

熊野貯水池水質の周年変化*

村地四郎・高橋正雄・唐川佳子・河本真二

(広島大学水畜産学部水産学科)

Some Physico-Chemical Features of Kumano Reservoir

Shiro MURACHI, Masao TAKAHASHI, Yoshiko KARAKAWA
and Shinji KAWAMOTO

*Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry,
Hiroshima University, Fukuyama*

(Figs. 1-15; Table 1)

緒 論

本学部の所在する、広島県福山市内南西部の熊野町に上水道用貯水池（熊野貯水池）がある。

此の貯水池は、1926年に完成したもので、当時は福山市唯一の上水道であったが、その後市内を流れる芦田川が上水道用水源として利用される様になり、現在では熊野貯水池の上水道用水源としての価値は極めて低くなっている。福山市よりの依頼もあり、筆者らは、この水産・観光面での活用を検討の結果、この貯水池は、温暖地に於ける溜池の典型的な性状を示しているので、温水性魚類の飼育可能な事は言うまでもないが、夏期においても躍層以深に存在する冷水を巧みに使用すれば、冷水性魚類の飼育も可能であろうとの結論に達し、溜池の多角的利用の試みも兼ねて、極めて小規模ではあるが必要な最小限の施設を熊野淡水生物実験所として、1962年3月に完成し、まず、ニジマスを対象魚に選んで飼育を開始し、現在に及んでいる。

この間、親魚の育成・採卵・孵化及び稚魚の飼育など全般に亘り、かなりの成果を得ると共に、貯水池水質の変動も継続して追求し、このような溜池利用法の検討も加えて来た。

熊野淡水生物実験所の施設の詳細並びに飼育の経過などについては別稿¹⁾にゆずり、ここには、貯水池自体の水質の周年変化について述べ、若干の考察を加える事とする。なお、当施設の設置、並びに運営に関して絶大なる御援助を賜った福山市に対し、感謝の意を捧げる。特に貯水池の水温測定に関しては、福山市水道局浦川猷一氏の御協力によったものが多く、厚く御礼申し上げる次第である。

熊野貯水池並びに養魚用取水施設の概要

熊野貯水池の形状並びに計測値の概要は、Fig. 1 及び Table 1 に示した通りであり、その形状は、北西—南東の方向に細長く、その下流の北西端が、長さ約 180m、高さ約 29.4m のダム (Fig. 1, A—B) で塞止められている。

湖底はダム下端が最深部となっており、建設当時の水深は 27.26m で、その部分に取水塔が建っている。Fig. 2 に模式的に示した通り、取水塔には上水道用として、第 I、第 II、第 III、第 IV の四つの取水

* 広島大学水畜産学部熊野淡水生物実験所業績第 3 号

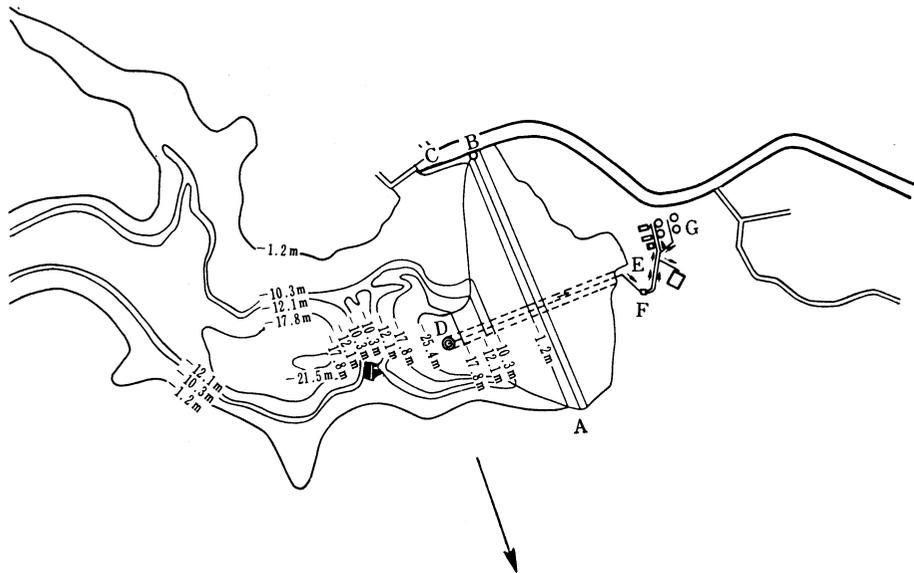


Fig. 1. Topographical features of Kumano Reservoir.

Table 1. Size of Kumano Reservoir

Maximum depth	27.3 m
Maximum length of surface	800 m
Maximum width of surface	200 m
Area of surface	94,215 m ²
Maximum capacity	914,952 m ³

口が設けられており、貯水池の水位に応じて可能な限り上層の水を取る様に、何れか一つの取水口を開口している。これらの取水口はすべて取水塔内の径 300mm の一本の鉄製送水管に接続しており、この送水管は取水塔最低部よりダムの底を貫通して外部に達している長さ約 120 m のトンネル内を通過して上水道用止水井に導かれている。(Fig. 2)

ダムの南西端の一部に、大略東西の方向に余水吐 (Fig. 1, C—B) があり、満水時には、そこより溢水して溢水溝により流下する。

養魚施設建設に先立ち、1959年以前数年間の福山市水道局水温測定記録、並びに、1959年8月に当学部において実施した予備的調査との結果から、例年4月頃より10月頃の間が成層期で、特に盛夏には成層の発達が顕著であり、躍層は水表面から3~5mの処にあると推論された。又、過去10数年間の水位の変動などに関連して考察すると、満水面下10m以深の水温は、周年20°Cを越える事はなからうとの結論に達したので、取水塔の満水面下12mの処に新たに取水口を設け、専用の送水管を連結し、養魚専用で取水出来る様にした。養魚池へは、この送水管の水と、上水道用送水管との水を自由な割合に混合して給水出来る様に給水系を設置した。

