

1. はじめに

物理・化学プロセスに限らず生物プロセスを含めて、なんらかの手法により環境汚染を制御しようとするとき、一番先に行なわなければならないのは発生源対策である。環境という境界のない空間に汚濁物質を放出してしまう前の、できるだけ少量で高濃度のときに処理するのが原則であり、「三尺下れば水清し」という自然浄化能を積極的に利用しようとするのは好ましくない。施肥のように当初より環境中に放出されなければ効果のないもの、大気中の汚染物質が降雨に洗われて地上に到達し流出してきたものや、路面の塵芥が流されてきたもの等に対して止むを得ず環境中で制御することが環境を傷つけない最善の方法といえよう。

環境中に汚染物質を放出できる量として環境容量なる概念が示されている。末石・丹保はこの環境容量を幾つかの段階に区分しているが、これは積極的に環境を使うためのものではなく、環境を保全するための止むを得ない選択と理解する方が妥当である。環境容量は物質により異なると思われるが明確に定められるようなものではないし、現在までに定められたものもない。何らかのプロセスでもって環境全体を完全に制御できるほど人間は有能ではないし、そうしようすること自体、自然に対する冒涇ともいえる。自然を利用する際、人間は常に控えめでなければならないし、自然が発する声を聞き取れる感性が求められる。環境と常に調和を保ちつつ、遠慮しがちに環境を使うことを前提に、ここでは、まず環境の特性を述べ、さらに環境中に存在する物理化学プロセスの例を示し、これらを基に物理化学プロセスの手法を環境に適用するときの事例とその効果について考察を加えることにする。

2. 環境の特性

我々の生活環境は自然に囲まれている。自然には生態系が存在し、また自然は大きな緩衝能を有している。環境を制御しようとするとき、環境が有している特性を把握しなければ利用することができない。環境が有している特性の第一は「安定性」である。少し汚濁物質を環境中に放出しても環境はすぐには変化を示さないし、かなりのものはどこかに吸収されてしまうかのように見える。環境は非常に大きな慣性を有しているので、環境の「変化は緩慢」である。時に、人間はその変化を見逃すことがある。また、環境を構成している各要素はそれぞれ「相互作用」を及ぼしあっている。あるひとつの要素に影響を与えると必ず他のところになんらかの影響がいつかの時点で現われる。地球の温暖化現象もそのひとつといえよう。一方、自然は「多様な生物種」を有している。環境に変化が現われたときには、時間はかなりかかるがその変化に対応した生物種が登場し新しい生態系を形成してくれる。環境の変化に対するレスポンスには「可逆と不可逆」とが混在している。環境は安定性を有してはいるが、ある値を越えてゆらいでしまうと異なった安定状態へと移行し始める可能性がある。したがって、環境を制御するときには生態系を含めた環境の本質を十分に理解しておかなければならないし、技術者としての自然観が求められる。

環境が汚濁物質の処理に示す特性として、「変動性」がある。環境は日周変動、季節変動や台風等の突発的な事象の影響を受けている。したがって、あるシステムを環境中に埋め込み効率よく動かせようとしても「非最適」となり、一年中効率よく働かせることは難しい。また環境中の汚濁物質の特性として「低濃度」がある。ある点源から環境中に排出されるとき、その物質は希釈される。したがってどうしても濃度は低くなり、質変換の速度は小さくなる。

環境中では、常に物質変換・貯蔵・輸送が生じている。これらを作りだしているのは物理化学プロセスのみならず、生物プロセスも大きな位置を占めている。したがって、環境を制御するための物理化学プロセスを考えるときには、いつも生態系に注意を払っておかなければならない。生態系に大きな変化を与えそうなプロセスは注意深い環境影響評価を行なって後に実施するほうが良いと思われる。生態系の連鎖的影響は複雑でありかなり先を見通すことが求められている。

生物プロセスはどちらかというと間欠的な作用に不得手であるが物理化学プロセスは間欠的な作用に耐えられることが多いので、この特性は積極的に利用すべきであろう。しかし、化学プロセスの中にはすぐに対応のとれないものもあるので配慮が必要である。

3. 環境制御技術

物理化学プロセスには、①凝集、②フロック形成、③沈降・浮上、④濾過・膜濾過、⑤付着、⑥吸着脱離、⑦イオン交換、⑧pH調整、⑨酸化還元、⑩溶解、⑪光分解、⑫電気分解、⑬透析、⑭逆浸透、⑮希釈、⑯掃流、⑰曝気、⑱脱水、⑲乾燥、⑳抽出などがある。空間で生じているこれらのプロセスを表-1に示す。大気中に存在している物質が自然に沈降あるいは降雨により地表面まで送られ、地中に浸透し表流水あるいは地下水として海域まで輸送されていく過程において、種々の物理化学プロセスの作用を受けることとなる。また、水質改善にかかわる事例と物理化学のプロセスの関係を表-2に示す。

