斯く考へるときは前節の箱内の温度の分布も必ずしも温度其れ自身ではなく、一部如上の輻射熱を直接熱電對が吸収せる影響も含む懼がないとも云へない。之に關しては相當注意を拂つたが尙不充分の點もあるを以つて、更に慎重に測定を行ふ必要がある。

§ 5. 結 語

以上を要約すると百葉箱の満足すべき條件を吟味する爲。

1. 熱電對により百葉箱の東、西、南側面及び内部の温度並に輻射及び箱外の気温を測定した。
2. 百葉箱内の温度は日射を受ける側が最も高く反對側が最も低く、其の差は日出時より8時頃迄が最も大きく 1.4° に及び、其の他の時刻では午前は午後より大なるも概ね 0.8° 程度である。夜間等の如く温度の急變の時は内部の温度は周囲の内壁面よりは相當の遅れを示す
3. 百葉箱内の輻射は總て温度の分布と同一の経過を辿り、之は太陽の輻射が直接箱内に入射するによるものであること。

4. 箱内部の気温は箱外に比較すると日中に於ては $0.2^{\circ} \sim 0.3^{\circ}$ 低く、夜間に於ては反對になるも外気温の測定は稍々考究の餘地あるを以て、精細は今後の測定に俟たねばならない。

本調査は當所員村上恭四郎君の助力に負ふ處多大にして滿腔の謝意を表す次第である。以上

(昭和 19 年 5 月、於豊原地磁氣觀測所)

要 報

攪拌及靜置による湖水清澄度の増減 第一報*

向 井 正 幸**

結 言 筆者は昭和 18 年 9 月 24 日木崎湖に於て採取せる水及其の前 9 月 19 日同じ湖より採取し普通濾紙により濾過し置きたる水により、之を漏斗を通過せしめ或はウラスコに入れて振盪する等攪拌すれば水は曇りを増し、之を靜置すれば曇りは減退して水は次第に清澄化してゆく事實を見た。其の後此の現象及之に關聯する現象につき行つた測定結果に就き述べたいと思ふ。尙測定はすべて松本高等學校に於て時刻より行つた。

測定結果 其一

最初攪拌による曇りの増加、曇りの増加せる水の靜置による清澄化につき行つた測定結果につき述べたいと思ふ。資料の水はすべて湖の表面より汲取つた水である。水の曇りを見るには從來筆者が行ひたると同様其の白色光に對する吸光係數を測る事にし⁽¹⁾本論文中の表及圖はすべて資料の水の吸光係數 α と蒸溜水の其れ α_0 との差 $\alpha - \alpha_0$ をもつて表はしてある。然し α_0 は α に比し多くの場合甚だ小であるので多く

* M. Mukai; Die Vermehrung oder die Verminderung des Trübungsgrades des Wassers einiger Seen durch Erschütterung oder durch Belassen im Ruhezustand.

** 松本高等學校教授。

の場合之を無視して差支ない。無視出来ない場合に於ても問題は α の變化にある故差で表はして置いて差支ないと思はれる。尙 $\alpha - \alpha_0$ は mg^{-1} を以て測り多くの場合之を 10^3 倍して表はしてある。攪拌する方法としては主として漏斗通過を用いた。用いた漏斗の硝子管の部分は長さ約 9.0 寸、内直径 6 乃至 7 号の大きさにして水を受入れる器としては 600 乃至 650 立方寸容積のフラスコを用いた。水が漏斗を通過してフラスコに這入る間、先に這入つて居る水は中に氣泡を生じ乍ら攪拌せられた。

 第 1 表
甲

漏斗通過の回数	0	1	2	3	4
$\alpha - \alpha_0$ の値 I	6.9	8.8	10.0	10.2	10.3
II	6.6	8.8	9.3	9.7	9.7

乙

静置日数	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\alpha - \alpha_0$ の値 I	10.3	6.4	5.4	5.4	4.9	5.4	5.2	—	5.6
II	9.7	6.4	5.4	5.3	4.9	4.9	4.7	—	4.5

