

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	(ダニエル ウェレデ ウオルディエ) Daniel Werede Woldie
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 23 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	理学研究科 地球惑星科学 専攻
(学位論文題目) Understanding the Role of a Less-permeable Surface in Water Dynamics of Headwater Catchments based on Various Monitoring, Analytical Methods and a Numerical Model (多様な観測・分析方法および数値モデルを用いた、流域の降雨流出過程に及ぼす難浸透性地表面の役割の解明)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 寺嶋智巳 准教授 小杉賢一郎 准教授 里村雄彦 教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士（	理学）	氏名	Daniel Werede Woldie
論文題目	Understanding the Role of a Less-permeable Surface in Water Dynamics of Headwater Catchments based on Various Monitoring, Analytical Methods and a Numerical Model （多様な観測・分析方法および数値モデルを用いた、流域の降雨流出過程に及ぼす難浸透性地表面の役割の解明）			
（論文内容の要旨） 本研究では、斜面上の難浸透性地表面（舗装されていない転圧された林道や遊歩道）が源流域での水流出過程に及ぼす影響を明らかにするため、花崗岩地域源流部に林道・遊歩道を含む小流域と含まない小流域を選定し、土壌の水理・物理性の分析、地盤の電気比抵抗の把握、両流域でのそれらの比較を行った。また、様々な条件下での降雨に対し、小流域スケールでの水流出の観測と水質の分析、斜面スケールでの地下水動態の観測、難浸透性地表面での水流出特性の観測・実験を同時に行い、各種水文現象の把握とそれらの連鎖過程の定性的な検討を行った。さらに、流域土壌の水理・物理特性の詳細な空間分布に基づいた数値シミュレーションを実施することで、小流域スケールでの水流出プロセスに果たす難浸透性地表面の役割を解明した。 水文観測結果から、①-1：先行土壌水分条件が乾燥状態で降雨の規模が小さい（通常降雨の）場合、難浸透性地表面に発生する表面流の影響は相対的に大きくなる、①-2：降雨規模が拡大した場合（台風や集中豪雨など）、難浸透性地表面の影響は相対的に小さくなる、ことを定性的に示した。一方、水質を用いた流域流出水の成分分離では、②-1：難浸透性地表面からの水流出の影響は降雨の初期に大きい、②-2：降雨規模の拡大に伴い、地下水成分の寄与が卓越するため、難浸透性地表面の影響は相対的に低下する、ことを示した。 以上の観測結果の解釈と一般化のために、三次元非定常飽和不飽和浸透流解析を行い、各微地形スケールでの現象が小流域スケールでの現象に及ぼす影響の理解を進めた。まず、van Genuchten モデルの土壌水理定数のフィッティングを行うため、流域内の多数の地点における土壌を採取し水分特性を計測して、水理特性を説明するために最適な水理定数の組み合わせを求めた。さらに、土壌貫入試験、地盤の電気比抵抗分布の調査、現地浸透試験を行い、流域内での水流動に大きく影響する土層構造の三次元分布と現場での土壌水理特性を詳細に明らかにした。そして、その成果を物理モデルに組み込んで小流域スケールでの雨水流動に関する三次元数値シミュレーションを行った。その結果、③-1：シミュレーションにおける流出成分の分離結果は、水質分析に基づく成分分離の結果と同様の傾向を示す、③-2：難浸透性地表面の影響は通常降雨のような小・中規模降雨で大きい、③-3：台風のような大規模降雨時には、小流域スケールの水流出成分に対し地下水が支配的になり、難浸透性地表面の影響は相対的に小さくなる。この影響が見かけ上消失するしきい値は、総降雨量が 60～70%に達したときであり、これは、一般的に想定されていた「小流域では大規模降雨時には難浸透性地表面からの流出水が大きく影響する」とは異なる現象になった、③-4：対象とした小流域での難浸透性地表面からの流出水は、従来から想定されていたような斜面上を流下して河川へ直接流入して影響を及ぼすものではなく、下部斜面土層を飽和させる役割をすることで結果的に流域スケールの流出に影響する、などを新たに解明した。 以上のことから、流域スケールでの流出に及ぼす難浸透性地表面の役割を時空間的に理解するためには、本研究で示した多様な観測・分析手法と、各種スケールでの現象を結合させるようなモデリングの手法を用いた総合的な解釈が重要であることが判明した。				