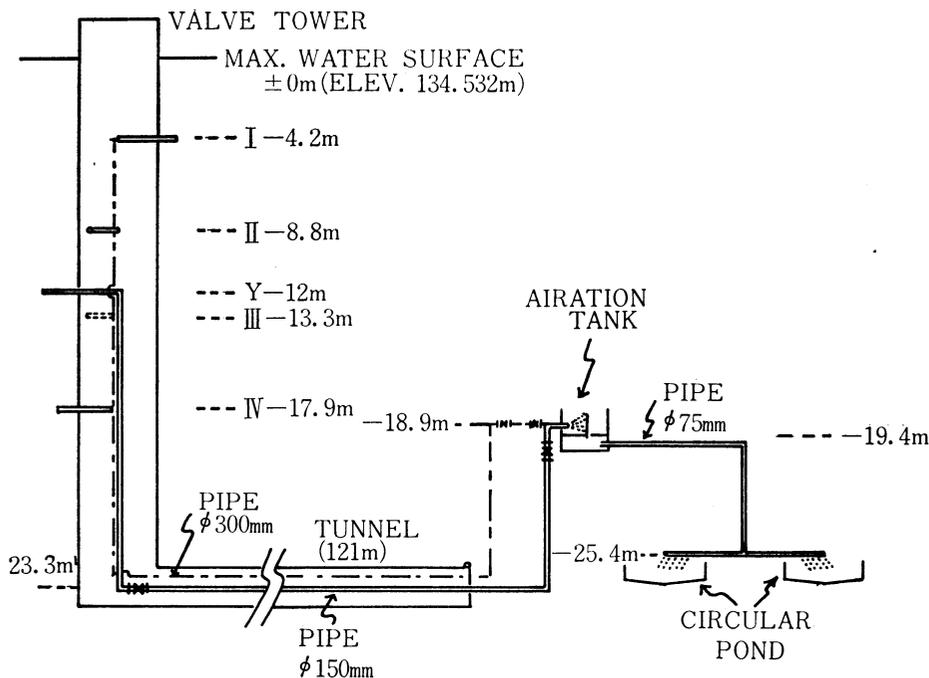


Fig. 2. Schematic representation of the route of the water supply in Kumano Reservoir.
I~IV: Inlets of pipe for service water. Y: Inlet of pipe which distribute water to the culture ponds only.

水質測定の方法

測定場所 取水塔にそって水表面より湖底に向い、鉛直に各層の測定を行なった。

採水 北原式B号採水器を用いた。

水温 その場合に依り適宜、転倒温度計、サーミスタ温度計を用い、あるいは採水した水について普通の水銀水温計にて測定した。

溶存酸素量 ウィンクラー法の常法によった²⁾。

pH 硝子電極 pH メーターで測定した。

カルシウム ドータイト NN 指示薬を加えて ドータイト硬度滴定液にて滴定する、EDTA 法³⁾ により測定した。

アンモニア態窒素 ネスラー法⁴⁾ によった。吸光度測定には、スペクトロ20分光比色計を使用した。

鉄 試水に塩酸ヒドロキシルアミンを加え、第2鉄イオンを第1鉄イオンに還元した後、0-フェナントロリンと第1鉄イオンとの反応により生成する錯塩の赤橙色を比色する 0-フェナントロリン法²⁾⁵⁾ で、全鉄の定量を行なった。

硫化水素 試水に酢酸鉛のアルカリ性溶液を加えると、 H_2S の存在によって生ずる褐色の程度と、硫化水素標準液を酢酸鉛液に滴下してその呈色とを一致させる、硫化鉛による比色法²⁾ を採用したが、試水と標準液との呈色の一致点を決定する事が非常に困難であったので、あらかじめ適当な濃度の硫化水素標準液系列を作製して発色させておき、試水の呈色をその系列と比較する方法を採った。従って、 H_2S の量は、かなりの巾をもって表示せざるを得なかった。

熊野貯水池の水位及び各層水温の周年変化

貯水池の水位並びに各層における水温の周年変化は、細かい点では年により幾分の相異はあるが、その傾向は各年かなり一致している。その一例として実験所で魚を飼育し始めた、1962年の夏頃より、1965年年末に至る水位と、水表面、水表面下5m, 10m, 15mの水温の変化とを Fig. 3~Fig. 6 に示した。

まず水位の変動について述べる事とする。貯水池よりの主な取水は、主として次の3用途である。すなわち、上水道用として、毎日1,000トン~3,000トン、養魚用として、毎日300トン~600トンを取水し、更に6月から7月にかけて、貯水池下流の水田に灌漑用として一時的に大量に取水が数回実施され、これによって、水位に一時的な急変が見られる。一方、これらの流出は貯水池上流部に流入する4つの小河川によって主に補給され、その流入量は、この地方の降水量に左右される⁶⁾。

以上のような水の収支の結果として、例年降雨量の少ない9月~10月頃より水位は下降しはじめ、翌年3月~4月頃迄の間は渇水期に当たっている。5月~6月頃の降雨により、水位は上昇し、6月~7月は、前期のように灌漑用取水による一時的な水の大量放出はあるけれども、降雨量が多いために、大体満水に近い状態を保つ。1962年より1965年の4年間に水位の変動の代表的な4つの型が示されている。すなわち、1962年は5月頃迄、通常の渇水状態が続き、6月に入って梅雨期の降雨により満水し、8月より水位は下降し始める (Fig. 3)。

1963年の5月中頃迄は、前年の継続で平年並みの渇水水位を示し、ついで梅雨により満水したが、そ

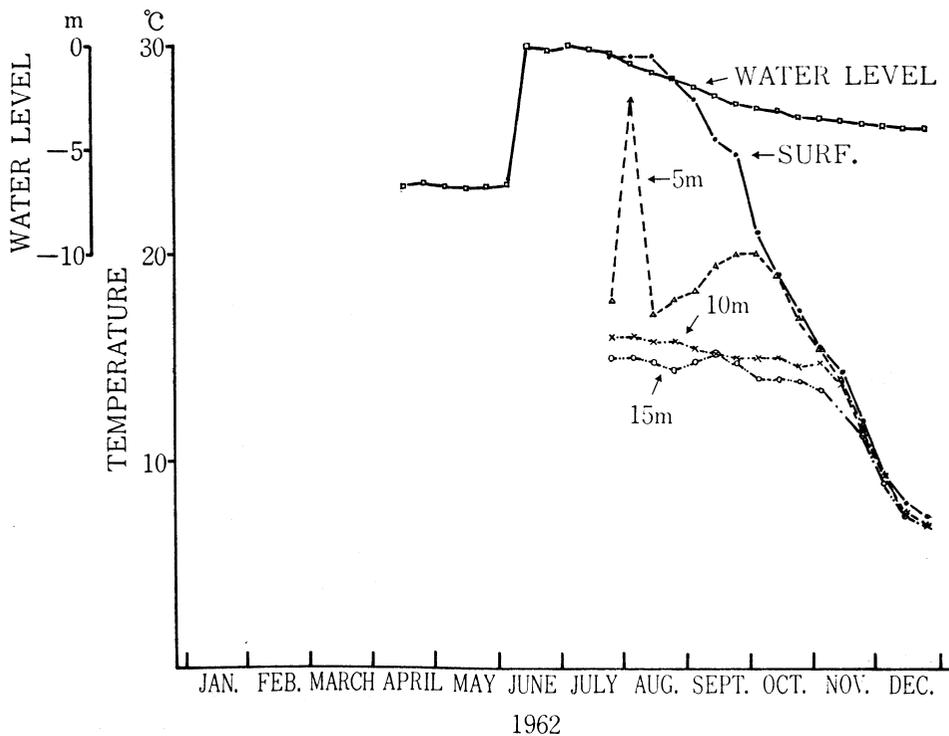


Fig. 3. Annual variation in water level and in water temperature at surface, 5, 10 and 15m, at Kumano Reservoir.

