

サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の成熟期に おける代謝生理学的研究—III

蓄養条件下における酸素消費量，代謝排出物量ならびに用水中
の溶存酸素濃度の日週，日間変動が収容量に及ぼす影響

橋本 進 阿部龍男 加藤久雄

Studies on the Metabolic Function of Adult Chum Salmon,
Oncorhynchus keta (Walbaum)-III

Oxygen Consumption and Metabolic Excretion of Adult Chum Salmon
under Crowded Conditions, and Influences of Diurnal and Daily
Fluctuation of Dissolved Oxygen Concentration in Water being
supplied into the Stocking Pond upon the Pond Capacity

Susumu Hashimoto, Tatsuo Abe and Hisao Kato

ま え が き

採卵用さけの蓄養池における収容尾数については，佐伯 (1958~1961)^{1)~6)}，佐野 (1958)⁷⁾ らが行なったと同様に，酸素の収支から概量を知ることが可能であり，橋本 (1966)⁸⁾ は事業用蓄養池の蓄養可能量の推定に応用して，蓄養条件を検討した。

しかし，さけの酸素消費量については，栗倉 (1963)⁹⁾，橋本 (1966)⁸⁾ らにより知られているが，蓄養池のように高密度に収容されるところの蓄養量は，魚が互いに干渉し合うことも考慮し，集団としての酸素消費量から決定されるべきと考えられる。排出物が魚や環境に及ぼす影響についても同様である。

以上のことから本報では，事業規模の蓄養条件を比較的再現していると思われる方法により，初めにこの実験における魚の健康状態および成熟状態を明らかにし，集団としての親魚の酸素消費量，および代謝排出物による環境への影響を予測する目的で，アンモニアの排出量をそれぞれ測定した。又，蓄養池での死亡事故が，殆んど早朝に発生しているところから，用水の溶存酸素量を長期にわたって観測したところ，死亡事故と密接な関係にあることが明らかとなった。ここにこれらの結果を報告し，ふ化事業の参考に供したい。

本文に入るに先立ち，実験に際してご援助いただいた，当场札内事業場長，田浦技官および，さけ・ます事業協会十勝支所の職員諸氏に衷心より謝意を表します。

I. 方 法

1. 供 試 魚

供試魚には，実験開始前の1979年9月26日に，十勝川河口の種牛地区で捕獲された魚をおよそ1時間トラックで輸送し，実験に供した。これらの魚の一部は血液性状を調べるために定期的に採血され，又，体重の変化を知る目的で，全ての魚に標識を付した。

2. 実験場所及び期間

実験は、当場十勝支場札内事業場で、9月27日から10月25日まで行なった。

3. 実験方法

① 酸素消費量及び謝排出物を知るための実験は、4基の楕円形強化プラスチック製水槽〔220 cm (長径) × 170 cm (短径) × 90 cm (深さ)]を用い、必要に応じてうち3基は簡単な気瀑装置で槽内の水を瀑気循環させ、他の1槽は 150 W の水中ポンプで直接循環させ(1図)、1表に示した尾数の親魚を取容し、用水量と必要酸素量および排出物濃度との関係を調べた。

② 溶存酸素量および酸素消費量の測定には、YSI 社製 DO メータ、DKK 社製 DO メータ、及びナショナル製2ペン記録計を用いて、直接或いは記録紙から間接的に算出した。

なお、DO メータによる溶存酸素量の記録測定では、センサーの特性上、注水部及び排水部にセンサー取付口を設け、センサーが常時新鮮な検体に接することが出来るようにした。

③ 水温の日変動、その他記録紙で測定された溶存酸素量条件の算出に必要な水温については、検定付水銀温度計で校正された、日立製6打点式記録温度計による読取値を用いた。

④ 溶存アンモニア及び炭酸ガスは、オリオン社製イオンメータで測定した。



1図 実験装置

上段は後方より瀑気装置、配水槽を、下段は側方より注排水部及びセンサー挿入箇所(試験区分手前より1区→4区)をそれぞれ見たところである。

- a. 配水槽 b. 注水管 c. 循環水吐出管 d. 瀑気水吐出管
e. 瀑気塔 f. 送風器格納部 g. 水位調節装置(採水箇所)
h. センサー挿入箇所 i. 計機格納庫

サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の成熟期に於ける代謝生理学的研究—III

1表 各実験区の開始時収容量および注水量

区	収容尾数			収容重量 kg			注水量 l/分		瀑気水量		用水量 m ³	面積 m ²
	♂	♀	計	♂	♀	計	9月29日	10月16日	10月16日			
									清掃前	清掃後		
1	4	11	15	14.5	46.5	61.0	46.6	43.0			1.38~1.56	2.51
2	4	11	15	14.9	42.4	57.3	46.8	45.0	64.1	95.5	〃	〃
3	3	18	21	16.1	77.9	94.0	48.0	45.4		90.0	〃	〃
4	4	15	19	13.5	64.0	77.5	47.8	41.1		75.5	〃	〃

II. 結果と考察

1. 成熟, 死亡と疾病, 環境

今年は実験途中から死亡するものが多数発生し, 4区では17日目に前日比で6/13尾も一時に死亡し, 高密度条件下におけるデータ蒐集が不可能となった。

一応2表に蓄養日数と死亡・成熟との関係を整理して示した。死亡原因については, 体表上の特徴ある病斑, エラの水生菌による損傷など, 1974年よりみられている特異な疾病^註が主原因と考えられた。本年も硫酸銅による薬注を行なったが, 注入時期が例年より4日遅れたこと, および規則的な疾病の発生状況から, 本年が疾病の発生年となっていたことなどから, 期待通りの効果が生じなかったものと考えられる。しかし, '74年, '75年では1週間から10日くらいで死亡し, 本年度の事業規模での蓄養では, 蓄養初期に大量の死亡魚が発生していたことなどから, いくらかは薬注の効果があつたものと考えられる。

収容量の最も多い3区では, 死魚が早い時期から大量に出現し興味あるところであるが, 供給酸素量は3表に

2表 成熟と死亡(1979年)

日数	状態	~10 (10/7)		~15 (10/12)		~20 (10/17)		~25 (10/22)		~28 (10/25)	
		生	死	生	死	生	死	生	死	生	死
♀	1区	10→8	2	8→8	0	8→5(2)	3(0)	3→1(1)	2(2)		
	2区	10→9	1	9→5	4	5→3(3)	2(1)				
	3区	18→10	8	10→6	4	6→3(3)	3(2)				
	4区	15→14	1	14→11	3	11→4(2)	7(1)	2→2(1)			
♂	1区	4→4	0	4→4	0	4→3(2)	1(1)	3→2	1	2→2	0
	2区	4→4	0	4→4	0	4→4(4)		4→2	2	1→1	0
	3区	3→2	1	2→2	0	2→1(1)	1	1→1	0		
	4区	4→4	0	4→3	1	3→3(2)					

() 内は完熟魚

3表 蓄養初期の排水に含まれる, 代謝に関する物質の濃度

区	収容量 kg		溶存酸素 ppm	アンモニア窒素 ppm	全炭酸 ppm
	9月28日	9月29日	9月29日	9月28日	9月28日 CO ₂ として ppm
1	56.7	56.2	9.4	0.197	13.7
2	56.8	56.7	9.2	0.204	11.6
3	93.4	84.6	7.2	0.309	16.1
4	74.0	72.3	8.0	0.222	14.1

註 後日報告の予定であるが1974年には, 実験魚は10日以内に全て死亡し, 河口近くにある打内蓄養池では利用出来なかった親魚数が92.5%にも達した。

示したように、特別に不足していた為とは思われない(9月27日排水の溶存酸素量 7.2 ppm)。しかし、3区でのアンモニアの濃度はかな高く、又、近年みられている蓄養親魚の死亡が、河川におけるアンモニア濃度の特徴的な増加と相関が見られていることから、これが、他の区より早目に疾病及び死魚の発生をみさせたことも考えられる。

なお、アンモニアの 0.3 ppm は BROCKWAY (1950) によりマスの生存限界とされているが、1966年に行なった調査(橋本, 1966)では、さけの場合は 0.53 ppm でも直接の死亡原因にならないことが明らかになっている。この為、0.3 ppm 程度のアンモニアの溶存量は、疾病の発生を助長する濃度と言えそうである。

