

北海道一級河川の pH について

佐藤 徳人** 西村 豊* 谷 昭彦**

1. ま え が き

地球環境問題のひとつとして酸性雨の問題があげられ、その影響として森林の衰退や水域の酸性化が地域的に顕在化している。しかしながら、道内河川の水質を見ると、河川の環境指標である pH が年々上昇しアルカリ傾向にある河川が見受けられ、日本海側や大都市周辺で観測されている酸性雨や酸性雪の実態とは必ずしも一致していない。このような pH の変化は河川の水生生物の生息環境に影響し、生態系の変化をもたらすばかりでなく、長期的な影響とし

て湖沼やダム貯水池など閉鎖性水域の環境の悪化を招く恐れがある。本報告では、pH を指標として、道内河川の水質の特徴を検討し、pH 上昇の原因とそのメカニズムについて考察するものである。

2. 河川 pH の変動傾向

まずはじめに、道内主要河川における pH が、実際にどのように変化しているかを経年的に表わし傾向を把握した。調査対象河川は表-1 に示すように、9水系 23水域、観測点は 55 地点である。データは

表-1 対 象 観 測 所 一 覧

水系名	河川名	観 測 所 名	地点数
石 狩 川	石 狩 川	永山橋, 神竜頭首工, 石狩大橋, 納内橋	4
	美 瑛 川	美瑛緑橋	1
	忠 別 川	東神楽橋	1
	牛 朱 別 川	緑橋, 功橋	2
	オサラッベ川	治水橋	1
	夕 張 川	南部上水取水口, 清沼橋, 川端橋, 清幌橋, 江別大橋, 馬追橋	6
	千 歳 川	サケ・マスふ化場, 舞鶴橋, 裏の沢, 新江別橋	4
十 勝 川	十 勝 川	新清橋, 佐幌川合流前, 祥栄橋, 十勝大橋, 千代田堰堤, 茂岩	6
	音 更 川	音更橋	1
	札 内 川	札内橋, 南帯橋	2
	利 別 川	池田大橋	1
	途 別 川	千住橋	1
	猿 別 川	止若橋	1
浦 幌 十 勝 川	下 頃 辺 川	吉野, 愛牛橋	2
留 萌 川	留 萌 川	留萌橋, 大和田, 16線橋, 橋橋	4
渚 滑 川	渚 滑 川	渚滑橋, ウツツ橋	2
湧 別 川	湧 別 川	中湧別橋, 遠軽橋	2
常 呂 川	常 呂 川	上川沿, 忠志橋, 若松橋, 金比羅橋	4
	無 加 川	常盤橋	1
網 走 川	網 走 川	網走橋, 治水橋, 大正橋	3
	美 幌 川	美幌橋	1
釧 路 川	旧 釧 路 川	幣舞橋	1
	釧 路 川	新川橋, 愛国浄水場取水口, 開運橋, 瀬文平橋	4

