

II-52

河川水質と懸濁物質組成

北海道大学工学部 正員 新 麻里子
北海道大学工学部 岡下 淳
北海道大学工学部 正員 橘 治国

1. はじめに

石狩川支流牛朱別川は、パルプ排水が流入し、川底には大量のミズワタ（生物膜と定義する。）が発生している。これら生物膜は、生理的状況や水文条件と対応して剥離し、石狩川本流に流入後もその浮遊している状態を観察することができる。多量の有機懸濁物質の存在は、水質のみならず生態系にも大きな影響を及ぼしている。

筆者らは、この生物膜の増殖について調査を行ってきた。^{1)~6)} 今回は、生物膜が剥離する様子と剥離後の河川水質への影響について検討した結果について報告する。

2. 研究方法

2. 1 石狩川流域

石狩川は、水源は大雪山系にあり、旭川のある上川盆地を貫流して、石狩平野に入る。旭川の上流部では、良好な水質を保っているが、旭川市内からパルプ排水や生活排水などが流入し、汚染される。調査対象としたパルプ排水（山陽国策パルプ旭川工場排水）は、石狩川支流の牛朱別川に排出されて、牛朱別川の河床には大量の河床生物が増殖し、その様子は景観までも好ましい状態ではない。⁷⁾〔牛朱別川（流量、約20m³/s）に、パルプ排水（流量約3m³/s、BOD約70mg/l）が流入する。〕パルプ排水は下流石狩川本流に対しても、30%以上の汚濁負荷となっている。

2. 2 フィールド調査方法

調査は1991年8月3日～9月14日の期間に行った。調査地点は、図1に示す牛朱別川パルプ排水流入地点（牛朱別川本流合流前）、牛朱別川2地点（功橋<パルプ排水流入前>、緑橋<パルプ排水流入後>）と石狩川本流2地点（納内橋 St.3、奈井江大橋 St.6）の計5地点である。各地点で採水と礫付着生物膜の採取および現場観測（流速、流量、水温、気温等）を行い、試料は実験室に持ち帰って分析した。

2. 3 室内実験方法

水中の、特に河床生物膜からなる懸濁物質の存在状態とその水質への影響を把握するために、室内実験を行った。実験装置は図2に示すような10リットルフラスコを用いた回分型とし、懸濁物質を添加した試料水の水質変化から、懸濁物質の分解過程と水質変化を考察した。実験条件は、25℃の暗条件で、常時スターラーにより攪拌した。実験は、St.3で採取したろ過河川水を基本に、含まれるSSの組成と濃度を変えた4ケースについて行った。実験時間は、河川流下時間を考慮し、96時間とした。

（ケース1）懸濁物質を除去。（但し、植種用として0.9mg/lのSSを含む。）

（ケース2）St.3採取河川水。（河川水中のSSを含む。）

（ケース3）St.12採取生物膜を添加（SS濃度 25mg/l）

（ケース4）St.12採取生物膜を添加（SS濃度 150mg/l）。

2. 4 分析項目

富栄養化関連成分（形態別の窒素およびリン化合物など）を中心にBOD、有機炭素成分、無機イオンなど一般水質成分と従属栄養細菌数（桜井の培地）を測定した。

Water Quality effected by Biofilm of Organic Polluted River Bed
by Mariko ATARASHI, Atushi OKASHITA and Harukuni TACHIBANA

3. 結果及び考察

3. 1 石狩川の有機汚濁の概況 (8月31日調査結果、表1)

石狩川の水質は、旭川市からの生活排水やパルプ排水の影響を大きく受けており、その水質は良好ではない。(有機汚濁) BODは、St.3では3.97mg/lと高く生物利用可能な有機汚濁物質が多い。St.6では2.78mg/lと希釈や自浄作用によって低くなる。TOCでは、St.3 3.16mg/l、St.6 3.48mg/lと0.3mg/lほどSt.6が高くなり、石狩川には難生物分解性の有機物が多いことがわかった。(栄養塩) St.3で、全窒素 0.968mg/l、全リン 0.062mg/l、St.6で、全窒素 0.898mg/l、全リン 0.040mg/lで幾分低くなる。(SS) SSは、St.3 11.4mg/l、St.6 14.1mg/lという結果から、流量が2倍以上増加しているにも関わらずあまり変化していない。

