

環境制御指標としての水質マトリックス

Water quality matrices as an index
for controls of water environments

北海道大学 工学部 衛生工学科

・丹保 素仁, 亀井 翼

I. はじめに

現今の高活動密度地域の都市群における個々の都市の水代謝系の施設群は単にその都市内におけるサービスの形態・レベルを定めることについても地域水質源系の質・量の時空間分布との関連を持たずに議論を行うことが出来ず、都市用排水施設系は地域水環境系の一環として相互干渉をしつつその形態・規模に大きな制約を受けてくる。このような状況下での都市用排水系の設定は従来のごとき先行設定された都市計画諸元に基づく直線的な整備計画によってはなしえず、都市諸元を決する重要制御因子として水系も他の諸元と同一の制御平面に導入し都市計画とならざるを得ない。したがって水環境施設系の設定も都市計画の様々な諸元との交互作用を明らかにしうる因子も内蔵した多元的なものでなければならぬ。多元的な用排水施設系の設定はその前提として出来るだけ多くの水質・水量制御のための互換、補償的システムを用意しなければならず、そのためには水質変換の手法、評価の方式が十分に用意されていなければ画餅に終る。在来の計画論はややもすれば古典的水質制御・評価指標をもそのまゝ用いて高度な水代謝系を論ずるきらいがあり、新しい多元的な水利用に結びむ水質制御指標の創出が必要となる。

都市内部から見た水代謝施設群の形態・規模の設定が地域水環境の質・量から大きな制約を受けると言うことを裏返すならば、高活動密度地域における自然環境下の水の状態も相互干渉する人工の用排水系の形態・規模に大きく支配されることを意味する。現今の都市・産業活動の盛んな自然水域の多くはこのような状況下にあると考えてよい。このように人為的汚濁負荷量が天然のそれに対して圧倒的に大きく水量も充分でない水質ヒシテリシスを持った水環境を論ずる場合には、自然水域での水質の変化速度・変化ギャップに比してはるかに大きな値を持つ水処理系を環境の質制御手法の中心にすえねばならず、自然水域での水質変化は水質制御要素として期待するよりはむしろ他系との交互作用による汚染伝播の諸要因として扱い、一過型の自浄能としてよりはむしろ積分型の危険要因の一部として検討を加える方向を専らと考える。特に活動密度が高く、水源より河口までの距離の極めて短い河川に立地している我国の諸都市域では流下水塊の自浄作用を制御の一環に組み入れうる場合は少ないと思われる。特に高次下水処理の導入が行なわれるような水環境系では自然河川での自浄作用に対する期待もほとんどしないことが前提となると考えられるので人工の水質変換系の持つ水環境制御への重みは極めて大きい。

さらに多くの水質因子の内現在の水質変換技術の能力では十分な制御の保証しえないものものもあるので、制御を行う水環境系の境界をなるべく小さくおさえて、規制によってヒシテリシスから自由な水域を出来るだけ多く確保するためにも水質の多段・多元利用が計られねばならない。

と処理マトリックスの構成概念を若干説明してみよう。

水質表示マトリックスの各列は適当な方法（機械的・光学的粒度分析，ゲルクロマトグラフ分級など）によって分級された不純物のクラスをとる。この級分割の幅の設定は対応処理法（水質因子の挙

水質因子	粗粒径分類				粒径または相当分子量						i
	$10^0 \sim 10^1$	$10^{-1} \sim 10^0$	$10^{-2} \sim 10^{-1}$	$10^{-3} \sim 10^{-2}$	$10^{-6} \sim 10^{-3}$ cm	MW $10^3 \sim 10^4$	$2 \times 10^4 \sim 1 \times 10^5$	$1 \times 10^5 \sim 5 \times 10^5$	$5 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6$	$1 \times 10^6 \sim$	
SS	C_{11}	C_{12}	C_{13}							C_{1m}	1
Color											2
TOC											3
BOD	C_{14}										
UV ₂₆₀											
UV ₂₂₀											
EC											
etc	C_{ni}									C_{nm}	n
J = 1 2 3 4 . . . m											

