

## 流出負荷量推定のための現地モニタリング法とその評価

### A field monitoring method for an unbiased load estimate and its evaluation

○平井淳志, 多田明夫, 田中丸治哉

○Atsushi HIRAI, Akio TADA, and Haruya TANAKAMARU

**1. はじめに** 河川を経由して閉鎖性水域に流入する汚濁物質等の流出負荷量の推定量は、水質汚濁の対策上非常に重要な数値である。特に面源からの流出負荷量について、これまで精度のよい推定が困難であった。このため、流出負荷量の不偏推定法として、一定積算流量 ( $\Delta q$ ) 毎による採水水質データに基づく Importance Resampling (IR) 法<sup>1)</sup> (以下、 $\Delta q$  採水法+IR 法) を我々は開発した。一方、従来我が国では定期調査に基づく LQ 式法 (以下、定期採水法+LQ 式法) による流出負荷量推定が採用されてきたが、この方法による負荷推定量の信頼性については長年疑問が呈されてきた。このため、本報告では流出負荷量の不偏推定のための効率的な現地モニタリング法の提案を最終的な目的とし、まず ( $\Delta q$  採水法+IR 法) と (定期採水法+LQ 式法) による推定量の値を比較することで、従来の LQ 式法がどの程度正確な負荷推定量を提供できていたかを評価した。次に、現地で実行が容易な定期採水と IR 法の組み合わせ (以下、定期採水法+IR 法) についても検討した。

**2. 使用データと解析方法** 本研究で使用したデータは、奈良県五條市の山林小流域 (12.14ha) で計測した 10 分間隔の流量データと、自動採水器を用いて収集された比較的低頻度の水質濃度データである。水質対象項目は TN, DTN,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , TP, DTP,  $\text{PO}_4^{3\text{-P}}$ ,  $\text{SiO}_2$ , SS, COD, DCOD, Cl,  $\text{SO}_4^{2\text{-}}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  の 16 項目で、解析期間は 2016 年 1 月 1 日～12 月 31 日とした。期間中、現地では、 $\Delta q = 5\text{mm}$  ごとのサンプリング ( $\Delta q$  採水法) と 2 日おきの定期サンプリングの、独立した 2 通りの方法で水質データを収集した。

LQ 式法による流出負荷量の点推定量  $\hat{L}_{RC}$  は、非特定汚染源対策に係るガイドライン<sup>2)</sup>に基づく方法で算出した。水質データの採水間隔は 2 日 (データ数約 180 個) とした。計算に用いた LQ 式は次式である ( $\hat{l}_i$  と  $q_i$  は時刻  $i$  における推定瞬間流出負荷量と流量,  $a$ ,  $b$  は係数)。

$$\ln \hat{l}_i = a + b \ln q_i \quad (1)$$

(1)式を用いて、 $q_i$  の連続観測値から全時刻に対する  $\hat{l}_i$  を計算・積算し、 $\hat{L}_{RC}$  とした。また従来の LQ 式法の改良法として、パラメトリックなバイアス修正法である QMLE 法<sup>3)</sup> とノンパラメトリックなバイアス修正法である smearing 法<sup>4)</sup> を採用した推定量についても検証した。

なお上記計算結果と比較しうる不偏推定量を得るため、一定積算流量 ( $\Delta q = 5\text{mm}$ ) によるサンプリングデータ (データ数約 180 個) に基づき IR 法を用いて、流出負荷量の点推定  $\hat{L}_{IR}$  と区間推定 (95%信頼区間) を行った。なおこの計算において、Sampling-importance resampling 法<sup>5)</sup> を用いて、母集団の LQ 式に対して不偏な LQ 式が推定されるよう工夫した。また、様々な頻度での定期サンプリングデータに IR 法を適用することで、現地で実行が容易な負荷量推定法の模索を行った。

**3. 結果および考察 3.1 LQ 式法による点推定量の偏りの評価** Fig.1 に、従来の LQ 式法による点推定量と IR 法による区間推定量の結果を項目毎に示す。IR 法による信頼区間と比較して、LQ 式

(所属) 神戸大学大学院農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Kobe University