本年の水温条件は4表に示したとおり、平均水温に関しては前年より低く、かなり良い状態であったと思われる。しかし、日によってはかなり大きく変動し、その温度幅は、最大日 3.6°C にも達した。このような日々の大きな温度変動は、以下に述べるアンモニアと同様、親魚の死亡に大きくかかわったことも考えられる。従って、水温の日変動に関する観測は、蓄養条件解明のための重要な要素の1つとして、今後共必要となろう。

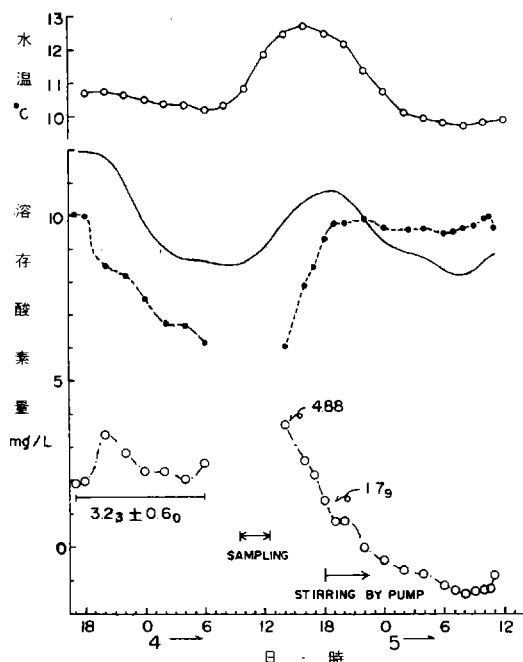
4表 蓄養実験中の温度条件 (1区)

期間・月日	平均水温	1日の変動巾		
		平均	最大	最小
9.29~10.5	10.8±0.7	2.0±1.1	3.6	0.7
~.12	9.8±0.2	2.0±1.0	3.1	0.4
~.19	10.0±0.3	2.1±0.6	2.9	1.1

2. 種々な状態における酸素消費量およびアンモニア排出量

① 酸素消費量と作業

魚の酸素消費量は、機械的刺激の有無によって著しく異なることは、衆知のことである。このために撰別など



2図 注・排水の溶存酸素量及び水温の日週変化

図中上段の記号○印は水温を、他は溶存酸素量を、数字は酸素消費量 (mg/kg/分) を平均、標準偏差で表したものである；——注水、●—排水、○—注・排水の差

サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の成熟期に於ける代謝生理学的研究—III

水中作業の直後に、大量の死亡事故の発生をみているところであるが、作業前後における長時間にわたる実験・観測がなされていない。そこで6・7表及び2, 3図は作業の有無、又、瀑気再使用など用水条件が変更されたとき、それらがどのように影響するかを示したものである。

なお、魚体測定、採血など定期測定日以外の収容量については、各測定日間における体重減少率を5表に示したように、10月4日までは各区、雌雄別に、また10月4日以後は1, 2, 3区を1つにまとめてそれぞれ算出して、補正した値を用いた。

5表 蓄養による体重の減少 (g/kg/日)

区	性	9.27 ~ 10.4				10.4 ~ 10.17			
		n	\bar{x}_1	s	t	n	\bar{x}_2	s	t
1	♂	3	9.9	3.9	1.447	2	2.7	0.1	
	♀	2	5.3	2.5		1	2.1		
2	♂	2	8.3	3.0	2.003	2	5.0	1.5	
	♀	3	4.8	1.1		1	2.6		
3	♂	2	5.7	1.4	0.092	2	2.1	1.0	
	♀	2	5.4	3.8		1	2.5		
4	♂	3	4.7	2.7	1.483	2	5.5	0.5	0.700
	♀	5	7.2	2.1		2	4.3		
1 ~ 3	♂	7	8.2	3.3	-1.662	6	3.3	1.6	1.834
	♀	7	5.1	2.0		3	2.4		
1 ~ 4	♂	10	7.2	3.4	1.014	8	3.8	1.7	0.707
	♀	12	5.9	2.2		5	3.1		

