

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

溶存酸素計による蓄養サケの行動ならびに活力の解析

橋 本 進

Studies on the Metabolic Function of Adult Chum Salmon,
Oncorhynchus keta (Walbaum)-IV.
Analysis of Adult Chum Salmon's Behavior and Activity
measured by Oxygen Meter in the Stocking Pond

Susumu HASHIMOTO

In this paper the author analyzed the behavior of the adult chum salmon in comparison with patterns of fluctuations and waves in the areas of inlet and outlet of the stocking pond recorded on the autorecord chart by continuing measurement of dissolved oxygen concentration.

- 1) The fish tends to take the go-upstream movement toward the inlet of the pond and special moving behavior of the fish is observed during the nighttime when the high oxygen concentration level increases, because the fish is vitalized by an increase of the high level oxygen concentration.
- 2) An increase of the high oxygen concentration level plays a role of triggering activities of the fish mentioned above. In other words, it is considered that these phenomena occurred because of a sort of taxis that responded to the increase of high oxygen concentration level. This may pose a new problem on stocking techniques.
- 3) In estimating additional amount of dissolved oxygen concentration based on that of the existing amount in the retaining pond, special attention should be paid to the water sampling and the measurement of oxygen concentration.

ま え が き

蓄養池のサケは成熟期になると度々選別され、熟したものは採卵に供される。この際、親魚は異常に興奮させられてエネルギー消費が亢進し^{3,4)} 酸素不足となって死亡したり、曳網による取上げ作業などから魚体並びに卵子が機械的損傷を受け、時には増殖事業に大きな障害となることが知られている。このため選別作業などを出来るだけ少なくするように親魚が上流へ溯上する性質を利用して、蓄養池の中仕切り部位に捕獲槽なるトラップを設け、囲いに入った魚を選別することによって曳網などによる捕獲時の障害を出来るだけ軽減するような方策が採られている。

本報告では、事業用蓄養池での溶存酸素の収支を溶存酸素計を用いて観測中に、供給される溶存酸素の多寡に反応する特異な現象が記録紙上に現われ、この現象はサケの行動に起因することが知られたことから、魚の行動解析法として溶存酸素計が利用可能なこと、およびサケの蓄養上極めて重要な技術を提供するものと考えられたので、以下にその結果を報告し、蓄養技術向上の参考に供します。

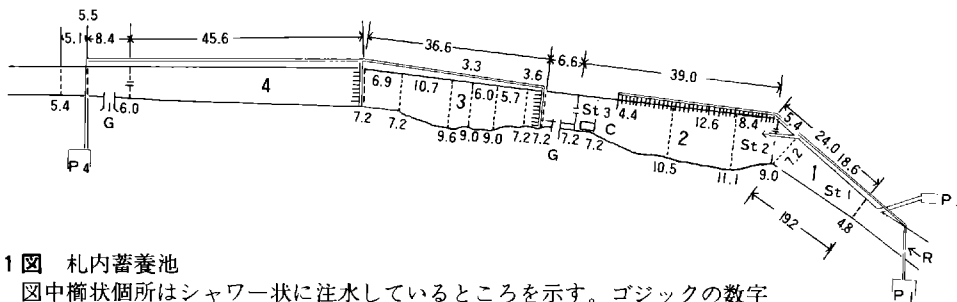
なお、この報告は北海道さけ・ます増殖事業協会十勝支所札内蓄養池の関係諸氏ならびに当ふ化場札内事業場職員の協力により得られたものである。謹んで謝意を表します。

材料および方法

1. 調査場所・時期

用いた資料は、北海道さけ・ますふ化場十勝支場管内札内事業場の構内を流れるメン川を仕切って仮設されている、さけ・ます増殖事業協会十勝支所札内蓄養池において、1980年10月7日から8日にかけて行なった酸素収支に関する観測記録である。

