

II-51

北海道河川のpHに関する一考察

北海道開発局開発土木研究所 正員 谷 昭彦  
正員 佐藤 徳人

まえがき

地球環境問題のひとつとして酸性雨、酸性雪などの酸性降下物の問題があげられ、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、河川的环境指標であるpHが年々上昇しアルカリ傾向にある河川が見受けられ、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、道内河川の水質的特徴を検討し、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。

1 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、一級河川9水系23水域、観測点は55地点である。データは公共用水域の水質測定結果を使用しており、観測期間は測定箇所により異なるが、概ね昭和52年～平成3年の15年間である。測定は月に数回もしくは1回観測されており、年平均値として表わす。代表地点として十勝川新清橋のpH変化を図-1に示す。

図の縦軸はpH・DO飽和度、

横軸は各年を示しpHとDO飽和度の平均値、最大値、最小値を表わしている。

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pH=8.0をひとつの目安とし、pH≥8.0を超過する高pHの頻度について整理し、代表として十勝川水系の結果を表-2に示す。pHの経年変化を相関式で表わし、式の係数が正負で傾向が上昇(↑)、下降(↓)、変化無し(ー)に分類した。pHの経年傾向は対象観測点55地点中21地点で上昇傾向を示している。全般にpHの年間変動幅は大きく、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、pH≥8.0を超過する生起頻度は概ね1.0～47.0(%/年)程度である。そこで、上昇していると判断される河川水域を抽出すると表-3になる。これらの河川を対象に上昇原因の検討を行った。

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   |
|       | オサラッペ川 | 治水橋                          | 1   |
|       | 夕張川    | 南部上水取水口、清沼橋、川端橋、清模橋、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   |
|       | 下頃辺川   | 吉野、愛牛橋                       | 2   |
| 浦幌十勝川 | 留萌川    | 留萌橋、大和田、16緑橋、橋橋              | 4   |
| 留萌川   | 清滑川    | 清滑橋、ウツツ橋                     | 2   |
| 湧別川   | 湧別川    | 中湧別橋、遠程橋                     | 2   |
| 常呂川   | 常呂川    | 上川治、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   |

Field Observations and Analysis of pH in Rivers in Hokkaido

by Akihiko TANI and Norito SATO

## 2 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、次の三ケースが考えられる。第一にアルカリ性排水の流入、第二に海水の流入、第三として河床付着性藻類の光合成によるpHの変化が考えられる。この3ケースについて可能性を検討すると、第一のケースである工場等で生じるアルカリ性排水については、何らかの中和処理を講じて排出されるので高pHの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。第二のケース

の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、河口部だけではなく中・上流域でもpHが上昇している地点があることから上昇要因とは考えにくい。第三のケースとして、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、pH上昇の要因としては、河床付着性藻類の光合成によるものと推測してpH変動の検討を行う。

