

流域における点源・非点源汚濁負荷の評価と 流出予測に関する研究

野口正人* ・西田 渉*
矢代まゆみ** ・星野公秀***
前原 良****

Estimation of Point and Nonpoint Pollutant Sources Distributed over the Watershed and Prediction of Pollutant Runoff

by

Masato NOGUCHI*, Wataru NISHIDA*
Mayumi YASHIRO**, Kimihide HOSHINO*** and Ryo MAEHARA****

In order to attain a sound and sustainable water environment, integrated management of river and watershed including several kinds of maintenance works becomes significant. For an evaluation of influences of the point and nonpoint pollutant sources distributing over the watershed, it is important to establish the database of pollutant loads and also to develop the necessary models for predicting the pollutant runoff from the watershed.

In this paper, database of pollutant loads is made for the Honmyo river basin, and a methodology has been discussed for achieving above-mentioned purpose. In addition, the relationship between quantitative and qualitative runoffs was examined.

1. 緒 論

近年、人々の環境への関心が高まり、様々な分野で望ましい環境の創造が唱えられている。ここに水環境においても例外ではなく、従来の治水に重点をおいたものに加えて、生物との共存や自浄作用の回復に配慮した水環境づくりが積極的に進められている。しかしながら、受水域の水量・水質を良好な状態に保つためにはこのような側面の整備・充実と共に、流域からの流出水の水量・水質両面にわたる適切な管理が必要になると思われる。このようなことから、著者らは既に点源・非点源汚濁負荷を評価する上で欠かすことができない自然的・社会的状態に関係した因子をデータ

ベース化することの重要性について述べている¹⁾。さらに、流域に分布した汚濁負荷が水域に及ぼす影響を評価するためには、当該現象に関連した要因を的確に把握して、流出機構の概要を明らかにし、現在の水環境を評価すると共に、将来の変化を予測しうる流出モデルを構築せねばならない。

上述されたことから本論では、データベース化された因子を用い、原単位の文献値等を参考にして、流域に分布した点源・非点源汚濁負荷を評価すると共に、流域からの汚濁流出解析を行う上で重要となる降雨と汚濁負荷流出の関係を明らかにし、実際のモデルを作成する際の問題点について検討した。なお、上述され

平成9年4月25日受理

*社会開発工学科 (Department of Civil Engineering)

**大学院修士課程社会開発工学専攻 (Graduate Student, Department of Civil Engineering)

***水資源開発公団 (Water Resources Development Public Corporation)

****東洋建設株式会社 (Toyo Construction Co., Ltd.)

た点源・非点源汚濁負荷のデータベースの作成，ならびに，汚濁負荷流出モデルの妥当性の検討は，長崎県諫早市の本明川流域（基準点：裏山橋）を対象にして行われた。

2. 流域における点源・非点源汚濁負荷の評価

点源汚濁負荷の絶対値を求めるにあたって，まず，家庭排水，工場排水，事業所排水，畜産排水，等について評価しなければならない。ここでは水質指標としてBODが取り上げられた。前述された流域でBODの評価を行うために，これらの排水のそれぞれに対する汚濁負荷を求める。最初に，家庭排水を評価しようとすれば人口の分布が関係してくることは当然であり，また，世帯の分布も関係してくることが容易に察せられる。したがって，ここでは人口，世帯数の分布とともに標準3次メッシュ毎の1世帯当たりの人数をデータベースとして作成した。つぎに，原単位を設定する上では家庭排水(A)をし尿(B)と雑排水(C)とに分けて考え，し尿は1人当たりの量(α)として設定した。雑排水については1世帯当たりの標準の人数(a)に対して基準の雑排水(β)を設定し，世帯の人数の増減による変動量(b)を用いて原単位を計算した(Table 1)。ここに，Table 1に示された係数は本明川流域の数値から求められた。工場排水に対する原単位は工場の種類や製品の出荷額に応じて決めなければならない。本論で対象にされた諫早市では，食料品，機械，金属産業等の出荷額が大きいことから，文献値等^{2,3)}を参考にして原単位は，Table 2に示されたとおりにされた。なお，事業所排水，畜産排水に

