

東京大学生産技術研究所 正員 虫明 功臣

正員 岡 泰道

1. はじめに.

流域における水循環過程において、不飽和帯水分の挙動は重要な役割を果たすが、現状ではそれを定量的に評価する方法が確立されていない。本研究では多摩丘陵の自然林地に設定された長池試験流域を対象に、テンシオメータ記録に基づく解析と水収支解析の二つの方法によって、降雨時の不飽和帯水分の変動を把握することを試みるとともに、テンシオメータ記録の妥当性について検討する。観測記録は'80年7月~'81年12月のものを用いた。

2. テンシオメータに基づく不飽和帯水分変動量の推定

2.1 テンシオメータ記録の取り扱い : (1) テンシオメータで得られた吸引圧 ψ から体積含水率 θ への変換は室内実験で求めた pF-水分曲線(図1)による。(2) 不飽和帯水分増加量 ΔMs は、各深度の体積含水率変化に、その深度のテンシオメータの代表土柱を乗じて、加え合わせるることによって得られる。(3) こうして求めた ΔMs の累加曲線を図2に Case T1として示す。ただし、図1に示すように深度35cm以浅の pF 水分曲線にはヒステリシス(脱水過程と吸水過程で異なる経路をとる)がみられるが、Case T1ではその効果を無視し、脱水・吸水の平均値を用いている。

2.2 ヒステリシスの影響の評価 : 自然林地土壌の浅層では、団粒構造が発達し、粗大な空隙と微細な空隙が混在することがヒステリシスの一因と考えられる。解析方法としては、独立領域理論に基づく *Mualem* の方法⁹⁾を採用した。これは土壌の空隙を、ヒステリシスに關する空隙とそうでないものとに分け、各空隙が独立であるとして、過去の水分履歴から *main loop* 内の走査曲線を求めるというモデルである。例えば、吸引圧 ψ が ψ_{min} (極度の乾燥状態)から吸水→脱水→吸水を繰り返し、最後に吸水過程になる場合、含水率 θ は次式で与えられる。

$$\theta(\psi_{min}, \psi_2, \dots, \psi_n) = \theta_w(\psi) + \{ \theta_w(\psi_{n-1}) - \theta_w(\psi) \} \times \frac{\theta_u(\psi_n) - \theta_w(\psi_n)}{\theta_u - \theta_w(\psi_n)} + \sum_{i=1}^{n-1} \{ \theta_w(\psi_{i+1}) - \theta_w(\psi_{i+2}) \} \cdot \frac{\theta_u(\psi_i) - \theta_w(\psi_i)}{\theta_u - \theta_w(\psi_i)}$$

----- (1)

ここに、 θ_u は飽和含水率で、添字 w は吸水、 d は脱水曲線をそれぞれ表す。本研究では、このモデルを現地のデータに適用しやすい形に修正して用いた。

(a) 実験から求めた *main loop* を用いた場合 : これは図1(a)の *main loop* に *Mualem* の方法をそのまま適用したもので、結果を図2に Case T2として示す。ヒステリシスを考慮することにより ΔMs の推定値が減少することがわかる。しかし、実際の吸引圧の変動幅は実験範囲より小さいため、pF 水分曲線を現地に適用する際には、pF 値の変動幅に応じた仮想的な *main loop* を用いる方が合理的と考えられる。

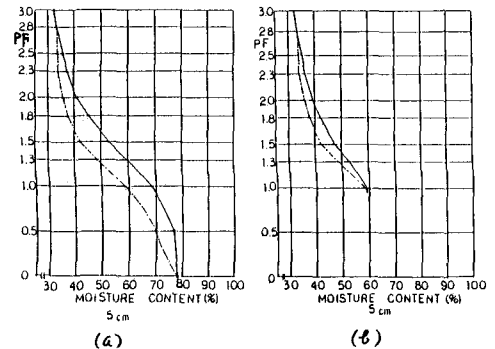


図1 深度別 pF 水分曲線の例 (5cm)

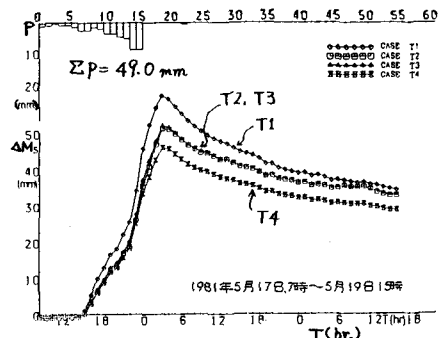


図2 テンシオメータ記録に基づく解析結果

(b) 観測 pF 値の最大値と最小値に基づいた走査曲線を *main loop* とした場合：現地に応じた pF 水分曲線は、吸引圧の既往最大・最小値、 pF_{max} と pF_{min} で決定されると仮定する。実験による *main loop* は $pF 2.8$ で脱水・吸水の両曲線が等しくなり、 pF_{max} がほぼ 2.8 であることから、求める *main loop* は吸水曲線については (a) と等しくなる。自然林地では飽和に達することはまず無いので、吸水側の pF_{min} の点から始まる第一次脱水走査曲線をもって現地での脱水曲線とした。この *main loop* (図1 (b)) に基づき、(a) と同様に計算した結果を、図2に Case T3 として示す。

