

石狩川上・中流部における汚濁許容負荷

北海道大学工学部衛生工学科 神山桂一
 丹保憲仁

石狩川水系については既に経済企画庁による水域の指定および水質基準が公示され、既報¹⁾のごとく現在は一応その基準がまもられている。しかし、この基準を設定するための調査が行われたのは昭和34, 35年度であり、それ以後に流域内の様相は年ごとに変化してきた。また当時は調査資料が充分でないまま対策が進められたものもないとは云えない。本水系についてはその後も調査が継続して行われている。それらの資料をもとにして特に問題の大きい上・中流部分について、今後の汚濁状況がどのように変わってゆくか、また要望されている水質を維持するためにはどの程度まで汚濁物の放流を許しうるかを計算してみたので取まとめて報告する。

(1) 石狩川水系上、中流部分の概況

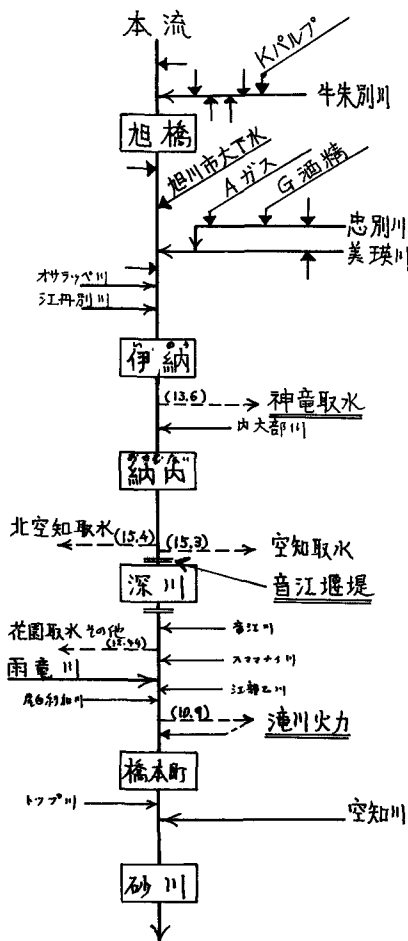
石狩川の上流、特に旭川市周辺部から中流部の空知川が合流する地点までを考察の対象とする。これ以下の流域に關してはつぎの機会にゆづることとする。対象とする区画の水系の概略を模式的に示したものが図一である。

(2) 汚染源と利水地矣

図一の旭川市周辺部では下水(都市下水と屎尿処理場放流水)および工場廃水が汚染源となっている。さらに上流では現在のところ問題となるものはない。工場廃水のうち大部分の有機物負荷はKパルプ工場から排出されている。この区域におけるBOD負荷を都市下水によるものと工場廃水によるものとに分けると表一のようになり、下水によるものの比率が次第に増加している。

観測点である伊納^{いの}から空知川合流点までには現在是有機汚染源はない。ただし42年度から始った下水道整備5ヶ年計画が進行すると深川市の下水道が汚染源として加わる。支流である雨竜川の上流には炭坑があるが、本流への影響はそれほど大きくはない。

利水地点として農業用、水産用、工業用の三種、ほぼ三地点に集約できる。まず農業用水としては上流側から順に取水量 13.6, 15.4, 15.3 m^3/sec の3大用水と、その他の小規模な取水権を合せて14.4 m^3/sec , 合計 57.6 m^3/sec が伊納の下流約8kmの箇所から散在している。水産用としては深川市のやや上流の音江堰堤に鮭鱒捕獲場がある。工業用としては橋本町のやや上流に滝川火力発電所の取水口



図一 石狩川上・中流部

がある。

以上の各利水地点に対して問題となる汚濁成分は有機物質および浮遊物質の2項目に要約できる。浮遊物のうち、河川内で発生する“みずわた”が土砂を付着させながら浮遊してい

るものが、灌漑水路あるいは水田に沈澱堆積して稲作に被害をおよぼすと考えられている¹⁾。従って流水中の有機物を減少させてみずわたの発生を防止することがこの水域での汚濁防止の第一目標となる。ところでその目標値をいかに定めるかにはなお問題が多い。北海道立衛生研究所の実験結果³⁾によればこの区域のみずわたの発生量と河水のBOD₅濃度とはほぼ比例関係があることが認められている。さらにみずわたの発生量とそれとともなる被害量との相関が求まるならば、目標とする流水中のBOD濃度を理論的に決定できる。この点については今後なお研究が必要である。経産省の水質基準ではこれにかりに5mg/lとしている。

