

福島縣秋元湖中の諸湖盆に於ける水溫及

溶解性酸素含量豫報

吉村信吉

この文は本年夏盤梯山四近の諸湖研究中秋元湖で得た重要な事實の速報であつて、未だ充分の研究をしてゐないが、なるべく迅速に發表する必要があると思ひ本誌の餘白を借りる次第である。尙多くの他の化學成分其他は目下分析、檢鏡中でこれらは來春『地理學評論』に發表する積りである。本湖研究に當つては田中子爵は深度圖を貸與されたことに對し厚く感謝の意を表する。

一湖沼が複雑な形態を有しその中に數多の副湖盆を有する時相互の湖沼學的諸性質を比較することは興味あると共に重要な研究であることは詳説するまでもない。即ち同じ氣候狀態に於ける各湖盆の比較により理化學及生物學的諸性質と湖盆形態との關係を窺め、多くの未知の常數等を決定することが出来る。

この方面の研究は複雑な形態を有する北ドイツの氷堆石湖で古くから行はれ、特に水溫については Ule (1893), Halbfass (1901) の研究があつた。しかも特にその重要性を認められたのは理化學的及生物學的方面が開拓されるやうになつてからで、就中 Thienemann (1918, 1925, 1928 a, b) は北ドイツ平原の湖沼特に Feldberg 湖群 (Breiter Lucin 其他) Schnalsee, Dratzigsee に於て溶解性酸素湖底

生物従つて湖沼標式が各湖盆により異り特に入江では富營養化の程度が進んでゐることを指摘してゐる。この外 Werestschagin (1924) はロシアの湖び、 Welch (1927) はミネソタ州の Douglas 湖で同様の觀察をしてゐる。

我國には氷堆石湖が殆んどなく、氷河で被はれてゐた地方の如く複雑した湖盆を有しないが、火山地方には噴火による堰止湖に多少これに近いものがある。田中子爵 (1915) は古く日光菅沼に於て各湖盆の水色が異なることを指摘されたのがこの方面での第一聲であらう。其後半田技師 (1922) は渡島大沼小沼で各小湖盆の測定を行つた。就中最近の研究によると一層興味ある事實が発見されるやうになつた。著者 (吉村1929) は鳥取縣多鯨ヶ池に於て主及副湖盆に於て水溫 O_2 の状態が異なることを發見し、宮地理學士 (1930) は日光の菅沼、大尻沼に於て O_2 は勿論湖底生物特に搖蚊の種類が本及副湖盆で異なることを記載された。これによつて Thienemann の主張も日本に於て裏書された譯である。

私は其後我國の今まで錘測された湖沼の形態を通覽するのにかんがりの深さを有する副湖盆を有するものとしては残る所盤梯山北麓の檜原湖及秋元湖のみであることを知り、これらの湖沼を巡檢した次第である。

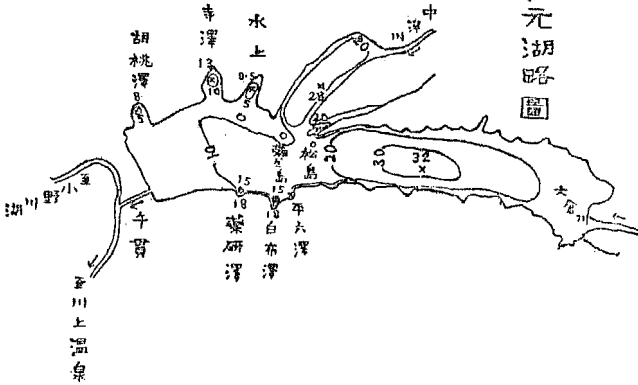
檜原湖、小野川湖、秋元湖(香妻池)は周知の如く明治二一年盤梯山爆發の際奔下する泥流により堰塞されて堪水したものである。その湖沼學的研究は田中子爵 (1908, 1913) によつてなされた。次に秋元湖の湖盆形態を掲げる。

面積 2.92 km².
測深點數 43.

海拔高度 725m.
平均深度 13.4m.

最大深度 33.5m.