注: \bar{x}_1 , \bar{x}_2 は個々の魚体毎に、9月27日と10月4日の体重に対する期間中の体重減少量を日間減少量に換算して算出したものである。

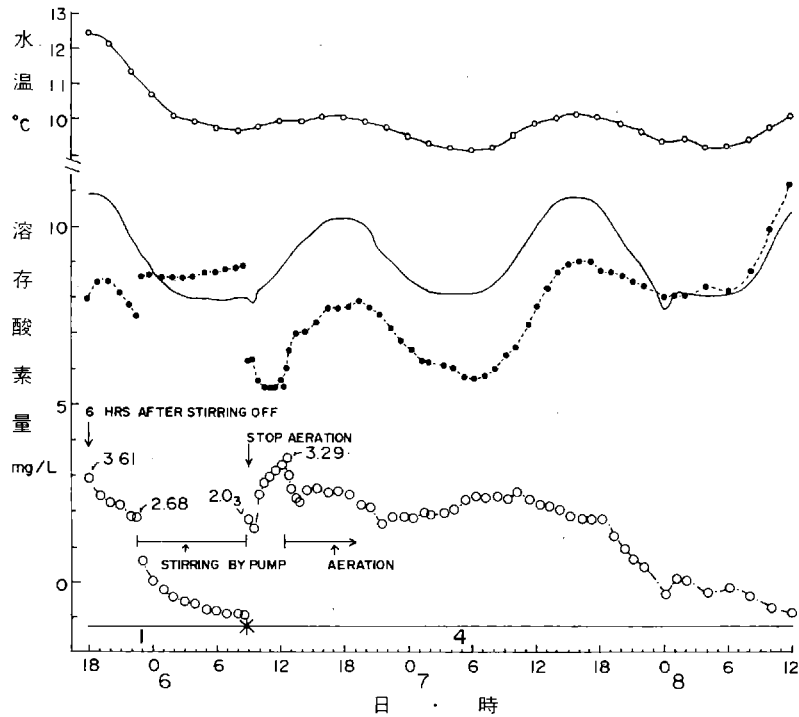
又、酸素消費量の値については、瀑気装置の停止下における注・排水の濃度差から算出したものと、Adenyの式を用いて、表面より溶入する酸素量を加えたものをそれぞれ表示した。

6表 作業前後の酸素消費量

月 日	時刻	経過時間	消費量 mg/kg/分		備考
			注・排水の差	表面よりの酸素補正	
10. 4 (1 区) (46.6 kg)	6:00	作業前	2.52	3.72	バッキ開始 ↓
	14:00	作業後 1.5時間	3.67 (4.21)	4.88 (5.47)	
	17:20	作業後約5時間	2.17	2.78	
	18:00	作業後 5.5時間	1.38	1.72	

() の値は記録計の値を用いないで、直接メータの読取値を用いたもの

即ち、作業が行なわれると、酸素消費量は著しく増加し、瀑気開始15分後に最大値が得られた(2図)。この結果から、作業前後の消費量の比を作業後1.5時間及び5.5時間の値を用いて計算すると、注・排水の濃度差より求めたものでは、2.7:1.0(メータの読取値より3.0:1.0)、表面よりの酸素補給を加えると、2.7:1.0(同じく3.1:1.0)が得られる(6表)。即ち、作業によって酸素消費量は3倍も亢進し、かなり長時間その影響が持続することが明らかとなった。蓄養事業での水中作業後における大きな死亡事故の主原因は、これらの結果から容易に推測されるところである。



3 図 注・排水の溶存酸素量及び水温の日週変化
 図中の記号は1図参照，数字は見掛けの酸素消費量 mg/kg/分 を表わす

7 表 用水条件の変更に伴う見掛けの酸素消費量の変化

月 日	時 刻	用水条件 経 過 の 変 更 時 間	消 費 量 mg/kg/分	
			注・排水の差より	表面酸素補正
10. 6 (4 区) (70.3 kg)	9:00	瀑気停止 0:00	1.24	2.03
	9:30	0:00~0:30	1.07	1.86
	12:15	瀑気開始 0:00~3:15	2.25	3.13
	12:30		2.38	3.29

