

水産水底質環境に関する研究 — Ⅲ

各地の流水養魚場の水質管理の実態調査結果

箕 田 冠 一

I 緒 言

本研究の第Ⅰ，Ⅱ報において、本県下の流水養魚池を中心に、その基本的生産構造の内、主に、水理水質に関する諸問題についての調査研究結果を述べた。これらの点は、流水池における養魚生産を支える基盤として重要なものと思われ、且つ、今後更に詳しく研究さるべきものと思料されるが、一方、自然の立地条件を異にする他の地域の流水池で、これらのことが、どのような形で表れて来るかという点も検討されるべき視点といえよう。

筆者は、たまたま、山梨県下及び長野県下にまたがる八ヶ岳山麓の湧水地帯 8ヶ養鱒場を実地調査する機会を得た。これらの地帯は、本県下とは地質的に大きく異り、従って、水源水の水質もかなり大きく異っている。本報告では、これらの養鱒場の水質調査結果を述べ参考に供したい。

Ⅱ 調査実施日時及場所

昭和43年3月29日 八ヶ岳養鱒場
" 3月30日 千曲養鱒場 本場及分場

調査場所及地点

山梨県北巨摩郡大泉村谷戸	三幸養魚株式会社八ヶ岳養鱒場	30点
長野県佐久郡八千穂村畑清水	三幸養魚株式会社千曲養鱒場 本場	16点
	" 分場	7点

詳細は、調査地点図参照

Ⅲ 調 査 結 果

各養鱒場について、調査した所を一括して示すと第1図～第3図，第1表，第2表のとおりである。

Ⅳ 考 察

1 水理、水質の面から見た流水養魚池の生産構造

流水式養魚法において、最も重要視されるべきものは、水源水の質及び量である。

一般に、生物の集約的飼育には、当然飼育経過から環境の悪化が起るものであり、流水養魚の場合、集約化の程度が高いだけ、この傾向も強い。この環境水の悪化傾向を常時大量の注水により緩和是正し乍ら、円滑に養魚を継続して行くのが流水養魚であるといえる。従って、水源水の質及び量は、流水養魚の生産を第1義的に決定する条件になっている。

養魚過程で起る環境水の悪化傾向とは、大量の魚の生活代謝の結果生ずる各種の水質変化であって、呼吸による O_2 の減少、 CO_2 の増加、これに伴う、酸度の増加、PHの低下、栄養代謝による、 NH_4-N の増加、有機物の増加、排泄物及びこれから発生する物質の増加、餌の残滓の堆積、など種々の内容を含むが、その中で特に重要視しなければならないのは、量的に見ても、影響力の強さから見ても、 O_2 であろう。

流水養魚池において、水源水質が良好である場合、水質上問題となるのは、第1に飼育魚の消費による O_2 の減少である。しかし O_2 の欠乏は、瀑下、ポンプによる逆揚水などで比較的容易に補給することができる。この様な形で、 O_2 の補給がなされている場合には、 O_2 以外の水質悪化が生産の制限要因となって来る。これらの水質悪化は複雑で、現状では、有力な改善方策は殆んど無いといった方が正しい。従って、これらは、水源水で稀釈流去するしか方法はない。

O_2 の減少にしても、その他の水質悪化にしても、池中の養殖魚自体の生活現象の結果必然的に生起するものであるから、それらの程度は流入水量に対する養殖魚の量に対応することになり、ここに流入水量に対する放養魚量の限界が生ずる。

これらの限界を決定する主な要素は、魚種及び魚体型による生活代謝量の差及び、その産物である水質悪化に対する抵抗力の差が基となり、水温がこれに関与する。

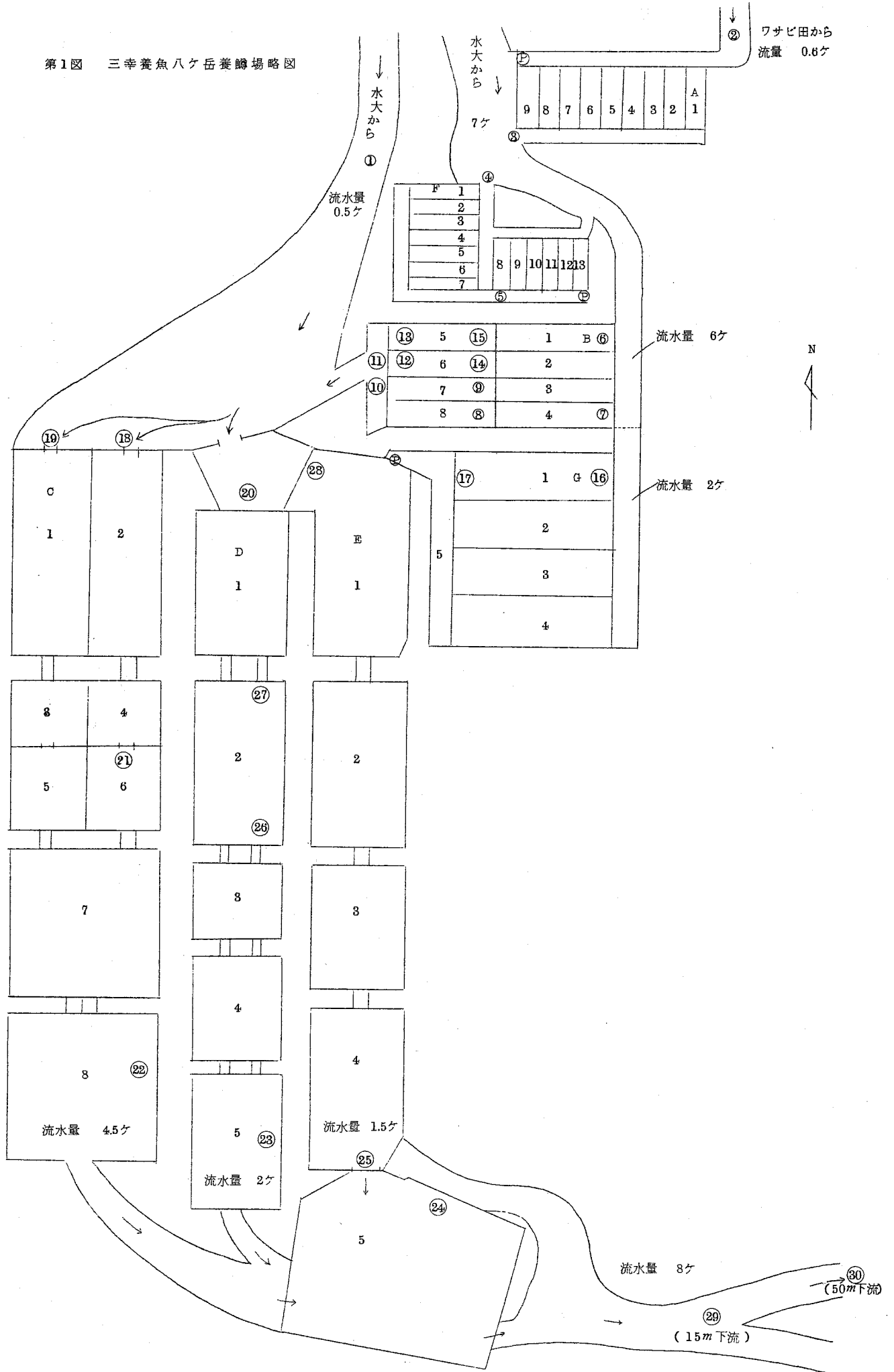
これを水質面から見ると、一次的にはその水温における放養魚(この場合はニジマス)の O_2 の消費量と、外囲水の O_2 量に対する耐性の限界が一つの大きな放養密度の限界を形成する。この状態では、まだそれ以外の水質悪化はそれ程顕著ではなく、又、影響力も小さいから、一般には、 O_2 の補給を行うことでこの限界を大きくすることが可能であり、実際に多くの養魚場において、このことが行われている。

