

## 遺伝的アルゴリズムによる漁労利益最大漁船の主要目の検討

衛 琦,<sup>1</sup> 永松 哲郎<sup>1\*</sup>

### Study on Principal Particulars of a Fishing Vessel with the Maximum Fishery Profit by Genetic Algorithms

Qi Wei,<sup>1</sup> Tetsuo Nagamatsu<sup>1\*</sup>

**Key words** : Bit-string genetic algorithm, Real coded genetic algorithm, Ship resistance, Maximum gross profit, Roundhaul netter

#### Abstract

Genetic algorithm GA is widely applied to the non-linear optimum problems in the various technological fields. Fishing vessels are faced to serious problems such as low benefits, low fish prices, lack of young fishermen and so on. In the present study, the principal particulars of the optimum fishing vessel which earns the highest benefit in a year are studied by using the genetic algorithm. At first, two GA methods, bit-string GA and real coded GA, are examined their applicability to the present problem. The results indicate that GA is a useful tool for study on the principal particulars of the fishing vessel at the initial design stage and there is not much to choose between two GA methods. The optimum ship form is dependent on the ship speed and its block coefficient becomes smaller with increase of her speed. A promising solution for the problem of high fuel price is shown to adopt low ship speed and large gross tonnage.

近年、漁業資源の減少、漁価の低迷、水産物輸入量の増大、漁船漁業従事者の高齢化と後継者不足、代船建造量の激減、漁船漁業経営体の債務超過、更に燃料価格の高騰など、日本の漁船漁業を取り巻く環境は厳しさを増している。このような状況の下で、将来の日本の漁船漁業技術のあるべき姿を見出す試みが行われている<sup>1)2)</sup>。今後、漁船漁業が生き残るためには適切かつ厳格な水産資源管理の下で、採算性の高い漁船の開発が求められている<sup>3)</sup>。そのためには、漁船の省エネや省力化、低コスト化、漁獲物の品質や鮮度保持の高度化、安全性や居住性の高い漁船や漁労装置の開発、燃費向上などの革新的な技術開発が必要であろう。

ところで、最近北欧漁船と日本の漁船を比べると、船

型が大きく違うことが指摘されて、日本型漁船の見直しのきっかけになっている<sup>4)5)</sup>。平成14年8月に動力船の性能基準の原則廃止、指定漁業の許可における漁船のトン数階層区分の見直し等が行われて、これまでとは違った新しい漁船の船型開発の機運が高まり、採算性の高い船型が求められるようになった。欧州の漁船のような広い甲板面積や機械化の推進により省エネルギー・省人・省力化、並びに作業環境の改善・改良が可能となるかもしれない。

このように、これからの漁船はこれまでの漁船とは違った新しい船型の出現が求められるが、漁船漁業の健全なる経営を行うためにはどのような船型とすべきか試行錯誤されている。これまでは船体抵抗が最小となる

<sup>1</sup> 鹿児島大学水産学部漁業工学分野 (Fisheries Engineering, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890-0056 Japan)

Corresponding author, E-mail: nagamatsu@fish.kagoshima-u.ac.jp

船型,あるいは省エネを迫及した船型の研究が主に行われている。そこで本研究では,これからの漁船漁業経営に求められる最も重要な採算性に対して最適な船型を計画する最適化手法について検討した。最適化手法のひとつとして,最近注目されているのが遺伝的アルゴリズム(GA: genetic algorithm)である<sup>6)</sup>。これは生物種の進化過程を真似る形で数値的問題一般への適用を意図して集団を世代毎に逐次改良する解析法である。この方法は必ず真の最適解を与えるという保証はないが,計算の初期条件の設定に特別なノウハウは必要でなく,複雑な目的関数に対しても容易に最適値に近い解を得ることができる,という利点がある。また,他の最適化手法に比べて,最適解を得るまでの計算時間の短縮が見込まれ,探索過程の多様性により局所最適解に陥りにくいことも挙げられている<sup>8)</sup>。本研究では,年間漁労利益が最大となる漁船船型の主要目について,遺伝的アルゴリズムを用いて検討したものである。遺伝的アルゴリズムとして,ビットストリング GA と実数値 GA の2つの方法を用いた。

### 遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム<sup>7)</sup>では,多数の個体からなる集団の中から親となる個体を複数選択し,親の交叉によって親の特性(属性)を引き継いだ子を生じる。親の選択は,目的関数の値(適合度)が大きい個体が高い確率で選択される。同じ個体が親として複数回選択されることもある。その結果,適合度の高い属性を持つ個体が子孫として生き残り,増えていくことになる。

ビットストリング GA では,一般に一つの個体は一つの染色体で表され,染色体は多数の遺伝子で構成されていて,各遺伝子は(0,1)の2進数で表される。すなわち,染色体(個体)は(0,1)の遺伝子列(ビットストリング)で表される。例えば,設計変数  $x$  を5桁の遺伝子で表すとする,32個の離散的な数値が  $x$  として取り得る範囲ということになる。最適化問題における複数の設計変数は遺伝子の組(桁)を並べて表現される。このようにビットストリング GA では変数は離散値として扱われるので,連続関数の最適化問題の場合は適切とは言えない。

このような問題に対しては,設計変数の連続性が確保される実数ベクトル(変数が  $n$  の場合は  $n$  次元のベクトル)を染色体に用いる実数値遺伝的アルゴリズム(実数値 GA と称する)が提案されている。実数値 GA では親から子を生じる交叉の方法もビットストリング GA (遺伝子列を用いる方法)とは異なっている。実数値

