

建設技術移転指針（案）
（水質浄化対策）

平成 15 年 3 月

（社）国際建設技術協会

目 次

第 1 編 総論	1-1
1. 指針の目的	1-1
2. 指針の利用者	1-1
3. 指針の適用	1-2
4. 指針の構成	1-2
第 2 編 水質浄化概論	2-1
1. 水域の水質問題	2-1
1.1 河川の汚濁と影響	2-2
1.2 停滞水域での水質問題	2-3
1.3 水域での水質問題の取り扱い	2-5
2. 水質概説	2-7
3. 水質浄化対策	2-13
3.1 我が国における水質保全対策	2-13
3.2 水質浄化対策の構成	2-14
3.3 流域対策	2-14
3.3.1 生活系排水対策	2-16
3.3.2 工場排水対策	2-22
3.3.3 その他の対策	2-25
3.4 河川浄化対策	2-28
3.4.1 河川直接浄化対策の概要（自浄作用と手法概要）	2-29
3.4.2 効果と諸元	2-40
3.5 湖沼・ダム湖対策	2-45
3.5.1 手法と概要	2-45
3.5.2 湖沼・ダム湖の流域対策	2-45
3.5.3 湖沼・ダム湖流入河川対策	2-46
3.5.4 湖内直接浄化対策	2-50
3.5.5 人工循環曝気の効果と諸元	2-54

第3編 水質浄化計画	3-1
1. 水質浄化計画の策定	3-3
1.1 調査・解析編	3-4
1.1.1 河川・流域等に関する特性検討	3-4
1.1.2 河川・水域で必要な水質要件の検討	3-7
1.1.3 河川・水域の汚濁状況の検討	3-8
1.1.4 浄化対象河川の検討	3-10
1.2 計画編	3-11
1.2.1 河川・水域での水質改善目標・レベルの設定	3-11
1.2.2 浄化適地の設定	3-14
1.2.3 浄化対象水量・水質の設定	3-14
1.2.4 浄化手法の設定	3-17
1.2.5 施設の諸元検討及び概略規模の試算	3-22
1.2.6 浄化施設の概算工事費・維持管理費の試算	3-34
1.2.7 水質浄化全体計画の整理	3-41
2. 河川直接浄化施設設計	3-44
2.1 河川直接浄化施設の施設構成	3-44
2.2 取水施設	3-46
2.2.1 取水方式の検討	3-47
2.2.2 取水口の設計	3-50
2.2.3 取水制御方式	3-50
2.3 除塵施設	3-51
2.3.1 ゴミ除去施設	3-51
2.3.2 沈砂施設	3-54
2.3.3 除砂設備	3-55
2.4 導水・分水施設	3-56
2.4.1 導水施設	3-56
2.4.2 分水施設	3-57
2.5 浄化施設	3-59
2.6 汚泥処理・処分方法	3-74
2.7 放流施設	3-78
2.7.1 放流方式	3-78
2.7.2 放流設備	3-79
2.8 機械・電機設備	3-80

3. 維持管理計画	3-82
3.1 維持管理の概要	3-82
3.1.1 施設管理	3-82
3.1.2 水質管理	3-83
3.1.3 汚泥管理	3-84
3.1.4 ゴミ、除塵・沈砂対策	3-84
3.2 トラブル事例	3-86
4. 適用上の留意点	3-90
4.1 適用浄化材の入手の可能性	3-90
4.2 管理担当者への指導・教育	3-91
4.3 施工上の留意	3-91
4.4 多目的利用の可能性	3-91
資料編	資-1
1. 水質浄化対策事例	資-1
1.1 河川直接浄化事例	資-1
1.2 湖沼・ダム湖浄化対策事例	資-18
2. 河川現況汚濁解析	資-35
3. 魚道など付帯設備	資-37
4. 水質用語集	資-38
5. 流量データより流況データを検討する方法	資-41
6. 調査・実験の方法	資-42
6.1 調査	資-42
6.1.1 調査内容	資-42
6.1.2 簡易実験の実施	資-46
6.1.3 既往データの収集整理	資-48
6.2 実験及び浄化計画の立案	資-49
6.2.1 実験	資-50
6.2.2 実験結果の整理	資-59
6.2.3 浄化効果・諸元の決定	資-74
7. 河川等の公共用水域における高効率浄化システムの開発に参加した企業等の一覧	資-75

第1編 総論

1. 指針の目的

開発途上国へ日本から派遣された技術分野（河川等）の専門家等が、水質浄化対策として河川直接浄化などに取り組む際に参考にする技術移転指針を策定することを目的とする。

近年、経済成長に伴い、公共用水の水質が悪化している国々が見られる。それらの国々においてはまだ下水道整備も進んでおらず、水環境悪化が進行している。日本も高度経済成長下、下水道等の水質保全のための社会資本整備が遅れ、水環境の悪化が著しくなった際には、直接河川を浄化する試みがなされており、現在も続けられている。

本指針は日本における河川を直接浄化する技術についてとりまとめたものである。

2. 指針の利用者

本指針を利用する対象者としては河川管理に関わったことのある専門家や、水質管理の専門家で以下のように想定した。

JICA短期・長期専門家

相手国の大学等教育機関

相手国の行政機関

相手国の現地技術者

各々の利用者が要求される項目を以下に整理する。

表1.1 利用対象者と項目

利用対象者	対象とする項目
JICA短期・長期専門家	・水質浄化工法 ・維持管理、運用技法の指導
相手国の大学等教育機関	・水質浄化法の基礎知識 ・調査、計画、設計手法の教育
相手国の行政機関	・水域水質浄化政策の立案
相手国の現地技術者	・調査実施、計画立案、設計

3. 指針の適用

本指針は流水状態にある汚濁した河川について、流下する汚濁負荷を直接削減する水質浄化法（河川直接浄化法）の技術移転のための指針であり、途上国の実務担当者が河川の水質に係わる諸問題に直面した場合、派遣専門家がわが国の技術を派遣国の実状に合わせアレンジし、指示・助言できるよう河川直接浄化手法の浄化計画策定方法、浄化施設設計法について示すものである。

河川の水質を改善する方法は大きく 2 つ である。

流域で河川に達する前に汚濁負荷を直接削減する流域対策

河川や湖沼などの水域で直接水域内の水質を改善する水域対策

この中の水域対策には

流水状態の河川を浄化する方法として、流入河川対策や河川内対策を合わせた河川直接浄化対策

湖沼や停滞水域の富栄養化対策としての湖沼流入河川対策や湖沼内対策を合わせた湖沼対策

などがある。

から 2 の対策は河川湖沼等の水質改善につながることから、本指針では 2 編において停滞水域を含めた水質問題とその対策手法の概論を示すが、指針の対象は河川直接浄化法として 3 編以降では日本で開発された河川直接浄化法の浄化計画や施設設計法など適用について明らかにする。

4. 指針の構成

本指針の構成は以下の通りである。

第 1 編：本指針の目的、対象、適用について示したものである。

第 2 編：水質浄化概論として、水質障害の内容、水質概説、水質保全対策方法としての流域対策、河川直接浄化対策、湖沼・ダム湖対策についての概要と日本における対策状況について示している。

第 3 編：水質浄化計画指針として、水質浄化計画の策定、河川直接浄化施設設計、維持管理計画、適用上の留意点を示している。

資料編：河川直接浄化及び湖沼・ダム湖の浄化事例等を示している。

第2編 水質浄化概論

河川や湖沼などの水域の水質が汚濁する現象は流域内の人口増加、都市化に伴う人口集中、及び産業の急激な拡大などで排出される汚濁負荷量が増加するとともにそれら汚濁物に対する流域での対応が遅れ、流出する負荷量が水域のもつ自浄能力を超えるところから問題化する。

そのような汚濁した河川を改善する対策となると汚濁の発生源で行う方法から、汚濁の流出過程で行う方法、最終的には汚濁した河川そのものを直接対策する方法まで、種々のやり方が対策となる。

第2編ではそれらを流域対策、河川直接浄化対策（流入河川対策と河川内対策）、湖沼対策（湖沼流入河川対策と湖内直接浄化対策）などに区分して概論を示す。

1. 水域の水質問題

河川・湖沼などの水域ではその地域の生活を支え、産業経済活動を支え、環境を構成する重要な役割を担っている。

人口が点在し、産業経済も未発達な流域を背景とする河川や湖沼などにおいては、水域へ排出される汚濁負荷量が少なく、分散されていれば、河川、湖沼などの有する自然の浄化作用で対応でき、清澄な水質環境が維持される。

水域の水質問題は流域人口が増加し、密集化するとともに地域の産業活動が活発化する一方で、流域での汚濁防止対策が立ち遅れ、河川、湖沼へ排出される汚濁負荷量が急増すると、自然の浄化作用では対応しきれず、汚濁現象が表面化する。

汚濁した河川、湖沼の水質問題には悪臭の発生、水生生物の生息環境の悪化、無生物化等生活環境の悪化や、水利用も不適合となるなど、生活や産業経済活動への支障と環境破壊などをもたらす。

途上国では都市域においても下水道整備を初めとして種々の対策の立ち遅れから、水質環境の悪い河川が存在している。また、上水道整備も不十分な所では河川水を直接生活用水に用いるなど、衛生安全上の問題も指摘されることがある。

産業生産活動では必ずしも規制、基準が十分ではなく、また、除害施設も不十分で、重金属や有害物質の垂れ流しなども途上国においては留意すべき水域の水質問題である。

途上国における水域の水質問題はわが国に比べると対応の立ち遅れなどもあって、多様化したものであるため、河川直接浄化対策や湖沼対策など自然の浄化力を強化した方式の適用にも限界がある。

日本が開発した河川直接浄化の技術移転ではこの浄化法が自然の浄化能力を強化する方法であることから、主として生活系排水によって汚濁するなどの水質問題を抱える河川の

水質改善を取り扱うものである。

1.1 河川の汚濁と影響

河川では自然の浄化作用があり、水質を改善する機能がある。そのメカニズムとしては河川の水面を通して空気中から水中へ酸素が溶解していく。この時水面の波立ちが大きい程、酸素の溶解効率が良く、流れの遅い静水面では溶解速度は落ちる。

20 の清澄な水では溶解する酸素（Dissolved Oxygen：DO）は8.84mg/lが飽和である。

この酸素を河床等生息する微生物が使って汚濁物として供給される有機物を分解・合成し、水質を浄化している。

河川に流入する有機汚濁物が増加すると、微生物が有機物を分解するときに利用する酸素量が、空気中からとけこむ酸素量を上回るようになる。この結果、水中の酸素が無くなることにより、好気性微生物が死滅し、有機汚濁物が蓄積されて腐敗する。このような結果として、腐敗による悪臭が発生し、外観上も水質上でも汚濁した状況を現す。

このような汚濁現象は様々な影響をもたらす。

(1) 生活圏への影響

都市域や人口密集域では濁った透明感のない河川となり、悪臭のたち込める劣悪な環境を生じ、空間環境的要素が失われた状態となる。

途上国でも流れの遅い、都市内河川ではこのような状況を呈しやすい。

(2) 魚類等水生生物への影響

河川で魚等の生物が生育する、あるいは河川の河岸沿いに水辺水生植物が生息する状況は安全や安心のバロメータでもある。

魚類等河川中の生物の大半は好気性生物で溶存酸素は不可欠であり、常時DO 2mg/l以上は必要とされている。

DO 2mg/l以下の状況では生息環境として適さないので無生物化し、魚卵等もDO不足から死滅する。

また、水生植物等も汚濁による光の透過度の減少や河床での無酸素による根腐れなど大きな影響があり、やがて減退することになる。

日本のように一時的な洪水フラッシュのある所では、床泥巻き上げや無酸素水塊の一時的流下による被害も報告されている。

生物にとってもう一つの大きなダメージは有害物質、有毒物質の河川流入である。日本では工場等の一時的な操作ミスにより、魚類が死滅するなどの例があるが、途上国においても、工場等への規制や監視がないところでは有害、有毒物質が常時流下している

ことも考えられ、慢性的無生物状態の可能性もある。

(3) 水利用への影響

汚濁した河川を水道水源とするような例は途上国でも考えにくいですが、水道水源が有機汚濁を受けるようなことになると、処理プロセスにおいて水質確保、衛生的安全確保等の視点で凝集剤や塩素の使用量が増大するので、維持が困難となるとともにトリハロメタンなど新たな問題も発生する。

農業利用でも有機物の多い水は、土壌の嫌気化、根腐れを生じることになり、また、窒素を多く含む水は水稻等で葉の過繁茂を生じるなど、問題となる。病原性細菌や重金属の汚染を受けた河川水を農業用水として利用した場合などは、人体へ悪影響を及ぼすおそれがある。

また、途上国の中には水上生活者などもおり、河川水を直接生活用水として活用することも考えられることから、河川水が汚濁することにより、生活用水として適さなくなり、衛生安全面でも大きな影響を及ぼす。

1.2 停滞水域での水質問題

河川の水質問題には、流水状態で起きる現象とは別に停滞水域でも固有の現象から問題を生ずる。

ダム湖や湖沼、河川内の堰上流滞水域などでは、流速が停止し滞留することで浮遊粒子などを沈殿除去する浄化機能を有するが、上流に汚濁源等があって窒素やリンを含む水が停滞水域へ供給されると、停滞水域では光や増殖時間が確保され、植物プランクトンの発生など富栄養化現象という固有の水質問題が現れる。

熱帯地域では人為的汚濁とは係わらず、植物生産力の旺盛な流域を背景とするところでもしばしば富栄養化するといわれている。

一方、途上国の都市域の汚濁河川でも停滞しているケースが見られるが、汚濁等や濁りが著しいと富栄養化に必要な光が透過せず、富栄養化現象とならないこともある。

アオコ等に代表される富栄養化現象による影響は次の通りである。

(1) 上水への影響

a) 異臭味障害

種々の植物プランクトンや放線菌、原生動物は、それぞれの種に応じた臭いを発生する。

特に飲料水のかび臭に関しては、植物プランクトンの藍藻のうち一部の種類が発臭するとされている。このかび臭は、通常の浄水工程では除去できないため、特殊処理

として活性炭やオゾンが必要となる。これは施設費、維持管理費とともに多大な出費をとらなう。

b) ろ過障害

浄水場において浄水処理過程で砂ろ過が行われている。富栄養化した植物プランクトンを多量に含む水を浄水処理すると、原水中のプランクトンがろ過池をつまらせてしまう。

c) 栄養塩の溶出及びFe、Mnの溶出

底泥からの $\text{NH}_4\text{-N}$ や $\text{PO}_4\text{-P}$ 、及びFe、Mn等の溶出は、底泥直上水が嫌気状態になると顕著に起きる。

$\text{NH}_4\text{-N}$ の溶出

底泥の有機物中の窒素は、嫌気、好気分解のいずれによっても $\text{NH}_4\text{-N}$ の形で溶出する。直上水が好気であれば、溶出した $\text{NH}_4\text{-N}$ は $\text{NO}_3\text{-N}$ に酸化されるが、嫌気であれば $\text{NH}_4\text{-N}$ のままである。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は水道水源基準でも指定項目となっており、これが多いと浄化処理における滅菌の塩素が多く消費されることとなる。

$\text{PO}_4\text{-P}$ の溶出

富栄養化の原因となるリンの溶出速度は、嫌気状態では好気状態の場合の約10倍ほど多くなる。

Fe、Mnの溶出

日本のダム湖等では、底泥直上水が嫌気状態になるとFe、Mnの溶出が顕著になる例がある。

Fe、Mnを含んだ水を原水として浄水処理し、配水すると給水管の内壁に酸化鉄、酸化マンガン等が析出し、赤水、黒水となって流水する障害が起こる。

熱帯地方などではダム湖や湖沼ではないが、水源として地下水を用いるところで、Fe、Mnの障害が発生しており、停滞水域でも発生する可能性はあると考えられる。

(2) 親水活動への影響（景観障害等）

富栄養化により水色、臭い、浮遊物に変化がみられ、透明度も低下するため、景観障害等親水活動へ影響している例が多い。

停滞水域で景観上問題となり、社会的にも問題となる現象は植物プランクトンの異常発生（アオコ）に代表される“水の華”現象と“淡水赤潮”とである。

“水の華”----- ミクロキスティス、アナベナ、ペディアストラム、アフェニゾメノン、メロシラ、ユーグレナといった緑藻、珪藻、藍藻が一時的に大

量発生し、水面がそれぞれの種に応じた色を呈したり、集積したり、縞模様（パッチ状）となったりすることをいう。これは窒素やリンといった栄養塩類が増えることにより発生する現象である。特に、藍藻のミクロキスティスの水の華の場合をアオコといい、これが水面に多数集積し、濃緑色を呈し、次第に腐敗して悪臭を発するようになると、景観上問題となり、湖沼利用等に障害を及ぼす。

“ 淡水赤潮 ” ---- 赤潮は、その名のとおり内湾等の海域で発生をみていたものであるが、同様の現象が各地の淡水系の人工湖でもみられるようになり “ 淡水赤潮 ” と称されるようになった。淡水赤潮の原因となる種は、鞭毛藻類の一種が多く、ペリディニウム、ウログレナ、ケラチウム、ユードリナなどが報告されている。淡水赤潮がアオコと異なるのは、水質が比較的きれいなところでも見られる現象という点である。

(3) 魚類への影響

富栄養化の程度により生息する魚類が変化したり、大量発生した植物プランクトンが一時大量枯死し、酸素消費が著しくなって、無酸素水塊を形成すると魚類のへい死を招くことになる。

(4) その他

富栄養化によって大発生するアオコなどには毒性も指摘されており、海外では多量のアオコを含む水を飲用した家畜等が被害を受けた事例¹⁾もある。また、発ガン性物質を含むという指摘もある。

1.3 水域での水質問題の取り扱い

汚濁する河川の水質問題にも流水状態にある河川と停滞する水域では生じる問題が異なり、それに伴って対策も違うものとなる。

途上国では下水道の整備やその他対策の立ち遅れなどから、都市域では生活活動や産業活動の影響を受けた有機汚濁を中心とする汚濁河川が見られる。

このような河川について、即効的かつ直接的に改善する手法として、適用可能な方策が河川直接浄化対策である。

これらはもともと強力な浄化力を有する訳ではなく、できるだけエネルギーを用いず、労力をかけず自然の浄化能力を最大限活用するもので、取扱い易いが幅広い能力を有するものではない。

したがって、生活由来や生分解可能な有機物の汚染が優先するような途上国の汚濁河川

に適用していくものであるが、一方で途上国等で問題となる重金属や有害物質などには効果を示さないため、水質問題に応じて種々の対応の組合せなども考える必要がある。

2. 水質概説

河川、湖沼、貯水池の水質環境の保全を考える場合、国内では、環境基準の達成、水遊び、景観保全等の親水性の向上、魚類等水生生物の生息環境の保全、利水水質の確保等が目的となり、各々に関連する主な水質項目をまとめると以下のとおりである。

表2.1 水域の保全目的と保全対象水質項目

保全目的	河川	湖沼、貯水池
環境基準の達成	BOD, SS, DO 大腸菌群数	COD, T-N, T-P
親水性の向上	SS, BOD, DO, 色、MBAS、ゴミ	SS, COD, 透明度 クロロフィルa(植物プランクトン)
水生生物の生息環境保全	DO, BOD, NH ₄ -N, 農薬	DO, COD, 農薬
利水水質の確保	カビ臭(2-MIB, ジオスミン), NH ₄ -N, 有機物(BOD, COD), THM(FP), 有害物質	

