



技術解説

河川はよみがえるか —水質汚濁とその制御の本質—

橋本 奨*

まえおき

人類は大昔から、水の豊富な土地に定着し、町をつくり、産業を発展させてきた。しかし、人口が増えて、産業が発達し、町の規模が大きくなって、都市化してくると、嘗て流れていた美しい自然の川はドブ川と化し、市民生活は不衛生且つ不愉快極まるものとなってくる。そこで、ドブ川は下水道にて、所定の場所まで導き、処理をして、清浄にし、再び河川に戻してやらねばならないようになってくる。

しかし、河川上流の山林地帯や農村地帯では、現在でも農業や畜産排水、また家庭排水中の洗剤や燐、また糞尿やゴミなどに由来する局所的な水質汚染問題はあるにしても自然の山林や田畑、灌漑などの自然や半人工的な水循環システムが、かなりの程度に保存されているので、周囲の自然の中の土壌や微生物その他の生物などの働きで、汚水や排水はかなり浄化されている。従来、農業での水利用と生活排水の浄化処理は、糞尿や汚泥の肥料化で、マクロ的にみれば、質的にも量的にも自然の水システムに近く自然の生態系を乱していなかった。

しかし、人口密度が高くなると、人間生活の排出する汚水や汚物は、自然のままでは処理しきれなくなってくる。現在わが国ではこの限界の人口密度は200人/km²程度と言われ、これ以上になって都市化してくると、人為的な下水処理システムを作らなければならないとされている。

従来、わが国の都市や工業地帯の殆どは、河川流域の下流感潮区域で発達してきたが、過去10数年来の人口や産業の巨大化と市民生活の高

度化は、水需要の増大を余儀なくし、これにもなる下廃水の質、量とも増大と下水道や下廃水処理の不備などが、複雑に絡みあって、ここでの河川汚濁や局地的な海洋汚染が深刻化するようになった。

元来、日本列島は四面が海に囲まれ、周囲には潮流が流れ、世界一多いといわれる国土の降雨量の大半が、梅雨と秋の台風時の降水として、短少且つ急流の河川を短時間に流れ去ってしまうので、まさに汚染物を洗い流すような、水質公害の起こりにくい「水流しの国」になっている。ところが、わが国の河川の特長は地形的に急峻且つ狭少な流域面積と流路のため、河川の流出量は、季節によって大きく変動するため、流出量の少い時には河川汚濁は極めて深刻である。その結果、これまで列島改造という名のもとに、水の質、量とも不足と水質公害をはじめとする多くの環境公害から逃れるため、余力のある住民や企業は、生物生態の原理にもとづいて、きれいな水やよき環境を求めて、上流域に昇るようになった。これまでに上流に昇った企業や住民から、工場廃水や生活廃水が無処理で放流されると水質汚濁が益々激しくなり、下流の下であえいでいるものにとってはたまったものではなく、水にかかわる種々の深刻な問題が起こってくる。

そこで、水質公害防除のための工場廃水処理と下水処理が極めて大事な施設となるが、これら処理と河川の自浄作用で、自然の水の清浄さと同程度の水に戻し、しかも下流の浄水処理で、生命の保証のとれる上水に戻してやるのが肝要なことになる。かつての美しき自然の河川によみがえらすためには、我々はいかなる方策をとればよいのか？そこで、水利用からみた下廃水処理と水質汚濁の関係、また水質汚濁の機構とその制御の本質について私見を述べる。

* 橋本 奨 (SUSUMU, HASHIMOTO), 大阪大学工学部, 環境工学科 (水質管理工学研究室) 教授, 医学博士, 工学博士, 専攻 (水質工学, 環境化学)

