特集

非特定汚染源負荷とその計測

非特定汚染源による水質汚濁の問題は、現象の不規則さ、機構の複雑さ、計測の困難さなどから、必ずしも十分な解明が成されているとはいえません。しかし、今や公共用水域の水質保全のためには、非特定汚染源負荷を無視して考えられない状況になっています。

こうした背景から、本特集では、非特定汚染源に関する研究で重要な位置を占める計測方法に視点をあて、汚染防止の現状と課題を紹介して頂くことに致しました。今後の研究に参考となれば幸いです。

(担当 山本哲也*)

非特定汚染源の調査法の現状と課題**

市 川 新

1. 非特定汚染源による汚濁問題の発生

昭和40年代初頭の公害問題が顕著であった時から比べると公共用水域の水質は大幅に改善されてきている。とくに環境基準のうち、健康項目については適合率(基準値以下となっているサンプル数の比率)は99%を超えている。しかし、生活環境項目といわれるBOD(COD)については図1に示すように河川では適合率は60%であり、今後一層の努力が要求されている。

Arata Ichikawa

昭和36年 東京大学工学部土木工学科卒業

38年 同大学院修士課程修了

40年 同大学工学部都市工学科講師

43年 同助教授

〔趣味〕 アメリカンフットボール

生活環境項目を基準値以下にするためには、下水道の整備の強化、処理効率の向上、とくに脱窒を含めた3次処理の導入等が行われているが、「非特定汚染源対策」もその重要な項目の1つとなっている。非特定汚染源はnon-point sourceといわれ、「工場・事業場・下水処理場等の排出源が特定できるもの以外の汚染源」と定義されている。この定義のように非特定汚染源は「特定汚染源」以外の「余集合」であり、それをすべてリストアップすることは不可能である。一般にいわれている汚染源として以下のものがあげられている。

都市域：道路・屋根・オープンスペース等建設工事現場

農村域：農地・牧草地・森林等

それ以外にも多くあるし、特定汚染源と区別できないものがある。例えば、下水処理場からの放流渠内で堆積したり、生物にとりこまれた栄養成分が雨天時に流出した時、「発生源としてみると特定汚染源」ではあるが、実際の流出する場で考えると「非特定汚染源」と同じ取り扱いをした方が都合のよいものもある。

また、非特定汚染源からの汚濁物質が公共用水域に流出するのは、多くの場合雨天時である。道路でいえば、雨水により路面が洗浄されるし、堆積したものが

* Tetsuya Yamamoto, 茨城県公害技術センター, 本誌編集企画委員

** Current Topics on Surveying for Non-Point Sources, 昭和63年10月18日受理

図1 生活環境項目に係る環境基準達成率
(河川はBOD, 湖沼・海域はCOD)

雨水の掃流効果により流出するのである。雨天時には合流式下水道がオーバーフローすることもあり、どれが非特定汚染源からの流出なのか、下水道という特定汚染源からの流出なのかを分離するのは実際に困難であるしあまり意味がない。

環境庁が昭和53年より非特定汚染源に関する検討会を行っているが、そこで統一見解としてまとめられている定義は、

- i) 発生源として明確に「非特定」と定義されるもの
- ii) 面的分布をするもの
- iii) 対策になじみにくいもの

の集合としてとらえることであった。そして定義の細目化を議論することよりも、実際の公共用水域の汚濁に関係しているものの中から、現在水質汚濁防止法等の規制対象となっている汚染源以外のものを、すべてカバーしていこうということになっている。そのため、合流式下水道の溢流水や、浄化槽からの放流水についても、非特定汚染源ではないが、それに含めて考える必要があるとの立場をとっている。しかし、実際の行政において、その通りに行うことはいくつかの困難を伴うことも事実である。

2. 非特定汚染源による汚濁の種類

昭和52年に環境庁が非特定汚染源を取り上げたときには、特定汚染源に対する規制が行われた後の対策の重点が「規制もれ」ないし「規制になじみにくい」汚染源についてあらかじめ検討を加えておこうというものであったと考えられる。それゆえ、非特定汚染源から汚濁物質として、その当時（現在も）環境基準にとり上げられていた BOD, COD, および有害物質がその対象であった。そしてその定量化を行うために、都市域（山形市、神戸市、北九州市、千葉市）をとり上げ、