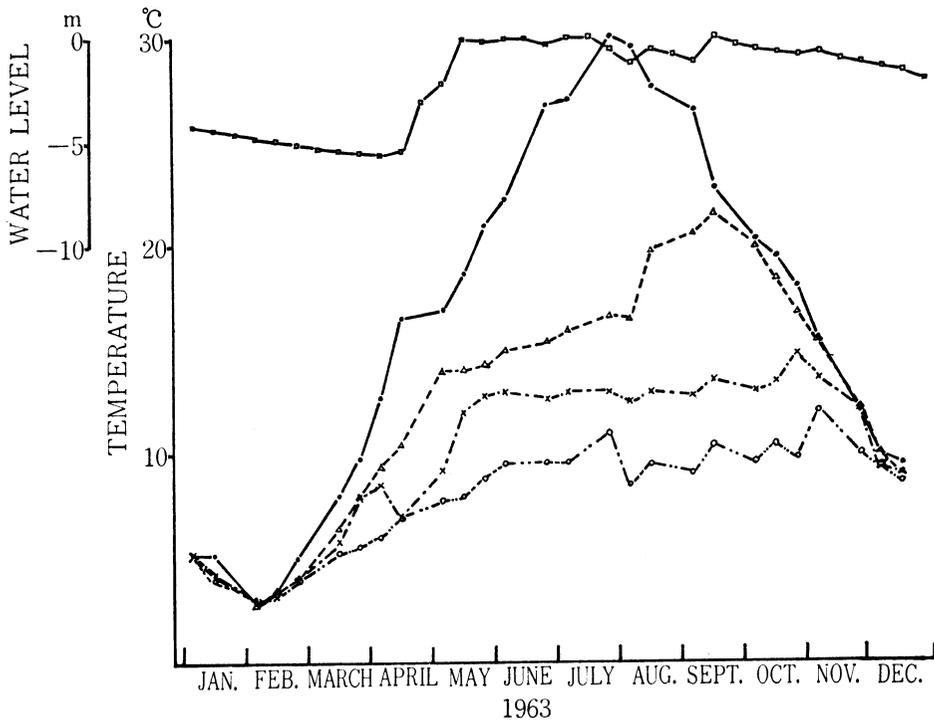


Fig. 4. Annual variation in water level and in water temperature at surface, 5, 10 and 15 m, at Kumano Reservoir.

の後は例年になく夏から秋にかけての降雨が多く、従って渇水期の水位は、平年より高目で、翌年に持ち越した (Fig. 4).

1964年の如く、前年より持ち越して渇水期の水位が高く保たれた年は、4～5月頃の降雨によって早く満水する。しかし、この年の5月以後は、目立った降雨がなく、その結果、他方では灌漑用水の需用が激増し、そのために水位は下降の一途をたどり、翌1965年の4月迄は平年よりかなり低い水位が続いた。このような異常渇水期の後でも5～6月の降雨により必ず満水する (Fig. 5, Fig. 6)。それ以降は、夏期に幾分流入量が多く、高目の水位が保たれたが、まずは、平年並みの水位変動と言えよう。

更に長期間の観測結果を見ても、貯水池の水位は、上記のいずれかの型の組合わせと言う事が出来、各年の渇水期における最低水位は、大略、満水面下3m～10mである。一方各年の6月～9月における最低水位は、普通、満水面下3m～5mであるが、稀に上述の1964年の例のように、満水面下10m近くに迄下降する事もある。

次に、各層水温の周年変化についてみると、例年11月中・下旬頃より3月上・中旬頃までは各層の水温はほとんど同じで、循環期とみなし得る。それ以降、上層と下層との温度差は次第に大きくなって停滞期に入り、成層は7月下旬から9月上旬にかけて最も顕著である。その後、気温の低下に伴ない、表面水が冷却するにつれて、各層の水温差は次第に小さくなり、循環期に移行して行く。

図には示されていないが、表面水温は気温の変化と極めて相関して変動し、夏期には最高31.5°C (1964年8月10日) に達する事もあり、冬期には日陰では結氷する事もあるが、観測値としては、1963年2月4日の2.8°Cが最低であった。満水面下5m層以下、10m, 15m層の水温は、夏にも冬期に冷

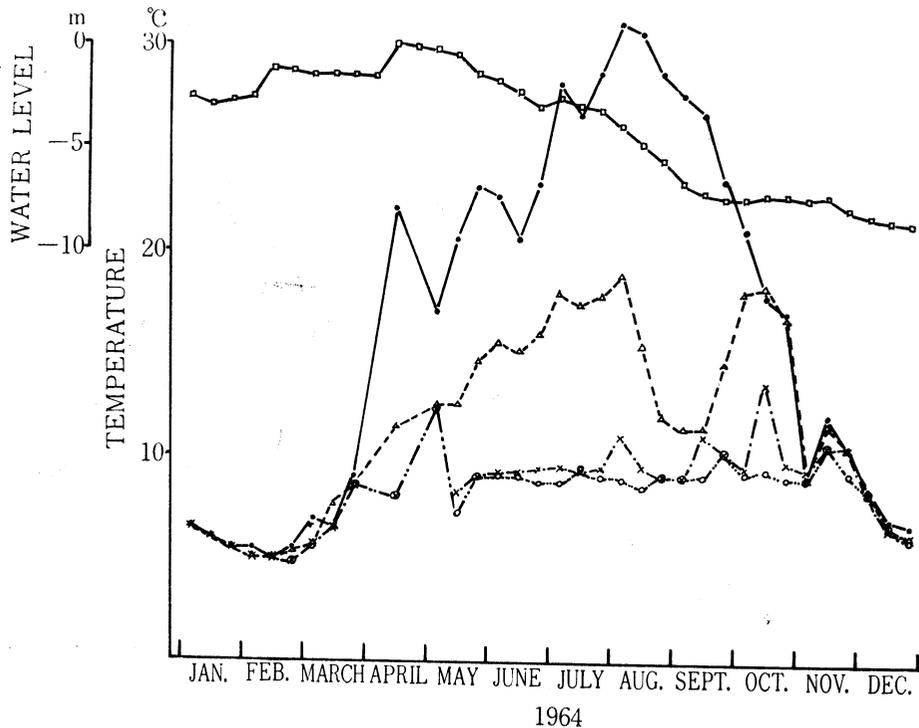


Fig. 5. Annual variation in water level and in water temperature at surface, 5, 10 and 15 m, at Kumano Reservoir.

