

1. 緒言 水質汚濁制御のための水質予測手法は、その複雑な汚濁現象が充分解析されていないために、現在のところ実用可能なまでには整理されていない。たとえば、発生・流出負荷量の見積り方法や、流達・流出率、浄化係数の計算方法等を流況や地域の状況と対応させる必要性など、解決しなければならない点である。筆者は、以上のことを念頭に、石狩川流域を対象として、水質汚濁現象の解析を種々の観点から検討してきた。本報告では、汚濁機構を流出過程と河川流下過程とに区分し、両過程における機構を整理するとともに、それを支配する主要因子を明らかにし、汚濁機構を総合的に纏めることを目的としたが、さらに水質予測手法についても若干の検討を試みた。表1に、河川を対象として、考えられる水質汚濁の諸機構を示した。各機構が、水質変動に対してどの程度影響を与えるかが、検討すべき重要なところである。

表1 水質汚濁機構

2. 研究方法 2-1) 採水地点および採水方法 石狩川流域における採水地点を図1に示した。本・支川の採水地点は流量データを利用できるように北海道庁(都庁)の流量観測地点とし、山陽国策パルプ工場廃液放出口、下水処理場放出口等を含め、17ヶ所を採水地点とした。採水は、流量安定時には月一程度、融雪期・降雨時については、流量の変動に応じて採水した。本報告では、昭和44~48年の水質分析資料を主に用いた。 2-2) 分析方法 一般項目(pH, λ , SS, BOD, COD_{Cr}, TF, COD_{mn}, TIN, Cl, SO₄, 4.3 Bx, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SiO₂(土色))を原則としたが、リグニン, ABS, Org-N, 炭水化物等も必要により加えた。測定方法は、前報を参照されたい。溶存成分は、試料を0.45μmのメンブランフィルターでろ過後定量した。

3. 結果および考察 3-1) 水質の概況 石狩川の水質については既に報告してきたので、ここでは簡単に汚濁のパターンと有機汚濁の特徴について述べる。(1) 季節的水質変化について : 石狩川の大きな汚濁源は、上流部旭川市周辺(No12山陽国策パルプ工場廃液, No15下水処理場放流水... BOD, COD_{Cr}, TIN等)と中・下流部の炭鉱地帯(No5産権, No6奈井江大橋周辺から流入... SS, COD_{ss})にある。これらの人為汚濁物質に加え、地表蓄積物を中心とした自然・人為汚濁物質が流況等に

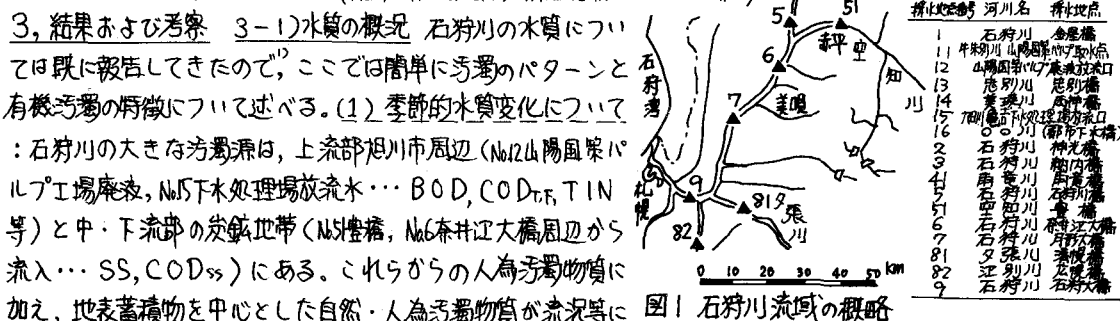
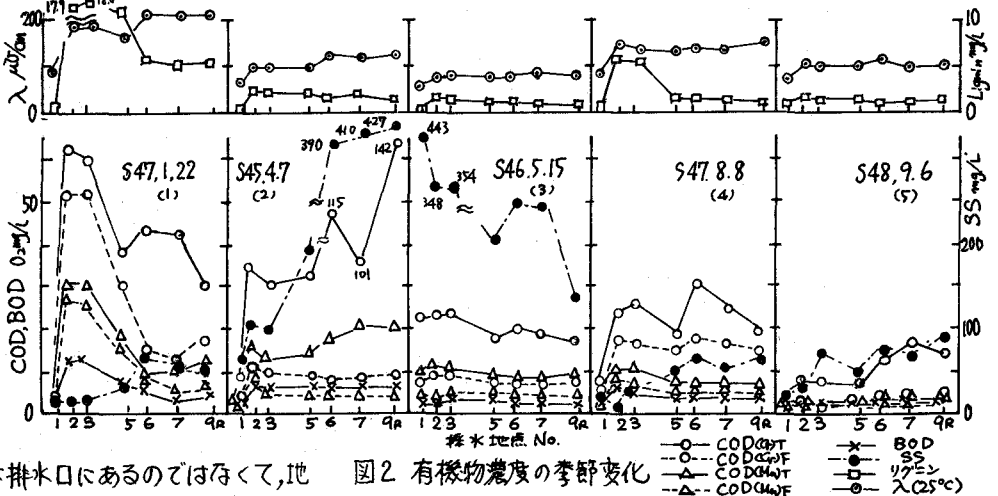


