

3 週間程度の体積含水率の計測値に対するデータ同化

大阪産業大学 ○小田 和広 (正会員) 村川 樹 (学生会員)
鹿児島大学 伊藤 真一 (正会員)
大阪大学 小泉 圭吾 (正会員) 西村美紀 (学生会員)

1. はじめに

土壌水分の現地計測とそれと密接に結合した粒子フィルタによるデータ同化解析は地盤中への雨水浸透挙動の解明だけでなく、任意の降雨における土中水分量の推定において非常に有用である¹⁾。粒子フィルタには多くのアルゴリズムがあるが、なかでも融合粒子フィルタ (MPF) は、計測値に適合するように自動的に粒子を調整するだけでなく、粒子フィルタに特有の問題である粒子の退化が生じにくいという利点を有している²⁾。筆者らは、現場計測結果に対し、MPF を使って常時データ同化を行い、天気予報と連動させた体積含水率の近未来予測手法の開発を進めている。そのためには、長期間のデータ同化において起こりえる課題を抽出する必要がある。本研究では、3 週間程度のデータ同化を実施し、無降雨期間における体積含水率の変化に対するデータ同化結果について考察する。

2. 融合粒子フィルタ (MPF)

図-1 は融合粒子フィルタの概念図である²⁾。他のアルゴリズムと同様に、融合粒子フィルタでも(b)において、計測データと粒子の適合度を観測ノイズによって判断する。通常、観測ノイズは正規分布に従うものとして表現するので、その分散は粒子に対し付加する重みを支配する重要なパラメータである。

3. 不飽和浸透のモデル化

本研究では、水分特性曲線モデルとして、van Genuchten モデル、また、不飽和透水係数モデルとして Mualem モデルを用いた。それぞれを式(1)および(2)に示す。なお、不飽和土中の浸透には Richards 式を用いた。

$$S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r) = \left\{ 1 + (-\alpha \psi)^n \right\}^{1-1/n} \quad (1)$$

$$k = k_s \times S_e^{0.5} \left\{ 1 - \left(1 - S_e^{n/n-1} \right)^{1-1/n} \right\}^2 \quad (2)$$

ここに、 S_e : 有効飽和度、 θ_s : 飽和体積含水率、 θ_r : 残留体積含水率、 k_s : 飽和透水係数、 α , n : パラメータ、 k : 透水係数、 ψ : 土壌水分吸引水頭である。以上のように、本研究では、重力による雨水の鉛直浸透しか考慮していない。したがって、蒸発散などによる土中水分量の変動を考慮するためには、パラメータの値を変動させる以外にない。

4. 解析の概要

解析対象斜面は、九州地方の高速道路沿いの切土斜面である³⁾。深度 30cm, 70cm および 100cm に土壌水分計を設置しており、体積含水率を 10 分間隔で計測している。データ同化解析は、3つの観測値全てを用いて行っている。以下では、特にことわりの無い限り、蒸発散の影響が顕著である深度 30cm の地点に着目する。

図-2 は解析対象期間における降雨を示している。2016 年 7 月 6 日から 7 月 27 日の 22 日間を解析期間とした。7 月 16 日に約 50mm の降雨があった後、10 日程度ほぼ無降雨である。この間、体積含水率は重力による鉛直浸透に加え、地表面からの蒸発散によって深度 30cm の体積含水率は減少する。特に、7 月末からは季節的に高温になるため、蒸発散の影響の影響が顕著になると考えられる。

5. データ同化とパラメータの変動

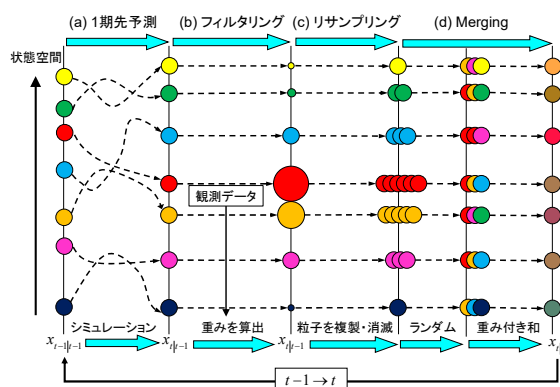


図-1 融合粒子フィルタの概念図

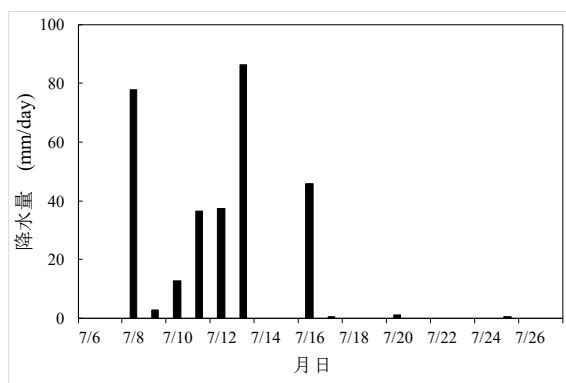


図-2 解析期間中の降雨

キーワード データ同化, 雨水浸透, 体積含水率, 数値解析,

連絡先 〒574-8530 大阪府大東市中垣内 3 丁目 1-1 大阪産業大学工学部都市創造工学科 TEL 072-875-3001

図-3 と図-4 はそれぞれ観測ノイズの分散が 5.0×10^{-4} と 1.5×10^{-2} のケースにおける体積含水率の経時変化における計測値と解析値の比較を示している。また、いずれの図中の点線は重み付き平均値に対して、各粒子の解析値から得られる標準偏差を土したものである。いずれのケースにおいても解析結果の重み付き平均値は計測値と一致している。同化結果を平均値のみで評価するのであ