水産用としての要望水質は北海道では鮭鱒保護のためBOD₅は3mg/lとしている。対象区画では深川市と流の音江堰堤がこの利用地点となる。

発電所用水として要望される水質は冷却水およびボイラー用水としての水処理の経費によって定まる。一般河川水の平均単価としての0.33円/m³に比較してどの程度の水処理全費を許容しうるかに関しては参考となる発電所側の資料を調査せねば。ただ問題となるボイラー用水としての原水の処理(凝集沈澱、イオン交換)を実用的に行いうる限界がCOD 20mg/lであることがわかった。発電所取

水口のすぐ下流にある観測地点の橋本町における水質資料からBOD₅とCODの相関を求めてみると図-2のようになつた。従って橋本町における河水のBOD₅を4mg/l以下におさえれば、発電所用水として使用できることが判った。

以上の三つの面から要望される水質のうちBOD₅濃度のみをとりまとめたものが表-2である。

(3) 流量および流下時間

この区画での河川流量は北海道開発局石狩川治水事務所(現在は石狩川開発建設部)によって図-1の観測点において観測されている。昭和33年より35年までの調査資料にもとづいて変動量を検討した結果、各月ごとに表-3に示すような値をとるのが妥当と考えられた。5月から8月にかけては前記の灌漑用水の取水を行った結果の下流流量が表わされている。このなかで^{おさむない}納内の流量が上流の俘納の値にくらべてかなり大きなものとなっている。その後の調査の結果、これは流量計の記録に過りがあったためと考えられるので、近

表-1 旭川市周辺部のBOD負荷(g/sec)の比較

汚濁源	34年9月	35年3月	35年6月	41年6月	41年7月	45年予想
都市下水	29	105	139	204	56	383
工場廃水	661	957	356	550	255	962
下水負荷 / 廃水負荷	4.2 95.9	9.9 90.1	28.1 71.9	27.1 72.9	18.0 82.0	28.4 71.6

表-2 石狩川上中流部要望水質

利水地点	期 間	BOD ₅ mg/l	堰橋りの流下距離 km
神竜取水	5月～8月	5	17.0
音江堰堤	6月～11月	3	30.9
滝川火力	通 年	4	63.7

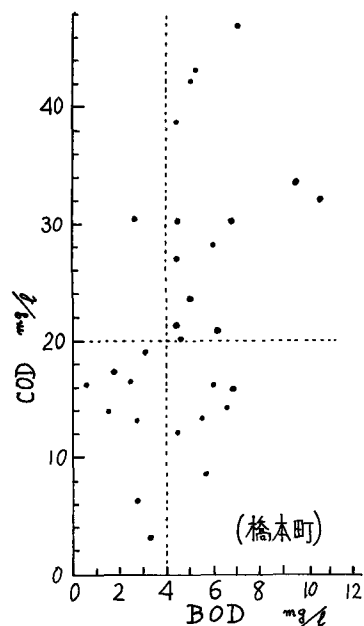


図-2 BODとCODの相関

い将来にはこの地実の正しい流量をもとにして表-3および表-5を改正しなければならぬ。

このような流量に対して石狩川本流の流下時間を求めてみた。流路を多数の区間に分割し、河川縦・横断面図や航空写真を利用して各区間ごとの平均流水断面や平均河床勾配を求め、Bazinの公式を基礎として各区間の平均流速を求めた。また多数

表-3 各月の代表的流量 (m/sec)

観測点	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
旭橋	20 40	20 40	20 40	180 200	180 200	180 200	180 200	60 80	60 80	40 60	20 40	20 40
伊納	40 60	40 60	40 60	280 300	220 240	140 160	180 200	100 120	100 120	80 100	80 100	80 100
納内	220 220	160 180	220 220	380 400	240 260	220 220	160 180	160 180	180 200	140 160	140 160	140 160
深川	220 240	180 200	180 200	380 400	240 260	220 220	160 180	160 180	180 200	160 180	160 180	180 200
橋本町	100 120	100 120	120 120	460 480	400 420	220 240	140 160	160 180	160 180	140 160	160 180	160 180

