



|                  |   |
|------------------|---|
| Title            | 漁船の経済速力について   |
| Author(s)        | 浅野, 一彦; ASANO, Kazuhiko   |
| Citation         | 北海道大学水産学部研究彙報, 32(1), 61-66   |
| Issue Date       | 1981-03   |
| Doc URL          | <a href="https://hdl.handle.net/2115/23743">https://hdl.handle.net/2115/23743</a> |
| Type             | departmental bulletin paper   |
| File Information | 32(1)_P61-66.pdf  |



## 漁船の経済速力について

浅野 一彦\*

### An Economical Speed for a Fishing Boat

Kazuhiko ASANO\*

#### Abstract

After the oil crisis in the autumn of 1973, the fuel oil cost of a fishing boat is becoming expensive. To counteract this situation, a fishing boat with a minimum intake of fuel oil is being developed.

But such a fishing boat will not be able to save fuel oil without navigating at an economical speed during each navigation.

In this paper, the economical speed that is defined as the speed of minimum running cost has been solved. The base formula of an economical speed ( $V$ ) is

$$V = \sqrt[3]{\frac{K}{2\alpha}}$$

Where  $K$  is the cost with time of the running cost,

$\alpha$  is a constant of the speed on the fuel oil cost.

And the economical speed of various navigations of the fishing boats are solved by changing the base formula and given a few conditions during the navigations.

During calculation, there are many points that are uncertain. If we have exact forecasts, we shall can calculate the economical speed.

#### 緒 言

石油ショック以来、石油製品の価格の急騰により漁船の低燃費化が望れてきた。また、最近の石油状況の悪化に伴い漁船の省エネルギー化が急務になった感がある。

これに対し、帆装した漁船の建造など各種の対策がなされ、さらに、水産庁などを中心に省資源型漁船の開発が進められている<sup>1)</sup>。この省資源型漁船は同一総トン数の漁船において既存の漁船と同等の積載能力を有し、同一速力において大巾な燃費の減少を計ろうとする船型の漁船である。この省資源型漁船では既存の船型の漁船に比べ同一燃費で高速がでることにつながり、現実の漁船の操業を考えると省資源型漁船は漁船全体の高速化をまねき逆効果になりかねない。また、既存の漁船を省資源型船型に改造することは現状では技術面、経済性などにより不可能である。

これまでに燃料価格の上昇した時などに多くの人々や各指導機関より漁船の速力、すなわち機関出力の減少による燃料の節約が提案、指導されてきた。一般に船舶の燃費は速力の三乗に比例して増加すると言われており、わずかな速力の減少が大きな燃費の節約となる。しかし、現実には漁船の無用とも思われる高速化が進み省エネルギーにはほど遠い操業状態となっている。

以上のことを考えると漁船の低燃費化を進めるためには漁船の運航速力の経済性を考え、各々の漁

\* 北海道大学水産学部漁船工学講座

(Laboratory of Engineering of Fishing Boat, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

船の最適速力を求め速力制限をする必要があるように思われる。ただ、漁船の運航速力の経済性についての論議は少なく、一般に経済速力といえば主機の効率より算出された速力を言うことが多い。

この論文では、漁船の経済速力を運航（操業）経費が最低となる速力と定義して<sup>2)</sup>、種々の漁船の運航時の経済速力を求めている。

### 経済速力

いま、 $V$  を船速、 $S$  を航海距離、 $F$  を船速  $V$  における時間当りの燃費、 $K$  を燃費以外の運航時の時間当りの諸経費（以後、時間当りの経費と略す。）、 $C$  を固定経費（航海時間に関係なくかかる経費）とおくと運航経費  $W$  は次のように表わされる。

