魚 梯 に 於 ける 魚 類 の 溯 上 率

田 内 森 三 郎
三 善 清 旭

The Rate of Ascent of Fish-way by Fishes

Morisaburô TAUTI and Kiyohide MIYOSI

SYNOPSIS

Using model fish-ways and some kinds of fishes, we studied the rate of ascent and obtained the following results.

(1) The distribution of fishes in fish-ways is represented by the next formula (1):

$$n_k \propto a^k, \dots \dots \dots (1)$$

where n_k is the number of fishes in the k^{th} compartment of fish-way and a is a constant.

(2) The percentage, p_v , of the number of fishes which reach the top of a fish-way having v compartments in unit time is represented by the next equation (2):

$$p_v = p_1 a^{v-1}, \dots \dots \dots (2)$$

where p_1 is the percentage of fishes which enter the first compartment of fish-way in unit time.

(3) The temperature of water has a great influence upon the rate of ascent.

(4) The slope of fish-way has a great influence upon the rate of ascent, and the rate of ascent decreases as the slope of fish-way increases.

(5) The rate of ascent depends upon the ratio of size of fish to level-difference in adjacent two compartments.

(6) The rate of ascent has a maximum value at a definite value of quantity of flow, and the quantity of flow giving the maximum rate of ascent much differs with the form of partition wall.

魚梯に於ける魚類の溯上率が魚梯の勾配、魚梯を流れる水量、水温等によりて如何に影響せらるるを知る爲に本實驗を行つた。實驗に使用した魚梯の大きさ、隔壁の形状及び魚の種類は第一表及び第一圖に示す通りである。

第 一 表

形 式	階段数 (v)	幅 (b cm)	隔壁間の距離 (d cm)	魚
階 段 式 A	8	27	29	コヒ 5-6 cm.
" "	9-24	24	44-15	= ジマス 5.7 cm.
" "	6	16.5-30.0	21.2	サケ 3.9-7.0 cm.
" "	5	51	50	= ジマス 12.5-18.5 cm.
傾 斜 式 B,C,D	4-17	27	40-18	コヒ 5-7 cm. ヒゴヒ 5-9 cm.
" B	4- 8	16.0-23.4	24	サケ 4.0-7.0 cm. マス 2-3 cm.
" B,C	5	48	50	= ジマス 13-18 cm.

實驗の方法 先づ魚梯（第一圖の b）の入口を覆ひて魚梯下の魚溜（第一圖の a）に數十匹の魚を入れ、魚が落付ける後覆をとり除け魚が魚梯を溯上し始めてから 30 分毎に主として次の観測を行つた。

- (1) 魚梯の各段（第一圖の 1, 2, 3, …等）に居る魚の数、
- (2) 30 分間に魚梯の頂上（第一圖の c）に達した魚の数、
- (3) 30 分間に魚梯の第一段（第一圖の 1）に入つた魚の数、

魚梯の頂上に達した魚は其の都度魚梯下の魚溜にもどした。

實驗の結果 第二圖は實驗の二三の場合に就て、魚梯の上での魚の分布即ち第 k 段目

第 二 圖

- (1) 階段式魚梯: $A \quad \nu = 9 \quad b = 24\text{cm.} \quad d = 44\text{cm.} \quad h = 2.2\text{cm.} \quad Q = 0.99\text{litre/sec.} \quad \theta = 11.8^\circ\text{C} \quad \text{ニジマス } 5.7\text{cm.}$
- (2) 階段式魚梯: $A \quad \nu = 9 \quad b = 24\text{cm.} \quad d = 44\text{cm.} \quad h = 5.0\text{cm.} \quad Q = 1.25\text{litre/sec.} \quad \theta = 11.8^\circ\text{C} \quad \text{ニジマス } 5.7\text{cm.}$
- (3) 階段式魚梯: $A \quad \nu = 8 \quad b = 27\text{cm.} \quad d = 29\text{cm.} \quad h = 2.7\text{cm.} \quad Q = 1.00\text{litre/sec.} \quad \theta = 17-20^\circ\text{C} \quad \text{コヒ } 5-6\text{cm.}$
- (4) 傾斜式魚梯: $C \quad \nu = 13 \quad b = 25\text{cm.} \quad a = 22\text{cm.} \quad i = \frac{1}{15} \quad Q = 1.03\text{litre/sec.} \quad \theta = 13.2-14.6^\circ\text{C} \quad \text{ヒガヒ } 5-9\text{cm.}$
- (5) 傾斜式魚梯: $D \quad \nu = 14 \quad b = 25\text{cm.} \quad d = 22\text{cm.} \quad i = \frac{1}{15} \quad Q = 1.03\text{litre/sec.} \quad \theta = 13.2-14.6^\circ\text{C} \quad \text{ヒゴヒ } 5-9\text{cm.}$

