



Title	深い湖の透明度の季節変動 : 摩周湖と支笏湖
Author(s)	飯作, 梵; IISAKU, Kiyoi
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 49, 281-289
Issue Date	1987-03-30
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.49.281">https://doi.org/10.14943/gbhu.49.281</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/14175">https://hdl.handle.net/2115/14175</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	49_p281-289.pdf



## 深い湖の透明度の季節変動 — 摩周湖と支笏湖 —

飯 作 梵\*

札幌市立星園高校

(昭和61年9月1日受理)

## Seasonal Variations in Transparency of Deep Lakes — Lake Mashu and Lake Shikotsu —

By Kiyoi IISAKU

Seien Municipal High School of Sapporo, Hokkaido

(Received September 1, 1986)

Observations have been made of monthly transparency and vertical profiles of water temperature of two deep caldera lakes in Hokkaido, Lake Mashu which is known to have recorded a transparency of 41.6 m in August, 1931, then the highest value among lakes in the world, though the transparency has followed a decreasing trend in the recent years, and Lake Shikotsu whose fairly high transparency has been maintained. The results of the observations are summarized as follows:

(1) The transparency attains the maximum in winter (January) and the minimum in rainy autumn (September or October), with its seasonal variations ranging 15 m.

(2) Such a tendency has been confirmed that a negative correlation exists between transparency and density of suspended matter due to precipitation, or snowmelt, or both. Meantime, coefficients of correlation between transparency and forerunning precipitation have a remarkable tendency when its interval is seven and ten days respectively in Lake Mashu and Lake Shikotsu.

(3) Another factor contributing to a decrease in transparency is an increase in the density of plankton resulting from an increase in supply of nutritive salinity. One of the secondary factors, in this connection, is an increase in thermal diffusivity that makes the density of suspended matter small in the epilimnion.

(4) It is probable that topographical and hydrological characteristics constitute part of factors bringing about seasonal variations in transparency.

### I. は じ め に

深いカルデラ湖は大きな透明度をもつものが多い。摩周湖において、1931年8月31日に北海道水産試験場が41.6mの世界最大の透明度を測定した。しかし、近年、摩周湖の透明度は低下の傾向にある。一方、支笏湖について徳井(1965)は、1926年から1962年までの36年間、透明度の変化が認められないと報告している。いずれも、貧栄養の深いカルデラ湖である両湖において、透明度の経年変化を比較することは、

\* 飯作梵氏は昭和49年より昭和56年2月21日、くも膜下出血で急逝される迄、札幌星園高校に勤務するかたわら、北海道大学科学教育研究室研究生として、当地球物理学教室陸水学研究室で、湖沼の透明度の研究(指導教官中尾欣四郎)に従事した。本論文は日本陸水学会の陸水学雑誌に投稿中の原稿で、御遺族より公刊を依頼されたものである。(中尾欣四郎記)

経年変化の要因を明らかにする上で重要であろう。

Thienemann (1924) は、透明度の年変化の型を、1) 冬に極大で夏に極小なもの、2) 夏に極大で冬に極小なもの、の二つに分け、透明度の極小はプランクトンの繁殖や降水量の増加に基づくことを述べている。勿論、透明度の年変化はこの二つに限られるものではないが、透明度の変化を引き起す重要な要因としてプランクトン量、降水量を指摘している。プランクトン等の生物生産や陸成起源の物質流入は、湖水面積や水深、湖盆形態等の地形的条件に影響を受けるほか、気温、日射、風、降水量等の気候的条件の影響を強く受ける。両湖における透明度の季節変動を調べ、変動形態と気候条件、地形的条件との関連を明らかにすることによって、透明度の経年的な変動要因を解明しようとするものである。

## II. 摩周湖・支笏湖の湖盆形態と調査の概要

### 1. 湖盆形態の概要

摩周湖は、急勾配の環壁で囲まれた火口型カルデラで、流出河川をもたない閉塞湖である。湖流域には流入河川はなく、涸沢で降雨時と融雪時に流入をみるにすぎない。又、支笏湖は、流入・流出河川をもつ鍋型カルデラの開放湖である。また、両湖ともに年2回の循環期をもつ温帯湖である。Fig. 1に両湖の概略と測定点を示し、Table 1に湖盆形態の概要を示した。

