

水質モデルの新規巻き直し；水質サンプリングと汚濁負荷推定法の見直し A new deal of water quality model; Revisions of methods for water quality monitoring and NPS pollute load estimation

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

1. はじめに

持続可能な社会の実現のためには、農業を含め人間活動が環境と調和のとれたものでなければならない。水質汚濁の観点から見れば、湖沼や河川、閉鎖性水域などの水体の健全な水環境を損なうことなく農業活動を行うことが、具体的な目標となろう。このためには、水体が持つ、汚濁物質などを無理なく同化することのできる容量である環境容量 (loading capacity、あるいは carrying capacity) を調べ、その範囲内に水体からみて異地性の流入負荷と現地性の生産負荷量の合計を取めることが必要となる。このような観点から、わが国の流総計画 (流域別下水道整備総合計画) や米国の TMDLs (Total maximum daily loads) は設計されている。

この水体の環境容量は直接観測により得られるのではなく、多くの場合数値モデルにより推定される。この場合、水体への流入負荷量 (あるいは水質濃度と流量) の値は点源と面源の区別無く、入力データとして必要となる。しかしながら面源からの流入負荷量の確からしさはお世辞にも実用的とはいえないし、またそれをもとに定められた土地利用別原単位の値も同様である。従って、数値モデルの精緻さや仮定の妥当性の向上とならび、モデルの入力値となる水質データの精度向上もまた重要な課題である。本発表ではこの点を中心に、持続可能な水環境政策を実現するためのモデルとデータのあり方について触れたい。

2. 入力データの不確かさの評価；NPS 負荷量の例

わが国の閉鎖性水域の水質保全対策の中で、面源負荷量や面源原単位の推定精度が低いこと、およびその値が大きな偏りを持っていることが危惧されている。もしこれらの値が過小評価であれば、それに基づいた汚濁負荷量の総 (流入) 量規制による水質改善効果は低い、疑わしいものとなるであろう。

負荷量の不偏推定に関する我々の研究の結果、べき

乗型 LQ 式 ($\hat{l}_i = a_0 q_i^{a_1}$ 、 $\hat{l}_i \cdot q_i$ は瞬間流出負荷量推定量・瞬間流量、 $a_0 \cdot a_1$ はパラメータ) と重点的サンプリング法を用いて、負荷量の不偏推定が可能となった。さらに、わが国で行われている通常のべき乗型 LQ 式による点推定量 ($\Sigma a_0 q_i^{a_1}$) は、 $1/\exp(s^2/2)$ だけ過小評価となっていること (s^2 は対数空間上での LQ 式の残差分散) と、信頼区間の幅は s^2 と標本数 n により決まることも明らかにされてた (Fig.1、この図は IS 法以外のサンプリングによる偏りを含まないもの)。わが国のべき乗型 LQ 式の適用で一番の問題は、欧米では考慮されることの多いこの手の過小推定を補正するバイアス修正が全く顧みられていないことである。今後新たな調査データをもとに原単位などを改訂するにしても、適切な推定法を採用することが大切である。

3. 水質汚濁対策のためのモデル評価と不確かさ

水質モデルを降雨流出モデルと比較したときの相違点として、降雨流出モデルでの貯留部にあたるシステム内の物質のストックが大きなことと、雨量や蒸発量と比べて流入物質量などの入力データの不確かさが大きなことをあげられよう。このため、水質モデルの年

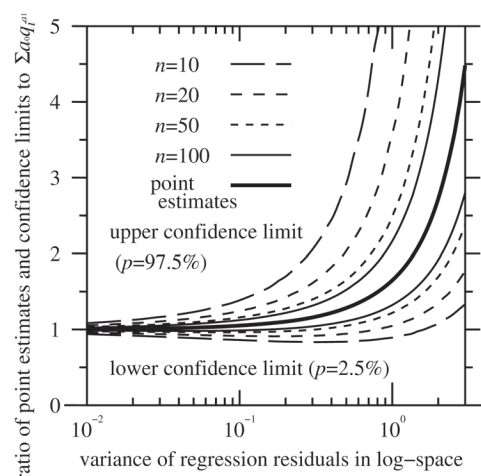


Fig.1 Ratio of biases of point estimates and confidence limits to $\Sigma(a_0 q_i^{a_1})$