対する値についても同様にして求められた。これらの値を用いて原単位法により汚濁負荷量を求めれば，Fig. 1ならびにFig. 2に示されたとおりである。ここに，Fig. 1には，流域において発生する一日あたりの家庭排水の汚濁負荷の分布が示されている。また，Fig. 2には上述された各排水による汚濁負荷の総計が示されている。これらの図を参照すれば，当然のこと

Table 1 Domestic waste pollutant loads per unit capita.

BOD		
家庭排水	A	$A = B + C$
し尿	B	$B = \alpha$
雑排水	C	$C = \beta + b(a - c)$
α : し尿汚濁負荷 β : 家族数 (a) における一人当たりの雑排水汚濁負荷 a : 基準とする一世帯当たりの人数 b : 雑排水の変動量 c : 一世帯当たりの人数		
今回設定した係数 $\alpha=15, \beta=27, a=3, b=3$		

Table 2 Waste pollutant loads for industry, service industry and livestock per unit activity.

	BOD	
工場	283	(g/日・百万円)
事業所	121	(g/人・日)
養豚	180	(g/頭・日)

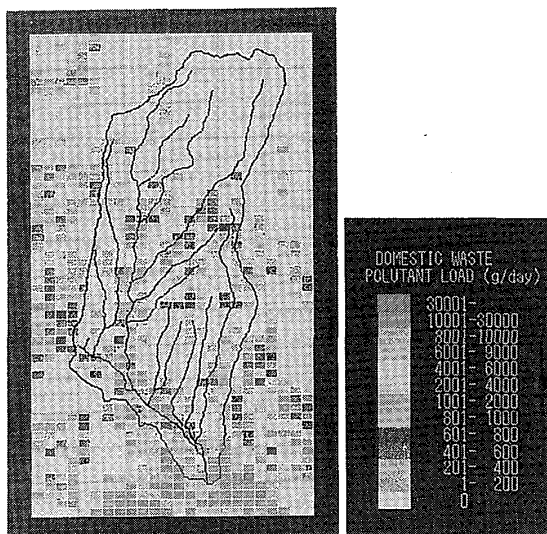


Fig. 1 Spatial distribution of domestic waste pollutant loads over the Honmyo river basin.

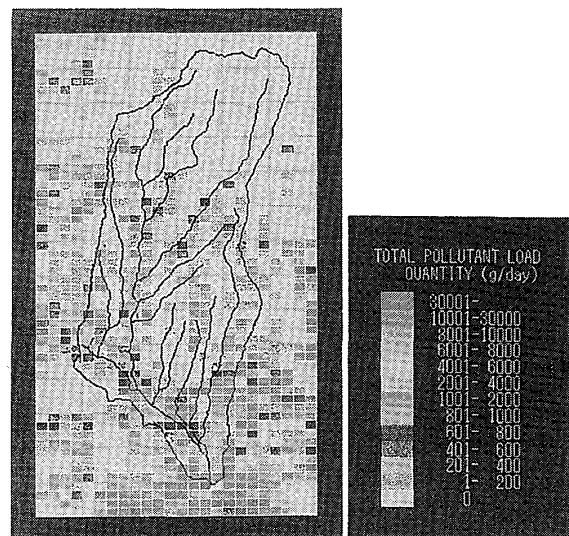


Fig. 2 Spatial distribution of total pollutant loads over the Honmyo river basin.

