

(昭和 59 年 11 月 日本造船学会秋季講演会において講演)

船舶の初期設計における耐航性能の総合的 評価に関する研究(第3報)

正員 細 田 龍 介* 正員 国 武 吉 邦**
 正員 小 山 初 見*** 正員 三 宅 成 司 郎****
 中 村 博** 正員 松 島 正 和**
 正員 田 口 賢 士*

Integrative Evaluation of Seakeeping Performance in Initial Ship
Design (3rd Report)

by Ryusuke Hosoda, *Member* Yoshikuni Kunitake, *Member*
 Hatsumi Koyama, *Member* Seijiro Miyake, *Member*
 Hiroshi Nakamura Masakazu Matsushima, *Member*
 Katashi Taguchi, *Member*

Summary

In the previous papers, the authors presented a method for evaluating the seakeeping performance of ships at sea in the initial ship design stage.

They introduced 'mission effectiveness' concept as a measure which gave the effect of seakeeping performance on ship system and her missions, and showed it was effective for evaluating the seakeeping performance of ships. They showed too that the short-term mission effectiveness gave the ship's inherent seakeeping performance, and that the long-term mission effectiveness was important to obtain informations for cost/performance trade-off which ship designers as well as ship owners must evaluate in the initial ship planning and design.

In the present paper, the authors present a method for estimating the long-term mission effectiveness of ship system, which is to be operated under a mission composed of several different duties, as a function of long-term conditional probability. The long-term mission effectiveness obtained by the present method is compared with that estimated by the simulation method previously. A method for cost/performance evaluation is presented, which gives the mission effectiveness in a broad sense. The present method is applied for the same patrol boats which were used for the numerical examples in the previous papers.

1 緒 言

著者らは、船舶の初期設計における耐航性能の総合的評価に関して、第1報¹⁾においてはその基本的な考え方として 'mission effectiveness' の概念を導入し、船舶に課せられた使命に応じて適切な船舶システムを構成した上でシステムの信頼度推定に用いられる手法と同様の考え方をいれれば耐航性能評価の指標である狭義の mis-

sion effectiveness の推定が可能であることを示した。また、この手法の適用のためには、耐航性諸要素が船舶システムを構成する搭載諸設備の機能、性能に及ぼす影響を正しく把握する必要のあることを示した。更に、狭義 mission effectiveness の短期的および長期的な意味、推定法、評価法の違いを明らかにするとともに、海難救助を使命の一つとする巡視船を対象として、海難救助活動の中の任務の一つである捜索活動に対する短期 mission effectiveness を推定し、船型、大きさ等による個々の船に固有の耐航性能を評価した。

第2報²⁾においては、船舶の初期設計における長期 mission effectiveness の評価が諸コストとの trade-off

* 大阪府立大学工学部
 ** 三井造船(株)船舶海洋プロジェクト事業本部
 *** 海上保安庁船舶技術部
 **** 日立造船(株)大阪工場 (研究当時大阪府立大学大学院)

をも考慮した広義 mission effectiveness の評価のために重要かつ不可欠であることを明らかにし、その推定法として統計的予測手法およびシミュレーション手法を適用して検討した結果、複数の任務によって構成される使命を課せられた船舶の総合的な耐航性能評価には後者が適していることを示した。しかし、前2報における mission effectiveness の評価は耐航性能の評価だけに限られており、建造コスト、運航コストを総合した運航経済性との trade-off (cost to effectiveness) を考慮するまでには至らなかった。

本報においては、まず第2報に引き続き狭義の長期 mission effectiveness の推定に関して、複数の任務からなる使命の場合にも統計的予測手法の適用が適当な条件の下で可能であることを示す。また、その推定結果を既に報告した長期シミュレーションによる結果と比較するとともに、経済性との trade-off を行い船舶の耐航性能の総合評価の指標としての広義 mission effectiveness の推定・評価を行う。なお、本報においては狭義 mission effectiveness を performance effectiveness と呼ぶ。

また、本研究において提案した mission effectiveness の考え方が船舶システム全体としての耐航性能評価のみならず、個々のサブシステムの性能に対する耐航性能の量的評価に対しても有効であることを示す例として、従来量的評価が明確でなかった減揺装置の効果について、減揺効果の期待される乗組員の作業性を始めとして、関連のある任務の短期 performance effectiveness の見地から量的評価を試みる。更に、減揺装置を装備した船の長期 performance effectiveness を推定して、長期的見地から非装備船との cost/performance の比較評価を試みる。

2 統計的予測手法による長期 performance effectiveness の推定

2.1 長期 performance effectiveness の確率論的考察

船舶に課せられた使命が複数の任務の遂行によって構成される場合の長期 performance effectiveness を考察する。

前報において、複数の任務遂行によって使命が達成されたとした場合、個々の任務に関してその遂行の可能性即ち、任務の遂行が可能である航海状態の長期予測は統計的予測手法によって行い得るが、巡視船の救難活動に見られるような、複数任務の定められた順序に従った遂行からなる使命の場合には、個々の任務の性格が異なる等の理由により使命全体としての長期 performance effectiveness の推定は行い得ないと考えた。

本報においては、このような場合の長期 performance

effectiveness は、極値の長期予測と同じ考え方、手法を用いれば予測できることを示す。

今、船舶に課せられた使命が n 個の異なった任務によって構成されるとし、各々を M_1, M_2, \dots, M_n とする。船舶はこれらの n 個の任務を M_1 から順番に M_2, M_3, \dots, M_n まですべてを遂行し終えて初めて使命を達成できたことになるとすれば、各任務は互いに直列に結合したシステムを構成していることを意味する。

既に述べたように、長期 performance effectiveness を課せられた使命（即ちすべての任務）に対する遂行率（使命達成率）として定義するならば、信頼性工学の分野で用いられる直列システムの信頼度の推定と同様と考えることができて³⁾、長期 performance effectiveness P_{El} は

$$P_{El} = P(M_n \cdot M_{n-1} \cdot M_{n-2} \cdots M_2 \cdot M_1) \quad (1)$$

のように条件付確率をもって表現することが可能となる。即ち、 M_1 から M_{n-1} までの任務を順次遂行した上で任務 M_n を遂行することのできる長期確率を意味する。

