

かんがい用貯水池の堆砂に関する研究

VI 貯水池における密度流について (その2)

吉 良 八 郎

Studies on the sedimentation in irrigational reservoirs.

VI On the density current in resevoirs (2)

Hachiro KIRA (Laboratory of Agricultural Engineering)

(Received July 31, 1957)

IV 神内上池に関する実測

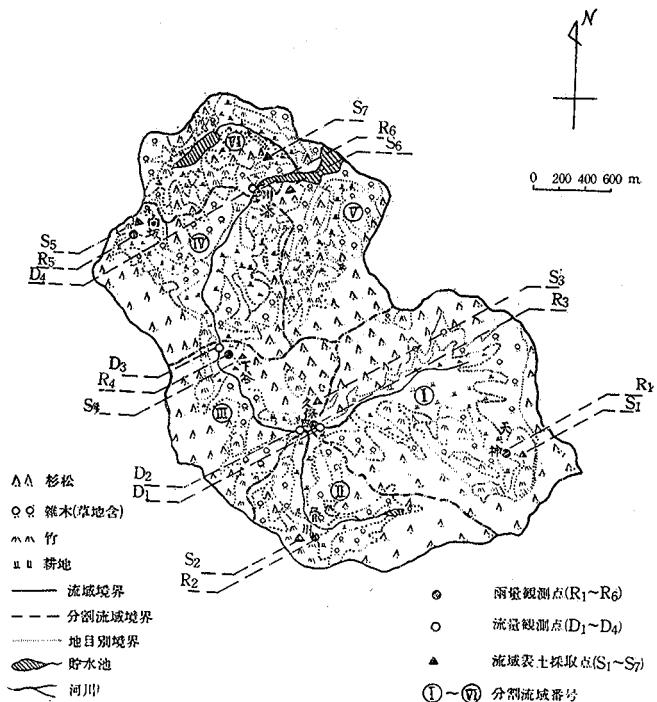
(1) 調査の概要

Ⅲ項において、貯水池内密度流に関する従来の理論的研究結果を2, 3示したが、これらの実験的研究結果による検討は後日にゆずることにして、今回は現存貯水池を対象とした実態調査を計画した。その対象として、当研究室で1953年以来香川県の委託により流出率調査を行つている神内上池（筆者は別に第3報として報告したように残存堆砂の鉛直分布調査を行つた）を選んだ。

i) 神内上池の概要

神内上池は、第3報（第1図参照）に詳述したように、香川県安原村外2カ村にわたる約850haの流域をもち、春日川支流天満川下流部を締切り、下流側神内池の補助池として、大正3年（1915）築造された環境からみて山池に相当するかんがい用貯水池である。この貯水池は、春日川を水系とする通称四ヶ池（神内上池ならびに神内池、公淵池、松尾池および城池）と称せられるものの一つであるが、流域相当大にしてなお余水ある関係上、神内池の補助池としてのみでなく、他の姉妹池たる公淵池、松尾池などに余水を補給する目的で、1952年度より県営四ヶ池用水改良事業が発足し、現在1.2mの嵩上工事、取水装置としての斜樋管工事および余水吐改修工事が完了し、なお今年から公淵池、松尾池補給のための導水路工事が計画実施されている。貯水容量は嵩上後759,125m³となり、最大水深は堰堤部付近で満水時約23mで、湛水長約1,100m、窪み度 $C = \frac{H}{R} = 0.14$ （H：最大水深，R：満水面の平均半径）で相当大きく、池床平均勾配約 $\frac{1}{50}$ で全体に密度流観測に適した細長い峡谷型の貯水池である。

流域の地被状態は第3図（航空写真および直接踏査による）に示すごとく、山林原野が約83.2%、耕地約15.4%（水田10.6%畑4.8%）、それに池沼（神内上池および広田池）約1.4%を占めており、これまでの流出率調査では、年間平均流出率約37%（かんがい期間約25%、非かんがい期間約30%）を示すが、流域の地質土壌は後述す



第3図 神内上池流域の地被状態

るように、受蝕性の高い花崗岩風化土壌であり、しかも地形をみると、HORTONの等高線延長法による全流域平均勾配 $S=0.294$ で相当急峻な山地流域をなし、HORTON形状係数は天満川で大体 $F=0.2\sim 0.8$ の範囲にあり相当大である。すなわち流域地形は貯水池形態と逆に長さの割に巾の広いもので、そのため流域各部に降つた雨がほとんど同時に河川に流出することになり、強雨の際の洪水量、したがって浮流並びに掃流土砂量が相当大となることが考えられる。

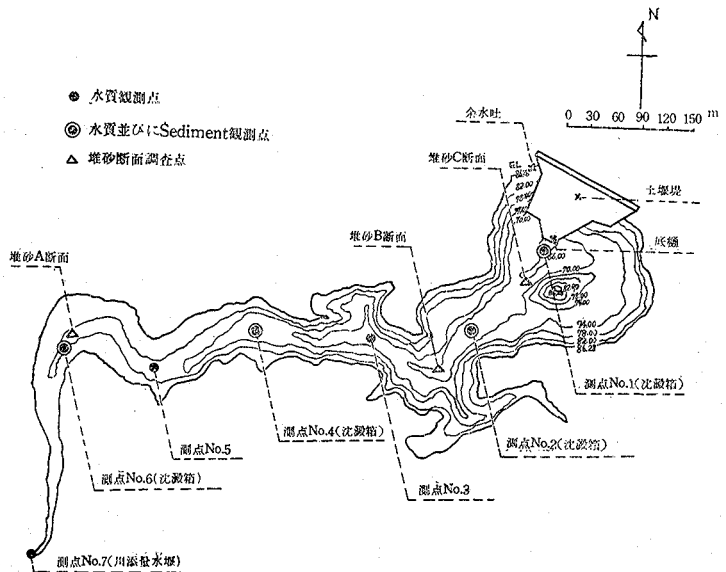
貯水池流入量では、主として分割流域(A₁+A₂+A₃+A₄)なる全流域の77.3%からの流入が、貯水池内の水理、水質に影響をおよぼすものとみて、川添観測点(量水堰)における1954年10月~1956年9月にわたる2か年間のdataによると、平均流入量 $8,147\text{m}^3/\text{day}$ となり、約93日で満水できる計算となる。1956年度の川添実測最大水位(0.69m)からみると、流入量 $247,363\text{m}^3/\text{day}$ の計算となり、貯水容量はその約3日分にすぎないことになる。

ii) 調査研究の項目および方法

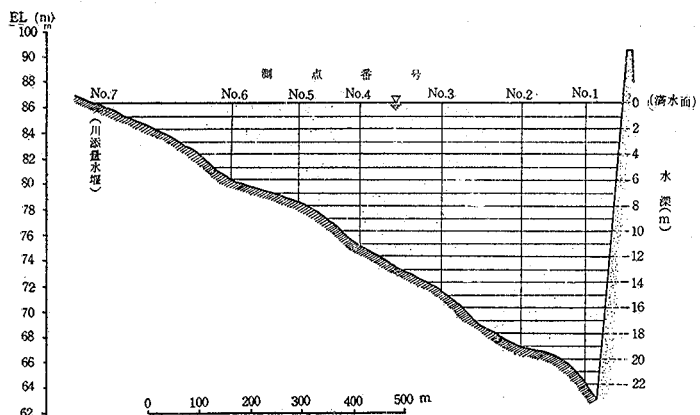
(a) 貯水池内水質調査

各種水質調査は、第4、5、6図に示すNo.1~No.7測点を選定し、原則として毎月1回行うことにする。各測定カ所における観測採水深は、原則として0m(水面)より1mごとに行い、採水観測はゴムボート(観測者3~4人)を用い、採水器としては北原B号中層採水器を使用する。水質調査の項目は、主として水温、濁度、pHおよびアルカリ度となし、水温は前記絶縁式北原B号採水器で各観測点1mごとの採水直後 0.1°C 読み温度計挿入によるか、また転倒温度計により測定し、その他の項目はポリエチレン製採水瓶(500cc入)にて持帰り、濁度を除き24時間以内にそれぞれ測定する。この際濁度は、標準白陶土(300mesh以下)による濁度100ppmの標準濁度液を用いS式濁度計により、また白金濁度計も併用することにする。pHは主としてB.T.Bを指示薬として比色法により、また迅速水素イオン計を併用し、アルカリ度はメチルオレンジ法によることとする。この外各観測点池水の濁っている度合を示す濁度(turbidity)に対して、池水の澄んでいる度合を示すところの透明度(transparency)を、SECCHI's discを用い、直径25cmの白円板が、水面から識別しえなくなる限界水深をもつて観測表示することにした。

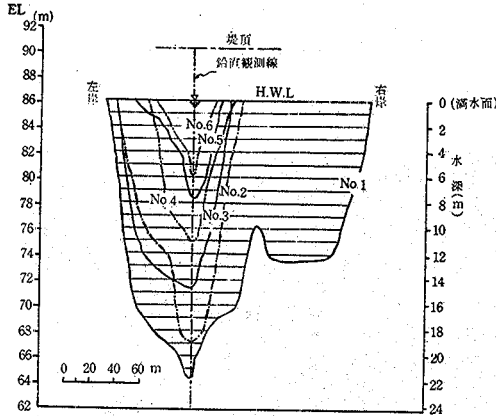
以上各種水質観測値により、水温分布図、濁度分布図、pH分布図、アルカリ度分布図および透明度分布



第4図 神内上池平面図



第5図 神内上池縦断面図(観測点位置)



第6図 神内上池観測点横断面図

30cmなる2区画としたのは、a区画では掃流物質がある場合を考慮して前方を1部開放し流入段を設け、常時浮遊沈澱量はb区画内のものを採取することにした。この際沈澱箱(30×30×20cm容量)中の濁濁水を持帰り、大型円形ガラス水槽に約2昼夜沈澱堆積させて沈澱厚さを測定し、現地堆積厚さに換算、沈澱量はこれを蒸発乾固、60°Cで24時間乾燥し風乾試料とみなして秤量、g/m²/dayに換算する。またこの外沈澱堆積物の仮比重、真比重、アッターベルグ限界、有機物含量、粒径分布あるいは分散させない floccule として存在している sediment deposit について、見かけの沈降速度や equivalent diameter, ゼル、ゲル変化などの flocculation 問題について、主として理学特性を解析し、沈澱堆積機構について検討する。

