

## B-4 木曾川・庄内川における出水時の水質負荷特性に関する研究

○田中 陽二<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>独立行政法人 港湾空港技術研究所 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

\* E-mail: tanaka-yo@pari.go.jp

### 1. はじめに

伊勢湾などの閉鎖性海域では 1960~70 年代以降、陸域からの汚濁負荷の増大による富栄養化現象が問題となっている。海域の水質環境を回復するには、陸域負荷の削減や、干潟や藻場の造成などの対策が考えられ、それらの影響を比較・検討するには数値計算モデルを用いることが有効である。海域での数値計算を行う際に、河川からの負荷量  $L$  は流量  $Q$  との関係式である  $L-Q$  式を用いて推測することが多く、その  $L-Q$  式の基となる水質観測データとして公共用水域水質観測のデータが一般的に用いられる。しかしながら、公共用水域水質観測は主に平常時に観測されているため、高い汚濁負荷量が排出される出水時の影響が考慮されていない。坂井ら<sup>1)</sup>は公共用水域水質データを用いて負荷量を算定すると、月間負荷量が最大 75%の相対誤差が生じたと報告している。また、出水時における各態の窒素・リン・有機物の挙動に関しても十分な知見が得られていない。

本研究では伊勢湾に流入する一級河川として、大規模河川の典型例である木曾川と、都市型河川の典型例である庄内川に着目して、出水時の水質負荷特性を把握することを目的とした。ここでは、中部地方整備局が 2009~2010 年度に実施した出水時の水質観測資料<sup>2)</sup> (以下、出水調査) と、公共用水域水質データ<sup>3)</sup> (以下、公共調査) を使用した。これらの観測データに基づいて  $L-Q$  式を作成するとともに、年間負荷量の算定と、出水時における窒素・リン等の水質比率の解析を行った。

### 2. 使用データの概要

#### (1) 出水調査の概要

中部地方整備局が行った出水調査は 2009 年 10 月 8 日~9 日と、2010 年 9 月 8 日~9 日の 2 回行った。観測地点は、木曾川では濃尾大橋、庄内川では新名西橋であり、それぞれ 1 時間毎に表層水の採水を行った。2009 年の

表-1 出水調査におけるピーク流量

河川	2009 年度調査	2010 年度調査
木曾川	1600 m <sup>3</sup> /s	540 m <sup>3</sup> /s
庄内川	630 m <sup>3</sup> /s	150 m <sup>3</sup> /s

観測では BOD, COD, TN, TP, SS, 水温等を計測し、2010 年では上記項目に加えて TOC, DOC, PON, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, DTP, DIP, SiO<sub>2</sub> を計測した。流量は近隣の水位観測所の水位観測値から、 $H-Q$  式を用いて算出した。観測時のピーク流量を表-1 に示す。

#### (2) 公共調査の概要

公共調査は毎月 1 回程度の頻度で観測を行っており、観測結果は国立環境研究所の HP で公開されており<sup>3)</sup>、本研究でもそれを使用した。木曾川は横溝蔵、庄内川は枇杷島橋で、2004~2008 年度の観測値を使用した。流量は水文水質データベース<sup>4)</sup>の値を使用し、欠測している場合は  $H-Q$  式より推測した。水質観測日でのピーク流量は木曾川で約 410m<sup>3</sup>/s、庄内川で約 30m<sup>3</sup>/s であった。

### 3. 各河川の水質負荷特性

#### (1) $L-Q$ 式の算出

出水調査および、公共調査の観測値に基づいて、河川負荷量を (1) 式で表わされる  $L-Q$  式で近似する。

$$L = aQ^b \quad (1)$$

ここで、 $L$  は河川負荷量(g/s)、 $Q$  は河川流量(m<sup>3</sup>/s)、 $a$ 、 $b$  はモデルパラメータである。

$L-Q$  式のパラメータの推定方法として、両辺の対数を取って最小二乗法を用いる方法と、(1) 式をそのまま使用して非線形最小二乗法を用いる方法がある。前者の場合は簡易であるものの、誤差も対数で評価される。したがって、 $L-Q$  式が小さい流量のデータに影響されやすくなる<sup>5)</sup>。そこで、本研究では非線形最小二乗法による反復計算によってパラメータを推定した。なお、負荷量と

流量の関係に、年度による大きな違いが見られなかったため、出水調査のL-Q式の推定には平成21,22年度をあわせたデータを用いた。公共調査のL-Q式も同様である。

表-2に出水調査によるL-Q式のパラメータを、図-1にCOD, TN, TPのL-Q式を示す。出水調査のL-Q式は観測値と良く一致していた。一方、公共調査のL-Q式は、木曾川のTN以外では、出水時に負荷量が過小評価される結果となった。これは低流量時と出水時で流量と負荷量の関係性が異なっていることに起因すると考えられる。例えば木曾川では流量300m<sup>3</sup>/s以下の低流量時では、公共調査のL-Q式も観測値と良く適合していた。しかしながら、出水時では、負荷量の増加率が低流量時と比較して更に増加しているために、出水時のデータが不足している公共調査のL-Q式では負荷量が過小評価となっていた。この結果は、L-Q式の推定には出水時の観測値が必要であることを示している。