図1 石狩川流域の概略 応じて流入するが、その状態は次のように季節によって分類できる。a) 冬期(積雪期, 12~2月): 低流量のため、全体的に各成分濃度は高いが、旭川市下流のNo12山陽国策パルプ工場で急激に減少するが、No6奈井江大橋周辺特に炭鉱地帯から、難分解性懸濁物質の流入によって、COD_{Cr}, SS濃度が再び高くなる。b) 春期(融雪初期 3~4.5月): 都市平野部の雪融けで、下流部の有機汚濁成分濃度が著しく高くなる。c) 春期(融雪後期, 4.5~6月): 山内部の融雪水量が増し、上流部から多量の無機性懸濁物質が流入する。d) 夏期(7.8月): 低流量のため、各成分濃度は高くなるが、積雪期と比較すると下流部の懸濁物質の流入による影響は大きい。BOD物質の分解もある程度認められる。e) 秋期(9~11月): 降雨に流量が増し、全般的に各成分濃度は低い。下流部においては、流し出し作用によって考えられる懸濁成分濃度が高くなる。(2) 経年的水質変化について(図省略): 昭和47年12月が暖冬異変で冬期の一般的水質パターンと異なり、たほかは、大きな経年的水質変化は認められない。

調査期間中、流域内において汚濁条件の著しい変化はなかったものと推定される。
(3) 有機汚濁現象の特徴：有機汚濁物質の発



生源は、単に排水口にあるのではなく、地表面、下水構、河川の底質等に広く分布し、その発生源は気象条件や流況によって著しく変動する。そこで、この有機汚濁物質の挙動を、No.2山陽国策パルプ工場とNo.5相川尾下水処理場からの汚濁物質流出量とNo.3納内橋での汚濁物質流出量の比(r , $r_{2,3} = C_{2, Q_2} / C_{3, Q_3}$, $r_{5,3} = C_{5, Q_5} / C_{3, Q_3}$)と流量の関係から検討した(図3)一般無機成分についても同様に検討参考とした。各成分の特徴を次に述べる。○BOD, $COD_{MPT} \cdots 100 \sim 200 \text{ mg/L}$ までは、 $r_{2,3}$ は1に近く、No.3納内橋を流下するかなりの部分がパルプ工場廃液に由来していることが認められる。またBODについては、 $r_{2,3}$ が1より大きい場合があり、BOD発現性物質の流出流下過程でのかなりの分解が考えられる。○ $COD_{MPT}/F \cdots COD_{MPT}/T$ に比較し、多流量時で幾分 $r_{2,3}$ の変化が小さく、懸濁性有機物質より洗い出し効果は少ない。○ABS, Org-N, SS $\cdots r_{2,3}, r_{5,3}$ 共に値は小さく、その差も少ない。地表面あるいは下水構から河川へ供給されるものが多いといえる。○リグニン $\cdots$ ほとんどがパルプ工場から流出しているため、 $r_{2,3}$ は1前後である。○LIN $\cdots$ 低流量時に、 $r_{2,3}, r_{5,3}$ は大きい、 200 mg/L で急に減少する。平常時の流出量は少ないが、多流量時に、地表面、下水構等から多量に流出するものと考えられる。○ $Cl_2, SiO_2 \cdots$ Cl_2 はパルプ廃液に多少含まれているため、 $r_{2,3}$ は若干高い。 SiO_2 は、 $r_{2,3}, r_{5,3}$ 共に非常に小さく、いずれの水体内にも同程度含まれていると考えられる。以上のように、No.3納内橋を流下する汚濁物質は、低流量時はそのほとんどがパルプ廃液、下水放流水に由来するが、流量が増加すると r は著しく低下し、両汚濁源以外の貯留性の自然・人為汚濁物質の割合が高くなることが認められた。水質予測上や水質基準の設定の際には、流達、流出率等を流況とよく対応させるべきである。

