

## まぐろ延縄漁船の速力設計について

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	四之宮, 博 宮内, 通行
巻/号	45巻9号
掲載ページ	p. 1075-1080
発行年月	1979年9月

## まぐろ延縄漁船の速力設計について

四之宮 博・宮内 通行

(1979年4月12日受理)

## Optimum Speed of Tuna Long Line Fishing Boat for Designing

Hiroshi SHINOMIYA\* and Michiyuki MIYAUCHI\*

This paper presents a mathematical method to get the optimum speed of tuna long line fishing boats which are usually designed by modification of a type ship. Through theoretical processes, the mathematical model for this purpose was constructed as follows:

$$V \equiv 2v_n/k_3 \quad (1)$$

$$C \equiv 2\eta M/3f_1k_1D^{2/3}k_3^3 \quad (2)$$

$$V^4 + 4V^3 - C = 0 \quad (3)$$

Here,  $v_n$  is optimum navigating speed,  $k_3$  is coefficient of navigating days,  $1-\eta$  is ratio of calling days to navigating days,  $M$  is ship cost except fuel oil cost per day,  $f_1$  is fuel cost per unit weight,  $D$  is average displacement and  $k_3$  is coefficient of navigating days.

From the basic values of each parameter, the basic  $C$  and  $v_n$  are calculated, which were denoted as  $C_0$  and  $V_0$ , respectively. Then, corresponding curve of  $C/C_0: V/V_0$  was made. Thus, by using this curve, the values of  $V$  and  $v_n$  may be obtained easily, based on the values of  $C$  for the desired value of any parameter.

Parameters, the effects of which were shown in curves, should be determined severely by means of statistical disposal of actual data. Applying it to actually operated boats, this model was proved to have generality and effectiveness.

漁船の設計において、速力値の決定は、船型の決定と同様一意的に定まらない要素を含んでいるため、モデルシップに準拠する経験工学的手法に依存している<sup>1,2)</sup>。なお、軸馬力、排水量、長さ、速力の関与曲線から速力を求める方法もある<sup>3)</sup>。しかし、これも漁船の動態をとらえたものではないので、軸馬力の決定そのものに問題が残る。

従来は、漁船の経済性が主として魚価や漁獲高に支配され、船型や速力に依存する度合が少なかった<sup>2)</sup>ので、このような方法でも大きな支障はなかつた。しかし、近時漁獲率の減少に伴い、漁場が遠隔化し、加えて燃料費も高騰しており、速力値の見直しが必要になつてきた。そこで、まぐろ延縄漁船の速力設計の一手法について考察した。

## 方 法

まぐろ延縄漁船の設計に当つては、まず総屯数が想定され、それから魚倉容量  $H$ (tf) および排水屯数  $D$ (tf) が決定される。もちろん、魚倉容量から総屯数を決定する場合もあり、あるいは相互にフィードバックを繰り返すこともある。しかしここでは、この  $H$ ,  $D$  を基礎設

計要素として、速力の最適設計を考えることとする。

平均魚獲量  $q$ (tf/d) は過去のデータを参照して決定できるので、操業日数  $N_f$ (d) は次式で定まる。

$$N_f = \frac{H}{q} \quad (1)$$

次に、(2) 式<sup>4)</sup>および (3) 式で表示される  $k_1$ ,  $k_2$  を、それぞれ航海中の燃料消費係数、航海日数係数と仮に呼ぶこととするが、これらはフィールドのデータから求めることができる。

$$k_1 = \frac{F}{24D^{2/3}v_n^3} \quad (2)$$

ただし、 $F$ : 1日当り燃料消費量 (kl)

$v_n$ : 航海速力 (kt)

$$k_3 = \frac{N_n v_n}{N_f} \quad (3)$$

ただし、 $N_n$ : 航海日数 (d)

燃料費単価  $f_1$  (10,000 yen/kl), 燃料費以外の1日当り船費  $M$  (10,000 yen/d), 平均魚価  $f_2$  (10,000 yen/tf) は想定できるので、1航海の収益  $G$  (10,000 yen) は次式で求めることができる。

\* 日本大学農獣医学部 (Faculty of Agriculture & Veterinary, Nihon University, Setagaya-ku, Tokyo 154).

$$G = f_2 q N_f - (L_1 + L_2) \quad (4)$$

ただし、 $L_1$ : 1 航海の燃料費 (10,000 yen)

$L_2$ : 1 航海の燃料費以外の船費 (10,000 yen)

