

異なる摂餌条件下で飼育されたベニザケ幼魚の鱗形成*¹

鈴木 俊哉*²・梶山 雅秀*²

Scale Formation of Juvenile Sockeye Salmon Reared under the Different Feeding Levels*¹

Toshiya SUZUKI*² and Masahide KAERIYAMA*²

Abstract

Feeding level exerted an influence on scale growth of juvenile sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) reared for 13 weeks at a temperature of 10.5°C and a natural photoperiod. The higher feeding level was, the higher body growth rate and the wider interval of circuli were. The growth rates of scale radius and the number of circuli in the fish reared at 3% feeding level were larger than those at 1% feeding level. A check was observed on scales of fish at the time when the feeding level raised. There was no significant increase of scale growth through the period of starvation.

魚類の鱗における隆起線の間隔は年齢査定や体成長の指標と考えられていることから、その広狭に影響をおよぼす要因についてこれまで多くの研究がなされてきた。隆起線の形成速度ならびにその間隔の差は体成長、鱗の成長および隆起線の形成機構が魚の生育環境によりそれぞれ異なることに起因すること(小林 1961)から、環境条件を人為的に制御できる飼育実験は鱗の形成機構を明かにするための有効な手段の1つとなる。これまでに行われた飼育実験において、Bhatia (1931), Gray and Senta (1931)およびBilton and Robins (1971a, b)は給餌量が隆起線間隔に影響すると報告した。池田ら(1974a, b)は給餌量ではなく餌料の質が隆起線間隔に影響すると報告した。梶山(1984)は水温は隆起線間隔に影響しないと報告している。本報告では、一定水温条件下で摂餌条件が鱗の形成におよぼす影響についてベニザケ幼魚の飼育実験によって検討を加えた。

本文に先立ち、原稿の校閲と貴重なご助言を頂いた北海道さけ・ますふ化場真山 紘生態研究室長に深く感謝する。

材料と方法

材料は安平川に回帰したベニザケ親魚より1987年10月に採卵、受精し、発眼時に北海道さけ・ますふ化場本場の実験ふ化室に移したものをを用いた。1988年2月中旬に浮上した稚魚は、その後人工配合餌料により飼

*¹本研究は農林水産省「農林水産系生態秩序の解明と最適制御に関する総合研究(バイオ・コスモス)」の一部である(BCP 90-IV-B-2)

*²水産庁北海道さけ・ますふ化場(Hokkaido Salmon Hatchery, Fisheries Agency of Japan, 2-2 Nakanoshima, Toyohira-ku, Sapporo 062, JAPAN)

育された。1988年8月25日に尾叉長60 mmから80 mmの範囲で幼魚180尾を選別し、40尾ずつ4つの水槽(240×435×290 mm)に収容した。残り20尾の幼魚を実験開始時の標本とした。

実験区は摂餌条件の異なる4区が設定され、飼育期間は前期(8月25日～10月12日:7週間)と後期(10月13日～11月24日:6週間)に分けられた。前期と後期の給餌率は幼魚の体重あたりそれぞれ、I区が3%と3%、II区が0%と3%、III区が1%と3%、IV区が1%と1%であった。標本は各期終了時の10月12日と11月24日に各区よりそれぞれ20個体ずつ採集した(図1)。飼育実験は室内の自然光のもと、地下水を用いて流水条件下で行われた。実験期間中の水温は10.5°Cでほぼ一定であった。給餌は定量を1日2回に分けて行なわれた。餌料は日本配合餌料社製養鱒稚魚用No.3c クランブルが使用された。なお実験中に死亡した個体はなかった。

