

22. 摩周湖における透明度の低下とその影響因子の検討

高橋 岳^{1*}・深澤 達矢²・宇田川 弘勝³・田中 敦³・五十嵐 聖貴⁴
小林 拓⁵・濱田 浩美⁶・南 尚嗣⁷・佐藤 久²・高橋 正宏²

¹北海道大学大学院工学院環境創生工学専攻 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8)

²北海道大学大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8)

³国立環境研究所 化学環境研究領域無機環境計測研究室 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

⁴北海道立総合研究機構環境科学研究センター (〒060-0819 札幌市北区北19西3)

⁵山梨大学大学院 (〒400-8510 山梨県甲府市武田4-4-37)

⁶千葉大学教育学部 (〒263-0022 千葉市稲毛区弥生町1-33)

⁷北見工業大学機器分析センター (〒090-0015 北海道北見市公園町165)

* E-mail: gt108@ec.hokudai.ac.jp

Key Words : lake water, Atmospheric fallout, plankton

1. はじめに

摩周湖は北海道東部に位置する火口型カルデラ湖であり世界有数の透明度を誇っている。湖を囲む斜面の地形は急峻で勾配は25~40%に及び、湖岸は東北部の一部を除いて急崖を成している。摩周湖は集水面積の約60%を湖面が占め、流入河川、流出河川がない。流入の95%は雨水、5%が湖底湧水である。また、摩周湖は阿寒国立公園に属しており、集水域全体は特別地域特別保護地区に指定され土地利用及び一般の人の立ち入りが制限されている¹⁾。国立環境研究所では、1980年から摩周湖の湖水環境を総合的に評価し、摩周湖が陸水環境の長期のベースラインモニタリング(汚染源が集水域内に認められない自然状態を把握)に適した条件を備えていると判断し、環境モニタリングを行った。その後摩周湖調査は1991年で一度終了したが、1994年にUNEP(国連環境計画)の実施する陸水監視プログラムGEMS/Water programにおいて国内唯一のベースラインモニタリングシステム湖沼として摩周湖は登録され、GEMS/Waterプロジェクトとして摩周湖調査は再開した。調査は現在も続いている。上記に述べた地形的特色、環境保護政策により日本におい

て摩周湖は最も人為的汚染負荷が少ない湖であり、原生の姿をとどめる希少な湖である²⁾。以上に述べた地形的特色、環境保護政策により日本において摩周湖は最も人為的汚染負荷が少ない湖であるが、透明度が近年低下傾向にあり、科学的、社会的な関心を寄せている。摩周湖は1931年には世界一の透明度41.6mを記録³⁾したが、近年は15~25mを推移している⁴⁾。透明度低下の原因として土砂の流入や大気汚染物質の沈着などが考えられているが、いまだ原因は明らかではない。

本研究では、摩周湖における透明度変動に寄与する影響因子を明らかにする事を目的とする。

2. 研究方法

(1) 調査地域の概要

摩周湖は北海道東部の川上郡弟子屈町(北緯43°東経144°)に位置する貧栄養湖である。湖面標高は352m、周囲の火口壁との比高は130~150mである。湖盆の形はほぼ円形で湖岸線の長さは20km、最大深度212m、平均深度146m、湖水容量2.86km³である。湖の表面積19.2km²に対し集水面積は32.4km²と非常に小さい。摩周湖は温度成層が年2回現れる

複循環型湖沼である。夏季と冬季に成層を形成し春季および秋季に循環期がある。冬季は完全結氷することが多い。摩周湖に流入する物質の起源は、大気由来、集水域由来（沢水）、湧水由来に分けられる。