揚繩中の燃料消費係数ならびに速力は、航海中と違うので、それぞれ  $k_2, v_f$  (kt) とすれば、通常の揚繩時間は平均 12 時間であり、その間の燃料消費量は  $N_f 12 k_2 D^{2/3} v_f^3$  で示される。また航海中の燃料消費量は  $N_n 24 k_1 D^{2/3} v_n^3$  となり、さらに投縄および潮上りなどの時間は、平均 8 時間とすることができるので、その間の燃料消費量は  $N_f 8 k_1 D^{2/3} v_n^3$  で表示される。

なお、航海日数  $N_n$  は  $N_f k_3 / v_n$  でおきかえられるので、1 航海の燃料費は、前述の 3 種の燃料消費量の和に単価を乗じたもので次式のようになる。

$$L_1 = 4 f_1 N_f D^{2/3} (6 k_1 k_3 v_n^2 + 2 k_1 v_n^3 + 3 k_2 v_f^3) \quad (5)$$

次に、1 航海の総日数  $N$  (d) は、 $\eta$  を (1+外地寄港日数/航海日数) とすれば、

$$N = \eta N_n + N_f = N_f \left( \frac{\eta k_3}{v_n} + 1 \right) \quad (6)$$

となり、したがって 1 航海の燃料費以外の船費は次式で示される。

$$L_2 = M N_f \left( \frac{\eta k_3}{v_n} + 1 \right) \quad (7)$$

(5), (7) 式を (4) 式に代入すれば、 $G$  は  $v_n$  の関数となるので、

$$\begin{aligned} \frac{dG}{dv_n} &= \frac{-dL_1}{dv_n} - \frac{dL_2}{dv_n} \\ &= N_f \left\{ \frac{\eta k_3 M}{v_n^2} - 24 f_1 k_1 D^{2/3} (2 k_3 v_n + v_n^2) \right\} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\frac{d^2G}{dv_n^2} = -2 N_f \left\{ \frac{\eta k_3 M}{v_n^3} + 24 f_1 k_1 D^{2/3} (k_3 + v_n) \right\} < 0 \quad (9)$$

となり、 $dG/dv_n = 0$  を満足する  $v_n$  値が  $G$  を極大にし、一定領域内で  $G$  を最大にする。そこで (8) 式を 0 とおけば、

