

II-36 茨戸湖上部湖盆における栄養塩の循環

—懸濁態に着目して—

北海道大学工学部 正会員 橘 治国
 国立公害研究所水質土壌環境部 正会員 井上隆信
 北海道衛生部 村井 悟

1. 緒言

我々が生活する地域周辺には、多くの浅い湖沼をみかけることができる。そして大概の場合、この水域を水道や農業用水の水源として、あるいはレクリエーションの場として利用しているのが普通である。ところがこれらの湖沼は水容量が小さいため、都市活動の影響によって容易に汚染されることにもなり、様々の利用目的に適応してこなくなってきた。水深が10 m以下ともなると、植物による生産活動の影響によって汚染は一層深刻となる。本報告は、札幌近郊の茨戸湖を対象として、このような汚染のメカニズムの特徴を、特に富栄養化に関連した栄養塩の循環に重点を置いて、解明しようとしたものである。これまで筆者らは、懸濁物質に含まれる栄養塩の水中生物による摂取の可能性を指摘し、またその挙動が藻類異常増殖の直接原因ともなることを明らかにしてきたが 1) 2)、特に浅い湖沼では風波によって底泥の舞い上がったり、河川から直接流入する懸濁物質による影響が大と考え、調査においては懸濁態栄養塩の動態を把握できるよう工夫した。

2. 研究方法

2.1 調査水域の概況

調査の対象水域として札幌市近郊にあり当別町との境をなす茨戸湖の上部湖盆を選定した。茨戸湖は昭和6年石狩川生振新水路の完成によって本流と切り離された三ヶ月湖で、上部、中部、下部の三湖盆に分れる。総水面積は、4.37 km²に達する。上部湖盆は、図1に示したように、旧川と考えた場合最上流部に位置し、水面積は0.61 km²、平均水深は5.0 mである。この上部湖盆では、中・下部湖盆に流入する札幌の都市排水流入による汚染は到達せず、周囲の農業や放牧に伴ういわゆる面汚濁の影響を受けている。本湖盆の水は、流域に広がる泥炭地の浸出水の流入によって茶褐色を呈しており、特徴的である。流入河川としては、通常0.01 m³/s程度の用水路があるだけで、極めて閉鎖的である。湖からは、人工水路を通じて中部湖盆に流出している。湖内の調査地点は、図1に示した中央部のSt. 12を中心に数点とした。調査地点の横断面図を図2に示したが、湾曲部のため水深が偏り、東側(右岸)が浅くなっている。

2.2 調査方法

調査は昭和60年4月から11月まで、湖内および流入・流出河川を対象に21回実施した。採水および計測のためにはボートを利用したが、4ヶのアンカーで固定したのち作業を行った。また調査は、原則として午前中に行うこととした。また沈降性懸濁物質の組成と沈降量を明らかにするため、5月7日から10月2日までの期間、St. 12に円筒型セジメントトラップを設置した。調査内容の詳細は略するが、一般的な水質および底質ならびに沈降物の分析のほか流向・流速(メモリー流向流速計使用)や風速など環境条件も併せて測定することとした。また随時、明・暗瓶法による生産量の測定や底泥の溶出速度についても測定した。なお風速については、気象庁札幌管区気象台地域気象観測所(石狩町親船北14)の測定資料も参考とした。

2.3 セジメントトラップについて

Bloesch 3) はセジメントトラップの形状について、湖沼・海洋においては円筒型が最適であるとし、筒長/口径比が5~10以上あればよいとしており、福島ら 4) も、浅い湖沼においては口径5 cmで筒長25 cmのものがもっとも良いと報告している。筆者らも21広口ポリビンと筒長/口径比の異なるガラス製円筒を用いた捕集量比較実験を行い(表1)、本湖でも図3に示すような口径5 cm・筒長25 cmのガラス製円筒を用いることとした。簡易的によく利用される21ポリビンは過剰に捕集する傾向にある。これらのセジメントトラップを水深2、4、6 mに取り付けたのち、原則として3日後に