⑩ さけ親魚の平常時の酸素消費量

蓄養池のように高密度に収容されているところの，魚の酸素消費量は，前項から知られるとおり，機械的刺激によって容易に亢進させられることから，蓄養池の収容決定には平常条件下で，魚相互の影響も考慮された集団としての酸素消費量を知ることが必要である。

7表は平常時の酸素消費量を算出するうえで，測定時の用水条件が，測定前の条件にどのように影響されるかを知るために示したものである。

この結果，瀑気の影響は停止時も3時間以上に亘って持続していることが知られた。このため平常時の酸素消費量は，瀑気停止など用水条件の変更から4時間以上経過したときに算出される値を用いるべきと考えられる。

8表は蓄養初期の親魚で算出された，平常時と思われる条件下での酸素消費量を示したものである。

即ち，湖上間もない親魚の蓄養時の酸素消費量は，水槽間でいくらか異なるため，各水槽で得られた値の平均で示すと， $2.1 \pm 0.5 \sim 3.8 \pm 0.1$ mg/kg/分，或いは全ての平均 3.0 ± 0.7 mg/kg/分 くらいと考えられる。この値は水表面から溶入する酸素を全消費量のおよそ20%当り利用したことになる。実際の蓄養池での収容量を決定する場合には，注・排水の濃度差から算出した値 $1.7 \pm 0.4 \sim 3.3 \pm 0.1$ mg/kg/分，又は， 2.4 ± 0.6 mg/kg/分 を用

サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の成熟期に於ける代謝生理学的研究—III

8表 蓄養初期におけるさけ親魚の酸素消費量と収容量
(表面が開放された水槽による中規模の実験例)

月 日	時 刻	区	消 費 量 mg/kg/分		bに対する補 正の割合 %	収 容 量 其 他		
			注・排水の 差より a	表面補正 b				
9.26	14:36~	1	1.31	1.60	17.9	56.2 kg	12.3°C	作業 2日後
		2	1.50	1.79	16.1	56.7	〃	
		3	2.17	2.62	17.2	84.6	〃	
		4	1.87	2.25	17.1	77.3	〃	
		平均	1.71±0.38	2.06±0.46	17.1±0.8			
10.3	16:55	1	1.90	2.07	8.13	46.8	11.6	の作 状業 態前
10.4	6:00	1	2.52	3.72	32.31	46.4	10.0	
10.3 10.4	16:55 6:00	平均	2.44±0.50	3.23±0.60	23.8±10.2	2時間毎の平均		
10.5	18:00 22:33	1	2.96	3.61	18.2	46.3	11.9±0.5	
		1	1.85	2.68	31.1			
10.5	16:32 瀑気停止 4時間後	1	3.24	3.65	11.2	46.3	12.5	作業 1日後
		2	3.25	3.72	12.7	50.7	12.4	
		3	3.32	3.79	12.4	57.8	〃	
		4	3.38	3.92	13.7	70.6	〃	
		平均	3.30±0.07	3.77±0.12	12.5±1.0			
10.5	18.00~22.33 瀑気停止6~10.5時間	平均	2.28±0.41	2.94±0.36	22.8±5.5	1時間毎の平均		
		全平均	2.42±0.63	3.03±0.70	20.1±7.7			

いればより早く計算できるだろう。

いずれにしても、ここに示した単位重量当りの酸素消費量で決定される収容量は、撰別など水中作業時には特別な配慮が払われる場合のみであり、そのような設備・方法がとられない場合は、先に述べたとおり死亡事故の発生をみることになるだろう。

② アンモニア排出量

アンモニアの排出については、先に述べたとおり疾病の発生を助長している事例もあることから、高密度に収容された時の影響が問題となる。そこで蓄養池での排出アンモニアによる汚染を予測する目的で、排出量を測定した。その結果は9表に示したとおりである。

即ち、アンモニア排出量は日によってかなり変動し、これまでの実験結果とも一致した(橋本, 1966)。

9表 アンモニアの排出量(Nとして mg/kg/分)

