

出水時栄養塩・COD 輸送量に関する無次元 $L-Q$ モデルの提案

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻	学生員	滝岡 健太郎
東京理科大学理工学部土木工学科	正会員	二瓶 泰雄
大和鋼管工業(株)	非会員	田中 辰弥

1. 序論

適正な内湾環境管理を実施し、将来的に求められている内湾環境のリアルタイム予測を実現する上では、陸域から河川を經由する汚濁物質の流入量をモニタリングすることは必要不可欠である。現状の計測技術レベルでは、時々刻々の COD や栄養塩濃度をリアルタイム計測することは原理的には可能であるものの、コストパフォーマンスの問題でそのようなモニタリング事例は河川では皆無に等しい。そのため、時々刻々計測される流量 Q と各河川固有の $L-Q$ 式 ($L=aQ^b$, L : 汚濁負荷量, a, b : 係数) を用いて、汚濁負荷量の時系列データを取得する方法¹⁾・²⁾が一般に採用されている。この $L-Q$ 式を作成するには、平常時から出水時までの広範囲の流量に対する負荷量データの実測値が必要となるが、観測頻度が月一回程度の公共用水域データが充実する平常時水質データと比べ、観測に多くの労力と経費を必要とする出水時の実測データは少ない。このようなことから、出水時データが皆無の河川における出水時 $L-Q$ 式推定法の開発が強く望まれる。この要請に応えるべく、本研究では、一般に充実している平常時水質データと流域情報のみに基づいて出水時栄養塩・COD 輸送量に関する無次元 $L-Q$ モデルを提案することを試みる。ここでは、本研究室で多くの観測データを蓄積・収集している東京湾・手賀沼・印旛沼流入河川を対象として本モデルの構築及び適用性の検証を行う。

2. 研究方法

(1) 無次元 $L-Q$ モデルの概要

多くの河川では、平常時水質データや河川流量データの収集もしくは現地調査は相対的に容易である。これらのデータベースを有効活用して、観測データの無い河川における出水時 $L-Q$ 式を推定するために、負荷量 L と流量 Q を平常時と出水時の閾値 L_0 と Q_0 で除した無次元 $L-Q$ モデルを考案した(図1)。具体的には、平常時の $L-Q$ 式を算定する、平常時と出水時の流量閾値 Q_0 を設定し、この流量に対応する負荷量の閾値 L_0 を平常時 $L-Q$ 式から算定する、観測データのある河川の出水時 $L-Q$ 式を無次元化し、その式中の係数 b と土地利用特性との関係式を作成し、この関係式と対象河川流域の土地利用特性から係数 b を算定して、出水時の無次元 $L-Q$ 式を抽出する。無次元 $L-Q$ 式の利点は、両変数を無次元化することにより流域面積依存性を排除したことと、係数 a は1になるため未定係数の数を一つ(b のみ)に減らせたことである。

