

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	柳井 鴻太郎
論文題目	Effects of soil permeability distribution on subsurface saturation developments in forested steep slopes (急峻な森林斜面における土壌透水性分布が土層内の飽和領域形成に及ぼす影響)		
(論文内容の要旨)			
近年、気候変動に伴う集中豪雨の増加が洪水や土砂災害の増加につながる事が懸念されており、林地斜面における降雨流出形成や表層崩壊発生を精度よく予測することが強く求められている。 降雨流出形成や表層崩壊発生には土層内における飽和領域が支配的な影響を及ぼすため、斜面に供給された雨水がどのようなメカニズムで飽和領域を形成するかを明らかにする必要がある。斜面水文学の初期の研究では、均質な斜面を想定し、集水面積が大きく勾配が緩いエリアにおいて飽和領域が一様に生じるとされてきた。その後、土層の厚さ、岩盤地形、岩盤湧水が、表面地形では把握できない不均質な飽和領域の形成に関係することが明らかにされてきた。 その一方で、土層内の不均質な透水性分布が飽和領域形成に及ぼす影響に関しては、十分な知見が得られていない。その原因として、透水性の密な計測にかかる手間とコストが大きいことや、計測時に斜面を大きくかく乱し斜面の水文挙動に人為的影響を及ぼしてしまうことが挙げられる。これに関して、近年、原位置透水試験法的一种であるゲルフパーミアメータ法が改良され、森林斜面での迅速で低攪乱の計測が実施できるようになりつつある。ただし本手法は元来均質な土層を想定したものであるため、林地斜面の不均質性が計測値に与える影響を明らかにする必要がある。特に、斜面内に発達するパイプ（大孔隙が連なって管状になった水の流動経路）の存在がどのような影響を及ぼすかについては、これまで十分な検討がなされていない。 以上を背景として本研究では、①ゲルフパーミアメータ法がパイプから受ける影響の定量的評価、②基岩湧水の存在する斜面末端における飽和領域の形成に支配的な影響を及ぼす要因の解明、③斜面の透水性分布が飽和領域の形成に与える影響の解明に取り組んだ。 ①については、土性や構造が様々に異なる土壌を対象として、ゲルフパーミアメータ法による透水性計測にパイプが及ぼす影響を、数値シミュレーションを用いて解析した。その結果、ゲルフパーミアメータ法の計測井戸がパイプより少なくとも2.0cm離れていれば、パイプによる計測誤差は6%以内に留まることがわかった。このことから、ゲルフパーミアメータ法の計測値は主に土壌マトリクスの特性を反映したものであることが示され、局所的な異常値に注意すれば、ゲルフパーミアメータ法により森林斜面土層内の透水性分布を精度よく計測できることが明らかとなった。 ②については、花崗岩を地質とする斜面の末端部における岩盤地形、間隙水圧、地温の観測結果と、ゲルフパーミアメータ法による透水性の計測結果に基づき、飽和領域形成のメカニズムを解析した。地温データから、規模の大きな降雨時に観測された飽和領域が、岩盤湧水由来のものと雨水由来のものに分類できることが判明した。このうち岩盤湧水由来の飽和領域については、その拡大・縮小が岩盤地形の影響を強く			

受けることがわかった。一方、雨水由来の飽和領域については、土層内の透水性分布が降雨後の飽和領域の継続を規定する主要因であることが明らかとなった。

③については、堆積岩を地質とする斜面において、尾根と谷を結ぶ縦断側線を設定し、テンシオメータを用いた間隙水圧の集中的な観測と、ゲルフパーミアメータ法を用いた透水性分布の高密度計測を実施した。間隙水圧の観測結果からは、飽和領域形成の様子が隣接する地点で大きく異なることが明らかとなった。具体的には、斜面下部では飽和領域の規模が小さく降雨後に素早く消滅するのに対し、斜面中腹では大規模な飽和領域が出現し、降雨終了後も長期間維持されることがわかった。透水性の計測結果からは、斜面下部では土層全体が高い透水性を持つのに対し、斜面中腹から上部にかけては特に岩盤上で低い値を示すことが明らかとなった。これらの透水性分布を反映させた数値シミュレーションによって、斜面各部位における降雨に伴う飽和領域の出現と消滅が良好に再現できた。一方、均質な透水性分布を仮定した数値シミュレーションでは、斜面下部の飽和領域の出現・継続を大幅に過大評価してしまうことがわかった。さらに、両シミュレーション結果の比較から、斜面中腹に存在する低透水性地点が地下水の側方流動を抑制することで、その上流側に飽和領域を発達させ、下流側では飽和領域の発達を抑制することが明らかとなった。

以上のように本研究は、森林斜面における降雨に伴う飽和領域の形成に、不均質な透水性分布が多大な影響を及ぼすことを明らかにした。本研究で有効性を確認したゲルフパーミアメータ法による透水性分布の計測と、その結果を用いた解析により、森林斜面における降雨流出形成や表層崩壊発生メカニズム解明が飛躍的に進展すると期待される。

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。

(論文審査の結果の要旨)

森林斜面に供給された雨水が斜面の土層内に飽和領域を形成するメカニズムを明らかにすることは、降雨流出形成や表層崩壊発生の予測において重要となる。既往研究は、主として地表面地形、土層の厚さ、岩盤地形、岩盤湧水を因子として飽和領域形成メカニズムを検討していたのに対し、本論文では、土壌の透水性分布に着目した解析を実施している。具体的には、森林斜面での迅速・低攪乱の透水性計測が期待されるゲルフパーミアメータ法について、その有効性を確認した上で、実際の斜面を対象とした透水性計測を実施し、水文観測結果と合わせた解析により飽和領域形成メカニズムを検討している。本論文において評価できる主な点は次のとおりである。

(1) 斜面内に存在するパイプ状の水の流動経路が計測値に与える影響が限定的であることを示し、ゲルフパーミアメータ法により森林斜面土層内の透水性分布を精度よく計測できることを明らかにした。

(2) 岩盤湧水が存在する斜面末端部においては、岩盤湧水由来の飽和領域の形成には岩盤地形が大きな影響を及ぼすのに対し、雨水由来の飽和領域では土層内の透水性分布がその形成の主要因となることを明らかにした。

(3) 斜面の尾根と谷を結ぶ縦断側線上における透水性の不均質分布が、地下水の側方流動を制御することによって、飽和領域の形成に大きな空間変動を引き起こすことを明らかにした。

以上のように本論文は、森林斜面におけるゲルフパーミアメータ法に基づく土壌透水性計測の有効性を示した上で、飽和領域形成に及ぼす透水性の影響を、他の因子との比較の上で定量的に明らかにしたものであり、山地保全学、森林水文学、砂防学の発展に寄与するところが多い。

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、令和8年1月20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。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表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 (学位授与日から3ヶ月以内)