(2) 調査方法

透明度は、降雨による集水域からの負荷や、湖内の一次生産物質、分解物質など物質循環に関係し、水中に存在する物質の量、種類の変動に伴って季節毎に変化する。透明度変動に直接寄与する湖水中成分として懸濁物質が挙げられる。摩周湖水中の懸濁物質には動物プランクトン、植物プランクトン、無機物質が含まれている。

a) 動物プランクトン

極貧栄養湖である摩周湖では動物プランクトンの生息数は極めて少ないため、¹⁾ 透明度を変動させている因子としては考慮しない。

b) 植物プランクトン

植物プランクトンは、Chl-a 濃度と透明度の間に逆相関がある事が多くの湖沼で知られている³⁾ことから、植物プランクトンは透明度に影響する。しかし、極貧栄養湖である摩周湖では植物プランクトンがどの程度透明度に寄与しているかのデータは十分に得られていない。植物プランクトン量の変動には湖水中の栄養塩類濃度が影響する。摩周湖水中の重金属類濃度は極めて低濃度であるため植物プランクトン生成への影響は考慮しない。

c) 無機物質

摩周湖に搬入される懸濁物質の起源は大気降下物由来、集水域由来（沢水）、カルデラ壁崩壊による流入に大きく分けられる。沢水及びカルデラ壁から流入する懸濁物質の主成分は土壌粒子である。土壌粒子は粒径が大きく、短期間で沈降すると考えられるため、透明度の長期的変動に影響しているとは考えにくい。一方、小さい微小粒子は物理的に湖水中で滞留すると考えられる。本研究では特に微小粒子に注目した。

(3) 調査期間

湖水は、摩周湖の湖心（北緯 43° 東経 144°）において採取した。沢水はカルデラ壁から流れているものを採取した。雨水は、裏摩周展望台側のカルデラ壁の上で採取した。

(4) 調査期間

湖水と沢水の採取は、2009 年 5 月 14～16 日、7 月 8～10 日、8 月 23～26 日、10 月 31～11 月 2 日の

計 4 回 実施した。雨水は平成 20 年 9 月 1 日より継続して採取している。

(5) 試料の採取

湖水採水にはゴーフロース採水器を用いた。採水深度は、0、10、20、50、100、200m を基本深度とし、温度躍層、クロロフィル極大層、躍層の上下層を設定した。温度躍層とクロロフィル極大層の深度は、採水と同時に測定した CTD (Conductivity, Temperature, Density—電気伝導度、水温、水の密度) とクロロフィル濃度のデータから決定した。採取した湖水は、ポリプロピレン製容器（栄養塩測定用：NALGENE, 250ml, 金属測定用：NALGENE, 125 mL, SS 測定用：ガロン瓶, 約 10L）に移して持ち帰った。沢水は直接ポリプロピレン製容器 (NALGENE, 250ml) に採取した。採取と同時に水温、電気伝導度を測定した。雨水は、大気降下物サンプラーを設置して、1 ヶ月毎に交換・採取した。大気降下物サンプラーは、高さ約 2m の木製で、周りに障害物がないところに設置した。サンプリングは現在も継続中であり、12 月からは雪用の大気降下物サンプラーを設置している。全量をバルク降下物として大気降下物採取器で採取した。

(6) 前処理

栄養塩用の容器に入った湖水、沢水は、実験室にてガラス製ろ過器 (ADVANTEC) で減圧濾過した。直接ガラス繊維ろ紙 (Whatman 製, 47mm φ) でろ過して、ポリプロピレン製容器 (アイボーイ細口ビン, 100ml) に移し、冷蔵庫に保存した。ろ液を溶存性成分とした。金属測定用として、サンプル水を 3 種類に分けて分析した。原液、濾液① (0.4 μm フィルターで濾過)、濾液② (濾液①を 0.1 μm フィルターで濾過) の 3 つで、濾過にはポリプロピレン製ろ過器 (NALGENE) を用いて減圧濾過した。濾液はポリプロピレン製容器 (金属測定用：NALGENE, 125 mL) に移し、超高純度硝酸 (多摩化学, tamapure 68%) を濃度が 1% になるように分析の 1 週間前に添加した。採取した雨水は、容器を密閉し実験室に持ち帰った後 pH および電気伝導度 (EC) を測定し、ポリプロピレン製ろ過器 (NALGENE) によって減圧濾過した。ろ液はポリプロピレン製容器 (NALGENE, 125 mL または 250mL) に入れ分析まで冷蔵庫で保存した。金属測定用のポリプロピレン製容器には、超高純度硝酸 (多摩化学, tamapure 68%) を、濃度が 1% になるように分析の 1 週間前に添加した。ろ過器は約 1% の硝酸に 1 週間以上浸漬