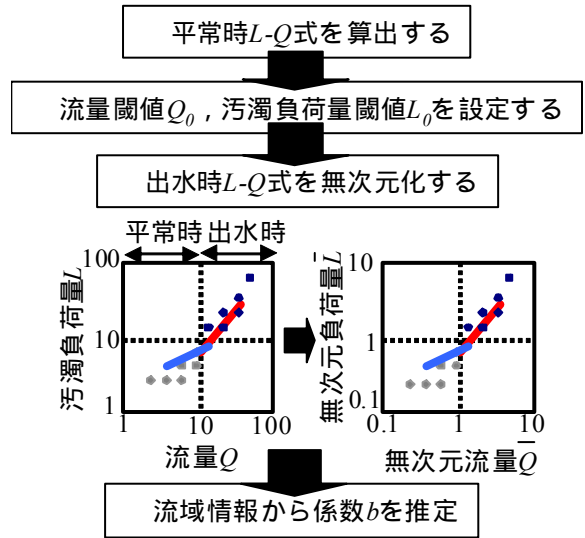


図-1 無次元 $L-Q$ モデル作成過程の概念図

(2) 解析対象データ及び解析手順

ここで用いる出水時観測データは、7つの東京湾流入河川(江戸川, 荒川, 多摩川, 中川, 隅田川, 小櫃川, 神田川, 出水イベント数: 11)と1つの手賀沼流入河川(大堀川, 出水イベント数: 8), 4つの印旛沼流入河川(神崎川, 師戸川, 桑納川, 手繰川, 出水イベント数: 4)である。これらに対して、河川毎に平常時・出水時に分けた形で無次元 $L-Q$ 式を算出する。このうち、東京湾流入河川(神田川を除く)のデータから土地利用特性と無次元 $L-Q$ 式の係数 b を求める。後述するように、手賀沼・印旛沼流入河川に対して、本論文で提案する無次元 $L-Q$ モデルを適用し、実測値との比較により、本モデルの精度を検証する。なお、各河川の流量閾値 Q_0 は滝岡ら³⁾を参考にして与え、平常時 $L-Q$ 式から Q_0 に対応する L_0 を求めた。

キーワード: $L-Q$ 式, 汚濁負荷, 出水, 栄養塩, COD

連絡先: 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL: 04-7124-1501 (内線 4031) FAX: 04-7123-9766

3. 結果

(1) 無次元 $L-Q$ 式の算出結果

$L-Q$ 関係の基本的特徴を確認するために、多摩川における COD フラックス L と流量 Q の相関図を図 2 (a) に示す。ここでは $Q_0=50\text{m}^3/\text{s}$ として、出水時と低水時で色分けしている。これより観測データに対する近似式 ($L-Q$ 式、図中実線) の傾きを見ると、出水時の方が低水時よりも大きくなっており、流量閾値の所が $L-Q$ 関係の変化点となっている。この $L-Q$ 関係を負荷量と流量の閾値 L_0, Q_0 で無次元化すると、近似式の傾きは低水・出水時ともに変わらず、また、これらの近似式は (1, 1) を通るため低水・出水時ともに $a=1$ となっている。

(2) 係数 b と流域情報の関係性

このような無次元 $L-Q$ 式を算出し、得られた式中の係数 b と河川流域の山林率 A_f 及び市街地率 A_u の相関図 (神田川以外の東京湾流入河川のみを対象) をそれぞれ図 3 (a) と (b) に示す。これより、山林率が大きいほど、また、市街地率が小さいほど係数 b は大きくなる。これは、面源負荷の元となる地表上の堆積物は、一般に、山林では“半無限”にあるが、市街地では量が限定されており、結果として出水時における係数 b は山林 > 市街地となる。ここで示した各々の単回帰分析のままでは精度が悪いので、この二つの土地利用率を用いて、次式に示す重回帰分析を行った。

$$b = A_f x_1 + A_u x_2 + x_3 \quad (1)$$

得られた x_1, x_2, x_3 の値及び重相関係数 R は表 1 に示す。ここでは東京湾流入 6 河川を対象に得られた。これより x_1 は正、 x_2 は負 (T-P を除く) であり、切片 x_3 は概ね 1.0~1.1 である。また、T-N の相関係数が低いのは、感潮域の平常時 T-N 負荷の $L-Q$ 関係にバラつきがあるためである。

(3) 本モデルの推定精度

無次元 $L-Q$ 式の推定精度を検証するために、全河川において得られた係数 b の観測値及び本手法による推定値の相関図 (COD) を図 4 に示す。ここでは、式 (1) 作成に使っていない手賀沼・印旛沼流入河川、神田川の結果も表示している。図 4 より、係数 b の推定値は概ね観測値と一致しており、式 (1) 作成に使用した東京湾流入河川では誤差は 20% 以内、用いてない他の河川では誤差は 25% 以内に収まっている。このように、流域情報から $L-Q$ 式のべき指数 b を良好に推定し得ることが分かる。さらに、現地の観測データのみに基づく既存¹⁾の $L-Q$ 式及び本手法を用いて、手賀沼流入河川 (大堀川) における 8 つの出水イベントの総負荷量を出水イベント毎に算出した結果 (図 5)、本手法の誤差は $\pm 30\%$ 以内であり、既存の $L-Q$ 式と同程度で小さい。以上より、流域情報や低水時の水質データのみに基づく無次元 $L-Q$ 式が出水時データの無い河川における $L-Q$ 式作成に極めて有用であることが示された。