回収し沈降量と組成を分析した。

3. 結果および考察

3. 1 水質の季節変化

茨戸湖上部湖盆においても、周囲の農地や放牧地からの栄養塩の流出によってアオコ現象が観察される。今回の調査においてもかなりの藻類の発生を夏場にみたが、「アオコ」と認められる程ではなかった。図4に、表層におけるChl-aおよび各態窒素とリン濃度の季節変化を示した。水温も併せて示した。8月までは水温が低く藻類発生量が少なかったが、20℃を越えた8月中旬にはChl-aは $113\mu\text{g/l}$ となった。その後は水温の低下とともに藻類量は減少した。栄養塩については、TNの春先での減少が著しいが、これは結氷した水面下で底泥から溶出した無機態窒素が融雪水や降雨によって希釈されたためであろう。窒素とリンはともに溶存態が低濃度で、TNやTPの濃度変化がほぼ藻類量と対応する懸濁態に支配されているのが特徴的である。特にリンについてこの傾向が顕著である。リンについて、懸濁物質を含んだ複雑な藻類への移行経路のあることが推察される。

3. 2 風速と水質の垂直変化

本湖の特徴は水深方向の水質の濃度差が少いことである。図5は7月20日から29日のSt. 12における代表成分についての垂直変化である。このうち7月26日と29日は調査期間中で濃度変化が認められた数少ない例である。この図から、通常みられる水深方向の濃度差は非常に小さいこと、しかし短い時間で崩れること、また採水はいずれも午前8時から9時までにいったので、これらの変化パターンが日周期のものでないことがわかる。図6には風速と水深1mの流速の関係を示したが、両者に良い相関関係($r=0.94$)があり、また流速が風速の約2%となることがわかる。また風速と水質の混合度を示す変動係数との関係を、Chl-aを例に図7に示した。変動係数CVは以下のように計算した。

$$CV = (D(0) - D(7)) / (D(0) + D(7))$$

D(n): n mにおける成分濃度 (0 m: 表層, 7 m: 底層)

風速が大きくなるとCVが低下すること、 3 m/s (流速 6 cm/s)以上あればCVは0に近くなりほぼ完全に混合することがわかる。茨戸湖周辺(石狩町親船北14)の月別平均風速が 4 m/s 以上のことが多いので、本湖は十分混合しているものといえる。なお図8に垂直方向の流向の変化の例を示したが、上層と下層ではほぼ反対で、水が循環していることがわかる。

3. 3 懸濁栄養塩の組成と動態

本湖において栄養塩は懸濁態が優占して存在する。しかし懸濁物質は藻類、底泥、周囲から流入した土壌などから構成され、組成は複雑である。表2には、セジメントトラップで捕集した沈降物、懸濁物質、底泥そして藻類5)の組成を示した。Feを除くと、その濃度は藻類>懸濁物質>沈降捕集物>底泥となり、水中には様々な懸濁物質が存在していることが明確である。すなわち水中には藻類以外の物質が多量に浮遊しており、沈降捕集物の組成が懸濁物質のものと相当異なり濃度も低いことから、底泥や土壌粒子がかなりの割合で循環していることがわかる。

3. 4 栄養塩の循環と藻類増殖

セジメントトラップ捕集物量の変化を図9に示した。各設置期間は3日である。設置時期や深度によってかなり変動することがわかる。特に水深6mでの捕集物量の多いのが特徴的であるが、底泥の舞い上がりに関連していることが推察される。図10に風速と沈降物量(2m)を図11に風速と沈降物量のCV(2mと6mの捕集量で計算した。)を示したが、風速すなわち流速に上昇とともに沈降物量が増え風によって底質が舞い上がることも、またCVが小さくなり混合の強度の高まることが認められる。図10で明らかなように風速2mでのX切片が1.3m、そして6mでは0.1mとなったが、このことから風速の影響が底層から生じることが明確となった。3.3の結果とともに、栄養塩が懸濁態として、すなわち藻類など沈降速度の遅い有機物に富む水中懸濁物質と底泥などの沈降速度が速い無機質との混合物として風速などの気象条件の影響を受けて循環していることがわかる。

