

山林小流域からの溶存物質総流出負荷量の区間推定法について

Interval estimation of solute mass loads from a small forested catchment

○多田 明夫, 田中丸治哉
Akio TADA and Haruya TANAKAMARU

1. はじめに 一般に, 面源からの総流出負荷量の推定量は, 観測データから定められたLQ式等の回帰式に基づき, 点推定量として計算される. しかしながら点推定量からは調査の精密さ, データの量や統計的な性質などが判断できない. 区間推定量として面源負荷量の値が与えられれば, これらの問題の改善が期待される. なお本研究では, 流量データは十分な時間間隔で得られているが, 水質データが十分な頻度では得られないという状況を前提に, どのような区間推定法が面源負荷量の推定法として適しているか検討している.

2. 方法 2.1 使用データ 奈良県五條市に位置する小山林流域(12.82ha)において, 2004年度に8ヶ月間にわたり観測された流量データと水質データ(ともに10分間隔)を基礎データとして利用する. 対象項目は溶存イオンであるCl⁻, K⁺, Na⁺の3項目である. なお, すべての10分間負荷量(10分間流量×濃度)の積算値を総流出負荷量の真値としている.

2.2 負荷量の区間推定法 面源負荷量の区間推定は, 試料のサンプリング方法(戦略), 負荷量の算出方法, 区間推定法の3要素を組み合わせで行われる. (1) サンプリング方法: ランダムサンプリング, 流量層別サンプリング(流量の頻度分布を反映したサンプリング), 定期サンプリング(1H, 6H, 1日, 3日, 7日, 14日の採水間隔で検討)の3種について検討した. (2) 負荷量の算出法方法: USGS(米国地質調査所)のLoad Estimatorモデル¹⁾に採用されている9種類の重回帰式, 線形回帰式を用いた負荷量計算法, 単純平均法, 流量加重平均法, Beale比推定法について検討した. Load Estimatorの重回帰式のうち, 最多のパラメータを持つ7パラメータモデル(model 9)は次式で表される.

$$\ln L_i = a_0 + a_1 \ln Q_i + a_2 (\ln Q_i)^2 + a_3 \sin(2\pi T_i) + a_4 \cos(2\pi T_i) + a_5 T + a_6 (T_i)^2 \quad (1)$$

ここで, L_i : 時刻*i*における瞬間負荷量, Q_i : 時刻*i*の瞬間流量, T_i : 時刻*i*を1年を1とする数値で表した量, $a_0 \sim a_6$: 偏回帰係数, である. Load Estimatorでは(1)式をベースとして, 説明変数の組み合わせ方が異なる9種類のモデルが用意されている(例えば上の式の右辺第3項までのモデルはmodel 2と呼ばれる). モデル適用の詳細は文献²⁾を参照されたい. これら重回帰式による負荷量算出では, QMLE法, MVUE法, Composite法(回帰の残差を推定量に配分する方法)などのBias修正法も導入している³⁾. (3) 信頼区間の推定法: 今回はBootstrap法を採用している. なお区間推定法の良否は, 真値を信頼確率通りに信頼区間内に含むか否かによって判断される. 今回は95%信頼区間について検討している. ただし, 信頼区間の大きさが実用的でないほど大きくないかについての検討も必要である.

3. 結果と考察 3.1 予備検討結果 筆者らは, これまでにUSGSが公開しているLoad EstimatorのFORTRANコードにより算出される信頼区間のパフォーマンス(信頼区間内に真値を含む割合)についても検討している⁴⁾. USGSの公開コードにより計算される信頼区間は, モデルの推定残差の分布に正規分布や対数正規分布を仮定した, 伝統的な解析解

(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】面源負荷量, 区間推定, USGS Load Estimator, バイアス修正法, ブートストラップ法

に基づくものである。その結果、サンプリング方法にかかわらず、この方法では信頼確率通りのパフォーマンスは得られなかった（95%の信頼確率に対して、60～98%）。**3.2 解析結果** 解析の結果、以下の事項が明らかとなった。(1) ランダムサンプリングや流量層別サンプリングよりも、定期サンプリングの方がより良好な信頼区間を与えた。従ってこれ以降は定期サンプリングについて考察するものとする。(2) Beale 比推定法は偏りの小さな負荷量推定法といわれているが、1日よりも長い採水間隔の場合、すなわち利用できるデータ量が減少した場合には、単純平均法や流量加重平均法と同じく、信頼区間のパフォーマンスは低かった（項目や採水頻度にもよるが、おおよそ60～90%程度）。(3) 採水頻度に関わらず、流量の2次までの項を含む USGS の重回帰モデルのパフォーマンスが高かった。特に model 2 と model 9 に Composite 法を組み合わせた算出方法が、もっともよい信頼区間のパフォーマンスを示した（90～100%）。ただしその他の計算法の信頼区間のパフォーマンスは低いままであった。このことから、渓流水中の溶存イオン総流出負荷量の信頼区間を適切に設定するためには、少なくとも流量の2次の項までを回帰式に取り込み、かつ Composite 法を Bias 修正項として組み合わせる必要があることがわかった。

