

湖水比重の鉛直分布 (第二報)

竹村 寿二

(信州大学講師 文理学部)

§1. 総 説

夏の初めから秋にかけて湖水の水温は表面が最も高く、深度が増すに従つて次第に低温となり、比重の鉛直分布は安定して水の循環は一時停止の状態となる。そのため各深度に応じて特有の作用が水の性質にも現れ、様々の層が発達するのであるが、やがて中秋の冷気に誘われて循環は次第に上層より下方に及び成層は相継いで消滅するに至る。

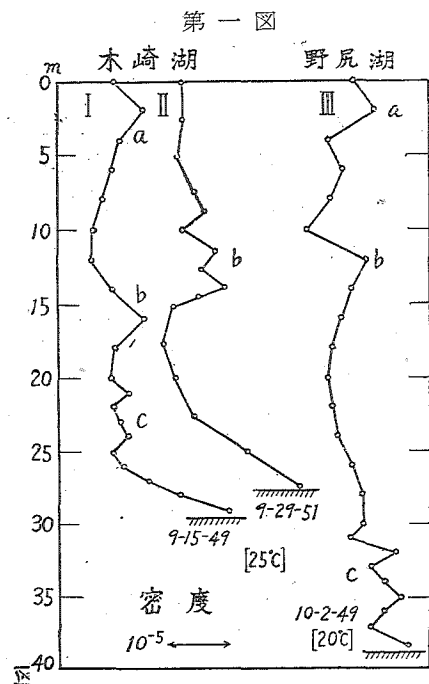
筆者は1949年以来主として木崎、青木、野尻及び諏訪の諸湖について、かゝる季節に於る比重成層の連続観測を行つてきた。比重は恒温槽中の一定温度で測定され、比重計の感度は100万分の2~3であつた。

その結果、各湖夫々に固有の特徴はあるけれども概して共通した性質が少くない。第一図はその概況を示す測定例であつて、木崎及び野尻両湖の採水を25°C及び20°Cの定温で測定したものである。変化は凡そ10万分の1以内で各所に成層をなすが特に湖底附近では10万分の2に及ぶことも多い。筆者は之等の成層を便宜上、湖面直下に現れる表面層、湖底直上に現れる湖底層及び中間部に現れる中間層の三種の成層型に分類して

研究を進めた。図中 a, b, c と記したのはこれである。(便宜上相対値のみを掲ぐ)。

各層とも日時の経過に従つて深度の移動、変形が行われる。特に成層の厚さが1.5m以下の場合が多いので採水器の構造、採水深度の粗密によつてはその分布も余程異つたものとなり時には実在せる層も逸することがある。

第一図 I, III は北原式採水器(長さ30cm, 両端から採水するもの)を以て2~1mおきに採水せるもの、II は I と同一採水点に於て2年14日後に水圧式採水器(先端のみから採水する)によつて中間層の附近のみ1.25mおき、他の部分は2.5mおきに採水せるものであつて、当然のことながら採水深度の粗なる所ほど得られた結果が実際から隔つている如くみえる。尚 II の湖底の深度が I に比べ1.5mほど浅いのはその年が渇水せるためである。



表面層については未だ何等の研究も行つていないけれども中間層、湖底層についてはあ

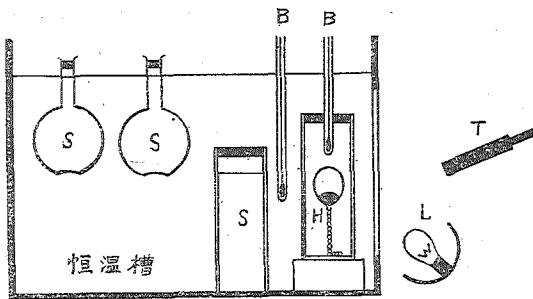
る程度の成果を収めたので、1950年迄の結果をさきに第一報として日本陸水学会に発表したが、51年度の結果は第二報として本紀要に掲載することになった。

尙、本学向井教授は長年に亘り曇り層その他湖水に関する多くの御研究があり、常に適切なる御指導を戴いてきた。

§2. 比 重 計^(註2)