そこで両者の割合を設定すれば各々を分離でき、前者の沈降量すなわち藻類を含む懸濁物質発生量を予測できることとなる。そして全体的な栄養塩の循環を推測することができることとなる。今回の調査

資料（7月20日から10月2日）からは、例えば両者を以下のようにマクロ的に分離できる。ある成分（ α 成分とする。）の沈降物質中の存在割合（ $ST\alpha$ ）について考えてみると、前者（水中懸濁物質）の割合を $SA\alpha$ （5成分について表3に示した。藻類増殖が著しく風がない8月13日表層のデータを基本として設定。）、後者（補集量が多くその割合が一定となったときの沈降物）の割合を $SB\alpha$ （表3に併せて示す。図12に沈降物補集速度とILの関係を一例として示す。）とすると次式が成立する。

$$ST\alpha = SA\alpha + (SB\alpha - A\alpha) (1 - DW(SA)/DW(ST))$$

（ $DW(ST)$ ：沈降補集物量、 $DW(SA)$ ：沈降速度の小さい物質（生物）の沈降量）

5成分から計算した $DW(SA)$ の平均値は $6.0 \text{ g/m}^2/\text{day}$ となった。（図12中の実線は、ILの場合の最適な $ST\alpha - DW(ST)$ の関係。各成分については、IL 7.1、C 6.8、N 5.0、P 4.3、Fe 6.7 $\text{g/m}^2/\text{day}$ となった。）この分が藻類を含む懸濁物質発生速度ということになる。窒素（N）については $230 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ 、リン（P）については $14 \text{ mg/m}^2/\text{day}$ となった。これにこの生産を支える懸濁物質の舞い上がりがあることになる。ここで求めた値をもとに栄養塩の循環速度を纏めたのが図13である。計算対象とした期間は、沈降物補集実験に加えて一次生産速度や底泥からの栄養塩溶出速度を測定した9月29日から10月2日である。溶存態と懸濁態とのみかけ上の収支から計算される懸濁物質への移行速度よりはるかに発生する懸濁物質速度のほうが大きく、現存量を維持するためには底泥などに由来する懸濁態栄養塩の供給（太線）の必要ことがわかる。底泥からの溶出による寄与の、窒素で15倍、リンで70倍という大きな値となる。今後は、短期間の集中的な調査を行いまた水中懸濁物質と藻類との組成の分離や相互関係などを明確にして、より詳細を解明する必要がある。

4. 結論

我国においては平野部の浅い湖沼が富栄養化し、その防止対策が急務となっている。筆者らは、その基礎研究として札幌市近郊の茨戸湖を対象に浅い湖沼における水質変化の特徴を栄養塩の循環と藻類増殖との関連から調査した。特にセジメントトラップの設置により沈降物質量を測定し、その変動特性を水深や風速（流速）など物理条件と対応させるなど懸濁物質の挙動に着目して解析した。結果を要約する。

○ 浅い湖沼では、風速が流速を支配した水をかなり混合させる。茨戸湖では風速 4 m/s で垂直方向に十分混合する。なお表層流速は風速の2%程度となった。

○ セジメントトラップを使用した調査から、沈降物は風速に比例して大きくなり、底泥舞い上がりの影響の大きくなることが認められた。

○ 茨戸湖の栄養塩循環は懸濁態としての割合が高く、またその藻類増殖への寄与の大きいことが推察された。したがって底泥からの栄養塩溶出量からの藻類生産量の推察は過小評価となる。

○ 以上のことから浅い湖沼の富栄養化管理に対しては、底泥や岸近くの土砂の舞い上がりを抑えるための地理的検討（平均風向と湖沼の形状など）や底泥のしゅんせつなどが有効であると考えられる。

