

15. 下水道による水環境への影響に関する調査

水質チーム 上席研究員 田中 宏明
 主任研究員 小森 行也
 研究員 玉本 博之
 研究員 佐々木 稔
 交流研究員 宮本 宜博

1. はじめに

下水道の整備に伴い河川水に占める下水処理水の割合が変化し、下水処理水が放流先河川の水生生態系に与える影響が大きなものとなっている可能性がある。また、これらの整備により都市排水の排出形態が変化し河川の流量や水質そのものにも変化を及ぼしていると考えられる。特に都市域では水資源の再利用に伴い、下水処理水の河川へ占める割合は大きくなっており、再利用比率が90%を超えるような河川も報告されている。しかしながら、こうした都市河川の実態を明らかにするための実証的調査はほとんど行われていない。本調査では、下水道の整備が河川流域の変化に与える影響（河川水量、有機物、栄養塩類等の物質の循環等）を把握するとともに、このような変化が河川水質や水生生態系という水環境に及ぼす影響や、下水処理水中に存在している化学物質、特に女性ホルモン作用を持つ物質（内分泌攪乱物質）が魚類を始めとした水生生物に及ぼす影響について検討する。

平成13年度は、手賀沼に流入する都市河川である大津川及び関連都市排水路の流況に関する気象データや過年度調査のデータを整理、流量の時間変動や長期的な変動を明らかにし、手賀沼流域の汚濁負荷に関するデータの収集し流域フレームを作成、同流域の汚濁負荷発生状況についての整理を行った。また、水量・水質の循環機構を解明するために環境水シミュレーションモデルに関する文献調査を実施した。内分泌攪乱物質に関しては、遺伝子を組み換え酵母によるバイオアッセイ手法を用いて実際の都市河川での詳細な実態調査を行ない、下水処理水中のエストロゲン様物質が放流先河川の水生生態系に及ぼす影響の評価を検討し、また水生生物への評価手法の課題等について検討を行なった。

2. 水量・水質の循環機構に関するモデルの構築

2.1 大津川流域流量情報の整理

手賀沼の流入河川である大津川の平水時の流量状況に関して、過年度土木研究所の調査対象としていた大津川本川大津一号橋付近、増尾排水路、名戸ヶ谷排水路の3地点を対象とし、気象庁の我孫子観測所のデータをもとに降雨期間以外の期間を平水時のデータとし、流量の経年変化、日変動等についてまとめた。

対象3地点は、我孫子観測所から距離があるため、降雨範囲の違いによる時間差がみられる。このため、流量データを検索し、設定した降雨期間以外に流量の変動に不自然なところは降雨影響があるものとみなし、平水流量のデータからは除外した。降雨期間後の流量の減衰については、流域面積の違いによって平水時の流量に戻るまでの時間が異なるため、降雨後から平水時になるまでの時間のおおよその目安を表-1のように設定した。

流量データは、過年度調査データから求めた水位流量曲線より算出した流量を用いた。流量の使用間隔は1時間間隔としたが、これは、実際の流量はより短い間隔で変化するが、平水時の流量変化は急激な変化は

表-1 降雨後の影響範囲の設定

	降雨後の影響範囲
大津川本川	降雨後 2日間
名戸ヶ谷排水路	降雨後 1日間
増尾排水路	降雨後 1日間

少ないと考えられたからである。データの処理としては通常は1時間ピッチで平水時の流量変化を把握し、必要に応じてより細かい時間間隔で把握することとした。

平成12年度の本川及び各水路の流量を、平成9年度、平成10年度及び平成11年度と比較すると、名戸ヶ谷排水路や増尾排水路がほとんど変化がみられないのに対し、大津川本川が平成9年度の0.45m³/sから平成12年度の0.25m³/sと、平成9年度に比べ約56%の値となっていた(図-1)。また、大津川本川と増尾排水路は生活排水の流入によって流量の日変動がみられたが、名戸ヶ谷排水路は流量の日変動はみられなかった。名戸ヶ谷排水路の流量日変動がほとんどみられない主な理由としては、下水道の普及によって生活排水の流入が減ったことが考えられる。