蓄養池の概要は長さ約160m、面積1,199m²、平均幅7.5m、用水量15.5m³/分、用水の種類は主にポンプ揚水による井戸水(97.6%以上)、計算される平均流速(流量/平均断面積)は0.0_a~0.0_am/秒(但し水深60~45m)である。調査時の蓄養尾数については、10月7日には5,826尾が蓄養されており、翌8日には872尾追加搬入、1,719尾取上げられ同日夕刻の生存数は4,979尾であった。これらの魚は1図に示した蓄養池



1 図 札内蓄養池

図中櫛状箇所はシャワー状に注水しているところを示す。ゴジックの数字は池の区割番号を、文字 St₁~St₃ はセンサー設置箇所、おなじく S は集魚生簀, おなじく G は搬入用樋, おなじく P₁~P₃ は用水井戸の番号および揚水量を, R はメン川と実験水槽用水の混合水量をそれぞれ表わす。但し R=0.563, P₁+P₂=8.811, P₃=6.114, 排水量=15.488 (単位 m³/分), その他の数字は長さ(m)を示したものである。

の、主に2号、3号、4号の各池に分散収容されており、1号池の収容量は僅かであった。なお雌雄の収容比率は20:1、平均魚体重は、並行して進めていた実験での供試魚から、 4.76 ± 1.0 kg (測定55尾)であった。又、本年の当蓄養池における親魚使用率は、9月中旬から2ヵ月間に蓄養された延4.9万尾の98.9%にも達し、極めて良い環境にあったことが推測された。

2. 溶存酸素量の測定

溶存酸素量については、米国イエロースプリング社57型およびDKK社DO-3型の溶存酸素計に、それぞれ理化電機工業製R-21型およびナショナル製VP-6723A型レコーダーを組合わせ、日間の変化および収支を測定した。

3. 運動指数

2号池排水部の電極を接続した25cm幅のレコーダーを用いた観測において、溶存酸素量の指示値に常時大きな変動が生じ、目視観察により魚群がセンサー近くへ移動してきた時に、溶存酸素の降下現象として現われ、魚の群れが大きい程、又移動距離が大きい程、増減幅の大きいことが知られた。このため、単位時間内に0.5ppm以上の幅で増減するものの平均変動量と回数を読み取り、その積をもって運動指数とし、魚の活力の目安とした。

結 果

1. 池内における親魚の行動と活力

2図および3図はそれぞれ1号池および2号池注排水部における溶存酸素量の連続測定記録の一部を示したものである。1号池の注水部においては、10月7日18時乃至19時頃から翌朝4時頃にかけての指示値に、激しい変動が認められた。これは電極近くの水が激しく動揺したときに現われるノイズである。このことから蓄養池のサケは、夜間上流へ向かって溯上行動を起こすことが推測される。

