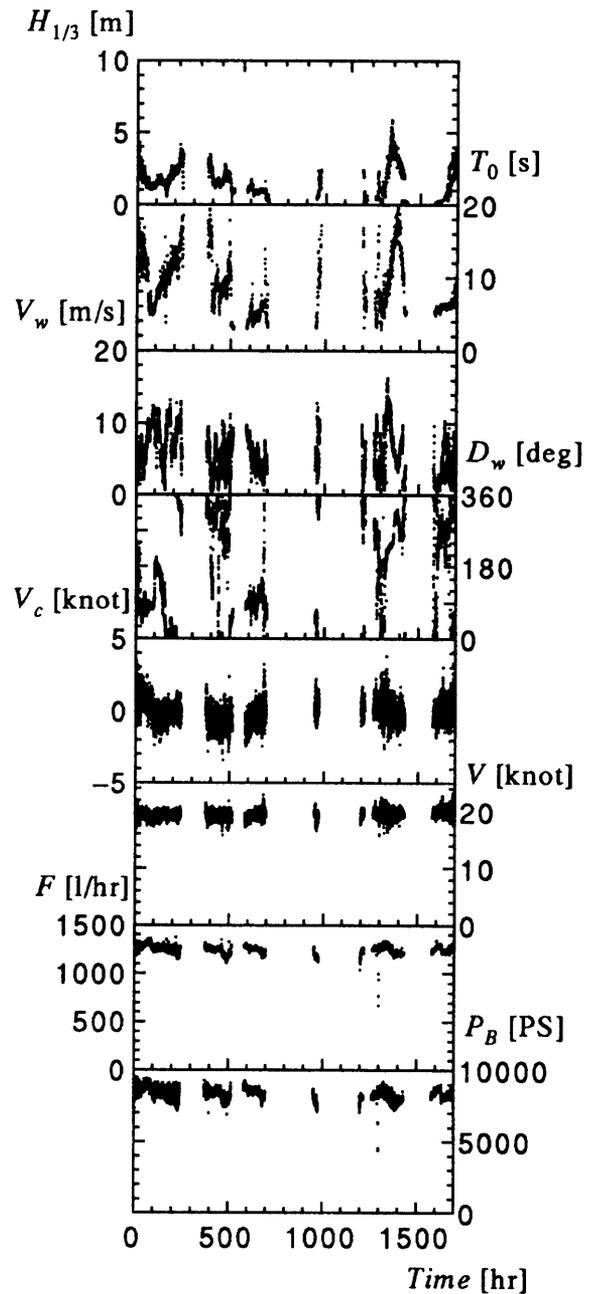


Fig. 4.4 Effective measurement data through the round-the-world voyage in 1998:(top to bottom) significant wave height  $H_{1/3}$ , encounter mean wave period  $T_0$ , true wind speed  $V_w$ , true wind direction  $D_w$ , currents speed to the aft  $V_c$ , ship speed  $V$ , fuel oil consumption  $F$  and main engine power in BHP  $P_B$ .

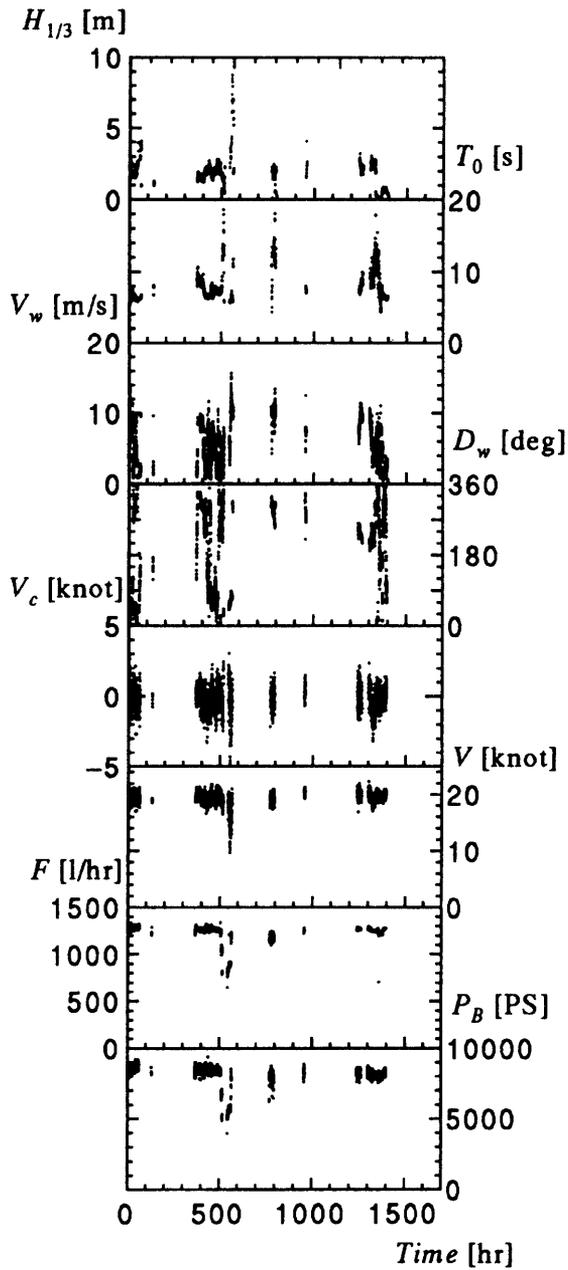


Fig. 4.5 Effective measurement data through the round-the-world voyage in 1999:(top to bottom) significant wave height  $H_{1/3}$ , encounter mean wave period  $T_0$ , true wind speed  $V_w$ , true wind direction  $D_w$ , currents speed to the aft  $V_c$ , ship speed  $V$ , fuel oil consumption  $F$  and main engine power in BHP  $P_B$ .

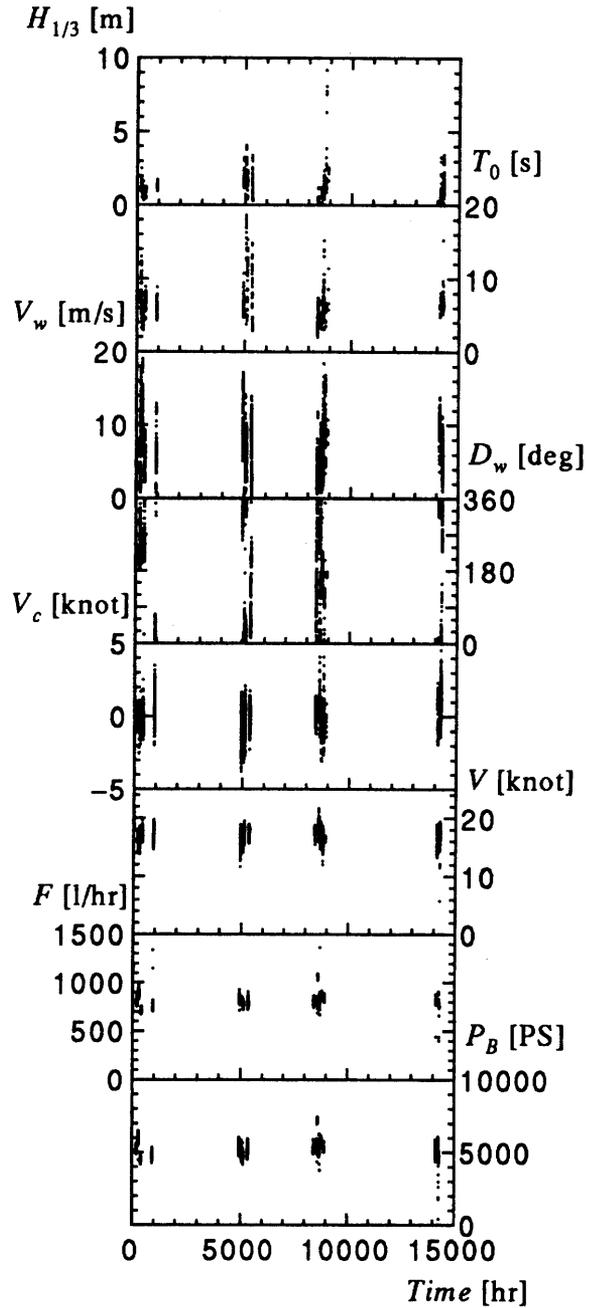


Fig. 4.6 Effective measurement data of the voyages around Japan from 1998 to 1999:(top to bottom) significant wave height  $H_{1/3}$ , encounter mean wave period  $T_0$ , true wind speed  $V_w$ , true wind direction  $D_w$ , currents speed to the aft  $V_c$ , ship speed  $V$ , fuel oil consumption  $F$  and main engine power in BHP  $P_B$ .

### 4.3 確率論に基づく推定法

実海域での船速 $V$ 、単位時間あたりの燃料消費量 $\Lambda$ 、主機馬力(BHP) $P_{BHP}$ に関して、その確率密度関数(P.D.F.) $p(V)$ 、 $p(\Lambda)$ 、 $p(P_{BHP})$ の理論推定を行う。

実海域における性能低下の主要因として経年劣化、生物汚損、波浪、風、海・潮流の5つが考えられる。

青雲丸は1997年10月に竣工した新造船であるので、使用する航海データは経年劣化の影響も少なく、また半年に1回入渠を行うので生物汚損による性能劣化は少ないと考えられるので、これらは主要因から除外できる。

このとき実海域における船速低下量 $\delta V$ 及び確率密度関数 $p(\delta V)$ は、波浪による船速低下量 $\delta V_{wave}$ 及び確率密度関数 $p(\delta V_{wave})$ 、風による船速低下量 $\delta V_{wind}$ 及び確率密度関数 $p(\delta V_{wind})$ 、海・潮流による船速低下量 $\delta V_c$ 及び確率密度関数 $p(\delta V_c)$ を用いて

$$\delta V = \delta V_{wave} + \delta V_{wind} + \delta V_c \quad (4.1)$$

$$p(\delta V) = p(\delta V_{wave}) * p(\delta V_{wind}) * p(\delta V_c) \quad (4.2)$$