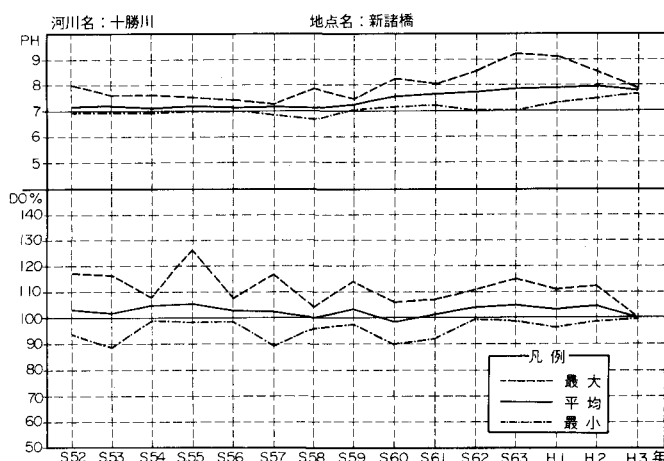


図-1 pH年平均の経年図

表-2 pH年平均値変動傾向集約表

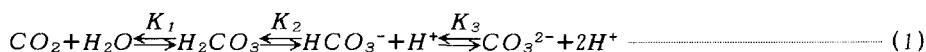
| 水系名 | 河川名 | 観測所名    | pH = a + b           | pH ≥ 8.0 生起確率 |    |
|-----|-----|---------|----------------------|---------------|----|
|     |     |         |                      | 年平均(%)        | 傾向 |
| 十勝川 | 新清橋 | 新清橋     | pH = 0.065t + 6.907  | 10.5          | ↗  |
|     |     | 佐幌川合流点前 | pH = 0.048t + 6.938  | 3.0           | ↗  |
|     |     | 祥栄橋     | pH = 0.050t + 6.876  | 4.5           | ↗  |
|     |     | 十勝大橋    | pH = 0.044t + 6.848  | 0.8           | ↗  |
|     |     | 千代田堰堤   | pH = 0.046t + 6.869  | 1.7           | ↗  |
|     |     | 茂岩      | pH = 0.035t + 6.851  | 0.6           | —  |
|     | 音更川 | 音更橋     | pH = 0.057t + 7.532  | 42.8          | ↗  |
|     |     | 南茶橋     | pH = 0.034t + 6.845  | 1.7           | ↗  |
|     |     | 札内橋     | pH = 0.070t + 7.067  | 14.4          | ↗  |
|     |     | 池田大橋    | pH = 0.020t + 6.944  | 0.0           | —  |
| 下川  | 利別川 | 千住橋     | pH = 0.039t + 6.986  | 3.6           | —  |
|     |     | 止若橋     | pH = 0.034t + 6.856  | 0.6           | —  |
|     | 吉野川 | 吉野      | pH = 0.031t + 7.097  | 0.0           | —  |
|     |     | 蒙牛橋     | pH = -0.009t + 6.984 | 0.0           | —  |

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、南茶橋                    |
|     | 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                        |

## 3 付着性藻類の光合成によるpH上昇のメカニズム

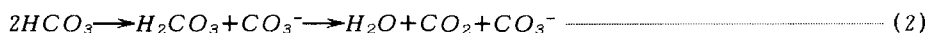
水のpHは、遊離の $CO_2$ 、 $H_2CO_3$ 、 $HCO_3^-$ 、 $CO_3^{2-}$ イオンなどの平衡によって決まる。藻類による光合成では、遊離の $CO_2$ や $HCO_3^-$ イオンが吸収利用され、しかも大気からの $CO_2$ の供給が、藻類による利用速度より遅いために、炭酸平衡が次式で左へ向かう傾向となりpHが上昇する。この過程<sup>4)</sup>を示すと水中の無機炭酸は、



ここで、 $K_1=2.6 \times 10^{-3}$ ,  $K_2=1.7 \times 10^{-4}$ ,  $K_3=4.7 \times 10^{-11}$

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、 $HCO_3^-$ もカルボニックアンヒドラーゼの触媒作用により次の反応<sup>4)</sup>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次式<sup>4)</sup>のようになる。

$$pH = 10.33 - \log \frac{[HCO_3^-]}{[CO_3^{2-}]} \quad (3)$$

この式より $[HCO_3^-]$ 、 $[CO_3^{2-}]$ 濃度でpHが現される。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、(3)によりpHが上昇する。よって、付着性藻類の光合成によってpHが変化し、増殖によるpHの上昇が上記の反応によりなり得ることを示している。

#### 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および他の水質項目の変動について現地調査を行い、上昇の原因と考えられる付着性藻類の光合成について検討した。調査は流量が比較的少なく安定して付着性藻類の繁殖に適合している地点と放流によって流量が変化し安定増殖を阻害する地点で比較することとした。モデル水域は水質観測地点が多く、pHの上昇している地点が多い十勝川水系十勝川とする。十勝川に於いては上流から下流までの間に6地点の観測点がある。ここでは図-2に示すように、屈足ダム直下から熊牛発電所までの約7.5km区間はダムからの維持流量だけの流量減水(流量安定)区間で、その下流から佐幌川合流点前までは発電放流による放流区間であり、両区間の代表地点として新清橋地点(減水区間)、佐幌川合流点前(放流区間)とした。調査は平成4年6月~11月の期