硝子製の浮沈子(容積約70cc)を試水の密度より極く僅か小となし之に鉍金せる銅線で造つた微小な鎖(1個の質量 0.1mg 程のものを40個ばかり連ねる)を懸垂して試水中に浸し、釣合いの状態にあるときの鎖のひき上げられた数を読んで純水に対する相対密度を求める。試水の容量は 500cc を必要とし、比重の異なる多数のものを連続的に測定するに適する。所要時間は始めの準備 1 時間を除いて各 1 個につき 15 分を費せば繰返し 2 回の測定値を得ることが出来る。1 回のみで打切るときは筆者の経験によれば 10 回につき 1 回の誤謬を犯す。若し各試料の比重の差が 1 万分の 1 以上に及ぶときは比重計の感度を下げないと測定に手数がかかる。又測定温度で溶存気体が過飽和になるときは気泡が浮沈子に附着して測定が出来ない。本研究の測定値は凡て溶存気体が測定温度で飽和の状態におき、且つ煮沸とか濾過等を施すことなくそのまま測定したものである。

第二図



S 試水, H 比重計, L ライト
B マックマン温度計, T 望遠鏡

(a) 測定法

装置の概略は第二図に掲げた。試水は 4~5 個を予め容器とも恒温槽中にいれておき、最切の 2 試料のみ二つの硝子円壺に移して温度平衡に達せる頃その一を測定し、終れば直ちに第二の円壺に比重計及び温度計附属のゴム栓を入れ更えて静置し、次に第三の試料を容器から第一の円壺に移し再び槽中に浸す。

このようにして試水の温度の低下を防ぐのであるが、多くの注意にもかかわらず尙試料が恒温槽の温度と一致するには多大の時間を要し、その間種々の障害を生ずるので、凡そ 0.03°C 程低温の状態での測定をして予め測つておいた温度感度(α)により定温に換算するのである。即ち下の表のゴシックで記したものを実測する。

	純 水		試 水	
	密 度	鎖 数	密 度	鎖 数
恒温槽の温度 t_0	ρ_0	n_0	ρ_0'	n_0'
測定温度 t_1			ρ_1'	n_1'
t_0 より約 0.1°C 低温 t_2	ρ_2	n_2		

$$(n - t \text{ 感度}) \alpha = - \frac{\Delta n}{\Delta t} = \frac{n_2 - n_0}{t_0 - t_2}$$

$$\therefore n_0' = n_1' - \alpha(t_0 - t_1)$$

$$(\rho - n \text{ 感度}) s = \frac{\Delta \rho}{\Delta n} = \frac{\rho_2 - \rho_0}{n_2 - n_0} \quad (\rho_2 - \rho_0 \text{ は純水密度表より})$$

$$\therefore \rho_0' = \rho_0 + s(n_0' - n_0)$$

(b) 感 度

$t_1^\circ\text{C}$ における純水の密度を ρ_1 とし、その中に沈めた浮沈子の体積を v_1 、懸垂鎖数を n_1 とする。 t_1 より低い温度 $t_2^\circ\text{C}$ に対しては夫々 ρ_2 , v_2 , n_2 とする。又浮沈子の質量を M , 膨脹係数を β , 鎖1個の質量を m とすれば

$$\rho_1 V_1 = M + n_1 m \quad (\text{正確には } m \text{ は水中見かけの質量})$$

$$\rho_2 V_2 = \rho_2 (V_1 + \Delta V) = M + n_2 m$$

$$\therefore \Delta V = \frac{m \cdot \Delta n - V_1 \cdot \Delta \rho}{\rho_2} = V_1 \cdot \beta \cdot \Delta t \quad \left(\begin{array}{l} \Delta v, \Delta t \text{ は負} \\ \Delta n, \Delta \rho \text{ は正} \end{array} \right)$$

$$\therefore \beta = \frac{m \cdot \Delta n - V_1 \Delta \rho}{V_1 \rho_2 \Delta t}$$

右辺の ρ は表により、他は凡て実測により求め得るから上式によつて Δt における β を算出することができる。この測定は一般に精度はよくないが感度はよい。(測定例省略)