表-1 自然の中に見られる物理化学プロセスの例

プロセス 場所	凝集	フロック形成	沈降	濾過	付着	吸着	イオン交換	pH調整	酸化還元	溶解	分解	希釈	曝気	生物反応
大気			○								○	○	○	
雨滴					○					○			○	
森林					○	○					○			○
山地				○	○	○	○	○	○		○			○
水田			○	○	○	○	○	○	○	○	○			○
畑				○	○	○	○	○	○		○			○
河川水	○	○	○						○	○	○	○	○	○
河床				○	○	○	○	○	○	○	○			○
湖沼	○	○	○						○	○	○	○	○	○
水草帯					○	○					○			○
湖底質				○	○	○	○	○	○	○	○			○
Turbidity Maxima	○	○	○		○	○	○		○	○	○			○
砂浜海岸	○			○	○	○	○		○	○	○		○	○
磯海岸					○	○			○	○	○		○	○
地下				○	○	○	○	○	○	○	○	○		○

表-2 水質改善事例に関わる物理化学プロセスの例

事例	プロセス	凝集	フロック形成	沈降	濾過	付着	吸着	イオン交換	pH調整	酸化還元	溶解	分解	希釈	曝気	生物反応
マイクロトレーナー	東横堀川				○										
土壌浸透法	多摩川				○	○	○	○							○
集水埋渠	筑後川				○										○
堰	佐保川	○	○	○											
水門	寝屋川			○									○		
薄層流	多摩川													○	○
酸化池	石神井川			○								○			○
回転円板	霞ヶ浦					○									○
接触酸化	手賀沼					○									○
礫間接触酸化	野川			○		○									○
曝気礫間接触酸化	荒川			○		○									○
薬品添加	北上川								○						
曝気	道頓堀川													○	
水草	倉敷川					○									○

4. 環境制御事例

4.1 河川水質浄化

都市化により汚染の進行した河川を再生させることが各地で行なわれている。多摩川に注ぐ野川や筑後川に注ぐ高良川では拳大の礫を用いた礫間接触酸化が行なわれている。一般に曝気を伴わない礫間接触酸化では好氣的酸化に除去できる最大 BOD量は溶存酸素量を越えることができないので反応速度の大きい夏場に放流水が嫌気化する可能性がある。礫間接触酸化は本来生物による酸化反応による BOD物質の除去を期待しているが固形物質のかなりの部分は物理化学プロセスの付着と沈殿により除去されている。粒子径を代表長さとするレイノルズ数で 100 程度までは礫内で混合が生じないので多層板沈殿池の考え方により除去率が求められる。

近年、河川景観を創造していく際に近自然工法が唱えられている。これは治水工事を行なう際に河道や河岸をできるだけ自然に近い状態にし、生物が生存しやすいようにし、周辺景観との調和をはかり、河川をより利用しやすいものにしようとするものである。現在のところ景観それ自体にかなりの重点がおかれているが生態系の保持、景観の維持や水質汚濁の防止のためにいくつかの物理化学プロセスをはめ込みそうである。河床が砂の場合には微粒子が沈殿できない程度に流速を保ちつつ、有機物系の超微細粒子は濾過で除去する事も考えられる。

