

組み合わせ最適化を用いた分布型流出モデルのパラメータの推定 Parameter Estimation of a Distributed Runoff Model by Combinatorial Optimization

○松本和宏・宮本守・田中茂信・田中賢治

○Kazuhiro MATSUMOTO, Mamoru MIYAMOTO, Shigenobu TANAKA, Kenji TANAKA

A combinatorial optimization technique is presented to divide multiple hydrographs into a small number of groups and to estimate the hydrological parameters of each group to reduce the error between the observed and the simulated discharge. The presented technique is evaluated with the discharge data observed in nine flood events and at three water level stations in the Abe River basin in Shizuoka Prefecture. An optimization result is demonstrated to divide twenty seven hydrographs into eight groups. One parameter set estimates seven hydrographs out of twenty seven and is recognized as the most common to describe the runoff behavior in the basin. Some other parameter sets only estimate the hydrographs observed at the specific water level stations. Advantage of the presented technique is to enhance to explain the various discharges of the flood events accurately and to enable to provide information which hydrographs look like each other based on the hydrological parameters used to estimate the discharges.

1. はじめに

洪水予測シミュレーションでは、雨量などのデータを入力とし、河川の流量を計算する。流量の計算値は、洪水予測シミュレーションのシミュレータに設定するパラメータなどの値に依存する。

パラメータとは、例えば、粗度係数、最終浸透能、流出係数などである。降雨前の土壌の湿潤の程度も流量に影響するため、パラメータに加えて扱う。

複数のハイドログラフを少数のグループに分け、グループごとにハイドログラフを説明するパラメータを推定することにより、多様な洪水イベントにおける流量を精度良く計算する最適化計算手法を提案し、静岡県安倍川流域で発生した洪水イベントについて観測されたハイドログラフを対象に解析した結果について報告する。

一組のパラメータの設定値をもとに、様々な洪水イベントにおける流量を正確に計算できるのが理想である。しかしながら、洪水イベントには、降雨前の流域の湿潤状態や、降雨や流出の進行、季節など多様な状況が存在するために、必ずしも、一組のパラメータの設定値をもとにあらゆる洪水イベントでの流量を正確に計算できるとは限らない。

洪水イベントの多様さに対応する研究事例として、立川ら¹⁾が知られている。粒子フィルタの方法を用いて、洪水イベントの進行に応じて、パラ

メータの値を変更し、流量の予測精度を高めている。その他に、複数のパラメータの設定値を用意して、洪水イベントの進行に応じて、適切なものを選択して用いる方法がある。

2. 問題設定

静岡県安倍川流域を解析の対象とした。松本ら²⁾と同様である。流域面積は 567km² である。安倍川と藁科川が合流し、駿河湾に注いでいる。雨量と流量の各々について、13 か所の雨量観測所と 3 か所の水位観測所で観測したデータを用いた。水位観測所は、牛妻、手越、奈良間である。牛妻は安倍川の上流、手越は安倍川と藁科川の合流地点の下流、奈良間は藁科川の上流に位置する。

2005～2012 年の期間において、手越での最大流量が 1,000m³/s を超えた 9 回の洪水イベントを対象にした。時期について 6～11 月、継続日数について 2～8 日、総降雨量について 145.6～508.1mm、最大流量について 1,158～3,501m³/s などの多様な洪水イベントを対象にしている。9 回の洪水イベントを F1～F9 とする。

流量の計算には、土木研究所が開発し、公開している総合洪水解析システム Integrated Flood Analysis System IFAS に実装されている土研分布モデルを用いた。流域を 500m×500m のメッシュに分割し、各メッシュに表層タンクと地下水タンク

の2段のタンクを配置して、流量を計算した。地表面の粗度係数、最終浸透能、遅い中間流の流出係数、基底流出係数、シミュレーションの開始時点での表層タンクと地下水タンクの水位をパラメータとして解析の対象にした。粗度係数と最終浸透能については、森林、裸地等、畑地、市街地、水域の5種類の土地利用に応じて、別々のパラメータを割り当てた。そのため、解析の対象にしたパラメータは、合計14種類である。

