

降雨流出モデルへの粒子フィルタ法の適用に関する検討

岐阜大学工学部	学生員	○西村 翼
岐阜大学大学院工学研究科	学生員	Alatannabuqi Zhang
(株)日水コン中央研究所	正会員	川口 智哉
岐阜大学工学部	正会員	篠田 成郎

1. はじめに

降雨流出モデルにおける最適なパラメータの決定方法が検討されてきている。近年、データ同化手法を用いた新たなパラメータ同定方法が提案¹⁾²⁾³⁾されているが、多くのノウハウが必要となっているため、その一般利用はそれほど容易ではない。そこで、本研究では、パラメータの逐次同定が可能で、モデル推定精度が高いとされる粒子フィルタ法を対象として、降雨流出モデルへの適用時に必要となる基本的な設定方法について検討することを目的とする。

2. 対象集水域と予測システムの設定条件

(1) 対象集水域と流出モデル

ここでは、岐阜県中津川市二ツ森山東斜面に位置する森ヶ洞集水域における1985～2007年の水文観測データを検討対象とする。また、降雨流出モデルとしては、Matsuiら⁴⁾によるモデルを簡略化した集中型コンパートメントモデルを適用する。このモデルでは、対象集水域を上からA層(表層土壌)、B層(無機質土壌)、C層(基岩層)に分けて、降雨流出過程を表現する。同定対象パラメータとしては、各層における水平方向流出係数と鉛直方向流出係数の計6個となる。以上のパラメータを粒子フィルタ法で同定するフローチャートを図-1に示す。

(2) 降雨流出モデルへの粒子フィルタ法の適用方針

粒子フィルタ法⁵⁾では、状態ベクトルの予測分布とフィルタ分布(フィルタリング後の確率分布)を独立な実現値である多数のアンサンブルメンバ(粒子)により表現する。なお、本研究では、図-1に示す計算により、正しくパラメータ同定されることを確認するため、観測降雨量と仮設定パラメータを降雨流出モデルに与えることにより、流量データを作成し、これを観測流量に相当するテストデータと扱うことで、粒子フィルタ法によるパラメータの逐次同定を実施した。こうした事前検討により、設定すべき粒子数、フィルタリング時のリサンプリング方法およびシステムノイズの標準偏差を明らかにすることができた。なお、計算機のメモリ制約から、以下の観測データを用いた粒子フィルタ法適用では、粒子数を200個とした。

(3) 初期分布の設定

一般に、粒子フィルタ法で用いる初期分布には一様分布と正規分布のいずれかが与えられる。テストデータと観測データのいずれを用いた場合でも、一様分布ではパラメータの逐次同定値が大きく変動を繰り返すことになるのに対し、正規分布では一定値の周りで変動することが確認された。こうした違いは粒子数が少ない場合に顕著となっており、理論的にはいずれの初期分布でも同様な結果が得られるものの、限定された粒子数を設定する際には、正規分布の方が安定することが判明した。

(4) システムノイズと観測ノイズの設定

同定対象パラメータ α に関するシステムノイズ $u_{\alpha,t}$ を、平均値ゼロ、分散 $k\alpha_{t|t-1}^{(i)}$ の正規乱数によって与えた。 $\alpha_{t|t-1}^{(i)}$ は1つ前の時間ステップにおける第 i 粒子に関するパラメータ値であり、 k はシステムノイ

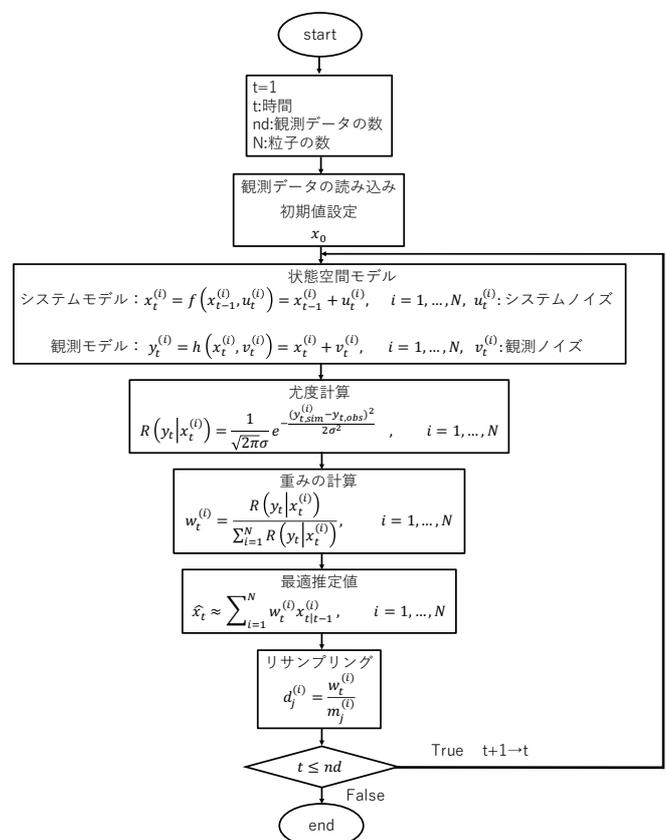


図-1 粒子フィルタ法によるパラメータ同定のフローチャート

ズの変動幅を決めるための係数である。図-2は係数 k の値による逐次同定パラメータの変動を一例として比較したものであり、 k が小さいほど変動が小さくなることが確認できる。流出現象のステージや流出イベントによってパラメータが変動することはあり得るが、単なる観測値の再現のためだけにパラメータが変動することは好ましくない。このため、意味の無い変動が生じないような係数 k の設定が重要となる。検討の結果、パラメータ値の数%程度となる係数 k が最適であることが判明した。