<注> BOD等の説明は後述

上記の保全対象水質項目の基準、水質特性及び浄化の基本的考え方をまとめると、表2.2に示すとおりである。

日本等の先進国では最近、先端技術産業からの微量有害物質やゴルフ場における農薬散布等による水源汚染がクローズアップされてきた。環境基準でもこれら有害物質や農薬が追加したことから、河川においても有害物質、農薬監視、管理については重要な意味を持ってきている。

(1) 水質項目について

本書で取り扱う主な水質項目の定義は以下の通りである。

BOD………特に注釈のない限り、溶解性成分及び浮遊性（SS性）成分を含んだ
トータルのBOD₅を示す。（Biochemical Oxygen Demand）

D-BOD………BOD成分の内、溶解性成分のBOD₅を示す。

（Dissolved - Biochemical Oxygen Demand）

SS-BOD…BOD成分の内、浮遊性（SS性）成分のBOD₅を示す。

（Suspended Solids - Biochemical Oxygen Demand）

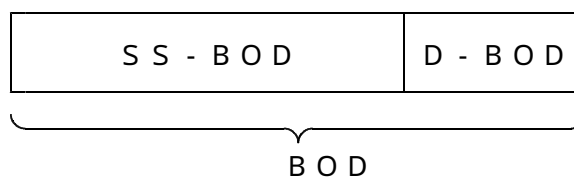


表2.2 水域浄化における浄化対策項目の基準とその水質特性（１／２）

水質項目	判断の基準	水質特性	浄化の基本
1. BOD	1. 河川の環境基準の主項目 2. 他の利水基準の主項目 3. DO低下の原因となる 4. 生物が分解できる汚濁物を生物分解に要する酸素量で表す	1. BODの形態は SS性BOD 50～70% 溶解性BOD30～50%	1. BOD浄化の場合、以下の3つに分けて方式選定をする。 低BOD(20mg/ℓ程度以下) 高BOD(20mg/ℓ程度以上) 溶解性BODが多い
2. COD	1. 湖沼・海域の環境基準の主項目 2. 水の有機物質による汚濁の指標 3. 酸化剤によって酸化されるのに要する酸素量	酸化剤には過マンガン酸カリウム(COD _{mn})と重クロム酸カリウム(COD _{Cr})があり、日本では普通COD _{mn} を用いている	BOD / COD _{mn} = 0.5以上 易分解性有機物 BOD / COD _{mn} = 0.1以下 難分解性有機物
2. DO (溶存酸素)	1. DOのない状態 ・底泥のリンの溶出大となる ・発臭が起こりやすくなる 2. 魚の生息には飽和度30%以上必要 おおよそDO3 mg/ℓ以上 3. 水に溶ける酸素量を表す	1. 水中生物に不可欠な物質 2. 消費者 - 水中の動物 有機物の分解 供給者 - 再曝気、風水中の植物	DOを供給するには 落差をつける。 エアレーションする。 純酸素等を注入する。
3. SS	1. 水の汚れ、景観をもっとも視覚的に左右する物質 2. 水中に浮遊する粒子物質の量	1. SSを大別すると 比重の大きいもの 比重の小さいもの 帯電して反発し合うものの	1. SS除去によりSS性BOD等も同時に除去できる。 2. SSの特性により浄化方式が異なる
4. NH ₄ -N	1. 農業用水基準はT-Nで1 mg/ℓ 2. 魚毒性はpHが高いと高くなる 3. NH ₄ ⁺ の形態で存在する窒素濃度を表す	1. 有機物が分解すると NH ₄ -Nが発生する。 2. NH ₄ -Nは酸化してNO ₃ -Nとなる。 この2者が溶解性のNで植物が利用する形態	1. NH ₄ -Nを除去するには NH ₄ -N→ガスとして空中へ NH ₄ -N→NO ₃ -N(硝化) (アンモニアストリッピング) NH ₄ -N→直接吸収
5. リン	1. 湖沼法に定めるリンの環境基準 2. 富栄養化現象の発現するリン濃度 3. 単位水面積当たりの流入負荷量	1. T-Pの形態は SS性T-P 溶解性T-P PO ₄ -P 2. 植物プランクトンの増殖要因でPO ₄ -Pを吸着 3. 一般河川でPO ₄ -Pは60%位	1. SS性リンと溶解性リンで方法が異なる。 SS性リンはSSと同様 溶解性リン、PO ₄ -Pは凝集 植物吸収、土壌吸着等
6. T-N	1. 湖沼法に定めるT-N濃度 2. 富栄養化現象の発現するT-N濃度 3. 単位水面積当たりの流入負荷量 4. NO ₃ -N10mg/ℓ以上は飲料不適 5. 農業用水基準 (T-N1 mg/ℓ以下) (大いに問題のある基準) 6. NH ₄ -Nは前述の通り 7. 種々の形態で存在する窒素をトータルしたもの	1. T-NはOrg-N(有機態) NH ₄ -N、NO ₂ -N、NO ₃ -Nの4態の合計 2. Org-NがSS性と溶解性に分かれる。	T-Nを除去するには N ₂ ガスにする SS性NはSSに同じ NH ₄ -Nは前述 NO ₃ -NはN ₂ にするか植物吸収
7. 大腸菌	1. 河川の環境基準に定められている 2. 水浴場プール等に定められている 3. 飲料水中に含まれてはいけない 4. 細菌の代表である大腸菌の群数を示す	1. 病原菌の拡散防止の指標である。 2. 動物由来は無害	大腸菌除去は 生物酸化 殺菌
8. MBAS (アワ)	1. 発泡により景観低下 2. メチレンブルーと反応して青に発色する物質で洗剤などが代表である	1. MBASは0.3～0.5mg/ℓで発泡する。 2. 洗剤や蛋白質で発泡する	アワの除去は 生物酸化 分解 ガバースエレーター(泡立て機)
9. 色度	1. 水道水質基準では5度以下 2. 水が着色し、景観上問題がある。 3. 基準色度と比較し、吸光度合から色の濃さを判別する	1. もっとも多いのは染色剤の着色。他にパイプ排水、し尿排水、養豚排水 2. 自然界ではフミン質の茶色がある	色度の除去は 吸着 分解 凝集 がある

表2-2 水域浄化における浄化対策項目の基準とその水質特性（ 2 / 2 ）

水質項目	判断の基準	水質特性	浄化の基本
10.2-MIB ジ・オキシ (カビ臭)	1. カビ臭物質の成分を表す 2. 人がカビ臭として感ずる濃度は (50% 人が感ずる) 2MIB 10 ~ 20ng/ç ジ・オキシ 20 ~ 50ng/ç	1. 藍藻類の3種がカビ臭物質を出す。 ・ホルミディウム ・オシラトリア ・アナベナ	カビ臭を出すプランクトンを抑制する カビ臭物質を吸着する カビ臭物質を分解する
11. 有害物質	1. 人の健康に係わる環境基準に定められている。 2. 水道水の水質基準に定められている 3. 生物の致死量がある	有害物質としてカドミウム、シアン、鉛、六価クロム、ヒ素、水銀、PCB、フェノール、EPN、農薬等多数	各有害物質毎にそれぞれ有効な処理法は存在する。しかし、河川では定常的混入ではなく、突発的に短時間の混入のため浄化することは困難

BOD、I D O D等

水中の溶存酸素を消費する物質には、好気細菌によって分解される有機物質、Nitrosomonas, Nitrobacterなどの硝化細菌によって硝化されるアンモニア性窒素、亜硝酸態窒素、亜硝酸イオン、硫化物、鉄()等の還元性無機物などがある。しかし、このうち、亜硝酸イオンなどによる化学的な酸素消費によるものは、瞬間の酸素要求量(I D O D)として、BODとは区別する。

河川ではBODで測定される有機物は河床生物などにより、分解を受けるが、その際DO消費を伴うことから、嫌気状態を生ずることにつながり、河川環境に強い影響がある。

また、I D O Dは小出水時等で河床底泥などが巻き上げられると、還元状態の泥が水中に分散し、一時的に嫌気状態を生じ、水生生物への悪影響などにつながることもある。

窒素によるDO消費はBOD測定上、硝化菌とアンモニア性窒素、亜硝酸性窒素が存在する試料において、測定ボトル内の反応で起こる現象として知られている。

日本の河川では硝化の条件が揃わないこともあり、窒素によるDO消費はあまり問題とされていない。

熱帯域の水温の高い河川においては硝化菌が活動できる条件にあることから、アンモニア性窒素のDO消費についても挙動を把握しておくことが必要である。

COD

COD_{Mn}、COD_{Cr}も水中の有機物量を表す指標であり、COD_{Mn}は過マンガン酸カリウム(KMnO₄)、COD_{Cr}は重クロム酸カリウム(K₂Cr₂O₇)の酸化剤によって有機物が酸化するのに消費される酸素量で表される。日本ではCOD_{Mn}を用いることが多いが、海外ではCOD_{Cr}を用いることが多い。COD_{Cr}の方が酸化力が強いので、一般的には高い値を示す。

SS……………水中に懸濁している不溶解性物質のことで、環境基準では浮遊物質と呼ばれている。

VSS……………水中のSSに含まれる有機物の含有量をSSに対する割合で示したもの。

窒素化合物

水中に含まれる窒素の形態を分類すると図2.1に示すとおりであり、本書ではこの分類に従って定義する。

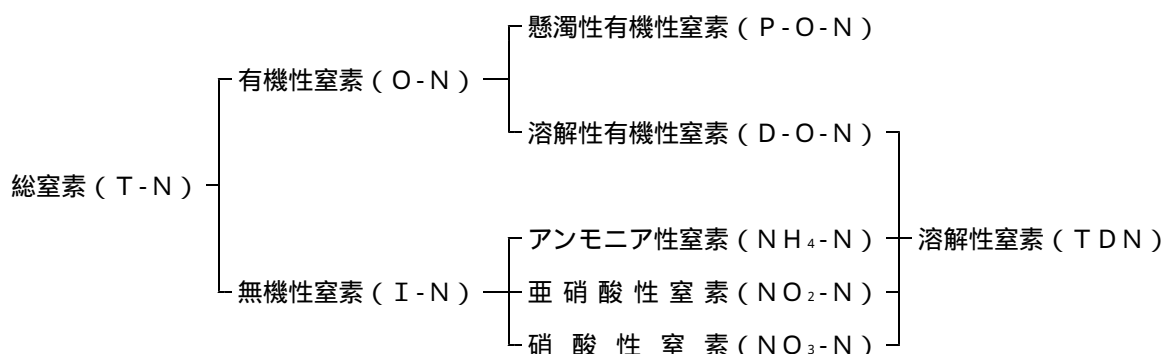


図2.1 水中における窒素の形態

大部分の藻類は窒素源として硝酸イオン (NO_3^-)、亜硝酸イオン (NO_2^-)、アンモニウムイオン (NH_4^+) のどれをも利用できるが、硝酸イオンよりもアンモニウムイオンの方を好んで利用する。また、種々の有機性窒素化合物、特に尿素を利用する能力は藻類に広く認められる。

リン化合物

水中に含まれるリン化合物の形態を分類すると図2.2に示すとおりであり、本書ではこの分類に従って定義する。

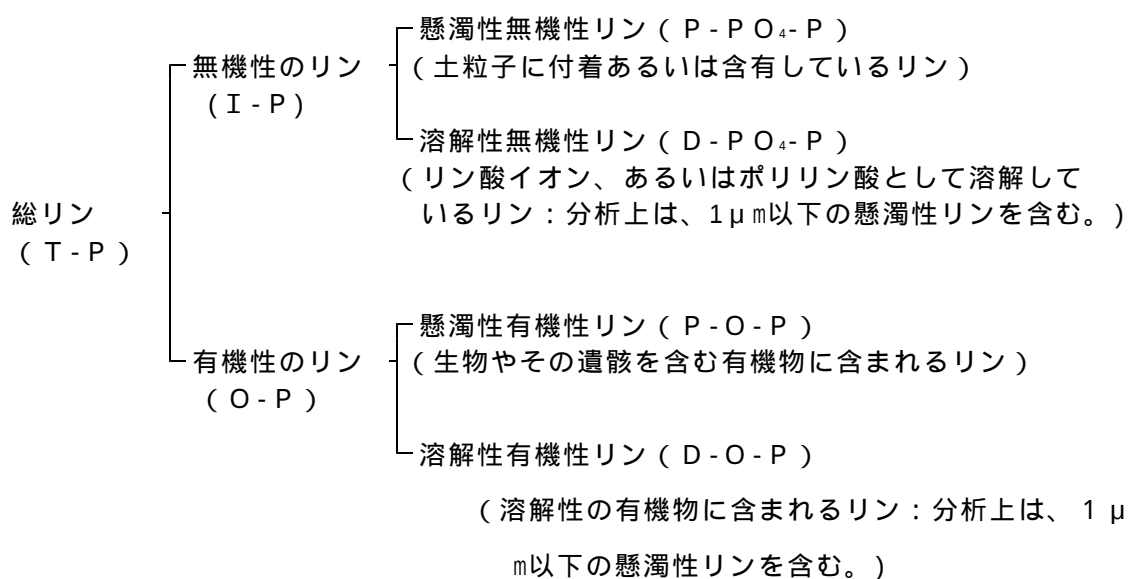


図2.2 リン化合物の分類

オルトリン酸イオン (PO_4^{3-}) は、藻類にとって唯一の重要な無機リン源であり、有機性のリンは藻類のほとんどの種類が利用できる。

2 - M I B (2 - メチルイソボルネオール)

ある種の藍藻類と放線菌から産出されたカビ臭物質で、墨汁のような臭いを呈し、魚毒性は確認されていない。2 - M I B の除去には活性炭、オゾン、生物処理が必要とされている。

(2) 水質項目の栄養バランス

坂本²⁾によると日本の湖沼の夏季表層水中の全窒素量、全リン量、クロロフィル量の関係を調べ、N / P の比が20以上の湖ではその増殖はより強くPにより制限を受け、10以下の湖ではNがより強く制限に働くとし、この10以下のところでは相対的藻類量を示すクロロフィル量は50 $\mu\text{g/l}$ 以上で、そこでは主に藍藻類の水の華が出現していると述べている。

なお、下水処理で多くみられる活性汚泥等の微生物が良好に機能するための栄養バランスは、B O D : N : P の比が100 : 5 : 1程度とされている³⁾。

3. 水質浄化対策

3.1 我が国における水質保全対策

我国においては水質汚濁防止法に基づき、目標と水質基準を明らかにした上で、排水基準、上乘せ基準等規制を行ってきている。それに伴い、長期的に水質が改善されつつあり、昭和50年代前半には環境基準を満足している地点が60%程度であったものが近年では80%にもなっており、全般的な水質が改善されつつある。

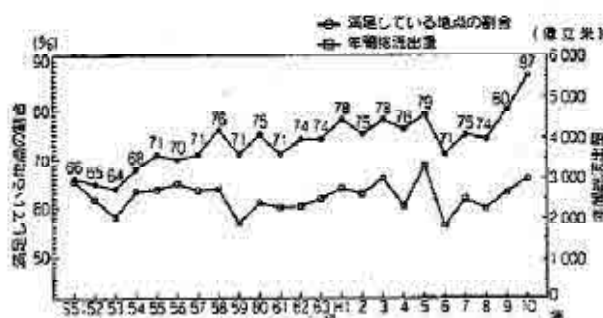


図2.3 一級河川において環境基準を満足している地点の割合と年間総流出量の経年変化（全国）

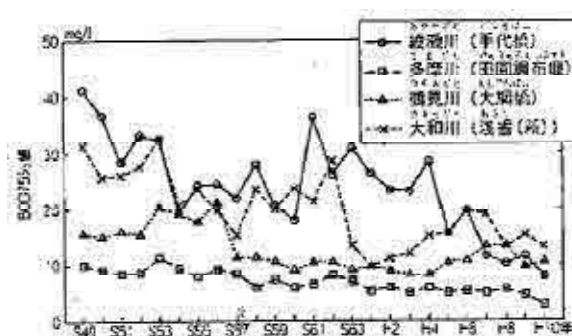


図2.4 主要都市河川の代表地点におけるBOD75%値の経年変化

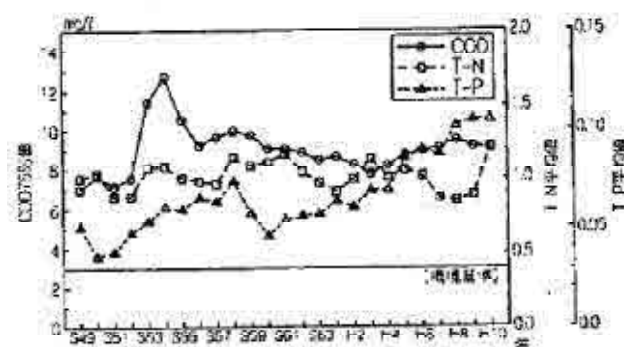


図2.5 主要湖沼代表地点における水質の経年変化 霞ヶ浦湖心（湖沼A， ）

出典（図2.3～2.5）：日本河川水質年鑑1998（2001発行）、（社）日本河川協会

水域の水質問題が顕著になった昭和40年代後半から昭和50年代前半にかけての取り組みは、下水道整備や規制、廃水处理など流域の点源を中心とする対策がとられた。このような流域対策は巨大の費用を要し、また水域としての水質改善効果が現れるまで長期間を要するものであったため、河川、湖沼等の水質改善を望む要望が高まる中で河川・湖沼を直接浄化する試みも開始されるようになった。水域を浄化する試みは、浄化力そのものは強力ではないが、河川水そのものを直接浄化して河川に戻すので、水域としては即効性のある対策となり、国内にも少しずつ広まっていった。

また、主要都市河川の水質改善は進んでいるものの、主要な湖沼の水質は富栄養化によって悪化する傾向さえ見られており、このような水質に対しさまざまな対策が取られてきているところである。