前述のように、各任務は直列構成をなしていることを考慮すれば、(1)式は

$$P_{El} = P(M_1) \cdot P(M_2/M_1) \cdot P(M_3/M_2 \cdot M_1) \cdots \\ \times P(M_n/M_{n-1} \cdots M_2 \cdot M_1) \quad (2)$$

と書き改めることができる。ここで、 M_1 から M_n までの各任務は、その遂行が省略されることはあっても、同時に複数の任務遂行に従事したり、あるいは任務遂行の順序を変更したりすることはないとすれば、各々は異なった任務であると性格づけることができる。即ち、各任務はその性格上独立であると見なすことができるから、(2)式において、

$$\left. \begin{aligned} P(M_1) &= P(M_1) \\ P(M_2/M_1) &= P(M_2) \\ P(M_3/M_2 \cdot M_1) &= P(M_3) \\ &\vdots \\ P(M_n/M_{n-1} \cdot M_{n-2} \cdots M_2 \cdot M_1) &= P(M_n) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

とすることができる。したがって、この場合には、

$$P_{El} = P(M_1) \cdot P(M_2) \cdots P(M_{n-1}) \cdot P(M_n) \quad (4)$$

と表わすことができる。即ち、各任務に対して独立に推定した任務遂行率の積で使命全体の長期 performance effectiveness を推定することができる。

2.2 長期 performance effectiveness の推定

(4)式を用いて長期 performance effectiveness の推定を行う場合、統計的予測手法を適用することによって各任務に対する短期 performance effectiveness を予め推定しておく必要があり、その方法については既に述べた。

この短期 performance effectiveness は船舶に固有の耐航性能を表わす指標であり、任意に定められた海象条件における個々の任務の遂行に対してその可能性の指標を与えるものである。したがって、実際に長期にわたって船舶が運用される特定の海象条件下における任務の遂行率を意味するものではない。

今、各任務に対する短期 performance effectiveness は既に示した方法によって推定されるとし、長期にわたって運用される海域あるいは航路が定められた場合、その海域における長期の波浪発現状況に関する統計資料等の海象情報を利用可能であるならば、その海域における任意の任務に対する長期 performance effectiveness P_{Eli} は

$$P_{Eli} = P(M_i) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} PE_{si}(H, T, \chi) p_i(H, T, \chi) dHdTd\chi \quad (5)$$

のように統計的予測手法を用いて推定することができる。ここに、添字 i は任務の番号を表わし、 PE_{si} は i 番目の任務遂行に対する短期 performance effectiveness を表わし、海象条件パラメータである波高 H 、波周期 T 、出会角 χ の関数として与えられなければならない。また、 p_i は、 i 番目の任務を遂行する海域の長期波浪発現頻度を表わし、 PE_{si} と同様に H, T, χ の関数として表わされ、

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} p_i(H, T, \chi) dHdTd\chi = 1 \quad (6)$$

を満足する。

ここで、各々の任務を遂行する海域が大きく異なることなく、すべての任務が大略1つに限定できる海域で遂行されると考えられる場合には、当該海域における長期

波浪発現頻度はすべての任務に対して統計的に同一となると考えてよい。したがって、この場合には、(5)式中の p_i の添字 i を考える必要がなくなり、結局 i 番目の任務に対する長期 performance effectiveness P_{Eli}

$$P_{Eli} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} PE_{si}(H, T, \chi) p(H, T, \chi) dHdTd\chi \quad (7)$$

によって推定することができる。

3 巡視船の長期 performance effectiveness の推定

3.1 短期 performance effectiveness

短期 performance effectiveness は第1報に示した方法によって推定される。金らの研究⁴⁾によれば、船体運動を始めとする諸応答には相関があり、サブシステムに対する影響も複合的となることが示されているが、本研究においては船舶の初期設計の段階で総合的な耐航性能を把握するために諸応答はサブシステムに対して独立に影響を及ぼすと考える。ただし、本研究における短期 performance effectiveness の推定法では、個々の任務の重要度あるいは優先度、および各サブシステムの機能、性能の重要度に関しては考慮されていない。この点に関する正確な情報は得られていないが、もしそれが可能ならば、現在均等な荷重となっている各任務あるいは各サブシステムに対して重要度に応じた荷重を考慮することによってより合理的な短期 performance effectiveness の推定が可能となろう。

Table 1 に、諸応答のうち本研究において採用したものに関して、搭載諸設備、乗組員等のサブシステムの機能に対する影響を示す。表中の数値の大部分は既に第1

Table 1 Seakeeping performance degradation of ship subsystems

| SUB-SYSTEM | RESPONSE | SHORT-TERM PERFORMANCE EFFECTIVENESS | | | | | |
|---|-------------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|--------|
| | | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | 0.0 |
| HULL AND * STRUCTURE | DECK WETNESS (times/h) | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 |
| | SLAMMING (times/h) | 20 | 28 | 36 | 44 | 52 | 60 |
| HULL AND ** STRUCTURE | DECK WETNESS (times/h) | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 |
| | SLAMMING (times/h) | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 |
| PERSONNEL (heavy work) | PITCH (sig. amp.) (deg) | 1.0 | 3.9 | 5.0 | 6.0 | 7.1 | (10.0) |
| | ROLL (sig. amp.) (deg) | 4.0 | 10.6 | 13.3 | 16.0 | 19.1 | (25.0) |
| | V. ACC. (sig. amp.) (g) | 0.05 | 0.19 | 0.28 | 0.37 | 0.47 | (1.0) |
| | L. ACC. (sig. amp.) (g) | 0.03 | 0.12 | 0.14 | 0.16 | 0.20 | (0.5) |
| PERSONNEL (light work) and COMMUNICATION | PITCH (sig. amp.) (deg) | 2.0 | 4.8 | 6.6 | 8.4 | 10.5 | (15.0) |
| | ROLL (sig. amp.) (deg) | 5.0 | 12.7 | 17.6 | 22.7 | 29.0 | (45.0) |
| | V. ACC. (sig. amp.) (g) | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.9 | (1.1) |
| | L. ACC. (sig. amp.) (g) | 0.05 | 0.24 | 0.32 | 0.40 | 0.48 | (0.6) |
| RADAR | PITCH (sig. amp.) (deg) | 20.0 | 21.0 | 22.0 | 23.0 | 24.0 | 25.0 |
| | ROLL (sig. amp.) (deg) | 20.0 | 21.0 | 22.0 | 23.0 | 24.0 | 25.0 |
| HELI. *** TAKE-OFF/ LANDING | PITCH (sig. amp.) (deg) | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.6 | 3.8 | 4.0 |
| | ROLL (sig. amp.) (deg) | 5.0 | 5.5 | 6.0 | 6.5 | 7.0 | 7.5 |
| PROPULSION | NOMINAL SPEED LOSS | | | | | | |