実測を行ったのである。そしてその項目の中に自動車ないし交通から発生する汚濁物質も重点項目として検討の対象となっていたのである。

しかし、公共用水域の生活環境項目に関する各指標が改善されてきたため、非特定汚染源対策に対する対策の必要性が若干薄れてきたことがあげられる。さらに生活環境項目の完全な達成を図るためには、下水道整備の完成をまたねばならないため、その次の規制段階と考えられていた「非特定汚染源対策」が据えおかれるようになった。このような状況はアメリカにおいても同様であり、1970年代に提案された「特定汚染源からの汚濁負荷量を可能な処理技術を導入して、ゼロに近づける」政策目標が後退し、公共用水域へ流入する全流入汚濁負荷量のうち、非特定汚染源からのそれが50%を超えと考えられていた時期が大幅に遅れることになったのと同じと考えられる。

一方、日本における水質汚濁問題は「流水系」から「閉鎖性水域」へと移行してきた。閉鎖性水域としては湖沼・内湾があげられているが、それらの水域での富栄養化が大きな関心の的となってきたのである。

湖沼の中では諏訪湖のように周辺ないし湖岸地帯から大量の汚濁物質が流入し、湖水の水質劣化が進んでいたものもあるが、近年問題となってきているのは、微量な栄養塩を利用して起きる光合成作用による藻類の異常増殖による富栄養化問題である。そのため、環境庁では富栄養化対策として、いくつかの湖沼を対象として窒素・リンについての環境基準を設定し、その維持を図るための排水基準を設定したのである。このように閉鎖性水域に流入する点源ないし特定汚染源についての規制手法が確立されてきたが、それが進むに従い「非特定汚染源」からの汚濁物と一緒に窒素・リンの流入量抑制が大きな課題となったのである。そこで環境庁で組織していた「非特定汚染源に関する検討会」のテーマも閉鎖水系に流入する非特定汚染源を対象とするようになってきたのである。具体的にいうと、農耕地・牧草地・山林・果樹園等からの汚濁物質と一緒に窒素・リンの流出過程の研究が行われるようになったのである。このことは、非特定汚染源を単独に研究することから流域全体の汚濁物質の挙動を総合的にとらえていく方向が出てきたことを意味する。具体的には建設省の「富栄養化防止下水道整備基本調査の手引き」(S.59)、環境庁の「湖沼水質保全計画策定マニュアル」(S.60)において、非特定汚染源は面源負荷として取り扱われている。

3. 非特定汚染源からの汚濁負荷量の変動性

非特定汚染源の調査やその結果求められる「原単位」

については、信頼性が低いといわれている。信頼性というか、測定ごと、場所ごとに求められる値が異なり、どの値を代表値とすべきかについて判断がつかなくなるからである。以下その理由を考えてみる。

A) 人為活動の変化に伴うもの

i) 年変動：非特定汚染源の多くは、人為的汚染源であり、人為活動が変化するに伴い汚濁負荷量も変化する。とくに将来の汚濁負荷量を予測する場合に、将来のフレーム（人口規模等の人為活動）を正確に予測することはできないという欠点を有する。

下水道の整備を考えると流域内の下水道整備の進捗状況に応じて水系に流入する汚濁負荷量が異なってくる。浄化槽や工場内の浄化施設の建設、改装によっても、流域からの汚濁負荷量が異なってくるのである。

ii) 季節変動：降雨量・蒸発量の季節変動や人間活動の季節変動により、発生しないし流出汚濁負荷量が異なってくる。とくに農業地域からの汚濁負荷量を求める場合には、農業活動（施肥・代かき、収穫等）の実態を把握しながら調査を行う必要がある。

iii) 日変動：日変動の原因として大きなものは、降雨による影響である。非特定汚染源からの汚濁物質の流出形態により、降雨の有無による流出パターンが大きく異なることが多いからである。これについては後で詳しく説明することとする。

降雨以外の日変動としては、日曜・休日といった人間活動のパターンによるものもある。

iv) 時間変動：降雨と人間活動の時間変化によるものである。

B) 降水量の変化に伴うもの

非特定汚染源からの汚濁物質の多くは降水と一緒に流出する。道路・屋根に堆積している汚濁物質は降水時に流出し、水系に流入する。農地からの汚濁物質の多くも「農業排水路」から降水時に流出するものも多い。しかし、降水は非特定汚染源からの汚濁物質を流出させるだけでなく、特定汚染源からの汚濁物質もあわせて流出させる。その結果、降水時の負荷量は晴天時のそれと大きく異なるのである。