また貯水池に流入する sediment discharge を測定するために、流入点(川添量水堰)における水深0.6の位置の流水を毎日9時採水して濁度を測定、あらかじめ求めた $C=nT$ (C :浮遊物質濃度ppm, T :濁度ppm, n :coefficient of fineness) なる実験式により浮遊物質濃度 C を求め、流入浮流物質量を推定する。なおこの data と前記沈澱量 data を併せ考え trap efficiency (沈澱阻止率) E_r の推定や、沈澱効果と貯水池埋没の問題について検討する。

その他神内上池流域表を第3図に示した $S_1 \sim S_7$ 点より採土し、また空虚時に再び明瞭な堆砂層理をなす過去の残存堆砂断面の採土、嵩上改修後における沈澱堆積物の採取を行い、前述のように主としてその理学性の解析をなし、流域表土と貯水池流入堆砂の関係を明らかにする。この際第3報で発見した砂礫層と腐泥層が互層をなす堆砂層理についても再調査を行い、特にアミノ樹脂なるスミラック mc-501 (住友ベークライトKK製、ベークラック U-201の改商名品) を用いた検鏡により、浮流物質層の微層理 micro-stratification の究明、貯水池水理と沈澱堆積機構の関係につき検討する。

(c) 流域並びに貯水池の水文、水理調査

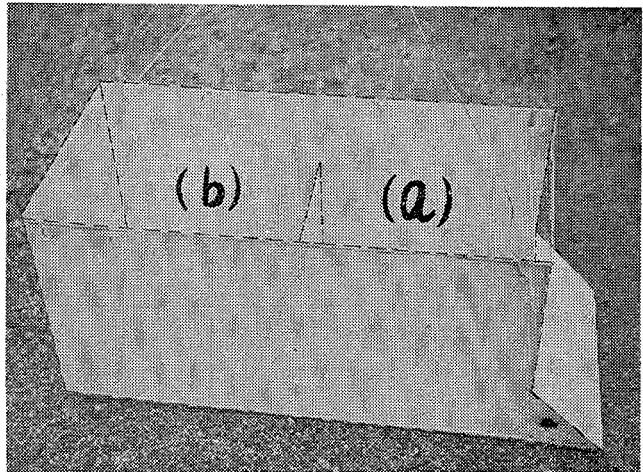
観測期間の流域雨量、流入量、流入水温、前述の流入濁度、貯水池水位あるいは気温などの data は、主として流出率調査によるものを併用し、若干追加調査する。

この際流域雨量の data は川添観測点における雨量計並びに自記雨量計記録によるもの、気温 data は川添観測

図などを作製し、これらにより池内全域の各種水質変化、水温、濁度、pH、アルカリ度などの季節的成層状態変化あるいは透明度の水平並びに季節的变化を検討し、特に水温、濁度分布 data は、後述の貯水池内の密度分布、鉛直安定度あるいは池水の流動状態などの検討資料とする。

(b) Sediment 調査

洪水時の浮流や、潜行密度流により輸送沈澱する sediment deposit を採取するために、第4, 5, 6図に示した観測点No. 1, No. 2およびNo. 4なる3カ所最深部に、第7図に示すような亜鉛鉄板製の沈澱箱を、開放部を上流に向けて沈め、これを針金で最寄りの池岸樹木に連結し、次回観測日までの約1ヵ月沈澱量や沈澱厚さの測定を行う。この際沈澱箱を図のように30cm×



第7図 沈 澱 箱

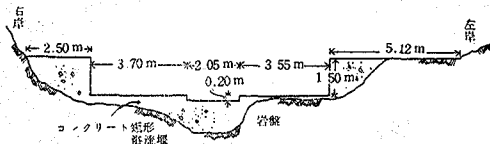
点における9時、最高、最低気温を、また貯水池水位変化は堰堤部量水標によるものを採用する。流入量は流出率調査のため背水点付近に設置された川添量水堰(第8,9図参照)における量水標並びに自記水位計により流入水位を観測し、分割流域 $A_1+A_2+A_3+A_4=638.8\text{ha}$ (第3報参照⁽²¹⁾)からの川添流量曲線(第10図および(8)式のごとき3種の複合曲線よりなる)により求める。この際流入水量は8時,12時,17時観測値の平均水位をもとにして流入

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= 3.3039 - 26.0663H + 57.4289H^2 && (0.37 \leq H) \\ Q_2 &= 0.0565 - 1.6864H + 15.3325H^2 && (0.152 < 0.37) \\ Q_3 &= 0.0088 + 0.3310H + 4.2166H^2 && (0 < H \leq 0.152) \end{aligned} \right\} \text{--- (8)}$$

ここに $\begin{cases} Q = \text{流量 (m}^3/\text{sec)} \\ H = \text{量水堰水位 (m)} \end{cases}$

量 (m^3/day) を計算することにする。また流入水温は9時観測、流入濁度は前述のように水深0.6の位置の9時採水を行い濁度を測定する。

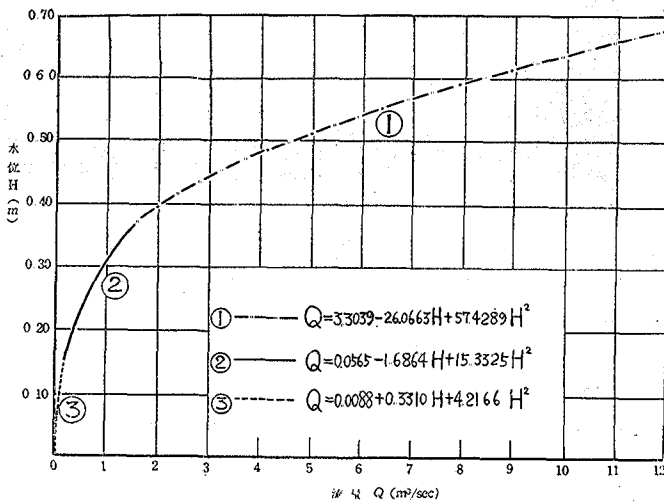
その他貯水池内の流速測定は、主として瓶とアルミ抵抗板を連結した浮子測定法⁽³⁷⁾により各層の池内流速を測定し、池内流動状態検討の材料とする。



第8図 川添量水堰横断面図



第9図 川添量水堰



第10図 川添量水堰流量曲線

(d) 密度分布、鉛直安定度による池水流動状態の検討。

貯水池内における密度流の流動状態を検討するに、合田が上水源千刈貯水池を対象に検討した方法を参考にして、水質調査でえた水温、濁度の data を用い以下述べる方法により考察することにする。

いま貯水池内の密度分布、鉛直安定度について考えるに HESSELBERG, SVERDRUP⁽²⁾ は水の安定度 (stability) を単位の鉛直距離における密度差をもつて定義しているが、一般に貯水池内における水の密度 ρ は、水温 θ 、浮遊物質濃度 C (あるいは濁度 T)、溶解物質濃度 S および水圧 P などの

函数であり、各変数は水深 z の函数、密度 ρ も水深 z の函数なるにより、貯水池内鉛直安定度 E を偏微分法により求めると(9)式をうる。ここで貯水池のような淡水では、

$$E = \frac{d\rho}{dz} = \frac{\partial \rho}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dz} + \frac{\partial \rho}{\partial C} \frac{dC}{dz} + \frac{\partial \rho}{\partial S} \frac{dS}{dz} + \frac{\partial \rho}{\partial P} \frac{dP}{dz} \text{--- (9)}$$

圧力の鉛直的变化が小さく、 $\frac{\partial \rho}{\partial P}$ は一般に水深10mごとに密度 $5 \times 10^{-5} \text{ g. s}$ をます程度であるから⁽⁴⁾、水圧により

変化する右辺第4項は、当神内上池(最大水深約23m)程度の水深では一定値に近く、したがって比較的の値をうる場合無視してもよく、また淡水における溶解物濃度も上下ほぼ一定とみなすと右辺第3項も右辺第1, 2項に比して小さく省略⁽⁴⁾する。よって神内上池における鉛直安定度は、温度と浮遊物質濃度⁽⁴⁾のみに左右されるものとする。と近似式として(10)式が適用できる。

$$E = -\frac{d\rho}{dz} = -\frac{\partial\rho}{\partial\theta} \frac{d\theta}{dz} + \frac{\partial\rho}{\partial c} \frac{dc}{dz} \quad (10)$$

次に浮遊物質濃度C (ppm), 濁度T (ppm), 水温 θ (°C)と水塊の密度 ρ (c. g. s)の関係をみるに、 ρ は θ のみの函数、すなわちC=0 (or T=0)なる場合の水塊密度 ρ_θ は、4°C以上で実験的に(11)式なる近似式で示されている。この際水温が $\theta=4^\circ\text{C}$ (constant)なる場合における浮遊物質濃度がCなるときの密度 ρ_c は、solid⁽⁴⁾をほぼ均質とみて、その平均比重を σ とすると、 ρ_c は(12)式で示され、以上により水塊1lの浮遊物

$$\rho_\theta = 1 - \frac{6\theta^2 - 36\theta - 47}{10^6} \quad (11)$$

質濃度がC (ppm) で水温が θ (°C) であるときの密度 $\rho_{\theta c}$ を求める式として(13)式が適用される。⁽⁴⁾

$$\rho_c = 1 + \left(1 - \frac{1}{\sigma}\right) C \times 10^{-6} \quad (12)$$

$$\rho_{\theta c} = \left\{1 - (6\theta^2 - 36\theta - 47) \times 10^{-6}\right\} \left\{1 - \frac{C}{\sigma} \times 10^{-6}\right\} + C \times 10^{-6} \quad (13)$$

いま(13)式の {} を解くと(13')式となり、なお高次の無限小項を無視すると(14)式となる。

$$\rho_{\theta c} = 1 - (6\theta^2 - 36\theta - 47 + \frac{C}{\sigma} - C) \times 10^{-6} + \frac{C}{\sigma} (6\theta^2 - 36\theta) \times 10^{-12} \quad (13')$$

$$\rho_{\theta c} = 1 - (6\theta^2 - 36\theta - 47 + \frac{C}{\sigma} - C) \times 10^{-6} \quad (14)$$

ここで第3報⁽²¹⁾に示した過去における神内上池残存堆砂層理中、上, 中, 下流3断面(第4図参照)の浮流物質層計16層理について比重を測定し、各層理厚さを weight として求めた各断面浮流物質層の平均比重 σ を示したのが第1表

第1表 神内上池堆砂(浮流物質層)の比重

| 堆 砂 断 面 | 浮流物質層理数 | 浮流物質全厚さ (cm) | 平均真比重(重み付) |
|------------------------|---------|-----------------|------------|
| A断面 (Top-set beds) | 6 | 180 | 2.07 |
| B // (Bottom-set beds) | 8 | 220 | 2.67 |
| C // (//) | 2 | 125 | 2.73 |
| 計 (平均) | 16 | 525 | (2.49) |

である。いまその全平均比重 $\sigma=2.49$ を用いることにし、また前述のようにnを coefficient of fineness とすると浮遊物質濃度Cと濁度Tの関係がC=nTで示されるから、当神内上池に適用される実用的公式として(15)式がえら

$$\rho_{\theta c} = 1 - (6\theta^2 - 36\theta - 47 - 0.598nT) \times 10^{-6} \quad (15)$$

れる。そこで(15)式について(10)式により神内上池鉛直安定度Eを求めると(16)式がえられる。

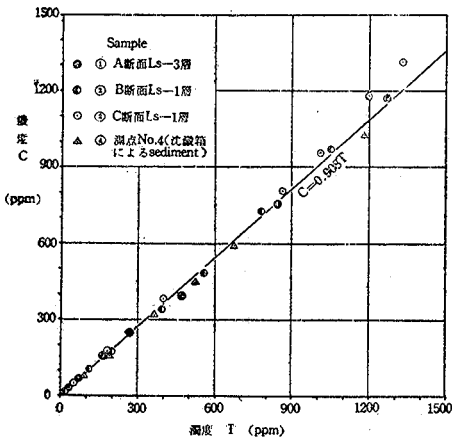
$$E = \frac{d\rho_{\theta c}}{dz} = \left\{ (36 - 12\theta) \frac{d\theta}{dz} + 0.598n \frac{dT}{dz} \right\} \times 10^{-6} \quad (16)$$

次に(15), (16)式における浮遊物質濃度C(ppm)は、実測濁度T(ppm)の data によりC=nTとして決めることになるが、いまnを決めるのに一応第3報⁽²¹⁾に示した神内上池過去の堆砂層理中、(1)上流側A断面 (top-set beds) No. 3層理, (2)中流B断面 (bottom-set beds) No. 1層理, (3)下流堰堤側C断面 (bottom-set beds) No. 1層理なる3浮流物質層(腐植を含む細埴土)および(4)沈澱層による sediment deposit (第4, 5図 No. 4測点における1956年9月分沈 澱物)など(第4図参照)を用いて、C-T曲線を実験的に求めたのが第11図であり、採用 sediment の理化学性を示したのが第2表である。この際供試 sediment はできるだけ貯水池における浮遊状態に近づけるため、200 mesh (0.074mm) の篩を通過する sample を用い、蒸溜水により稀釈しながら前述S式濁度計によつて濁度T (ppm) を求め、その時の濁濁水を蒸発乾固して1l中 mg数をもつて浮遊物質濃度Cを ppm で対応させた。この4試料によるC-T関係は大体直線関係にあり、いまC=nTにおけるnを求めると0.908がえられる。この

第2表 Sediment の理学的性質 (C-T曲線採用試料)

| No. | 供試sediment | 層厚 さ (cm) | 粒 径 分 布 (%) | | | | 仮比重 (粗密 平均) | 真比重 | 孔隙率 (%) | 有機物含量 (%)*** | | 色 | 土 性 名 |
|-----|----------------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|------|------------|-----------------|-------|-----|--------------|
| | | | 粗 砂 (2~ 0.25 mm) | 細 砂 (0.25 { 0.05) | 微 砂 (0.05 { 0.01) | 粘 土 (0.01 以下) | | | | Carbon | Humus | | |
| 1 | A断面 (Ls-3層)* | 40 | 2.20 | 5.80 | 32.90 | 59.10 | 0.81 | 1.84 | 55.90 | 2.29 | 3.95 | 暗青色 | 腐植を含む 細埴土 |
| 2 | B " (Ls-1層)* | 100 | 0.32 | 0.60 | 19.46 | 79.62 | 0.80 | 2.76 | 71.00 | 1.99 | 3.43 | " | " |
| 3 | C " (Ls-1層)* | 90 | 0.98 | 1.70 | 23.36 | 73.96 | 0.92 | 2.75 | 66.54 | 2.66 | 4.59 | " | " |
| 4 | No.4測点 sediment** | 10 | 4.80 | 32.97 | 20.43 | 41.80 | 0.78 | 2.47 | 67.21 | 2.72 | 4.69 | " | 腐植を含む 細埴土 |

註 {*: 第3報⁽²¹⁾で調査済の浮流物質層。
**: 沈澱箱 (第4図No.4測点) による1956年9月分 sediment deposit.
***: TURIN 氏の酸化滴定法による。



第11図 沈澱堆積池泥の濁度と濃度の関係

θ, T を代入すると計算により密度 ρ が求まり、密度分布図が画かれ、これにより一応池水の流動状態変化が考察⁽⁴⁾できる。また躍層の流動に対する抵抗は一般に鉛直安定度 $E = \frac{d\rho}{dz}$ の大小によつて判定できるとされているが、合田⁽⁵⁾は浜田のあつかつた2次元密度流の運動方程式が成立する場合(1)式の右辺第3項 $\rho' \frac{\partial u}{\partial z}$ に導入された RICHARDSON number Ri の大小によつても一応比較判定できるものとし、この Ri は流体の乱れに対する安定度を表現するindexとされている。一般にこの無次元量は $Ri = \frac{|\partial \rho|}{\rho} \frac{g}{\left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2} = \frac{gE}{\rho \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2}$ で示され、乱流の存続しうる条件として $Ri < 1$

⁽⁴⁾ (BROOKS, BERGGREN はこの限界値は $Ri' = Ri/Ri + 1$ なる Ri' を用い $0 \leq Ri' \leq 1$ を与えており、その他若干異論もある)が与えられているが、この調査では全水域について流速観測が容易にできなく、したがつて $u \frac{\partial u}{\partial z}$ の値がえがたいので、前述観測値の θ, T から(17),(18)式により求まる ρ, E あるいは g なる既知数を用いて、一応乱流減衰の限界値 $Ri = 1$ に対応する $\frac{\partial u}{\partial z}$ を逆に求めて比較検討することにする。この $\frac{\partial u}{\partial z}$ を合田⁽⁴⁾は限界速度勾配 (critical velocity gradient) Gc と定義し(19)式を誘導し、これは池中のある任意部分で乱流交換が可能か否かの判断に役立つという。

$$Gc = \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)_{crit.} = \sqrt{\frac{gE}{\rho}} \dots \dots \dots (19)$$

このことの意味は開水路乱流における速度分布対数法則が成立する場合について説明されており、結局 $U_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ (摩擦速度friction velocity) に比例する量であるから、一般に乱流で Gc が大となるためには、それだけ大きい shearing stress を生ずる必要があるわけとなる。

以上により前述各計算値 ρ, E を用いて $Gc = \sqrt{\frac{gE}{\rho}}$ が計算され、限界速度勾配分布図ができるが、これにより主として池水縦断方向の流動状態について考察する。

n の値は、勿論前述の密度 ρ や鉛直安定度 E に影響をおよぼすことであり、また時期により多少異なるのが当然なるも、その詳細な検討は今後沈澱箱による季節別 sediment により行うことにして、一応この値を採用する。

よりにて神内上池の場合 $n = 0.908$ を用うると(15), (16)式はそれぞれ(17), (18)式のようになつてくる。

$$\rho_{\theta c} = \rho = 1 - (6\theta^2 - 36\theta - 47 - 0.54T) \times 10^{-5} \dots \dots (17)$$

$$E = \frac{d\rho_{\theta c}}{dz} = \frac{d\rho}{dz} = \left\{ (36 - 12\theta) \frac{d\theta}{dz} + 0.54 \frac{dT}{dz} \right\} \times 10^{-5} \dots \dots (18)$$

この(17), (18)両式から、水質調査でうる水温 (θ) および濁度 (T) の観測値を用いて密度分布を求め、合田の運動方程式⁽⁴⁾で重要な意義をもつとされる RICHARDSON number Ri (5式) の計算に供し、池水の流動状態変化を検討することにする。それには先ず(17)式により各観測値

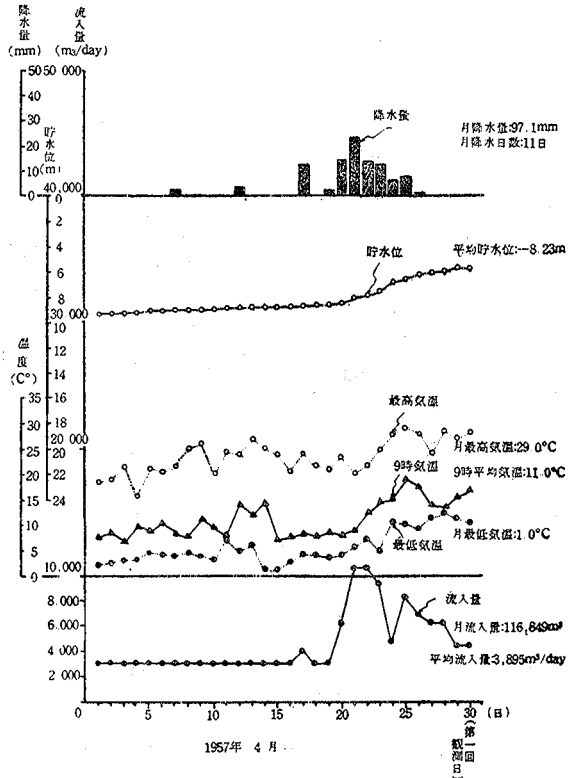
(2) 調査結果および考察

(a)第1回 (1957年4月30日) 調査結果について (第3表, 第12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19図参照)。