となる。ただし各事象は統計的に独立と仮定し、記号\*は畳み込み積分を表す。

波浪及び風による船速低下量の推定は、船体抵抗、自航要素、プロペラ特性、主機特性を用いて船速低下が生じる力学的機構を明確に捉え定式化している中村・内藤の方法<sup>9)</sup>を実海域に拡張した方法<sup>9)</sup>を用いている。なお波浪中抵抗増加は、運動による抵抗増加を丸尾の式<sup>9)</sup>で、反射波による抵抗増加をFaltinsenの式<sup>9)</sup>で計算している。風圧抵抗は、過去の船舶データを整理して得られた抵抗係数を用いた方法<sup>9)</sup>で計算している。ただし風向影響係数は自動車運搬船のデータ<sup>9)</sup>を用いている。また、流れによる船速低下量は、DGPS/GPSにより計測された対地速度から電磁ログにより計測された対水速度を引いて求めている。

次に実海域での単位時間あたりの燃料消費量 $\Lambda$ 、主機馬力 $P_{BHP}$ の推定は、主機関の運転状況により(i)主機ハンドルノッチ一定の場合(波浪、風、海・潮流による自然減速)、(ii)意識的減速を行う場合(波浪)、(iii)意識的変針を行う場合(波浪)の3つの場合に分けて行い、それぞれ船速との関係から波浪、風、海・潮流の要因毎に単位時間あたりの燃料消費量と

主機馬力の確率密度関数を求める。そして(4.2)と同様に確率密度関数の畳み込み積分を行い、実海域での単位時間あたりの燃料消費量 $\Lambda$ 、主機馬力 $P_{BHP}$ の確率密度関数 $p(\Lambda)$ 、 $p(P_{BHP})$ を求める<sup>9)</sup>。

理論推定の入力となる海象データは青雲丸が遭遇したものをを用いる。ただし波向については3章でも検討を行っているが、自動計測されていないため何らかの仮定を行う必要がある。今回は絶対風向の分布が平均波向の分布に等しいと仮定を行っている。これは風向と波向を一致させるという仮定に比べて弱い仮定となっており、平均波向の自動計測が困難な現状では有効な仮定であるとともに確率論に基づく推定法を用いることの特長と考える。

本理論推定法により計算された1998年及び1999年世界一周航海と日本近海航海時の波浪による船速低下確率密度関数 $p(\delta V_{wave})$ 、風による船速低下確率密度関数 $p(\delta V_{wind})$ 、流れによる船速低下確率密度関数 $p(\delta V_c)$ をFig. 4.7からFig. 4.9に示す。

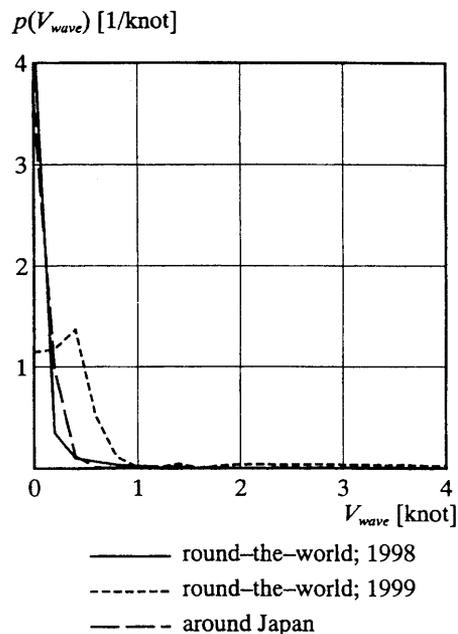


Fig. 4.7 P.D.F. of ship speed loss due to waves.

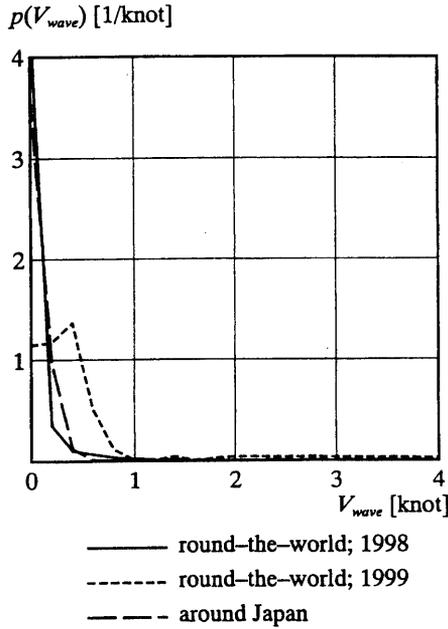


Fig. 4.8 P.D.F. of ship speed loss due to winds.

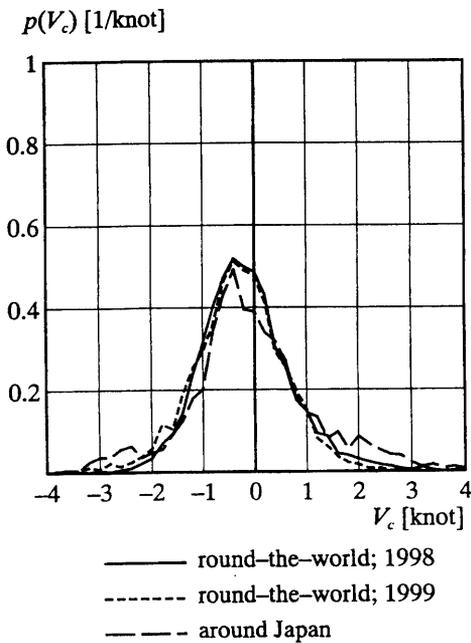


Fig. 4.9 P.D.F. of ship speed loss due to currents.

これら Fig. 4.7から Fig. 4.9に示す確率密度関数は、外乱による性能低下が無い状態 ( $\delta V = 0$ [knot]) から、外乱により生じる性能低下がどの程度の量と確率で生じるかを、性能低下の主要因毎に示している。さらにこれらの確率密度関数は最も発生確率の高い海象時にピークを示す。このことからピーク値が  $\delta V = 0$ [knot]にあるのは、外乱による性能低下が無い海象の発生確率が最も高いことを示す。そして Fig. 4.7において1999年世界一周航海時に波浪による船速低下確率密度関数のピーク値が  $\delta V = 0$ [knot]からずれているのは Fig. 4.5に示すとおり、有効に計測されたデータで有義波高が小さいものの計測数が少ないためである。

次に各航海での船速、単位時間あたりの燃料消費量、主機馬力について、理論推定により得られる確率密度関数と航海データから得られる確率密度関数の比較を行った結果を Fig. 4.10から Fig. 4.18に示す。

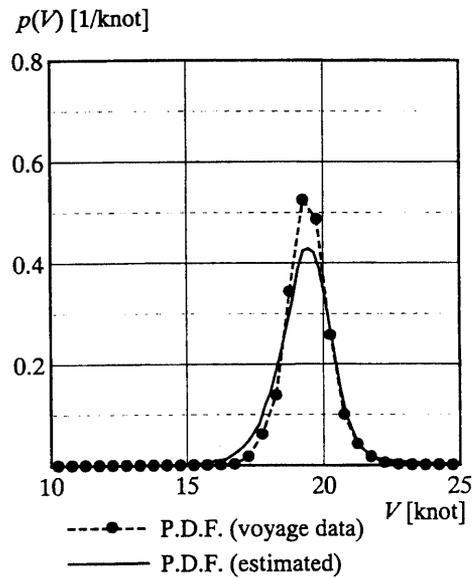


Fig. 4.10 P.D.F. of ship speed in actual seas; round-the-world voyage in 1998.

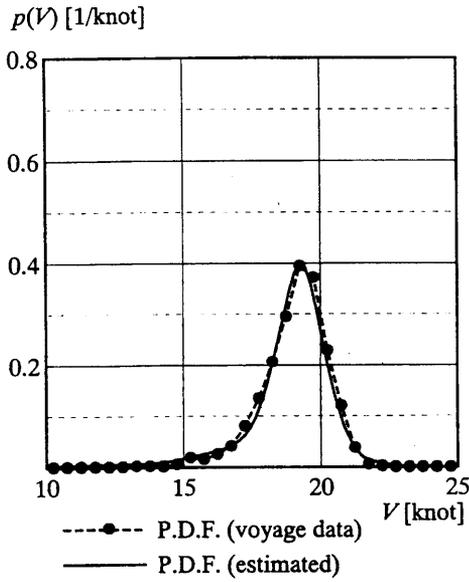


Fig. 4.11 P.D.F. of ship speed in actual seas; round-the-world voyage in 1999.

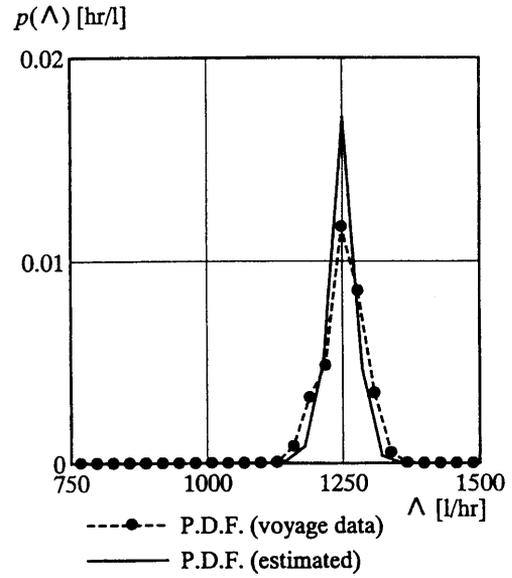


Fig. 4.13 P.D.F. of fuel oil consumption in actual seas; round-the-world voyage in 1998.

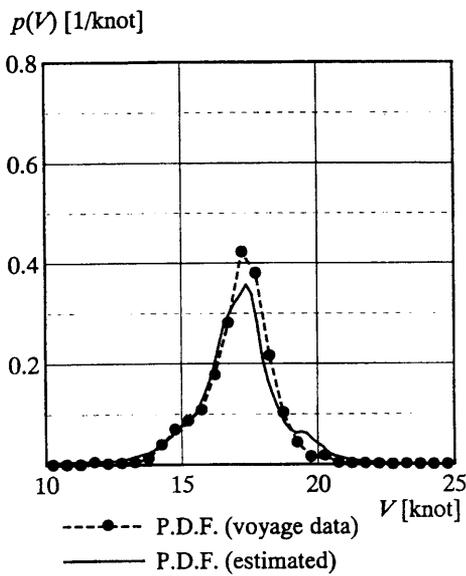


Fig. 4.12 P.D.F. of ship speed in actual seas; voyages around Japan from 1998 to 1999.

