

電気探査法を用いた山地斜面表層における不均質な雨水挙動の把握

京都大学大学院農学研究科 ○山川陽祐・隅田順・小杉賢一朗・水山高久

台湾大学森林学系 梁偉立

1. はじめに

山腹斜面における表層崩壊の発生には、斜面の複雑な地盤構造とそれに伴う不均質な雨水挙動が大きく関与していることが近年の斜面水文学の研究により指摘されている。このような地盤内の雨水挙動を把握する方法として、斜面に土壤水分計を高密度に配置することが考えられるが、センサーの数によって空間分解能が規定されてしまうという問題がある。これに対して、電気探査法は地表面からの間接的な計測法であり、地盤内の水分分布を空間的に連続して計測し得ることが畑地 (Michot et al, 2003) や山地斜面の基岩層 (Suzuki et al, 2001) における適用から指摘されている。ただし、電気探査法の水分計測手法としての適用性は十分には検証されていない。本研究では立木を含む山地斜面の表土層を対象とし、高密度に配置した土壤水分計による土壤水分量の直接計測との比較によりこの適用性を検証した。なお、測線上に存在する立木の樹幹流が有無の条件（無しの場合は、樹幹流を遮断した。）を設定し、雨水挙動の形態が大きく異なる 2 パターンの条件下で実験を行った。

2. 方法

2-1. 計測緒元

現場実験は、京都市北区に位置する京都大学上賀茂試験地内の勾配約 28 度、粘板岩を母材とする斜面において行った。測線はその中央付近に胸高直径およそ 20 cm の 1 本のヒメシヤラ立木を含むように斜面縦断方向に設定した。2008 年 11 月には立木に樹幹流捕捉装置を取り付け、樹幹流が測線上に供給されない条件とし、2009 年 6 月には装置を取り外して自然の条件とした。比抵抗 ρ (ohm-m) の計測には E60CN MERS (Geo Pen 社製) を用い、電極間隔は 50 cm とし、1 時間毎に自動計測を行った。土壤水分計はキャパシタンスメータ EasyAG-5P (Sentek 社製) を用い、水平距離 25~50 cm 間隔で樹幹の上下流にそれぞれ 3 箇所 (図-1c 中の P1~6) 埋設し、1 箇所につき深度 10 cm から 50 cm までの 10 cm 毎における体積含水率 θ を 5 分間隔で自動計測した。電気探査法、土壤水分計の両測線は約 10cm の間隔で並列させた。なお、電気探査の測線は全 6 箇所の土壤水分計を設置した領域を含む十分な長さを確保した。

2-2. 比抵抗分布計測の再現精度を考慮した比抵抗データの解析

電気探査法による地盤内の水分分布計測は、比抵抗が地盤材料の組成や構造に加えて地盤の含水量に大きく支配されることを原理としている。また、計測断面の各地点において基準時刻に対する比抵抗 ρ の増加量やこれを基準時刻の ρ で除した変化率を求めることによって地盤内水分分布の経時変化を求めるという解析手法が一般的に用いられる。しかし、本斜面においては土壤水分量の空間分布が同一である無降雨時においても ρ が大きく変動する箇所があった。その原因として、電極の接地不良に因る計測精度の低さや、複雑で不均質な自然斜面の土層構造に因る逆解析の再現精度の低さが考えられた。このため、上述の手法によって ρ データから水分の時空間分布を効果的に推定することが困難であった。そこで本研究では、(1) 式により標準化された比抵抗変化率 $\Delta\rho_*$ を算出し、直接計測された体積含水率 θ の時空間分布との比較を行った。

$$\Delta\rho_* = \frac{\rho - \bar{\rho}}{\sigma} \quad (1)$$

ここで、 $\bar{\rho}$ と σ は、それぞれ降雨開始前の ρ の平均値と標準偏差である。

3. 結果と考察

図-1, 2 にそれぞれ 2008 年 11 月 24 日（樹幹流を遮断する条件下）と 2009 年 6 月 29 日（自然条件下）の降雨イベントに対する比抵抗変化率 $\Delta\rho^*$ および体積含水率の降雨開始時からの増加量 $\Delta\theta$ の空間分布を示した。土壌水分計による計測から、2008 年の時刻 $T_1 \sim T_3$ については、 $\Delta\theta$ の経時変化は顕著ではないが雨水が空間的に比較的均質に鉛直浸透する様子が窺われた（図-1c）。これに対して、 $\Delta\rho^*$ は $T_1 \sim T_3$ にかけて表層から徐々に減少した（図-1b）。一方、2009 年の時刻 $T_4 \sim T_6$ については、樹幹の下流側で急激に $\Delta\theta$ の上昇が見られ、特に水分計 P3 の深度 50 cm においては局所的に $\Delta\theta$ が上昇した（図-2c）。これは樹幹の下流側土層内に根系に沿った樹幹流の集中的な供給があったためであると考えられる（Liang et al., 2010）。この $\Delta\theta$ 分布に良好に対応して、水分計 P3 の深度 30 cm 付近を中心とした $\Delta\rho^*$ の局所的な低下が見られた（図-2b）。このように、 $\Delta\rho^*$ の空間分布から概ね良好に自然斜面表層における雨水浸透形態を捉え得ることが示された。ただし、例えば T_5 の地点 P4 表層における $\Delta\rho^*$ と $\Delta\theta$ の対応が見られないことから、電気探査法による地盤内水分計測の空間分解能およびの定量評価の限界が示された。