*環境研究室副室長 **同室員

表-2 pH 年平均

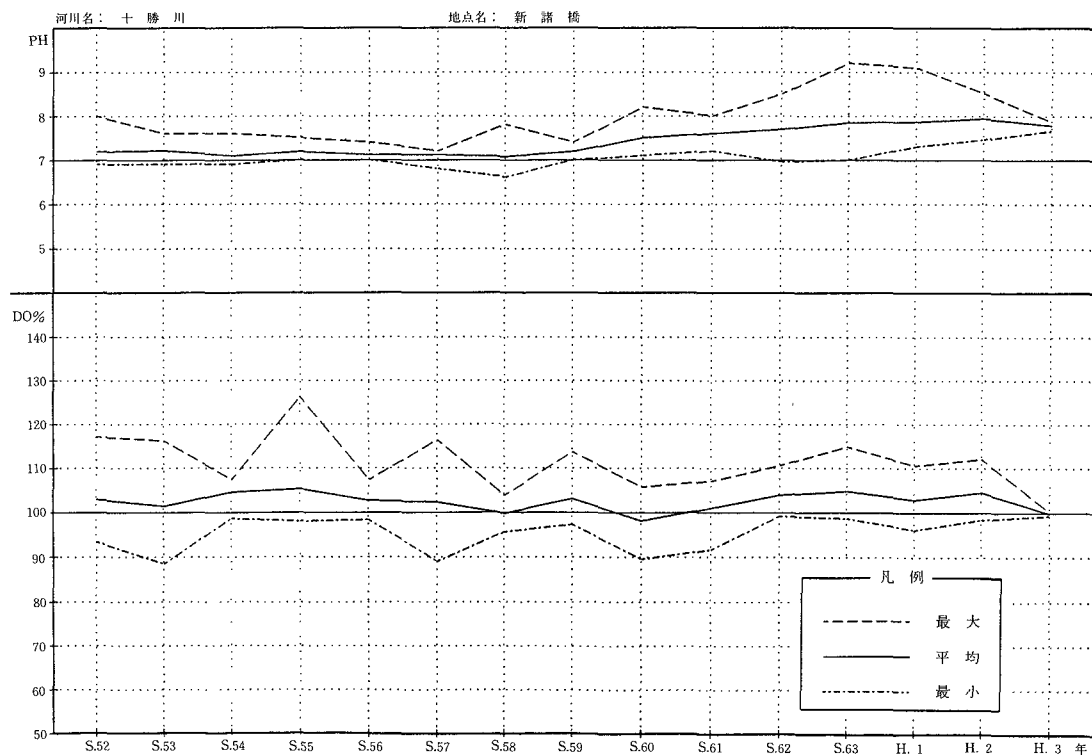
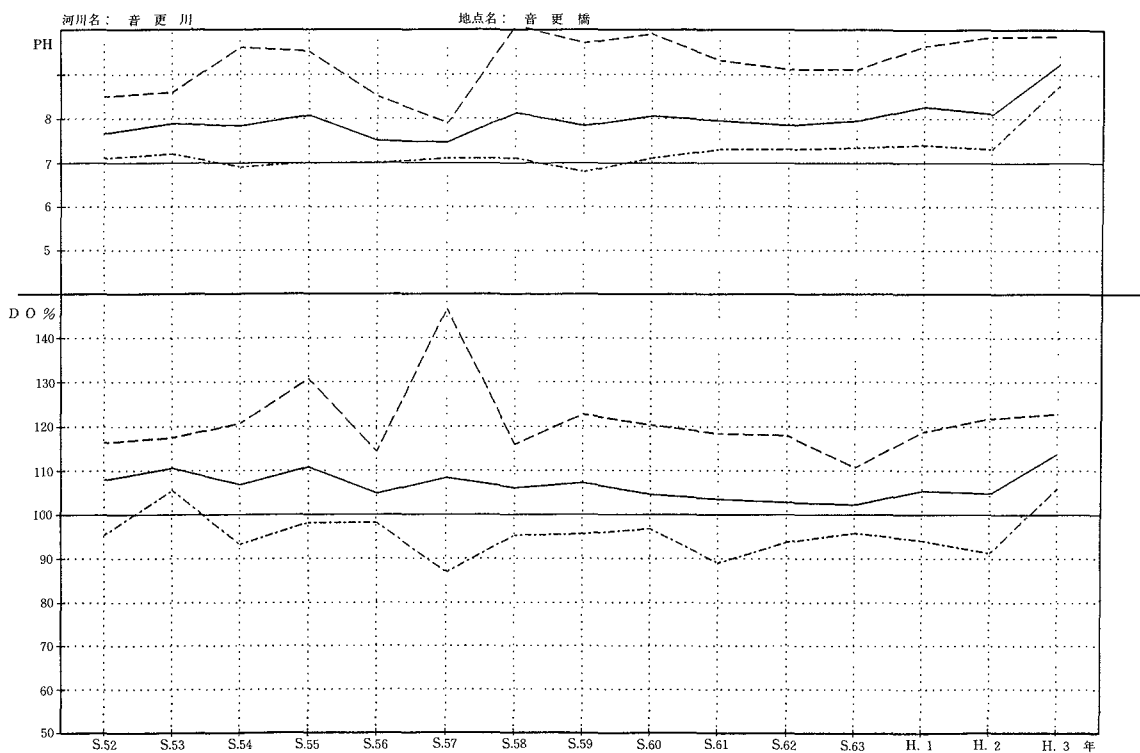
水系名	河川名	観測所名	$\overline{\text{pH}} = a + b$	pH ≥ 8.0 生起確率		水域区分	年平均 pH 経年的変動傾向
				全平均(%)	傾向		
十勝川	新清橋	新清橋	$\overline{\text{pH}} = 0.065t + 6.907$	10.5	↗	・特定年から上昇 ・年変動大	pH は S58 年を境に上昇傾向にある。PH の変動幅も同様に S58 年から増加する傾向がみられ、最大値も 8.0 を超える。年変動が大きく、上昇傾向にある。
		佐幌川合流点前	$\overline{\text{pH}} = 0.048t + 6.938$	3.0	↗	〃	新清橋と同様の傾向を示しており、S58 年を境に上昇が始まる。年変動が大きく、上昇傾向にある。
		祥栄橋	$\overline{\text{pH}} = 0.050t + 6.876$	4.5	↗	〃	新清橋と同様、S58 年を境に上昇傾向が顕著になる。S63 年では 9.0 を超える最大値を記録している。S58 年以降では、年間の変動幅が増大している。年変動が大きく、上昇傾向にある。
		十勝大橋	$\overline{\text{pH}} = 0.044t + 6.848$	0.8	↗	〃	上流各地点と同様に S58 年を境に上昇傾向がみられる。S60 年、S63 年、H1 年の 3 ヶ年は、最大値が 8.0 を超えている。年変動が大きく、上昇傾向にある。
		千代田堰堤	$\overline{\text{pH}} = 0.046t + 6.869$	1.7	↗	・特定年から微増 ・年変動小	上流各地点と同様に S58 年を境に上昇傾向にある。年間の変動幅も微増傾向にあるが、極端な値の振れは見られず、微増傾向地点といえる。
		茂岩	$\overline{\text{pH}} = 0.035t + 6.851$	0.6	—	〃	上流各地点の影響のためか、茂岩地点でも微増傾向がみられるが、年間の変動幅は 1.0 を下まわっており、年変動は小さく安定している。ここも微増傾向地点といえる。
	音更川	音更橋	$\overline{\text{pH}} = 0.057t + 7.532$	42.8	↗	・従来より高 pH ・上昇傾向あり ・年変動特大	S56～S57 年の年平均値は 7.5 程度と低下しているが、それ以外は平均値 ≥ 7.5 を超え、全体的には上昇傾向にある。年間の pH 変動幅も著しく大きく、最大値は 9.0 を超えることが多い。従来より年変動が大きく、上昇傾向も認められる。
		南帯橋	$\overline{\text{pH}} = 0.034t + 6.845$	1.7	↗	・微増 ・年変動年次によって大	年平均値は年々少しずつ上昇傾向にある。年間の変動幅は年次によって大きく異なり、S57～S58 年では最大値が 9.0 を上まわっている。微増傾向にあるが、年次によって変動幅が異なる。
		札内橋	$\overline{\text{pH}} = 0.070t + 7.067$	14.4	↗	・微増 ・年変動大	平均値は微増傾向にあるが、年間の pH 変動幅は 1.0 を超えることが多く、変動の大きい地点といえる。
		利別川池田大橋	$\overline{\text{pH}} = 0.020t + 6.944$	0.0	—	・微増 ・年変動小	年平均値はわずかに微増傾向を示すが、最大値は 8.0 を上まわることはなく、年間の変動幅は小さい。微増傾向地点といえる。
		途別川千住橋	$\overline{\text{pH}} = 0.039t + 6.986$	3.6	—	〃	年平均値は上昇傾向にあるが、年間の変動幅はそれほど大きくない。最大値が 8.0 を超える年は 3 ヶ年程度である。
		猿別川止若橋	$\overline{\text{pH}} = 0.034t + 6.856$	0.6	—	〃	年平均値は微増上昇傾向にあるが、年間の変動幅は小さい。
	浦幌十勝川	吉野	$\overline{\text{pH}} = 0.031t + 7.097$	0.0	—	・一定 ・年変動小	年平均値はおおむね一定。年間の変動幅は小さく、最大値は 8.0 を超えていない。
		愛牛橋	$\overline{\text{pH}} = -0.009t + 6.984$	0.0	—	〃	〃