1. 水利用からみた下水・廃水処理と水質汚濁の関係

下水量や廃水量が少ない段階では、これまで、衛生学的な問題はあったにしても自然がうまく処理してくれるために、水質も余り問題にならなかった。しかし、水域の上流域に市街地人口や産業が増大してくると、下水量や廃水量が増えて、自然の処理能力の限界を越し、河川の汚濁は急速に進行することになり、人為的な下水処理、廃水処理が必要になってくる。藤野¹⁾によると、現在、わが国では、この限界の人口密度は200人/km²程度と言われ、これ以上になって都市化してくると、人為的な下水処理システムを作らなければならない。下水道とは糞尿やその他の汚水が一瞬のうちに、目の前から洗い流されて我々の周りの生活環境が快適になるという施設である。処理とは、洗い流された汚水を、物理的、化学的、生物学的な人工操作で分離・濃縮し、元の自然の水に戻すことである。しかし、水中の微量の元素や、種々の成分のバランスという点まで考えると、処理によって自然の水に戻すことは殆ど不可能であるべきである。今、第1図のように或る地域Aの盆地、或は生活地域を考え、Q：河川流量、r：取水割合、C₁：上流河川の水質濃度、C₂：生活地域から出る放流下水水質濃度、C：下流河川の水質濃度として放流水が河川の維持用水で完全混合されるとすると、

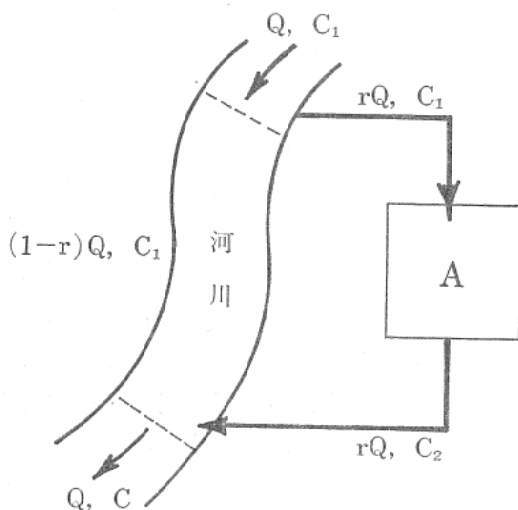


図1 水質・水量収支からみた河川の水質汚濁²⁾

$$C = \frac{C_1(1-r)Q + C_2r \cdot Q}{Q} = C_1(1-r) + C_2r$$

$$= C_1 + (C_2 - C_1)r \dots\dots\dots(1)$$

今、水汚染率 $\alpha = C_2/C_1$ とすると、 $\alpha \geq 1$ で、(1)式は次のように書ける。

$$C = C_1[1 + (\alpha - 1)r] \dots\dots\dots(2)$$

(2)式からわかるように、下流河川の水質Cを小さくするためには、取水割合rを小さくして、水汚染率 α を小さくすることである。また、第2図のようにAから出る下水や廃水をBの処理場で、処理して得られる水質C₃の処理水が、河川に放流され、河川の維持用水で完全混合されるとすると、先と同様に、

$$C = C_1(1-r) + C_3r \dots\dots\dots(3)$$

ここで、下水や廃水の処理効率を β とすると、 $C_3 = C_2(1-\beta)$ であるから、(3)式は、次のようになる。

$$C = C_1(1-r) + C_2(1-\beta)r \dots\dots\dots(4)$$

$C_2 = C_1\alpha$ であるから

$$C = C_1[1 + r\{\alpha(1-\beta) - 1\}] \dots\dots\dots(5)$$

(5)式によれば、河川の水質Cを減少させるためには、下水・廃水の処理効率 β を大きくすることは勿論ではあるが、先に述べた水汚染率 α を小さくし、また、河川の取水割合rつまり河川の利用率を低下させることにあると言え

