



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	広流域の非点汚染
Author(s)	橘, 治国; 山田, 俊郎; 吉澤, 香
Description	第4回衛生工学シンポジウム (平成8年11月7日 (木) -8日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 2 評価 . 2-8
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 4, 78-82
Issue Date	1996-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7828
Type	departmental bulletin paper
File Information	4-2-8_p78-82.pdf



2-8 広流域の非点汚染

橋 治国、山田俊郎、吉澤 香（北海道大学）

1. 緒言

わが国の河川は、図1の石狩川中流部のBOD、CODの経年変化に示すように¹⁾、戦後の高度経済成長に伴って著しく汚染した。これは水質汚濁防止法（1970年）の制定によって徐々に回復し、現在は環境基準を遵守できる状態になってきた。すなわち汚染物質を排出する工場排水や事業所排水は排水基準が適用され、廃水処理が徹底されるようになったからである。しかし水質は改善されたとはいえ、自然の状態とはかなり異なっており、また富栄養化など有機汚濁物質以外の水質成分による環境問題は依然解決されていない。これは、一つに一律の排水基準に限界のあること、もう一つは従来の排水基準では規制の不可能な非点汚染源（非特定汚染、ノンポイント汚染、ディフューズポリューションとも呼ばれる。）の存在にある。平水時については、上乘せ排水基準の徹底によって水質の改善が望まれるが、降雨時や融雪時については、市街地や農地の土壌表面から多量の非点汚染物質が流出し、この流出制御が問題となる。しかしこの非点汚染については、多くの研究者によって重要性が指摘されてはいるものの（最近水環境学会にノンポイント汚染委員会が設立された。²⁾）、その防止対策には進展がない。これは、基礎データが少ないことと、地域性が強いことにある。今後、ケーススタディを増やし、統一的な視点が必要な分野であろう。非点汚染では、有機汚濁物質ばかりでなく、農地からの栄養塩の流亡、埋め立て地からの滲出する微量有害物質など、これまで環境基準であまり取り上げられなかった物質が問題になることも大きな特徴であろう。

本講演では、これまで筆者等が調査を行ってきた石狩川の水質分析結果を基に、非点汚染すなわち田畑や市街地などからの汚染物質の流出現象について検討した結果を報告する。なお本論文は、第30回日本水環境学会大会（1996）³⁾及び寒地技術シンポジウム（1996）⁴⁾で発表した内容に加筆したものである。

2. 研究方法

2.1 対象河川 今回調査対象とした石狩川は、流域面積 14,300 km²、流路延長 262.1 kmの、わが国有数の大河川である。流域の概況と調査地点は図2に示すとおりである。本流の中・下流部の2調査地点（納内橋 St. 3 <流域面積 3,413 km²、上流

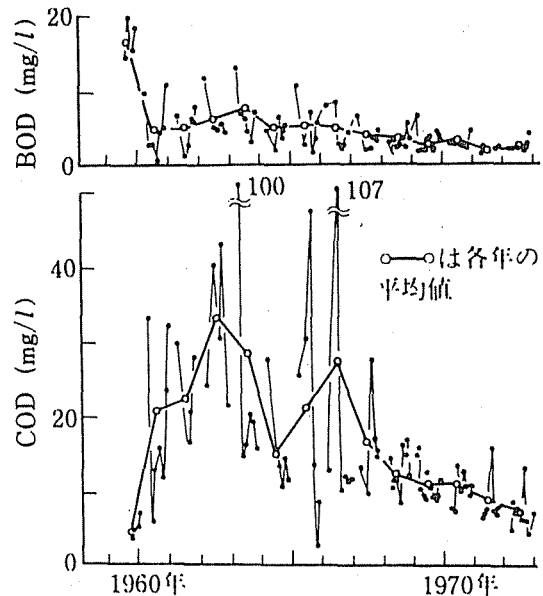


図1 石狩川の汚染
(石狩川橋 St. 5、BODとCOD)