水系名	河川名	観測所名	$\overline{\text{pH}} = a + b$	pH ≥ 8.0 生起確率		水域区分	年平均 pH 経年的変動傾向
				全平均(%)	傾向		
石狩川	牛朱別川	功橋	$\overline{\text{pH}} = 0.039t + 6.996$	1.9	—	・おおむね一定 ・年変動小	年平均値の経年的変化は小さく、S60 年以降ではほぼ一定である。年間の変動は、S60～S62 年の 3 ヶ年だけが 1.0 を超えるが、他の年次は小さい。
		緑橋	$\overline{\text{pH}} = 0.016t + 6.860$	0.0	—	〃	年平均値の経年的変化は小さく、ほとんど一定とみなせる。年間の変動も大変小さい。
	オサラッベ川	治水橋	$\overline{\text{pH}} = 0.045t + 6.988$	9.7	—	・おおむね一定 ・年変動大	年平均値の経年的変化は小さいが、年間の変動量は S59～S60 年を除くと大きい。pH の最大値は、8.0 を上まわる年が多くみられる。
		南部上水取水口	$\overline{\text{pH}} = 0.028t + 7.296$	5.8	—	・微増傾向 ・年変動小	年平均値は微増しており、経年的には 7.1 付近から 7.4 付近まで上昇しているが、年間の変動幅は小さく、1.0 を下まわっている。
	夕張川	清沼橋	$\overline{\text{pH}} = 0.076t + 7.427$	47.4	↗	・上昇傾向 ・年変動大	年平均・最大・最小値とも経年的に同じように微増している。年平均値で見ると、7.1 付近から 8.2 付近にまで上昇している。年間の変動幅は S52 年以降は 1.0 を超えているが、値のばらつきは他河川に比べ小さい。最大 pH は S52 年を除くといずれも 8.0 を超え、9.0 を超える年も見られる。
		川端橋	$\overline{\text{pH}} = 0.074t + 7.352$	41.7	↗	・上昇傾向 ・年変動量ばらつき大	年平均・最大・最小値の変化は、上流清沼橋に類似するが、最大値のばらつきが大きい。年平均の経年的推移を見ると、S52 年の 7.2 付近から 8.0 付近にまで上昇している。また最小値の上昇も大きく、そのことが年間変動量を小さくし、最大値の変化と相乗して変動量のばらつきを大きくしている。
		馬追橋	$\overline{\text{pH}} = 0.044t + 7.368$	19.0	↗	・上昇傾向 ・年変動小	年平均・最大・最小値の変化は、清沼・川端橋と類似し、いずれも経年的に微増している。年平均で見ると、pH=7.1 付近から pH=7.8 付近にまで上昇するが、年間の変動幅は比較的小さい。
		清幌橋	$\overline{\text{pH}} = 0.038t + 7.503$	5.3	—	・微増傾向 ・年変動小	年平均値・最大値の経年的変化は小さいが、最小値は微増傾向にある。年変動幅は小さいが、年最大値はほぼ安定して 8.0 付近の高い値をとっている。
		江別大橋	$\overline{\text{pH}} = 0.024t + 7.310$	3.5	—	〃	年平均・最大・最小値は微増傾向にある。年変動幅は最大で 1.0 程度であり、全般に小さい。
		サケ・マスふ化場	$\overline{\text{pH}} = 0.028t + 7.319$	1.9	—	〃	S52～S55 年にかけて平均値は増加するが、その後は 7.7 付近に推移している。全体としては微増傾向である。年間の変動幅は小さい。
	千歳川	舞鶴橋	$\overline{\text{pH}} = 0.021t + 7.039$	0.0	—	〃	年平均値は微増しているが、値としては 7.0 付近から 7.2 付近で推移しており、その変化は小さい。年変動量も小さく、最大値で 8.0 を超える年次はない。
		裏の沢	$\overline{\text{pH}} = 0.031t + 7.123$	0.0	—	・おおむね一定 ・年変動小	年平均値は 7.2～7.3 の範囲にあり、経年的な上昇傾向はみられない。年変動幅も小さく、最大値は 8.0 を超えない。
		新江別橋	$\overline{\text{pH}} = 0.007t + 7.152$	0.0	—	〃	〃

値変動傾向集約表

水系名	河川名	観測所名	$\overline{pH} = a + b$	pH ≥ 8.0 生起確率		水域区分	年平均pH経年的変動傾向
				全平均(%)	傾向		
鋼路川	綱路川	瀬文平橋	$\overline{pH} = 0.039t + 6.869$	0.0	—	・微増 ・年変動小	年平均値は微増上昇傾向にあるが、年変動量はそれほど大きくない。最大pHも8.0を超えることはない。
		開運橋	$\overline{pH} = 0.045t + 6.790$	0.0	—	〃	〃
		愛国浄水場	$\overline{pH} = 0.043t + 6.875$	0.0	—	〃	〃
		新川橋	$\overline{pH} = 0.028t + 6.779$	0.1	—	〃	〃
網走川	網走川	幣舞橋	$\overline{pH} = 0.036t + 7.903$	21.1	↘	・微増 ・年変動小	年平均値は微減低下傾向にある。最大値は8.0を超えるが、海水の流入による影響である。pHの変動幅は小さい。
		大正橋	$\overline{pH} = 0.058t + 6.976$	14.8	↗	・上昇傾向 ・年変動大	年平均値は上昇傾向にあり、pHの変動幅も大きい。最大値は9.0を超える年次もあり、変動幅は大変大きい。
		治水橋	$\overline{pH} = 0.037t + 6.867$	0.8	—	・上昇傾向 ・年変動小	年平均値は上昇傾向にあるが、pHの年変動幅は上流大正橋よりかなり小さい。最大値が8.0を超える年次は、過去15か年のうちS61、S63年の2年である。
		網走橋	$\overline{pH} = 0.028t + 7.546$	37.9	—	・上昇傾向 ・年変動小	年平均値は微増上昇傾向にある。年間の変動幅は大きく、pHは9.0を超える年次もある。
常呂川	常呂川	美幌橋	$\overline{pH} = 0.052t + 6.859$	1.7	—	・上昇傾向 ・年変動小	年平均値は上昇傾向にあるが、年間の変動幅は小さい。
		金比羅橋	$\overline{pH} = 0.017t + 7.204$	5.4	—	・微増傾向 ・年変動は1.0を超える	年平均値は微増しているが、明瞭な上昇傾向は見受けられない。地方、年間のpH変動幅は1.0を超えるケースが多く、最大値が8.0近傍の値をとっている。
		若松橋	$\overline{pH} = 0.049t + 7.420$	37.7	↗	・上昇傾向 ・年変動大	年平均値は上昇傾向にあり、8.0を超えている年次も見られる。年変動幅も大きく、最大値は9.0を超えるケースもある。
		忠志橋	$\overline{pH} = 0.040t + 6.968$	5.0	—	〃	年平均値は7.0付近から7.7付近まで上昇している。また、最小値も上昇する傾向がみられる。年間のpH変動幅は1.0を超え大きく、最大値は8.0~9.0の範囲で変化している。
無加川	無加川	上川治	$\overline{pH} = 0.029t + 6.970$	1.5	—	・微増傾向 ・年変動にばらつきがある	年平均値は7.0付近から7.7付近まで上昇している。年変動幅は年によって異なり、変動幅の大きいときと小さいときがある。
		常盤橋	$\overline{pH} = -0.057t + 7.249$	36.3	↗	・上昇傾向 ・年変動大	年平均値は7.4付近から8.0付近まで上昇している。年間の変動幅も大きく、変動幅が1.0を超えるケースが多発する。最大pHは8.0~9.2程度の範囲で変化し、9.0を上まわる年次は過去8年ほどある。