の區劃に居る魚の数, n_k , の k に対する關係を示す。この關係は略次式を以て表はされることは同圖より明かである。

$$n_k \propto a^k \dots \dots [a \text{ は常數}] \dots \dots (1)$$

第二圖に引かれた直線の勾配は $\log a$ の値を與へる。一々の場合に就て斯様な $\log n_k - k$ ダイアグラムを作り、それから a の値を計算して第二表の結果を得た。この表を見ると、コヒ、ニジマスのいづれの場合に就ても、次々の階段の水位差, h , が増すに従つて a の値は

第 二 表

階段式魚梯:A $\theta=11.8^{\circ}\text{C}$ $\nu=9$ $b=24\text{cm.}$ $\text{ニジマス } 5.7\text{cm.}$ $d=44\text{cm.}$			階段式魚梯:A $\theta=17-20^{\circ}\text{C}$ $\nu=8$ $b=27\text{cm.}$ $\text{コヒ } 5-6\text{cm.}$ $d=29\text{cm.}$		
$h\text{cm.}$	$Q\text{litre/sec.}$	a	$h\text{cm.}$	$Q=\text{litre/sec.}$	a
2.2	0.46	0.96	3.0	0.48	0.85
"	0.99	0.91	2.7	0.30	0.69
5.0	0.48	0.93	"	1.00	0.85
"	0.82	0.83	5.5	0.51	0.74
"	1.25	0.89	"	0.75	0.70
"	1.63	0.93	4.5	0.70	0.69
7.0	1.04	0.83	"	1.14	0.85
"	0.65	0.89	4.3	0.42	0.63
3.5	"	0.91	5.0	0.85	0.66
3.4	1.05	0.89	5.2	0.77	0.59
2.4	0.74	0.93	"	0.72	0.61
5.0	"	0.85			
3.0	1.62	0.96			
傾斜式魚梯:C $\theta=13.1-15.3^{\circ}\text{C}$ $\nu=13$ $b=25\text{cm.}$ $\text{ヒゴヒ } b=9\text{cm.}$ $d=22\text{cm.}$			傾斜式魚梯:D $\theta=13.1-15.3^{\circ}\text{C}$ $\nu=14$ $b=25\text{cm.}$ $\text{ヒゴヒ } b=9\text{m.}$ $d=22\text{cm.}$		
i	$Q\text{litre/sec.}$	a	i	$Q\text{litre/sec.}$	a
$\frac{1}{15}$	1.03	0.89	$\frac{1}{15}$	1.03	0.88

減少すること、流水の量、 Q , は a に大した影響を及ぼさないことが知られる。

n_k と k との間に上式 (1) が成り立つが故に、単位時間に ν 段の魚梯の頂上に達する魚の数の全数に達する率、 p_ν , は次の式 (2) で表はされる様に考へられる

$$p_\nu = p_1 a^{\nu-1}, \dots\dots\dots (2)$$

茲に p_1 は単位時間に魚梯の第一段目に入つた魚の数の全数に對する率を表はす。第三表に p_1 と p_ν の観測値、魚梯の上での魚の分布から計算された a の値及び此等から計算して得た $p_1 a^{\nu-1}$ の値を示す。第三表は p_ν の観測値と $p_1 a^{\nu-1}$ の計算値とは大體に於て一致することを示す。一例に就て p_ν と ν との關係を示したのが第三圖である。これで見ても上の (2) 式が略々あてはまることが分る。

第四圖は単位時間に魚梯の頂上に達する率、 p_ν , と水温、 $\theta^{\circ}\text{C}$, との關係を示す。第四圖から $\frac{1}{p_\nu} \frac{dp_\nu}{d\theta}$ の値を計算して得た結果は第四表の通りである。

第 三 圖

傾斜式魚梯: B $b=27\text{cm.}$ $d=18\text{cm.}$ $i=\frac{1}{7}$
 $Q=0.92-1.03\text{litre/sec.}$ $\theta=17.0-17.8^{\circ}\text{C}$ $\text{ヒゴヒ } 5-7\text{cm.}$