却された水がかなり低温を持続するが、表面に近い水ほど、温度が上昇する。しかし、表面下5m層では、盛夏にも 20°C 以上になる事はほとんどない。成層期に各層の水温が一時的に乱れる事があるが、これは集中降雨による貯水量激増による危険を防除するために、湖底より臨時的に大量の放水を行なった場合か、前述した灌漑用水のための大量放水によるものか、あるいは降雨後に貯水池表面に浮泥が一時的に増加した折に、低層部の取水口より取水する事があるが、その影響によるものかのいずれかであるが、常にその影響は一時的なもので、まもなく、従前の層を形成する。1962年より1965年間の各層水温変化の図で、(Fig. 3~Fig. 6)熊野水源池で認められる水温変化の型を大略代表している。これからもわかるように、満水面下12mの処に設置された養魚専用取水口は、平年の夏期には水表面下10m層前後に深に存在し、異常渇水の夏期においても、ごく短時は水表面下5m層前後の水を取水する事になるが、その期間以外はより深層の水を取水する事になるから、常に 20°C 以下の水の取水が可能である。

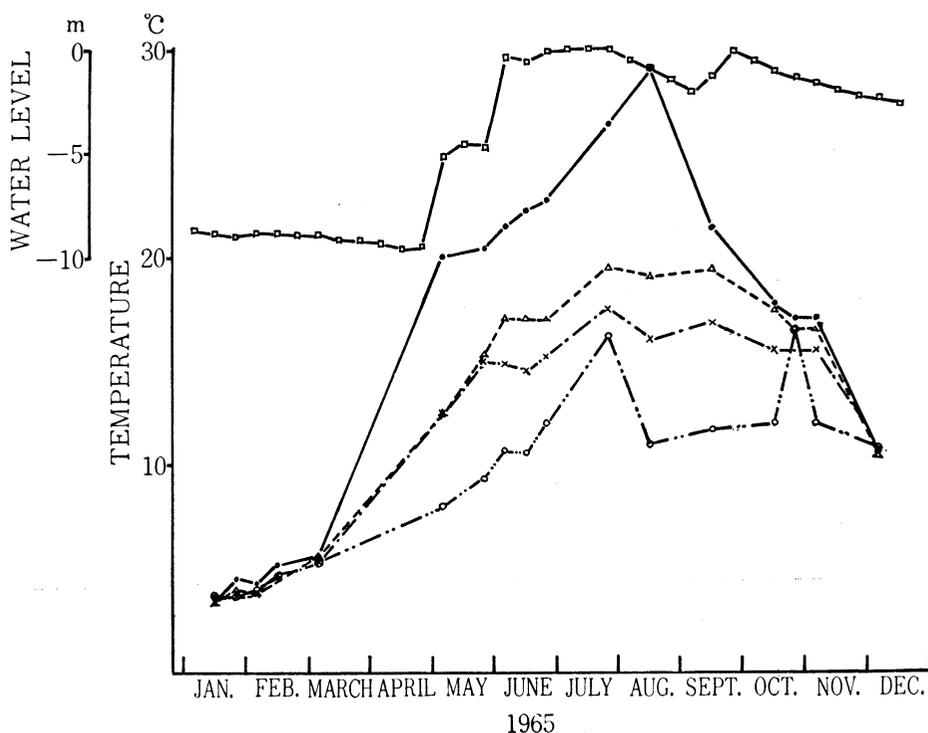


Fig. 6. Annual variation in water level and in water temperature at surface, 5, 10 and 15 m, at Kumano Reservoir.

貯水池水質鉛直分布の年変化

水温 (W. T.), 溶存酸素 (D O), 水素イオン濃度 (pH)

取水塔の位置における1967年1月20日より、1968年2月24日に至る間の14回に亘る観測結果を Fig. 7 ~ Fig. 11 に示した。

この図の下辺の横軸は、取水塔位置における池底を表わし、縦軸に観測時における水位から計算した水表面の位置を0 m とし、それより池底へ向っての水深を m で表示した。従って、計算上からは観測し得る最大水深は池底の位置と一致する筈であるが、実際には、観測点が取水塔より少しでも動くと、池底はかなり浅くなるので、図上の最大深度の測定値が池底表面水のものと考えてよい。又、各図の左端の縦軸に参考のために矢印で満水面と養魚専用取水口の位置を示しておいた。

1967年1月20日、2月21日の観測では、W. T., DO, pHとも水深による相異はほとんど見られず、未だ循環期にあると考えられる。4月20日には、pHでは深度による差はあまり認められないが、W. T. と DO においては、水深10 m 附近を境として、表水層と深水層とに分離する傾向を示し始める (Fig. 7)。それ以後は表面水温の上昇に伴ない、W. T. と DO との躍層の傾度は大きくなる。成層の形成が顕著な8月21日と、9月13日の観測においては、水表面より、7 m 程度の深度までの測定を幾分細かく行なったが、その結果、水表面下3~5 m の処に、W. T. と DO との躍層の存在する事が明らかになった (Fig. 9)。W. T. では9月25日には、その傾度はかなり小さくなり、10月21日には、ほとんど傾斜

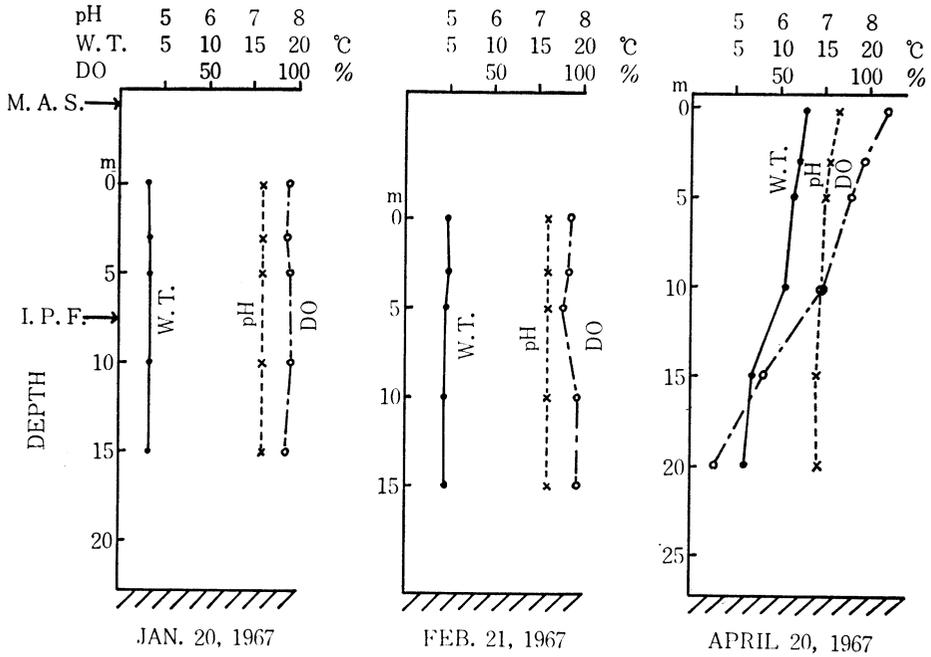


Fig. 7. Vertical distribution of water temperature (W. T.), dissolved oxygen concentration (DO) and pH in water of Kumano Reservoir.