第1回目観測としては測点No.1~No.7についてそれぞれ各種水質観測を行った。sediment 調査では, 1956年8月末第4図に示す測点No.1~No.6なる6カ所にそれぞれ前述のごとき沈澱箱を設置して観測を始めたが, 同年10月上旬急に底樋管を通じて下流側神内池に放水 (魚取りを実施) した際沈澱箱若干紛失したので, 今回再び測点No.1, No.2およびNo.4なる3カ所最深部に沈澱箱を設置して観測を始めた。

調査日の水文事項をみると (第12図その他参照), 貯水池流入量は4,547m³/dayで過去2カ年間平均流入量3,147m³/dayの約1/2で少く, 貯水池水位は満水面下5.83mであり, 4月はじめより取水なかつたので3.51m上昇しており, また4月19~26日にわたる降雨 (Max 23.0mm/day) による最高10,635m³/dayの出水が減水し, 5月に入りすぐまた降雨により rise が始つたその谷にあたる。気温は9時17.0°C, 最高28.0°C, 最低10.0°Cで, 観測時 (13~16時) は26~24.0°Cであり取水はない。流入水質をみると水温は20.6°Cで気温よりも低く, 濁度は6.4 ppm, pHは7.0で中性, アルカリ度は25ppmであつた。

貯水池内における各測点水質観測並びに計算値の結果を表示すると第3表となり, これらから各水質の等値分布図を作製したのがそれぞれ第13図 (水温分布図), 第15図 (濁度分布図), 第16図 (pH分布図), 第17図 (アルカリ度分布図), 第18図 (密度分布図) および第19図 (限界速度勾配分布図) となる。



第12図 神内上池水文調査 (1)

第3表 神内上池水質調査並びに計算表 (1)

(1957年4月30日, 晴, 気温24~26°C, 貯水位満水面下5.83m)

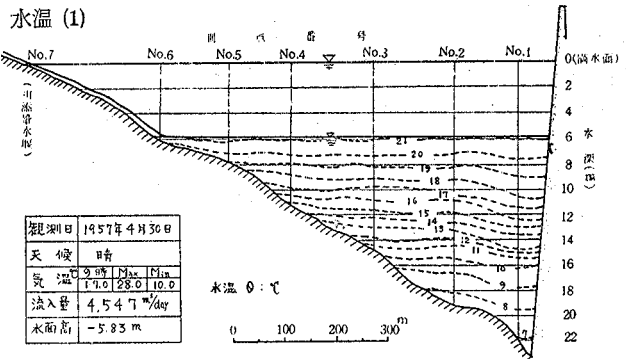
| 観測点 | 水深 (m) | 水温 θ (°C) | 濁度 T (ppm) | 密度 | 鉛直安定度 | 限界速度勾配 | pH | アルカリ度 (ppm) | 備考 |
|-------|--------|------------------|------------|-------------------|----------------|-------------------------|-----|-------------|------------|
| | | | | $\rho_{\theta T}$ | $E = d\rho/dz$ | $Gc = \sqrt{ gE/\rho }$ | | | |
| No. 1 | 0 | 20.4 | 6.7 | 0.99928806 | -0.00006080 | 0.0244 | 7.2 | 22 | 透明度: 2.90m |
| | 1 | 20.1 | 4.3 | 0.99834886 | -0.00014103 | 0.0373 | 7.2 | 26 | |
| | 2 | 19.4 | 4.9 | 0.99848989 | -0.00015365 | 0.0388 | 7.3 | 27 | |
| | 3 | 18.6 | 5.0 | 0.99864354 | -0.00005540 | 0.0233 | 7.3 | 30 | |
| | 4 | 18.3 | 4.6 | 0.99869894 | -0.00031142 | 0.0552 | 7.3 | 30 | |
| | 5 | 16.5 | 5.3 | 0.99901036 | -0.00006411 | 0.0250 | 7.1 | 30 | |
| | 6 | 16.1 | 5.8 | 0.99870447 | -0.00032944 | 0.0568 | 7.1 | 32 | |
| | 7 | 13.8 | 5.1 | 0.99940391 | -0.00011114 | 0.0330 | 7.1 | 33 | |
| | 8 | 12.9 | 3.9 | 0.99951505 | -0.00026815 | 0.0512 | 7.2 | 34 | |
| | 9 | 10.3 | 3.6 | 0.99978320 | -0.00005790 | 0.0238 | 7.2 | 33 | |
| | 10 | 9.6 | 2.7 | 0.99984110 | -0.00003788 | 0.0192 | 7.1 | 33 | |
| | 11 | 9.1 | 2.3 | 0.99987898 | -0.00002858 | 0.0166 | 7.1 | 33 | |
| | 12 | 8.7 | 2.4 | 0.99990736 | -0.00005088 | 0.0223 | 7.1 | 32 | |
| | 13 | 7.9 | 2.4 | 0.99995824 | -0.00000625 | 0.0078 | 7.0 | 33 | |
| | 14 | 7.8 | 3.2 | 0.99996449 | -0.00000364 | 0.0074 | 7.0 | 31 | |
| | 15 | 7.7 | 3.1 | 0.99997013 | -0.00000988 | 0.0098 | 7.1 | 33 | |
| | 15.5 | 7.6 | 1.9 | 0.99997507 | | | 7.1 | 32 | |

| | | | | | | | | | |
|-------|----|------|-----|------------|-------------|--------|-----|----|---------------|
| No. 2 | 0 | 20.6 | 5.6 | 0.99824546 | -0.00041630 | 0.0639 | 7.2 | 26 | 透明度: 2.80m |
| | 1 | 20.4 | 4.9 | 0.99828709 | -0.00020285 | 0.0446 | 7.3 | 30 | |
| | 2 | 19.4 | 5.0 | 0.99848994 | -0.00021127 | 0.0455 | 7.3 | 30 | |
| | 3 | 18.3 | 8.8 | 0.99870121 | -0.00017695 | 0.0413 | 7.1 | 32 | |
| | 4 | 17.3 | 7.6 | 0.99887816 | -0.00022649 | 0.0471 | 7.0 | 30 | |
| | 5 | 15.9 | 3.9 | 0.99910465 | -0.00013635 | 0.0366 | 7.0 | 32 | |
| | 6 | 15.0 | 7.4 | 0.99924100 | -0.00017544 | 0.0415 | 7.0 | 32 | |
| | 7 | 13.7 | 4.4 | 0.99941644 | -0.00022126 | 0.0466 | 7.0 | 34 | |
| | 8 | 11.8 | 2.1 | 0.99963770 | -0.00013604 | 0.0365 | 7.1 | 32 | |
| | 9 | 10.4 | 2.4 | 0.99977374 | -0.00005981 | 0.0242 | 7.1 | 34 | |
| | 10 | 9.7 | 3.5 | 0.99983355 | -0.00005913 | 0.0240 | 7.0 | 32 | |
| | 11 | 8.9 | 1.0 | 0.99989268 | -0.00004135 | 0.0201 | 7.0 | 32 | |
| | 12 | 8.3 | 2.9 | 0.99993403 | -0.00002518 | 0.0157 | 6.9 | 33 | |
| | 13 | 7.9 | 4.2 | 0.99995921 | | | 6.9 | 34 | |
| No. 3 | 0 | 20.7 | 5.5 | 0.99822423 | -0.00012658 | 0.0353 | 7.2 | 26 | 透明度: 2.70m |
| | 1 | 20.1 | 7.9 | 0.99835081 | -0.00007971 | 0.0279 | 7.2 | 26 | |
| | 2 | 19.7 | 5.3 | 0.99843052 | -0.00017615 | 0.0416 | 7.1 | 26 | |
| | 3 | 18.8 | 6.5 | 0.99860667 | -0.00035466 | 0.0589 | 7.0 | 28 | |
| | 4 | 16.8 | 5.5 | 0.99896133 | -0.00011363 | 0.0334 | 7.0 | 28 | |
| | 5 | 16.1 | 6.7 | 0.99907496 | -0.00018048 | 0.0412 | 6.9 | 28 | |
| | 6 | 14.9 | 7.6 | 0.99925544 | -0.00024696 | 0.0492 | 6.9 | 34 | |
| | 7 | 13.0 | 2.6 | 0.99950240 | -0.00008198 | 0.0284 | 6.7 | 35 | |
| | 8 | 12.3 | 4.3 | 0.99958438 | | | 6.7 | 37 | |
| No. 4 | 0 | 20.8 | 6.3 | 0.99820336 | -0.00010552 | 0.0322 | 7.2 | 25 | 透明度: 2.50m |
| | 1 | 20.3 | 6.7 | 0.99830888 | -0.00014330 | 0.0375 | 7.0 | 28 | |
| | 2 | 19.6 | 8.4 | 0.99845218 | -0.00026544 | 0.0511 | 7.1 | 25 | |
| | 3 | 18.2 | 5.3 | 0.99871762 | -0.00015903 | 0.0395 | 7.1 | 26 | |
| | 4 | 17.3 | 4.8 | 0.99887665 | | | 7.0 | 30 | |
| No. 5 | 0 | 20.5 | 7.4 | 0.99826750 | -0.00000030 | 0.0017 | 7.3 | 24 | 透明度: 2.00m |
| | 1 | 20.5 | 8.0 | 0.99826780 | | | 7.0 | 28 | |
| No. 6 | 0 | 21.4 | 6.6 | 0.99807320 | | | 7.1 | 24 | |
| No. 7 | 0 | 20.6 | 6.4 | 0.99824589 | | | 7.0 | 25 | |

まず水温の鉛直分布をみると(第13図参照),成層化が相当進んでおり,流入水温は約21°Cで気温よりやや低いが,表層水温は全域にわたって流入水温とほぼひとしく,堰堤付近最深部で最低7~8°Cを示しこの間(約16m)にわたり,大体正列成層(direct stratification)の水温鉛直傾度 $\frac{d\theta}{dz}$ を示している。次に躍層(thermocline)について考えてみるに,通常天然湖沼においては,その夏季水温の鉛直分布を鉛直傾度 $\frac{d\theta}{dz}$ により3段に分類している。(3) すなわち

i 表水層(epilimnion): 表面から5~20mまでの $\frac{d\theta}{dz}$ が小さくほとんど同温層(homotherm)をなす部分で,この層では渦動(eddy)が最も著しく発達し,表面に起る蒸発や夜間の冷却に伴う対流などのため,輻射により生じた指数曲線的水温鉛直分布が攪乱されて等温に近くなる。

