

山地斜面における地温観測による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 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、これらの高密度観測には手間がかかるため、新しい手法を検討する必要がある。本研究では、実際の斜面で地温を高密度に観測し、得られた地温変動データを分析することで水分フラックス挙動の解析手法について検討を加えた。これまで、ボーリング孔において地下水温を計測し降雨流出過程を調べる研究*は行われているが、土層内で高密度に地温を計測し水分フラックスを解析した例はない。

2. 方法

滋賀県大津市田上山不動寺水文試験地内の下層植生の少ない広葉樹林斜面の末端約 5m×4m の範囲を対象として観測をしている。この区画には全 51 地点に合計 141 本の熱伝対と、同数のテンシオメータが表層、中層、基岩面上に設置されており、各地点の地温と圧力水頭を計測できる。図 1 はこの区画の表面地形を表している。また、図中の「↑」は各熱伝対・テンシオメータの位置を表しており、左列から 1,2,3・・・、前列から A,B,C・・・と名づけた。

地温は約 1 年間を周期とし、sin 曲線を描きながら変動する。今回は、2008 年 10 月～2010 年 4 月のデータを用い、それぞれの地点の sin 曲線の振幅に注目して分析を行った。

次式は、経過時間 t (日)、振幅 $A(^{\circ}\text{C})$ 、平均地温 $T_{ave}(^{\circ}\text{C})$ 、位相のずれ ϕ を変数とし、地温 $T(t)$ の変動を sin 曲線で表したものである。

$$T(t) = A \sin(2\pi t / 365 - \phi) + T_{ave} \quad (1)$$

観測した 10 分間データの地温と上式の値の間の残差平方和が最小になるよう、エクセルのソルバー機能を用いて振幅 A 、平均地温 T_{ave} 、位相のずれ ϕ を決定することで、実際のデータ変動を最も良好に再現する sin 曲線を求めた。

3. 結果と考察

図 2 に代表的な地点について、地温の計測値と sin 曲線の適合結果を示す。両地点において良好な適合が得られていることがわかる。

図 3 は、全地点について振幅 A の自然対数値 $\ln A$ と深度 d の関係を表したグラフである。

地温の振幅は深度が増すにつれて小さくなることが知られており、 $\ln A$ と d の関係は次式で表すことができる*。

$$\ln A = K \cdot d + \ln A(0) \quad (2)$$

ここで、 $\ln A(0)$ は地表面の振幅であり、 K は次式で表される。

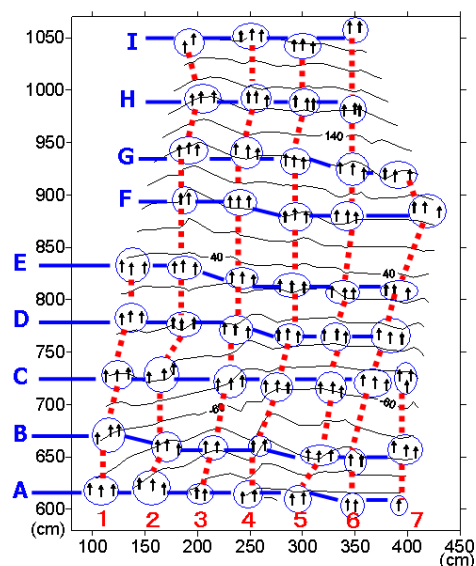


図 1 熱伝対・テンシオメータ配置図

$$K = (\pi / \tau \kappa)^{(1/2)} \quad (3)$$

ただし、 π は周期(365day)、 κ は土壌の熱伝導率である。

図3において、恒常的に土壌に水位が観測されず地下水の影響をあまり受けていないと考えられる E、F、G、H、I ラインの点は、ほぼ一本の直線上に乗る傾向を示している。そこで、これらのデータに近似曲線((2)式)を当てはめ、 $d=0$ となる時の $\ln A$ の値(2.1233)から $\ln A(0)$ を定めた。次に、それぞれの地点の $\ln A$ と d の値を、 $\ln A(0)=2.1233$ とした(2)に代入することによって、それぞれの地点の定数 K の値を求めた。その値の基岩面上における分布を示したものが図4である。

土壌の熱伝導率 κ は、通常 $0.0012 \leq \kappa \leq 0.0126$ の値をとる。したがって(3)式より、定数 K は $0.0028 \leq K \leq 0.0091$ の値をとることになる。図4には $K=0.0091$ のラインを太線で示した。斜面向かって右下部分は 0.0091 を超えていることがわかる。これは、その地点の深度に比べ κ が過剰に小さいことに対応していることから、より深層の基岩内から湧出してくる水が存在すると考えられる。つまり、斜面末端の右下部分に基岩湧水点が分布しているといえる。

