HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	貧栄養湖の栄養塩の動態と水環境
Author(s)	脇, 総一郎; 古里, 栄一; 橘, 治国
Description	第13回衛生工学シンポジウム（平成17年11月17日（木）-18日（金） 北海道大学クラーク会館） . 一般セッション . 5 水環境 . 5-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 13, 175-178
Issue Date	2005-11-16
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/1360
Type	departmental bulletin paper
File Information	5-7_p175-178.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

５－７　貧栄養湖の栄養塩の動態と水環境

○脇聡一郎（北海道大学）、古里栄一（環境水理研究）、橘　治国（北海道大学）

１．研究目的

日本には数多くの貧栄養湖が北海道や東北地方の人為的汚染の少ない山岳地帯に分布している。その中でも本研究対象とした倶多楽湖は約３万年前のクッタラ火山の噴火によってできた大型のカルデラ湖である。大きな流入河川はほとんど無く、流出河川もない。一度汚染物質が流入すると元に戻りにくい水環境にある。筆者等は過去の調査で集水域からの小さな河川で湖内よりも高い濃度の栄養塩を観測した。飯作らの調査では摩周湖において周辺地域の開発により透明度の低下が報告されている。[1] このように本湖でも、集水域の森林や観光地からの排水の流入、道路や交通機関からの雨天時の汚濁水の流入、大気からの直接流入、また集水域の森林の管理など、様々な要因が考えられる。本湖の水質変化が心配される。

本報告では主にChl-a濃度測定にクロロテック(アレック電子社)、アンテナ色素タイプの識別可能なセンサー付きのフルオロプローブ[2] (bbe Moldaenke GmbH.社) によるChl-a濃度の鉛直分布と藻類の分布特性に着目し、一次生産の実態、湖内の物質循環と収支から現状を把握するとともに将来の保全について検討した。

貧栄養湖は日本にとって貴重な財産であり、今後も保全していかなければならない。環境保全や自然再生が叫ばれる中、本来の自然環境を明らかにし、記述しておくことは重要であり、今後の環境保全への基礎研究として実施した。

２．研究方法

２－１．調査地点

倶多楽湖は北海道白老郡白老町に位置する（42° 29’N、141° 11’ E)。本湖は支笏洞爺国立公園内にあり、人為的汚染が少ない山岳地帯に位置する。陥没火口湖で半径 1.2km、周囲長 7.8km の円形を成している。最大水深は 147m、平均水深 105.1m、湖容量 0.49km^{3}滞留時間は 28.7 年と大型の貧栄養湖である。本湖に流入する大きな河川はなく、水収支は湖面への直接降雨・地下水からの漏水・集水域に降った雨が集まってできた小さな沢水がいくつか存在するだけの閉鎖性水域である[3] 。集水域面積は 3.4km^{2}でほとんど森林となっている。湖西南部にはレイクハウスがありボートの貸し出しが行われており、観光客が近くまで散策できる。11 月から 4 月までは、冬季のため道が封鎖され訪れることはできない。本湖の氷結は 1 月下旬から 5 月初旬まで続く。年間降水量は 1900mmである。

図 1.調査地点

２－２．調査期間

実施月は以下の通りである。
2000 年：5、6、7、8（3 回）、9、10 月
2002 年：8（2 回）月

2003 年：7（2 回）、8、10 月
2005 年：5、6、8、9 月

３．結果、考察

３－１．水温・溶存酸素の鉛直分布

水温分布から、成層期において表層では 14～20℃、水深 20～50m で温度躍層が観測され、躍層以下は 4℃で一定であった。溶存酸素は表層でほぼ 100%、水深 20m付近で約 110%で最大となりそれより深いところでは徐々に減少する。しかし、最深部（147m）においても約 80%と高い値を示した。有機物が少なく酸素が消費されない典型的な大型の貧栄養湖であると言える。

