

第II部門

アジョイントデータ同化を用いた加古川における短期流出予測

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○中尾明浩
大阪大学大学院工学研究科 正会員 入江政安

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 永野隆紀

1. はじめに

近年、豪雨災害が激甚化しており、地球温暖化もその一因と言われている。数時間先の予報降雨から精度よく流出を予測することは、洪水対策上、重要な課題である。本研究においても使用する分布型流出モデルは、流域を格子状に分割し、空間的な入力情報を考慮できるため流出予測に有効であるが、モデルパラメータの数が多く、また観測で得ることが困難なデータが多いため、計算精度低下の要因となりうる。モデルパラメータの推定にはデータ同化が用いられることも多く、本研究では、小田ら¹⁾を参考に、データ同化の1つであるアジョイント法によるパラメータの推定を行い、短期降雨流出予測の精度向上を試みる。

2. 流出モデルの概要と再現性評価

本研究で用いる RRI モデル²⁾は降雨、河川流出、氾濫を流域スケールで一体的に解析できるモデルである。本研究の対象は加古川で、HydroSHEDS からダウンロードした地形データを用いて緯度経度 30 秒の長方形格子で流域を分割した。雨量として解析雨量を与え、土地利用は国土数値情報から得た。

流量のモデル計算値と観測値の乖離が大きすぎると適切な同化効果が得られないため、同化前の計算の精度向上のために、小流域スケールでパラメータの調整を行った。図-1 に流域内の流量観測地点（三角印）と色分けした小流域図を示す。パラメータの調整を行う期間として 2015 年 7 月 16 日からの洪水イベントを選定した。表-1 に各観測地点における Nash 係数を示す。全地点において Nash 係数が 0.8 を上回っていることが分かる。

3. アジョイント法の概要と同化効果検証

本研究では、アジョイント法を用いて RRI モデルのパラメータを推定する。本推定法では、パラメータのみを制御変数とし、数値モデルと観測値の双方に含

まれる誤差を考慮した以下の評価関数 J を最小化することで尤もらしいパラメータを推定する。

$$J = \frac{1}{2} \delta \mathbf{z}^T \mathbf{B}^{-1} \delta \mathbf{z} + \frac{1}{2} (\mathbf{d} - \mathbf{H}\mathbf{M}(\delta \mathbf{z}))^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{d} - \mathbf{H}\mathbf{M}(\delta \mathbf{z}))$$

$$= \frac{\delta \mathbf{p}^2}{2\sigma_p^2} + \frac{(\mathbf{d} - \mathbf{H}\mathbf{M}(\delta \mathbf{p}))^2}{2\sigma_o^2}$$

ここで、 $\delta \mathbf{z}$ ：制御変数の修正量、 $\delta \mathbf{p}$ ：パラメータの修正量、 $\mathbf{d}_i$ ：観測点における同化前の計算値と観測値の差、 $\mathbf{B}$ 、 $\mathbf{R}_i$ ：背景誤差共分散行列および観測誤差共分散行列、 $\mathbf{M}$ ：接線形モデル、 $\mathbf{H}_i$ ：観測演算子、 σ_p 、 σ_o ：パラメータおよび観測値の誤差標準偏差である。

RRI モデルを用いたアジョイント法データ同化の頑強性を評価するため、まず、双子実験により同化効果の検証を行う。双子実験では、所与のパラメータで計算した結果から擬似観測値を作成し、意図的にずらしたパラメータによる計算結果に擬似観測値を同化することで、推定パラメータが元の値に戻るか、また推定パラメータを用いた計算値が疑似観測値に近づくかどうかを検証する。同化効果の検証は、流量への影響が大きいとされている、粗度係数（河道・斜面）、土層厚、透水係数（側方・鉛直方向）、の 5 つのパラメータにおいてそれぞれ双子実験を実施した。一例として、土層