(キーワード) 流出負荷量, 不偏推定, IR 法, LQ 式法

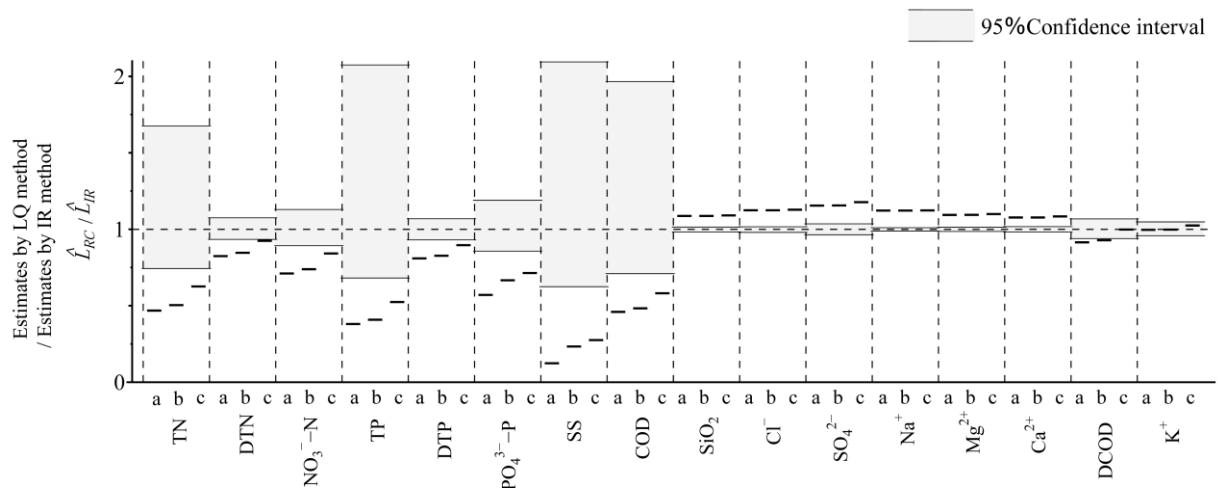


Fig.1 LQ式法による点推定量 (－) とIR法による区間推定量の比較  
 Comparison of point estimate by LQ method and interval estimator by IR method  
 a : LQ method b : LQ+QMLE c : LQ+smearing

法による推定量が、過小である項目（懸濁態・栄養塩・有機物）、過大である項目（溶存イオン）、適切な項目（溶存項目の一部）の3グループが見いだされた。なお、Table 1には各水質項目毎のLQ式の係数と残差分散の値を示した。Fig.1

とTable1から、係数bの値が1より大きく残差分散の値が大きなSSやTPなどの項目では推定量がかなり過小評価となっていた。従って、これらの懸濁成分や栄養塩に関する項目では従来のLQ式で推定を行うべきではない。また、バイアス修正項の導入によるバイアス縮小の効果は認められたものの依然偏りは大きく、不偏推定量から依然偏った推定量となっていることが明らかになった。

**3.2 定期採水法+IR法による現地モニタリングの検討** 次に、(定期採水法+IR法)の実用性について検討した。実際に定期採水の間隔を2日より大きくしたところ、IR法で十分な数の標本数(3個以上)が得られず、推定量の計算が不可能な項目が認められた。また、計算自体が可能であったとしても、信頼区間の幅が実用上用をなさないほど広くなる項目も認められた。以上より、(定期採水法+IR法)による流出負荷量推定は、項目によっては実用的ではないことが明らかとなった。

**4. おわりに** 本研究の検証結果から、従来の(定期採水法+LQ法)による出負荷量推定は、その推定量の偏りの大きさから行うべきではなく、現地で一定積算流量毎の水質サンプリングでデータを収集して、(Δq採水法+IR法)により負荷量推定をすべきである。

**謝辞** 本研究は科学研究費補助金(No.15K07646)の助成を受けて実施したものである。

**参考文献** 1) 矢野敦久・多田明夫・田中丸治哉 (2015) : 第72回農業農村工学会京都支部研究発表会公演要旨集 pp.80-81, 2) 環境省 水・大気環境局 水環境課 : 非特定汚染源の推進に係るガイドライン (第二版), 2014, 3) Ferguson, R. I. : River loads underestimated by rating curves, *Water Resour. Res.*, **22**, 74-76, 1986, 4) Duan, N. (1983) : Smearing estimate : a nonparametric retransformation method, *J. Am. Stat. Assoc.*, **78**(383), 605-6 5) C.M.ビショップ : パターン認識と機械学習下, 丸善出版, pp249-250, 2012

Table1 LQ式の係数値と残差分散  
 Regression coefficients and residual

| 項目                               | Variances of rating curves |                   |
|----------------------------------|----------------------------|-------------------|
|                                  | b*1                        | s <sup>2</sup> *2 |
| TN                               | 1.17                       | 0.387             |
| DTN                              | 0.98                       | 0.226             |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N  | 1.01                       | 0.278             |
| TP                               | 1.31                       | 0.388             |
| DTP                              | 1.00                       | 0.205             |
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P | 0.94                       | 0.675             |
| SS                               | 1.80                       | 1.127             |
| COD                              | 1.23                       | 0.317             |
| SiO <sub>2</sub>                 | 0.87                       | 0.006             |
| Cl <sup>-</sup>                  | 0.96                       | 0.007             |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>    | 1.12                       | 0.041             |
| Na <sup>+</sup>                  | 0.90                       | 0.002             |
| Mg <sup>2+</sup>                 | 0.90                       | 0.010             |
| Ca <sup>2+</sup>                 | 0.84                       | 0.013             |
| DCOD                             | 1.23                       | 0.173             |
| K <sup>+</sup>                   | 0.94                       | 0.053             |

\*1 b : 係数 \*2 s<sup>2</sup> : 残差分散