3-2) 河川流下過程における水質変化についての評価 河川に流入した汚濁物質の一部は、分解・変換作用を受けるが、その大きさは自浄係数や浄化係数によって評価はされるものの、内容については不明確な点が多い。ここでは、石狩川本流の二地点(No.2神光橋とNo.3納内橋)を選び、両地点の水質を比較することによって、流下過程における分解・変換等の作用の大きさについて検討した。両地点間(14.4km, 流下所要時間3~5時間)には農業用水取水口があり、春~夏期に約 $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量が減少するが、流入する大きな汚濁源はなく、このような目的の調査には都合のよい区間である。リグニン(図5), Cl_2 (図省略)にみられるように、難分解性あるいは安定した物質については両地点の濃度差は小さく、このことから区間途中での汚濁物質の流入や支川の流入のないことが認められる。リグニンに認められるように、No.3納内橋で高濃度のことがあるが(○印)、低流量時にはNo.2神光橋で、パルプ廃液等と本流が充分混和されていないと考えられ、他の成分についても同様のものは、○印として区別した。各成分について次の特徴が認められた。○SS, $COD_{gross} \cdots$ 二地点間の濃度差は小さく、流下過程における変換・分解作用はそれ程認められない。多流量時の懸濁物質の増加は、河川底質の浮上よりも、流出機構に支配されているといえる。○ $COD_{MPT}/F \cdots$ 両地点の濃度はほぼ等しく、全溶存有機物としては大きな分解変質

は認められない。BOD
 D: No3納内橋で幾分減少しているがその割合はわずかで(図中破線の $K \approx 1.0/\text{日}$)、自浄作用の効果はあまり認め難い。BOD排出源(パルプ工場)からNo3納内橋までの大巾な減少は(図3), No2神光橋に到達する以前すなわち本流到達前にすみやかに減少すると考えられる。DO(%)
 : No3納内橋で若干飽和