この様にして、流入水量に対する放養量が著しく増大すると、次に O_2 以外の水質悪化が問題となる。この点は、 O_2 の欠乏の様に直ちに斃死につながる様な急激な影響を示さないか、長い養殖期間中には、摂餌の悪化、成長の停滞、原因不明の死亡率の増加、病気発生の条件等の形で悪影響を及ぼす。

これらの水質悪化の内容は、現状で必しもすべて明らかになっているわけではなく、且つその内容は極めて複雑なものであるが、その内従来の研究で明らかになっているのは、 CO_2 の増加、PHの低下、 NH_4-N の増加、酸度の増加などが必ず表れることである。従ってこれらのものを分析検討すれば、水の総合的な汚れの目安が得られる。

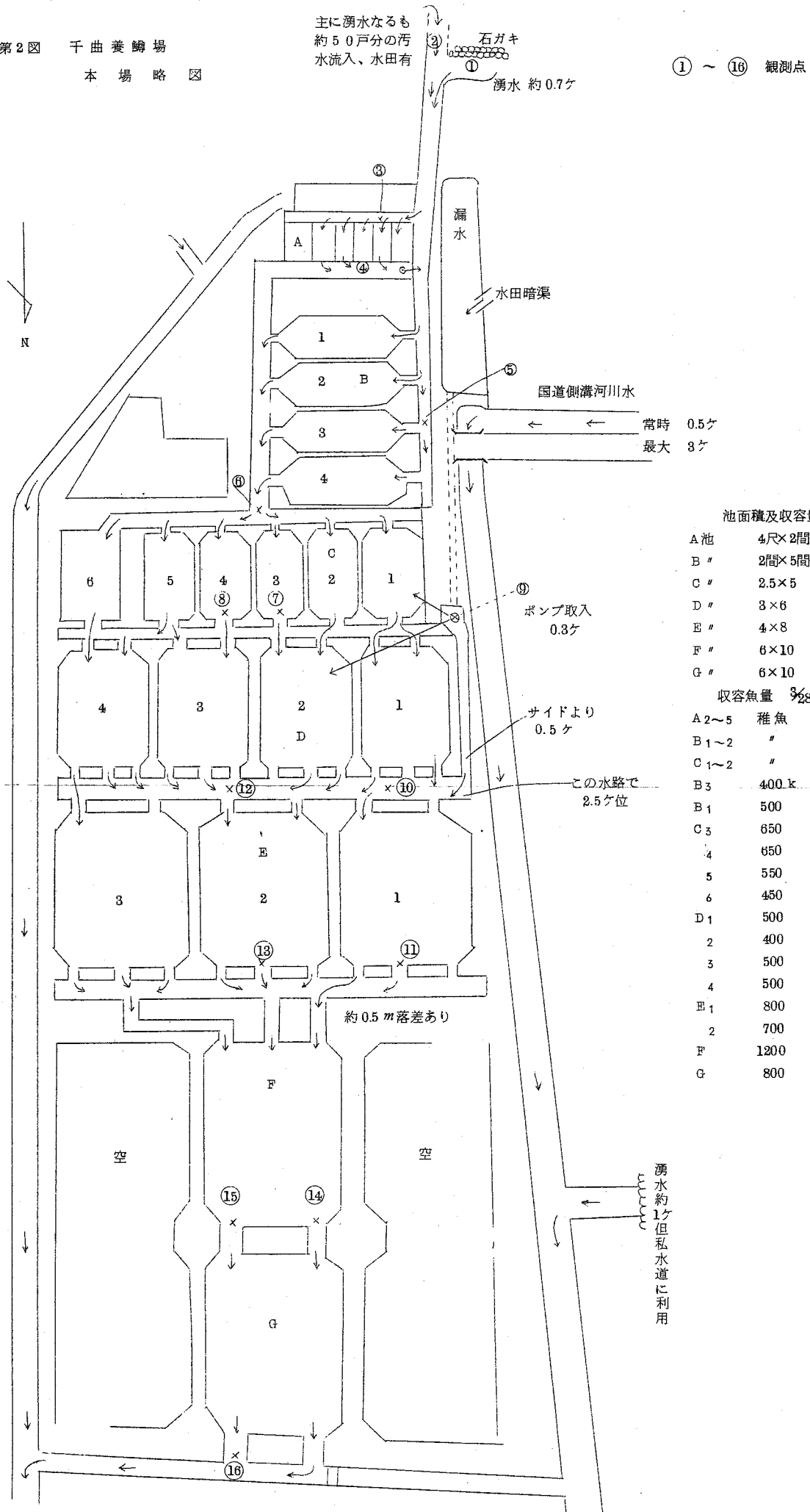
これらの水質悪化は O_2 の場合と異って簡単に改善することが出来ないで、現状では、これにより生ずる放養密度の限界を破ることは困難である。従って、この限界内で安全性を見乍ら、養魚生産性を上げて行く方向が、水資源の合理的な利用法と云えよう。