ながら、都市開発が進んだ流域の下流部において汚濁負荷が大きいことがわかる。また、これらの両図を比較すれば家庭排水の汚濁負荷が大きいところでは、総汚濁負荷に占める家庭排水の汚濁負荷の割合が大きくなっていることがわかる。また、河道の周辺や下流の裏山橋地点付近では、家庭排水による汚濁負荷の集中が見られ、河川の水質に大きな影響を与えるものであると考えられる。中流域において総汚濁負荷が大きくなっている理由としては畜産排水による影響が考えられ、流域の水質管理を進める上で、これらの排水の処理が重要になることがわかる。上流域では点源汚濁負荷の目立った発生源はなく、汚濁負荷の発生量は下流域に比べて少ない。しかし、上流域は山林で占められており、このような地域においては、非点源汚濁負荷が発生していると予想される。そのため、流域に分布している汚濁負荷を十分に評価しようとするれば、上流域においては森林や田畑の状況をその種類や利用形態との関連で調べ、下流域では自然的・社会的由来に起因する降下粉塵の影響等を調査する必要がある。

最後に、流域内に分布する点源・非点源汚濁負荷発生源を共通の基盤でデータベース化することは、適切な流域水管理を行う上で欠かせない。これらのデータは、汚濁負荷の流出予測を行う際の入力データとして有効に利用されるだけでなく、受水域の水質に悪影響を及ぼす虞がある汚濁発生源を視覚的に把握する上で役立てられる。

3. 汚濁負荷の流出機構

流域からの汚濁負荷の流出は、無降雨時においては、ほとんどが基底流出によって受水域へ運ばれるが、降雨時にはその多くが表面流出ならびに中間流出によって運ばれてくると予想される。とくに、降雨時における汚濁負荷の流出は流域に分布している非点源汚濁負

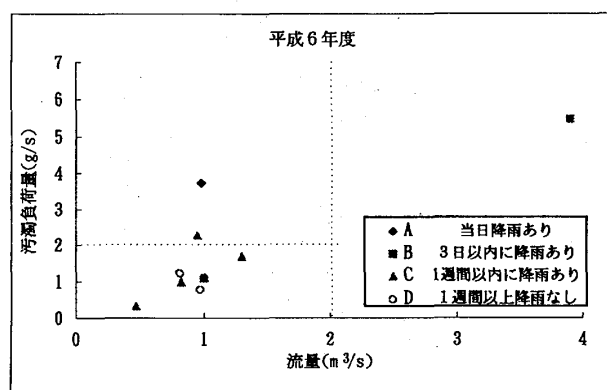


Fig. 3 The relation between pollutant load of BOD and discharge at JR bridge.

荷が水域へ運ばれることであり、時には高濃度の汚濁負荷が流出する。したがって、精度の高い汚濁負荷の流出予測を行おうとすれば、降雨に伴う流出水量と汚濁負荷流出量との関係を詳しく検討する必要がある。できれば定量的な評価が可能なモデルの構築が望まれる。そこで、これらの関係を明らかにするために、昭和57年度から平成7年度までに本明川の鉄道橋で実施された公共用水域の水質測定結果⁴⁾を基に、河川の流量とBODの汚濁負荷量との関係について調べた。Fig. 3は、その内の平成6年度の結果である。凡例に示されたA～Dは測定日と先行降雨との期間の関係で分類されたものである。また、測定が行われた鉄道橋においては平常時の流量は約0.7～0.8m³/sであり、流量が1m³/sを超える場合には、直前の降雨の影響が大きいものと予想される。

Fig. 3より、汚濁負荷量は流量に比例して変化していることがわかる。とくに、流量が2m³/sを超えている値については、通常、その1週間以内に100mm以上の降水量が記録されており、その影響を大きく受けているものと思われる。上述されたことは、流量が2m³/sを超えるような場合には、ある程度大きい降雨による中間流出、あるいは低水流出の影響により流量ならびに汚濁負荷量が共に増加していると考えられる。他方、当日に降雨があった結果においては、流量がおおよそ1m³/sであるにも拘わらず3g/sを超える高い汚濁負荷量を示している。これは主として、降雨に伴う表面流出成分によって汚濁負荷が運ばれているものと考えられる。

以上のことより、流量と汚濁負荷量の関係は、降雨に伴う表面・中間・低水の各流出成分に大きく依存していることがわかる。よって、汚濁負荷の流出予測を適切に行おうとすれば、これらの現象を十分に表現することができるモデルを構築する必要がある。

