

II-38 懸濁物質の粒度分布と鉱物組成
- 水域における栄養塩流出と関連して -

北海道大学工学部 正会員 橋 治国
中川佳久
荏原製作所 佐々木博康

1. はじめに

湖沼やダム湖、内海などの富栄養化が新たな環境問題として取り上げられてから約20年近くたった。この間、様々な富栄養化のメカニズムの解析や制御方法について多くの研究がなされ、人為的な富栄養化においては各種の栄養塩、なかでも窒素とリン濃度とその進行速度を大きく左右することが確かめられた。しかし窒素やリンをはじめとする栄養塩の流出機構についてはまだ十分に理解されていない。筆者らは、このなかで栄養塩の輸送過程における懸濁物質との関わり合いの重要性を指摘してきた。また筆者らは、懸濁物質に含まれる栄養塩が藻類の増殖に容易に利用されることも指摘してきた。^{1), 2)} 河川の増水時など懸濁物質が多量に流出する場合、その富栄養化への影響は無視できないと考えられる。そこで懸濁態栄養塩の水系への流出機構を解明するための基礎研究として、河川水中の懸濁物質の組成や化学的性質について調査を行った。

2. 研究方法

2.1 調査方法

本研究では、従来より筆者らが調査を行っている石狩川水系を対象とした。調査地点は、本川ではSt.1, St.3, St.6、支川では雨竜川 (St.41)、空知川 (St.51) の計5地点である。調査は1986年11月7日 (降雨増水時)、1987年11月2、12日 (平水時) 12月4日 (積雪平水時) の計4回行った。調査地点を図-1に、水質分析結果の例を表-1にあげる。

2.2 分析方法

懸濁物質は、試水から約15000rpmで遠心分離し、その後の分析のため凍結乾燥あるいは冷凍保存した。

2.2.1 粒度分析

懸濁物質の密度は、ピクノメーターを用いて測定した。粒径44 μ m以上の懸濁物質についてはふるいによって、粒径44 μ m以下については光透過式粒度分布測定器 (セイシ Micron Photo Sizer (SKC-2000)) を用いて測定した。なお本文中では、粒径を ϕ スケールで表すこととする。 $(\phi = -\log_2 (\text{粒径}(\text{mm})))$ 、 μ mとの換算値を表-2に、粒径区分と名称を表-3に示す)

2.2.1 鉱物分析

鉱物分析は、X線回折解析装置 (理学電機、Geigerflex D-9) を用いた。試料は定方位試料として準備し、加熱処理、エチレングリコール処理、塩酸処理等の前処理を行い、分析試料とした。

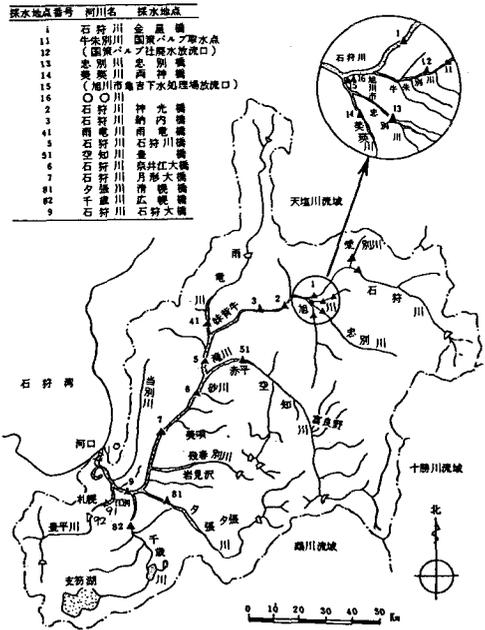


図-1 石狩川水系の概況

表-1 水質分析結果の一例

採水地点	'87.11.2					'86.11.7
	St.1	St.3	St.6	St.41	St.51	St.6
流量 (m ³ /S)	13.9	54.4	131.5	44.1	36.9	307.2
SS (mg/l)	2.9	5.0	13.7	71.2	12.1	26.4
PN (mg/l)	ND	0.052	ND	0.027	0.039	---
TN (mg/l)	0.368	0.891	0.588	0.428	0.917	---
PP (mg/l)	0.006	0.040	0.033	0.049	0.028	---
TP (mg/l)	0.009	0.055	0.038	0.049	0.036	---