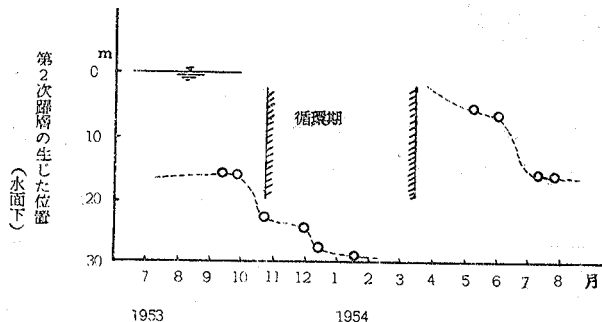
ii 変水層(metalimnion)または水温躍層(thermocline): 深さ5~20m範囲に存在する,対流や渦動(また擾動 turbulence)が著しく弱まる限界層であり, RICHTER (1889) が Wörthersee 湖において初めて顕著なものを発見し躍層と命名した。その後BEHRENS (1914) は水質も変化することから変水層と称した。普通躍層は一つであるが,深い時にはULE (1901) によると,主躍層(1次躍層 Primäre Sprungschicht)の上層すなわち表水層中に小さな躍層(2次躍層 Sekundäre Sprungschicht)を生じ,また HERGESELL, LANGENBECK (1892) は



第13図 神内上池水温分布図(1)

2次躍層の如きが汎山でき、それが融合して一次躍層となつた。これに関して、わが国湖沼においてもたとえば中部地方の青木湖や南九州の池田湖あるいは野尻湖において第2次躍層の存在が認められている。たとえば野尻湖の例をみると、躍層は春先き表面近くにできるが、たちまち擾乱作用で下層におし下げられ下層に小躍層ができる。しかし表層水温の上昇に伴い安定度が次第に大となり第2次躍層は上層に止り下降しなくなる。これに第2、第3の2次躍層が融合して浅部に大きな主躍層を形成するに至る。しかしやがて放熱期に入り部分的循環が盛になると次第に下層に移動して小さくなり遂に底部において消失する。

これら湖沼に比較して人工貯水池における第2次躍層の位置変化は著しく異なる現象が認められている。たとえば小島による東京都山口貯水池(上水)においては、表層に生じた躍層は次第に下層に移行し遂に底層に達して小さくなり消失する。また表層に別の躍層が生じ前述の移行が反復され、湖沼におけるような1年周期を何回か繰返し、とくにこれは渇水期前後に起るといふ。また完全循環期に入る際は躍層は次第に上方に移行し表層において消失するという。その他合田の神戸市千苺貯水池(上水)や田中の三浦貯水池(発電)における調査でも、湖沼におけるそれと異なる第2次躍層の位置変化が認められている。たとえば千苺貯水池では第2次躍層の生ずる位置は、夏季の位置を原点とする(4)と第14図(合田原図)のように一種の周期函数として表わされ、前述各湖沼、貯水池におけるものと大いに異なるとしている。

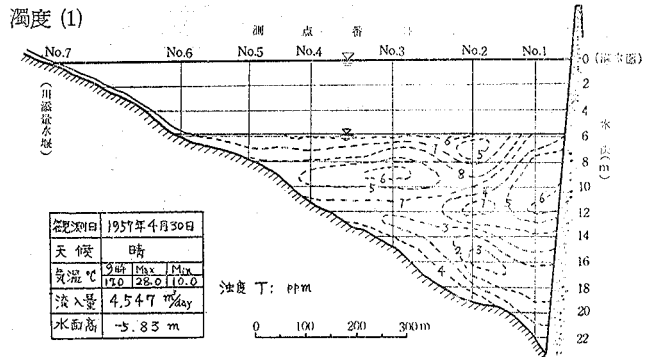


第14図 千苺貯水池における第2次躍層位置の周期変化(合田)

態の層である。

わが国かんがい用貯水池における躍層の位置は、一般に水深3~10mであり4~7mぐらいのものが多くといわれているが、今回観測では躍層の発達あまり明瞭でなく、とくに表層層の存在が明らかでない。ただ深水層の存在が測点No. 1, No. 2における深さ9m付近頃から認められるようで、これから躍層上限を表面付近としてその下限を9mとすると、各測点における躍層の水温鉛直傾度 $\frac{d\theta}{dz}$ は、1mにつき測点No. 1で0.3~2.6(平均1.12)°C, No. 2で0.2~1.4(平均1.02)°C,

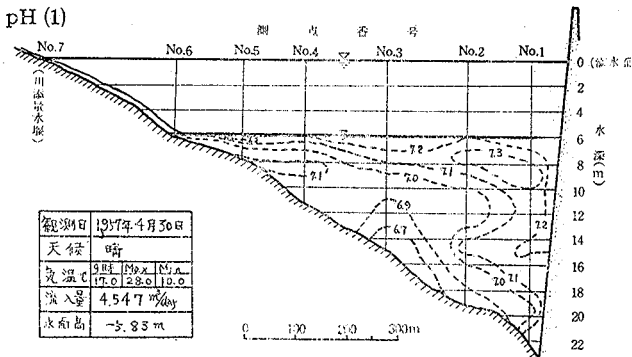
iii 深水層(hypolimnion): 変水層より底部までの層で水温鉛直傾度 $\frac{d\theta}{dz}$ が再び小さくなり、したがって鉛直安定度 $\frac{d\sigma}{dz}$ も小さく、再び渦動が発達するが表層水のごとき盛んな混合が起らない。ほとんど等温、静止状



第15図 神内上池濁度分布図(1)

No. 3で0.3~2.0(平均1.04)°C, No. 4で0.5~0.9(平均0.73)°Cとなり、総平均0.98°Cで自然湖沼の平均1mにつき2°Cに比べて小さい。このように躍層の水温傾度が自然湖沼のそれに比較して小さいのは、躍層内の対流や擾動が自然湖沼に比して著しいことを暗示するものといえよう。

濁度についてみると(第15図参照)、4月流入が少かつたため全域にわたり低くMin. 1.0~Max. 8.8 ppm程度で一般に池水は清澄であるが、それでも若干鉛直並びに縦断方向に差があり、堰堤近く深水層において若干低い傾向がみられる。



第16図 神内上池PH分布図(1)

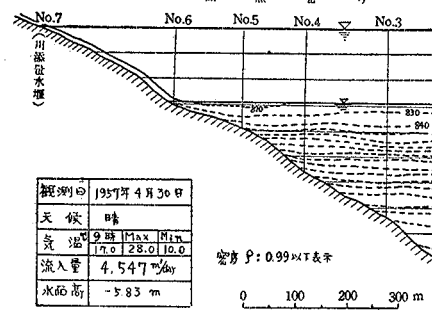
pHについては(第16図参照)、流入pH=7.0で中性であるが、池内においては全域6.7~7.3の範囲で、大体上層

高く下層が低い傾向をおび、pHの成層がやや進展しつつある傾向がみられる。この際測点No.3下層部において、とくにpH=6.7~6.9なる低い層がみられるのは、主として分割流域Ⅵ（広田池を含む）からの流入水の影響によるものと考えられる。

アルカリ度は(第17図参照)、流入水25ppmに対して池内においては22~37 ppmの範囲であるが、pH分布と大体逆傾向の分布状態を示し、上層が低く、下層が高い傾向がみられ、おなじく測点No.3下層部において35~37 ppmなる1部高い層がみられる。

次に密度分布であるが、密度 $\rho_{\theta T}$ あるいは密度勾配すなわち鉛直安定度 $E = \frac{d\rho_{\theta T}}{dz}$ は、水温 θ 、濁度 T の data を用いて(17), (18)式により比較的正確に算出することができた(第3表, 第18図)。その密度分布図(第18図)をみると、濁度は大体全域にわたり10ppm以下で小さくあまり差がなく清澄なるにより、密度は主として温度差にもとづくため、水温分布とほとんどおなじ成層状態をなし、この密度分布からも躍層が、深さ0~9 mの範囲にある

ことが察せられる(この際密度分布図では、たとえば $\rho = 0.9999700$ の場合0.99以下のみを表示し、997としてあるが、以下おなじ表示をする)。その内容を見ると、密度 ρ は表層がMinで約0.99820、堰堤付近深層部では大となり約0.99998に達しており、その密度勾配をみると、深さ1 m当り測点No.1(6~329) $\times 10^{-6}$, No.2(25~416) $\times 10^{-6}$, No.3(82~247) $\times 10^{-6}$, No.4(106~265) $\times 10^{-6}$, No.5(0.3) $\times 10^{-6}$ であるが、躍層0~9 mの範囲では、各測点を通じて大体 100×10^{-6} 以上かなり強い密度勾配を示している。



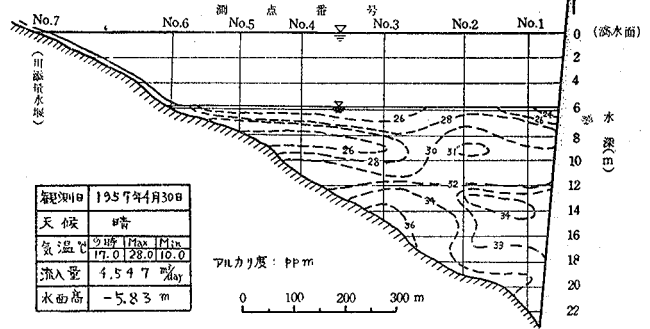
第18図 神内上池密度分布図(1)

このように水温や密度の成層状態がかなり顕著であり、しかも鉛直安定度 E の値も躍層範囲においてかなり強いので(E が大であるとその部分の流動の energy は減耗するから)、流入水は等密度層(この際濁度の影響はほとんどないものとみると等水温層とみてよい)に沿って表層付近を成層流(stratified flow)として流れ次第にその流動厚さをまして行く傾向が考えられる。

次にRICHARDSON number Ri を用いて躍層の流動に対する抵抗を考察してみよう。前述19式により各観測に対する限界速度勾配 G_c を計算したのが第3表に示してあり、また第19図では各測点での計算値に 10^4sec^{-1} を乗じた値を記入してある。これらを見ると、 G_c は