 第 2 表
甲

漏斗通過の回数	0	1	2	3
$\alpha - \alpha_0$ の値 I	9.5	11.3	11.5	11.4
II	9.1	12.0	12.5	12.8

乙

静置日数	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\alpha - \alpha_0$ の値 I	11.4	8.5	7.5	6.7	6.6	6.4	5.7	—	5.0
II	12.8	8.5	7.5	6.7	6.6	7.1	6.0	—	5.3

第 1 表、第 2 表は昭和 18 年 10 月 4 日木崎湖 C 點⁽²⁾表面に於て採取せる水に對し行つた測定結果である。兩表とも甲なる部分が漏斗通過の回数と其れに對應する $\alpha - \alpha_0$ の値を示す尙表中 I, II なる文字は、全く同様な測定を二つ行つてある其れに對する區別である。第 1 表甲は 10 月 4 日午後 5 時頃採取し 5 日午後

9 時より測定を行つたもので漏斗通過回数零の處は採取して約 28 時間經過した時の状態である。此の表より知らるゝ如く $\alpha - \alpha_0$ は漏斗通過の回数を重ねるに従つて次第に大きくなる。而して増加の割合は通過回数の多くなるに従つて次第に小さくなつてゆく。第 2 表甲は矢張り 10 月 4 日採取せる水を約 28 時間經過後測定したものであるが、之は先づ資料の水約 600 立方寸を約 1000 立方寸入りのフラスコに入れ約 1 分間振盪し然る後漏斗を通過せしめたもので單に振盪より吸光係数は約 0.0025 mg^{-1} 増加して居る。此の増加に對する振盪前の値の比は約 0.37 である。斯様に振盪により曇らされたる水も尙漏斗通過の回数を重ねるに従つて次第に曇つてゆき、其の有様は振盪せざりし第 1 表甲の水と殆ど同様であるのを見る。

次に第 1 表、第 2 表の乙の部分は漏斗通過のため曇つた水が静置により今度は次第に清澄になつてゆく有様を示したもので静置せる時日は前後 8 日に及んで居る。此の観測は毎測定終了直後漏斗通過により水を観測管よりフラスコに返し 1 日又は其れ以上静置して又次の測定を行ふといふ風にしてあるので、漏斗通過なる攪拌なく静置した場合に比較して吸光係数は常に大きく測定せられて居る事になる。殊に 1 回の漏斗通過によつても水は可成り曇る事實から見て精度は可成り悪くなると思はれる。然し此の二つの乙表の始めの部分より知らるゝ如く其處は變化が甚しいので、静置による清澄化の傾向を見る程度ならば上述の處置は餘り問題にするに及ばないやうに思はれる。最初第 2 表乙の水は第 1 表乙の水に比べて、より多く曇つて居るのみならず何時比較して見ても概してより多く曇つて居る。同種の水が一方は他方より著しく曇らされて居る場合いつも此の第一、第二兩表乙の水の如き關係があるのではあるまいか。

第 1 圖は同じ 10 年 8 月日午後 4 時木崎湖 B 點⁽³⁾表面に於て採取せる水に對し同日午後 10 時より行つた測定結果にして漏斗通過の回数を横軸に $\alpha - \alpha_0$ を縦軸にとつてある。矢張り全く同様の測定を二つ行つた。圖上 I, II で區別してある。尙重なる事を避けるため I, II

第 1 圖

は少しずらしてある。漏斗通過の回数増加と共に $\alpha - \alpha_0$ が増加し、増加の割合は漏斗通過の回数増加と共に小さくなる點共に第 1 表、第 2 表の甲によく類似して居る。今漏斗通過の回数を n とすれば $\alpha - \alpha_0$ の増加 $\Delta\alpha$ は

$$\Delta\alpha = C(1 - e^{-\mu}) \dots \dots \dots (1)$$

で與へられるやうに見える。茲に C, μ は正の常數 e は自然對數の底である。

第 3 表

靜置日數	0	1	2	3	4	5
$\alpha + \alpha_0$ I の 値	11.8	6.7	6.7	6.5	—	5.5
II	11.2	6.3	6.3	5.6	—	4.2