$$W = \frac{S}{V} F + \frac{S}{V} K + C \quad (1)$$

いま、 $F$  は  $V$  の三乗に比例すると仮定して、

$$F = \alpha V^3 \quad (2)$$

とする。ここで、 $\alpha$  は定数。(2) 式を (1) 式に代入すると、

$$W = S\alpha V^2 + SKV^{-1} + C \quad (3)$$

となり、この (3) 式で  $W$  が最小となる  $V$  が経済速力となる。いま、(3) 式を微分すると、

$$\frac{dW}{dV} = VS(2\alpha - KV^{-3}) \quad (4)$$

となる。(4) 式より経済速力は、

$$V = \sqrt[3]{\frac{K}{2\alpha}} \quad (5)$$

となる。さらに、(5) 式を変換して、

$$\alpha V^3 = \frac{K}{2} \quad (6)$$

(2) 式と (6) 式より経済速力時の燃費は、

$$F = \frac{K}{2} \quad (7)$$

となる。すなわち、経済速力とは時間当りの経費の半分の燃費で航行できる速力となる。

### 漁船の操業上の制限

漁船においては対象漁業の各種操業制限や船舶の性能などにより各種の制約が生じ、先に求めた (5) 式の経済速力では制約内におさまらぬ場合が多い。ここでは漁船の操業上の主な三条件を取り上げ、その条件下における経済速力を求める。

条件 1 航海可能時間

漁船の操業では対象魚種や漁場までの距離、市場の開閉時刻、食料や水の積載量、さらに年間の操業回数などにより航海時間が制限される場合が多い。航海時間が制限される時、経済速力といえどもこの制限時間にまにあう速力でなければならない。

いま、航海可能時間を  $T$  とおくと経済速力は、

$$V \geq \frac{S}{T} \quad (8)$$

を満足させる値となる。

条件 2 主機馬力

漁船に搭載される主機の馬力により速度が制限される。(2)式と同様に必要馬力 $P$ は速度の三乗に比例すると仮定して、

$$P = \beta V^3 \quad (9)$$

とする。ここで、 $\beta$ は定数。漁船に搭載している主機馬力 $H$ と必要馬力との関係は当然、

$$H \geq P \quad (10)$$

となる。よって、(9)式と(10)式より経済速度は、

$$V \leq \sqrt[3]{\frac{H}{\beta}} \quad (11)$$

を満足させる値となる。

### 条件3 燃料の積載量

この条件は厳密には条件1 航海可能時間に含まれるが、条件1の他の要素と違い船速により燃料の必要量が変わる。また、漁船では燃料積載能力は大きな要素なので、ここでは独立した条件として取り上げる。

いま、速度 $V$ における時間当りの燃料消費量を $B$ とおけば燃料の必要量 $Q$ は、

$$Q = \frac{S}{V} B \quad (12)$$

となる。さらに、 $B$ は(2)式と同様に速度の三乗に比例すると仮定して、

$$B = r V^3 \quad (13)$$

とする。ここで、 $r$ は定数。よって、(12)式と(13)式より、

$$Q = r S V^2 \quad (14)$$

となる。漁船の燃料積載量を $M$ とおくと、必要量との関係は当然、

$$M \geq Q \quad (15)$$

となる。よって、(14)式と(15)式より経済速度は、

$$V \leq \sqrt{\frac{M}{rS}} \quad (16)$$

を満足させる値となる。

以上、三条件を同時に考慮した時の経済速度は(8)式、(11)式、(16)式より、

$$\frac{S}{T} \leq V \leq \text{Min.} \left( \sqrt[3]{\frac{H}{\beta}}, \sqrt{\frac{M}{rS}} \right) \quad (17)$$

を満足させる範囲で(3)式の運航経費が最小となる速度となる。

このようにして経済速度が求められた時、(17)式より漁船の各種計画ができる。いま、漁船の性能( $M, \beta, H$ )が決っている時、(17)式より漁船の操業海域( $S$ )、操業、航海時間( $T$ )の計画ができる。逆に漁船の建造に際し、操業の計画( $S, T$ )により漁船の性能( $H, M, \beta$ )の計画ができる。

次に具体的な漁船の操業を考え各々の経済速度を求める。

### 日帰り操業の漁船の経済速度

日帰り操業の漁船では燃料費以外に航海時間の長短に影響される経費は少ない。そこで、(3)式中の時間当りの経費 $K=0$ とおくと、運航経費は、

$$W = S \alpha V^2 + C \quad (18)$$

となる。(18)式では運航経費は速度の二乗に比例して増加し、速度が遅ければ遅いほど運航経費は少なくなる。

次に、先に求めた運航上の三条件を加えて経済速力を求める。日帰り操業を行なう小型漁船では主機等の過剰装備が問題となっている現状より条件2と条件3の主機馬力、燃料の積載量による速力制限を無視すると、経済速力は条件1 航海可能時間、(8)式を満足させ(18)式の運航経費が最小となる速力、

