

流域内汚濁源から水域への栄養塩類流出特性

岡安祐司* 鈴木 穰**

1. はじめに

湖沼や内湾などの閉鎖性水域では、依然として水質環境基準が未達成の箇所が多く、下水道等の水質汚濁対策のさらなる実施が必要であると考えられる。

下水道計画では、水質環境基準を達成するために必要な下水道の整備を最も効率的に実施するために、個別の下水道計画の上位計画として流域別下水道整備総合計画（流総計画）を策定している¹⁾。

閉鎖性水域を対象とした流総計画策定の際の、流域からの汚濁負荷の流出解析では、雨天時も含めた長期間にわたる流域からの汚濁負荷が閉鎖性水域の水質に影響することを考慮し、流出負荷量を算定しなければならない。

本研究では、雨天時を含めた長期間にわたる、流域からの汚濁物質の流出過程を、汚濁負荷流出モデルを用いて解析し、流出特性に関する知見を得たので報告する。

2. 研究内容

2.1 汚濁負荷流出モデルを用いた流出解析

2.1.1 対象流域

本研究では、千葉県の手賀沼へ流入する支川・水路である大津川流域を対象に流出解析を行った。当該流域は都市計画区域内に位置し、分流式下水道の整備が進められているが、目下のところ整備途上であり、下水道未整備区域が混在している状況である。

2.1.2 汚濁負荷流出モデルの選定

対象流域からの汚濁負荷流出機構を解析するために、合流式下水道の雨水流出解析に使用されている市販ソフトを用いた。現在、一般的な雨水流出解析ソフトとしては、InfoWorks CS、XP-SWMM、Mouseの3つのモデルがある。各ソフトは、解析に関して、ほぼ同等の高い精度を有する

ことから、今回の検討では、GIS情報の取り込み・表示が可能でデータのハンドリング性能に長けたInfoWorks CSを用いた。Infoworks CSの基本機能は、他のソフトと同様に、降雨損失モデル、表面流出モデル、管内水理モデル、汚濁負荷量モデルの要素から構成されている。モデルの詳細は、参考文献²⁾を参照されたい。ここでは、大津川流域の支川・水路網を、合流式下水道の管きよ網と見立てて解析を行った。

2.1.3 支川・水路（管きよ）網モデルの構築

(1) 支川・水路のモデル化

まず、解析時間の短縮と作業性の向上を目的として、図-1に示すように、小流域内をブロック分割し、支川・水路網を簡素化した。モデル化に当たって必要となる基本的な諸元は以下のものとなる。

1) 基点に関するデータ

基点座標、地盤高、排水面積については、国土地理院発行の数値地図2500³⁾を読み込んだGISと既往資料^{4)~7)}により決定した。

2) 河道に関するデータ

区間延長、形状、幅、高さ、河床高は、GISと、既往資料^{4)~7)}により決定した。河道における水理現象の計算式は、Manning公式を採用した。粗度係数は、参考文献⁸⁾を基に、一般河道では0.035、三面張水路では0.025を採用した。

3) ブロックに関するデータ

①面積

2002年度の現況について、ブロックごとに調査した結果を元に、基点に流入してくる複数のブロック面積の合計を算出した。

②汚水プロファイル

図-1に示す10カ所において、2002年11月5日～6日、2003年2月17日～18日、2003年3月12～13日の晴天時に実施した、3時間間隔の通日水質調査結果を元に、各支川・水路について決定した。

③ 基底流量

基底流量は、排水の流入の影響が小さい、支川・水路上流地点（OT②、NT②およびMS①）における晴天時の流量の実績値から浄化槽および未処理排水量を差し引くことで求めた。排水量は、流域内の人口に生活排水量原単位（ $3100 \cdot \text{人} \cdot \text{日}^{-1}$ ）を乗じて算出した。次に、求めた基底流量を流域面積で除し比流量を求め、近傍のブロックにおいては同一の比流量値になると仮定した。