### 2. 調査方法

摩周湖については、1974年8月から1976年8月までの25ヶ月間、支笏湖については、1975年8月から1977年1月までの19ヶ月間を通じて月毎に透明度を測定した。透明度の測定で、風波が生じている時には、太陽光線の表面乱反射により誤差が生じるのを防ぐため、のぞき箱(21 cm×21 cm×41 cm)を使用した。透明度は直径30 cmのセッキー円板を下降させ、識別できなくなった水深と、上昇させていき識別できるようになった水深との平均値を採用した。また、太陽高度による影響を少なくするため、測定は南中時に近い一定時刻内に行うことにした。すなわち、摩周湖では10時00分～12時00分、支笏湖は9時30分～11時30分の時間内に測定した。なお太陽高度、晴天、曇天による測定値の差異はあまり大きくないようである。

水温測定には、摩周湖では転倒温度計(最小目盛1/5°C)、支笏湖ではバシサーモグラフ(B. T.)を使用した。懸濁物の重量は、グラスフィルター(φ=1.5 μ)で濾過し、

Table 1 Morphometric data for Lake Mashu and Lake Shikotsu.

	Mashu	Shikotsu
Latitude(N)	43°31'	42°46'
Longitude(E)	144°33'	144°21'
Altitude(m)	351	250
Surface area(km <sup>2</sup> )	20.6	76.2
Maximum depth(m)	212	363
Mean depth(m)	132.5	265
Volume(km <sup>3</sup> )	2.73	19.7
Length(km)	6.7	13.0

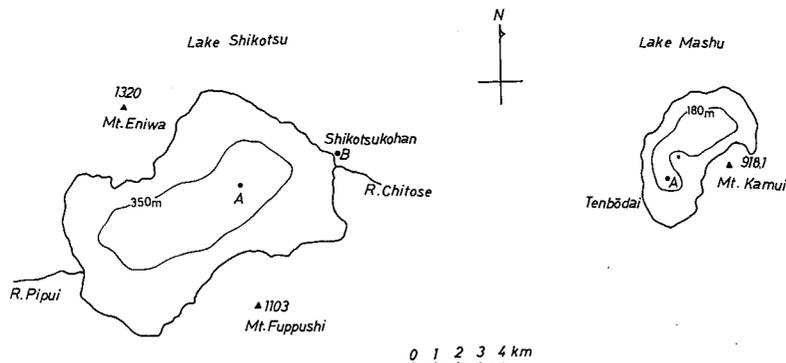


Fig. 1. Location of observation points (A) and the meteorological stations (B).

これを秤量ビンに入れ乾燥器(105°C)で蒸発乾固して秤量した。試水は両湖とも北原B式採水器を用いて、水深0, 1, 5, 10, 20 mの5点から、摩周湖では500 c.c., 支笏湖では800 c.c.を採取した。なお、各深さの試水を混合し、20 m水深までの平均試水として、摩周湖は2.5 l, 支笏湖は4 lを濾過した。

プランクトン数は0~30 cmの表層水をバケツで50 l汲み上げ、XX 13のナイロンネット( $\phi=94 \mu$ )で濾過した後、顕微鏡下で数えた。

なお、降水量は、摩周湖の南西約12 kmの弟子屈町および支笏湖東湖畔測候所の日雨量を用いた。

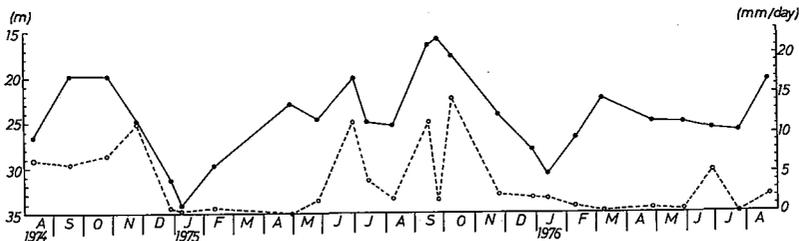
### III. 透明度の季節変動——摩周湖——

#### 1. 懸濁物との関係

Table 2に、摩周湖における透明度と降水量(6~10月)との相関係数を示した。降水量については、

**Table 2** Coefficients of correlation between fore-running precipitation and transparency. -Lake Mashu-

Intervals of fore-running precipitation (day)	Coefficients of correlation
5	-0.11
7	-0.50
10	-0.42
12	-0.39
15	-0.38
20	-0.33