表-4 フロートによる表面流速測定結果

区間	区間距離 (m)	流下時間 (分)	表面流速 (m/sec)
旭橋～伊納	8,750	120	1.215
伊納～神竜取水	8,200	123	1.111
神竜取水～納内	8,600	167	0.858
納内～音江堰堤	4,350	86	0.843
音江堰堤～深川堰堤	4,570	123	0.619
深川堰堤～雨竜川合流	13,650	261	0.873
雨竜川合流～橋本町	15,500	236	1.095

昭和35.8.21～8.22

の測定を行った結果(表-4)を参考としてこれを補正し、観測地点間それぞれの流量と流下時間との関係を示す図表を作製した。詳細は参考文献(4)にゆづる。この曲線から表-3の流量に対する各月ごとの区間流下時間の代表値を求めたものが表-5である。各水質調査時の流下時間は上の流量-時間曲線から簡単に求められるが、途中で多量の取水がある場合には、その区間をさらに分割して求めた。

表-5 各月の代表的流下時間 (hr)

区間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
旭橋～伊納	2.14	2.14	2.14	1.25	1.25	1.48	1.48	1.69	1.69	1.86	2.14	2.14
伊納～神竜	5.88	5.88	5.88	3.44	1.76	2.02	2.21	2.21	4.67	4.96	4.96	4.96
神竜～納内					1.60	2.28	2.53	2.53				
納内～深川	1.47	1.56	1.47	1.21	1.39	1.46	1.56	1.56	1.57	1.62	1.62	1.62
深川～橋本町	6.74	6.97	6.97	4.60	5.43	5.83	6.57	6.57	6.07	6.48	6.48	6.14

(4) 浄化速度恒数

対象区間で問題となる有機物をBOD₅で代表させることにし、河川内での浄化がどの程度のペースで行われているかを求めてみた。

最も簡単に考えて、流量にかんりの変化がある場合にはBOD₅濃度と流量との間につきのような関係があるとした。

$$C_2 Q_2 = C_1 Q_1 \exp(-\bar{K} t_i) + C'_2 Q'_2$$

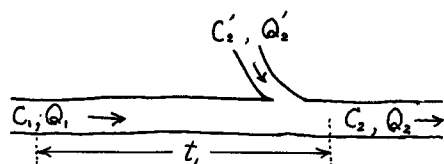
ここで C_1 : その区間の始端の濃度, C_2 : 流量変化後の濃度,

C'_2 : 合流(または分流)した河水の濃度, Q_1 : 始端の流量,

Q_2 : 変化後の流量, Q'_2 : 合流(または分流)した流量, 分

流の場合は符号はマイナス, t_i : 区間流下時間, $\bar{K}$: その区間における浄化速度恒数とする。

昭和34年9月以来、同水系で行った水質調査の結果を用いて上式の $\bar{K}$ 値を求めてみた。流量観測値欠除の地実では上流あるいは下流観測点の値から流量を推定したものもある。前報では対象とした区域を通じて同一の $\bar{K}$ 値をとると仮定して推算した結果、図-3のように月別にかなり異なった値となった。前報ではこの結果をもとにして5～10月は $\bar{K}=0.050$, 4月, 11月, 12月は $\bar{K}=0.025$, 1～3月は



0という値を提案した。しかし実際には石狩川のこの区間をみると流況は著しく異っており、特に伊納～納内間と納内～深川間を比較すると、前者は急流の溪谷で曝気量が多く、後者は所々に堤堤があり流路幅も大きく流速がおそい。従ってこの間の浄化速度を同一とみることは不合理と思われる。そこで改めて各区間ごとの浄化速度を求めようとした。その目的に用いるには古い水質資料が役にたたないので41年度より改めて詳細な調査を始めた。その結果の集計が表-6である。またこの結果から求めた浄化速度恒数の値は表-7のようになった。

