

既存の水質データに基づく流出負荷量の推定について

Load estimation based on existing water quality data

○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 河川を流下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、水質汚濁対策上重要な数値である。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ため、我々は流出負荷量の不偏推定法を開発した。これらは瞬間負荷量の推定量の大きさに比例した確率（Probability proportional to size, PPS）で採水した水質データに基づく推定法である Rating curve method using IS（RCM using IS）と、定期採水や一定積算流量（ Δq ）毎による流量比例採水などの一貫したルールに基づく採水データから PPS データの再抽出を行う推定法（Importance Resampling, IR 法¹⁾）が含まれる。しかし PPS や Δq 毎の水質サンプリングの実施は容易でなく、実際には実行が容易な定期調査（月 1 回程度）や、これに降雨イベント調査（年数回実施）を加えた方法で採水がされており、これらの水質データは行政・研究機関等に蓄積されている。もしこれら既存の水質データを用いて流出負荷量の不偏推定が可能となれば、過去のデータや現在進行中の観測データの有効利用が可能となり、水質管理の面においてもメリットが多いだろう。

これまでに我々は、定期調査による水質データに IR 法を適用すると、概ね不偏な流出負荷推定量が得られることを示した¹⁾。本発表では、定期調査に降雨イベント調査を加えることが、負荷推定量の精度向上につながるかを IR 法により検討した結果を報告する。

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、降雨量、水質濃度である。対象水質項目は Cl^- , K^+ , Na^+ である。解析対象期間は 2009 年 5 月 12 日～2011 年 4 月 28 日で、期間中の欠測データを除くと流量と水質のデータ数は、 Cl^- で 81,958 個、 K^+ で 83,605 個、 Na^+ で 71,304 個であった。非特定汚染源対策に係るガイドライン²⁾を参考に、負荷量推定のための定期調査の採水間隔を 1 週間とし、この結果 1,008（7×24×6）組の定期調査データセットを作成した。降雨イベント調査による採水は、降雨イベント開始からピーク流量前までは 30 分毎、ピーク流量時から降雨イベント終了までは 4～6 時間毎に行うものとした。解析期間中の 78 出水の降雨イベントの試料からランダムに 10 イベント分をランダム抽出し、これを定期データセットに加えて[定期+降雨イベント調査]データセットを作成した。IR 法によりこれらのデータセットから点推定量と 95%信頼区間（両側危険率 2.5%）を構成した。推定の良否は、真値が 95%信頼区間に含まれる割合（被覆確率）が 95%かどうかで判断した。推定の評価に用いる負荷量の真値は、10 分間値の流量と水質濃度の観測値の積の合計とした。

3. 結果および考察 3.1 IR 法による流出負荷量の推定評価 Fig.1 に定期調査と [定期+降雨イベント調査] 水質データに対する、IR 法により推定された流出負荷推定量の分布（箱ひげ図）を、Table 1 には 95%信頼区間の被覆確率を示した。Table 1 より、定期調査データに降雨イベント調査データを加えると、いずれの項目においても被覆確率が 95%から大きく低下した。一方、Fig.1 からは、降雨イベントデータの追加により推定量が偏ることと、平均的な信頼区間の幅が小さくなることからわかる。これが定期調査データと比べて被覆確率が低下する直接の要因となっている。

