河 ま す の 成 長 及 び 死 亡

吉 原 友 吉

(第 一 水 産 講 習 所)

On the Growth Rate and Death Rate of Brook Trout

(Salvelinus fontinalis, Mitchill).

T. YOSHIHARA

SYNOPSIS

I. Effect of variations of water temperature on the growth rate.

It is believed that the rings on the scale, otolith and centrum of vertebral bone are formed annually by the cyclic variation of water temperature. Then, if we culture fishes in water of constant temperature, scale rings will not be formed. In order to ascertain this point, I kept trouts at Oizumi experimental station of Tokyo College of Fisheries (Long. 138° 24' Lat. 35° 50', Height 1000 m) from April, 1943 to June, 1945. The result is shown in Table 1 and Fig. 2. From these results we can conclude that growth rate is not constant even if water temperature is constant. Consequently we can not assume that mechanism of ring formation are due to the variation of water only.

II. On the determination of death rate.

Few results of the determination of death rate of fish by rearing experiments are published. We can get the death rate of trout from the above experiment. I counted dead fish one by one every day and I got a 10 days total of them. The result is shown in Table 2 and Fig. 3~4.

I. 成長率に対する水温変化の影響の有無に就いて

従来報告された魚介類の成長測定結果を用ひ、成長量(体重、体長等)の時間的变化を求めると、成長率は時間の週期函数として表はされる如く見える¹⁾。然るときは、海河湖沼等にも水温の年変化があるから、年令査定に用ひられる鱗、耳石、脊椎骨等に年輪が形成されるのは魚介類の成長量の変化が水温の変化の影響を受ける爲であるとの通説が成立する²⁾。一方年輪は魚体の生理的狀態の変化に基づくとも考へられてゐる。水産資源の消長はその年令組成と深い関係があるが³⁾、直接にそれは明にすることは出来ないから年輪等による年令の査定法は重要である。それにも拘らずその形成原因は明でない。形成機構を明にする爲には環境要因の変化と全時に魚体の生理的狀態の変化をも明にする必要がある。

成長率変化に対する水温変化の影響を研究する場合、両者が独立に変化するにも拘らず両者の変化の様相が時間的に一致するときは、成長率の変化は水温の変化に影響されるが如き外観を呈する。それ故水温を一定とし、飼育条件等も可成均一ならしめた場合にも尙成長率に時間的变化の認められるときは成長率の変化に対応して盛衰を示すと考へられる年輪形成の原因が水温変化に基づくとの仮定は疑はしく

なる。従つて水温の影響の有無を検するには水温変化の少ない場所に棲む魚分類を用ひるか等水温で飼育試験を行なへばよい。

著者は水産講習所大泉実習場（山梨縣北巨摩郡大泉村）で河ます2年生の親魚を用ひ、第1表に示す如く採卵、孵化、放養飼育した。飼育池は大泉の湧水を導入するので水温は周年殆んど一定である。