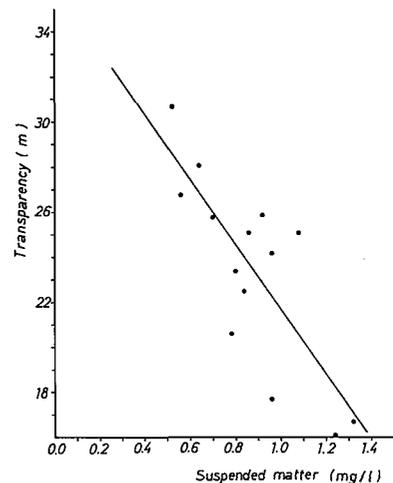


**Fig. 2.** Seasonal changes of transparency (—●—) and precipitation (---○---) in Lake Mashu.

測定日前5~20日間の前駆雨量の日平均を用いた。その結果、7日間の前駆雨量をとったときが最も良い相関を示した。これは、降水によって湖岸より搬入された懸濁物が湖心部まで到達するのに時間を要するためと考えられる。Fig. 2に摩周湖における透明度と降水量の比較を示した。降水量は7日間の前駆雨量の日平均を示した。透明度の季節変動は、積雪期を除けば大局的に降水量の変動に支配されており、両者の間には負の相関が認められる。

従って、摩周湖の透明度は陸成起源の懸濁物に強く影響されていると云える。

1975年8月23日の台風6号と同年9月7・8日の集中豪雨の影響は顕著であった。9月7・8日、弟子屈町で79 mmの雨量を記録した。この豪雨により多量の陸成懸濁物が湖水に流入したと想像できるが、降雨前後の8月6日と9月14日を比較すると懸濁物は0.80 mg/lから1.32 mg/lに増加し、透明度も



**Fig. 3.** Seasonal changes of transparency (—●—) and suspended matter (---○---) in Lake Mashu.

25.4 m から 16.7 m に著しく低下した。

吉村 (1936) は、ウィスコンシン州の湖の資料から透明度と水中懸濁物量 (セストン量) との関係を示した。透明度が大きく懸濁物が 1 mg/l 以下の場合、この関係はほぼ直線に近似できると考えられる。Fig. 3 に透明度と懸濁物量との相関を示した。透明度;  $y$  (m), 懸濁物量;  $x$  (mg/l) としたときの回帰直線,  $y = 36.2 - 14.4x$  を得た。また相関係数は,  $r = -0.78$  であった。Fig. 4 に透明度と懸濁物量との季節変化を示したが、両者の間には、ほぼ一致した変動傾向が認められる。

## 2. 大型プランクトン

Fig. 5 に甲殻類の *Cyclops* sp., *Daphnia pulex*, 渦鞭毛虫類の *Ceratium hirundinella*, 輪虫類の *Asplanchna priodonta*, 珪藻類の *Asterionella formosa* の出現数と透明度の季節変化を示した。1975 年 9 月 24 日に *Ceratium* が 50 l 中 30 個体 (以下、個体数はすべて 50 l 中の数とする), 翌年 8 月 22 日に 72 個体出現し, 1975 年 11 月 24 日に, *Asplanchna* が 2,028 個体, 翌年 4 月 26 日に 2,474 個体の大量発生をみた。