* for MONO-HULL TYPE PATROL BOAT

** for SSC TYPE PATROL BOAT

*** for PM-1, SSC-1 and SSC-2

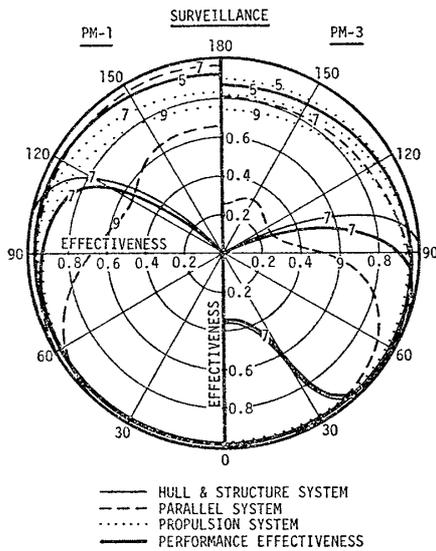


Fig. 1 An example of short-term performance effectiveness for 'SURVEILLANCE'

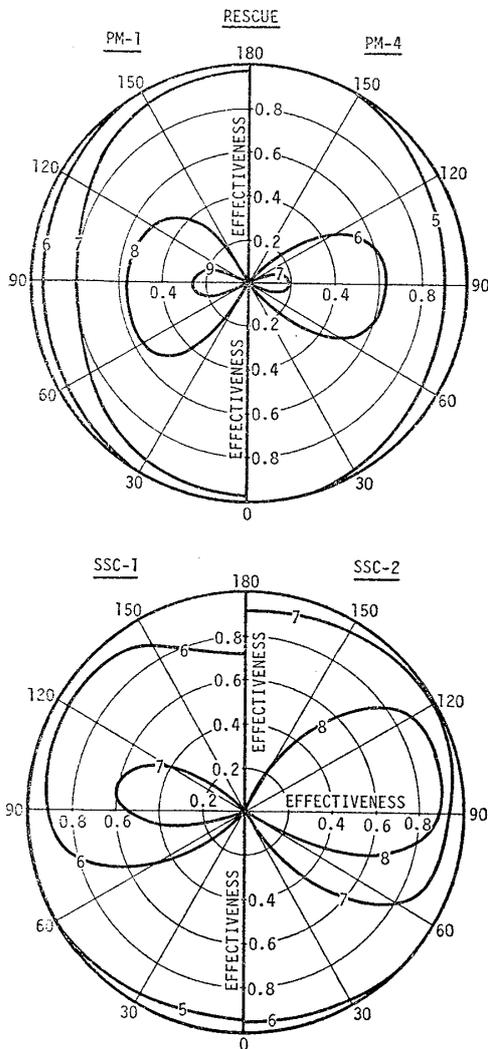


Fig. 2 Short-term performance effectiveness for 'RESCUE'

報に図示されている。また、これらの値は本研究のために著者らが推定したものもあり、必ずしも普遍的とは言えないことに注意を要する。()内の数値は乗組員の

作業性が完全に失われるであろうと考えられる応答の有義振幅を仮定して記したものである。

Table 1 に与えられる performance degradation を用いた各任務に対する短期 performance effectiveness の推定例を Fig. 1 および Fig. 2 に示す。Fig. 1 は、捜索に対する PM-1, PM-3 の短期 performance effectiveness であり、船速は nominal speed loss を考慮した航海速力である。他の巡視船に対しては、第1報において各サブシステムに対する影響をも含めて示しているので省略する。図より、耐航性能に関しては大型船の方が優れていることが理解できる。Fig. 2 は、遭難船に接舷若しくは現場近くに停船した状態における救助任務に対する短期 performance effectiveness を表わす。単胴船の場合、大型船は荒れた海面状態においても救助率が高いことが理解できる。一方、半没水双胴船の場合には、向い波状態に保てば救助活動に対する動揺の影響を抑えることができるという単胴船とは異なった特性を有することが判る。特に大型の場合には、かなり厳しい海象下においてさえ救助活動が可能であることを示している。ただし、救助に対する短期 performance effectiveness の推定には搭載諸設備の使用は考慮されていない。

本報には示されていないが、海難現場への移動は、捜索の場合とシステム構成が殆ど変わらないし、また、捜索に対してもヘリコプターの援用による捜索時間の短縮は考慮されていないので、この場合の短期 performance effectiveness は捜索の場合と殆ど変わらない。

単胴型巡視船はすべて減揺水槽を装備している。また、半没水双胴船の場合にも姿勢制御のための fin-stabilizer を装備している。これらの減揺装置の効果としては現在までの多くの研究および実績例によって確認されている。また、同調横揺時の横揺振幅を大幅に抑制する効果のあることは現在までの多くの研究および実績例によって確認されている。また、同調横揺振幅の減少には効果は大きいですが、他の周波数範囲では逆に動揺振幅が大きくなる場合のあることも知られている。しかし、減揺装置の減揺効果が船舶の機能、性能に対してどの程度効果的であるかと言った具体的な量的評価は未だなされていないと言えることができる。