この様に、地温の空間分布を詳細に計測し分析を行うことで、基岩湧水点の正確な位置を特定することができ、基岩地下水が土層内の水分フラックスの形成に寄与していることが示された。

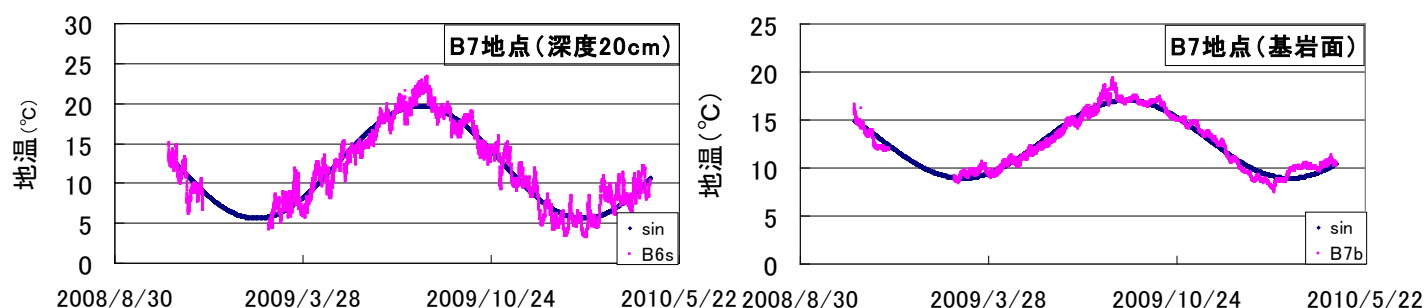


図2 C7 地点の深度 20cm、基岩面における地温変動と適合 sin 曲線

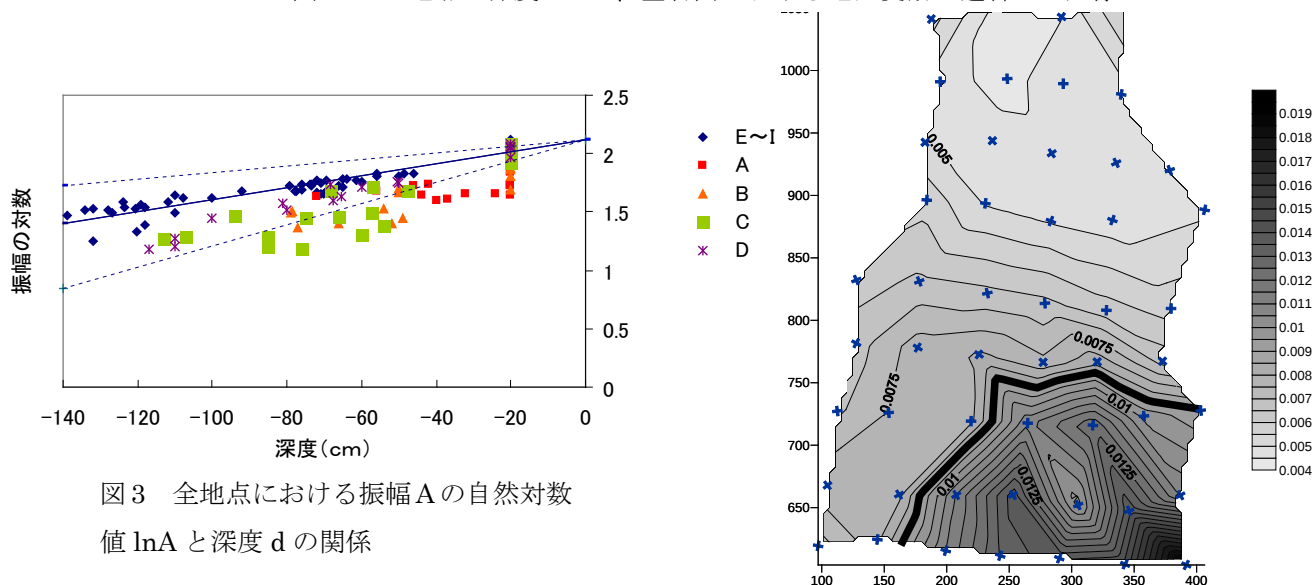


図3 全地点における振幅 A の自然対数値 $\ln A$ と深度 d の関係

図4 基岩面における K の分布

* 引用文献 S.Katsura, K.Kosugi, T.Mizutani, S.Okunaka and T.Mizuyama, Effects of bedrock groundwater on spatial and temporal variations in soil mantle groundwater in a step granitic headwater in a step granitic headwater catchment, WATER RESOURCES RESEARCH, VOL.44, W09430, doi:10.1029/2007WR006610, 2008