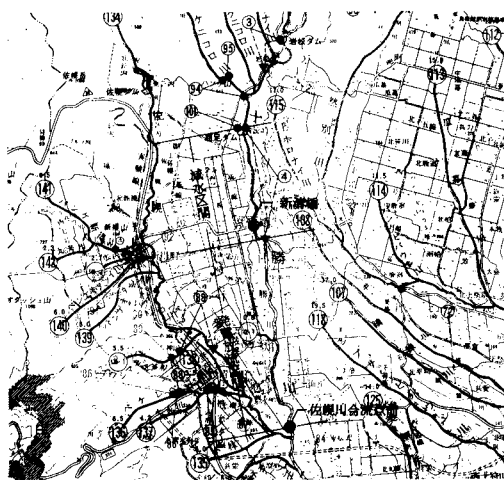
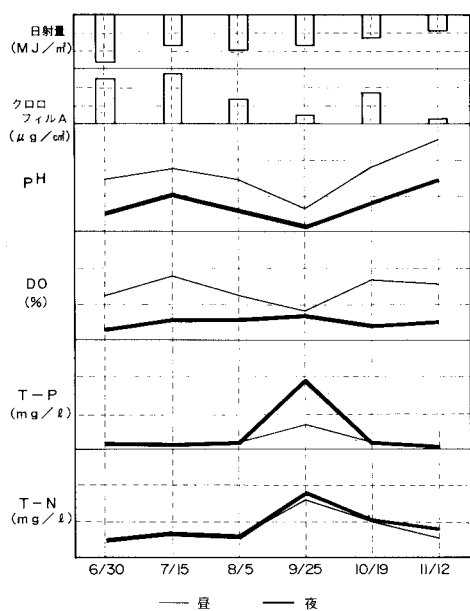
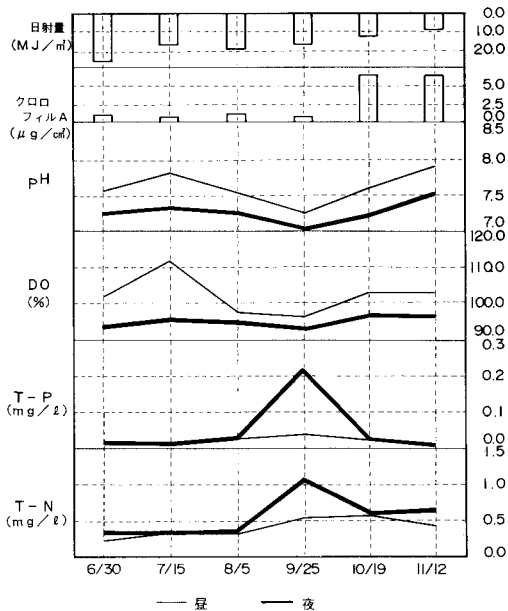


図-2 調査地点位置図

間、月1回の頻度で1日に昼夜の2回行った。各測定項目の月別変化を図-3に示している。図-3からクロロフィルaの変化は6月から8月までは流域状況とも一致し、新清橋の方が佐幌川合流点前より高くなっている。pHの変化とも一致している。しかし、9月の台風による出水以降は両地点の値は逆転しているが、現地の生息状況とは一致しており、出水による付着性藻類の剥離状況が地点で異なっているためと推測される。また、11月の新清橋地点では、クロロフィルaが少なくても係わらずpHの上昇が大きくなっている。この原因として、クロロフィルaはサンプリングする礫によるデータのばらつきが現れやすく、横断方向で生息状況がことなっているためと考えられる。昼夜の比較では、pH、DO飽和度はいずれも昼間が夜間測定値を上回っている傾向が見られ、こうした変化は新清橋、佐幌川合流点前とも共通しており、付着性藻類の光合成により日周変化を呈していることが推測される。



新 清 橋



佐 梶 川 合 流 点 前

図－3 水質の月変化

次に、同地点で24時間（2時間間隔）の連続水質調査を行い、pHの日周変化の実態についてまとめた。光合成は日射条件によって異なるため調査は11月の晴天、10月の曇天の条件下で行った。晴天と曇天の条件を表－4，結果を図－4に示す。図によれば晴天・曇天によらずpH、DO飽和度、アルカリ度はいずれも日周性を示している。また、各天候・地点の最大・最小値を表－5に示す。晴天・曇天での変化の違いは、pHで見られるとおり曇天に比べ晴天の変動幅が大きいことであり、新清橋の変動幅は曇天で0.53、晴天で0.61、また佐梶川合流点前でも曇天で0.26、晴天で0.39と日間の変動幅は若干ではあるが晴天下が大きく日照条件による違いが認められ、よって河川のpH上昇は付着性藻類の光合成によるものと言える。

表－4 曇天と晴天の条件

| 地 点     | 曇天日 (10/13～10/14)                        |                                     | 晴天日 (11/12～11/13)                        |                                     |
|---------|------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------|
|         | クロロフィルa<br>( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) | 日 射 量<br>( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) | クロロフィルa<br>( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) | 日 射 量<br>( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) |
| 新 清 橋   | 4.30                                     | 4.9                                 | 0.71                                     | 8.7                                 |
| 佐梶川合流点前 | 6.40                                     |                                     | 6.51                                     |                                     |