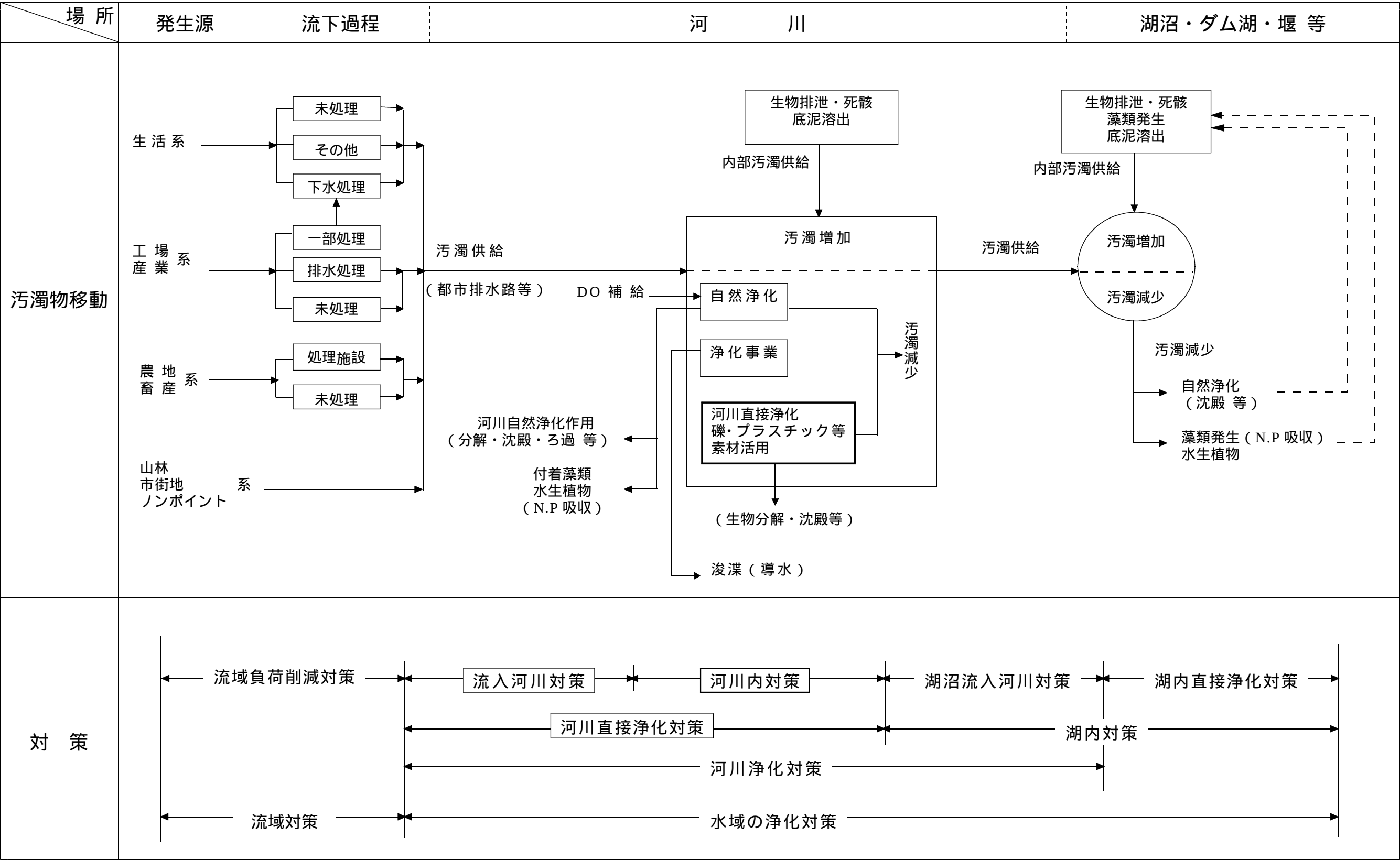
3.2 水質浄化対策の構成

汚濁物は各発生源より排出される段階でフロー(図2.6)に示すように、その発生源によって排水処理または一部処理されるか、未処理で排出されることになる。発生源としては生活系排水としてし尿、生活雑排水がある。それらについては下水道をはじめ様々な処理システムを通じ流域へ放流されることになる。さらに工場、産業系からの汚濁があり、これらもその水質特性に応じた処理がされ排出される。家畜からの汚濁はふん尿を含んだ畜産排水として、また敷わらとともに野積みされたふん尿が流出するものや農地へ肥料として用いられ、さらに流出するものがある。また山林や市街地など降雨時や地下水を通して流出する面源負荷などがある。

それらは河川へ流出し、一部は湖沼、ダム湖、堰等の停滞水域へ流入することになる。湖沼、ダム湖などの停滞水域では、流入した窒素、リンによって、植物プランクトンの異常発生が生じ、富栄養化を生じさせる。その流下過程に従ってとる対策は異なり、流域負荷削減対策、河川直接浄化対策(流入河川対策と河川内対策)、さらには湖沼対策(湖沼流入対策と湖内直接浄化対策)分類される。

3.3 流域対策

流域対策は、発生源別にその汚濁が分けられ、生活系排水、工場・事業所系排水、さらには畜産排水の点源負荷と農地や山林、市街地等から流出する面源負荷を対象に汚濁対策をとることになる。発生源対策が汚濁対策の基本となり重要であるが、効果が表れるには汚濁源の大半の対策ができることが必要で、時間と費用の労力を要するものであるため、途上国においては特に河川の水質改善の即効的な手段とはなりにくい。



本指針では流水状態にある河川を流下する汚濁負荷を直接削減する水質浄化法、即ち、河川直接浄化法（流入河川対策と河川内対策）を取り扱うものである。

図2.6 汚濁物の移動と水質浄化対策

3.3.1 生活系排水対策

生活系排水としては、し尿と生活雑排水を同時に処理をする放流する下水道、合併浄化槽とし尿のみ処理し生活雑排水は無処理放流する単独浄化槽及び同じく生活雑排水を無処理放流するし尿汲み取り、自家処理があげられる。下排水の処理システムと収集法（表2.3）に示すように旧来型の単独浄化槽やし尿汲み取り、自家処理では、生活雑排水はそのまま排出される。生活排水対策としては主に下水道であり、下水道の整備の進まないところでは、合併浄化槽による対策を行うことになる。また生活雑排水だけを対象とする対策もある。雑排水を未処理で放流することは、BODやCODで代表される有機性汚濁物を多量に放出させ、河川等のDO低下といった問題を引き起こす。最も汚濁排出量の多いのは、し尿は処理し放流するものの生活雑排水は無処理放流する単独浄化槽となる。

表2.5には途上国における生活系汚濁負荷原単位と汚水量（（社）日本下水道協会・指針案）を示す。生活系の汚濁負荷は生活水準の向上に伴い変化するものであり、国や地域によっても相違がある。特に雑排水の負荷は差が大きいことから対象国の実態に合わせた対策が望まれる。

表2.3 家庭及び事業所から排出される排水の収集と処理システム

下水道処理システム	対象下排水		備 考
	家 庭	事業場	
公共下水道、流域下水道	生活雑排水・し尿	工場排水・汚水	し尿＋生活雑排水
コミュニティープラント	生活雑排水・し尿		
合併浄化槽	生活雑排水・し尿		
単独浄化槽	し尿		生活雑排水は無処理放流
し尿処理施設	し尿		生活雑排水は無処理放流

出典：日本の水環境行政、日本水環境学会編、ぎょうせい

表2.4 生活排水に係わる原単位と濃度

項目	平均値 (g/人・日)	標準偏差 (g/人・日)	データ数	平均的な内訳(g/人・日)	
				し尿	雑排水
BOD ₅	58	18	125	18	40
COD	27	9	120	10	17
S S	45	17	125	20	25
T - N	11	2	19	9	2
T - P	1.3	0.3	15	0.9	0.4

出典：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説 平成11年版、（社）日本下水道協会

表2.5 各国の生活系汚濁負荷原単位と汚水量

プロジェクト名	1人1日負荷量 BOD			SS (g/cd)	1人1日平均 汚水量(lcd)			備 考
	し尿	雑排水	g/cd		トイレ	雑排水	l/cd	
イカパライ湖 (パラグアイ)	13	22	35	±2.5				日本の原単位を一部修正
チャオビア (タイ国)	11	42	53	25 9し尿 16雑排				実測値、および日本と他国の値を参考にして設定した計画値。
メキシコ			50.8					
ジャカルタ (インドネシア共和国)	10.5	30.4 19.5 14.2 (17.4)	40.9 30.0 24.7 (27.9)		23	167 107 77 (95)	190 130 100 (118)	所得別(上中下)に抽出し、実測調査に基づく。()は平均値。
デンパサール (インドネシア共和国)	11.2 11.2 11.2	32.7 20.5 15.6	43.9 31.7 26.8		30 16 16	268 169 133	298 185 149	所得別(上中下)に抽出し、実測調査。
ケニア国ナクル			23					
ペルー国リマ市							210 180 110	高消費水道利用者 低消費水道利用者 買水利用者
ヴェトナム・ハノイ			40 (1992) 60 (2010)				90 50	水道普及地域 その他の地域
南イエメン (イエメン共和国)			38.2				118	
エジプト・シャルキア			54	55			108	
タイ国ブーゲット			42					

出典：途上国下水道整備マスタープラン策定支援指針(案)H9.3、(社)日本下水道協会

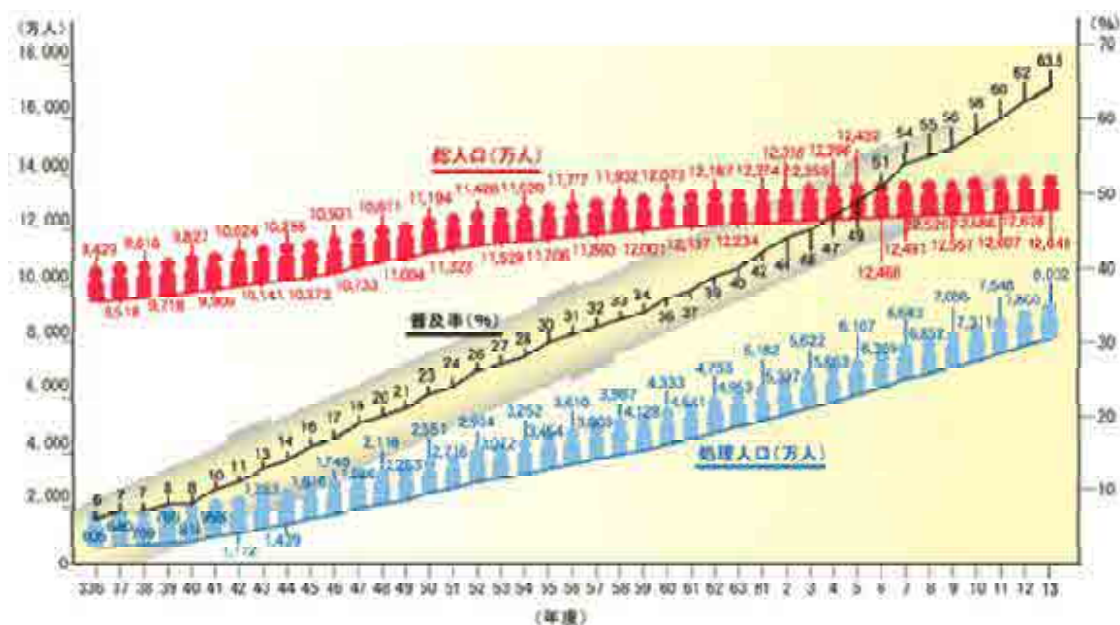
参考 日本の生活系汚濁負荷原単位と汚水量

年	1人1日負荷量BOD(g/人・日)			SS	生活汚水量	流域別下水道整備総合計画調査指針と解説
	し尿	雑排水	計	(g/人・日)	(l/人・日)	
昭和50年	18	32	50	38	250～350	平成2年
昭和55年～平成9年度の平均値	18	40	58	45	250～350	平成11年版

出典：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説 平成11年版、(社)日本下水道協会

(1) 下水道対策

生活系排水の対策としては下水道の整備があげられる。図2.7は日本の下水道普及の状況を示したものである。平成14年3月31日現在、全国の下水道普及率は63.5%（下水道利用人口／総人口）となっている。前節に示したように下水道の整備に伴い、日本の河川の水質汚濁の現況は改善されつつある。



出典：日本下水道協会ホームページ

図2.7 下水道普及率の推移

表2.6 水処理方法別処理場数（1987 / 1998）

計画晴天時日最大処理水量 (千m ³ /日)		5未満	5～10	10～50	50～100	100～500	500以上	計
処理方式								
一次 処理	沈殿法	0 / 1	1 / 1	3 / 0				4 / 2
	高速エアレーション沈殿池	2 / 0		9 / 9	5 / 0	2 / 1		18 / 10
二次 処理	高速散水の床法	2 / 0	3 / 2	6 / 2				11 / 4
	標準活性汚泥法	52 / 45	53 / 60	225 / 287	73 / 123	111 / 142	10 / 12	524 / 669
	ステップエアレーション法	3 / 0	4 / 0	14 / 11	16 / 11	16 / 9	10 / 6	63 / 37
	酸素活性汚泥法	0 / 1	1 / 2	1 / 3	1 / 1	1 / 4		4 / 11
	長時間エアレーション法	14 / 15	1 / 2	2 / 3				17 / 20
	オキシデーションディッチ法	23 / 357	6 / 59	0 / 24				29 / 440
	循環式硝化脱窒法	0 / 1	1 / 1	0 / 3	0 / 1	0 / 3	0 / 1	1 / 10
	硝化内生脱窒法	3						3
	嫌気-無酸素-好気法			4		3		7
	嫌気-好気活性汚泥法	9	3	10	4	11	1	38
	コンタクトスタビライゼーション法	1 / 0	0 / 1	2 / 0	1 / 0	1 / 0		5 / 1
	回分式活性汚泥法	2 / 55	0 / 4	0 / 4				2 / 63
	回転生物接触法	14 / 12	3 / 6	5 / 5	1 / 1			23 / 24
	接触酸化法	1 / 23						1 / 23
	好気性床法	13	1					14
	嫌気好気床法	6						6
	その他	1 / 1		0 / 3				1 / 4
	計	115 / 542	73 / 142	267 / 368	97 / 141	131 / 173	20 / 20	703 / 1386
	高度処理	9 / 43	5 / 14	5 / 34	5 / 7	8 / 43	5	32 / 146
公共下水道								578 / 844
特定環境保全公共下水道								74 / 384
特定公共下水道								11 / 10
流域下水道								40 / 148

出典：河川における水質環境向上のための総合対策に関する研究（河川環境管理財団，2001）

1987年時点では、日本の下水処理は大都市の公共下水道が主体であり、処理方法も標準活性汚泥法が7割、その変法であるステップエアレーション法が1割を占め、処理方式がかなり固定していた。また窒素、リンの除去を意識した処理方法はほとんどなく、BOD、SSが除去の主対象であった。これに対して1998年時点になると処理場数が約2倍となり様々な方式が登場するようになる。

新設の中規模、大規模処理場では、循環式硝化脱窒法・嫌気-好気活性汚泥法等、窒素除去あるいはリン酸除去も意識したものとなっており、富栄養化防止に向けた下水道の取り組みがされている。

実用化されている、窒素・リン除去技術の主なものについて概要を示す。

排水中の窒素は、好気性条件では硝化菌の作用によって硝酸に酸化され、嫌気性条件では微生物の呼吸のため硝酸が窒素に還元される。この作用を利用して窒素を除去する技術がある。ただし、この場合、BOD成分を十分に除去し、硝酸化促進のために十分な酸素が必要となる。

リンを除去する技術としては、以下の技術がある。

- ・鉄塩やアルミニウム塩によりリンを凝集沈殿除去する技術。
- ・無酸素と好気条件を繰り返すことで、活性汚泥内にリンが過剰に蓄積され、余剰

汚泥をプロセスから引き抜くことによってリンを除去する技術。

- ・リン酸カルシウムやリン酸マグネシウムとして晶析によってリンを分離除去する技術。

途上国では、下水道の整備普及率は低い状態にあるが、下水処理を実施しているところでも、社会経済状態の厳しさを反映し、安価な土地を広く活用し、省エネルギー化した方式でかつ、維持管理も安価で容易な方式として安定化池法を採用するところも多い。

また、活性汚泥法も普及はしており、散水ろ床法は古い都市に見られている。最近ではオキシデーションディッチ法も採用されてきている。

安定化池法： マレーシア、ネパール、バングラデシュ、トルコ、エチオピア、スーダン、タンザニア、ペルー、チリ、ブラジル

活性汚泥法： 中国、香港、パキスタン、イラン、アラブ首長国連邦、エジプト、コロンビア

出典：途上国下水道整備マスタープラン策定支援指針(案)H9.3、(社)日本下水道協会

(2) 浄化槽対策

日本では、個別の家屋や数件レベルの排水を対象にした小規模浄化槽は、元来、下水道が普及していない地域で各家庭が水洗便所化する目的で普及した。そのため、し尿のみを処理する「単独処理浄化槽」からまず出発した。単独処理浄化槽の問題点は、当然の事ながら生活雑排水を無処理で放流することにあるとともに、日常的な管理が困難なため、他の処理システムに比較し排出される負荷量が格段に多くなることにある。雑排水を無処理で放流する単独処理浄化槽タイプは、水質汚濁防止上好ましくなく、雑排水を処理する合併処理浄化槽等の設置を促進することが必要となる。

浄化槽は、法的には下水道法で規定する下水処理場と、し尿処理場以外の全ての汚水処理装置を言い、コミュニティプラントや農村集落排水処理施設も含まれる。しかしながら、コミュニティプラントや農村集落排水処理施設は、規模的にはやや小さくなっているものの、処理方式等の点では、下水道法で規定する下水処理場とほぼ同等のシステム・機能を有するものが多い。通常の2次処理レベルの放流水質は保っており、人口集中地区以外においては、これら大型の浄化槽の整備による生活排水対策がある。

途上国においては日本のような浄化槽の概念では整理しにくく、衛生施設として便所と一体で取り扱われている。

その処理方式の浄化槽としての区分は概略以下のとおりである。

- ・ ツイン・リーチングピット（通常、ポアフラッシュ・トイレと併用）
- ・ し尿単独腐敗槽（セプティック・タンク）と地下浸透床
- ・ 合併腐敗槽＋地下浸透床
- ・ 単独処理浄化槽
- ・ 合併処理浄化槽

この中で一般的なものは腐敗槽であり、浸透槽付腐敗槽も普及している。

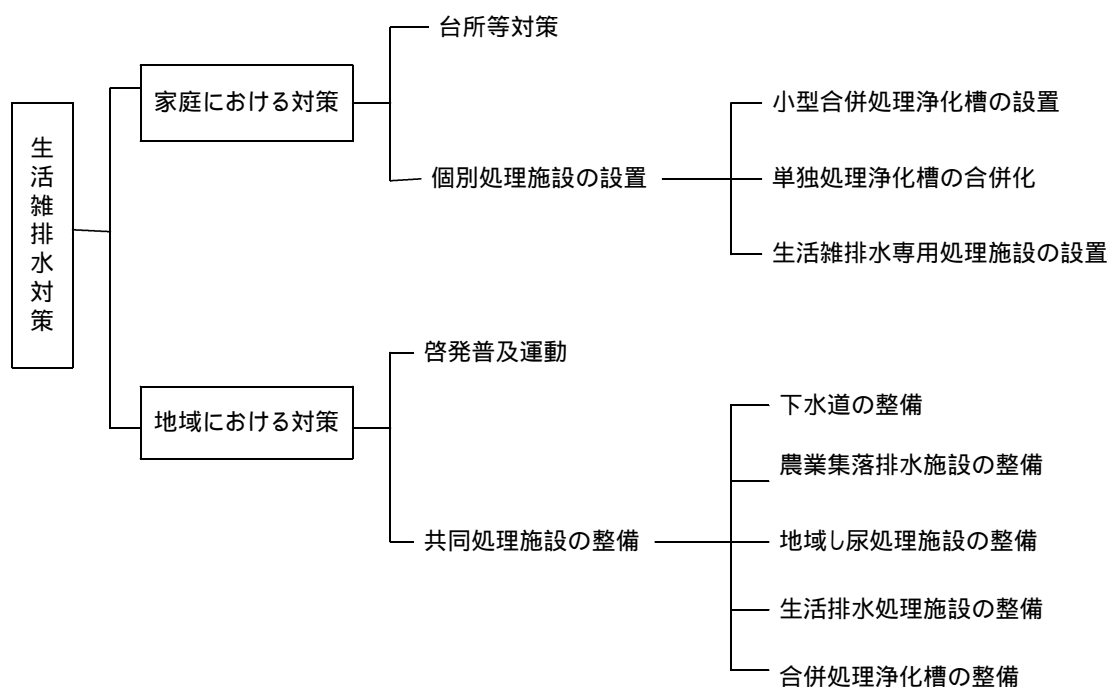
途上国では便所の形式が日本とは異なり、処理も合わせた衛生施設となっており、単独処理方式が中心である。