域に旭川市などの都市域が広がる。
 >、奈井江大橋 St. 6<流域面積 8,838 km²、一帯に水田や農耕地が広がる >)を中心に、その水質変化から課題について解析した。

2.2 調査期間と流量変化 筆者等が実施した分析結果を基に以下の3種のデータを整理して解析した。

(1) 流量安定時 (1969年~1972年) 流量が安定した30回の調査データを使用した。特に大きな増水がなかった1971年を流量が安定した代表年(安定時)とした。納内橋での1958年から1975年の平水流量は、116.9 m³/sである。

(2) 融雪増水時 (1989年3月24日~6月28日、融雪時) 融雪増水開始から終了までの61日間に15回の調査を行った。納内橋の最大流量は685.3 m³/sである。

(3) 降雨増水時 (1975年8月23日~8月29日、洪水時) 1975年台風6号による8月洪水時に流量の変動に対応して7回の調査を実施した。納内橋の最大流量は4,243 m³/sに達した。

図3 (1) - (3) に、期間中の流量変化を示した。資料は、北海道開発局による。水質成分の流出負荷量は、(1)、(2) は日平均流量、(3) は時刻流量を基に計算した。
 2.3 分析項目と方法 対象とした水質項目は、汚濁成分(BOD、COD)、富栄養化成分(形態別N、P)そして一般成分(Cl⁻、SO₄²⁻など)である。分析方法は、主に水の分析⁵⁾など、常法に従った。

3. 結果と考察

対象とした (1) 流量安定時、(2) 融雪時、(3) 洪水時の水質

地点No.	河川名	調査地点名
1	石狩川	金星橋
12	牛朱別川	山陽国策 バルブ排水口
3	石狩川	納内橋
41	雨竜川	雨竜橋
5	石狩川	石狩川橋
51	空知川	豊橋
6	石狩川	奈井江大橋
9	石狩川	石狩大橋