水系名	河川名	観測所名	$\overline{pH} = a + b$	pH ≥ 8.0 生起確率		水域区分	年平均pH経年的変動傾向
				全平均(%)	傾向		
湧別川	湧別川	遠軽橋	$\overline{pH} = 0.045t + 6.975$	7.2	↗	・上昇傾向 ・年変動大	年平均値は経年的に微増しており、その値は7.0付近から7.6付近まで上昇している。pHの年変動も比較的大きく、最大pHはS60年頃より8.0を超え始めている。
		中湧別橋	$\overline{pH} = 0.050t + 6.931$	9.3	↗	〃	年平均値は経年的に微増しており、その値は7.0付近から7.8付近まで上昇している。pHの年変動も大きく、最大pHはS56、S57年の2年を除くと毎年8.0を超え、ときには9.0を上まわることがある。
渚滑川	渚滑川	ウツツ場	$\overline{pH} = 0.029t + 6.922$	0.6	—	・微増傾向 ・年変動小	年平均値は経年的に微増するが、その変化は小さい。年間の変動幅も小さく、最大pHが8.0を超えるケースはS60年だけとほとんどない。
		渚滑橋	$\overline{pH} = 0.028t + 6.888$	0.3	—	〃	〃
留萌川	留萌川	橘橋	$\overline{pH} = 0.029t + 6.820$	0.6	—	〃	年平均値は経年的に微増しているが、その変化は小さい。また、年間の変動幅も1.0を上まわるケースはほとんどなく小さい。pH最大値は8.0を超えていない。
		16線橋	$\overline{pH} = 0.028t + 6.808$	0.0	—	〃	〃
		大和田	$\overline{pH} = 0.028t + 6.817$	0.0	—	〃	〃
		留萌橋	$\overline{pH} = 0.020t + 7.114$	16.7	↗	・微増傾向 ・年変動大	年平均値は経年的に微増しているが、その変化は小さい。他方、年間のpH変動幅は1.0を超えるケースが多く、最大pHは8.0を超えることが多い。
石狩川	石狩川	永山橋	$\overline{pH} = 0.025t + 6.988$	2.5	—	・微増傾向 ・年変動量はばらつく	年平均値は経年的に微増しており、その値は7.0付近から7.4付近まで上昇している。他方、年間の変動幅は年によってその大きさが異なるが、1.0を大幅に上まわる年は2年ほどしかない。
		神竜頭首工	$\overline{pH} = 0.023t + 6.835$	0.0	—	・微増 ・年変動小	年平均値は微減傾向にあるが、その値は7.2付近にとどまっている。年間の変動幅も小さく、最大値は8.0を超えない。
		納内橋	—	—	—	—	—
		石狩大橋	$\overline{pH} = 0.005t + 7.265$	0.1	—	・一定 ・年変動小	年平均値は7.2付近を中心として経年的にばらついており、おおむね一定とみることができる。年間の変動幅も小さく、最大値は8.0を超えない。
		忠別川	$\overline{pH} = 0.077t + 6.905$	32.9	↗	・上昇傾向 ・年変動大	年平均値は上昇傾向を呈し、経年的にみると7.0から8.0付近にまで上昇している。pHの変動量も大きく、最大pHも年々9.0付近にまで漸近する傾向がある。
美瑛川	美瑛川	美瑛緑橋	$\overline{pH} = -0.025t + 5.288$	0.0	—	・酸性河川	pHは他河川に比べ著しく低く、年平均は5.0~6.0程度の間にある。年間の変動幅も小さい。



図一1 pH年平均の経年図

公共用水域の水質測定結果を使用しており、観測時期は測定箇所により異なるが、おおむね昭和52年～平成3年である。測定結果は月に数回もしくは1回観測されており、年平均して表わす。代表地点として十勝川新清橋、音更川音更橋のpH変化図を示した(図-1)。図には、月データで観測される年間の最大値と最小値も表わしている。

次に、このデータが実際上昇傾向にあるかどうか変動傾向から調べた。ここで $\text{pH} \geq 8.0$ をひとつの目安とし、 $\text{pH} \geq 8.0$ を超過する高pHの頻度についても表わすと表-2のようになる。この結果、平均値の傾向を見るとpHは傾き、 a を見ても対象観測点55地点中50地点で正の値を示し、上昇傾向にあることがわかる。また、傾き a の大きな地点は11水域で21地点にもなり、全般にpHの年間変動幅が大きく最大pHは8.0を上まわり、著しい地点では9.0を越えるケースも見られる。また、 $\text{pH} \geq 8.0$ を超過する生起頻度はおおむね1.0～47.0(%/年)程度であり、経年的にも上昇傾向にある地点が多い。そこで、実際に上

昇している河川水域を検討すると表-3になる。これらの河川水域により、上昇原因の検討を行った。

3. 上昇原因の推定

河川における高pH発生要因を想定すると、①アルカリ性排水の流入、②海水の流入、③河床付着性藻類の光合成によるpHの変化の3点が考えられる。通常、工場などで生じるアルカリ性排水については、なんらかの中和処理を講じて排出されるので高pHの

表-3 pH上昇水域と該当地点

水系名	対象水域	該当地点
石狩川	夕張川上中流	清沼橋、川端橋、馬追橋
	オサラッペ川下流	治水橋
	忠別川中流	東神楽橋
十勝川	十勝川上中流	新清橋、佐幌川合流点前、祥栄橋、十勝大橋、千代田堰堤
	札内川中下流	札内橋、南帯橋
	途別川下流	千住橋
	音更川下流	音更橋
常呂川	常呂川中流	金比羅橋、若松橋、忠志橋
	無加川下流	常盤橋
湧別川	湧別川中下流	遠軽橋、中湧別橋
網走川	網走川中流	大正橋