透明度と表層における大型プランクトン数の季節変化の関係は総体的には顕著ではない。ただ、渦鞭毛虫類の *Ceratium*, 輪虫類の *Asplanchna* については相関が認められる。両種のプランクトンが透明度との相関をもつ理由としては、単に個体数だけでは比較できないが、このことは、緑色色素をもつ *Ceratium* や黄褐色色素をもつ *Asplanchna* が色素をほとんどもたない珪藻類の *Asterionella* 等と比較して、透明度に対する影響が大きいためと考えられる。

プランクトンの別種の働きとして、ある種のプランクトンには、逆に透明度の回復を促進させる傾向が認められる。例えば、集中豪雨や融雪期の後に *Asplanchna* が大量発生したが、これら輪虫類は植物プランクトンを捕食する過程で同時に懸濁物を体内に取り込む。粒径  $0.1\mu$  以下のコロイド粒子は、他の粒子との凝集が起らなければ沈澱しないが、プランクトンを通じて結果的にはコロイド粒子の凝集が促進される。顕微鏡観察から、透明度の低下している秋期には懸濁物を体内に含んだ大型の *Asplanchna* が多く、冬期には透明体の幼生の多い事が確かめられた。これは、*Asplanchna* の親が秋から冬に至る短期間に死滅し、懸濁物を伴って湖底に沈んだことを示している。この他、珪藻類の *Cymbella* が 1976 年 2 月から 7 月まで出現し、5 月 28 日 (10 個体), 7 月 25 日 (14 個体) が多かった。また、珪藻類の *Tabellaria* sp. が 1975 年 10 月から翌年 2 月までと 5 月に数個体, *Diatoma* sp. も 1975 年 9 月および 1976 年 1 月, 3 月, 4 月に数個体出現した。

## 3. 水温の鉛直分布

降水による湖岸からの物質流入は、湖面の結氷や湖岸の凍結により終り、春の解氷期、融雪期に再び始まる。また、湖の水温鉛直分布は水循環に伴う栄養塩の供給やセストンの分散に影響を与え、プランクトンの生息条件をも決定する。すなわち、透明度の季節変化には湖の熱的環境が影響していると考えられる。

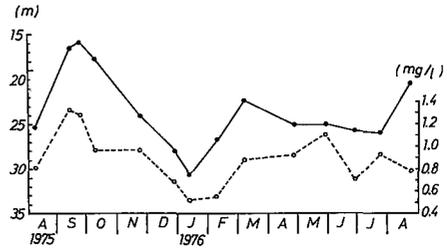


Fig. 4. Relation between transparency and suspended matter in Lake Mashu.

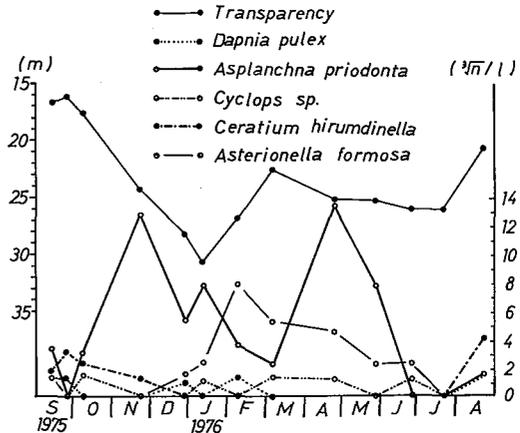


Fig. 5. Seasonal changes of transparency (—●) and planktons in Lake Mashu.

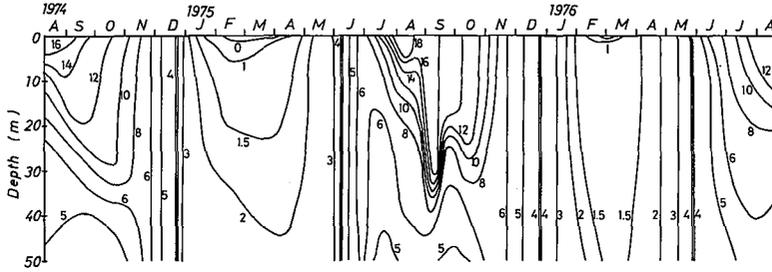


Fig. 6. The vertical distribution of water temperature in Lake Mashu.