図-2 水質表示マトリックス

動）を考えて処理マトリックスと級をそろえ環境における水中不純物の一般的な粒径分布を考慮しつつ設定する。また各行は代表的な水質因子についての値を並べるが、この水質因子はなるべく総合因子を重点に採用し、不純物粒子寸法別の情報の導入と総合因子間の数値比を考慮（後述）する事によって、測定すべき水質因子数を出来るだけ少くおさえるように配慮する。この場合の水質因子の選択にあたっても充分に処理のメカニズム、環境における影響のメカニズムを考慮して必要な因子の種類を定めねばならない。またこの水質因子をどのような順序で配列するかは水質変換プロセスの組み方と密接な関連があり、後述するような利用的水処理の対象になりうるような水質因子を上位におき通常多用される処理シス

テム（プロセス）でのグルーピングがよく反響されるような配列をとって、処理マトリックスとの対比が容易なように工夫する。

処理マトリックスはこのような水質マトリックスの小マトリックスであって考える処理法によって水質表示マトリックス要素 C_{ij} がどれだけ除去されるかを示すもので、粒子径と水質因子によって定まる行別の要素を除去率 R_{ij} で示したものである。除去率は一般に濃度の関数であり、さらに同一水質要素であっても濃度が異なれば異なった処理プロセスの適用が必要になってくることもあるので処理マトリックスは濃度の軸をさらに加えた3次元のマトリックスとして示されその要素は除去率 R_{ijk} で示されることになる。実際に処理マトリックスを設定する場合にこの濃度軸のクラス幅をどの程度にとるかについては各対応処理法の適用濃度範囲が必ずしも一様ではないので連けいする処理法のマトリックスとの整合に不都合がないような配慮をしつつ個々のプロセスに適した幅をとることが出来る。図-3はこのようにして作られたある処理法に対する処理マトリックスの概念図であり、水質表示マトリックスと水質因子配列順、粒径分布のクラス間隔を合わせて作られている。このような3次元処理マトリックスの内で除去性の期待しえない分は R_{ijk} を0、除去される要素については $R_{ijk} > 0$ 、代謝廃物などによって新たに付加される要素は $R_{ijk} < 0$ とする。ただ後者では元来その水質要素の原濃度の関数として新たな成分が生ずるわけではないから、マイナス除去率算定の基準になる

々に持っている。(当該プロセスに関連する費用、例えば凝集沈殿プロセスの際の汚泥の処理・処分費用)もう一方の処理マトリックスに対応する処理費用は原水濃度のみで定まるものではないが、概略の単位水量当りの処理費用の標準値を与えることは可能であろう。この標準値もしくは標準値を与える関数形(スケール効果やシステムの存在する環境条件などを考えて)を個々の処理マトリックスに対してコスト見出しとして付加することによって除去性とその費用を一对にして以後論ずることが出来る。

水処理システムは多くの単位プロセスまたはオペレーションを何段にも重ねて目的とする水質変換量をうるわけであるが、この際プロセスを適用して行く際の順序が当を得ないとその効果を発揮しないプロセスが多い。通常は粗な不純物成分を除去し順次小さな成分の除去をはたすプロセスを加えて行くことになるので、処理マトリックスの左肩に7桁のオペレーション番号をふり、始めの3桁をプロセスの番号、次の2桁をプロセスの変法番号、後の2桁を濃度クラス別番号として、始めの2桁の番号の若いプロセス順にシステムを組んで行くこととし、3桁目の数字は順序に依存しないとする。またこのプロセス番号を見出しとして当該プロセスが扱っている水質濃度範囲(主軸の級の設定水質因子とその適応数値幅)を指定する。

原状態を水質表示マトリックスによって示し、処理マトリックスを重ね合わせによって次々と落ちこぼれなく水質変換量を増加し、最後に望む水質に到達するわけであるが、この場合は処理の目標値である水質値も水質表示マトリックスで現わされていなければならない。このような目標水質を示すマトリックスを用途マトリックスと称することとする。水質基準設定の基となる水質の生物・環境への影響は処理性を基準に作った水質マトリックスに全面的になじむものではないが、自然水域での変質、移行、生体内への取り込みのような問題を考える場合、花来のような乱暴な水質因子の扱いよりは少なくとも物理・化学・生物化学的挙動の判断基準となる水質要素を絞り出しておくことによってより明確な因果関係の究明とその結果の制御系へのフィードバックが果せるものと考ええる。