第1表 河ます飼育試験結果

年 月 日	18, 4, 4 よりの 日 数	各月死魚 及び 標本魚 数	原因不明 の 死魚 数	各 月 末 残存尾数	各 月 末 一尾当り 平均体重 (gr)	全 長 (cm)	月間平均 体重 増 加 率	月 間 最 低 温 (C°)	月 間 水 温 変 化 (C°)	魚体重1 gr当り一 ヶ月間投 餌量(gr)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1943・1・15	(採卵)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
(昭18)3・6	(孵化)	—	—	—	(0.045)	—	—	—	—	—
4・4	(飼付)	—	—	(1000)	(0.073)	約2.0	—	—	—	—
IV	27	189	—	811	約0.15	≈2.2	—	10.8	0.1	2.20
V	58	71	3	737	≈0.16	≈2.5	—	10.8	0.1	2.85
VI	88	33	—	704	≈0.55	≈3.5	—	10.8	0.2	2.91
VII	119	30	—	674	≈0.60	≈4.0	—	11.0	0.1	2.90
VIII	150	140	—	534	≈1.0	≈4.5	—	11.9	0.1	—
IX	180	89	248	197	≈2.3	≈5.5	—	10.9	0.3	2.81
X	211	41	52	104	4.6	7.6	—	10.8	0.2	2.56
XI	241	22	—	82	5.8	7.5	0.26	10.8	0.2	2.82
XII	272	11	—	91	9.8	9.5	0.69	10.8	0.1	3.72
1944・I	303	18	—	53	13.6	9.5	0.39	10.7	0.1	3.42
(昭19) II	332	4	—	49	10.1	9.6	0.26	10.5	0.3	3.89
III	363	5	—	44	12.0	10.8	0.19	10.7	0.2	3.73
IV	393	3	—	41	12.2	10.5	0.02	10.8	0.1	3.94
V	423	3	—	38	19.9	11.2	0.63	10.8	0.2	3.11
VI	453	3	—	35	30.1	12.6	0.51	10.9	0.1	2.52
VII	484	3	—	32	32.0	12.9	0.06	10.8	0.7	2.58
VIII	515	3	—	29	48.3	14.7	0.51	11.0	0.5	1.88
IX	545	3	—	26	48.1	15.1	—	11.6	0.3	2.00
X	576	3	—	23	75.2	17.6	0.56	11.4	0.4	1.49
XI	606	3	—	20	82.2	18.0	0.09	11.0	0.5	2.34
XII	637	3	—	17	—	—	—	10.0	0.4	—
1945・I	668	3	—	14	90.4	18.6	—	10.3	0.6	2.01
(昭20) II	696	3	—	11	100.6	18.6	0.11	10.9	0.6	1.45
III	727	3	—	8	105.0	19.1	0.04	11.3	0.2	1.43
IV	757	3	—	5	118.1	19.8	0.13	11.5	0.1	1.10
V	788	3	—	2	110.0	20.4	—	11.5	0.2	2.21
VI	818	2	—	0	—	22.0	—	11.5	0.1	1.96
計	—	617 + 80	303	—	—	—	—	—	—	—

第1表 説明 (1) 測定開始直後著者は應召したる爲、観測及び測定は凡て大泉実習場植松善

次郎氏に依つて行なはれた。茲に長期間に亘る御協力を深謝する。(2) 18 年 4 月 4 日飼育池 (1.6 坪, 水量 1.5 個) に放養後 5 月 31 日, 9 月 21 日, 10 月 31 日に池替す。(3) IV, V 等は各 4 月末日, 5 月末日を示す。(4) 18 年 6 月頃より魚型大小不揃になる。(5) 19 年 12 月 31 日成熟魚 4 尾より採卵す。合計 1200 粒。(6) 体重は 3 月 6 日及び 4 月 4 日分は 100 尾平均, X 月以後はトビを除き個体別総数測定値より計算す。体長も全じ。

その結果は第 1 表, 第 2 図に示す如く成長率 (1 ケ月間増量 ÷ 月初体重) の変化は測定方法の不備及欠測の爲良好なる傾向を示さぬが, 冬季 (18 年 12 月 ~ 19 年 4 月) に漸減し夏季 (19 年 5 月 ~ 8 月) に増大することがわかる。以上によつて水温は一定でも年輪形成の原因と考へられる成長率の変化は認め得るこ

第 1 図 Scallop の成長と水温との関係

第 3 図 河ます死亡数

第 2 図 A: 河ますの体重増加曲線
B: 河ますの体重増加率
C: 飼育池水温変化圖

と, 従つて水温のみが年輪形成の原因でないと推定される。

II. 死亡率に就いて

魚介類の死亡率を明にすることは水産資源学上基礎的な重要事項である。外洋性の魚類等については直接之を定めることが出来ないから, 統計的に死亡率を推定するが, その場合は, 死亡法則を仮定した上で, parameter の値を推定するのが普通である⁴⁾。