3. 2 牛朱別川における生物膜付着と剥離

牛朱別川のパルプ排水流入口(St.12)で大量に認められる河床付着生物膜量は流速(付着面の直上約3cm)が0.3m/sを超える地点では著しく低下し、その傾向が有機物よりも無機物の方が大きいことが示された。⁶⁾

今回は、現場で定常状態に近い状態で増殖している生物膜の、流速変化(降雨時など流量増加時を想定)による生物膜剥離実験を行った。

流速が0.25m/sの地点の生物膜付着量を流量約1.15m/sの地点に移動し、曝露時間に対する生物膜量の変化を調べた(図3)。移動後45秒までの変化が著しく、最初の生物膜量308g/m²から74g/m²まで低下した。その後は大きな変化はみられず105秒後で50g/m²となった。最初の45秒までには全剥離量の約90%が剥離し、流速が増加することによる影響は短時間で現れることがわかる。有機物の割合にはほとんど変化がなかった。

流速の変化に対する生物膜剥離の影響をみると(図4)、最初の生物膜量が多いほど、そして流速の小さな地点で増殖した生物ほど剥離量が大きくなっている。いずれにしても、パルプ排水で汚濁した河川の河床には大量の生物膜が増殖しており、これらは流速の変化によって容易に剥離することが認められる。すなわち増水の初期に一挙に河川に流出することがわかった。

3. 3 剥離生物膜(SS)の水質への影響

〔有機成分(図5～7)〕 生物分解可能な有機物(BOD)濃度は指数関数的に減少(図5)し、実験開始後40時間程度で半減した。全有機炭素(TOC)濃度は4つのケースとも大きな変化はみられなかった。従って対象水域や生物膜には、難分解性有機物をかなり含んでいることがわかる。BOD分解速度定数(自然対数)を未ろ過試料分と懸濁態分にけて整理したのが表2で、その定数計算例をケース3について図6に示した。室内実験では試料の採取や分析上の問題があり、懸濁態分のケース1、2とろ過試料分について定数を求めることができなかった。未ろ過試料の分解速度定数(0.35day⁻¹～0.85day⁻¹)は、洞沢⁸⁾が調査した石狩川(神威古潭～深川)の分解速度定数 0.60～0.88day⁻¹の範囲にほぼあり、丹保ら⁹⁾が観察した石狩川(全域4区分、6月～10月)での1.73～3.86day⁻¹より若干低い値である。懸濁態BOD分解速度定数(BODSS=BODT-BODF)は、ケース3 0.60day⁻¹、ケース4 0.85day⁻¹で、未ろ過試料と同じレベルにあった。河床生物膜は河川水質に影響を与える易分解性の有機成分をかなり含んでいることになる。河床生物膜がパルプ排水汚濁河川で大量に増殖し、また剥離しやすいことを考えると、この生物膜の増殖防止すなわちパルプ排水の排水処理が、石狩川環境保全のための大きな水質管理対策といえよう。有機物分解と関連して、従属栄養細菌数(桜井の培地による。)の変化を好気性を例に図7に示した。細菌数は、ケース1からケース4へとBOD濃度に対応して多くなった。経時変化は、開始時の細菌数が比較的少なかったケース1、ケース2では実験後半までゆっくりとした増加がみられたが、生物膜量の多いケース4では、初期に減少傾向がみられたが、その後は大きな変化はみられなかった。

〔栄養塩(図8～図11、データは実験過程での試料濃度変化や採取時の問題があり、初期濃度一定として示した。また図は紙面の関係で代表的なパターンを示すものとした。)] 溶存態窒素もBOD同様、ケース1からケース4の順で高濃度となった。窒素の存在形態の経時変化をみると、ケース1、ケース2で徐々にアンモニア態窒素の濃度が減少しているが、ケース3(図8)、ケース4(図9)では緩やかに増加して、40から60時間前後で減少していくというパターンであった。特にケース4で明瞭である。剥離した生物膜は、