測点No.1(0.007~0.057) sec^{-1} , No.2(0.016~0.064) sec^{-1} , No.3(0.028~0.059) sec^{-1} , No.4(0.032~0.051) sec^{-1} No.5は0.002 sec^{-1} でとくに低いが、躍層0~9 m範囲内では大体(0.030~0.060) sec^{-1} で相当高い値をもつておる。流入水は少くあまり乱れの energy をもつておらないので、混合はあまり行われず、表層に沿って流動し、測点No.5(水温高く、密度小で G_c 僅か0.002であり、いわゆる池水と流入水の demarcation zone があらわれているものと

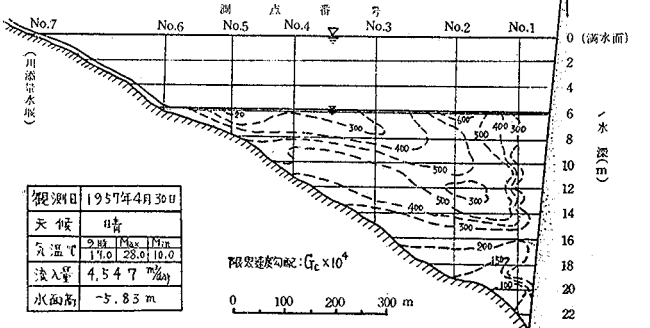
アルカリ度(1)



第17図 神内上池アルカリ度分布図(1)

密度(1) ことが察せられる(この際密度分布図では、たとえば $\rho = 0.9999700$ の場合0.99以下のみを表示し、997としてあるが、以下おなじ表示をする)。その内容を見ると、密度 ρ は表層がMinで約0.99820、堰堤付近深層部では大となり約0.99998に達しており、その密度勾配をみると、深さ1 m当り測点No.1(6~329) $\times 10^{-6}$, No.2(25~416) $\times 10^{-6}$, No.3(82~247) $\times 10^{-6}$, No.4(106~265) $\times 10^{-6}$, No.5(0.3) $\times 10^{-6}$ であるが、躍層0~9 mの範囲では、各測点を通じて大体 100×10^{-6} 以上かなり強い密度勾配を示している。

限界速度勾配(1)



第19図 神内上池限界速度勾配分布図(1)

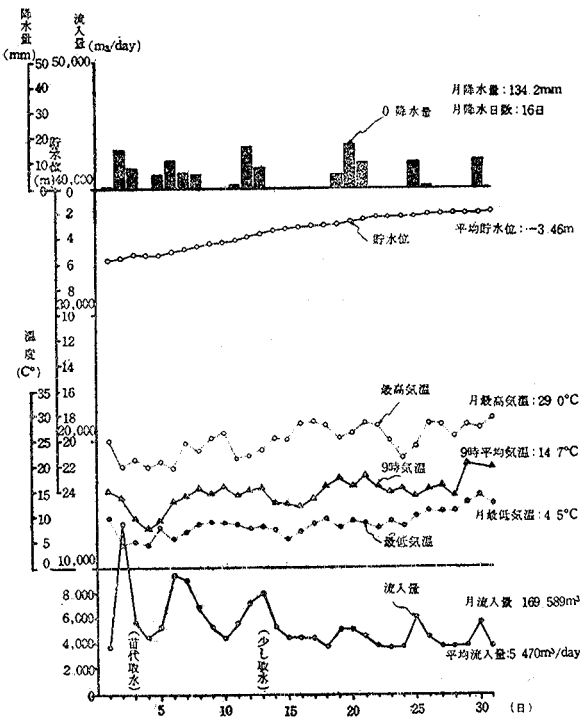
考えられる) 付近より若干表層近くの stratified flow として潜行し、この間若干の混合により稀釈や熱交換によつて流動厚さをまし、一方貯水位低く、流入のみで取水や余水吐よりの over flow がないため、堰堤に突き当つて乱れながらはい上り、表層において上流側に向け若干逆向流の傾向があるのではないかと考えられる。

最後に透明度をみると、上流側より測点 No. 5 (2.00m), No. 4 (2.50m), No. 3 (2.70m), No. 2 (2.80 m), No. 1 (2.90m) となり、下流側堰堤に近づくにつれ若干池水は澄んでくる傾向がみられ、その上下流較差は0.90mであるが、これは主として水深の大小や水質とくに物理、化学、生物的浮遊物質、溶解物質の多少が影響したものと考えられる。⁽⁴⁵⁾

以上第1回観測について若干考察したが、以後の各観測を通じその周年変化をみる際再考することにする。

(b) 第2回 (1957年6月4日) 調査結果について (第4, 5, 6表, 第20, 21, 22, 23, 24, 25, 26図参照)

今回は、観測点No. 1, 2, 4, 6, 7について各水質調査, No. 1, No. 2, No. 4について沈澱槽による esdiment 調査, およびNo. 3, No 5については透明度のみの観測を行った。



第20図 神内上池水文調査 (2)

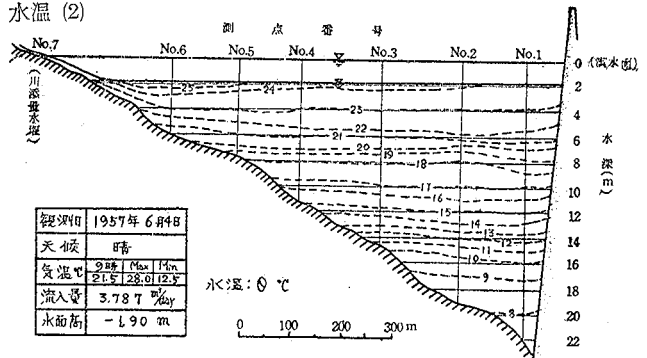
今回の各測点における水質観測並びに計算値の結果を表示したのが第4表であり、その各水質の等値分布図を作製したのが、それぞれ第21図 (水温分布図), 第22図 (濁度分布図), 第23図 (pH分布図), 第24図 (アルカリ度分布図), 第25図 (密度分布図), 第26図 (限界速度勾配分布図) である。

まず水温鉛直分布をみると (第21図参照), 水温成層の発達がかなり著しく、流入水は気温より冷く23.0°Cであるが、表層水は24~26°C (これは観測を測点 No. 1 から上流に向つて行つたための時間的ずれがあるため日中

調査日の水文事項をみると (第20図その他参照), 5月末より6月4日まで降雨なく、流入量は3,787 m³/dayで前回よりも少く、貯水位は5月中苗代用として若干取水したのみで上昇を続け、満水面下1.90mに達している。気温は9時21.5°C, 最高28.0°C, 最低12.5°Cで、観測時(12~15時)は26.0~28.0°Cである。4月と5月の水文を比較すると、降雨は4月97.1mm(11日)に対し5月は134.2mm(16日)で多く、月の大半が雨のため4月最高気温29.0°C, 最低気温1.0°C, 9時平均気温11.0°Cに対して、5月では最高気温29.0°C, 最低気温4.5°C, 9時平均気温14.7°Cとなり気温もさほど上昇していない。また5月流入量も雨のため4月より多く、4月116,849m³/month (平均流入量3,895m³/day) に対し、5月169,589m³/month (平均流入量5,470 m³/day) で若干多く、したがって平均貯水位も4月で満水面下8.23mに対し、5月では3.46mに上昇している。

観測日の流入水質をみると、水温23.0°Cで気温より低いが、前回より幾分上昇しており、濁度は2.4ppmで前回よりやや低く、pHは7.1で中性に近く大差なく、アルカリ度は35ppmでやや高くなつている。

水温 (2)



第21図 神内上池水温分布図 (2)

強い太陽輻射による)で気温に近づいている。また堰堤付近最深部で8.0°C以下に下り、この間(約21m)にわたり夏季型の正列成層をなしている。いまその各測点における鉛直面内Max.Min.の水温較差を、前回(4月30日)の場合と比較してみると、前回は測点No.1(12.8°C), No.2(12.7°C), No.3(8.4°C), No.4(3.5°C), No.5~No.6(0°C)に対して、今回は水深が3.93m上昇したとはいえ水温較差が測点No.1(15.5°C), No.2(15.5°C) No.4(8.7°C), No.6(5.5°C)となり、較差の増大がみられる。

第4表 神内上池水質調査並びに計算表(2)

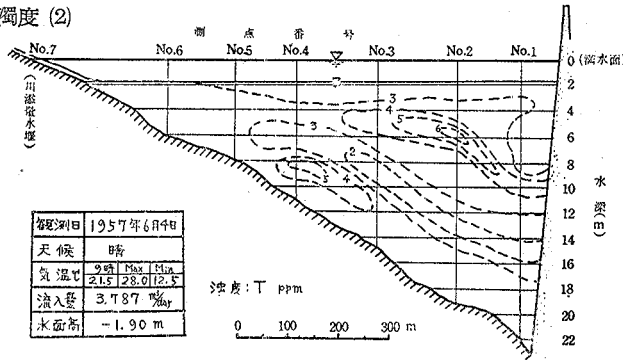
(1957年6月4日, 晴, 気温26~28°C, 貯水位満水面下1.90m)