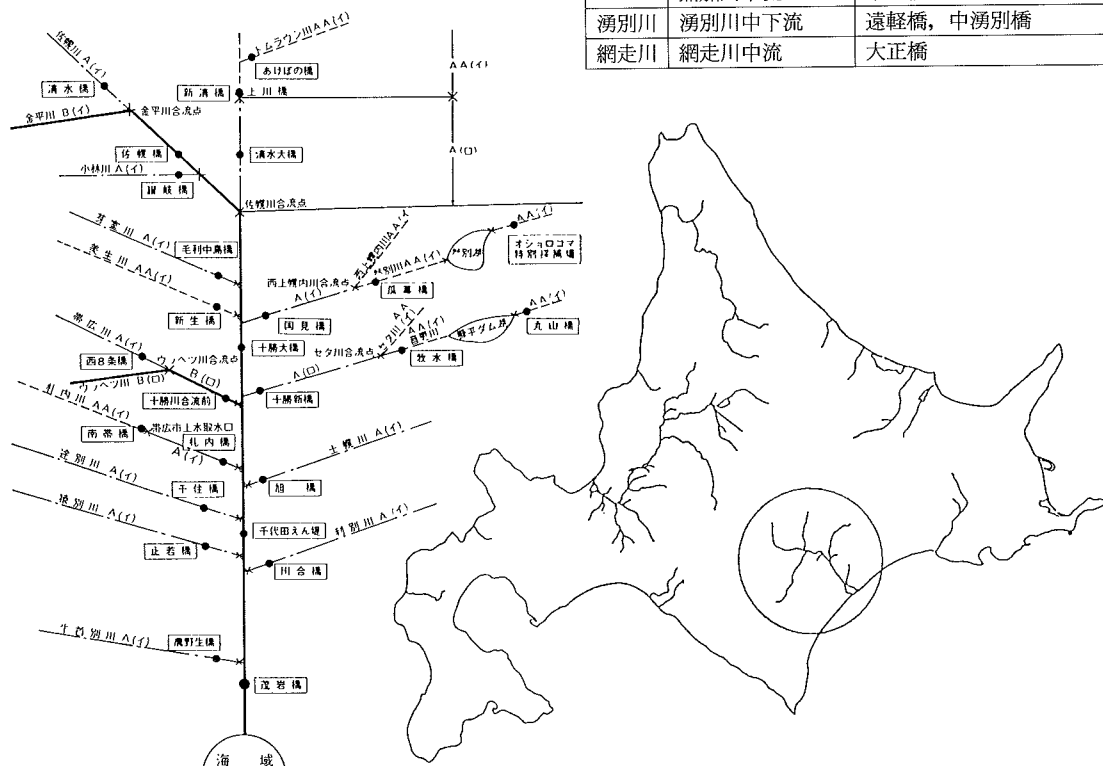


図-2 十勝川水系流域図

原因とは考えにくい。また、排水流入による pH の変化は一過性の変化であり、傾向的に上昇するといった現象とも一致しない。海水の流入については、海水の pH は一般に高いので感潮部では潮位条件にもよるが、pH が高い場合が多い。しかし、河口部ではなく中・上流域でも変化していることから pH 上昇要因とは考えにくい。一方、付着性藻類の増殖している河川では、藻類の光合成によって pH や DO の変化が見られ、上昇傾向になることから pH 上昇要因として推測される。よって以下の検討は、河床付着性藻類の光合成によるものとして pH 変動の検討を行う。

4. pH 上昇水域における水質変化

実際に上昇している河川水域から、pH の変動について検討した。検討は観測地点、上昇している地点が多い十勝川水系とする。十勝川水系については十勝川本流、音更川、札内川、途別川の 4 河川が pH 上昇水域となっている。十勝川本流では図-2 に示すように、上流から下流までの間に 6 地点の観測点がある。下流から順に昭和 56 年～平成 2 年までの 10 カ年の pH の経年変化を図-3 に示す。pH の年間変動は、昭和 58 年までは比較的小さく、全体でみると 7.0～7.8 の範囲にあるが、それ以降は年によって若干

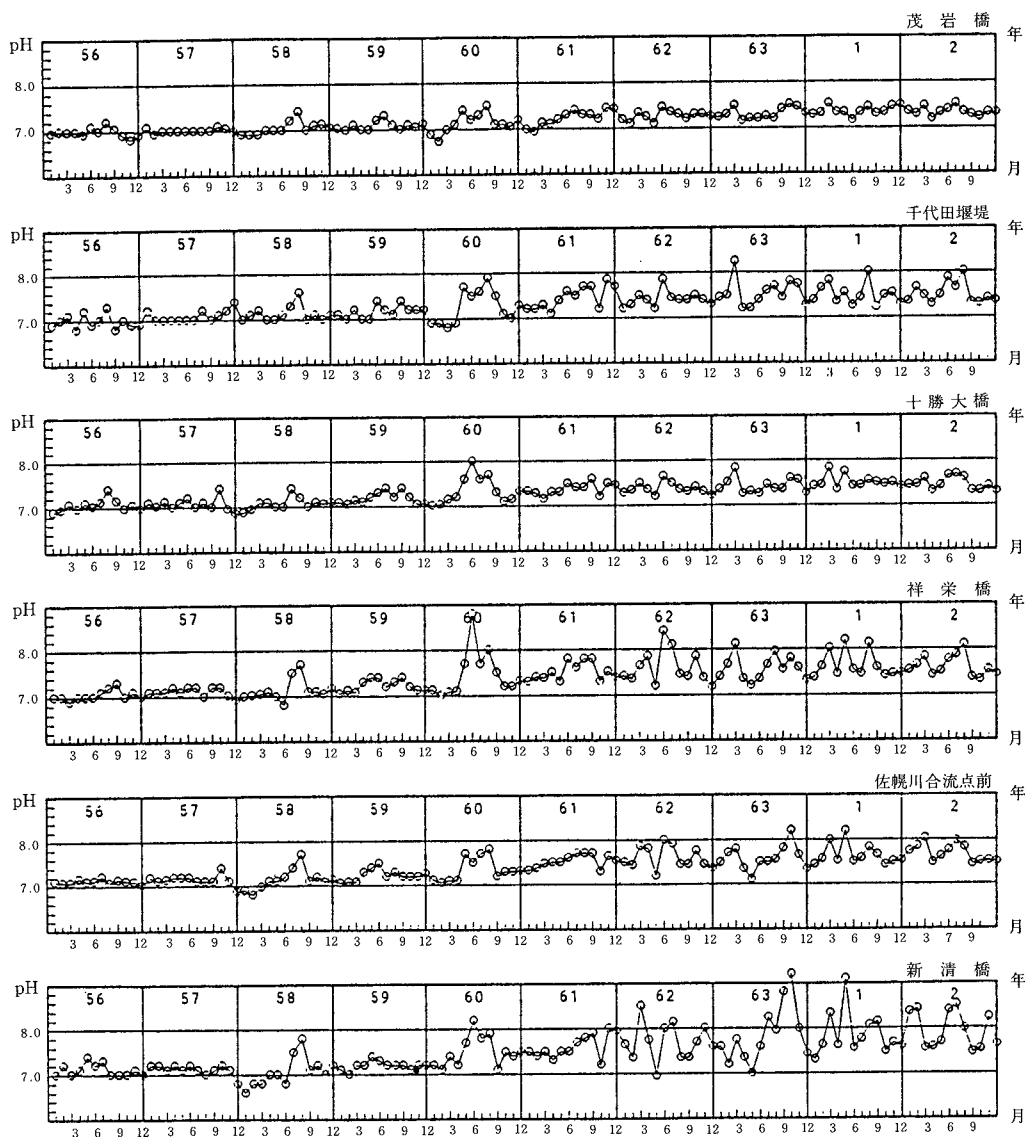
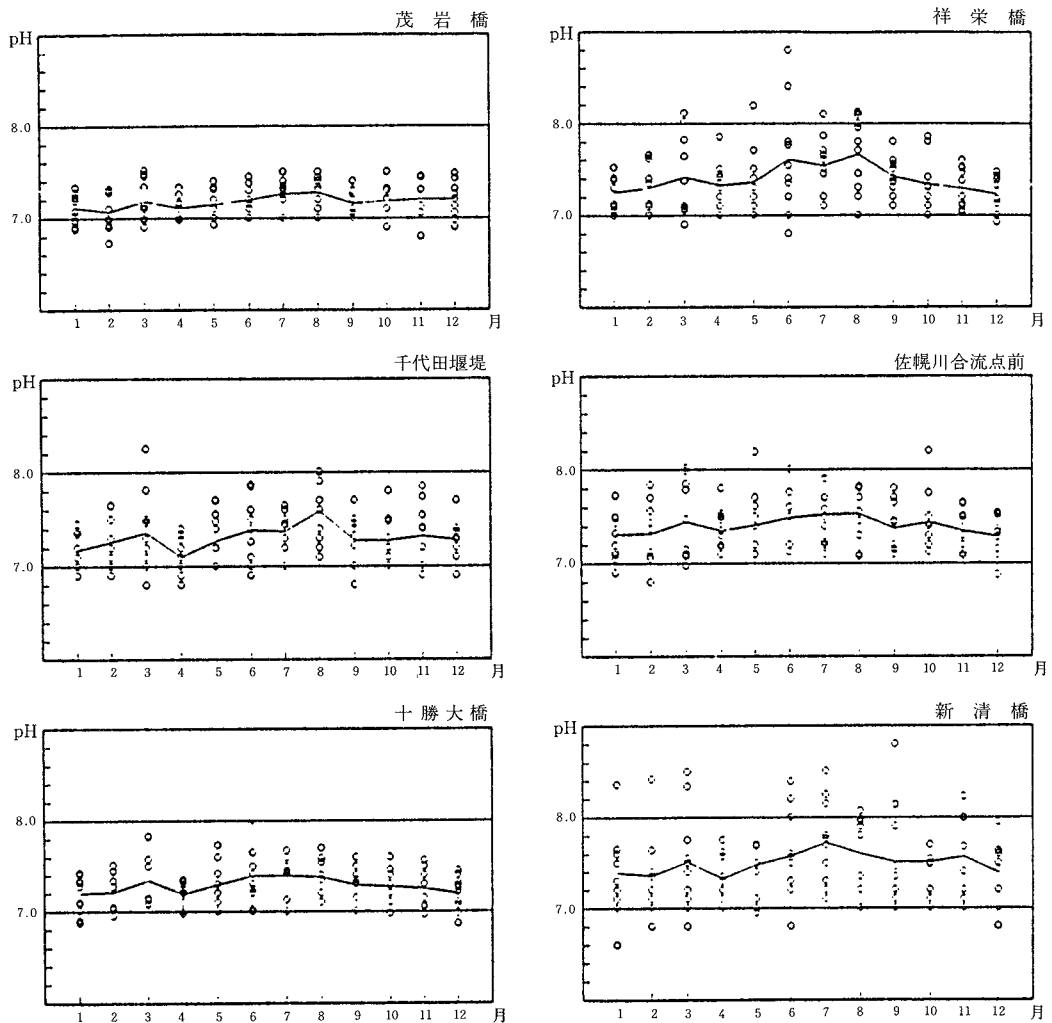


