

食用マス生産における水質の問題

白 旗 総 一 郎

Problems of Water Quality in Food Trout Production

Soichiro SHIRAHATA

This paper deals with the variation of water quality between up- and downstream ponds in relation to their food trout production. The major part of the present investigations was conducted in the trout farms at Otomi Village, Yamagata Pref. in 1955 and 1956. Although they have produced rainbow trout at a rate of 150 tons per cubic meter per second of water flow annually, their production is considered to be nearly the maximum limit, because the more the ponds were located down stream, the more a time lag in production appeared and the lower the efficiency of production per unit of pond area became.

The results of water analyses showed that while the water used flows down through the ponds, there are considerable decrease in dissolved oxygen, accompanied with the reduction of pH values, and increases in free carbon dioxide, ammonium- and nitrite nitrogen, phosphates, suspended volatile matters and alkalinity. Under the conditions where the dissolved oxygen content was reduced to 3 cc/l the behavior of "surfacing" of trout was often observed, their feeding activity during the daytime being restricted. Further, under such environment, especially in downstream ponds, the blood corpuscle resistance of trout is observed to be decreased. In the case where the ample oxygen was present, however, even when 0.5 mg of ammonium nitrogen per litre was present together, there was no difference in the blood resistance of trout between up- and downstream ponds. As a result, it can be said that the major factor involved in water qualities in relation to the trout production is dissolved oxygen and its content should be maintained more than 3 cc/l.

The rainbow trout fingerlings in their growing stages consume 230 cc of oxygen, excreting 17 mg of ammonium nitrogen and 2.7 meq of some substances which increase alkalinity in water, per kg of body weight an hour. Therefore, in anticipation of a possible relationship between the oxygen consumption and the rates of excretion, it was presumed that these relations might be available for the evaluation of environment of trout ponds. Thus, in the trout farms where the ponds were arranged in series and where trout were heavily raised, the accumulation of ammonium nitrogen of water was observed at a rate of 0.1 mg per 1 cc decrease of dissolved oxygen. This value is approximate to 0.075 mg which is determined in an experiment. On occasions in which the rate of accumulation of nitrogen per unit decrease in oxygen might be higher than 0.1 mg, some considerations should be given to the water changing rate in ponds; their sanitation and the inflow of water containing nitrogenous substances.

I 緒 言

食用マスの生産は流水養魚池で行なわれているが、そこでは水の繰返し利用のため下流池ほど水質が汚染され、また飼育強度を高めるほど生産が阻害されるという結果をうみがちである。この研究は、食用マスの生産過程における養魚用水の水質変動と魚の生理状態を調べることにより、水質の面からみた生産限界点を求めようと考えた。そのため調査は連続して池が配列され、生産量が年々ふえつゝある山形県大富村の養魚池について主に行なった。

山形県北村山郡大富村は山形市の北 20 km の所にある人口約5,000人の農村であり、同村におけるニジマスの養殖は荷口川流域と小見川流域で行なわれている。この養鱒の始まりは荷口・小見川流域にマス類の好適餌料である *Echinogammarus*¹⁾ が多産し清冽な湧水があること、また当時(1928年)遡上サケの人工ふ化場が下流にあったことが発端になっている²⁾。現在この地区の食用マスの生産は静岡県富士宮地区、長野県明科地区に次いでいる。

この養鱒の特徴は冷水田地帯の農家の副業経営であり、簡単な施設を用いながら尾数歩止りがよいことである²⁾³⁾。池は注排水部の間口が広い河川池の形式で多量の水が利用でき (Fig. 1)、このことは各経営体の単位面積当りの生産量が高いこと的前提条件になっている。荷口川流域の立地並びに社会条件からは経営体数とか飼育面積の増加はそれほど期待できないから、年々の生産量の向上は飼育密度の増加によるものであり、したがって生産量はやがて限界に達するであろうと予想された。すでに1951年には下流域の生産量の低下が報告され、この理由として水の条件、技術、経済的条件が考えられたが²⁾ 具体的な解析は行なわれていない。

この研究の多くは1955—1956年の山形県大富村、及びその後静岡県富士宮市の民間養鱒場において行なった。その間指導と鞭撻を賜わった東北大学農学部松平近義教授、狩谷貞二助教授に感謝の意を表す。また山形県水産課渋谷啓一技師、大富養鱒協同組合柴崎昇、士田勉、柴崎篤、柴崎勝利、仲野慶次郎、斉藤清八の諸氏、及び静岡県富士養鱒協同組合柴崎暹氏、富士和養殖漁業生産組合千代圭三、服部伊太郎両氏ほか組合員各位に厚く御礼申しあげる。

II ニジマス養魚池の水質

1. 荷口川養鱒地帯の一般的水質

荷口川は最上川支流の乱川の滲透水によって生じた川幅 1~5 m、水深 0.1~0.8 m の小川で、水源より 4 km 下流で小見川に合しさらに 4 km 流れて最上川に注いでいる。養鱒区域は上流部の県立種育苗成所から 1.3 km の流程の間であり、調査時で25軒が 6,300 m² の池を経営していた (Fig. 2)。小見川流域では5軒が 2,000 m² の池を経営していた。一池の大きさは 26~50 m² のものが多い。図にみられるように池の注水は河川水の繰返し利用であるが、このほか各経営体に1~3本の打込浅井戸(径3", 深さ4~6m)がありその数は40本に達している。減水期になると集団揚水が行なわれ、その揚水量は全域で 300~400 l/sec に及ぶ。

水質の分析法 荷口川及び養魚池の測定点として Fig. 2 に示した8点 (I~IV, A~

D) を定めた。測定は1955年3月から翌年9月までに6回行なった。主な測定項目とその方法は次のようである。全アルカリ度*, メチルオレンジアニリンブルー混合指示薬を用いる町田法。遊離炭酸*, 炭酸ソーダ溶液による中和法。硬度, EDTA 滴定法。溶存酸素量*, WINKLER 法。蒸発残渣, 未処理試水についての蒸発乾燥法。塩化物, クロム酸カリ-硝酸銀滴定法⁴⁾。硅酸塩, 硅モリブデン酸比色法。磷酸塩, DENIGÈS-ATKINS 法。アンモニウム塩*, NESSLER 比色法。亜硝酸塩*, GRIESS-ROMIJN 比色法。*印以外の分析用試水はトルオールを混和し研究室に持帰ってから分析した。現場での比色分析は簡易比色計⁵⁾によった。