④ 地表面流出エリア

大津川流域のブロックごとの水田、畑地・雑地、山林および市街地の地目別面積情報（1994年度）を収集し、この情報に基づき設定した。

4) 土地利用データ

①人口密度

大津川流域ブロックごとの、2002年度における面積、浄化槽人口およびし尿収集処理人口を調査し決定した。

5) 地表面流出に関するデータ

①流出係数

大津川流域ブロックごとの流出係数は、地目別面積情報と標準的な流出係数⁸⁾（水田0.7、畑地・雑地0.6、山林0.7、市街地0.8）を考慮し、加重平均値とした。この数値については、後述の2.1.4 雨天時データによるキャリブレーションで調整される。

②初期損失値

InfoWorks CSの初期設定値(0)を用いた。この数値については、後述の2.1.4雨天時データによるキャリブレーションで調整される。

(2) 各パラメータの設定

1) 点源負荷の晴天時パラメータのキャリブレーション

汚水量原単位、SS濃度、溶解性汚濁物質濃度、ポテンシー係数（単位SS中の汚濁物質質量）、負荷量変動、汚水量時間変動、汚水量月変動は、2.1.3 (1) 3) ②および③で述べた晴天時流量・水質調査結果を解析して決定し、近傍のブロックにおいては同一の値になると仮定した。

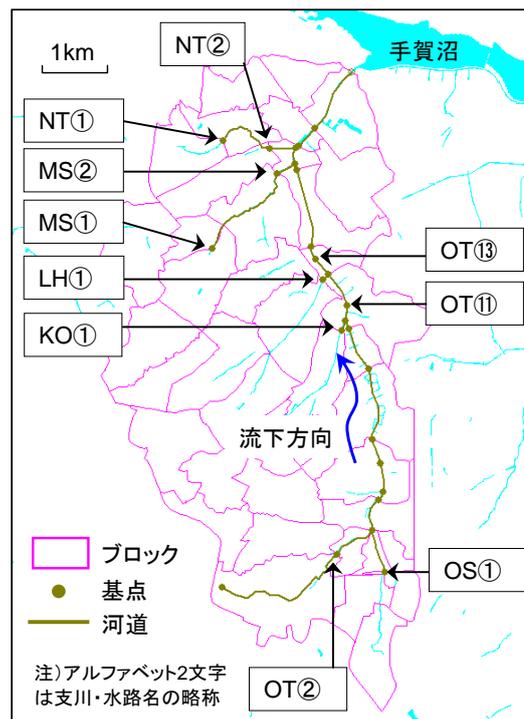


図-1 支川・水路網モデルの概要

2) 面源負荷、雨水諸元に関するパラメータ

地表面への汚濁物質の集積係数（堆積物質量を決定する関数における係数）は、大津川流域ブロック内の市街地面積／流域面積の値に応じて決定した。地表面堆積物のポテンシー係数（単位SS中の汚濁物質質量）は、後述の2.1.4雨天時データによるキャリブレーションで調整される。地表面初期堆積物質量および集積時間に関するパラメータは、後述する3回の雨天時調査の結果から、雨天時SS負荷量、晴天時SS負荷量、先行無降雨時間の関係を解析し算出した。堆積物の減衰係数、降雨侵食係数はInfoWorks CSの標準設定値を用いた。

3) 河道内堆積物に関するパラメータ

河道内堆積物の厚さ、粒径および比重はInfoWorks CSの標準設定値とした。

2.1.4 雨天時データによるキャリブレーション

キャリブレーションは、水量、水質の両面から実施した。ここでは、以下の雨天時調査の結果を用いてキャリブレーションを実施した。雨天時調査は、図-1に示すOT②、NT②およびMS①において、2003年5月31日～6月1日（時間最大 $14\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 、総雨量57mm）、2003年8月8日～9日（時間最大 $7\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 、総雨量23mm）、2003年10月22日～23日（時間最大 $4\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 、総雨量39mm）に実施した。