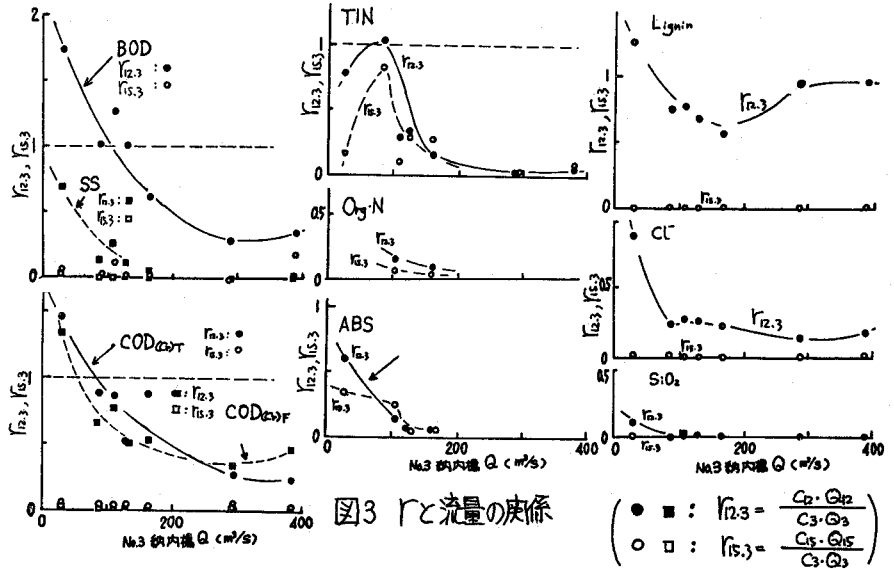


図3 rと流量の関係

率が高く、再曝気効果が認められる。問題は、No2神光橋で既に飽和率であることにある。TIN: 両地点間の濃度差は、NO₃-Nで少ないが、NH₄-Nでその差がかなり認められる。NH₄-Nの微生物体へのとりこみや硝化作用もその一因と思われる。このように流下過程における水質変化については、BODの若干の減少とDOの増加を認めたが、一般的にそれ程評価されるものではない。問題点として、No2神光橋で既にDO, BODが減少していることがある。DOは、低水温時にも減少しているが(図6II), BOD源が主に水量の高いパルプ廃液にあることを考えると、冬期でもこのような廃液が流出すれば(中別川経由), 本流の飽和率を著しく低下させると考えられる。DO(%)とBODの関係からは(図6II), 低水温時と高水温時は、同じようにDO飽和率が低くとも、BODにかなりの差が認められ、このことは有機物の分解過程と密接な関係があると考えられるが、今後の課題としたい。いずれにしても、大川川の有機汚濁成分、特にDO, BODを扱う場合、本流はもちろん、流入以前の流出機構や支川での状態を正確に把握しておく必要がある。

3-3) 流出機構についての評価 流出機構の解析は、発生・流出負荷量や気象条件、地域の特性の正確な把握が必要のため、非常にむづかしい。従って影響因子の最終的な作用の結果の一つである流量と各成分流出量の関係から、気象条件や流域の特性等のデータを参考に解析することが効果的である。ここでは流量安定時と増水時(融雪期)に区別して検討した。

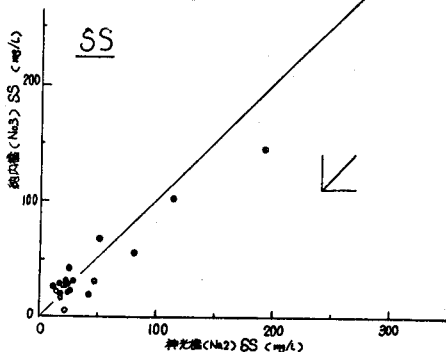
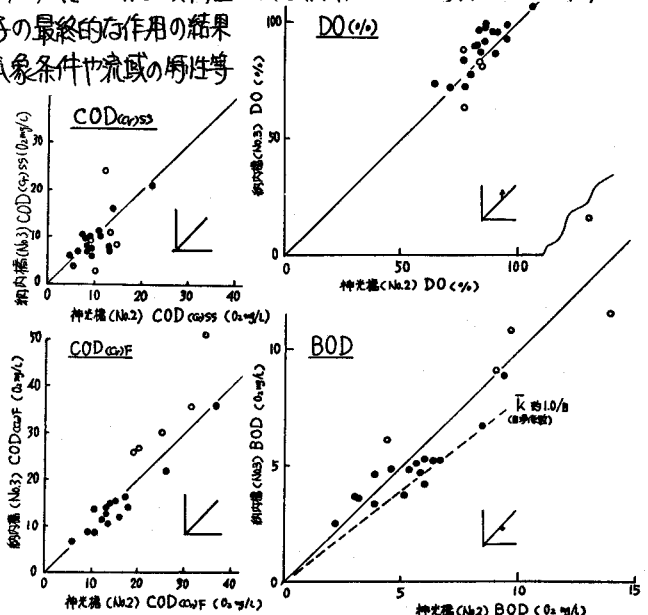


図4 No2神光橋とNo3納内橋の水質の比較(I)



