

長期低頻度データによる年間河川負荷量の推定について Estimating annual river loads using long-term low-frequency monitoring data

○多田 明夫*, 田中 健二*
○Akio TADA*, Kenji TANAKA*

1. はじめに 河川を通じて下流に運ばれる物質の総量である河川負荷量の年単位値は、集水域や下流受水域の水質管理に重要な数値である。この値は、高頻度（日以下の時間単位）で計測される河川流量値と、より低頻度（例えば月1度の定期調査）で観測される河川水質濃度値を用いて推定されるのが一般的である。筆者らは Horvitz-Thompson (HT) 推定量と Rating curve (RC) 法を組み合わせ、HT 推定量の推定精度を向上させた Bias-corrected regression estimator (BCRE) を開発したが、(单年度で年12個の定期調査データのような) 小標本の場合に、精度の低い推定値しか得られないという欠点があった。

一方米国においては、河川負荷量の正確な推定を目的として、Hirsch ら (2010) が Weighted Regression on Time, Discharge, and Season モデル (以下 WRTDS) を開発し、米国内の河川に対して、2022年以降この方法による年河川負荷量推定値を米国地質調査所 (USGS) が提供している。この WRTDS は、单年度ではなく数十年などの長期間低頻度水質データを前提に、局所重み付け線形 (loess) 回帰を用いて多くの説明変数を持つ RC を決定し、より柔軟に観測データに回帰予測値を追従させ、年河川負荷量の推定値の精度向上を図るものである。しかしながら、数十年にわたる月1回程度の定期採水データに対しても、WRTDS 法による年河川負荷量の推定値は偏りを持ち、結果的に推定値の信頼区間が真値を含む確率である被覆確率の値は信頼水準よりも低くなる。

本報告は、数十年などの長期間の年12個程度の低頻度水質観測値に基づいて、HT 推定量と WRTDS 法を組み合わせた高精度な年河川負荷量推定法について述べる。

2. 新たな推定量 (BCWRE) ここで報告する新たな推定量 BCWRE (bias-corrected weighted regression estimator) では、低頻度長期間データに対し、WRTDS と同様の loess 回帰により、次式の rating curve (RC) による個々の日平均濃度の推定値を計算する。

$$\ln c_{RCi} = \beta_{0i} + \beta_{1i} \ln q_i + \beta_{2i} (\ln q_i)^2 + \beta_{3i} T_i + \beta_{4i} \sin 2\pi T_i + \beta_{5i} \cos 2\pi T_i \quad (1)$$

ここで c_{RCi} は i 日における loess RC による河川濃度推定値、 q_i は i 日の河川の日流量、 T_i は1年の長さを1として表したある起点から i 日までの通算時間、 $\beta_{0i} \sim \beta_{5i}$ は i 日における偏回帰係数である。この c_{RCi} を用い、BCWRE (L_B) は次式で与えられる。

$$L_B = \frac{L_{HT}}{L_{MHT}} L_M = \left(\sum_{i=1}^n \frac{c_i q_i}{p_i} \Bigg/ \sum_{i=1}^n \frac{c_{RCi} q_i}{p_i} \right) \sum_{j=1}^N c_{RCj} q_j \quad (2)$$

ここで、 p_i は水質観測時 (水質試料) のサンプリング確率、 n はサンプル数 (標本要素数)、 N は負荷量計算対象年度の総データ数 (日単位なら 365/366)、 L_{HT} 、 L_{MHT} 、 L_M は、それぞれ HT 推定量、RC による年河川負荷量計算値の HT 推定量、RC による年河川負荷量計

(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) 河川負荷量、長期低頻度データ、信頼区間、被覆確率、loess

