

多地点最適化手法を用いた分布型モデルのパラメータ最適化 Parameter Optimization of a Distributed Model Using a Multi-site Optimization Approach

○山下大輔・佐山敬洋・渡邊晋也
○Daisuke YAMASHITA, Takahiro SAYAMA, Shinya WATANABE

Distributed rainfall-runoff models can incorporate spatial information such as land use and geology; however, their predictive performance depends strongly on appropriate parameter estimation. In operational flood forecasting, cascade optimization—where parameters are independently calibrated for sub-basins from upstream to downstream—is widely used, but it may result in inconsistent parameter sets and insufficient performance at non calibration or ungauged locations. This study examines a multi-site optimization approach that simultaneously calibrates parameters at multiple streamflow observation stations to obtain a spatially consistent parameter set for an entire basin. The approach was applied to the Tenjin River basin in Japan using the distributed RRI model and evaluated by comparison with cascade optimization and cross-validation using independent flood events. The results show that multi-site optimization achieved reproducibility comparable to cascade optimization at calibration sites while reducing parameter variability among geological units and improving reproducibility at representative non calibration locations. (145 words).

1. はじめに

分布型流出モデルは、土地利用や地質などの空間分布情報を考慮できる点で洪水予測に有用である。一方で、洪水予測精度はモデルパラメータの設定方法に大きく依存する。実務における洪水予測では、上流から下流へ順次パラメータを設定するカスケード最適化が一般的に用いられている。しかし、この手法では、地質区分ごとに異なるパラメータが設定される可能性があり、流域全体での一貫性が確保されない場合がある。また、観測所条件の違いにより、再現性にばらつきが生じることも指摘されている。

本研究では、複数の流量観測所の情報を同時に用いて流域全体のパラメータを一括で推定する多地点最適化手法を適用し、従来のカスケード最適化との比較を通じて、その有効性を検討する。

2. 方法

(1) 流出モデル

流出解析モデルとして水害リスクラインで採用されている Rainfall-Runoff-Inundation (RRI) モデルを用いた。

(2) 対象流域

対象流域は鳥取県を流れる天神川水系とした。天神川流域は流域内の土地利用は 89%が森林となり、他の土地利用は面積支配率が小さい。そ

のため土地利用の影響は小さいことから、流域全体を表層地質の区分毎のパラメータを設定、最適化した。

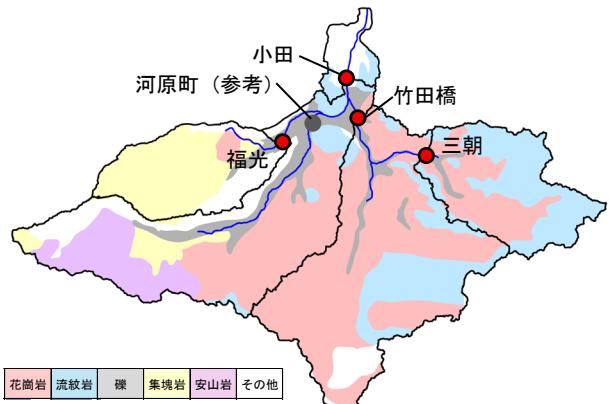


図-1 天神川水系 表層地質分類

(3) カスケード最適化

カスケード最適化の手順は以下の通りとする。

最初に三朝地点、福光地点のパラメータ最適化を行う。次に三朝地点の観測流量を境界条件で与えて竹田橋地点の最適化を行う。最後に竹田橋、福光地点の観測流量を境界条件で与えて小田地点の最適化を行う。各地点のパラメータ最適化は SCE-UA 法を採用し、評価関数は RMSE とする。

(4) 多地点最適化

流域内の 4 地点の観測流量を対象にパラメータの最適化を同時に行う。各地点のパラメータ最適

化はSCE-UA法を採用し、評価関数は各地点のRMSEの平均値とする。

(5) 交差検証

最適化に用いていない観測所を対象として、カスケード最適化と多地点最適化による洪水予測精度がどのように異なるかを分析するため交差検証を行った。例えば竹田橋地点を検証地点とする場合、多地点最適化は小田、福光、三朝地点でパラメータを最適化し、竹田橋地点のNSEを評価した。カスケード最適化については三朝、福光地点で観測流量を境界条件として与えて、小田地点でパラメータを最適化し、竹田橋地点のNSEを評価した。

3. 結果と考察

(1) カスケード最適化と多地点最適化

解析の結果、多地点最適化はカスケード最適化と同程度の精度を維持できることが確認された。加えて、多地点最適化では、地質区分間におけるパラメータのばらつきが抑制され、流域全体として一貫性のあるパラメータ分布が得られた。

表-1 多地点最適化手法のNSE一覧

| 地点 | 最適化手法 | 最適化対象洪水 | | | | 検証洪水 | | | |
|-----|-------|---------|-------|------|------|-------|-------|------|--|
| | | H29.9 | H30.9 | R3.7 | 平均 | H30.7 | R5.8 | 平均 | |
| 小田 | 多地点 | 0.91 | 0.98 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.88 | 0.91 | |
| | カスケード | 0.95 | 0.99 | 0.94 | 0.96 | 0.95 | 0.85 | 0.92 | |
| 竹田橋 | 多地点 | 0.95 | 0.96 | 0.80 | 0.91 | 0.97 | 0.79 | 0.88 | |
| | カスケード | 0.92 | 0.97 | 0.95 | 0.95 | 0.92 | 0.76 | 0.84 | |
| 福光 | 多地点 | 0.67 | 0.91 | 0.89 | 0.82 | 0.72 | 0.44 | 0.58 | |
| | カスケード | 0.88 | 0.93 | 0.89 | 0.90 | 0.72 | -0.62 | 0.05 | |
| 三朝 | 多地点 | 0.93 | 0.98 | 0.89 | 0.93 | 0.69 | 0.91 | 0.80 | |
| | カスケード | 0.98 | 0.98 | 0.92 | 0.96 | 0.80 | 0.97 | 0.88 | |