C) 土地利用形態の多様性によるもの

非特定汚染源の定義で述べたように「特定汚染源以外」の汚染源であり、そのすべてをリストアップすることは困難である。このことは非特定汚染源からの汚濁負荷量を定量化する際に、技術的困難さを伴うことを意味する。特定できるものならそれだけを個別に測定すればよいが「特定できない」がゆえに、それらの集合体を測定せねばならない。そしてその合計量から特定分を引くという計算を行わざるをえない。この方式にいくつかの誤差を伴う原因がある。

1つは「全体」としてとらえる地域の土地利用は様々であり、その結果、測定結果が場所ごとに異なる点である。第2は特定を差し引くといっても、特定汚染源からの汚濁負荷量を完全に把握することが困難であることである。そして第3に流域を全体として測定する場合に、流れの場での自浄作用の程度が異なることである。

4. 非特定汚染源からの汚濁負荷量の計測上の問題点

前節では非特定汚染源からの汚濁負荷量の発生の構造上の問題点を述べたが、それ以外にも計測する際の困難さがあるので、以下に述べることとする。

A) 汚濁負荷量測定の問題点

汚濁負荷量というのは「濃度と流量の積」で与えられるものであるが、このことは濃度と流量を同時に測定しなければならないことを意味する。濃度は一度採水されたなら、そのあとは操作マニュアルや指導書等により、誤差の入る余地はほとんどない。それゆえ測定上問題となるのは、どこで採水するかである。たしかに採水も流量（排水量）が少なくて一定量採水するのが困難なときもあるし、縦（深さ方向）横（横断方向）に濃度差があり、代表サンプルをとることは難しいが、コンポジットサンプルをつくることにより、かなりの程度代表的な水質を求めることが可能である。

それに比べると流量計測は多くの問題点がある。1つは一般に測定しようとする排水の流量の変動幅は大きく全範囲にわたって同じ精度で測定することが困難であることがあげられる。河川の場合、最大流量と最小流量の比を「河状係数」といい日本の多くの河川の場合500～3,000といわれている。このことは流量の範囲が最小流量の500ないし3,000倍となることを示すものである。総量をみるなら最大流量に重点をおいて測定すればよいが、そうすると日数の多い「低水時の流量」の測定がどうしてもおろそかになってしまうおそれがある。

B) 流達率の概念による差

一般に汚濁物質の発生源から河川・湖沼へ流出するまでの間に様々な過程で「浄化」といわれる自浄作用がはたらく。図2はそれを模式的に記したものである。ここでは様々な定義がなされているのでここで紹介する。

- ① 発生負荷：人間活動等により発生する汚濁総量である。1人1日のBOD45gというのがその例である。
- ② 排出負荷：発生場所から公共用水域に出る負荷である。発生負荷が全量そのまま排出されることもあるが、実際には何らかの処理（浄化槽や工場排水処

図2 流達率の概念

理施設)をして排出されていることが多い。

- ③ 流達負荷：対象とする河川および湖沼に流入する負荷のことをさす。この場合、紛らわしいのは、湖沼を対象としたとき、湖沼に入る水系は大小を問わず、すべて「流達負荷」といわれる。しかしその中の1つの水系（図2では××水系となる）に入ってくる支川の負荷量（図2では……川流達負荷）は、「水系に対しては流達負荷」となるのである。すなわち、対象を湖沼と考える場合には「流入負荷」となるが、対象を河川とすると同じ汚濁量は「流達負荷」となるのである。

そこで流達率の概念は次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{流達率} &= \frac{\text{流達負荷量}}{\text{排出負荷量}} \\ &= \frac{\text{流達負荷量}}{\text{発生負荷量} \times (1 - \text{除去率})} \end{aligned}$$

C) 流達負荷量の測定

流達負荷量を測定するためには、湖沼に流入するすべての河川・水路・排水路の流下負荷量を求めねばならない。その測定は湖沼に近ければ近いほど正確な値がえられるはずであるが、実際には測定が困難な場合が多い。というのは、湖沼の流入地点の近くは河床勾配が小さく流れがなく、バックウォーターとなり浮遊性物質が沈殿しやすくなっている。そのため流量（流

速が小さく計測困難となることがある）と水質ともに測定できなくなったり、誤差を含むことが多い。

また同時に水の流れも微妙な水面差で流れることが多く、水の出入すら確認できないことが多い。

流れが検知できるような場所に測定点を移動するのが最も広く行われている方法であるが、場所により大幅に上流に遡らざるをえず、本来の目的になる「湖沼への流入量」を求めることができなくなる可能性もある。

D) 降雨時の測定

第一に降雨の発生予測がほとんどできていないため、真の降水時の負荷量が予測できないことがあげられる。環境庁が非特定汚染源の調査を長年行ってきたが、その結果をみると比較的小降雨の時の測定値となっているのがいくつかみられた。

