

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月25日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2011

課題番号：22760368

研究課題名（和文） 衛星情報の複数利用と汎用性が高いデータ同化手法を応用した土壌水分の時空間分布推定

研究課題名（英文） Estimating spatial and temporal distribution of soil moisture applying data assimilation technique with satellite based observations

研究代表者

萬 和明 (KAZUAKI YOROZU)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：90554212

研究成果の概要（和文）：地表面植生水文モデルに汎用性が高いデータ同化手法のひとつである粒子フィルタを導入し、土壌水分の時空間分布を推定するアルゴリズムを構築した。構築したアルゴリズムを水文気象観測値を用いて検証したところ、データ同化に用いる値の時間間隔が数日以上と長くとも一定の効果を有することが確認された。構築したアルゴリズムは地表面植生水文モデルのパラメータを推定する手法にも応用した。

研究成果の概要（英文）：Data assimilation techniques can be used as one of the effective methods of not only updating state variables but also model parameter determination. In this study, particle filtering system was selected as data assimilation techniques and introduced into Land Surface Scheme. Using site observation data, land surface model with particle filtering system was examined. Land surface variables and soil parameters were successfully estimated using particle filtering system. It is assumed that applying particle filtering system to land surface model result in good performance on estimating land surface heat fluxes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,700,000	510,000	2,210,000
年度			
年度			
年度			
総計			

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：地表面植生水文モデル・粒子フィルタ・データ同化・土壌水分・表面温度

## 1. 研究開始当初の背景

## (1) 水循環における土壌水分の役割

21世紀は水の世紀と言われ、気候変動を考慮に入れた気象予測、洪水予測、農業生産や水資源管理など、我々は解決すべき様々な水問題に直面している。そのため、地球規模での水循環変動に関する研究が盛んに実施さ

れており、水文・気象観測値の分析や数値実験の結果から、降水の季節変動や気温の年々変動、熱波の発生に対して、土壌水分が大きな影響を与えることが明らかとなってきている。すなわち、喫緊の水問題への対策として、水循環に対して重要な役割を果たす土壌水分の時空間変動の把握が求められている。

## (2) 土壌水分の衛星観測

土壌水分などの地表面状態量は、広範囲の地上観測は十分に実施されていないため、空間分布の把握には、人工衛星による観測が有効となる。衛星による観測では、数十 km<sup>2</sup>程度の空間を代表する土壌水分が観測されている。ただし、裸地面では高い精度を有しているが、密な植生域では値を得ることができない。また、観測頻度は1日に2回程度と日周変化を把握できない。そこで、毎時の観測値が得られる表面温度の衛星観測を応用した、地表面状態の推定が期待されている。

## (3) 地表面植生水文モデルによる土壌水分推定

土壌水分を推定する有効なツールとなるのが、地表面植生水文モデル (Land Surface Model: LSM) である。研究代表者は、自らが開発に携わっている LSM を用いて土壌水分の推定を試みてきているが、乾燥・半乾燥地では、土壌水分の季節変化や年々変動は十分な推定精度が得られなかった。これは、LSM が乾燥地や湿潤・乾燥の遷移域周辺において不確実性が大きいという現状のためであるが、研究代表者は適切な土壌パラメータを LSM に与えることで、土壌水分の推定精度が改善しうることを示している。

## (4) 着想に至った経緯

LSM で用いられる土壌パラメータの最適な推定方法として、データ同化手法を応用する手法が考案されている。データ同化手法とは、観測情報に基づいてモデル推定値を修正する手法である。データ同化は気象庁を含めた世界の気象研究機関で採用されており、地表面状態について言及すると、表面温度や積雪面積等の地上観測値や、土壌水分の衛星観測値を用いて、モデル推定値が修正されている。最新の報告では、「粒子フィルタ」と呼ばれるデータ同化手法を土壌水分の推定に応用した研究成果がある。粒子フィルタは、非線形・非ガウス型モデルにも適用可能で、実装が非常に容易であり、汎用性が高いデータ同化手法といえる。したがって、汎用性が高いデータ同化手法を LSM に導入することで状態量である土壌水分の推定精度向上だけでなく、土壌パラメータの最適推定値を得ることが期待される。

## 2. 研究の目的

### (1) 土壌水分を観測情報とするデータ同化の有用性検証

LSM に粒子フィルタを実装し、土壌水分の推定値に対して、データ同化の効果が持続する時間長さや、データ同化が有効となる時間

帯・時季を調べる。すなわち、効果的なデータ同化のためには、どの程度の時間間隔を持つ観測値が、いつ必要とされるかを明らかにする。

### (2) 土壌水分と表面温度を観測情報とするデータ同化手法の構築

土壌水分だけでなく表面温度も同時に観測情報として与えることのできるデータ同化手法を構築する。

### (3) 最適な土壌パラメータを推定するアルゴリズムを開発

粒子フィルタを応用して、土層厚・空隙率・透水係数などの土壌パラメータがどのような値であれば土壌水分を精度よく推定できるかを分析する。その過程を基に、土壌水分の季節変化を精度よく表現する、最適な土壌パラメータを推定するアルゴリズムを開発する。