$$v_n^4 + 2 k_3 v_n^3 - \frac{\eta k_3 M}{24 k_1 f_1 D^{2/3}} = 0 \quad (10)$$

となるが、いま

$$v_n \equiv \left( \frac{k_3}{2} \right) V \quad (11)$$

とし、 $v_n$  を無次元化した  $V$  でおきかえれば、(10) 式は、

$$V^4 + 4 V^3 - \frac{2 \eta M}{3 f_1 k_1 D^{2/3} k_3^3} = 0 \quad (12)$$

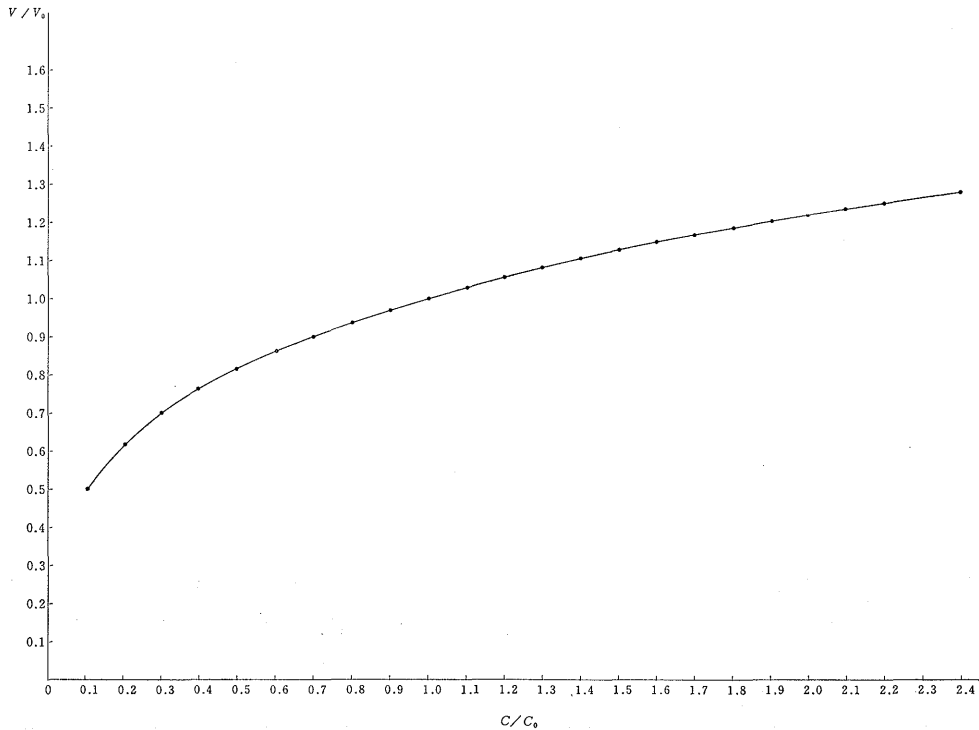


Fig. 1. The curve for designing speed.

Table 1. Values of parameters

Parameters	Basic value	Usual value	Usual value
			Basic value
$\eta$	$\eta_0=1.1$	1.04~1.25	0.95~1.04
$M$	$M_0=60$	50~75	0.83~1.25
$1/f_1$	$1/f_{10}=1/3.3$	1/3~1/4	0.83~1.10
$1/k_1$	$1/k_{10}=1/1.9 \times 10^{-6}$	1/1.04 $\times 10^{-6}$ ~ 1/2.2 $\times 10^{-6}$	0.86~1.83
$k_3$	$k_{30}=8.37$	4.3~8.4	0.51~1.00
$D$	$D_0=920$	460~1380	0.50~1.50

$C_0=126.52, V_0=2.67, v_{n0}=11.17$

となり、さらに

$$C \equiv \frac{2\eta M}{3f_1 k_1 D^{2/3} k_3^3} \quad (13)$$

とおけば、 $C$  は全パラメータを含む常数として取扱うことができ、(12) 式は次のように簡易化される。

$$V^4 + 4V^3 - C = 0 \quad (14)$$

いま、各パラメータに基準値  $\eta_0, M_0, f_{10}, k_{10}, k_{30}, D_0$  を与えて、それに対する  $C$  および  $V$  を求め、これをそれぞれ  $C_0, V_0$  とする。次に、 $C/C_0 : V/V_0$  の対応値を計算し、それを曲線に表わせば Fig. 1 のようになる。これが速力設計用曲線で、設計漁船の各パラメータに特定の値がきまれば、その最適速力値  $v_n$  はこの曲線から簡易に求められる。すなわち、各パラメータの値に対する  $C$  を計算し、この  $C/C_0$  に対する  $V/V_0$  を曲線から求めれば、 $V$  が得られ、次いで (11) 式から  $v_n$  が計算される。

ただし、この  $v_n$  はエンジンの常用出力に対する航海速力であるから、設計速力としては、シーマージン分を上積みしたものでなければならない。シーマージンは多くの場合 15% とされている<sup>5)</sup> ので、仮にこの値をとるとすれば、設計速力は  $v_n/0.85$  ということになる。

### 結果ならびに考察

まず、500 総トン型まぐろ延縄漁船第 3 S 丸に関する各パラメータの値を基準値とし、これを Table 1 の第 2 欄に示した。ただし、 $D$  は軽荷排水量と満載排水量の平均値をとった。次に、300~740 吨のまぐろ延縄漁船 12 隻について、 $M$  および  $D$  以外のパラメータの値を計算し、その最大、最小値を通常値の範囲として同表第 3 欄に示した。第 4 欄は、通常値の基準値に対する比の範囲を示したものである。なお、通常値の  $M$  については、省資源かつお・まぐろ漁船設計資料<sup>6)</sup> から試算し、 $D$  については軽荷ならびに満載の排水量の平均値をとった。Table 1 の基準値から  $C_0=126.52$  が得られ、さらにこれに対する  $V_0=2.67$  を得た。次に、 $C/C_0$  を 0.1 から

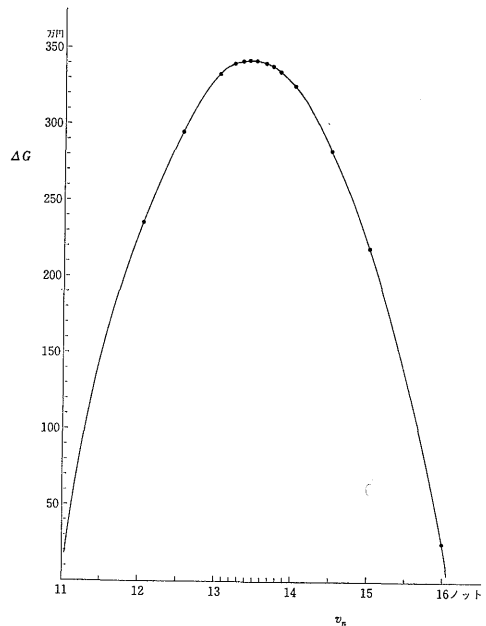


Fig. 2. The change of the difference of gain  $\Delta G$  with navigating speed  $v_n$ .

