

# PS-14 操縦性指標を適応度の評価に用いた遺伝的アルゴリズムに基づく 操縦運動モデルの係数同定手法に関する基礎的検討

流体性能評価系 \*大田 大地、北川 泰士

## 1. はじめに

近年、世界的に自動運航船の実用化への期待が高まっており、我が国においても自動運航船の安全確保のためのガイドラインの策定や各種実証事業が行われている。

自動運航船の実用化及び普及にあたっては、自動運航船としての新造開発のみならず、既存船へのレトロフィットが可能な自動運航システムの開発が必要になると考えられるが、何らかの操縦モデル（運動方程式）を用いた自動運航システムの実装を考えた場合、既存船でも入手が容易なデータに基づき操縦モデルの係数を定める必要が生じると考えられる。

そこで、本研究では、海上公試等の結果に基づき比較的入手が容易な操縦性指標を教師データとする操縦モデルの係数同定手法の開発に取り組んだ。本報では初期的検討として、 $z$ 試験で得られる個船の第一、第二行き過ぎ角（ $OSA_{1st}$ 、 $OSA_{2nd}$ ）及び操舵開始からそれぞれの行き過ぎ角に至るまでの時間（ $t_{1st}$ 、 $t_{2nd}$ ）を適応度の評価に用いる遺伝的アルゴリズムによりKTモデル<sup>1)</sup>の係数 $K$ 及び $T$ を同定する試みを行い、SR108 コンテナ船型を対象とした適用例を示す。

## 2. 操縦モデルの係数同定へのGAの適用

本研究では船の操縦運動モデルとして、野本によって提案された(2.1)式のKTモデルに着目し、遺伝的アルゴリズムを用いて旋回性を表す係数 $K$ 及び操舵に対する追従性を表す係数（時定数） $T$ を同定した。なお、(2.1)式において、 $r(t)$ は回頭角速度、 $\delta(t)$ は舵角、記号 $(\cdot)$ は時間微分を表す。

$$T\dot{r}(t) + r(t) = K\delta(t) \quad (2.1)$$

### 2.1 係数 $K$ 及び $T$ の同定手法

$K$ 及び $T$ は流体力微係数を用いて次式のように表現される。

$$\left. \begin{aligned} T_1 T_2 &= \frac{(m + m_y)(I_z + J_z)}{Y_v N_r - (Y_r - (m + m_x)U)N_v} \\ T_1 + T_2 &= -\frac{(m + m_y)N_r + (I_z + J_z)Y_v}{Y_v N_r - (Y_r - (m + m_x)U)N_v} \\ K &= \frac{Y_\delta N_v - Y_v N_\delta}{Y_v N_r - (Y_r - (m + m_x)U)N_v} \\ KT_3 &= \frac{(m + m_y)N_\delta}{Y_v N_r - (Y_r - (m + m_x)U)N_v} \\ T &\equiv T_1 + T_2 - T_3 \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

ここで、 $Y$ 及び $N$ は船体に働く左右方向の力及び回頭モーメン

トを表す流体力微係数であり、添字 $v$ 、 $r$ 、 $\delta$ はそれぞれ左右方向速度、回頭角速度、舵角に関する成分を表す。また、 $m$ は船の質量、 $U$ は船速、 $I_z$ は回頭運動の慣性モーメント、 $m_x$ 、 $m_y$ 、 $J_z$ はそれぞれ前後及び左右方向付加質量並びに回頭運動の付加慣性モーメントを表す。

また、井上ら及び貴島ら<sup>2)</sup>によって船の主要目に基づく流体力微係数の推定式が提案されており、船長 $L$ 、船幅 $B$ 、方形係数 $C_b$ 、喫水 $d$ を用いて次式のように推定することができる。

$$\left. \begin{aligned} Y'_v &= -0.5\pi k - 1.4C_b B/L \\ Y'_r &= 0.25\pi k \\ N'_v &= -k = -2d/L \\ N'_r &= -0.54k + k^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