なお茨戸湖上部湖盆については、都市排水の流入がないにも係わらず富栄養化とかなりの藻類の発生をみた。農業・放牧による栄養塩負荷の大なることが示され、次の対策として面源の汚濁管理が重要になってくることが示唆された。

《謝辞》 本研究の基礎となったフィールド調査を行うにあたっては、魚住昌広（現 北海道コンサルタント）、森口朗彦氏（現 水産庁漁港部）そして北海道大学工学部水質工学研究室のスタッフの協力を得た。ここに記して感謝申し上げます。

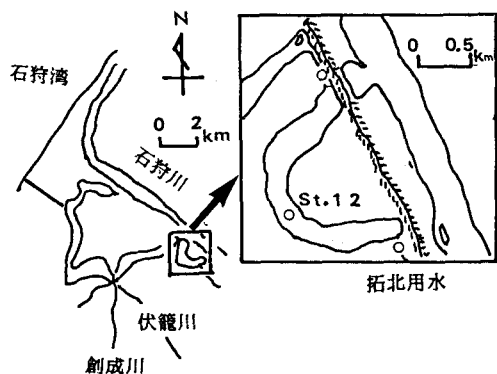
（参考文献） 1）橘：衛生工学研究論文集、Vol. 20、p 53、1984

2）橘、森口、今岡、井上：衛生工学研究論文集、Vol. 22、p 151、1986

3）Bloesh J. et al：Scheiz. Z. Hydrol. Vol. 42, p15, 1980

4）福島、相崎、村岡：国立公害研究所研究報告、No. 51、p 73、1984

5）EX都市研究所：霞ヶ浦水質保全総合対策解析調査報告書、p 91、1978



長さ(km)	幅(m)	平均水深(m)	水面積(km ²)	貯水量(m ³)
2.6	230	5	0.61	100万

図1 茨戸湖上部湖盆

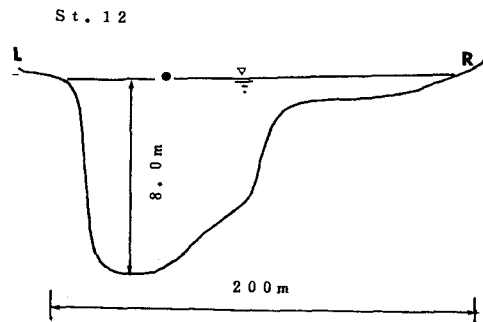


図2 横断面図 (St. 12)

表1 形態別補集量および組成比

	DW	IL	N	P	C	Fe	Chl-a
21ポリビン	1.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9
	1.5-2.2	0.9-1.1	0.9-1.0	0.9-1.0	0.9-1.2	0.9-1.1	0.8-1.1
筒長/口径比10	1.1	1.0	1.1	1.0	1.1	1.0	1.1
筒長/口径比5	1	1	1	1	1	1	1