今回の飼育実験にては毎日の死亡率が計上されてあるから, それより 10 日毎の死亡合計数を求め, 第 2 表第 3 及第 4 図に示す如き生命表を作

つた。第2表に示す如く実験の途中で毎月末3尾宛の標本魚を採った爲に実験後半で試験魚が盡き老衰による自然死亡を観察出来なかつたので生命表の計算は期間前半に於ける自然死亡魚のみに依つた。尙又放養後100~200日の間に於ける死亡率の増加の原因は明に出来なかつた。

第2表 説明 今回の実験は自然死亡のみを観察する目的で行なはれなかつたので資料として不十分な点がある。その爲に〔14〕-〔16〕欄に示す如く各旬毎に原因不明の死亡及び標本魚を除いた死亡数を求めた。その結果全飼育期間、818日の中自然死亡魚のあつたのは第36旬までで残り458(=816-360)日は自然死亡皆無であつた。もし最初の放養尾数が更に多数で、途中で標本魚を採取せねば高年令に於ける自然死亡が完全に観察出来たであらう。(19年4月以後の標本魚計44尾)。

記号の説明

$l_x = d_x + d_{x+1} + \dots + d_{\omega}$ (年令 x に於ける生存尾数)。

$L_x = 1/2(l_x + l_{x+1})$ (年令 x と $x+1$ との間の生存尾数)。

$q_x = d_x/l_x$ (同死亡率)。

$T_x = L_x + L_{x+1} + \dots + L_{\omega}$ (現在及び将来の残存尾数)。

$e^o_x = T_x/l_x = 1/2 + (l_{x+1} + \dots + l_{\omega})/l_x$ (年令に於ける平均余命)。

$\mu_x = -d/dx \log l_x = -1/l_x \cdot dl_x/dx$ (死力、この近似値として $\Delta \log l_x = \log l_x - \log l_{x+1}$ を用ひた。第〔17〕欄に示す補正値は次式により求めた。……… $x_{-2}, x_{-1}, x_1, x_2, \dots$ の補正値として、 $x_0' = 1/3 x_0 + 2/7 (x_1 - x_{-1}) + 1/7 (x_2 + x_{-2}) - 2/21 (x_3 + x_{-3})$ を用ひる³⁾。期間の当初、 $d_x = 78$ 及び 62 はそのまゝ、 55 は $(78 + 62 + 55 + 33 + 24)/5 = 504$ とし、期間の終りは上式によらず、 $x = 31$ より以後は第3圖より概略値を讀取つた。又 $x = 13$ に於て $d_x = 96$ であつたが、この値は異常に大きいので、グラフより $d_x = 96 - 81 = 15$ として以後の計算を行つた。

第4圖 河ます生命表

第2表 河ます生命表

期 間	期 間 番 号	原因不明 消耗尾数	各 月 標本魚	各 旬 死亡数	全 補正值	全 万分率	l_x	$10^4 q_x$	e^o_x	$10^5 \times \Delta \log l_x$
(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
1943・4	5	1	—	3	78	78.000	1455	1455	9.56	6829
(昭18)	15	2	—		62	62.000	1156	8545	10.29	6312
	25	3	—		55	50.400	940	7389	10.61	5909