(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, 不確かさ, 水質モデル, 水質汚濁対策

単位等の長期間でのシステムを出入りする入・出力量が均衡せず、結果としてモデルの再現性が低下しやすい。実際に後者について、流入負荷量の推定精度が汚濁対策のための負荷削減対策の意志決定にどのように影響するか、今その例として、単純な収支モデルである TMDL の決定過程を考えることとする。

$$TMDL = WLA + NPL + BL + FG = LC - MOS \quad (1)$$

ここで TMDL は水体の水環境を悪化させずに流入することのできる負荷量の最大量 (TMDL の値は日単位だが、ここでは年単位で考えるものとする)、WLA は点源負荷の総量、NPL が面源負荷総量、BL は山林など自然流域からの発生負荷量、FG は将来の成長に伴う負荷増大量、LC が水体の環境容量、MOS が不確かさである。いま簡便のため、 $FG = 0$ とし、MOS は各々の割当量のうちに implicit に含まれるとすると、

$$TMDL = WLA + NPL + BL = LC \quad (2)$$

いま、閉鎖性水域の調査と数値モデルにより、 $LC = 100[t/y]$ であったとする。LA、NPL、BL の点推定量がそれぞれ 40、30、30[t/y] だったとする。この場合、LC が発生負荷の総和と一致しており、汚濁が生ずる境界にあると考えられる。ここで次のようにして不確かさを導入する。まず LA の負荷量は正規分布に従い、 $s = 1[t/y]$ とする (95% 信頼区間幅が 1 割)。また BL の推定は、標本数 30 個で LQ 式の対数空間上での回帰残差分散 s^2 が 0.1 であるデータによるものとする。この場合、発生負荷の総量を LC 以下にするためには、残余の NPL ($= LC - LA - BL$) の分布を調べ、この NPL を確率的にどの値までに抑えるべきか考えれば良い。実際にモンテカルロシミュレーションで得られ

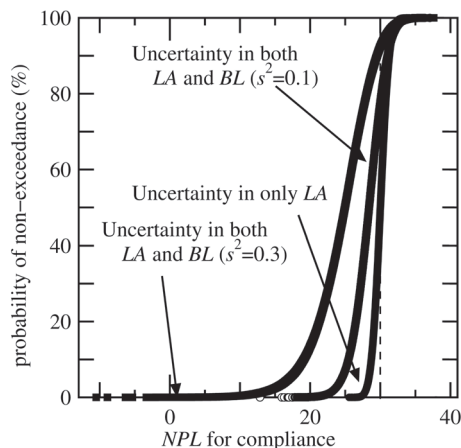


Fig.2 Probability of non-exceedance of NPL for TMDL compliance

た NPL の分布を Fig.2 に示す。この分布から、危険率 5% で汚濁負荷削減を実現するならば、NPL を 24.5[t/y] 以下に抑えなくてはならないことがわかる (ちなみに $s^2=0.3$ ならば 17.0[t/y] 以下、 $s^2=0$ ならば 28.4[t/y] 以下)。Table 1 に奈良県の造成農地流域 (A、11.77ha) と山林流域 (B、12.14ha) で 1991-1993 年に得られたデータによる、べき乗型 LQ 式の指数パラメータ a_1 と対数空間上での残差分散 s^2 の値を示した。人為的影響の小さな山林であっても造成農地よりも s^2 の値が小さいとはいえない。わが国での閉鎖性水域への流入負荷のうち、山林等の BL の占める割合が高いことが想定される。 s^2 が大きいのであれば、Fig.1 から明らかのように、その不確かさを小さくするためには標本数を十分確保しなければならない。

4. 持続可能な水環境維持のための水質モデルへ

人類の生産活動を水環境と調和した持続可能なものとするためには、適切な調査法と推定法に基づく、面源負荷量・原単位の不偏推定量を元に、モデルによる流域の水環境の現状評価や水質汚濁対策の再評価、すなわちモデルの新規まき直しが必要である。その際に、区間推定結果等に基づいて、モデル入力値としての面源負荷量の不確かさの取り扱いが必要になる。例えば、モンテカルロ法を導入してパラメータや入力値の不確かさを適切に考慮して、モデル出力に反映する必要も出てこよう。不確かさを考慮しないモデル出力はモデルの残差成分の変動の情報を含まず、結果的にモデル出力の分布に基づく確率的解釈を不可能としているため、上記のような手続きが必要とされている。

謝辞 本研究は科学研究費補助金 (No.23580333、No.15K07646) の助成を受けて実施したものである。

参考・引用文献 多田明夫・田中丸治哉 (2015)、平成 27 年度農業農村工学会大会講演会要旨

Table 1 Regression coefficients and variances of regression residuals in log-space

	A			B		
	n	a_1	s^2	n	a_1	s^2
TN	135	1.1	0.24	99	1.2	0.37
TP	135	1.6	0.30	99	1.2	0.46
COD	133	1.2	0.10	97	1.2	0.22
Na ⁺	135	0.66	0.15	99	0.89	0.066
K ⁺	135	1.1	0.065	99	1.1	0.062
Ca ²⁺	135	0.91	0.076	99	0.89	0.017
Mg ²⁺	135	0.86	0.10	99	0.93	0.015
SO ₄ ²⁻	135	0.99	0.25	99	1.0	0.046
Cl ⁻	135	0.79	0.073	99	0.91	0.034
Si	135	0.88	0.061	99	0.91	0.006