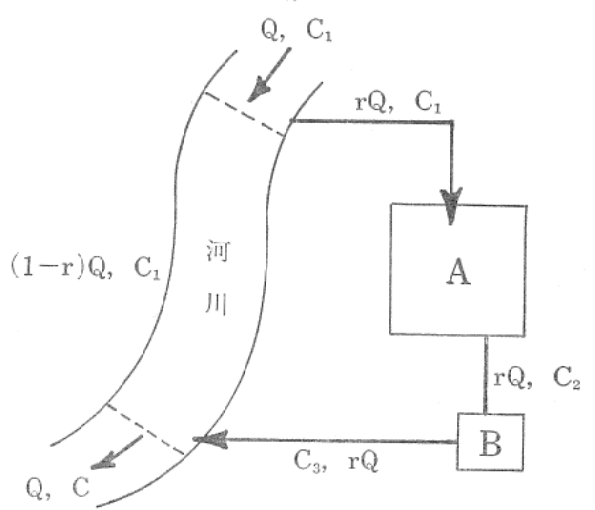


図2 水質水量・水量収支からみた河川の水質汚濁²⁾

る。河川の取水割合 r を小さくすることには、次のようなことが考えられる。

① $r = \frac{rQ}{Q}$ であるから、水資源開発を行って、河川の常時流量 Q を大きくし、取水量 rQ を小さくすることである。

② 水利用の合理化を徹底して、回収利用や再利用を進める。これには、下水や廃水の処理水を再利用して、取水量 rQ を増やさないようにする。

次に、水汚染率 α を小さくするには次のようなことが考えられる。

③ $\alpha = C_2/C_1$ であるから、 C_2 を小さくするつまり、用途別に、また、水質濃度別に段階的に効果的な水利用を行い、できるだけ高濃度の排水と、できるだけ低濃度の排水に分別できるようにし、高濃度排水は排水量 rQ の中に入れないようにして、これは別途排棄物として取扱う。

④ ②の水利用の際、できるだけ汚染されないようにする。

②、③、④は相互に関連するもので、④は実際的にはむつかしいことである。更に、処理効率 β を大きくするには次のようなことが考えられる。

⑤ 下水や廃水の処理を徹底して、処理効率を高め、処理水の水質を改善する。

⑥ 処理技術を向上させる。

農村地帯のように土地に余裕があれば、大きな酸化池、貯め池、また酸化溝を築造して、自然の生態系を利用した浄化法をもっと大々的に利用する。従来、貯め池は、殆ど農業用水用のもので、宅地開発のため、水田の減少とともに埋められてきた。

今日の貯め池は、洪水防除と汚染防除の2面を持たせるべきではないだろうか。

2. 水質汚染の機構とその制御の本質

今日のわが国の水質汚染の本質的な制御方法は、 BOD 、や COD 、物質を除去するということだけでは駄目で、河海における光合成作用と呼吸作用のバランスを維持することである。

2-1 水質汚染の機構

水環境の水質は、水中の種々の生物の光合成

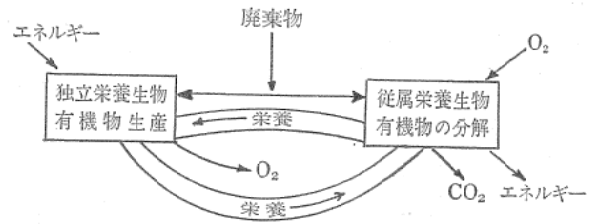


図3 水環境中の生物化学的諸関係²⁾

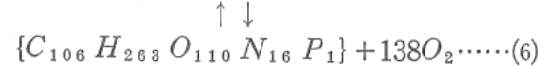
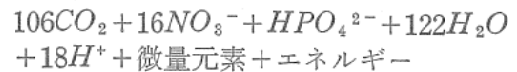
と呼吸反応により、水中の有機無機化合物は分解、変質、貯蔵、放出、堆積、生体内取り込みなどの生物と無生物間の相互作用を受けて変化する。従って、河海や湖沼の汚染や自浄作用では、水中生物による光合成と呼吸作用が極めて重要な役割を演じている。今、水環境における光合成作用と呼吸作用の間の関係を模式図で示すと第3図のようになる。

$$\text{光合成生産 } P = \frac{dp}{dt} \text{ (有機物生産速度)}$$

P : 藻類生産量

$$\text{従属栄養呼吸 } R = \frac{dr}{dt} \text{ (有機物分解速度)}$$

今、この間の関係の化学量論式は次式で表わされる。



河川の汚染は、水環境に過剰のバクテリアや、栄養となる有機物、また藻類の栄養となる N 、 P などの無機塩がはいり込むことにより、 $P-R$ バランスが乱されて起る。 $P > R$ の条件は、藻類が次第に集積し、水環境中の有機物負荷量が増大する。