した後、脱イオン水および超純水で洗浄したものを
用いた。

(3) 分析方法

a) 懸濁物質濃度

懸濁成分は孔径で2分画した。本研究では $0.4\mu\text{m}$ 孔径フィルターにより捕集された物質を粗大粒子(CP: Corse Particle)と定義する。 $0.4\mu\text{m}$ 孔径メンブレンフィルター(ADVANTEC 又は WHATMAN)で濾過後 $0.1\mu\text{m}$ 孔径メンブレンフィルター(ADVANTEC)で再び濾過し捕集された物質を微小粒子(FP: Fine Particle)と定義する。サンプル水をポリプロピレン製濾過器(NALGENE)を用いて減圧濾過し、濾過後フィルターを相対湿度30%以下のドライボックス内に24時間以上放置後、電子天秤で秤量した。サンプリング前後の重量差によりSS濃度を算出した。

b) 栄養塩類

オートアナライザー(BLAN LUEBBE AACS II)を用いた。湖水、沢水、雨水すべてにおいて、TN、DN、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TP、DPを測定した。TN、DN、TP、DPに関してはペルオキシ分解後の試料水を分析した。その他の項目は、試料水をそのまま用いて分析した。ブランクサンプル濃度の標準偏差の3倍を検出限界、10倍を定量限界とした。

c) CTD、クロロフィル濃度、濁度

CTD測定器は、SeaBird Electronics社製SBE19を用いた。分析には、CTD測定器を約200m付近まで下ろした時のデータを採用した。クロロフィル濃度の測定器は、JFEアレック社製ACLW-CMPを用いた。濁度の測定は、低濃度濁度ロガー(JFEアレック社製ATU6W-CMP)を用いた。用いた濁度ロガーは880nmの光を水中に射出し、後方散乱によってセンサー部に戻ってくる光を検出する方式であり、0~10FTUのフォルマジンに対し校正されている。1mg/Lのフォルマジン溶液の濁度が1FTUである。

d) 透明度

ロープのついた直径30cmの白色円板(透明度板)を静かに水中に沈めて、見えなくなる深さでロープに印をつけた。その後、湖岸で印をつけたところまでのロープの長さを測って透明度とした。

3. 結果と考察

(1) 温度躍層

図-1に水温とECの鉛直分布と、透明度を示す。5月は水温、ECともに表層から最下層まで一様であり、湖水が深層まで攪拌されていることがわかる。この

ことから春季は湖水中成分は湖内で一様に分布しているといえる。7月、8月、10月は表層に温度躍層を確認できた。温度躍層深度は7月が19m、8月は10m、10月は31mであった。透明度は5月が32.0m、7月が19.5m、8月が16.5m、10月が23.0mだった。

