

## 水量・水質の再現性を両立させるための河川水質モデルの多目的最適化 Multi-objective optimization of loading and solute concentration models for simulating stream flow and water quality with acceptable accuracy

○田中丸治哉，渡辺浩二，多田明夫

○Haruya TANAKAMARU, Koji WATANABE and Akio TADA

**1. はじめに** これまで、河川の流出負荷量や水質濃度を推定するための様々な水質モデルが提案されてきたが、精緻なモデルであっても河川流量ないし水質変動の再現性が不十分な検討事例が見られる。本研究は、既存のシンプルな水質モデルを用い、水質データが高頻度で観測されている状況において、多目的最適化手法（妥協計画法）を用いてパラメータを同定することで、河川流量と流出負荷量の再現性を両立させたモデル、あるいは、河川流量と水質濃度の再現性を両立させたモデルを得ることを目指したものである。

**2. 対象流域と解析資料** 本研究では、奈良県五條市の山林小流域（12.82ha）を対象とした。降水量・流量データには、2007年5月1日～2011年4月30日の10分単位データを用いた。蒸発散データには、五條の気象データに基づき Penman 式で推定した日蒸発散能を用いた。水質データには、FIP オンサイト水質観測システム<sup>1)</sup>で観測されたナトリウムイオン濃度データ（Na<sup>+</sup>）を用いた。この観測データを線形補間によって10分単位に変換したものを水質濃度の観測値とし、これに観測流量を乗じたものを流出負荷量の観測値とした。なお、水質データの観測期間は対象期間の後半2年弱で比較的短いことから、データ期間を同定期間と検証期間に分けず、全期間をパラメータ同定に用いている。

**3. 河川水質モデル** 流出負荷量の推定には、長短期流出両用モデル（LST-II）<sup>2)</sup>にべき乗型 LQ 式（ $L = \alpha Q^\beta$ ， $L$ ：流出負荷量， $Q$ ：流量， $\alpha$ と $\beta$ は係数）を組み合わせたものを、水質濃度の推定には、同モデルにべき乗型 CQ 式（ $C = \alpha Q^\beta$ ， $C$ ：水質濃度， $Q$ ：流量， $\alpha$ と $\beta$ は係数）を組み合わせたものを用いる。LST-IIは3段4層のタンクから成る貯留型概念モデルで、第1段タンク上層からの流出は表面流出と速い中間流出を、同タンク下層からの流出は遅い中間流出を、第2段タンクと第3段タンクからの流出は地下水流出を表している。そこで、これら4成分にそれぞれLQ式ないしCQ式を当てはめることとした。決定すべきパラメータ数は、LST-IIが14個（初期水深を含む）、LQ式、CQ式がそれぞれ8個であるから、流出負荷量モデル、水質濃度モデルともに合計22個である。

**4. パラメータ同定法** これらのパラメータは、SCE-UA法を用いて、河川流量及び流出負荷量の再現誤差が小さくなるように決定するが、誤差評価関数には流量、水質（流出負荷量、水質濃度）ともに最小二乗誤差平方根（RMSE）を用いた。パラメータ同定には、次の①～③の手法を適用する。以下では、流出負荷量を例として説明するが、水質濃度のときは「流出負荷量」を「水質濃度」に、「LQ式」を「CQ式」に置き換えればよい。

- ①河川流量の再現誤差を最小化してLST-IIのパラメータ14個を決定後、その計算流量に基づいて得られる流出負荷量の再現誤差を最小化してLQ式のパラメータ8個を同定する。
- ②流出負荷量の再現誤差を最小化して、全パラメータ22個を同定する。
- ③河川流量と流出

---

神戸大学大学院農学研究科，Graduate School of Agricultural Science，Kobe University

キーワード：流出モデル，流出負荷量モデル，水質濃度モデル，多目的最適化，妥協計画法

負荷量の再現誤差を両立させる解を妥協計画法<sup>3)</sup>で同定する。すなわち、河川流量の再現誤差を横軸に、流出負荷量の再現誤差を縦軸に取った目的関数平面を考え、①で求めた河川流量と流出負荷量の *RMSE* 値をそれぞれ  $f_1^{\min}$ ,  $f_2^{\max}$ , ②で求めた河川流量と流出負荷量の *RMSE* 値をそれぞれ  $f_1^{\max}$ ,  $f_2^{\min}$  とする。そして  $(f_1^{\min}, f_2^{\min})$  を理想点とし、目的関数平面上で理想点からのユークリッド距離が最小となるようなパラメータを探索する。