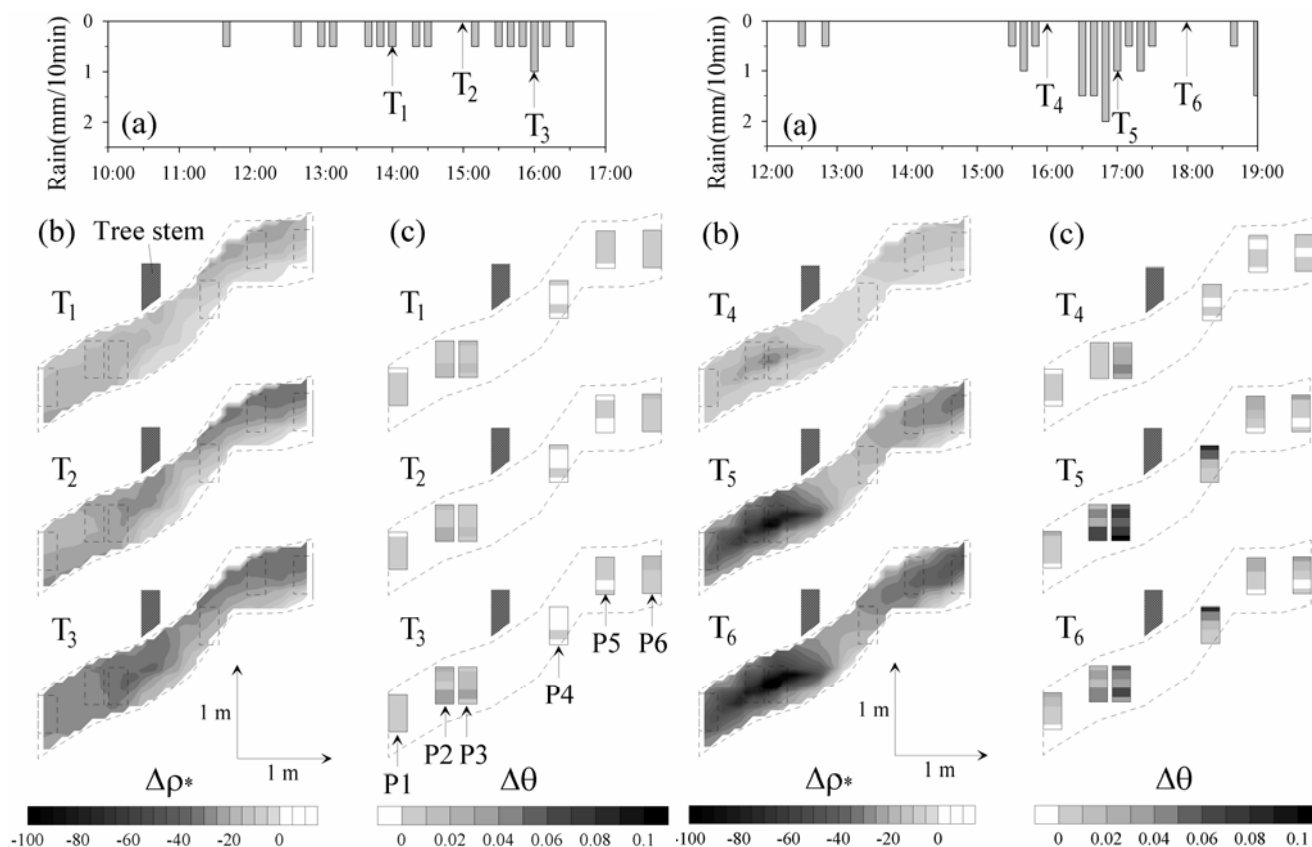


図-1 2008 年 11 月 24 日（樹幹流を遮断する条件下）の (a) 降雨に対する (b) $\Delta\rho^*$ と (c) $\Delta\theta$

図-2 2009 年 6 月 29 日（自然条件下）の (a) 降雨に対する (b) $\Delta\rho^*$ と (c) $\Delta\theta$

引用文献

- Liang et al., 2010, Water Resources Research 47, W02541, doi:10.1029/2010WR009856.
 Michot et al., 2003, Water Resources Research 39 (5), 1138–1157.
 Suzuki et al., 2001, Geophysics, 66(3), 733–743.