(3) 生活雑排水対策

単独浄化槽等では、生活雑排水が無処理で放流されるので、前述したようにBOD、COD等有機汚濁の比率が多く河川でのDO低下させる要因となっている。

これら生活雑排水についても対策を取る必要がある。対策としては、合併浄化槽等への転換の他に専用の処理システムを用いることや、家庭内における対策がある。

家庭での対策としては、最も負荷が多い台所での負荷対策としての調理くず等の排出抑制、廃食用油の適正処理や洗濯時の無リン洗剤の使用等様々な対策がある。



出典：生活雑排水対策推進指導指針、環境庁、1988

図2.8 生活雑排水対策の推進方法の分類

3.3.2 工場排水対策

工場排水対策は、排水規制の強化とそれに対応した工場排水の再利用による排水量の抑制、それぞれの汚濁特性に応じた水処理による汚濁除去があげられる。

日本ではこれまでにある程度の規模以上の特定施設を持つ工場・事業場は水質汚濁防止法に基づく厳しい規制の対象とされており、さらには地域により、基準値の強化、新しい水質項目の追加などいわゆる上乘せ基準、横出し基準等が適用されている。その為数々の工程内対策や排水処理対策が行われ、産業用水の約75%は再利用でまかなわれる⁴⁾ようになり、水使用量と排水量が大幅に削減されている。

表2.7にあるように、業種によってその排水の水質特性が異なる。排水量の抑制に加え、表2.8に示すようにその水質特性に応じた水処理システムが用いられることが必要となる。

なお現在の排水処理方式では、主に有機汚濁物質を含む排水を発生する業種では、生物処理方式が導入され、無機系の汚濁物質を主体とする排水を発生する業種では、凝集沈殿、砂濾過等の組み合わせ方式が導入されている。

表2.7 業種別排水の水特性

(中央値：mg/l)

業 種	COD	SS	N	P
食 料 品	424	254	39	8
繊 維	252	70	21.5	4.3
紙・パルプ	225	203	13	1
(脱・インク)	586	1,560	21	2.1
(トイレット) *	85	150	10	1.6
無機化学	46	62	40	2.8
有機化学	334	57	30	2.9
窯 業	16.6	215	3.5	0.2
金属関連	30.4	50	13.9	2.1
畜 産	2,030	10,360	1,451	201
生活関連	110	153	31	4

* 機械すき和紙製造

出典：内湾・内海の水環境、須藤隆一監修、ぎょうせい

表2.8 業種別排水処理の現状

(各業種区分ごとの割合：％)

業 種	凝 集 処 理	凝 集 + 砂	凝 集 + 砂 + 炭	凝 集 + 生 物	凝 集 + 生 + 凝	凝 集 + 生 + 砂	生 物 処 理	(うち 高度 運転)	生 物 + 凝 集	生 物 + 凝 + 砂	生 物 + 砂	生 物 + 砂 + 炭	生 + 凝 + 砂 + 炭	そ の 他
食 料 品	1.7	0.0	0.0	7.9	1.7	0.1	60.7	2.0	18.5	2.8	1.5	0.0	1.0	2.0
繊 維	21.6	0.3	1.1	16.8	0.3	0.0	37.9	0.0	16.6	0.3	0.3	0.5	1.3	3.2
紙・パルプ	51.5	0.4	0.0	10.6	9.4	0.4	10.6	0.0	9.8	2.6	0.9	0.0	0.0	3.8
無機化学	53.8	11.0	0.0	6.9	0.0	0.0	14.5	0.0	4.0	0.6	0.0	0.0	0.6	8.7
有機化学	15.1	1.9	1.6	4.3	2.3	0.5	32.9	1.3	11.3	4.3	1.3	1.0	0.6	21.6
窯 業	57.5	19.5	0.0	0.9	0.0	0.0	3.5	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.9	15.0
金属関連	43.3	11.9	4.5	5.1	2.1	2.4	5.5	0.0	3.4	1.3	0.8	0.2	0.3	19.2
畜産	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	85.7	2.4	4.8	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0
生活関連	3.7	0.0	0.0	1.1	0.0	0.3	68.7	5.1	4.5	0.1	4.1	0.5	0.4	11.5

砂：砂ろ過、炭：活性炭吸着、凝：凝集処理、生：生物処理

出典：内湾・内海の水環境、須藤隆一監修、ぎょうせい

厳しい規制は先進国では可能となっているが、生産が重視される途上国などにおいて規制が遅れ、発生源での対策は不十分と考えられる。そのため、有害、有毒物質の排出を抑制することが求められる。危険性の高い物質として、WHOではWHO飲料水水質ガイドラインの健康影響に関するガイドラインの中で106種類（1998中間見直し）の物質を挙げている。このうち無機物18種類について表2.9に示す。日本では「人の健康の保護に関する環境基準」（表2.10）としてカドミウムや鉛、水銀などの重金属類をはじめとして26項目が規制されている。

規制が不十分な地域においては、砒素、カドミウム、水銀、鉛、6価クロムなど毒性の強い重金属類の流出なども考えられる。有害性元素の急性毒性を表2.11に示す。

表2.9 健康影響に関するガイドライン（WHO飲料水水質ガイドライン）

項 目	ガイドライン値 (mg/L)	NOAEL	TDI	不確定 係 数	寄与率	備 考
アンチモン	0.005(P)	LO 0.43	0.86	500	10	無機物質
ヒ素	0.01(P)	6×10^{-4}				
バリウム	0.7	7.3		10	20	
ホウ素	0.5(P)	8.8	88	100	10	
カドミウム	0.003	PTW 0.007			10	
クロム	0.05(P)					
銅	2(P)	PM 0.5			10	
シアン	0.07	LO 1.2	12	100	20	
フッ素	1.5					
鉛	0.01	PTW 0.025			50	
マンガン	0.5(P)					
総水銀	0.001	PT 0.2			10	
モリブデン	0.07	2		10		
ニッケル	0.02(P)	5	5	1000	10	
硝酸塩 (NO_3^-)	50(acute)	$\frac{\text{NO}_3}{5} + \frac{\text{NO}_2}{3} \leq 1$				
亜硝酸塩 (NO_2^-)	3(acute) 0.2(P) (chronic)					
セレン	0.01	0.004			10	
ウラン	0.002(P)					

出典：水道水質辞典、日本水道新聞社

表2.10 人の健康の保護に関する環境基準

項目	基準値	項目	基準値
カドミウム	0.01mg/l 以下	1,1,1-トリクロロエタン	1mg/l 以下
全シアン	検出されないこと	1,1,2-トリクロロエタン	0.006mg/l 以下
鉛	0.01mg/l 以下	トリクロロエチレン	0.03mg/l 以下
六価クロム	0.05mg/l 以下	テトラクロロエチレン	0.01mg/l 以下
砒素	0.01mg/l 以下	1,2-ジクロロプロパン	0.002mg/l 以下
総水銀	0.005mg/l 以下	チウラム	0.006mg/l 以下
アルキル水銀	検出されないこと	シマジン	0.003mg/l 以下
PCB	検出されないこと	チオベンカルブ	0.02mg/l 以下
ジクロロメタン	0.02mg/l 以下	ベンゼン	0.01mg/l 以下
四塩化炭素	0.002mg/l 以下	セレン	0.01mg/l 以下
1,2-ジクロロエタン	0.004mg/l 以下	硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10mg/l 以下
1,1-ジクロロエチレン	0.02mg/l 以下	ふっ素	0.8mg/l 以下
2,2-ジクロロエチレン	0.04mg/l 以下	ほう素	1mg/l 以下

出典：水質汚濁に係る環境基準（昭和46年環境省告示第59号-平成5年改訂）

表2.11 有害性元素の急性毒性

I. 高度毒性 LD ₅₀ (mg/kg) 1~10	経口: As ³⁺ , P ₄ (黄リン), Pu ^{4+,6+} , Se ⁶⁺ , Te ⁶⁺ , Tl ⁺ 静注: Pu ^{4+,6+} , Te, Be, Cd, Cr ⁶⁺ , Hg, Pb, S ²⁻ , U ⁶⁺ , V ⁵⁺
II. 中等度毒性 10~100	経口: Cd, Cu, F, Hg, Pb, Sb, U, V 静注: Au, Ba, Ca, Ce, Co, F, Ga, K, Mg, Mn, Mo, Nb, Ni, Pr, Pt, Sb, Sn, Ta, Th, Xe, Zn
III. わずかな毒性 100~1000	経口: Al, B, Ba, Fe, In, Mo, Ta, Th, W, Zn, Zr 静注: B, Cr ³⁺ , Ge, La, Li, Re ⁷⁺ , Sr, Y, Zn
IV. 比較的無害 >1000	経口: Br, Cl, Cs, I, Na, Rb, Ca, K, La, Re ⁷⁺

出典：環境水質学、宗宮功、津野洋 共著、(株)コロナ社

3.3.3 その他の対策

(1) 畜産系排水対策

牛一頭、豚一頭の排出する負荷量が人間の排出負荷量の5～10倍にも及び、家畜の飼育頭数の多い地域では、その排水処理対策は重要である。表2.12に畜舎排水の一般的な水質性状を示す。日本では家畜ふん尿は、有機資源の有効活用の観点から、堆肥化等により農地や緑地にリサイクル利用することが基本となっている。また、ふん尿が混入する畜舎排水は、液肥として自家保有の農地あるいは近隣の農地に施肥ができない場合には、排水を処理しなければならない。

なお、尿を含む畜舎排水の浄化処理には、好気性の生物処理、特に活性汚泥法が一般的に用いられている。基本的な処理フローは、貯留槽—固液分離槽—ろ液貯留槽—生物処理槽—殺菌処理、となっている。

表2.12 畜舎排水の一般的な水質性状

処 理 区 分		水 量 (m ³ /頭/日)	負荷原単位 (g/頭/日)					備 考
			S S	COD	BOD	T N	T P	
豚舎排水	高 級 処 理	0.12	13	9	9	25	3	(愛知県, 1975)
豚舎排水	ボロ出し簡易処理			45	33	35	8	(茨城県, 1981)
豚舎排水	ボロ出し高級処理			4.5	5.3	20	4.8	
豚舎排水	水 洗	0.118		163	228	54	3.1	(建設省, 1973)
豚舎排水	非 水 洗	0.0933		26	49	24	1	
豚舎排水		0.0125	9	8	10	7.4	0.6	(環境庁, 1984)
牛舎排水	ボロ出し簡易処理			137	155	108	14	(茨城県, 1981)
牛舎排水	ボロ出し高級処理			13.7	15.5	87	8.4	
牛舎排水		0.0205		139	135	53	1.2	(環境庁, 1984)

出典：湖沼汚染の診断と対策、服部明彦、日刊工業新聞社

個々の家畜農家は農地利用の集積化を図り、個別経営内において家畜ふん尿の循環的有効利用を積極的に推進することや、未処理のふん尿、スラリー、汚水が直接水域に流入することや、降雨時に雨水とともに“野積み”のふんが流出する対策がある。また地域の実情に即した適切な家畜ふん尿処理技術を普及させるためには、処理施設の選択・整備・管理に関する的確な指導を行うことも必要である。

家畜ふん尿は高濃度有機性排水であり、T - N、T - P濃度も極めて高い。日本で1年間に約7,600万トンの家畜排泄物が発生しており、これは全産業廃棄物の約20%を占めている。これを農地に均一に施用したと仮定すると、その施用量は約19トン/ha、窒素量としては約146kg/haと膨大になる。

畜産系排水の処理状況をみると、浄化処理を実行している日本の畜産農家の割合は10～20%であり、そのほとんどは素掘りの貯留池に溜められているだけである。雨水の流入によるオーバーフローで、近隣水域の水質汚濁の発生源として問題となっており、ふんも同様に“野積み”などの屋根のない堆肥盤が多く、雨天時には排汁の流出が問題となっている。

畜舎排水の処理は、一定規模（豚房の総面積：500 m²、牛房の総面積：200 m²、馬房の面積：500 m²）以上で公共水域へ排出するものに対しては、水質汚濁防止法の基準に従って届出が義務付けられたうえ、排水を適切に処理されなければならないが、それ以外の施設では農家の判断に委ねられている状況にある。

途上国においては畜産排水の取扱いは日本とは異なり、飼育方式や排泄対策、また、法規制等、国毎に様々なことが想定される。

放牧などの飼育方式は、畜産排水の垂れ流しによる公共水域への影響が大きいだけでなく、放牧地の荒廃による土壌流出の問題などもあり緩衝地帯を設けるなどの対応も必要となっている。

(2) 面源負荷対策

面源負荷は、降雨時に土壌面や道路、屋根等に蓄積していたものが流出したり、地下浸透したものが晴天時を含めて流出するものをいう。主に窒素、リンの富栄養化物質が問題となる。また、流域特性や土地の利用状況、降雨の影響によってその流出量が大きく異なる。

山林自然域からの負荷対策としては、施肥、伐採の方法の改善、また荒廃地等からの流出対策がある。農耕地からの面源負荷対策としては過剰施肥、散布に対する指導等の対策が、水田ではさらに水管理による肥料の流出防止等がある。さらに家畜の“野積み”されたふん尿を屋根のついた堆肥舎での施肥化する流出防止、有効利用を進める方法がある。

市街地からの面源負荷対策としては、特に汚濁濃度の高い初期雨水対策が重要である。日本では、合流式下水道の雨天時排水対策、例えば貯留管、貯留槽の設置並びに分流式下水道の雨水対策や道路側溝、雨水ます等の清掃や雨水流出の抑制等によって負荷の流出を削減することなどが行われている。

途上国では道路整備等の遅れから土砂流出が多く、河川の濁質による水質悪化も見られている。

また、乾燥地域では、土壌に塩分が多く含まれる地域があり、それが集積して水利用や農業利用の際に問題となることがある。

(3) し尿等の農地還元対策

し尿の取扱いについて、し尿を肥料として使う農地還元も日本では近年、化学肥料や有機栽培が普及するまでの間、農業生産で貴重な役割を果たした。今日でもし尿は肥料として存在価値は認められており、以前のような直接的ではなく、堆肥化技術を伴って有機肥料の一部として実用化されている。

欧州の営農での家畜を通じての間接的な窒素循環方式に比べて、日本では固有の直接的な自然の窒素循環方式が構築されたが、そのためにはし尿を回収しやすい、衛生施設、便所等の構造も条件としてあった。

途上国でも、衛生施設では堅穴便所が多く普及している所では、日本の汲み取りと同じような構造であるため、し尿の回収は困難ではない。また堆肥化便所などもあり、自然の窒素循環方式は不可能ではないといえる。

しかし、これまでそのような習慣のないことや、直接的使用では衛生的見地から欠点も指摘されていることから適用には困難もある。

し尿を農地還元することで、汚濁物を生産物に変換するシステムは理想ではあるが、投下量と回収量のバランスなど、検討を要するところである。今後、途上国においては、堆肥化などを含め合理的システムとして活用していくことが望ましい。

3.4 河川浄化対策

河川の水質汚濁現象を河川で改善する方法には、河川内の汚濁物質を直接浄化する方法のほか、希釈をして汚濁を薄める方法や、河床に沈殿した汚濁物を取り除く方法、汚濁物を河川に流入させずカットしてバイパスすることで清澄さを維持する方法などがある。

「河川直接浄化」、「浄化用水導水」、「浚渫」、「バイパス（流水保全水路）」等の浄化手法として整理されているのでその概要を以下にまとめる。

河川直接浄化

汚濁した河川水を浄化施設に導き、浄化した後に河川に還流するもので、汚濁負荷量を浄化施設で直接削減できるため、効果的な浄化方法として近年多数実施されつつある。

浄化施設の建設費とその維持管理費が必要となるが、コスト面、施設規模のコンパクト化を含め、近年種々の浄化手法が開発、研究されつつある。

礫間接触酸化法を初めとして、日本で実用開発された技術も多く、最近では中国、韓国等でも盛んに導入する動きがみられてきている。

浄化用水導入

清澄な河川水を汚濁河川に導入し、主に希釈（自浄作用の向上を見込む場合もある）により汚濁河川の水質を改善する方法である。また、本法は感潮河川においては流況の変化（逆流を弱める）による水質改善や、流水中のD Oの補給効果もある。

この方法は水利権または維持流量との調整が可能な河川において実施されるものであり、水質改善効果の大きい事例も多い。水質改善効果を維持するためには、導水する河川の流況が安定しており、水質も良好なことが前提条件である。取水施設、導水施設の建設費と取水施設の運転コストが必要となるが、前記の条件が整えば確実に水質改善がなされる浄化方法である。

日本でも清澄な水を安定して確保すること等で困難さがあることから適用は限られているが、途上国においては水道水源の確保にも不十分の状況から、清澄な河川水を安定して確保し、浄化用水として確保する等は日本以上に困難さがある。

浚渫

河床に堆積した泥は、悪臭の発生、巻き上げによる景観の悪化、D Oの消費、さらに溶出等による河川水質の悪化の原因となる。このため汚泥を河床より除去するのが浚渫である。河床の浚渫は河道の流水断面の確保のため従来より行われているが、昭和40年代より水質保全等の環境面の目的からも底泥のみの除去として実施されてきている。また湖沼においても栄養塩の溶出による富栄養化防止等の観点で、浚渫が行われている。なお、河川における浚渫実績からみるとBOD₅又はCODの水質改善効果は0～2m

g/l程度の範囲の事例が多い。

浚渫は、河口部などでの河床上昇を排除することや舟運等の水路の確保など、浄化以外の目的でも実施しており、海外で浄化事例として、報告するものはほとんどない。

バイパス（流水保全水路）

本川の汚濁の原因となっている支川、排水路を新しい水路、管渠等に分離バイパスして、本川の水質を保全するものである。利水河川に適用されており、利水地点の下流に放流する計画が基本である。汚濁河川を本川と分離することから、本川水質は上流部の良好な水質が維持される。

新水路、管渠等の設置、支川、排水路等の取水施設が必要となる。新水路、管渠が完成しないと効果を発揮されないこと、新水路設置には高水敷が必要であること、新水路、管渠の費用が高いことなどがあり、実施の場合の制約も多く、現在のところ大河川でのみ実施されている。

海外でも河川ではないがバイパスにより、水域の保全が図られる事例はある。

途上国においても事例は知られていないが、河川の汚濁状況と要因が明確で、かつ、バイパスの設置やバイパス放流に関する諸問題がなければ適用可能な方法の一つではある。

その他

多様な生物の生息、生育環境の保全を目的に、瀬・淵の保全や多自然工法による河道改修等も行われている。これらも河道内での自然的浄化作用を増幅させ、河川水質を副次的に改善できるものである。（これらは、生物環境の保全を目的として計画・設計されているため、河川直接浄化と区別して取り扱う。）