次に上式から ($\rho - n$ 感度)

$$s = \frac{\Delta \rho}{\Delta n} = \frac{m}{v_1} \div \left(1 - \frac{\rho_2 \beta}{b} \right)$$

$$\left(\text{但し } b \equiv - \frac{\Delta \rho}{\Delta t} = \frac{2 \times 10^{-4} (20^\circ\text{C})}{1 \times 10^{-4} (10^\circ\text{C})} \right)$$

v_1 を 70cc, m を 0.1mg として右辺第一項は 1.4×10^{-6} となる。第二項について正確には β が小なる程、又測定温度が高い程感度は良くなるが、 β が 10^{-5} 程度の硝子である場合 s の増加は 10°C で10%にすぎない。

温度の測定誤差は 0.01°C に対して測定温度 20°C のとき比重 2×10^{-6} , 10°C のとき 1×10^{-6} であるから比重を100万分の1まで測るには 10°C 以下の恒温槽を使用せねばならぬ。本測定に於て温度誤差は凡そ 0.01°C と考えられる。

(c) 比重計製作及び測定上の注意

比重計は硬質硝子、容積約 70cc の卵形平底をなし、先端は水銀を注入する小孔を有す。之を必要の温度にて純水中に懸垂する如く適宜に水銀を容れて小孔を熔封する。この際鎖をかけるべき白金線の鉤を同時に固着する。釣合いの温度が所期のものと確実に一致することは必要でないが、あまり差が甚だしい時は弗化水素の稀薄溶液にて硝子の一部を溶解するか又は白金鉤を適当に縮める。このようなものを 30°C , 25°C , 20°C , 15°C 等の各温度について製作しておく。鎖はモール用鉍金銅線(径0.04mm)を径1mm程の環に造る。1個が0.1~0.15mg位のものが最も使用し易い。手製で1日で40個が出来上る。

硝子表面は清浄でないと試水中の気泡が附着し易い。微小な気泡が附着しても眼には映らぬが鎖の異常な運動で認識し得る。又比重計を試水中に入れる直前、手早く一度試

水を振盪して温度勾配をなくするが、この際水に廻転を与えると入れた比重計も亦廻転し、鎖が換れて正しい懸垂鎖数がよめない。其他沈澱の速い混濁物があるときは比重計の上にも之が堆積するから注意を要する。尙円壺容器の裏側に白ペンキを塗っておくと、ライトに照らされた金環が美しく輝き望遠鏡で鎖数を数えるのが容易である。

