

山林小流域における高頻度水質モニタリングと河川水質モデルの最適化について

Water quality monitoring with high temporal resolution in a forested catchment and optimization of loading and solute concentration model

*田中丸 治哉¹、多田 明夫¹、渡辺 浩二²、山本 楓子¹

*Haruya Tanakamaru¹, Akio Tada¹, Koji Watanabe², Huko Yamamoto¹

1.神戸大学大学院農学研究科食料共生システム学専攻、2.八千代エンジニアリング（株）

1.Department of Agricultural Engineering and Socio-Economics, Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, 2.Yachiyo Engineering Co., Ltd.

はじめに

河川の流出負荷量や水質濃度の推定・予測を目的として、河川水質モデルによる水質解析を行った研究事例は多数あるが、かなり精緻なモデルを用いている割には、水質変動の再現性が不十分なものがしばしば見られる。その原因として、水質データの観測頻度が少ないこと、その一方で未知パラメータの数が多くそれらの決定が難しいことが考えられる。さらに、モデルの不完全さから水量・水質の再現性が両立しないことも少なくない。本報告では、山林小流域における長期間・高頻度の水質モニタリングについて紹介した後、その流域にシンプルな河川水質モデルを適用し、水量・水質の再現性を両立させるパラメータ決定手法について検討した結果を示す。

対象流域と水文水質観測

対象流域は、奈良県五條市の山林小流域（12.14ha）で、流域末端に直角三角堰、水位計、雨量計が設置されている。この流域では、これまでFIPオンサイト水質観測システムによるカリウム、ナトリウム、塩化物イオン濃度の長期間・高頻度モニタリングを実施してきた（Tada et al., 2006）。このシステムは、送液にフローインジェクション分析法を、検出部に電気化学分析法（ポテンシオメトリー）を採用したもので、3種の溶存イオン濃度を15分間隔で2週間モニタリングできる。この方法によって観測された濃度はバッチ試験による濃度と合致することが確認されている。本研究では、降水量・流量データには2007年5月～2011年4月の10分単位データを、蒸発散データには五條の気象データに基づきペンマン式で推定した日蒸発散能を用いた。水質データにはナトリウムイオン濃度を用い、先のシステムによる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解析に用いた。ただし、水質データの観測期間は、2009年6月～2011年4月の2年弱で比較的短いことから、河川水質モデルの適用に際しては、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た。

河川水質モデルとパラメータ同定法

河川水質モデルには、長短期流出両用モデル（LST-II, 角屋・永井, 1988）にべき乗型のLQ式もしくはCQ式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の概念的流出モデルで、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、流出負荷量を推定する際には、これら4流出成分にLQ式を、濃度を推定する際には4流出成分にCQ式を当てはめた。このモデルにおいて決定すべきパラメータの個数は、LST-IIが初期水深を含めて14個、LQ式（もしくはCQ式）が8個（2個×4成分）で、合計22個である。これらのパラメータは、大域的探索法の一つであるSCE-UA法を用いて、河川流量及び流出負荷量（濃度）の再現誤差が小さくなるように決定するが、誤差評価関数には河川流量、流出負荷量（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、多目的最適化手法の一つである妥協計画法を適用する（田中丸・藤原, 2006）。流出負荷量推定の場合を例にとると、同法は次の①～③の手順から成る。①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流量の再現誤差を横軸に、負荷量の再現誤差を縦軸に取った目的関数平面を対象として、①と②の結果からプロットされる理想点との距離が最小になる点（妥協解）を探索する。

適用結果

先に述べたパラメータ決定手順において、手順①で得たモデルは、河川流量の再現性を最重視したモデル、手

順②で得たモデルは、流出負荷量の再現性を最重視したモデル、手順③で得たモデルは、河川流量と流出負荷量の再現性を両立させたモデルと位置づけられる。各モデルの再現誤差 (RMSE) を比較したところ、モデル①は流量の再現性は最良だが負荷量の再現性が最悪、モデル②は流量の再現性は最悪だが負荷量の再現性は最良となった。一方、モデル③では、流量の再現性は最良ではないがモデル①の再現性に近く、負荷量の再現性も最良ではないがモデル②の再現性に近かったことから、河川流量、流出負荷量ともに最良に近いモデル③は、総合的に見れば最も優れたモデルであると判断された。濃度推定モデルの最適化におけるモデル①～③の比較においても同様の結果を得た。こうして得られたモデルについて、河川流量、流出負荷量、濃度の時系列の再現性を確認したところ、低水時、高水時ともに概ね良好な再現結果を得た。

キーワード：水質モニタリング、フローインジェクションポテンシオメトリー、河川水質モデル、長短期流出
両用モデル、多目的最適化、妥協計画法

Keywords: water quality monitoring, flow injection potentiometry, loading and solute concentration
model, Long- and Short-Term Runoff Model, multi-objective optimization, compromise
programming