途上国の都市内河川等では、瀬・淵というような河川の構成をなさない所も多く、また、多自然型工法等の適用はされていないと考えられるので、自然浄化能を増幅させる浄化方式は、河川整備や水質環境整備が普及した段階の対応である。

また、浄化ということではないが、河川の水質改善や生物生息環境を維持する手法として河川の直接曝気によるDO改善なども対策として挙げられる。熱帯の高水温域ではDOが少なく嫌気化し易いなどから、嫌気状態の改善には役立つといえる。

3.4.1 河川直接浄化対策の概要（自浄作用と手法概要）

河川を流れる汚濁物を直接浄化する手法が河川直接浄化法であるが、図2.6の区分では流入河川対策、河川内対策が該当する。

ここでは生活系排水等で汚濁を受けた、主としてBODやSS汚濁が問題となる河川の直接浄化を目的に河川内対策及び流入河川対策を示すものとする。

湖沼流入河川対策も河川水を直接浄化する技術であるが、湖沼の富栄養化対策として窒

素、リン除去を目的とする事から、河川直接浄化とは区分し、湖沼流入河川対策として別途に概要を示す。

(1) 河川自浄作用の概要

浄化の概要

河川には流域から様々な原因により、無機物、有機物（有害物を含む）が流入し、汚濁現象を引き起こすが、そのうちでも有害物を除いて考えると、BODで測定される有機物が河川の浄化能力以上になると、河川水中の溶存酸素を消費して嫌気状態になることから、悪臭発生や生物へ悪影響をもたらすものとなっている。

河川が本来持っている浄化能力とは、流入してくる汚濁物を捕捉する機能と、捕捉したものを分解して汚濁物を減少していく機能である。

汚濁物を捕捉する機能とは、沈殿等で河床に溜める、ろ過（浸透）等でこし分ける、吸着等で分離するなどである。

分解（合成）する機能とは、捕捉されたBOD物質を溶存酸素を利用して生息する好気性微生物が分解（合成）し、究極的には H_2O や CO_2 として、汚濁物を減少していくものである。

通常の河川では、捕捉する機能でもまた、生物の機能やDO補給機能でも限りがあり、その限界を超えると急激に汚濁が進行することになる。

河川の直接浄化対策では、このような河川の持つ浄化能力を人為的に補強、補完し、適切な管理と最小限のエネルギーを加えることで河川の汚濁を緩和するものである。

以下に機能面から河川の浄化作用について述べる。

河川の自浄作用（図2.9）

河川はその河道の形態と多様な流水状態そして、そこに生息する様々な生物により、流水中の固形物や溶解性物質が希釈、沈殿、ろ過、掃流、吸着、分解、酸化等の様々な機構によって減少あるいは変化する。河川ではこれらの機構が組み合わされ、河川浄化される。このような作用を河川の自然浄化作用と呼び、基本的には以下に示す現象がある。

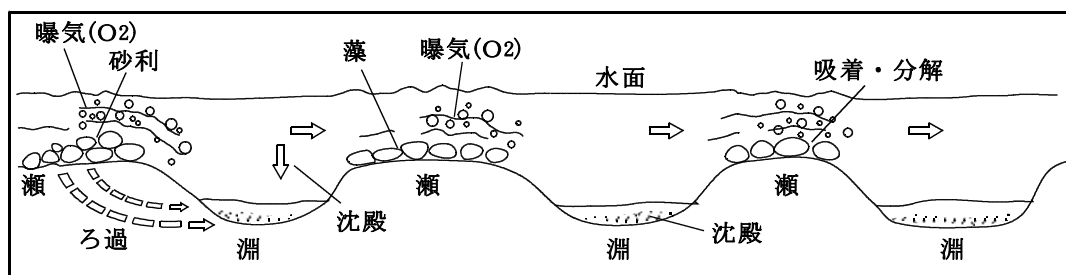


図2.9 河川の自然浄化作用模式図

1) 沈殿

河川は瀬と淵との交互のくり返しにより形成され、上流・中流・下流では瀬と淵のそれぞれの大きさは異なるが基本はこれらのくり返しである。

この場合、淵は瀬に比して流速が著しく低下するので、沈殿の効果が大きい。瀬では、瀬にある石と石との間にも流速の低下する場所があり、これも淵よりは小さいが、沈殿の役割を果たしている。

途上国の都市域等の河川では、平坦で勾配の小さな河川も多く、その様な河川では瀬の機能がなく、滞水するので沈殿効果はあるが、水面からの酸素供給も乏しく、酸欠などになりやすい。

2) ろ過

河川は表流水と伏流水で構成されているが、伏流水は表流水が河床の砂や土砂を通して、浄化されたものである。伏流水が、落差や堰などのあるところで表流水に混入し、表流水が希釈効果をうけてきれいになる。

伏流水の量は河床の構成材料により異なるが、表層水に比べれば少ないものと考えられる。

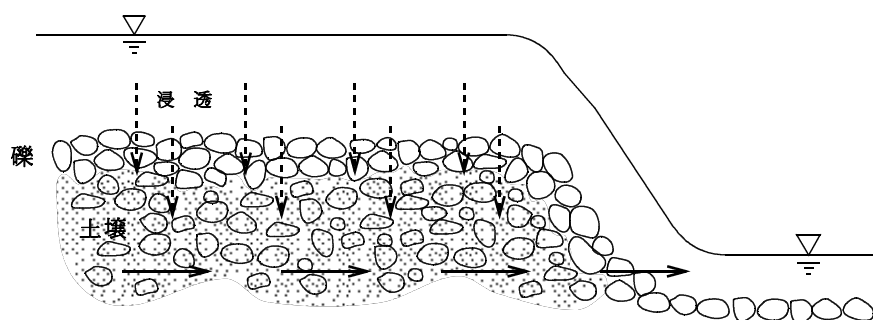


図2.10 河川内でのろ過機構

3) 生物による吸着・酸化・分解

(i) 微生物による吸着・酸化・分解

河川においては河床上の礫や岩等の表面に付着成長した生物膜に、河川水中の有機物あるいは無機物が沈殿・吸着される。有機物は生物膜を構成する生物群によって酸化・分解される。その機構は、概ね図2.11に示すような内容となる。

この有機物の分解とは別に、熱帯域の河川では高水温状態にあるので硝化菌の活動もあり、 $\text{NH}_4\text{-N}$ が生物膜中の硝化菌によって硝酸化される分解作用もある。

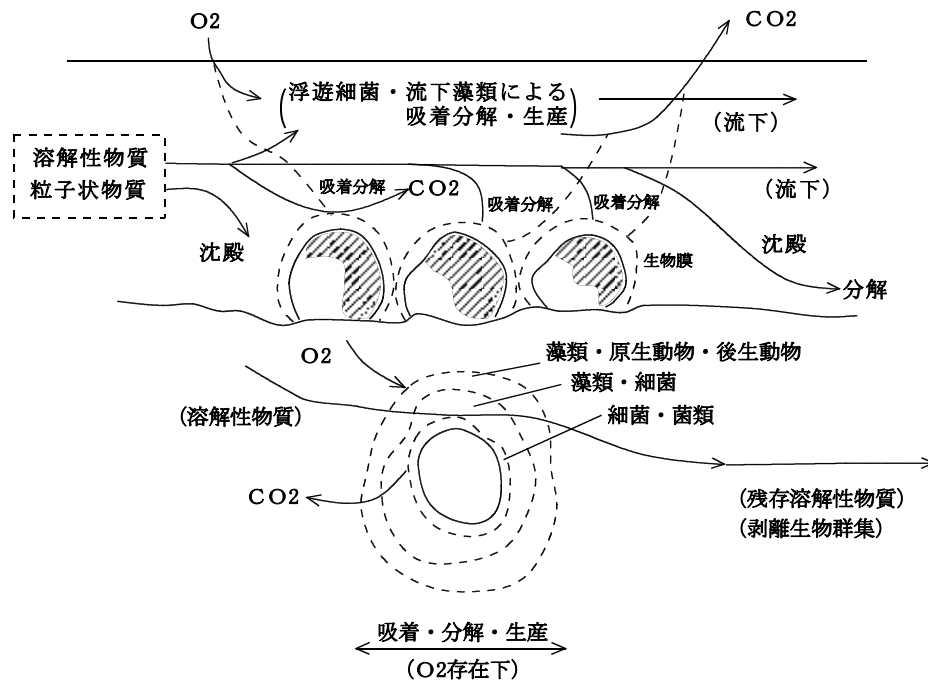


図2.11 生物による酸化・吸収・吸着機構

(ii) 水生植物による吸着、吸収

河道内には様々な水生植物が生息しており、植物体表面の付着微生物群による吸着・分解及び根からの溶解性物質の吸収等により、河川水、伏流水中にある窒素、リン等を吸収して結果的に溶解性物質が減少する。また、抽水植物の密生域においては、流速を低下させ物理的沈殿を起こさせることにより、浄化に寄与することもある。

抽水植物などの水中での機能は図2.12の通りで、窒素やリンの除去以外にも植物の茎の回りでは汚濁物の吸着や接触、沈殿などの捕捉効果と茎に付着する微生物による分解などBODやSSを除去する効果もある。

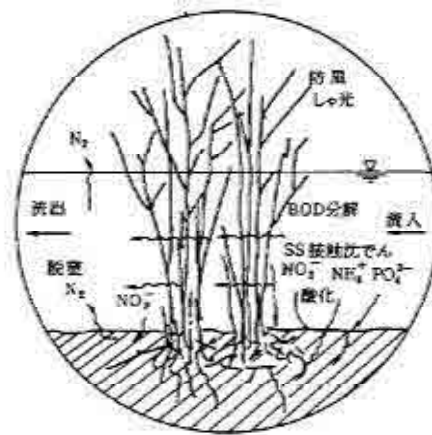


図2.12 抽水植物の作図

植生浄化としては植物を利用して、窒素・リンを除去できる効果が有効であることから、湖沼流入河川対策として主に取り扱っているが、広い用地が確保でき、BODやSSの大きな除去を必要としないようなところでは、水生植物の機能を効かす事も可能である。

4) 流れや落差による酸素の溶解

図2.13に示すように、瀬での波立ちや河道内の落差により大気中の酸素が溶解し、水中の溶存酸素が保持される。この結果、石表面に付着する生物の機能保全にも寄与している。

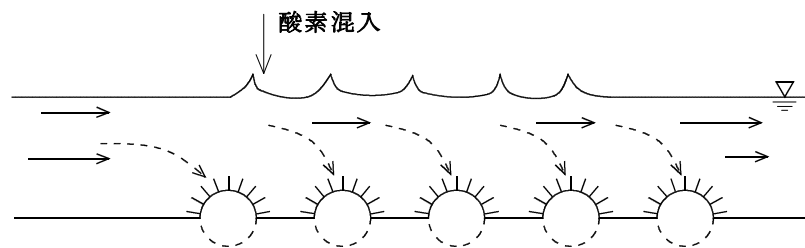


図2.13 瀬の模式図

途上国の都市域の汚濁河川で、平坦な勾配の小さい所を流れる河川では、瀬の機能がなく、酸素のとけ込みの効果は小さい。

5) 希釈

汚れた本川に、きれいな支川の水が合流することにより、水量は増加し、その増加量に比例して、本川水質濃度は低下し水質が改善される。

6) 掃流

物理・化学、生物作用によって酸化、吸収、吸着された物質は固形化し、流速によって剥離あるいは沈殿汚泥として河床に堆積する。

この堆積した汚泥は、出水時には流速が非常に速くなることにより掃流されるため、河川の浄化機能が回復する。河川の浄化作用において、この出水による堆積泥のフラッシュが非常に重要な働きをしている。

出水によるフラッシュ効果は、日本では降雨頻度や降雨量の特徴から頻繁に生じるものではなく、淵などに堆積する泥が掃流される程度である。

一方、熱帯域でスコールのように日々、ある時間帯がどしゃ降りとなり、毎日大きな出水が生じるような河川では、フラッシュ効果は河川水質そのものまで影響するケースもある。

スコールのように降雨頻度が高くフラッシュ効果の大きい出水が一日に一回は生じると、流域からの流入汚濁物も河川で悪影響を与える以前に掃流され、河川では汚濁

現象を生じないことになる。

このような気象条件にある地域では、フラッシュ効果を最大限活用した河川水質管理なども一手法としてあげられる。

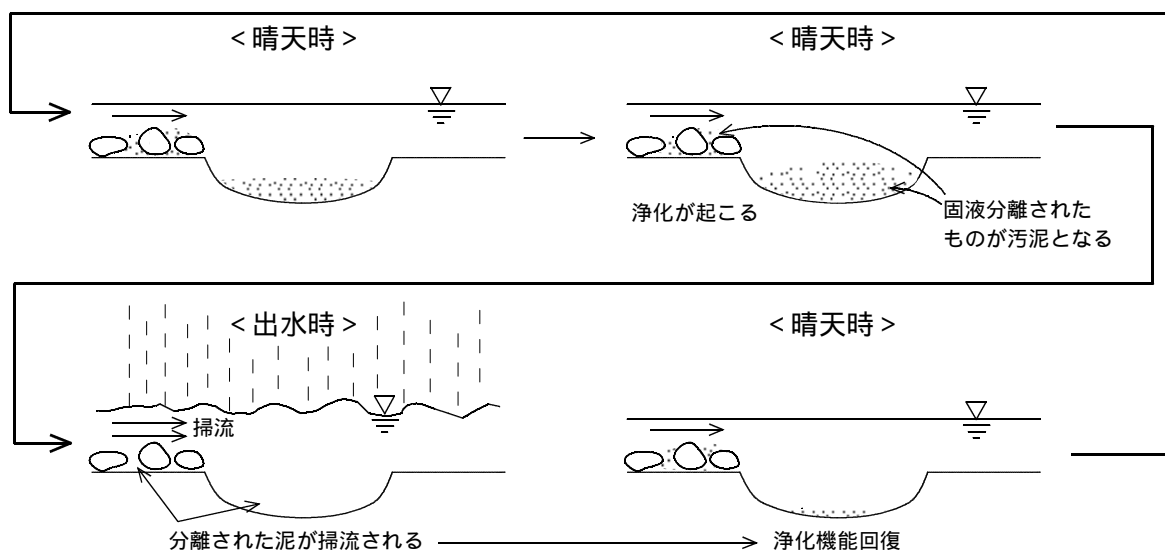


図2.14 掃流による浄化機能の回復の模式図

これらの自然浄化作用を原理別に物理的作用、化学的作用、生物的作用に分類すると以下ようになる。

物理的作用：河川水の水理的特性によって生じる浄化作用

- 沈殿、ろ過、曝気、掃流、希釈 -

物理・化学的作用：流れと流れが河床構成材料（土壌等）と接触することによって生じる浄化

- 吸着、凝集、（酸化・還元） -

生物的作用：水中等に生存する生物を媒体として生じる浄化作用

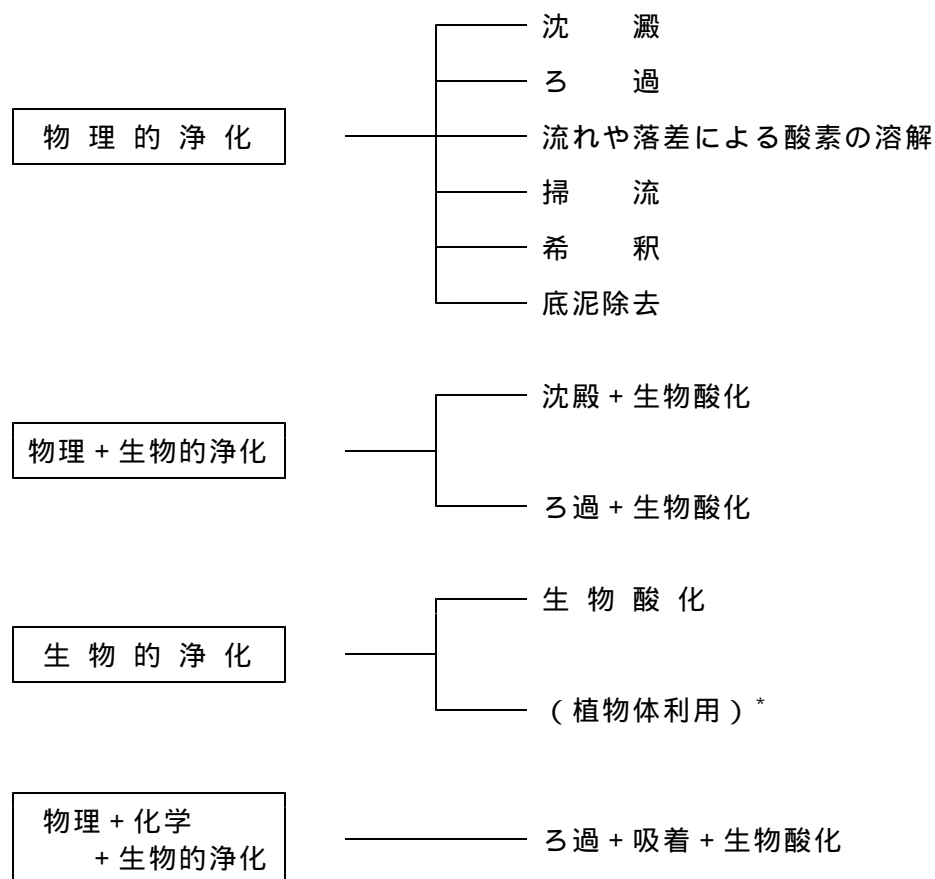
- 礫の表面の微生物による有機物の吸着・酸化・分解・合成 -

- 植物による有機物、栄養塩類の取り込み、接触による沈殿 -

(2) 河川直接浄化手法の種類と原理別分類

我が国において実施あるいは検討されている河川浄化手法を河川の自然浄化作用の原理別に分類すると、以下の通りである。

河川での浄化能は汚濁物をトラップしてから生物等の分解作用に移行していくもので、以下の浄化手法の分類についても物理的なトラップから生物分解作用の順に整理するものとした。



* 湖沼流入河川効果

我が国において実施あるいは検討されている河川直接浄化手法の原理別分類と実施例等をまとめて表2.13に示す。

河川直接浄化手法のうち、河川浄化施設として実施の実績が比較的多く、また設計手法がある程度確立されているものとして、礫間接触酸化法がある。また、酸化池では下水処理を中心とする事例も多く、海外の文献では設計手法も示されている。

植生浄化法（植物体利用）は前述したように窒素やリン除去に関する評価が高いので、ここでは、湖沼流入河川対策として主に記述するがBODやSSについても除去する機能があるので、河川直接浄化の一つの手法である。