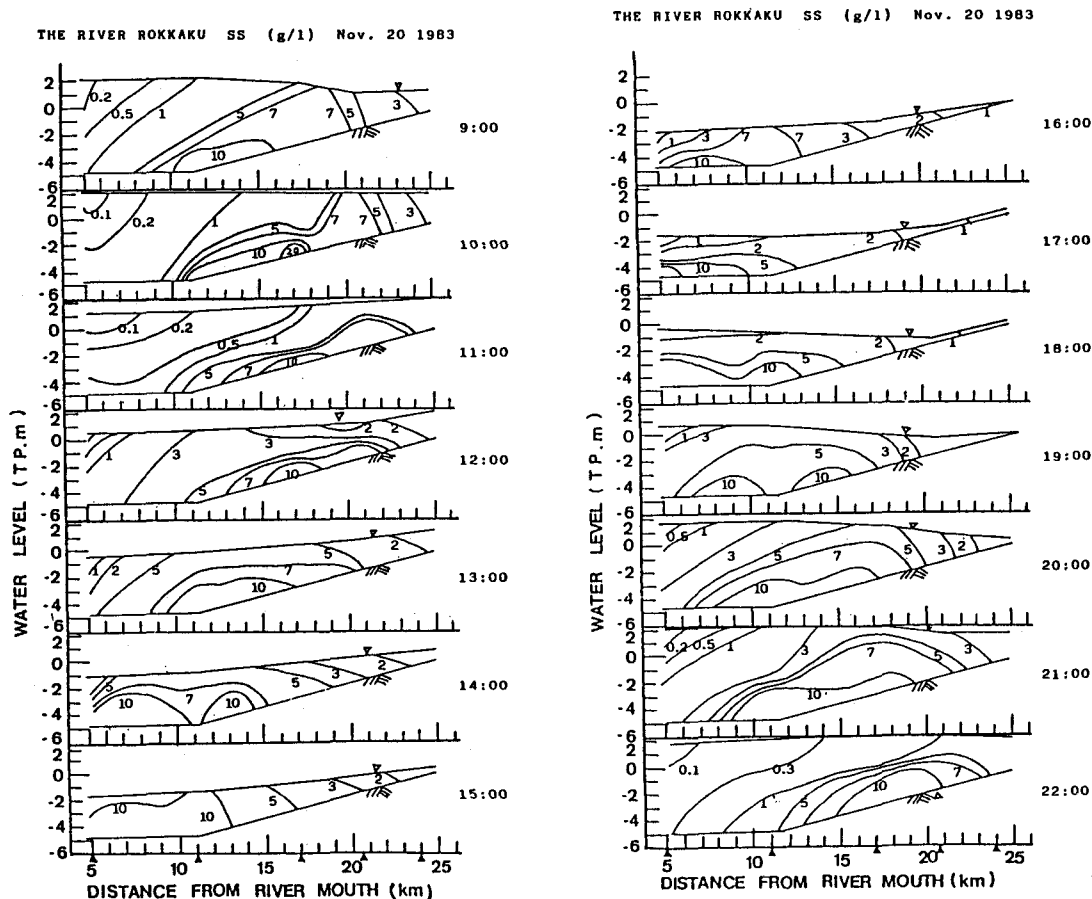


図-1 強混合型感潮河川における懸濁物質分布例 (六角川)

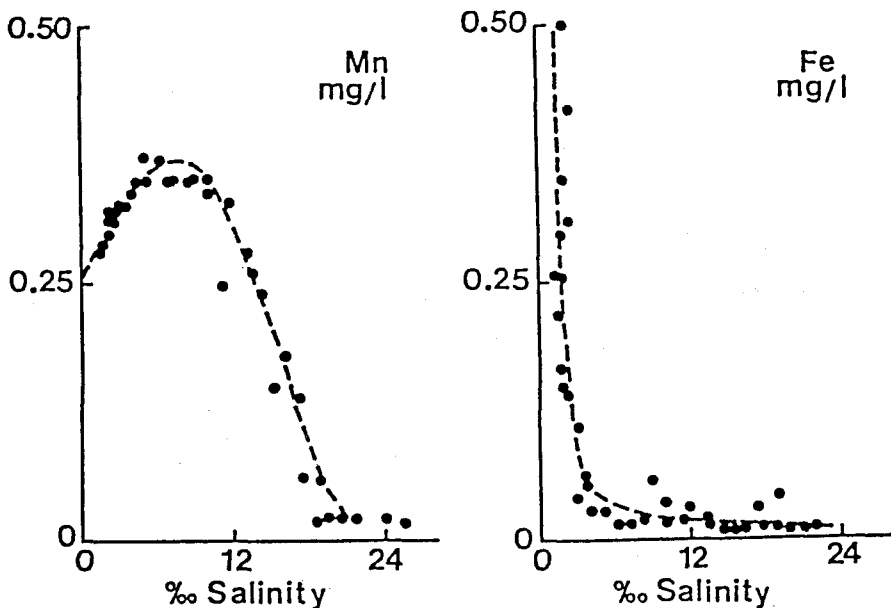


図-2 塩分と溶解物質の分布

4.2 感潮河川

わが国で見られる感潮河川は混合特性から見て、①塩水楔型、②緩混合型、③強混合型の三種に分けられる。緩混合型、強混合型の場合には河口部に近いところに図-1に示すような高濃度水塊 (Turbidity Maxima) が存在する。この水塊は固有流による下流への押し流しと潮汐による上流への輸送がバランスして存在しているものである。河川における有機物質の除去は沈殿の他に底質表面に生育する微生物による酸化が考えられるが、このような高濃度水塊が存在するところではこの水塊中の懸濁物質による除去が考えられる。この水塊中の懸濁物質は、水中の溶存態物質を吸着し、イオン交換し、この物質表面に付着している微生物により酸化還元、分解すると共に、それ自体が凝集、フロック形成、沈降する。河口部は流速が低下し、しかも溶解イオン濃度が大きく増加するので、懸濁態物質は容易に凝集、フロック形成、沈降する。また、金属イオン濃度も図-2に示すように塩分の関数となっている。

5. 環境制御への展開

凝集、沈降、濾過、付着、曝気等はきわめて使いやすいプロセスであり、現実によく使用されている。後始末を考えると使いづらいが自然環境中で生じているプロセスとして、土壌中の吸着がある。土壌は腐植や粘土鉱物からなっている。腐植は金属のカチオンと錯体を容易に形成し、pHが高い程安定度を増す。また、粘土鉱物にも吸着する。これらはいずれも選択性があるが吸着量はかなり大きい。金属だけでなくリン酸も土壌中に保持される。このような特性を利用して、土壌処理が考えられているが環境との間に境界を設けないで行なうことにはかなりの抵抗感がある。環境中に放出されたものを処理することには反対は少ないが、固形廃棄物の最終処分場も閉鎖形になってきているように、環境を処理場とすることには反対が多い。結局のところ、物質循環系を考え環境を傷つけない範囲でしか環境制御は行えないように思われる。

参考文献

1) 末石富太郎：環境学への道、思考社、1983。