Fig. 6に、摩周湖における水温年変化のイソプレットを示した。表層まではほぼ4℃になる全循環期は、秋期が12月下旬に、春期が5月下旬から6月上旬に出現した。春期の全循環期が年によって異なるのは、結氷の期間と氷厚が異なるためと考える。1975年9月14日の水温鉛直分布は集中豪雨による特異なもので、水温躍層は35mに出現した。1975年の結氷は、2月上旬から4月上旬まで、1976年の結氷は2月下旬から3月上旬まで全湖面を覆った。結氷期間が長かった1975年の氷下の水温は、逆列成層が明瞭であった。氷厚は調査地点で、1975年2月10日に透明な氷が3cm、3月28日に不透明な氷が45.3cm、4月29日には解氷した。

湖内に流入した多量の懸濁物は、風、湖流、静振や対流により移流、拡散する。停滞期には、水平方向の拡散が卓越し、鉛直方向の拡散は極めて弱い。安定度の小さい全循環期には鉛直方向の拡散も強い。透明度の大小は、表面から透明度深度までの水柱内の懸濁物濃度によるから、この層における拡散の強弱が透明度の季節変動に影響していると考えられる。拡散の程度を示す指標としての熱拡散係数は、約1ヶ月間隔で測定した水温鉛直分布から貯熱量変化に基づく方法で求めた。

熱拡散係数  $K$  は次式で定義される。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \rho c K \frac{\partial \theta}{\partial z} \tag{1}$$

$Q$ : 任意の深さ  $z$  における単位面積を通過する熱量,  $\rho$ : 水の密度,  $c$ : 水の比熱, である。なお,  $\rho c = 1$  として計算した。

貯熱量計算のための  $RT$  (換算水深) は、

$$RT = \int_0^z \frac{A_z}{A_0} dz \tag{2}$$

で表わされる。

ここで,  $A_0$ : 湖表面積  $A_z$ : 水深  $z$  における水面積である。(2)式により,  $RT$ を田中館(1925)の5万分の1深度図から求めた。深度間隔は5mとした。透明度の季節変動幅が10mから40mであることから、この2層間の熱拡散係数を求めた。

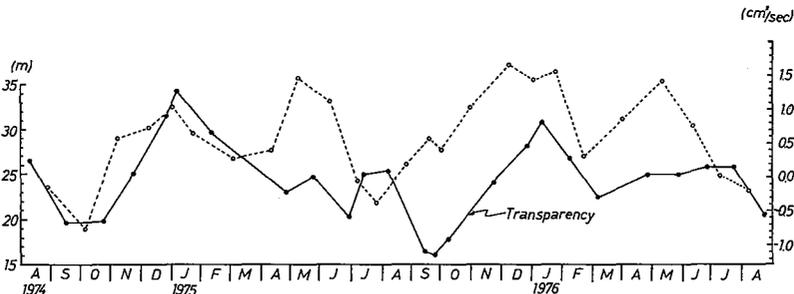


Fig. 7. Seasonal changes of transparency (—●—) and thermal diffusivity (---○---) in Lake Mashu.

透明度と熱拡散係数(対数値)との変動傾向は Fig. 7 に示したように、大局的には良い正の相関を示している。しかし、5月に拡散係数は極大となったが、透明度はそれ程大きな値を示さなかった。融雪水による懸濁物の大量増加時には、拡散係数の大小はさしたる影響を及ぼさないためと考える。

#### IV. 透明度の季節変動 — 支笏湖 —

##### 1. 懸濁物との関係

Table 3 に、支笏湖における透明度と降水量(6~10月)との相関係数を示した。10日間の前駆雨量との相関係数が最も大きい。Fig. 8の透明度と降水量の季節変化には10日間の前駆雨量の日平均を用いた。降水量と透明度の負の相関は、支笏湖の方が摩周湖より顕著であった。これは、支笏湖の流域面積が広く、降水による懸濁物流入量の増減が鋭敏に影響するためと考える。

