漁具研究へのシステム工学的アプローチ—III

“カエシ”付トラップ・モデル

三 浦 汀 介

(1978 年 12 月 25 日受理)

Systems Engineering Approaches to the Studies of Fishing Gear—III
Trap Model Equipped with a Funnel

Teisuke MIURA*

Considering the effect of a funnel in the trap gear, trap model equipped with a funnel was described as simultaneous homogeneous difference equation.

$$\begin{bmatrix} A(t+1) \\ B(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-a & b \\ a & 1-b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A(t) \\ B(t) \end{bmatrix},$$

where $A(t)$, $B(t)$ are the number of fish at each side of the trap and a , b are entrance constants. Its characteristic was represented as a pulse transfer function. For the experiment, two hundred and fifty carps were prepared and were released at one side of the trap equipped with a funnel. Time series variation of the number of fish was recorded by V.T.R.. According to the result, when fish density was low, the mathematical model was acceptable only to some extent, but when high it was acceptable well.

一般に、トラップのもつ漁獲機能は定置網を例にとるならば、垣網のもつ誘導効果、運動場のもつ遮断効果、箱網のもつ陥穽効果の3種類からなるものと考えられる。しかし、エビやカニを対象とする籠等の場合は、誘導効果をもたらす垣網のようなものをもたないかわりに、餌による誘因効果が加わる。

以前、行なつた“カエシ”のないトラップ・モデルの実験¹⁾は上記の例にならえば、運動場や籠のもつ遮断効果に関する基礎的実験と言える。すなわち、トラップ容積のもつ位置のエネルギーと魚群慣性のもつ運動エネルギーとのサージングとしてモデリングを行ない、その状態方程式を2次振動系として表現したものである。

今回は、実際の漁具に準ずる最小単位のシステムとして、遮断効果と陥穽効果をもつ“カエシ”付トラップ・モデルを対象に実験を行なつた。そして“カエシ”というものの効果を1方向には通過しやすいが、反対の方向には通過しにくいものと考え、その効果を考慮して“カエシ”付トラップ・モデルの状態方程式を定係数連立同次差分方程式として定式化し、その動特性をパルス伝達関数という形で表現することにした。

なお本論文をとりまとめるにあたって、北海道大学水産学部佐藤修教授、川島利兵衛教授、西山作蔵助教授、

中村秀男助教授から有益な御助言と御指導を賜り、ここに深く感謝の意を表する。

実験装置と方法

実験条件や装置の概要は前回²⁾の場合と同様であり、供試用トラップ(400×800×100 mm)は中央に“カエシ”効果をもつと思われるロート状のものが装着されている。実験魚には体長5 cmのマゴイ(*Cyprinus Carpio* LINNE)を用いた。実験は指定された尾数を飼育水槽の中から取り出してトラップのFig. 1に示されるBの側にゲートを閉めた状態で全数を入れ、そのまま実験魚の落ち着くのを待つて、刺激を与えないようにしてゲートを開き、同時にVTRで時々刻々変化するトラップ内の魚の数をTVでモニターしながら録画した。このような方法で実験魚の数 N を50尾、100尾、150尾、200尾、250尾の5種類の場合に分けて実験を行なつた。

なお本実験で用いた“カエシ”はFig. 2に示すようなものを用いた。その理由は現在の段階では、著者はカエシの効果がどのようなメカニズムになっているものなのかということを充分把握していないので、とりあえず実際の定置網に準ずるもの考えることにし、“カエシ”に“カエシ”効果があることを前提として、それを含め

* 北海道大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Hakodate 041, Japan).

たモデルの推定という点に着目して実験を行なうことにしたからである。

“カエシ”付トラップ・モデルの数学的表現 Fig. 1 のような“カエシ”付トラップ・モデルを考えることにする。ここで $A(t)$, $B(t)$ はそれぞれの側の時刻 t におけるトラップ内の魚の数を表わすものとする。 a, b はそれぞれの方向に対するはいりやすさの定数であり、これをシステム・パラメータとするシステムの状態方程式が

$$\begin{bmatrix} A(t+1) \\ B(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-a & b \\ a & 1-b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A(t) \\ B(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

と表わせるものとする、特性方程式は

$$\begin{vmatrix} \rho - (1-a) & -b \\ -a & \rho - (1-b) \end{vmatrix} = 0.$$

すなわち、

$$\rho^2 - (2-a-b)\rho + 1-a-b = 0. \quad (2)$$

$$\therefore \rho_1 = 1, \quad \rho_2 = 1-a-b.$$

よつて解は、 C_1, C_2, C_1', C_2' を任意定数とすると、

$$\begin{bmatrix} A(t) = C_1 + C_2(1-a-b)^t \\ B(t) = C_1' + C_2'(1-a-b)^t \end{bmatrix} \quad (3)$$

となる。ここで初期条件として $A(0)=0, B(0)=1$, また、定数比の関係から(3)式を解くと、

$$\begin{bmatrix} A(t) = \frac{b}{a+b} \{1 - (1-a-b)^t\} \\ B(t) = \frac{b}{a+b} \left\{ \frac{b}{a} + (1-a-b)^t \right\} \end{bmatrix} \quad (4)$$

となる。

次に、“カエシ”付トラップ・モデルを離散値系システムとして捉えたときのパルス伝達関数を求めることにする³⁾。

(1)式から、

$$A(t+1) + B(t+1) = A(t) + B(t) \quad (5)$$

となることは容易にわかるが、これは定数でなければならない。すなわち、

$$A(t) + B(t) = \xi \quad (6)$$

である。これと(1)式から、 $A(t)$ について整理すると次の1階差分方程式、

$$A(t+1) = (1-a-b)A(t) + \xi b \quad (7)$$

となる。

ここで、(7)式の両辺を z 変換すると次式が求まる。

Fig. 1. Trap model equipped with a funnel.