(論文審査の結果の要旨)

近年では、森林伐採、登山・ハイキング等の人為活動に伴い、山地斜面表層に難浸透性の地表面（舗装されていない林道・作業道や登山道・遊歩道など）が形成されることが多い。特に、急峻な山地を主体とする源流域では、降雨時にそれらの地表面上を流下する水流により、河川のピーク流量の増大による洪水発生の可能性の増大、微小粒径の土砂を含む濁水の発生による河川の水環境や生態系の破壊、表面流の流下による斜面の浸食、などが引き起こされ、大きな社会問題となっている。

流域における水流発生機構に関する研究では、微地形を対象とした微小スケールでの観測や、そこで得られた結果を解析・考察することは比較的容易である。しかし、流域のようなより大きなスケールになると、観測を行うこと自体が困難となる。また、流域スケールでの観測結果は、斜面単位などの微小スケールの現象が混合・平均化された状態で出現してくるため、微小スケールの水文プロセスから大スケールの水流出現象を実証的に解明することはきわめて困難ある。そのため、本研究で取り扱われているような難浸透性地表面の水文特性に関しては、その場所（微小スケール）だけにおける水や土砂の流出特性に着目した研究は多く行われてきたものの、それら個々の現象が流域単位での水流出プロセスにどのように関わっているのかを明らかにした研究例はほとんど存在していない。

本研究では、流出水量と水の化学性に関する観測・分析、また、現地浸透試験、地盤の電気比抵抗、貫入抵抗、野外・室内分析を通じた土壌の詳細な水理・物理特性の把握など、多様な時空間的水文データを取得して、難浸透性地表面が山地源流部小流域での水流出特性に及ぼす影響を考察した。さらに、土壌の水理・物理特性の詳細な空間分布を組み込んだ物理モデルによる三次元シミュレーションを行い、難浸透性地表面を有する小流域の水流出現象を説明し、降雨量の変動に対する難浸透性地表面の役割を定量的に評価した。この結果、新たに以下の知見を得た。

- 1) 難浸透性地表面からの水流出は、斜面を流下して河川へ直接的に影響するのではなく、一旦下部斜面を飽和させる役割をし、そのプロセスが結果的に小流域スケールでの流出をコントロールする。
- 2) 台風や集中豪雨時のような大規模降雨以外の比較的小規模な降雨時には、難浸透性地表面の影響が相対的に大きくなる。これは、小規模降雨時には小流域スケールでの流出に対する地下水成分の寄与が小さく、難浸透性地表面からの水流出の影響が相対的に大きくなるためである。
- 3) 難浸透性地表面の影響は降雨が継続すると相対的に小さくなり、モデル計算に基づくと、総降雨量の 35%程度が供給されたときから影響度が低下し始め、70%程度が供給されるとその影響は見かけ上ほとんど消失する。

これらの知見は、従来の認識である「源流部小流域においては、河川流出水のピーク形成に及ぼす難浸透性地表面の影響はきわめて大きい」とは異なる結果を示したものであり、学術的および社会的な意義は大きいものと判断する。

本研究で用いられた各種の観測・分析手法は既成のものである。しかし、これまでは難浸透性地表面だけを対象とした評価が主体であったものに対し、本研究は、多様な観測・分析手法と、そこから得られた結果に基づく物理モデルを三次元に拡張して適用することで、微地形スケールの水文現象と小流域スケールの水流出現象の関係や、流域の水文化学的特性の説明を可能にした。用いたモデルでは、場の条件（土壌特性）に関する詳細な物理データの組み込みを必要とするが、このモデルを使用することで、他の流域スケールでの水流出評価も可能となる。

以上の諸点から、申請論文は当該分野の進展における重要な一步を印したものと評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 1 月 13 日に研究内容に関連した審査会を行い、同年 1 月 25 日にそれらに関連した事項について公聴会を開催して口頭試問を行った結果、合格と認めた。