

氏名	桂 眞 也
学位(専攻分野)	博士(農学)
学位記番号	農博第1713号
学位授与の日付	平成20年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	農学研究科森林科学専攻
学位論文題目	Hydraulic Properties of Weathered Granitic Bedrock and Their Effects on Hydrological Processes in Headwater Catchments (風化花崗岩から成る基岩層の水分特性およびそれが山地源流域での水文過程に及ぼす影響)
論文調査委員	(主査) 教授 水山高久 教授 谷 誠 教授 太田誠一

論文内容の要旨

近年の研究により、これまで実質的に不透水層と考えられてきた基岩層へと浸透する水が山地源流域においてもかなり多いこと、そしてそのような水が基岩層内の比較的浅い部位を通過して斜面下部で土層や溪流に復帰していることが指摘されている。しかし、基岩層内での水移動過程はほとんど明らかにされていない。本研究では、風化花崗岩から成る山地源流域を対象に、基岩層の水分特性(透水性・保水性)を計測した上で基岩層内の水分状態を直接計測することにより、基岩層内での水移動過程を明らかにすることを目的とした。

第1章の緒論に続き、第2章では、これまで計測手法が確立されておらず、したがって計測事例がほとんどない風化基岩の水分特性を室内で計測した。その結果、基岩でも風化しているものでは数mm/hr程度の弱い降雨を十分に浸透させる程の透水性を有することが明らかになった。この作業をとおして、岩表層部から不攪乱採取したサンプルを整形した上で液体シリコンを用いることにより、風化基岩の水分特性を正確に計測できることを示した。

第3章では、第2章で確立した手法を用いて、調査ボーリングで得られた不攪乱の基岩コアサンプルの水分特性を計測した。調査ボーリング(深さ:12~38m)を大小2つの流域で実施したところ、得られたコアサンプルの風化区分は C_M (弱風化)~ D_L 級(強風化)であった。各サンプルの風化区分と水分特性との関係を解析したところ、 C_M 級の風化基岩では飽和透水係数(K_s)が 10^{-9} cm s $^{-1}$ と極めて小さく、水分特性曲線は圧力水頭的全領域にわたって体積含水率(θ)の変化量が小さいことがわかった。一方 C_L ~ D_L 級の風化基岩では、 K_s が 10^{-5} ~ 10^{-4} cm s $^{-1}$ の範囲にあり、 θ が水分特性曲線は湿潤領域で緩やかに変化し乾燥領域ではほとんど変化しないことがわかった。

第4章では、最近開発されたコイル型TDR式水分計を自作して風化基岩表層部に埋設し、体積含水率を計測した。降雨に対して基岩層の体積含水率が上昇したことから、基岩層にも雨水が浸透していることが実証された。降雨終了後は基岩層の体積含水率は急激に低下し、無降雨時にはほとんど変動しなかった。このような基岩層の体積含水率の変動は、マクロポアとマイクロポアに二極化した基岩の間隙構造によると考えられ、第3章で計測した基岩表層部の水分特性を用いて説明することができた。

第5章では、比較的小きな流域において、土層および基岩層内の圧力水頭を密に計測した。圧力水頭から計算される全水頭の分布を解析したところ、鉛直下向きおよび尾根部から斜面下部へと向かう流れが支配的であることが分かった。また、計測した圧力水頭と第2章および第3章で計測した水分特性とを組み合わせることで、水の流れの向きと大きさを解析した。その結果、無降雨時には基岩層内の流れ、降雨時には土層内の流れが卓越することが分かった。さらに豪雨時には、基岩層内を斜面下部から尾根部へと向かう流れが発生することも明らかにされた。

第6章では、比較的大きな流域において、土層内に発生する地下水位を4地点で観測した。この流域では、降雨時のみに発生して既往の物理モデルで挙動を再現できる地下水のほかに、数ヶ月にわたって維持され、既往のモデルでは再現できな