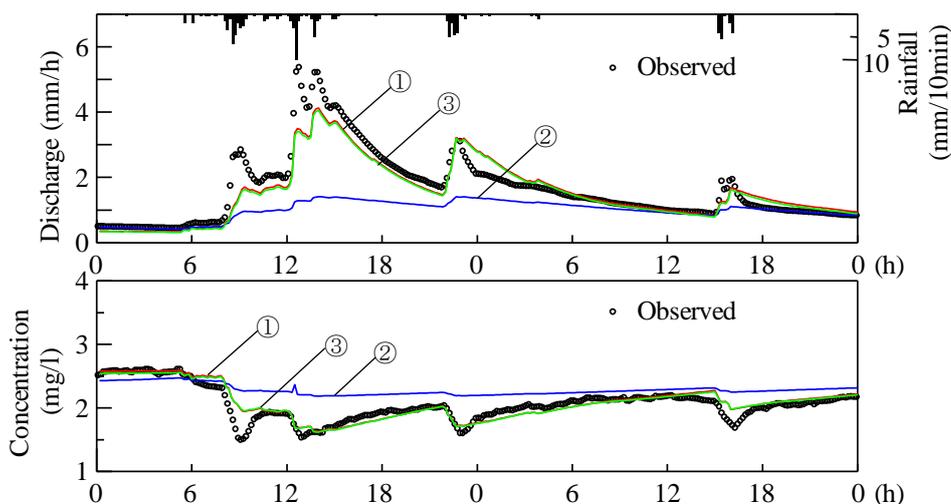
**5. 結果と考察** ①は河川流量を最重視、②は河川水質を最重視、③は両者の両立を図ったものに相当する。**Table 1** に流出負荷量モデルの再現誤差を、**Table 2** に水質濃度モデルの再現誤差を示しているが、①は流量が最良、水質が最悪、②は流量が最悪、水質が最良であるに対して、妥協計画法による③は、流量・水質とも最良にかなり近い結果となっていて、両者の再現性が両立していることが分かる。**Fig.1** に最大出水時の再現結果を例示しているが、①③は流量・水質とも概ね良好な結果であるが、②は再現性が不十分であった。なお、長期ハイドログラフで見ても、③による流量・水質の再現性は全般に良好であった。

**Table 1** 河川流量及び流出負荷量 (Na<sup>+</sup>) の再現誤差  
Estimated errors of stream flow and sodium loading

同定方法	河川流量		流出負荷量		水収支 誤差 (%)	物質収支 誤差 (%)
	<i>RMSE</i> (mm/h)	相対誤差 (%)	<i>RMSE</i> g/ha/10min	相対誤差 (%)		
①	0.0701	44.9	0.180	38.8	-0.623	0.193
②	0.0818	44.9	0.160	28.0	-0.043	0.712
③	0.0733	37.3	0.166	31.2	0.657	0.277

**Table 2** 河川流量及び水質濃度 (Na<sup>+</sup>) の再現誤差  
Estimated errors of stream flow and sodium concentration

同定方法	河川流量		水質濃度		水収支 誤差 (%)	物質収支 誤差 (%)
	<i>RMSE</i> (mm/h)	相対誤差 (%)	<i>RMSE</i> (mg/l)	相対誤差 (%)		
①	0.0701	44.9	0.1966	5.07	-0.623	5.13
②	0.123	45.9	0.1610	4.24	2.00	9.50
③	0.0713	41.4	0.1612	4.20	2.00	6.91



**Fig.1** 最大出水における河川流量及び水質濃度の再現結果 (2010.7.14-15)  
Estimated result of stream flow and sodium concentration in the largest flood (2010.7.14-15)

引用文献 1)Tada, A. *et al.*: 水文・水資源学会誌, 19(6), pp.445-457, 2006, 2)角屋 睦・永井明博: 農土論集, 136, pp.31-38, 1988, 3)田中丸治哉・藤原洋一: 農土論集, 241, pp.107-115, 2006