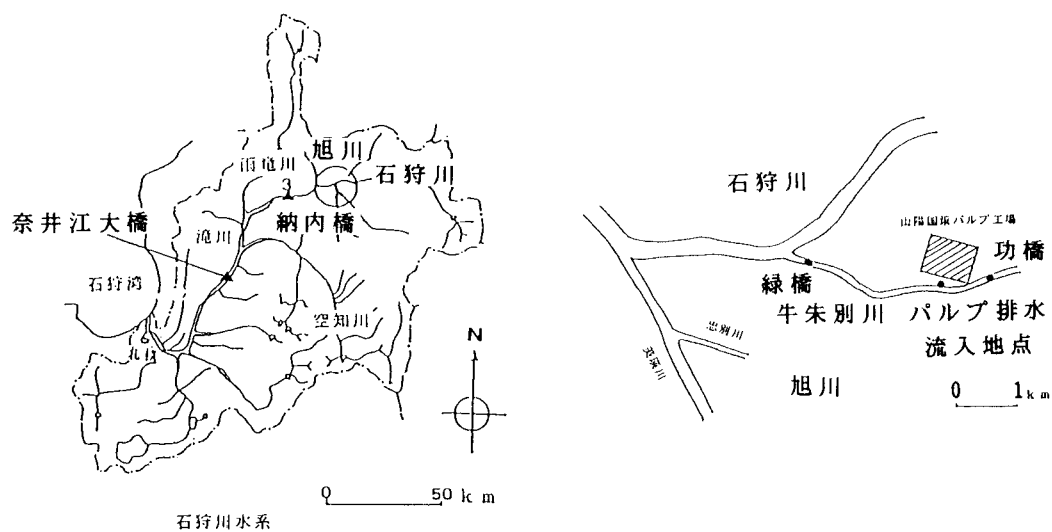


図1 対象水域

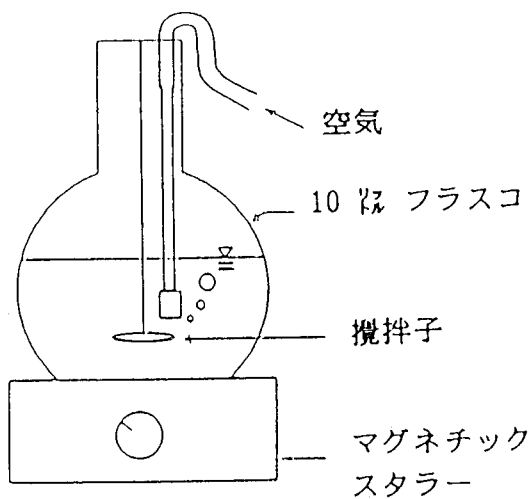


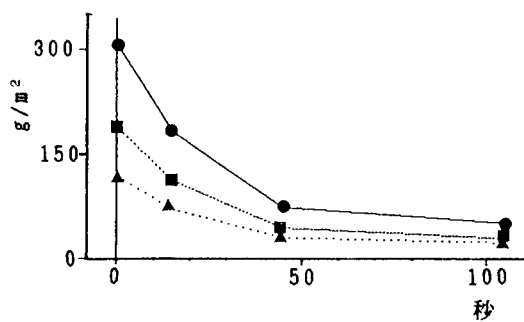
図2 実験装置

表1 石狩川の水質

濃度 mg/l、流量 m^3/s

	Q	SS	T-N	D-N	T-P	D-P
St.3	54.03	11.4	0.968	0.869	0.062	0.016
St.6	106.48	14.1	0.898	0.680	0.040	0.006

	BOD(T)	BOD(F)	COD(T)	COD(F)	TOC(T)	TOC(F)
St.3	3.97	1.49	6.17	3.92	3.16	2.52
St.6	2.78	1.20	3.92	3.38	3.48	2.60



●DW ▲IL ■無機物

図3 曝露時間と生物膜量の関係

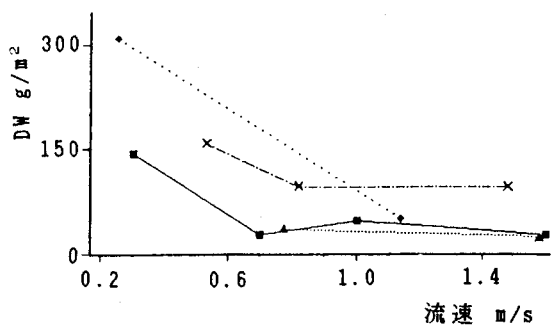
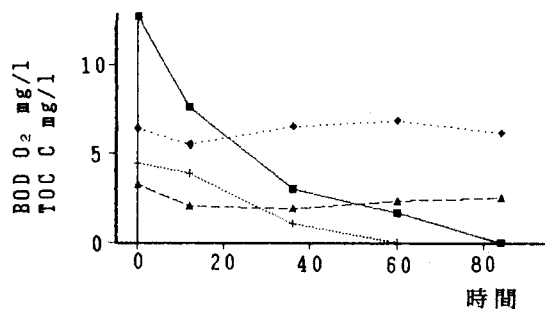
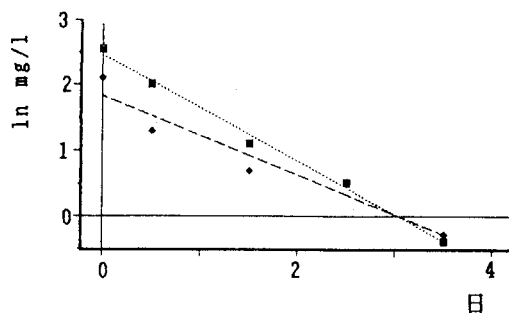


図4 流速とDWの関係



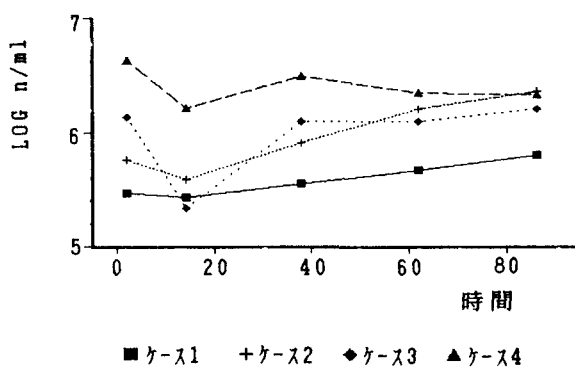
