

(続紙 1)

京都大学	博士 (農 学)	氏名	正岡 直也
論文題目	Analysis of Heterogeneous Hydrological Properties of a Mountainous Hillslope Based on Intensive Observations (高密度観測に基づく山地斜面の不均質な水文特性の解析)		
(論文内容の要旨)			
<p>山地斜面の土層は不均質な水文特性を示し、それにより生じる複雑な水流が予測困難な洪水流出や表層崩壊を生むことが知られている。現象の正確な解明には、水文観測機器を高密度に設置した集中観測が最も有効と考えられる。しかし地中で局所的に存在する水文特性を検出する有効な手段が無かったため、既往研究においては専ら斜面末端の流量データ等に基づく間接的な推定がなされ、斜面内部の直接的な観測は十分なされてこなかった。本論文では、筆者らが開発した新測器である土壌水分計付貫入計(CPMP)を用いて、広域の土層構造と水分分布を迅速に探査し、不均質な水文特性を前もって検出した。その結果を踏まえて水文観測機器を前例の無い高密度で設置し、不均質な水文特性に起因する水流を直接観測した。さらに同様の観測を複数年継続して行い、特に研究例の乏しい水文特性の三次元的分布の時間的変化について解析した。以上の手法により、これまで十分な観測研究がなされてこなかった山地斜面の不均質な水文特性を空間的・時間的に高精度で解明することを目的とした。</p> <p>先ず、CPMPを用いた探査が不均質な水文特性の検出に有効であるかどうかの検討と評価を行った。表層崩壊が多発する山地流域(京都大学防災研究所穂高砂防観測所ヒル谷試験流域)の急傾斜斜面において、CPMPを用いて貫入抵抗値と体積含水率の同時計測を行ったところ、基岩地形の集水効果に対応しない不均質な水分分布が検出された。さらに同じ観測点にテンシオメータを設置して圧力水頭を継続的に観測し、CPMPの結果との比較を行ったところ、基岩面上の圧力水頭の飽和帯(水みち)と高含水率帯の形状はほぼ一致していた。表土層-風化基岩層境界上に飽和帯水層が分布し、難透水層による鉛直浸透阻害が示唆された地点でも、帯水層と高含水率帯の分布は一致していた。また、斜面上流部の基岩地形の窪み内部で基岩湧水を示す緩やかな圧力水頭波形が観測された地点でも、地形に対応しない局所的な高含水率帯が分布していた。このように、無降雨時の不均質な水文特性をCPMPの結果のみから高精度に推察できることが示された。さらに、選択流や水文学的基盤面の位置変動といった降雨時のみ起こる不均質性の高い現象も、CPMPの結果のみからある程度推察可能であった。このように、CPMPが山地斜面の不均質な水文特性の探査に有効なツールであることが示された。</p> <p>上記の結果を踏まえて観測斜面にテンシオメータを三次元的に設置し、前例の無い高密度での土層内水流観測を行った。無降雨時において、基岩湧水の発生地点では恒常的に鉛直上向きの水流フラックスが発生し、中層に乗り上げた水流は難透水層により鉛直浸透を阻害され、基岩面上でなく中層の飽和側方流として流下していく様子が観測された。降雨ピーク時は、通常の降雨浸透現象では発生し得ない基岩面上の連続した高圧力帯と、それに沿った上向きフラックスが難透水層の内部で観測され、風化基岩層内部の亀裂を通る選択的流路の存在が示唆された。このように三次元かつ高密</p>			

度の水流観測により、複数の不均質な水文現象に起因する複雑な水流挙動を把握することができた。また、観測斜面を多数の四面体要素メッシュに分割することで物理モデル化し、三次元のRichards式を有限要素法で解くことで浸透計算を行った。複雑な透水係数分布を任意に設定して難透水層や選択流路などの特性を再現し、さらに基岩湧水による水供給を実測値に基づき与えた結果、観測された三次元水流を良好に再現することができた。このように、斜面水文特性の中でも特に把握が困難な透水係数分布と水供給を、浸透計算を用いることで高精度に推定することができた。

上記と同様の高密度テンシオメータ網を用いた水流観測を、2008年から2011年にかけての4年間、積雪期を除き継続的に行った。その結果、無降雨時の水文過程には4年間で顕著な変化は見られなかった。一方、降雨時の選択流路による高圧帯発生の位置と規模が大きく変化していた。選択流路の発生領域は年経過により拡大し、流路が新たに形成される様子が観測された。これは風化基岩層内の流路が、風化や浸食により拡大する様子を示していると考えられた。また、各年度の春から秋にかけて選択流による圧力水頭上昇量が減少する傾向が見られた。これは水流により流路内部の細粒土砂が流出し、透水性が向上したことを示唆していた。このように高密度長期観測により、水文特性の時間的な不均質性が実斜面での観測で初めて明らかにされた。

以上のように、新測器CPMPと高密度水文観測を併用した新たな手法によって、山地斜面の空間的・時間的に不均質な水文特性を詳細に解明することができた。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

山地斜面の土層は不均質で、それにより生じる複雑な水の流れが洪水流出や表層崩壊の予測を困難にしている。この現象の解明には水文観測機器を高密度に設置した集中観測が有効と考えられるが、地中で局所的に存在する水みちを検出する有効な手段が無かったため、斜面末端の流量データ等から存在を間接的に推定することが殆どであった。本論文では、新しく開発した土壌水分計付貫入計(CPMP)を用いて、広域の土層構造と水分分布を迅速に探査し、水文観測機器を高密度で設置して不均質な地中の水流を直接観測した。評価できる点は以下の通りである。

1. CPMPを用いた探査が不均質な水文特性の検出に有効であることを、同じ観測点にテンシオメータを設置して証明した。
2. 無降雨時の不均質な水文特性と選択流や水文学的基盤面の位置変動といった降雨時のみ起こる不均質性の高い水文現象をCPMPの結果のみから高精度に推察できることを示した。
3. 観測斜面にテンシオメータを三次元的に設置し、前例の無い高密度での土層内水流観測を行って、無降雨時の、基岩湧水発生地点での恒常的な鉛直上向きの水流フラックス、難透水層により鉛直浸透を阻害された中層の飽和側方流の観測に成功した。
4. 降雨ピーク時の三次元かつ高密度の水流観測により、複数の不均質な水文現象に起因する複雑な水流挙動を把握することができた。
5. 観測斜面を多数の四面体要素メッシュに分割して物理モデル化し、三次元のRichards式を有限要素法で解く浸透計算を行い、難透水層や選択流路の再現、観測された三次元水流を良好に再現することに成功した。
6. 降雨時に新たな流路が形成される様子が観測され、各年度の春から秋にかけて選択流による圧力水頭上昇量が減少する傾向が見られるなど水文特性の時間的な不均質性が実斜面での観測で初めて明らかにされた。

以上のように本論文は、新測器CPMPと高密度水文観測を併用した新たな手法によって、山地斜面の空間的・時間的に不均質な水文特性を詳細に解明したもので、山地保全学、森林水文学、森林科学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成24年2月14日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

注) Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。
要旨公開可能日： 年 月 日以降