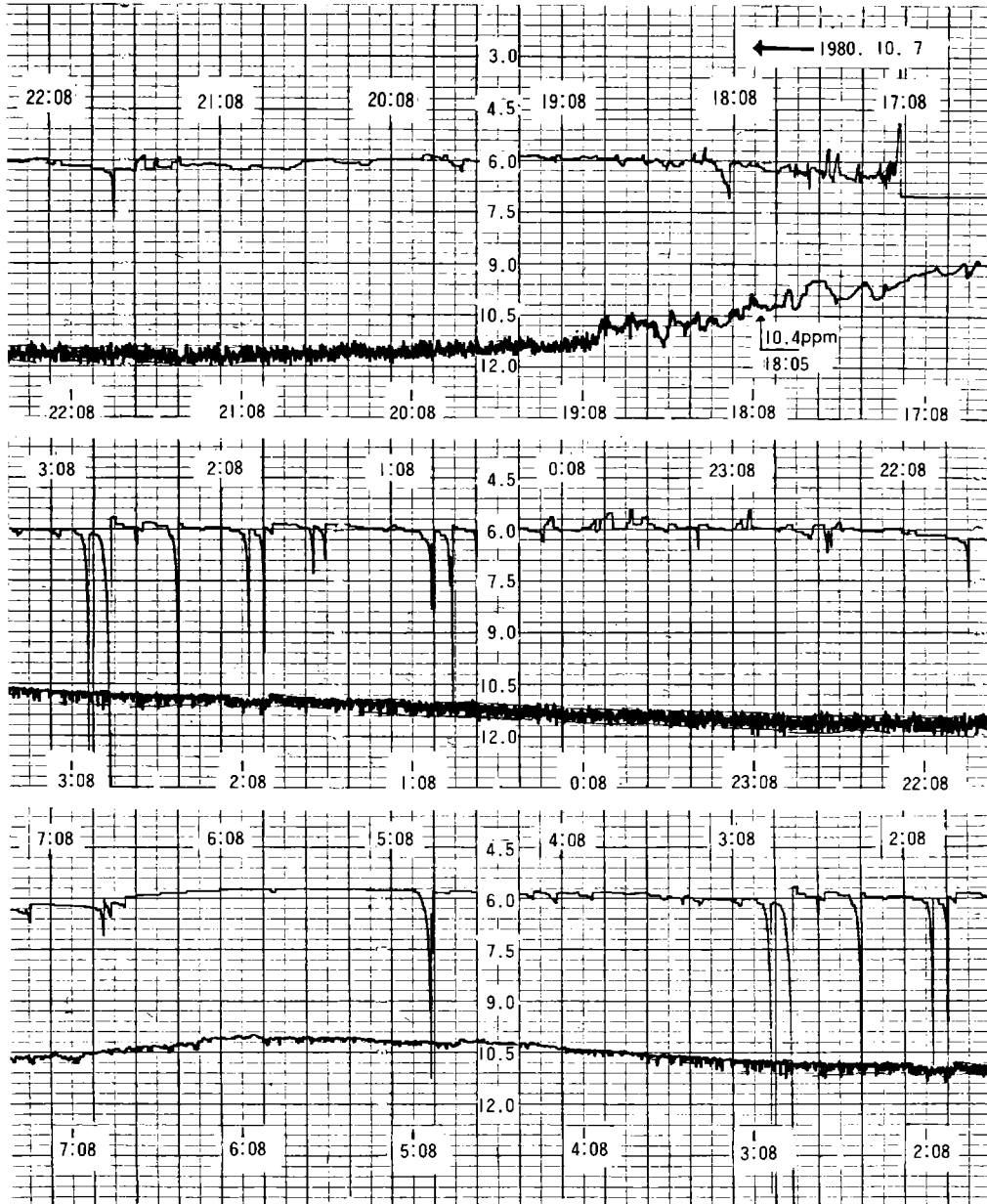
次に2号池の排水部では、1号池の注水部での変動以上に激しく大きな変動が記録された。この溶存酸素量の変動は、方法のところで記したように、親魚が電極の設置されている排水部と、そこから離れた個所との間を移動運動するために生じたものであるから、一定量以上変化した個所(ここでは0.5ppm)に●印を付し、単位時間当たり一定量以上の酸素濃度の変化した回数の推移から、池内における1日の行動を知ることが出来る。又、この回数にそれぞれの時刻における平均変動量を乗ずることにより、ある時刻帯におけるサケの運動量若しくは活力を数値化して表わすことが出来る。

かようにして観察すると、7日20時から21時にかけての変化の回数と変動量は共に著しく増加し、反面翌朝1時から6時にかけて回数、変動量は共に極端に減少して安静状態にあることが判った。又、8日8時前後頃には極端に大きな変動記録がみられ、これは曳網による上流方向への集魚作業および集めた魚を収容した選別用生質の、排水部への移動などによるものであった。このような水中作業時には、変動回数は著しく減少するが、変動の幅、即ち変動量が大きくなり、このときの親魚の負荷量としては、結果的に大きな運動指数として表わされた。