算値である。なお、 L_B の計算方法やブートストラップ法による信頼区間の構成法の詳細は、講演時に紹介する。

3. 方法 実際に米国のエリー湖に流入する Honey 流域 (386km^2 , 83.1%を農地が占める流域) からの 2001~2018 年の日単位の水質濃度と流量のデータセット (USGS, 2016; Heidelberg University, 2019) を用い、月 1 回の定期調査相当の（月内の採水日をランダムに選ぶ）方法で収集した年 12 個の標本に基づき、SS, TP, SRP (Soluble reactive phosphorus), TN, NO23 (亜硝酸塩 + 硝酸塩), TKN (総ケルダール窒素), Cl, SO4, Si, EC の 2007 年の年河川負荷量を L_{HT} , L_W (WRTDS による推定量), L_B について計算した。 L_W の信頼区間の構成方法と重みの計算法は Hirsch ら (2010, 2015) に従い、Fortran により計算した。推定量の評価は、母集団から標本を Monte Carlo 法でリサンプリング（繰り返し回数 1,000 回）して行った。

4. 結果と考察 19 の信頼水準 (0.05~0.95 まで 0.05 刻み) での被覆確率と信頼水準の差の標本標準偏差 (差の平方和 / 19 の平方根) である pSD (%), 95% 中央信頼区間幅を真の値で基準化した値 $rCIW_{95}$ について、Honey 流域で評価した結果を Fig.1 に示した。 pSD で 5% 以下を信頼しうる水準と仮定すれば、 L_{HT} と L_W は信頼できない結果である。 L_B は信頼しうる結果と言えるが、 L_W よりも信頼区間幅が広い。要するに、 L_{HT} と L_W は信頼区間として不適当であり、 L_B が適切であった。

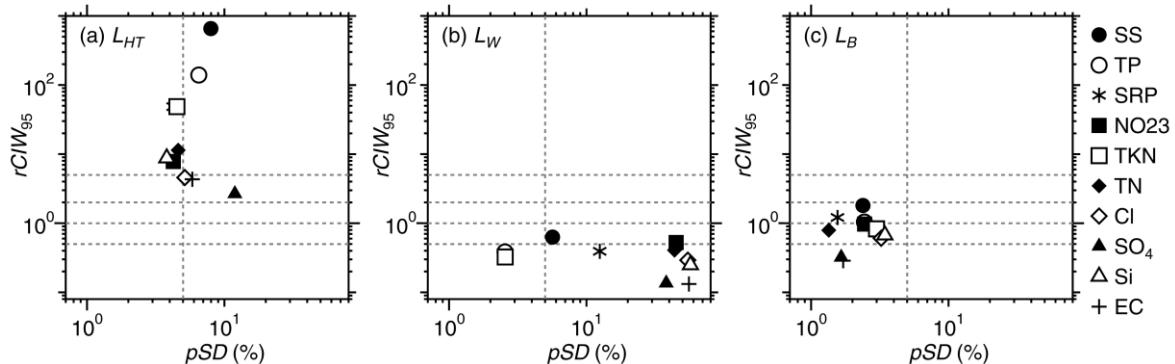


Fig.1 信頼区間の信頼水準と被覆確率の差の標準偏差 (PE) と相対 95% 区間幅 ($rCIW_{95}$) の関係

5. おわりに loess 回帰を用いた RC と HT 推定量を組み合わせることで、数十年にわたる月 1 度の採水データに関しては、信頼できる信頼区間を構成することが可能となった。さらなる検証のためには、より多くの流域と水質項目での評価が必要である。また日本の公共水域（河川）のような低水時に限定した定期調査データに対しても本手法の検証が必要である。加えて、米国で採用されているような、定期調査 + 降雨時ランダム標本追加データに対する有効性も検討する必要がある。

参考・引用文献

- Heidelberg University. (2019). Heidelberg University National Center for Water Quality Research Tributary data download [data file]. Retrieved from <https://newqr.org/monitoring/data>
- Hirsch, R.M., Moyer, D.L. and Archfield, S.A. (2010) : Weighted Regressions on Time, Discharge, and Season (WRTDS), with an application to Chesapeake Bay river inputs, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, **46**(5), 857-880.
- Hirsch, R. M., Archfield, S. A., & De Cicco, L. A. (2015). A bootstrap method for estimating uncertainty of water quality trends. *Environmental Modelling & Software*, 73, 148-166. doi: 10.1016/j.envsoft.2015.07.017
- U.S. Geological Survey. (2016). National water information system data available on the World Wide Web (USGS water data for the nation) [Data file]. Retrieved from <http://waterdata.usgs.gov/nwis/>, <https://doi.org/10.5066/F7P55KJN>