表2.13 河川浄化手法の原理別分類と実施例

浄化原理		浄化手法	実施例等
物理的 浄化	ろ過	立型集水井(満州井戸)	・多摩川浄化事業で検討された
		長毛ろ過	・河川浄化で実験例あり(池の浄化では実施例あり)
		砂ろ過	・河川浄化で実験例あり
		マイクロストレーナー	・東横堀川
	流れや落差による酸素の溶解	エアレーション(噴水)	・道頓堀川
		床止め等落差曝気	・河川で実際に起こっている。
	拡散(掃流)	フラッシュ用水導入	・北千葉導水事業等で計画
	希釈	浄化用水導入	・浄化用水導入事業多数あり
	(除去)	浚渫	・浚渫事業多数あり
物理 + 生物的浄化	(接触)沈殿	礫間接触酸化法	・野川、平瀬川、桑納川浄化施設等多数
	+	プラスチック等*接触酸化法	・神道寺川排水路、元吉原排水路浄化施設等
	微生物	球状碎石集合体浄化法	・越谷浄化施設(池の浄化でも実施例あり)
	ろ過+微生物	木炭浄化法	・都市排水路浄化で数例あり (河川での本格的な施設はない)
生物的 浄化	微生物	曝気付礫間接触酸化法	・古ヶ崎浄化施設、不老川浄化施設
		プラスチック等*接触酸化法	・都市排水路の浄化で多数あり
		酸化池法	・河川で実験例あり
		曝気付球状碎石集合体浄化法	・I市都市排水路浄化施設
		杆状曝気法	・石川川浄化施設
		薄層流法	・西除川、佐保川等で実施
	植物体利用	ヨシ原浄化	・山王川、清明川浄化施設
		ホテイアオイ等利用浄化	・児島湖流入支川等
物理 + 化学 + 生物的浄化	ろ過 + 吸着 + 微生物	高速土壌浄化	・袋川浄化施設

* プラスチック等には以下のものを含む。

プラスチック接触材(波板状接触材、球状接触材、筒状接触材、ハチの巣状接触材、ヒモ状接触材、網状接触材)、布製接触材(不織布、合成繊維)

* * 河川での浄化能は汚濁物をトラップしてから生物等の分解作用に移行していくものであるため、上記の表についても物理的なトラップから生物分解作用の順に整理している。

(3) 河川直接浄化手法の概要

表2.13に示した河川内浄化手法のうち、床止め等落差曝気、フラッシュ用水導入、浄化用水導入、浚渫は河川水を直接浄化する手法ではないので、これらの手法を除いた20種類の河川直接浄化手法について、浄化手法の原理的概要とその特徴（長所と短所）をまとめた。

特徴の欄は、以下の観点でとりまとめている。

浄化機能からみた浄化可能項目とその効率

流入水質の適用性

汚泥の分解性、発生量

汚泥処理の難易性

浄化のための必要面積

浄化施設の堤外地（高水敷）への設置の可能性

特徴欄の記述にあたっては、主に生活雑排水によって汚濁した中小河川を想定し、実施施設の事例や実験からの知見、設計事例からの情報並びに浄化原理、理論からの推察等によって検討を行っている。また、河川浄化施設として実施施設の多い礫間接触酸化の特徴を念頭におき、比較する形で記述したものもある。

表2.14(1) 河川直接浄化手法の概要と特徴

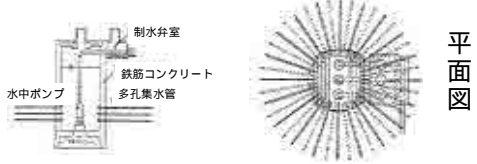
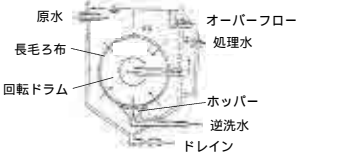
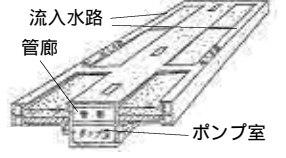
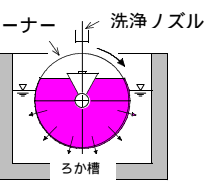
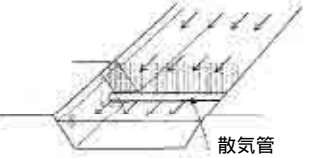
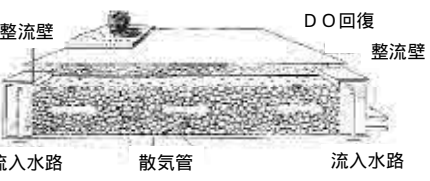
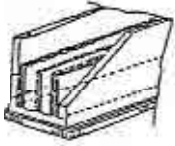
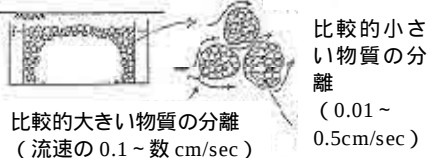
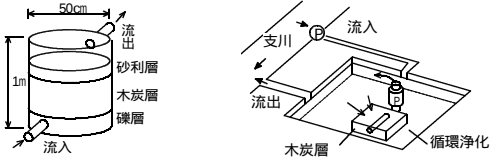
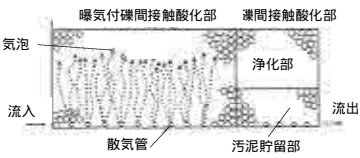
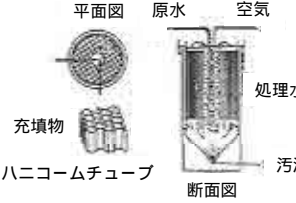
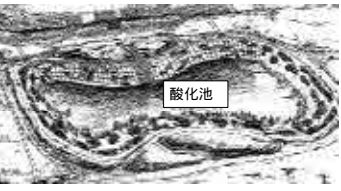
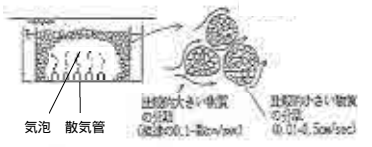
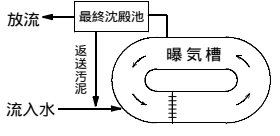
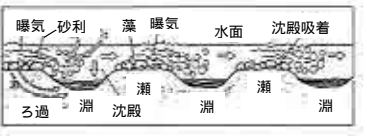
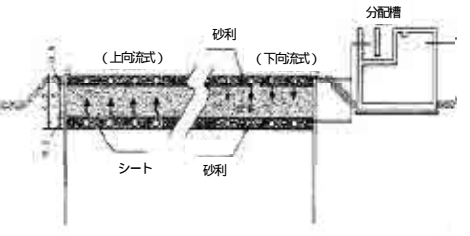
浄化原理		浄化手法	浄化手法の概要	浄化の特徴		模式図
				長所	短所	
物理的浄化	ろ過	立型集水井 (満州井戸)	・砂礫、土壌によるろ過と土壌による吸着、生物酸化による浄化方式	伏流水であるため、水質は非常に良質である。 伏流水を集水するため、河川水の希釈効果がある。	周辺地下水位への影響が問題となる場合がある。 集水量に限界がある。	
		長毛ろ過	回転ドラム上の長毛ろ布によりSS成分をろ過することにより浄化する方式。	幾重もの長毛ろ布によるろ過のためSSの除去効果が大い。 小さな面積で浄化が可能である。	高いSS濃度には適用できない。 ろ布が目詰まりするため、逆洗処理が頻繁に必要。 汚泥の発生量が多いため、その処理が常に必要となる。 機械施設が多く、高水敷には設置できない。	
		砂ろ過	砂ろ過によりSS成分をろ過することにより浄化する方式	粒径の細かい砂によるろ過のため、SSの除去効果が大い。 急速砂ろ過ではろ過速度が100～200m/日と大いいため、小さな面積で浄化が可能である。	高いSS濃度には適用できない。 砂ろ過の目詰まりのため、逆洗処理が頻繁に必要。 汚泥の発生量が多いため、その処理が常に必要となる。 高水敷には直接設置できない。	
		マイクロストレーナー	アミ目上の回転ドラムにより、SS成分をろ過することにより浄化する方式	目合いの細かいストレーナーによるろ過のため、SSの除去効果が大い。 小さな面積で浄化が可能である。	高いSS濃度には適用できない。 ストレーナーが目詰まりするため逆洗処理が頻繁に必要。 汚泥の発生量が多いため、その処理が常に必要となる。 機械施設が多く、高水敷には設置できない。	
	曝気	エアレーション	人工的な曝気により、河川水に酸素を供給しDOを高める方式。	DOの上昇により、河川水の腐敗と臭気発生を抑制できる。 水生生物の生息条件であるDOの確保及び維持が可能となる。	エアレーションだけではBOD、SSの浄化効果は少ない。 エアレーションのための電気代がかかる。	
物理+生物的浄化	(接触)沈殿+微生物	礫間接触酸化	礫間を通過する際に生じる接触沈殿と生物膜(微生物)による吸着、酸化、分解により浄化する方式	BOD、SS除去効果が大きく、特にSS分の多い水に対して有効である。 汚泥の発生量が比較的少ない。 所要エネルギーが少ない。 維持管理が少なく、基本的にメンテナンスフリー。	SS成分の浄化効果が主であるため、溶解性物質が高い場合は浄化効果は低い。 窒素、リンはほとんど除去できない。 礫の空隙率は約40%であり、比較的広い面積が必要となる。 汚泥の発生量は流入水性状によって差異があるため、	
		プラスチック等接触酸化	プラスチック材を通過する際に生じる接触沈殿と生物膜(微生物)による吸着、酸化分解により浄化する方式、プラスチック接触材(波板状、ハチの巣状、球状、筒状、ヒモ状、網状)、布製接触材(不織布、	BOD、SS除去効果が大きく、特にSS分の多い水に対して有効である。 必要面積が礫間接触酸化の～”程度でよい。 所要エネルギーが少ない。	SS成分の浄化効果が主であるため、溶解性物質が高い場合は浄化効果は低い。 窒素、リンはほとんど除去できない。 プラスチック材の単価は礫の10倍高い。 汚泥の分解が起こりにくいため、定期的に処理が必要。 (月1～3回程度)	
		球状碎石集合体浄化法	球状碎石集合体の間を通過する際に生じる流離作用と接触沈殿と生物膜(微生物)による吸着、酸化分解により浄化する方式。	BOD、SSの除去効果が比較的大きく、特にSS分の多い水に対して有効である。 必要面積が礫間接触酸化の～程度でよい。 堆積汚泥の自然分解が大きく発生量が少ない。 維持管理が少なく、基本的にメンテナンスフリー 高水敷地下に設置できる、上部利用ができる。	SS成分の浄化効果が主であるため、溶解性物質が高い場合は浄化効果は低い。 窒素、リンはほとんど除去できない。 球状碎石集合体の単価は礫の10倍高い。	
	ろ過+微生物	木炭浄化法	木炭によるろ過と、木炭表面の生物膜(微生物)による吸着、酸化、分解により浄化する方式	廃材の利用浄化方式である。 BOD、SSの除去効果が比較的大きい。	SS成分の浄化効果が主であるため、溶解性物質が高い場合は浄化効果は低い。 木炭の径が小さいため、目詰まりをおこしやすい。 窒素、リンはほとんど除去できない。 汚泥の分解状態と汚泥処理は研究段階。	

表2.14(2) 河川直接浄化手法の概要と特徴

浄化原理		浄化手法	浄化手法の概要	浄化の特徴		模式図
				長所	短所	
生物的浄化	生	曝気付 礫間接触酸化法 (固定生物膜法)	曝気付礫間接触酸化 + 礫間接触酸化の組み合わせで浄化を行う。エアレーションによりDOを供給し、微生物を多数繁殖させ、有機物の吸着、酸化、分解を行う。	BOD、SSの他NH ₄ -Nや加臭を効率よく除去できる。 流入水質が高い場合（BOD20mg/ℓ以上）や溶解性BOD性が高い場合に適用される。 汚泥の発生量が比較的少ない。 高水敷地下に設置でき、上部利用ができる。	窒素、リンはほとんど除去できない。 曝気のためのエネルギーが必要となる。 礫の空隙率は約40%であり、比較的広い面積が必要となる。 汚泥の発生量は流入水性状によって差異があるため、設計にあたっては留意することが必要である。	
		プラスチック等 接触曝気法 (固定生物膜法)	プラスチック材を充填した施設にエアレーションを行いDOを供給し微生物を多数繁殖させ、有機物の吸着、酸化、分解を行う浄化方式。プラスチック接触材（波板状、ハチの巣状、球状、筒状、ヒモ状、網状）、布製接触材（不織布、合成繊維）	BOD、SSの他NH ₄ -Nや加臭を効率よく除去できる。 流入水質が高い場合（BOD20mg/ℓ以上）や溶解性BODが高い場合に適用される。 必要面積が礫間の～”程度でよい。	窒素、リンはほとんど除去できない。 曝気のためのエネルギーが必要となる。 プラスチック材の単価は礫の10倍高い。 汚泥の分解が起こりにくいため、定期的に処理が必要。 施設の上部利用のためにグレーチング等必要。	
		酸化池法	沈殿分離のほか、藻類、バクテリアによって有機物を酸化、分解する浄化方式。 自然生態系で生起する食物連鎖を利用した方式。 通性池、効率池、嫌気性池に分類される。	藻類による自然的DO供給があるため好気性処理である。 硝化、脱窒も期待できる。 汚泥の発生量が少なく、維持管理が容易である。 高有機物を対象とした場合は嫌気性池（酸化池）が有効である。	滞留時間は通性池7～30日、高率池2～6日、嫌気性池30～50日程度必要とし、広い用地が必要となる。 流入水質が高い場合は機械的曝気が必要となる。 プランクトン除去を行わないと、浄化効果は向上しない。	
	浄	曝気付 球状碎石集合体 浄化法 (固定生物膜法)	曝気付球状碎石集合体浄化 + 球状碎石集合体浄化の組み合わせで浄化を行う。エアレーションによりDOを供給し、微生物を多数繁殖させ有機物等の吸着、酸化、分解を行う浄化方式	BOD、SSのほかNH ₄ -Nを効率よく除去できる。 流入水質が高い場合（BOD20mg/ℓ以上）や溶解性BODが高い場合に適用できる。 必要面積が礫間の～”程度でよい。 汚泥の発生量が比較的少ない。 高水敷地下に設置でき、上部利用ができる。	窒素、リンはほとんど除去できない。 曝気のためのエネルギーが必要となる。 球状碎石集合体の単価は礫の10倍高い。 汚泥の発生量は流入水性状によって差異があるため、設計にあたっては留意することが必要である。	
		リフティング 法 (浮遊生物法)	ロータ等によって汚水を循環させながら、エアレーションし微生物（活性汚泥）により有物等を酸化、分解、吸着により浄化できる方式	BOD、SS、NH ₄ -Nを効率よく除去できる。 窒素、リンの除去も可能。 流入水質が高い場合（BOD20mg/ℓ以上）や溶解性が高い場合に適用される。 長時間曝気を行うため、好気分解により汚泥発生量は少ない。	曝気のためのエネルギーが必要となる。 長時間曝気のため広い面積が必要。 高水敷には設置できない。	
	植物体利用	薄層流浄化法	河川を水深を10cm程度、流速を30～50cm/sec程度とし、河床の礫に付着した生物膜により有機物の酸化、分解を行う浄化方式。	流れによって自然的にDO供給ができる 目視効果（せせらぎ）が大きい。 河川を直接浄化施設として利用できる。（沈殿溝を設けると効果があがる。）	浄化効果を発揮するためには長い距離（数km）が必要 BOD、SSの浄化効果は10～30%程度 窒素、リンが多いと多量の付着藻類が発生し、景観が悪くなる。 出水後の土砂の清掃が必要	
		ヨシ原浄化法 (湿地植生浄化)	植物による接触沈殿による浄化方式。根による窒素、リンの直接吸収、土壌による吸着、ろ過浸透作用もあるが、浄化機能としては小さい。	SSの除去効果が大きい。 自然植生をそのまま利用できる。 窒素の硝化、脱窒、リンの土壌吸着も期待できる。 光の遮断により植物プランクトンの発生抑制ができる	浄化期間が植物の生育期間に限られる。 広い面積が必要となる。 滞留時間、土壌性状によっては土壌からのCODやNH ₄ -Nの溶出の恐れがある。	
物理・化学・生物的浄化	ろ過・吸着・生物	ホテイアオイ等 利用浄化法 (浮葉植物浄化)	浮葉性の水性植物（ホテイアオイ、ヒシ）による接触沈殿と根による窒素、リンを直接吸収することによる浄化方式。	水生植物は自然植生がそのまま利用できる。また入手が容易である。 富栄養化原因物質の窒素、リンが直接吸収除去される。 光の遮断により植物プランクトンの発生抑制ができる。	浄化期間が植物の生育期間に限られる。 広い面積を必要とする。 水生植物が枯死する前に回収し、その処理処分を行うことが必要となる。	
		高速土壌 浄化法	土壌によるろ過、吸着及び土壌中の微生物による酸化、分解による浄化方式。通常土壌の通水速度は0.5m/日程度以下であるが、通水係数が高く、リン吸着能の高い土壌を使用し通水速度1～5m/日で浄化するシステム	細かい土壌粒子によるろ過であるため、浄化水は極めて清澄となる。 リンの浄化効率が高い。	広い面積を必要とする。 土壌表面に目詰まりが発生するため、その耕起、かきとりが必要となる。 SS除去のために、前処理（礫間接触酸化等）が必要。	

1：礫島浄化実験施設、建設省近畿地方建設局淀川工事事務所

2：印旛沼の浄化対策、千葉土木事務所

3.4.2 効果と諸元

(1) 河川直接浄化手法の適用条件

河川直接浄化手法は浄化の原理や機構により浄化できる水質項目や適用範囲等が限られているので、各手法の適用条件を把握することが必要である。

河川直接浄化手法の選定にあたっては、

浄化対象項目を浄化できる浄化手法であること

浄化対象水の水質濃度が各浄化手法の適用水質範囲であること

浄化対象水の水質成分、組成特性に適合し、浄化効率を確保できること

を考慮することが必要であるため、各浄化手法の適用条件を十分把握することが重要である。

(2) 河川直接浄化手法の効果と諸元

河川直接浄化手法について、以下の事項をまとめて表2.15に示す。実施設、実験例並びに既応資料に基づきまとめたものであり、流入水質の性状、成分等の特性や汚泥発生量の大小によって異なることがあるので適用事例として示す。費用（建設費及び維持管理費）は近年の日本の単価で概略積算したものである。

設置可能場所

エアレーションの有無

浄化対象水の適用水質範囲

浄化効率

浄化できる水質項目

必要面積

費用

汚泥処理方法と頻度

標準的設計諸元

なお、曝気のない生物的浄化については、対象BODが20mg/l以下であるが、最大値に近い値である。礫間接触酸化法の例では、平均では12mg/l程度で流入し5～6mg/lまで浄化されている。そこでは、流入するBODと除去に必要なDOについては何とかバランスする状態が成立している。曝気のない生物的浄化はDOと流入するBODのバランスが必要で、20mg/l以下であってもDOの不足する場合にはエアレーション等のDO対策が必要である。

a) 設置可能場所

河川直接浄化施設を設置する場所としては、河道内（河道そのものの場合と、河道地下の場合がある）、堤外地（高水敷）、堤内地があり、その浄化施設の施設の特性に応じて、設置可能場所が限られる。実施設の設置例から、設置可能場所に○印を記した。

エアレーション、薄層流浄化法は河道そのものに設置する方式であり、河道設置が前提となる浄化手法である。礫間接触酸化法やプラスチック等接触酸化法も河道地下に設置した実施設があるが、出水時の土砂流入に十分対応できる取水施設構造とすることが必要となる。