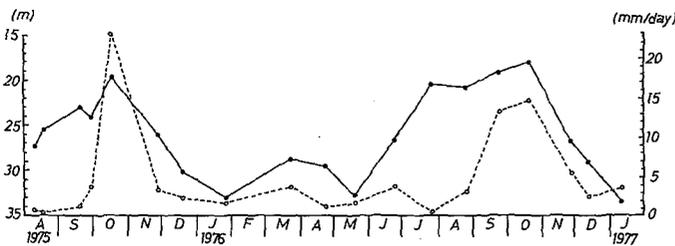
しかし、1975年8月22日・23日の台風6号で174mm、翌年7・8月の集中豪雨で94mmの降雨があったが、23m以上の透明度を維持し、この時の降雨による影響は顕著ではない。

Fig. 9 に透明度と懸濁物量との相関を示した。回帰直線は、 $y=40.7-18.1x$

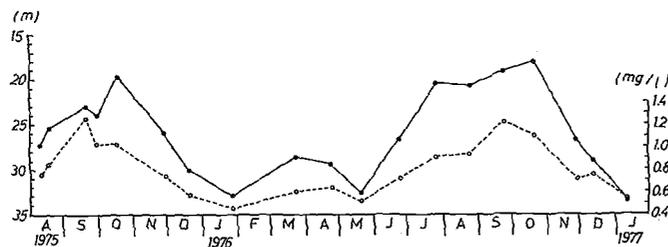
を得た。なお、相関係数は $r=-0.89$ であった。Fig. 10 に透明度と懸濁物量との季節変化を示した。両者の間に顕著な負の相関が認められる。

**Table 3** Coefficients of correlation between fore-running precipitation and transparency. -Lake Shikotsu-

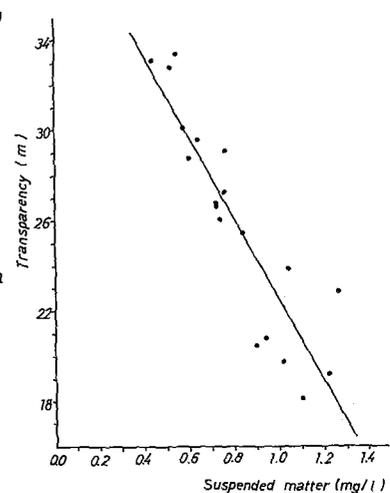
Intervals of fore-running precipitation (day)	Coefficients of correlations
5	-0.38
7	-0.53
10	-0.64
12	-0.63
15	-0.59
20	-0.44



**Fig. 8.** Seasonal changes of transparency (—●—) and precipitation (---○---) in Lake Shikotsu.



**Fig. 10.** Relation between transparency and suspended matter in Lake Shikotsu.



**Fig. 9.** Seasonal changes of transparency (—●—) and suspended matter (---○---) in Lake Shikotsu.

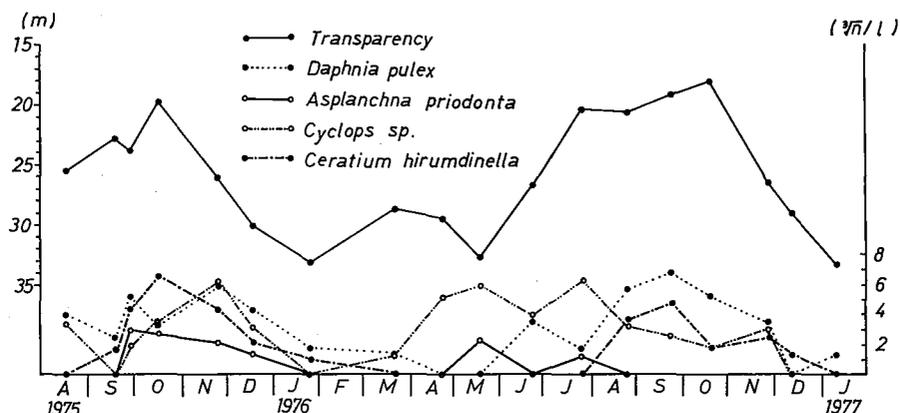


Fig. 11. Seasonal changes of transparency (—●—) and planktons in Lake Shikotsu.