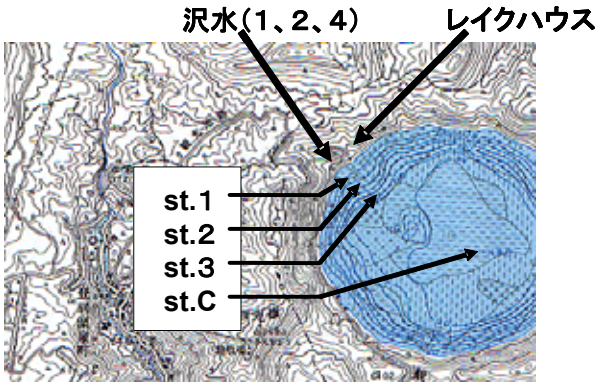

図２．採水地点

３－２．水質の概要

2003 年の調査において COD（Mn）は 0.5～0.8mg/l、透明度は 15～20m、Chl-a 濃度は表層で 0.10～0.28μg/lであった。これらのデータを過去のデータと比較すると、1980 年に高い値になるが、ここ 20 年間の経年的な大きな変化はなかった[4]（図 4.5）。本湖は清澄な湖を保っている。栄養塩では全リンが表層で 0.002～0.015mg/l、全窒素が 0.15～0.32mg/lと低濃度である。しかし、沢水で湖内よりも高い濃度のリンを観測した（2003 年の調査で全リンが 0.006～0.074）。これらは流量が 0.1 ～ 0.5l/sec で、湖容量の 0.49km^{3}に対して非常に小さく、湖心部に向けての沢水が流入する湖岸からの水平分布やChl-a濃度に特徴的な変化は見られなかった。このように沢水から栄養塩が流入しているにも関わらず、湖内の栄養塩は低濃度という微妙なバランスを保ちながら貧栄養状態を維持していることが分かった。しかし、本湖の環境保全のためには今後、集水域からの栄養塩流入は無視することができない。栄養塩の濃度が高くなる増水時を含め十分な監視が必要である。

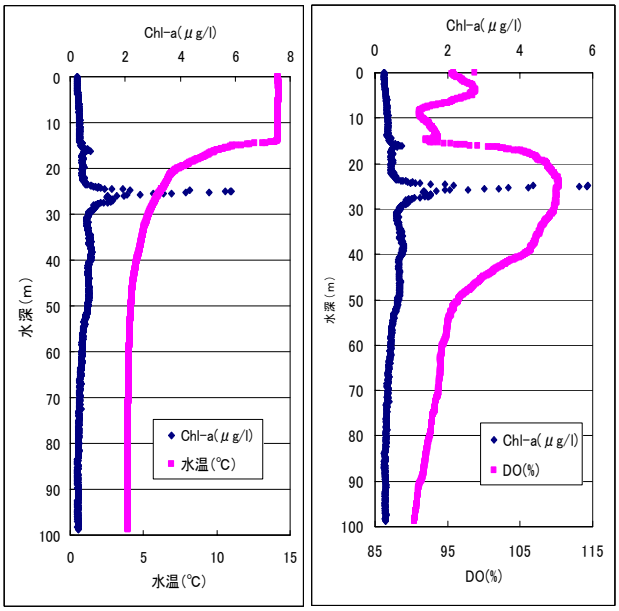

図.３　クロロテックと水温（左）、DO（右）の関係（2003 年 7 月 23 日）

	SS	Chl-a	COD	TP	TN
	mg/l	μg/l	mg/l	mg/l	mg/l
st.C	0.42	0.18	0.65	0.009	0.21
st.1	0.71	0.18	0.85	0.008	0.31
st.2	0.30	0.15	0.83	0.008	0.23
st.3	0.46	0.15	0.76	0.009	0.27
沢水1	7.04	0.00		0.050	0.11
沢水2	2.94	0.00		0.014	0.30
沢水4	3.20	0.00		0.021	0.33

表 1.2003 年の湖表層水質と沢水の調査結果（４日間の平均値）

2003 年の調査では湖内の電気伝導度が 60～70μS/cmで一般的であった。2003 年の調査では湖内の電気伝導度が 60～70μS/cmで一般的であった。一般無機イオンは沢水については、SO_4^{2-}、