い地下水 (Semi-Perennial Groundwater; SPG と呼ぶ) が観測された。SPG の挙動や降雨特性との関係を解析したところ、SPG は基岩層内を通過した水が土層に復帰することで発生すると考えられた。

第7章では、詳細な野外観測を行うことにより、基岩内地下水が土層内に発生する地下水に与える影響について明らかにした。SPG の水位波形はボーリング孔内で観測された基岩内地下水位の波形とよく似ていること、SPG の溶存シリカ濃度は基岩内地下水と同じくらい高いこと、SPG の水温は基岩内地下水と同様に約12℃で安定していることから、SPG は基岩内地下水が土層に復帰することで発生することが確かめられた。SPG は流域上部では全く観測されなかったが、流域下部では常に観測され、流域中部では基岩内地下水位が上昇する湿潤期にのみ観測された。このように、基岩層内の地下水位の変動が土層内地下水の発生場所や水位を決定していた。野外観測の結果から明らかにされたこのような本流域での水移動および地下水形成プロセスは、土層や基岩層の物理特性 (風化区分・水分特性) を用いて説明することができた。

以上のように、本研究によって、基岩層の水分特性の計測と詳細な野外観測を組み合わせることで、山地源流域の基岩層内での水移動過程が明らかになった。

論文審査の結果の要旨

本論文は、これまで不透水層として扱われてきた山地源流域の基岩層について、風化花崗岩を取り上げ、まず不攪乱採取したサンプルで透水性および保水性を測定して水分特性を明らかにし、つぎに現地で深いボーリングを行い、水分状態の変化を直接詳細に計測して基岩層内での水の移動過程を明らかにした研究である。評価できる点は以下のとおりである。

1. 計測手法が確立されていない風化基岩の水分特性を、風化基岩表層部から不攪乱採取したサンプルを整形した上で液体シリコンを用いることにより正確に計測した。
2. 大小2つの流域での調査ボーリングで得られた不攪乱の基岩コアサンプルの水分特性を計測し、各サンプルの風化区分と水分特性との関係を解析することにより、風化基岩は飽和透水係数が $10^{-9} \text{ cm s}^{-1}$ で水分特性曲線上の体積含水率の変化が全圧力水頭領域にわたって小さい C_M 級基岩と、透水係数が $10^{-5} \sim 10^{-4} \text{ cm s}^{-1}$ で、体積含水率が湿潤領域で緩やかに変化し乾燥領域ではほとんど変化しない $C_L \sim D_L$ 級基岩の2つにグループ分けできることを示した。
3. コイル型 TDR 式水分計を自作して風化基岩表層部に埋設し、体積含水率を計測して基岩層にも雨水が浸透していることを実証した。
4. 比較的小さな流域において土層および基岩層内の圧力水頭を密に計測し、概ね鉛直下向きおよび尾根部から斜面下部へと向かう流れが支配的であることを示した。また、無降雨時には基岩層内の流れ、降雨時には土層内の流れが卓越することを明らかにした。さらに豪雨時には、基岩層内を斜面下部から尾根部へと向かう流れが発生することも明らかにした。
5. 比較的大きな流域において土層内に発生する地下水位を観測し、降雨時のみに発生し、既往の物理モデルで挙動を再現できる地下水のほかに、数ヶ月にわたって維持され既往のモデルでは再現できない地下水 (SPG) が存在することを発見した。後者の挙動や降雨特性との関係を解析し、基岩層内を通過した水が土層に復帰することで発生すると推定した。
6. 詳細な野外観測で基岩内地下水が土層内に発生する地下水に与える影響について調べ、SPG の水位波形は基岩内地下水位の波形とよく似ていて、基岩内の地下水が土層に復帰することで発生し、基岩層内の地下水位の変動が土層内地下水の発生場所や水位を決定していることを確かめた。

以上のように、本論文は基岩層の水分特性の計測と詳細な野外観測を組み合わせることにより、山地源流域の基岩層内での水移動過程を明らかにしたものであり、森林科学、山地保全学、森林水文学の発展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20年2月8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。