GA は設計変数に実数値を用いることで目的関数の連続性を考慮した探索が可能である点から,ビットストリング GA と比較して良好な解が得られるとの報告<sup>8)</sup>があるが,2つの GA を比較した研究例は少ない。本研究では,年間漁労利益が最大となる漁船船型の最適主要目について2つの GA, すなわちビットストリング GA と実数値 GA について比較検討した。

### 変数と個体

ビットストリング GA では変数  $x_i$  は(0,1)の列で表され,個体  $y_j$  ( $j=1\sim m$ ) は  $x_i$  ( $i=1\sim n$ ) を1列に並べて表現される。ここで,  $n$  は変数の数で,  $m$  は個体数である。実数値 GA では,各個体  $y_j$  は変数  $x_i$  の値を成分とする  $n$  次元ベクトル  $\vec{y}_j = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  で表す。個体数  $m$  は適宜選定される。

### 親の選択

遺伝的アルゴリズムは生物の進化を模倣した最適化アルゴリズムである。生物は数千世代にわたって,集団の中から環境に適合したものが生き残り,適合できないものは淘汰されていく<sup>9)</sup>。遺伝的アルゴリズムのプロセスを Fig.1 に示すが,遺伝的アルゴリズムではまず,適当な個体数からなる初期集団を作る。初期集団の各個体の属性(変数の値)は乱数を使ってランダムに決定される。次に各個体の適応度(目的関数)を評価し,適応度が高い個体を次世代に子孫を残す親として選択する。このとき集団としての多様性を確保するために,適応度が最も高い個体を選択するのではなく適応度の高い個体が確率的に選ばれる可能性が高くなるルーレットルールを用いた。ビットストリング GA では親として2個体を選択するが,実数値 GA では次に述べる単峰性正規分布交叉法<sup>9)</sup>を採用しているため,親として3個体を選択する。

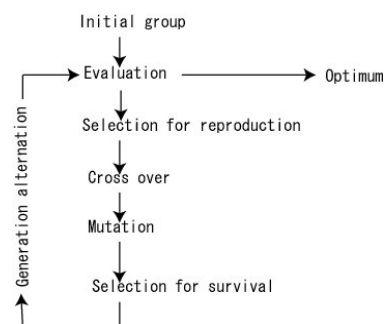


Fig.1 Flow of genetic algorithm

### 交叉法

ビットストリング GA では遺伝子列の中の交叉位置を乱数により決め,2つの親のそれぞれの遺伝子列の交叉

位置以降の遺伝子を交換することにより、新しい2つの個体(子)を生じる。交叉位置を複数取る方法もあるが、本研究では交叉位置は1箇所とした。

実数値 GA の交叉方法としてはいくつか提案されているが、本研究では単峰性正規分布交叉<sup>8)9)</sup>を採用した。この方法では親として3個体を選択し、1番目と2番目の親個体(両親と呼ぶ)  $\bar{y}^1, \bar{y}^2$  を結ぶ直線の周辺に正規分布に従って2つの子  $\bar{y}^c$  を正規乱数により確率的に生成する。

$$\bar{y}^c = \bar{y}^p \pm \xi \bar{d} + \sum_{i=1}^{n-1} \eta_i D \bar{e}_i \quad (1)$$

ここで、

$$\bar{y}^p = \frac{1}{2}(\bar{y}^1 + \bar{y}^2) \quad (2)$$

$$\bar{d} = \bar{y}^1 - \bar{y}^2$$

である。また、D は第3の親から両親を結ぶ直線へ下ろした垂直距離で、 $\bar{e}_i$  は両親を結ぶ直線に直交する部分空間の正規直交基底ベクトルである。n は設計変数の数で、 $\xi, \eta$  は分散  $\sigma_\xi^2, \sigma_\eta^2$  の正規乱数によって選定される。

第3の親は、両親を結ぶ直線と直交する方向の、直線からの偏移を決めるのに使う。したがって第3の親は生成される子が両親の属性を直接的に引き継ぐのではなく、いふなれば優れた資質を持つ他人の血を混ぜて、多様性を保つ働きがある。2つの子は両親の midpoint に対して点対称に決定される。ここで用いられる正規分布は平均値がゼロで、標準偏差  $\sigma_\xi, \sigma_\eta$  は任意に設定され、標準偏差を大きな値にとると多様性が高くなるが収束が遅くなったり、得られなかったりすることがある。

交叉は m/2 回繰り返して m 個の子供を生成する。適合性の高い個体は何度も親として選択されることが起きる。世代が進むと同じ親を持つ子が増えて集団としても多様性が低下して、局大値(局所解)に陥ることがあるので注意が必要である。

#### 突然変異

ビットストリング GA では、各世代において各個体の各遺伝子について一様乱数により確率的に突然変異かどうかを決定し、該当するときはその遺伝子の値が0のときは1に、1のときは0に反転させる。実数値 GA では、各世代において全ての個体の各変数について一様乱数により確率的に突然変異かどうかを決定する。突然変異に該当した個体の変数の値は新たに乱数によりランダムに設定する。突然変異が起きる確率は予め設定しておくが、本研究では 1/100 とした。

#### 世代交代

次世代に残す個体として、親と生成された子からな

る家族の中から最良の2個を選ぶ方法や、親と子の2世代の全体から最良の個体を順に選ぶ方法、親集団の適応度の低い個体と子個体を入れ替える方法など、いくつかの世代交代モデルが提案されているが<sup>10)</sup>、本研究ではビットストリング GA でも実数値 GA でも単純に、生成された子を親に代わって次世代に残す方法を採用した。

