

## 粒子フィルタを用いた陸面過程モデルの土壌パラメータ推定

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○松宮謙治  
 京都大学大学院工学研究科 正員 萬 和明  
 京都大学大学院工学研究科 正員 Kim Sunmin  
 京都大学大学院工学研究科 正員 立川康人  
 京都大学大学院工学研究科 正員 椎葉充晴

1 はじめに 水循環において、土壌水分量や蒸発散量は非常に重要な要素である。それらを推定するために陸面過程モデルなどの数値モデルが用いられるが、正確な土壌水分量、蒸発散量推定のためには、数値モデルのパラメータ設定が重要である。本研究では、パラメータ設定の手法としてデータ同化手法の利用を考える。データ同化手法の中でも粒子フィルタは非線形・非ガウス型にも用いることができ、汎用性が高い。そこで本研究では、陸面過程モデルSiBUC (Simple Biosphere including Urban Canopy)<sup>1)</sup> に粒子フィルタを用いて、蒸発散量および土壌パラメータの推定を行った。対象地域は、モンゴルの Kherlen-Bayan-Ulaan(以下 KBU とする) で観測された気象データを用いる (URL: <http://raise.suiri.tsukuba.ac.jp/DVD/top/home.htm>)。KBU は北緯 47° 21' 27"、東経 108° 74' 24"、標高 1235m に位置する。

## 2 陸面過程モデル

2.1 モデル式 SiBUC の蒸発散の推定式を以下に示す。

$$E_s = \frac{1}{r_{\text{surf}} + r_d} \frac{\rho C_p}{\gamma} [h_{\text{soil}} e_*(T_g) - e_a] \quad (1)$$

$$E_{\text{dc}} = \frac{1}{r_c + 2r_b} \frac{\rho C_p}{\gamma} [e_*(T_c) - e_a] \quad (2)$$

ただし、 $E_s$  は地表面からの蒸発、 $E_{\text{dc}}$  は蒸散、 $h_{\text{soil}}$  は地表面の相対湿度、 $r_{\text{surf}}$ 、 $r_b$ 、 $r_c$ 、 $r_d$  は抵抗、 $C_p$  は空気の比熱、 $\gamma$  は乾湿計定数、 $e_*(T)$  は温度  $T$  の飽和水蒸気圧、 $e_a$  はキャノピー内の水蒸気圧をそれぞれ示している。

田中ら<sup>2)</sup>によれば、式(1)および式(2)で着目すべき変数は、それぞれ相対湿度  $h_{\text{soil}}$  およびキャノピー気孔抵抗  $r_c$  である。さらに、相対湿度  $h_{\text{soil}}$  とキャノピー気孔抵抗  $r_c$  を支配している決定的な変数はマトリックポテンシャルである。

2.2 マトリックポテンシャル 次に、マトリックポテンシャルについて述べる。SiBUC で扱う土壌水分は土

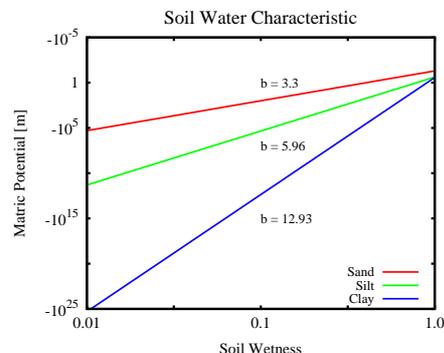


図1 飽和度とマトリックポテンシャルの関係図。ただし、縦軸と横軸は対数軸である。

壤物理特性としてマトリックポテンシャルは Clapp and Hornberger の関係式を用いて、以下の式で表される。

$$\psi_i = \psi_s W_i^{-b} \quad (3)$$

$$-\log_{10}|\psi_i| = b \log_{10} W_i - \log_{10}|\psi_s| \quad (4)$$

ただし、 $\psi_i$  は  $i$  層のマトリックポテンシャル、 $\psi_s$  は飽和時のマトリックポテンシャル、 $b$  は定数をそれぞれ示している。 $\psi_s$  と  $b$  は土壌タイプ毎に決定されるパラメータである。式(4)は式(3)の両辺の絶対値に、常用対数を取り、両辺に(-1)をかけたものである。マトリックポテンシャルと飽和度の関係を表す式(4)を図1に示す。

図1から土壌が湿潤状態では土壌タイプが異なってもマトリックポテンシャルの値はあまり変わらないが、乾燥状態では土壌タイプによってマトリックポテンシャルの値が大きく異なっていることがわかる。これは定数  $b$  が乾燥状態でのマトリックポテンシャルに大きく寄与しているためである。したがって、定数  $b$  に着目して粒子フィルタによるデータ同化を行う。

## 3 粒子フィルタ

3.1 概要 粒子フィルタは非線形・非ガウス型の状態空間モデルのフィルタリングに用いることができる。

キーワード 土壌パラメータ推定, マトリックポテンシャル, 粒子フィルタ, 陸面過程モデル

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂CクラスターC1棟116号室, 電話: 075-383-3365