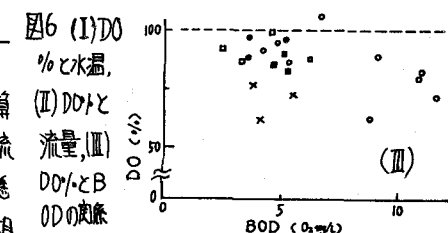
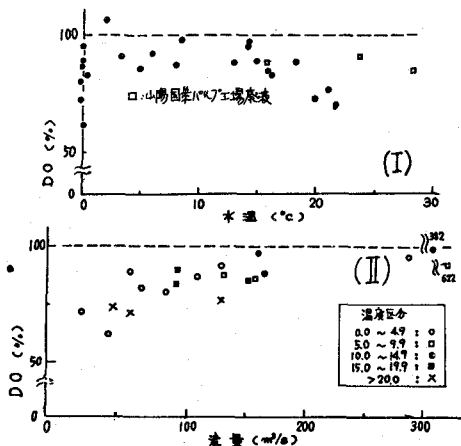
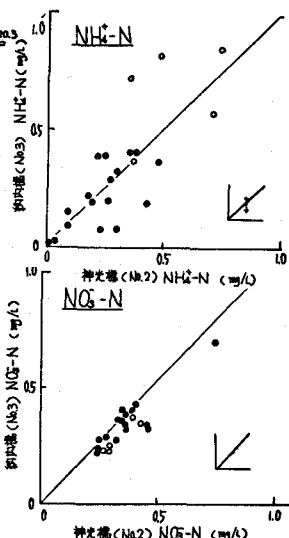
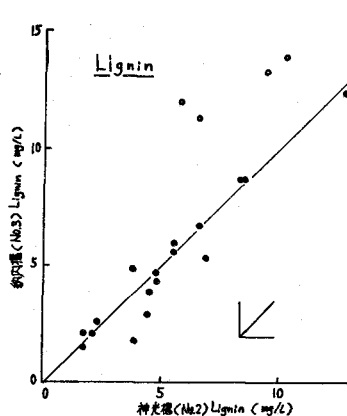


図5 No.2神代橋とNo.3納内橋の水質の比較(Ⅰ)

(1)流量安定時に於いて(S45, S46通年調査):

図7~9に代表6地点に於いての流量と

各成分流出量の関係を示した。図中の相関係数は、○印を除いて計算

(○印は、融雪期の通年調査結果、○印は山陽国鉄バウエス工場停止時)