第 三 表

階段式魚梯:A $\theta=11.8^{\circ}\text{C}$ $b=24\text{cm. } d=44\text{cm.}$ $= \text{ジマス } 5.7\text{cm.}$							傾斜式魚梯:C $\theta=13.1-15.3^{\circ}\text{C}$ $b=25\text{cm. } d=22\text{cm.}$ $= \text{ヒゴヒ } 6-9\text{cm.}$						
$h\text{cm.}$	$Q\text{ litre/sec.}$	ν	p_1	α	$p_1\alpha^{\nu-1}$	p_{ν}	i	$Q\text{ litre/sec.}$	ν	p_1	α	$d_1\alpha^{\nu-1}$	p_{ν}
2.2	0.46	9	12	0.96	8.4	12.7	$\frac{1}{15}$	1.03	13	52	0.89	11	12
"	0.99	"	20	0.91	9.0	13.8							
5.0	0.48	"	4	0.93	2.3	1.2							
"	0.82	"	8	0.83	2.0	2.0							
"	1.25	"	24	0.89	9.6	2.0							
"	1.63	"	14	0.93	8.0	5.2							
7.0	1.04	"	6	0.83	1.4	1.1							
"	1.53	"	0	—	0.0	0.0							
"	0.65	"	4	0.89	1.6	0.5							
3.5	"	17	11	0.91	2.2	5.3							
3.4	1.05	18	17	0.89	3.1	1.7							
2.4	0.74	24	16	0.93	3.2	3.9							
5.0	"	13	8	0.85	1.3	0.3							
3.0	1.62	9	25	0.96	17.0	11.1							
							傾斜式魚梯:D $\theta=13.1-15.3^{\circ}\text{C}$ $b=25\text{cm. } d=22\text{cm.}$ $= \text{ヒゴヒ } 6-9\text{cm.}$						
i	$Q\text{ litre/sec.}$	ν	p_1	α	$p_1\alpha^{\nu-1}$	p_{ν}	i	$Q\text{ litre/sec.}$	ν	p_1	α	$p_1\alpha^{\nu-1}$	p_{ν}
$\frac{1}{15}$	1.03	14	76	0.88	15	16

第 四 圖

第 四 表

形 式	魚	$\frac{1}{p_{\nu}} \frac{dp_{\nu}}{d\theta}$	$\theta^{\circ}\text{C}$
階段式:A	サ ケ	1.45	6.5-11.5
"	= ジマス	1.44	5.7- 9.4
傾斜式:B	"	1.46	5.7- 9.6
"	ヒ ゴ ヒ	1.34	13-20

- 傾斜式魚梯:B $\nu=8-12$ $b=27\text{cm. } d=18\text{cm. } i=\frac{1}{7}$ $Q=0.92-1.03\text{litre/sec.}$ ヒゴヒ 5-7cm.
 ○ 階段式魚梯:A $\nu=5$ $b=50\text{cm. } d=51\text{cm. } h=7.0\text{cm. } Q=6.8\text{litre/sec.}$ = ジマス 12.5-19.5cm.
 × 階段式魚梯:A $\nu=6$ $b=16.5\text{cm. } d=21.2\text{cm. } h=3.0\text{cm. } Q=0.90\text{litre/sec.}$ サケ 3.9-7.0cm.
 ● 傾斜式魚梯:A $\nu=5$ $b=48\text{cm. } d=50\text{cm. } i=\frac{1}{11}$ $Q=2.3\text{litre/sec.}$ = ジマス 12.5-19.0cm.

水温が溯上率に及ぼす影響は可成大きく 或範囲内では水温が 1°C 昇る毎に溯上率は約四割宛増すことがこれで分る。

傾斜式魚梯に於てはその勾配, i , 階段式魚梯に於てはその水位差, h , が魚の溯上率に著しき影響を及ぼすことは第五圖から明である。一般に魚の溯上率は魚梯の勾配が増すに従つて減少する。

同じ種類の魚同じ構造の魚梯に對しては、大きな魚の溯上率は小な魚の溯上の率より大き

- (1) 階段式魚梯: A $v=5$ $b=51\text{cm}$. $d=50\text{cm}$. $Q=7.4-8.9$ litre/sec. $\theta=7.0-7.6^\circ\text{C}$ = ジマス 13.5-18.5cm.
 (2) 傾斜式魚梯: B $v=5$ $b=48\text{cm}$. $d=50\text{cm}$. $Q=3.9$ litre/sec. $\theta=7.1-9.2^\circ\text{C}$ = ジマス 12.5-19.0cm.
 (3) 階段式魚梯: A $v=9$ $b=24\text{cm}$. $d=44\text{cm}$. $Q=0.73-1.61$ litre/sec. $\theta=11.8^\circ\text{C}$ = ジマス 5-7cm.