そこで、本研究においては、最も大型の単胴型巡視船 PM-1 の場合について、減揺水槽を作動させた場合と作動させない場合について船体運動の計算を行い、その結果を用いて短期、長期 performance effectiveness の推定を行って巡視船に搭載されるサブシステムへの影響、短期、長期 performance effectiveness の影響を調べた。一方、半没水双胴船に対しても fin を制御した場合と制御しない場合について同様の検討を行った。

Fig. 3 に、PM-1 の場合の減揺水槽の効果を示す。図

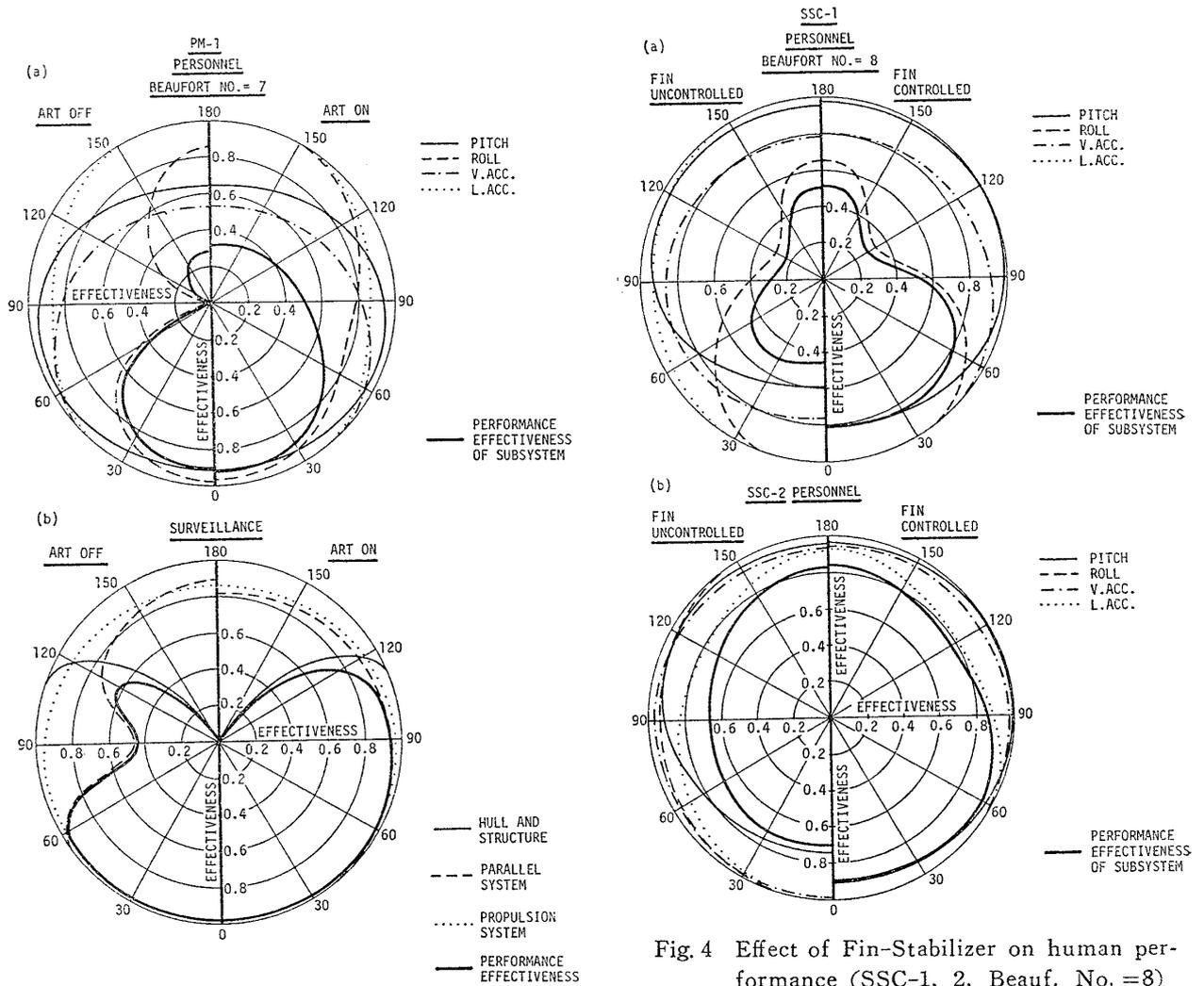


Fig. 3 Effect of Anti-Rolling Tank on human performance and surveillance mission (PM-1, Beauf. No.=7)

中の(a)は減揺水槽作動の乗組員の作業性に対する効果を表わし、(b)は捜索任務に対する短期 performance effectiveness の表現を用いた減揺水槽の効果を示している。図(a)より明らかなように減揺水槽を作動させない場合には、Beaufort No.=7の海象下では出会角150°~60°の横波状態で乗組員は殆ど作業が不可能であり、その原因は過大な横揺振幅にあることが理解できる。しかし、減揺水槽を作動させた場合には横揺振幅の大幅な減少によって作業性が大きく向上していることが判る。また、図(b)においても、減揺水槽の捜索任務に対する効果が特に横揺状態で大きく、短期 performance effectiveness が倍増していることが明瞭である。

Fig. 4に、半没水双胴船に装備される fin-stabilizerの乗組員の作業性に対する効果を示す。図(a)はSSC-1の場合であり、図(b)はSSC-2の場合である。いずれも Beaufort. No.=8の厳しい海象下の乗組員の作業性を表わしているが、finの効果は、単胴船の減揺水槽の

Fig. 4 Effect of Fin-Stabilizer on human performance (SSC-1, 2, Beauf. No.=8)

場合と異なり、横揺に対してよりもむしろ縦揺振幅およびこれから誘起される上下加速度の抑制に大きく現われていることがよく判る。その結果、追波状態における作業性の改善に fin の効果が大きく、この点が半没水双胴船の場合の減揺効果の特徴であると言える。

以上の2例により、本研究において示した短期 performance effectiveness は船舶に固有の耐航性能を表わすだけでなく、個々のサブシステムの性能およびその改善策を量的に知る指標を与えることが示された。