なお、SiO<sub>2</sub>の負荷量については木曾川・庄内川ともに

項目	木曾川		庄内川	
	a	b	a	b
COD(g/s)	0.9914	1.227	9.783	1.097
TN(g/s)	0.6220	1.033	2.640	1.115
TP(g/s)	0.04225	1.062	0.2105	1.189
SS(g/s)	0.1128	1.855	87.54	1.231

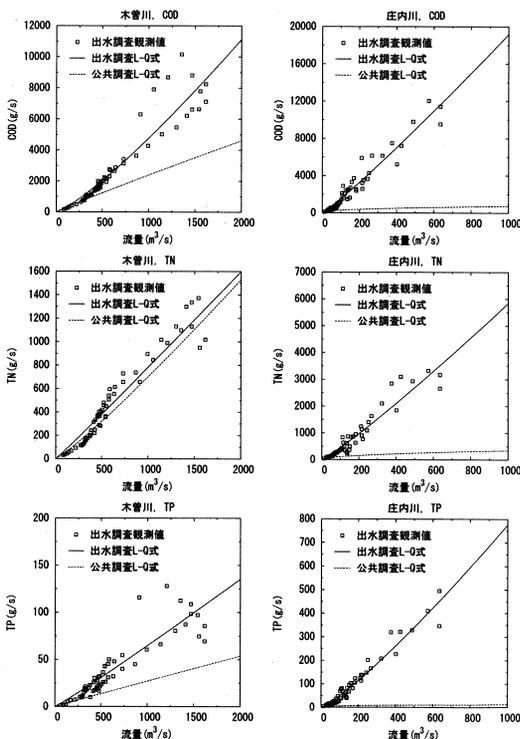


図-1 出水調査と公共調査によるL-Q式の比較

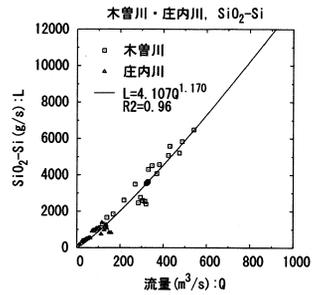


図-2 出水調査による木曾川・庄内川のSiO<sub>2</sub>のL-Q式

同様の傾向を示していた(図-2)。流量特性が異なる両河川で、流量-負荷量の特性が似ていることは興味深い。

## (2) 年間負荷量の算出

得られたL-Q式を基に、木曾川・庄内川での2009年の年間負荷量を計算した(表-3)。COD, TN, TPのいずれにおいても、公共調査のL-Q式から算出された年間負荷量は、出水調査のそれと比較して、大幅な過小評価となっていた。L-Q式が比較的似ていた木曾川のTNを除けば、公共調査の負荷量は59~28%も少なくなっていた。

公共調査での年間負荷量が少ない理由は、前節で指摘したように、公共調査のL-Q式が高流量時の負荷量を過小評価しているためと推測される。そこで、年間負荷量に与える、出水時の負荷量の寄与を考える。具体的には、L-Q式を用いて日々の負荷量を算出し、年間の日流量順位と年間負荷量の累積値との関係を調べた。例として庄内川の場合を図-3に示す。もし、流量に関わらず毎日同じ負荷量であった場合には、図-3のグラフは原点と

表-3 出水調査と公共調査のL-Q式から算出された2009年の年間負荷量

項目		COD	TN	TP
木曾川	A:出水調査(t/y)	38690	7060	574
	B:公共調査(t/y)	22880	5970	254
	B/A(%)	59	85	44
庄内川	A:出水調査(t/y)	11423	3304	354
	B:公共調査(t/y)	4805	1621	101
	B/A(%)	42	49	28

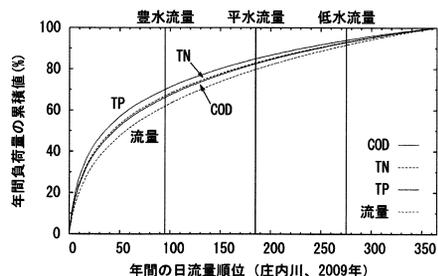


図-3 庄内川における日流量順位と年間負荷量累積値の関係

(365, 100)を通る直線となる。したがって、上側に歪むほど高流量時に多くの汚濁負荷が流出していることを意味する。また、L-Q 式のパラメータ  $b=1$  の場合は流量と同じ曲線を描き、 $b>1$  の場合は流量よりも上側に曲線ができる。