とくに負荷量の場合、初期降雨時に大量に流出するケースがあり、そのピークを見過してしまうことが多い。流域が小さければ小さいほど、負荷量がピークとなるのは降りはじめてからの時間が短いためである。

逆に降水時に流量が増大し、採水および流量測定が危険となることもある。

降水は1年間調査したとしても、その年がその地域の代表的な降水量（正確にはパターンも）である保証がない。1つの降雨期間の場合も同様であり、せっかく降水時期を予測できたとしても、小規模な降雨の場合があったりするため、測定ごとに結果が異なり、信

図3 汚濁負荷量の計測
 $L_{NP} = L_0 - (L_u + l_1 + l_2)$

頼性のあるデータが得られにくい。

E) 末端水路でのいろいろな汚濁源の混在

図3に示すような流域を考える。我々が測定できるのは図中の L_0 のみであるが、模式的に示したように、流域の上流からの流入量 L_U 、家庭・工場等の特定汚染源からの負荷量 ℓ_1 , ℓ_2 (ここでは2種類しか想定しないが実際には多数ある) とすると、真の非特定汚染源からの汚濁負荷量 L_{NP} は次式で示される。

$$L_{NP} = L_0 - (L_U + \ell_1 + \ell_2)$$

右辺の測定項それぞれについて今まで述べてきたような誤差が含まれており、 L_{NP} の真値を正しく求めることはできない。ある場合には L_{NP} がマイナスとなることもありうるのである。

さらに難しいことは L_U , ℓ_1 , ℓ_2 が流下し L_0 の調査地点にくるまでに「自浄作用」をうけることである。非特定汚染源の調査の対象となる流域が比較的小さいので有機物等が分解されるような時間はないが、沈殿や河床堆積物にトラップされるという「見かけ上の自浄作用」があり、それを無視してしまうと、非特定汚染源からの負荷量をいたづらに大きく評価してしまう危険性がある。

5. 非特定汚染源調査の確立にむけて

以上調査の難しさ、問題点を述べてきたが、環境庁では昭和63年度から3カ年計画で調査システムの確立のための検討会を開いている。そこでの議論を踏まえ、今後のあり方を述べて終わりたい。

i) 各機関のデータを利用すること：流量に限っても建設省・水道局・下水道局・電力会社・各自治体がそれぞれの目的と意図で調査を行っているので、それらを有効に使用することが望ましい。

ii) データの蓄積とそれに必要なマニュアルの作成：非特定汚染源からの汚濁負荷量についての関心が高くなかったことと、その測定法等についての方法が確立していないこと、それらの結果として測定結果が分散している等問題点が多い。この問題を解決していくためには、調査方法を統一し、データを積み上げていく必要がある。

環境庁ではこの考えに基づき、非特定汚染源の調査法に関するマニュアルを作成中であり、そこでとられている考え方を紹介する。

調査地域は都市域・農業地域・自然地域に3分し、それぞれの特性に応じた調査マニュアルを作ることとしている。そして各地域についてモデル地域を設定する方法と個別原単位積み上げ方式の2つの方法でそれぞれの地域からの汚濁量を推定することとしている。その場合、可能ならモデル地域の負荷原単位(単位は $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{y}^{-1}$ である)を求める。一方、流域は上記原単位に対応するように流域を細分割し、それぞれの流域ごとに原単位を適用し、流域全体の負荷量をとることを原則としている。

都市域においては、住宅地区・工業地区・商業地区に大別することとしており、農村域においては水田・畑地・牧草地・森林に大別している。しかし、実際には1つの流域の土地利用が混合しており、代表的なモデル地区の選定そのものが難しいこと、たとえあったとしても、それらのモデル地区で流域全体を分割することが困難であることからこの方法の適用が限定されてしまうことが多い。

そのような場合には、非特定汚染源を個別に数えあげてそれから総量をとる方法を提案している。都市域についていえば、降水そのもの、屋根、道路、駐車場等を取りあげ、それぞれの原単位を求めてその積み上げから地域全体の総負荷量を推定しようとするものである。

6. おわりに

非特定汚染源というのは定義をしにくく、かつその発生源を固定しにくいことからその実態をとらえることが困難であり、それがないために対策にまで結びつかないのである。しかし、その発生源と総量はよくわからなくてもそこから汚染が発生することは事実なのであり、早急に全体像を把握していく必要がある。そのためには地道なデータの積み重ねが必要であり、本シリーズがそれに役立てば幸いである。