表-2 φ-μ

φ	μ _g	φ	μ _g
0	1000	6.0	15.6
0.5	707	6.5	11.0
1.0	500	7.0	7.81
1.5	354	7.5	5.52
2.0	250	8.0	3.91
2.5	177	8.5	2.76
3.0	125	9.0	1.95
3.5	88.4	9.5	1.38
4.0	62.5	10.0	0.997
4.5	44.2	10.5	0.691
5.0	31.3	11.0	0.488
5.5	22.1	11.5	0.345

表-3 粒径区分と名称

2.0 1/4 1/16		1/251 (mm)	
粗砂	細砂	シルト	粘土
-1.0 1.0 4.0		8.0 (φ)	

採水地点	'87.11.12			'87.12.4		
	St.1	St.3	St.6	St.1	St.3	St.6
流量 (m ³ /S)	15.5	69.0	189.9	14.6	70.6	189.9
SS (mg/l)	8.3	12.4	24.0	5.0	10.2	8.6
PN (mg/l)	ND	0.105	0.094	ND	0.085	0.101
TN (mg/l)	0.444	1.338	0.881	0.461	1.465	1.077
PP (mg/l)	0.010	0.049	0.054	0.011	0.044	0.031
TP (mg/l)	0.019	0.082	0.061	0.018	0.064	0.039

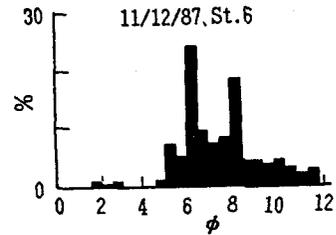


図-2 平水時 (1987.11.12, St.6) の粒度分布

3. 結果および考察

3.1 懸濁物質の粒度分布

図-2に、石狩川平水時(1987.11.12, St.6)における粒度分布の測定例を示した。粒径から組成を分類すると、シルト(49%)、粘土(49%)、細砂(3%)の3種類が混在しており、粘土質のみが優占することはないことがわかる。他の結果とあわせても、平水時の平均粒径は φ = 6-7 と懸濁物質のほとんどがシルト、粘土であることがわかった。粒径 φ = 1-4 の細砂はほとんど存在しない。このことは流程変化による大きな差がなく、河川に流入する時点で均質に近い状態になっているということになる。流況との対応をみるために、図-3に平水時と増水時の粒度分布を St.6 を例に示した。増水時の粒度分布は、平水時に比較すると大きく左にシフトし、砂質の部分が増えるパターンとなる。図の増水時における懸濁物質の組成は、シルト(52%)、細砂(44%)、粘土(4%)となり、かなり粗い粒子が優占している。

一般に堆積物の粒度分布は、正規分布に近いものとされている。³⁾しかし今回対象としたような汚濁河川の懸濁物質は、必ずしもこの傾向は認められず、特に増水時など流況の影響を受け複雑なものとなる。

3.2 比表面積分布について

水質分析(表-1)から、栄養塩、特にリンについては大部分が懸濁態で存在していることが明らかである。したがって藻類増殖時の栄養塩の摂取を考えた場合、懸濁物質の持つ表面積を検討することは重要であ

