

氏名(本籍)	岩 ^{いわ} 上 ^{がみ} 翔 ^{しょう} (東京都)
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	博甲第 6479 号
学位授与年月日	平成 25 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
審査研究科	生命環境科学研究科
学位論文題目	Role of Entrapped Pore Air in Rainfall-Runoff Process in a Small Headwater Catchment Underlain by Volcanic Rock (火山岩からなる山地源流域の降雨流出過程における封入間隙空気の影響)
主査	筑波大学教授 博士(理学) 辻村 真貴
副査	筑波大学教授 Ph.D. 浅沼 順
副査	筑波大学准教授 博士(理学) 山中 勤
副査	筑波大学教授 理学博士 恩田 裕一

論文の内容の要旨

山地源流域における、降雨流出に及ぼす地中の間隙空気の影響については、従来からその重要性が指摘されていながら、原位置における測定事例がきわめて少なく、また水文観測を平行して実施した研究はこれまでほとんど行われてこなかった。本論文では、火山岩からなる山地源流域を対象に、降雨流出過程に関する水文観測、トレーサー観測等を行うとともに、地中の間隙空気圧力および間隙空気流量を実測することにより、降雨流出時における間隙空気の動態を明らかにした。また、実験斜面を用いた人工降雨実験を実施し、降雨とともに、斜面内部の土層に対し人工的に圧力を与えることにより、間隙空気の降雨流出に及ぼす影響を定量的に明らかにしたものである。

火山岩からなる山地源流域において、降雨流出過程における深度 10 cm 程度から数 m の土壌水、深度数 m 程度の土層内地下水、深度数 m 以深の基盤岩地下水の挙動と、湧水の流出機構に関する水文観測を実施するとともに、各種規模の降雨イベントを対象に、降水、地中水および流出水の連続採取、および無機溶存成分、安定同位体比分析を行った。こうして得られた観測・分析結果をもとに、地中水の水理水頭時空間変動解析、安定同位体比、無機溶存成分をトレーサーに用いた End Member Mixing Analysis (端成分混合解析)等を行った。その結果、降雨流出時における流出水において、基盤岩地下水の占める割合が大きいことが、定量的に示された。また、規模の大きな降雨イベントに際しては、土壌水成分および土層内地下水の流出割合が増加する傾向が認められた。大規模降雨イベントにおいては、流出ピーク前後において、斜面内に高さ数 m スケールの基盤岩地下水の尾根 (ridging) が生じていることが観測された。地下水の尾根部では、基盤岩地下水と土壌水との混合が生じ、質的には土壌水成分が卓越する特徴が認められた。このように大規模降雨イベントにおいては、地下水の ridging により動水勾配が上昇することに加え、地下水が土壌水成分の領域まで上昇するために、土壌水成分の流出割合が増すものと判断された。

水文観測に平行し、斜面内の深度 25 m、60 m、120 m に設置された観測井戸を利用し、土層内の間隙空気圧と空気流量の連続観測を行った。その結果、無降雨時においては、地中と大気の空気圧バランスにより、両者間の空気流が生じていることが明らかになるとともに、地中における空気流動の程度を示す透気係数

(air permeability) が⁵、 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ cm/s と見積もられた。

大規模降雨時には、斜面内部に封入された空気圧により、斜面基部付近において基盤岩地下水面の数 m スケールの ridging が生じ、この ridging が土層表層近くに形成された一時的な飽和面と連続することにより、さらなる動水勾配の上昇が発生し、土壌水成分および基盤岩地下水成分の多量な流出が生じたものと解釈された。

幅 1.5 m、斜距離 6 m、勾配 30° の実験斜面に対し、20 mm/h \sim 50 mm/h の人工降雨を降らせる条件下において、50 L/min \sim 250 L/min の空気流を斜面底部から斜面土層内に注入し、斜面下部からの流出水量をモニタリングする実験を実施した。その結果、空気流を注入した場合における流出量は注入しない場合におけるそれに比較し、120% \sim 170% 増加する傾向が認められ、地中における間隙空気圧の上昇が流出量の増加に寄与することが実験的に示された。

以上、フィールドにおける水文観測、地中間隙空気圧観測と、実験斜面における人工降雨・空気注入実験の結果から、山地源流域における降雨流出過程において山体内部に封入された空気圧が、溪流および湧水の流量増加に対し寄与することが、定量的に示された。

審 査 の 結 果 の 要 旨

山地源流域において斜面内部の間隙空気圧および空気流量を、河川流出現象とともに原位置でモニタリングした事例はこれまできわめて少ない。また、大規模実験斜面を用い人工的に空気流を斜面内に注入し、流出に及ぼす間隙空気圧上昇の影響を定量的に示した実験例も従来ほとんどみられない。こうしたアプローチにより、山地源流域における斜面内部において間隙空気と基盤岩地下水の挙動、および流出プロセスについてその実態を明らかにした点は高く評価される。

とくに、フィールドにおいて観測された間隙空気圧、および空気流量の長期モニタリング結果は、山地斜面内部における間隙空気の動態を知る上で重要なデータとして、今後長く引用されるべきものと思われる。加えて、算定された通気係数の値も、間隙空気の流動を考える上で、欠かすことのできないパラメータである。地中と大気との差圧が、観測井孔内から大気への空気流出という形で観測されたことは、間隙空気の動態を可視化したことにもなり、貴重である。

実験では、大型斜面を用いることによりスケールの問題を回避し、単純な境界条件とインプット条件により、間隙空気の流出に及ぼす影響を明確に定量化した点は、新規性と独自性に富み、評価される。また、実験結果により得られた空気流量を、フィールドスケールにフィードバックし、フィールド観測により得られた空気流量が、実験で得られたそれと、整合的であることを検証している点も、フィールドと実験両方を行っていることによるアドバンテージであり、本論文の強みになっている。

平成 25 年 1 月 28 日、学位論文審査委員会において、審査委員全員出席のもとに論文の審査及び最終試験を行い、本論文について著者に説明を求め、関連事項について質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって合格と判定された。

よって、著者は博士（理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。