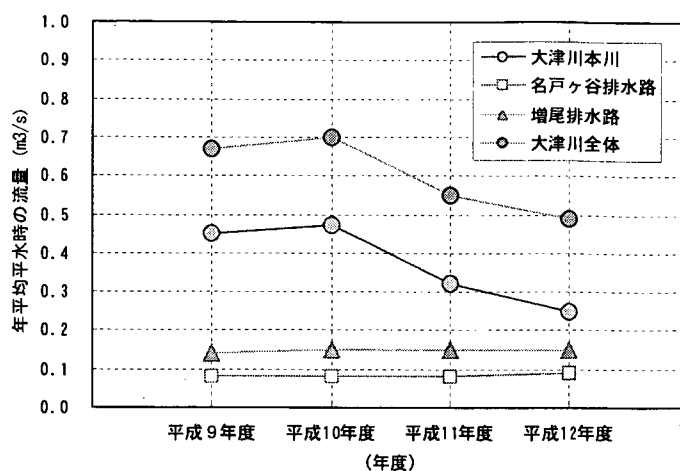


図-1 各地点の流量の経年変化

2.2 手賀沼流域汚濁負荷フレーム資料の整理

手賀沼流域における流入負荷に関する内容について、千葉県及び流域市町より資料の収集を行った。生活系負荷に関しては、流域内人口は千葉県の統計課より収集した資料をまとめ、下水道供用人口は流域市町の資料をとりまとめた。単独浄化槽人口、合併浄化槽人口、し尿処理人口等については手賀沼流域の詳細な資料を入手することができなかつたため、流入河川の流域毎にとりまとめている湖沼計画の値から比率計算によって整理した。表-2は、手賀沼流域の生活系汚濁負荷源を、生活排水の処理方式別人口に分けて整理したものである。

表-2 手賀沼流域の生活排水処理方式別人口 (単位:人)

	総人口	下水道人口	水洗化人口	単独浄化槽	合併浄化槽	し尿処理場等
大堀川流域	173,197	103,361	88,075	63,549	12,456	9,117
大津川流域	194,683	91,644	74,937	75,791	22,352	21,603
染井入落流域	4,663	307	193	2,511	99	1,860
直接流入域	57,277	45,827	41,540	13,676	309	1,752
合計	429,820	241,139	204,745	155,527	35,216	34,332

事業系負荷に関する事業所数、事業所排水量等、事業所排水からの負荷量算定に必要なデータは、水質汚濁防止法に基づく特定事業場一覧表(千葉県環境部水質保全課)より収集した。自然系(面源系)負荷については、千葉県土木部でとりまとめを行っている「手賀沼総合浄化計画」より、水田、畑地、耕地面積、森林面積、市街地面積等のデータを収集、畜産系の負荷に関しては、千葉県でとりまとめを行っている「湖沼保全計画」より、牛、馬、豚の頭数等のデータを収集した。

これらの収集したデータを整理し、汚濁負荷の流出経路を考慮して手賀沼流域を図-2に示す小流域に分割し、生活系、事業系、面源系、畜産系に

表-3 生活系汚濁負荷原単位 (g・人/日)

	単独浄化槽	合併浄化槽	し尿処理
BOD	35.0	4.0	30.0
COD	22.3	3.3	19.2
TN	7.5	6.5	3.0
TP	0.80	0.67	0.40

ついで汚濁負荷に関する流域フレームを作成した。フレームデータの作成にあたり、生活系負荷の原単位には表-3の値を用いた。手賀沼流域の場合、下水道整備区域に関しては下水処理場の放流先が手賀沼流入河川ではないため、生活排水は汚濁負荷源とはならないものとした。事業系、及び畜産系負荷に関しては、特定事業所のデータ及び家畜の数を該当小流域に当てはめてそれぞれのデータとした。面源系負荷に関しては、各小流域内の市街地、山林、畑地、水田の面積を求め、汚濁項目毎に原単位を掛け合わせることでフレームデータを作成した。



図-2 手賀沼流域の小流域分割図

2.3 環境水シミュレーションモデルに関する文献調査

環境水の水質管理・予測などについて、1970年代から様々な数値シミュレーションモデルが開発されている。それらモデルの現状を把握するため、文献調査を行った。表-4は、有機有害物質を含めたシミュレーション