れば、観測ノイズの値に関わらずいずれのケースも妥当であると考えられる。一方、解析値のバラツキ、すなわち標準偏差をみると明らかに観測ノイズの分散が大きいほど大きい。これは、観測ノイズの分散の値を大きくすると、計測データと適合すると判断される粒子が多くなるため、結果として多様な粒子を許容することになるためである。

図-5 と図-6 は飽和体積含水率およびパラメータ n の経時変化をそれぞれ示している。15840 分以降が 7 月 17 日からの無降雨期間に対応している。観測ノイズの分散が 5.0×10^{-4} のケースでは、15840 分までの降雨期間において飽和体積含水率もパラメータ n も頻繁に変化している。これは、観測ノイズの分散が小さいため、常に解析値を計測値に一致させようと土壌水分特性パラメータを変動させているためである。また、無降雨期間では一旦パラメータの変動はなくなっているが、それは約 24000 分から再度起こっている。これは、鉛直浸透だけでは、体積含水率の変化を考慮出来なくなったためであると考えられる。一方、観測ノイズの分散が 1.5×10^{-2} のケースでは、解析当初に大きくパラメータを変動させた後は、その後、ほとんど変動が認められない。これは、先に述べたように誤差を許容しているためである。図-3 と図-4 はから分かるように、観測ノイズの分散の値に関わらず平均値はほぼ一致することから、解析結果（体積含水率）に対してある程度の誤差を許容するなら、逐次パラメータの調整を行わなくても良いことが分かる。今後、誤差の許容範囲と観測ノイズの分散の値についてのより深い考察が必要である。

6. まとめ

本研究の主な知見を以下に取り纏める。

- 1) 観測ノイズの分散の値に関わらず、粒子の平均値はほぼ一致する。
- 2) 雨水の鉛直浸透しか考慮出来ないモデルであっても、MPF によるパラメータの調節によって、体積含水率の変化を再現することができる。
- 3) 粒子の多様性を考慮するのであれば、逐次パラメータの調整を行わなくてもよい。

参考文献

- 1) 伊藤真一ほか：現地計測結果に基づく土壌水分特性パラメータ同定に対する粒子フィルタの適用，土木学会論文集 C, Vol.72, No.4, pp.354-367, 2016.
- 2) 伊藤真一ほか：現地計測に基づく浸透解析モデルのデータ同化に対する融合粒子フィルタの有用性の検証，土木学会論文集 A2, Vol.73, No.2, pp.45-54, 2017.
- 3) 伊藤真一ほか：現地計測に基づく土壌水分特性パラメータの逆解析における粒子フィルタの有用性，Kansai Geo-Symposium 2016 発表論文集, pp. 253-258, 2016.

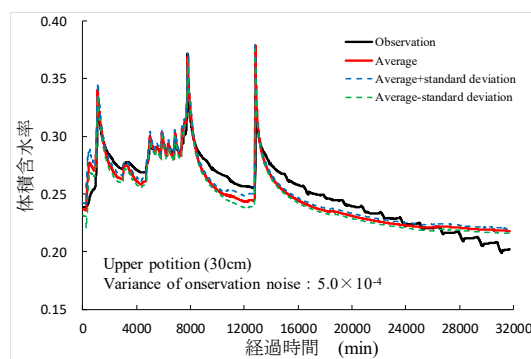


図-3 体積含水率の経時変化における計測値と解析値の比較（観測ノイズの分散， 5.0×10^{-4} ）

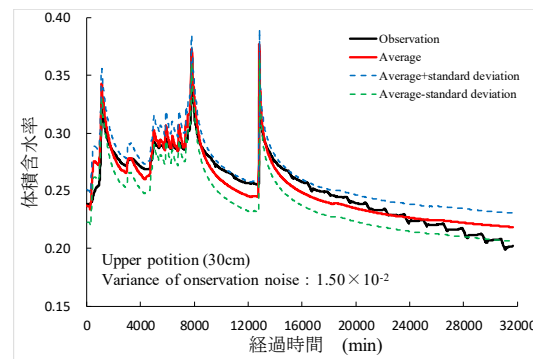


図-4 体積含水率の経時変化における計測値と解析値の比較（観測ノイズの分散， 1.5×10^{-2} ）

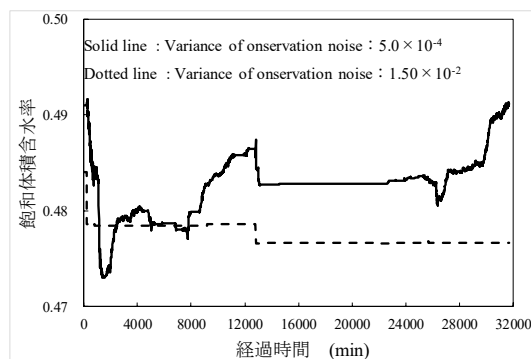


図-5 飽和体積含水率の平均値の経時変化

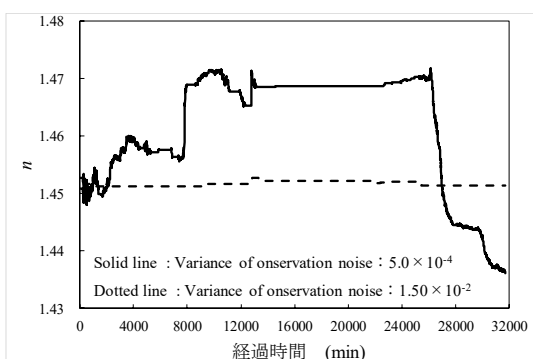


図-6 パラメータ n の平均値の経時変化