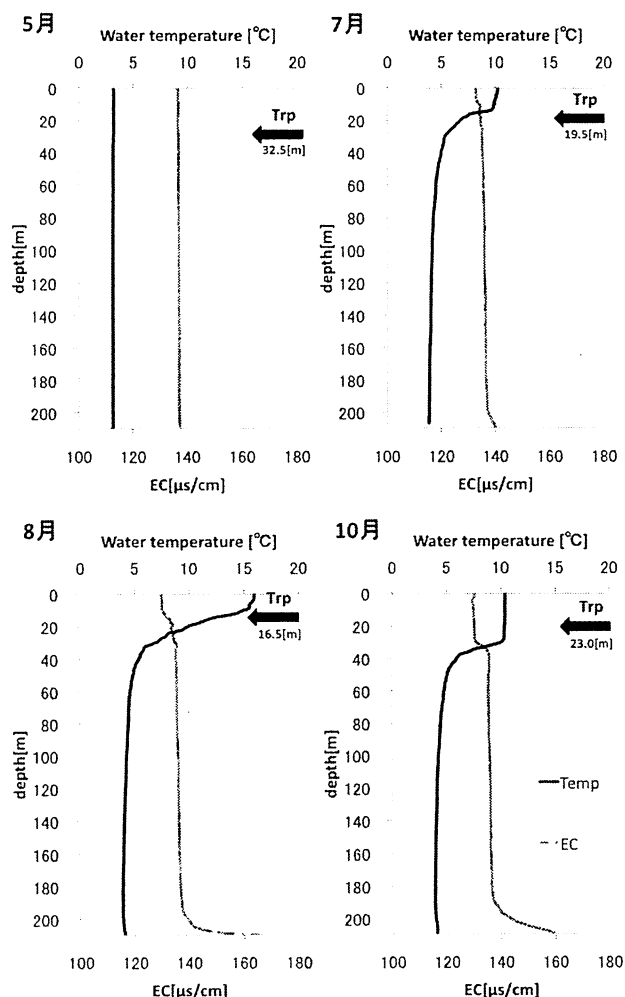


図-1 水温と電気伝導度、透明度

(2) 植物プランクトンと透明度

図-2に各月におけるクロロフィル濃度と濁度の鉛直分布を示す。クロロフィル極大層は7月と8月で顕著に現れ、7月が36m、8月が31mであった。5月は明瞭なクロロフィル極大層は現れなかった。10月は夏季に比べクロロフィル極大層は明瞭ではなかったが、25mと58mにクロロフィル極大層が現れた。循環期である5月は濁度・クロロフィル濃度ともに全層一様であった。温度成層を成す7月、8月はクロロフィル濃度極大深度と濁度極大深度がほぼ一致した。7月、8月の透明度はいずれもクロロフィル

極大層より約 15m 浅い深度だった。クロロフィル濃度と透明度の相関はとれなかったが、クロロフィルが増殖する夏期は、クロロフィル濃度と透明度が対応している徴候がみてとれる。しかし、10月の結果をみるとクロロフィル濃度に大きな変動はない場合でも、濁度は上昇している。以上のことから、夏季はクロロフィル量が透明度に比較的大きく寄与することが考えられるが、年間を通じてクロロフィル濃度以外に透明度を大きく左右する因子の存在があると考えられる。

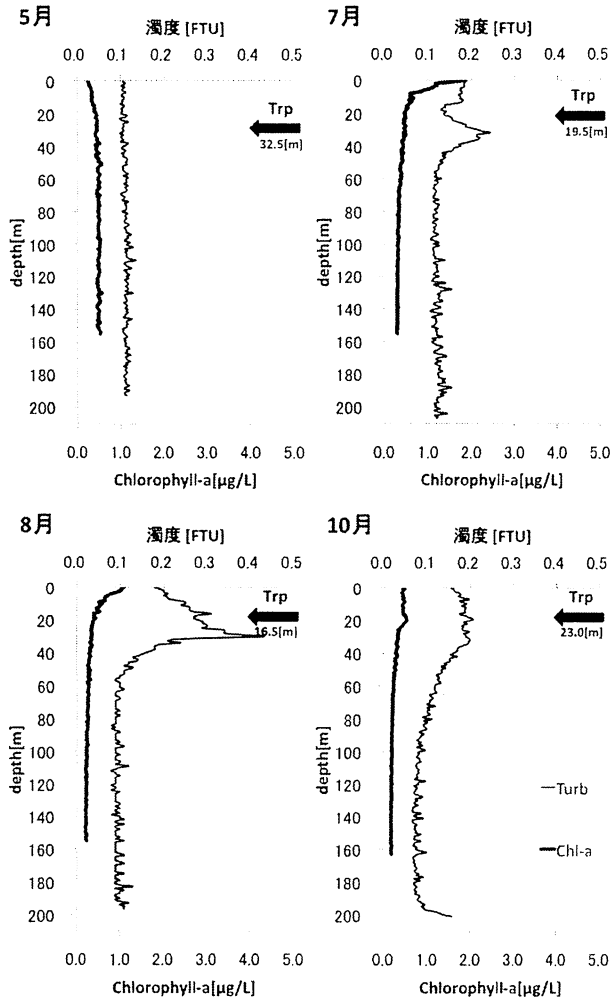


図-2 濁度とクロロフィル-a

(3) 懸濁物質と植物プランクトン

図-3 に懸濁物質濃度と濁度の鉛直分布を示す。年間を通じて微小粒子 (FP) 濃度の方が粗大粒子 (CP) 濃度よりも濃度が高いことが分かった。夏季は表層からクロロフィル極大層にかけて粗大粒子濃度が増加する傾向がみられた。摩周湖では湖水中の植物プランクトンは粗大粒子に分画されると考えられるため、夏季は植物プランクトンの増殖により粗大粒子濃度が増加すると考えられる。7月の懸濁物質濃度に注