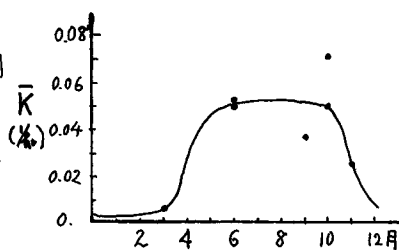


図-3 月別浄化速度恒数

表-6 石狩川水系上流部 流量(8/sec) 調査結果 41.7.26～27

	流量 $\frac{m^3}{sec}$	BOD	COD	SS	N	SO_4^{--}	Cl^-
石狩川本流(量)	35.18	21.1	63.3	633.2	6.0	362.4	133.7
牛朱別川系	29.70	290.8	806.3	938.4	28.5	582.6	518.3
忠別・美瑛川系	27.38	16.4	45.3	336.6	12.0	1111.7	332.5
旭川市下水道	1.36	36.0	27.6	91.8	1.7	30.4	22.0
江丹別川	1.34	1.6	5.9	13.4	1.3	13.1	15.3
伊 納 内	95.52	347.7	1387.0	4030.9	91.7	2540.8	1432.8
神竜取水	-13.60						
内大部川	0.89	1.2	3.7	10.7	-0	13.0	8.0
納 内	80.35	205.7	951.3	2764.0	24.1	1880.2	771.4
北空知取水	-18.58						
空知 取水	-15.3						
深 川	51.98	117.5	541.6	322.3		1211.1	493.8
音江川	0.08	0.1	0.7	2.3		0.5	0.6
両岸の取水	-12.44						
スツマナ川	0.23	0.3	0.6	2.3		2.0	1.7
雨竜川	33.94	74.7	407.3	1120.0		427.6	342.8
江部乙川	0.03	0.0	0.1	1.9		0.5	0.3
尾白利和川	0.61	0.1	0.2	0.5		0.3	0.2
橋本町	145.10	319	1305.9	2902.0		2945.5	1305.9

さきに報告したように⁽⁶⁾ $\bar{K}$ の値を求めるために河水を用いてバッチ実験を行った。牛朱別川の河水でKパルプ工場の廃水を希釈したものを対象としたが、このときの $\bar{K}$ 値は $20^{\circ}C$ で0.0221, $4^{\circ}C$ では0.0072, $1^{\circ}C$ で0.0029 ($\% / hr$)であった。表-7の調査時の水温が $20^{\circ}C$ 前後であったが、旭橋～伊納間および納内～深川間の値がバッチ実験による値とほとんど一致しているのが興味深い。このような調査をさらに水温の異なる時期にも行って、実際の $\bar{K}$ 値をできるだけ正確に求めたい。

表-7 区間別浄化速度恒数

区 間	$\bar{K}$ ($\% / hr$)
旭橋～伊納	0.0212
伊納～納内	0.0633
納内～深川	0.0218
深川～橋本町	?

水温 $20^{\circ}C$

(5) 将来の水質予想

や2期北海道総合開発計画, 北海道観光開発計画, 道央新産業都市計画といった開発計画によって

この水系の周辺部が近い将来には次第に都市化してゆくことが予想される。石狩川も当然その影響をうけるであろう。現行の放流基準のみで今後数年間に汚濁状態かどのように変わるかを予想するのも無駄ではないと考え、とりあえず昭和45年度の水质予想を行ってみた。この場合に簡単のために浄化速度恒数は水系を通じて同じ値をとると考え、各月ごとに最も不利と思われる流量に対して各地点のBOD₅を求めてみた。この計算に用いた汚濁物負荷量はつぎのよう

表-8 予想汚濁負荷量(45年度)

種 別	BOD %
パルプ・紙製造業	22.11
食料品製造業	60.22
繊維工業	0.41
化学工業	0.46
小 計	83.20
都市下水	32.75
屎尿処理	0.28
小 計	33.03

まず昭和45年度の商工業出荷額の予想値を各業種別に分析し、このうち汚濁源となる4業種を選び出し、製品量に換算し、製品単位置量当り排出している廃水量を乗じて1日に放流されるBOD負荷量を求めた。ただしパルプおよび紙製品製造業は現行以上に拡張しないものとした。その結果が表-8である。これに旭川市の人口増加率とそれに伴う下水負荷の増加、ならびに周辺部の屎尿処理場建設計画を加えて表-8 下段のようになった。

人為的な汚濁負荷は上記の2種類であるが、これに対して自然汚濁量が加算される。これは既報の通り河川流量によって異なり、一定値とみることはできないが、以下に示すような概算値という意味で今までの調査の平均値 14.94%をとった。これを旭川市の中心にある旭橋を通過する値として加算した。工業廃水、下水および自然汚濁の3者を合計すると1日当り 131.17% (= 1518%_{sec}) となる。これを全部旭橋で集中負荷されるものとして計算を進めた。表-9がその結果である。これから見ると年間の大部分が表-2の要望水质を若干超過することになった。

