

氏名	うちだたろう 内田太郎
学位(専攻分野)	博士(農学)
学位記番号	農博第1096号
学位授与の日付	平成12年3月23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	Effects of Pipeflow on Storm Runoff Generation Processes at Forested Headwater Catchments (山地源流域の洪水流出機構に及ぼすパイプ流の影響)

論文調査委員 (主査) 教授 水山高久 教授 谷 誠 教授 吉田博宣

論文内容の要旨

山地源流域の洪水流出機構を明らかにすることは、豪雨に伴う土砂災害発生や洪水の予測、適切な水管理計画の立案において重要となる。山地源流域の林地斜面においては、パイプと呼ばれる斜面とほぼ平行に発達した連続した大孔隙が存在し、豪雨時の雨水流出過程に大きな影響を及ぼすことが指摘されてきた。このため、山地保全学および森林水文学の分野では、山地源流域の洪水流出機構を明らかにする上で、パイプ流の発生・流出機構を解明することの重要性が指摘されてきている。しかしながら、パイプ流に関する詳細な観測例および観測結果に基づくパイプ流出機構の解析例は乏しい。本研究では、山地源流域において長期間パイプ流の観測を行った。それと同時に、土壌水ポテンシャルの分布、水温・地温の分布、渓流水・地下水・土壌水の水質の観測を行い、パイプ流の発生・流出機構の解析を行った。その結果は、以下のように要約される。

1. 3年間の降雨量、パイプ流量の観測結果から、パイプ流量の上限値が増大するような流出特性の変化が1つの流域の2つのパイプでそれぞれ1回観測された。上限値の変化にともない、ピーク流量が増大し、流量低減曲線が急になり、流出継続時間が短くなるような変化が生じた。しかし、総降雨量と総パイプ流量の関係には変化が生じなかった。さらに、1つのパイプの流出特性の変化は、そのパイプより上流にあるパイプの流出発生条件に変化を生じさせることを示した。また、このような変化がパイプからの土砂流出とともに生じたことから、パイプ構造の変化がパイプからの流出特性に影響を及ぼした可能性を指摘した。さらに、これらの流出特性の変化は、単純な1段のタンクモデルで良好に再現できた。

2. パイプ流量と土壌水ポテンシャルの関係を測定した結果、降雨前に斜面土層が乾燥していた場合、飽和地下水体の形成直後には、パイプ流が発生しなかった。さらに、パイプ流発生後は土壌水ポテンシャルがほとんど変動しないにも関わらず、パイプ流量は急増した。一方、降雨前に土層が湿潤だった場合、パイプ流量の変動と飽和地下水体の大きさの変動はよく対応していることを示した。以上の結果は、パイプ流量変動にパイプ出口近傍の土壌水ポテンシャルのみならず、広範囲の土壌水ポテンシャルの変動が寄与することを示している。さらに、降雨前に土層が乾燥していた場合、パイプとマトリックスの間の水移動がスムーズに生じる部位の大きさがパイプ流量の変動に影響を及ぼすことを示した。

3. 山地源流域末端からの流出特性は、流出の生じるパイプの違いによって異なることが示された。すなわち、降雨規模が大きくなるに従い、流出が生じるパイプは流域末端から斜面上部へ拡大し、流域からの流出水量は流出の生じるパイプの増大によって段階的かつオーダーで変化した。

4. 近年、山地源流域の降雨流出過程における基岩地下水の重要性が指摘されてきている。しかしながら、基岩地下水の影響を定量化した解析例は少なく、基岩地下水のパイプ流への寄与を検討した研究例はほとんど見られない。そこで、温度をトレーサーに用いて、流域末端の渓流水に対する基岩地下水の寄与の定量化を行い、基底流出時には基岩地下水が支配的であることを示した。また、通常の降雨時は流量の増加に従い、渓流水中に占める基岩地下水の割合が低下するが、非常に

大規模な降雨の終了後は流量が大きいにも関わらず、基岩地下水の寄与が非常に大きいことを明らかにした。さらに、パイプ流の流出水についても同様な傾向が見られることに基づき、基岩地下水のパイプ流への寄与を示した。

5. パイプ流発生にともなう流域末端の渓流水の流出経路および流出源の変化を、洪水流出時における渓流水質の連続観測結果から解析した。その結果、パイプ流が生じない比較的小規模な降雨では、流出水の起源は流域末端の土層に限られていた。一方、パイプ流が発生するような大規模な降雨時においては、パイプ流発生以前の流出源は流域末端に限られていたのに対し、パイプ流発生にともない、流出源が斜面上方に拡大することを示した。斜面上方を流出源とする流出水は流域末端の地下水との混合の影響が小さい選択的な経路で流出することを明らかにした。この選択的な側方流の影響により、流域末端の土壌水ポテンシャルがほとんど変化しないにも関わらず、流域末端の渓流の流量はパイプ流の発生にともない、1から2オーダー増大することを示した。

論文審査の結果の要旨

山地源流域は水や土砂の流出源として重要である。そのため、山地源流域の洪水流出機構を明らかにすることは、土砂災害予測などの上で必要不可欠であると言える。近年、山地源流域の降雨に対する早い流出の応答を説明するメカニズムとして、パイプ流と呼ばれる土層内に斜面とほぼ平行に発達した連続した大孔隙中の水流が注目されてきているが、その流出特性、発生機構、流域の洪水流出機構に及ぼす影響など依然未解明な点が多い。本論文では、山地源流域においてパイプ流量の観測を長期間行い、パイプ流の流出特性を明らかにした。その上で、土壌水ポテンシャル分布および水温・地温分布の連続観測、渓流水・地中水の水質観測に基づき、パイプ流が山地源流域の流出現象に及ぼす影響を評価したものであり、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. 従来、予想されつつも実証的に明らかにされてこなかった、パイプの排水能力の変化を、長期間のパイプ流量の観測によって明らかにした。パイプの排水能力はパイプからの土砂流出にともない増大し、その結果ピーク流量は増加し、流出継続時間は短くなることを示した。

2. パイプ流を従来の飽和不飽和浸透モデルに組み込む上で不可欠なパイプ流量と土壌水ポテンシャルの関係を連続的に測定した。その結果、パイプ流量は飽和地下水体の大きさに依存していることを明らかにした。

3. パイプ流量と、流域末端の渓流流量の連続観測を行った。その結果に基づき、流出が生じるパイプの多少によって、流域からの流出水量がオーダーで変化することを示した。

4. 温度をトレーサーに用いて、基岩地下水の影響を定量化した結果、基底流出時および大規模降雨の終了後に基岩地下水の寄与が大きいことを示した。さらに、大規模降雨の終了後の大量な基岩地下水の流出にはパイプ流の寄与が大きいことを示した。

5. 流出水の無機イオン濃度をトレーサーに用いて、流域末端の渓流水の流出源および流出経路を解析した。その結果、パイプ流の発生に伴い、主たる流出源は斜面上部へ移動し、流域末端における地下水との混合がほとんど生じない選択的な経路で流出することを明らかにした。

以上のように、本論文は、山地源流域の洪水発生機構に及ぼすパイプ流の影響を現地観測により実証的に明らかにしたもので、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12年1月17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。