水質表示マトリックスは別として、現在の段階では前記の処理マトリックスの成立条件のところでのべた種々の制約をすべて解決して、普遍的な水処理マトリックスを作りうるにはほど遠い状況である。しかしながら、原水組成も都市下水と指定し、通常の濃度範囲内で、生物化学処理、さらに物理化学処理の各ステップを付加して行く際の水質の変化状態をマトリックス表示し、各処理プロセスに如何なる水質要素を負荷として与え、どのような順序でプロセスを組み立てれば良いかの判断を行う事については、土木学会 衛生工学委員会(水高度利用小委員会)昭和46年、47年度報告書、昭和46、47年度土木学会年次講演会での筆者等の諸報告から明らかなである。

Ⅲ 水質マトリックスの水環境制御への応用

(1) 水処理システムの設定

与える水利用目的に対する用途マトリックス(水質基準値)が指定され、原水の水質マトリックスが判明すれば、その間の水質落差をうるにはどのような処理マトリックスを持った処理プロセスを組み合わせればよいかを検討することによって組み合わせに無駄と欠落部分のないシステム構成が明確に与えられ、用いた処理マトリックスのコスト見出しの情報から大略の処理費用の推算が出来る。このようにして在来水処理系の入出力があまりのまゝ極めて情報量の少ない若干の水質因子で途中を

半ばブラックボックス的にあつたままで設定せざるを得なかつた諸水処理システムをその各プロセスが受け持つ役割、変換ギャップの大きさを指定しつつオペレーションの内容を判断とさせ1形で設定しうようになる。

(2) 水質価格の評価

ある基準水質(環境許容値)の水質表示マトリックスと対象とする水の水質表示マトリックスの間の水質落差を埋めるために必要な処理マトリックスの組み合わせを設定することによって、低質側の水質を改善して両水質を等しくするに必要なコストの算出が出来る。この場合常にコストの算出は水質が改善されると考える方向にとるものとし、同一水質落差を埋める複数のプロセスがある時には最低のコストの組み合わせを採って両水質間の水質価格の差とする。したがって、対比を工業用水の原水と排水とすれば、生産活動によってどれだけの水質価格の低下が水質的に行なわれたかを算出することが出来る。水処理マトリックスは濃度の関数であるから、希釈などによって低濃度化した場合の水質価格の評価も可能になる。すなわち同一の水質成分量の除去を考える時濃度の低下(希釈)と共に処理コストは増大し、ある濃度レベル以下になると対応処理法を全く変えねばならずそのマイナスコストは膨大なものになる。図-3はこのようにして得られる水のマイナス価格がその存在状態を指標にして評価されることを示している。このことは水の利用が水の消費ではなく水質属性の利用が大部分であつて、水質の変化分(低下分)を使用していることを考える時に、環境計画の場合に不可欠

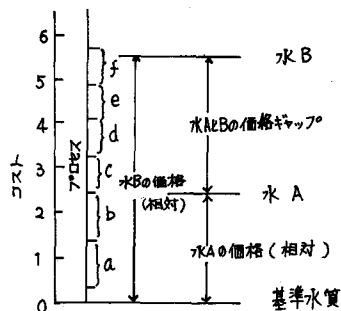


図-3

である水質因子と他の計画因子と整合を最も普遍的なコストで行うための一つの考え方になりうるであろう。このような方式で水質価格を論ずることの出来るのは、水質レベルが自然系生態系における環境許容値^値の場合であつて、人工系による制御に主としてこの考え方が適用されるのが至当であろう。唯環境に対する害^害といった面での水質低下の評価を行う場合には害を受けている集団・対象が特定^{特定}の(僅かな)ある既得権を明確に持っている

部分に限られ水価の低下が局所的な条件で評価され、僅かな保償のまま水質改善が放置される結果を招来することにもなるので、価格低下を明確にかさえる一方途として、このような考え方の導入も必要となろう。

またこのような価格評価もある基準水質(用途マトリックス)に対して行うことによって任意の複数の水質ある用途に対する相対的な価値判断が出来、黄河の水とミシシッピーの水のいずれが水道用^{水道用}水として良好でその差はどの程度であるかを或程度客観的に示しうることになる。

