

カルマンフィルタによる表層土壌水分変動解析のための水分減少特性 Characteristics of soil water reduction in a surface layers for Kalman filtering analysis

清沢秀樹

Hideki KIYOSAWA

カルマンフィルタによる土壌水分時系列解析は、水分量の空間変動性や測定誤差、物理モデルの妥当性等も考慮できる柔軟な解析法であり、水分予測やモデルパラメータの推定を通して、広く水文現象の分析や灌漑技術の高度化に役立つと考えられる。この解析には、対象土層の全水分量と上下境界面を通る水分フラックスとの関係を定式化する必要がある。これまで、土壌面蒸発のみを考慮したモデル (Parlange et al.) や降下浸透のみを考慮したモデル (Wendroth et al.) が報告されているが、両過程並存のモデルは無いようである。また、降下浸透の評価にも水頭勾配の測定を前提にしない方法が望まれるが、報告例は見当たらない。先に清沢は、様々な地下水条件や蒸発散条件を設定して排水乾燥過程の差分解を検討し、表層土の水分減少の特徴を調べた。ここではそれらを再検討し、特に植生が存在して蒸発散と浸透が同時に起こる場合のモデル化の指針を示す。

1. 状態空間(State-Space) 様式による定式化

横方向流れが無視できるとき、深さ L の土壌表層の水収支式 (状態方程式) と、それに対応する離散時間ごとの観測方程式は、

$$dX = [P_t - ET(X, ET_p) - q_L(X)]dt + v_s dt \quad \dots(1)$$

$$Z(t_k) = X(t_k) + v_m(t_k) \quad \dots(2)$$

ここに、 X : 土層全水分量、 Z_m : X の測定値、 v_s , v_m : プロセスノイズと観測ノイズ、 P_t : 降水強度、 ET , ET_p : 蒸発散量とその最大可能量、 q_L : 深さ L での水分フラックス。

TDR 測定等により $Z(t_k)$ のデータが得られているとき、 ET や q_L を X の関数としていかにモデル化するかが問題になる。

2. 差分解による排水乾燥過程の検討

黄褐色森林土 (壤質砂土) の水分移動特性を用い、Table 1 の境界条件について完全飽和の初期状態からの差分解を検討した。植物根の吸水分布や、蒸発量・蒸散量の割合の詳しい設定は清沢 (2003) に示してある。

三重大学大学院生物資源学研究科

Graduate School of Bioresources, Mie University

keywords: 土壌水分、カルマンフィルタ、畑地灌漑

Table 1 Boundary conditions

	Groundwater	ET_p
①	150cm	0
②	150cm	6mm/day (E only)
③	150cm	6mm/day (E+T)
④	>>150cm	6mm/day (E+T)
⑤	150cm	12mm/day (E+T)
④	matric potential gradient at 150cm=0	

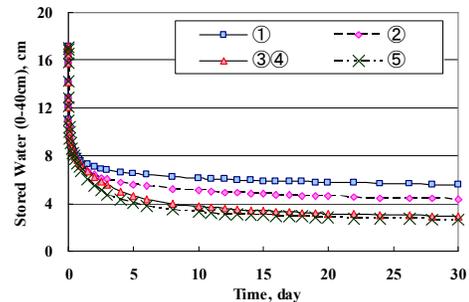


Fig.1 Stored water in surface layer (0-40cm)

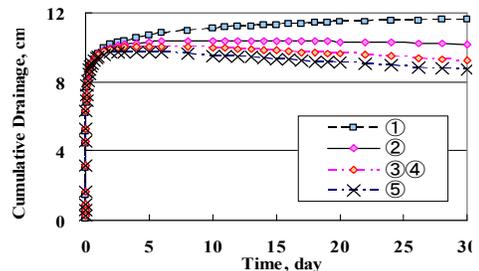


Fig.2 Cumulative drainage from surface layer.