水温と水量の変動 荷口川の最高, 最低水温はそれぞれ9月(14~16°C), 3月(8~10°C)にみられた。盛夏における測定は行なわなかったが, Fig. 3に示した種苗育成所の水温の変動傾向からみると下流域の最高水温は18°Cに達したと推定される。水温の上下流の差は川では約2°C, 池では1°Cでありいずれも小さい。荷口川の流量は初夏から秋にかけて減水する(Fig. 3, St. I)。しかし下流では上中流域の揚水のため上流ほどの減水がなく, 年間600~1,000l/secであった(Fig. 3, St. IV)。

水質の概観 Table 1と2には荷口川とその養魚池の水質を示した。荷口川上流域の養鱒用水の水質については小島・富山⁶⁾による分析例があり, その結果とSt. I, Aのそれとはほぼ等しい, 即ち養鱒用水としてはpHがやや低く, アルカリ度, 硬度, 蒸発残渣, 硅酸塩, 磷酸塩が少ない部類に属している。またわが国の一般河川の性状⁸⁾と比べるとアンモニウム塩が多いことを除けば同じ範疇に属する。要するに荷口川流域の養鱒はいわゆる“soft water”を用いて行なわれている。

上下流の水質変動 池の水は川より注水され再び川に排水される。したがって両者の水質は互いに近似した値を示した。下流ほどpH, 酸素は減少し, 遊離炭酸, 磷酸塩, アン

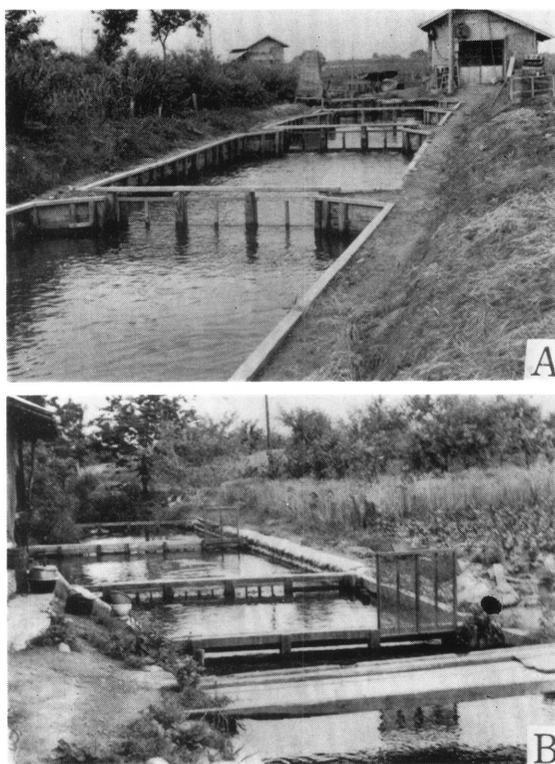


Fig. 1. Representative ponds of raceway type for raising trout at Nikkuchi.

(A, with wooden sides; B, with stone and concrete sides). A common one is about 5 m wide, with an average water depth of 0.7 m and produces 30 to 50 kg of food trout per square meter of pond area annually.

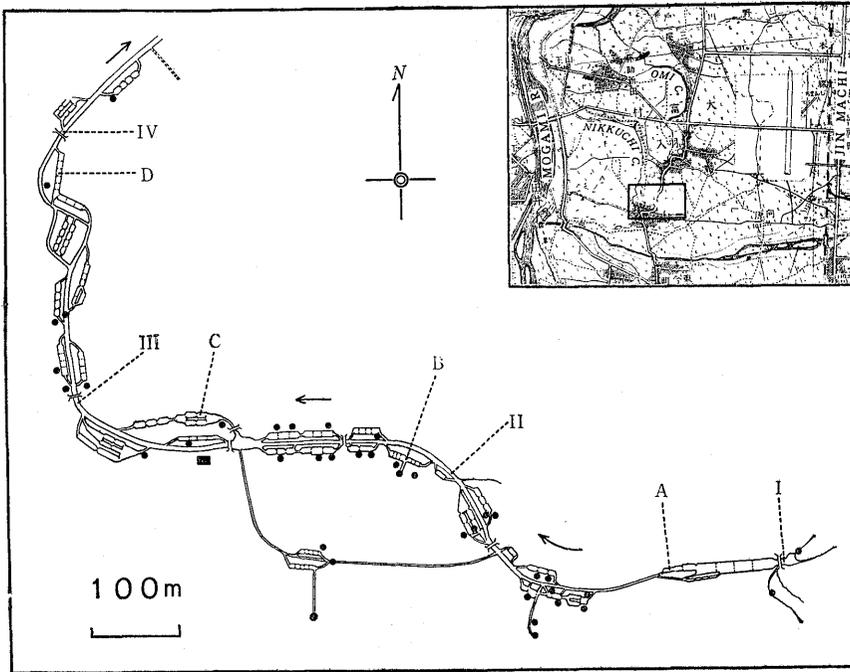


Fig. 2. Sketch showing the Nikkuchi Creek and its adjacent trout ponds (in 1955/56) at Otomi Village, about 20 km north of Yamagata City. Nikkuchi Creek is a small, tributary stream, 8 km long and 1 to 5 m wide, flowing into the Mogami River. Roman numerals and letters, stations for water sampling; black circles, driven-wells for water supply.