3.2 長期 performance effectiveness

長期 performance effectiveness の推定は、個々の任務に対しては(7)式を、また、船舶システム全体としては(4)式を用いて行われる。

予測計算のための遭遇海象は前報と同様に高石らによる北太平洋における目視観測結果の統計資料⁵⁾より、E 06 N および E 06 S (35°~40°N, 145°~150°E)の海域における資料を使用した。予測は春、夏、秋、冬の4季節および通年について行った。波向に関しては船体との出会角が0~2πの区間で一様であるとした。

既に前報において示したように、ヘリコプターの援用

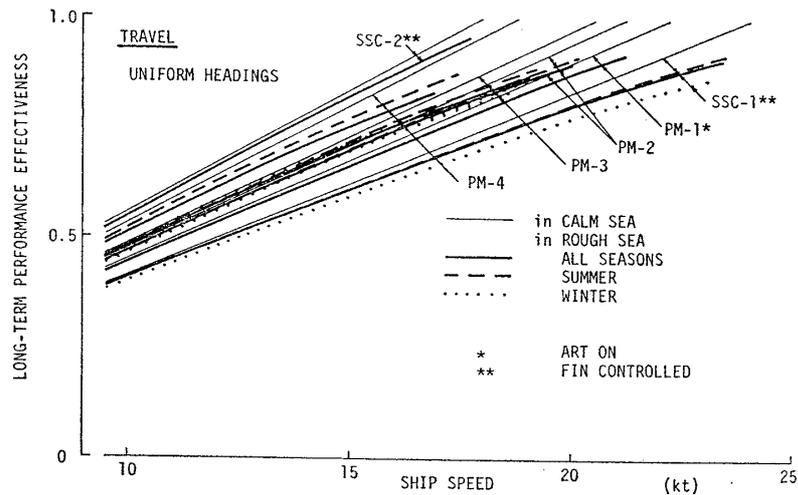


Fig. 5 An example of long-term performance effectiveness predicted by statistical method (TRAVEL)

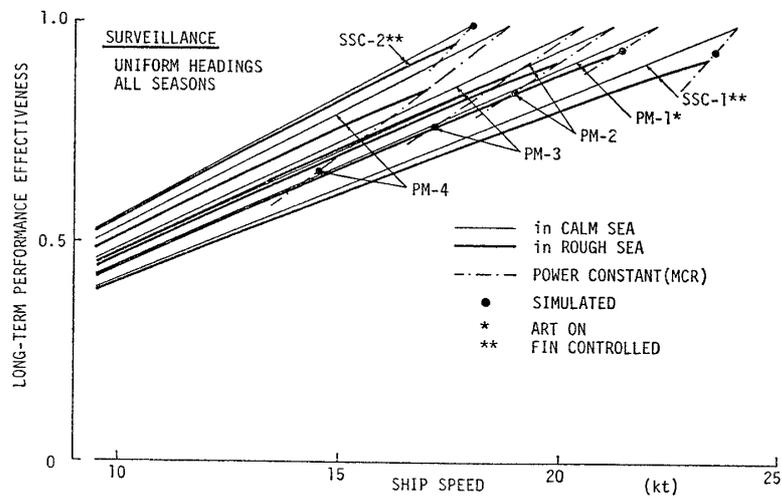


Fig. 6 Comparison of predicted and simulated long-term performance effectiveness

による搜索時間および救助時間の短縮という実際上の運用効果に関しては、統計的予測手法に組入れることができないので、本報の予測では考慮されていない。また、遭難船の曳航に関しても本報の予測では考慮されていない。したがって、帰投に関しては現場への移動と同じ取扱いとなる。

Fig. 5 に、現場への移動任務に関する長期 performance effectiveness を示す。図中の細線は平水中における値を表わし、各船の平水中航海速度において performance effectiveness は 1 である。図中の太線は、海象条件として通年の資料を用いた場合、破線は夏期、点線は冬期とした場合の推定結果である。なお、波浪中における nominal speed loss による船速低下および performance effectiveness の低下により、風波浪中における長期 performance effectiveness の上限は平水中と同一ではなく、主機出力最大(MCR)とした場合の波浪中船

速およびその船速における performance effectiveness となっている。

図より、長期 performance effectiveness の平水時からの低下は単胴船の場合も半没水双胴船の場合も小型船に対して大きく、季節としては冬期に顕著である。しかし、PM-1, SSC-2 に関しては、performance effectiveness の低下が小さく、しかも夏、冬の差は殆ど見られない。

Fig. 6 に、搜索に関する長期 performance effectiveness の推定結果と前報に示したシミュレーション結果を比較して示す。図中の細線と太線の区別は Fig. 5 の場合と同様である。図中に示される黒丸印は前報のシミュレーション結果であるが、前報の Table 2 の PM-4 に対する搜索成功率即ち搜索に関する長期 performance effectiveness の値は誤りであるので、ここで 0.67 に訂正したい。

シミュレーションによる推定では、主機の出力をMCRに維持して搜索に当ると仮定しているの、nominal speed lossを考慮して主機出力MCRの当馬力線上にプロットしてある。PM-2, PM-3, PM-4に関してはシミュレーション結果は予測結果に比べて低い。特にPM-4の場合に大きく低下しているの、その差を調べると、予測結果によれば平均船速約17 kt, performance effectiveness約0.85であるのに対し、シミュレーション結果ではこれらの値は14.5 kt, 0.67である。各々の推定結果には数値計算上の誤差が含まれると考えられるが有意となるほどの誤差は生じないと考えてよい。この差の原因としては次のように考えることができる。(1)統計的予測においては搜索海域の空間的広がりや考慮されず、また、搜索に対する時間的要因も考慮することができない。しかし、シミュレーションの場合には、遭難船の大きさ、遭遇海象に応じた漂流量を考慮することにより搜索海域の空間的広がりや考慮される。また、巡視船の大きさ、海象に応じて有効搜索幅が異なるため耐航性能の低い小型巡視船に対しては搜索時間が著しく増加する。その結果、搜索時間の上限として定めた120時間を超えるため搜索不能となる件数が増加する。(2)統計的予測においては、短期 performance effectiveness の下限に関しては考慮することができないが、シミュレーションにおいてはこれを30%と仮定して、この値よりも短期 performance effectiveness が低い場合には搜索不能として処理している。(3)統計的予測の場合には、波浪との出会角は $0 \sim 2\pi$ の間で一様であり海象も考えている海域の統計資料に基づいているが、シミュレーションの場合には、1隻の巡視船では時間不足のために対処できない海難が存在する。このために実際の搜索に対して出会角および遭遇海象の長期確率分布に偏りが生ずる。