いことは容易に豫想せらる。第六圖は溯上率に及ぼす體長の影響を知るために行つた實驗の結果を示す。此實驗では體長, L , の大小によつて魚を分類して、夫々に就て數種の水位差, h , をもつ魚梯の溯上率, P , を觀測した。第六圖は $\frac{L}{h}$ の値によつて P が定まることを示す。

流量と溯上率との關係は相當に複雑であることが豫想せられる。第七圖はこの關係を示すもので、これによると溯上率は或る定つた水量のとき最大になることが分る。

第五表に第八圖に示すやうな傾斜式の魚梯に就て得た溯上率を掲げる。第五表から隔壁の形狀が溯上率に大なる影響をもつこと及び溯上率の最大値を與へる水量は隔壁の形狀に由りて夫々可成りに違ふことが知られる。

階段式魚梯: A $v=6$ $b=16.5\text{cm}$. $d=21\text{cm}$.
 $Q=0.90$ litre/sec. $\theta=11.5^\circ\text{C}$ サケ 4.3-7.0cm.
 $h\text{cm.}$ ● 2.0 ● 2.5 x 3.0 ∩ 3.5 △ 4.0 □ 5.0

第 五 表 1

溯上率, Pv ,

形 式	Q litre/sec.									
	1.0-1.5	1.6-2.0	2.1-2.5	2.6-3.0	3.1-3.5	3.6-4.0	4.1-4.5	4.6-5.0	5.1-5.5	5.6-6.0
(3)	11.4	21.8	37.3			20.3				
(2)		21.3	35.9	28.1		23.8				
(1)			16.5			35.5	31.3			30.3
(4)			17.7			19.7		6.7		

傾斜式魚梯 $v=5$ $b=48\text{cm}$ $d=50\text{cm}$. $i=\frac{1}{11}$ $\theta=8.5^\circ\text{C}$ = ジマス 13.5-18.5cm.

第 五 表 2

形 式	P_v
(5')	14.2
(3')	13.0
(2')	12.0
(4')	6.5
(1')	4.5

傾斜式魚梯 $v=4$ $b=25\text{cm}$. $d=22\text{cm}$. $i=\frac{1}{15}$ $\theta=10-11^\circ\text{C}$ $Q=1.0\text{litre/sec}$. $\text{コヒ } 5\sim 8\text{cm}$.

第 7 圖

(1) 階段式魚梯: A $v=6$ $d=21\text{cm}$. $\theta=11-12^\circ\text{C}$ サケ 4-7cm.

	$h\text{cm.}$	$b\text{cm.}$
○	2.4-2.7	16.5
⊙	"	30.0
×	3.6	16.5

(2) 階段式魚梯: A $v=5$ $b=50\text{cm}$. $d=51\text{cm}$. $\theta=6.9-11.0^\circ\text{C}$ = シマス 12.5-19.0cm.

	$h\text{cm.}$
○	4.3
×	9.1

第 8 圖

摘要 模型の魚梯と數種類の魚を使用して魚梯に於ける魚類の溯上率を研究し次の様な結果を得た。

- (1) 魚梯の上での魚の分布は次の式に由りて表はされる

$$n_k \propto a^k$$

茲に n_k は第 k 番目の階段に於ける魚の數 a は一つの常數を表はす。

- (2) 單位時間に ν 段の魚梯の頂上に達する魚の數の全數に對する率, P_ν , は次の式で表はされる

$$P_\nu = P_1 a^{\nu-1},$$

茲に P_1 は單位時間に魚梯の第一段目に入つた魚の數の全數に對する率を表はす。

- (3) 水溫は溯上率に著しき影響を及ぼす。

- (4) 魚梯の勾配は溯上率に著しき影響を及ぼし、溯上率は魚梯の勾配が増すに従つて減少する。

- (5) 溯上率は魚の大きさと階段の水位差に對する比によりて定まる。

- (6) 溯上率は流水の量の或る定つた値に對して最大なる値になり、溯上率の最大値を與へる水量は隔壁の形狀に由りて夫々可成りに違ふ。

(水産講習所物理研究室に於て)