モニウム塩、亜硝酸塩の蓄積が著しく、アルカリ度と蒸発残渣にも増加の傾向がみられた。硬度、塩化物、珪酸塩の上下流の差は明らかでない。St. IVの水質は多くの場合St. IIIより良好であったが、これは両者の間に廃池がありこの間の飼育量が少ないために水質が改善されたものと考えられる。

溶存酸素量は上流では水温の変動と逆相関を示し90%飽和度であったが、下流ほど減少しSt. Cの9月、12月には3cc/lにまで減少した。一般に下流の酸素量は水温が10°C以下で水量の多い3月を除くと5cc/l以下であるとみなされる。下流のpHは上流より0.1~0.3低いがこの現象は魚の呼吸代謝生産物である炭酸の影響と考えられるので、1956年3月にSt. I~IVのr pHを測定したところ0.1~0.3単位のpH上昇を示した。遊離炭酸は特に水の停滞するSt. II~IIIに多く年間10mg/l以上であった。アンモニウム、亜硝酸及び磷酸塩はいずれもSt. II. B以下より増大しはじめ、下流域では年間NH₄-N 0.3~0.5mg/l, NO₂-N 0.01~0.05mg/l, PO₄-P 0.03~0.07mg/lを示した。下流ほどアルカリ度が増加する傾向は一般河川についても報告されているが^{7,9)}、荷口川の場合にはこの主原因は後述するように魚のアルカリ度増加成分の排泄によると考えら

れる。また下流池では池水の濁りが目立ってくるが、これは川水の蒸発残渣量及び揮散物量（蒸発残渣—灼熱残渣）にも反映し、特に St. III においてはこれらの値が高い。

2. 2. 3 の水質指標の考察

溶存酸素 下流域の養魚池において、酸素量が約 3cc/l を示す状態ではマスの軽度の鼻あげ現象* がみられた。例えば 1955年12月、St. C, D 附近の池では人が近づくと浮上していた魚群が潜水逃避する際の騒音が聞かれた。このような状態の魚はまだ刺戟反応性を失っておらず、朝の投餌の際の食欲も平常と変わらない。しかし投餌後には典型的鼻あげを行なうものがあり、水面上に脊、尾びれを現わす個体も多かった。下流池では毎朝このような状態が繰返されるのであるが、これはいわゆる慢性的鼻あげ現象¹⁰⁾ である。

さらに酸素量が減少した場合の症状を述べると（1957年3月¹¹⁾、1958年4月静岡県富士宮市の食用マス養魚池において観察）、2.8~2.2cc/l のとき朝の投餌前より魚が騒いで池底の沈澱物をまきあげ池水が著しく濁り、魚の多くは池壁とか排水部に密集して不活発であった。この状態では刺戟に不反応であり摂餌行動もみられなかった。また注水部に集っていた魚のなかには体色変化が著しいものがあり、特に頭部が黄灰色に褪色した個体が多かった。このような体色変化は2、3の海産魚についても観察されているが^{12,13)}、ニジマスでは呼吸困難の前駆症状の1つとして現われる場合が多いようである。

このように養殖ニジマスは溶存酸素量が 3cc/l 以下になると種々の異状を示すのであるが、実験または自然条件下で低酸素量に馴化された場合にはかなり強い抵抗力を示すことが報告されている^{14,15,16,17,18)}。要約すると長期の生存は 1.5cc/l 以下では難しく 2cc/l 以上になって可能になると考えられる。養魚池では事故による断水を除くところのような低酸素量になることは殆どないが、3cc/l 程度の低含量にはしばしば遭遇する。酸素量が 3cc/l 附近では投餌はできるがその結果慢性的鼻あげが繰返され、また後述するように、このような池では生産効率の低下が現われてくることから、食用マス生産の許容酸素

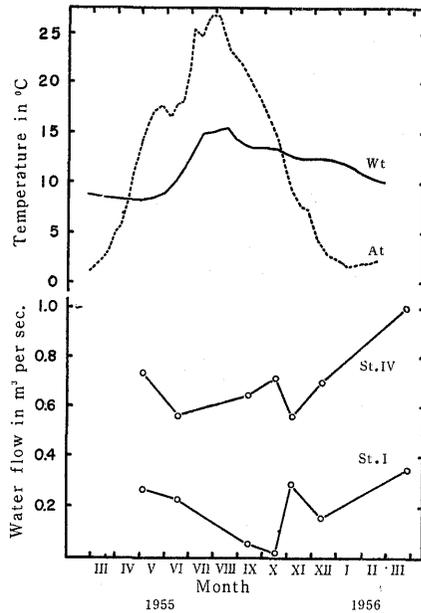


Fig. 3. Fluctuation in temperature near Station I (by courtesy of Prefectural Trout Raising Center) and in water flow of Nikkuchi Creek.

* 養殖ニジマスの呼吸困難時には典型的な「鼻あげ」を行なうものがみられるが、その出現尾数の割合はコイ、ウナギの場合に比べて少ないようである。多くは浮上、狂奔、横転して死亡する。こゝでいう「軽度の鼻あげ」はむしろ SHEPARD¹⁸⁾ の“surfacing”に相当するものであるが、業者はこの状態を「鼻あげ」と呼んでいる。

Table 1. Analyses of water of Nikkuchi Creek, from where water was also led to its adjacent trout ponds.

Date	Station	Water temp. °C	pH	Total alkalinity meq/l	Total hardness meq/l	Dissolv. oxygen cc/l	Free CO ₂ mg/l	Evap. residue mg/l	Ignit. residue mg/l	Chloride-Cl mg/l	SiO ₂ mg/l	PO ₄ -P mg/l	NH ₄ -N mg/l	NO ₂ -N mg/l
May 2, 1955	I	8.8	6.3	0.24	0.41	7.55	8.4	55	35	4.5	12.8	0.01	0.06	0.000
	II	9.1	6.3	0.25	0.40	5.92	13.4	60	40	4.8	12.8	0.02	0.27	0.000
	III	9.6	6.2	0.26	0.39	4.09	18.1	100	35	4.7	13.5	0.05	0.44	0.007
	IV	10.5	6.2	0.25	0.42	4.96	15.9	1139*	1083*	4.7	15.0	0.04	0.42	0.009
Jun. 14	I	12.1	6.2	0.28	0.38	6.69	9.9	65	45	4.6	13.5	0.00	0.05	0.001
	II	12.4	6.2	0.31	0.35	5.39	12.7	70	50	4.2	13.7	0.02	0.19	0.004
	III	13.2	6.2	0.31	0.36	3.85	17.1	85	45	4.8	15.2	0.06	0.53	0.009
	IV	14.5	6.3	0.33	0.39	4.57	15.9	70	50	5.0	14.8	0.04	0.42	0.007
Sep. 13	I	13.9	7.1	0.39	0.50	6.31	7.4	85	42	4.5	18.4	0.02	0.06	0.001
	II	15.2	6.9	0.42	0.47	4.50	11.4	86	47	4.7	15.4	0.03	0.31	0.009
	III	15.9	6.8	0.43	0.48	4.11	13.2	98	45	5.4	16.7	0.03	0.32	0.019
	IV	16.2	6.8	0.42	0.52	4.33	13.2	88	45	5.5	18.4	0.04	0.30	0.020
Dec. 12	I	13.0	6.4	0.35	0.47	6.52	9.4	62	49	3.9	17.5	0.01	0.10	0.001
	II	12.7	6.3	0.32	0.44	4.66	12.6	65	53	4.0	17.8	0.04	0.26	0.006
	III	12.7	6.3	0.39	0.45	3.37	14.2	72	51	4.1	17.8	0.06	0.22	0.008
	IV	12.7	6.3	0.38	0.50	3.64	14.5	68	50	4.6	17.8	0.07	0.28	0.062
Mar. 25, 1956	I	8.2	7.1	0.26	0.57	7.96	6.1	74	49	6.4	15.4	0.01	0.03	0.002
	II	8.8	7.0	0.26	0.53	6.11	9.2	76	55	6.3	16.8	0.02	0.22	0.008
	III	9.3	6.8	0.27	0.57	5.20	10.6	78	54	6.3	15.1	0.04	0.41	0.012
	IV	10.0	6.9	0.27	0.57	4.84	11.4	77	54	6.5	16.2	0.04	0.42	0.014