した。各成分に於いて次のように整理できる。○SS:各地点とも流

量の増加に応じて、流出量は高次段階的に増加する。No.1豊橋(多量

の成分が流出)、No.3納内橋(都市の人間活動物質)、No.5屋橋(低濃度)での相

関は低い。○COD_{Cr}:都市廃水の流入が少ない地点(No.1, No.41, No.51, No.81)では、流量との相関はよく、傾きも

ほぼ同じで、溶解性自然有機汚濁物質は大体5mg/L程度存在すると考えられる。多量の有機排水が流下するNo.3

納内橋では両者の相関は低い。No.6茶井江大橋では自然汚濁物質の割合が高くなり相関も高くなる。○BOD

:COD_{Cr}とほぼ同じ傾向。相関は少し低く、融雪初期に著しく流出することから、人為汚濁物質の割合が多

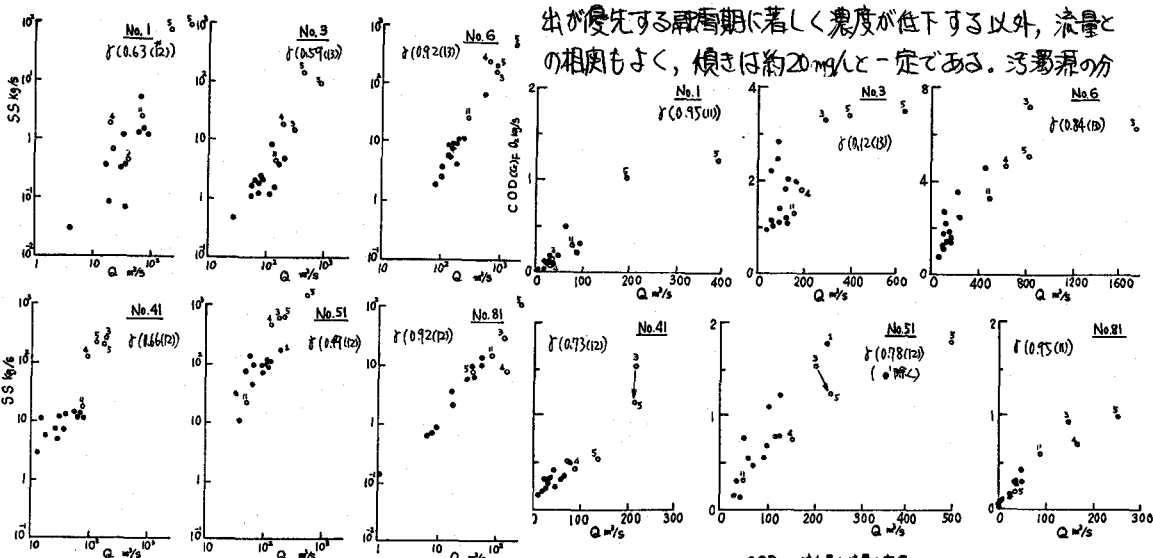
いと推定される。○TIN:融雪期を除くと、NO₃-N流出量は流量との相関もよく分布すると考えられる

が、NH₄-Nは相関も低く、No.5屋橋での傾きが小さいことから、都市活動・人間活動と関連した物質といえる。

融雪期に於いては後述する。○リグニン:特定工場流出物で、流量との相関はない。○SiO₂(比色):両成

分とも汚濁物質とはいえないが、表面流出を中心とした汚濁物質と比較するうえで参考になる。SiO₂は、表面流

出が優先する融雪期に著しく濃度が低下する以外、流量との相関もよく、傾きは約20mg/Lと一定である。汚濁源の分



SS流出量と流量の関係 (log-log) * () 試験数

図7 各成分流出量と流量の関係(Ⅰ) (S45-S46 流量安定時)

布あるいは発生量が地域によって異なることは、相関は非単一的だが、公配は各地点でかなり異なる。 $(r:0.60\sim0.97)$ 。No.3納内橋では、No.2パルプ排水の影響によって幾分低い $(r:0.60)$ 。図10に、人為汚濁率と相関係数の関係を示したが、明らかに、人為汚濁によって流量と流出量の相関の低くなることが認められる。(2)融雪期について：融雪期は年向でもっとも流量の多い時期で、地表蓄積物、時に貯留量に限度のある汚濁物質の挙動を知るうえで都合がよい。No.6奈江大橋で、昭和46、47年に調査したが、各水質成分の経時変化を図11に示した。546年は、気象条件により都市平野部(前半)と山間部(後半)の融雪時期が異なり二度のピークを認めた。図12に、各成分流出量と流量の関係を示したが、流量安定時と異なった二・三の傾向が認められた。SS、COD_{MF}、BODは流量安定時には大差ないが、TINは融雪初期、最大流量に達する前に、洗い出し効果によって流出量が増加するが、その後著しく減り、貯留量に限界のあることが明確に認められる。図11のように、TIN流出量が増すほど $\text{NO}_3\text{-N}$ の割合が多くなり、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が広く分布していると考えられるのに対し、図10人為汚濁率(80%発生負荷量/流域面積)と相関係数の関係