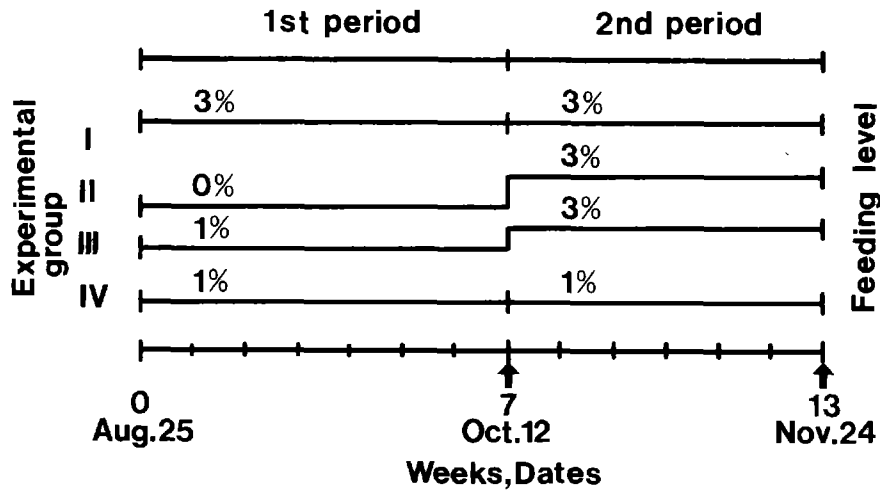


Fig. 1. Experimental design for scale formation of sockeye salmon juveniles in the different feeding levels, showing feeding levels (0%, 1%, 3% per body weight in a day) during first and second period on each experimental group. Arrows show sampling dates.

図1 飼育実験の設定。百分率は各実験区の前期と後期の給餌率を示す。矢印は標本採集日を示す。

尾叉体長 (FL, 以下体長とする), 湿重量 (W, 以下体重とする) の測定と採鱗を生鮮時に行った。肥満度 (%) を $(W/FL^3) \times 10^3$ によりもとめた。鱗を背鳍後端直下の側線付近から採集し、0.2% KOH で洗浄後、glyceringelly 液で封入し、永久標本とした。鱗の標本を万能投影器で100倍に拡大し、方眼紙上に投影した後、長軸に沿って鱗径 SR (鱗の中心から最外隆起線外縁までの長さ)、隆起線数 C, および鱗の中心から各隆起線の外縁までの長さを測定した。平均隆起線間隔を $(SR_2 - SR_1) / (C_2 - C_1)$ によりもとめた。なお, SR_2 , C_2 は実験終了時の測定値, SR_1 , C_1 は実験開始時の測定値を示す。また, Bilton and Robins (1971a) に基づき間隔の広い隆起線の直前にある狭間隔の数本の隆起線 (偽年輪) の最後の隆起線を check として, その有無, および位置を確認した (図2)。体長と体重の比成長速度を $(1/nX_2 - 1/nX_1) / T$ により求めた (山岸 1977)。なお, X_2 は実験終了時の測定値, X_1 は実験開始時の測定値, T は実験期間の日数を示す。隆起線が1本形成されるのに要する日数を隆起線の形成速度とした。測定値の検定には Mann-Whitney's U test を用いた。また, スネデガー・コ克蘭 (1972) にしたがって単回帰分析での回帰係数の相互検定を行った。

結 果

各実験区における各採集日ごとの飼育魚の体長, 体重, 鱗径および隆起線数の平均値を表1に示した。また表1より計算された体長と体重の比成長速度, 肥満度, 鱗径の成長速度, 隆起線の形成速度および平均隆



Fig. 2. A scale with a 'check' (arrow) of a reared sockeye salmon juvenile sampled on November 24.

図2 Check (矢印) を形成した飼育魚の鱗 (11月24日採集)。

表1 飼育魚の体長、体重、鱗径、および隆起線数の平均値の比較 (1 : 前採集日の値と比べ $P < 0.05$ で有意差あり, 2 : 前採集日の値と比べ $P < 0.01$ で有意差あり)。

Table 1. Comparison of mean fork length, body weight, scale radius and number of circuli in sockeye salmon juveniles reared under different feeding levels.