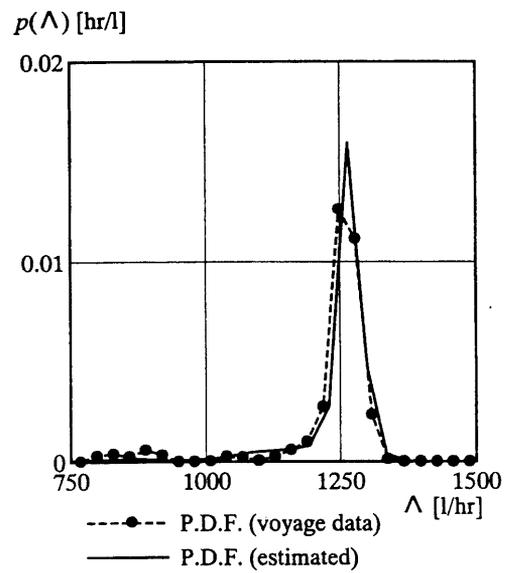


Fig. 4.14 P.D.F. of fuel oil consumption in actual seas; round-the-world voyage in 1999.

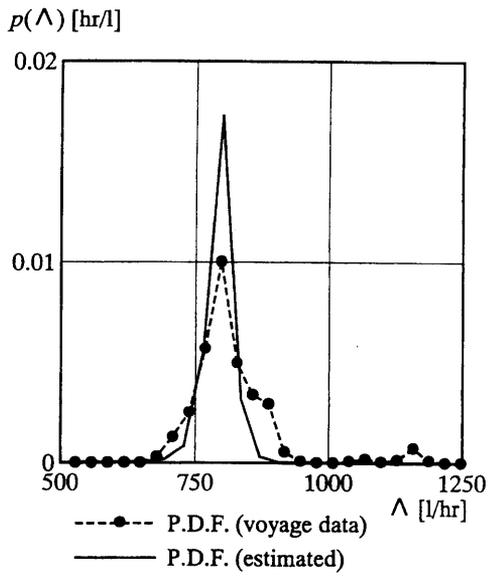


Fig. 4.15 P.D.F. of fuel oil consumption in actual seas; voyages around Japan from 1998 to 1999.

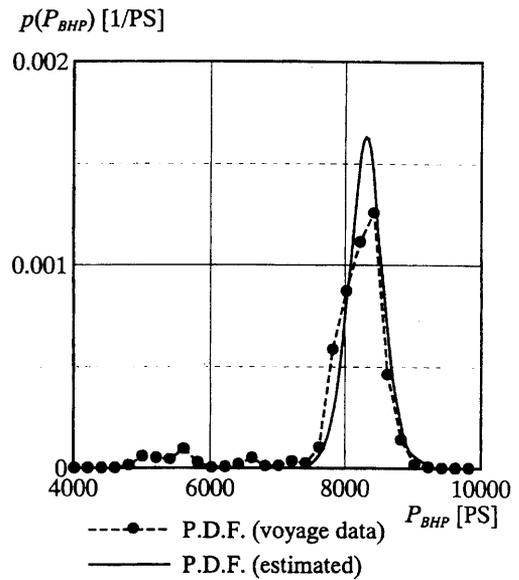


Fig. 4.17 P.D.F. of main engine power in actual seas; round-the-world voyage in 1999.

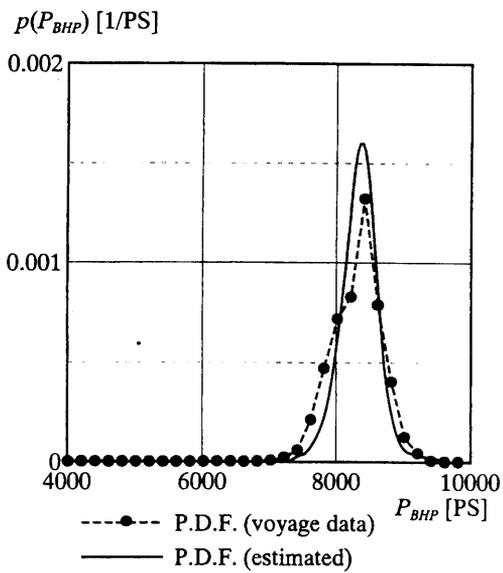


Fig. 4.16 P.D.F. of main engine power in actual seas; round-the-world voyage in 1998.

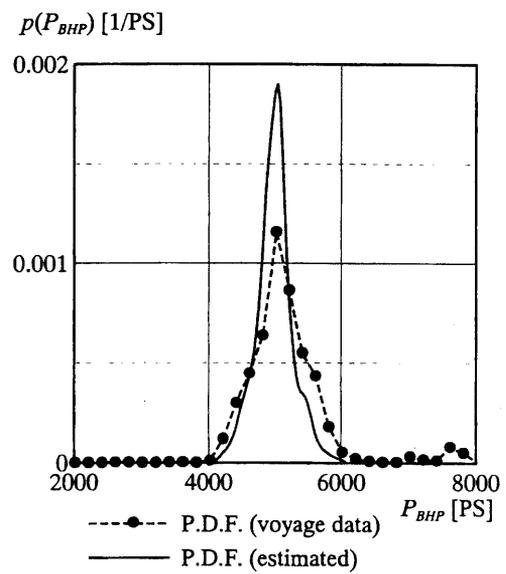


Fig. 4.18 P.D.F. of main engine power in actual seas; voyages around Japan from 1998 to 1999.

なお Fig. 4.12、Fig. 4.15、Fig. 4.18 に示す日本近海航海時の航海データから求まる確率密度関数の形状は世界一周航海時のものと比べて大きく異なっているが、これは日本近海航海時にはスケジュールに余裕があり、主機ハンドルノッチを低く設定して航海する場合があったためである。また日本近海航海時では理論推定値と航海データの一致が世界一周航海時に比べて悪くなっている。この原因として、本理論推定法では荒天により意識的減速を行う場合を除き主機ハンドルノッチの設定値を同じと仮定しており、日本近海航海時は主機ハンドルノッチを低く設定して航海する場合があったことが影響していると考えられる。

4.4 考察

前節で理論推定による確率密度関数が航海データから求まる確率密度関数に良く一致していることが示されたが、本節ではその確率密度関数を用いて、シーマージン、定時性、運航経済性について考察する。

シーマージン  $SM\%$  は、 $P_0$  を新造時に静水中を設計船速  $V_0$  で航行するのに必要な馬力、 $P_S$  を航海速度を維持するのに必要な馬力とすると次式で定義される。

$$SM = 100 \frac{P_S - P_0}{P_0} \tag{4.3}$$

船速の確率密度関数を積分して得られる累積分布関数(C.D.F.)  $P$  から、船と航路が与えられたときに何パーセントの確率で何ノットを維持できるかという船速維持率を予測し、検討することができる。一例として青雲丸 1998 年世界一周航海においてシーマージンを変えて累積分布関数を求めたものを Fig. 4.19 に示し、設計船速  $V_0 = 19.5$  [knot] を維持できる確率  $P(V \geq V_0)$  を求めたものを Table 4.2 に示す。

次に定時性、運航経済性の評価に係る指標として航海時間、総燃料消費量の期待値を求める。

航海距離を  $L$ 、航海船速を  $V$ 、航海時間を  $T$  とすると、 $L$  を一定値とすれば  $L = VT$  の関係から  $V$  の確率密度関数  $p(V)$  を用いて  $T$  の確率密度関数  $p(T)$  が求まる。

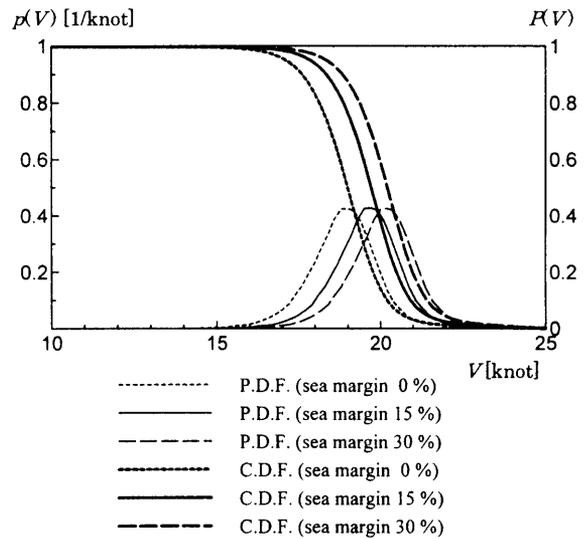


Fig. 4.19 Distributions of ship speed in actual seas with sea margin; round-the-world voyage in 1998.

Table 4.2 Expected time of arrival and total fuel oil consumption; round-the-world voyage in 1998,  $L = 23,500$ [NM].

$SM$	$P(V \geq V_0)$	$\bar{T}$	$\bar{\Gamma}_A$
0%	30%	1266 [hr]	1385 [kl]
15%	60%	1224 [hr]	1528 [kl]
30%	75%	1186 [hr]	1544 [kl]

$$p(T) = p(V) \left| \frac{dV}{dT} \right| = p(V) \frac{V^2}{L} \tag{4.4}$$

これより航海時間の期待値  $\bar{T}$  は次式となる。

$$\bar{T} = \int_0^\infty T p(T) dT = L \int_0^\infty \frac{p(V)}{V} dV \tag{4.5}$$

次に総燃料消費量  $\Gamma$  の期待値  $\bar{\Gamma}$  は、 $\Lambda$  を単位時間あたりの燃料消費量とし、 $V$  と  $\Lambda$  が 1 対 1 に対応するとしたとき、 $\Gamma(V) = \Lambda(V)T(V)$  であることを用いて

$$\bar{\Gamma} = \int_0^\infty \Gamma p(\Gamma) d\Gamma = L \int_0^\infty \frac{\Lambda(V)}{V} p(V) dV \tag{4.6}$$

となる。しかし実海域では意識的減速で主機ハンドルノッチを変える場合等があるため、一般には1つの $V$ に対して1つの $\Lambda$ が定まらないので、その場合は(4.5)式の $\bar{T}$ を用いて定まる総燃料消費量 $\Gamma_A = \Lambda \bar{T}$ を用いて評価を行うことが考えられる。この $\Gamma_A$ の確率密度関数は次式となる。

$$p(\Gamma_A) = p(\Lambda) \left| \frac{d\Lambda}{d\Gamma_A} \right| = \frac{1}{\bar{T}} p(\Lambda) \quad (4.7)$$

これより総燃料消費量の期待値 $\bar{\Gamma}_A$ は次式となる。

$$\bar{\Gamma}_A = \int \Gamma_A p(\Gamma_A) d\Gamma_A = \bar{T} \int \Lambda p(\Lambda) d\Lambda = \bar{T} \bar{\Lambda} \quad (4.8)$$

