

## 年負荷量と年流量の関係について Interannual relationship between discharge and load

○多田 明夫\*・田中丸治哉\*

○Akio TADA\* and Haruya TANAKAMARU\*

1. はじめに 流域内の面源と森林等のバックグラウンドの土地利用から発生する(汚濁)負荷量の推定には、その推定精度に問題があることがわかっているものの、原単位法が用いられてきた。この方法はその値の妥当性(正確さ)の問題以外にも、年毎に年流出量が異なるにもかかわらず、土地利用毎に一定強度の負荷量が発生するという不合理な点も持ち合わせている。(点源も含む)流域から発生する総負荷量の簡易推定法を考えるのであれば、流量観測地点を持つ河川ではその年総流量( $Q_T$ )を得ることが比較的容易であるので、これを基に年流出負荷( $L_T$ )を推定するような簡便な方法が便利であろう。特に流域の汚濁対策により汚濁負荷がどれだけ削減されたかについては、 $L_T$ - $Q_T$  関係の変化を通して検出されるべきものである(例えば Yang et al., 2015)。しかしながら  $L_T$ - $Q_T$  の間にどのような関係を想定すべきか必ずしも明らかではない。ここでは、米国の複数流域からの日単位流量・水質濃度データを基に、この関係について整理・検討した結果を報告する。

2. 方法 2.1  $L_T$ - $Q_T$  の数学的關係について 一般に、瞬間的な流量( $q$ )と負荷量( $l$ )の間には対数線形關係が認められ、この關係式(rating curve, RC)としてべき乗型 LQ 式が採用されてきた。ただしこの關係がそのまま  $L_T$ - $Q_T$  間に成立するかどうかは明かでは無い。もし流量データに対数正規分布が仮定できるのであれば、 $l$ - $q$  關係と  $L_T$ - $Q_T$  關係には同じ指数パラメータを持つ対数線形關係が成立する(Basu et al., 2010)。その一方で、(懸濁態では必ずしもそうではないが)流量の変動が数オーダーにわたるのに対し水質濃度の変動はたかだか 1 オーダー前後のことが多い。このような chemostatic な關係(Godsey et al., 2009)が溶存項目を中心に認められ、これと類似した chemostatic な  $L_T$ - $Q_T$  關係(つまり正比例關係)を想定できないかというアイデア(Basu et al., 2010)もある。他方、 $L_T$ - $Q_T$  にべき乗關係を想定して汚濁対策の効果を評価した研究もある(Yang et al., 2015)。本報告では、米国の複数流域で複数項目にわたる複数年の日単位観測流量・濃度データを元に、この關係性について評価を行った。2.2 データ 米国 Hedelberg 大学の NCWQR (Heidelberg University, 2019) が提供する 16 流域の日単位流量・濃度データを用いた。これと USGS の提供する日流量データ (NWIS, U.S. Geological Survey, 2016) を用いて、Hirsch (2014) の方法にならい、日単位の流量と濃度のデータセットを用意した。対象とした水質項目は SS, TP, SRP,  $\text{NO}_2\text{-N}+\text{NO}_3\text{-N}$  (N23), TKN, Cl,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_2$ , EC の 9 項目である。これらのデータのうち、流量データ数の欠測率が 10%未滿でかつ濃度の観測値のあるデータの流量の合計が年観測総流量の 90%以上ある年が、最新の 12 年間のうち 7 年以上となる 10 流域について、 $L_T$ - $Q_T$  關係を調査した。12 年分のデータに注目した理由は、水質汚濁対策や土地利用変化による  $L_T$ - $Q_T$  關係への経年的な影響をできるだけ抑えるためである。本研究で

(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) 総排出負荷量, LQ 式, Rating curve, 原単位

は  $L_T-Q_T$  関係を表す RC として、 $\ln \widehat{L}_T = \beta_0 + \beta_1 \ln Q_T$  ( $\beta_0 \cdot \beta_1$  は回帰係数) を用い、回帰パラメータ  $\beta_1$  の値が年単位の RC と各年度毎の RC ( $l-q$  関係) でどのように異なるかを調べた。

**3. 結果と考察** Fig.1 に、SS の結果を一例として示す。多くの項目で、 $L_T-Q_T$  関係は線形では無く対数線形を想定すべきであった。 $l-q$  関係と  $L_T-Q_T$  関係での  $\beta_1$  の値を調べると、多くの場合後者で小さくなっていた。これは、年毎に流域の  $l-q$  関係が異なることを意味している。例えば、SS などでは  $l-q$  関係の  $\beta_1$  の値が 1.5~2.0 で分布し非線形が強いにもかかわらず、 $L_T-Q_T$