#### 最適値(最大値)

予め繰り返す世代数を設定しておき、まず各世代の中で最適値(最大値)となる世代最適値(世代最大値)を求め、最後に全ての世代最適値の中から最終的な最適値(最大値)となる個体(最適解)を選ぶ。

#### 領域外変数の扱い

ビットストリング GA では、とり得るべき変数の範囲は遺伝子列のビット数によって設定されているから交叉の過程で変数が領域外に出ることはないが、実数値 GA では、予め設定された変数領域の境界付近に適応度のピークがある場合、世代数が多くなると生成された子の変数は領域外に出ることがある。このような場合の取り扱いについて2つの方法について検討した。

A 法：子個体のある変数値  $x_i$  が設定された変数の領域を超えたら、親とは関係なく改めて一様乱数により、設定された変数の領域内になるように  $x_i$  の値を決める。

B 法：子個体のある変数値  $x_i$  が設定された変数の領域を超えたら、超えた距離と同じ量だけ、領域の境界から領域内へ折り返す。すなわち、変数  $x_i$  の範囲が  $x_{iL} < x_i < x_{iU}$  であるとき、生成された子の  $x_i$  が例えば  $x_{iU}$  よりも大きい値だったとすると、新しい  $x_i^{new}$  は次のように改める。

$$x_i^{new} = x_{iU} - (x_i - x_{iU}) = 2x_{iU} - x_i \quad (3)$$

#### 数値実験

実数値 GA について、A 法、B 法の優劣を調査するために一つのベンチマーク問題について比較実験を行った。ベンチマーク問題としては、多様性を評価するために多峰性関数である Rastrigin 関数を用いた<sup>11)</sup>。

$$f(x_1, \dots, x_n) = 10n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i))$$

$$-5.12 < x_i \leq 5.12 \quad (4)$$

Rastrigin 関数の全体的な様子を知るために、設計変数が2個(n=2)の場合について、変数  $x_1, x_2$  に対する関数値の変動を Fig.2 に示す。領域内に多数のピークが存在しているが、高い値のピークは領域の周辺付近にあることが分かる。このように多数のピークがある関数の場合は、最適解として探索された値は局所解(極大値)に

陥りやすいので、真の最適解（最大値）を得るためには集団としての多様性が重要になる。A 法と B 法の多様性を比べるために数値実験を実施した。本実験では、単峰性正規分布交叉の標準偏差を 0.45、個体数 30、変数 2、世代数 30、突然変異率 1/1000 と設定し、それぞれ 3 回の試行計算を行った。

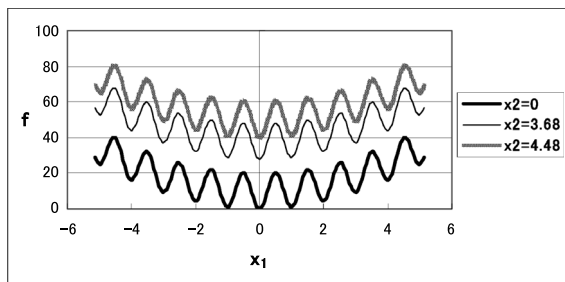


Fig.2 Rastrigin function of  $x_1$  and  $x_2$

Fig.3 と Fig.4 はそれぞれ A 法と B 法による計算結果で、各世代の世代最大値を図示したものである。最終的な最大値（最適解）に到達する世代は各試行計算で異なるが、いずれの試行でも最終的な最大値としては 80 に近い値が得られており、A 法と B 法に優劣はない。この問題の場合は 30 世代くらいまでの計算をすれば、最大値（最適解）を得ることができる。しかし、変数が増えたと世代数を大きく設定しないと最大値（最適解）は得られなくなる。

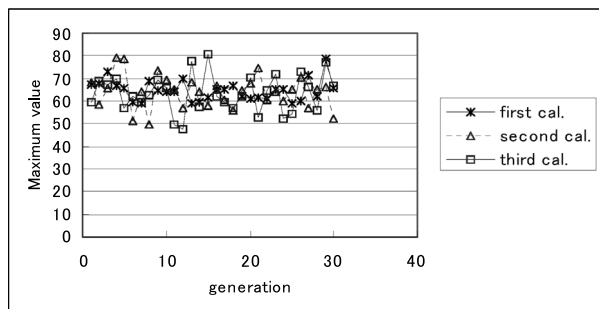


Fig.3 History of maximum value for each generation by A method

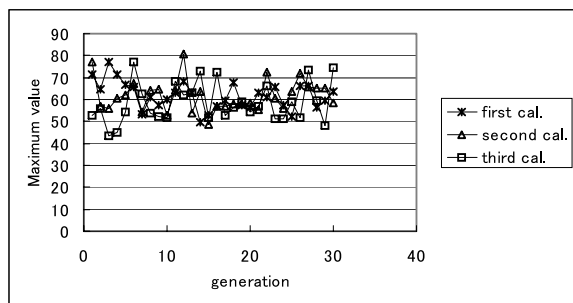


Fig.4 History of maximum value for each generation by B method

Fig.5 と Fig.6 は、A 法と B 法において、10、20、30 世代目における 30 個体の分布を  $x_1$ 、 $x_2$  の座標に示して

いる。A 法では世代にかかわらず領域内に広く分布しているのに対し、B 法では世代が高くなるとある小さな領域に集中していることが分かる。すなわち B 法では、個体が局所的なピーク周辺に集まってきているので、多様性の観点からは A 法が優れているといえる。多様性を示す指標として変数の分散を比較すると Table 1 のようになり、A 法は世代間の差が少ないのに対して、B 法は 10 世代目に比べて 20、30 世代目では 1 桁小さくなって、変数の散らばりが小さく、多様性が損なわれていることを示している。