第1図 三幸養魚八ヶ岳養鱒場略図



第2図 千曲養鱒場
本場略図

—178—174—



① ~ ⑬ 観測点

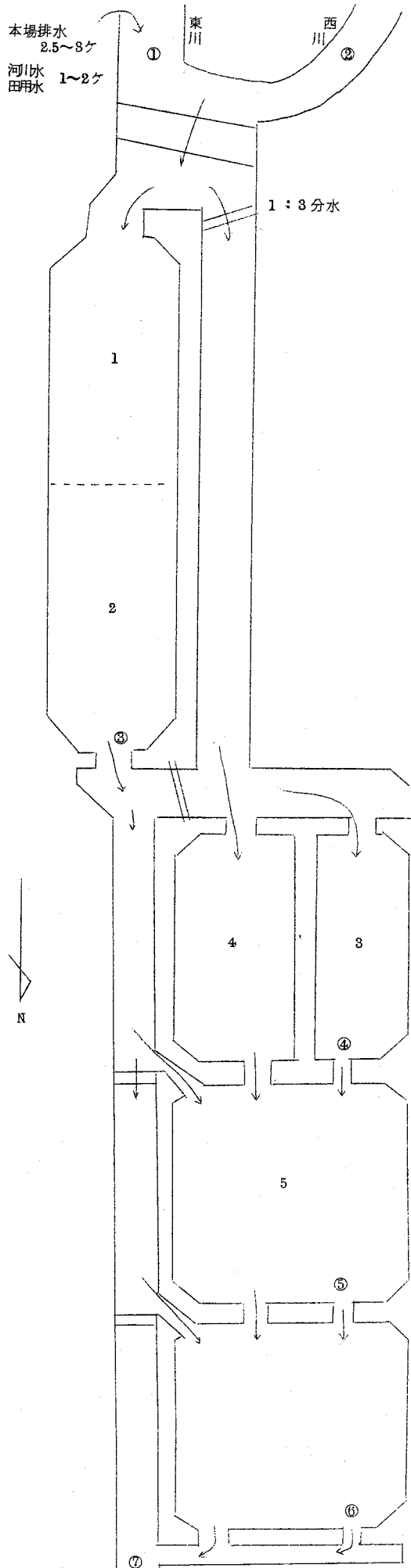
池面積及収容量

A池	4尺×2間	6面
B"	2間×5間	4面
C"	2.5×5	6面
D"	3×6	4面
E"	4×8	3面
F"	6×10	1面
G"	6×10	1面

収容魚量 $\frac{3}{28}$ 現在

A2~5	稚魚
B1~2	"
C1~2	"
B3	400 k
B1	500
C3	650
4	650
5	550
6	450
D1	500
2	400
3	500
4	500
E1	800
2	700
F	1200
G	800

第3図 千曲養鱒場 分場略図
(本場下流約100m)



本場漏水 1~1.5ヶ
湧水 1.5ヶ 計 7~12ヶ
河川水 1~4ヶ

①~⑦ 観測点

池面積及収容魚量

3/28日現在

新 1.2号池	30坪	2,800 kg
新 3 "	15坪	1,800 "
新 4 "	15坪	-
新 5 "	30坪	3,000 "
新 6 "	30坪	2,200 "
計	120坪	9,800 "

第1表-1

三幸養魚KK流水養鱒池調査結果表

O₂ %は各海拔の気圧に補正した。

O₂ cc/lはメーター測定O₂ %から換算

-177-178-

養鱒場	区分	流量	面積	放 養 魚			測点	時 刻	採水	水温	O ₂	O ₂	備 考	
				種類	尾 数	重量					cc/l	%		
八 ヶ 岳 養 鱒 場	水源水路	14 l/s					①	時 分 NO 13. 47 88		12.1	65	98	水大排水からC Dへ	
	水源水路	16 l/s					②	13. 53	314	11.1	67	99	ワサビ田からAへ	
	A区 1			マス 稚魚	100,000	60.0								
	2			"	100,000	200								
	3			"	100,000	200								
	4			"	100,000	200								
	5			"	50,000	100								
	6			"	100,000	200								
	7			"	100,000	200								
	8			"	100,000	200								
	9			"	50,000	150								
	A区排水路							③	13. 56		11.2	56	82	
	F区流入水							④	14. 00		11.5	67	99	
	F区 1				マス 稚魚	70,000	42.0							
	2				"	"	"							
	3				"	"	"							
	4				"	"	"							
	5				"	"	"							
	6				"	"	"							
	7				"	"	"							
	8				"	"	"							
	9				"	"	"							
	10				"	"	"							
	11				"	"	"							
	12				"	"	"							
	13				"	"	"							
	F区排水路							⑤	14. 04		11.6	64	94	
	B区 1				マス 養成魚	51,000	1285	⑥	14. 07		11.5	66	98	
2				"	37,000	1665								
3				マス 稚魚	200,000	400								
4				"	200,000	400	⑦	14. 10		11.6	66	98		
5				マス 養成魚	17,000	935	⑮	14. 35		11.8	43	64		
							⑯	14. 30		11.7	31	45		
6				"	17,000	935	⑭	14. 33		12.1	4.0	60	落口下	
							⑰	14. 27		11.7	2.7	40		
7				"	50,000	150	⑩	14. 24		11.7	3.7	56	B6 排水	
							⑱	14. 22		11.7	6.0	89	B7 排水	
8				稚魚	80,000	240	⑧	14. 15	324	12.0	6.1	91	B8 上	

計800,000尾
1510Kg

計910,000尾
546Kg

第1表-2

養鱒場	区 分	流量	面積	放 養 魚			測点	時 刻	採水	水温	O ₂ cc/l	O ₂ %	備 考	
				種類	尾 数	重量 Kg								
千 曲 養 鱒 場	G 1			マス 養成魚	6,000	480	⑬	時 分 14. 36		11.8	5.0	75	池中 上	
							⑭	14. 38	302	12.1	2.8	42	池中 下	
	2			"	27,000	1,350								
	3			"	10,000	700								
	4			"	7,000	490								
	5			"	1,500	150								G池計3.170Kg
	C	1			"	24,000	1,680	⑰	14. 48		11.8	5.5	82	落口上
		2			"	26,000	1,500	⑱	14. 45		11.8	5.4	81	"
		3			"	14,000	840							
		4			"	19,000	950							
		5			"	20,000	1,000							
		6			"	9,000	540	㉑	14. 56		12.0	3.0	44	池中落口上
		7			"	33,000	2,310							
		8			"	31,000	2,480	㉒	15. 04		12.2	2.5	38	C池計11,300Kg
	D	1			"	22,000	1,540	㉓	14. 51		11.7	5.7	84	
2							㉔	15. 32		12.0	4.9	73	池中央	
							㉕	15. 28		12.1	3.4	51	池中排水部	
3				"	24,000	1,440								
4				"	14,000	1,120								
5				"	13,000	1,040	㉖	15. 05		12.1	2.3	34	D池計7,100Kg	
E		1			"	16,000	1,120	㉗	15. 35		11.9	4.6	68	池の中 上
	2			"	20,000	1,400								
	3			"	17,000	1,360								
4			"	14,000	1,120	㉘	15. 20		12.2	2.7	41	池の中 排水部		
5			"	37,000	2,960	㉙	15. 15		12.2	3.0	45	E池計7,960Kg		
総排水川	216 l/s						㉚	15. 45	321	12.0	5.0	75	流出後 15m	
" "	"						㉛	15. 50	64	12.0	5.2	78	" 50m	
本 場	水源湧水泉	19 l/s					①	10. 53	319	12.3	6.5	94		
	水源流水	35 l/s					②	10. 57	315	12.5	6.5	94		
	A 池		1.3坪 ×6面	マス 稚魚	-	-	③	11. 00		12.4	6.5	94	流入水路	
							④	11. 03		12.5	6.3	91	排水路	
	B 流入水路	54 l/s	-	-			⑤	11. 05		12.5	6.6	96		
	B 池	1		10坪	マス 稚魚									
		2		"	"									
		3		"	マス 養成魚		400							
		4		"	"		500							
	B 排水路	54 l/s	-	-			⑥	11. 09		12.4	6.2	90		
C 池	1		12.5坪	稚 魚		-								
	2		"	"		-								
	3		"	養成魚		650	⑦	11. 11		12.3	4.5	65		
	4		"	"		650	⑧	11. 15		12.6	3.8	55		
	5		"	"		550								

第1表-3

養鱒場	区分	流量	面積	放 養 魚			測点	時刻	採水	水温	O ₂ cc/l	O ₂ %	備 考	
				種類	尾数	重量 Kg								
千曲 養鱒場	C池 6		12.5坪	養成魚		450								
	サイド水源	7ℓ/s					(9)	11.18		12.2	6.4	9.2	漏水+湧水 ポンプ吸上	
	D池 1			養成魚		500								
	2			"		400								
	3			"		500								
	4			"		500							D池計1900Kg	
	E流入水	68ℓ/s					(10)	11.22		12.5	4.9	7.1	E ₁ 上	
	"						(12)	11.26		12.5	3.5	5.0	E ₂ 上	
	E 1			32坪	養成魚		800	(11)	11.33		12.5	2.9	4.1	E ₁ 池中排水部
	2			"	"		700	(13)	11.30		12.5	3.3	4.8	E ₂ "
	8			"	"		-							
	F			60坪	養成魚		1200	(14)	11.37		12.3	3.8	5.5	主排水部 池中
							(15)	11.42		12.3	3.8	5.5	従 " "	
G			60坪	"		800	(16)	11.46	70	12.3	3.5	5.0	排水部 池外	
分 場	水源水	95 ~135ℓ/s					(1)	11.55	303	11.7	5.5	7.8	東川	
	"	95 ~190ℓ/s					(2)	12.00	322	11.8	5.9	8.5	西川	
	新1号池		15坪	養成魚										
	2 "		15坪	"		2800	(3)	12.03		11.6	3.8	5.4	池中排水部	
	3 "		15坪	"		1800	(4)	12.09		11.6	4.4	6.3	"	
	4 "		15坪	-		-								
	5 "		30坪	養成魚		3000	(5)	12.14		11.6	4.0	5.7	池中排水部	
	6 "		30坪	"		2200	(6)	12.19		11.6	3.5	5.0	"	
総排水	190 ~325						(7)	12.26	325	11.7	3.5	5.9	川	

第2表

主要地点の水質分析結果

試水は懸濁物を除いて分析した。アルカリ度・酸度はCaCO₃換算PPm

養鱒場	地点	PH	RPH	蒸発 残渣 PPm	灼熱 減量 PPm	MO アルカリ 度PPm	P.P 酸度 PPm	MnO ₄ 消費量 PPm	Ca PPm	Cl PPm	SO ₄ PPm	SiO ₂ -Si PPm	Fe PPm	PO ₄ -P PPm	NH ₄ -N PPm	NO ₂ -N PPm	NO ₃ -N PPm
八ヶ岳	水源(水大)	7.61	7.75	72	26	24.7	3.1	0.76	4.85	0.0	4以下	22.9	0.00	0.113	0.09	0.002	0.054
	水源(ワサビ田)	7.70	7.62	94	61	22.7	2.8	0.00	4.80	0.0	"	22.3	"	0.097	0.06	0.000	0.033
	B ₈ 上	7.40	7.72	78	24	24.7	4.0	0.32	5.00	0.0	"	22.9	"	0.119	0.30	0.002	0.030
	G ₁ 下	6.75	7.70	83	36	26.2	6.2	2.21	4.85	0.1	"	22.9	"	0.167	0.86	0.006	0.028
	総排水(川15m下)	6.95	7.65	84	45	25.1	5.0	1.64	4.92	0.1	"	22.9	"	0.178	1.13	0.008	0.056
	"(50m下)	7.00	7.70	78	39	24.4	4.0	3.35	5.82	0.0	"	22.9	"	0.132	1.13	0.011	0.059
千曲 本場	水源(泉)	7.92	7.85	110	54	38.1	4.5	0.25	7.15	3.0	"	23.6	"	0.065	0.00	0.000	0.056
	"(川)	7.76	7.90	97	26	39.2	3.1	0.00	7.32	2.2	"	23.6	"	0.068	0.00	0.000	0.128
	総排水	7.20	7.85	72	38	38.9	4.7	2.78	7.40	2.7	"	22.9	"	0.131	0.86	0.003	0.073
千曲 分場	水源東	7.60	7.80	101	44	27.6	3.2	1.58	7.05	2.6	"	22.9	"	0.097	0.15	0.005	0.098
	水源西	7.40	7.75	98	38	36.7	3.0	2.15	6.93	2.2	"	22.9	"	0.103	0.51	0.008	0.117
	総排水	7.15	7.70	99	47	36.9	5.5	4.61	7.85	2.1	"	22.9	"	0.153	0.61	0.010	0.101

-181-182-

2. 測定分析結果について

この様な観点から、各養鱒場について、 O_2 量測定及び重要地点の採水分析を実施したが、その結果について若干検討を加えてみる。

2-1

八ヶ岳養鱒場(第1図及び第1, 2表参照)

a) O_2 について

O_2 は理化学的には、その地点の大気圧及び温度に対応して、水中に溶解込み得る量が定まる。この理論的な飽和量に対する実際の水中溶存 O_2 量の割合を%で示すと飽和度が得られる。