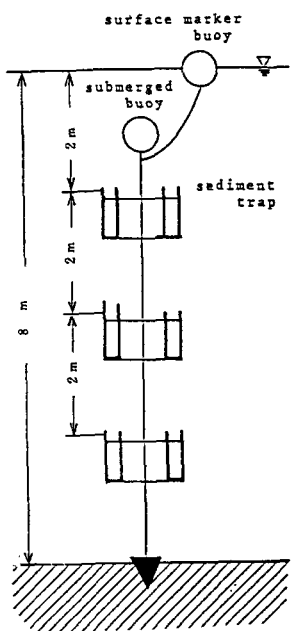


図3 セジメントトラップ

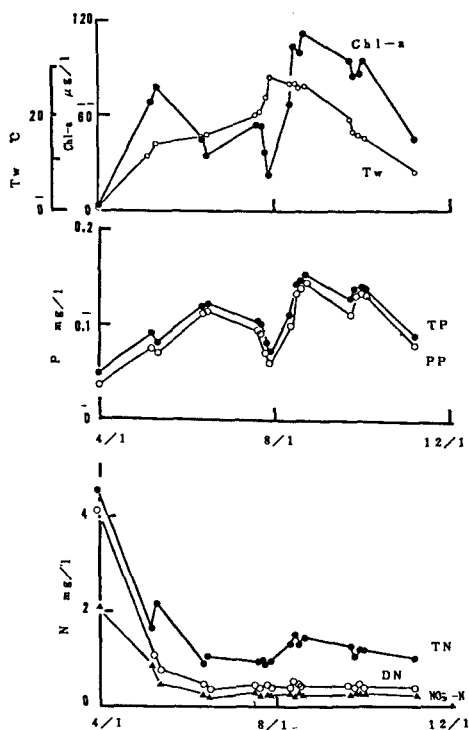


図4 クロロフィル-*a*、各態リン・窒素濃度の季節変化

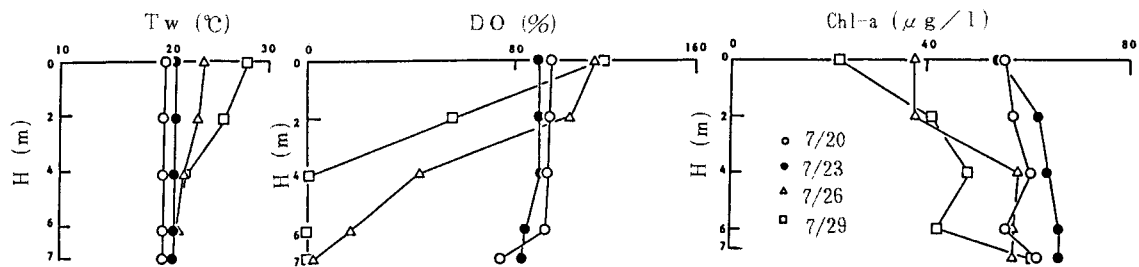


図5 水質の垂直変化

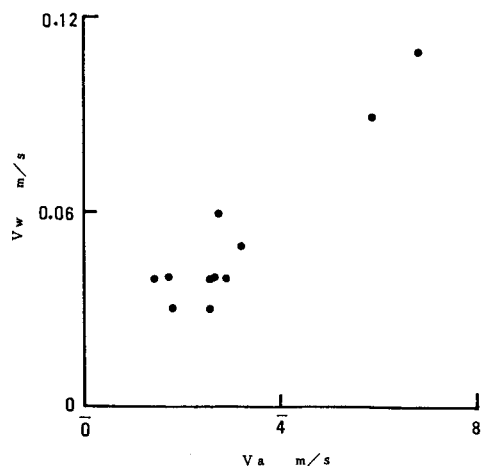


図6 風速と流速（水深 1m）の関係

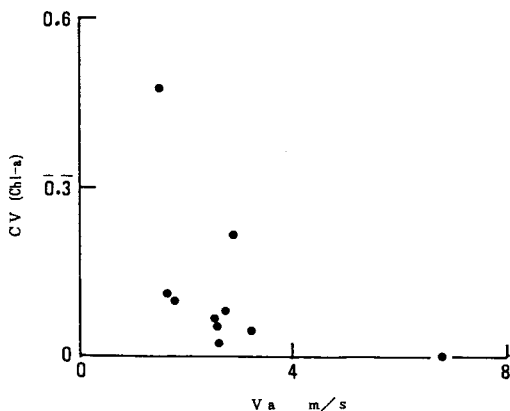


図7 風速とChl-aの変動係数

表2 沈降捕集物・水中懸濁物質・底泥の組成
()内は分布巾、単位 mg/g-DW)

	IL	C	N	P	Fe	Chl-a
沈降捕集物 n=31	19(%) (14-34)	79 (56-140)	12 (9-20)	1.1 (0.8-1.4)	41 (33-51)	0.8 (0.4-1.3)
水中懸濁物 n=20	44(%) (38-52)	180 (130-200)	36 (26-46)	2.2 (1.7-3.0)	34 (21-57)	3.0 (1.4-3.9)
底泥 n=6	11(%) (10-12)	40 (32-47)	5.6 (5.1-6.4)	0.6 (0.5-0.6)	46 (43-49)	0.2 (0.2-0.3)
藻類		350-500	23-94	2.0-8.0		