Sampling date	Aug. 25	Oct. 12				No. 24			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV
Experimental group									
Fork length (cm)	6.84	8.75 ²	6.97	7.42 ²	7.81 ²	10.26 ²	7.72 ²	8.87 ²	8.01
Body weight (g)	2.72	6.58 ²	2.42	3.48 ²	4.14 ²	10.96 ²	3.94 ²	6.34 ²	4.35
Scale radius (μm)	28.4	37.9 ²	30.4	30.2	36.0 ²	50.6 ²	34.2 ¹	41.1 ²	34.8
No. of circuli	9.9	14.1 ²	10.1	10.8 ¹	12.3 ²	18.1 ²	12.7 ²	16.3 ²	14.6 ²

1 : significantly different from a value on last sampling dates, $P < 0.05$

2 : significantly different from a value on last sampling dates, $P < 0.01$

起線間隔を表2に示した。なお、I区とIV区は実験期間中の給餌率が一定であったため前後期を通しての値として示した。

比成長速度 体長と体重ともにその比成長速度はI区、III区後期、II区後期、III区前期、IV区およびII区前期の順に高かった(表2)。この順序は実験期間中の平均給餌率の高い順序と一致した。無給餌のII区前期では体長の増加がみられず、体重は減少した。

肥満度 I区の肥満度は実験開始時に比べ高くなった。前期の無給餌状態で低くなったII区の肥満度は、その後給餌率を3%に増加した結果、実験開始時とほぼ同じ値にまで回復した。III区の肥満度は給餌率1%の前期では変化せず、その後給餌率の増加(3%)に伴って高くなった。IV区では肥満度の変化はなかった(表2)。1%給餌区で肥満度の変化が見られなかったことから、実験開始以前の平均給餌率が1%程度だったことが示唆される。

鱗形成 鱗径の成長速度はIII区後期、I区、II区後期、IV区、II区前期、およびIII区前期の順に高かった。

表 2 飼育魚の体長, 体重および鱗径の成長速度, 肥満度, 隆起線形成速度および平均隆起線間隔の比較. S. G. R. は比成長速度を示す.

Table 2. Intervals of circuli, condition factors and growth rates of fork length, body weight, scale radius and circulus, formation in sockeye salmon juveniles reared under different feeding levels. S. G. R. shows the specific growth rate.

Experimental group	Start (Aug. 25)	I	II (1st)	II (2nd)	III (1st)	III (2nd)	IV
Fork length (S. G. R. × 10 ³)	—	4.45	0.38	2.38	1.67	4.15	1.72
Body weight (S. G. R. × 10 ³)	—	1.52	-0.24	1.13	0.50	1.39	0.51
Condition factor (%)	8.38	10.01	6.88	8.45	8.47	8.98	8.41
Scale radius (μm/day)	—	0.24	0.04	0.09	0.04	0.25	0.07
Circulus formation (day)	—	11.17	—	15.85	—	7.71	19.46
Interval of circuli (μm)	—	2.72	—	1.44	—	2.00	1.34

特に給餌率 3% の I 区, III 区後期で成長速度が高かった. 無給餌の II 区前期と給餌率 1% の III 区前期では鱗径の増加はほとんどみられなかった. 隆起線の形成速度は III 区後期, I 区, II 区後期および IV 区の順に高かった. 特に給餌率 3% の III 区後期と I 区で形成速度が著しく高かった. それに対して, 無給餌の II 区前期と給餌率 1% の III 区前期では隆起線の増加はみられなかった. このようにベニザケ幼魚の鱗の成長は給餌率 3% の時に著しいこと, 無給餌状態ではみられないことがわかる. なお, どちらも給餌率 1% である III 区前期と IV 区の間では鱗の成長に差がみられた (表 2).

隆起線の増加数が 1 本以上の実験区に限り平均隆起線間隔を比較した. 平均隆起線間隔は I 区, III 区後期, II 区後期および IV 区の順に広がった (表 2). この順序は実験期間中の平均給餌率の高い順序と一致することから, 給餌率と隆起線間隔は比例関係にあることが示唆される.