* Turbid due to the making of ponds

量は 3cc/l 以上と考えてよいであろう。

遊離炭酸 Fry¹⁹⁾ の綜説によると、特に炭酸に敏感な魚を除くと環境水の炭酸は呼吸代謝にあまり影響しないだろうとされている。炭酸に敏感なニジマスについては分圧 10mmHg で呼吸阻害があると報告されているが²⁰⁾、この分圧を水温 10°C 及び 18°C における炭酸含量に換算すると、それぞれ 31, 24mg/l になり Table 1, 2 に示した観測値よりも高い。したがって炭酸が荷口川流域のマス生産に対して重要な制限要因になっているとは考えにくい。

アンモニウム窒素 魚によって環境水が自己汚染される度合いが少ない場合には、魚の成長に有効な事例が認められており、その要因は群集体によって吐出された餌料の微粉子²¹⁾とか代謝生産物、皮膚分泌物²²⁾の成長促進作用によると結論されている。汚染度合いが高い場合には魚に対する悪影響が当然あるわけで、その要因としてはアンモニウム化合物^{23, 24, 25, 26, 27)}とか皮膚粘液のビタミン B₁ 破壊酵素²⁸⁾の作用が指摘されている。この研究では環境汚染の 1 指標としてアンモニウム窒素を測定したのであるが、養魚池におけるこ

Table 2. Analyses of water of trout ponds.

Date	Station	Water temp. °C	pH	Total alkalinity meq/l	Total hardness meq/l	Dissolv. oxygen cc/l	Free CO ₂ mg/l	Chloride-Cl mg/l	NH ₄ -N mg/l	NO ₂ -N mg/l
Mar. 27, 1955	A	9.1	6.6	0.21	0.46	7.99	8.9	5.5	0.05	0.001
	B	9.1	6.4	0.22	0.45	6.80	12.9	5.6	0.19	0.004
	C	9.5	6.3	0.24	0.49	4.94	15.4	5.5	0.41	0.005
	D	9.5	6.3	0.23	0.53	5.68	14.4	5.6	0.36	0.012
Jun. 14,	A	12.6	6.3	0.29	0.37	6.61	9.9	4.9	0.09	0.001
	B	12.1	6.2	0.29	0.34	5.20	14.4	4.5	0.24	0.002
	C	12.6	6.1	0.31	0.36	3.97	16.7	4.6	0.37	0.009
	D	13.8	6.2	0.31	0.39	4.39	15.3	4.6	0.44	0.010
Sep. 13,	A	18.5	7.1	0.42	0.49	5.32	7.7	4.5	0.14	0.004
	B	15.3	6.8	0.38	0.45	5.02	12.4	5.3	0.24	0.010
	C	15.3	6.9	0.42	0.51	3.13	16.0	5.2	0.36	0.013
	D	16.2	6.9	0.42	0.53	3.95	13.5	5.0	0.32	0.019
Dec. 10,	A	12.7	—	0.37	—	6.03	8.9	—	0.10	0.001
	B	12.7	—	0.36	—	4.78	12.8	—	0.23	0.006
	C	12.8	—	0.40	—	3.25	14.5	—	0.34	0.008
	D	12.9	—	0.36	—	3.24	14.5	—	0.31	0.024
Mar. 25, 1956	A	8.6	—	0.24	—	7.64	6.5	—	0.06	0.001
	B	8.2	—	0.27	—	7.52	10.2	—	0.22	0.010
	C	9.4	—	0.29	—	4.92	10.4	—	0.52	0.022
	D	10.0	—	0.29	—	4.90	11.3	—	0.45	0.026

れの蓄積量がどの程度魚に影響があるかを既往の文献を参考にして次のように検討した。

この研究で測定したニジマス養魚池のアンモニウム窒素は最高 0.5mg/l であった。一方、養鱒が成立しうる溶存酸素量の観点から、池水に蓄積するアンモニウム窒素量を推定するとそれは同じく 0.5mg/l という値になる(第IV章, 2参照)。したがってこの程度のアンモニウム窒素量が有害であるかを論ずればよいであろう。アンモニウム塩のマス類に対する影響について従来報告された結果をまとめると Table 3 のようになった。表中アンモニウム塩の濃度はすべて NH₄-N mg/l として示した。この表において THUMANN³²⁾ による硫酸アンモニウム、及び MERKENS and DOWNING³³⁾ による塩化アンモニウムの嫌忌量は、致死量のそれぞれ1/16.3及び1/2.9(高安³⁰⁾による)として算出した。また嫌忌量の1/10を不好量³¹⁾とした。新田³¹⁾によると不好量以下の濃度では魚の生活に影響がないとされているので、この値と実際の養魚池でみられるアンモニウム窒素の値とを比較しようと考えた。

Table 3 をみるとアンモニウム塩によって毒性に差があり、さらに環境水がアルカリ性の場合とか溶存酸素量が少ない場合には作用力が強く現われる傾向³³⁾がある。不好量が最も小さいのはヤマベに対するアンモニアであるが、それ以外の不好量はいずれも

Table 3. Critical ammonium concentration to salmonids, as $\text{NH}_4\text{-N}$ mg/l.