また、堤外地（高水敷）設置の場合、冠水に対しても浄化機能が阻害されないこと、流水阻害にならない構造であることが必要となる。

表2.15 河川直接浄化手法の適用水質範囲、浄化効率、規模、費用等の目安

浄化原理		浄 化 手 法	設置可能場所			I7レ ション の有無	浄化対象水の 適用水質範囲			浄化効率		浄化後 BOD濃度 (^{(⁽})内は流入 水質を示す	浄化できる水質項目 (75%以上、○50～75% 25～50%、-25%以下)					浄化水量 1m ³ /sの 必要施設面積 (m ²)	浄化水量1m ³ /sの費用		汚泥処理方法と頻度		標準的 設計諸元	事 例
			河 道 内	堤外地 (高水敷)	堤内		B O D (mg/L)	S S (mg/L)	D O (mg/L)	B O D (%)	S S (%)		大腸 菌群	NH ₄ -N	T - N	T - P	その他		建設費 (百万円)	維持管理費 (円/m ³)	汚泥処理方法	汚泥処理頻度		
物 理 的 浄 化	ろ 過	立型集水井 (満 州 井 戸)	-	○	○	-	10以下	10以下	5～6	80～95	90～95	1～2 (2～10)					-	18,600m ² (集水面積)	-	-	土壌表面の耕	3～4回/年	通水速度	多摩川浄化事業で検
		長 毛 ろ 過	-	-	○	-	20以下	50以下		30～60	60～80	4～12 (5～20)		-	-	-	-	120	-	-	逆洗処理水を バ ^く ュ ^ー ム排出	逆洗 3～12回/日 汚泥処分	ろ過速度 800m ³ /m ² ・日	河川浄化で実験例 あり(池の浄化では
		砂 ろ 過	-	-	○	-	20以下	50以下		30～60	80～95	4～12 (5～20)	○		-	-	-	1,000	1,800	-	逆洗処理水を バ ^く ュ ^ー ム排出	逆洗 3～12回/日 汚泥処分	ろ過速度 120m ³ /m ² ・日	河川浄化で実験例 あり
		マイクロ ストレーナー	-	-	○	-	20以下	50以下		30～60	60～80	4～12 (5～20)		-	-	-	-	120	-	-	逆洗処理水を バ ^く ュ ^ー ム排出	逆洗 3～12回/日 汚泥処分	ろ過速度 1000m ³ /m ² ・日	道頓堀川
	曝 気	エアレーション	○	-	-	○	-	-	-	10以下	10以下	-	-	-	-	-	-	-	-	-	必要なし	必要なし	(対象河川水の DO濃度による)	道頓堀川
物 理 + 生 物 的 浄 化	(接 触) 沈 殿 + 微 生 物	礫間接触酸化法	○	○	○	-	20以下	30以下	5～6 以上	60～80	75～90	2～7 (5～20)		-	-	-	-	6,000～12,000 (水深 2～4m)	1,000	0.1～0.2	曝気排泥方式 掘 出 し 方 式	2 回 / 年 1 回 / 5 年	滞留時間 1.3時間	野川、平瀬川、桑納 川浄化施設等多数
		プラスチック等 接触酸化法	○	○	○	-	20以下	30以下		50～70	65～85	3～10 (5～20)	○	-	-	-	-	4,000～8,000 (水深 2～4m)	1,500	0.3～1.2	水中ホップ [®] によ り汚泥の引抜	1～4回/月	滞留時間 2～3時間	神道寺川排水路、 元吉原排水路浄化施 設等
		球状砕石集合体 浄化法			○	○	-	20以下		30以下	50～70	70～85	3～10 (5～20)	○	-	-	-	-	2,500～5,000 (水深 2～4m)	900	0.1～0.2	曝気排泥方式	2 回 / 年	滞留時間 0.5時間
	ろ過 + 生物	木炭浄化法	-	-	○	-	20以下	30以下		50～70	70～85	3～10 (5～20)	○	-	-	-	-	3,000	600	0.6	曝気排泥方式	2 回 / 年以上	通過速度 1cm/分	都市排水路浄化で数 例あり(河川での本 格的な施設はない)
生 物 的 浄 化	微 生 物	曝気付 礫間接触酸化法	-	○	○	○	20～80	20～50	-	80～90	85～95	4～15 (20～80)			-	-		9,000～18,000 (水深 2～4m)	2,000	1.3	曝気排泥方式 礫 更 新 方 式	2 回 / 年 1 回 / 5 年	滞留時間 2～4時間	古ヶ崎浄化施設 不老川浄化施設
		プラスチック等 接触曝気法	-	○	○	○	20～80	20～50		75～85	75～85	5～20 (20～80)	○	○	-	-		5,000～10,000 (水深 2～4m)	2,400	1.8	水中ホップ [®] によ り汚泥の引抜	1～4回/月	滞留時間 2～4時間	都市排水路の浄化で 多数あり
		酸 化 池 法	—	○	○	—	50以下	50以下		40～50	40～60	6～30 (10～50)	○	○		—		15,000 (水深 5m)	2,500	-	植物プランクトン の除去	1 回 / 月	滞留時間 5 日	河川で実験例あり
		曝気付球状砕石 集合体浄化法	-	○	○	○	20～80	20～50		75～85	75～85	5～20 (20～80)	○	○	-	-		9,000～18,000 (水深 2～4m)	1,800	1.3	曝気排泥方式	2 回 / 年	滞留時間 2～4時間	I 市 都 市 排 水 路 浄化施設
		オキシディーション ディッチ法	-	-	○	○	20・200	20・200		75～85	65～80	5～50 (20・200)		○	○	-	-	40,000 (水深 1m)	-	-	水中ホップ [®] による汚 泥引抜と処分	2～6回/月	滞留時間 16時間	石川川浄化施設
		薄層流浄化法	○	-	-	-	20以下	10～30			10～30	10～30	4～18 (5～20)	-	-	-	-	-	長さ1km 水深0.1m	-	-	出水時の土砂 の除去	大出水後毎	流下接触時間 2 時間
	植 物 体 利 用	ヨシ原浄化法	-	○	-	-	10～30	10～30	5～6 以上	30～50	70～80	7～20 (10～30)	○	○	○	○	-	150,000 (水深 0.1m)	900	5.8	植物体の刈り 取清掃	1 回 / 年	滞留時間 5 時間	山 王 川 、 清 明 川 浄化施設
		ホテイアオイ等 浄化法	○	○	-	-	10・100	10・100		30～50	30～40	7～70 (10・100)		-	-	-	-	1,700,000 (水深 1m)	-	-	植物体の回収 と処分	1 回 / 年	滞留時間 20日	児島湖流入支川等
物 理 + 化 学 + 生 物	ろ過 吸着 生物	高速土壌浄化法	-	○	○	-	10以下	10以下		80～95	90～95	1～2 (2～10)					色度	20,000m ²	2,600	1.6	土壌の表面耕 起土壌の交換 ・再生	3～4回/年 1 回 / 5 年	通水速度 1～5m ³ /m ² ・日 (1～5m/日)	袋川浄化施設

出典：河川直接浄化の手引き(平成9年3月31日)、(財)国土開発技術研究センター

b) エアレーション

人工的なエアレーション施設の必要性を示した。流入水質が高濃度な水を対象とする浄化手法は生物による酸化・分解促進が必要であることから、エアレーションが必要となる。当然、維持管理費が高くなる。

c) 浄化対象水の適用水質範囲

各浄化手法は浄化原理、機構の特性並びに浄化機能の長期的維持のためには、適用できる水質濃度範囲がある程度限られている。

実施設や実験の事例から、各浄化方式について経験的にBOD、SSの浄化対象水の適用範囲を示した。水質の組成や性状によって、多少その適用範囲は幅を持っており、浄化手法の選定に当たっては少なくとも、河川水の水質特性を把握することは必須条件であり、十分調査検討した上決定することが必要である。

d) 浄化効率

実施設や実験例、参考資料から、経験的に適用水質範囲に対するBOD、SSの浄化効率（除去率）を示した。適用水質範囲と同様、流入水質の組成や性状によって浄化効率も左右されるので、事例として示した。浄化実験等の実施が可能であれば、流入水質特性に対応した浄化効率を確保できるか確認することが望ましい。

e) 浄化できる水質項目

BOD、SS以外の浄化できる項目を浄化原理や実績、実験に基づいて4段階の浄化効率で表記した。

f) 必要面積

標準的設計諸元値に基づき、水量 $1\text{ m}^3/\text{sec}$ を浄化するのに必要な面積をまとめた。流入水質の組成や性状によって設計諸元値が異なることがあること、流入のSS濃度や汚泥発生量の大小により、面積及び容積は左右されるので、事例として示した。

g) 費用

標準的設計諸元値で設計した場合、浄化水量 $1\text{ m}^3/\text{sec}$ を設置するための建設費と維持管理費を実施設や実験例に基づきまとめたものである。建設費には用地取得費を含んでいない。

設置できる用地の形状や取水方式とその構造によっても建設費は大きく異なるので事例として示した。

h) 汚泥処理方法と頻度

浄化施設に堆積した汚泥の排出または引き抜き方法とその頻度を、実施設、実験例に基づきまとめた。汚泥発生量により汚泥処理の頻度が異なること、汚泥の堆積状況によって処理方法も異なることに留意することが必要である。

i) 標準的設計諸元

実施設、実験例並びに参考資料に基づき、多く採用されている標準的設計諸元値をまとめた。対象とする流入水質の特性により、適正な諸元値を設定する必要があるが、ここではその参考値（目安）として示した。設計諸元についても、浄化実験により流入水質の成分、組成に対応した諸元値を決定することが必要である。

表2.16 河川直接浄化技術の分類と件数

浄化技術・使用材料		件数	事業主体別			設置場所			
			国交省	都道府県	市町村	堤内地	高水敷	河床、水面	不明
ろ過		1	－	－	1	1	－	－	－
礫間接触酸化	曝気なし	64	11	26	27	6	14	41	3
	曝気あり	10	3	4	3	5	4	1	－
プラスチック接触酸化	曝気なし	44	－	16	28	2	5	36	1
	曝気あり	38	－	4	34	24	11	3	－
木炭浄化		17	－	2	15	－	－	16	1
その他の接触材 ¹⁾	曝気なし	30	－	12	18	2	5	19	4
	曝気あり	10	－	5	5	5	2	3	－
複合型		33	－	6	27	12	9	11	1
その他	活性汚泥法 ³⁾	1	－	－	1	1	－	－	－
	その他	4	1	1	2	1	1	1	1

1) 標記した充填材以外の使用材料または複数の使用材料により浄化する方法。

2) 前段に礫間接触酸化等の浄化施設を有するものを含む。

3) 下水道供用開始に伴い、不要となったし尿処理施設を都市下水路の浄化施設に転用した施設。

出典：河川水浄化への取り組みと浄化技術の現状、(財)河川環境管理財団 河川環境総合研究所

3.5 湖沼・ダム湖対策

3.5.1 手法と概要

(1) 対策原理

富栄養化現象は生態的視点では、第一次生産者である植物プランクトンが異常増殖発生することにより生じる現象であるので、植物プランクトンの増殖要因を抑制することが対策となる。

一般的には増殖要因として以下のようなものがある。

水の滞留（増殖する場所の確保）

窒素・リン等の栄養塩類（植物プランクトンにとっての餌）

光（細胞合成のためのエネルギー）

植物プランクトン細胞の存在（発生の素となる種細胞）

水温・気温（環境条件）

この中で、水温・気温のコントロールは自然現象相手に困難である。

したがって ～ についてが富栄養化の対策である。

このうち、窒素、リン等の栄養塩類については流域から排出されてくるので、流域対策あるいは湖沼流入河川対策など湖沼に流入する前にカットするのが有効である。

光遮断、植物プランクトンの直接除去、水の滞留改善などは湖内での対応であることから、湖沼内対策となる。

3.5.2 湖沼・ダム湖の流域対策

湖沼、ダム湖の流域から窒素、リンなどを削減する対策である。

(1) 発生源対策

下水道整備やし尿処理施設等の普及により、生活系排水の窒素・リンの削減を行うものであり、脱窒・脱リン等の高度処理も検討されている。

途上国等では下水道整備そのものが遅れており、高度処理よりも下水道整備、普及が急がれる状況にある。

(2) 排水規制

日本では水質汚濁防止法に基づき特定施設からの放流水規制があるので、これを強化する方向がある。

途上国では規制も明確でない所もあり、規制で窒素、リンまでの削減は厳しい状況である。

(3) 面源対策

農地、山林等からの流出対策としての施肥量の管理や下水道の未整備地域での雑排

水対策等があるが、十分な対策ではない。

途上国でも熱帯域で熱帯林のある流域では人為負荷よりも、森林からの窒素、リン供給が多い場合もあり、面源負荷への対応の困難なケースもある。

3.5.3 湖沼・ダム湖流入河川対策

流域からの窒素、リン等の栄養塩類が湖沼・ダム湖に流入する前で窒素・リン等を直接浄化するものである。

(1) 湖沼・ダム湖流入河川浄化手法

湖沼・ダム湖流入河川を直接浄化し、窒素・リンの削減をはかる方法である。

その技術には以下のものがある

植生浄化法 - - - - - ヨシ原等による接触沈殿、吸収により、窒素、リンの削減をはかる方法

リン吸着浄化法 - - - 土壌や活性アルミナ等のリン吸着能力により、リンを削減する方法

これらについては表2.17で概要と特徴を示し、表2.18で適用範囲、浄化効率を示し、表2.19では規模と費用の目安について示した。

特に途上国での適用について、広大な敷地の確保は可能と思われるが、濁りの多い河川では植生施設がすぐに埋まり、管理が困難となる。

また、河川流量の変動が大きく、冠水し易い等の河川域では植生生育が難しく、適用が困難となる。

(2) 植生浄化施設について

湖沼・ダム湖などの流入河川については栄養塩類の流入が富栄養化現象の要因であることから、窒素・リンを削減することで有効で、その中で省資源、省エネルギー的手法には自然の能力を活用することが大切である。

そこで、植物プランクトンと同様に窒素やリンを必要とする高等植物に着目し、流入河川について植生により対策しようとするものである。

このような植生による対策では、常に河川水を浄化の対象として供給する中で浄化を行うことから、可能な植物は湿性のものが好ましい。

湿性の植物で一般に水草といわれるものにはヨシやマコモなどの抽水性植物、ヒシなどの浮葉植物、クロモ、カナダモ等の沈水性植物、ホテイアオイ、ウキクサ等の浮遊植物などがある。

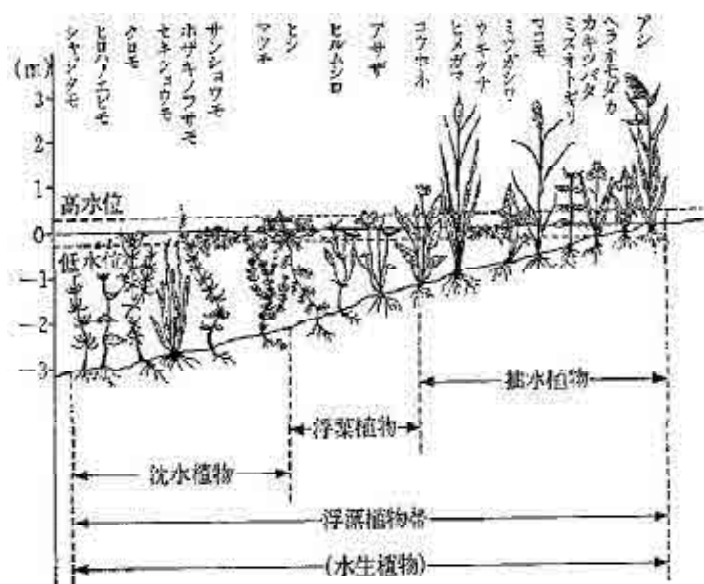


図2.15 水草の垂直分布

日本でも種々の植物の実験例等はあるが、実施設として機能しているのはヨシを用いたヨシ原浄化法であるので、ここでは、ヨシ原浄化法（以下、植生浄化法と記述する）について述べる。

植生浄化法の概要

ヨシ原による汚濁物質の除去メカニズムは、沈殿・吸着等の物理化学的作用や、ヨシ原の生態系に関わる生物化学的作用を含む複雑なものと考えられるが、基本的には次の3点に要約される。

- (1) 粒子態栄養塩の沈殿・吸着及びリンの不活性化作用
- (2) 底質中に生息する脱窒菌による亜硝酸態窒素、硝酸態窒素の脱窒素作用
- (3) 流水、底質表面、水生植物の表面等に生息する従属栄養細菌による有機物の無機化作用

なお、ヨシ原に繁茂する水生植物は、直接河川水中の汚濁物質を吸収したり分解したりするわけではないが、浄化の環境を整えるという点で、非常に重要なものであり、その機能は次のようなものがある。

- 1) 風を減衰させ、底泥の巻き上げを抑制する。
- 2) 日照を防げ、プランクトンの発生を制限する。
- 3) 水の流れを一様にする作用がある。
- 4) 付着性微生物の促成場所を提供する。

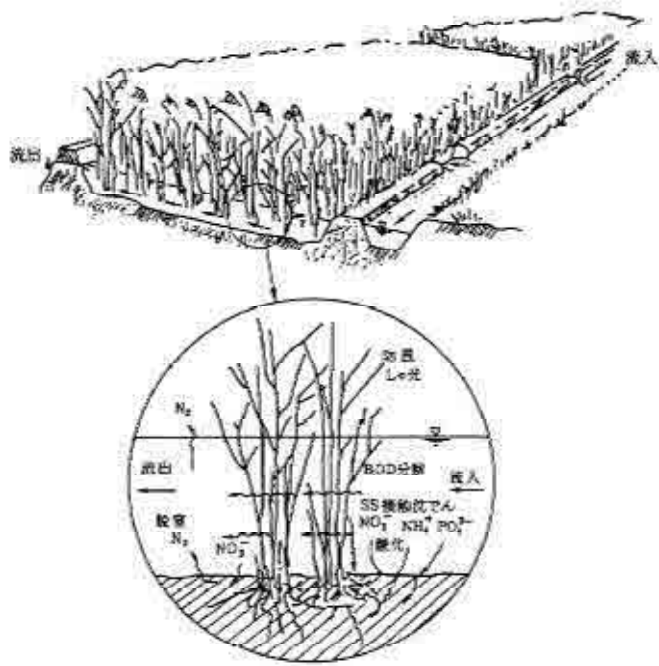


図2.16 植生浄化法概念図

植生浄化施設の適用

本指針では河川のBOD、SS除去対策としての河川直接浄化法について、技術を移転するもので、富栄養化対策としての窒素・リン除去は対象としないが、途上国においては広大な敷地が安価に確保できる可能性があり、BODやSS除去も浄化機能として有することから、特徴や適用水質範囲、浄化効率の目安、規模の目安などについて、表2.17～表2.19にまとめた。

植生浄化施設の設計の考え方については、浄化の対象項目を窒素・リンとしており、窒素やリンを効率的に除去するための諸元が示されている。

本指針においては資料編として設計の考え方を参考に添付した。

(3) バイパス

流入汚水（下水処理水も含む）を集めて他の地域に放流する方法で、欧米でも富栄養化した湖沼の解決事例はある。また、日本でも諏訪湖（白樺湖を含む）等にはこれに近い例がある。