## 3. 研究の方法

### (1) 土壌水分の推定精度向上を目的としたデータ同化手法の構築とその有効性の検証

(a) 研究代表者らが開発を進めている地表面植生水文モデル SiBUC (Simple Biosphere including Urban Canopy) に、土壌水分を修正対象として、汎用性が高いデータ同化手法である粒子フィルタを実装する。SiBUC を駆動するのに必要な気象データと検証に必要な土壌水分と表面温度が、2003-2004 年において時間間隔 30 分の高頻度で公開されている、中国の水文気象観測サイト Tongyu を研究対象領域にする。観測値の気象データと土壌パラメータを入力情報、土壌水分または地表面温度を観測情報としたとき、土壌水分推定値が適切に修正されるか、OSSEs (Observing System Simulation Experiments) によって粒子フィルタの挙動を確認する。

(b) 粒子フィルタとは、次のような手順で観測情報に基づいて推定値を修正する手法である。ある時刻の場の状態を異なる値を持つ多数の「粒子」で表現する。入力情報をモデルに与え各粒子を時間積分する。各粒子の推定値を観測情報と比較して、各粒子の尤度 (確からしさ) を求め、大きい尤度を持つ粒子の推定値を最適推定値とする。より精度よい修正値を得るには、尤度に応じて粒子を再構成 (リサンプリング) し、場の状態を修正する必要がある。数多くのリサンプリング手法が提案されている。

(c) OSSEs とは、数値モデルが完全であると仮定して、理想的な条件下でシミュレーションを実施することにより模擬的に真値を得ることで観測値を作り出し、数値モデルの結果を検証する手法である。気象モデルの予

報精度検証によく用いられる手法として知られている。本研究課題では OSSEs を用いて土壌水分の推定精度向上に対する粒子フィルタの有効性を検討する。

(2) 構築したデータ同化手法の土壌パラメータ推定への応用

LSM に粒子フィルタを実装したデータ同化システムを応用し、LSM のパラメータを推定出来るようなシステムを構築する。

#### 4. 研究成果

粒子フィルタを実装した SiBUC を用いたシミュレーションの有効性を検討するために、まず模擬的な真値を作成する。計算対象は2003年5月から9月までの5ヶ月間とし、作成された土壌水分の真値を図1に示す。

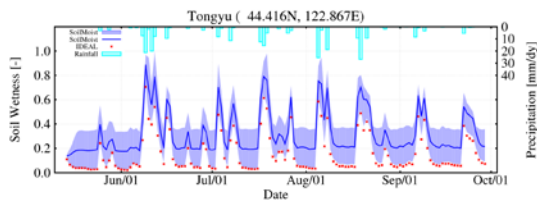
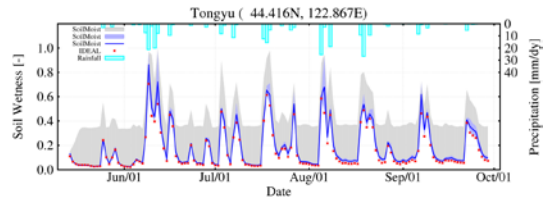


図1：模擬作成された土壌水分の真値

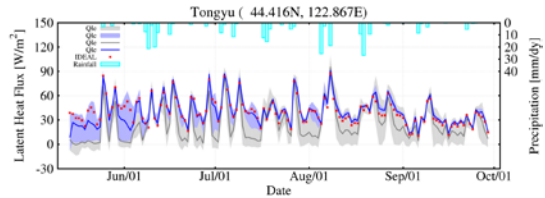
図1では模擬的な土壌水分観測値を赤点で示し、降水量を水色棒線で示している。また、同図には土壌水分とマトリックポテンシャルを関係づける土壌パラメータの値を3から13まで変化させたときの土壌水分の平均を青線で、95パーセンタイル値を青網掛で示している。青網掛で示された領域は土壌パラメータによる不確実性を表していると言える。

次に、SiBUC に粒子フィルタを実装し、土壌水分の推定精度向上に対する効果を検討する。土壌水分の観測値を1時間毎に入手してデータ同化を実施した結果を図2に示す。