本調査の対象養鱒池はいずれもかなり海拔が高く、そのため気圧はかなり低くなるので、 O_2 の水中への溶入等に関して、この点、補正する必要がある。

大気圧は一般に高度が大となるに従って低下するが、その割合は、吉村(湖沼学: 附録P54)によれば、海拔600m, 92.8%, 700m, 91.7%, 1000m, 88.3%, 1100m, 87.3%(いずれも一気圧を100%として)となる。

八ヶ岳養鱒場の海拔を1000mとすると、水中にとけ得る O_2 量は平地の約88%であり、千曲養鱒場の場合は92%前後となる。第1表の O_2 はこれらの点を考慮して、八ヶ岳の場合88%、千曲の場合を92%の大気圧と見做して補正した。

水源水は、水大実習場からの排水と、ワサビ田から来るものと二種類あるが、いずれも、飽和に近く O_2 を溶存して居り良好である。A区に於ては、ワサビ田からの水源水が14ℓ/s程度と水大からの水源水が入って居り、A区排水部で、5.6cc/ℓ程度と約1cc程度減少しているが、良好な条件に保たれているといえる。

一般に、池に於ては、瀑気或いは、ポンプアップ逆揚水など O_2 の出入りに関与する条件のない限り(流入水部の O_2 量-排水部の O_2 量)×流量=魚の O_2 消費量と考えて良く、流水池の場合、池水表面からの O_2 の溶入量は僅である。

F区においても、流入水量に比して、放養魚量が少いため、 O_2 の大巾な減少は認められない。A区及びF区共、水量が豊富なため、良好な条件に保たれているといえる。

B区に於ては部分的にかなり顕著に O_2 が減少している地点がいくつか見られる。

B-5, B-6がそれで、これらは、1~2号池と直接連っているから、1-5号, 2-6号、各々1連の池と見てよい。B区には約160ℓ/sの水が入っている由でこれが均等に4分されているとすると、1-5号, 2-6号にはそれぞれ約40ℓ/sの流入水があることになる。B区流入水は、 O_2 , 6.6cc/ℓであるから、B1-5号では、2.2tonの放養魚が(6.6-3.1)×40=140cc O_2 を消費したことになり、B2-6号では、(6.6-2.7)×40=156cc O_2 を2.6tonが消費している。

これらを1ton当りに換算すると、1-5号で64cc/ton/s 2-6号で60cc/ton/sとなる。これらの計算値は水量が正確な実測値に基いていないので詳しく検討することは困難であるが、得られた値は、従来現場が滋賀県下の養魚場で測定した値と良く一致している。

この様にして池中で、 O_2 は魚に消ヒされ、5号、6号池では3.1cc~2.7ccという低い値となり、 O_2 の点のみでも、これ以上の放養は危険である。

G区においても、1号池のみの測定値ではあるが、限界に近い放養量と思われる。

C区では、流入水は約120ℓ/s O_2 量は55cc/ℓである。

最終8号池に於て O_2 量2.5cc/ℓ 従って、3cc×120ℓ=360ccが毎秒消費されていることになるが、魚の O_2 消費が約60cc/ton/s程度だとすると、約6ton 前後の放養量しか許されないことになる。然るに実際には、11ton余の放養量がある。従って、約700cc O_2 が毎秒消費されている筈で、その間の差は何らかの形で空中から水中へ O_2 が補給されているものと見るべきである。その中には池面を通して、 O_2 が水中に拡散する分もあろうが、最も大きいのは落差を利用しての瀑下による O_2 の溶入であろう。空中からの O_2 の溶入は、温度、 O_2 分圧の差、空気との接触面積などにより左右されるので、 O_2 が減少して分圧が低くなっている下の方の池では、かなり効率的な O_2 の溶入が行われているものと思われる。

D区及びE区共C区と同様の傾向である。この様にしてC、D、E区では、流入水本来の O_2 含量で飼えるより遙かに多くの量が放養され、 O_2 に関しては自然落差を利用した瀑下による O_2 の溶入で放養魚の呼吸が賄われている様な形になっている。

E-5池は、C、D、E区の排水がすべて集っている。池中で O_2 量3.0cc/ℓ これが排水部から瀑下してst (29) に達するが、その間に、 O_2 は5.0cc/ℓと2cc/ℓ 増加している。この水量約、220ℓ/s として、約440ccの O_2 が毎秒溶入していることになり、これは魚の呼吸量を60cc/ton/sと仮定すれば、約7tonの魚に相当する O_2 が溶入することになる。

養魚池全体として見れば、流入水量220ℓ/s O_2 6.7cc/ℓとして、この内3cc/ℓまで利用される場合、放養量は、 $3.7 \times 220 \div 60 = 13.5$ ton

2.5cc/ℓまで利用されれば、15.4ton位が流入水中の O_2 のみを利用した場合の限界である。しかし、本養魚場では実際に、稚魚、養成魚併せて約37ton余の魚が飼育されている。従ってここでは、 O_2 の補給は主に落差利用による瀑気に大きく依存して養魚が成立していると思われる。

この様なことは、一般に山地の傾斜に恵まれた養魚場に於て見られる傾向であり、ちなみに、滋賀県醒ヶ井養魚試験場においては、夏期濁水時には全用水量は4~5ヶ=108~135ℓ/s程度となるが、山間部で傾斜が大きいこと、敷地が広大で、水が浄化される

機会が大きいため、その時期でも60トン前後のニジマスを飼育している。

b) その他の水質項目について

その他の水質の重要項目については、現在不明の点も多く、 O_2 の場合程単純な問題ではない。問題点を整理してみると、①用水の基礎水質、②養魚過程から生ずる水質悪化の二つが重要である。

①の点は、主に地質に由来し、謂わば立地条件の一つにも上げるべきもので養魚場の特質を形成する。②の点は、先にも若干触れた様に、養魚過程から必然的に生ずる代謝産物であるから、魚種等が一定であれば、どこの養魚場にも同じ様に生起する同一傾向の現象である。しかしながら、②の現象は、①の基礎水質との関連の中でしか我々には捕えることができないし、又、②によって起る水質悪化が養魚生産にどの様に影響するかという点についても①の点が大きく関与している様に思われる。

①の点について検討すると、(第2表) 水大からの流入水源もワサビ田からのものもよく似た水質で、簡単にいえば、清浄で良好といえる。水質的な特徴は、PHが弱アルカリ性、

$SiO_2 - Si$ が多く、 Ca が少いこと、アルカリ度が比較的小さいこと、酸度が幾分検出されていること等の点である。

これらの水質特性はそれ自体としては、ニジマスの飼育に問題ないといえるが、その後の②の点との関連において、若干の問題を残している。即ち、 Ca が少く緩衝能力が小さいことは、水源水のPH 7.61~7.70 は良好であるが、②から生ずる CO_2 の溶入によりPHが低下する傾向が著しいことを示して居り、 CO_2 の影響は、PHが低い程強くなるから、この意味ではMOアルカリ度の小さいことは不利な条件といえる。