第 3 表は此の曇つた水が靜置により清澄化する有様を示したもので、矢張り第 1 表、第 2 表乙によく似て居る。

第 2 圖は昭和 18 年 11 月 3 日午後 3 時半頃青木湖 A 點表面に於て採取せる水に對し同日夜行つた測定結果を示せるものにして、漏斗通過の回数を重ねるに従つて吸光係數の増加する有様は木崎湖に於けると同様で、(1) 式で與へられると見てよい。或は拋物線的に増加すると見てもよいやうである。第 3 圖は此の漏斗通過により曇つた青木湖の水を靜置し其の清澄化する有様を示したものにして木崎湖の場合と異

第 2 圖

る點は清澄化比較的緩慢にして、漏斗通過により曇つただけが消失するのに 10 日許りもかゝつて居る點である。尤も之は毎測定後水を漏斗を用ひてフラスコに返す事を行つてある。若し其れなしに靜置したならば幾分早く清澄化したであらうと思はれる。此の清澄化の有様は靜置時間をもとすれば大體

$$\alpha = c'(1 + ke^{-v}) \dots \dots \dots (2)$$

で表はされるやうに見える。茲に c', k, v は正の常數、 e は自然對數の底である。曇らされたる木崎湖の水の清澄化も大體此の式で與へられるものと思はれる。

測定結果 其二

湖より汲取りたるまゝの水も之を靜置すれば時日の経過と共に次第に清澄化してゆく、第 4 第 5、第 6、第 7 の各圖は湖面より湖底に至る各層の北原式採水器により汲取り、之をフラスコに入れ靜置したる場合其の清澄化しゆきたる有様を示す 縦軸には採水深度をメートルにて

第 3 圖

第 4 圖 木 崎 湖

横軸には $\alpha - \alpha_0$ をとつてある。圖中の日附は測定を行ひたる日を示し、數字は其の深度に於ける採水時刻の水溫を示す。然し此の水溫は採水器を上げた後其の中の水により測つたもので採水器の熱絶縁不良のためやゝ高めになつて居る。第 4 圖は昭和 18 年 10 月 15 日午後 4 時より 5 時の間木崎湖 B 點に於て採取せる水の、第 5 圖は同年 10 月 24 日午後 2 時より 3 時半迄の間同じ木崎湖 B 點に於て採取

第 5 圖 木 崎 湖

せる水の、第 6 圖は同年 11 月 23 日午後 3 時半より 5 時迄の間に青木湖 B 點に於て採取せる水の、第 7 圖は同年 11 月 28 日午前 10 時より 11 時迄の間に野尻湖 A 點に於て採取せる水の清澄化を示す。何れもフラスコに入れて静置したのであるけれど測定に際してはフラスコより観測管に移し、測定を終りたる時観測管より漏斗を用ひてフラスコに返す。此の漏斗通

第 6 圖 青 木 湖

過の攪拌あるに係らず水は何れも非常に顯著に清澄化して居る。若し攪拌なくばもつとよく清澄化したものと思はれる。第 8 圖は第 5 圖に示せる深度 20.0 米、22.5 米、25.0 米の水の清澄化する有様を静置日數を横軸に $\alpha - \alpha_0$ を縦軸に取つて示したもので清澄化の有様は矢張り (2) 式で表はされるやうである。第 7 圖の 12 月 14 日の測定に於て深度 5 米の水が比較的清澄化が少い。之は此の水の極めて小部分が測定