$$V = \frac{S}{T} \quad (19)$$

となる。すなわち、定められた時間、時刻にまにあう速力が経済速力であり、それ以上の速力は燃料の浪費となる。

さらに、日帰り操業では漁獲物の鮮度が大きな問題となる。この場合の経済速力については漁獲物の時間当りの鮮度の低下による値下り分  $E$  を求め、 $E$  を(1)式の時間当りの経費  $K$  に加えて求める。よって、経済速力は(5)式より、

$$V = \sqrt[3]{\frac{K+E}{2\alpha}} \quad (20)$$

となる。日帰り操業では、 $K=0$  とおけるので(20)式は、

$$V = \sqrt[3]{\frac{E}{2\alpha}} \quad (21)$$

となる。これは先に(7)式で求めたように、漁獲物の時間当りの鮮度の低下による値下げ分の半分の燃費で航行できる速力が経済速力となる。

さらに、運航上の条件を加えると経済速力は(19)式と(21)式の速い方の速力となる。また、鮮度の低下により漁獲物がある時間後に商品価値が失われるような時、この時間を(19)式の航海可能時間として経済速力を求める。その他、漁獲量など時間に影響される場合においても鮮度の問題と同様にして経済速力を求めることができる。

#### 往路、復路の経済速力

漁船の操業では往路、復路の時間当りの経費などが異なることが多い。特に、遠洋漁船では往路、復路の経費が大きく異なり、経済速力も異なる速力となる。

いま、往路の速力、時間当りの経費、固定経費を  $V_x, K_x, C_x$ 、復路の速力、時間当りの経費、固定経費を  $V_y, K_y, C_y$  とおき他の値は往路、復路とも等しいとすれば往路、復路の運航経費  $W_x, W_y$  は(3)式より、

$$W_x = S\alpha V_x^2 + SK_x V_x^{-1} + C_x \quad (22)$$

$$W_y = S\alpha V_y^2 + SK_y V_y^{-1} + C_y \quad (23)$$

となる。操業時の経費は速力による変動は少ないので操業時経費を一定とすると、総運航経費  $W$  は、

$$W = W_x + W_y + C \quad (24)$$

となる。ここで、

$$C = (\text{運航全体の固定経費}) + (\text{操業時経費})$$

である。この(24)式において総運航経費が最小となる  $V_x$  と  $V_y$  が経済速力となる。

いま、(24)式には  $V_x, V_y$  の2個の変数があり、この時の極小値は、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial W}{\partial V_x} &= 0 \\ \frac{\partial W}{\partial V_y} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

を満足させる値となる。(22)式、(23)式、(24)式より(25)式は、

$$\frac{\partial W}{\partial V_x} = V_x S (2\alpha - K_x V_x^{-3}) = 0 \quad (26)$$

$$\frac{\partial W}{\partial V_y} = V_y S (2\alpha - K_y V_y^{-3}) = 0 \quad (27)$$

となる。よって、極小となる  $V_x, V_y$  は (26) 式, (27) 式より,

$$V_x = \sqrt[3]{\frac{K_x}{2\alpha}} \quad (28)$$

$$V_y = \sqrt[3]{\frac{K_y}{2\alpha}} \quad (29)$$

となる。これは先に (7) 式で求めたように往路, 復路ともに時間当りの経費の半分の燃費で航行できる速度が経済速度となる。

さらに, 往路と復路の個々に制限がつく時, たとえば往路の漁場までの日数が決まっているような時は先に求めた (17) 式を満足させる範囲で (22) 式, (23) 式の  $W_x, W_y$  が最小となる  $V_x, V_y$  が経済速度となる。

次に, 総航海時間が決っており (28) 式, (29) 式で求めた速度では遅い時の経済速度を求める。

この時, 操業時間は漁獲率, 魚倉容積などにより一定と仮定すると往路, 復路に使用できる時間は一定となる。いま, 往路と復路に使用できる時間を  $T$  とおくと往路と復路の速度との関係は,

$$\frac{S}{V_x} + \frac{S}{V_y} - T = 0 \quad (30)$$

となる。いま, (30) 式を次のように置き代える。

$$G(V_x, V_y) = 0 \quad (31)$$

経済速度は (31) 式を満足させ (24) 式の  $W$  が最小となる  $V_x, V_y$  となる。このような条件付の極小値は未定乗数法により求めることになる。