Fig.1 は根群域 (L=40cm) 内の全水分量、Fig.2 は根群域からの積算排水量、Fig.3 は積算蒸発散量について、それぞれ時間変化を表す。また、Fig.4 は根群域からの排水速度、Fig.5 は蒸発散速度を、この層内の平均水分量との関係で示してある。これらの図より次のことがわかる。

- 1) 境界条件③④の比較より、150cm より深い地下水位の違いは根群域内の水分変化にほとんど表れていない。
- 2) 根による吸水分布が同じなら、根群域に保たれる全水分量の時間変化に、気象上の蒸発条件が与える影響は小さい (Fig.1)。これは蒸発散量の差異を排水量の差異が打ち消しているからである (Figs.2,3)。
- 3) 根群域からの排水速度～平均水分量関係は、蒸発散の条件によらず、いずれも不飽和透水係数～水分量の関数 $k(\theta)$ にかなり近い分布をとる (Fig.4)。ただし、この関数のみで、下方からの毛管上昇が生じる段階を表すことはできない。
- 4) 根による吸水強度分布や可能蒸発散量が異なると、恒率期から減率期へ移行する水分量が異なる (Fig.5)。この土壌の場合、平均水分率 0.14～0.17 の範囲にあり、pF2 程度に相当する。

3. 水分減少速度～水分量関数の提案

表層の水分量が多いときは下方へのフラックスとして不飽和透水係数～水分量 $k(\theta)$ の関数形を用い、蒸発散量は水分量に無関係の外部入力として扱う。表層水分量が減少し、減率期に入ったと考えられる段階では、下層からの毛管上昇も含められるよう、蒸発散と下端フラックスを併せた土層全体の水分減少速度を水分量の関数として捉え、 $k(\theta)$ で近似する。なお、これらの解析に必要なのは $k(\theta)$ の関数形のみであり、含まれるパラメータは、時系列解析の際、水分量のアンサンブル平均値と実測値との差の 2 乗和を最小とする値として決定できる。

4. まとめ

土壌水分の時系列データを解析するのに必要な、土層上下境界の水分フラックスと水分量との関係を差分解析に基づいて検討し、透水係数～水分量関係式を、乾燥の進行度や植生の有無等に応じて調整して利用する方法を提案した。(1) (2) 式に基づき、実際のデータに拡張カルマンフィルタを適用した例は大会当日示す。

(文献) Parlange, M. B., et al. 1993, Water Resour. Res. 29, 1279-1286. / Wendroth, O., et al. 1999, Soil & Tillage Research 50, 85-93. / 清沢秀樹 2003, 農業土木学会大会講演要旨

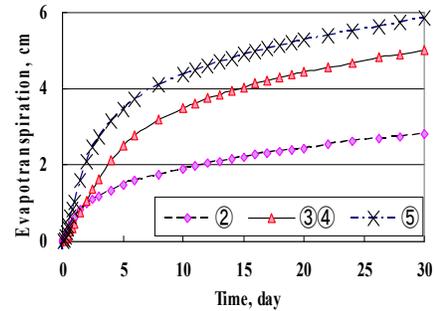


Fig.3 Cumulative evapotranspiration

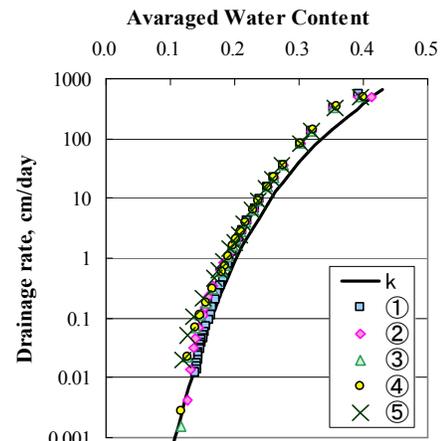


Fig.4 Drainage rate

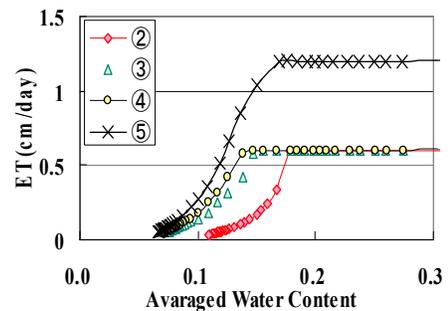


Fig.5 Evapotranspiration rate