表－5 水質の日間変動

| 地 点            | 曇天日 (10/13～10/14) |      |      |       |       |      | 晴天日 (11/12～11/13) |      |      |       |       |      |
|----------------|-------------------|------|------|-------|-------|------|-------------------|------|------|-------|-------|------|
|                | p H               |      | DO%  |       | アルカリ度 |      | p H               |      | DO%  |       | アルカリ度 |      |
|                | 最小                | 最大   | 最小   | 最大    | 最小    | 最大   | 最小                | 最大   | 最小   | 最大    | 最小    | 最大   |
| 新 清 橋          | 7.08              | 7.61 | 93.1 | 104.4 | 24.5  | 26.5 | 7.70              | 8.31 | 92.7 | 108.9 | 26.4  | 28.5 |
| 佐 梶 川<br>合 流 点 | 6.83              | 7.09 | 93.6 | 100.3 | 25.0  | 26.3 | 7.51              | 7.90 | 64.1 | 103.6 | 27.0  | 28.4 |

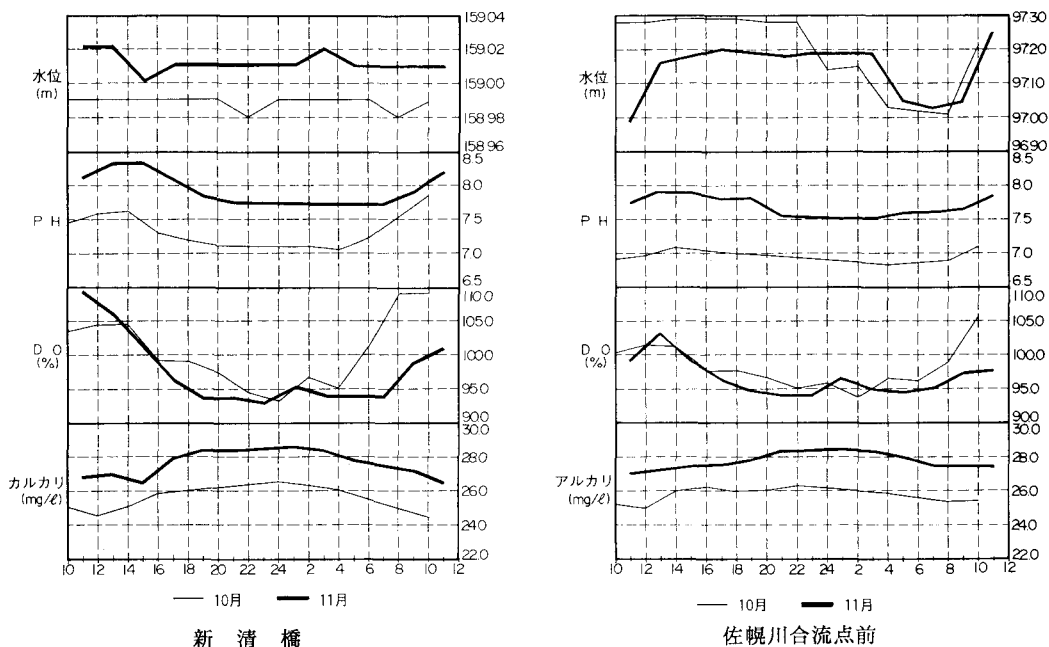


図-4 水質の日周変化

#### 5 水質および付着性藻類と流量の関係

調査対象とした2地点で流量の違いによるpHの変動を考察する。今回の調査では台風による出水が藻類の現存量や水質に大きく影響を与えている。9月23日の測定値では9月10、11日の台風17号による出水があり晴天下であるにもかかわらず、pH等の昼夜変化が小さくなっており、新清橋地点においてはクロロフィルaの値も8月 $3.4\mu\text{g}/\text{cm}^2$ から $1.1\mu\text{g}/\text{cm}^2$ に低下しており出水による藻類の剥離流出が働いたためと考えることができる。この時のピーク流量は $158.31\text{m}^3/\text{s}$ で平均流速は2.90mであった。またT-N、T-Pに関しても2地点で夏期の晴天下に比べ昼夜平均で3~10倍高い(図-3参照)。この上昇はSS由来のものと考えられ出水後濁った貯水池内の水が無効放流、発電放流、維持放流などの形で流下するため、晴天下であっても光阻害として働き藻類の光合成を制御し繁殖の回復を遅らせているものと推測される。この時のSS値は $24\sim 26\text{mg}/\text{l}$ と平常に比べ数倍高いため、このことが裏付けされる。