木曽川では豊水流量以上となる日に、流量が年間総流量の 65%であることに對し、COD, TN, TP 負荷量ではそれぞれ 67%, 68%, 74%が流出されていた。同じく庄内川では、豊水流量以上となる日に流量が年間総流量の 62%に對して、COD, TN, TP はそれぞれ年間負荷量の 66%, 67%, 70%が流出されていた(図-3)。これらは河川流量自体が出水時に高い流量となるためであるが、水質の L-Q 式が  $b>1$  であるために、さらにその傾向が強められたことによる。したがって、高流量時のデータを使用しない公共調査の L-Q 式では、出水調査と比べて年間負荷量が過小評価されることとなった。

### (3) 出水時における水質・栄養塩の動態

2010 年度の出水調査から、水質および栄養塩の比率を算出した(表-4)。DON/TN や、 $\text{NO}_3/\text{DTN}$  は木曽川と庄内川で比較的大きな差が見られたが、その他の項目については概ね両河川で同様の値となった。

一方、流量と水質比率の関係を調べたところ、いくつかの項目について流量による相関が見られた(図-4)。COD, TN, TP ともに高流量時には懸濁態の比率が多くなっていた。なお、流量と水質比率を近似するモデル式として(2)式のロジスティック関数を用いた。

$$R = \frac{\exp(aQ+b)}{1+\exp(aQ+b)} = \frac{1}{1+\exp(-aQ-b)} \quad (2)$$

ここで、 $R$  は比率、 $Q$  は流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $a$ 、 $b$  はモデルパラメータである。

決定係数が大きい場合においては、モデル式は観測値の傾向を良好に表現していた。しかしながら、2010 年度の出水調査は比較的流量が少なかったため、高流量時の補外に利用するには注意が必要であろう。また、PON/TN 比率では、平均値は木曽川・庄内川ともに同程度の値であったが、流量との依存性は庄内川の方が強く出ており、河川毎に流量依存性が異なることが示唆される。今後は大規模な出水時の観測値を充実させて、再検討することが必要である。

表-4 各河川の平均水質比率(by weight)

項目	木曽川	庄内川	項目	木曽川	庄内川
TOC/COD	0.449	0.390	$\text{NH}_4/\text{DTN}$	0.071	0.119
DOC/TOC	0.719	0.720	$\text{NO}_3/\text{DTN}$	0.694	0.366
PON/TN	0.200	0.172	DTP/TP	0.419	0.513
DON/TN	0.168	0.427	DIP/DTP	0.500	0.596

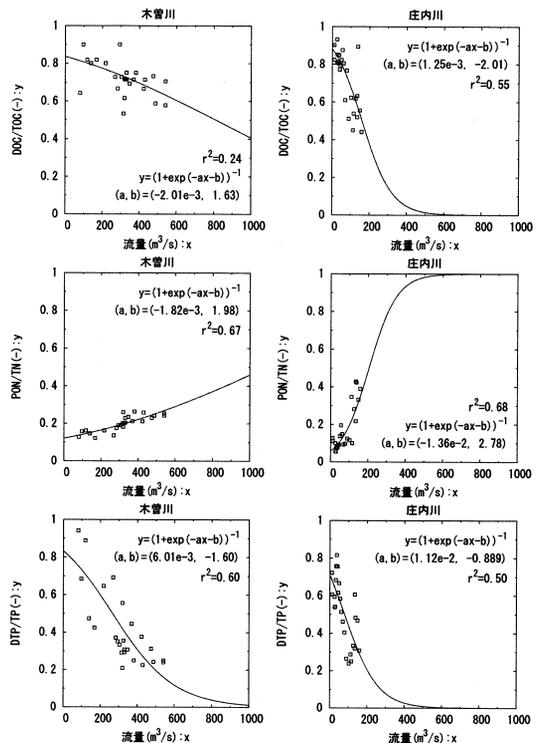


図-4 木曽川・庄内川における流量と水質比率の関係

## 4. まとめ

本研究では木曽川と庄内川において、公共調査と出水調査のデータから得られるそれぞれの L-Q 式を比較した。また、出水時における水質・栄養塩の動態についても整理・検討を行った。出水時の観測値がなければ、高流量時の負荷量が過小評価されること、および年間負荷量が過小評価されることが分かった。

謝辞: 中部地方整備局企画部からは観測データのご提供を頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 坂井文子・二瓶泰雄・江原圭介・臼田美穂・重田京介・大塚慧: 江戸川・荒川・玉川・中川における出水時栄養塩・COD 負荷特性, 水工論文, 第 52 巻, pp.1117-1122, 2008.
- 中部地方整備局: 平成 22 年度伊勢湾再生行動計画の中間評価業務報告書, 2011.
- 国立環境研究所, 環境数値データベース, <http://www.nies.go.jp/igreen/index.html>, 参照 2011-5.
- 国土交通省: 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>, 参照 2011-5.
- 化学同人編集部編: 実験データを正しく扱うために, pp.97-100, 2007.