このフィルタリング方法は確率分布を多数の実現値で近似し、それぞれの実現値を粒子と呼ぶことにすれば、その粒子がモデルにしたがってどのように変化するかをシミュレートすることにより予測分布の計算を実現する。次に、フィルタリングの段階として、予測分布に従って得られた粒子をそれぞれの粒子の“尤度”を重みとし、必要に応じてリサンプリング(復元抽出)することによりフィルタの分布を近似する粒子を求める。

**3.2 適用方法** 本研究ではマトリックスポテンシャルを決定する土壌パラメータ  $\psi_s$  および  $b$  のうち、乾燥状態でのマトリックスポテンシャルに大きく寄与する定数  $b$  に着目して、 $b$  の分布を 250 個の粒子で表現しシミュレーションを行う。本概要では、リサンプリングは行わず、ある時刻における尤度をその時刻での重みとした結果を示す。すなわち、重みは過去の尤度の値の影響を受けず、ステップ毎に得られるその時の尤度のみ依存する。重みの計算についてはより詳細な検討が必要である。

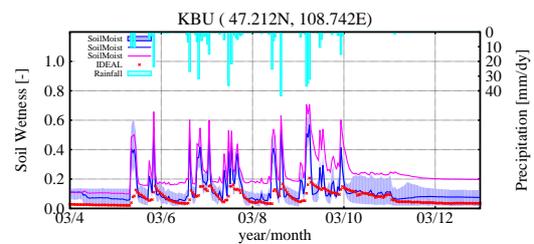
**4 シミュレーション** 粒子フィルタを用いたシミュレーションを実施し、モデルの推定結果に観測値を用いてデータ同化する。本研究では、1層目の土壌水分を対象にデータ同化を行う。

図2に、1層目の土壌水分のデータ同化をしない場合とデータ同化をした場合の1層目の土壌水分、2層目の土壌水分、潜熱フラックス推定結果を示す。1層目の土壌水分は推定値が観測値と近い値となっておりデータ同化が有効に機能していることがわかる。また、1層目の土壌水分のデータ同化の効果が2層目の土壌水分および潜熱フラックスにもみられ、推定値が観測値に近くなった。図3に1層目の土壌水分をデータ同化した場合の定数  $b$  の推定結果を示す。

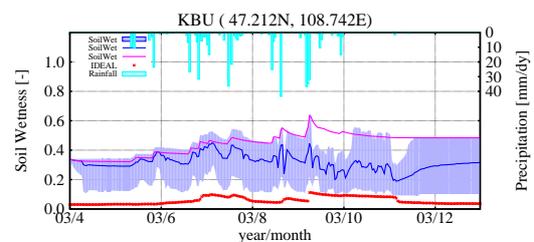
**5 おわりに** 本研究では、陸面過程モデル SiBUC を用いて、土壌水分を推定しながら、粒子フィルタを用いたデータ同化手法によって土壌パラメータの1つである定数  $b$  を推定した。その結果から土壌パラメータ推定の必要性がわかる。

#### 参考文献

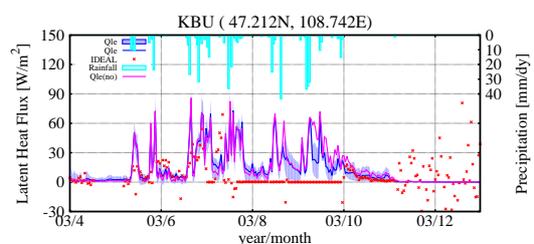
1) Tanaka, K.: Development of the new land surface scheme SiBUC commonly applicable to basin water management and numerical weather prediction model, *doctoral dissertation*, Kyoto University, 2004.



(a) 1層目の土壌水分



(b) 2層目の土壌水分



(c) 潜熱フラックス

図2 1層目の土壌水分をデータ同化した時の各変数の変化：青色帯は上下5%を除いた範囲を表す、青色線はデータ同化したときの変数、桃色線はデータ同化していないときの変数、赤点は観測値、水色帯は降水量である。

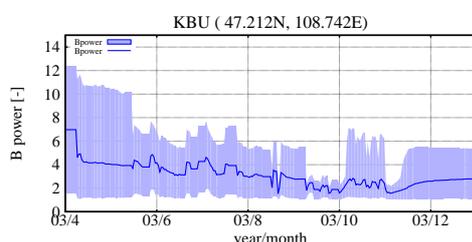


図3 1層目の土壌水分をデータ同化した時の定数  $b$ ：青色帯は上下5%を除いた範囲を表す、青色線はデータ同化したときの定数  $b$  である。

2) 田中賢治, 中村忠則, 椎葉充晴, 池淵周一: 陸面過程モデルにおける土壌水分量の役割, 水工学論文集, 第44巻, pp.157-162, 2000.