(6) 許容汚濁負荷量

しからばこの水系にどの程度の負荷まで許しうるかを求めてみよう。前の概算によると各利用地点とも冬季間はいずれもBOD₅が大きくなっている。また7月に小さいピークがあらわれている。これはいずれも河川流量の減少する月である。従ってこの傾向は浄化速度恒数を細分した区間ごとに用いても変わりはないと思われる。利水の面からみると表-2の通り問題になる時期が異なっているので、この点を考慮に入れると農業用水としては神竜取水点で7月、水産用としては深川地点で7月、発電用としては橋本町地点で1~3月に要望水质以内に入れば、年間を通じて目標が達せられる。

つぎに神竜地点と深川との間をみると、深川でBOD₅の3%を維持するとして、表-7のK値を用いて神竜取水点のBOD₅を求めてみると、用水期間では常に5%以下となり希望がみたされる。また深川下流にはBOD汚濁源はないので橋本町においても問題は起らない。従って温暖時(夏季と秋季)

表-9 昭和45年の推定BOD₅(%)

	伊 納	納 内	深 川	橋本町
1月	25.2	7.2	6.3	12.7
2月	25.2	8.4	7.6	12.7
3月	25.2	7.2	7.6	12.7
4月	4.9	3.4	3.2	2.4
5月	5.9	4.6	4.2	2.0
6月	8.9	5.2	4.8	3.3
7月	8.9	6.2	5.7	4.6
8月	11.6	6.1	5.7	4.1
9月	11.6	5.5	5.1	4.2
10月	13.8	6.7	4.6	4.5
11月	14.4	7.9	5.5	5.7
12月	14.4	7.9	6.1	5.8

には深川地奥でのBOD₅ 3^{mg/l}が許容汚濁負荷 (M_s) を定める条件となる。

つぎに冬期間の橋本町におけるBOD₅も4^{mg/l}にする必要がある。これは概算で求めたときと同じく、途中での自然浄化を無視して考えればよいので単に流量の関数として表わされる。これを M_w とする。簡単な計算から $M_s = 693 \text{ g/sec}$, $M_w = 478 \text{ g/sec}$ が求まった。冬季の方が許容汚濁負荷が小さくなっている。

(7) 結 語

以上のように未だかなり不満足な数値を用いて計算を行ったのであるが、検討の結果からつぎのようなことが言える。

まず現行の水質規制では非常に近い将来に要望されている水質をこえて汚濁が進行してゆくであろう。しかもその原因のうち下水によるものが大きな役割を果たしてくる。旭川市での下水処理はこの点を充分に考慮して行われねばならない。

つぎに今までの規制ではあまり考慮されなかった火力発電所での要望水質が上流での汚濁負荷を定めるような時期がでてきたことである。水処理技術の進歩によっては別の面から解決がつかぬかも知れないが、現在では冬季の規制をもっと厳格にする必要がある。旭川市およびその周辺部の下水処理を強化しただけでは許容汚濁量以内におさえることは困難である。従って工場廃水の規制も強化することが必要になる。

許容汚濁負荷の値からみると現在の水質又法に基づき水質基準をもっときびしく改める必要がある。その際に工場廃水と下水とのいずれの負荷により大きい制限を負わせるかはまた別の問題である。

最後に、本研究を行うにあたって各種の資料を呈供していただいた北海道開発局、北海道庁、北海道拓殖銀行の各関係者に対して、また調査や実験を行うにあたって協力していただいた道立衛生研究所、道立工業試験所、道河川課、道公害課、旭川市明星中学の関係者の方々に対し感謝の意を表すとともに、本文の各種計算には現在室蘭市水道部に勤務している沢谷英俊君の労に負うところが大きかったことを附記する。

参考文献

- 1) 神山, 貞柄; 第22回土木学会年次学術講演会講演概要, II-132 (昭42, 5月)
- 2) 経企庁水質保全課; 用水と廃水, Vol.5, No.7, p.563 (昭38, 7月)
- 3) 北海道立衛生研究所; 水質汚濁に関する研究集報, 第1集 (昭41, 3月)
- 4) 丹保, 森; 北海道大学工学部研究報告, 第26号, p.43 (昭36, 4月)
- 5) 丹保, 森; 水処理技術, Vol.3, No.11, p.1 (昭37, 11月)
- 6) 神山, 丹保; 衛生工学 第6号, p.13 (昭36, 5月)