M. A. S. →: Level of maximum water surface.

I. P. F. →: Level of inlet of pipe for culture pond.

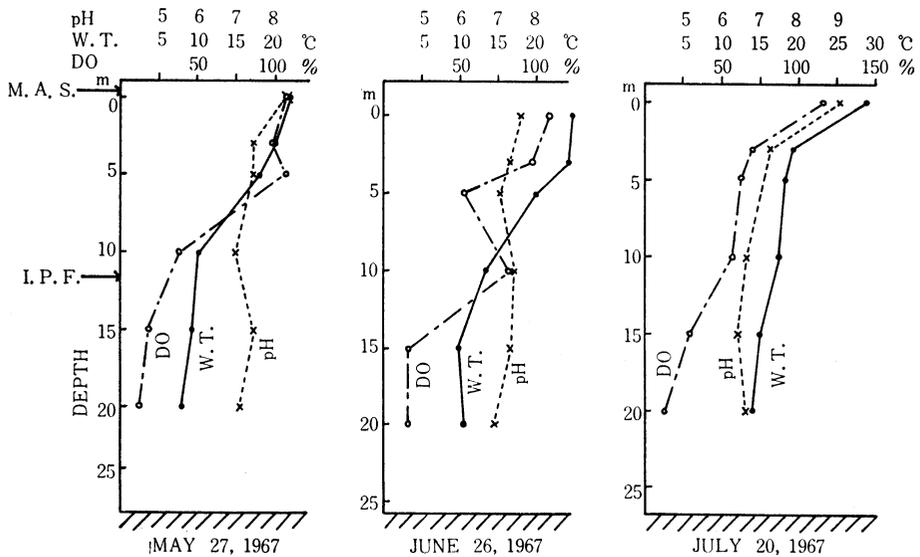


Fig. 8. Vertical distribution of water temperature (W. T.), dissolved oxygen concentration (DO) and pH in water of Kumano Reservoir.

M. A. S. →: Level of maximum water surface.

I. P. F. →: Level of inlet of pipe for culture pond.

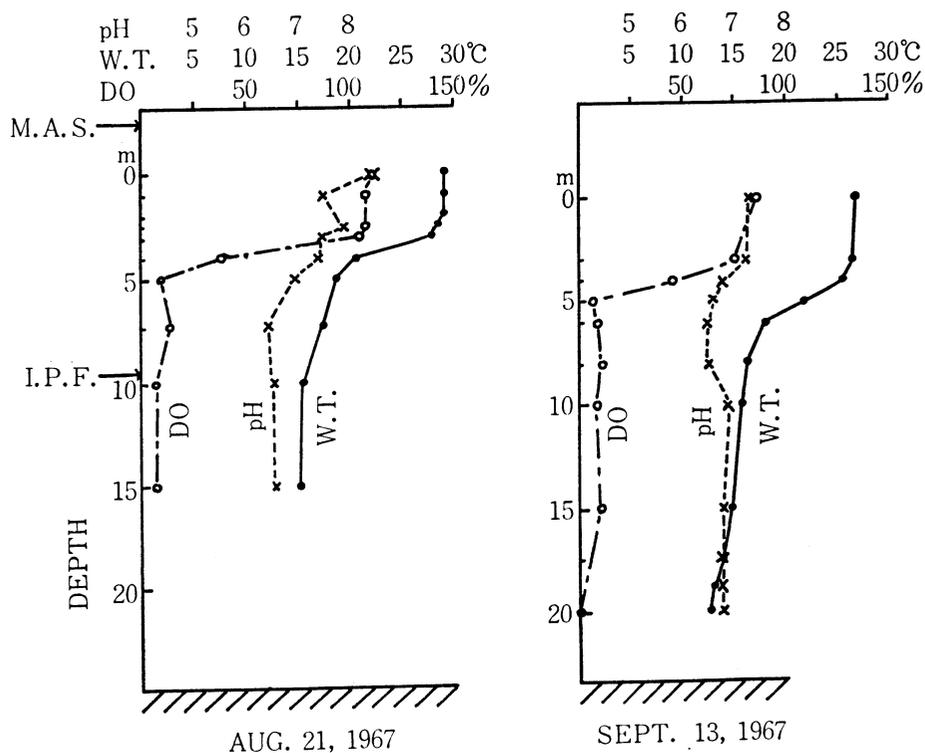


Fig. 9. Vertical distribution of water temperature (W. T.), dissolved oxygen concentration (DO) and pH in water of Kumano Reservoir.

M. A. S. →: Level of maximum water surface.

I. P. F. →: Level of inlet of pipe for culture pond.

がなくなりつつあるが、DOは10月21日においてもなお、水表面下5m~7mの間に傾度の大きな層が存在する。11月24日には、W. T., DOとも各層ほぼ等しく、循環期に入ったとみなしてよからう (Fig. 10).

気温が最低となる12月より2月に至る間、気温の低下が甚しい場合は、逆列成層が見られる。循環期のDOは深度に関係なく、ほとんど80%以上の飽和度を示す (Fig. 7, Fig. 11).

pHもW. T. などと同じ傾向の変動を示し、5月から7月にかけて、水表面では植物性プランクトンの光合成作用により著るしいアルカリ性を呈し、下層では幾分酸性となっているが、循環期には一様に中性か、弱アルカリ性である。