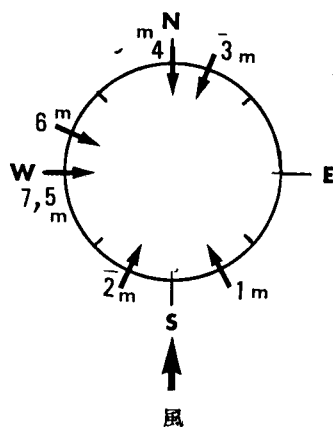


図8 風向と水深別流向
(昭和60年7月20日)

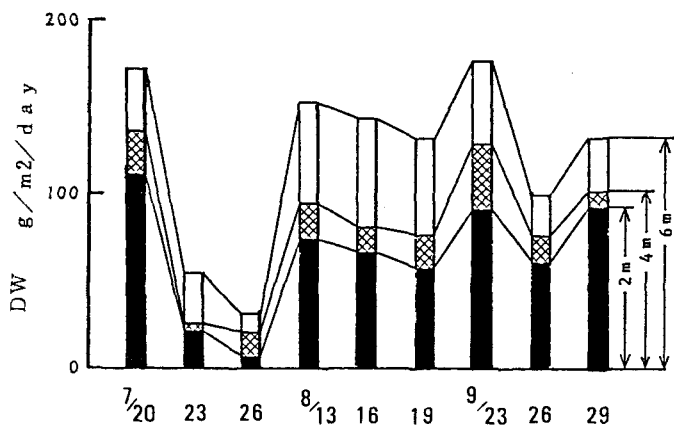


図9 セジメントトラップ補集物量 (3日間平均)

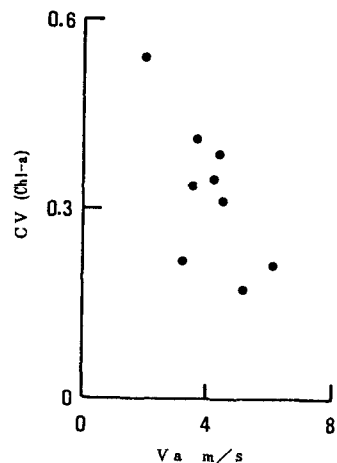


図11 風速と沈降物量の変動係数 (0 mと6 m)

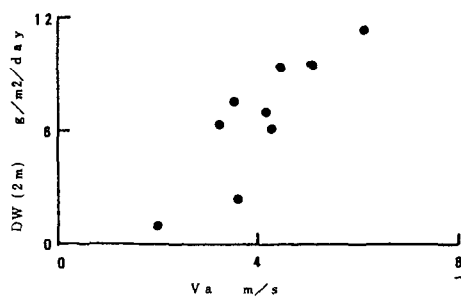


図10 風速と沈降物量 (2 m)

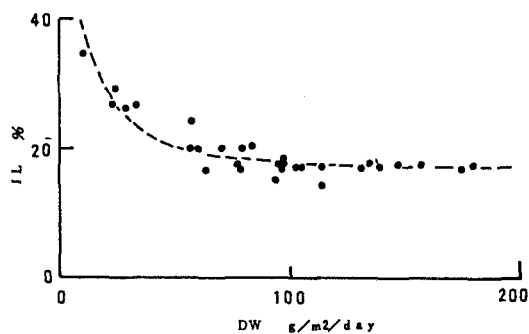


図12 沈降物 (DW) 補集速度とIL (%)

表3 SAαとSBα (mg/g-DW)

	IL (%)	C	N	P	Fe
SAα	49	200	38	2.4	25
SBα	19	61	9	0.8	43

図13 栄養塩の循環 (9/29~10/2)
 [] : 現存量、() : 実験値
 単位 mg/m²/day
 現存量 mg/m²