2.0 まで変化させ、この  $C$  に対する  $V$  を計算した。Fig. 1 の速力設計用曲線は、この計算値に基づいて作られたものであるが、いまこれを 344 総吨の第 18 S 丸に適用してみると、次のようになる。

実際値:  $\eta=1.03, M=69$  (推定),  $f_1=3.3, k_1=1.36 \times 10^{-6}, k_3=8.16, D=646, N_f=124, N_n=92, N=219, v_n=11.0$

計算値:  $C=260, C/C_0=260/126.52=2.06, V/V_0=1.23, V=2.67 \times 1.23=3.28$ , 最適  $v_n=3.28 \times 8.16/2=13.4, N_n=8.16 \times 124/13.4=75.5, N=124+1.03 \times 75.5=201.8$

いま、 $v_n, N_n, N$  の実際値をそれぞれ  $v_n', N_n', N'$  とし、それらと計算  $v_n$  値とによる 1 航海の収益差を  $\Delta G$  とすれば、

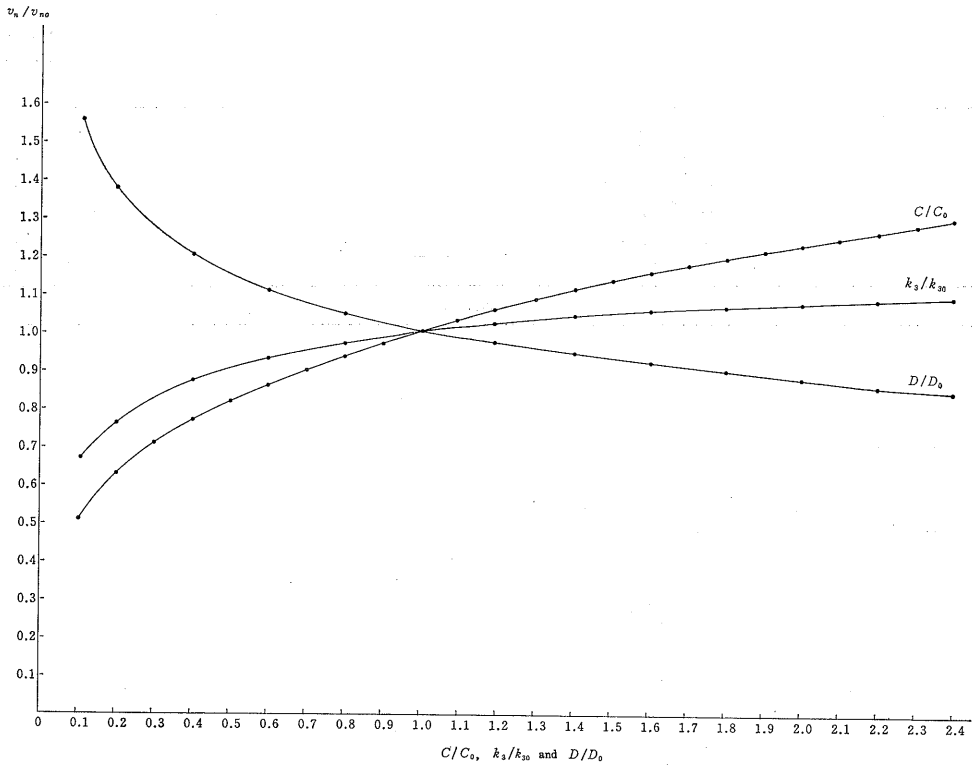


Fig. 3. The effect of parameters  $C$ ,  $k_3$  and  $D$  to optimum speed  $v_n$ .

$$\begin{aligned} \Delta G = & \{8f_1k_1D^{2/3}v_n^{1/3}(3N_n' + N_f) + MN'\} \\ & - N_f \{8f_1k_1D^{2/3}v_n^{1/3}(3k_3 + v_n) \\ & + M\left(\frac{\eta k_3}{v_n} + 1\right)\} \end{aligned} \quad (15)$$