表-4 代表的な環境水シミュレーションモデルの例

モデル名	出典	初/最新バージョンの年及びOS	適用環境水	対象物質分類	特徴
AQUATOX	EPA	2000、Windows	環境水	一般水質項目、生態系項目、有害物質	完全混合、非定常、31項目
DESERT	IIASA (Austria)	1996、Windows	河川	水質項目は自己定義可能	1次元、流量、水質計算、流域管理最適化可能
EXAMS	EPA	1982/1995、DOS (in Win)	環境水	有害物質(1項目毎)	有害物質の環境運命予測、定常状態
MIKE11	DHI社 (デンマーク)	1985/2001、Windows	河川、河口など	約15項目	
QUAL2-E	EPA	1987/1995、Windows	河川	一般水質項目+3の非分解物質+1の分解する物質	一次元モデル、河川システム計算可能、定常状態
RWQM No.1	IWA Task Group	2001、software無し	河川	一般水質項目、浮遊状生物、付着性生物	1~3次元、24項目、23反応プロセス
WASP5	Ambrose et al.、EPA	1988/1993、DOS	河川、湖沼	一般水質項目+有害物質	1~3次元、二つの部分：TOX15、EUTRO5。非定常
WQRRS	米軍技術部	1989	河川、ダム水	一般水質項目	流体モデル、熱収支も含む

ヨンが可能なモデルを示したものである。これら以外にも環境水について多数の数値モデルが提案されており、コンピュータプログラムが市販されているもの、及び無料で公開されているものだけでも30以上のモデルが文献その他の検索結果よりみつけることができた。さらにプログラムが公開されていない、または作成されていないモデルはさらに多い。本調査の主な対象である流域の水量・水質循環に関する解析を行うために、プログラム入手の容易性や使いやすさ、水質項目や生態系項目の多さなどを考慮した結果、化学物質を取り扱う非定常解析には AQUATOX モデルが、富栄養化などの一般的な汚濁の非定常解析には SWMM モデル、WASP6 モデル、HSPF-11 モデル等が適していることが判った。

3. 生物検定法の高度化に関する検討

3. 1 下水処理水中に存在する内分泌攪乱化学物質が放流先河川の水生生物に及ぼす影響の評価

近年、下水処理水を始めとした都市排水中に存在している化学物質、特に女性ホルモン作用を持つ物質が魚類を始めとした水生生物に及ぼす影響が危惧されている。このため、遺伝子を組み換え酵母によるバイオアッセイ手法を用いて実際の都市河川での詳細な実態調査を行ない、下水処理水中のエストロゲン様物質が放流先河川の水生生態系に及ぼす影響の評価を検討し、また水生生物への評価手法の課題等について検討を行なうこととした。

内分泌攪乱化学物質による人や生態系への影響が懸念されており、下水や環境水においても多くの内分泌攪乱化学物質について実態調査が行われてきた。下水や環境水中ではこれらの実態調査の対象物質に加えて、分解生成物などの非意図生成物の存在についても考慮する必要がある、個別の分析に併せこれらの物質を総合的に把握していく試験法について検討を行なう必要がある。このエストロゲン作用をもつ物質を総合的な測定する試験法として遺伝子組み換え酵母法を用い、下水や河川水中のエストロゲン様活性の測定を行ない、河川や下水におけるエストロゲン様活性の濃度レベルが把握されつつある。

しかしこれらのエストロゲン様活性の由来についてはいまだ不明な点も多く、下水中のエストロゲン様活性が、実態調査から主要なエストロゲン様活性の由来物質と推測されている、エストロゲンやノニルフェノールによって表現できているのか、まだ十分な情報は得られていない。また下水処理水の放流先河川においてこれらの物質がどのような挙動をしているかについては殆ど報告がない。そこでエストロゲン様活性の由来把握を行なうため、化学分析法と遺伝子組み換え酵母法を組み合わせた評価を行ない、多摩川が放流先の下水処理場の処理水及び放流先河川水のエストロゲン様活性の由来推定を行なうとともに、放流先河川におけるエストロゲン様活性の実態把握を行なった。図-3は調査地点を示している。

エストロン(E 1), 17β-エストロジオール (E 2) についてはLC/MS/MSを用いて、ノニルフェノール(NP)についてはHPLCを用いて分析を行なった。遺伝子組み換え酵母法(以後、酵母法)は矢古宇らの方法⁸⁾に従った。またこれら各物質のエストロゲン様活性への寄与を算出するため各物質の理論活性値を算出した。理論活性値は各物質濃度に比活性値を乗じることによって算出した。各エストロゲン様物質の比活性値については矢古宇らの文献に従いE 1=0.3, E 2=1.0,