図-3 pHの経月変化図

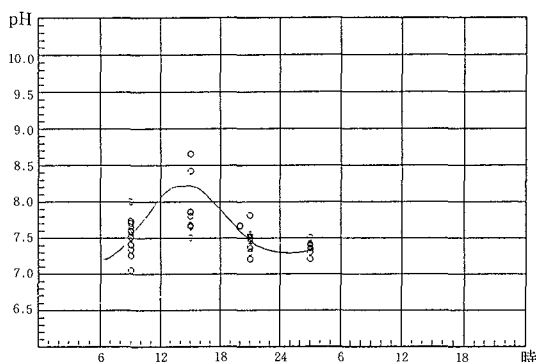


図ー4 平均的なpHの季節変動パターン

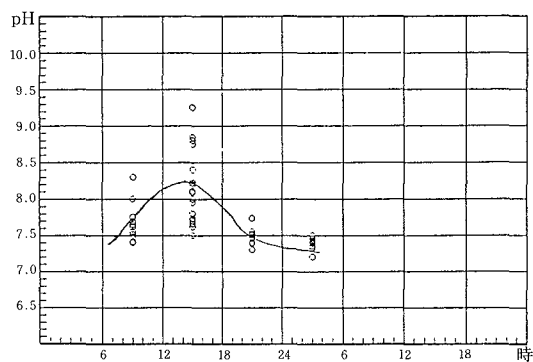
異なるが年間の変動幅が大きくなっていることがわかる。これは、昭和59年の十勝ダムの完成に関連していると考えられる。すなわち、ダムによる出水頻度の減少により藻類の安定増殖に結びついている可能性がある。この中で、特に上流側の新清橋では、最大のpHが9.0付近にまで上昇しており、年変動が著しい。年別のpH変動は、各地点できわめて類似している。また、同データによるpHの経月変化を図ー4に示す。平均的には6月～9月の夏期に存大となっているが、ここ数年では冬期2月～3月にも8.0を上まわる高い値が観測されている個所もあることがわかる。

次に、同河川の1日当たりの観測が数回行われて

いる地点で、pHの日間変化についてまとめた(図ー5、6)。データは10月～3月の日当たり4回の測定値で、時間平均値を実線で示している。図から昼間部に比べて夜間や明け方のpHは変動幅が少なく、昼間の変動幅はいずれも大きい。また、各時間の平均線を見るとpHの変化には明らかに日周性があることを示している。昼間の変動幅が違うのは、主に測定当日の日射条件によるものと考えられ、雲天の下では藻類や光合成量が小さいためにpHが上昇せず、日周性が弱まるものと考えられる。また、支川の音更、札内、途別川や他のpH上昇河川水域についても同様の傾向がみられる。このようなことから、pHの上昇は付着性藻類に起因していると考えられる。



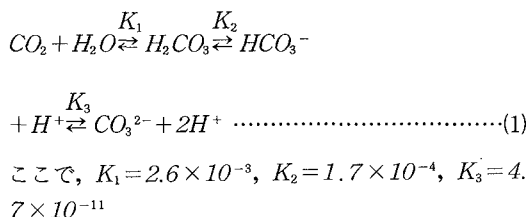
図一五 十勝大橋pHの日変化



図一六 祥栄橋pHの日変化

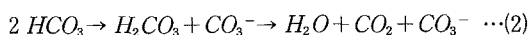
5. 藻類増殖による pH 上昇のメカニズム

水の pH は、遊離の CO_2 、 H_2CO_3 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} イオンなどの平衡によって決まる。藻類による光合成では、遊離の CO_2 や HCO_3^- イオンが吸収利用され、しかも大気からの CO_2 の供給が藻類による利用速度より遅いために炭酸平衡が次式で左へ向かう傾向となり、pH が上昇する。の過程⁴⁾を示すと水中無機炭酸は、

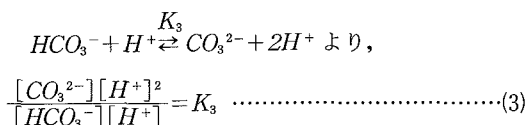


の平衡を保ち、pH を左右している。

光合成による炭酸の供給は CO_2 によってなされるが、藻類については、 HCO_3^- もカルボニクアンヒドラーゼの触媒作用により次の反応⁴⁾を経て、一度 H_2CO_3 となり、脱水反応によって CO_2 とされた後、供給される。



結局、光合成によって水中の遊離 CO_2 が利用されるので、 HCO_3^- が減少し、 CO_3^{2-} が増加する。水中の pH としては、(1)式中右辺の反応に支配される。そこで pH と CO_3^{2-} 、 HCO_3^- の濃度との関係を考えてと次⁴⁾のようになる。



$$[\text{H}^+] = K_3 \left/ \left[\frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \right] \right. \quad \text{.....(4)}$$

$$\log [\text{H}^+] = \log K_3 - \log \left[\frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \right] \quad \text{.....(5)}$$

ここで、 $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ 、 $\log K_3 = -11$
 $+ \log 4.7 = -10.33$

であるから、上式は結局次⁴⁾のように与えられる。

$$\text{pH} = 10.33 - \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} \quad \text{.....(6)}$$