以上に掲げた理由を考慮すると統計的予測によって推定される値は長期 performance effectiveness の上限を与えるものであることが判る。また、予測によれば、船速の上限としてPM-4の場合には約17 ktを得るが、シミュレーションによれば約14.5 ktとかなりの差が見られる。この点に関してもやはり予測による船速は上限であり、シミュレーションによる船速が搜索活動における平均有効速力であると考えることができよう。

一方、PM-1, SSC-1, SSC-2の場合、シミュレーションによる搜索の長期 performance effectiveness は、予測結果に比べて高い。上に述べた理由はこれらの船に対しても適用されるが、これらの船はヘリコプターを搭載しており、ヘリコプターの援用により搜索時間が大幅に短縮できたことによる運用効果が performance effectiveness の大幅な向上をもたらす、予測結果よりも高い値を与えたものである。

Fig. 6より、初期設計において耐航性能を総合的に考慮した設計を行う場合には、統計的予測によって得られる長期 performance effectiveness は上限を与えるものであり、実際の運航状態においては、シミュレーション結果にも現われている時間的、空間的要因が考慮されねばならないこと、更には、他のシステムの援用による運用効果についても十分配慮しなければならぬことが理解できる。

減揺装置の短期 performance effectiveness に関しては前述した。ここで、長期にわたる減揺装置の使用が任務の遂行に対してどの程度効果的であるかについて検討する。Fig. 7は、海難現場への移動に関する長期 performance effectiveness の予測結果である。図より、PM-1に関しては、減揺水槽の作動によって僅かに performance effectiveness が向上し、SSC-1およびSSC-

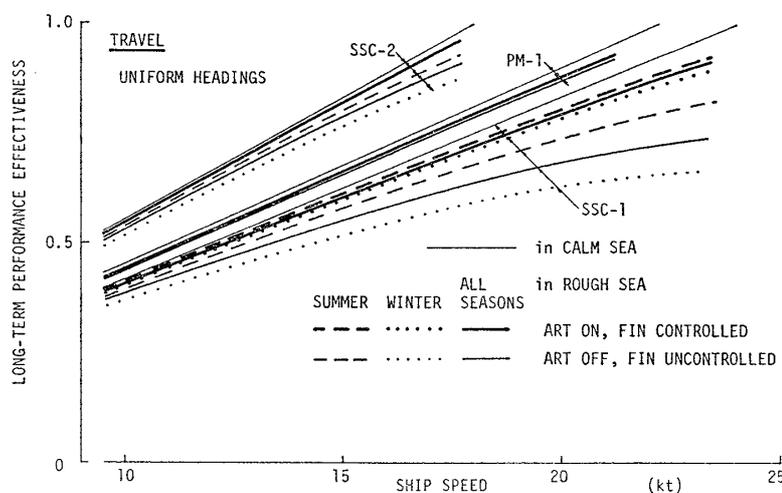


Fig. 7 Effect of Anti-Rolling Tank and Fin-Stabilizer on long-term performance effectiveness

Table 2 Long-term performance effectiveness

| | PM-1 | PM-2 | PM-3 | PM-4 | SSC-1 | SSC-2 |
|--------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| TRAVEL | 0.918 (0.925) | 0.909 | 0.877 | 0.822 | 0.742 (0.912) | 0.910 (0.966) |
| SURVEILLANCE | 0.924 (0.930) [0.95*] | 0.920 [0.85] | 0.893 [0.77] | 0.854 [0.67] | 0.771 (0.925) [0.94*] | 0.945 (0.971) [1.00*] |
| RESCUE | 0.961 | 0.951 | 0.862 | 0.810 | 0.846 | 0.974 |
| RETURN ** | 0.918 (0.925) | 0.909 | 0.877 | 0.822 | 0.742 (0.912) | 0.910 (0.966) |
| TOTAL | 0.748 (0.765) [0.35] | 0.723 [0.30] | 0.592 [0.28] | 0.490 [0.27] | 0.359 (0.651) [0.39] | 0.762 (0.883) [0.36] |

* Helicopter operated
 ** without Towing
 () with Anti-Rolling Tank or Fin Stabilizer
 [] Simulated result

2 に関してはかなりの向上を期待できることが判る。半没水双胴船の場合に減揺効果の大きい理由は、fin を制御することによって、横揺だけでなく縦揺振幅を大きく抑えることができるため (Fig. 4 参照) であり、単胴船の場合の横揺だけの抑制と異なるところである。また、運用される季節の違いによる差は大型船は小さく、小型船ほどその影響が大きい。この理由は、SSC-1 の場合のように 31.5 m の船長の船では fin の制御の及ばない長波長の波浪に遭遇する割合が他の大型船に比べて増しているためと考えられる。

以上の各任務に対する長期 performance effectiveness の推定結果を (4) 式を用いて総合した結果を Table 2 に示す。

表の最下欄に示されるように、総合的な performance effectiveness は、単胴船の場合には大型船が優れており、半没水双胴船の場合には大型である SSC-2 は SSC-1 の 2 倍以上の performance effectiveness を維持できる。また、減揺装置の効果に関しても、横揺だけを抑制する減揺水槽で約 2%、横揺のみならず、縦揺に対しても抑制効果のある半没水双胴船の場合には小型船で約 80%、大型船の場合でも 15% 以上の耐航性能の向上を期待できることが判る。