②の点について見ると、さきにも述べた様に、 CO_2 の増加(PHの低下、PP酸度の増加を伴う) $NH_4 - N$ の増加、有機物の増加($KMnO_4$ 消費量の増加)、懸濁物の増加、糞等の堆積物の増加及びこれらから生ずる二次的悪因子(腐敗に伴う O_2 消費、 $NH_4 - N$ の発生、 H_2S の発生他)などがその主な内容である。

これらの点をすべて分析により明らかにすることは困難であり、ここではPH、アルカリ度、酸度から、 CO_2 の増加状況を、 $NH_4 - N$ から、N代謝量を、 $KMnO_4 -$ 消費量から、各種有機物の動きを見ることとした。

PHを見ると、水源水は7.6~7.7であるが、B₈池以下の地点では顕著に低下しており、特にG₁では6.75と1近く低下している。この間の変化は魚の呼出により水中に増加した CO_2 によるものと思われる。一般に淡水のPHは、 $CO_2 + H_2CO_3 + HCO_3' + CO_3''$ の溶存比で定まるものとされ、ここでは CO_2 が増加したためPHが低下したものと見なし得る。又、MOアルカリ度、Free CO_2 ($CO_2 + H_2CO_3$) とPHとの間には相関関係があつて、アルカリ度25PPm($CaCO_3$)では、PH 7.5で CO_2 1PPm前後、

PH 6.7ではCO₂ 7 P P m前後と試算される。CO₂ の正確な測定は分析技術上簡単ではないが、アルカリ度、PHなどは容易に正確な測定ができるから、これらをもって大よその目安とすることができる。この点から見ると、C₁ の排水が最も条件が悪くなっている。

O₂ の項で述べた様に流水量は220 l/s 魚量37 ton 余でO₂ 消費が600 cc/ton/s と仮定し、呼吸商(呼吸により消費されるO₂ と出てくるCO₂ の割合)を 0.8 と仮定すると、48cc CO₂/ton/s の排泄があり、37 tonでは1800cc/s /220 l = 8.2cc/l CO₂ 程度とならなければならない。これは約16 P P m CO₂ に相当する。これが一時的に且つFreeのCO₂ として加えられたならば、PHは約6.8~6.4位に低下すべき筈である。(アルカリ度との相関関係“用水と廃水の試験方法” 263頁 第51図他から)これが総排水においてPH 6.95に止っているのは、瀑気によってO₂ が水中に溶入するのと逆に空中へ逸散しているものと考えられる。

いづれにしてもCO₂ はO₂ の消費と表裏をなす現象で、呼吸商(0.7~1.0)に従って必ず排出されるものであり、且魚の呼吸に有害に働く可能性のあること、及び基本水質との関連において、PHが低下しやすいことなどから、留意すべき項目といえる。

CO₂ の魚類に対する毒性については、高濃度では顕著なものがあるが、数P P m~10数P P mで、どの位の期間にどの程度の毒性が表れるかの細部については不明である。

NH₄-Nについて見ると、水源水は2つとも0.1 P P m以下、B₈ , G₁ , 総排水と順次増加して、1.13 P P mまで増加している。川を50 m程度流下してもほとんど減少していない。魚類は勿論栄養としてたん白質をとるが、その代謝産物は大部分NH₄-Nとして排出される。特に淡水魚のN代謝産物はほとんどNH₄-Nだとされている。滋賀県での過去における実験では、ニジマスで、1日絶食後のNH₄-N排泄量は平均3.94mg/ton/s 給餌中では8.75mg/ton/s なる値が得られている。これをもとに本養魚場の排泄量を試算すると、3.94~8.75mg/ton/s×37 ton÷220 l/s = 0.66~1.47mg/lとなる。

実際には1.13 P P mであったが、ほぼ理論値に一致するものといえる。

これは従来の我々の知見とは幾分か異っている。即ち、醒井養鱒試などでは魚量60 ton 水量108 l/sとして上記の計算をすると

3.94~8.75mg/ton/s×60÷108~135 l/s=2.0~4.9mg/lとなるが、実際には、総排水において0.79mg/l しか検出されていない。

この間の差は瀑気による空气中への逸散及び池壁、水路等の浄化作用によるものと推論しているが、本養魚場のデータからは、水中のNH₄-N が消失する傾向は小さいかほとんど無い様に思われる。これは醒井に比し、養魚場敷地が小さいこと、及び基本水質との関連において、低いPHとなって瀑気されるため、空气中への逸散が小さいことによるものと思われる。

いづれにしても、NH₄-Nがほとんど理論値に近く検出されることは、本養魚場において、水量に対する放養量の良い目安となることを示し、これ自体が重要な水質悪化の一要因であ

ると同時に、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加は当然その他の悪因子の増加をも必然的に伴っている点、重要視すべきものといえる。

有機物量の水準は、比較的 low、まだそれ程強く水が汚れているとはいえない様に思われる。

○) 総合的検討

以上述べて来た様に、流水池に於て根本的に生産を支配する要素は水源水の水量及び水質（水温を含む）である。これをもととして、勾配、敷地面積の大きいことなどは生産を大きくする方向に利用し得る。

従来ともすると養魚場の生産性は、面積当りの生産量で評価され勝ちであった。

しかし流水池におけるそれは、基本的には、流量当りの生産量が問題なのであって、面積に対するそれは二次的なものといえる。

これらの点について若干整理して見る。

	八ヶ岳	醒井
流水量	220 l/s (3月末現在)	108 l/s (湯水時 夏期)
水源水温	11.1~12.1	12.8°C
池水温	11~12°C	12~16°C
放養量	37 ton	60 ton 余
勾配	大	大
敷地面積	小	大
水源水質	緩衝力小	大
最下部池水質	O_2 2.3~3.0cc/l	4.6~4.8cc/l
	PH 6.95	7.65
	酸度 5.0 PPM	7.1
	$\text{NH}_4\text{-N}$ 1.13 PPM	0.79 PPM
流量当り放養量	37 ton/220 l/s =0.17 ton/l/s	60 ton/108 l/s =0.55 ton/l/s

醒井養鱒試験場では、面積、勾配、水質等申し分のない立地条件の中で、水量の許す限界まで生産を上げている状態といえるが、夏期にはほとんど休眠状態としなければならないことがある。ここまで放養量を増加することには、実業上は問題があろう。実際醒井の最下部池では O_2 は不足していないのに原因不明の死亡が増加して居り、成績は悪い。