Formula	Species of fish	Condition of experiment	Lethal dose	Abhorrent dose	Unpleasant** dose	Authority
NH_3	<i>S. gairdnerii</i>		—	10.4	1.04	TAKAYASU and SOTOOKA (p.42)
do.	<i>O. masou</i>	8°C, in hatchery water with 0.77 meq/l hardness, containing 127.5 mg/l dissolved solids, and its pH value being 6.8	5.4	1.3	0.13	TAKAYASU and SOTOOKA (p.65)
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	do.		29.1	5.3	0.53	do.
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	do.		138	8.5	0.85	do.
NH_4SCN	do.		129	33	3.3	do.
NH_4Cl	do.		183	63	6.3	do.
NH_4NO_3	<i>O. keta</i>		193	193	19.3	TAKAYASU (p.280)
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	<i>S. gairdnerii</i>	in alkaline water	106	6.5*	0.65	THUMANN
do.	do.	in calcium-poor w.	425	26	2.6	do.
NH_4Cl	do.	20.1°C, O_2 100.3%, pH 8.0	49.6	17 *	1.7	MERKENS and DOWNING (p.525)
do.	do.	pH 7.0	480	166	16.6	do.
do.	do.	pH 6.5	1514	522	52.2	do.
do.	do.	20.1°C, O_2 45.7%	18	6.2	0.62	do.
do.	do.	pH 7.0	175	60	6.0	do.
do.	do.	pH 6.5	552	190	19.0	do.

* The values of abhorrent dose, being derived here from the data of lethal dose obtained by THUMANN, and MERKENS and DOWNING, were calculated by using the abhorrent/lethal ratio after TAKAYASU.

** 'Unpleasant' dose, which has been so-called by NITTA, is approximately equivalent to 0.1 of abhorrent dose; and under the 'unpleasant' dose it is considered not to be harmful to fishes.

0.3mg/l 以上である。

わが国の多くの養鱒用水の pH は 6~7 であり⁶⁾、また下流池ほど pH は低下する（前述）。この pH 域でのアンモニア系の毒性発現要因 “un-ionized ammonia”³³⁾³⁴⁾ の解離度は極めて小であるから、養魚池で測定される程度のアンモニウム含量の魚に対する影響はかなり低く評価してよいのではあるまいか。

Ⅲ 食用マスの生産

上下流池における飼育環境の違いは、ニジマスの生産にどのような影響を及ぼしているのであろうか。以下の結果は大富養鱒漁協の1955年1月~1956年9月の資料と関係組合員より聞取ったものにつきまとめた。なお飼育水面積は著者が測定した値を採用し、食用魚生産に関係のある池面積を求めた。

1955年の生産量は荷口川・小見川両水系合せて 93 ton であったが、1956年には生産が向上し9月までに 137 ton に達した。生産量の70%は冷凍食品として輸出され、体重150g 以上のものがむけられている。時期別の出荷傾向は3~6月に多い (Fig. 4)。1951/52年の傾向²⁾ に比べると出荷のピークは3、4月から5、6月に遅れ、また7月以

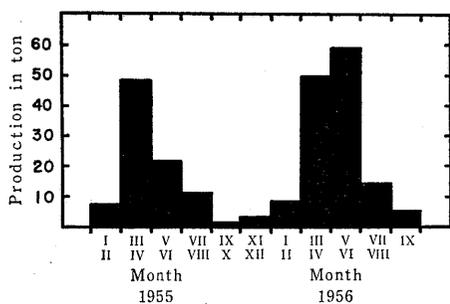


Fig. 4. Histograms showing the food trout production arranged by two months, covering the period from January in 1955 to September in 1956 at Otomi Village.

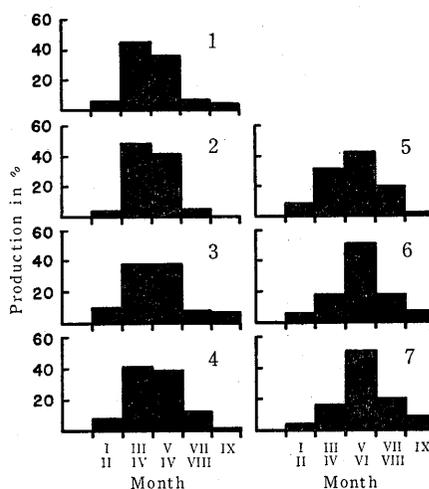


Fig. 5. Histograms showing a time lag in production between up- and downstream ponds. Figure in each panel is the same as shown in Table 4.

降の出荷量もふえている。

1. 上下流池の生産量の変動

出荷ピークの遅れの原因は第1に、国内市場むけの量が毎年ほぼ一定の40 ton

であるから製品サイズの大きい輸出魚の生産割合がふえ、そのため生産期間が延長されたことにも1因があろう。第2には、特に下流域について飼育環境の悪下に起因する成長阻害が考えられる。大富村においては種卵の購入時期は上下流池とも12~1月に集中しているので、飼育開始時の上下流の差はない。そこで、1956年1~9月につき上下流の区域別、時期別の出荷状況を調べた。1経営体の池は2区域以上にわたっている場合があるのでこれらの池は計算の都合上除き、各区域の2, 3経営体ごとにまとめると Fig. 5 のようになった。この図でみると上流域の No. 1, 2 では3~4月のピークが明らかであるが、下

Table 4. Showing the difference in efficiency of trout production in up- and downstream ponds, during the nine-month period, January to September in 1956.

Region*	Pond**	Raising pond area m ²	Food trout production ton	Production rate kg/m ²
Upstream	1	429	15.14	35.3
(A - II)	2	340	15.09	44.3
Mid-stream	3	330	11.72	35.6
(II - C)	4	479	18.33	38.3
	5	528	10.61	20.1
Downstream	6	594	15.09	25.4
(III - IV)	7	392	5.38	13.7

* Roman numerals and letters in parentheses, see Fig. 2.