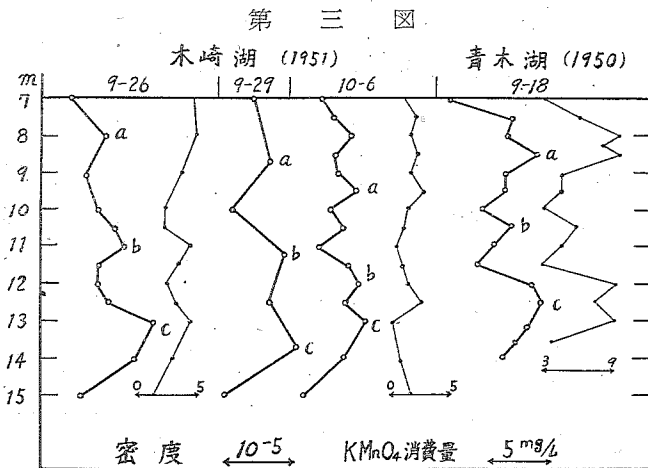
§3. 中間層

中間層はプランクトン成層であろう。1950年青木湖における測定結果はさきに第一報として発表したが、其後の研究をも含めて之を要約すれば

- (1) 8月初旬、成層は既に 7.5m と 13m 附近に在るが上層は其後次第に発達して深度は漸やく下降の傾向を示す。気温の冷却とともにその速度は増大し、10月中旬、深度約 10m に達する頃湖水循環のため分裂消滅する。
- (2) 過マンガン酸加里 (KMnO_4) 消費量は溶解有機の量に比例するものと考えられるが、1L 中 0~10mg の間に在つて比重成層とよく一致せる分布をなす。(註³)
(第三図参照)
- (3) 湖水の粘度はプランクトンの浮力に関連するが、定温においてその変域は 0.7% 以内で比重と相当よく一致せる分布をなす。併し 7.5m の層についてはその極大部が初期は稍上方に偏し、後期は稍下方に偏す。
- (4) 粘度に影響を及ぼす物質のうち濾過によつて除かれる部分(主としてプランクトンの形骸)と残る溶解物質とが相半ばする。それは夫々が 0.5~0.8% であり水温の変化による粘度の相異に比して無視し得る程度である。(実測によれば水温 26°C から 21°C まで 5°C の低下に対して粘度の増加は 13% である。一方中間層附近で温度の変化は平均深度 1m につき 2.5°C として粘度の変化は 6.4% に当る)

1951年木崎湖における中間層の測定結果の概要

- (1) 比重成層の分布は青木湖の場合と類似し、その変化も亦同様である。第三図は同一採水点に於て、水圧式採水器により 1m 及び 0.5m おきに採水せるものを 20 時間



後に定温 25°C の下で測定せる結果である。 KMnO_4 消費量も細線を以て附記した。之を同図の1950年青木湖の一測定例と比較すれば甚だ興味がある。変化の推移も亦上述の傾向と一致する。

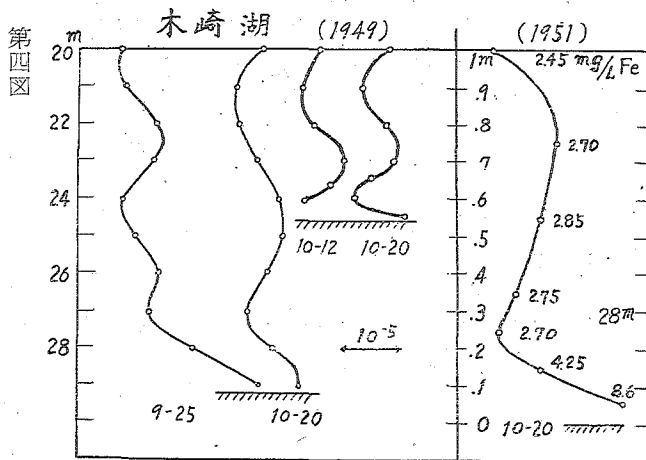
- (2) 上層と下層との性質の相違は既に

青木湖の場合に一部指摘しておいたが木崎湖に於ても同様で、即ち上層に比し下層は採水後の諸性質の変化が著しい。恐らくプランクトンの種類状態の異なるため凝集、沈澱等の作用が多く行われるためであらう。

如何なる理由によつてこゝにプランクトン成層が特に発達するかという問題が最終的には攻められねばならないが比重分布の測定という主題からは稍離れた問題となる。

§4. 湖 底 層

第四図左半は1949年、木崎湖の二採水点において1mおきに採水せるものの測定例である。

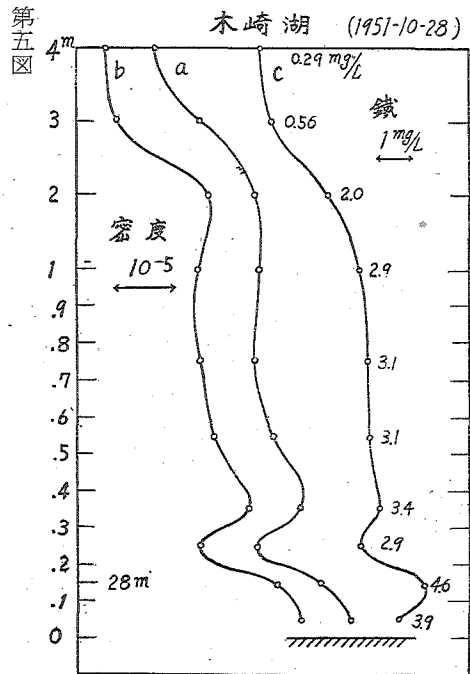


湖底直上に現れた各様の状況により湖底1m以内に比重の小なる微成層の存在が想像せられたが、それが特に溶解鉄の量と関連あるかに思われた。採水器は北原式で微成層採水に適せず又湖底泥土の攪乱もその時々で異つたことであらう。1951年に於ては排気ポンプにゴム管を接続したも