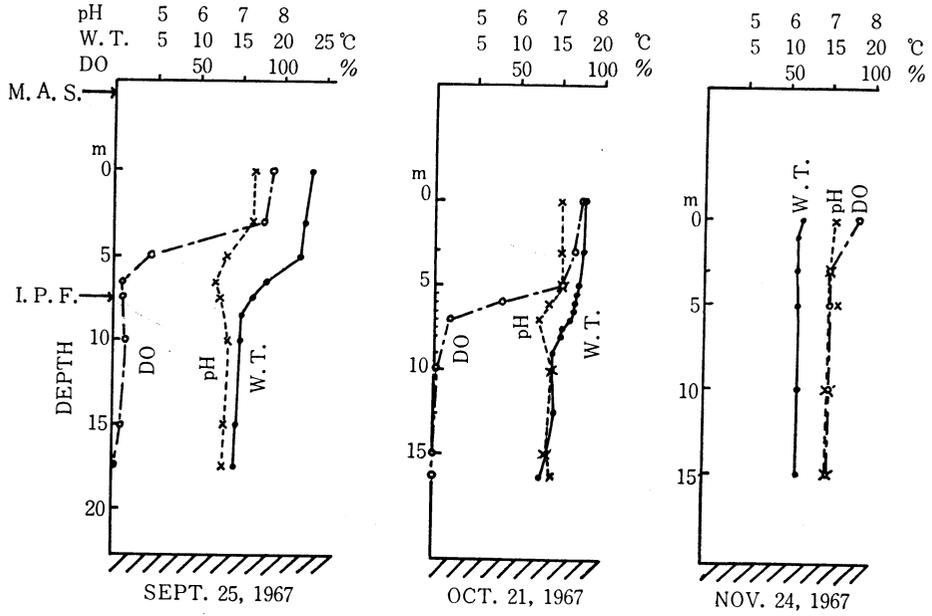


Fig. 10. Vertical distribution of water temperature (W. T.), dissolved oxygen concentration (DO) and pH in water of Kumano Reservoir.
 M. A. S. →: Level of maximum water surface.
 I. P. F. →: Level of inlet of pipe for culture pond.

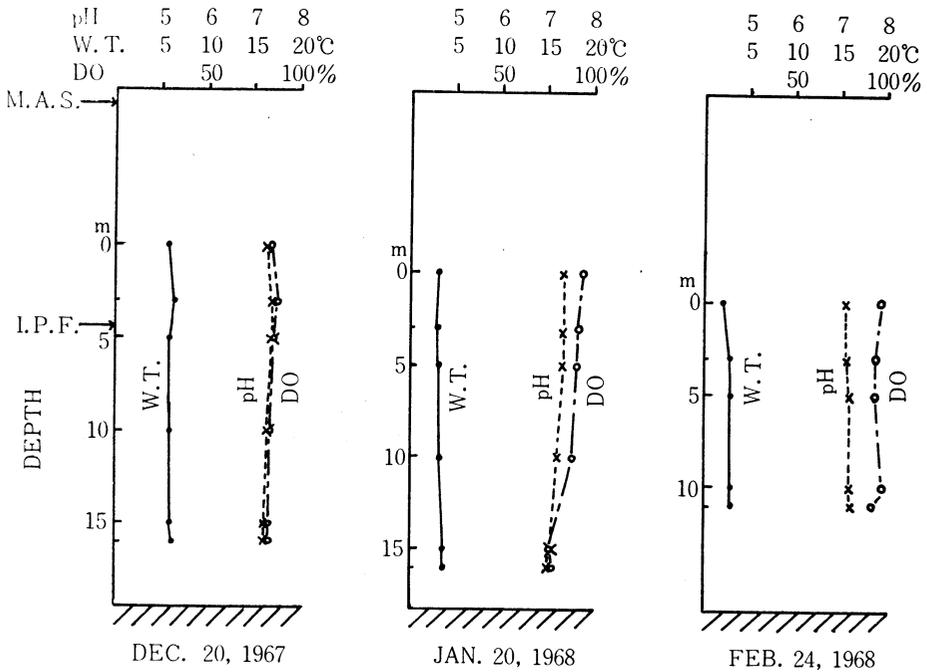


Fig. 11. Vertical distribution of concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$, Fe and H_2S in water of Kumano Reservoir.
 M. A. S. →: Level of maximum water surface.
 I. P. F. →: Level of inlet of pipe for culture pond.

アンモニア態窒素 ($\text{NH}_3\text{-N}$), 鉄 (Fe) 及び硫化水素 (H_2S)

1967年4月20日より、1968年2月24日に至る間の、12回に亘る観測結果を、Fig. 12~Fig. 15 に示した。

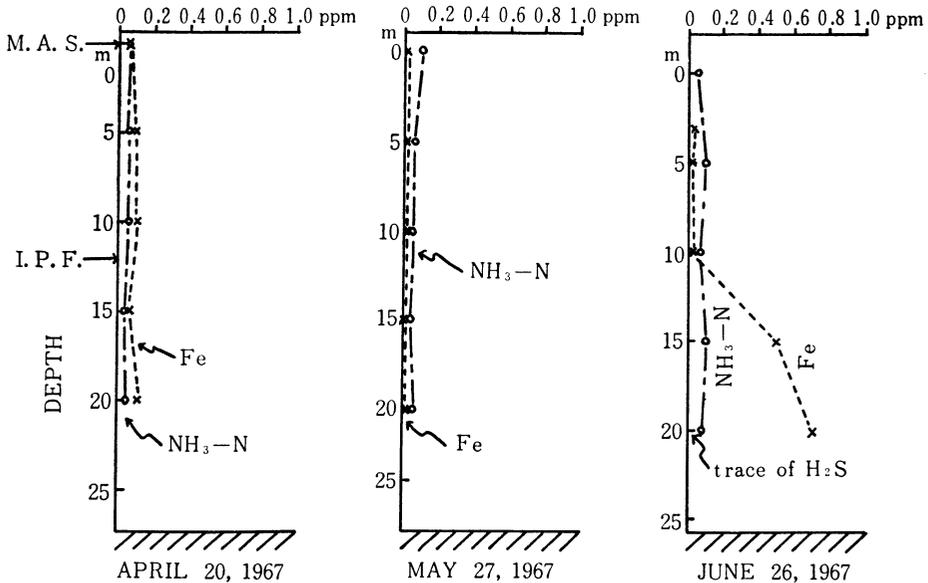


Fig. 12. Vertical distribution of concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$, Fe and H_2S in water of Kumano Reservoir.

M. A. S. →: Level of maximum water surface.

I. P. F. →: Level of inlet of pipe for culture pond.

$\text{NH}_3\text{-N}$ は、4月20日及び5月27日の観測では、0.12 ppm と云う幾分多い値が5月27日の水表面で得られた他は、殆ど均一で、0.02~0.06 ppm の範囲内にあった (Fig. 12)。6月26日以降9月25日迄は、全体的に幾分増加するがそれ程極端な傾向は見られない。然し、10月21日には、水表面下5m以深は深さに比例して増加し、測定最深部の水表面下15mでは、約1 ppm と云う最大値を示した (Fig. 14)。其の後は再び全般的に減少し、1968年2月24日には、各層殆ど等しく、0.06 ppm~0.08 ppm の範囲内に留った。

Fe も1957年4月20日、5月27日には水表面より底層まで一般的に少なく、0.01 ppm~0.1 ppm の範囲であるが、6月26日から10月21日までの間は、底層に近い部分にかなりの増加が見られる。特に9月13日には、最深部の水表面下20mに、4 ppm と云う極端な値が得られた。その後は、1958年1月20日迄は、減少の傾向を示しつつも尚断続的に深層部にかなりの Fe が存在したが、2月24日には、前年の4月20日の状態に近づいた。