宮本ら³⁾は、水防活動を安全に計画するために洪水予測シミュレーションの計算値に期待される適性を提案している。同様に、最適化計算の問題設定についての第一の制約条件として、最大流量を観測する時刻以前に、計算流量の最大値について、観測流量の最大値から最大値×1.2倍の範囲内に計算することを設定した。第二の制約条件として、観測流量が増加する時刻において、観測流量以上の流量を計算することを設定した。最適化計算の目的関数について、流量の計算値と観測値の平均二乗誤差を最小化するように設定した。継続時間を過小評価しない方が望ましいため、継続時間を過小に評価する場合に、その時間に応じて、観測流量の平均二乗値をペナルティとして目的関数に加算した。水位観測所ごとに異なる流量の規模を調整するために計画高水水位をもとに重みを設定して平均二乗誤差を正規化した。

14種類のパラメータについて、ラテン超方格法サンプリングを簡単にした方法で10,001通りを一樣にサンプリングして流量を計算した。表層タンクと地下水タンクの初期水位の組み合わせについて、下限値と下限値、下限値と上限値、上限値と下限値、上限値と上限値の4種類の各々を用意し、残りの12種類のパラメータについて10,001通りを一樣にサンプリングして流量を計算した。

27種類のハイドログラフと50,005組みのパラメータの値の組み合わせに関して、どのハイドログラフを、どのパラメータのサンプリング値を用いて計算すると、制約条件を満足する範囲内で重み付き誤差を最小にできるかについて、最大で2の27×50,005乗の可能性を対象に数理最適化を用いて解析した。

3. 解析結果

数理最適化の計算結果を表-1に示す。横方向に9回の洪水イベント、縦方向に3か所の水位観測所の組み合わせを示す。それぞれの組み合わせの

場合の流量を適切に計算するパラメータとしてA～Hの8種類の最適化結果を得た。Eが27種類中7種類のハイドログラフを説明しており、8種類のパラメータの中で最多である。A、F、CとDは、それぞれ牛妻、手越、奈良間の各水位観測所のハイドログラフのみを説明している。特定の洪水イベントのみを説明するパラメータはなかった。

表-1. 最適化計算の結果

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
牛妻	G	G	A	B	B	H	B	A	E
手越	E	H	E	B	E	F	H	E	F
奈良間	E	E	C	D	G	D	H	D	C

4. おわりに

複数のハイドログラフを少数組みのパラメータを用いて説明する数理最適化の解析例について報告した。安倍川流域における観測データを対象にした解析では、27種類のハイドログラフを説明するために8組みのパラメータを用意する必要がある結果を得た。進行中の洪水イベントについて、類似する洪水イベントが最適化計算の対象に含まれていれば、そのパラメータを用いて、流量を精度良く計算できることが期待される。このような状況を想定して、進行中の洪水イベントについて、用意したパラメータのうちのどれを選択して流量を計算するのが適当かを定める技術開発に取り組む予定である。最適化結果であるハイドログラフのグループ分けに関して、パラメータの類似性や洪水イベントの類似性などのデータ間の関連性についての分析にも取り組みたい。

参考文献

- 1) 立川康人, 須藤純一, 椎葉充晴, 萬和明, キムスンミン: 粒子フィルタを用いた河川水位の実時間予測手法の開発, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 67, No. 4, I_511-I_516, 2011.
- 2) 松本和宏, 宮本守, 山影譲, 津田守正, 屋並仁史, 穴井宏和, 岩見洋一: 多目的最適化による複数の水位観測地点の流量を再現するパラメータ推定法, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 72, No. 4, I_169-I_174, 2016.
- 3) 宮本守, 松本和宏, 津田守正, 山影譲, 岩見洋一, 屋並仁史, 穴井宏和: 洪水予測適性を考慮した分布型流出モデルパラメータの同定手法の検討, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 72, No. 4, I_175-I_180, 2016.