2. 大型プランクトン

Fig. 11に *Daphnia pulex*, *Cyclops sp.*, *Asplanchna priodonta*, *Ceratium hirundinella* と透明度の季節変動を示した。1975年10月17日に *Ceratium* が271個体，翌年9月23日に106個体，*Asplanchna* は摩周湖に比較して少なく，1975年9月29日に27個体出現したのが最も多く，翌年秋には出現しなかった。*Daphnia* は1975年11月7日に204個体，翌年9月23日318個体，*Cyclops* は1975年11月7日223個体，翌年7月24日に248個体を数えたのが多く，両種ともほぼ通年出現した。*Asterionella* は1976年1月26日に3個体を数えたただけであった。摩周湖と同様に *Ceratium* と透明度の間には負の相関傾向が認められたが，*Asplanchna* については明瞭な相関が認められなかった。又，摩周湖と異り，*Daphnia* と透明度の間は相関傾向が認められた。

3. 水温の鉛直分布

Fig. 12に，支笏湖における水温年変化のイソプレットを示した。表層まで4℃になる全循環期は，秋期が12月末から1月上旬であり，摩周湖と比較して10日程度遅れる。これは貯熱量が大きいことに起因する。結氷しない支笏湖では，春期全循環期は摩周湖より2週間程度早く5月中旬であった。Fig. 13に，熱拡散係数と透明度の季節変動を示したが，摩周湖と同様，大局的には良い相関にある。しかし，拡散係数に比べ透明度の変化が約1月遅れる傾向を示した。

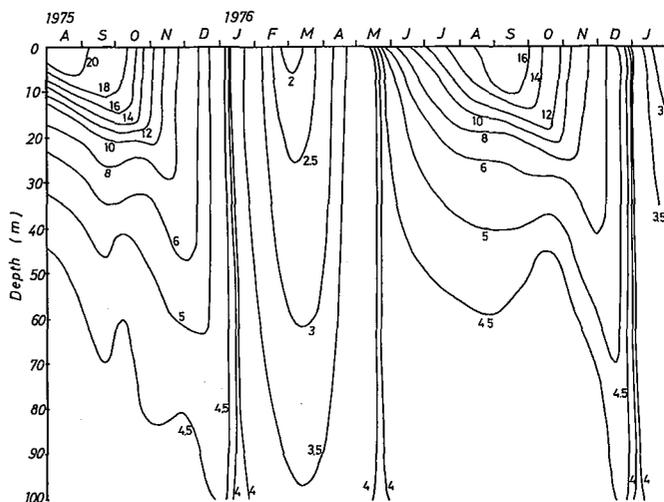


Fig. 12. The vertical distribution of water temperature in Lake Shikotsu.

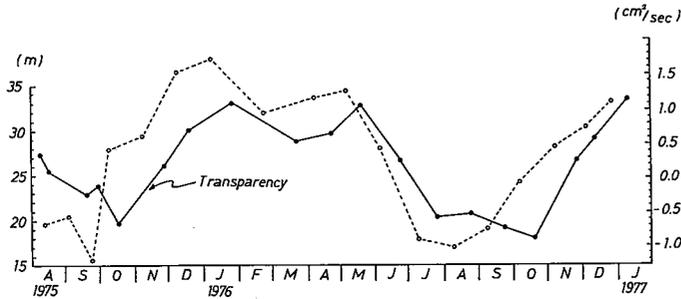


Fig. 13. Seasonal changes of transparency (—●—) and thermal diffusivity (---○---) in Lake Shikotsu.