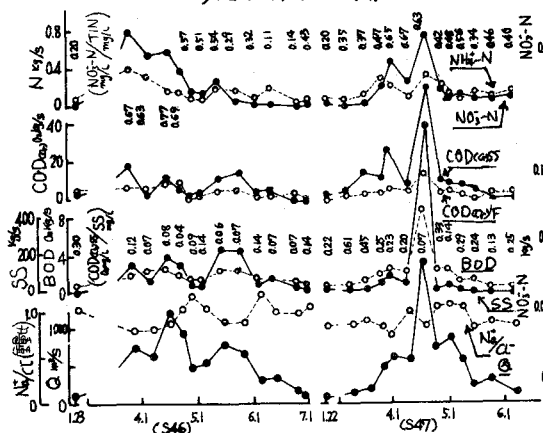


図11 融雪期における水質成分の経時変化

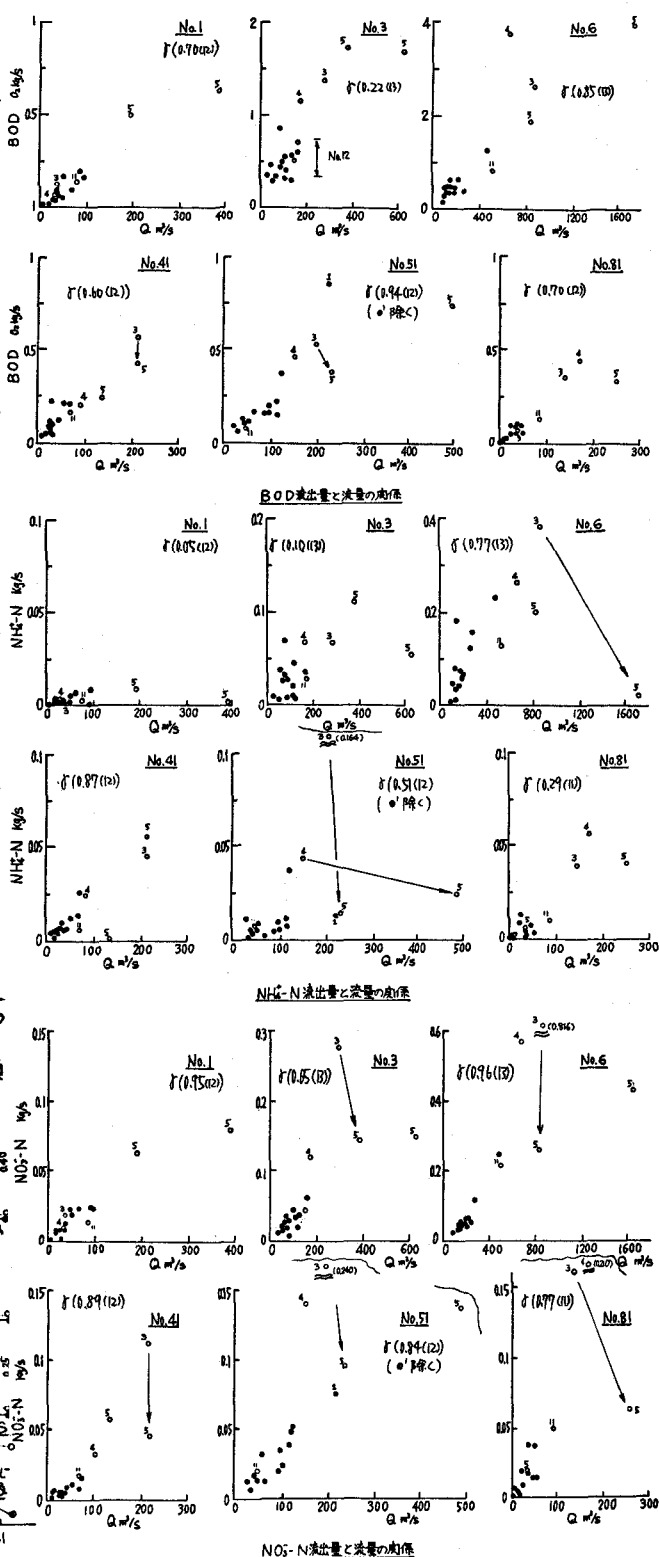


図8 各成分流出量と流量の関係(II) (S45~S46, 流量安定時)

的に存在すると考えられる。SiO₂は、地下水が飽和し表面流出が優先的になった府県端に流出量が減少したが、この時期にTINなどの貯留性物質がかなり流出するようである。以上流量安定時と融雪期を通じ、各成分流出量と流量の関係のパターンは一た把握できた。

3-4) 水質予測手法についての提案 (2), (3)での知見を整理し、発生源での流出パターンの割り当てを中心に水質汚濁機構を考えると、図13のようになる。たとえば、下水処理場放流水は(E)のパターンになる。この表を念頭にした水質予測のフローシートは表2のようになる。目的成分について基準地点までの汚濁源を分類し、各汚濁源に対して流出パターンをあてはめ合成