2. 蓄養池内における親魚の活力と、用水の酸素濃度および水中作業の関係

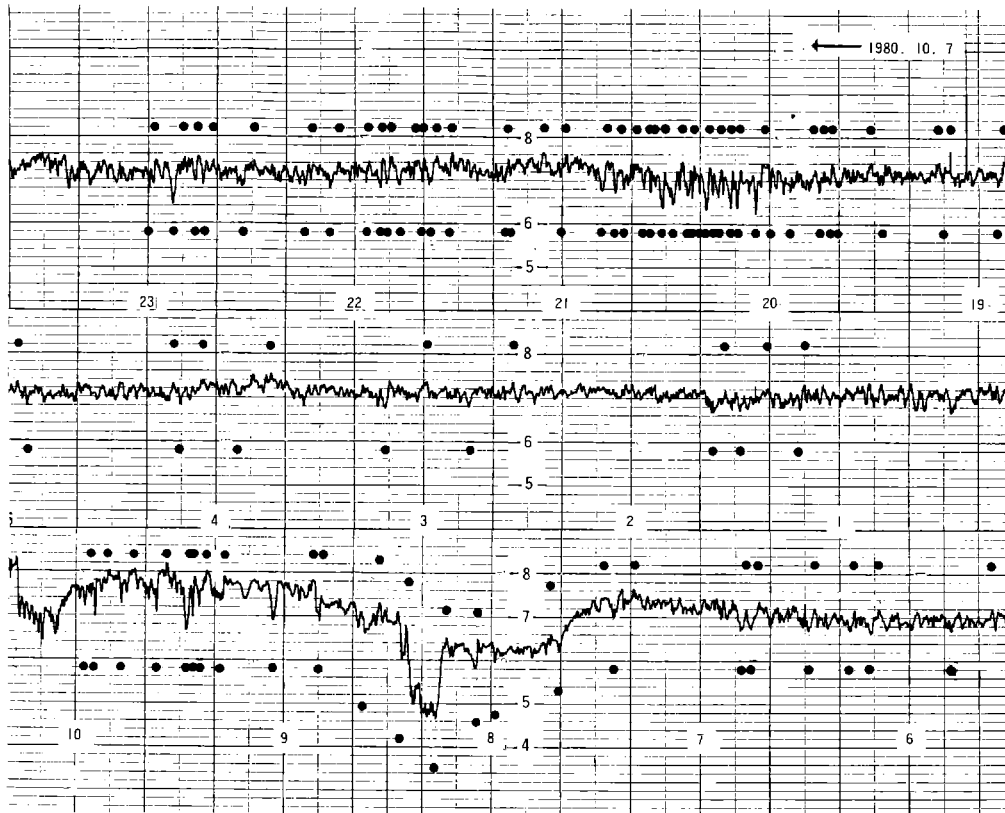
4図は1号池および2号池の注排水の溶存酸素量と、蓄養池の水温を推定するため別途に行っている蓄養実験において、先の報告で述べた1.4~1.5m³用水量の水槽⁴⁾を直列に連結し、外気の影響を最も多く受けた4基目の水温をそれぞれ示したものである。ここで1号池注水部の酸素濃度については、2図に示したとおり発生したノイズを斜線で表わし、2号池排水の酸素濃度については、各時刻毎に0.5ppm以上変化したもののみ集計し、それらの平均値と標準偏差および出現回数を図示したものである。

1号池注水部におけるノイズは夜間に発生し、しかも酸素濃度の高い時ほどその幅が大きい。又、2号池排水における酸素濃度の極大値と極小値の差、即ち変動幅は、水中作業などによる人為的なものを除くと、注入水の酸素濃度が最大になる頃、排水部における溶存量の変動回数が最も多い。この頃の実験水槽の水温は、下降し始めてから5時間経過後であり、蓄養池の水温も似た経過を辿ったものと推測される。これらのことから、蓄養池内のサケは、夜間用水の酸素濃度の増加につれて溯上行動を起こし、溶存量の最大時頃に池内における移動運動などの遊泳行動が最も活発になったことが推測される。