目すると、濁度は粗大粒子濃度よりも微小粒子濃度に対応していることが分かる。7月は8月よりもクロロフィル濃度が低かった。このことより、7月は植物プランクトンだけでなく、微小粒子も透明度に対し大きく寄与しているのではと考えられる。10月の懸濁物質濃度に注目すると、表層に近いほど微小粒子濃度が高い傾向があった。このことから微小粒子は大气由来の可能性があるのではと考えられる。

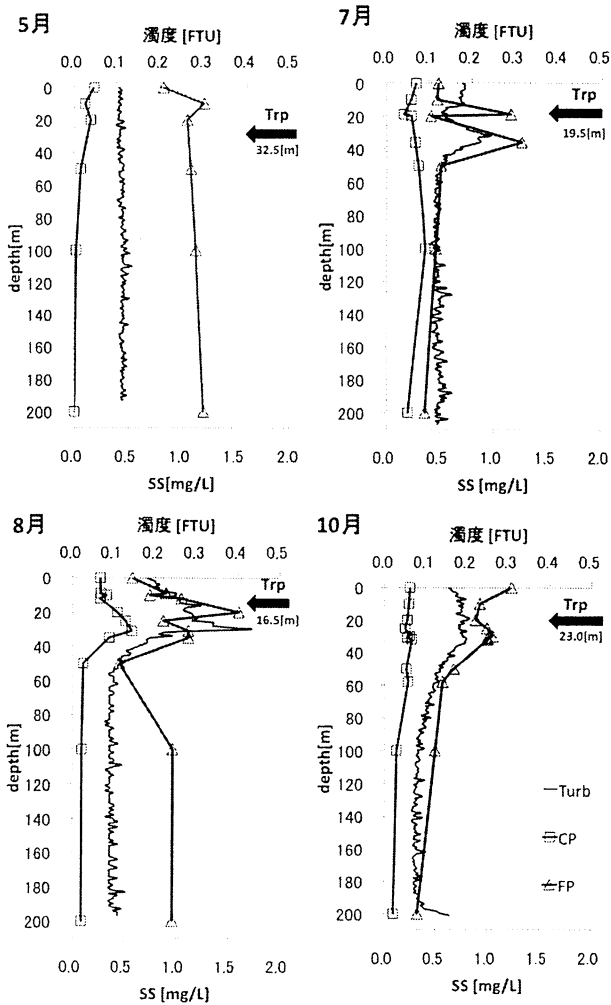


図-3 濁度と懸濁物質

(4) 栄養塩類

栄養塩項目はほぼ定量限界付近あるいは定量限界以下であった。

4. 結言

摩周湖では季節により透明度を決定付ける因子は異なると考えられる。植物プランクトンの量が増える夏季(7～8月)は主にクロロフィル濃度によって透明度が決まると考えられるが、夏季以外の時期はクロロフィル濃度以外の因子が透明度を決定づけている可能性がある事が分かった。特に懸濁物質中の微小粒子は粗大粒子より存在量が多い事が今回分かったため、微小粒子が透明度に対しどの程度影響しているかを調査する事は今後の課題である。

参考文献

- 1) 国立環境研究所地球環境研究センター，北見工業大学，北海道環境科学研究センター：GEMS/WATER 摩周湖モニタリングデータブック, pp. 1-6, 2004.
- 2) 高安三次，近藤賢蔵：湖沼調査（摩周湖，洞爺湖）水産調査報告書，pp.1-18, 1934.
- 3) 大槻晃，相崎守弘，福島武彦，河合崇欣，細見正明，合田健，村岡浩爾，須藤隆一，田井慎吾，宮井博，高橋正征：湖沼の富栄養化状態指標に関する基礎的研究，国立公害研究所研究報告第23号，pp. 6-12, 1981.