具体的に航海時間の期待値 $\bar{T}$ と総燃料消費量の期待値 $\bar{\Gamma}_A$ を1998年世界一周航海についてシーマージンを0%、15%、30%の3つの場合について求めると、航海実績より総航海距離を $L = 23,500$ [NM]と与えてTable 4.2となる。ただしこの結果は無寄港で航海した場合であり、実際の航海では6回の出入港と約17日分の停泊を行っている。

この結果から航海時間の増減に伴う総燃料消費量の減増の関係が分かるので、この結果に燃料単価と時間価値を導入すれば、実海域を航行する船舶の運航経済性の評価が行えることになる。

以上の船速維持率、航海時間の期待値、総燃料消費量の期待値は船型、プロペラ、主機関を変えて求めることが可能であり、シーマージン、定時性、運航経済性の評価、検討が可能であることを示している。

#### 4.5 まとめ

青雲丸航海データを用いて船速、単位時間あたりの燃料消費量、主機馬力に関して確率論を基にした実海域性能推定法の検証を行い、推定法の有効性を確認した。

さらに船速、単位時間あたりの燃料消費量の確率密度関数から、定時性及び運航経済性に係る指標として航海時間、総燃料消費量の期待値を求め、実海

域推進性能を評価する手法について提案を行った。そして一例としてシーマージンを0%、15%、30%とした3つの場合について計算結果を示し、船舶建造や運航の計画時点で評価を行えることを示した。

これらのデータ及び検証は今後船舶の総合的な性能評価を行うときに有効に利用されることが期待される。

#### 参考文献

- 1) 細田龍介, 高橋雄: シーマージンと就航実績, 日本造船学会運動性能研究委員会第1回シンポジウム波浪中推進性能と波浪荷重, (1984.12.)
- 2) 辻本勝, 内藤林: 実海域における船速に関する研究-船速の確率密度関数-, 関西造船協会誌第228号, (1997.9.)
- 3) 辻本勝, 内藤林: 実海域における船舶の性能評価に関する研究-船速、燃料消費量、主機馬力について-, 関西造船協会誌第229号, (1998.3.)
- 4) 航海訓練所: 練習船青雲丸-建造の記録-, (1997.10.)
- 5) 中村彰一, 内藤林: 波浪中における船速低下及び推進性能について, 関西造船協会誌第166号, (1977.9.)
- 6) Maruo, H. : Resistance in Waves, Research on Seakeeping Qualities in Japan, The Society of Naval Architects of Japan, 60th Anniversary Series, Vol. 8, (1963)
- 7) Faltinsen, O. M., Minsaas, K. J., Liapis, N. and Skjoldal, S. O. : Prediction of Resistance and Propulsion of a Ship in a Seaway, Proc. 13th Symp. on Naval Hydrodynamics, (1980.10.)
- 8) 中村彰一: 耐航性の諸要素, 耐航性に関するシンポジウム, 日本造船学会, (1969.7.)
- 9) 辻豊治, 高石敬史, 菅信, 佐藤辰二: 船体に働く風圧力に関する模型実験, 船舶技術研究所報告第7巻第5号, (1970.9.)

## 5 実海域における乗員の作業性および 乗り心地の研究

### 5.1 はじめに

波浪中を航行する船舶は動揺を伴うため、乗員の作業性および乗り心地は低下する。このことは、実海域における耐航性能上の問題として重要性を増している。神田ら<sup>2)</sup>は海で働く人が健康で快適に生活と仕事を行う上で、問題と考えられる事柄について調査研究を行っている。しかし、作業性や乗り心地に関する明確な評価法は確立されていない。

当所では巡視船の労働環境を調べる一環として、作業性や乗り心地に関する調査をすでに行っている<sup>2)</sup>が、このたび遠洋航海中の青雲丸の乗組員と学生を対象に広くアンケート調査を行う機会を得たので、同時に計測された加速度との関係について検討した結果を報告する。

### 5.2 アンケート調査の方法

アンケートの様式をTable 5.1およびTable 5.2に示す。Table 5.1は回答者の特性として性別、年齢、職名、乗船歴等を把握するためのものである。また、Table 5.2は調査実施毎に記入するもので、その時の体調等とともに具体的な作業性を把握するためのものである。

Table 5.1 Questionnaire(1/2)

乗り心地及び船内作業性に関するアンケート調査票 (1/2)	
この用紙は、計測を行う毎に記入していただく調査票 (2/2) と、年齢、乗船経験等に対応させるためのものです。 一度だけご記入ください。 お名前は、調査票 (2/2) と同じものであれば、イニシャルでもニックネームでも結構です。 ご面倒ですがご協力をお願い致します。	
お名前 ( )	男・女 ( ) 歳
設問1	職名 (例：航海士、学生)
設問2	通算の乗船歴 ( ) 年・月
設問3	あなたは自分で乗り物酔いに強い方だと思いますか。 ①強い ②強い方 ③普通 ④やや弱い ⑤弱い
設問4	その他、作業性や船酔いに影響を与えそうな事項があればご記入ください。(例：腰痛がある)

アンケート調査は、波高が2~3m以上になった時に適宜実施するように青雲丸に依頼した。その結果、遠洋航海中3回の回答を得ることができた。そのときの日時、位置、目視海象等はTable 5.3に示すとおりである。最後の列は船に対する波の出会い角であり、145度は左舷斜め追波を、60度は右舷斜め向波を、230度は右舷斜め追波をそれぞれ表す。なお、3状態とも風浪とうねりの方向は一致していた。

Table 5.2 Questionnaire(1/2)

乗り心地及び船内作業性に関するアンケート調査票 (2/2)		お名前	
年月日			
時間			
記入場所			
設問1	今日の体調はいかがですか。	①良い ②だいたい良い ③普通 ④あまり良くない ⑤悪い	
設問2	昨夜、睡眠は十分にとれましたか	①十分にとれた ②普通 ③寝不足	
設問3	あなたは今日酔い止め薬を飲みましたか。	①はい ②いいえ	
設問4	作業性について		
A. 歩行	①手すりなしでできる、②手すりに捕まればできる、③手すりに捕まっても大変		
B. 作業性			
作業内容			
作業時間が陸上に比べて何%位増える感じですか。			
C. 筆記	①十分にできる ②なんとかできる ③とても無理		
D. 気分	①普段通り ②やや悪い ③悪いが仕事はできる ④仕事ができない ⑤嘔吐した		

Table 5.3 Data and time (SMT),  
position and wave conditions

	date	time	position	ship speed (kt)	wind wave		swell		encounter angle (deg)
					height (m)	period (sec)	height (m)	period (sec)	
1st	6.27	13:00-30	off California	17.5	1	4	4	12	145
2nd	7.11	13:00-30	the Caribbean Sea	16.5	1	4	4	5	60
3rd	8.13	13:00-30	the Indian Ocean	19.5	1	4	4	8	230

### 5.3 回答者の構成および性質

アンケート回答者の数およびその構成の概要を Table 5.4 に示す。平均年齢は全体で 26.2 歳、乗組員のみで 38.9 歳である。学生は多くが 20 代、一部が 10 代であり、その平均は 20.8 歳であった。通算の乗船歴は、乗組員は 0~40 年に分布し、平均で 16.5 年であった。学生は、ほとんどが 9~10 ヶ月であった。

Table 5.4 Number of answers for the questionnaire

	male	female	total
crew	59	0	59
students	116	24	140
total	175	24	199

船酔いし易さに対する自己評価は、Table 5.1 の設問 3 に対する ①~⑤ の回答をそのまま 1 点~5 点として集計した。この集計方法は、後に示す Table 5.2 の設問についても同様であり、点数が高いほど悪い（気分が悪い、作業性が劣る等）ことを意味している。

その結果、船酔いし易さの平均値は乗組員が 2.86、学生が 2.96 (男女ともほぼ同一) となり、有意な差は現れなかった。ただし、乗組員は「③普通」に多く分布していたのに対し、学生は「①強い」~「④やや弱い」までほぼ一様に分布していた点が異なっている。なお、同じ「普通」という自己評価でも、乗組員と学生ではその程度に差があると考えられるが、客観的な評価がむずかしいため、今回は自己申告によることとした。

## 5.4 作業性と乗り心地

### 5.4.1 回答時の体調等

#### (1) 体調

アンケート回答時の体調に対する評価点 (Table 5.2 設問 1) の平均値を Table 5.5 に示す。1、3 回目は乗組員の方が学生に比べ体調が良いと感じていたが、2 回目は若干ではあるが逆の傾向であった。特に、2 回目の回答では、40 代以上の乗組員のうち 52% が「④あまり良くない」または「⑤悪い」を回答していた。後に示す Table 5.10 で見ると、2 回目のアンケート調査時の加速度が他よりも大きいため、このことが中年の乗組員の体調に影響を与えたものと考えられる。

Table 5.5 Average ranking of physical condition

	total	crew	students
1st	2.54	2.36	2.61
2nd	2.88	2.96	2.85
3rd	2.75	2.40	2.89

#### (2) 睡眠

睡眠に対する評価点 (Table 5.2 設問 2) の平均値を Table 5.6 に示す。1 回目のみ乗組員の方が平均値が小さかったが、それ以降は学生の方が平均値が小さかった。学生は乗船日数が延びるにつれて、よく寝られるようになる傾向が明瞭に出ている。これは、若い方が環境に順応しやすいためと考えられる。

Table 5.6 Average ranking of sleep

	total	crew	students
1st	2.10	2.03	2.13
2nd	2.06	2.13	2.04
3rd	1.99	2.02	1.99

#### (3) 酔い止め薬

酔い止め薬 (Table 5.2 設問 3) については、服用者の割合が全体的に少なかった。乗組員と学生を比較すると、学生の方が服用している割合が高かった (2 回目: 乗組員 1.7%、学生 4.3% など)。また男女別でみると、女性の方が服用している割合が高かった (2 回目: 学生男性 1.7%、学生女性 16.7% など)。

### 5.4.2 作業性と乗り心地

#### (1) 歩行

歩行の困難度 (Table 5.2 設問 4A) の平均値を Table 5.7 に示す。ここには示していないが、男女別の比率でみると、男性の方が「①手すり無しでできる」が大きかった (2回目：学生男性 22.6%、学生女性 8.3% など)。これは体力や運動能力の差異によるものと考えられる。