H_2S は7月20日に至り始めて底層に痕跡が認められ、次いで8月21日には水表面下10m以深に痕跡を認めた。9月13日には水表面下10m以深に測定可能な量の H_2S が存在し、その量は底層になる程増大し、特に池底から2mの範囲には、0.7 ppm~1.4 ppm の H_2S が存在した。其の後9月25日も減少は見られず、底層では0.9 ppm~1.2 ppm の値を示し、10月21日に至っても尚底層のみに0.3 ppm~0.7 ppm が認められたが、11月24日以後は全く消失した。

カルシウム

カルシウムの含量は、水深及び時期により特に規則的な変動は見られず、観測毎に区々であったが、

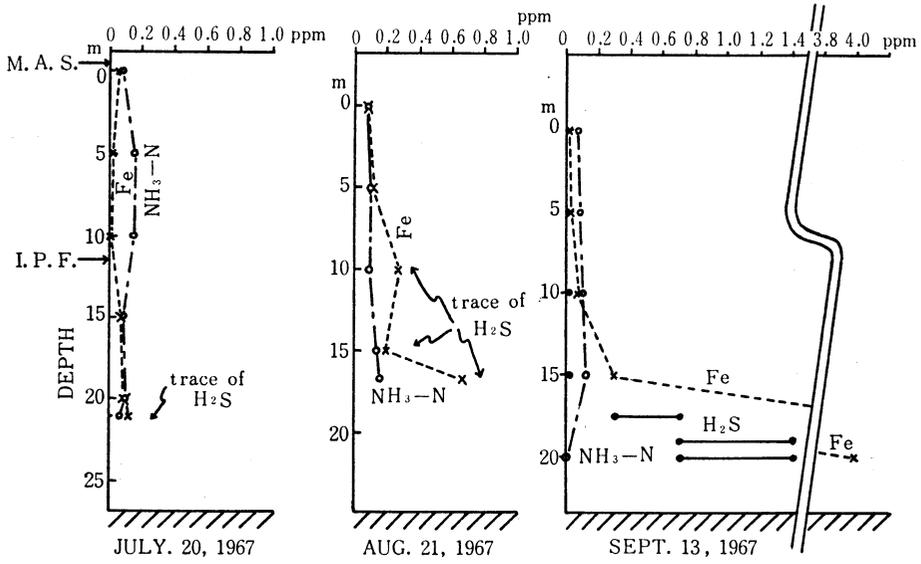


Fig. 13. Vertical distribution of concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$, Fe and H_2S in water of Kumano Reservoir.

M. A. S. →: Level of maximum water surface.

I. P. F. →: Level of inlet of pipe for culture pond.

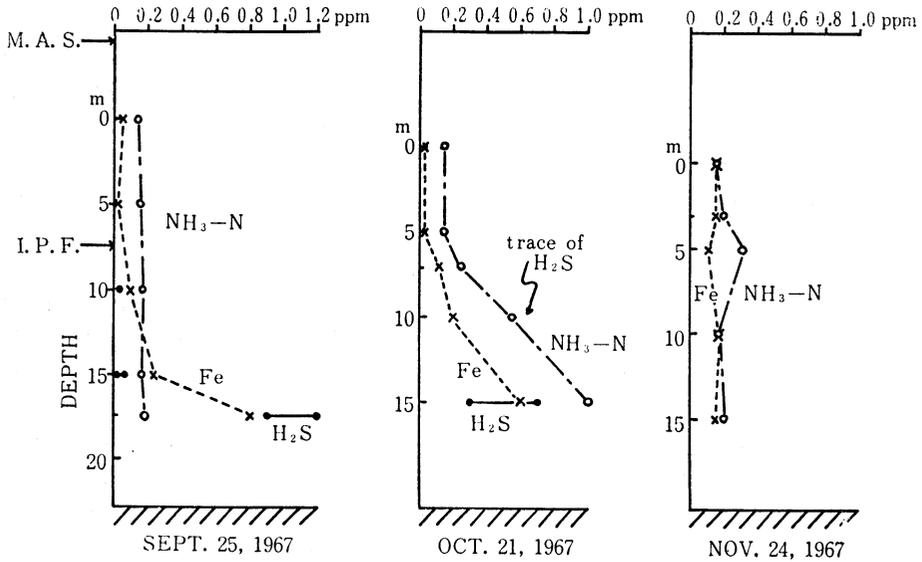


Fig. 14. Vertical distribution of concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$, Fe and H_2S in water of Kumano Reservoir.

M. A. S. →: Level of maximum water surface.

I. P. F. →: Level of inlet of pipe for culture pond.

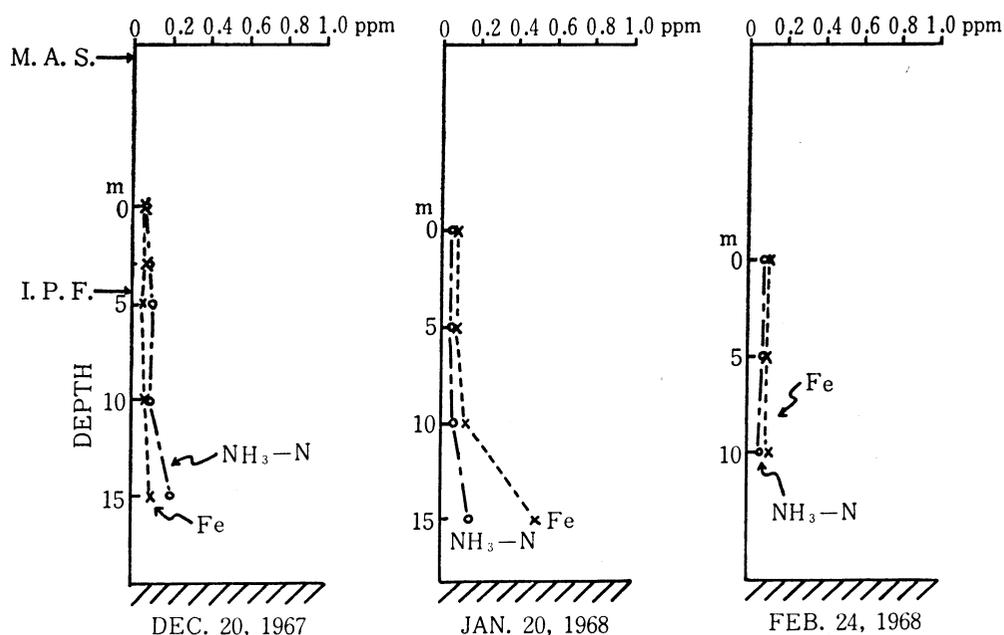


Fig. 15. Vertical distribution of concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$, Fe and H_2S in water of Kumano Reservoir.