ここで、 $Y'$ 及び $N'$ は、 $Y$ 及び $N$ の無次元値（ $Y' = Y/(\frac{1}{2}\rho U^2)$ 、 $N' = N/(\frac{1}{2}\rho L^2 U^2)$ 、 $\rho$ は水の密度）を表す。なお、本研究では、流体力微係数の舵角成分（ $Y_\delta$ 、 $N_\delta$ ）は既知とし、左右方向速度成分（ $Y_v$ 、 $N_v$ ）及び回頭角速度成分（ $Y_r$ 、 $N_r$ ）のみを $K$ 及び $T$ を同定するためのパラメータとして取り扱う。

さらに、本研究では(2.3)式を基準に、(2.4)式のように修正項（ $\Delta Y'_v$ 、 $\Delta Y'_r$ 、 $\Delta N'_v$ 、 $\Delta N'_r$ ）を加えた流体力微係数を用いて目標の操縦性指標値を得る $T$ 及び $K$ を表現することとし、修正項を最適化する手続きに遺伝的アルゴリズムを適用した。

$$\left. \begin{aligned} Y_v^{*} &= Y'_v + \Delta Y'_v \\ Y_r^{*} &= Y'_r + \Delta Y'_r \\ N_v^{*} &= N'_v + \Delta N'_v \\ N_r^{*} &= N'_r + \Delta N'_r \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

### 2.2 係数 $K$ 及び $T$ の同定への遺伝的アルゴリズムの適用

遺伝的アルゴリズムは最適化の対象とするデータを遺伝子と見なし、生物の進化過程における遺伝子の変容メカニズムを模倣して確率的探索を行う最適化手法であり、大まかな手順は次のとおりである。

1. 初期集団の生成及び適応度の評価
2. 遺伝的操作及び適応度の評価
3. 終了条件の判定（満足しない場合2.に戻る）

#### 2.2.1 遺伝子の表現及び初期集団の生成手法

本研究では、各個体の遺伝子は、 $[\Delta Y'_v, \Delta Y'_r, \Delta N'_v, \Delta N'_r]$ のよう

に4つの実数値からなるベクトルとして表現するものとし、初期集団は、ランダムな実数値として生成した。

2. 2. 2 遺伝的操作手法

本研究では、世代交代モデルにMGG<sup>3)</sup>、交叉オペレーションにBLX- $\alpha$ <sup>4)</sup>を適用した(図-1)。即ち、現世代の集団からランダムに選択された2個体(親個体)の周辺に位置するベクトルとして、ランダムに子個体を生成及びそれらの適応度を評価した後、子個体と親個体の中から最良の適応度を示す1個体とランダムに選択した1個体の計2個体を現世代集団に戻す(親個体として選択された2個体と入れ替える)ことで次世代集団を生成する操作を行なった。

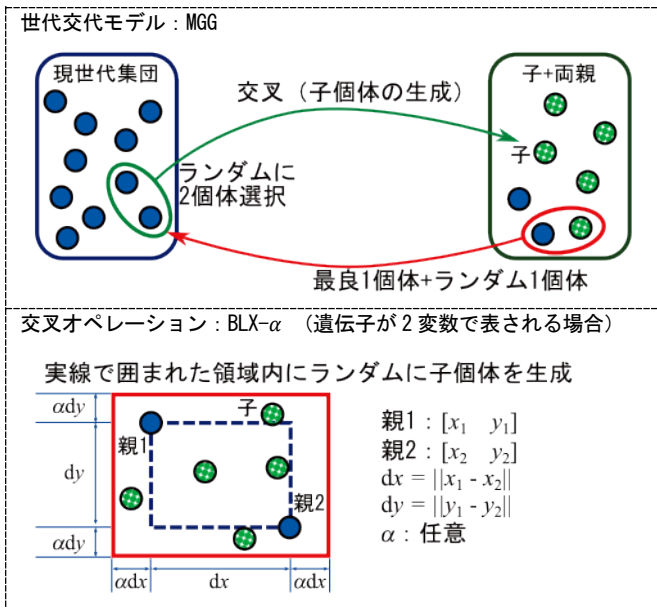


図-1 MGG及びBLX- $\alpha$ による遺伝的操作のイメージ

2. 2. 3 適応度の評価

$z$  試験で得られる $OSA_{1st}$ ,  $OSA_{2nd}$ ,  $t_{1st}$ ,  $t_{2nd}$ を目標値に設定し、これと、遺伝子データを流体力微係数の修正項として作用させた $K$ 及び $T$ を用いて(2.5)式<sup>1)</sup>のように求めた $OSA_{1st}$ ,  $OSA_{2nd}$ ,  $t_{1st}$ ,  $t_{2nd}$ との差分の2乗和を評価値とした。即ち、評価値が小さいほど適応度が高いことを示す。なお、 $\delta_0$ は $z$ 試験の目標舵角であり、 $t_1 \sim t_5$ は転舵時刻を表す。