関係では指数パラメータが 1 程度、すなわち chemostatic と見なしうる場合もあった。これは  $Q_T$  が大きな年ほど、 $l-q$  関係の  $\beta_1$  の値が低下していること、すなわち長期的な供給力の低下を意味する。また流域により、この指数パラメータの低下の程度は異なっていた。TP と SRP については、流域によっては  $\beta_1$  の値が  $L_T-Q_T$  関係でより高い値をとるものも認められた。このように年単位の  $L_T-Q_T$  関係が各単年度の  $l-q$  関係と異なるため、ある年度に集中して集水域の水質・流量調査を実施しても、このデータに基づいて他の年度の負荷量の推定を行うべきではないことを意味する。つまり、複数年にわたるその集水域からの流出負荷量の推定が必要であれば、複数年にわたり十分な水質調査を実施する必要がある。

**4. おわりに**  $L_T-Q_T$  関係にも対数線形性が認められたが、これは単年度の集中的な  $l-q$  関係の調査データからは知ることのできない関係であった。このため我が国の公共水域で見られるような、月 1 度程度の長期低頻度の水質モニタリングデータからそのような関係を推定できれば良いが、現時点ではそのような低頻度データから必ずしも偏りの小さな推定が可能ではないこと、また偏りの小さな推定ができたとしても負荷量の不偏推定量の不確かさが大きなことから、低頻度の定期長期データに基づいた精度良い推定は期待できない。正確な負荷量推定を可能とする効率的な水質モニタリングの方法を検討すべきであろう。

**参考・引用文献** Basu, N. B., et al. (2010), Nutrient loads exported from managed catchments reveal emergent biogeochemical stationarity, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L23404, doi:10.1029/2010GL045168.

Godsey, S. E., et al. (2009), Concentration-discharge relationships reflect chemostatic characteristics of US catchments, *Hydrol. Processes*, 23(13), 1844-1864, doi:10.1002/hyp.7315.

Yang, S. L. et al. (2015), Decline of Yangtze River water and sediment discharge: Impact from natural and anthropogenic changes. *Scientific Reports* 5, 12581; doi: 10.1038/srep12581.

Hirsch, R. M. (2014). Large biases in regression-based constituent flux estimates: Causes and diagnostic tools. *Journal of the American Water Resources Association*, 50(6), 1401-1424. <https://doi.org/10.1111/jawr.12195>

Heidelberg University. (2019). Heidelberg University National Center for Water Quality Research Tributary data download [data file]. Retrieved from <https://ncwqr.org/monitoring/data>

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>

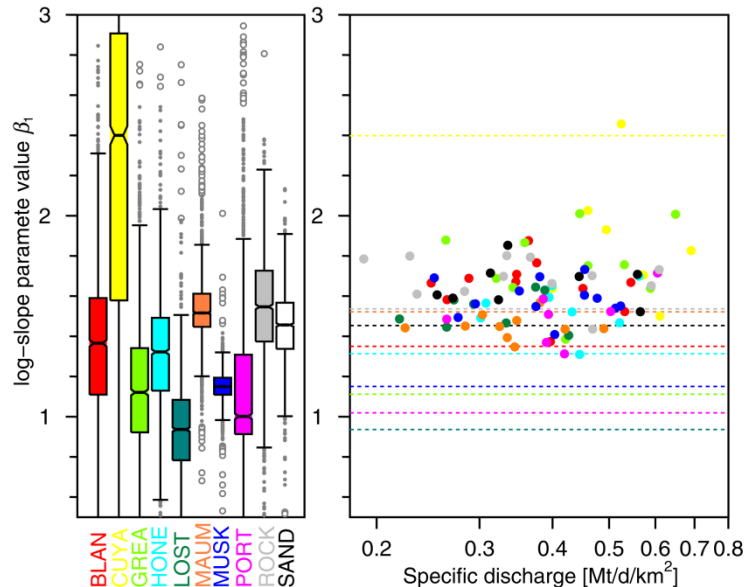


Fig.1 年単位の RC の指数パラメータ値 (左) と、各年度毎の RC の指数パラメータ値 (右) の分布 (SS)