となる。そこで、上述第 18S 丸の各  $v_n$  値について  $\Delta G$  を計算してみると、Fig. 2 のようになる。図で最適の  $v_n$  値 13.4 が最大収益を与えることがわか。

ただし、この値は  $M$  の推定値 69 に基づいているもので、 $M$  の値によりずれることは当然である。また厳密には、 $k_1$  などの値も速力に応じて求め直す必要がある。

「省資源型かつお・まぐろ漁船取扱基準」<sup>9)</sup> では、280 吨型のモデル設計船の経費最小の速力値として 11 kt が試算されているが、この船の場合  $f_1 = 3.5$ ,  $M = 40.75$  である。また、この船の航海時の排水量  $D$  は、800 吨と仮定していることが判明しているため、これらの値を使用し、その他のパラメータは前述の第 18S 丸と同じとして  $C$  を計算し、 $v_n$  値を求めると 10.9 となる。

なお、 $D$  の値については、後述のように満載排水量の 79% をとれば、1 航海の概略の平均値が得られる。し

かしこのモデル船の場合、800 吨は満載排水量ではないので、 $D = 800 \times 0.9 = 720$  として計算すると、 $v_n$  値は 11.1 となる。これらの  $v_n$  値は、本船の最適航海速度が 11 kt 周辺に見出されることを示しており、前述の設計試算の結果<sup>9)</sup> と一致している。

(13) 式から、 $V$  に影響を及ぼすパラメータは、1 乗効果の  $\eta$ ,  $M$ ,  $f_1$ ,  $k_1$ , 3 乗効果の  $k_3$ , ならびに  $2/3$  乗効果の  $D$  の 3 つであることがわかる。なお、1 乗効果の  $\eta$ ,  $M$ ,  $f_1$ ,  $k_1$  については、

$$\frac{C}{C_0} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{M}{M_0} = \frac{f_1}{f_1} = \frac{k_1}{k_1} \quad (16)$$

が成り立つので、それらの変化率は  $C$  の変化率で代表させることができる。そこで、Table 1 に示した各パラメータの基準値  $\eta_0$ ,  $M_0$ ,  $f_{10}$ ,  $k_{10}$ ,  $k_{30}$ ,  $D_0$ , ならびに  $C$  および  $v_n$  の基準値  $C_0$ ,  $v_{n0}$  から、Fig. 3 のように、それぞれ  $C/C_0$ ,  $k_3/k_{30}$ ,  $D/D_0$  に対する  $v_n/v_{n0}$  の対応曲線が得られる。

この 3 つの曲線が、前述の 3 種類のパラメータの  $v_n$  に及ぼす効果を示している。これから、基準値近辺の各パラメータの単位変化率に対する  $v_n$  の変化率を求めると、 $\Delta(v_n/v_{n0})/\Delta(C/C_0) = 0.24$ ,  $\Delta(v_n/v_{n0})/\Delta(k_3/k_{30}) =$

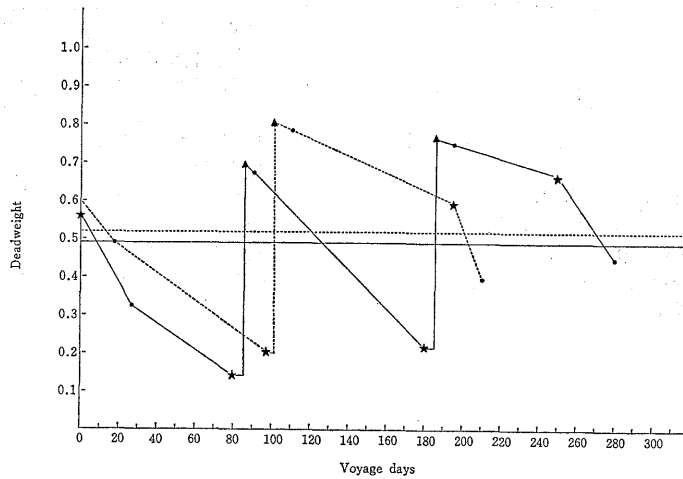


Fig. 4. Examples of the variation of deadweight during a voyage. Broken line indicates A boat and solid line B. Mark ★ shows leaving port or ground, ● arriving port or ground and ▲ calling port.