(1) 水量シミュレーション

① 流出係数

初期設定値でのシミュレーション結果は、雨天時の流出量が調査結果と比べて大きく算出される結果となったため、より小さい値（水田 0.58、畑地・雑地 0.23、山林 0.30、市街地 0.37）に変更した。初期設定値の流出係数は計画高水流量の算定において用いられる数値であり、50年確率降雨に対して適用されるものである。したがって、年間降雨のうち大部分が小降雨である実降雨に適用させる場合、流出係数は小さく見積もる必要があると考えられる。

② 初期損失値

キャリブレーション前には、モデルにおいて降雨の初期損失を見込んでいなかったが、降雨がありながら流量の増加が見られない調査結果も得られたため、これを再現できるように初期損失値を設定した。

(2) 水質シミュレーション

調査結果と整合するように、面源負荷の地表面堆積物のポテンシー係数を調整した。

2.1.5 流出汚濁解析

対象流域に最も近い気象庁の雨量観測所である我孫子観測所で観測された2003年の年間の降雨パターンを、大津川流域の支川・水路を再現したモデルに入力し、汚濁物質の大津川河口への年間流達負荷量を算出した。結果を表-1に示す。

表-1 年間流達負荷量のシミュレーション結果

単位	BOD	COD	T-N	T-P
t・年 ⁻¹	645	791	293	32

2.2 原単位法による排出負荷量の算定

閉鎖性水域を対象とした流総計画策定における汚濁解析では、流域からの排出負荷量は、原単位法に基づき算出するのが一般的である。ここでは、この考え方に基づき、大津川流域について、排出負荷量を算定した。

2.2.1 生活系排出負荷量

2002年度における大津川流域の生活排水処理形態ごとの人口は、2.1.3 (1) 4) ①の結果を用いた。排出負荷量原単位は、「流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説¹⁾」に基づき、合併処理浄化槽排水、単独処理浄化槽排水、未処理雑排水について設定した。

2.2.2 事業系排出負荷量

2000年度における「特定事業場汚濁負荷量」と「事業場一般汚濁負荷量」の合計値とした。

2.2.3 畜産系排出負荷量

流域内に2カ所存在している養豚場にアンケート調査を実施し、飼育頭数を把握した。排出負荷量原単位は、「手賀沼に係る湖沼水質保全計画」策定における原単位を用いた。

表-2 大津川流域における排出源ごとの汚濁物質の排出負荷量

分類	排出源	フレーム値	排出負荷量原単位				排出負荷量[t・年 ⁻¹]				備考	
			単位	BOD	COD	T-N	T-P	BOD	COD	T-N		T-P
生活系	(下水道)	126,627人		0	0	0	0	0	0	0	0	汚水系外
	合併処理浄化槽	23,453人		10.9	7.7	6.5	0.75	93	66	56	6.4	
	単独処理浄化槽 +未処理雑排水	43,585人	g・人 ⁻¹ ・日 ⁻¹	44.3	21.7	7.9	1.03	705	344	126	16	
	(し尿収集処理) +未処理雑排水	22,794人		40	17	2	0.40	333	141	17	3.3	
事業系								34	34	40	6.6	
畜産系	豚	162頭	g・頭・日	6.0	4.4	1.4	0.85	0.5	0.3	0.1	0.1	
面源系	水田	229.0ha	g・ha ⁻¹ ・日 ⁻¹	88	119	3.27	3.33	7.4	9.9	2.7	0.3	
	畑地・雑地	1046.6ha		88	33.1	69.2	0.86	34	13	26	0.3	
	山林	362.9ha		8.42	34.9	5.8	0.80	1.1	4.6	0.8	0.1	
	市街地	2059.3ha		8.42	103	30.2	1.53	6.3	77.4	22.7	1.2	
計								1214	691	288	35	

表-3 排出負荷量、流達負荷量、流達率の整理

項目	単位	BOD	COD	T-N	T-P
流達負荷量*	t・年 ⁻¹	645	791	293	32
排出負荷量**	t・年 ⁻¹	1214	691	288	35
流達率***	%	53	114	102	91

* 汚濁負荷流出モデルによる推計値

** 原単位法による推計値

*** 流達負荷量／排出負荷量

2.2.4 面源系排出負荷量

土地利用状況は2.1.3 (1) 3) ④の結果を用いた。排出負荷量原単位は、「手賀沼に係る湖沼水質保全計画」策定における原単位を用いた。

表-2に排出源ごとのフレーム値、排出負荷量原単位および排出負荷量を示す。BOD、COD、T-N、T-Pの年間排出負荷量総量は、それぞれ、1214t、691t、288t、35tと算出された。

3. 考察

3.1 流達率

生活排水（浄化槽排水、未処理雑排水）による汚濁物質の排出負荷量が、流域からの排出負荷量の大部分を占める千葉県手賀沼流入河川である大津川流域を対象に、雨天時を含めた長期間（1年間）にわたる汚濁物質の流出過程を、汚濁負荷流出モデル（InfoWorks CS）を用いて解析して得られた年間流達負荷量を、流達率に基づく原単位法で推定した排出負荷量で除して流達率を算出すると、表-3に示すようにBOD、COD、T-NおよびT-Pについて、それぞれ、53%、114%、102%、91%となった。

3.2 流域における浄化機構

表-3の結果から、BODに関しては、流達負荷量が排出負荷量に比べて小さく、その差分に当たる排出負荷量の47%が流域内において浄化されて消失していると考えられるが、COD、栄養塩類（T-N、T-P）に関しては、流達負荷量は排出負荷量と同程度であり、流域内に排出された汚濁物質が、遅かれ早かれいずれは水域に流達し、流域内における浄化機構が無視できるほど小さいことが示唆された。

流達負荷量は、流出解析モデルにおいて、各パラメータの信頼性の点や、河道における生分解などの変化を考慮していない点などの不確実性が残り、また、排出負荷量は、排出負荷量原単位がこの地域の実態を適切に表しているかどうかという点で同様に不確実性は残るが、おおまかな傾向の把握は行えていると考えられる。

4. まとめ

生活排水が主要な汚濁源である流域においては、BODに関しては、流域内での一定の浄化機能が働く一方、COD、栄養塩類（T-N、T-P）に関しては、流域内での浄化機能は無視できるほど小さく、汚濁源から排出された負荷は流域から流出し、水域へ到達すると考えられた。

参考文献

- 1) 流域別下水道整備総合計画制度設計会議編（社）日本下水道協会：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説、2008
- 2) (財)下水道新技術推進機構：流出解析モデル活用マニュアル（雨水対策における流出解析モデル運用の手引き）、2006
- 3) 国土地理院：数値地図2500(空間データ基盤)千葉-1、2002
- 4) 鎌ヶ谷市土木部工務課：準用河川大津川整備測量委託平面図・縦断面図、1993
- 5) 千葉県東葛飾土木事務所：県単緊急都市河川対策委託（大津川河道計画）報告書、1994
- 6) 千葉県東葛飾土木事務所：県単河川調査及び県単緊急都市河川対策合併委託(河川測量)平面図・縦断面図・横断面図、1994
- 7) 千葉県東葛飾土木事務所：1級河川利根川水系（手賀沼流域）河川断面図、2000
- 8) 建設省河川局監修（社）日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準(案)同解説 計画編、1997

岡安祐司*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境
研究グループ水質チーム
主任研究員
Yuji OKAYASU

鈴木 稯**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地
盤研究グループ長（前水
環境研究グループ水質
チーム 上席研究員）
Yutaka SUZUKI