

氏 名	ヘンドラヤント Hendrayanto
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学 位 記 番 号	農 博 第 1031 号
学位授与の日付	平成 11 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	Analyses on Spatial Variability in Hydraulic Properties of Forest Soils (森林土壌の水分特性の空間不均質性に関する研究) (主査)
論 文 調 査 委 員	教 授 水 山 高 久 教 授 三 野 徹 教 授 吉 田 博 宣

論 文 内 容 の 要 旨

林地斜面における水循環機構を明らかにすることは、適切な水資源管理や、豪雨に伴う土砂災害発生の予測において重要となる。林地斜面は通常、構造の発達した森林土壌に覆われ、雨水浸透や植物根系による水分吸収など様々なタイプの水分移動がこの土層内で起きている。このため、山地保全学および森林水文学の分野では、森林流域内の水循環過程の解明に関して、森林土壌の水分特性（保水特性ならびに透水特性）を解析することの重要性が指摘されてきている。土壌の保水特性は体積含水率と水分張力（圧力水頭）の関係（水分特性曲線と呼ばれる）で、また土壌の透水特性は透水係数と圧力水頭の関係で表されるが、これらの特性は空間的に不均一に分布しており、その実体を実際に測定、解析した例は極めて乏しい。本研究は、森林土壌の水分特性の空間不均質性を実測し、そのデータをモデルを用いて解析することによって、土壌水分特性の空間分布が林地斜面における雨水流出過程に与える影響を解析したものである。その結果は、以下のように要約される。

1. 土壌の水分特性を原位置で測定する既存の手法を概括し、森林斜面に適用するに当たっての問題点を整理した。その上で、傾斜が急で実験に用いる水が得難い斜面において、効率よく土壌水分特性を測定するための手法の開発を行った。この手法を用いて測定した森林土壌の保水特性、透水特性が、共に従来の手法で測定された値と良好な一致を示したことから、開発した手法の妥当性が確認された。開発した手法により、測定に要する労力と時間を大幅に削減することが可能となり、水分特性のデータを容易に蓄積できるようになった。

2. 開発した手法を用いて森林斜面における水分特性の空間分布を測定した。その結果、水分特性は土壌の深さのみでなく、斜面上の位置によっても大きな変動を示すことが明らかにされた。

3. 森林土壌の水分特性の空間分布を定量的に解析するために、保水特性と透水特性を表すモデルを実測データに適用した。モデルの適用に際し、土壌間隙の屈曲度に関わるパラメータを土壌毎に変化させることによって、より良好な適合度を得ることに成功した。特定されたモデルのパラメータの空間分布を解析した結果、土壌の有効間隙率は斜面の尾根部で大きく谷部で小さくなること、土壌のメジアン間隙径は尾根部と斜面上部で小さく斜面下部と谷部で大きくなることが明らかになった。また、尾根部以外では表層土壌のメジアン間隙径が下層土壌よりも大きい傾向があることがわかった。これに対して土壌間隙径分布の幅は、斜面全体で大きくなっていった。土壌の飽和透水係数は、有効間隙率とメジアン間隙径が共に小さい斜面上部の下層土で小さくなり、メジアン間隙径が大きい斜面下部と谷部で大きくなることが示された。

4. 土壌の水分特性の空間分布を雨水流出過程の解析に組み込むためには、空間分布特性をより簡潔に表現するパラメータを導入することが必要となる。このため、斜面各部位の土壌の構造が相似形を示すと仮定する事によって導かれるスケーリング理論を実測データに対して適用し、空間分布特性を相似比（スケーリング係数）の空間分布として定量的に表現することに成功した。特定されたスケーリング係数のばらつき具合を標準偏差として計算し、農地の土壌と比較した結果、森林土壌がより大きな空間不均質性を示すことが明らかとなった。

5. スケーリング係数の空間分布として表現される土壌水分特性の不均質性を組み込んだ数値シミュレーションモデルを構

築し、林地斜面における降雨流出過程の解析を行った。その結果、土壤水分特性がランダムに分布する場合、平均的な土壤水分特性を持つ均質な斜面に比べて、降雨時のピーク流出量が大きく、低減時の基底流出量が小さくなることが明らかとなった。さらに、水分特性の空間配置は雨水流出過程に大きな影響を及ぼし、斜面下部の土壤のスケーリング係数が大きくなる（メジアン間隙径と飽和透水係数が共に大きくなることに対応）ほど、洪水流量が大きくなり基底流量が小さくなることが定量的に示された。

論文審査の結果の要旨

森林土壌は、植物根系や土壤動物、微生物の働きによって大きな不均質性を示すため、林地における水循環過程の解析においては、土壤の水分特性（保水特性ならびに透水特性）の空間分布を充分に考慮する必要があると考えられている。本論文では、従来の手法を改良することによって、森林土壌の水分特性を原位置で簡易かつ迅速に測定する新たな手法を開発し、その手法を用いて実際の林地斜面における土壤水分特性の空間分布を測定した。さらに、測定された不均質性をモデルを用いて定量的に評価した上で、不均質性が林地斜面における雨水流動現象におよぼす効果を数値シミュレーションによって評価している。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. 森林土壌の保水特性ならびに透水特性を原位置で測定する新たな手法を開発した。開発された手法では、従来の手法と比較して、使用水量が少なくすみ、測定に必要な時間も大幅に短縮された。これによって、現地へのアクセスが容易でなく、しかも実験に必要な水が十分に得られないことが多い林地斜面において、土壤水分特性を効率よく測定することが可能となった。
2. 開発された手法を用いた測定によって、林地斜面における土壤水分特性の空間分布の実体が明らかにされた。
3. 土壤の間隙径分布を統計関数で表現することによって導かれた数式モデルを用いて、実測された森林土壌の水分特性を解析し、水分特性の不均質性をモデル中のパラメータの空間分布として定量的に表現した。
4. 土壤の構造が相似形を示すと仮定する事によって導かれるスケーリング理論が、森林土壌に対しても有効であることを示した。さらにスケーリング係数の分布を解析することで、森林土壌が農耕地土壌に比べてより大きな不均質性を示すことを明らかにした。
5. スケーリング係数の空間分布を組み込んだ数値シミュレーションモデルによって、林地斜面における降雨流出過程を解析し、土壤の不均質性が及ぼす影響を評価した。不均質な斜面の場合、降雨時のピーク流出量が大きく低減時の基底流出量が小さくなるというシミュレーション結果は、山地森林流域における水循環過程の解明において有益な知見となった。

以上のように、本論文は、森林土壌の水分特性の空間分布を実測によって明らかにし、その解析結果を用いて土壤の不均質性が林地斜面の雨水流出過程に及ぼす影響を考察したものであり、森林水文学、山地保全学、土壤物理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11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。