0.08,  $\Delta(v_n/v_{n0})/\Delta(D/D_0) = -0.18$  である。

$D$ に関する曲線の曲率が負になるのは、(13)式の構成から肯定できるが、同じく同式の分母にある  $k_3$  に関する曲線の曲率が正であるのは、(11)式の  $k_3$  が効くためである。

各パラメータのうち燃料消費係数  $k_1$  は、主として船体抵抗、エンジンならびに燃油の特性により定まるので、設計段階で確定できる数値である。また、燃料単価  $f_1$  および燃料費以外の1日当り船価  $M$  も、物価を勘案して概略の推定値が得られる。航海日数係数  $k_3$  および(外地寄港日数/航海日数)の  $(1-\eta)$  は、同型船の多数データから得られた平均値を参考にし、ある程度計画的に数値を定めることができる。

排水屯数  $D$  については、前述の例では満載排水量  $D_f$  と軽荷排水量  $D_l$  の平均値をとったが、その妥当性については検当する必要がある。そこで、300 総屯の第3T丸ならびに374 総屯の第36Z丸について、そのデッドウエイト  $W$  の満載状態の値を1として、1航海におけるその変化曲線を描いてみると、Fig. 4 のようになる。この曲線で、デッドウエイトの平均値は、計算の結果それぞれ 0.52 および 0.49 となった。それらの平均値が約 0.5 ということは、 $D$  が  $D_f$  と  $D_l$  の平均値に等しい、として大きな誤差がないことを示している。

なお、前述の12隻の漁船のデータから、

$$D_f = 1.72D_l \quad (17)$$

が得られた。したがって、設計に用いる排水量  $D$  は、

$$D = \frac{D_f + D_l}{2} = \frac{D_f}{2} \left(1 + \frac{1}{1.72}\right) = 0.79D_f \quad (18)$$

により目安を得ることができる。なお、FAO の資料に

よれば、設計に用いられる漁船の航海中平均排水量として、 $0.8D_f$  が採用されている<sup>7)</sup>が、(18)式を裏付けているといえよう。

### 要 約

漁船は副漁具といわれており、その設計については、漁業サイドからの合理的提言が望まれている。本論文では、そのような観点から、まぐろ延縄漁船の速力に関する動態をパラメータ化し、その設計速力の最適値  $v_n$  を求める手法について考察した。

まず、(11)~(14)式による基本モデルを構成した。次に、これを基に  $C, V$  の基準値  $C_0, V_0$  を計算し、 $C/C_0: V/V_0$  の曲線を作った。この曲線により、各パラメータの任意の値に対する  $C$  から簡易に  $V$  が得られ、次いで  $v_n$  が求められることを提案した。

各パラメータは、 $v_n$  に及ぼす効果の上から3つに類別されるので、それらの変化による  $v_n$  の変動を曲線に示した。これから、各パラメータの許容誤差範囲もきまってくる。

設計にあたって、パラメータ値の選定には十分な検討が必要であるが、それは精選された過去のデータの統計処理結果を参照することにより、必要な精度を期待することができる。パラメータのうち、 $\eta$  および  $k_3$  の統計値の確定、ならびに  $D_l$  と  $D_f$  の間の  $D$  の値の選定などについては、今後より多くのデータにより研究を深めたい。

本研究にあたり、貴重な資料とご示唆を頂いた水産庁水産工学研究所 土屋孟博士、住吉漁業(株) 四宮秀雄社長、漁船協会 二宮基次郎専務理事、ならびに有益なご助

言を頂いた東京水産大学柳川三郎先生に深謝申し上げます。

#### 文 献

- 1) 稲村桂吾・笠井健一：新版漁船論，第1版，恒星社厚生閣，東京，1973，pp. 77-101.
- 2) 清水龍男：漁船，159，27 (1969).
- 3) 橋本徳寿：船舶の速力と馬力の概算法，第6版，成山堂，東京，1969，pp. 1-23.
- 4) 岩井 聰他：航海ハンドブック，新訂版成山堂，東京，1977，p. 253.
- 5) 日本鯉鮪漁業協同組合連合会：省資源かつお・まぐろ漁船設計資料，第1版，漁船協会，東京，1977，pp. 88-123.
- 6) 日本鯉鮪漁業協同組合連合会：省資源かつお・まぐろ漁船取扱基準，第1版，漁船協会，東京，1978，pp. 25-26.
- 7) L-O. ENGVALL and J. ENGSTROM: A Method for Selection of an Optimum Fishing Vessel for Investment Purposes, 1st ed., FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 1969, p. 7.