** Two or more trout farms included, respectively

流の池ほどピークが遅れている。したがって出荷ピークの遅れの原因は、必ずしも製品魚の大きさに起因するのではなくて下流域の環境悪化が大きいと考えられる。

次に、下流の池ほど生産効率も低下しているのではないかという疑いが生ずる。そこで水面積当りの生産量を調べると Table 4 のようになった。即ち荷口川流域のマス生産は中流域の No. 4 までは高くかつ安定しているが、No. 5 以下 (St. C 以下) では明らかに生産効率の低下が認められた。

2. 単位水量当りの生産量

荷口流域の養鱒は川水を反復利用して行なっている。したがって年間の全域生産量と最下流の流量とから水量当りの生産量が算出できる。この養鱒水量としては Fig. 3, St. IV の流量を用い、年平均流量を求めると $0.75 \text{ m}^3/\text{sec}$ になる。1956年の荷口川、小見川両水系の生産量は約 150 ton であるから、これより小見川水系の 40 ton を差引くと荷口川のそれは 110 ton となり、水量 $1 \text{ m}^3/\text{sec}$ 当りの年生産は 147 ton という結果をえた。このような値は一般に同一水系の水を徹底的に利用して食用マスを生産する場合にみられるが (例えばわが国では静岡県富士宮地区等)、アメリカの食用マス養魚場 (Snake River Trout Co.)³⁵⁾ の例でもその生産データから約 90 ton という値が推定された。

以上に述べたように、荷口川流域のニジマス生産は用水を繰返し利用して行なう結果、下流池の生産性はかなり低下していることが認められ、St. III, C の水質分析結果からも 1955/56 年における生産方法を続ける限りは、その生産量は限界点に近いことが推定された。下流池の生産性の低下は、出荷ピークの遅れと経営面積当りの生産量の低下という 2 つの面に現われてきている。これらの原因について考察すると、出荷ピークの遅れは投餌が十分にできないため成長が阻害されることによるものであり、これは特に溶存酸素量の減少と昼間の池水の濁りによって助長されていると考えられる。次に単位面積当りの生産量の低下については、下流域の尾数歩止りが問題になろう。1956年の出荷魚につき、各池の生残率が安定状態にある前年の 12 月の飼育密度 (尾数/ m^2) を調べると、上中流域の 320~400 尾に対して下流域では 170~300 尾に減少していた。下流域の死亡は特に稚魚期の鯉障害とかピンヘッド、白点菌病等による場合が多い。

IV ニジマスの生理状態

1. 上下流池のニジマスの赤血球抵抗力

水質の上下流池における変動が魚にどの程度影響を与えているかをみるために、野外で容易に測定でき総体としての生理状態を表わしうるものとして低張食塩水に対する赤血球抵抗力を調べた。この方法は狩谷³⁶⁾によった。狩谷によると血球抵抗の測定値はヘモグロビン量のそれに比べて個体差が少なく、溶存酸素量の変動によって明らかな変化を示すと報告されている。著者もニジマスにつき呼吸困難時*、「貧血」魚**、サルファー剤中毒*** の場合にいずれも抵抗力が減少することを認めている。

* 抵抗値	0.360~0.381% (食塩濃度)
** 抵抗値平均	0.346%
*** 抵抗値平均	0.399%

Table 5. Difference in blood corpuscle resistance of trout to hypotonic NaCl solution.

a) Measurements were done on rainbow trout fingerlings ranging from 6.1 to 10.7 cm in standard length at temperatures between 13.8 and 14.5°C., on Oct. 13, 1955.

Station of pond	No. of specimen	Mean resist., % of NaCl sol.	S. D.
A	8	0.331	0.012
B	6	0.354	0.042
C	6	0.382	0.013

$$F = 17.4 (p < 0.01)$$

b) Measurements were done on rainbow trout fingerlings ranging from 12.9 to 17.6 cm in standard length at temperatures between 8.6 and 9.4°C. on Mar. 25, 1956.

Station of pond	No. of specimen	Mean resist., % of NaCl sol.	S. D.
A	6	0.317	0.026
C	12	0.321	0.024

$$t = 0.17 (p > 0.5)$$

1955年10月に養魚池 A, B, C の魚につき赤血球抵抗力を測定した結果, 3者には有意の差が認められた (Table 5, a). St. C の魚では実験的に呼吸困難におとしいれた場合の抵抗値 (0.38%) に等しかった. しかし翌年3月には, A と C の魚の抵抗値には差が認められなかった (Table 5, b). この理由としては, 10月には St. C の酸素量は 3cc/l まで減少していたのに対して, 3月では酸素量が充分 (5cc/l) にあったがためと考えられる.

2. ニジマスの酸素消費量及びアンモニウム窒素とアルカリ度増加成分の排泄

魚を容器に収容すると顕著に水のアンモニウム窒素量とアルカリ度が増加するが, これらの排泄は魚の代謝活動の程度を示すものであり, したがって酸素消費量の増減とは一定の関係にあるのではないかと考えられる.

Table 6 に示した実験は, 1965年3月に St. C の投餌1~3時間のニジマスを1尾あて約3lのガラス瓶に収容したのち, 川の中へ放置して行なった. 終了時に異状を呈していなかった9尾について, 単位体重・時間当りのそれぞれの代謝量を測定した.

Table 6 は摂餌状態の魚についての値であるからかなり高い. 例えば, マス類のアンモニウム窒素の排泄量を従来報告されたデータ^{27, 27, 38, 39}) をもとにまとめると, およそ適温範囲で1日程度の絶食では 4~8mg/kg, hr と考えられる. したがって摂餌魚の値, 17mg/kg, hr はきわめて高いが, 実際に養魚池で魚が生活している値にはむしろ近いであろう.

ニジマスの養魚池ではアルカリ度の増加傾向がみられることを前述したが, 成育期のニジマスは 2.7meq/kg, hr の割でアルカリ度増加成分を排泄しているので, この現象は

Table 6. Metabolic rates in pond-raised rainbow trout under the conditions of being fed.

Measurements were done on 9 trout fingerlings of 11-15 cm in standard length at temperatures between 8 and 10.2°C.