八ヶ岳では、まだ O_2 が著しく減少するまで飼育出来ている点で O_2 を補給することにより生産を上げる余地が残されているものと考えられる。

ここで、 O_2 が多い醒井の下流部の池より、 O_2 の少い八ヶ岳の方が水質的に生産余力が残

されているという判断は逆の様であるが、実際の養魚場では、 O_2 で致死する限界まで魚を放養できる池は、上流部の水質の良い池に限られることが屢々見出される。

2-ロ

千曲養鱒場(本場)

a) O_2 について

流入水源水の O_2 量は90%以上あって、問題はない。A池、B池でも幾分の低下傾向は認められるが、90%以上で問題はない。C池の排水、⑦⑧位から以下に O_2 の減少が顕著に表れて来る。しかしながら最も少い所でも 2.9cc/l 41% (E, 池中排水部) であって、八ヶ岳の場合の様に、極端な値は表れない。

各池毎の流水量が判らないので、細かい検討はできないが、 O_2 の測定値から見ると、本養魚場での水質上の問題は、 O_2 のみに帰することは困難である。

F, Gでも排水部において、 $3.8\sim 3.5\text{cc/l}$ の O_2 があり、良好な水準とはとてもいえないが、それ程危険という程の値でもない。

然るに本養魚場の最下部の池では、魚の状態は良好でなく、一部に鰓の膨張したものや、元気がないものが認められた。

ちなみに、本養殖場では、水源水量約70l弱、放養魚量は稚魚を除いて8.6ton程度である。稚魚を含めて9ton前後とすると単位水量当りの放養量は、 $9\text{ton}/70\text{l/s}\div 0.13\text{ton/l/s}$ となり、八ヶ岳より幾分少ないことになる。

b) その他の水質項目について

① 水源水基礎水質 同八ヶ岳山麓の湧水のせい、全体的な水質特性は八ヶ岳養鱒場のそれとよく似ている。異なる点は、PHが若干高いこと、アルカリ度が大きいこと、Caの溶存量が多いことなどの点である。ニジマス養殖用水源水として問題はないものと思われる。

② 養魚による水質悪化

PHの低下傾向、PP酸度の増加、 KMnO_4 消費量の増加、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の増加などは、ここでも同様に起っているが、それらはすべて八ヶ岳のそれより低い水準にある。それは、単位水量当りの放養量が幾分少ないので当然ともいえる。

一方、 O_2 の項で述べた様に下流部の池で魚の状態が必しも八ヶ岳より良くない様に思われる。単位水量当りの放養量が少く、基礎水質が同様で、水温も大差なく、 O_2 の条件も良ければ本来なら魚にとっても良好な環境でなければならない。

考えられる原因としては、1つには病気がある。他には、水質分析等で捕え得ない環境悪化がある。養魚場員の言では、これらの魚は、上の池に移せば、回復する由である。従って、病気が原因だとは思えず、もしそうだとするとそれは二次的なものであろう。

F, Gなどの池は、面積が $11\text{ m}(6\text{間}) \times 18\text{ m}(10\text{間}) = 200\text{ m}^2(60\text{坪})$ と大きい。水深を 0.7 m と仮定しても、池水横断面積は 7.7 m^2 あることになる。流量を 70 l/s としても、 $0.07\text{ m}^3 \div 7.7\text{ m}^2 = 0.009\text{ m} = 0.9\text{ cm}$ で、池横断面を流下すべき水の速度は平均して 0.9 cm にしかならない。これは実質的には、止水と変わらない水の動きである。従ってここには、上の池の魚の排泄した糞等が沈澱堆積し、これが腐敗分解する過程で悪因子が発生する可能性のあることは留意を要する点であろう。勿論上記の水流計算は模型的なものであり、実際には、流入部、排出部にはかなりの水流があり、又、流入水の勢でかなりの水流はできるものであるが、平均流下速度を上廻る水の動きは当然逆流なくしては考えられず、広い池ではどうしても水の動きのゆるやかな部分が生ずる。一方、ニジマスの糞、特にペレットを投餌した場合は、かなり重く且つ沈積しやすい。小さい池で流量が多く、魚の多い時は、魚自体の動きが沈積を妨げ、且つ水の動きもはげしいので池外への排出は、順調に行われるが、その様な条件がないと沈積し勝ちである。

F, Gなどは位置的にも、水理的にも、上の池のすべてを受けることになるから、沈積する条件があれば、著しい量に達しよう。

或いはこれが、単位水量当りの放糞量が少いのにならぬ魚の状態が良好でない原因となっているかもしれない。

2-ハ

千曲養鱒場(分場)

a) O_2 について

分場では水源水は本場の排水を始め、各所からの湧水を集め、二本の河となって分場入口付近で合している。水量は多く、 $7 \sim 12\text{ ヶ}(190 \sim 320\text{ l/s})$ に及ぶ。調査時も水量は豊富であった。

地勢は比較的平坦で、且つ敷地は狭いので養魚場内で自然の落差利用による瀑気で、 O_2 を大量に溶入することは望めない。

水源水の O_2 量は、 $5.5\text{ cc/l} \sim 5.9\text{ cc/l}$ である。これが各池を通る間に減少して、最終的には 3.5 cc/l となる。この間、各池への流入水の量が分からないので正確な計算は困難であるが、全体としてみると、 9.8 ton のニジマスが放養されており、これまで述べて来たように、 1 ton/s 当り O_2 消費量は $50 \sim 70\text{ cc}$ 平均 60 cc 程度であるから、 $60\text{ cc} \times 9.8 = 600\text{ cc}$ の呼吸量となる。

分場内での O_2 の増加は望めないから、この場合呼吸に必要な O_2 は大部分流入水に依存しているとすれば、 $5.5 \sim 5.9\text{ cc/l} - 3.5\text{ cc/l} = 2.0 \sim 2.4\text{ cc/l}$ の O_2 減少量であるから $600\text{ cc} \div 2.0 \sim 2.4\text{ cc/l} = 800 \sim 250\text{ l/s}$ の流量があるべきことになる。これは前記の

7~12ヶ(190~320ℓ/s)によく一致しており、調査時は250ℓ/s~300ℓ/sの流水量があったものと見られる。

ここで全水量に対する放養量を見ると、 $9.8 \text{ ton} \div 250 \sim 300 \text{ ℓ/s} = 0.039 \sim 0.033 \text{ ton} / \text{ℓ/s}$ となり、八ヶ岳、千曲本場の0.17~0.13 ton/ℓ/sに比し、著しく小さい値で、水源水の利用度からいえば、 O_2 の補給のなされない場合の限界にも達していない。面積的には、 $9.8 \text{ ton} / 120 \text{ 坪} = 0.08 \text{ ton} / \text{坪} (33\text{m}^2)$ と集約化されているが、水理、水質面では余裕のある飼育条件となっており、水質環境上の問題はまだ起らないと思われる。

