

## 〈研究発表〉

### 下水道未整備地域からの汚濁負荷流出特性

岡安 祐司<sup>1)</sup>, 津森 ジュン<sup>2)</sup>, 鈴木 穰<sup>1)</sup>

独立行政法人土木研究所 水環境研究グループ 水質チーム (〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6, E-mail: okayasu@pwri.go.jp)<sup>1)</sup>  
国土交通省 近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所 (〒520-2279 大津市黒津 4-5-1, E-mail: tsumori-j29y@kkr.mlit.go.jp)<sup>2)</sup>

#### 概要

流域からの排出負荷量の大部分を生活系が占める小流域を対象に、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)を用いて解析した。その結果、BOD、COD、T-N、T-Pの年間平均流達率は、それぞれ、70%、119%、126%、107%と算出された。一方、閉鎖性水域を対象とした流域別下水道整備総合計画の策定で用いられる汚濁負荷流出解析手法では、BOD、CODの年間流達率はそれぞれ、15%、30%となり、汚濁負荷流出モデルの結果と比べて小さく、流達負荷量を過小評価している可能性があると考えられた。

キーワード: 流達率, 汚濁負荷流出解析, InfoWorks CS, 流域別下水道整備総合計画

#### 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。

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、小流域からの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、従来から流総計画策定の際に用いられている汚濁負荷流出解析手法<sup>1)</sup>との比較検討を行い、流達率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

###### (1) 対象小流域

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。当該小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) 汚濁負荷流出モデルの選定

対象小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<sup>2)</sup>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。

##### (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。

###### a) Nodo(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2500<sup>3)</sup>を読み込んだGISと既往資料<sup>4)~7)</sup>により決定した。

###### b) Link(支川・水路の河道)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<sup>4)~7)</sup>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<sup>8)</sup>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。

###### c) Sub catchmentに関するデータ

① 面積は、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 汚水プロファイルは、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(310 l・人<sup>-1</sup>・日<sup>-1</sup>)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。

#### d) Land use 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。

#### e) Runoff Surface 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<sup>8)</sup>(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

##### a) 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, 1)c)②および③で述べた晴天時流量・水質調査結果を解析し決定し, 近傍のブロックにおいては同一の値になると仮定した。

##### b) 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, 後述のキャリブレーションで調整される。地表面初期堆積物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, 降雨浸食係数は InfoWorks CS の標準設定値を用いた。

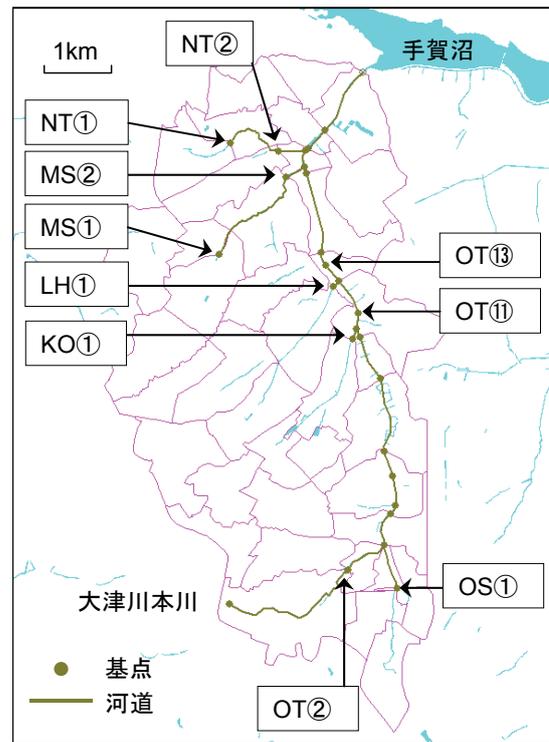


Fig. 1 支川・水路網モデルの概要

##### c) 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。

#### (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 14mm・h<sup>-1</sup>, 総雨量 57mm), 2003年8月8日～9日(時間最大 7mm・h<sup>-1</sup>, 総雨量 23mm), 2003年10月22日～23日(時間最大 4mm・h<sup>-1</sup>, 総雨量 39mm)に実施した。

##### a) 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, 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。

b) 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。

(5) 流出汚濁解析

対象小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Table 1に示す。

Table 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・y <sup>-1</sup>	645	791	293	32

2.2 原単位法、流達率による流達負荷量の算定

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、流域からの流達負荷量は、原単位法に基づく排出負荷量に流達率を乗じて算出するのが一般的である。ここでは、この考え方にに基づき、大津川流域について、流達負荷量を算定した。