一方、観測ノイズについては、立川ら¹⁾に倣い、観測値の1割を標準偏差とする正規乱数として与えたところ、図-3に示すようなパラメータ変動の不安定化が発生した。正規乱数の変動幅を変えても大きな違いは得られず、観測ノイズはパラメータ変動に鋭敏に影響することが判明した。このため、観測ノイズをゼロとした。

3. 粒子フィルタ法を用いた流出解析の結果

以上の設定条件により粒子フィルタ法で得られたパラメータを用いた流量推定結果と観測流量との比較の一例を図-4に示す。流出ピークにおいて推定値が観測値をわずかに下回る部分が認められるものの、極めて良好な再現性を示しており、粒子フィルタ法の有効性が確認できる。この図では、流出成分も併せて示してあり、基底流出や遅い中間流出に寄与する地中内水分貯留状態の推定にも有用となると期待される。

4. おわりに

以上、本稿では、粒子フィルタ法を流出モデルに適用する際の検討事項について明らかにした。計算機能力の制限により粒子数を十分に大きくできない場合であっても、初期分布やシステムノイズの分布を適切に設定することにより、パラメータの逐次同定およびリアルタイム推定値が可能になることは意義が大きいと言えよう。ただし、粒子フィルタ法では直近(最新)の情報のみを用いて逐次計算するため、逐次計算の現時刻における極端な流出特性を加味しすぎてしまう危険性も孕んでいる。流出過程では、瞬間的な状態量よりも、当該流出イベントや流出ステージでの情報が寄与するため、こうした寄与時間内の情報を適切に反映させられるパラメータ同定も必要になると考えられる。

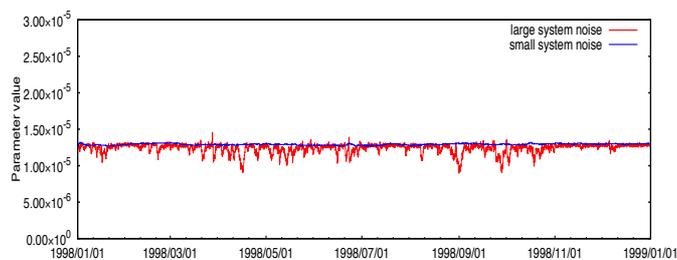


図-2 システムノイズの大きさによるパラメータ変動の比較

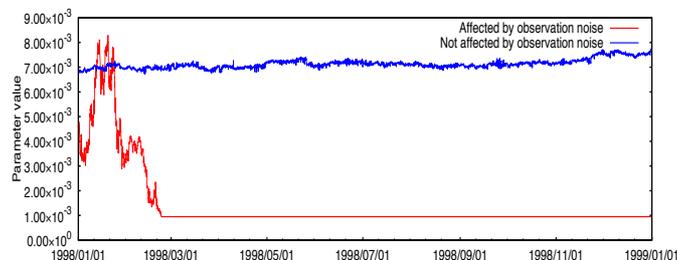


図-3 観測ノイズ有無によるパラメータ変動の比較

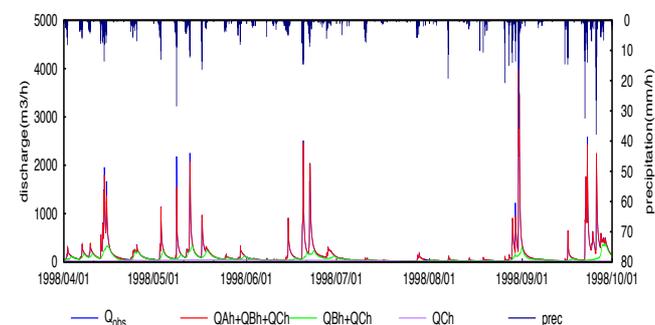


図-4 観測流量と推定流量との比較

5. 参考文献

- 1) 立川康人・藤田翔子・田中裕士・萬和明・市川温：粒子フィルタを用いた実時間流出予測システムの開発と異なる状態量を持つ流出予測システムの精度比較，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol. 74, No. 2, pp. 32-43, 2018.
- 2) 杉浦正之・田中耕司・辻倉裕喜：水位予測モデルを事例とした MCMC を用いた最適化手法の提案，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.74, No.4, pp. I_1021-I_1026, 2018.
- 3) 中村要介・小池俊雄・阿部紫織・中村和幸・佐山敬洋・池内幸司：粒子フィルタを適用した RRI モデルによる河川水位予測技術の開発，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.74, No.5, pp. I_1381-I_1386, 2018.
- 4) Y.Matsui, et al. : Predicting pesticide concentrations in river water with a hydrologically calibrated basin-scale runoff model, Water Science and Technology, 45(9), pp. 141-148, 2002.
- 5) 樋口知之・上野玄太・中野慎也・中村和幸・吉田亮：データ同化入門，朝倉書店，256p.，2011