Table 5.7 Average ranking of difficulty in walking

	total	crew	students
1st	1.18	1.19	1.17
2nd	1.99	2.02	1.98
3rd	1.41	1.20	1.49

#### (2) 筆記

筆記の困難度 (Table 5.2 設問 4C) の平均値を Table 5.8 に示す。一般的に学生の方が乗組員より筆記能力が高い傾向であった。男女別でみると、女性の方が筆記能力が若干高かった。机が振動して字が書けないとのコメントが一部にあったことから、場所による影響が大きかったことが考えられる。

Table 5.8 Average ranking of difficulty in writing

	total	crew	students
1st	1.21	1.23	1.21
2nd	1.68	1.85	1.62
3rd	1.33	1.41	1.30

#### (3) 作業性

作業性全般については、「陸上に比べてどれくらい作業量が増えたと感じられるか」という形での評価を試みた (Table 5.2 設問 4B)。個人によって作業内容が異なるため単純な比較はむずかしいが、全体に多く現れた数値は、1回目：10～30%、2回目：30～50%、3回目：30～50%となっている。

#### (4) 気分

気分の悪さ (Table 5.2 設問 4D) の平均値を Table 5.9 に示す。2回目のアンケートでは学生よりも乗組員の方が数値が大きいが、これは Table 5.5 に示した体調の自己評価と一致している。特に、40代以上の乗組員の中では64%が「③悪いが仕事はできる」、「④仕事ができない」、「⑤嘔吐した」を回答していた。また、

女子学生については、2、3回目で「②やや悪い」が最も多く (2回目：45.8%、3回目：50.0%)、次に⑤が多かったことから、個人差が大きいようである。

Table 5.9 Average ranking of motion sickness

	total	crew	students
1st	1.55	1.50	1.58
2nd	2.33	2.39	2.31
3rd	1.92	1.58	2.05

なお、酔い止め薬を飲んだ者は、気分が「①普通」か「⑤嘔吐した」かに分かれる傾向にあった (比率は3:1)。船酔いしやすい(と自覚している)者が薬を服用するわけであるから、暗示的な側面も含め、薬の効果の有無によって結果が分かれたものと考えられる。

#### (5) 作業性や船酔いに影響を与える因子

作業性や船酔いに影響を与える因子については、以下のような事項が挙げられた。

- ・腰痛 15名
- ・睡眠不足 17名
- ・胃腸系が弱い 5名
- ・食事の献立 3名
- ・二日酔い 5名
- ・精神力等 7名
- ・異臭 7名
- ・振動 3名

他には、肩こりや膝の痛み、揺れの激しさ、熱帯地域航行中の機関室内での過酷な条件などがあつた。女子学生から生理というコメントもあつた。また、40代以上の乗組員は、揺れが激しいと体調・気分が悪くなる割合が高かつた。しかし、睡眠は十分に摂れているようであつた。

## 5.5 加速度の計測結果

荒天時におけるアンケート開始前から3方向の動揺加速度を計測した。サンプリング周波数は20Hzで、1データの計測時間は20分間である。データ保存等に必要時間を確保するため、これを約24分毎に繰り返した。本航海で計測したデータは全部で288ケース (6月28日：38、7月11日～13日：101、8月13日～15日：149)であつた。

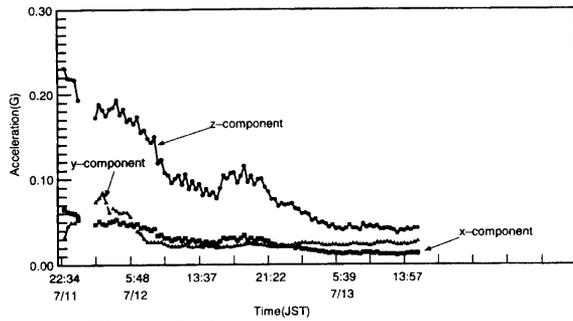


Fig. 5.1 RMS of acceleration (7/11-13)

計測中最も荒れた7月の加速度実効値 (RMS) の時系列を Fig. 5.1 に示す。図中で線が切れている部分は計測できなかったことを表す。また、加速度の方向はxが前後方向、yが左右方向、zが上下方向(すべて船体固定座標系)である。なお、上下加速度はBos'n Store(Fr. No.138)、前後・左右加速度はElect. Equip. Room (Training Bridge 後ろ (Fr. No.99) の後方で計測した。また、各加速度実効値の平均値を Table 5.10 に示す。

Table 5.10 RMS of acceleration

date	z-comp.	x-comp.	y-comp.
6/28	0.036	0.011	0.026
7/11-12	0.125	0.036	0.033
8/13-15	0.056	0.016	0.024

5.6 加速度実効値と気分・体調との関係

前節に示した加速度実効値の平均値と気分・体調との関係について、巡視船の場合<sup>3)</sup>と同様に比較を行った。Fig. 5.2 と Fig. 5.3 は加速度実効値と体調、気分の平均値との関係をそれぞれ示し、Fig. 5.4 と Fig. 5.5 は加速度実効値と体調、気分の比率との関係をそれぞれ示している。なお、ここで用いた加速度実効値は、計測開始からアンケート調査実施までの平均で、上下方向のみを用いた。また比率は各選択肢の合計値を用いた。

データ数は少ないがそれぞれの相関を求めてみると、体調、気分の平均値でみた場合、乗員全体の体調との相関は0.823(Fig. 5.2)、気分との相関は0.905(Fig. 5.3)となり、かなり高い値を示した。なお、乗組員のみでは体調、気分とも相関が1.000となったが、この原因は経験豊富な乗組員の感じ方が安定しているためと思われる。

一方、体調、気分の比率でみると、Fig. 5.4 では「⑤悪い」の相関が0.965と極めて高くなっていた。

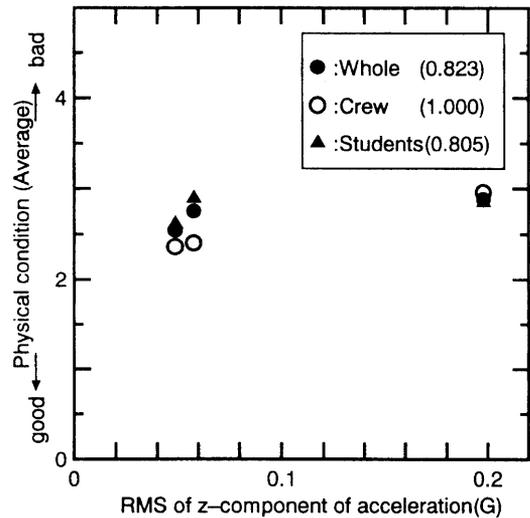


Fig. 5.2 Relation between acceleration and physical condition

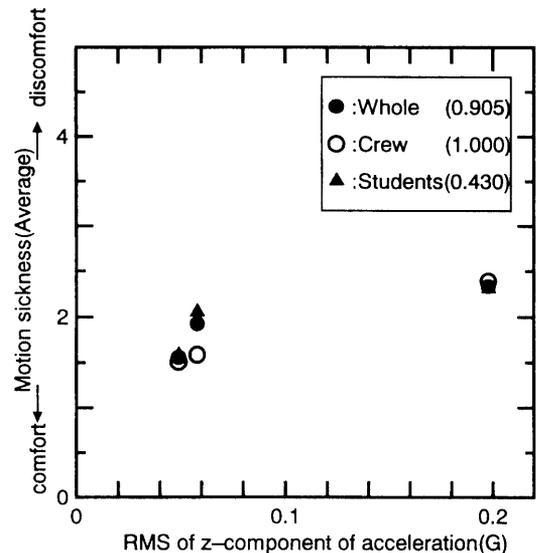


Fig. 5.3 Relation between acceleration and motion sickness

また、Fig. 5.5では「③悪いが仕事はできる」、「④仕事ができない」、「⑤嘔吐した」の3項目のうち、③～⑤すべてと④および⑤を合わせた比率が最も高かった(ともに0.920)。

このアンケートでは、その日の被験者の状態としての「体調」をまず質問し、次に船体動揺の結果として現れる「気分」を質問したが、説明が不十分のためこの2つが必ずしも明確に区別されていなかった可能性がある。しかし、全般的には、体調および気分はかなり悪い部分が上下加速度と強い相関を示しており、動揺が激しいと個人差が小さくなることが明らかとなった。

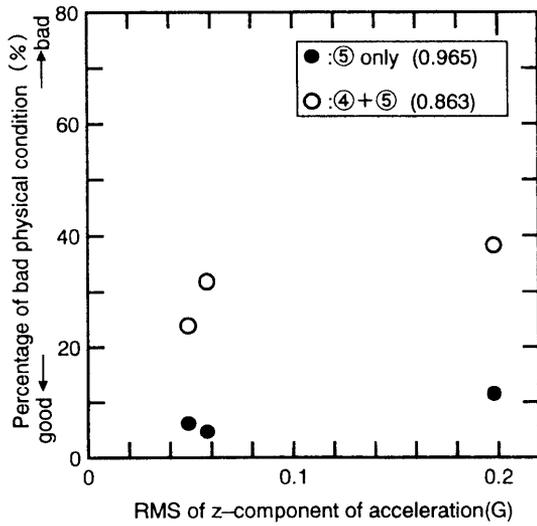


Fig. 5.4 Relation between acceleration and percentage of bad physical condition

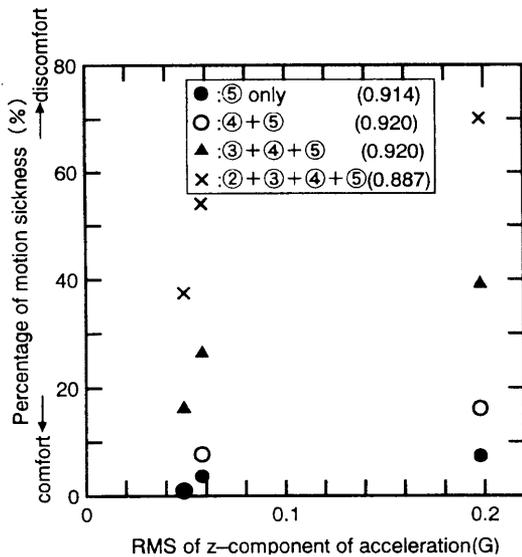


Fig. 5.5 Relation between acceleration and percentage of motion sickness

### 5.7 まとめ

本章では、練習船の乗員の環境を調べることを目的として、航海中にアンケート調査を行った。その結果から、動揺中の作業性と乗り心地について様々な問題があることがわかった。また、上下加速度と体調・気分との間に高い相関があることがわかった。しかし、設問にはまだ改善の余地があり、乗り心地や作業性の評価法について、さらに検討する必要があると思われる。今後も引き続いて同様な調査を実施し、作業性や乗り心地の改善に向けて努力して行きたい。