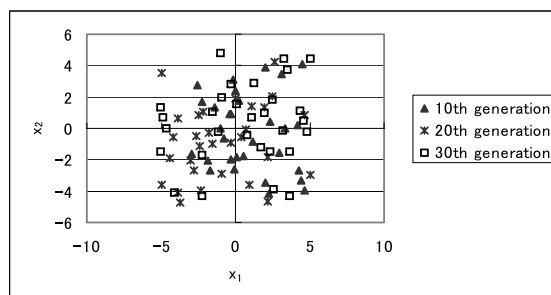


Fig.5 Distribution of variables  $x_1$  and  $x_2$  at three generations by A method

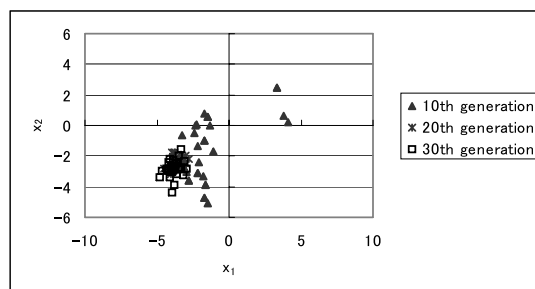


Fig.6 Distribution of variables  $x_1$  and  $x_2$  at three generations by B method

実数値 GA について行った本数値実験の結果は A 法と B 法でほぼ同じような最大値（最適解）を得ているが、多様性という観点からは A 法が優れている判断されるので、以下では A 法を採用した。

### まき網漁船の最適船型

#### (I) 実数値 GA とビットストリング GA の比較

##### 設計変数

総トン数 180 トンのまき網漁船を対象に年間利益額が最大となる船型の主要目を、GA を用いて探索することを試みた。設計変数は船長  $L$ 、船幅  $B$ 、計画喫水  $d$ 、船体中央断面係数  $C_m$ 、浮心位置  $l_{cb}$ 、および計画状態における船首水線の入射角度  $iE$  である。これらの設計変数は Oortmerssen<sup>12)</sup> による抵抗推定式に用いられる変数である。

Table 1 Comparison of variance between A method and B method

variables	X <sub>1</sub>		X <sub>2</sub>	
method	A method	B method	A method	B method
10 <sup>th</sup> generation	5.34	4.58	5.93	4.47
20 <sup>th</sup> generation	8.02	0.14	5.66	0.14
30 <sup>th</sup> generation	10.14	0.17	6.42	0.28

### 目的関数

設計変数を用いて GA の目的関数である年間総利益額を推定する式を次のように導いた。

年間総利益額

$$= \text{年間総収入額} - \text{年間総支出額} \quad (5)$$

年間総収入額

$$= \text{平均魚価} \times \text{年間総漁獲量} \quad (6)$$

魚価は魚種や季節、その他の社会情勢によって変動するが、漁船漁業による年間総収入額の算定には平均魚価を設定して、これに総漁獲量を乗じて求めることにした。

年間総漁獲量は出航 1 回当たりの漁獲量に年間出航回数を乗じたものとした。

年間総漁獲量

$$= 1 \text{ 航海当たりの漁獲量} \times \text{年間出航回数} \quad (7)$$

魚価やまき網漁業の年間出航回数、漁場往復時間等は 2001 年度の漁業白書<sup>12)</sup>等を参考にして、以下のように設定した。

魚価については、まき網漁業で多く漁獲されるサンマ、アジを漁獲対象魚として、平均魚価を 70 (円/kg) と設定した。年間出航回数は、漁業を近海か、または遠洋で行うかにより大きく異なるが、本研究では遠洋漁業で年間出航回数を 6 回とした。1 航海当たりの漁獲量は、魚倉容積の 75% の漁獲量を運搬船による 1 回の輸送量とし、輸送回数を 7 回として (8) 式で求める。

1 航海当たりの漁獲量 [t]

$$= 0.75 [t/m^3] \times [\text{魚倉容積}] [m^3] \times 7 \quad (8)$$

魚倉容積は船型主要目等から (9) 式で近似する。

魚倉容積

$$= 0.2 \times C_b \times L \times B \times D - 20 [m^3] \quad (9)$$

ここで、D は深さ、C<sub>b</sub> は方形係数である。C<sub>b</sub> は排水量 Δ より計算した。D および Δ は漁船のデータより、Fig.7 および Fig.8 に示すように、喫水 d および総トン数 T の関数として回帰式 (10)、(11) 式により推定する。

$$D = 0.86d + 0.70 \quad (10)$$

$$\Delta = 2.4945T + 39.3 \quad (11)$$

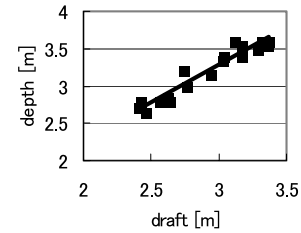


Fig.7 Relationship between depth and draft

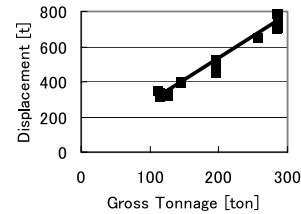


Fig.8 Relationship between displacement and gross tonnage

次に、年間総支出額は労賃、燃料費、減価償却費、漁労営業費およびその他（えさ代、漁具・漁船の補修費、保険費など）を合計した金額として、(12) 式より求める。

[年間総支出額]