4. 汚濁負荷の流出量予測

上述されたように、汚濁負荷の流出量予測を行う上では、降雨に伴う水量・水質両側面の流出量を求める

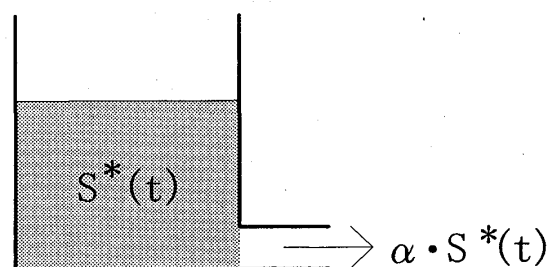


Fig. 4 Storage type model.

ことが重要になる。ここでは線形タンクを取り上げ、これらの流出量の相互関係について検討した。

まず、Fig. 4 に示された、1 段の線形タンクにおいて次の関係式が成り立つ。

$$\frac{dS^*(t)}{dt} = -\alpha S^*(t) \quad (1)$$

したがって、次式が求められる。

$$S^*(t) = S^*(0) \cdot e^{-\alpha t} \quad (2)$$

ここに、 $S^*(t)$: t 時刻の汚濁負荷 (貯留量), $S^*(0)$: 初期時刻 ($t=0$) の汚濁負荷 (貯留量), α : 汚濁負荷の流出乗数であり、汚濁負荷量: $S^*(t)$ は時間と共に指数関数的に減少している。

一方、強度が一定である降雨 ($r=r_0$) が、 T 時間だけ継続した場合、流出量: $y(t)$ は以下の式で示される。

- $0 \leq t < T$ の時

$$y(t) = r_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (3)$$

- $T \leq t$ の時

$$y(t) = r_0 e^{-\lambda t} (e^{\lambda T} - 1) \quad (4)$$

ここに、 $x(t)$: 降雨強度, $y(t)$: 流出強度, λ : 流出乗数である。

よって、(2) ~ (4) 式より以下の関係式が求められる。

- $0 \leq t < T$ の時

$$\frac{S^*(t)}{S^*(0)} = \left\{ 1 - \frac{y(t)}{r_0} \right\}^{\alpha/\lambda} \quad (5)$$

- $T \leq t$ の時

$$\frac{S^*(t)}{S^*(0)} = \left\{ \frac{y(t)}{r_0 (e^{\lambda T} - 1)} \right\}^{\alpha/\lambda} \quad (6)$$

これらの式を用いれば、 α/λ の値を変化させることにより、無次元化された汚濁負荷量: $S^*(t)/S^*(0)$ と流出量: $y(t)/r_0$ との関係が Fig. 5 のように表される。この図より、降雨期間中 ($0 \leq t < T$) には初期段階で、汚濁負荷量が大きくなっていることがわかる。これは前述された降雨初期の表面流出の影響が顕著に現れたためであると考えられる。一方、降雨終了後 ($T \leq t$) は、汚濁負荷流出量は流量の低下と共に減少している。また、無次元化された汚濁負荷流出量が降雨終了時の流量で無次元化された流量に関連づけられることがわかる。このことから、先に述べられたタンクモデルにより、実際の流出量と汚濁負荷量の関係が、概略、表現されているものと思われる。