る。今回は粒度分布のデータをもとに比表面積を求めた。粒子を球形、比重を 2.5 と仮定して計算した。図-4 に懸濁物質の比表面積分布の例 (St.6、1986.11.7、1987.11.2) を示した。図中には流量とSS濃度を併せて記した。平水時 (11.2) においてはそのほとんどが粘土領域で占められ、比表面積は $0.54 \text{ m}^2/\text{g}$ となる。他の調査地点の結果もあわせると、平水時における比表面積は $0.3\text{--}0.6 \text{ m}^2/\text{g}$ のとなった。増水時 (11.7) においては、シルト、細砂の割合が増えるために比表面積は $0.07 \text{ m}^2/\text{g}$ と大幅に減少した。またこの比表面積とSS濃度および流量から懸濁物質の表面積負荷を求めると、平水時は $973 \text{ m}^2/\text{s}$ 、増水時は $568 \text{ m}^2/\text{s}$ となり平水時の方が大きくなった。今回の増水時のSS濃度は 26.4 mg/l と若干低いが、増水後期のためである。したがって増水初・中期などは多量のシルト、細砂が流下するわけであるから、比表面積負荷は懸濁物質濃度に比較してかなり小さいものになるものと推測される。

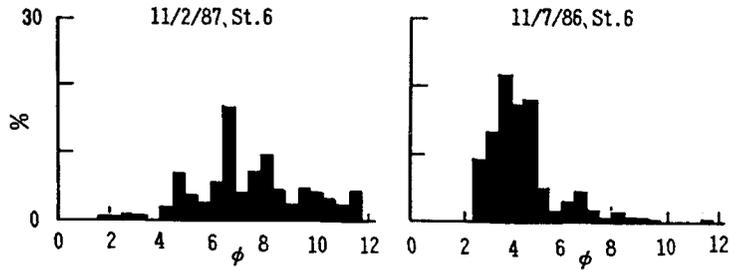


図-3 平水時 (1987.11.2, St.6) と増水時 (1986.11.7, St.6) の粒度分布

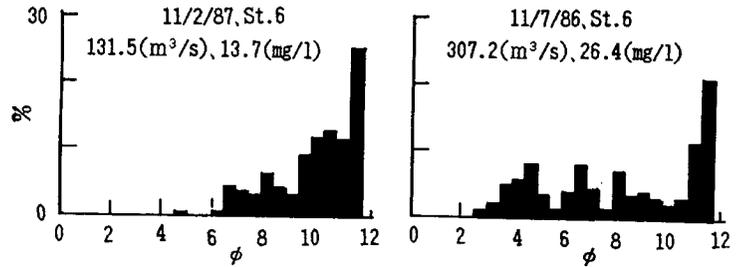


図-4 平水時 (1987.11.2, St.6) と増水時 (1986.11.7, St.6) の比面積分布

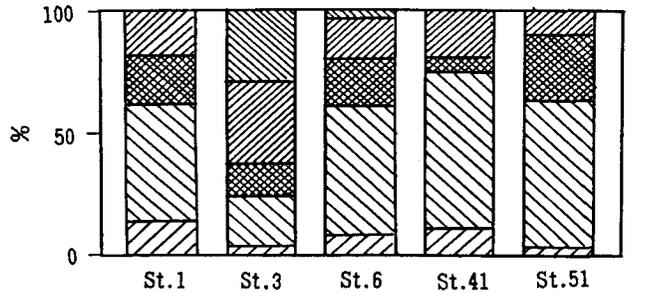


図-5 粘土鉱物の相対量

3.3 粘土鉱物の組成と栄養塩濃度

さらに懸濁物質を鉱物組成から検討するために、X線分析によって粘土鉱物種の同定し、その相対量を求めた。図-5には平水時調査 (1987.11.2) を例にその分析結果を示した。粘土鉱物として モネロナイト、クロライト、イライト、カリナイト、タカの5種類が認められ、St.3 以外の地点ではタカを除く4種類が優占した。

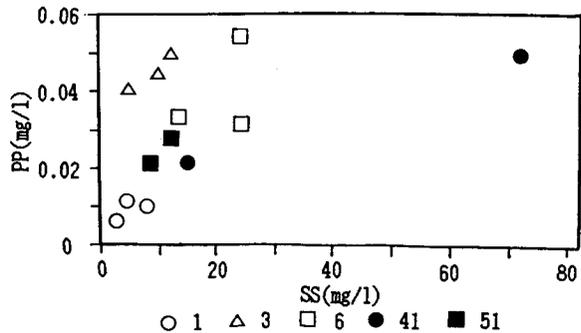


図-6 SSとPPの関係

例えば St.1 ではモンテロライト(10%)、クワイト(35%)、イライト(20%)、カリナイト(35%)の割合である。支川の St.41、St.51 ではクワイトの割合が高く、このため下流の St.6 でもこの傾向が認められ、St.3 と異なるパターンを示すこともあった。懸濁物質の供給源の差異もこの組成分析から知ることができる。