(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)1d)①の結果を用いた。排出負荷量原単位は、「生活雑排水対策指針」(環境庁)、「湖沼水質保全計画策定に係る原単位」(千葉県環境部)、「千葉県公害防止計画水域別汚濁負荷量(BOD)の作成」(千葉県)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) 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。

(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。

(4) 面源系排出負荷量

土地利用状況は2.1.(3)1c)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。

Table 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、923t, 664t, 233t, 30t と算出された。

(5) 流達率

流総指針では、BOD, COD の排出負荷の年間平均流達率は、環境庁の調査結果を引用し、流域の比流量から定める方法が示されている。本研究の InfoWorks CS を用いた流出解析結果では、年間平均比流量が 2,627m<sup>3</sup>・d<sup>-1</sup>・(km<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> と算出されていることから、この値に対応する流達率を求めると、BOD, COD の年間平均流達率はそれぞれ、0.15、0.3 となる。なお、T-N, T-P については考え方が示されていない。

(6) 流達負荷量

流達負荷量は、排出負荷量に流達率を乗じて求めることができ、BOD, COD の年間流達負荷量はそれぞれ、138t, 199t と算出された。

3. 考察

大津川流域における汚濁物質の年間流達負荷量を、汚濁負荷流出モデルで推定した場合と、流総指針に基づく方法で推定した場合を比べると(Table 3), BOD で4.7倍、COD で4.0倍の差が見られた。流総指針に掲載されている流達率は、鶴見川、多摩川などの8流域について、定期水質調査の測定値を整理して得られ

Table 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 <sup>-1</sup> ]				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	g・人 <sup>-1</sup> ・日 <sup>-1</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	汚水系外
	合併処理浄化槽	23,453人		4	2.7	3.7	0.55	34	23	32	4.7	
	単独処理浄化槽 +未処理雑排水	43,585人		35	21.5	5.3	0.83	557	342	25	3.3	
	(し尿収集処理) +未処理雑排水	22,794人		30	19.2	3.0	0.40	250	160	84	13	
事業系							34	34	40	6.6		
畜産系	豚	162頭	g・頭 <sup>-1</sup> ・日 <sup>-1</sup>	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 <sup>-1</sup> ・日 <sup>-1</sup>	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								923	664	233	30	

たものである。流達率は流量によって値がかなり変化するため、年間平均流達率を考える場合、高水時も含めた解析が必要である。流達率を算定した際の流量に関する情報が記載されておらず判断は難しいが、高水時も含めた解析でないため、流達率を過小評価している可能性が考えられる。

一方、流出解析モデルの側も、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は残るが、COD、T-N、T-P に関しては、流達負荷量は、原単位法に基づく排出負荷量の総量に近い値となっており、流域内に排出された汚濁物質が、遅かれ早かれ水域に流達する現象を示唆する結果となった。

また、COD、T-N、T-Pの年間平均流達率が100%を超えている点の理由としては、排出負荷量が小さめに積算されていることが考えられ、特に排出負荷量の大部分を占める生活系(合併処理浄化槽排水、単独処理浄化槽排水、未処理雑排水)の排出負荷量原単位がこの地域の実態よりも小さい可能性が考えられる。

#### 4. まとめ

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)を用いて解析した。算出された流達負荷量を、原単位法に基づく排出負荷量の総量で除して、BOD、COD、T-N、T-Pの年間平均流達率を求めた結果、それぞれ、70%、119%、126%、107%となった。さらに、従来から、閉鎖性水域を対象とした流域別下水道整備総合計画の策定の際に用いられている汚濁負荷流出解析手法との比較検討を行った。BOD、CODの年間流達率はそれぞれ、15%、30%であり、汚濁負荷流出モデルの結果と比べて小さく、流達負荷量を過小評価している可能性があると考えられる。

#### [参考文献]

- 1) 建設省都市局下水道部監修(社)日本下水道協会編: 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説 平成11年度版(1999)
- 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(財)日本化繊協会編: 改訂新版建設省河川砂防基準(案)同解説 計画編(1997)

Table 3: 排出負荷量、流達負荷量、流達率の整理

推定方法	項目	単位	BOD	COD	T-N	T-P	備考
汚濁負荷流出モデル (InfoWorks CS)	① 流達負荷量	t・y <sup>-1</sup>	645	791	293	32	
	② 年間平均流達率	—	0.70	1.19	1.26	1.07	①/⑤
原単位法による 排出負荷量×流達率	③ 流達負荷量	t・y <sup>-1</sup>	138	199	—	—	⑤×④
	④ 年間平均流達率	—	0.15	0.3	—	—	T-N, T-Pは情報無し
	⑤ 排出負荷量	t・y <sup>-1</sup>	923	664	233	30	