$$\left. \begin{aligned} OSA_{1st} &= \delta_0 \left[ K \left( \frac{3}{2}t_1 + 2t_2 - t_{1st} \right) - 1 \right] \\ t_{1st} &= T \log \frac{T(1 - e^{t_1/T} - e^{t_2/T} + e^{t_3/T})}{t_1} \\ OSA_{2nd} &= \delta_0 \left[ K \left( \frac{1}{2}t_1 - 2t_2 + 2t_4 - t_{2nd} \right) - 1 \right] \\ t_{2nd} &= T \cdot \log \frac{T(e^{t_1/T} + e^{t_2/T} - e^{t_3/T} - e^{t_4/T} + e^{t_5/T} - 1)}{t_1} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

3. SR108 コンテナ船型を対象とした適用例

SR108 コンテナ船型 ( $L=175.0$  m,  $B=25.4$  m,  $d=9.5$  m,

$C_b=0.572$ ) を対象に、初期船速 20 ノットの 10/10  $z$  試験<sup>5)</sup>の $OSA_{1st}$ ,  $OSA_{2nd}$ ,  $t_{1st}$ ,  $t_{2nd}$ を目標値として、集団サイズ 200, 交叉オペレーションBLX- $\alpha$ の係数 $\alpha=0.5$ , 生成する子個体数 40, 繰り返し計算(世代)数 10,000 として $K$ 及び $T$ を同定した。結果を表-1に示す。

表-1 SR108 コンテナ船型を対象とした試算結果

	目標値	推定結果
$OSA_{1st}$ [deg]	8.6	8.6
$OSA_{2nd}$ [deg]	16.5	16.5
$t_{1st}$ [s]	64.5	64.5
$t_{2nd}$ [s]	164.3	164.3
$K$ [ $s^{-1}$ ]	0.155	0.156
$T$ [s]	80.5	80.7

表-1より、適応度の評価指標として陽に与えた $OSA_{1st}$ ,  $OSA_{2nd}$ ,  $t_{1st}$ ,  $t_{2nd}$ のみならず、同定対象とした操縦モデルの係数 $K$ 及び $T$ も目標値と概ね一致していることが分かる。

4. まとめ

海上公試等により比較的入手が容易な操縦性指標を教師データとする操縦モデルの係数同定手法の開発のための初期的検討として、 $z$  試験で得られる行き過ぎ角及びその時刻を目標値とする遺伝的アルゴリズムを用いたKTモデルの係数の同定手法を提案した。さらに、SR108 コンテナ船型を対象に試算を行い、本手法により精度良く係数の同定が可能であることを示した。本手法はKTモデルのみならず、種々の操縦モデルの係数同定に応用できるものと考えられる。

謝辞

本研究にあたって、海上技術安全研究所の中西徹氏には、機械学習、最適化アルゴリズムに関するご知見等ご指導をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 野本謙作, 田口賢士: 船の操縦性に就いて(2), 造船協会論文集, 第101号(1957), pp. 57-66.
- 2) K. Kijima, T. Katsuno, Y. Nakiri and Y. Furukawa: On the manoeuvring performance of a ship with the parameter of loading condition, Journal of the society of naval architects of Japan, Vol. 168 (1990), pp. 141-148.
- 3) 佐藤浩, 小野功, 小林重信: 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, 第12巻, 第5号(1997), pp. 734-744.
- 4) L. J. Eshleman and J. D. Schaffer: Real-Coded Genetic Algorithms and Interval-Schemata, Foundations of Genetic Algorithms, Vol. 2 (1993), pp. 187-202.
- 5) 安川宏紀, 芳村康男: 船舶海洋工学シリーズ(3) 船体運動 操縦性能編, 成山堂書店(2012)。