(3) 沉用処理と主循環系の構成

水質マトリックスの構成において水質を総合的因子で表示しその処理性と把握出来るような成分は一応処理対象の物質のマイクロな化学的組成に極端に左右されずに、マトリックスの行的構成を中心にして水質の変換を論じうる部分であり、現行の上下水道における中心的な水処理システムを構成している物理化学的・生物化学的処理などを代表とする汎用水処理プロセスの適用が可能な部分である。

それに対して総合的な因子での表示が難しく、個々の化学組成・構造を明示した水質因子を導入

しなければ処理性の評価し難い成分（重金属のある濃度成分範囲のものなど）は汎用的な処理法を適用しえず、個々の因子に対して処理のステップ（反応と分離のプロセス）を1つずつ別個に付加しなければならぬ特殊処理に対応する成分である。

水処理システムの一つの特長は、用水処理システムの一部を除いて、システムの各ステップを構成する処理プロセスにおける水量負荷がほとんど変化することなく一貫した大きさを持っており、したがって汚濁物質重量負荷が減っても水量負荷は変化せず、しかも処理コストの大きな部分を占める分離装置容量はほとんど水量負荷によって定まることである。それゆえ、汎用処理で処理し切れぬ成分に対して、個々の成分毎に独立の処理プロセスを付加して行く段階にまで処理システムが延びて行くと除去される物質重量当りの処理コストはいちじるしく大となり、単位水量当りの処理コストは膨大なものとなるから、ある限度を越える特殊処理プロセスの附加は工学的に成り立ちえなくなる。

図-4はこれらの関係を模式的に描いたもので、横軸は各処理プロセスに対応する処理コストを処理プロセスの配列順を考えた積算値にとり、縦軸には各々の処理法によって除去される不純物量をその処理コストで除したものをとっている。図中の面積は不純物量を示し、ヒストグラムの高さ(P)は

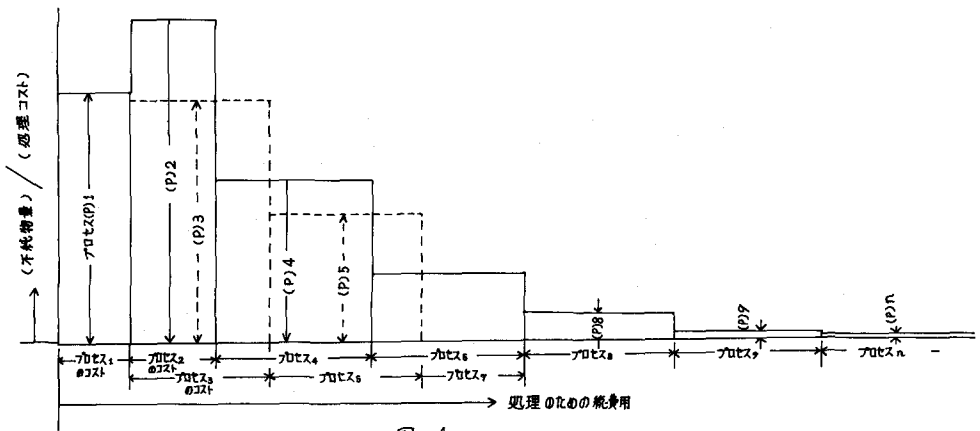


図-4

は各プロセスについて単位コスト当り除去される不純物量を示す。一般に水中の不純物量は粒径分布の大きな方の側の絶対量を多く、汎用的処理でその大部分が除かれ、残余の成分に対応するプロセスを付加することによって順次総合的水質因子で表示し難い、特殊微量成分を除くことになる。この場合極端に低濃度化した成分の単位重量当りの処理コストは極めて高くつくから一般の水サイクルの中へ導入することは不可である。したがってこのような汎用処理プロセスになじまない微量成分は水利用の主サイクルに流入する以前に、発生源近くの水量負荷の低い処で処理すべきである。このようにすることによって主循環サイクルの制御指標である水質マトリックスの因子数を減じ、制御の確実性を増し、検出の不確実さをまけて主水利用系の安全を保ちやすくなる。このような不純物量/処理コストの比をどの程度まで一般の水サイクル（主循環系）の中で許すべきかは地域全体のシステムの経済性と安全性によって決まるが、この場合に水質因子の検出の不確実さとそれを補う方法の導入によるコストの増大もプロセスコストの中に導入されていなければならない。