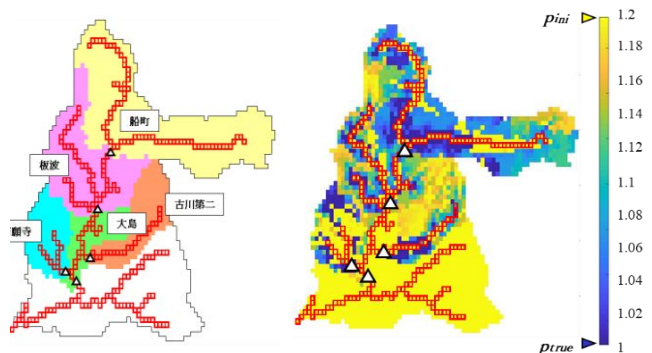


図-1 観測地点とモデル小流域図（左）

図-2 推定された土層厚の空間分布（右）

表-1 パラメータ調整後の Nash 係数

	船町	板波	古川第二	万願寺	大島
調整後	0.939	0.952	0.880	0.809	0.933

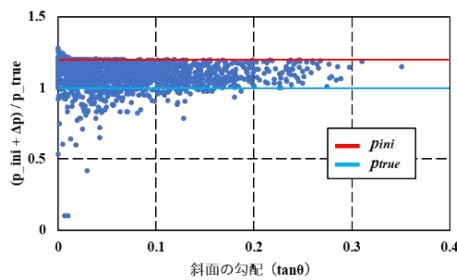


図-3 推定されたパラメータの真値に対する割合と斜面勾配の関係

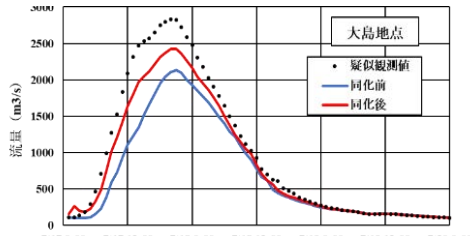


図-4 修正後パラメータを用いた再現計算

厚の推定結果を示す。同化期間は2015年7月17日1時から3日間とし、同化地点は流域内の観測所の5つである。同化前計算のパラメータの値 (p_{ini}) は元の値 (p_{true}) の1.2倍ずらした。図-2に修正された土層厚の空間分布を示し、図-3に推定されたパラメータ値の元の値に対する割合と、斜面勾配の関係を示す。流量観測地点より上流のほぼすべてのグリッドにおいて、パラメータは元の値に近づくように修正された。図-4に修正されたパラメータ値を用いた同期間での再現計算の結果を示す。同化前の計算値よりも疑似観測値に近づいていることがわかり、全体としてデータ同化は成功していることを示している。

4. データ同化を用いた短期流出予測

本研究では、データ同化により短期降雨流出予測の高精度化を行う。推定するパラメータは流量に対する感度が高かった土層厚、斜面・河道の粗度係数を選定し、順に推定した。計算の手順としては以下のとおりである：(1) 雨の降り始める時間を $t=0$ (h) とし、 $t=0$ (h) において助走計算により算出した状態量を $t=1$ (h) からの計算の初期条件とする、(2) 時刻 t において得た流量の観測値 (t 時間分) と同化し、パラメータを推定する、(3) 推定したパラメータを新たな初期条件として、6時間先までの降水予報値により、時刻 $t+6$ (h) までの流量を予測する、(4) 洪水のピークまで時間ステップを更新し、ステップ (2)、(3) を繰り返す。対象とする洪水は、2017年9月17日12時 (Term1) と、

2017年10月22日1時 (Term2) からの洪水イベントである。同化と予測は1時間毎に繰り返した。Term1では $t=17$ (h)、Term2では $t=26$ (h) までの予測計算を行った。なお、Term2では出水の立ち上がり ($t=18$ (h)) において、ほぼ一致するように再現しているが、その数時間後の流量の予測を再現できなかった。これは、誤差の大きな $t=18$ (h) までを同化ウィンドウに含むことで、 $t=18$ (h) 以後の誤差が持つ情報の効果が薄まってしまうためだと考え、追加検証として、 $t=19$ (h) から新たに同化ウィンドウを取り直し、同様に流量を予測した。図-5にTerm1, Term2それぞれの短期流出予測結果を示す。いずれもデータ同化なしの計算値よりも観測値に波形が近づいていることがわかる。

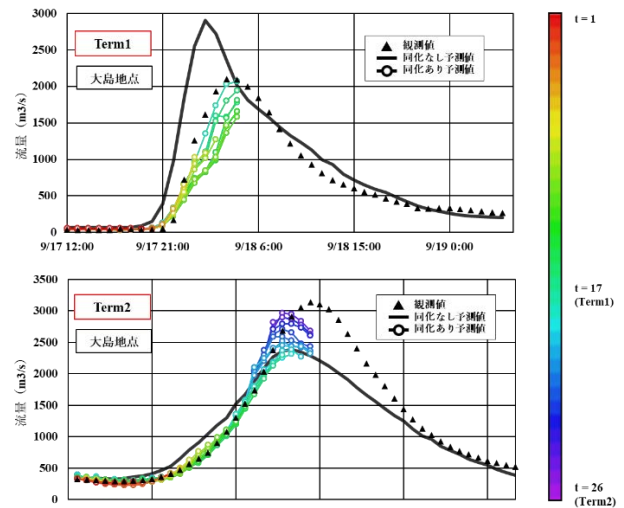


図-5 データ同化を用いた短期降雨流出予測結果

5. まとめ

本研究では、RRIモデルにアジョイント法を適用し、双子実験において同化効果の検証をした。また短期降雨流出予測の精度向上においてアジョイント法が有効であるといえる結果を示せた。ただし、追加検証で用いた同化の開始時期の再設定の適切な方法と検証については、さらなる検討が必要である。

謝辞

本研究の実施に当たり、姫路河川国道事務所より、河川横断面データの提供を受けた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 小田航平, 入江政安, 戸井博彬, 石塚正秀, 田中耕司: アジョイント法を用いた分布型流出モデルのパラメータ推定, 土木学会論文集 B1, Vol.74, No.5, I_145-I_150, 2018
- 2) 佐山敬洋, 岩見洋一: 降雨流出氾濫 (RRI) モデルの開発と応用, 土木技術資料 56-6, 2014