	Metabolic rate	
	per kg of b.w., hr mean \pm to.05 \times S.E.	per 1 cc oxygen consumed
Oxygen consumption, cc	228 \pm 47	1
Excretion of ammonium nitrogen, mg	17 \pm 6.5	0.075
Excretion of some substances which increase alkalinity, meq	2.7 \pm 1.1	0.012

飼育魚自身による影響が大きいと考えられる。これらの増加成分の本態については明らかでないが、コイについて里見⁴⁰⁾は排泄されるアンモニウムイオンはアニオンを伴わないので当量のアルカリ度が増加すると述べている。ニジマスの場合には、Table 6 からアルカリ度1当量の増加に対するアンモニウム窒素の排泄量を求めると、それはコイの場合より少なく約半当量という結果になった。

Table 6 には酸素消費 1 cc 当りのアンモニウム窒素とアルカリ度増加成分の排泄量を

Table 7. Rate of accumulation in ammonium nitrogen (mg) per 1 cc decrease of dissolved oxygen observed in intensively stocked trout ponds

Nikkuchi trout farms (Yamagata Pref.)		Fujiwa Trout Farm (Shizuoka Pref.)	
Date of observation	NH ₄ -N	Date of observation	NH ₄ -N
May 2, 1955	0.139	Apr. 10, 1956	0.063
Jun. 14, 1955	0.174	Dec. 30, 1956	0.040
do.	0.169	Feb. 6, 1957	0.032
Sep. 13, 1955	0.121	Mar. 22, 1957	0.099
Dec. 12, 1955	0.062		
do.	0.038		
Mar. 25, 1956	0.126	average	0.097 mg

示しておいた。従来これらの相互関係を調べた研究は少ないようである。アンモニウム窒素に関し、ふ化より25日までのニジマス稚魚の例では酸素消費 1 cc 当りの排泄は 0.025 mg であった¹¹⁾。これに対し成育期のニジマスでは3倍に増加している。

このような酸素消費量に対する排泄物質の割合は、養魚池の水質を評価したり養魚活動の指標として用いることができるであろう。この場合、養魚池の上流部ではアンモニウム

窒素量はきわめて少なく溶存酸素量は飽和点に近いから、単位酸素消費量当りのアンモニウム窒素量の値を用いることが適当と思われる。即ち集約的養鱒のように連続して池が配列され、魚が消費する酸素に比べて空中より侵入する酸素量が少ない場合には、溶存酸素量 1 cc の減少につき 0.075mg のアンモニウム窒素の増加がみられる。実際の養魚池でのこの値を調べると Table 7 に示すように 0.03~0.17mg であり、その変域は大きいが平均すると 0.1mg となって上記の数値に近い。いま、この値を採用して考察を進めると、第Ⅱ章でニジマス生産の許容酸素量を 3cc/l と推定したが、もし当初の溶存酸素量が 8, 7, 6cc/l であれば、生産限界まで魚を養う場合の池水のアンモニウム窒素量はそれぞれ 0.5, 0.4, 0.3mg/l になると予想される。したがって通常、ニジマスが生産される条件下では、その池水のアンモニウム窒素が 0.5mg/l 以上になることはまれであろう*。もし酸素量 1 cc 減少に対するアンモニウム窒素の蓄積率が 0.1mg 以上の場合には、水の交替条件とか衛生管理、または汚水の流入等の諸点を検討する必要がある。

要 約

この研究では食用マスの生産を限定する養魚用水の水質変動に関して検討を行なった。主な調査を行なった 1955/56 年の山形県大富村の養魚池では、上下流に互って川水を反復利用し毎秒 1 m³ の水量当り年間 150 ton の食用マスを生産していたが、当時の生産量は、下流池ほど出荷ピークの遅れと池面積当りの生産率の低下が認められたことから、生産限界に近い値と推定された。

養魚用水の水質を分析した結果、下流池では、pH、溶存酸素量の低下があり、遊離炭酸、アンモニウム塩、亜硝酸塩、磷酸塩、揮散物、及びアルカリ度の増加が認められた。溶存酸素量が 3cc/l に減少すると養殖魚の慢性的鼻あげがみられ投餌が制限される。下流池ではしばしばこの現象が観察された。このような環境の悪化は魚の赤血球抵抗力を減少せしめるが、酸素量が多い場合には 0.5mg/l のアンモニウム窒素が共存しても上下流池の魚の抵抗力には差が認められなかった。食用マス生産の水質要因として重要なのは溶存酸素であり、この許容量は 3cc/l 以上と推定した。

成育期の投餌されているニジマスは kg 体重、1時間当り酸素 230cc を消費し、アンモニウム窒素 17mg、アルカリ度増加成分 2.7meq を排泄する。これらの排泄量は呼吸活動と一定の関係にあると考えられ、この関係を用いて養魚池の環境評価を行なうことができる。連続して池が配列され集約的に食用魚を生産している養魚場では、池水の溶存酸素 1 cc の減少につき 0.1mg のアンモニウム窒素の増加がみられた。一般に養鱒が成立する限りでは、池水のアンモニウム窒素量が 0.5mg/l をこえることはまれであろう。単位酸素の減少に対するアンモニウム窒素の蓄積率が 0.1mg 以上の場合には、魚以外の増加要因につき検討する必要があると考えられる。

* Brockway²³⁾ は池水の交替が悪い連続池の最終池で、アンモニア量が 0.9mg/l に達した例を述べているが酸素量の測定値はない。

また集約度がマスよりも高いコイの流水養魚池の場合には、それほど高い値が報告されていない。群馬県田中養鯉場の 0.1mg/l 以下²⁵⁾、神奈川県多摩川の養鯉場の 0.03mg/l (塩として)⁴¹⁾ でありいずれも低い。これらの養魚場の場合には、調査が上流域の短い範囲の池について行なわれたためと思われる。