| 観測点 | 水深 (m) | 水温 $\theta(^{\circ}\text{C})$ | 濁度 T(ppm) | 密度 | 鉛直安定度 | 限界速度勾配 | pH | アルカリ度 (ppm) | 備考 |
|-------|-----------|----------------------------------|--------------|-------------------|----------------|-------------------------|-----|----------------|---------------|
| | | | | $\rho_{\theta T}$ | $E = d\rho/dz$ | $Gc = \sqrt{ gE/\rho }$ | | | |
| Mo. 1 | 0 | 23.3 | 2.9 | 0.99763011 | -0.00004840 | 0.0216 | 7.4 | 26 | 透明度: 4.40m |
| | 1 | 23.1 | 2.9 | 0.99767851 | -0.00007203 | 0.0266 | 7.4 | 26 | |
| | 2 | 22.8 | 3.3 | 0.99773054 | -0.00007202 | 0.0262 | 7.3 | 26 | |
| | 3 | 22.5 | 2.3 | 0.99782074 | -0.00022816 | 0.0473 | 7.3 | 25 | |
| | 4 | 21.5 | 2.6 | 0.99804890 | -0.00027852 | 0.0522 | 7.3 | 25 | |
| | 5 | 20.2 | 2.7 | 0.99332742 | -0.00021939 | 0.0465 | 7.3 | 24 | |
| | 6 | 19.1 | 2.9 | 0.99854731 | -0.00018720 | 0.0429 | 7.2 | 24 | |
| | 7 | 18.1 | 2.9 | 0.99873451 | -0.00019281 | 0.0435 | 7.1 | 24 | |
| | 8 | 17.0 | 4.3 | 0.99892732 | -0.00017727 | 0.0416 | 7.1 | 25 | |
| | 9 | 15.9 | 3.8 | 0.99910459 | -0.00011932 | 0.0343 | 7.1 | 27 | |
| | 10 | 15.1 | 3.1 | 0.99922421 | -0.00017830 | 0.0418 | 7.1 | 32 | |
| | 11 | 13.8 | 2.5 | 0.99940251 | -0.00014683 | 0.0379 | 7.0 | 32 | |
| | 12 | 12.6 | 2.4 | 0.99954934 | -0.00013914 | 0.0369 | 7.0 | 32 | |
| | 13 | 11.3 | 1.5 | 0.99968848 | -0.00010256 | 0.0317 | 7.1 | 34 | |
| | 14 | 10.2 | 2.0 | 0.99979104 | -0.00006566 | 0.0254 | 7.1 | 33 | |
| | 15 | 9.4 | 2.7 | 0.99985670 | -0.00003792 | 0.0238 | 7.0 | 32 | |
| | 16 | 8.6 | 3.3 | 0.99991462 | -0.00000682 | 0.0082 | 7.2 | 32 | |
| | 17 | 8.5 | 3.6 | 0.99992144 | -0.00003183 | 0.0177 | 7.2 | 30 | |
| | 18 | 8.0 | 4.2 | 0.99993327 | -0.00001230 | 0.0110 | 7.3 | 30 | |
| 19 | 7.8 | 5.2 | 0.99996557 | | | 7.0 | 31 | | |
| No. 2 | 0 | 24.0 | 2.8 | 0.99745651 | -0.00012445 | 0.0349 | 7.4 | 26 | 透明度: 3.85m |
| | 1 | 23.5 | 2.7 | 0.99758096 | -0.00012134 | 0.0345 | 7.3 | 26 | |
| | 2 | 23.0 | 3.4 | 0.99770230 | -0.00011941 | 0.0342 | 7.3 | 27 | |
| | 3 | 22.5 | 4.1 | 0.99782171 | -0.00011658 | 0.0338 | 7.3 | 27 | |
| | 4 | 22.0 | 6.1 | 0.99793829 | -0.000060950 | 0.0773 | 7.3 | 27 | |
| | 5 | 19.1 | 3.8 | 0.99354779 | -0.00018709 | 0.0429 | 7.2 | 26 | |
| | 6 | 18.1 | 3.6 | 0.99873488 | -0.00005371 | 0.0230 | 7.1 | 26 | |
| | 7 | 17.8 | 3.4 | 0.99878859 | -0.00013814 | 0.0368 | 7.1 | 26 | |
| | 8 | 17.0 | 3.2 | 0.99892673 | -0.00014645 | 0.0379 | 7.0 | 26 | |
| | 9 | 16.1 | 3.4 | 0.99907318 | -0.00016522 | 0.0403 | 7.0 | 29 | |
| | 10 | 15.0 | 2.6 | 0.99923840 | -0.00013762 | 0.0367 | 7.1 | 31 | |
| | 11 | 14.0 | 1.9 | 0.99937603 | -0.00017304 | 0.0412 | 7.1 | 33 | |
| | 12 | 12.6 | 1.9 | 0.99954907 | -0.00021605 | 0.0460 | 7.0 | 33 | |
| | 13 | 10.5 | 3.0 | 0.99976512 | -0.00006006 | 0.0243 | 7.1 | 32 | |
| | 14 | 9.8 | 3.0 | 0.99982518 | -0.00005439 | 0.0231 | 7.0 | 32 | |
| | 15 | 9.1 | 3.4 | 0.99987957 | -0.00003532 | 0.0186 | 7.2 | 31 | |
| | 16 | 8.6 | 3.8 | 0.99991489 | -0.00000666 | 0.0081 | 7.0 | 30 | |
| 17 | 8.5 | 3.8 | 0.99992155 | | | 7.0 | 31 | | |
| No. 3 | 水質観測欠 | | | | | | | | 透明度: 3.80m |
| No. 4 | 0 | 24.5 | 2.6 | 0.99732890 | -0.00025200 | 0.0498 | 7.3 | 21 | 透明度: 3.60m |
| | 1 | 23.5 | 2.6 | 0.99758093 | -0.00009777 | 0.0310 | 7.2 | 30 | |
| | 2 | 23.1 | 3.2 | 0.99767867 | -0.00007171 | 0.0265 | 7.2 | 27 | |
| | 3 | 22.8 | 3.0 | 0.99775033 | -0.00034252 | 0.0580 | 7.2 | 27 | |
| | 4 | 21.3 | 2.3 | 0.99809290 | -0.00019294 | 0.0435 | 7.1 | 30 | |
| | 5 | 20.4 | 2.6 | 0.99828584 | -0.00041343 | 0.0637 | 7.1 | 30 | |
| | 6 | 18.3 | 5.2 | 0.99869927 | -0.00005454 | 0.0231 | 7.1 | 29 | |
| | 7 | 18.0 | 5.2 | 0.99375381 | -0.00025569 | 0.0501 | 7.0 | 27 | |
| | 8 | 16.5 | 3.7 | 0.99900950 | -0.00011003 | 0.0329 | 7.1 | 26 | |
| 9 | 15.8 | 2.9 | 0.99911953 | | | 7.0 | 28 | | |
| No. 5 | 水質観測欠 | | | | | | | | 透明度: 3.80m |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|------|-----|------------|-------------|--------|-----|----|---------------|--------|-----|----|
| No. 6 | 0 | 26.0 | 3.0 | 0.99692862 | -0.00052827 | 0.0721 | 7.1 | 24 | 透明度: 4.30m | | | |
| | 1 | 24.0 | 3.5 | 0.99745689 | -0.00012434 | | | | | 0.0350 | 7.1 | 28 |
| | 2 | 23.5 | 3.2 | 0.99758123 | -0.00040107 | | | | | 0.0628 | 7.1 | 30 |
| | 3 | 21.8 | 3.6 | 0.99798230 | -0.00028287 | | | | | 0.0527 | 7.1 | 29 |
| | 4 | 20.5 | 3.1 | 0.99826517 | | | | | | | 7.0 | 28 |
| No. 7 | 0 | 23.0 | 2.4 | 0.99770229 | | | 7.1 | 35 | | | | |

また水温の鉛直傾度 $\frac{d\theta}{dz}$ からその鉛直分布をみると、表水層の存在が深さ0~3m範囲に認められるようで、また深さ14m付近から深水層になる傾向がみられる。この間3~14mにおいて第1次躍層(約3~6m)と第2次躍層(約8~14m)なる2つの躍層の存在が認められる。いま第1次躍層上限3mから第2次躍層下限14mの範囲内における水温傾度をみると、測点No.1 0.8~1.3(平均1.12) $^{\circ}\text{C}$, No.2 0.3~2.9(平均1.17) $^{\circ}\text{C}$, No.4 0.3~2.1(平均1.17) $^{\circ}\text{C}$ となる。また第1次躍層内では測点 No.1 1.0~1.3(平均1.13) $^{\circ}\text{C}$, No.2 0.3~2.9(平均1.40) $^{\circ}\text{C}$, No.4 0.9~2.1(平均1.50) $^{\circ}\text{C}$ となり変曲点(inflexion layer) - 傾度極大の1mの層 - はNo.1で水深4~5m, No.2で3~4m, No.4で5~6mの層にみられる。第2次躍層内では $\frac{d\theta}{dz}$ が測点No.1 0.8~1.3(平均1.13) $^{\circ}\text{C}$, No.2 0.7~2.1(平均1.17) $^{\circ}\text{C}$, No.4で0.7 $^{\circ}\text{C}$ となり変曲点はNo.1で深さ12~13m, No.2で11~12m層にみられる。これら水温鉛直傾度も前回より一般に増大しているが(Max 値2.9 $^{\circ}\text{C}$)、その総平均値(1.27 $^{\circ}\text{C}$)においては、なお自然湖沼のそれに比べて小さい。

濁度 (2)



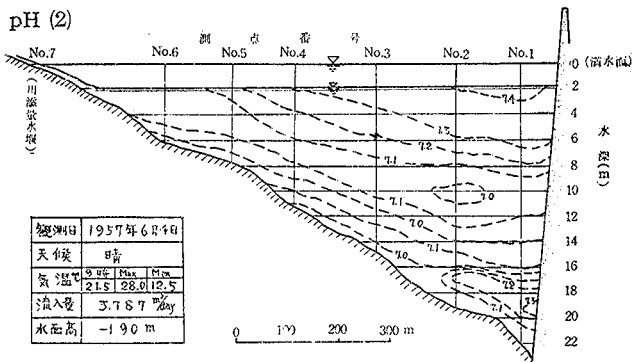
第22図 神内上池濁度分布図 (2)

濁度についてみると(第22図参照)、前回とおなじく全域にわたり1.5~6.1ppm程度で低く、相変らず池水は清澄であるが、それでも鉛直並びに縦断方向に若干の差があり、池底勾配に沿った濁度成層進展の傾向がみられる。

pHについては(第23図参照)、流入水pH=7.1で中性に近いが、池内では全域にわたり7.0~7.4の範囲で大体上層高く下層が低い池底勾配に沿った成層化の進展が認められ、流入水pH=7.1に相当する層が池底に沿って下降し、水温分布でみられる第1次躍層と第2