次に、連続水質調査結果で付着性藻類の現存量(クロロフィルa)とpHの関係、現存量・pHと水域条件との関係が一致しておらず、この関係を屈足ダム貯水池からの放流量との関係から考察する。現存量とpHの関係においては、晴天下での新清橋の藻類現存

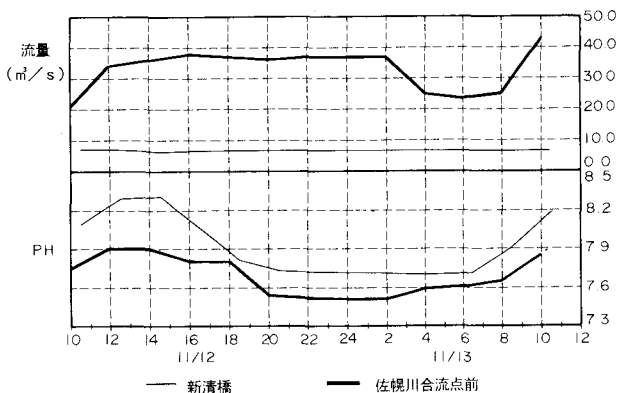


図-5 晴天下pH・流量の地点変化

量が少ないにもかかわらずpが曇天下より大きくなっており一致性が見られない。そこで晴天下での両地点の流量とpHの時間変化を図-5に示す。図に示すように佐幌川合流前は熊牛発電所放流量によって大きく変化している。一方、新清橋は $5.0\text{ m}^3/\text{s}$ の維持放流量が供給されている。この2地点は屈足ダム貯水池より水の供給がなされているため、両地点のpHはダム貯水池内の水質に影響される。そこで屈足ダム貯水池のpHは発電所放水口のpHと等しいと考え、放水口のpHは曇天で6.85であるのに対し、晴天では7.55程度であり、その変化量は0.70であった。表-5に示した曇天と晴天条件でのpH最小値の差は、新清橋で0.62、佐幌川合流点前で0.68となっており、発電放水口のpH変化とほぼ一致している。こうしたことから晴天下pHの全体的上昇は、ダム貯水池のpH変化によるものと考えらる。よって減水区間である新清橋のpH変化は、ダム貯水池のpHに光合成作用によるpH変化が重複した結果と言える。また、藻類現存量・pHと水域条件との関係においては、表-4に示したように新清橋のクロロフィルaが佐幌川合流点前より小さいにもかかわらず、pHの変動幅が佐幌川合流点前に比べ大きく、現存量・pHと水域条件が一致していない。この関係においても発電所放流量の影響で放流水のpHは曇天6.85、晴天7.55と低く、放流による流入は希釈作用として働くため放流区間である佐幌川合流点前の方が現存量が多いにもかかわらずpHが新清橋より低くなると考察できる。

#### あとがき

pHの経年的上昇傾向は、道内の主要河川で多くみられており、その要因として付着性藻類による光合成を取り上げた。藻類の増殖している水域では、光合成の働きによってpHやDO飽和度、アルカリ度などの項目が日周変化を呈する。そこでpH上昇水域のひとつである十勝川上流部をモデル区間として、水質の日周性や藻類現存量の実態について調査し、以下の結果が得られた。

- ① pH、DO飽和度、アルカリ度の各項目で日周性が見られた。
- ② 日周性は日照条件によっても影響され、晴天下に比べ曇天下では変動幅の小さい。

この結果から、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明かで、他のpH上昇水域でも同様の結果が考えられ、pH上昇に結びついていると推定できる。

今回の調査では出水の影響もあり、従前に比べpHの変化も小さく、データのばらつきも十分ではなかった。モデル水域における藻類現存量は、台風による出水前では、減水区間が発電放流区間より上廻っていたが、出水後での測定結果は、逆になっており、藻類の増殖と流域条件との関係については今後の問題として挙げられる。

最後に今後の課題として、以下の検討を行っていく必要がある。

- ① 付着性藻類の生息環境は、礫个体間、河道横断方向で異なり、生息のばらつき程度の把握、藻類現存量と水理条件との関係の検討。
- ② pHの上昇がどのように推移するかといった問題もあり、藻類の生産活動を考慮したpHなどの水質変化を推定する水質モデルの検討。

#### 参考文献

- 1) 津田 松苗; 汚水生物学, 北隆館, 1979年
- 2) 小林 節子; 着性微生物の剥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 他; 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 他; 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
- 5) 日本生態学会環境問題専門委員会編; 環境と生物指標2-水界編, 共立出版株式会社
- 6) 森下 郁子; 指標生物学 生物モニタリングの考え方, 山海堂