■BOD(T) ●BOD(F) ▲TOC(T) ◆TOC(F)

図5 BODとTOCの経時変化



■BOD(T) ●BOD(SS)

図6 ケース3のBOD経時変化
(自然対数)



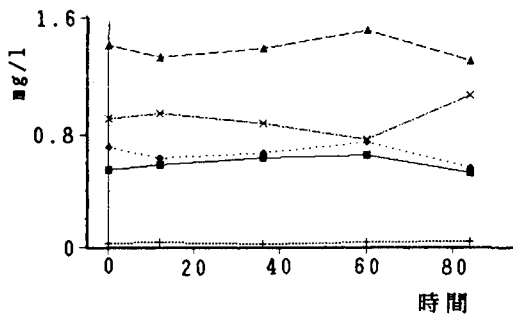
■ケース1 +ケース2 ◆ケース3 ▲ケース4

図7 細菌数の経時変化

表 2 BOD分解速度定数

単位 day^{-1}

	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
未ろ過	0.37	0.35	0.82	0.85
懸濁態	—	—	0.60	0.85



■ $\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ ◆ $\text{NO}_3\text{-N}$ ▲ DN × TON

図 8 窒素の経時変化(ケース3)

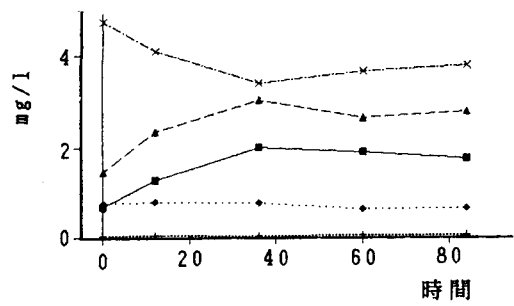
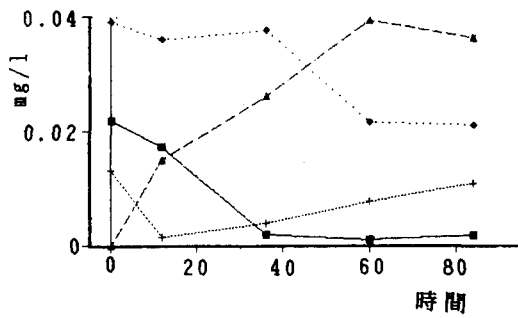


図 9 窒素の経時変化(ケース4)



■ DP ◆ PRP ▲ PCP × POP

図 10 リンの経時変化(ケース2)