$$= [\text{漁労売上原価}] + [\text{漁労営業費}] \quad (12)$$

[漁労売上原価]

$$= [\text{労賃}] + [\text{減価償却費}] + [\text{燃料費}] + [\text{その他の経費}] \quad (13)$$

本研究では総トン数 T を 180 トンと規定しているため、漁船の主要目が変化しても乗組員数はほぼ一定と考えて、労賃は年間総収入の 40% と設定した。また、漁労営業費も年間総収入の 10% と設定した。その他の経費は漁労売上原価の 30% とした。

$$[\text{労賃}] = [\text{年間総収入}] \times 0.4 \quad (14)$$

$$[\text{漁労営業費}] = [\text{年間総収入}] \times 0.1 \quad (15)$$

$$[\text{その他の経費}] = [\text{漁労売上原価}] \times 0.3 \quad (16)$$

減価償却費は船価を償却年数で割ったもので、本研究は償却年数を 15 年と仮定した。船価の推定には (18) 式を用いた。K<sub>1</sub> ~ K<sub>4</sub> は実船価を近似するように調整した係数である。

$$[\text{減価償却費}] = [\text{船価}] / [\text{償却年数}] \quad (17)$$



$$\left. \begin{aligned} [\text{船価}] &= K_1 [L(B+D) + K_2 \times B/L] + K_3 \times [\text{主機価格}] + K_4 \times L \times B \times D \quad [\text{万円}] \\ [\text{主機価格}] &= 20 \times (1.1 \times \text{BHP})^{0.8} + 50 \quad [\text{万円}] \\ K_1 &= 50, K_2 = 200, K_3 = 1.5, K_4 = 15 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

(18) 式の右辺第1項は船殻工作に比例する工費で、外板面積と工数がかかる船首尾の船長に占める割合を示す  $B/L$  を指標としている。最後の項は内装工事や設備など、船全体の大きさに関係する経費（工費、設備費など）を表している。主機価格は出力にほぼ比例すると近似した。補機なども主機の大きさに比例するとして、係数  $K_2$  で調整した。

BHP は航海速力  $V$  の時の船体抵抗  $R_t$  と推進効率  $\eta$  より、(19) 式より求められる。

$$BHP = \frac{R_t \times V}{\eta} \quad [kw] \quad (19)$$

$R_t$ : 船体抵抗  $[kN]$     $V$ : 船速  $[m/s]$     $\eta$ : 推進効率

漁船船型を対象にして、簡単に比較的適用性が高い抵抗推定法として、van G.Oortmerssen<sup>12)</sup> の推定式を用いた。ただし、いくつかの漁船船型についての水槽実験結果と比較して、原論文にある係数  $c_3$  の項を省いた (20) 式を採用した。

$$\frac{R_t}{\Delta} = c_1 e^{\frac{-m_1^n}{9}} + c_2 e^{-m_1^n} + c_4 e^{-m_1^n} \cdot \cos Fn^{-2} + \frac{0.075}{\{\log(Rn)-2\}^2} \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (20)$$

ここで、 $\Delta$  は排水量、 $S$  は浸水面積、 $\rho$  は流体密度、 $Fn$  はフルード数、 $Rn$  はレイノルズ数である。 $m, c_1, c_2, c_4$  は  $L/B$ ,  $C_p$  等の船型パラメータの関数として表される<sup>12)</sup>。浸水面積  $S$  は (21) 式により近似した。

$$S = 1.7L \cdot d + \frac{V}{d} \quad (21)$$

まき網漁船について、(20) 式の推定値と回流水槽実験結果の比較を Fig.9 (a) に、漁業練習船についての比較を Fig.9 (b) に示すが、推定値は実験値とよく一致している。他の数隻の漁船船型についての比較から、推定式 (20) は本研究に使用できると判断した。なお、推進効率  $\eta$  は 0.6 と仮定した。

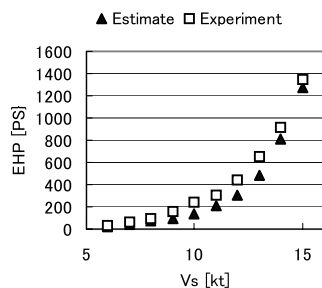


Fig.9(a) Comparison of EHP between estimate and experiment for a fishing vessel

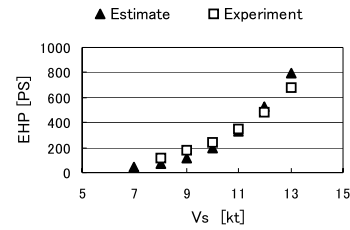


Fig.9(b) Comparison of EHP between estimate and experiment for a training ship

次に燃料費について考える。燃料費は燃料消費量に燃料価格を乗じたもので (22) 式により求められる。

$$[\text{燃料費}] = [\text{燃料消費量} (\ell)] \times [A \text{ 重油価格} (\text{円}/\ell)] \quad [\text{円}] \quad (22)$$

ここでは、A 重油価格を一定の 30 円/ $\ell$ とした。燃料消費量は燃料消費率、A 重油の密度  $\rho_A$ 、主機馬力 BHP および走行時間より (23) 式で求められる。

$$[\text{燃料消費量}] = [\text{燃料消費率}] / \rho_A \times BHP (kw) \times [\text{年間走行時間} (h)] \quad [\ell] \quad (23)$$

