

データ同化手法を用いた降雨流出解析による流出特性の評価

岐阜大学工学部

岐阜大学大学院自然科学技術研究科

Bung Hatta 大学

(株)日水コン中央研究所

岐阜大学工学部

学生員 ○花田浩平

学生員 范顔楊

Vivien Wanda Rahma

正会員 川口智哉

正会員 篠田成郎

1. 研究の背景と目的

降雨に伴う水文量の推定を行う際、一般には降雨流出モデルが用いられる。精度の高い推定を行うにはパラメータを適切な値に決定する必要があるが、恣意的にならず、できるだけ客観的にパラメータを同定することは容易ではない。

そこで、本研究では『データ同化手法』を取り入れ、客観的なパラメータ同定を試みる。この手法では、観測データをモデルに組み込むことで、現象をより良く表現した推定値を決定することができる。データ同化には様々な手法が存在するが、ここでは最も適用が簡単とされる MCMC(マルコフ連鎖モンテカルロ)法を用いることにする。

2. 集中型コンパートメントモデルへの MCMC 法の適用方法

MCMC法には大きく分けてメトロポリス法とメトロポリス・ヘイスティングス法¹⁾があり、パラメータ更新の方法としてギブスサンプラー²⁾が用いられることが多い。本研究ではパラメータ数が多いため、多変量に対してサンプリングを行いやすいギブスサンプラーをメトロポリス・ヘイスティングス法に組み込む方法を用いる。

本研究で扱う降雨流出モデルとして、Matsui ら³⁾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⁴⁾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、降雨流出過程をシミュレートする。パラメータとしては各層において、初期水位、水平方向の流出係数、鉛直方向の流出係数、間隙率を考慮するので、計 12 個となる。以上のパラメータを MCMC 法で最適化するフローチャートを図-1 に示す。

3. MCMC 法を用いた流出解析の結果

本研究の対象を、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とする。本集水域での 1985 年から 2007 年までの観測流量および観測降水量データを用いてシミュレーションを行う。

MCMC 法を適用するにあたって、最適化するパラメータの選択が重要となる。12 個のパラメータを最適化する場合、パラメータ間の相関が非常に高くなっていくことで値が一定値に収束されず、最適化できないことが判明した⁵⁾。したがって、時間が経つにつれ影響が小さくなる初期水位と、土壌地質特性から決定できる間隙率のパラメータを固定し、水平方向および鉛直方向の流出係数のみをパラメータとして扱うことにした。なお、固定したパラメータの値は先行研究の値⁴⁾を適用した。

流出係数のパラメータ 6 個を最適化した結果、A 層と B 層の流出係数において一定値を示したが、C 層の流出係数は一定値に収束しなかった。したがって、C 層より深層を不透水層と見なし、C 層の鉛直方向の流出係数の値を 0 として再推定を行った。計 5 個のパラメータで最適化を行ったところ、全てのパ

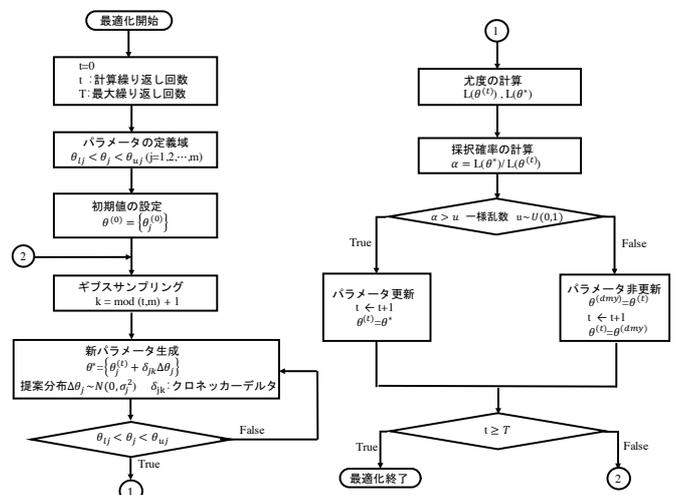


図-1 メトロポリス・ヘイスティングス法+ギブスサンプラーによるパラメータ同定のフローチャート

ラメータで一定値を示したが、パラメータの挙動が安定的とはならず、MCMC法における収束にはならなかった。そこで、A層とB層の鉛直方向の流出係数において、一定値を示した部分を取り出してヒストグラムを作成し、最頻値を採用した。パラメータを各層の水平方向の流出係数のみとし、再度最適化を行った結果、パラメータは収束を示した。最適化したパラメータのうち、A層の水平方向流出係数において、繰り返し回数毎によるパラメータ挙動を表した例を図-2に示す。