一方、降雨後に十分な時間が経過して降雨直後の影響が見られなくなってきたとき、すなわち、遅い中間流出や低水流出の成分が卓越してくると、汚濁負荷流出量はある程度一定の状態に近づくものと予想される。以下に、降雨後 ($T \leq t$) において、汚濁負荷流出量を一定と考えた関係式を示す。

$$\frac{dS^*(t)}{dt} = -\beta \quad (7)$$

ここに、 $S^*(t)$: t 時刻の汚濁負荷 (貯留量), β : 汚濁負荷流出量 (ただし、 $\beta = \text{Const.}$) である。

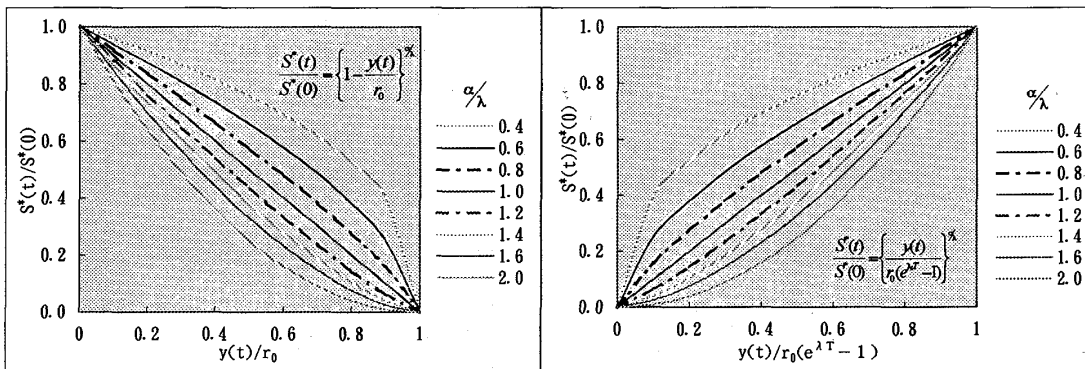
よって、(4) 式と (7) 式より次の関係式が求められる。

- $T \leq t$ の時

$$\frac{S^*(t)}{S^*(0)} = 1 + K \ln \left\{ \frac{y(t)}{r_0 (e^{\lambda T} - 1)} \right\} \quad (8)$$

ただし、 K は次式で表される。

$$K = \frac{\beta}{\lambda S^*(0)} \quad (9)$$



(a) Case for $0 \leq t < T$.

(b) Case for $T \leq t$.

Fig. 5 The relation between pollutant runoff of BOD and discharge.

Fig. 6 は先ほどと同じように、 $\beta/\lambda S^*(0)$ の値を変化させることで求められた汚濁負荷量： $S^*(t)/S^*(0)$ と流出量： $y(t)/r_0$ の関係を示している。この図より、時刻： $T \leq t$ においては降雨直後で流出量が大きい時には、それに伴う汚濁負荷量も大きくなっており、流量が減少してくるに従って汚濁負荷流出量も減少している。これらのことより流出量が同じ程度であっても、汚濁負荷流出量は降雨中と降雨後で大きく異なることを示唆している。

Fig. 7 は先に示された平成6年度と平成4年度の結果を取り上げて、河川の流量に対しては先行降雨の降雨強度で、また、汚濁負荷量に対しては初期の汚濁負荷量でそれぞれ基準化し、それらの関係が示されている。図中には、(5)、(8)式をもとにして、 λ/α と K の値を実測値より求めた関係式が示されている。とくに、平成4年度の結果が示された図を参照すれば、式中の係数の値が相互に異なっていることがわかる。しかし、文献⁴⁾より求められた実測値は種々の条件下で求められたものであり、資料整理の段階で、流量

ならびに汚濁負荷量を基準化する際に、先行降雨の強度、あるいは先行晴天日数を考慮した初期汚濁負荷量を求める際の情報が必ずしも十分には得られない。今後はこれらに関連した問題を解決しなければならない。そして、種々の条件下における流量と汚濁負荷量の連続的観測を行い、実測値を整備することにより、モデルに含まれた係数の同定を行っていきたい。併せて本論文の前半部分で取り上げられた点源・非点源汚濁負荷を $S^*(0)$ との関係で評価することが大切であり、このことから自然的・社会的状態に関係した因子をデータベース化することの重要性が再認識される。

5. 結論

本研究では、好ましい水環境を達成するために流域水管理が今後益々重要になることを述べ、その一つ的手段として点源・非点源汚濁負荷をデータベース化する方法を具体的な事例と共に示した。今後はより詳細な排出負荷量を得るために、流域における汚濁負荷の時間的变化、等を詳しく求め、原単位の評価法と併せてさらに検討していきたい。