4. おわりに 一般に、溶存項目は懸濁態成分を含む水質項目よりも流量に対する応答が穏やかで、かつ流量と水質濃度間のヒステリシスも小さい。しかしながらそのような項目であっても、今回の3項目全てで、どのような採水頻度においても十分期待された確率で真値をそのうちに含むような信頼区間を構成することができなかった（最良の方法でも95%信頼区間のパフォーマンスは91～100%）。今後はLAD（最小絶対誤差）法等の、最小自乗法以外の係数決定法について検討する予定である。

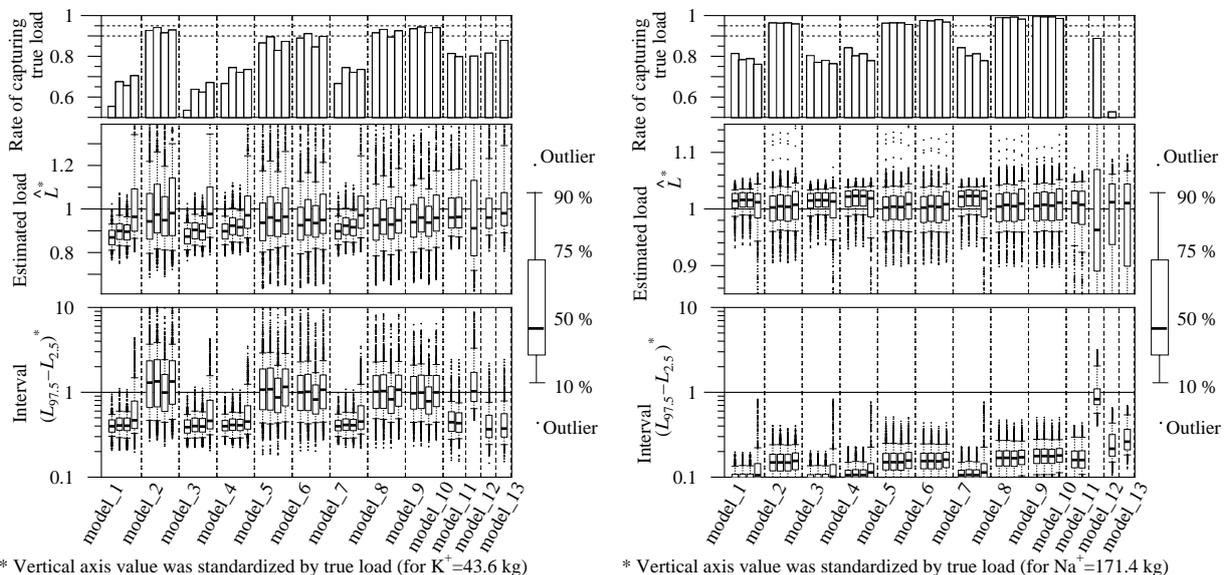


Fig.1 週間間隔の定期サンプリングの場合の信頼区間のパフォーマンス（左： K^+ ，右： Na^+ ）
 model 1～model 9：Load Estimator のモデル1～9（model 2・5・6・8・9は流量の2次までの項を含む，model 1は通常のべき乗型LQ式），model 10：直線型LQ式，model 11：単純平均，model 12：流量加重平均，model 13：Beale 比推定法．model 1～model 9に示されている各々4つの棒グラフは、左から順に、Bias 修正項無し、QMLE、MVUE、Composite 修正項を導入した推定量。

【引用文献】1) <http://water.usgs.gov/software/loadest/>, 2) Runkel, R.L., Crawford, C.G., and Cohn, T.A., (2004), Load Estimator (LOADEST): A FORTRAN Program for Estimating Constituent Loads in Streams and Rivers: U.S. Geological Survey Techniques and Methods Book 4, Chapter A5, 3) 多田ら (2006), 集水域からの流出負荷量の推定法とその不確かさについて, 農土論文集, 245, pp.109-122, 4) 朱ら (2008), 面源負荷量の区間推定について－USGS Load Estimator の検証を中心として－, 農業農村工学会京都支部第 65 階研究発表会講演要旨集, pp.40-41.