シミュレーションによる総合的長期 performance effectiveness は予測による値に比べて著しく低い値となっているが、これは、シミュレーションの場合 1 隻の巡視船ですべての海難を処理するために、時間不足のため対処できない海難件数がかかなり多いためである。巡視船の隻数を増せばこの点は大幅に改善される⁶⁾。この点からも、予測による長期 performance effectiveness が上限を与えるものであることが判る。

4 船舶システムの cost/performance の評価

4.1 システム全体の評価

既に第 1 報において広義 mission effectiveness の定義はなされているが、ここで更に明確な定義を与えてお

く。即ち、船舶の投資効果を評価する尺度として、船舶に課せられた任務を遂行する際の単位費用 (資本費 + 運航諸経費) 当りの使命達成度 (cost to effectiveness) を mission effectiveness と定義する。

船舶の投資計画案の評価・選択に際して用いられる評価基準は、達成すべき使命の特性、対象とする船舶の種類やその保有形態によって様々に異なる。貨物船のような輸送経済活動の領域に位置する船舶の場合、effectiveness を輸送貨物量等として明確に量的把握できるため、収益性による評価を行う場合が多く、通常、輸送貨物トン当りの総運航経費で表わされる評価指標等が用いられている。

一方、巡視船や調査船等の船舶の場合、使命そのものが多様であるため、effectiveness の量的把握は多様となり、総運航時間に対する有効稼働時間 (稼働率)、あるいは前報のシミュレーションで示した遭難船の救助成功の割合等が考えられる。本報では、船舶の初期計画、初期設計時の評価に用いる点を考慮して、統計的予測手法によって推定した長期 performance effectiveness を使命達成度の尺度とし、これと life cycle cost との比をシステム全体の評価指標である mission effectiveness とする。

(1) 総合的 performance effectiveness

前節までに、耐航性能に関する performance effectiveness について述べた。しかし、システム全体の mission effectiveness の評価のためには平水中の性能をも含めた総合的 performance effectiveness を知る必要がある。したがって、性能の異なる船舶の mission effectiveness を評価するためには平水中の性能である ship system capability の差異を考慮しなければならない。

初期計画における船舶の評価のためには、先ず、使命の明確な定義が必要である。巡視船の場合、一般には捜索、救難、哨戒あるいは侵犯船に対する警戒等の複数の使命を帯びている。したがって mission effectiveness の総合評価のためには個々の使命の遂行時間の割合を明らかにしておく必要がある。

次に、個々の使命に対する船舶の行動形態、即ち、operation profile 若しくは行動のシナリオが必要となる。例えば、必要となる航海速度、行動日数あるいは航続距離、乗組員数等が operation profile より明らかとなる。これらは、いずれも船舶初期計画時における基本性能と考えてよく、本研究においては ship system capability として定義している。

船舶初期計画においては、通常はこれらの基本性能を満たすように基本設計が行われるので、異なる船舶の mission effectiveness を考慮する場合でも ship system capability の差異を考慮に入れる必要はない。

Table 3 An example for explaining the effect of ship system capability on performance effectiveness

| TARGET SPEED v (kt) | 10 | 15 | 20 | 25 | PERFORMANCE EFFECTIVENESS |
|-------------------------------|------|------|------|------|---------------------------|
| PROB. DENSITY $p_i(v)$ | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | |
| SHIP SYSTEM CAPABILITY SC_i | | | | | |
| A-Ship | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0.75 |
| B-Ship | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

しかし、基本性能の異なる船舶に同一使命を課して運航する場合にはその差を考慮しなければならない。例えば、平水中最大船速の異なる船舶の mission effectiveness を比較評価する場合には、ship system capability の差の mission effectiveness に対する影響を定量的に把握しておかねばならない。

ship system capability の差異の mission effectiveness への影響を示す例として、最大船速 20 kt (A 船)、30 kt (B 船) の 2 隻が侵犯船(目標船)の警戒任務に従事する場合を考える。目標船の船速が Table 3 に示されるように分布すると想定するとき A 船の mission effectiveness は B 船の 75% に低下していると考えねばならない。このような観点から、船舶システムの総合的 performance effectiveness PE_{Total} は

$$PE_{Total} = \sum_i p_i \cdot SC_i \cdot PE_i \quad (8)$$

のように表現することができる。ここに p_i , SC_i , PE_i はそれぞれ、 i 番目の使命遂行の時間の割合、ship system capability および performance effectiveness を意味する。

本研究において対象としている巡視船の場合、その大きさに応じて、平水中最大速力、航続距離等が異なっている。ship system capability SC_i を求める際にはこれらの複数のパラメータの考慮が必要となるが、ここでは海難救助に関する operation profile の中で重要であると考えられる平水中最大速力 V_{max} および対象海域の広さを表わすパラメータとして航続距離の平方根を用い

$$SC_i = V_{max} \times \sqrt{R}, \quad R: \text{range} \quad (9)$$

と定義する。

(2) Life Cycle Cost

Life cycle cost は、船舶システムの運用期間(最大 20~25 年)の間に発生する総費用として定義される。船舶の長期運航コストの計算を行う場合、その間の費用の値上り、金利・償却に対する考え方等により life cycle cost は大きく異なりコスト評価が困難となる。ここでは、船舶システムの mission effectiveness の相対比較を行うことを考えているから、life cycle cost は年間コストに運用期間を乗じた総費用と仮定する。更に年間コストを固定費(資本費、保険料、人件費等)と変動費

Table 4 Comparison of mission effectiveness in a broad sense

| | PM-1 | PM-2 | PM-3 | SSC-1 | SSC-2 |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V_{max} (kt) | 22.2 | 21.2 | 20.5 | 24.0 | 18.0 |
| RANGE (NM) | 5700 | 5100 | 4400 | 1000 | 4000 |
| PERFORMANCE EFFECTIVENESS | 0.765 | 0.723 | 0.592 | 0.651 | 0.883 |
| SHIP SYSTEM CAPABILITY | 1.233 | 1.113 | 1.0 | 1.0 | 1.500 |
| COST | 1.52 | 1.32 | 1.0 | 1.0 | 1.84 |
| MISSION EFFECTIVENESS | 1.05 | 1.03 | 1.0 | 1.0 | 1.11 |