第 7 圖 野 尻 湖

第 8 圖

前凍つて居た。之によるものではないかと思はれる。

第 9 圖第 10 圖は湖面各點より採取せし水をフラスコに入れて静置せし時其の時日の経過と共に清澄化してゆく有様を示したもので、縦軸に $\alpha - \alpha_0$ をとり横軸に採水點の位置を示してある。矢張り測定を終りし時漏斗通過の攪拌ありしに係らず鉛直な各層の水と同様顯著に清澄化して居るのを見る。第 9 圖は昭和 18 年 11 月 28 日午後 5 時より青木湖に於て採取せる水の清澄化を示す。此の日此の湖は正午頃より辛じて白浪が立たぬ程度に北風が吹いた。第 11 圖は此の湖に於ける採水點の位置を示す。第 10 圖は同年同月 28 日午前 11 時より野尻湖に於て採取せる水の清澄化を示す。此の日此の湖は午前 7 時頃より約 2 時間稍南風吹き湖面處々に白浪の立つを見た。其の後全く風ぎ次で採水中弱い北風に變つた。第 12 圖は此の湖に於ける採水點の位置を示す。

第 9 圖 青 木 湖

以上述べたる観測に於て多少例外はあるけれども概して最初、より多く曇つてゐた處は然らざる處に比し何時比較しても、より多く曇つてゐるのを見る。即ち清澄度分布の線が大體平行に移動して居る。之は漏斗通過により曇らされた水の場合と同様である。

現象に対する論議

さて以上述べたる如き現象が何によつて起るか云ふに、先づ攪拌による吸光係數増大の事實より懸濁物質の箇數増加が考へられる。筆者の用ひたる如き攪拌方法では最初から存在してゐた懸濁物質中の或るものが破碎せられて箇數が増加する外に小さな氣泡の生ずる事も直接間接相當影響を及ぼしてゐるであらうと思はれる。次に静置による清澄化の事實より懸濁物質の箇數減少が考へられる。之には懸濁物質の或るものは集合してより大なる懸濁物質にならんとする傾向があると考へる事も只今の處無理の

第 10 圖 野 尻 湖

ない考へ方の様に思はれる。無論此の考へが妥當であるか否かを吟味するためには更に爲すべき幾つかの測定があるけれども次に述ぶる現象は懸濁物質が或る場合には比較的破碎せられ易しとする考への妥當性を證する一例と思はれる。

第 11 圖 青 木 湖

昭和 18 年 7 月中旬菅原健, 小穴進也, 小山忠四郎其他の諸氏と共に筆者も木崎湖の観測を行った。其の際 17 日採取せる表面水及深度 5 米の水を普通濾紙及硝子濾過器に壓力をかけて濾過し各の吸光係数を測つた。其の時濾紙により濾過した水は, 表面の水は $\alpha = 0.0016 \text{ cm}^{-1}$, 深度 5 米の水 $\alpha = 0.0015 \text{ cm}^{-1}$ であり, 硝子濾

第 12 圖

過器により濾過した水は表面水 No.1 $\alpha = 0.0018 \text{ cm}^{-1}$, No.2 $\alpha = 0.0020 \text{ cm}^{-1}$, 深度 5 米の水 No.1 $\alpha = 0.0029 \text{ cm}^{-1}$, No.2 $\alpha = 0.0025 \text{ cm}^{-1}$ にして濾紙により濾過した水の方が却つて清澄であつた。此の事實は當時已に想像せられた如く懸濁物質が比較的ちぎれ易しとすれば説明し得られ, 従つて上述の假定を支持する事實のやうに思はれる。

擾動少き湖水の清澄化

湖水(天然のまゝ)の各層は屢々短時日の間に可成り著しく清澄化する。其の例として木崎湖に於ける昭和 14 年 9 月 27 日より同年 10 月 11 日に至る清澄化, 青木湖に於ける昭和 15 年 6 月 16 日より同年同月 23 日に至る清澄