### 参考文献

- 1) 神田寛, 村山義夫: 海で働く人の健康と体力づくり, 成山堂書店, (1997)
- 2) 石田茂資他: 高速巡視船の波浪中運動特性に関する実船実験, 第68回船研研究発表会講演集, (1996)
- 3) 今里元信他: 高速巡視船の乗り心地評価法の検討, 第71回船研研究発表会講演集, (1998)

## 6 実海域における出入港シミュレーションの研究

### 6.1 はじめに

船舶の運航において、出入港時には他の運航時と比べて加減速や操舵が比較的多く行われる。バウスタスタなどの補助制御装置を持つ船では当然使用される。こうした船の運動を表す場合、前進速度が大きい通常の操船モデルと、前進速度が極めて小さい時の操船モデルとを組み合わせ使用するのが一般的であろう。これは、通常の操船モデルの場合、斜航角が±30°、無次元旋回角速度、 $|r| < 1.0$  ( $r = rL/U$ ; L: 船長, U: 船速, r: 旋回角速度) 程度までを対象にしているのに対し、低速モデルでは、斜航角については0~180°、無次元旋回角速度r無限大(その場回頭)まで考慮するためである。今回対象としている出入港操船は、タグを用いた着棧の直前まで、および離棧の直後以降を対象としている。こうした出入港操船は斜航角が余り大きくならないことから通常の操船モデルでかなり表現できることが予想されるため、操船モデルの検討の第一歩として、通常の操船モデルの適用限界について検討を行った。対象船舶としては、航海訓練所の練習船青雲丸を用いている。この船については、多くの模型試験結果や試運転結果があり操縦運動モデルの構築が比較的容易なこと、また出入港時の操船記録が装備された計測システムで計測されており、操縦運動モデルの適用範囲の検討に利用できるためである。

### 6.2 操縦運動モデル

操縦運動を表すモデルとしては、いわゆる数学モデルを用いるのが一般的である。今回は前進速度が



$n$  : プロペラ回転数  
 $K_T$  : プロペラ推力係数  
 $[K_T = (a_2 J_p^2 + a_1 J_p + a_0) \alpha_p + (b_2 J_p^2 + b_1 J_p + b_0)]$   
 $J_p$  : 前進定数  
 $[= (1-w)u / nD_p]$   
 $1-w$  : プロペラ有効伴流係数  
 $\alpha_p$  : プロペラ翼角

また、推力減少係数およびプロペラ推力係数については模型試験結果を用いる。さらに今回装備しているプロペラは可変ピッチプロペラなので、 $K_T$ は前進定数とプロペラ翼角との関数になっており、係数 $a_0 \sim a_2$ 、 $b_0 \sim b_2$ は実験結果から求められる。

### 6.2.3 舵力および操舵により主船体に誘起される流体力

舵により船体に誘起される力とモーメントは、舵角を $\delta$ 、舵直圧力を $F_N$ とすると次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} X_R &= -F_N \sin \delta \\ Y_R &= -(1+a_H)F_N \cos \delta \\ N_R &= -(x_R + a_H x_H)F_N \cos \delta \\ &= -(1+a_H)x_R F_N \cos \delta \end{aligned} \right\} \quad (6.5)$$

ここで、 $x_H = x_R$ とおく

ここで、 $x_R$ 、 $a_H$ 、 $x_H$ は舵から船体に及ぼす干渉係数である。 $x_R$ は重心から舵までの距離であり、 $x_H$ は実験係数として扱われるがここでは近似的に $x_R$ と等しいとしている。

次に、舵直圧力は次式で表す。なお、青雲丸はフラップ舵を装備しているのでその影響を考慮した式<sup>2)</sup>となっている。

$$\left. \begin{aligned} F_N &= (\rho/2)A_R f_\alpha U_R^2 \left\{ \sin \alpha_R + (k_f - 1)\delta \right\} \\ U_R/U &= \varepsilon(1-w)/(1-s) \cdot \\ &\sqrt{1 - 2(1-\eta\kappa)s + \{1-\eta\kappa(2-\kappa)\}^2} \\ \alpha_R &= \delta - \gamma_R (\beta - l'_R r) \end{aligned} \right\} \quad (6.6)$$

ここで、 $A_R$  : 舵面積  
 $f_\alpha$  : 舵単独での直圧力係数  
 $[= 6.13\Lambda / (2.25 + \Lambda)]$   
 $k_f$  : フラップ効果を表す関数  
 (通常舵の場合は1.0)  
 $\Lambda$  : 舵のアスペクト比  
 $U_R$  : 舵への有効流入速度  
 $\alpha_R$  : 舵への有効流入角  
 $\eta$  :  $D_p / H$  ( $H$ : 舵高さ)  
 $\kappa = 0.6/\varepsilon = 0.6(1-w)/(1-w_R)$   
 $(1-w_R)$  : 舵位置での伴流係数  
 $\gamma_R$  : 整流係数  
 $l'_R$  : 実験係数

### 6.2.4 水面上の船体に働く風圧力

水面上の船体に働く風圧力および風圧モーメント $X_W$ 、 $Y_W$ 、 $N_W$ は、風向角 $\varphi$ の関数である風圧力係数 $C_X$ 、 $C_Y$ 、 $C_N$ および風速 $U_W$ を用いて次式で表す。これらの係数は青雲丸の水面上模型を用いて船舶技術研究所変動風水動洞で行われた模型試験結果から求められる。

$$\left. \begin{aligned} X_W &= (\rho_W/2)A_T U_W^2 C_X(\varphi) \\ Y_W &= (\rho_W/2)A_L U_W^2 C_Y(\varphi) \\ N_W &= (\rho_W/2)A_L U_W^2 C_N(\varphi) \end{aligned} \right\} \quad (6.7)$$

ここで、 $A_T$  : 水面上の船体の正面投影面積  
 $A_L$  : 水面上の船体の横方向投影面積  
 $\varphi$  : 風向角 (船体正面が $0^\circ$ 、右舷真横が $90^\circ$ 、後方が $180^\circ$ )  
 $\rho_W$  : 空気の密度

### 6.2.5 バウスラスターにより主船体に誘起される流体力

青雲丸はバウスラスターを装備しているが、これにより主船体に誘起される流体力はスラスタ回転数が一定なのでバウスラスターのプロペラピッチ角 $\alpha_B$ の関数として次式で表す。なお、前進速度による推力低下を前進速度影響係数 $C_f$ <sup>3)</sup>で表している。

$$\left. \begin{aligned} Y_T &= f(\alpha_B)C_f \\ N_T &= Y_T x_B \\ C_f &= \left\{ 1 - 0.01348(B^2 / A_B)(u / U_{jB}) \cdot \right. \\ &\quad \left. \sin(44.66(A_B / B^2)(U_{jB} / u)) \right\} \quad (6.8) \\ U_{jB} &= \sqrt{|f(\alpha_B)| / \rho A_B} \end{aligned} \right\}$$

- ここで、 $f(\alpha_B)$  : 公称推力
- $x_B$  : 重心位置からバウスラスターまでの距離
- $B$  : 船幅
- $A_B$  : ダクト断面積
- $U_{jB}$  : ダクト噴流速度

### 6.3 スパイラル特性

前項の操縦運動モデルを用いて、青雲丸の試運転結果との比較を行い、その運動を適切に表すようにモデルの係数を一部調整した。即ち、(6.6)式中のフラップ効果を表す項 $(k_f - 1)\delta$ には、実船の試運転解析結果から修正係数0.5を掛けている。この操縦モデルを用いて青雲丸の操縦性能を推定した結果を試運転結果と比較したものを Fig. 6.2 に示す。

これをみるとスパイラル特性、偏角及び旋回による速度低下はほぼ一致していることが解る。さらにスパイラル特性を詳しくみると、35°旋回を除けば推定値の方がやや旋回性能が良くなっている。実験点が少ないが、偏角の特性についても同様の傾向が有るものの、速度低下については一致していると言える。通常の操縦性能推定についてはこの程度一致すれば十分と考える。

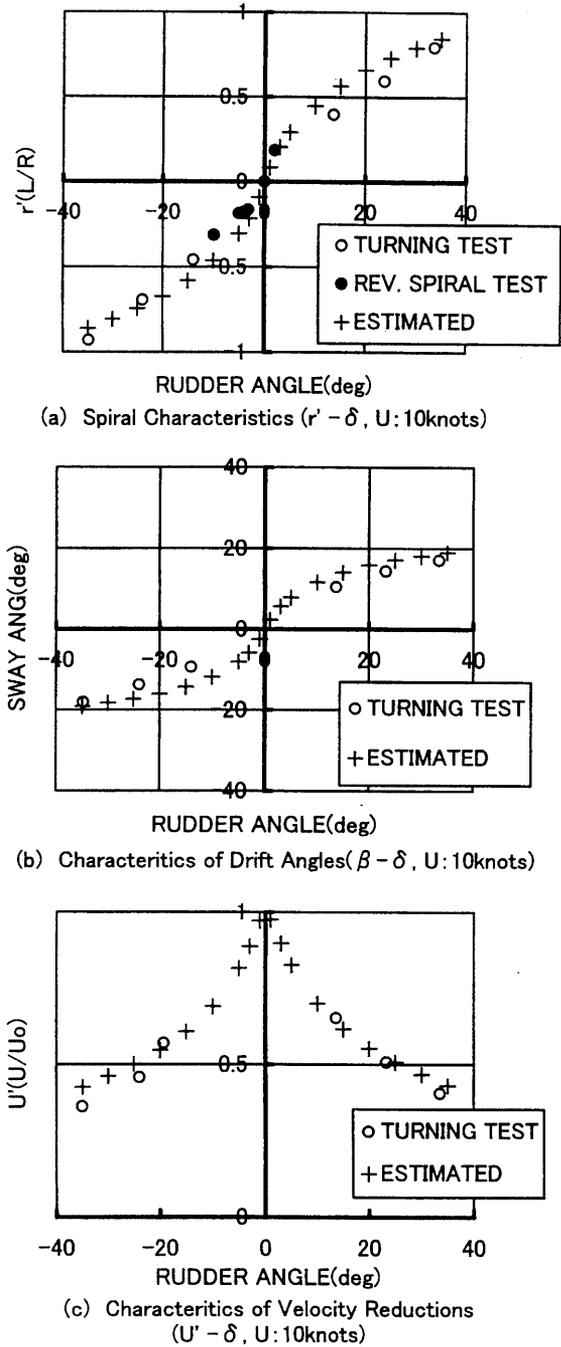


Fig. 6.2 Comparison of Spiral Characteristics

### 6.4 出入港時の計測例との比較

ここでは実際の入出港時の操船データが収集されている4例について、シミュレーション計算結果と計測値の比較について述べる。今回の計算では出入港操船なので外乱としては風のみを考え、潮流は小さく影響がないと考え無視しているが、後述するように必ずしも港湾内の流れの影響を無視できないようである。湾内の流速の影響については今後の検討課題としたい。