2 図 1号蓄養池注排水の酸素濃度の日間変化

各図上段および下段の図はそれぞれ排水部および注水部の酸素濃度を記録したものである。図中横列の数字は時刻を、縦列の数字は濃度 (ppm) をそれぞれ表わす。

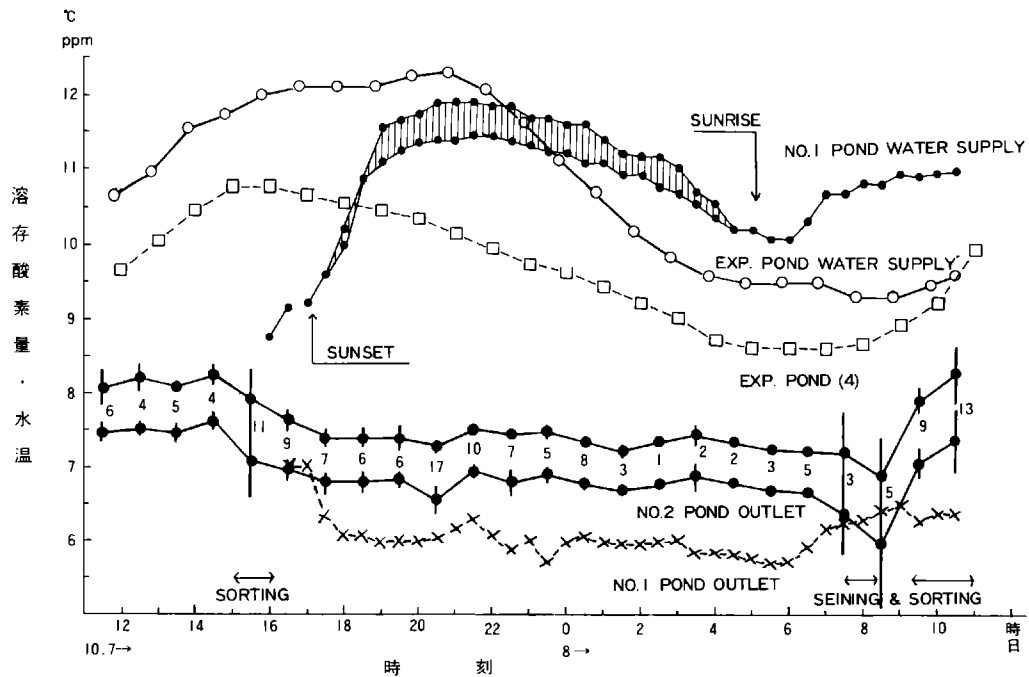


3 図 2号蓄養池の排水中酸素濃度の日間変化
 図中の記号●印は前後にそれぞれ0.5ppm以上変化するものを示したものである。

次に排水の酸素濃度が0.5ppm以上変化した回数とその平均変動幅の積を運動指数として親魚にかかったエネルギーの負荷量を表わし、その推移を一昼夜にわたって見たのが5図である。即ち、酸素濃度上昇時にみられた魚の動きは、図より選別や曳網による捕獲作業の負荷量に匹敵するほどに活力が昂まる、言い換えれば夜間に起きた酸素濃度の上昇は、魚に溯上行動を起こさせ、それに必要なエネルギーを引き出させる引金になることを示唆するものであろう。

考 察

蓄養池に入れられた魚は、夜間に再び上流へ向かって溯上しようと活発に行動することは2図から明らかである。そこで、これが何に刺激されたかを考えてみると、4図より夜間、水温下降時および酸素濃度の増加時に起きていることが知られる。特に20時から21時にかけての行動については、溯上行動のみならず、池内での活動が最も活発となったことが、運動指数の日変化を求めた5図から明らかである。この頃の溶存酸素量は、井戸によって多少の違いはあるかも知れないが、大体最高値になることが推測される(4・5図)。反面この頃の水温は下降中で、最高時から5時間経過後のものである。又、日没との関係についてはおよそ3時間経過後である。なお用水量については、その97.6%以上がポンプ揚水であり、利用された



4 図 注排水の溶存酸素量および水温の日間・日週変動

記号●印および○印は、事業用1号蓄養池および実験水槽の用水の酸素濃度を、×印および●印は事業用1号池および2号池の排水の酸素濃度を、□印は蓄養池の水温の代わりに4番目の実験水槽の水温をそれぞれ示したものである。