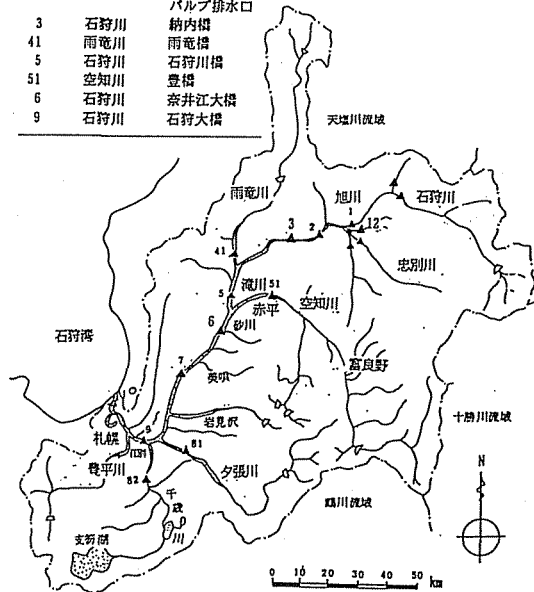


図2 石狩川流域の概況

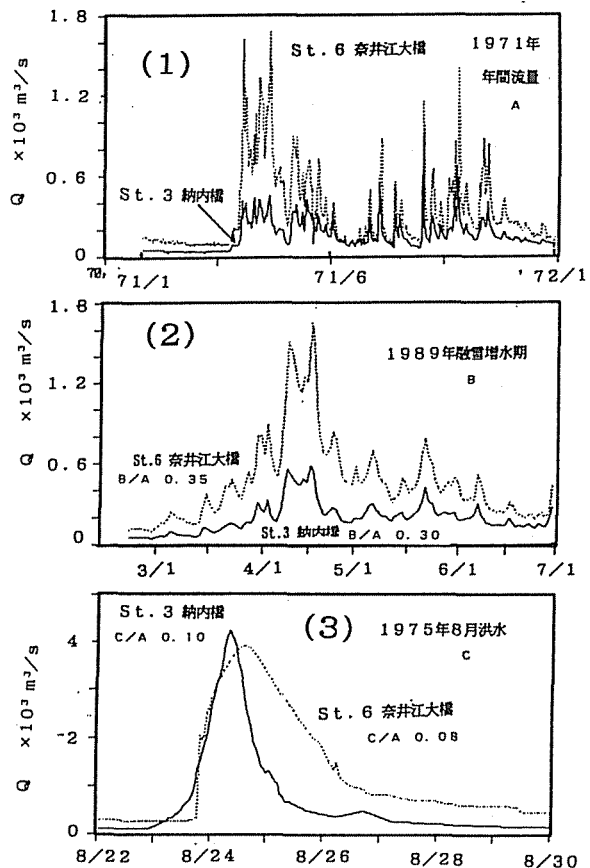


図3 石狩川(納内橋 St. 3、奈井江大橋 St. 6)の流量変化の例
 (1) 年間流量変化(1971年)
 (2) 融雪増水時(1989年)
 (3) 洪水時(1975年)

データと水質についての記述は、既に報告した。⁶⁾⁷⁾⁸⁾ 文献を参考されたい。ここでは、水質成分の流出量について比較検討する。

3.1 比流量と比成分流出量

比流量 ($Q/A : X$) と比成分流出量 ($L/A : Y$) の関係を、 $Y = K \cdot X^n$ で整理し、その n 、 K 値を表 1 に示した。両者の関係は、 $n > 1$ 、 $n = 1$ 、 $n < 1$ に対し、それぞれ流量増加に対し、濃度増加<洗い出し>型、濃度一定型、濃度減少<希釈>型と分類できる。SS、 TOC_{SS} の n は 2 に近く、懸濁態成分は非点源すなわち非特定汚染源として流域に多量に存在していること、 $NO_3^- - N$ や BOD 成分の n は 1 に近く、これらの存在量も非点汚染として無視できないことがわかる。また Cl^- などの一般的な無機成分も n が 1 よりやや小さい程度で、非特定汚染物質としての要素が大きい。また流域が大きくなる下流奈井江大橋で n 値が大きく非点汚染のレベルがあがることがわかる。また n 値は、洪水時 > 融雪時 > 安定時で、増水時に大量に流出することがわかる。流域に農地が広がる石狩川では、非特定汚染すなわち非点汚染の水質への影響の大きいことがわかる。

3.2 平均水質成分流出負荷量

融雪時、洪水時、安定時年間の水質成分の流出負荷量を表 2 に示した。これらの値は、各成分について $Y = K \cdot X^n$ で整理した結果に、融雪時と安定時は日平均流量を、洪水時は時刻流量を代入して計算したものである。図 4 には、融雪時と洪水時の年間値との比率を示した。洪水が短時間に懸濁態を中心に多くの物質を流出させることはいうまでもないが、融雪期も流量に対応させて、BOD 成分や窒素成分を大量に流出させることがわかる。洪水時の一時の水質成分の大流出は、地表に大量の非特定汚染物質の存在することを意味している。また図 4 から、融雪期の納内橋での SS の割合が著しく低く、都市部での懸濁物質の起源は人為的要素すなわち点源的な性格の強いことがわかる。表 3 に、水質成分流出量を単位面積当たりの日平均流出負荷量すなわち原単位として示した。この値についても、当然洪水時 > 融雪時 > 安定時の傾向があるが、下流奈井江大橋 St. 6 で小さくなる傾向

表 1 比流量と水質負荷量の関係

$$L = K \cdot (Q/A)^n \quad (L : g/s/km^2, Q : m^3/s, A : km^2)$$

N : サンプル数 R : 相関係数 試料数

		納内橋 St. 3				奈井江大橋 St. 6			
		N	R	n	K	N	R	n	K
SS	融雪時	15	0.92	1.86	313	15	0.95	1.97	1016
	洪水時	7	0.98	2.32	1830	7	0.90	2.07	3020
	安定時	23	0.89	1.85	1220	21	0.97	1.68	810
BOD	融雪時	15	0.82	0.65	0.978	15	0.91	0.86	1.50
	洪水時	7	0.97	1.02	3.85	7	0.96	1.31	6.94
	安定時	23	0.79	0.57	0.830	21	0.94	0.87	1.96
TOC_T	融雪時	15	0.87	1.10	3.85	15	0.92	1.41	12.6
	洪水時	7	0.99	1.82	37.4	7	0.87	1.45	32.1
	安定時	23	0.80	0.66	2.19	21	0.90	1.04	10.4
TOC_F	融雪時	15	0.40	0.65	0.299	15	0.84	0.91	1.43
	洪水時	7	0.98	1.02	2.27	7	0.97	1.02	2.60
	安定時	22	0.62	0.38	0.411	21	0.93	0.72	1.36
TOC_{SS}	融雪時	15	0.83	1.48	6.91	15	0.76	1.92	18.2
	洪水時	7	0.99	2.22	45.2	7	0.85	1.53	27.9
	安定時	22	0.83	1.16	5.74	21	0.85	1.29	12.0
Cl^-	融雪時	15	0.98	0.54	2.18	15	0.96	0.75	4.14
	洪水時	7	1.00	0.67	3.17	7	0.98	0.80	3.74
	安定時	23	0.91	0.49	1.13	21	0.96	0.76	4.03
SO_4^{2-}	融雪時	15	0.63	0.59	1.51	15	0.70	0.36	0.42
	洪水時	7	0.91	0.85	7.71	7	0.98	0.72	6.42
	安定時	23	0.89	0.48	2.24	21	0.95	0.62	4.91
4.3Bx	融雪時	15	0.95	0.64	0.130	15	0.97	0.80	0.250
	洪水時	7	1.00	0.70	0.169	7	0.98	0.81	0.264
	安定時	23	0.96	0.72	0.122	21	0.98	0.78	0.239
SiO_2	融雪時	15	0.98	0.77	5.58	15	0.99	0.82	5.13
	洪水時	7	1.00	0.78	10.20	7	0.96	0.83	9.50
	安定時	23	0.82	0.67	4.60	21	0.89	0.65	4.35
$NH_4^+ - N$	融雪時	15	0.49	0.43	0.041	15	0.72	0.87	0.099
	洪水時	7	0.86	0.56	0.040	7	0.86	2.10	0.770
	安定時	23	0.50	0.64	0.050	21	0.55	0.66	0.088
$NO_3^- - N$	融雪時	15	0.59	0.72	0.176	15	0.83	1.00	0.332
	洪水時	7	0.99	1.10	0.620	7	0.98	0.95	0.450
	安定時	23	0.90	1.11	0.538	21	0.95	1.23	0.800
TIN	融雪時	15	0.64	0.60	0.204	15	0.82	0.91	0.404
	洪水時	7	0.99	1.01	0.650	7	0.99	1.03	0.660
	安定時	23	0.83	0.89	0.389	21	0.90	1.01	0.761

があり、これが洪水時に顕著である。成分によっては貯留量の限界を認めることができる。しかし4.3Bxはいずれの時期も下流奈井江大橋St. 6で大きく、土壌で大量に生産蓄積されていることがわかる。

3.3 平均水質の比較

表4に、融雪、洪水時そして年間平均濃度を示した。期間中の総水質成分流出量を総流量で除したものである。すなわち流量加重平均値である。年間値に比較して、洪水時の懸濁態成分濃度が高いこと、窒素成分や一般無機成分については増水時と年間値の差があまり大きくないことがわかる。これらのことは環境に直接影響する水質成分濃度が、非点汚染の寄与によって、増水時にもあまり減少しないことがわかる。

4. 結論

石狩川の流出特性や流出負荷から、非点汚染について検討した。例えば森林河川など小さな流域では、極めてシャープに流域の流出特性が認められるが⁹⁾、石狩川のような広流域になると水質成分ごとに特性が異なり、また高流量時には水質成分が大量に流出するなど、平均的な特性で汚染に対応する必要がある。すなわち地表面や土壌中に存在する汚染物質は、この広域的に大量に存在するといえる。

水質基準の設定によって、点汚染源の排水規制がかなりの効果が認められてきた今、新しく富栄養化や微量汚染、さらに自然生態系の回復が大きな水環境の話題になってきた。しかしこ

表2 水質成分流出負荷量の比較

	納内橋 St. 3			奈井江大橋 St. 6		
	融雪時 1000t/ 61日	洪水時 1000t/ 7日	年間 1000t/ 365日	融雪時 1000t/ 61日	洪水時 1000t/ 7日	年間 1000t/ 365日
Q (m ³)	1442*10 ³	466*10 ³	4797*10 ³	3607*10 ³	843*10 ³	10250*10 ³
SS	57.6	480	583	375	624	1247
BOD	3.4	1.8	14.3	7.6	3.7	29.8
TOC _r	4.3	11.1	28.6	17.0	14.4	76.0
TOC _f	1.0	1.05	12.9	6.5	2.16	33.7
TOC _{as}	3.2	1.22	17.7	7.5	11.3	54.0
NH ₄ ⁺ -N	0.25	0.031	0.70	0.50	0.15	2.6
NO ₃ ⁻ -N	0.50	0.26	1.9	1.21	0.41	4.2
TIN	0.80	0.28	2.6	1.82	0.53	7.6
DN	0.91			2.30		
PN	0.12			0.44		
TN	1.04			2.82		
DRP	0.006			0.013		
DP	0.016			0.290		
PRP	0.042			0.246		
PP	0.080			0.370		
TP	0.099			0.405		
Cl ⁻	9.9	2.13	25.0	27.6	4.36	84.9
SO ₄ ²⁻	6.0	4.17	50.5	7.5	8.50	163
4.3Bx*	0.460	0.108	1.35	1.459	0.299	4.75
SiO ₂ (比色)	14.4	1.86	58.5	28.9	10.5	133

注) * 10³eq/7日

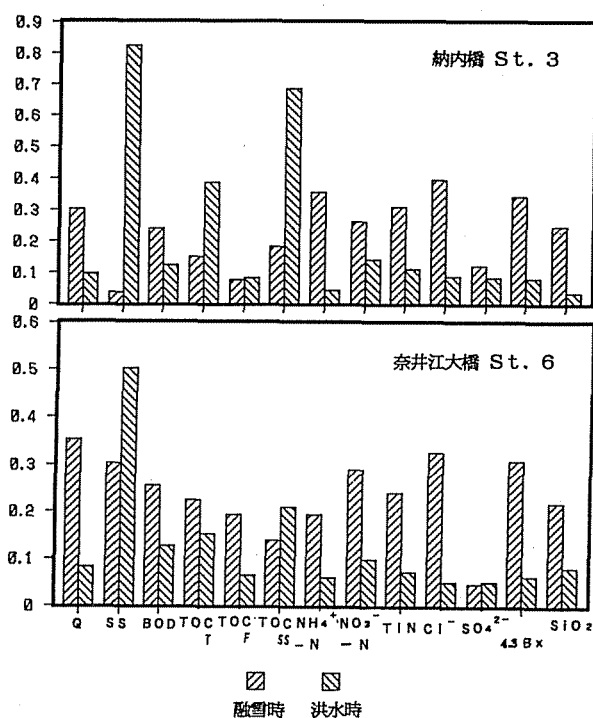


図4 年間負荷に対する融雪時、洪水時の比率

れには広域的な非点汚染が密接に関わっていることがわかった。人間は、土地を、土壌を、換言すれば自然を開発しすぎてしまった。新しい視点で、水環境保全のために、再出発しなければならない。

