

LQ 式を用いた流出負荷量推定の留意点について Some considerations in estimating diffuse loads with rating curve

○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～課題の設定

山林や農地などからの総流出負荷量の推定には、LQ 式が一般的に用いられている。LQ 式による面源負荷量の推定には様々な方式が考えられる。例えば環境庁のマニュアル¹⁾を参照すると、水質試料採取時における河川流量と水質濃度の瞬間値に基づいて LQ 式を決定し、これと観測された連続的な流量時系列から負荷量時系列を推定して総流出負荷量を算出する手順が示されている。しかしながら、連続した流量観測値として日単位や時間単位のものしか得られない場合がある。このため LQ 式の決定と負荷量の計算に用いる流量データの時間単位が一致なくなる。これが推定量にどのような影響を与えるであろうか（以下問題 A）。

また LQ 式には一般にべき乗型のものが用いられており、その係数は、負荷量と流量を対数変換した後に、最小二乗法を適用して決定される（以下 LS 法）。しかしながら、係数決定に用いられるデータは通常定期観測で得られており、特に採水が低頻度の場合には降水時データの量が不十分なことが多い。降水時データが少ないことと LS 法による LQ 式の決定により、流出負荷量が過小推定されると危惧される。この問題に対する解決策として、定期観測データに加え降雨時の観測データを追加し、かつ非線形最適化手法により直接負荷量の残差平方和を最小化して LQ 式を決定する方法（以下 NLP 法）が考えられる。NLP 法が LS 法よりも優れた方法かどうか、検証が必要であろう（以下問

題 B）。本報告では、これらの問題について高頻度水質・水文データにより検証した。

2. 使用データおよび検討方法

奈良県五條市の山林小流域（12.82ha）において、2009 年 12 月 9 日～2010 年 12 月 9 日の 1 年の期間に観測された流量・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^+ と懸濁物質（SS）の 4 項目である。SS 濃度は、濁度と K^+ 濃度と SS 濃度の観測データから 3 者の関係式を求め、この式にもとづいて 10 分間値を算出している。なお、本報告では全ての 10 分間負荷量の積算値を、総流出負荷量の真値 (L_{True}) としている。本報告では、負荷量の算出方法として(1)式のべき乗型 LQ 式を採用した。

$$L_i = aQ_i^b \quad (1)$$

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、 a 、 b ；回帰係数である。

問題 A については、10 分間瞬間流量 q_{10M} により算出された総流出負荷量 \hat{L}_{10M} と、日平均流量 q_D によって得られた総流出負荷量 \hat{L}_D の比 $R_{D/10M}$ ・(2)式によって評価した。

$$R_{D/10M} = \frac{\hat{L}_D}{\hat{L}_{10M}} = \frac{aK \sum q_D^b}{a \sum q_{10M}^b} = \frac{K \sum q_D^b}{\sum q_{10M}^b} \quad (2)$$

ここで、添え字 D 、 $10M$ はそれぞれ日単位、時間単位、10 分単位の流量にもとづくことを意味する。 K は時間単位の換算係数である。

問題 B については、定期サンプリングと LS

(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, 基準化パウエル法, SALT 法

法を組合せた方法と、降雨時データをその負荷量の大きさに応じてサンプリングする SALT 法 (Thomas, 1985)²⁾ と NLP 法を組合せた方法について比較した。非線形最適手法として基準化パウエル法 (角屋ら, 1980)³⁾ を採用した。

上記の各組合せに対して、母集団より標本数 N 個のデータセットを各々のサンプリング法に基づいて複数抽出し、データセット数分の総流出負荷量推定値からその分布を求め、真値との関係を調べた。なお LS 法による負荷量算出では、バイアス修正法 (BCF 法) として QMLE 法を採用した⁴⁾。

3. 結果および考察

問題 A について、Fig.1 より b が 1 より大きくなると、日平均流量による負荷量の値は真値より小さくなるのが分かる。一般に流域が広いほど降雨に対する水文応答と水質応答は穏やかになるため、広い流域ではこの差はより小さくなるだろう。なお今回検討した 4 項目の b 値は 0.5~1.0 の間であったため、流量の時間単位の影響は 1~2% 程度であった。しかし文献ではより大きな b 値 (1~2) も報告されており、

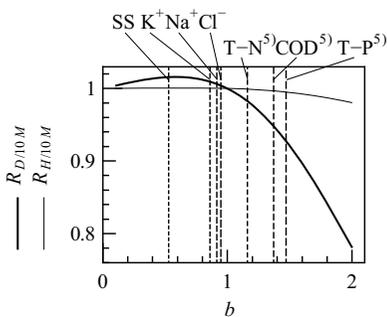


Fig. 1 回帰係数 b と負荷量比の関係
Relationship between regression coefficient b and ratio of load estimates

図中の破線は、本報告および二瓶ら⁵⁾によって求められた各項目における係数 b の平均値である。ここで、添え字 H は 1 時間単位の流量にもとづくことを意味する。

【引用文献】1) 環境庁水質保全局, 非特定汚染源負荷調査マニュアル, 1990, 2) Thomas, R.B., Estimation total suspended sediment yield with probability sampling, Water Resour. Res., 21, pp.1381-1388, 1985, 3) 角屋睦・永井明博, タンクモデルと SP 法による最適同定, 農士学会誌, 48(12), pp.51-59, 1980, 4) Ferguson, R.L., River loads underestimated by rating curves, Water Resour. Res., 22, pp.74-76, 1986, 5) 二瓶泰雄・滝岡健太郎, 出水時水質データベースに基づく L-Q 式推定法の検討, 日本水環境学会シンポジウム講演集, p.235-236., 2011.

その場合にはこの影響は無視できない。以上より、負荷量の推定には可能な限り 1 時間単位程度の流量時系列データを入手すべきである。

次に問題 B については、Table 1 より、SALT 法と NLP 法を組合せた方法は、定期サンプリングと LS 法の組合せよりも大きな推定値とより大きな分散を与えていることが分かる。前者については、平均値を必然的に過小推定する LS 法の問題点を NLP 法が回避できていることを意味している。しかしながら、 Cl^- と Na^+ では NLP 法はかえって過大な推定値となり、バイアスを大きくしていた。全体的に見ると、LS 法による過小推定を回避するためには QMLE 法などの BCF 法を適用する方がより適当である。後者については、高流量時ほど観測負荷量の分散が大きくなるため、高流量時データの影響をより受けやすい NLP 法による負荷量推定値の分散がより大きくなったと考えられる。以上より、定期調査に降雨時データを追加することは有効であろうが、NLP 法をあえて適用するメリットはなく、LS 法にバイアス修正法を加味した方法で十分であると考えられる。

Table 1 総流出負荷量推定値分布についての要約統計量 (kg)
Summary statistics about distribution of estimated total load

solute	sampling method	MPD※	BCF method	25%	median	75%
K^+	regular	LS	no BCF	45.53	49.35	54.25
		QMLE	46.61	51.00	56.54	
	salt	NLP		46.64	51.17	56.84
		LS	no BCF	49.34	53.72	59.04
Na^+	regular	QMLE		50.24	55.22	61.80
		NLP		45.97	52.23	61.58
	regular	LS	no BCF	186.2	190.3	193.9
		QMLE		186.4	190.3	194.2
	salt	NLP		185.7	190.6	195.8
		LS	no BCF	184.3	188.3	192.7
	salt	QMLE		184.6	188.5	192.9
		NLP		185.8	192.1	200.4

※ K^+ : $L_{True}=57.20kg$, Na^+ : $L_{True}=187.4kg$,

MPD: method of parameter determination