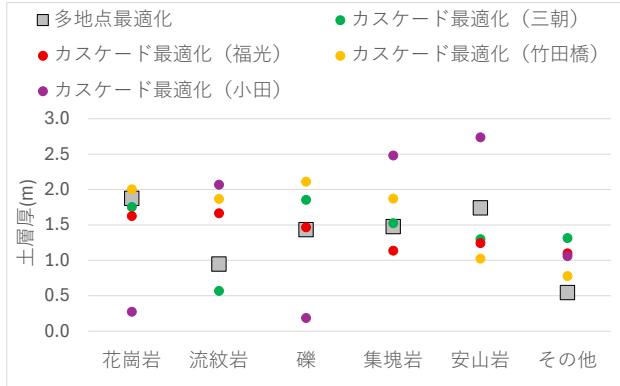


図-2 最適パラメータ（土層厚の事例）

(2) 交差検証

交差検証の結果、多地点最適化はカスケード最適化と比較して、同程度以上の精度を確保できることが確認された。一方で、地質条件や流域特性が大きく異なる三朝、福光地点では、NSEが0.7を下回り、特徴的な土地利用・地質を有する流域は対象地点として含むことが必要となることが示さ

れた。福光地点は、多地点最適化が観測値に対して小さめ、カスケード最適化は大きめでいずれも精度が悪いが、河原町観測所を見ると多地点最適化が概ね精度よく再現できている。この点からカスケード最適化は福光地点上流域と河原町地点上流域の地質特性の違いを考慮せずにパラメータを設定するが、多地点最適化は竹田橋、三朝地点等を考慮したことで、福光地点と河原町地点の流出特性の違いが反映されたパラメータとなった。

表-2 交差検証法によるNSE一覧

| 地点 | 最適化手法 | 最適化対象洪水 | | | | 検証洪水 | | |
|-----|--------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | H29.9 | H30.9 | R3.7 | 平均 | H30.7 | R5.8 | 平均 |
| 小田 | 多地点最適化（当該除く） | 0.90 | 0.98 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.89 |
| | 多地点最適化（全地点） | 0.91 | 0.98 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.91 |
| 竹田橋 | 多地点最適化（当該除く） | 0.85 | 0.89 | 0.82 | 0.85 | 0.94 | 0.871 | 0.90 |
| | カスケード最適化 | 0.92 | 0.87 | 0.84 | 0.87 | 0.89 | 0.870 | 0.88 |
| 三朝 | 多地点最適化（全地点） | 0.95 | 0.96 | 0.80 | 0.91 | 0.97 | 0.79 | 0.88 |
| | 多地点最適化（当該除く） | 0.33 | 0.15 | 0.56 | 0.34 | 0.20 | 0.35 | 0.28 |
| 福光 | カスケード最適化 | 0.30 | 0.11 | 0.54 | 0.32 | 0.26 | 0.38 | 0.32 |
| | 多地点最適化（全地点） | 0.93 | 0.98 | 0.89 | 0.93 | 0.69 | 0.91 | 0.80 |
| 河原町 | 多地点最適化（当該除く） | 0.13 | 0.64 | 0.74 | 0.51 | -1.37 | 0.09 | -0.64 |
| | 参考 | -2.17 | 0.93 | 0.53 | -0.24 | -0.05 | -0.12 | -0.08 |
| 河原町 | カスケード最適化 | 0.67 | 0.91 | 0.89 | 0.82 | 0.72 | 0.44 | 0.58 |
| | 多地点最適化（全地点） | 0.91 | - | -0.69 | 0.11 | -0.31 | 0.82 | 0.26 |

: NSE0.7以上、太字: 精度高
※カスケード最適化は当該地区を除き下流地点で最適化
※河原町地点は福光地点の交差検証時の結果

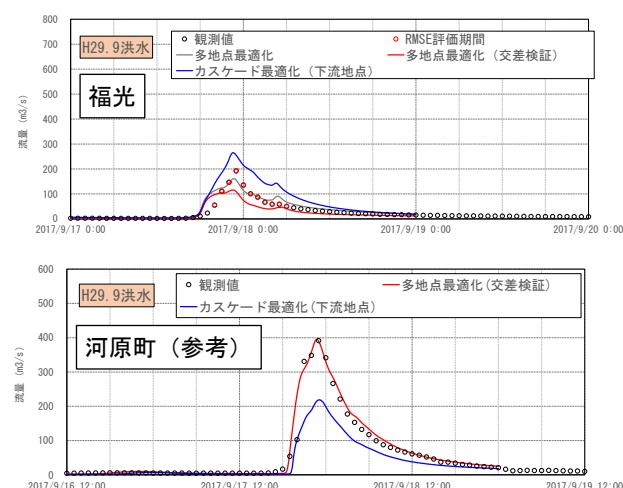


図-3 福光地点の交差検証によって得られた最適パラメータによる再現計算結果 (H29.9 洪水)

4. 結論

本研究では、多地点最適化手法を分布型RRIモデルに適用し、天神川水系を対象としてカスケード最適化との比較を行った。その結果、多地点最適化は、流域内の観測所における再現性を維持しつつ、地質区分間でのパラメータのばらつきを抑制できることを示した。

以上より、多地点最適化は、流域内で一貫性のあるパラメータ場を構築する手法として有効であり、分布型洪水予測モデルの信頼性向上に寄与する可能性がある。