次躍層の中間層付近(6~10m)に浸入定着している傾向がうかがえる。またそれ以下は大体7.0~7.1の範囲にあるが堰堤近くの深水層に入ると7.2~7.3なるpHの逆転層がみられる。この際流入水pHは7.1で中性に近いが、表層高温部でとくにpHが7.2~7.4のように高くなっていることは、高温による池水蒸発作用と、 CO_2 の溶解度にも関連しているものといえよう。また水温のごとく割合顕著な成層状態をなすことは、生物繁殖状態(プランクトン)、溶存成分(カチオン、アニオンの組合せ)、太陽光線による光化学反応、各種珪酸塩の炭酸塩化、酸化、還元、加水分解に伴う化学反応、あるいは諸生物、細菌による生化学的現象などの影響もあるが、この際神内上池においては、主として CO_2 と CO_3^{2-} との平衡関係⁽²⁾⁽⁴⁾によりて説明できるだろう。すなわち CO_2 が水にとける時には大気中の CO_2 と一定の分配率にしたがうものであり、大気に曝された水面が高温になるとき、 CO_2 を失い易く、したがってpH値が大となりアルカリ性が高く、逆に深層では水圧が大で、また水温の正列成層により低温となるので CO_2 保持力が増大され、したがってpH値が小となり酸性が高くなることになる。

pH (2)

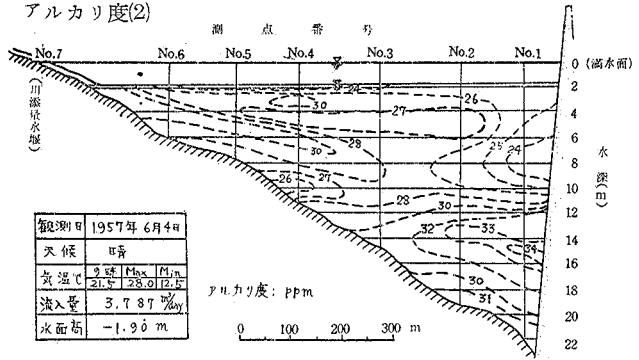


第23図 神内上池PH分布図 (2)

アルカリ度は(第24図参照), 流入水35ppmに対して, 池内においては21~34ppmの範囲にあるが, pHのようにあまり成層化が進んでおらず, ただ流入後pHとおなじように, 水温の第1次躍層と第2次躍層の中間層に下降浸入している傾向がみられ, また堰堤付近深水区において高アルカリ度(33~34ppm)の層が若干認められる。

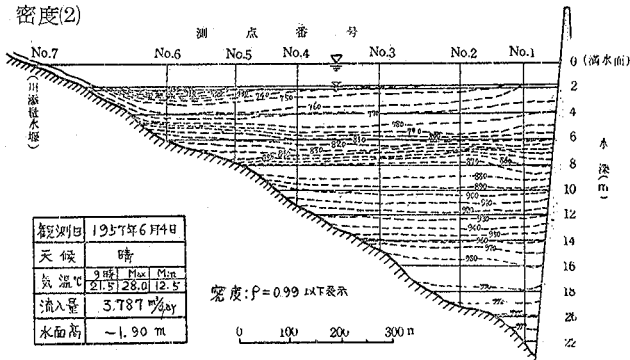
次に密度分布であるが,(第25図参照),今回も前回とおなじように, 濁度は全域にわたり小さく大差ないことから, 密度は主として水温差にもとづくことになり, 前述水温分布(第21図参照)とおなじく顕著な成層状態を示しており, この分布からも第1次躍層(3~6m)と第2次躍層(8~14m)の存在が明瞭になる。密度は Min. 表層で0.99700から Max. 最深部0.99997にわたっており, 密度勾配 $\frac{d\rho}{dz}$ は深さ

アルカリ度(2)



第24図 神内上池アルカリ度分布図(2)

密度(2)



第25図 神内上池密度分布図(2)

(第26図参照), 測点No. 1 (0.003~0.052) sec⁻¹, No. 2 (0.008~0.077) sec⁻¹, No. 4 (0.023~0.064) sec⁻¹, No. 6 (0.035~0.072) sec⁻¹の範囲であるが, 密度勾配とおなじく躍層部分において第1次躍層が第2次躍層よりGcが強大であることがうなづける。

以上のように, 前回(4月30日)より安定度Eや限界速度勾配Gcの値が, とくに躍層の部分において強大になつているのは, 主として流入水があまり大きくなかつたこと, 気温上昇, 貯水池水位の上昇などの影響があげられるだろう。

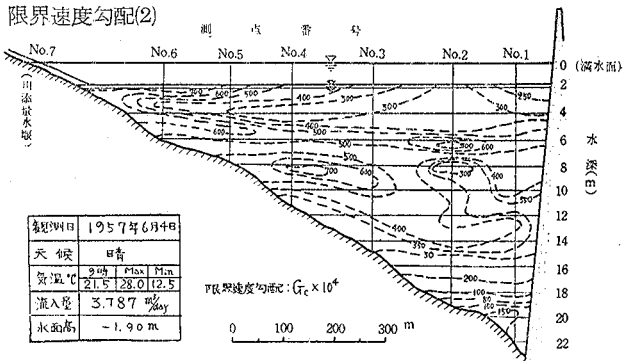
この場合の流動について考えてみるに, 流入水は安定度の高い第1次躍層の上部表層近くの等密度層(この場合等水温層)をstratified flowとして流れるが, 各水質分布図でわかるように, 安定度の高い躍層部において若干混合, 熱交換が行われ, そのため躍層部の安定度が弱まり, 流入水の1部は池底に平行に斜下向きに流過し, 再び高安定度の第2次躍層部にあつて, 第1次と第2次躍層の比較的安定度の小さい中間層付近に落着いたのではないかと考えられる。

透明度については, 測点No. 1 (4.40m), No. 2 (3.85m) No. 3 (3.80m), No. 4 (3.60m), No. 5 (3.80m), No. 6 (4.30m) で水深変化(貯水位上昇)にもよるが, 前回より若干池水が澄んだ傾向がうかがえる。

1 m当り測点No. 1 (7~279)×10⁻⁶, No. 2 (7~610)×10⁻⁶, No. 4 (54~256)×10⁻⁶, No. 6 (124~528)×10⁻⁶であるが, その躍層部分の平均鉛直安定度Eは, 第1次躍層で測点No. 1 (242×10⁻⁶), No. 2 (304×10⁻⁶), No. 4 (316×10⁻⁶)となり, また第2次躍層で測点No. 1 (134×10⁻⁶), No. 2 (150×10⁻⁶)となり, 一般に第2次躍層の安定度より第1次躍層の安定度が約2倍強大となり, また上流側ほど安定度が大きくなつている傾向がうかがえる。

おなじく限界速度勾配Gcについてみると

限界速度勾配(2)



第26図 神内上池限界速度勾配分布図(2)

最後に sediment 調査の結果を示したのが、第5表であり、5月は半月は雨であつたが、降雨強度大なる降雨がなかつたため、涵濁質の流入沈澱があまり顕著でなかつたことを示している。この際上流側から下流側にかけてその沈澱厚さ、沈澱量が減じているのは、主として比較的粗粒部分が上流側で早く沈降したことになり、このことから、神内上池における sediment は湖沼で考えられる生物起源の有機性沈澱物より、外部より運び込まれる無機性沈澱物が、その大部を占めることがうかがえる。ちなみに自然湖沼における沈澱量の例を示すと第6表⁽⁴²⁾のようで、今回の観測値は湖沼における夏季の沈澱量 (g/m²/day) に大体近似している、しかしかかる人工貯水池⁽²¹⁾では、一旦洪水の際は相当量の sediment があるものと考えられ、筆者の当池過去の堆砂鉛直断面の調査による

第5表 沈 澱 堆 積 量 (1)

(1957年5月1日～6月4日, 35日間)

| 観測点 | 全沈澱量 (g/m ²) | 平均日沈澱量 (g/m ² /day) | 沈澱厚さ (cm) | 備 考 |
|-------|--------------------------|--------------------------------|-----------|----------------|
| No. 4 | 250.000 | 7.143 | 0.154 | 沈澱箱(第7図参照)による。 |
| No. 2 | 49.660 | 1.419 | 0.054 | |
| No. 1 | 36.550 | 1.044 | 0.039 | |

第6表 湖 沼 に お け る 沈 澱 量 (西条)

(沈澱瓶によるもの)

| 湖 沼 | 期 間 | 沈 澱 量 (g/m ² /day) | 有機性沈澱物量 (%) | 無機性沈澱物量 (%) |
|-------|------------|-------------------------------|-------------|-------------|
| 青 木 湖 | 1953年 6～7月 | 7.6 | 61.8 | 38.2 |
| | 7～8月 | 4.6 | 61.5 | 38.5 |
| 木 崎 湖 | 1953年 6～7月 | 3.8 | 34.2 | 65.8 |
| | 7～8月 | 5.9 | 23.7 | 76.3 |
| | 8～12月 | 3.3 | 39.5 | 60.5 |
| 中 網 湖 | 1953年 6～7月 | 11.1 | 11.7 | 88.3 |
| | 7～8月 | 14.8 | 2.8 | 97.2 |
| | 8～12月 | 13.3 | 6.8 | 93.2 |
| 榛 名 湖 | 1950年 7～8月 | 3.3 | 93.1 | 6.9 |
| 諏 訪 湖 | 1949年 8月 | 102.0 | 62.7 | 37.3 |
| | 1950年 2月 | 28.0 | 57.1 | 42.9 |

と、浮流物質層で最大100cm、掃流物質層で最大80cmなる層理厚さが観測され、また1956年9月における沈澱箱による調査でも沈澱厚さ約10cmなる結果がえられたことから、貯水池における sedimentation の問題解決は、極めて重要な課題であると大言できるだろう。

(以下次号)

第9巻第1号 正 誤 表 吉 良 八 郎

| | 正 | 誤 | 正 |
|-----|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 15頁 | 上から6行目 | ρ' は主として $\frac{\partial \rho'}{\partial x}$ | ρ' は主として $\frac{\partial \rho'}{\partial z}$ |
| 16頁 | 上から12行目 | これ_鉛直安定度 | これを鉛直安定度 |
| | 上から14行目 | などにし | などに比し |
| 16頁 | (6)式右辺 | $= \frac{\gamma \rho_i R_i}{g} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^3$ | $= \frac{\gamma \rho R_i}{g} \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right)^3$ |
| 17頁 | | 図 2 | 第2図 |