

山地斜面における熱をトレーサーとした水分フラックス挙動の解析

京都大学大学院農学研究科 ○道幸 李佳, 小杉 賢一朗, 藤本 将光
正岡 直也, 石岡 武, 水山 高久

1. はじめに

斜面崩壊を予測するにあたり、山地斜面内部の水の動きは重要な要因の一つである。しかし、一様に見える山地斜面においてもその内部構造は複雑であり、水分フラックスも不均質な挙動を示すことが知られている。このメカニズムを解明するためには、土壌水分計やテンシオメータ等を用いた高密度観測が有効である。しかし、高密度観測には手間と時間がかかるため、新しい手法を検討する必要がある。本研究では、熱を利用したトレーサー実験による水分フラックス挙動の観測手法について実際の斜面で実験を行い、検討を加えた。

2. 方法

土壌中において、熱は熱伝導による拡散に加え、水の移動に伴っても伝わる。本研究では、土壌内部に熱源を設置し、高密度に埋設した熱電対により各地点の温度を計測することで、熱の伝わり方の差から、水分フラックスの挙動を解析した。使用したヒーターは全長 1100mm の棒状で先端から約 40mm の部分が発熱部で、最高温度は 870°C である。設計図を図 1 に示す。

実験は、2009 年 12 月 6 日に滋賀県大津市田上山不動寺水文試験地内の下層植生が少ない広葉樹林斜面の末端約 5m×4m の範囲を対象として行った。この区画には、全 51 地点に合計 141 本のテンシオメータと、同数の熱電対が表層、中層、基岩面上にそれぞれ設置されており、各地点の圧力水頭と地温を計測できる。図 2 はこの区画の表面地形図で、図中の「↑」は各テンシオメータ・熱電対の位置を表している。図 2 の×印の地点に検土杖で穴を開け、表層から 79.2cm (ほぼ基岩面上) の深さにヒーターを設置した。11 時 37 分から 13 時 42 分まで 125 分間熱を与え続け、各地点の温度を 15 秒ごとに計測した。加熱終了後も温度計測を続けた。

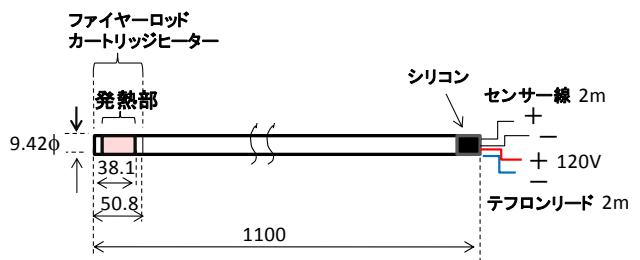


図 1 ヒーター設計図 (単位はmm)

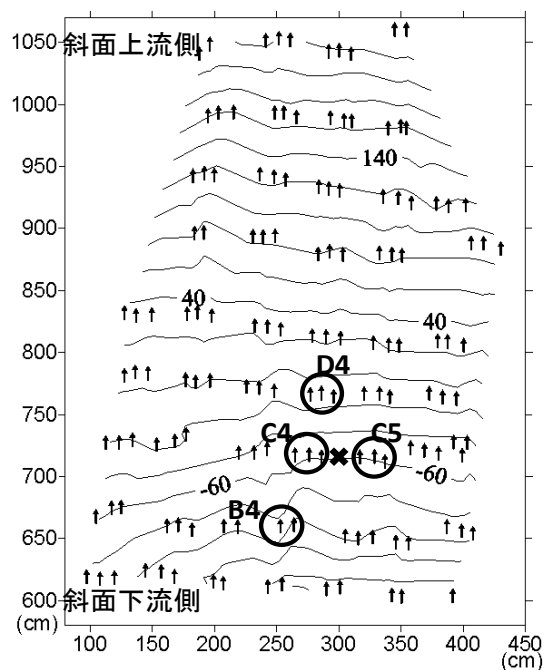


図 2 テンシオメータ・熱電対配置図

3. 結果と考察

図 2 中のヒーター下流側の B4 地点、横断方向の C4, C5 地点でヒーターによる加熱の影響を受けた地温の上昇反応がみられた。しかし、上流側の D4 地点では反応は見られなかった。(図 3.1~4)

B4, C4, C5 地点の温度上昇開始時刻および熱源との距離を用いて熱の伝達速度を計算した。また、実験開始直前の圧力水頭分布と斜面土壌の飽和透水係数、孔隙率を用いて、熱源から各地点へ向かう孔隙内水流の流速を求めた。これらを表 1 に示す。