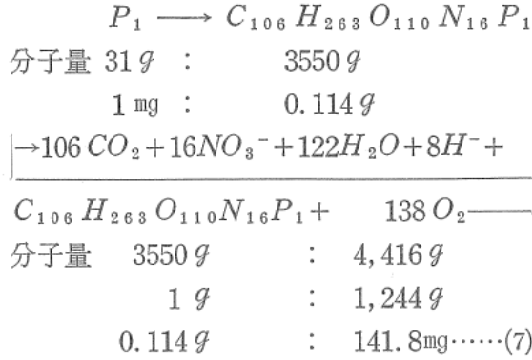
水を清浄に美的に保つには、 P と R の間のバランスが必要である。 $P \approx R$ の場合は、有機物は光合成によって生産されるのと同じ速さで呼吸作用によって分解される。

水環境で、自然的にも人工的にも、有機物が集積されると、有機物の酸化還元反応が起り、最初に溶存酸素が消費され、種々の嫌氣的反応が起る。

2-2 水質汚染の制御の本質

河海における光合成作用に対して、磷 (P) が最小制限物質になるとすると、 1 mg の P は、

乾燥重量にして約 0.1g の藻類の細胞を合成することができる。この合成藻類は死滅して、深層水に沈んで、分解無機化するのに約 140mg の酸素を生物化学的に要求することがわかる。これを計算すると

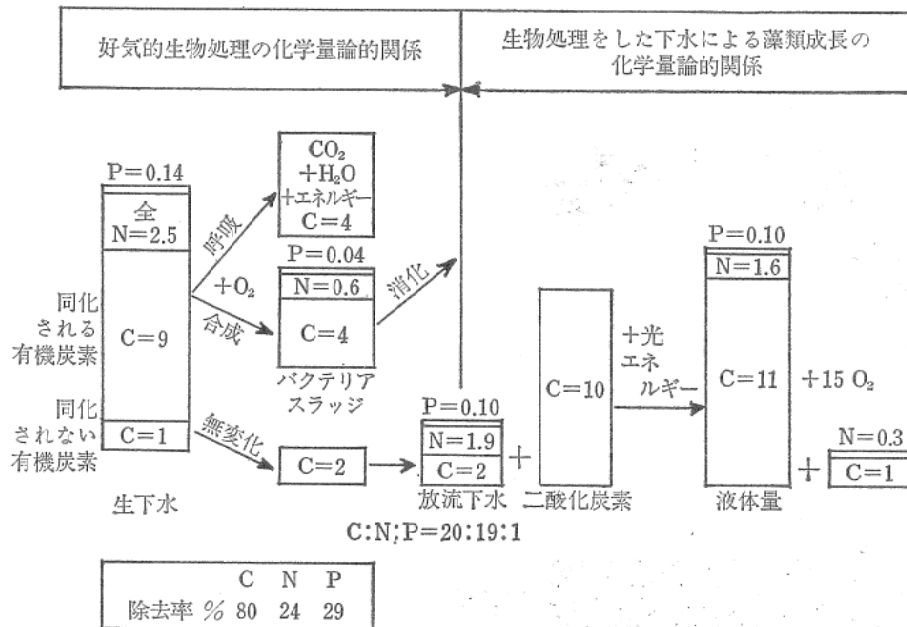


つまり、P 1mg は、自然の水環境中で約 140mg の TOD もしくは BOD が再合成されるということである。下水・廃水の生物学的処理では、N と P の除去は、20~50% 以上に除去することができない。家庭下水の元素組成を活性汚泥と処理水の元素組成に、更に藻類の元素組成を生物処理と光合成の経過別に、化学量論的に対比すると第 4 図のようになる。

この図からわかるように、現在下水や廃水処

理で最も多く採用されている生物処理では、BOD 除去率 90% 以上といわれても、自然の水環境で、処理水中の残存 N, P が BOD や COD を合成するということになる。実質的な BOD 除去率は極めて低いことになり、下水処理の意義が少なくなってくる。従って水質汚染を本質的に制御するためには、水環境に排出される汚水や廃水中の生物分解性の汚染性有機物 (BOD) やまだ除去法が完成されていない生物難分解性の汚染性有機物質 (COD 或は TOC) を除去するだけでは不十分であり、藻類の栄養となる塩類 (N, P など) やその他、にごり、嫌気性因子などを取り除く必要がある。河川の水質汚染の防止には、汚廃水の処理だけにとどまらず、汚廃水量の減量法や、栄養物質の滞留時間の減少、栄養塩の循環速度の減少、例えば魚類などの養殖や、水生植物などの育生などの操作も考えなければならない。