途上国の事例報告は不明であるが、熱帯林などが流域に多い所では人為対策では解決しないことからバイパスという手法での富栄養化対策が困難な場合も生じる。

表2.17 湖沼流入河川浄化手法の概要と特徴

	浄化手法	浄化手法の概要	浄化の特徴	
			長所	短所
生物 浄化	ヨシ原浄化法 (湿地植生浄化)	植物による接触沈殿による浄化方式。根による窒素、リンの直接吸収、土壌による吸着、ろ過浸透作用もあるが、浄化機能としては小さい。	SSの除去効果が大い。自然植生をそのまま利用できる。 窒素の硝化、脱窒、リンの土壌吸収も期待できる。 光の遮断により植物プランクトンの発生抑制ができる。	浄化期間が植物の生育期間に限られる。 広い面積が必要となる。 滞留時間、土壌性状によっては土壌からのCODやNH ₄ -Nの溶出の恐れがある。
	ホテイアオイ等 利用浄化法 (浮葉植物浄化)	浮葉生の水性植物(ホテイアオイ、ヒシ)による接触沈殿と根による窒素、リンを直接吸収することによる浄化方式。	水生植物は自然植生がそのまま利用できる。また入手が容易である。 富栄養化原因物質の窒素、リンが直接吸収除去される。 光の遮断により植物プランクトンの発生抑制ができる。	浄化期間が植物の生育期間に限られる。 広い面積を必要とする。 水生植物が枯死する前に回収し、その処理処分を行うことが必要となる。
物理 + 化学 + 生物的 浄化	高速土壌浄化法	土壌によるろ過、吸着及び土壌中の微生物による酸化、分解による浄化方式 通常土壌の通水速度は0.5m/日程度以下であるが、通水係数が高く、リン吸着能の高い土壌を使用し通水速度1～5m/日で浄化するシステム	細かい土壌粒子によるろ過であるため、浄化水は極めて清澄となる。 リンの浄化効率が高い。	広い面積を必要とする。 土壌表面に目詰まりが発生するため、その耕起、かきとりが必要となる。 SS除去のために、前処理(礫間接触酸化等)が必要。

表2.18 湖沼、流入河川浄化手法の適用水質範囲、浄化効率等の目安

	浄 化 手 法	設置可能場所			エアレーション の有無	浄化対象水の 適用水質範囲			浄化効率		浄化後 BOD濃度	〔 浄化できる水質項目 75%以上、○50～75% 25～50%、△25%以下〕					
		河 道 内	堤外地 (高橋)	堤内		BOD (mg/L)	SS (mg/L)	DO (mg/L)	BOD (%)	SS (%)		〔()内は流入 水質を示す〕	大腸 菌群	NH ₄ -N	T-N	T-P	その他
生物 的 浄 化	ヨシ原浄化法	-	○	-	-	10～30	10～30	5～6	30～50	70～80	7～20 (10～30)	○	○	○	○	-	
	ホテイアオイ等 浄化法	○	○	-	-	10-100	10-100		30～50	30～40	7～70 (10-100)		-	-	-	-	
物理 化学 生物 的 浄 化	高速土壌浄化法	-	○	○	-	10以下	10以下	以上	80～95	90～95	1～2 (2～10)					色度	

本表は、実施設、実験例並びに既往資料に基づきまとめたものであるが、流入水質の性状、成分等の特性や汚泥発生量の大小によって上記の値は左右されるので参考値(目安)である。

表2.19 湖沼、流入河川浄化手法の規模、費用等の目安

	浄化手法	浄化水量 1m ³ /sの 必要施設面積 (m ²)	浄化水量1m ³ /sの費用		汚泥法と頻度		標準的 設計諸元	事 例
			建設費 (百万円)	維持管理費 (円/m ²)	汚泥処理方法	汚泥処理頻度		
生物 的 浄 化	ヨシ原浄化法	150,000 (水深 0.1m)	900	5.8	植物体の刈り 取清掃	1回/年	滞留時間 5時間	山王川、清明川 浄化施設
	ホテイアオイ等 浄化法	1,700,000 (水深 1m)	-	-	植物体の回収 と処分	1回/年	滞留時間 20日	児島湖流入支川等
物理 化学 生物 的 浄 化	高速土壌浄化法	20,000m ²	2,600	1.6	土壌の表面耕 起土壌の交換 ・再生	3～4回/年 1回/5年	通水速度 1～5m ³ /m ² ・日 (1～5m/日)	袋川浄化施設

3.5.4 湖内直接浄化対策

(1) 湖水の人工循環による富栄養化対策

ア) 原理

小島は湖沼学的知見と内外の研究成果を基にして、

湖沼の夏期成層の破壊・循環の形成

水の滞留の短縮・流動の減少

光の遮断

等の効果を得る方法があれば富栄養化現象における植物プランクトンの異常増殖による障害を防止できると考え、間欠式空気揚水筒の作用に着目し多くの湖沼、貯水池に適用してきた。

水の滞留・流動の改善

植物プランクトンが増殖してある量に達するには、プランクトンを含む水塊が長時間滞留する必要がある。いいかえれば、増殖する前に水を入れ替えることができればよいということになる。条件にもよるが5日～10日間位での水の入れ替えで効果がある。

光の遮断

湖面をカバーして光の遮断をすることは現実的ではないが、水中に透過した光は水深とともに急速に減少する。この現象を利用するために、植物プランクトンを人為的な流動にのせて底層の暗部に留めることで同様の効果を得ようとするものである。光の少ない暗所で生活した藻類は、その後強い光に当たっても生産量は回復しないことが知られている。

イ) 人工循環手法

人工循環に用いる手法としてはエアー式、ポンプ式、水車式等の他、取水・放流、流入等の流動エネルギーを応用するものもある。

エアー式は曝気効果があるため底層部でのD O補給や硫化水素等の溶出を抑制できるため実績も多い。表2.20に湖水人工循環手法の例を示す。

(2) 窒素・リン削減対策

一般的には湖水中の窒素・リンの削減のため植物に吸収させたり、底泥に含まれる栄養塩を浚渫除去するなどがある。

ア) 水生植物の利用

湖内植生による浄化

ホテイアオイ等の浮標性植物が多く利用されているが、湖岸に広くみられるヨシ原や湿原（抽水性植物）、ヒシ原（浮葉性植物）等が利用できる。原理的には窒素・リンの吸収の他、接触沈殿による浮遊物質の除去や植物の繁茂による光の

遮断効果による植物プランクトンの増殖抑制ができる。いずれにしても繁茂した植物の刈り取り等の管理が必要であるが、刈り取った植物は食用、肥料、家畜等の飼料としての利用が可能である。

浮島による浄化

浮島に植生を植え、根より窒素、リンの吸収を行うものであるが、その他生物が集まることによる植物プランクトンの捕食等による効果、光抑制効果もみられており、植物プランクトンの抑制効果が確認されている。

霞ヶ浦では波浪による湖岸浸食防止効果の期待を含め実施している。

ウェットランド

湖の流入河川、河口部を石積み等で囲み、中にアシ等の植生を植え、流入してくる窒素、リンの沈降促進を図るものであり、霞ヶ浦（川尻湖）で実施されている。

イ) 浚渫等底泥対策

湖底に堆積したヘドロは栄養塩を豊富に含むので溶出を防止するために除去（浚渫）したり被覆する対策がとられているが、労力のわりには効果が少ないとみられている。

ウ) 汽水域の底層帯改善

汽水域においては海水が流入し底部に停滞し、底泥の酸素消費による嫌気化が生じ、リンの溶出を促進し富栄養化を進行させるとともに、生物生息環境を悪化させている。これらについて流況改善や河口部におけるもぐり堰等により、海水の進入を防ぐ対策が行われている。（春採湖）

エ) 薬剤の使用

硫酸バンドやPAC（ポリ塩化アルミニウム）の凝集剤を湖内に散布してリンを凝集沈殿させようとするものであるが、自然水域に化学物質を投入することへの抵抗感と堆積物の増加に対する懸念から一般化されるには至っていない。

（３）バイオマニュピレーション

植物プランクトンを直接食べる魚種の放流や、さらにそれら魚類を捕食する魚類を減らすことによって間接的に植物プランクトンを減らす方法等が試みられている。また二枚貝などは大量の水をろ過し、水中の植物プランクトン等の有機物を餌としている。これら生物を利用した浄化方法は、食料生産という側面からも有効な方法と考えられる。

（４）植物プランクトン（アオコ）の直接除去

ダム・湖内に発生した植物プランクトンを特殊船を用いて直接除去回収する方法などもある。

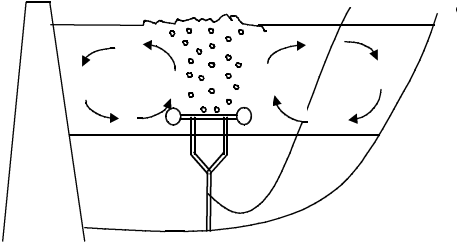
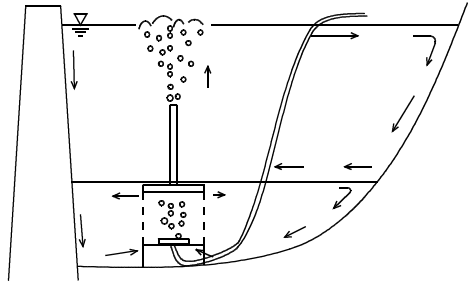
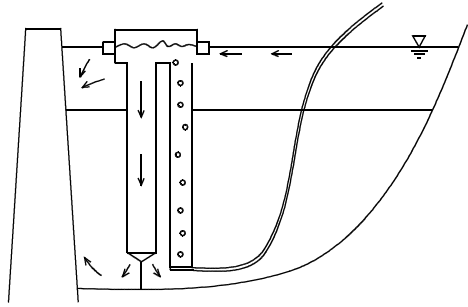
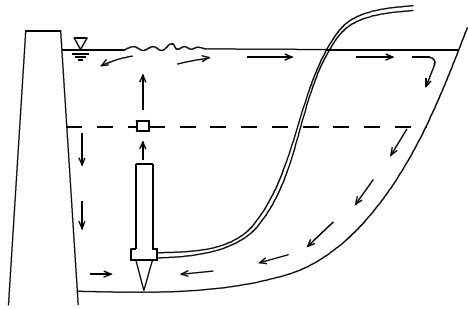
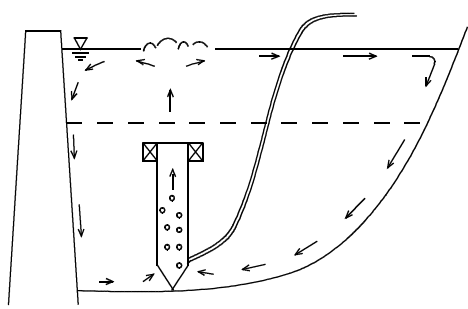
（５）選択取水

湖内の直接浄化法とは異なるが、ダム・湖内では取水操作によって下流域への影響を軽減する手法として選択取水がある。

これはダムの表層・中層・下層等の各々からそれぞれ状況に応じて放流位置をかえるもので、富栄養化や濁質等の現象があるとき、下流域への影響軽減方策である。

この場合にも逆に放流水温の低下など、日本では農業や水産等で問題化することもあり、下流域の状況に応じた適用が必要となっている。

表2.20 湖水人工循環手法の例

方 式	施設イメージ図	対策の原理
浅層曝気方式 (浅層循環)		無光層以浅の表水層の曝気・循環により、藻類を無光層の近くへ移送することで藻類活性を低下させて増殖を抑制する。
二層分離曝気方式		表水層と深水層を別個に曝気・循環させ藻類の無光層への移送による増殖抑制や深水層でのDO補給を行う。
深層曝気方式 (表水層選択放流)との併用		深水層の曝気によりDOを補給し、底質からリンやH ₂ S等の溶出を抑制する。これにより、H ₂ S臭発生防止や藻類増殖抑制を図る。
間欠式曝気方式 (全層循環)		水温躍層を低下・破壊し、吹送流等による大循環で藻類を無光層に移送することにより藻類の増殖を抑制する。
連続曝気方式 (全層循環)		水温躍層を低下・破壊し、吹送流等による大循環で藻類を無光層に移送することにより、藻類の増殖を抑制する。

3.5.5 人工循環曝気の効果と諸元

湖沼・ダム湖における対策については、諸元と効果についてまとめられているものは少なく、ここでは人工循環曝気について示す。

(1) 循環装置の施設諸元

循環装置を設置するための工学的設計諸元は、まだ十分に確立しているとはいえない。湖沼の形態、水理条件、水質変動の他、水量管理方法等で対処法が変わるので関連資料の収集解析のうえで経験的知見を含めて決定しているのが実状である。なお、設置したダム湖の実績に基づいて試算した結果を図2.17に示す。

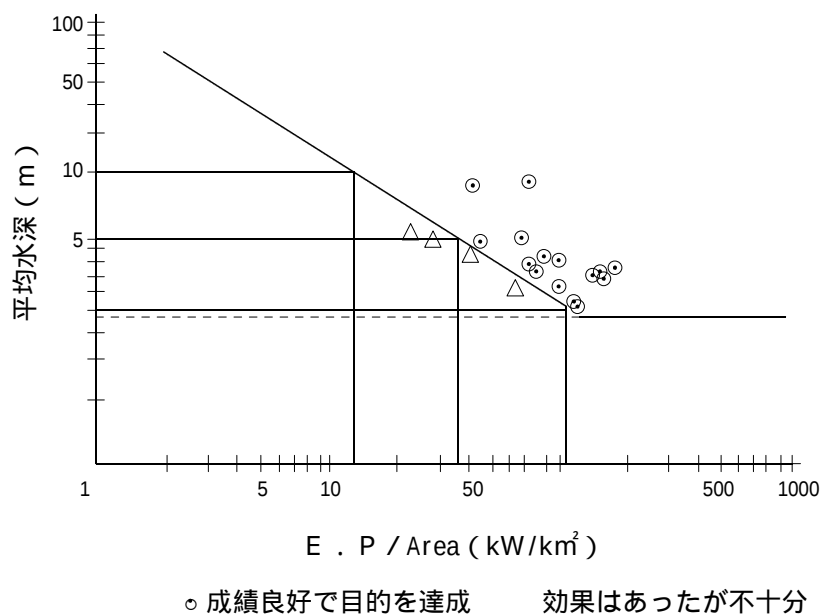


図2.17 湖沼の平均水深と表面積当たりの所要エネルギーの関係

(2) 効果

1) 水質改善効果

湖水循環の前後における水質分布例を図2.18に示す。

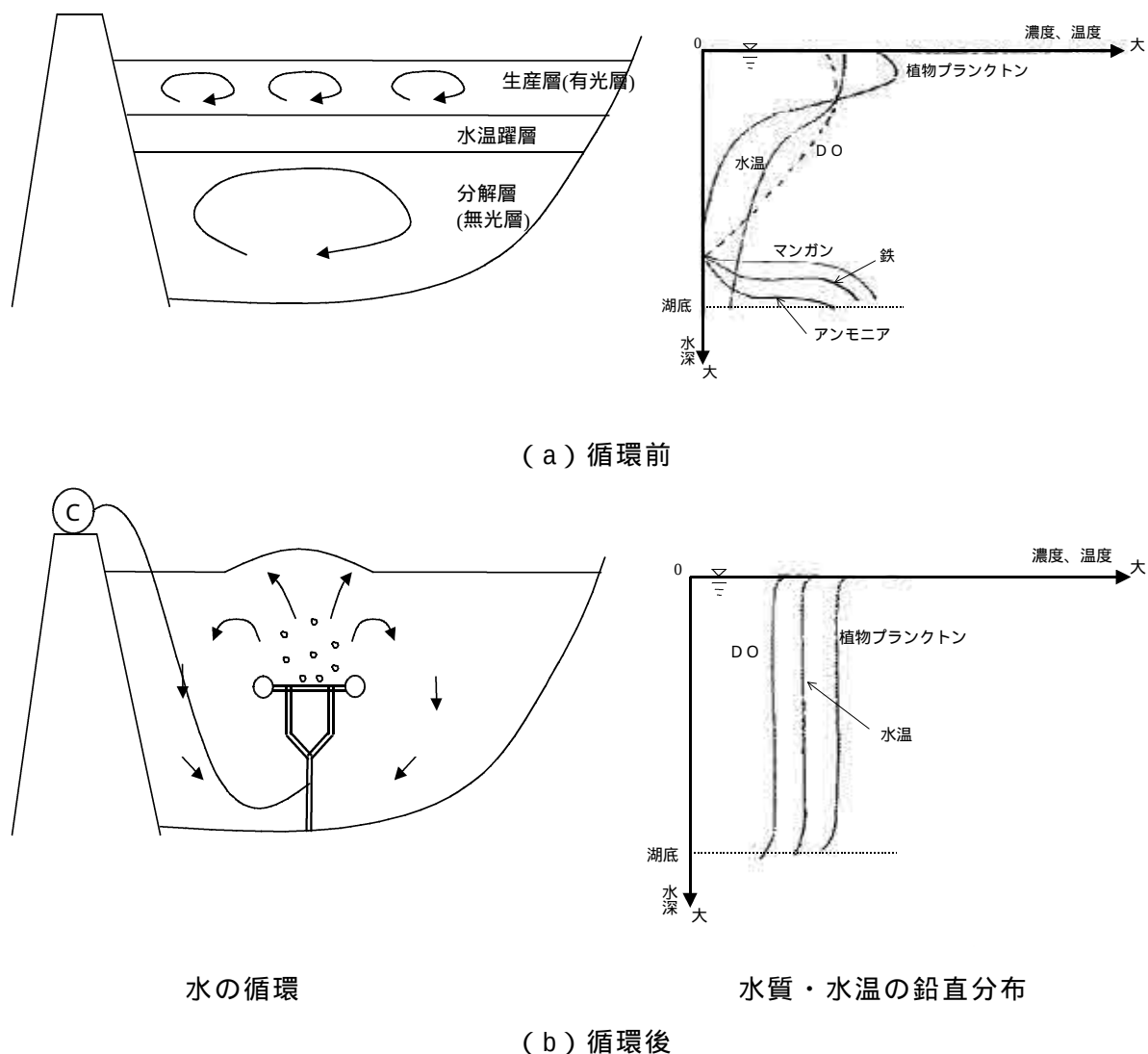


図2.18 湖水循環の前後における水質分布

湖水を循環すると藍藻類が激減して緑藻類や珪藻類に変わり、発臭藻類が消滅するため臭気問題が解決する事例が多い。なぜ、発臭藍藻類が消滅するかについては解明されていない。また、底層水の酸欠状態も解消するため、鉄・マンガン・アンモニア・硫化水素等が消失する。

2) 経済的効果

発臭藍藻類が減少することから、浄水場での特殊な処理がいらなくなり経済的効果が大きい。小島は仙台市茂庭浄水場（20万t/日）の事例で年間維持費節減は1億円程度に達するとみている。

参 考 文 献

- 1) 渡辺真利代、原田健一、藤木博太編：アオコその出編と毒素、東京大学出版会、p.56
~ 61
- 2) 坂本充：湖沼の富栄養化と植物プランクトンの異常増殖、(門田元編：淡水赤潮)、
p.129 ~ 139、1987
- 3) 下水道ハンドブック編集委員会編：実務化のための最新下水道ハンドブック、建設産
業調査会、p.560、1987
- 4) 財団法人河川環境管理財団編：流域マネジメント新しい戦略のために、技報堂出版、
p.87