熱の伝達速度は、ヒーターから斜面下流側の B4s, B4b 地点が最も速かった。孔隙内水流流速についても、B4 地点へ向かう流速は横断方向の水流に比べて大きかった。よって、熱は斜面上部から下部に向かう水分フラックスの影響を受けて伝わっていることがわかった。

さらに、横断方向のライン C 断面では、4 地点のうち C4b 方向のみが流速が正の値で、その影響によって熱も素早く伝達していた。また、C4m は水流が逆向きであったにも関わらず、熱の伝達は速かった。これはテンシオメータ網でとらえきれていない水流があることを示唆している。

温度上昇幅は C5b, C4m が他に比べて大きく、残りは C4b, C5m, B4s, B4b の順に大きく、伝達速度と温度上昇幅には特に相関性は見られなかった。これは土の組成の違いによる比熱の差に影響を受けている為と考えられる。

以上のことから、熱をトレーサーとする解析により、山地斜面内部の土壌水分フラックス挙動をより詳細に把握できる可能性が示された。

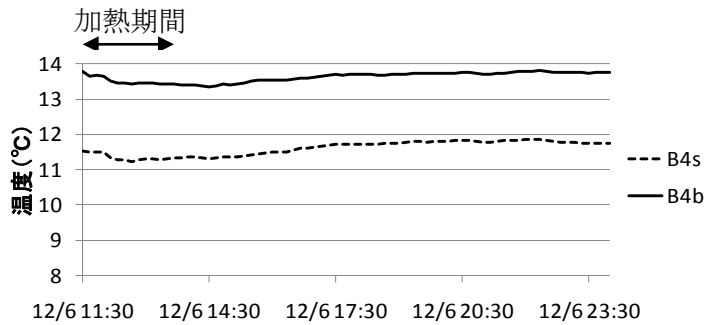


図 3.1 B4 地点における温度変化

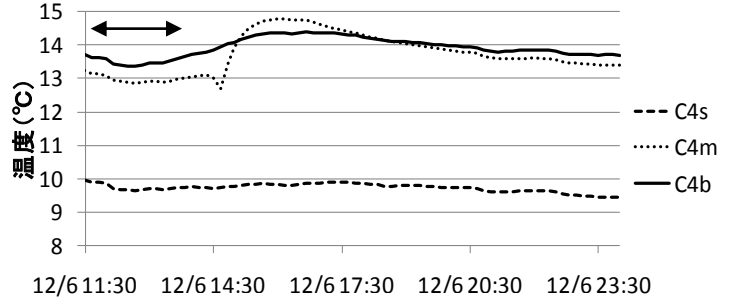


図 3.2 C4 地点における温度変化

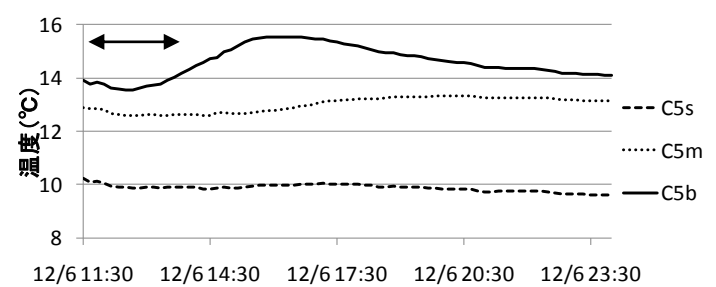


図 3.3 C5 地点における温度変化

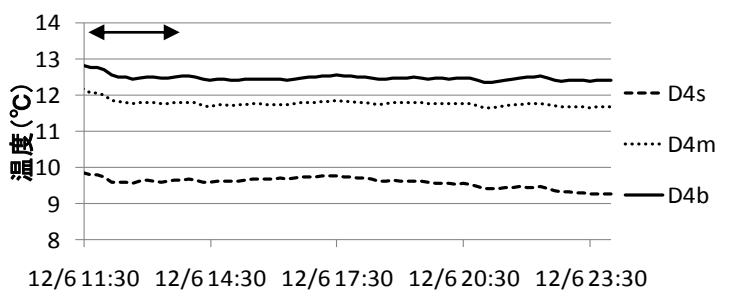


図 3.4 D4 地点における温度変化

表 1 熱伝達速度と流速の計算結果

地点名 (表層からの深さ(cm))	温度上昇幅 (°C)	熱の伝達速度 ($\times 10^{-3}$ cm/s)	水流の流速 ($\times 10^{-3}$ cm/s)
B4s (20)	0.58	10.86	1.84
B4b (53.5)	0.39	8.62	5.85
C4m (60)	1.89	5.47	-9.06
C4b (85)	0.87	6.33	0.79
C5m (54)	0.66	2.67	-0.69
C5b (76)	1.92	2.78	-0.79

(水流の-は熱の伝達方向と逆向きであることを示す)