燃料消費率は 1000 ~ 2000kw クラスのディーゼルエンジンの実績から  $0.2[kg/(kw \cdot h)]$  とした。また、A 重油の密度は  $\rho_A = 0.85[kg/\ell]$  とした。

1 回の航海では、漁場までを計画速力  $V$  で、平均 6 日間で往復航行し、操業は 40 日間として、操業中の燃料消費は定格出力の 65% と仮定して、計画速力で航走した時間に換算する。一年に 6 回出航するとして、年間走行時間を 4600 時間とした。

#### 制約条件

計算結果が実際の値となるように、設計変数の範囲を下記のように設定した。

$$L=28\sim43 [m] \quad B=6\sim7.5 [m] \quad d=2\sim3.5 [m] \quad C_m=0.86\sim0.965$$

$$lcb = -3.2\sim1.0 [\%] \quad iE=18\sim28.5 [\text{deg.}]$$

また、主要目から GM を推定し、復原性を考慮して GM の採り得る範囲を設定した。重心高さを KG、浮心高さを KB、メタセンター半径を BM とすると、

$$GM = KB + BM - KG \quad (24)$$

である。KG, KB, BM は (25) 式で近似した。

$$KG = 0.8D, KB = 0.51 \frac{d}{C_m}, BM = 0.0673 \frac{B^2}{d} + 0.6137 \quad (25)$$

満載状態の GM の下限は、大串<sup>14)</sup> の教科書に記載されている漁船の GM の範囲を参考にした。上限は乗り心地の観点から、船の横揺れ周期が約 4 秒以上として、GM の範囲を (26) 式のように設定した。

$$0.35 < GM < 0.04B^2 \quad (26)$$

## 計算結果

計画（航海）速力が8ノットと10ノット、12ノットの3ケースについて、個体数を50、世代数を1000、突然変異率1/100とし、実数値GAでは標準偏差 $\sigma_\xi, \sigma_\eta$ はいずれも0.3として計算した。実数値GAとビットストリングGA、それぞれ2回ずつ計算して、年間総利益額の最大値を比べた。計算結果をTable 2に示す。利益最大値のそれぞれの2回の試行の差は、ビットストリングGAの12ノットの場合は約10%と大きく、それ以外は1~5%以内である。また、ビットストリングGAによる利益最大値は全ての船速において実数値GAの結果よりも若干大きい。船速が高くなるほど利益は少なくなることはいずれのGAでも同じであった。

実数値GAと従来のビットストリングGAで、それぞれの年間総利益が最大となる漁船船型の主要目をTable 3に示す。本計算は、総トン数が一定という条件で行っている。これは(11)式より、排水量一定という条件の下で年間総利益が最大となる船長や幅、喫水を求めることになる。実数値GAとビットストリングGAの結果を比較すると、年間総利益はFig.10に示すように両者の差は小さい。船型で比較すると、船長Lは両者に大きな

差は見られず、設定した範囲の上限値に近いが、船幅BはビットストリングGAの方が大きく、喫水dは逆に実数値GAの方が大きい。すなわち、実数値GAの結果はビットストリングGAの結果よりもL/Bが大きく、B/dが小さい船型になっている。このように、2つのGAで得られた幅Bと喫水dはかなり異なるが、年間総利益額の差は小さかった。これは目的関数（年間総利益）が、極大値が複数存在する多峰性関数であるために、2つのGAで変数値（船型主要目）には差異が生じたが、得られた極大値（最大利益額）の差が小さいためである。すなわち、極大値をとる解が多数存在するので、収束解（最大値）を得るのが難しいが、より良い解を得るためのツールとしてGAは有用であるといえる。

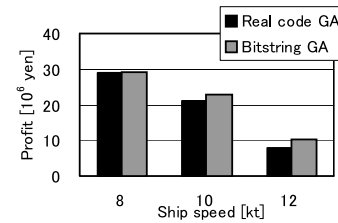


Fig.10 Comparison of fishery profits of the optimum ships obtained by two GA methods

Table 2 The maximum profit obtained by real coded and bit-string GA methods

unit: thousand yen

Ship speed [kt]	8		10		12	
Trial No.	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
Real coded GA	29007	27471	21100	20838	8222	8164
Bit-string GA	29121	28917	22687	22302	10153	9140

Table 3 Principal particulars of the optimum ships and their profits

Ship speed [kts]	8		10		12	
Method of GA	Real coded	Bit-string	Real coded	Bit-string	Real coded	Bit-string
L [m]	42.00	43.00	42.50	43.00	42.80	43.00
B [m]	6.05	7.20	6.55	7.20	7.25	7.20
d [m]	2.72	2.20	2.71	2.40	2.70	2.50
Cm	0.945	0.965	0.955	0.965	0.960	0.965
lcb [%]	0.21	-1.00	-0.74	-1.10	-1.02	-1.50
iE [deg.]	28.3	28.5	22.1	28.5	26.4	18.0
Cp	0.729	0.725	0.661	0.664	0.592	0.638
Rf [N]	6895	6539	10482	9804	14755	13737
Rw [N]	500	4614	7213	6374	17599	19602
Rt [N]	7395	11153	17696	16178	32354	33338
BHP [kW]	51	77	151	139	333	343
Total Catch [ton]	2723	2906	2726	2827	2729	2792
Income [10 <sup>6</sup> yen]	190.6	203.4	190.8	197.8	191.0	195.4
Fuel cost [10 <sup>6</sup> yen]	1.6	2.5	4.9	4.5	10.8	11.1
Profit [10 <sup>6</sup> yen]	29.0	29.1	21.1	22.7	8.2	10.1