下・廃水の N, P の除去は、高度処理或は第三次処理で種々研究され、取り扱われているが、経済的に N, P を除去するためには下・廃水の二次処理つまり活性汚泥処理法の中で除去するしか方策がないように筆者は考えている



平均的な家庭下水の相対組成を、バクテリア中の C, N, P の平均の化学量論的關係と比較することによって、リン酸塩と窒素物質のごくわずかの部分しか汚泥中にはとりこまれないことがわかる。生物処理下水放流水として放出される無機栄養塩は藻類細胞物質にかわる。CO₂ (または HCO₂⁻) その他の主要元素は窒素やリンに比べて十分利用できる量が存在する。

図 4 汚水の好気性生物処理における化学量論的關係³⁾

が、そうすれば、人口過密、土地の高価なところでは高濃度活性汚泥法、人口稀薄、土地の安価なところでは、大きな酸化池法ということになるように思われる。わが国の下・廃水処理は、活性汚泥法のところでもまだ不完全であるというとき、まだまだ、 N 、 P の除去は到底望めないのではないのではないだろうか。

下・廃水の N 、 P に限らず、その他下・廃水の処理で発生する汚泥の処理・処分は、最も大きな問題で、その他下・廃水の水質水量の時間的変動に対する処理のあり方の問題、工場廃水と下水の混合処理の是非の問題、雨水と生活廃水の分離の問題、下・廃水中の難分解性物質や化学合成物質、農薬、重金属などの処理の問題、農村下水道はいかにあるべきかなど、未解決の問題が数多く山積みされているので、これらの問題をも考慮に入れた上での適切な処理のあり方もまた、先の水利用のあり方に加えてわが国の河川をよみがえらすために極めて大事なことである。

むすび

河川はよみがえるか？ ということで、水質汚濁とその制御の本質について私見を述べたが、河川をよみがえらせるためには、我々は次のことを銘記しておくべきであると考え。

- ① 水資源は限界があって、いくら数多くのダムを建設しても、一般の河川の利用率は、平均流量の30~40%位が限度である。
- ② 下水や廃水の処理技術が発達すれば自然の水に近づけることはできても、コストが問題で本質的には技術がいくら向上しようとも、完全な自然の水の清浄さに戻すことはできない。

③ 水資源の開発も水域の汚染も、いずれも膨大な水需要に起因する。

④ 日本列島汚水溜め化防止の原点は水需要の抑制と適正配分である。即ち水の再利用、水利用の合理化が絶対必要で、その上に立った下水処理・廃水処理・高度処理であるべきである。

以上のように、河川の水質・水量収支からみると、河川をよみがえらすためには、種々のきびしい制約条件はあるにしても、これまで強調されてきた下水や廃水処理のみでは不十分であり、処理によって尚一層水利用が増大されるという人間に対する心理的刺激作用があるから、むしろ、水利用の合理化、また下水や廃水の処理水の再利用や水の循環利用を行うことが極めて重要なことである。

勿論、河川の常時流量や湯水量を増大させるべく、治水と利水、保水の調和のとれた多目的ダム（これには、災害や自然破壊には特に注意せねばならない。）や、貯め池、酸化池、流量調整池、溝などにより、水資源の絶対量をも増やさねばならない。何れにしても河川をよみがえらすためには、色々様々の多様な方策を、その水環境に応じて、採用すべきであり、画一的方法では河川をよみがえらせることはできないのではないかと考える。

参考文献

- 1) 藤野良幸：水利用と水質汚濁，システムと制御，15(1)，1~6 (1971)
- 2) 盛岡通，他4名：流域下水道をめぐる今日的課題 (1)公害と対策，10(2)，1289~1299 (1974)
- 3) W. スタム，J. J. モーガン著，安倍喜也・半谷高久訳：一般水質化学，下，共立出版 (昭49) p. 399~404