参考文献：1) 坂井ら、水工学論文集, Vol.52, pp.1117-1122, 2008. 2) 二瓶ら、海岸工学論文集, Vol.55, No.2, pp.1226-1230, 2008. 3) 滝岡ら、水工学論文集, Vol.54, pp.1381-1386.

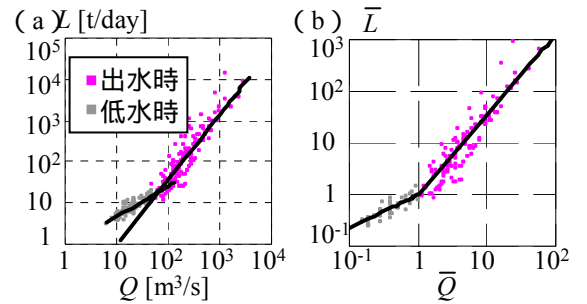


図 2 多摩川の COD flux の (a) $L-Q$ 式と (b) 無次元 $L-Q$ 式 ($\bar{L}-\bar{Q}$)

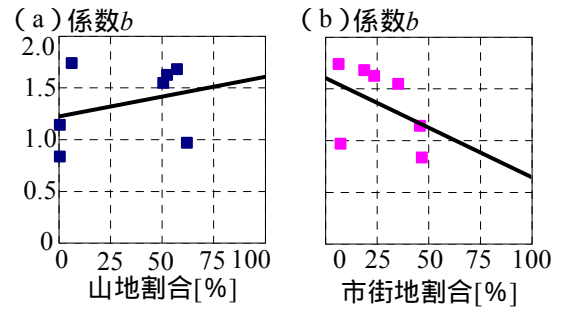


図 3 係数 b と (a) 山林率と (b) 市街地率の相関図 (COD flux)

表 1 重回帰分析結果 (東京湾流入河川を対象)

	x_1	x_2	x_3	R
COD	0.011	-0.003	1.105	0.961
T-N	0.003	-0.008	0.993	0.527
T-P	0.011	0.001	1.011	0.716

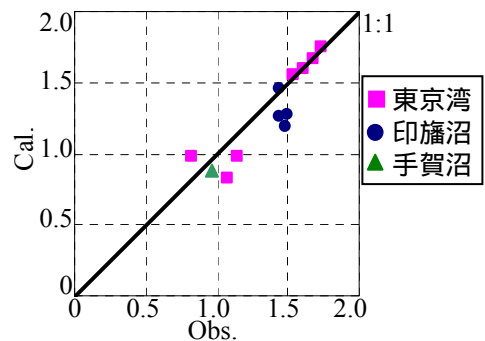


図 4 係数 b の推定値と観測値の比較 (COD)

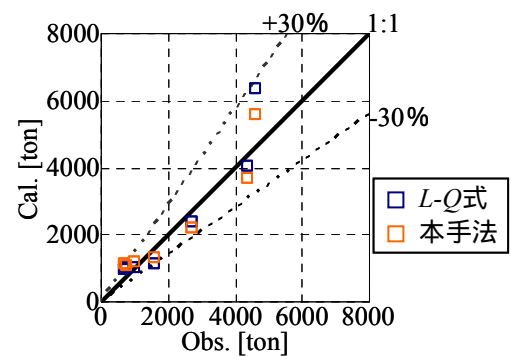


図 5 大堀川出水におけるイベント別総負荷量の比較 (COD flux)