体長と鱗径の関係 体長 (FL) と鱗径 (SR) の間には一般にアロメトリー式 $SR = bFL^a$ が成り立つ (久保・吉原 1969) ことより, 各実験区ごとにこの式をもとめた (表 3). なお, a は相対成長係数を, b は初成長定数を示す. 各実験区より得られた相対成長係数は III 区前期で 0.68 と最小値を示し, III 区後期で 1.60 と最大値を示した. その他の実験区では相対成長係数は 1.23 から 1.35 と大きな差がみられなかった. 各実験区間で相対成長係数の類似性の検定をおこなった結果 (表 4), III 区前期と他の全ての実験区との間, III 区後期と I 区および III 区後期と IV 区との間で差は有意であったが ($P < 0.02$), I 区, II 区前期, II 区後期および IV 区の間には有意な差が認められなかった ($P > 0.1$).

Check の形成 実験開始時に観察されなかった check は 7 週間後に I 区で, 13 週間後には全区で観察された (表 5). check の出現率は I 区, III 区後期, II 区後期および IV 区の順に高かった. check を 2 つもつ個体は観察されなかった. check は I 区では実験開始後 0.3 本目あるいは 0.4 本目, II 区では給餌率増加後 1.3 本目, III 区では給餌率増加後 1.0 本目, IV 区では実験開始後 1.1 本目の位置に形成された. このように check は給餌率の増加後に形成され, その出現率は実験期間中の平均給餌率の高い順と一致することが知られた. なお, 給餌率が 1% と一定であった IV 区の標本にも check が形成されたが, このことについては十分明かでない.

表 3 飼育魚の体長と鱗径とのアロメトリー式.

Table 3. Regression analysis of relationships between fork length (FL) and scale radius (SR) in sockeye salmon juveniles reared at different feeding levels.

Group	SR = bFL ^a , r		
	a	b	r
I	1.35	2.09	0.925
II (1st)	1.28	2.47	0.728
II (2nd)	1.34	2.24	0.854
III (1st)	0.68	7.73	0.483
III (2nd)	1.60	1.24	0.890
IV	1.23	2.69	0.783

a: relative growth coefficient
b: initial growth constant
r: correlation coefficient

表4 飼育魚の体長と鱗径の関係における相対成長係数(a)の比較検定。

Table 4. Comparisons of relative growth coefficients (see Table 3) between fork length and scale radius among the experimental groups.

P	t	I	II(1st)	II(2nd)	III(1st)	III(2nd)	IV
I			1.076	0.246	9.666	3.504	1.647
II (1st)	>0.2			0.231	2.392	1.276	0.159
II (2nd)	>0.8	>0.8			4.049	1.611	0.602
III (1st)	<0.001	<0.02	<0.001			3.522	2.144
III (2nd)	<0.002	>0.2	>0.1	<0.002			2.156
IV	>0.1	>0.8	>0.5	<0.02	<0.02		

表5 飼育魚の鱗の check の出現率および鱗の中心から check までの隆起線数。

Table 5. Frequency of check formation and mean number of circuli from focus to check and in total, on scales of reared sockeye salmon juveniles on each sampling dates.

Sampling date	Aug. 25				Oct. 12				Nov. 24				
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Experimental group													
Number of sample	13	13	12	11	12	14	15	15	15				
Number of fish with check	0	12	0	0	0	13	9	14	2				
Frequency (%)	0	92.3	0	0	0	92.8	60.0	86.7	13.3				
Total number of circuli	9.9	14.1	10.1	10.8	12.3	18.1	12.7	16.3	14.6				
Number of circuli to check	—	10.3	—	—	—	10.2	11.3	11.8	11.0				

考 察

以上の結果から明らかなように、ベニザケ幼魚の鱗の隆起線間隔は一定水温条件下では餌の量により影響を受けることが示唆される。また、隆起線間隔と体成長速度に正の相関が観察されることから、隆起線間隔は体成長の指標となることも示唆される。これらの結果は体成長および隆起線間隔と給餌量の間には正の相関があると報告した Bilton and Robins (1971a) の結果とよく一致した。