計算開始時間については、旋回角速度が極めて小さい直進に近い状態から始めた。出港時では完全にタグを切り離れた後の状態となる。また、実際の操船を再現するため、舵角、プロペラ翼角、プロペラ回転数、バウスラスタ翼角、風向、風速については、計測されたほぼ1秒ごとのデータを約1000秒間入力し、これに対する操縦運動を計算した。このため、操舵速度は入力値に正確に追従するように十分速くした。また、計算間隔は0.5秒であり、入力データの間の値は直線補間している。

さらに、出入港時は加減速操船が行われるが、特にプロペラ翼角を減少させ減速させる場合、プロペラスリップ率が1を越える時があるが、この時スリップ率は1とし舵力は零となるように設定している。さらにスラストとしては後進推力を発生させると考えられるが、後進推力は零としている。

#### 6.4.1 K港出港時の計測例の比較 (1998年11月7日)

K港を出港するときの計測例との比較をFig. 6.3に示す。Fig. 6.3aの時系列の図中、舵角、プロペラ翼角、プロペラ回転数、バウスラスタ翼角、風速、風向については計測値と推定値が同じ値になっているが、これは入力が正しく行われていることを意味している。なお、ここでの風向、風速は相対風向、風速ではなく真の値を示している。また、計測値は20秒間隔で示している。

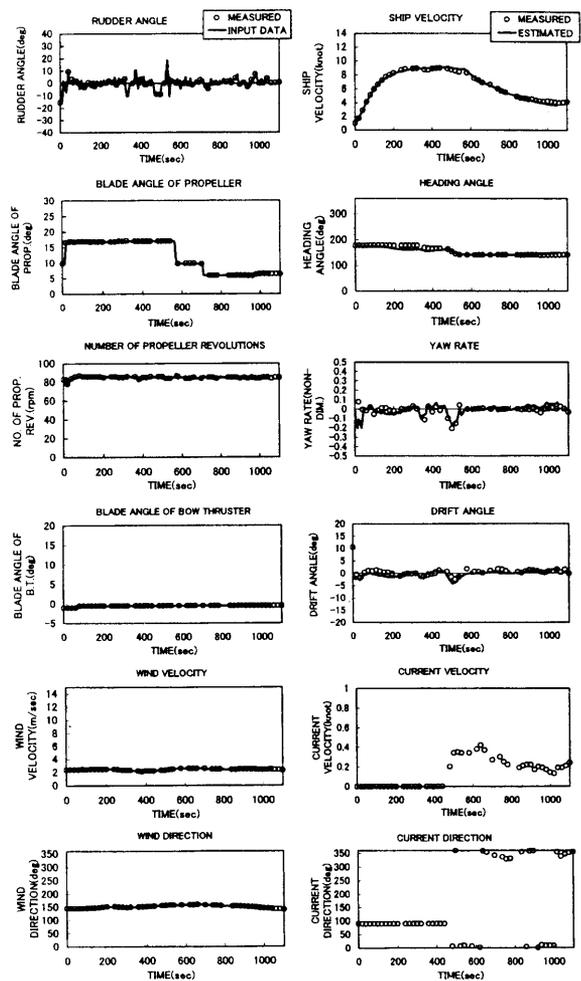


Fig. 6.3a Comparison of Time History of a Ship Manoeuvring in Departure from K Port

船速 (SHIP VELOCITY)、船首方位 (HEADING ANGLE) や旋回角速度 (YAW RATE) および偏角 (DRIFT ANGLE) が計算初期にわずかに差違は有るものの全体としては非常に良く一致していると言える。

Fig. 6.3bには航跡図 (TRAJECTORY) を示す。図中の三角形がGPSで計測された船の位置を20秒間隔で表しており、最も鋭角な頂点が船首方向を表している。なお長手方向の長さはほぼ船長を表している。途中間隔が不連続に広いところはデータが欠けていることを意味している。また、実線が推定された航跡を示している。この図をみると、推定された航跡は計算初期での時系列のわずかな差違があるため航跡もわずかに異なっているが、全体的に良く一致していると言える。

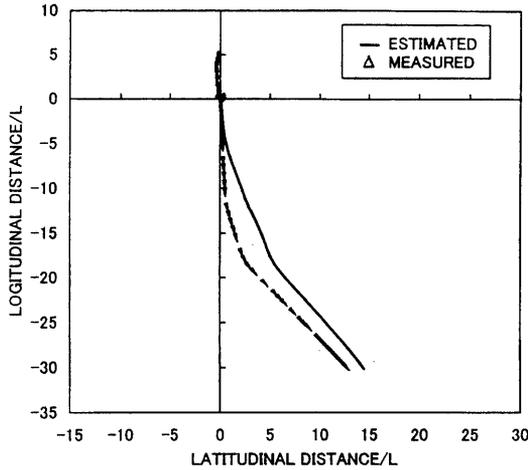


Fig. 6.3b Comparison of Trajectory of a Ship Manoeuvring in Departure from K Port

6.4.2 S港入港 (1998年11月13日)

S港に入港操船の計測例との比較を Fig. 6.4 に示す。Fig. 6.4a の時系列を見ると、計算開始から加速し減速を始める 400 秒あたりまで船速、船首方位、旋回角速度、偏角とも計測値と推定値は非常に良く一致している。しかしそれ以降はこれらの値は少しずつずれてくる。実際の操船では 320 秒あたりでタグを引いており、660 秒あたりからタグを使用して減速着機の行動を取っている。今回の計算モデルはタグを使用することを考えていないので 660 秒以降の操船は一致しなくても当然である。この範囲を除くと今回の操縦モデルで減速操船の 5knot くらいまでは前進速度が大きい場合のモデルでも適用できると考えられる。また、420 秒以降旋回角速度および偏角とも計測値との一致は悪くなっているが、翼角 5° 程度で徐々に減速しており、この場合のスラスト、舵力の計算上の取り扱いがやや実際と異なっていることが解る。この例では、潮流の速度は最大で 0.3knot であり、船速に比べると十分に小さく無視できると考える。

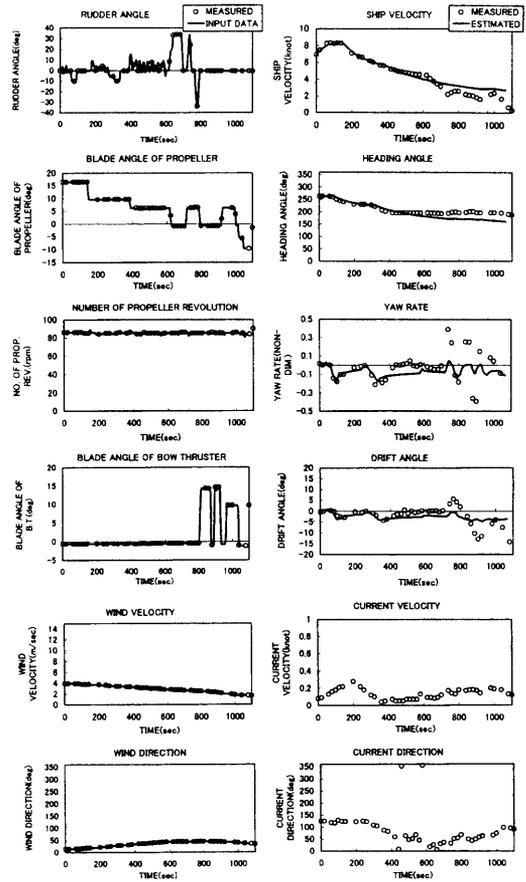


Fig. 6.4a Comparison of Time History of a Ship Manoeuvring in Arrival at S Port

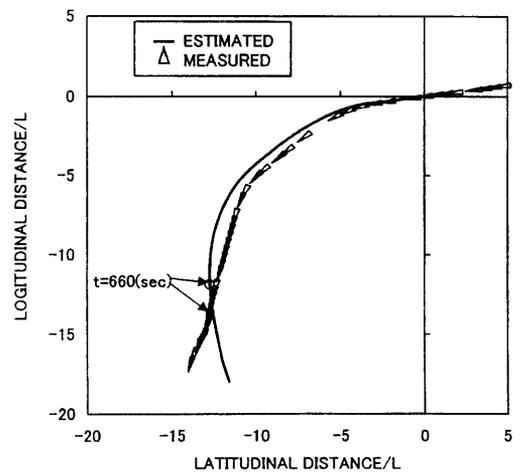


Fig. 6.4b Comparison of Trajectory of a Ship Manoeuvring in Arrival at S Port

6.4.3 H港出港 (1998年11月28日)

H港出港時の計測例との比較を Fig. 6.5 に示す。Fig. 6.5a の時系列を見ると、850 秒あたりまで船速、船首方位、計算初期を除いた旋回角速度(計算初期には離棧行動の影響が残っていたものと考えられる)、偏角も推定値と計測値が非常に良く一致していることが解る。その後計算では船は左旋回を始めるが、計測値では船は直進している。Fig. 6.5b を見ると、太線で書いた船の位置が850 秒の位置に当たり、前述の傾向が一目でわかる。時系列を見ると、850 秒以降5°前後の小舵角の左舵を頻繁に取っており、計算値はその結果を反映し左旋回したものである。一方計測結果では船は直進している。潮流の流速を見ると680 秒以降突然0.8~1.0knotの計測されている。この時の船速が8knot 位なのでこの潮流の影響は大きいと考えられ、これが推定値と計測値の差に大きく表れたものと考えられる。