M. A. S. →: Level of maximum water surface.

I. P. F. →: Level of inlet of pipe for culture pond.

上記と同じ12回の観測中、最大値は10.7 ppm、最小値は5.3 ppmであり、養鱒用飼育水としては、少ない方と考えられる⁷⁾。

考察及び結語

緒論に於いても述べた通り、温暖地溜池の満水面下12m層の水を取水する事により、夏期に於いても可なり低温の水を得て、本来なら不可能な虹マスなどの冷水性魚類を飼育するための給水源としての熊野貯水池水質の周年変化を検討するのが、本研究の目的であるから、主として其の観点に立って、若干の考察を加える事とする。

飼育対象魚を虹マスとして、先ず水温から吟味すると、魚にとって最も望ましいのは、変動の少ない、適当な水温範囲内の水が周年得られる事であるが、これは熊野水源池を利用する限りは望み得ず、問題は、夏の最高水温と、冬の最低水温とを、どの範囲内におさめ得るかと云う点にかかって来る。厳寒期に於いては、極く短期間、表面水が $2^{\circ}\text{C}\sim 3^{\circ}\text{C}$ を示す事があり、此の様な低温は魚にとって決して好ましいものではないが致命的ではない。此の際貯水池の水温は、下層に行く程 4°C に近いから、その利用を考えれば、幾分か低温の影響を緩和出来る。

現在迄の色々な資料に基づき、虹マスの適応水温の最高限界を一応 23°C 、出来れば、 20°C 以下が望ましいとして、貯水池の夏期の水位と水温の鉛直分布との関係を見ると、既に述べた如く、満水面下12m以深より取水すれば、盛夏に於いても十分な余裕を以て 20°C 以下の水を利用し得る。

一方、貯水池内の溶存酸素量は、循環期には池全域で飽和度80%以上を示すから問題は無いが、成層形成の顕著な夏期には、表水面下3m~5mに存在する躍層以深では、飽和度5%以下になり、魚にと

って致命的である。

これは、貯水池より取水後、飼育水槽に至る間の給水経路に効果的な曝気槽を設ける事により解決した(Fig. 2)。

貯水池の pH は、それ程問題にはならない範囲であるが、これも曝気槽で曝気させる事により、より中性に近づける事が出来た。

次に $\text{NH}_3\text{-N}$ 、Fe、 H_2S に問題が有る。 $\text{NH}_3\text{-N}$ は、夏期、酸素が消失し、水が停滞する湖の底層に豊富に含有されるが⁹⁾、熊野貯水池に於いても、6月下旬より10月下旬に至る間、池底に近く成層形成が屢々認められた。

又、夏期底層に Fe が大量に出現するのは、無酸素層に於いて有機物が酸化される際に、池底の沈澱物中の水酸化鉄、或は酸化鉄が還元され溶解したものと考えられる⁸⁾。更に、熊野水源池の場合、 H_2S の増加は主として生物体を構成する蛋白質の分解に基づくと思われる⁶⁾。

何れの場合も池底に最も顕著に成層を形成するのは、池の表水層水温が最高を示す、7月～8月ではなくて、表水層水温が低下し始めて深水層との温度差は次第に小さくなって来るが、尚、底層附近は無酸素状態に近い、9月～10月に当って居るのは注目すべきである。

貯水池の下層の冷水を利用して、冷水性魚類の生棲に適する様に水温を調節する構想は従来もいくつか見られるが、⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ 我々と最も構想並びに規模に於いて類似点の多い、山口貯水池養魚場の施設¹¹⁾に於いては、貯水池池底水を利用して居る。此のため、池底附近の沈澱物と鉄とによる混濁が虹マス飼育の大きな障害となって居る事が指摘されている。

又、曝気槽を設けなかったために、夏の O_2 不足が問題とされている。

前述した如く、熊野貯水池に於いては、夏から秋にかけて、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、Fe 及び H_2S が池底附近に成層を形成する。これらが飼育水に混入するのを避けるためには、出来るだけ上層より取水するのが望ましいが、既に明らかにした通り、水温の点で制限される。

この様な点と、水位の変動と関連して考えると、満水面下 12 m の中層水取水が妥当との結論に達する。更に、幾分でもこれらの有害物質が取水中に混入した場合でも曝気槽によって可なり除去する事が出来る。

然し、9月以降、表水層水温が下降し始めたら、飼育用給水経路に於いて、中層水に表水層水を混合する割合を出来るだけ多くして、10月頃迄は池底に存在する有害物質の混入する危険を、出来る限り少なくする様留意すべきである。

引用文献

- 1) 村地四郎・他：温暖地溜池の中層水利用による冷水性魚類飼育施設について、水産増殖、(投稿中)
- 2) 三宅泰雄・他：水質化学分析法、62-66, 135-136, 173-174 地人書館、東京 (1964)
- 3) 上野景平：キレート滴定法、224-229 (1962)
- 4) 気象庁：海洋観測指針、168-171、日本海洋学会、東京 (1967)
- 5) 日本分析化学会北海道支部：水の分析、205-209、化学同人、東京 (1966)
- 6) 高畑良文：福山市熊野水源池の理化学的性状、13、福山市 (1961) (謄写印刷)
- 7) 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Ⅲ、日水会誌、32, 277-282 (1949)
- 8) 吉村信吉：湖沼学、174-176, 178-180, 202-205、三省堂、東京 (1942)
- 9) PARSONS, J.W.: The trout fishery of the tailwater below Dale Hollow Reservoir. Trans. Am. Fish. Soc. 85, 75-92 (1957)
- 10) LEITRITZ, E: Trout and Salmon culture, 15, Fish Bull. 107, California, Fish and Game (1959)
- 11) 清石礼造：山口貯水池養魚場、養殖会誌、5, 155-158 (1935)

SUMMARY

1. Kumano Freshwater Biological Station of Hiroshima University is located below Kumano Reservoir and is supplied with cold water which exists under the thermocline in the reservoir, during the stagnation period.

2. In order to operate the station more effectively, the annual changes in the physico-chemical features of the reservoir were investigated (as shown in fig. 3-15)

3. The date of the beginning of thermal stagnation in the reservoir was from late March to early April, and that of the ending from late October to early November.

4. During the midsummer period of complete stagnation, the thermocline existed from 3 m to 5 m depth, and the surface water temperature rose to above 30°C, but that of the hypolimnion was below 20°C. The saturation degree of dissolved oxygen in the water of the hypolimnion was under 5%.

5. From September to October, considerable amounts of $\text{NH}_3\text{-N}$, Fe and H_2S were observed in the bottom water.