(燃料費、修繕費等)に分けて考える。

(3) mission effectiveness の試算

海難救助を使命とする巡視船の mission effectiveness 試算例を Table 4 に示す。表に示される評価は単胴船と半没水双胴船に分けてそれぞれのうちで大きさの違いによる mission effectiveness の差を PM-3 と SSC-1 を基準として示した。したがって、ship system capability, cost, mission effectiveness は PM-3 と SSC-1 に対してそれぞれ 1.0 としてある。performance effectiveness に関しては Table 2 の統計的予測によって推定された値を用いている。したがって PM-1, SSC-1, SSC-2 に関してヘリコプター搭載による performance effectiveness への運用効果は考慮されていないが、コスト計算においてはヘリ搭載とした推算を行っている。また、減揺装置の作動に関しては PM-1, SSC-1, SSC-2 においては作動状態として performance effectiveness を推定してある。

表に示した数値を見る限りにおいて単胴船、半没水双胴船ともに大型船の方が有利という結果を得たが、この例はその使命を海難救助だけに限っていることに注意しなければならない。また、表中の performance effectiveness は、実際の運航状態を考えたものでなく予測される上限を用いており、更にヘリコプターの運用効果も考慮されていないことにも留意する必要がある。

4.2 サブシステム(減揺装置)の評価

減揺装置の使用が船舶の性能の維持あるいは向上に有効であることは既に述べた。しかし、減揺装置を装備するか否かの判断は、その投資効果を判断基準とするのが通常であろう。ここで、減揺装置を装備しない場合のコストおよび長期 performance effectiveness を基準として、減揺装置装備によるコスト増および性能向上の度合いを調べると Table 5 のように表わせる。表中最下端の値が 1 以上であれば投資効果としては満足すべきであると判断すればよい。PM-1 および SSC-2 の場合には減揺水槽の効果は満足できると考えてよい。一方、SSC-1 の場合には非常に大きな投資効果を期待できる。これは、小型

Table 5 Effect of Anti-Rolling Tank and Fin-Stabilizer on mission effectiveness

| | | PM-1 | SSC-1 | SSC-2 |
|---------------------------|-----------------|-------|-------|-------|
| COST | without ART,FIN | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| | with ART,FIN | 1.003 | 1.060 | 1.038 |
| PERFORMANCE EFFECTIVENESS | without ART,FIN | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| | with ART,FIN | 1.023 | 1.813 | 1.159 |
| PERFORMANCE / COST | | 1.020 | 1.710 | 1.117 |

の半没水双胴船の場合、追波中を高速航走する際の fin-stabilizer の縦揺抑制効果が非常に大きいためである。

初期設計の段階で減揺装置の装備を決定する場合にはこのような評価がなされているはずであるから、ここに示した結果は妥当な値を与えるものであると判断する。

5 結 言

船舶の初期計画、初期設計の段階で耐航性能を考慮した設計を行うための方法として 'mission effectiveness' の考え方を導入し、これを耐航性能を表わす指標として推定・評価する方法を示してきた。本研究には、多くの仮定、前提および未解決の部分を含んでいるため、巡視船を対象例として得られた結果は必ずしも満足できるものではないが、手法としては有効であり、更に改良を加えることによって推定・評価の精度を向上させ得ることは明瞭である。

本報における結論として次のように述べるができる。

(1) 条件付確率を考えることによって複数任務からなる使命の長期 performance effectiveness の推定が可能である。ただし、一般にはその上限を与えるものに留意しなければならない。

(2) 経済性をも考慮した広義 mission effectiveness の評価方法を示した。ただし、平水中性能である ship system capability は多くの要素を含んでいるので、基本性能の異なる船の評価にはこの ship system capa-

bility の正確な把握が前提となる。

(3) 船舶システム全体ではなく、個々のサブシステムについても mission effectiveness の考え方、指標を適用することができる。

最後に、本研究で示した手法は耐航性能のみならず更に広い意味の船舶システムの性能評価にも適用可能であると考えられる。

本報を終るに当り、予測計算に多大の協力を賜った大阪府立大学大学院 田中 学君に心からの謝意を表したい。また、本研究を行うに当り、終始有益な助言、討論を賜った大阪大学工学部 中村彰一、内藤 林両先生、日立造船(株)技術研究所 高木又男博士、船舶技術研究所 高石敬史博士に心から感謝の意を表します。なお、数値計算には大阪府立大学計算センター ACOS 700、三井造船(株) IBM-3801 および大阪府立大学工学部船舶工学科 NOVA 3/12, ECLIPSE 10/SP を使用したことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 細田龍介, 小山初見, 国武吉邦, 三宅成司郎, 丸山秀樹, 中村 博, 松島正和, 田口賢士: 船舶の初期設計における耐航性能の総合的評価に関する研究 (第1報), 日本造船学会論文集, 第153号, 1983, pp.91~101.
- 2) 細田龍介, 国武吉邦, 小山初見, 三宅成司郎, 中村 博, 田口賢士: 船舶の初期設計における耐航性能の総合的評価に関する研究 (第2報), 日本造船学会論文集, 第154号, 1983, pp.267~274.
- 3) 原田耕介, 二宮 保: 信頼性工学, 養賢堂, 1977.
- 4) 金 順甲, 内藤 林, 中村彰一: 船舶の波浪中耐航性能評価に関する研究, 日本造船学会論文集, 第155号, 1984, pp.71~83.
- 5) Takaishi, Y., Matsumoto, T. and Ohmatsu, S.: Winds and Waves of the North Pacific Ocean, Supplement No.3, Papers of SRI, March 1980.
- 6) 細田龍介, 国武吉邦, 田口賢士, 中村 博, 松島正和: シミュレーションによる船舶の耐航性能の総合的評価, 第4回シミュレーションテクノロジーコンファレンス発表論文集, 日本シミュレーション学会, 1984, 6, pp.155~160.