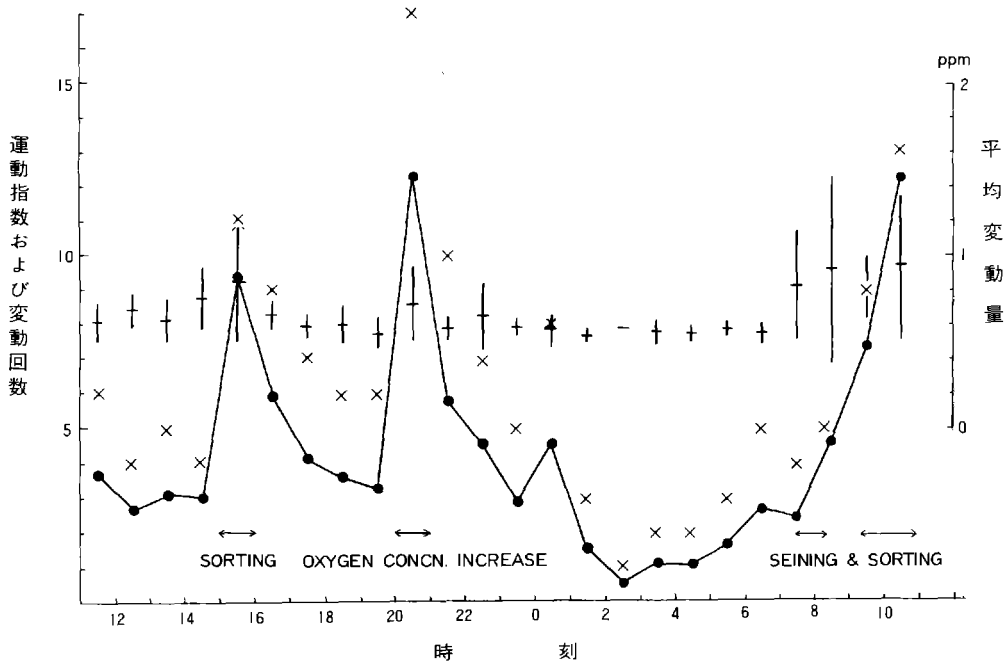
河川水(メン川)は湧水を源とすることなどから、いずれも短期間内での変化はない。そこで池内におけるサケの活力と用水の酸素濃度との関係を、人為的な影響がほぼなかったと思われる時刻について求めると、6図ようになった。即ち、この図は、種々の魚においてその酸素消費量など呼吸が、用水の酸素濃度に影響されることが知られているように^{1,2,7)}、抑制されていた活力が、酸素の増加によって賦活されることを示唆するものと思われる。

以上のことから、夜間にみられた池内での異常な行動は、水温、照度⁶⁾などの変化に起因するよりも酸素分圧の増加に反応した行動と考えられ、サケは水量の変化に対してみられた走性のように⁵⁾、水中の酸素分圧の増加に対して走性を示し、池内での移動行動は、走性現象によって引き起こされて興奮(代謝の亢進を伴うもので次報に述べる)するためと考えられる。

このような蓄養池内の魚の行動および活力は、排水中の溶存酸素量の変化に直接現われる(5図)。作業が行なわれれば無論のことである。このことは、既に魚の収容されている蓄養池の収容可能量を推定する場合に、池水の溶存酸素量を採水試料によって測定し、その値を用いて追加収容量を採算することが極めて大きなリスクを負うことを示唆するものであろう。

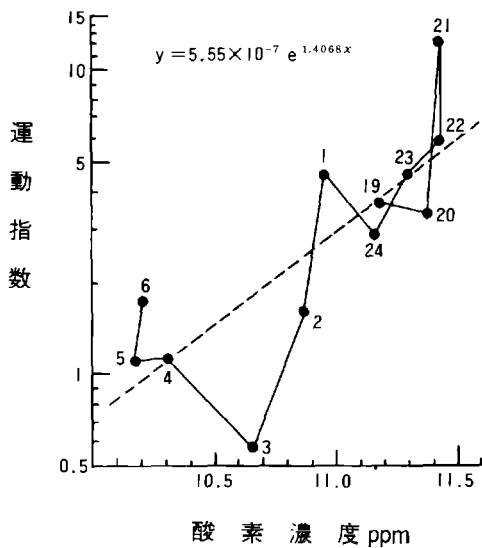
脚注1) 魚止めに魚が集まり、その行動が直接又は水の動揺から間接的に、電極に伝わって出来たもので、この記録から魚の行動が知られる。