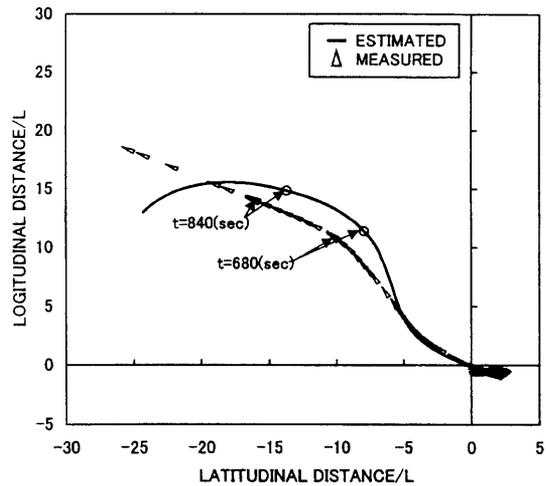


Fig. 6.5b Comparison of Trajectory of a Ship Manoeuvring in Departure from H Port

6.4.4 N港出港 (1999年4月13日)

N港出港時の計測例との比較を Fig. 6.6 に示す。Fig. 6.6a の時系列を見ると、船速は良く一致しており、船首方位、旋回角速度、偏角も570 秒あたりまで推定値と計測値がほぼ一致していることが解る。その後やや差違があるものの全体の傾向は表していると考えられる。Fig. 6.6b の航跡図を見ると、太線で書いた船の位置が570 秒の位置に当たるが、航跡では既に少し差が表れている。潮流の速度は0.1~0.34knot の範囲で変動しているが、200 秒以降8knot 以上の船速が有り、必ずしも影響が大きいとは考えにくい。570 秒以降10°以下の小舵角を頻繁に取っており、小舵角でのスパイラル特性の精度の影響も考えられる。また、640 秒からは減速しており、減速時の舵力の推定精度の影響も考えられる。

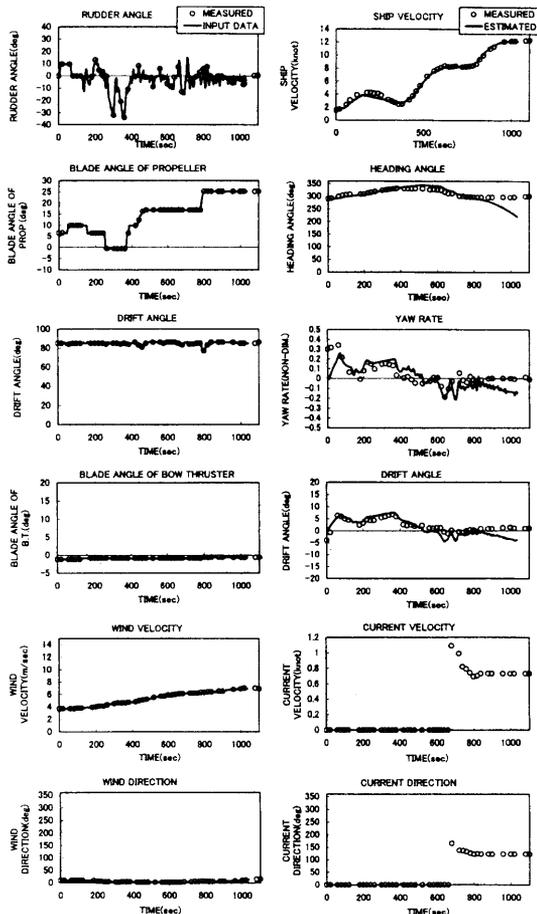


Fig. 6.5a Comparison of Time History of a Ship Manoeuvring in Departure from H Port

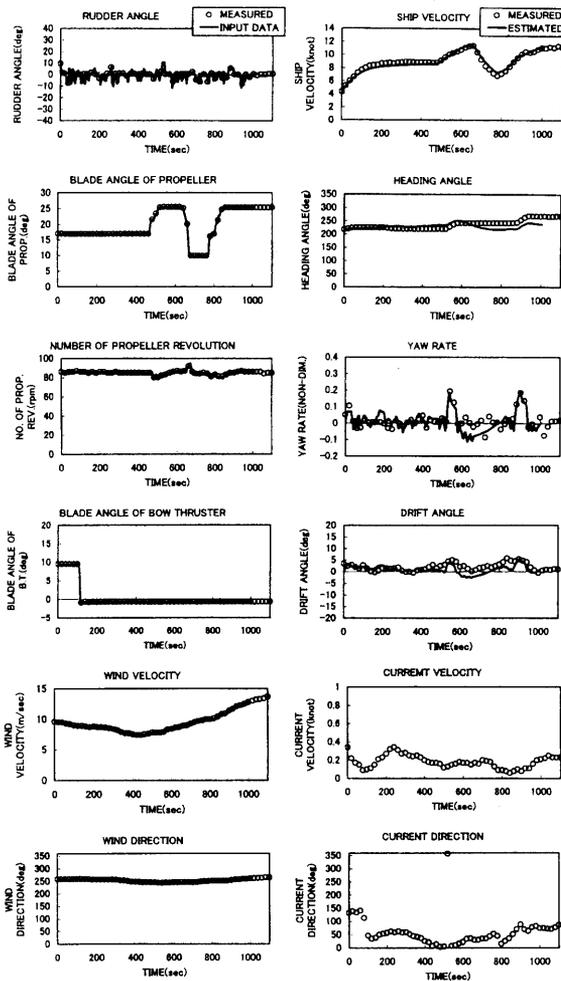


Fig. 6.6a Comparison of Time History of a Ship Manoeuvring in Departure from N Port

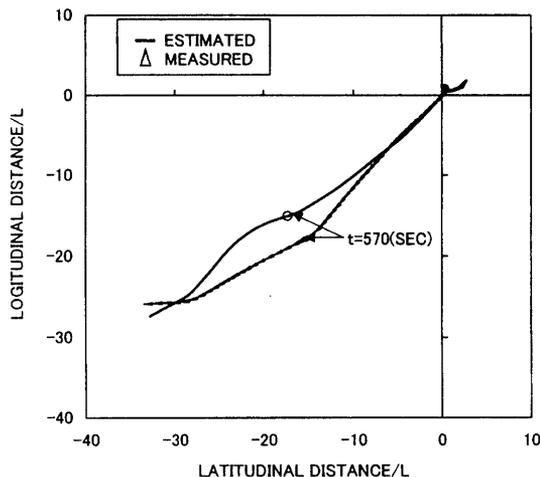


Fig. 6.6b Comparison of Trajectory of a Ship Manoeuvring in Departure from N Port

### 6.5 まとめ

前進速度が大きい時の通常の操縦運動モデルを用いて、出入港時の操縦運動の計測例と比較し適用範囲について検討を行った。その結果、次の条件をもとに推定計算を行うと比較的良く出入港時の操縦運動を表せることが解った。

- (1) プロペラスリップ率が1.0を越える場合、スラストを零かつ舵力を零とする。
- (2) 出港時の操縦運動計算は、離棧終了後の旋回運動がほぼ零となる時間(当然タグは切り離されている)から計算を開始する。

また今回の計算結果から出入港時の操縦運動をさらに精度良く推定するためには、減速時の舵力やスラストの推定精度や小舵角でのスパイラル特性の推定精度の向上が必要なが考えられる。さらに港湾内での潮流影響を検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) 平野雅祥, 高井忠夫, 松本憲洋: 第3回操縦性シンポジウム, V. 造船設計への操縦運動モデルの応用 II - 実船の操縦性能推定 -, 日本造船学会, 昭和56年12月
- 2) 芳村康男, 佐々木紀幸, 竹川正夫: フラップ舵を装備する船舶の操縦性能とその推定, 日本造船学会論文集, 第181号, 平成9年5月
- 3) 赤坂則之, 山本真生: 船舶の航路保持制御系設計法と実船試験結果, 計測自動制御学会論文集, 第31巻, 第1号, 1995年1月

### 7 結言

練習船青雲丸を活用した船舶技術研究所と航海訓練所の共同研究項目のうち操縦性能と推進性能、作業性および乗り心地、出入港操船の各項目についての研究成果をとりまとめた。実海域の実船データの収集にあたっては、船舶技術研究所の担当者が青雲丸にいくつかの計測機器を持ち込んで乗船した上で計測をおこなったり、担当者が乗船せずにある想定した気象海象条件時あるいは操船時に青雲丸乗員にデータ取得を依頼したり、あるいは訓練生も含めた乗員に広くアンケート調査を行うなど、船舶技術研

究所と航海訓練所の密接な協力の上に実施されてきた。その結果、目的とする外乱下の操船データや長期にわたる航海データなど非常に貴重な実海域実船データが数多く収集でき、それぞれの研究項目にとって有益な情報となったと考えられる。

操縦性能に関しては、風や潮流といった外乱下における操縦運動の実海域データを解析することによって、青雲丸の気象海象データが信頼できるものであることが実証されるとともに、外乱下の操縦運動がシミュレーション計算によって有効に評価できることが確認された。推進性能に関しては、世界一周航海時における長期のデータ解析によって推進性能と外乱影響の関係が示された。また、実海域推進性能推定法の有効性を確認するとともに、その評価手法に関する新たな提案を行うことができた。作業性および乗り心地に関しては、遠洋航海中の乗員を対象として広くアンケート調査を行うとともに、同時に計測した加速度との関係を考察し、その評価手法について検討をおこなった。出入港操船に関しては、実際の出入港時の操船運動が通常の操縦運動モデルで評価できることを確認した。

今回の一連の研究で収集されたデータの多くは、練習船青雲丸の船内LANによる情報処理システムを活用して得られたものである。この船内LANによる情報処理システムは各種の貴重な実海域データの容易な収集を可能とする特筆すべき設備ではあるが、本文中にも記したように、それでもなお縦揺れや横揺れといった船体動揺に関するデータが含まれていないことや波に関するデータが時系列ではなく統計値としてしか処理されていないことなど、研究者の視点からはさらに改善の余地が残されているものと見ることができる。

本報告は船内LANによる情報処理システムを備えた練習船青雲丸の研究支援船としての有用性を十分に確認するものであると考えられる。今回得られたデータが今後さらに各方面での活用が期待されるだけでなく、練習船青雲丸自体も今後より一層の活用が期待される。また、船内LANによる情報処理システムに関する前述の改善がなされるならば、研究支援船としての練習船青雲丸の今後の役割も今以上に大きなものとなると期待される。

## 謝辞

本研究を進めるにあたって模型実験および実海域実験のデータ解析等に関してご指導いただきました住友重機械工業(株)佐々木紀幸博士ならびに北海道大学芳村康男教授(元住友重機械工業(株))に感謝いたします。