第 13 圖

化等がある。第 13 圖は木崎湖に於ける上記兩日の $\alpha - \alpha_0$ の鉛直分布を圖示したものである。季節も此度の筆者の測定に比較的近い。圖により各層とも水は大體平行して可成り清澄化してゐるのがわかる。事實此の當時平穩なる天候続き, 殊に上記二つの観測日 9 月 27 日と 10 月

11 日の間は實に穩かな天候であつた。即ち擾動のないため水はフラスコ内に静置せられたやうな結果となりて清澄化したのではないかと思はれる。尤も此の季節には湖水循環が始まつて居る。然し之は 10 米以深の處には及んで居らない。湖水が清澄化するには清澄なる水の流入, 懸濁物質の沈降作用がある。然し木崎湖に流入する河水は比較的曇つて居る事から考へ, 昭和 14 年秋の事ははつきりしないけれど流入河の水のため清澄化したとは推測し難い。又懸濁物質の沈降作用は事實存在して居ると考へられるけれど, 懸濁物質の大きさより考へて此の湖では可成り緩慢であると思はれる。此の緩慢である事を證すべき例として昭和 18 年 9 月 19 日と 5 日後の 24 日の測定がある。數日前の豪雨のため濁水流入して 9 月 19 日には湖全體可成り濁り C 點に於て測つた透明度は 1.8 米であつた。第 14 圖は此の C 點に於ける此の日の曇りの鉛直分布並に其の前 9 月 12 日未だ湖水は濁らず平常状態であつた時の B 點の曇りの鉛直分布を示す。之によれば 19 日には深度 7.5 米迄は相當濁つて居るけれど深度 10 米に至れば 12 日と大差ない。次に 9 月 24 日の測定は精度稍劣るけれど C 點に於ける測定は深度 7.5 米迄は大體 $\alpha = 0.012 \text{ 厘}^{-1}$, 10 米深度は $\alpha = 0.0048 \text{ 厘}^{-1}$ にして之又 12 日, 19 日に於けると大差ない。此の 10 米深度は水温躍層中にあり従つて上層の濁りが下層に移るには懸濁物質の沈降作用によらなければならない。然るに事實濁りが 10 米深度に下つて居らない事は沈降作用が非常に緩慢である事と證する一例と見てよいと思はれる。此の場合懸濁物質は平常の場合に比べて成分比重大きい等を幾分異にするであらうと思はれるけれど, 此の湖に於ては一般に沈降作用が餘り著しいものでないとすれば第 13 圖内の二つの分布圖が大體平行で

第 14 圖

ある事は各層の水、少くとも深層の水に於ては大體靜置せられたやうな状態で清澄化が行はれたと考へてよいと思はれる。青木湖に於ける例も同様である。

要するに擾動少くなれば湖水は沈降作用なくとも清澄化せんとする傾向あるものと見てよく、之は深層水が擾動少き湖水停滯期に於て常に清澄であるのと同じ現象であると思はれる。

さて沈降作用緩慢なるも清澄化著しとすれば懸濁物質不安定にして集合し易く従つて箇數減少が起るとする考へは一應妥當であると思はれる。

尙さきに述べた、木崎湖に於ける 9 月 19 日の濁りが 9 月 24 日には $\alpha=0.012$ 程度に

10 月 4 日には表面水に於て $\alpha=0.0069$ 程度になり短時日の間に清澄化したる事實に對しては矢張り懸濁物質が集合して箇數減少が起つたと考へる事が説明し易いやうに思はれる。

終りに本研究は文部省科學研究費により行つたものなる事を述べ茲に厚く謝意を表す。又築地宜雄、菅原健、小穴進也の諸氏は種々便宜を與へられ、松崎一氏をはじめ一部松本高等學校職員生徒は直接觀測を手傳はれたり。併せ記して厚く謝意を表す

(1), (2), (3) 向井正幸：木崎湖に於ける湖水清澄度の鉛直分布並に其の變化に就いて（氣象集誌，第 19 卷，第 4 號）。