期 間	期 間 番 号	原因不明 消耗尾数	各 月 標本魚	各 旬 死亡数	全 補正值	全 万分率	l_{∞}	$10 \cdot q_{\infty}$	e°_x	$10^5 \times \Delta \log l_{\infty}$
(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)
5 5	4	—	3	33	34.322	640	6449	992	11.24	4539
15	5	3		24	21.714	405	5809	697	11.42	3139
25	6	—		4	11.619	217	5404	402	11.24	1780
6 4	7	—	3	13	8.048	150	5187	289	10.69	1274
14	8	—		7	6.571	123	5037	244	9.99	1074
24	9	—		8	10.333	193	4914	393	9.23	1740
7 4	10	—	3	9	8.185	153	4721	324	8.59	1431
14	11	—		14	809	164	4568	359	7.86	1588
24	12	—		4	1.905	222	4404	504	7.13	2246
8 3	13	—	3	15	13.381	250	4182	598	6.48	2677
13	14	—		23	16.571	309	3932	786	5.86	3555
23	15	—		16	23.619	441	3623	1217	5.32	5637
9 2	16	—	3	29	28.190	526	3182	1853	4.99	7847
12	17	248		35	30.143	562	2.56	2116	4.88	10325
22	18	—		31	27.429	512	2094	4445	5.05	12177
10・2	19	—	3	14	18.762	350	1582	2212	5.53	10860
12	20	52		8	9.809	183	1232	1485	5.96	6984
22	21	—		7	3.953	74	1049	705	5.91	3177
11・1	22	—	3	3	5.381	100	975	1026	5.32	4700
11	23	—		4	6.095	114	875	1303	4.87	6062
21	24	—		12	5.857	109	761	1433	4.52	6714
12・1	25	—	3	3	4.905	91	652	1396	4.19	6528
11	26	—		2	4.238	79	561	1408	3.79	6592
21	27	—		2	4.428	83	482	1722	3.69	8207
31	28	—	3	7	4.381	82	399	2080	3.92	9991
1944・1・10	29	—		2	4.905	91	317	2871	2.55	14695
(昭19) 20	30	—		7	4.000	75	226	3319	2.38	17513
30	31	—	3	1	2.212	41	151	2715	2.31	13758
2 11	32	—		0	1.831	34	110	3091	1.98	16058
21	33	—		0	1.450	27	76	3553	1.54	19062
3 2	34	—	3	2	1.150	21	49	4286	1.28	24304
12	35	—		0	0.950	18	28	6429	0.86	44716
22	36	—		2	0.550	10	10	10000	—	—
計	—	303	{ 36 144	{ 536 81	536.106	10000	—	—	—	—

文 献 及 び 註

(1) 吉原友吉：本誌 11, 1943, 202. (講演要旨)。

(2) Weymouth (1923) の引用せる Belding, D. L.; A report upon the Scallop (帆立貝) fishing of Massachusetts. Boston, 1910. によればその成長度と水温変化とは第 1 図の如く密接な

る関係が見られる。相川廣秋，水産資源学。P 35：輪形成の原因“体重の増加は水温の上昇傾向と相似変動する。鱗，耳石，脊椎骨の成長度も当然之に應じて盛衰あるべきで之が輪形成の第一原因と見做される。その他の環境要因にも輪形成に影響するものがある”。（鱗に就ては，続報にゆづる）。

(3) 相川，同書，第3章，水産資源の年令組成。

(4) 生物の生存期間の研究には Pearl. その他の研究があるが，彼が *Drosophila* に就いて求めた $lx = c/(1 + a_1 e^{-b_1 x} + a_2 e^{-b_2 x})$ の如き形の式も單なる実験式に過ぎない。この方面の総合的文献として例へば，Pearl and Miner; Q. Rev. Biol. 10, 1935, 60 ~ 79. E. S. Deeveg, Jr.; Q. Rev. Biol., 22 (4), 1947, 283 ~ 314. Dublin and Lotka; Length of life. A study of the life table, 1935. (未見)。

Deeveg に依れば (p 288) 生物の生命表は (1) 一定期間母に多数個体について直接死亡数 (dx) を計上出来る場合，(2) 同時に又は殆んど同時に生れた多数個体の生残数 (lx) を求められる場合，(3) 母集團よりの無作為標本 (random Sample) より年令構成を知り，各年令階級個体数より dx を推定出来る場合には作ることが出来る。魚類，鳥類等では，第3の場合が用ひられてゐる (p 298)。魚類の死亡率の研究は数多くあるが (p 299) 年令構成が十分わからぬ爲，その完全な生命表は知られてゐない。そして魚獲の対象となる魚型についてのみ考察され，且死亡率は年令により不変であるとの不完全な仮定の許に研究されてゐる。(p 300)。

(5) Anderson, O. Die Korrelationsrechnung in der Konjunkturforschung. 1929, p 72.

Tintner, G. The Variate Difference Method. 1940. Chap IX. Reduction of the random variation by Sheppard's Smoothing formulae. Table 32. Weights for Sheppard's Smoothing formula.