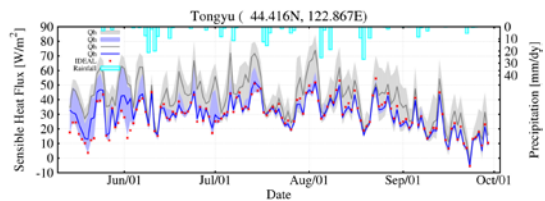
図2では、OSSEs において1時間毎に土壌水分の観測値を与え SiBUC の土壌水分を更新した結果得られた (a) 土壌水分、(b) 潜熱フラックスおよび (c) 顕熱フラックスを示す。同図 (a) より、土壌水分は計算開始直後に真値に近い値を示しており、データ同化の効果が確認される。また、同図 (b) は土壌水分をデータ同化することによる潜熱フラックスへの効果を現している。同図から計算開始1ヶ月程度は推定値のばらつきがみられるが、それ以降は推定値が真値に近い値を示していることから、土壌水分のデータ同化の効果が潜熱フラックスの推定にも及ぶことがわかる。同図 (c) は顕熱フラックスの推定結果であるが、潜熱フラックスと同様、土壌水分のデータ同化による推定精度の向上効果が確認できる。



(a) 土壌水分



(b) 潜熱フラックス



(c) 顕熱フラックス

図2：OSSEs を用いたデータ同化の有効性検討結果

土壌水分の観測値を10日毎に入手する場合のシミュレーションを実施したところ、観測情報が得られる時間間隔が長くとも土壌水分及び潜熱フラックスの推定精度向上には一定の効果がみられた。一方、表面温度を観測情報とした場合には、観測値を入手する時間間隔を短くしても土壌水分及び潜熱フラックスへの推定精度の向上効果は小さく、効果がみられなかった。したがって、土壌水分の推定精度向上には、数日以上観測頻度であっても土壌水分の観測値を用いたデータ同化が有効であったが、高頻度で観測される表面温度を用いたデータ同化は期待したほど有効ではなかった。ただし、表面温度を用いたデータ同化は顕熱フラックスなどの熱収支項目には有効であった。

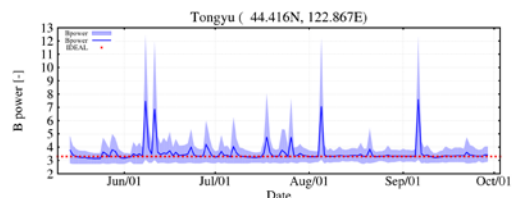


図3：土壌パラメータ b の推定結果

地表面植生水文モデルに含まれる不確実

性を低減するために、構築したデータ同化システムを用いてモデルで使用されるパラメータの推定手法を提案した。具体的にはパラメータを状態量のように扱い、データ同化時に土壌水分の観測情報が得られる際に、状態量と同時にパラメータも更新するような仕組みを提案した。

提案したシステムを用いて土壌パラメータ  $b$  を推定した結果が図 3 である。同図では真値として  $b = 3.3$  としており、おおよそ適切に最適なパラメータを推定できている様子がわかる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 萬和明, キムスンミン, 立川康人, 椎葉充晴, 松宮謙治: データ同化を用いた陸面過程モデルにおける土壌パラメータ推定手法, 2011 土壌水分ワークショップ 論文集, 査読なし, pp. 13-16, 2012.
- ② 萬和明, 児玉隆敏, Sunmin KIM, 立川康人, 椎葉充晴: 衛星情報を用いた地表面温度の年々変動の分析, 京都大学防災研究所年報, 査読なし, 第 54 号 B, pp. 421-430, 2011.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 萬和明, キムスンミン, 立川康人, 椎葉充晴, 松宮謙治: データ同化を用いた陸面過程モデルにおける土壌パラメータ推定手法, 2011 土壌水分ワークショップ, 2011/12/22, キャンパスイノベーションセンター東京.
- ② Kazuaki Yorozu, Takatoshi Kodama, Sunmin Kim, Yasuto Tachikawa, and Michiharu Shiiba: Analysis of Anomaly in Land Surface Temperature Using MODIS Products, American Geophysical Union Fall Meeting 2011, 2011/12/5, San Francisco, USA.
- ③ 萬和明, 児玉隆敏, Kim Sunmin, 立川康人, 椎葉充晴: 衛星観測情報を用いた地表面温度の年々変動の分析, 土木学会平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 2011/9/9, 愛媛大学.
- ④ 萬和明, 児玉隆敏, Kim Sunmin, 立川康人, 椎葉充晴: 衛星観測情報を用いた地表面温度の年々変動の分析, 水文・水資源学会 2011 年度研究発表会, 2011/8/30. 京都大学.
- ⑤ 児玉隆敏, 萬和明, Kim Sunmin, 立川康人, 椎葉充晴: 衛星情報を用いた地表面温度の年々変動の分析, 平成 23 年度土

木学会関西支部年次学術講演会, 2011/6/12, 関西大学.

- ⑥ 萬和明, 児玉隆敏, Sunmin KIM, 立川康人, 椎葉充晴: 衛星情報を用いた地表面水文量の時系列分析, 平成 22 年度京都大学防災研究所研究発表講演会, 2011/02/23, 京都大学宇治キャンパス.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

該当なし

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

萬和明 (KAZUAKI YOROZU)  
京都大学・工学研究科・助教  
研究者番号: 90554212

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし