

山林流域からの溶存物質の流出負荷量の区間推定について
Interval estimation of total effluent solute loads from a small forested catchment

○栗原周平, 多田明夫, 田中丸治哉

○Shuhei KURIHARA, Akio TADA, and Haruya TANAKAMARU

1. はじめに 山地や農地などの面源から流出する物質の総量（流出負荷量）は、特に窒素やリンなどの栄養塩類に関連する場合、水質汚濁の制御の観点から重要な意味を持つ。一般に、面源からの総流出負荷量の推定量は、観測データから決定されたLQ式等の回帰式にもとづく点推定量値である。しかしながら点推定量は調査の精密さ、解析に供されたデータの量や統計的な性質などの情報を持たない。このため、区間推定量として面源負荷量を推定できれば、推定値の信頼性についての情報を提供することができる。以上の背景から本報告では、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下において、適切な面源負荷量の区間推定法を探ることを目的としている。

2. 方法 2.1. 使用データ 奈良県五條市の山林小流域（12.82ha）において、2009年10月21日～2010年12月9日の期間に観測された流量データと水質データ（ともに10分間隔）を解析に供した。対象項目は溶存イオンである K^+ 、 Cl^- 、 Na^+ の3項目である。なお、本研究ではすべての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仮定している。

2.2. 負荷量の区間推定法 面源負荷量の区間推定は、標本（試料）のサンプリング方法（サンプリング戦略）、負荷量の算出方法、信頼区間の構成の3段階に分けて検討する必要がある。(1) サンプリング方法：サンプリング方法として等間隔サンプリングを採用した。等間隔サンプリングでは6時間、1日、3日、4日、7日、14日の6通りの抽出間隔について検討した。(2) 負荷量の算出方法：USGS（米国地質調査所）のLoad Estimatorモデル¹⁾²⁾に採用されている、次式の7パラメータモデルについて検討した。

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

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 ：1年の長さを1として基準化した時刻の値、 $a_0 \sim a_6$ ：偏回帰係数である。なお Q_i 、 T_i は、1次と2次の項が無相関となるよう調整された値である。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(model 1～model 9)が用意されている。本研究ではこの9種のモデルに加え、7パラメータモデルに変数選択法を適用したモデル(model 0)についても検討した。重回帰式による負荷量算出では、推定値の有する偏りを修正するために、QMLE法、MVUE法、Composite法、smearing法などのバイアス修正法も導入した³⁾。(3) 信頼区間の構成：本研究では信頼区間の構成法としてブートストラップ法を採用した。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することとした（この信頼区間内に真値を含む割合をカバー率と呼ぶ）。今回は95%信頼区間について区間推定の良否を検討している。

3. 結果および考察 (1) 変数選択法を適用したモデルによる区間推定 (Fig.1) で、カバー率が信頼

(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, バイアス修正量, ブートストラップ法

確率と同等であったのは、 K^+ 、 Cl^- での抽出間隔が6時間、1日間の場合のみであり、 Na^+ についてはどの抽出間隔でもカバー率が95%に至らなかった。また、どの項目でも抽出間隔が長時間になるほどより多くの説明変数がモデルから取り除かれる傾向があった。これは、推定値と真値の間の偏りをカバーするだけの幅を有する信頼区間が構成できなかったためと考えられた。なぜならば、モデル中の説明変数が少ないほど、信頼区間の幅は小さくなる傾向があるためである。以上より、Load Estimatorの回帰式による負荷量推定においては、変数選択法をあえて適用する必要はないと判断される。(2) 解析期間中の全データを用いて変数選択法を行い、各項目でベストモデルを決定した。その結果 K^+ では7パラメータモデルから T^2 を取り除いたモデル(model 8)が、 Cl^- 、 Na^+ では7パラメータモデル(model 9)が選択された。また、Load Estimatorの9種類のモデルによる区間推定結果からは、流量の2次までの項を含むモデルが、抽出間隔に関わらず良好な区間推定結果を与えることが分かった。9種類のモデルの中では7パラメータモデル(model 9)が最良の区間推定結果を与えていた。

4. おわりに 本報告では面源負荷量の適切な区間推定法について検討したが、変数選択法を適用したモデルによる区間推定では、どの溶質項目でも3日以上抽出間隔では信頼区間を適切に構成することができなかった。このことから、現時点では7パラメータモデル(model 9)を全溶質項目で適用するのが最善の方法であると考えられる。しかし、この方法でも Na^+ では抽出間隔が3日間、4日間の場合にカバー率が80%程度であり、十分な信頼性を確保することができていない。今後更なる検討が必要である。

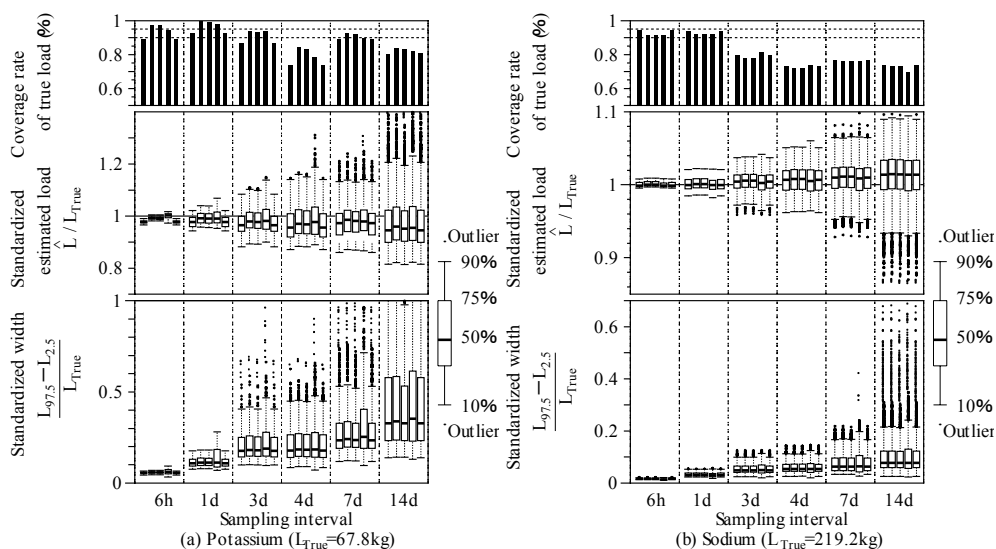


Fig.1 変数選択法を適用したモデル (model 0) での区間推定結果 (左: K^+ , 右: Na^+)
Result of interval estimation (model 0)

各抽出間隔のグループ内に示されている5つの棒グラフは、左から順に、
バイアス修正項無し、QMLE、MVUE、Composite、smearing 修正量を適用した結果を表す。

【引用文献】1) <http://water.usgs.gov/software/loadest/>, 2) Runkel, R.L., Crawford, C.G., and Cohn, T.A., 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, 2004. 3) 多田明夫・田中丸治哉・畑武志: 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, 農業土木学会論文集, 245, pp.109-122, 2006.