月日(日数)	9月28日(1日)		10月5日(8日)		10月16日(19日)	
	重 量 kg	排 出 量 mg/kg/分	重 量 kg	排 出 量 mg/kg/分	重 量 kg	排 出 量 mg/kg/分
1	51.7	0.144	46.3	0.006	39.1	0.123
2	56.8	0.151	50.7	0.093	24.6	0.167
3	93.4	0.148	57.8	0.096	30.0	0.147
4	74.0	0.130	70.6	0.116	20.1	0.216
平均	70.0±17.5	0.143±0.009	56.4±10.6	0.091±0.023	28.5±8.2	0.163±0.039

排出量の変動については、生活に応じて代謝が変化し、かつ、エネルギー源に体蛋白質を利用していることから当然のことである。したがって、一応の目安として得られた全ての測定値の平均値で表わすことにすると、アンモニアの排出量は 0.132 ± 0.040 mg アンモニア態 N/kg/分 が得られた。

⑤ 用水中の溶存酸素の変動

蓄養池における親魚の大きな死亡事故は、いずれも早朝に発生しているが、その原因は早朝に行なわれている撰別などの水中作業ばかりでなく、水中植物等による酸素の消費から、供給酸素量に大きな変化が生じ、水中作業などによる代謝の亢進との相乗効果と考えられる。

そこで用水中の溶存酸素がどれくらい変動し、どのような経過をするかを12日間にわたって調べた。その結果は、使用した水が井戸水と、有孔ヒューム管から集水される河川水との混合水であるにもかかわらず、2図、3図にも示したとおり、大きな変動と、極大時、極小時における濃度はかなりの時間持続されることが明らかとなった。そこで極大・極小値から 0.3 ppm 程度の変化が生じる時間幅と、その中央値の生じる時刻を整理して10表に示した。

この結果によると、用水の溶存酸素量は午後4時から6時半の間で最大量となり、およそ25分から1時間半持続する。反面午前4時から7時の間で最小量の濃度となり、その値はおよそ45分から1時間半持続することが明らかとなった。又、極大時・極小時における濃度の差は 3.0 ± 0.5 ppm にもなり、最も大きな差の生じた時は 3.7 ppm にも達した。

蓄養池における酸素の危険限界濃度を、仮に、1978年10月5日に事業用蓄養池で発生した事故後に測定された値 3.84 ppm として、用水の溶存酸素量の値を仮に、最大値の平均である 11.07 ppm を用いて有効酸素量を算出すると、その値は $11.07 - 3.84 = 7.23$ ppm となる。用水における酸素の自然変動量は先に算出された有効酸素量の47~35%に達する。

以上のことから、収容量は、用水における酸素の自然変動を考慮すると、有効酸素量で算出された量の53~65%の魚しか蓄養出来ないことになる。

もし、採卵のため撰別、或いは死魚の取上げなどの水中作業が早朝に行なわれれば、親魚の呼吸量は著しく亢進させられ、窒息など酸素不足による死亡事故の発生が助長されることは明らかである。したがって撰別・死魚の取上げなどは、前日又は溶存酸素量の増加した時点で行ない、やむを得ない時は、不足に見合う水量が別途に

10表 注水の溶存酸素が最大又は、最小になる時刻及びその濃度・濃度差

年月日	時 刻*		濃 度 ppm		濃度差 ppm	
	最 大 中央値 幅	最 小 中央値 幅	最 大	最 小	前 日 との差	当日の差
79.10. 3	16:45±		11.96			
4	18:30± 0:30	7:00± 1:00	10.68	8.51	3.45	2.17
5	18:00± 1:00	7:30± :30	10.88	8.18	2.50	2.70
6	17:42± :30	7:00± 1:00	10.22	7.89	2.99	2.33
7	16:15± 1:00	4:21± 2:00	10.79	8.09	2.13	2.70
8	16:02± 1:00	5:23± 1:00	11.39	7.95	2.84	3.44
9	16:48± 1:45	2:26± 1:30	10.88	8.30	3.09	2.58
10	15:21± 1:00	5:26± 1:00	11.00	8.28	2.60	2.72
11	17:51± :30	3:59± 1:30	11.09	7.98	3.02	3.11
12	19:37± :30	6:44± 1:00	11.69	8.01	3.08	3.68
13	18:39± :30	6:01± 1:00	11.40	8.39	3.30	3.01
14	18:12± 2:00	4:49± 1:00	11.40	7.92	3.48	3.48
15		6:05± 1:00		7.79	3.61	
平 均	17:28±1:14 :56±:31	5:33±1:28 1:07±:22	11.07 ±0.41	8.11±0.22	2.96±0.45	