Check は給餌率の増加後に形成されることが今回の実験結果から明らかになった。同様の結果を報告した Bilton and Robins (1971b) は、check の形成機構について、隆起線の形成速度は多くの物理的および非物理的な要素の関数であり、例えば給餌率の増加などといったように、それらの1つが変化した場合に形成速度が早くなり隆起線の間隔が狭くなると推論した。また、隆起線の形成は鱗の上層の骨状周辺部の成長過程において、その周辺部が利用し得る以上に骨質形成物質が分泌され、細胞間に石灰性物質が沈着し、隆起した結果であるといわれている (Neave 1936)。これらのことと check の出現率が給餌率増加後の体成長の著しい実験区ほど高かったことから、ベニザケの鱗の check は摂餌量の増加による骨質形成物質の急激な分泌によって短期間に形成されたことが暗示される。しかし、今回の実験ではこのことを個体の連続観察により確認するまでには至らなかったため、今後更に検討を加えてゆく必要がある。

Bugayev (1981) はカムチャツカ川水系でのベニザケ幼魚の第1休止帯は成長の再開によって形成された隆起線によって形成され、その時期は幼魚の生息場所によって2月から6月の間で変異すると報告している。黒萩・佐々木 (1964) は、支笏湖のヒメマス第3休止帯は体成長と深く関連し、早い年で3月後半、成長の悪い年には休止帯を形成しないで産卵期に達すると報告している。このことと先の実験結果とを考えあわ

せると、ベニザケの鱗の check と休止帯はともにその体成長速度の増加によって形成される可能性が高く、それらの形成時期は自然の生育環境によって変化するものと考えられる。

文 献

- Bhatia, D. (1931): On the production of annual zones in the scales of the rainbow trout (*Salmo irideus*). *J. Exp. Zool.*, **59**, 45-59.
- Bilton, H. T. and G. L. Robins. (1971a): Effects of feeding level on circulus formation on scales of young sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **28**, 861-868.
- Bilton, H. T. and G. L. Robins. (1971b): Effect of starvation, feeding, and light period on circulus formation on scales of young sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **28**, 1749-1755.
- Bugayev, V. F. (1981): Time of first annulus formation on the scales of sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, in the Kamchatka River basin. *J. Ichthyol.*, **21**, 75-84.
- Gray, J. and S. B. Senta. (1931): The growth of fish. IV. The effect of food supply on the scales of *Salmo irideus*. *J. Exp. Biol.*, **8**, 55-62.
- 池田弥生・尾崎久雄・安田秀明(1974a): キンギョの鱗成長に及ぼす給餌量の影響. 日水誌, **40**, 859-868.
- 池田弥生・尾崎久雄・安田秀明(1974b): キンギョの鱗成長の成長に対する種々の餌料の効果. 日水誌, **40**, 877-987.
- 帰山雅秀(1984): サケ幼魚の鱗形成に及ぼす水温の影響. 宮城県気仙沼水試研報, (7), 1-9.
- 小林哲夫(1961): サケ *Oncorhynchus keta* の年齢, 成長並びに系統に関する研究. 北海道さけ・ますふ化場研報, (16), 1-102.
- 久保伊津男・吉原友吉(1969): 水産資源学, 改訂版, P.122-127, 共立出版, 東京.
- 黒萩 尚・佐々木正三(1964): 支笏湖ヒメマスの生態調査II. 成魚の鱗相についての2, 3の観察結果. 北海道さけ・ますふ化場研報, (18), 91-111.
- Neave, F. (1936): The development of scales. *Trans. Roy. Soc. Can.*, **30**, 55-72.
- スネデガー, G. W. ・W. G. コ克蘭(1972): 統計的方法, 第6版, P.148, 岩波書店, 東京.
- 山岸 宏(1977): 成長の生物学, 第1版, P.13-16, 講談社, 東京.