

LOESS 回帰 RC による年間河川負荷量の推定について

Estimating annual river loads using Loess-RC

○多田 明夫*

○Akio TADA*

1. はじめに 年単位など長期間にわたる河川負荷量の正確な推定は、下流の閉鎖性水域の水環境に人間活動が与える影響の評価に必要である。この値を低頻度の水質モニタリングデータに基づき精度良く推定するため、様々な研究が行われてきた。とくに、農地からの栄養塩類の流出により下流受水域の水質汚染が深刻な米国においては、河川負荷量の正確な推定が重要な研究課題であり、米国地質調査所は水質観測値のみでなく、モデルによる日河川負荷量の推定値も公開している。2022年以降、USGSは Weighted Regression on Time, Discharge, and Season (WRTDS; Hirsch et al., 2010) 法による日負荷量推定値を提供しており、今日では、この WRTDS 法が河川負荷量の米国の標準的な推定法と見なして良い。本報告では WRTDS モデルのような LOESS 回帰 rating curve (RC) による年単位河川負荷量の推定値のもつ特徴について紹介する。

2. WRTDS 法 WRTDS 法とは、低頻度長期間データに対し、局所重み付き (LOESS) 回帰により、次式の RC による個々の日平均濃度の推定値を計算する方法である。

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

$$\hat{c}_i = c_{RCi} \times bcf_i, \quad bcf_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_j \exp(\ln c_j - \ln c_{RCi})}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (2)$$

ここで c_{RCi} は i 日における 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 i 日の時間、 $\beta_{0i} \sim \beta_{4i}$ は i 日における偏回帰係数である。 \hat{c} が最終的な河川濃度の推定値で、 bcf は偏り修正係数、 w_j は重み、 m は i 番目の濃度値の回帰推定に用いた標本要素数、 c_i は河川水質濃度の観測値である。LOESS 回帰では i 日における偏回帰係数の決定に用いる m 個の観測値に対し重み w_j を決定する必要がある。この重みは対数流量値の差、時間軸上の距離、年度の違いを無視した時間軸上の距離に基づいて決定される。WRTDS は(1)式の対数線形モデルに LOESS 回帰を組み合わせることで、流量や長期トレンド、季節変動の影響度合いを滑らかに変化させ、非定常な水質濃度変動の表現を可能としたモデルである。このため、WRTDS は流量変動に起因する水質変動を平滑化することができ、河川水質の長期トレンドの評価に多く利用される。一方、単年度の負荷量を精度良く推定する方法として、カルマンフィルタを組み合わせた WRTDS-K モデル (Zhang and Hirsch, 2019) も提案されている。

このモデルは、flashy な流出特性を持たない比較的大きな河川を対象とし、年間 6~24 個程度の低頻度水質観測値が 10 年以上蓄積された場合に適用可能なモデルである (推奨データ数は 200 程度である)。多量のデータを利用することで、水質予測値の精度を向上させることを目的としている。Hirsch et al. (2015a, b) による WRTDS モデルによる年河川負荷量の信頼区間の構成法は、ブロックブートストラップ法にもとづく

(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, 信頼区間, LOESS, WRTDS, ブートストラップ

ものである。ただし、WRTDS がデータに対して統計的に適切な推定量を与えるかの検証はこれまで十分になされていない。

3. 方法 実際に米国のエリー湖に流入する Honey 流域 (386km², 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 (総ケルダール態窒素), Cl, SO₄, Si, EC の 2007 年の年河川負荷量を推定した。信頼区間の構成方法と重みの計算法は Hirsch et al. (2010) と Hirsch et al. (2015a, 2015b) に従い, Fortan により計算した (R の統計パッケージである EGRET・EGRETci は使っていない)。推定量の分布は, 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) して計算した。特に 1,000 回の評価中, 信頼区間が真値を含む割合 (被覆確率) を評価した。

4. 結果と考察 Fig.1

は横軸が信頼区間の (設定された) 信頼水準, 縦軸が実際の被覆確率の値である。理想的には両者の関係は 1:1 であることが望ましいが, 多くの項目で下に凸となり, 被覆確率が信頼水準に見合っていない。これは

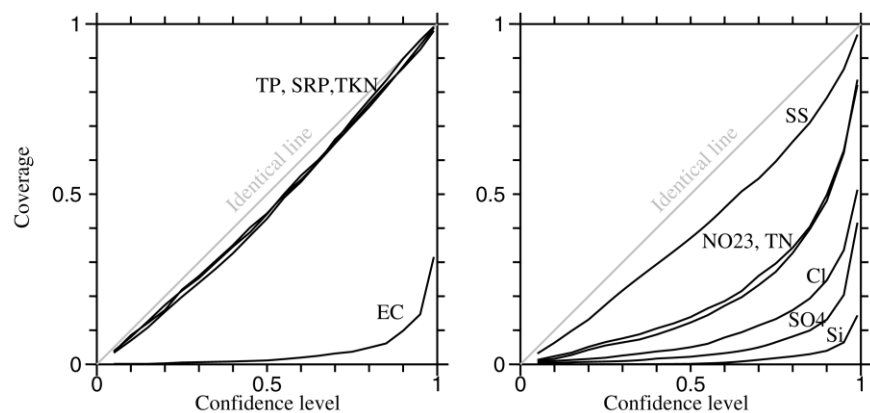


Fig.1 信頼水準と信頼区間の被覆確率の関係

推定量の期待値周りの分散に対して偏りが大きなことを意味している。このような permissive な信頼区間で年間負荷量のトレンドの有無の仮説検定を行うと, 本来生じていない差を検出することになり, たいへん危険である。

5. おわりに LOESS 回帰を用いた RC による年負荷量推定法は, 偏った, 被覆確率の低い信頼区間を与えることがわかった。米国で現在標準手法となっている WRTDS でも同様の傾向があると予測される。低頻度長期間水質データのある河川に対しては, WRTDS の狭い信頼区間を維持しながら偏りを修正するような手法の開発が望まれる。

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://ncwqr.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. (2015a). A bootstrap method for estimating uncertainty of water quality trends. *Environmental Modelling & Software*, *73*, 148-166. doi: 10.1016/j.envsoft.2015.07.017

Hirsch, R. M., & De Cicco, L. A. (2015b). User Guide to Exploration and Graphics for RivEr Trends (EGRET) and dataRetrieval: R Packages for Hydrologic Data, Techniques and Methods 4-A10, U.S. Geological Survey.

Zhang, Q. and Hirsch, R.M. (2019) : River water-quality concentration and flux estimation can be improved by accounting for serial correlation through an autoregressive model, *Water Resour. Res.*, *55*(11), 9705-9723.

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>