Fig. 2. Schematic diagram of a funnel.

Fig. 3. Block diagram of a trap model.

$$z\{A(z) - A(0)\} = (1-a-b)A(z) + \xi b \frac{z}{z-1} \quad (8)$$

$$\therefore A(z) = \frac{z^{-1}}{1-(1-a-b)z^{-1}} \xi b \frac{z}{z-1} + \frac{A(0)}{1-(1-a-b)z^{-1}}. \quad (9)$$

(9)式より、(7)式のパルス伝達関数 $G(z)$ は、

$$G(z) = \frac{z^{-1}}{1-(1-a-b)z^{-1}} \quad (10)$$

となる。(9)式を逆 z 変換することにより $A(t)$ が求まる。

$$\begin{aligned} A(t) &= \frac{\xi b}{2\pi j} \oint \frac{z^n}{(z-1)(z-(1-a-b))} dz \\ &+ \frac{A(0)}{2\pi j} \oint \frac{z^n}{z-(1-a-b)} dz \\ &= \frac{\xi b(1-(1-a-b)^t)}{1-(1-a-b)} + A(0)(1-a-b)^t. \end{aligned} \quad (11)$$

ここで $A(0)=0, \xi=1$ とすれば(4)の第1式が得られる。

これらのことから、“カエシ”付トラップ・モデルは(10)式で定義された伝達特性を持つデジタル・フィルターと考えることができる。これをブロック・ダイアグラムとして Fig. 3 に示しておく。

実験結果ならびに考察

実験終了後、再生画面を見ながら、データを10秒ごとの魚体数の変化として読み取った。それらを計算機処

Fig. 4. Time series variation of fish quantity in a trap.

@: Experimental value

—: Regression curve

Table 1. Regression equations and values of system parameters

N	$A(t) = \frac{b}{a+b} \{1 - (1-a-b)^t\}$	a	b	a/b
50	$A(t) = 0.960(1 - 0.787^t)$	0.0085	0.2045	0.0416
100	$A(t) = 0.980(1 - 0.842^t)$	0.0037	0.1548	0.0239
150	$A(t) = 0.870(1 - 0.750^t)$	0.0325	0.2175	0.1494
200	$A(t) = 0.920(1 - 0.920^t)$	0.0064	0.0736	0.0870
250	$A(t) = 0.872(1 - 0.887^t)$	0.0145	0.0988	0.1468

理した後、xyプロッターによつてグラフにしたものをFig. 4に示す。グラフから時間経過に対する魚体数の変化をみると、全実験魚尾数に対する $A(t)$ の比は一定値に収束する傾向があることがわかる。また、全体の魚の数が増加するにしたがつて、魚体数の変化を示す曲線はなめらかなものとなつていく。

ここで、これらのデータがはたして最初に考えた理論モデルすなわち、(4)式にうまく適合するかどうかをたしかめるために、(4)の第1式を使つて、この式がこれらのデータの回帰曲線となることを仮定して、システム・パラメータ a, b を推定してみると結果はTable 1の様になつた。Fig. 4の実験で示した曲線は、これらの結果を基にそれぞれの場合の回帰曲線である。それらは魚体数の少ないときにはあまりよく適合しているとは思われないが、200尾や250尾の場合にはかなりよく適合していると思われるので充分理論モデルの適用が可能となる。また、 a/b の値と魚体数の関係をFig. 5に示す。この図からあまりはつきりしたことは言えないが、魚体数の増加にともなつて a/b が大きくなる傾向がうかがわれるがこのことは、魚体数が少ない場合には個々の魚の行動を考えると、自由度が大きいのでトラップそのものの形状が行動に影響を与えることが多く、その反対に魚体数が多くなるとだんだん行動の自由度がうばわれて密度による効果が高まり、大きくその現象を支配することになるのではないかと考えられる。

“カエシ”付トラップ・モデルについてデジタル・フィルター理論の立場から考察してきたわけであるが、ここで(1)式における a, b をそれぞれの側にはいる確率と考え、 $A(t), B(t)$ というふたつの事象の起る確率に対して(1)式が成立し、かつ(6)式において $\xi=1$ である場合を考えることにする。この場合“カエシ”付トラップ・

Fig. 5. Relation between a/b (entrance constants ratio) and N (the number of fish).

モデルは $\begin{bmatrix} 1-a & b \\ a & 1-b \end{bmatrix}$ を推移確率行列とするマルコフ (Markov) 過程とみることができる。とくに $t \rightarrow \infty$ で均衡値に達した状態では定状マルコフ過程となる。また(4)式より $A(t), B(t)$ の均衡値の比は $b:a$ であるから初期値によらないこともわかる。

本研究では、これまで述べたように、“カエシ”の効果の存在することを前提にして、それを含めたトラップ・モデルがどのようなモデルとして表現されるものかに着目して実験ならびに考察を進めてきたわけだが、今後は“カエシ”そのものがどのようなメカニズムであるのか、本実験でとりあえず定義したシステム・パラメータ a, b とは何なのか、またそれらが何によつて決定されるものなのかについて究明していかなければならないだろう。

文 献

- 1) 三浦汀介: 日水誌, 44, 835-841 (1978).
- 2) 三浦汀介: 日水誌, 45, 17-23 (1979).
- 3) 安居院猛・中嶋正之: デジタルシステム制御理論, 産報, 東京, 1976, pp. 113-130.