分場では、 O_2 の量のみが問題となる段階であるので、その方法さえあれば、生産を増加し得る余地が残されている。

b) その他の水質項目について

この様に、分場では水量が多く、それに対する放養量が小さいので、養魚から来る水質悪化はまだ少ない。

水源水は、湧泉源が遠いためと、本場排水が流入することなどもあって幾分汚れているが、基本的な水質的特性は本場のそれとよく似ている。

排水においてPHが低下し、酸度、 KMnO_4 消費量が増加し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が増加する傾向は、ここでも同様に起っている。

$\text{NH}_4\text{-N}$ について見ると、二つの流入河川水で0.15PPm, 0.51PPmとかなり大きい差がある。東川と西川とか略水量が等しいとすると、平均して0.33PPm 東川1:1.5 西川だとすると、0.36PPm 東川1.5:1 西川の割合だと0.3PPm程度の $\text{NH}_4\text{-N}$ 量となる。これが排水部に於て、0.61PPmとなっているから増加量は0.31~0.25mg/ℓとなる。流水量を250ℓ/s~300ℓ/sとすると、放養魚9.8tonの排泄量は52.5~98mg/sとなる。これを放養魚1ton当りに換算すると5.36~9.5mg/ton/sとなり、実験的に求めた8.75mg/ton/sとほぼ一致する。(流水量、始めの濃度が不確かなので大きい巾が出る)

いずれにしても、 O_2 の項で述べた様に分場では流入水量が大きいので放養魚に起因する水質悪化は低い水準にあり、水質環境上の問題は、まだ O_2 の減少のみに止まっているといえる。

V 要 約

- 1) 昭和43年8月29日、30日の両日にわたり、山梨県北巨摩郡大泉村谷戸及び長野県佐久郡八千穂村畑清水に所在する三幸養魚KKの三養鱒場について、養鱒と水質との関連を中心に調査を実施し、その結果に種々検討を加えた。
- 2) 八ヶ岳養鱒場では全体として0.17 ton/ℓ/sの生産を上げている。これは、水

中の O_2 溶存量及び放養魚の呼吸による O_2 消費量から来る一次的な放養限界量を大きく突破している。(限界量 0.06 ton/l/s 但し呼吸量 60 cc/ton/s O_2 量最大 6.5 cc/l から 3 cc/l まで 3.5 cc 利用したとして)

- 3) 従って当然、養魚場内において大量の O_2 の補給が行われていなければならないが、勾配が大きく、自然の落差による瀑気が、この役目を果しており、全体の魚の消費する O_2 の内、水源水により運ばれる分は、 $30 \sim 40\%$ にしかならず、あとは空中からの溶入により賄われているものと思われる。
- 4) 単位水量当りの放養量が増加すると、これに応じて魚の代謝産物が増加して水質を悪化し、遂には、その放養魚種の耐性と関連において、養魚上悪影響を及ぼすに到る。しかし、 0.17 ton/l/s では、まだそこまで達するとは思われず、且つ最下部の池で著しい酸素不足が認められる所から、 O_2 を更に補給することにより、現状での魚の状態を良くし、更に幾分生産増加の余地も残されている様に思われる。
- 5) ちなみに醒井養鱒試験場では 0.55 ton/l/s の放養量(最も条件の悪い時)で、 O_2 以外の水質環境で魚への悪影響が起っている。
- 6) 千曲養鱒場本場では、全体として、 0.18 ton/l/s の放養量であり、八ヶ岳よりかなり少いとはいえ、 O_2 から来る一次的放養限界量を大きく突破しており、 O_2 の収支については、八ヶ岳の場合と同様のことが起っている。
- 7) しかし、 O_2 の減少の程度は八ヶ岳の場合程著しくはなく、又、その他の水質項目の悪化も低い水準にある。然るに、最下部の池で、魚の状態が良好でないのは、池の配置、面積、水理などの点から、上流部の池の糞等を沈積しやすく、これが二次的に有害因子を発生している可能性が考えられる。
- 8) 千曲養鱒場分場では水源水量が $190 \sim 320 \text{ l/s}$ と大きく、放養量は全体として $0.033 \sim 0.039 \text{ ton/l/s}$ と小さい。これは O_2 による限界放養量にも達して居らず、 O_2 の水準も、他の水質環境も問題はない。余裕ある飼育条件といえる。
- 9) 冒頭にも記した様に流水池において根本的に生産を支配するのは水源水の量及び質である。これは天然資源として貴重なものであると同時に人為的に改変を加えることが不可能である。従って我々は、この水源水のもつ生産力を活用する方向に努めなければならないが、この観点から見て、これら3つの養魚場の水利用に大きな差のあることがわかる。勿論その他にも多くの条件はあろうが、水利用という点からは八ヶ岳養鱒場を更に集約化させることには大きな努力が要るが、千曲分場では容易であると考えられる。
- 10) これらの調査を通じて、従来滋賀県下の養魚場を対象に調査研究してきた問題が、これらの養魚場にも本質的には全く同様に表れて来ることを確め得た。調査に協力下さった諸氏に謝意を表する次第である。

VI 参 考 文 献

- 1) 川本信之 : 魚類生理学, 石崎書房, 東京 1956.
- 2) ——— 外 : 養魚学, 恒星社厚生閣, 東京 1965.
- 3) 尾崎久雄 : 水産生理学, 金原出版, 東京 1960.
- 4) Earl Leitritz : ますとさけの養殖, 長野県水産指導所 1963.
- 5) 川本信之編 : 養魚学各論, 恒星社厚生閣, 東京 1967.
- 6) 佐野和雄 : 養鰻池の水質, 水産増殖 6, №4 61 1959.
- 7) 佐伯有常 : 酸素経済から見た流水養鰻の放養量について 水産増殖 6, №4 123, 1959.
- 8) ——— : コイの循環式蓄養池と酸素補給量の算定法, 水産増殖 8, №4 208, 1961.
- 9) カリフォルニア州 : 水質基準, 日本鮎業協会, 東京, 1957.
- 10) 吉村信吉 : 湖沼学, 1版, 三省堂, 東京, 1937.
- 11) 半谷高久 : 水質調査法, 丸善, 東京, 1960.
- 12) 箕田冠一外 : 水産水底質環境に関する研究-I, 滋水試研報 22, 1969.
- 13) ——— : ——— —II, 滋水試研報 22, 1969.