Mg^{2+}、Ca^{2+}の割合が高く、近くにある登別温泉と土壌の影響が考えられる。また、雨水の成分はCl^-の割合が高いことから 2km 離れた海からの影響が考えられる（図 6)。このように流入水ごとに特徴が見られた。しかしこれらの影響が湖水そのものには見

の影響が湖水そのものには見られないことから、今は人為的、及び周辺の影響は少ないものと推察される。また湖内と沢水で成分の割合が異なることから、湖底からの地下水流入の影響が大きいと考えられる。

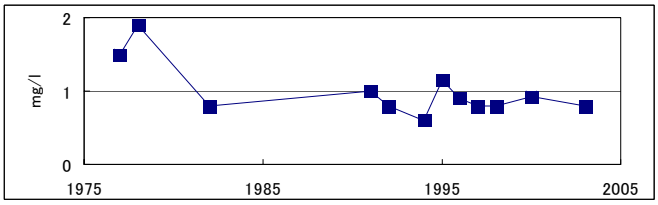

図４.透明度の経年変化

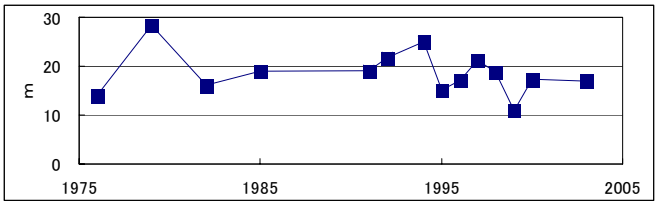

図５.COD の経年変化

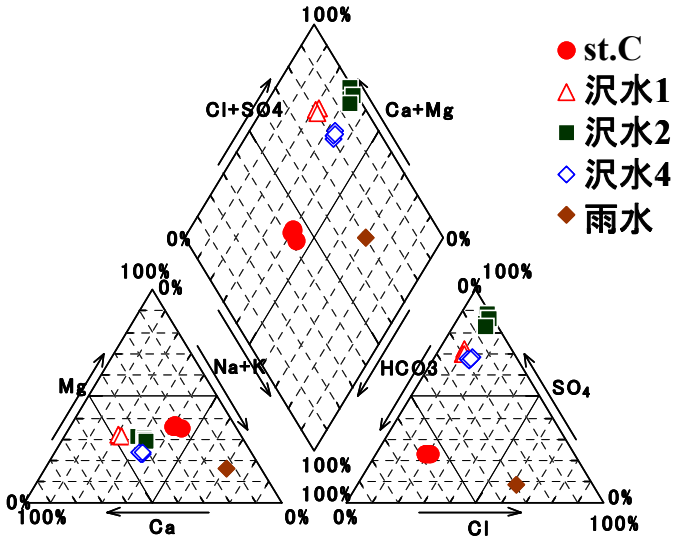

図６.トリリニアダイアグラム

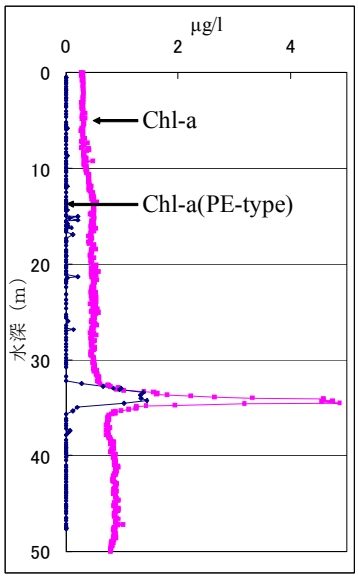

図７.Chl-a と Chl-a（PE-type）の鉛直分布

３－３．藻類の鉛直分布

クロロテック（アレック電子ACL220 型）により、Chl-a濃度は成層期においては温度躍層下の 30～40m付近で 1.87～5.83μg/lの極大層が観測された。これらの鉛直分布は成層期の春季から秋季にかけては安定していたが、融雪期の調査（2000 年 5 月 25 日）では全層で 0.34～0.39μg/lと狭い範囲にあった。フルオロプローブ（bbe Moldaenke GmbH.社）による色素分布から、主にPE-typeの藍藻類[2)]であることが分かった（図 7　＊クロロテックでは検出限界がフルオロプローブよりも高い為、誤差が生じている)。湖内の水質から栄養塩の鉛直分布に特徴的な変化は観測されなかった。またChl-a濃度の極大層は成層期の温度躍層下で観測されていることから、水温が 4℃となる密度層の上に存在するという物理的な要因が考えられる。補償深度における藍藻類の集積は北海道湖沼調査では初めてである。集積する藍藻類の生物的特性、湖沼全体の富栄養化と藻類増殖の関係の解析が貧栄養湖の環境解析と保全対策に対する、今度の大きな検討課題にあるであろう。その意味では極めて重要な知見である。 貧栄養湖として以前から研究されているTahoe湖において、補償深度（DCM:Deep Chlorophyll Maximum）[5)]でChl-a濃度の極大

層が観測されている例があるように、本湖も同様なパターンを示し、世界的にも貧栄養湖の代表例であることが分かった。

３－４．集水域からの栄養塩の流入