また、流域から流出する汚濁負荷が受水域に及ぼす影響を評価するためには、流出量と汚濁負荷流出量との関係を明らかにすることが重要であり、それらの現象を定量的ならびに定性的に評価し得る簡単な流出予測モデルが示された。今後は詳細な流出予測モデルの構築と共に、流域における社会的・自然的状態を把握することにより、汚濁負荷の発生量を詳しく調べる必要がある。これらのことより流域水質管理を適正に行うためには、流域内の汚濁負荷に関する情報をデータベース化し、同時にモデルに含まれる係数の同定を行うことが重要である。

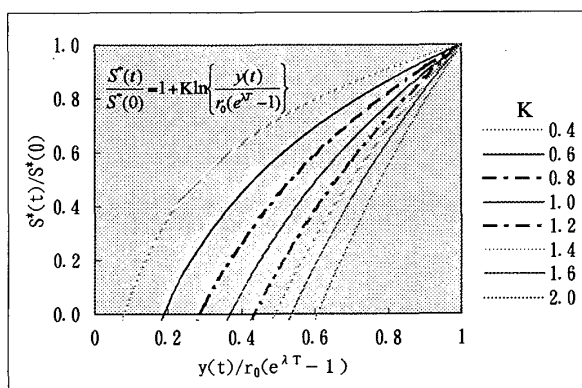


Fig. 6 The relation between pollutant runoff of BOD and discharge.

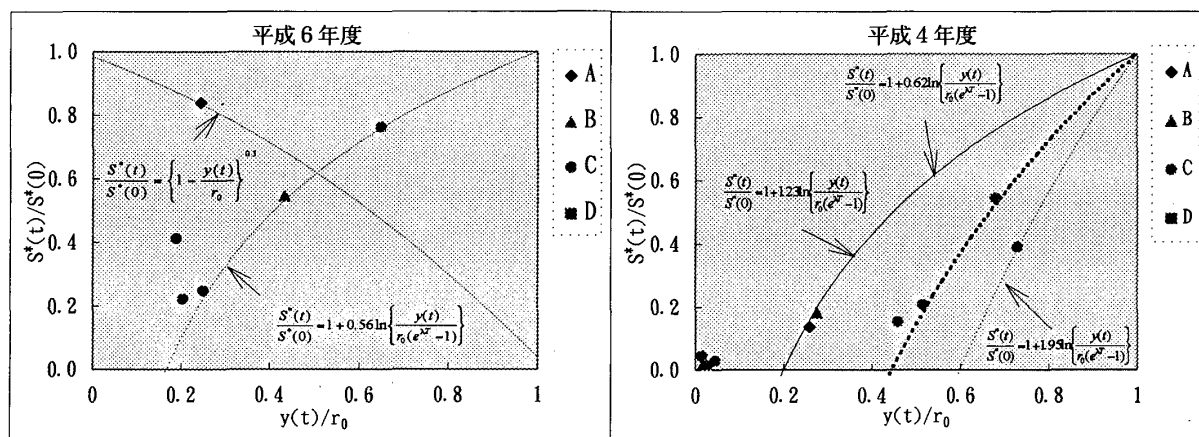


Fig. 7 The comparison between observed and calculated pollutant loads.

参 考 文 献

- 1) 野口正人・西田渉・星野公秀・矢代まゆみ(1997)
:流域における点源・非点源汚濁負荷の評価に関する
研究, 長崎大学工学部研究報告, 第27巻, 第48号,
pp.121-125.
- 2) 國松孝夫・村岡浩爾(1990), 河川汚濁負荷のモデル
解析, 技報堂出版.
- 3) 末石富太郎編(1987), 衛生工学, 鹿島出版社.
- 4) 長崎県生活環境部(1996):公共用水域及び地下水の
測定結果.