船速の違いによる船型主要目の変化を見ると、船速が速くなると船長  $L$  や幅  $B$  は不変か、わずかに小さくなり、喫水  $d$  は大きくなっている。Fig.11 に  $C_p$  の比較を示しているが、いずれの GA でも船速が速くなると  $C_p$  は小さくなって、造波抵抗  $R_w$  を小さくしている。一方、魚艙が若干小さくなるため漁獲量は減り、収入が減少する。本計算では、漁獲量は魚艙のみに左右されて、船速の影響を考慮していない。すなわち、船速が速いと漁場に早く着いて漁業時間が増えて漁獲量が増える、あるいは早く帰港して高い魚価で売れる、などの利点を考慮していないため、船速の影響が適切に評価されていないので、これらを考慮するとより妥当な結果が得られると思われる。

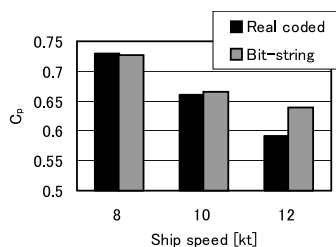


Fig.11 Comparison of  $C_p$  of the optimum ships obtained by two GA methods

なお、本計算例では、実数値 GA とビットストリング GA では明確な優劣は認められなかった。

## (II) 燃料油価格の影響

### 計算条件など

近年、原油価格の高騰により、漁船に使用される重油価格も急騰して漁業経営に深刻な影響を及ぼしている。先の検討 (I) では重油価格を 30 円/ℓ としたが、100 円/ℓ とした場合に年間利益が最大となる船型について実数値 GA で検討した。目的関数の計算式は重油価格を 100 円/ℓ と変更した以外は (I) の場合と同じとした。設計条件として、(a) 総トン数  $T$  を一定の 180 GT とした場合、(b) 総トン数に制限を加えない場合、の 2 ケースとした。本研究では、総トン数と排水量は (10) 式により 1 意的に関係付けられているので、総トン数一定ということは排水量一定、ということである。設計変数は (a) の場合は先の検討 (I) と同じであるが、(b) では方形係数  $C_b$  を変数として追加した。 $C_b$  の取り得る範囲は

$$0.5 < C_b < 0.75 \quad (27)$$

とした。

## 計算結果

船速が 8, 10, 12 ノットについて、それぞれ 3 回の計算を実施して、その中の最大値を採用した。結果を Table 4 に示す。年間利益について重油価格が 30 円/ℓ の結果と比較すると、Fig.12 に示すように、総トン数一定の条件では重油価格が高くなると利益が少なくなつて、12 ノットではマイナスとなる。総トン数の制限をはずすと、8 ノットの場合は重油価格の高騰をカバーできるが、10, 12 ノットでは総トン数一定の場合と差はない。

船型の比較をすると、 $L/B$  は Fig.13 に示すように、船速によって異なる変化をしている。総トン数一定で重油価格が 30 円/ℓ の場合は船速が速くなるにしたがって  $L/B$  は小さくなっているのに対して、総トン数一定で重油価格が 100 円/ℓ の場合は船速による変化は少なく、総トン数規制無しで重油価格が 100 円/ℓ の場合は船速が速くなるにしたがって大きくなっている。方形係数  $C_b$  の比較を Fig.14 に示す。船速が速くなると、いずれの場合も  $C_b$  は小さくなって抵抗低減を図る船型となっている。重油価格が 100 円/ℓ のとき、総トン数規制無しの場合は総トン数一定の場合よりも  $C_b$  は大きくなっており、漁獲量の増加を図っている。

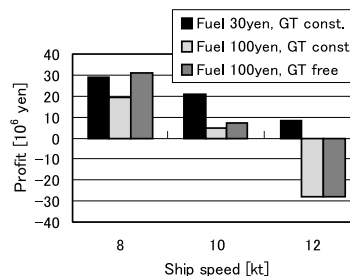


Fig.12 Comparison of fishery profits of the optimum ships under various conditions

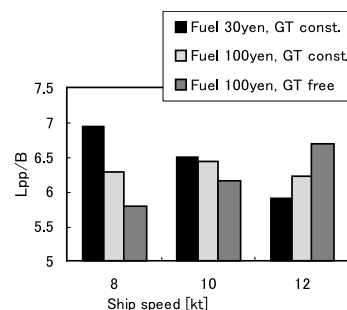
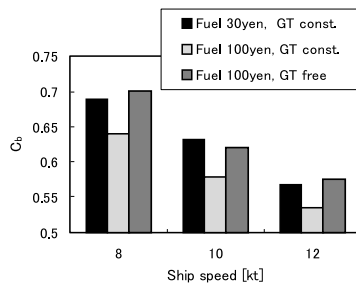


Fig.13 Comparison of  $L/B$  of the optimum ships under various conditions



Table 4 Principal particulars of the optimum ships and their profits calculated by the real-coded GA under the condition of high fuel price