* 記録紙上より最小15分単位で読み取った時刻に、記録計の誤差率(223時間に2時間15分の進み)を補正したものである。

与えられるような水利設備が必要となろう。

ま と め

蓄養池における収容量は、供給酸素量と消費量より決定されるが、蓄養池のような条件下における親魚の正確な酸素消費量は不明である。このため、蓄養池の条件を再現していると思われる方法で、高密度収容下での親魚の酸素消費量を測定すると共に、排出物による汚染の影響を予測する目的で、アンモニア排出量及び炭酸ガス排出量を測定した。又、用水の溶存酸素量の動向を長期に亘って観測し、その影響を検討した。

1. 酸素消費量は人為的な影響を強く受け、作業後 1.5 時間の値においてもなお、作業後 5.5 時間に測定された値の 3 倍にも達した。

3. 採血・測定ならびに用水条件の変更などによる影響は、かなり長時間持続するため、作業或いは用水条件の変更から 4 時間以上経過した時の消費量を、平常時のものとして次の値が得られた。

水面からの酸素補給を考慮して算出

$$3.0 \pm 0.7 \text{ mg/kg/分} \cdots \cdots A$$

注・排水の濃度差から算出

$$2.4 \pm 0.6 \text{ mg/kg/分} \cdots \cdots B$$

3. 用水の溶存酸素量は 1 日の中で大きく変動し、12 日間の観測で得られた極大時及び極小時の濃度差は、 $3.0 \pm 0.5 \text{ ppm}$ 、最大幅は 3.7 ppm にも達した。

この値は、一般的方法で算出され、有効酸素量の 47~53% にも達するため、収容量の決定にあたっては重要な条件となろう。

4. 溶存酸素量は、午前 4~7 時の間で最小濃度となり、その濃度はおよそ 45 分~1 時間半持続する。このことが早朝時における水中作業の影響と相乗的に関係し、蓄養池での大量事故の原因となっているのであろう。したがって水中作業は、用水の溶存酸素が増加回復する日中に行なうことが望ましい。

5. アンモニアの排出量は、 $0.132 \pm 0.040 \text{ mg/kg/分}$ (アンモニア態窒素として) の値が得られた。なお、 0.309 ppm のアンモニア態窒素が溶存した水槽では、早期に大量の死亡が発生し、この濃度は疾病の発生を助長させているように推察される。

6. 供試親魚の健康状態は、途中大半のものが死亡し、良いものとは思われなかった。しかし、催熱日数については、前年より少なく、平均的なものであったろうと推測された。

文 献

1. 栗倉輝彦 1963. 産卵期における魚類の生理学的研究—I. 湖上サケ親魚の酸素消費量について. 水産研報, (18): 1-9.
2. 橋本 進 1966. サケ *Oncorhynchus keta* (WALBAUM) の成熟期における代謝生理学的研究—I. 酸素消費量と代謝排泄物量からみた蓄養池の必要な条件ならびに蓄養可能量の推定. 北海道さけ・ますふ化場研報, (20): 47-64.
3. Brockway, D, 1950. Metabolic products and their effects. Prog. Fish Culturist, 12 (3): 127-129.
4. 佐伯有常 1958. 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 (11): 684-695.
5. 佐伯有常 1959. 酸素経済からみた流水養鱈の放養量について. 水産増殖, 6 (4): 123-126.
6. 佐伯有常 1961. 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): 207-214.
7. 佐野和生, 松江吉行 1958. 養鱈池の酸素代謝機構 I. 酸素代謝に基づく養魚基準とその理論 II. 養魚理論の養鱈池への適用. 水産増殖, 6 (1): 43-55.