この式より $[\text{HCO}_3^-]$ 、 $[\text{CO}_3^{2-}]$ 濃度で pH が現わされる。よって、藻類の光合成により HCO_3^- が減少し、 CO_3^{2-} が増加するため、(6)式により pH が上昇する。よって、河川の pH は藻類の増殖に起因していると考えることができる。

6. 付着性藻類増殖の化学的要因

藻類増殖の化学的要因として、その増殖と水質的な関係について検討を行う際、窒素、リン濃度のほかに水質の有機汚濁も重要である。そこで、生物の生息と BOD 濃度との関係を見ると、排水の流入直後の BOD の高い水質条件では、下水菌やバクテリアが復占し、下流に行くに従って、これら生物の働きによって BOD が分解され、分解に伴って栄養塩が放出され始めると藻類の増殖が優占してくる。実際、音更川や札内川では、澱粉工場排水が問題となっており、このような河川では、排水流入点よりむしろその下流で付着性藻類が多く見られる。現在、BOD で代表される有機汚染は、排水規制などの施策によってなんらかの形で処理されているためその値は低く、一部を除いては低濃度の河川が多い。しかし窒素、リンに関しては現段階で環境基準値がないため、これら栄養塩濃度は依然として高い。こうした水質

環境は付着性藻類の増殖におおむね適しており、大量増殖も充分考えられる。

7. 付着性藻類増殖の物理的要因

モデル河川として十勝川水系のうち、pH 上昇水域として音更川下流、pH 安定水域として利別川下流を選定し、藻類増殖要因の縦断的变化を比較する。両地点の pH 年平均值傾向、高 pH 出現頻度を表-4 に示す。対象区間は、音更川基準点は音更橋、利別川基準点は池田大橋で、各々の水質基準点から上流おおむね 10 km ほどを選定し、平均水深、水面幅、水面積、平均流速、河床材料平均粒径を取りあげた。各要素の縦断变化を表-5 に示す。

7-1 河床材料平均粒径による比較

付着性藻類の増殖と河床礫との関係について検討した。河床面積 S 、粒径 d と付着性藻類の増殖の関係を考える。藻類の増殖を成長曲線で考えると、1 個の礫内の現存量は、

$$\frac{dm}{dt} = \mu_0 (1 - \frac{m}{m_{max}}) \cdot m \dots\dots\dots(7)$$

ここで、 m ：藻類の現存量、 m_{max} ：飽和現存量、 μ_0 ：比例係数、 t ：時間。

で表わせる。(7)式中、飽和現存量 m_{max} は、他の関連要素 (N・P や水深など) を一定とすると、藻類の増殖空間である礫の表面積によって左右される。礫を平均粒径 d の球とし、繁殖可能面を全表面積の 1/2 とすると、

$$a = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (\frac{d}{2})^2 = \frac{\pi}{32} d^3 \dots\dots\dots(8)$$

で与えられる。また、藻類は粒径が一定以上の大きさでなければ、付着繁殖できない可能性もある。飽和増殖量 m_{max} と a との関係を、

$$m_{max} = \alpha (a - a_0) \dots\dots\dots(9)$$

ここで、 α ：比例係数、 a_0 ：定数。
で仮定し、(9)式に(8)式を代入し、整理すると次式になる。

$$m_{max} = \frac{\alpha \pi}{32} (d^2 - d_0^2) \dots\dots\dots(10)$$

ここで、 $d_0^2 = \frac{32}{\pi} a_0$

(7)式からわかるとおり、 m_{max} は $\frac{dm}{dt} = 0$ の飽和条件下で現存量 m に相当する。(10)式は河床中の礫 1 個の現存量であり、河床面積 S 全体では以下のように考える。

表-4 代表水域の pH 諸元比較

基準点	年平均值の傾向 pH=at+b	pH≧8.0の 出現頻度
音更橋	0.057 t + 7.532	42.8
池田大橋	0.020 t + 6.944	0.0

表-5 増殖要因の水域比較

測点 No.	音 更 川						
	d(mm)	V(m/s)	h(m)	B(m)	X(m)	DX(m)	S(m²)
1	25.23	0.92	0.24	19.70	4813		
2	23.12	0.93	0.15	32.11	5604	791	20491
3	20.14	1.14	0.19	19.63	6625	1021	26413
4	16.45	0.24	0.42	43.41	7590	965	30417
5	16.68	0.51	0.29	29.56	8504	914	33347
6	32.04	1.47	0.26	11.42	9400	896	18359
7	28.94	0.31	0.53	26.37	10293	893	16873
8	34.13	0.84	0.17	30.96	11141	848	24308
9	35.28	0.71	0.18	34.76	12079	938	30823
10	31.56	0.84	0.08	61.92	13024	945	45687
11	34.50	1.11	0.29	13.56	13974	950	35853

測点 No.	音 更 川						
	d(mm)	V(m/s)	h(m)	B(m)	X(m)	DX(m)	S(m²)
1	7.91	0.62	0.74	94.63	4947		
2	5.25	0.55	0.64	124.05	5957	1010	110433
3	6.81	0.59	0.60	125.41	6912	955	119117
4	11.48	0.64	0.85	79.97	7947	1035	106284
5	9.12	0.90	0.45	105.92	8892	945	87833
6	6.57	0.75	0.63	93.09	9879	987	98211
7	7.81	0.70	0.63	98.12	10945	1066	101915
8	9.63	0.72	1.21	49.60	11837	892	65883
9	10.59	0.67	0.97	65.70	12733	896	51654
10	10.00	0.79	1.12	49.29	13775	1042	59910
11	11.23	0.80	0.98	55.69	14839	1064	55849

d：平均粒径 V：平均流速 h：水深 B：川幅
X：追加距離 DX：区間距離 S：水面面積 (B・DX)

川幅 B 、区間距離 ΔX 内での礫の個数 n は、その並びを一樣で規則的であるとすると(11)式で与えられるので m_{max} は、

$$n = \frac{B}{d} \cdot \frac{\Delta X}{d} = \frac{B \cdot \Delta X}{d^2} = \frac{S}{d^2} \dots\dots\dots(11)$$

$$\therefore M_{max} = \frac{S}{d^2} \cdot \frac{\alpha \pi}{32} (d^2 - d_0^2)$$
$$= \frac{\alpha \cdot \pi \cdot S}{32} \{1 - (\frac{d_0^2}{d^2})\} \dots\dots\dots(12)$$

で与えられる。(12)式による M_{max} は、図-7 のような変化を呈し、 $d = d_0$ で $M_{max} = 0$ で、 d が d_0 より大きくなるに従い $\frac{\alpha \pi S}{32}$ の値に近づいていく。(12)式からわかるとおり d と d_0 との関係が重要になり、粒径の小