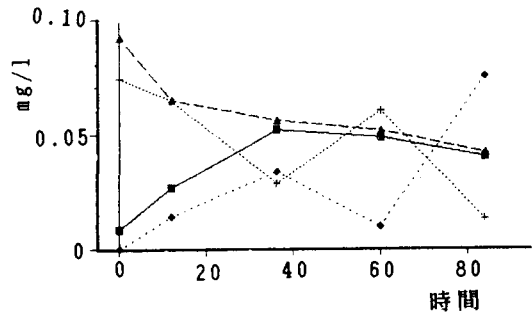


図 11 リンの経時変化(ケース3)

アンモニア態窒素としての河川への負荷になる可能性があることになる。細菌数の変化などから、有機物の分解に伴う増加とその後の酸化による低下と推察できる。硝酸態窒素濃度は、4つのケースとも大きな変化はみられなかった。リンの存在状態の経時変化をみると、ケース1、ケース2（図10）では溶存態リンが減少し、懸濁態有機リン濃度が大きくなり、懸濁物質への吸着や微生物による摂取が認められる。一方、河床生物膜を添加したケース3（図11）、ケース4では溶存態リンの濃度が実験開始直後から増加し、生物膜中のリンの溶出が認められた。

これらのことから、河床生物膜の栄養塩除去能力が認められるものの、増水時などに剥離した場合、流下過程で再び生物に利用され易い形態に変化し、水質を劣化させ、生態系への影響も無視できないことがわかる。

4. 結 論

河川水質に対する河床生物の働きによる影響は大きい。河床微生物の増殖に伴う基質除去によって、水中の有機物はもちろん栄養塩濃度を減少させ、これは自浄能力として評価される。しかし、過度な増殖による生物膜の剥離は河川水中の懸濁物質濃度を増加させるだけでなく、栄養塩の流出や河川環境に様々な影響を及ぼすことがわかった。

石狩川は、上流においてパルプ工場排水や都市排水などを受け汚濁し、その影響が下流に及んでいるわが国でも特殊な川である。石狩川の中、下流部は環境基準でB類型に指定されており、BODについては基準をほぼ満足しているが、生態系の保護や河川環境の価値という面からみると十分とはいえず、河川評価の見直しが求められている。石狩川の場合、上流でのパルプ排水の処理を行うことが、大きな河川機能回復の条件といえよう。

〔謝辞〕本研究に対し河川環境管理財団の河川整備基金助成事業による助成得た。また北海道開発局からは流量データなどの資料を提供していただいた。ここに記して謝意を表します。

（参考文献）

- (1) 橘 治国、大室 敏、木村直人 河床生物膜の組成と水質浄化能（1）-自然河川における組成分析-、土木学会年次学術講演会講演概要集第2部、第40回、p797~798、1985
- (2) 橘 治国、大室 敏、木村直人 河床生物膜の組成と水質浄化能（2）-自然河川における水質浄化能-、日本陸水学会講演要旨集、第50回、D40、1985
- (3) 橘 治国、大畑 博、森口朗彦 河床生物膜の組成と水質浄化能（3）-河床生物膜の栄養塩除去特性-、土木学会年次学術講演会講演概要集第2部、第41回、p757~758、1986
- (4) 橘 治国、中野正博、高木五月 河床生物膜の組成と水質浄化能（4）-自然河川における水質浄化能（II）-、日本陸水学会講演要旨集、第52回、D32、p174、1987
- (5) 橘 治国、森口朗彦、井上隆信、木村直人、大室 敏 河床生物膜の組成と水質浄化能-都市内河川を例として-、衛生工学研究論文集、24、p1~11、1988
- (6) 新麻里子、岡下 淳、橘 治国 有機汚濁河川における河床生物膜の増殖と河川水質への影響、第47回土木学会年次学術講演会講演概要集第2部、p970~p971、1992
- (7) 橘 治国 川を「汚す」権利と「汚させない」権利-パルプ排水による石狩川の水質汚濁-、北海道の自然と動物、No.3、p73~78、1990
- (8) 洞沢 勇 日本における河川の自然浄化作用の特性について、水道協会誌、297、p53~59、1959
- (9) 丹保憲仁、森 貞雄 河川の自浄作用に関する研究、北海道大学工学部研究報告、26、p43~68、1961