文 献

- 1) 亙理新一： 荷口産ガンマルス *Echinogammarus annandalei* TATTERSALL の生活史に就いて，水産学会報，6，181-209 (1935).
- 2) 内水面漁業経済調査委員会・山形県： 山形県荷口の養鱒について，内水面漁業資料，35 輯，55pp. (1953).
- 3) 山形県水産課： 山形県養鱒事業の概況，9pp. (1954).
- 4) 三宅泰雄： 水質分析，171pp. 小山書店，東京 (1949).
- 5) 富山哲夫・渡辺 実： 水の微量分析法に関する研究 (第2報) 水の比色分析用一新携帯比色計の性能に就いて，水研誌，32，579-592 (1937).
- 6) 小島良夫・富山哲夫： 水の生産力を支配する要因に関する研究Ⅳ. ニジマス稚魚の斃死に及ぼす水質の影響，日水誌，15，277-282 (1949).
- 7) 小林 純： 本邦河川の化学的研究 第3報 関東地方の水質について，農学研究，43，1-40 (1955).
- 8) 小林 純： 日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究，同誌，48，63-106 (1961).
- 9) 中央気象台海洋課： 関東主要河川の水質調査報告，海洋報告，3，17-35 (1953).
- 10) 白旗総一郎： ウグイの鼻あげと代謝活動，本誌，14，53-67 (1963).
- 11) 白旗総一郎・服部伊太郎・千代圭三： 養鱒の水量について，第7回養鱒部会要録，81-93 (1957).
- 12) 原田 薫 ほか： 流れ藻に付くブリその他有用魚種の種苗化に関する研究，昭36・種苗生産技試報 (宮崎県)，1-18 (1957).
- 13) 伊井 明・渡辺泰輔： 水槽に飼育した魚類の断水による窒息死経過の観察 第1報，兵庫水試報，7，71-89 (1952).
- 14) 川尻 稔： 鱒卵及稚魚の酸素消費量に関する試験，水講試報，21，54-63 (1925).
- 15) DAVISON, R. C. : Some effects of low concentration of dissolved oxygen upon juvenile silver salmon, Master's Thesis, Oregon (1954). "DOUDOROFF, P. : The Physiology of Fishes (BROWN ed.) II, 414-415 から引用"
- 16) JAHODA, W. J. : Survival of brook trout in water of low oxygen content, *J. Wildl. Management*, 11, 96-97 (1947).
- 17) LINDROTH, A. : Vitality of salmon parr at low oxygen pressure, *Annual Rep. Inst. Freshw. Res. Dröttningsholm*, 29, 49-50 (1949).
- 18) SHEPARD, M. P. : Resistance and tolerance of young speckled trout (*Salvelinus fontinalis*) to oxygen lack, with special reference to low oxygen acclimation, *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 12, 387-446 (1955).
- 19) FRY, F. E. J. : The effect of carbon dioxide on oxygen consumption. The Physiology of Fishes (BROWN ed.) I, 45-46 (1957).
- 20) van DAM, L. : On the utilization of oxygen and regulation of breathing in some aquatic animals, Diss. Gröningen (1938). "FRY, F. E. J. から引用"
- 21) ALLEE, W. C., OESTING, R. B. and W. H. HOSKINS : Is food the effective growth promoting factor in homotypically conditioned water ?, *Physiol. Zool.*, 9, 402-432 (1936).
- 22) ALLEE, W. C., FINKEL, A. J. and W. H. HOSKINS : The growth of goldfish in homotypically conditioned water; A population study in mass physiology, *J. Exp. Zool.*, 84, 417-443 (1940).
- 23) BROKWAY, D. R. : Metabolic products and their effects, *Prog. Fish-Cult.*, 12, 127-129 (1950).
- 24) IVLEV, V. S. : Die Giftige Wirkung der Stoffwechselprodukte von Fischen, *Z.f. Fisch.*, 32, 660-673 (1934).
- 25) 川本信之： 集約的養鱒池の養魚生産量について，水産学集成 (末広恭雄・ほか編)，717-720，東京大学出版会，東京 (1957).
- 26) KAWAMOTO, N.Y., INOUE, Y. and S. NAKANISHI : Studies on effects by the pond-areas and the densities of fish in the water upon the growth rate of carp (*Cyprinus carpio* L.), *Rep. Fac. Fish. Pref. Univ. Mie*, 2, 437

- 447 (1957).
- 27) TANIZAKI, M. et al. : A consideration on live transportation of rainbow trout *Salmo gairdnerii irideus* G., *Ibid.*, 2, 429-436 (1957).
 - 28) YASHOUV, A. : The excreta of carp as a growth-limiting factor, *Bamidgeh*, 10, 90-95 (1958, *Biol. Abst.*, 35, 31160).
 - 29) 高安三次・外岡和雄 : 工業薬品ノ魚族ニ及ボス影響ニ関スル試験報告, 70pp. 北海道水産試験場, (1924).
 - 30) 高安三次 : 工業薬品の魚族に及ぼす影響に関する試験 (第2報), 孵化場試験, 10, 259-281 (1955).
 - 31) 新田忠雄 : 魚類の不好量に関する研究 III, 内海水研報, 7, 1-5 (1955).
 - 32) THUMANN, M. E. : Über die Wirkung von Ammoniumsallösungen auf Regenbogen- und Bachforellen und einige Fischnährtiere, *Abhandl. Fisch. Liefg.*, 2, 327-338 (1950). "SCHÄPERCLAUS, W. : Fischkrankheiten 3ed. p. 567 から引用."
 - 33) MERKENS, J. C. and K. M. DOWNING : The effect of tension of dissolved oxygen on the toxicity of un-ionized ammonia to several species of fish, *Ann. appl. Biol.*, 45, 521-527 (1957).
 - 34) WUHRMANN, K., ZEHENDER, F. and H. WOKER : Über die fischereibiologische Bedeutung des Ammonium- und Ammoniakgehaltes fließender Gewässer, *Viert. Jahrsch. Naturforsch. Ges. Zürich*, 92, 198-204 (1947).
 - 35) SHEA, P. D. : Top-quality fish operation, *Food Eng.*, 80-81 (1955, Jan.)
 - 36) 狩谷貞二 : 魚類の赤血球抵抗力に就いて 第1報 呼吸困難状態の魚の赤血球抵抗力, 日水誌, 15, 728-734 (1950).
 - 37) PHILLIPS, A. M. Jr. et al. : The nutrition of trout, *Cortland Hatch. Rep.*, 19 (1950). "佐伯から引用."
 - 38) PHILLIPS, A. M. Jr., and D. R. BROCKWAY : Effect of starvation, water temperature, and sodium amytal on the metabolic rate of brook trout, *Prog. Fish-Cult.*, 16, 65-68 (1954).
 - 39) 佐伯有常 : 魚介類の循環濾過式飼育法の研究 基礎理論と装置設計基準, 日水誌, 23, 684-695 (1958).
 - 40) 里見至弘 : 内水面漁業生産の指標水質要員としてのアルカリ度の意義について, 淡水研報 12 (1), 65-74 (1962).
 - 41) 渡辺 一 : 流水養魚池の水質に就て, 水研誌, 26, 112-133 (1931).