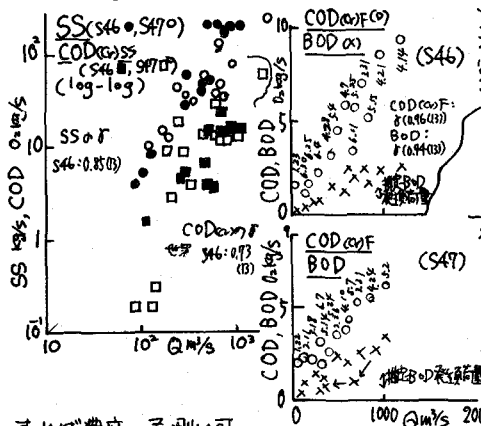


図12 融雪期における各成分流出量と流量の関係 (S46, 1.23~6.30; S47, 1.22~6.7)

すれば濃度の予測は可能である。表中の(V)にあたる

表2 水質予測のフローシート

流量の収支がとれる場合、流量をベースとしての予測
ものは、
SiO₂ 基準地点・対象水質成分の決定
を除く・基準地点までの汚濁源の分類
と統計
的処理
をして
各汚濁源の流出パターンの合成 (流出量 = f(Q), f(Q), const. 等に整理して合成)
要がある
基準地点の濃度(流出量)の予測

る。T (* 河川流下過程における流れの遅延は) 晴天継続日数や積算流量等によ

4. 結言 石狩川流域を対象として、主に流出過程と河川流下過程における汚濁物質の挙動について検討して水質汚濁機構を整理し、水質予測手法についても若干の検討を試みた。今後は、統計的処理を含め、定量的に把握し、水質予測手法をより実用的なものとしたい。

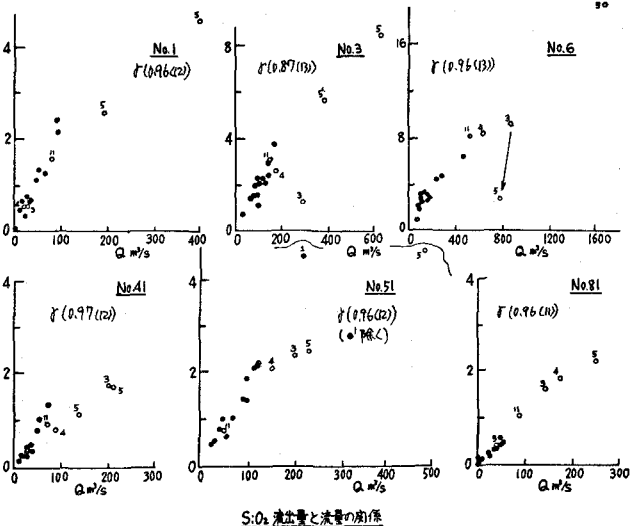


図9 各成分流出量と流量の関係(Ⅷ) (S45-S46 流量安定時)

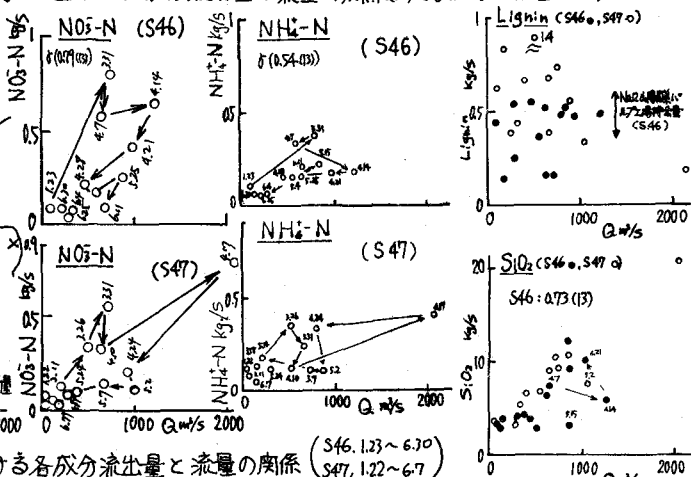


図13 水質汚濁機構の整理