秋元湖略圖



深度は著者の錘測したるものを一部田中子爵の深度圖により補つたもので極めて大體を示す

しかし現在では大正六年—八年の東京電燈會社による堰堤の建造により水位が六米近く上昇したので面積が増大すると共に且これまで獨立してゐた二、三の小池を併合した。一方この地方は西風強く湖岸は著しく波浪により侵蝕され湖岸の形や深度はその爲に變じてゐると思はれるが、詳細は不明である。次にその圖を掲げる(第一圖)但しこれには堰堤建設後の状態を考慮してある。

湖盆形態について略述すると泥流は大倉川及中津川の合流點の下流で堰止めたのでその上流部の壯年的に開析された谷は浸水して所謂溺れ谷の景觀を生じ、特に堤防建設後には山脚水中に没し小出入極りなく、入江の主なもの西北岸にあり、中津川、伊出、水上、寺澤、胡桃澤等で、就中始のものが最大である。寺澤胡桃澤は以前は獨立した小池であつたのが、堤防建造

後湖と合したものである。尙湖中には數個の島がありあるものは沈水し、あるものは波浪により破壊されたが今尙松島、彌生島等が残つてゐる。岸は山脚がせまつてゐて、西岸は波蝕によつて數米の崖となり白く露出し風致を害してゐる。尙各入江の奥には何れも四周の山からの澤が瀉下してゐる。

深度は主湖盆は中津川以西は一〇米内外であるが、以東は深く白布山—葛峰の間に三二米を測つた。入江の中津川以東のものは普通の溺れ谷であるが、以西のものは多くはその奥は泥流により埋め残されて反つて入口よりも深い。正確な深度は不明であるが。次にその大體を掲げる。

湖盆名	最深	入口	湖嶺以下の副湖盆の深度
大倉川(主湖盆)	三二米		
中津川	二八	一五米	一三米
伊出	二一	一五	六
白布澤	一八	一三、五	五、五
藥研澤	一八	一一、八	六、二
寺澤	一二、五	三	九、五
水上	一〇	五	五
胡桃澤	八	〇、五	七、五

次に各湖盆で昭和五年八月一〇日

觀測した結果を掲げる。測温には

Negretti & Zambra 社製の顛倒寒暖

計を用ひた。補助寒暖計による補正

値は次の材料にはほどこしてないが

最大の場合と雖も 一〇°Cである。

本湖盆の状態を見るとその深層水

温は著しく温く(著者の日本湖沼夏季水温

表(註頁198参照)三〇米層に於ては檜

原湖と共に實に我國温帶湖中第一位

深度と同温の筈であるのにこゝでは白布澤の外は全く異つてゐる。即ち

本入江の本湖盆との湖嶺以下の水層に於ては丁度ここから水温傾度増加し、従つて深層に於ては同深度の本湖盆よりは勿論遙かに深い本湖盆の深底よりも低温のものがある。最も低温は中津川二七米下の六・六五度で本湖盆より實に二・五度冷い。

本湖盆と寺澤とを比較すると、

	深層水温	躍層位置	主躍層の 最大飛躍率	湖嶺の深度
本湖盆	9.15	3-5m, 14-20m	1.45/m	
寺澤	8.5	3-9m	2.55/m	3m

一二・五米では寺澤の方が冷いこと實に七・九度で、寺澤では主躍層と二次躍層は融着し、且その飛躍率は大きい。(しかし一米に三、六度の飛躍と雖も普通の小形湖沼では餘り大きい値ではない)

この原因については曾て Uie (1898) はブレン湖の研究で湧水であると云つたこともあるが、その眞因は擾動の大きさの差に基く爲であることは疑ひない。元來湖水深層の受熱は主として擾動の結果であるが、擾動はよつて熱を傳へる速度。即ち渦動傳導率 μ は θ を水温。 z を深度。 t を時間とすれば、

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)$$

で與へられ、それは湖により又その時々の状態により一定してゐない。しかし秋元湖の如く強い西風の吹く湖ではかなり大きい値を有するらしい。これに反し入江は南北に走り西風の影響は少く、又湖盆が小さいので著るしい渦動を生ぜず受熱は少い筈である。しかし湖嶺より上部は主湖盆の水と容易に混合するからこれと同じで、それ以深だけが異つてゐる。

各入江で透明度を測つたが、洪水後であつたので各所共同様であつた。

水素イオン濃度及溶解性酸素 pHは B. T. D. を指示薬として比色法で觀測し溶解性酸素は Winkler 法によつて測定した。次にその結果を掲げる。

pH.

湖盆名	0"	5	10	15	17	20	25	30	31.5
大倉川	6.6	6.4	6.4	6.4		6.1	6.1	6.1	6.1
中津川	6.5	6.5	6.2	6.2		6.1	6.1	6.1	(27.5m)
伊出	6.5	6.4	6.3	6.3		6.1	(19.5m)		
白布澤	6.6	6.4	6.4	6.2		6.0	(17.5m)		
藥研澤	6.6	6.5	6.1	6.1		6.1			
寺澤	6.5	6.2	6.2	6.25	(12.5m)				
水上	6.5	6.3	6.1	(9m)					
胡桃澤	6.5	6.1	6.5	(7.5m)					
寺澤	7m : 6.0		8m : 6.1		11m : 6.2		胡桃澤		3m : 6.2

溶解性酸素 c. c. / l.

湖盆名	0 ^m	5	10	15	17	20	25	30	31.5
大倉川	5.45	5.39	5.39	5.07	5.11	4.98	5.34	4.94	4.53
中津川	5.28		5.23	5.18		4.73	4.68	3.48	(27.5 ^m)
伊出	5.40		5.28	5.02		4.00			(19.5 ^m)
白布澤	5.37		5.18	4.19		3.64			(17.5 ^m)
薬研澤	5.18		4.98	0.00		0.00			
寺澤	5.06		4.85	0.29		0.00			(12.5 ^m)
水上			5.13	3.47					(9 ^m)
胡桃澤	4.04		0.54	0.00					(7.5 ^m) (3 ^m)
寺澤	7 ^m : 2.02 c.c.		8 ^m : 0.96		11 ^m : 0.18				

同飽和度 % Birge-Juday (1911) の掲げた表により氣壓の海面校正をほどこしたもの。

湖盆名	0 ^m	5	10	15	17	20	25	30	31.5
大倉川	102	90	88	79	77	71	74	68	62
中津川	100		86	81		64	61	45	(27.5 ^m)
伊出	101		86	77		55			(19.5 ^m)
白布澤	100		84	65	55				(17.5 ^m)
薬研澤	96		81	0	0				
寺澤	93	81	4	0					(12.5 ^m)
水上		85	54						(9 ^m)
胡桃澤	67	(3 ^m) 8	0						(7.5 ^m)
寺澤	7 ^m : 32%		8 ^m : 14%		11 ^m : 2%				

本湖域に於ては上下共に弱酸性で就中深層では我國の湖としては割合酸性が強い酸素は上層では飽和してゐるが中層から次第に減じ底層では六二%である。中にO₂の最大がないこと。底成層

を缺くことはバルチック沿岸の湖に似て風弱い山中にある我國の他の湖とは多少異つてゐる。

各副湖盆を比較すると何れも大體弱酸性で殊に上層は本湖盆と變りがない。深底に於ては本湖盆より多少酸性が強い。特記すべきは O_2 を缺く寺澤、胡桃澤では宮地理學士 (1929) の注意されたやうに O_2 のなくなる層の直上にHの最小が見られる。藥研澤でも觀測を密にしたら發見し得たであらう。 O_2 には特に著るしい差異が認められる。即ち

各入江の湖嶺以下の層では著るしく本湖盆より O_2 少く底成層はよく發達し、稍々深く窪んだ小湖盆では O_2 は全く0である。

これは Thienemann 教授 (1925, 1928) の發見した所であつて教授は入江は本湖盆より進んだ富營養化の階級にあると述べてゐる。しかし私の考へる所では O_2 の深底 (深水層に非ず) での含量 (湖底動物はこれによつて支配される) は嚴密に湖の營養量と比例するものでなく、只普通平行關係が見られるだけである。即ち富營養化の程度が進むことによつて湖底の泥土や深水層中を浮漂する腐敗物質が増加して深水層の O_2 を消耗することは確かであるが、深底部の O_2 がどの位に減少するかは深水層の擾動の程度と深水層の容量とによつて定まる。今Cを始めの深水層の平均の O_2 含量、Cをt時後の平均含量とすれば、

$$C = C_0 - kt.$$

こゝにkは湖の營養度E及深水層下底の湖底面積Aに比例し、深水層容積に反比例する量である

$$a \propto \frac{EA}{V} \quad \text{又は} \quad a = \frac{kEA}{V}$$

なんとすれば湖の營養度が増すと腐敗質量が増してO₂を消費する。又O₂の消費は Alsterberg(1922, 1927)の云ふやうにO₂の消耗は主として湖底の泥土によるから、湖底面積が廣い程O₂の消耗が早し。容積が大きいとO₂を減少することは少いからこれとは反比例する。故に

$$C = C_0 - \frac{kEA}{V} t$$

秋元湖につき見ると本湖盆及副湖盆に對する夫々をC, C'; E, E'; A, A'; V, V' とすれば同じt時の間には

$$\frac{C_0 - C}{C_0 - C'} = \frac{E}{E'} \times \frac{A}{V} \times \frac{V'}{A'}$$

O₂含量の減少は $\frac{E}{E'}$ にも比例するが同時に $\frac{A}{V}$, $\frac{V'}{A'}$ にも比例するのであつて事實

$$\frac{A}{V} < \frac{A'}{V'} \quad \therefore \frac{A}{V} \times \frac{V'}{A'} < 1$$

假し E = E' とならば

$$C_0 - C < C_0 - C' \quad \text{或は} \quad C > C'$$

福島縣秋元湖中の諸湖盆に於ける水温及溶解性酸素含量豫報

として O_2 の差を説明することも出来る。

又深底の含量 C_B は擾動によつて支配される。渦動傳導率を μ とすれば、

$$C_B = C_0 - \frac{a}{\mu} t.$$

もしも極端な場合を考へると、

$$\mu = 0, C_B = 0, \mu = 1, C_B = C_0 - at = C, C_B = C_0 - \frac{KEA}{\mu V} t$$

従つて一層複雑な關係となつてゐる。

入江や小湖盆の如く水溫躍層と深底とが偶然一致し垂直安定度が大きい時には μ は小であるから $C_B \approx C_0$ となり、秋元湖本湖域の如く μ が大きければ $C_B \ll C_0$ となる。

即ち何れにしても O_2 の差は富營養化の程度に差がなくても湖盆形態(これはThienemannが主張してゐる)及擾動率によつても説明されるのでこの點でも數量的研究は重要である。秋元湖では入江の詳細な湖盆形態と渦動傳導率とが不明であるから詳細な計算は他の湖に譲りこゝに一見誤解され易いと思はれる事項について議論した次第である。

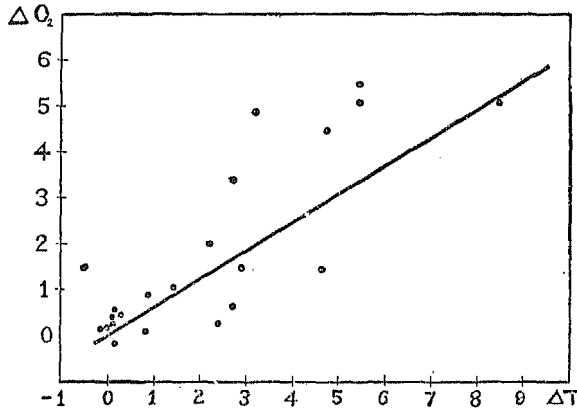
尙湖底動物は O_2 に支配されるから、それによつて湖の營養度を吟味する時には注意を要する。例へば *Cottina* (房蚊。透明なボウフラで晝は泥中に潜み夜にプランクトンとなつて上層に昇る。) 幼虫の如く O_2 のない所に棲息するものが集つてゐても必ずしも湖が富營養湖であるとは限らな $い$ 。 *Chironomus plumosus* の如く眞の營養度を表はすと思はれるものの生態で分類しなければなら $な$ い。この點で私は別の見

地から到達した Lundbeck (1926) の意見と大體結果は合致するに至つた。
 擾動の結果は深層水溫を増加させ同時に O_2 増加をさせる。今各湖盆の湖底の水溫と O_2 とを本湖盆
 の同深度と比較すると、次表の如くであつて多少の例外はあるが、
 水溫が本湖盆より低い副湖盆程 O_2 含量が少く、同溫に近いものは O_2 も大體等しい。

	ΔT	ΔO_2		ΔT	ΔO_2
中 津 川	0 ^m	-0.4	0.17		
	10	-0.1	0.16		
	15	0.15	-0.11		
	20	2.35	0.25		
	25	2.7	0.66		
	27.5	2.75	1.46		
伊 出	0 ^m	0.1	0.05		
	10	0.0	0.11		
	15	0.8	0.05		
	19.5	1.4	1.00		
白 布 澤	0 ^m	0.7	0.08		
	10	0.1	0.21		
	15	0.5	0.88		
	17.5	-0.6	1.47		
藥 研 澤	0 ^m	0.8	0.27		
	10	0.2	0.41		
	15	5.4	5.07		
	17	4.55	5.11		
寺 澤	0 ^m	-1.7	0.39		
	5	0.15	0.54		
	7	2.7	3.37		
	8	4.7	4.43		
	10	8.4	5.10		
水 上	5 ^m	8.0	5.12		
	9	0.1	0.26		
	9	2.2	1.92		
胡 桃 澤	3 ^m	4.6	1.40		
	5	3.2	4.85		
	7.5	5.4	5.39		

ΔT
 ΔO_2
 は本湖盆と各副湖盆との水溫及 O_2 の差

第二圖



この關係は一次曲線か僅かに彎曲した二次曲線で表はれる。(第二圖)

私は Thienemann (1928) の材料により北ドイツの Schaalsee, Dratzigsee で同様の計算を行つたが、その結果はこゝでは省略するがやはり類似の結果が得られる。

即ちこの結論は、水溫が低い程擾動が著るしくなく、従つて同じ營養度の湖に於てもかゝるものは深水層の腐敗水が表水層の O_2 の多い水と混合せず、従つて深水層の O_2 含量は擾動の甚しい湖に比し少い筈だと云ふ豫想と合致してゐる。以て擾動の重要さを認め得ることと思ふ。

湖底生物については今夏は何等調査しなかつたが、その分布は興味あるものあるらしい。只寺澤では浮游生物中に Corethra がゐたから、その部の湖底には Corethra が多かの棲息する所と著るしい對照をなすものと思はれる。

(昭和五、九、一二 東大地理學教室にて)

参 考 文 献

本報であるから主なものを掲げ本文中に引用したものであるが大部分は省略する。それは本報告の時に全部載

せることとする。荷秋元湖のみに關する田中子爵の文獻もこゝでは割愛する。

宮地傳三郎 1930. 日光火山麓諸湖に於ける湖底生物相の發達とその深層の湖底生物棲息地帯

水産研究誌25卷148-168.

吉村信吉 1919. 鳥取縣多岐ヶ池の湖沼學的豫察研究

—— 地理學評論 5卷 951-984.

—— 1930. 歐文の部參照。

Thienemann, A. 1925. Mysis relicta. Zeitschr. f. Morph. u. Ökol. d. Tiere. Bd. 3. 389-440.

—— 1926. Die Binnengewässer Mitteleuropas. Die Binnengewässerr. Bd. 1. Stuttgart.

—— 1928. a. Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen Seen. *ibid.* Bd. 4.

—— 1928. b. Die Reihkrebse. Mysis relicta, Pontoporeia affinis, Pallasia quadrospinosa und die von ihnen bewohnten norddeutschen Seen. Arch. f. Hydrob. Bd. 16. 521-582.

Welch, P. S. 1927. Limnological investigations on Northern Michigan lakes. Michigan Acad. Sci.

Vol. 8. 421-451

Yoshimura, S. 1930. Horizontal distribution of dissolved oxygen and hydrogen ion concentration in several Japanese lakes. Geophys. Mag. Vol. 3. 27-35.