（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, 降雨イベント調査, 系列相関

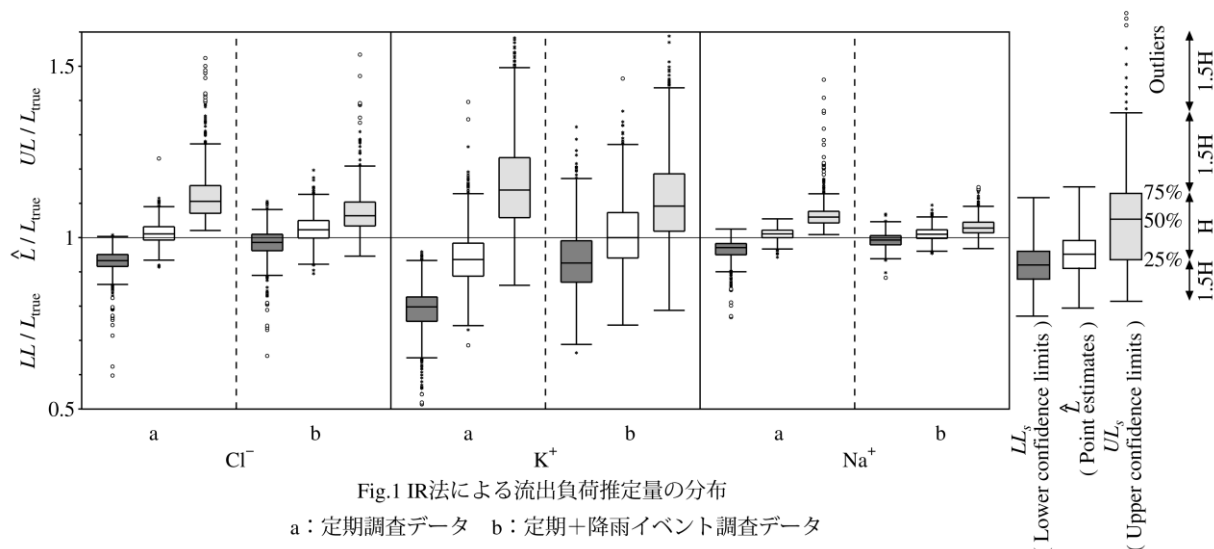


Fig.1 IR法による流出負荷推定量の分布

a：定期調査データ b：定期+降雨イベント調査データ

3.2 被覆確率低下の原因について 降雨イベント調査

により追加された水質データは定期調査データに比べてデータ数が多く、狭い時間領域に集中している。このようなデータ追加による被覆確率の低下は、LQ式の回帰分析の残差の古典的仮定（期待値0の正規分布に従う、系統誤差がない、均一分散、互いに独立）が満足されていないこと、特に系列相関の存在によるものと推察された。これを検証するため、系列相関を有する仮想データと、系列相関の無い仮想データをそれぞれ(1)、

$$\ln l_i = (1 - \rho) \alpha_c + \beta_c (\ln q_i - \ln q_{i-1}) + \rho \ln l_{i-1} + \sigma_c \text{rnd}_i \quad (1)$$

$$\ln l_i = \alpha + \beta \ln q_i + \sigma \text{rnd}_i, \sigma^2 = \sigma_c^2 / (1 - \rho^2) \quad (2)$$

(2)式により生成して、先と同様に「定期+降雨イベント調査」データに対してIR法による区間推定を行った（式中の α 、 β はLQ式のパラメータ、 α_c 、 β_c はコ克蘭・オーカット法³⁾によるLQ式のパラメータ、 ρ は残差の系列相関係数、 rnd_i は $N(0, 1)$ の正規乱数、 σ^2 は残差分散である）。Table 2には被覆確率を示した。系列相関の無い仮想データに基づく推定では被覆確率がより95%に近い値へと向上する一方で、系列相関がある場合には被覆確率の値が大きく低下した。以上より、降雨イベント調査の追加により被覆確率が低下する主要因は系列相関であることがわかった。

Table 1 IR法による95%信頼区間の被覆確率(%)

項目	定期調査	定期+降雨イベント調査
Cl ⁻	99.8	59.2
K ⁺	88.2	57.7
Na ⁺	95.1	56.1

Table 2 仮想データを用いた際の95%信頼区間の被覆確率(%)

項目	系列相関有り	系列相関無し
Cl ⁻	72.1	91.7
K ⁺	75.5	91.5
Na ⁺	76.3	92.3

4. おわりに 従来、降雨イベント調査データの追加は負荷推定量の精度を向上するため不可欠と考えられてきた。しかしながら実際には負荷量の推定量を偏らせ被覆確率を低下させることがわかった。この偏りはLQ式の残差の系列相関に起因しており除去が困難である。この系列相関による推定の悪化を改善する負荷推定手法の開発が必要である。

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) 平井淳志・多田明夫・田中丸治哉(2018):平成30年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集 pp.484-485, 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, pp.42-44, 3) 浅野哲・中村二郎:計量経済学(第二版),2009, pp.160-163