最適化したパラメータが収束しているかどうか判定する方法として、Gewekeの方法⁶⁾と自己相関がある。Gewekeの方法とは、パラメータが収束したと考えられる区間において指標Z得点を算出し、その絶対値が1.96以内であれば収束している(定常性が担保される)というものである。最適化した水平方向の流出係数パラメータにおいてこの方法を適用したところ、 $Z_A=0.27$, $Z_B=1.83$, $Z_C=0.91$ となり、収束していることが確認できた。

次に、各パラメータの自己相関を調べた。A層の水平方向の流出係数について、横軸にラグ、縦軸に自己相関係数をとった例を図-3に示す。図-3によると、自己相関はラグが10になるあたりで0に近づいている。この結果から、パラメータは過去の履歴に大きな影響を受けることなく、効率の良いサンプリングが行われていることが確認できた。

MCMC法により決定されたパラメータを用いて、集中型コンパートメントモデルでシミュレーションを行い、観測流量(Qobs)とMCMC法で求めた推定流量(Qsim-mcmc)およびチューニングで求めた先行研究の推定流量(Qsim-ty)を比較したものを図-4に示す。図-4によると、流量がピークになる期間において先行研究の推定流量より高い再現ができた。しかし、低水流量の期間で良い再現ができなかった。本研究ではMCMC法における尤度計算において、流量の推定値と観測値の差である観測誤差が正規分布に従うとしている。この場合、ピーク流量の誤差に重み付けられてパラメータが同定されるため、低水流量時に良い再現ができなかったと考えられる。

4. まとめ

MCMC法は客観的な方法であり、現象を尤もらし

く表現するパラメータを推定できる。しかし、提案分布の与え方やパラメータの相関などの調整が難しい場合もある。モデルやデータによって適切なデータ同化手法を設定してパラメータ推定を行う必要があると考えられる。

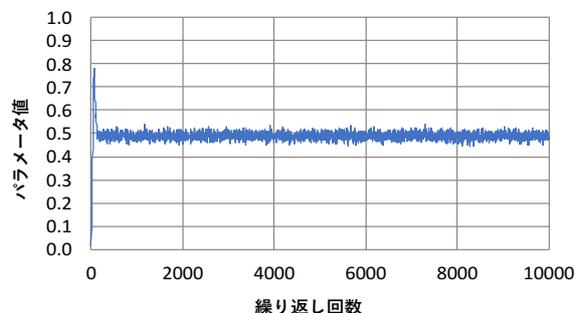


図-2 パラメータの挙動

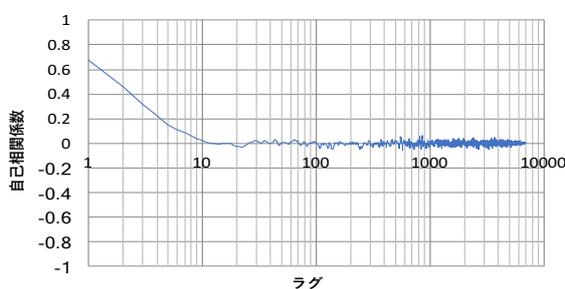


図-3 自己相関

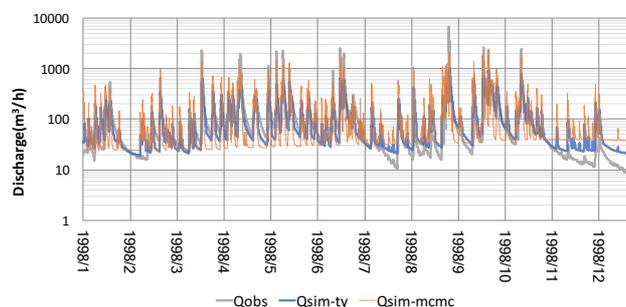


図-4 推定流量と観測流量の比較

参考文献

- 1)W.K.Hastings : Monte Carlo sampling method using Markov chains and their applications, Biometrika, 57(1), 97-109, 1970.
- 2)Geman.S and D.J.Geman : Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions and the Bayesian Restoration of Images, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 6, 721-741, 1984.
- 3)Y.Matsui, et al. : Predicting pesticide concentrations in river water with a hydrologically calibrated basin-scale runoff model, Water Science and Technology, 45(9), 141-148, 2002.
- 4)河寄晃三:山地森林集水域における水分保持能力の評価,平成31年度岐阜大学大学院修士論文, 2019.
- 5)范顔楊:降雨流出モデルへのMCMC法の適用に関する基礎的検討,令和元年度土木学会中部支部研究発表会概要, 2020.
- 6)J.Geweke : Evaluating the Accuracy of Sampling-Based Approaches to the Calculation of Posterior Moments, Oxford University Press, 169-193, 1992.