つぎに粘土鉱物の組成と化学組成の関係について検討した。SS濃度と懸濁態リン (PP) 濃度の関係を図-6 に示した。両者に正の相関が認められる。懸濁態窒素 (PN) については相関係数が 0.08 と低く、両者の相関関係は認められなかった。これは量的に少ない生物体に含まれるためと考えられる。そこで PP と各粘土鉱物濃度 (SS濃度と各粘土鉱物の相対量から計算した。) との関係について検討した。図-7 は、モンテロライトと PP、図-8 は、イライトと PP について示したものである。河川別にみるとモンテロライトの方が相関性が高いようである。他の鉱物と比較してもモンテロライトに高い相関性が認められ、その構造、吸着能などが PP の存在量に影響していることが推測された。

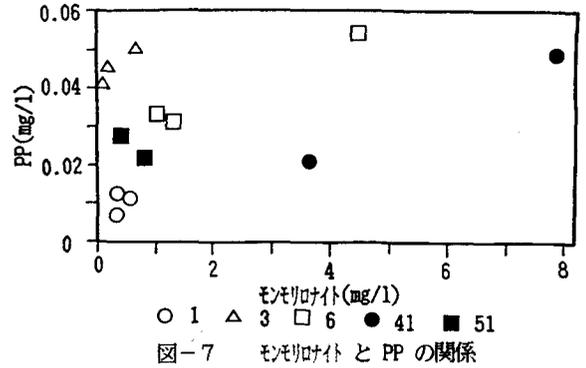


図-7 モンテロライトと PP の関係

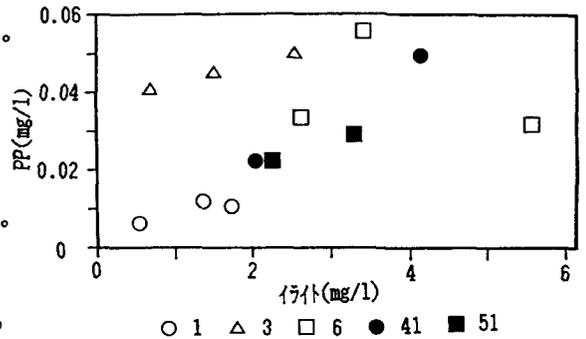


図-8 イライトと PP の関係

4. 結論

今回は石狩川流域を対象に、栄養塩の流出や粘土鉱物組成と関連して、懸濁物質の粒度分布と鉱物組成を調査し、若干の知見を得た。

- 河川水中の懸濁物質は、平時時にはシルトと粘土が 90% 以上を占め、増水時にはシルトと細砂が優占する傾向にある。
- 懸濁物質の比表面積としては、ほとんどが粘土で占められる。栄養塩の藻類への利用を考えた場合、粘土と関わり合いが大きいと考えられる。
- 石狩川本流の懸濁物質の粘土鉱物はモンテロライト、クワイト、イライト、カリナイトの4種類で構成されており、St. 41、St.51 ではクワイトの優占が、St.3 ではクワイトの存在が認められた。
- SSと懸濁態リンの濃度に相関が認められた。粘土鉱物のなかでは、モンテロライトの相関性が高いようである。

現在、増水時の初期流出の懸濁物質を対象に調査しており、今後報告したい。

《謝辞》 本研究を行うに当たり、石井次郎先生(北海道東海大学)ならびに知北和久先生(北海道大学理学部)にご指導いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1)橋 治国他 衛生工学研究論文集、22、p151、1986
- 2)橋 治国他 陸水学会講演要旨集、51回、1C09、1986
- 3)井口昌夫：漂砂と流砂の水理学(古今書院)