参考文献

- 1) 橘 治国 河川汚濁と水質浄化 健康と環境の工学 (152-156)、技報堂、1996
- 2) シンポジウム「ディフューズポリューションの現状と課題」、第30回日本水環境学会年回講演集、1996
- 3) 橘 治国 流量変動と汚濁負荷、第30回日本水環境学会年回講演集、p512、1996
- 4) 橘 治国、吉澤 香、山田俊郎、阿部正明 石狩川の非特定汚染、寒地技術論文・報告集、印刷中、1996
- 5) 日本分析化学会北海道支部 水の分析 (第4版)、化学同人、1994
- 6) 橘 治国、那須義和 石狩川の水質-汚濁物質の流出機構を中心として-、衛生工学研究討論会講演論文集、第14回、p90-96、1978
- 7) 橘 治国、清水達雄、中川佳久 石狩川の融雪期水質、水文・水資源学会誌、Vol. 9、No. 5、p444-456、1996
- 8) 橘 治国 洪水時における水質と水質成分の流出特性-石狩川1975年8月洪水について-、水文・水資源学会、Vol. 6、No. 3、p254-267、1993
- 9) 橘 治国 森林河川における栄養塩の流出と懸濁物質の役割」水環境学会誌、Vol. 16、No. 7、p450~456、1993

表3 融雪時、洪水時及び年間の水質成分流出負荷量 (日平均流出負荷量)

	納内橋 St. 3			奈井江大橋 St. 6		
	融雪期 kg/km ² /日	洪水時 kg/km ² /日	年間 kg/km ² /日	融雪期 kg/km ² /日	洪水時 kg/km ² /日	年間 kg/km ² /日
Q (×10 ³ m ³ /km ² /day)	6.9	19.5	3.9	6.7	13.6	3.2
SS	276.8	2010	467	695	10125	386
BOD	16.3	73.6	11.5	14.2	60.6	9.2
TOC _r *	20.8	463.9	23.1	31.5	232.9	29.7
TOC _f *	4.9	44.3	10.4	12.1	34.9	10.4
TOC _{sa} *	15.2	509.6	14.3	13.9	181.5	16.7
NH ₄ ⁺ -N	1.19	1.29	0.562	0.93	2.47	0.801
NO ₃ ⁻ -N	2.40	11.0	1.50	2.25	6.65	1.31
TIN	3.83	11.9	2.09	3.38	8.63	2.36
DN	4.36			4.27		
PN	0.58			0.81		
TN	5.00			5.23		
DRP	0.030			0.024		
DP	0.078			0.054		
PRP	0.203			0.456		
PP	0.385			0.687		
TP	0.475			0.752		
Cl ⁻	47.6	89.2	20.1	51.1	70.4	26.3
SO ₄ ²⁻	29.0	175	40.5	13.9	137	50.4
4.3Bx**	2.21	4.56	1.08	2.71	4.83	1.47
SiO ₂ (比色)	69.1	78.0	47.0	53.5	169	41.3

注) * 洪水期と年間値のTOCはCOD (Cr) × 0.375で換算した。
 *** 10³ eq/km²/日

表4 融雪時、洪水時及び安定時の平均濃度

	納内橋 St. 3			奈井江大橋 St. 6		
	融雪期 mg/l	洪水時 mg/l	年間 mg/l	融雪期 mg/l	洪水時 mg/l	年間 mg/l
Q (m ³ /s)	274	771	152	684	1394	325
SS	39.9	1030	121	103.9	743	122
BOD	2.4	3.8	3.0	2.1	4.4	2.9
TOC _r	3.0	23.8*	6.0*	4.7	17.1*	5.3*
TOC _f	0.7	2.3*	2.7*	1.8	2.6*	3.3*
TOC _{sa}	2.2	26.1*	3.7*	2.1	13.4*	5.3*
NH ₄ ⁺ -N	0.17	0.07	0.15	0.14	0.18	0.25
NO ₃ ⁻ -N	0.35	0.31	0.39	0.34	0.49	0.41
TIN	0.55	0.34	0.54	0.51	0.63	0.73
Cl ⁻	6.9	4.6	5.2	7.6	5.2	8.3
SO ₄ ²⁻	4.2	9.0	10.5	2.1	10.1	15.9
4.3Bx**	0.319	0.234	0.281	0.404	0.335	0.463
SiO ₂ (比色)	10.0	4.0	12.2	8.0	12.4	13.0

注) * TOC = COD (Cr) × 0.375 ** meq/l