2004 年のデータから湖内の平均水質を出した結果N/P比は約 30 であり、リン制限の湖である。中尾ら[3)]の水収支から本湖の流入流出負荷量を推測する。湖容量、滞留時間から約 1700 万m³/年流入する。その内、降水量、湖面積から約 900 万m³/年が直接降雨、残りの約 800 万m³/年が沢水と地下水になる。過去の調査から流出量は分水界漏出量が約 1300 万m³/年、蒸発量が約 400 万m³/年となる。2003 年の調査結果からリン濃度は湖水で 0.008mg/l、沢水で 0.028mg/l、雨水で 0.033mg/lであった。リンの流入負荷量は約 520kg/年、流出負荷量は約 110kg/年となり、約 410kg/年が湖内で利用や蓄積されていると推定できる。しかし、トリリニアダイアグラムから流入は地下水の影響が大きいのでこれよりも若干低いと考えられる。古里ら[6)]は本湖の潜水調査から水深 20mまで沈水植物群落を確認し、これらが水質維持に大きく影響していると推察している。本湖は湖底が有光層内であれば沈水植物群落を形成している珍しい貧栄養湖である。透明度・CODの経年変化から清澄な湖が保たれている点からもこれらが微妙なバランスをとって湖内の生態系を維持していると考えられる。

４．結論

本湖の水質調査から世界的に清澄な貧栄養湖であることが確認できた。そしてこの状態は、戦後の高度成長期や観光ブーム等の人間活動の影響も少なく自然本来の湖を保っていると言える。しかし、湖容量に対しては小さい流量である沢水や雨水で、湖内よりも高い栄養塩や無機イオンが観測された。これらが今後どのように利用・蓄積されていくのか、動態の解明と影響について継続的な調査を行い、保全に努めなければならない。湖沼の保全と関連して、栄養塩の循環のメカニズムの解明が大きなテーマである。

また今回の調査で倶多楽湖において、補償深度付近で藍藻類による Chl-a 濃度の極大層を観測した。藻類の増殖要因である栄養塩には特徴的な鉛直分布は見られなく低濃度であった。観測された極大層は温度躍層下に分布していることから、密度層による物理的な要因と考えられる。

謝辞

本調査は、さけ・ます資源センターの清水幾太郎氏、（有）日本水理研究所の古里栄一氏、倶多楽湖レイクハウスの皆様にご協力いただくと共に、貴重なご意見をいだだきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

１）飯作梵：深い湖の透明度の季節変動、摩周湖と支笏湖、北海道大学地球物理学研究報告、49、ｐ281-289（1988）

２）古里栄一：水環境学会誌、Vol.26、No.5、ｐ33-49（2003）

３）中尾欣四郎・愛沢行三・大槻栄：倶多楽湖の水収支、北海道大学地球物理学研究報告、15、ｐ21（1966）

４）橘治国：貧栄養湖の水質に及ぼす人間活動の影響評価と集水域管理、平成 11 年度～平成 12 年度科学研究費報告書、(2001)

５）Coon,T.C.et al.：J.Plankton Res.,9,327-344（1987）

６）古里栄一：倶多楽湖における一次生産に伴う物質収支、第 70 回日本陸水学会