Condition of the gross tonnage	constant			free		
Ship speed [kts]	8	10	12	8	10	12
L [m]	39.90	41.40	42.50	42.20	42.70	42.80
B [m]	6.35	6.44	6.84	7.30	6.95	6.41
d [m]	2.94	3.09	3.06	3.27	2.89	2.59
Cb	0.640	0.578	0.536	0.700	0.620	0.575
Cm	0.930	0.895	0.947	0.945	0.945	0.945
lcb [%]	-2.40	-1.40	-1.19	-0.484	-1.59	-1.69
iE [deg.]	27.1	26.4	23.8	23.0	22.1	22.0
Cp	0.688	0.646	0.566	0.741	0.626	0.608
$\Delta$ [t]	488.3	488.3	488.3	722.8	545.0	419
Rf [N]	6796	10397	14720	8524	11112	13669
Rw [N]	2353	5363	16443	12389	8416	15027
Rt [N]	9149	15760	31163	20913	19527	28696
BHP [kw]	62	135	321	143	167	295
Total Catch [ton]	2666	2631	2638	4141	3062	2279
Income [ $10^6$ yen]	186.6	184.2	184.6	289.9	214.4	159.6
Fuel cost [ $10^6$ yen]	6.8	14.6	34.7	15.5	18.1	32.0
Profit [ $10^6$ yen]	19.4	4.5	-27.9	32.7	7.2	-28.0

Fig.14 Comparison of  $C_b$  of the optimum ships under various conditions

総トン数の規制をはずすと総トン数一定の場合に比べて8, 10ノットでは排水量は大きくなり, 12ノットでは小さくなっている。8, 10ノットでは抵抗の増加による燃料費の増大よりも, 船を大きくして漁獲量を増やす方が利益が見込めることを示唆している。12ノットになると燃料費が大きくなりすぎて, 船を小さくせざるを得なくなっている。

#### まとめ

本研究では実数値GAとビットストリングGAの2つのGAを用いて, まき網漁船の年間利益が最大となる船型の主要目を探索した。その結果, 2つのGAから求められた船型主要目は若干異なっていたが, 年間利益はほ

ぼ同程度であった。これは極大値が複数存在する多峰性の目的関数に対して本研究で採用したGAが有効であることを示している。本研究の主目的である最適船型探索へのGAの適用性については, より良い船型を計画するための有益なる知見が得られることが確認でき, 特に実数値GAはプログラミングも容易であるため, 船型計画の初期検討には有用なツールになり得るものと思われる。

本研究で目的関数として取り上げた年間利益の計算法については各項目の推定精度の向上や見直しをする必要がある。例えば, 漁獲量や魚価, 原油価格, 労賃などの計算式は2001年の古い資料に基づいているので, 現状とはかなり状況が異なっている。最近の燃料費の高騰に対処するためには, 船速を遅くすることが最も有効な方法のようである。しかし, 本研究では船速の魚価や漁獲量に及ぼす影響などを考慮していないので, この点については更に検討が必要である。また, 総トン数の規制をはずすことにより, 船型設計の自由度が増して, 漁業利益を上げることが可能な船型を見出すことも可能である。

このように, GAを適用した本研究の手法は現時点, あるいは将来予測に基づいて適切な目的関数の条件設定を行うことにより, その時点における最適船型の予測ができ, 新しい漁船船型のヒントとなりえる知見が得られるものと期待できる。

## 謝 辞

九州大学大学院工学研究院安東潤教授、及び株三井造船昭島研究所平山明仁博士より、実数値 GA について文献など有益な情報をご教授いただきました。ここに記して謝意を表します。また、ビットストリング GA による計算の一部を分担してくれた卒業生の桑原英樹君に感謝します。

## 文 献

- 1) 水産総合研究センター, 水産工学研究所 (2002). 平成 14 年度漁業技術部会講演集, 「明日の漁船像を考える」.
- 2) 芳村康男, 三浦尚樹 (2005). 我が国の将来型漁船の主要目に関する研究. 日本水産工学会学術講演会講演論文集, 165-168.
- 3) 水産総合研究センター, 水産工学研究所 (2003). 平成 15 年度漁業技術部会講演集, 「明日の漁船漁業を考える」.
- 4) 岩本才次, 石松武文, 今西一, 上野隆蔵 (2002). 山口県の新型沖合い底引き網漁船について (第 1 報). 西部造船会会報, 104 : 121-133.
- 5) 水産総合研究センター, 水産工学研究所 (2002). 「一そびき掛け廻し漁船のモデル設計図作成に関する研究」報告書.
- 6) 伊庭斉志 (1994). 遺伝アルゴリズムの基礎—GA の謎を解く—, オーム社.
- 7) 石田良平, 村瀬治比古, 小山修平 (1997). パソコンで学ぶ遺伝的アルゴリズムの基礎と応用, 森北出版株式会社.
- 8) 小野功, 山村雅幸, 喜多一 (2000). 実数値 GA とその応用. 人工知能学会誌, 15 (2) : 259-266.
- 9) 小野功, 佐藤浩, 小林重信 (1999). 単峰性正規分布交叉 UNDX を用いた実数値 GA による関数最適化. 人工知能学会誌, 14 (6) : 1146-1155.
- 10) 佐藤浩, 小野功, 小林重信 (1997). 遺伝的アルゴリズムにおける世代交代モデルの提案と評価. 人工知能学会誌, 12 (5) : 734-744.
- 11) 廣安知之, 三木光範, 福永隆宏 (2002) 遺伝的アルゴリズムにおける実数値ベクトル表現, 世代交代モデル, 母集団分割効果の検討. The Science and Engineering Doshisha University, XX (Y).
- 12) van Oortmerssen, G. (1971). A Power Prediction Method and Its Application to Small Ships. International Ship Progress, 18 (11) : 397-415.
- 13) 漁業白書 (2001). 農林水産省発行.
- 14) 大串雅信. 理論船舶工学 (上巻). 海文堂, 105.