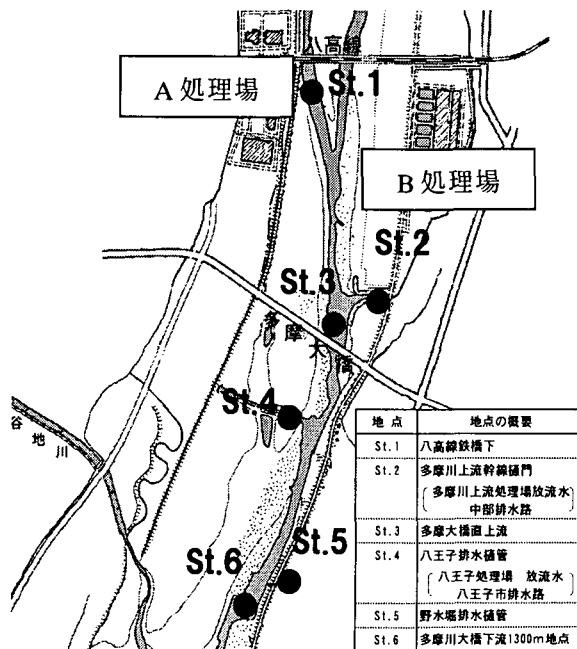


図-3 処理場及び放流先調査地点

NP=0.001とした。

調査は2001年12月、2002年2月に実施した。その結果を図-4に示すが、下水処理場放流水を含む排水樋管(St.2, St.4)に含まれるエストロゲン様活性の寄与としてはE1の占める割合が高く、St.2の12月や、St.4の2月ではE1の理論活性値によって、エストロゲン様活性が殆ど説明できる結果となった。しかしこれ以外の調査時には、これらE1, E2, NPの理論活性値では説明の出来ないエストロゲン様活性の存在が示唆された。St.3では左岸よりSt.2から排水が流入し、エストロゲン様活性は横断方向に明瞭な濃度勾配が形成された。その後、下流の淵や瀬で整流され、St.6ではエストロゲン様活性は横断方向に概ね均一となった。またエストロゲン様活性への寄与はSt.2及びSt.4と同様、E1が大半を占めていることが確認された。St.5(排水樋管)は他の地点とは異なりNPの寄与が非常に大きいことも確認され、各エストロゲン様物質の理論活性値の総和に比べ酵母法の値が低くなった。この地点は、酵母毒性が確認されておりエストロゲン様活性は正確な結果を得られていない可能性が高く、酵母毒性の分離について課題が残る結果となった。

本地区におけるエストロゲン様活性の季節変化は現在調査中であるが、12月、2月の流量が15%程度しか変化していないことを考慮すると、冬期のエストロゲン様活性の変化は、St.2及びSt.4による影響が大きく、これらのE1濃度がエストロゲン様活性の変動因子となっている可能性が推察された。

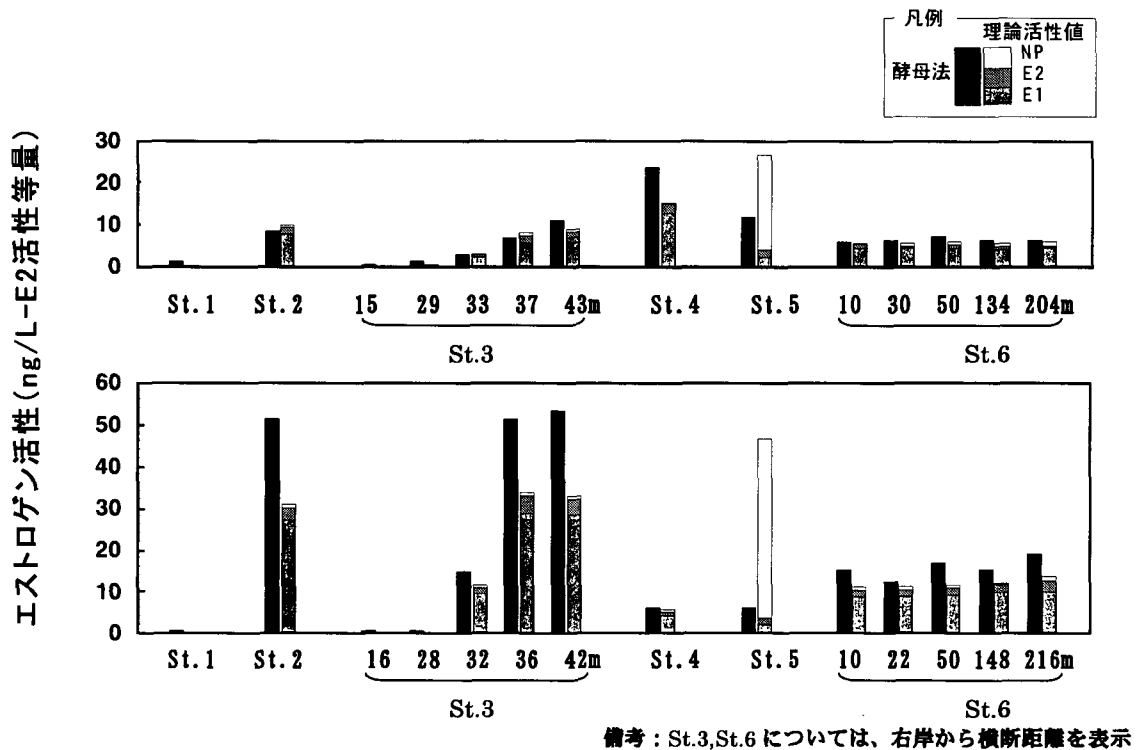


図-4 エストロゲン活性と各エストロゲン様物質の理論活性値

4. まとめ

4.1 水量・水質の循環機構に関するモデルの構築

水及び汚濁物質の循環過程について実態調査を行い、循環過程等の流域情報をデータベース化、その結果に基づき循環機構のモデル化を検討した。

手賀沼に流入する都市河川である大津川と関連都市排水路の流況に関する気象データや過年度調査のデータを整理、流量の時間変動や長期的な変動を明らかにしたとともに、手賀沼流域の汚濁負荷に関するデータ

の収集し流域フレームを作成、同流域の汚濁負荷発生状況について整理し、データベース化を行った。作成したフレームデータを処理、水量・水質の循環機構を解明するための環境水シミュレーションモデルに関し、文献調査を実施した。

4.2 生物検定法の高度化に関する検討

下水処理水を始めとした都市排水中に存在している化学物質、特に女性ホルモン作用を持つ物質が魚類を始めとした水生生物に及ぼす影響が危惧されている。このため、遺伝子を組み換えた酵母によるバイオアッセイ手法を用いて実際の都市河川での詳細な実態調査を行ない、下水処理水中のエストロゲン様物質が放流先河川の水生生態系に及ぼす影響を検討し、また水生生物への評価手法の課題等について検討を行なった。

下水処理水に含まれるエストロゲン様物質のうち、活性の寄与として高いものはE1であり、調査地点によっては、エストロンの理論活性値によってエストロゲン様活性が殆ど説明できる結果となった。しかしこれ以外の調査時には、これら17 β -エストラジオール、エストロン、ノニルフェノールの理論活性値では説明の出来ないエストロゲン様活性の存在が示唆された。水質項目と同様、下水処理水の下流域では左右岸で横断的な濃度勾配が形成されていた。排水樋管の中には下水処理水と異なりNPの寄与が非常に大きい地点も確認され、またバイオアッセイに用いた遺伝子組み換え酵母に対する酵母毒性が認められ評価を十分に行えない地点も確認された。

4.3 今後の調査予定

水量・水質循環機構のモデル化に関しては、実態調査によるデータ蓄積を継続して行うとともに、収集したデータを用いて手賀沼流域の汚濁負荷の非定常モデル解析を実施、精度面からの検討を加える。水量・水質と生態系の関連性に関しては、感受性の高い細菌種を用いたバイオアッセイの実施、あるいは前処理方法の改善などによって水量・水質の影響の定量化を目指す。生物検定法の高度化に関しては、酵母毒性の分離について検討を加え、精度の向上を図る予定である。

<参考文献>

- 1) USEPA, Nutrient Criteria Technical Guidance Manual. -Rivers and Streams-,pp.78,(2000)
<http://www.epa.gov/waterscience/criteria/nutrient/guidance/rivers/index.html>
- 2) 矢古宇靖子 他；組み換え酵母を用いた下水中のエストロゲン様活性の測定,環境工学研究論文集,Vol.36,199-204. (1999)
- 3) US Geological Survey：One-dimensional Transport with Inflow and Storage (OTIS): A Solute Transport Model for Streams and Rivers, Water-Resources Investigations Report 98 – 4018、1998