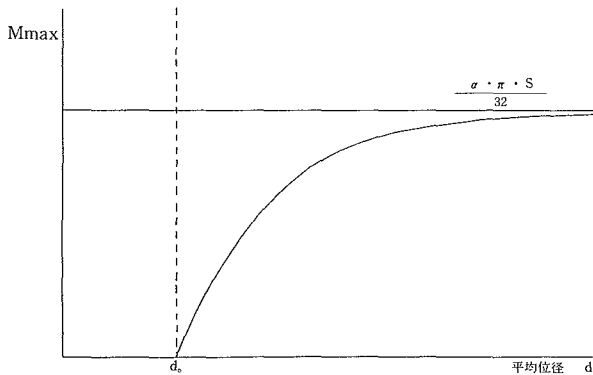


図-7 一定河床面積内の飽和現存量Mmaxの変化

さい利別川は、比較的藻類が増殖しにくい環境にあるといえる。

7-2 水深による比較

次に、水深が付着性藻類の増殖に与える影響について検討した。水深 h は河床に到達する照度 I を左右し、照度 I と光合成速度とは密接に係わる。

水深より照度の減衰は、Lambert-Beer の法則より、

$$I = I_{max} e^{-\beta h} \quad \dots\dots\dots (13)$$

ここで、 I ：水深 h の照度、 h ：水深、 I_{max} ：水面での照度、 β ：比例係数。

で与えられる。水深 h の差がそれほど大きくないため明瞭な違いは少ないと考えられるが、この点でも水深 h が大きい利別川は、他と比べて藻類増殖の条件が良くないことがわかる。

7-3 流速・流量による比較

藻類増殖と流速の関係について検討した。流速 V は藻類の栄養塩吸収にも関係するため、低水条件下においてもその増殖に影響を与える。しかし、最も重要な点は、洪水など流況変化に伴う付着性藻類の剝離現象である。音更川は発電利水のため減水しているが、利別川では逆に本別発電所などの放流影響を受けて、日間の流量変化が恒常的に発生している。図-8 は昭和 59 年の利別川におけるダム放流条件下での水質調査結果を示しているが、放流による掃流フラッシュが明らかに認められる。流量の増分は $45 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であり、流速に置き換えて $0.60 \sim 1.05 \text{ m/s}$ まで上昇している。利別川で見られる発電放流では河床堆積物をフラッシュしており、こうした条件下での付着性藻類の安定増殖はむずかしいと考えられる。

以上、付着性藻類増殖の物理的な要因について利

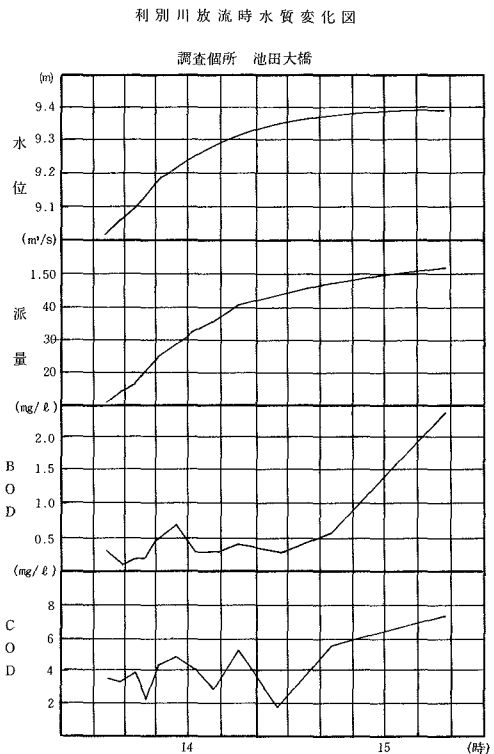


図-8 ダム放流による水質変化の測定(利別川)

別川、音更川で各要因の比較したが、増殖空間では明らかに音更川の方が有利に作用する。よって、付着性藻類が増殖しやすい環境にある音更川で pH が上昇していることが裏づけされ、他の pH 上昇河川水域についても同様なことが考えられる。

8. 考 察

河川 pH の上昇と付着性藻類の関係について、十勝川水系を例に検討した。その結果として、河川の pH は付着性藻類の物理的な要因により増殖し、それが pH の上昇を引起していると考えられる。このことは表-3 で示す他の pH 上昇水域でも同様の結果が得られており、pH 上昇に結びつくと推定できる。

藻類は河床材料である礫に付着しており、礫が生活環境の場になっている。したがって、河床材料が礫層で形成されていることが藻類増殖のひとつの条件であり、高 pH 発生水域の河床材料平均粒径は数 10 mm のオーダーにある。また、増殖が光合成によって支配されるので水深が比較的浅く、光透過が十分でなければならない。低水時の平均水深について

みると、全般に 1.0 m 以下の水深で高 pH の出現が見られ、浅い地点ほど増殖に有利なことがわかる。さらに河床面積が広いことも重要であり、河床面積の大きさは藻類の増殖空間と等しいので、現存量の大きさを大きく左右するといえ、河幅が広く、水深の浅い礫河床の河道が縦断的に連続する河川ほど藻類増殖に有利に働く。

次に重要な点は、藻類の付着力と流水による掃流作用である。低水時の平均流速も重要であるが、むしろ洪水の発生頻度の低いことが、安定した増殖を左右する重要なファクターと思われる。十勝川水系などの pH 上昇水域では上流にダムを持つ水域であり、こうした水域では洪水の平滑化が行われるので、河床礫の転石頻度は他河川に比べ少なくなると考えることができる。洪水による転石は付着性藻類をほぼ完全に分離させるので、藻類の安定増殖はむしろ少なくなる。実際に昭和 56 年洪水後の音更川では、昭和 57 年の pH の年最大値、平均値ともに急激に低下しており、観測期間中最小の値となっている。これは、昭和 56 年に洪水により糠平ダムの放流が行われていることに起因していると考えられる。このように洪水と付着性藻類の増殖との関係から、河川の水質管理を目的として pH をコントロールするためには、ダムなどの放流による藻類安定増殖の低減を行うことの可能性が見いだされた。

9. あとがき

高 pH の発生は、ほぼ付着性藻類の増殖に起因していることが予想される。また、藻類の増殖要因としては、化学的要因である河川水質よりむしろ物理的要因が重要であり、水深が浅く、川幅が広い礫河床が連続していることや、ダムなどによって出水頻度がコントロールされていることから、出水の平滑化が進められ安定した藻類の増殖が行われることがわかった。このように藻類の安定増殖は、いわゆる河川流水域の富栄養化の可能性を示唆しており、藻類自体が有機物であるために河床堆積汚濁の増加とともに、COD や BOD の上昇へも結びつく可能性を持っている。そうした河川の水質環境の改善対策として、ダムなどの放流により水質浄化を図るための水環境対策も検討されることが期待される。

参考文献

- 1) 津田松苗；汚水生物学，北隆館，1979 年。
- 2) 小林節子；着性微生物の剝離による河川水質への影響，水質汚濁研究 第 5 巻第 6 号。
- 3) 海老瀬潜一，宗宮 功，大楽尚史；市街地河川流達負荷量変化と河床付着性生物群(1)，用水と廃水 Vol. 20 No. 12，1978 年。
- 4) 田井慎吾，針生 晋，岡田光生，須藤隆一；富栄養化の評価ならびに制御指標の検討，水処理技術 Vol. 19 No. 5，1978 年。