2.3 流域単位での不飽和帯水分変動量の推定：前節までの結果はテンシオメータ設置地点での ΔMs の推定値であったが、これを流域単位に拡張することを試みる。飽和域及び湿地は ΔMs に関与しないとして除外する。次に、本流域(図3、面積4.4 ha)の地表面の傾斜が急なため、 ΔMs に関与する不飽和帯部分が下流側ほど減少するという効果を考慮する。具体的には、図4のように流域を多角形で近似し、飽和域(図中の5)を除いた部分を四つの台形に分割する。さらに各台形の断面を図5のように仮定する。即ち、CD：不透水面、BCDE：毛管水帯の影響範囲及び地下水水帯、ABE：不飽和帯、DE：湿地(9%)である。以上のようにして求めた流域単位での ΔMs の時間的变化を図2に Case T4 として示す。ヒステリシスについては前節(b)に基づいている。

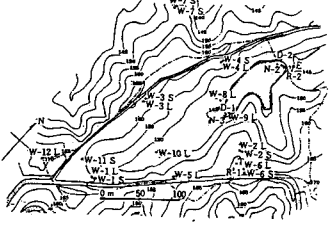


図3 長池試験流域

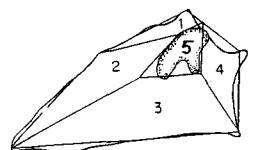


図4 多角形による近似

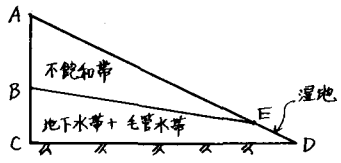


図5 台形の断面

3. 水収支解析による不飽和帯水分変動量の推定

テンシオメータで得られた ΔMs の推定値を検証するため、流域単位の水収支解析を行なった。水収支式は以下のようになる。

$$\Delta Ms = P - (Q + E) - (I_c + \Delta H \cdot P_a) \quad \text{----- (2)}$$

ここに、P：雨量、Q：流出量、E：蒸発量、 I_c ：樹冠遮断量、 ΔMs ：不飽和帯水分量の変化、 ΔH ：地下水位変化、 P_a ：有効空際率。

水収支解析結果 (Case WB) とテンシオメータ記録による結果 (Case T4) を図6 (a) (b) に併示する。中小降雨については両者はよく一致していると考えられる。大降雨については両者にかなり差がみられるが、これは水収支解析における $\Delta H \cdot P_a$ の評価に問題があると考えられる。

4. まとめ

- (1) *Mualem* の方法を用い、pF 水分曲線のヒステリシスを考慮した。
- (2) pF 水分曲線の *main loop* として、実験に基づく曲線と観測値の既往最大・最小値に基づく走査曲線の二つを用いて比較した。双方にそれほど差はなかったが、後者の方が合理的と考えられる。
- (3) 不飽和帯部の層厚の考慮により、テンシオメータ記録を流域単位に拡張した結果、中小降雨については水収支解析との整合性が得られた。豪雨については両者に著しい差がみられたが、これは水収支解析における、地下水変動量の推定、代表観測井の採り方等に問題があると考えられる。

<参考文献> *Mualem, Y: A conceptual Model of Hysteresis, Water Resources Research, Vol. 10, No. 3, 1974.*

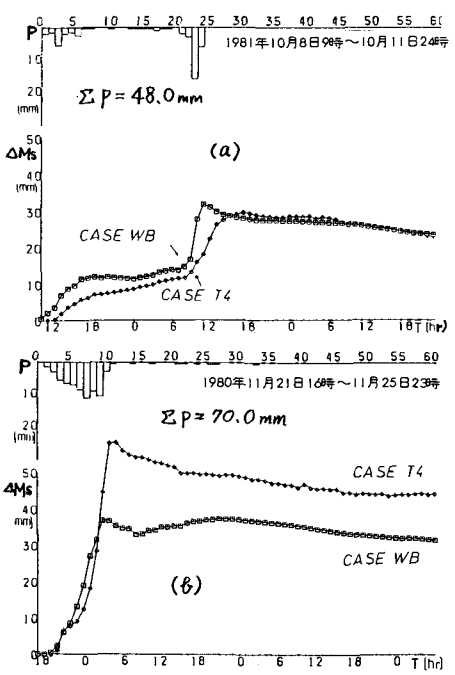


図6 テンシオメータ記録に基づく解析結果(T4)と水収支解析結果(WB)の比較