## V. 両湖の季節変動傾向の相異点

両湖とも、季節的な変動幅は約15 mあり、8月と11月に透明度のほぼ平均的な値を測定した。透明度の極大は、支笏湖では1月と5月に出現するのに較べ、摩周湖は5月の極大が明瞭でなかった。1976年5月の測定日前10日間の平均気温、積算雨量は、弟子屈町

で12.2°C、3 mm、支笏湖東岸で11.5°C、16 mmであった。湖岸流域の融雪期において、両湖の気温、雨量に大差がない。両湖の湖周の流域面積と湖水面積の比は支笏湖が1.87、摩周湖が0.70となる。したがって、一般的には摩周湖の方が支笏湖に較べ懸濁物流入に対する受容能力が大きいと考えられる。しかし、この時期に、摩周湖が透明度の極大を示さないのは、急勾配の環壁から流出した融雪水により、多量の陸成懸濁物が流入したためと考えられる。

透明度の長期的な経年変化は、年毎の季節の変動を繰り返しつつ低下していくから、透明度の大小の比較は同一時期の測定値を用いなければならない。摩周湖の1931年8月31日の透明度41.6 mと1975年8月6日の透明度25.4 mを比較すると、44年間に約16 m低下したことになる。一方、支笏湖は夏期停滞期の透明度で比較すると50年間不変であることが確められた。

## VI. 摘 要

摩周湖、支笏湖両湖についての透明度変動の特徴は次の如く要約される。

- 1) 降水量と透明度との間に、負の相関傾向が認められた。摩周湖については前駆雨量7日、支笏湖については10日との間の相関が顕著であった。この差異は、両湖の湖水面積、容積の大小に起因すると考えられる。
- 2) 懸濁物と透明度との間に顕著な負の相関傾向が認められた。季節変動の主たる要因は、降水、融雪水により湖内に流入した陸成懸濁物であると考えられる。
- 3) いま一つの要因として、プランクトンの影響が考えられる。摩周湖では、渦鞭毛虫類の *Ceratium hirundinella*、輪虫類の *Asplanchna priodonta* と透明度の間に負の相関傾向が認められた。*Asplanchna* は陸成懸濁物流入の著しかった集中豪雨時に大量発生をみた。支笏湖では、摩周湖と同じく、*Ceratium* と透明度との間に相関傾向が認められたが、*Asplanchna* については、集中豪雨時にも出現数が少なく相関は認められなかった。一方、摩周湖では認められなかった *Daphnia* と透明度との間に相関傾向が認められた。
- 4) 透明度深度までの懸濁物濃度は湖水拡散によって減少する。二次的要因の一つである湖水拡散の指標として、熱拡散係数の季節変化を調べた結果、透明度との間に正の相関傾向が認められた。とりわけ、支笏湖における相関傾向は顕著であった。
- 5) 一般的に、懸濁物流入に対する受容能力は、流域面積の小さい摩周湖が支笏湖に比較して大きいと考えられる。しかし、集中豪雨や融雪出水時には、急勾配の環壁に囲まれた摩周湖の懸濁物が著しく増加し、透明度の低下も顕著である。透明度の季節変動は両湖における地形的、水文の特性が影響していると考えられる。

謝辞 本研究を行うにあたり、北海道大学の中尾欣四郎教授には終始適切な御指導御助言を賜りました。深く感謝の意を表します。また、支笏湖の調査にあたっては、湖畔鑑視所の近藤氏はじめ職員の方々に、一方ならぬお世話を頂きました。プランクトンについては、信州大学の沖野外輝夫助教授に御指導を受けた。これらの方々に対して厚くお礼申し上げます。

#### 文 献

- 菊地健三, 1935. 湖水の水中照度と透明度の関係. 陸水学雑誌, 5, 121-124.  
瀬川良明, 1974. 深い湖の熱的環境. 北大地球物理学研究報告, 31, 11-20.  
田中館秀三, 1925. 北海道火山湖研究概報. 北海道庁.  
徳井利信, 1965. 支笏湖の物理的ならびに化学的性質. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 19, 49-59.  
中尾欣四郎, 1971. 湖沼水位の安定性についての研究. 北大地球物理学研究報告, 25, 25-87.  
中尾欣四郎, 1975. 閉塞期の旧汀線痕跡からみた古降水量の推定. 水温の研究, 18, No.6, 3513-3522.  
菱田耕三, 1953. 海水の濁りに関する研究. 日本海洋学雑誌, 9, No.3, 143-180.  
吉村信吉, 1937. 湖沼学. 三省堂.