よって, 経済速度は次の式を満足させる  $V_x, V_y$  となる。

$$\left. \begin{aligned} \phi &= W(V_x, V_y) + \lambda G(V_x, V_y) \\ \frac{\partial \phi}{\partial V_x} &= 0, \quad \frac{\partial \phi}{\partial V_y} = 0 \\ G(V_x, V_y) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

ここで,  $\lambda$  は未定乗数。(22) 式, (23) 式, (24) 式, (30) 式より,

$$\frac{\partial \phi}{\partial V_x} = V_x S \{2\alpha - (K_x + \lambda) V_x^{-3}\} = 0 \quad (33)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial V_y} = V_y S \{2\alpha - (K_y + \lambda) V_y^{-3}\} = 0 \quad (34)$$

となる。経済速度は (33) 式, (34) 式より,

$$V_x = \sqrt[3]{\frac{K_x + \lambda}{2\alpha}} \quad (35)$$

$$V_y = \sqrt[3]{\frac{K_y + \lambda}{2\alpha}} \quad (36)$$

となる。(35) 式と (36) 式中の未定乗数  $\lambda$  は (30) 式より,

$$\frac{S}{\sqrt[3]{\frac{K_x + \lambda}{2\alpha}}} + \frac{S}{\sqrt[3]{\frac{K_y + \lambda}{2\alpha}}} - T = 0 \quad (37)$$

を満足させる値となる。ただし、(37)式より $\lambda =$ というようには求めることはできないが式中の $S$ ,  $K_x$ ,  $K_y$ ,  $\alpha$ ,  $T$ の数值を与えることにより $\lambda$ の値が求まる。

同様に、他の条件を加えるとその条件数だけ未定乗数が増すのでこれを解くことが困難となる。

## 結 言

以上、経済速力を求めてみたが実際に応用すると次のような問題がある。

- 1) 時間当りの経費、固定経費の分類、算定方法。
- 2) 速力と燃費などの関係式の定数 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ は船の状態、海況などにより変る。また、速力と燃費等の関係は正確には(2)式とはならない。
- 3) 航海可能時間の決定方法。漁獲率、海況などの自然要因や魚価の変動、年間の操業計画、船員の疲労度など経済的、人意的要因が複雑に影響し長期的計画が困難で、さらに、操業中や航海中にさえ変動することが多い。
- 4) この論文で求めた経済速力は経済性の点から求めており、一般にこのようにして求めた経済速力は現行の運航速力より遅くなる。現行の賃金体系では航海時間の延長は船員にとって労働強化となり、船員の協力が得られない。

その他、困難な点も多いが操業形態が比較的単純で各要目の算定や見通しのたてやすい漁船では十分に経済速力が求まると考える。

さらに、このように漁船の運航速力の経済性を考えるならば、現状のような漁船の無用な高速化は防げるであろう。

この経済速力の考え方を進めると経済船型に行きつく。経済船型についてはコンテナ船など定期的運搬船では造船所、海運会社などで採算性を長期にわたり計算し、船舶の規模、性能が計画されている<sup>3)</sup>。

この経済船型を理論的に求めるためには設計のための前提条件や長期的予測が正確であることが要求される。しかし、現在の水産界では資源量、魚価、漁獲率など最も重要な部分の予測が難しく、さらに漁業自体の長期的展望もたてずらい。このような条件下では理論的に漁船の経済船型を求めることは困難である。

また、漁船の省資源化を単に燃料の節約だけでなく他の要素の節約による運航経費の節減もまた漁船の省資源化であろう。たとえば、日常の船体整備によるドック費用の軽減や作業の合理化、機械化による人員の削減など、(1)式中の $K$ や $C$ の節減による運航経費の節減も漁船の省エネルギー化には重要である。

## 文 献

- 1) 省資源型漁船設計研究会(1977). 省資源型かつお・まぐろ漁船設計資料. 漁船 212, 503-521.
- 2) 飯田正一・細野正己・古川 守(1960). 機関科提要(中巻), 343p. 海文堂, 東京.
- 3) 織田政夫(1977). 海運経済論, 372p. 成山堂書店, 東京.