脚注2) 2号池排水部の濃度は、魚の群れが電極に近づいた時減少するため、増加時(極大値)および減少時(極小値)の平均値を、変動幅0.5ppm以上のものについて計算して示したもので、図中の数字は毎時間当りの出現回数、縦線は標準偏差を表わす。



5 図 成熟期サケの蓄養池における移動運動の活力および影響

記号●印は運動指数（排水の酸素濃度が1時間あたり0.5ppm以上変化する回数とその平均変動量の積）、×は回数、縦線は平均変動量と標準偏差をそれぞれ示したものである。



6 図 池内におけるサケの活力と用水の酸素濃度との関係

図中の数字は時刻を表わし、点線は最小自乗法で算出した回帰線である。

又、サケの行動は、次のような蓄養技術上の問題を提起する。即ち、蓄養池の選別用捕獲槽に魚を効果的に導入するには、用水の酸素濃度に変化のある所の方が良い。無論、酸素濃度の変化が蓄養魚に重大な障害をもたらさないように、収容尾数に見合う供給水量が確保されている場合である。

又、溶存酸素量の変化のないような湧水を用いての蓄養では、酸素濃度に変化の生じることが予想される河川水を、酸素濃度上昇時に蓄養池へ導入し、水量の増加と共に酸素濃度も増加させ、魚に溯上行動を起こさせる。

以上の方策は、採卵時の省力化をもたらすのみならず、曳網などに起因する体の損傷および卵子への傷害を防ぐことが出来、増殖事業上極めて重要な技術となろう。

ま と め

溶存酸素計を用いて、蓄養池注排水の酸素量を連続測定し、記録上に現われた波の変動と波形の比較から、蓄養サケ親魚の池内における行動を解析した。

1. 蓄養池内のサケは夜間、用水の酸素が高濃度レベルで上昇する時に活力が昂められ、上流への溯上行動および池内での特徴的な移動運動を行なう。
2. 用水における酸素量の高レベルへの増加は、上に述べた行動の引き金の役目をする。すなわち、この現象は、高濃度レベルで増加中の酸素に対するある種の走性の為に起き、このことは、蓄養技術に新しい問題を提示するものと考えられる。
3. 稼動中の蓄養池における追加収容量を、溶存酸素量から推算する場合は、採水法と酸素濃度の測定に特別な注意が必要であろう。

引 用 文 献

1. Beamish, F.W.H. 1964 a. Respiration of fishes with special emphasis on standard oxygen consumption. III. Influence of oxygen. Can. J. Zool., **42**: 355-366.
2. Beamish, F.W.H. 1964 b. Respiration of fishes with special emphasis on standard oxygen consumption. IV. Influence of carbon dioxide and oxygen. Can. J. Zool., **42**: 847-856.
3. 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.
4. 橋本 進 1980. 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周, 日間変動が収容量に及ぼす影響. 北海道さけ・ますふ化場研報, (20): 105-113.
5. 眞山 紘・高橋敏正 1977. サケ・マス親魚の生態調査—I. 千歳川におけるサケ親魚のそ上活動の日週変動(1). 北海道さけ・ますふ化場研報, (31): 21-28.
6. 眞山 紘 1978. サケ・マス親魚の生態調査—II. 千歳川におけるサケ親魚のそ上活動の日周変化. 北海道さけ・ますふ化場研報, (32): 9-18.
7. Saunders, R.L. 1962. The irrigation of the gills in fishes. II. Efficiency of oxygen uptake in relation to respiratory flow activity and concentrations of oxygen and carbon dioxide. Can. J. Zool., **40**: 817-862.