のでなるべく攪乱を防ぐように考慮して湖底から10~25cmおきに採水した。試水は空気に触れぬよう注意したが採水時透明であつた水は20時間後に既に僅か黄白色に濁り、之を約20分大気中に露出しながら19°Cの定温に於て比重の測定を行つた。

第四図右半及び第五図はこのようにして得られた同一採水点における二個の測定例である。特に第五図の測定では第一回の測定後充分大気に触れて濃く帯色せる試水を1日後に再度測定して之を前回のものと比較したが、全体として100万分の2程度の減少を示したのみで殆んどその相異は現れない。図中曲線aは第一回、bは第二回のもので左右にづらして記入してある。

溶解鉄は第二鉄に還元して後デューボス



ク比色計により比色定量した全鉄量を、第四図では比重曲線の側に数字で記入し (mg/L), 第五図では実線Cとして最右側に示した。水温は前者は 28m で 7.15°C, 後者は 25m で 7.5°C, 28m で 7.0°C である。

微成層は両例とも湖底から 25cm の所に在り約10万分の1の減少を示す。又溶解鉄との分布の相似も明らかである。然し乍ら鉄の 1~2 mg の減少に対して比重 10万分の1の減少は計算と一致しない。湖水現場においては溶存酸素はなく、鉄は第一鉄イオンとして溶存するが、測定時全部が大気中の酸素により酸化せられたものとして之が比重に与える影響は鉄 1 mg に対して酸化第二鉄 1.43mg, 即ち 100 万分の 1.43 に過ぎない。又上記二例によつてもほど視られる如く鉄の分布は採水時により変化が甚だしい。鉄以外に何か比重成層に関与するものがあるものであろうか。更に研究を進めるためには湖底層全般の分布に対しても注意せねばならないであろうし又湧水状況を考慮の外に置くことも出来ないと思われる。溶存気体の定量とともに之等は総て将来の問題として一応この稿を終わることとする。(註4) (2-25-1952)

(註1) 陸水学会 (1951.5.) 及び陸水学雑誌 vol. 16 (未刊)

(註2) O. Petersson 全潜比重計の改良

(註3) KMnO_4 消費量は木崎湖の場合 5 mg/L 以内で青木湖に比べ少い (測定例4回について)

(註4) 本研究は文部省科学研究費によるもの

Résumé

Sur la Distribution Verticale de la Densité d'Eau du Lac (2)

Par Toshiji TAKEMURA *

De l'été à l'automne, l'eau du lac cesse ses circulations verticales temporairement à cause de la stabilité de la température, et développe beaucoup de couches d'eau qui s'accordent avec leurs profondeurs. Il y a aussi des couches de la densité qu'on peut classer en trois types : les couches superficielles, les couches intermédiaires et les couches du fond. Chacune varie sa magnitude dans les limites de $1\sim 2 \times 10^{-5}$ à la température constante.

L'auteur a travaillé à la recherche de telle distribution depuis 3 ans aux lacs de Kizaki, Aoki et Noziri, en employant un hydromètre dont la sensibilité a été autour de $2\sim 3 \times 10^{-6}$. Les résultats pour 2 ans de 1949 à 1950 ont

* Lecteur de Physique, Faculté des Lettres et des Sciences, Université de Shinshu.

été publiés dans le journal de limnologie japonais en 1951, et voici ceux de 1951.

- (1) Introduction
- (2) Structure de l'hydromètre et son usage
- (3) Couches intermédiaires

Ce sont des couches qui se rapportent aux planctons. Il y a des analogies entre le Kizaki et l' Aoki dans la forme et la transformation toutes les deux, et la consommation de $KMnO_4$ est en conformité avec la densité.

- (4) Couches du fond

Quant aux couches du fond, une belle proportion entre la densité et la quantité du fer dissous y apparaît avec une microcouche intéressante.