

(論文内容の要旨)

森林斜面における降雨は、一部が樹冠や下層植生に遮断され、それ以外が通過雨量と樹幹流に分離されるため、地表面に到達した雨水の分布は均一ではない。降雨インプット偏在の計測とそれに起因する土壤水分応答の評価は洪水流出や斜面崩壊を予測するために重要である。本研究では、ヒメシャラ落葉樹林斜面における樹冠通過雨量、樹幹流から、樹木周辺の含水率分布、基岩面直上飽和帯の形成までを詳細に観測することにより、樹木の存在に起因する不均質な雨水浸透現象を目的とした。さらに斜面水文プロセスの不均質性を配慮した浸透モデルを構築し、斜面表層崩壊に及ぼす影響を検討することを目的とした。

第1章の緒論に続き、第2章では、ヒメシャラ落葉樹林斜面における樹冠通過雨量と樹幹流を詳細に観測し、降雨再分配の季節・空間変動を解明した。その結果、ブナやコナラなどの落葉樹に比べ、ヒメシャラの樹冠構造の季節変動により、降雨に対する樹冠通過雨量、樹幹流、遮断量の割合が大きく変動した。さらに、ヒメシャラ林斜面における樹幹流には、三つの特徴が発見された。まず、落葉期に比べて着葉期における樹幹流が多く観測され、これまで報告されていない傾向になった。また、降雨に対する高い樹幹流の割合が見られたため、ヒメシャラは落葉樹種の中で樹幹流を多く発生させる部類に属すると考えられた。ヒメシャラの葉に遮断された雨水の一部が上向きの枝と滑らかな樹皮に沿って樹幹流になることが、降雨に対する樹幹流の割合が高く、着葉期により多い樹幹流が発生する原因と推測された。三つ目の特徴として、樹幹流が斜面の谷側に集中し、幹の尾根側と谷側の間に大きな違いが見られた。斜面の尾根側と谷側に非対称な樹冠構造を持つことおよび樹木自体が谷側に傾いていることが、その原因と考えられた。

第3章では、ヒメシャラ一個体を対象として、その尾根側と谷側の土壤水分と基岩面の間隙水圧を詳細に観測した。樹木の谷側における含水率が大きく増加し、鉛直に不規則な分布が観測された。それは、幹の谷側部に集中した樹幹流が根系を伝うバイパスフローになった結果だと考えられる。一方、尾根側では、土壤水分動態が浸潤前線のゆっくりした下降に左右された。幹の谷側に集中した樹幹流が迅速に土壤に浸透したため、基岩面に局所的な飽和帯を発生させた。間隙水圧の上昇パターンが単に樹木との距離だけではなく、樹木の尾根側と谷側において大きな違いを示した。

第4章では、第2章と第3章で得られた知見に基づき、樹木の存在に起因する不均質な水移動を考慮できる3次元雨水浸透モデルを構築した。これまで開発された多くの水文モデルでは、遮断量と通過雨量の降雨分配が考慮されてはいるが、樹幹流が無視されるか、あるいは林内雨量の一部として扱われることが多かった。そこで、従来型のモデルと提案モデルで計算を行って結果を比較した。樹幹流浸透特性を考慮していない従来型モデルは、ゆっくりした浸潤前線の下降を示し、尾根側と谷側の空間変動を再現できなかったばかりでなく、基岩面飽和帯の発生が見られなかった。この結果により、従来の水文モデルに大きな誤差が含まれていることが指摘できる。提案したモデルは、樹幹流に基づく土層内のバイパスフローを土層内における湧き出し項としてRichards式に代入した点で新しい手法である。その計算結果は、土壌含水率変化と基岩面飽和帯の発生を良好に再現するものであった。樹木周辺の土壌水分動態を再現するためには、このようなモデルが有効である事が明らかになった。

第5章では、第4章で開発したモデルと従来型モデルを用いた数値実験により、樹木の存在が斜面安定に与える影響を解明することを目的とした。提案モデルでは、定常状態になるまでに基岩面に局所的な飽和帯が計算され、斜面全体の最小安全率がより早く低下した上に、斜面におけるあらゆる場所が崩れる可能性を示した。樹幹流の素早い浸透特性を考慮しない従来型モデルは、表層崩壊発生の時刻が遅く予測された上に、表層崩壊発生の場所が斜面下部に限定される結果となった。このことから、既往研究で開発された水文モデルの多くは、樹幹流による雨水の集中を無視しているが、土壌水分動態の再現や表層崩壊発生の予測には、樹幹流など降雨インプットの偏在に起因する非対称的な飽和帯の形成を考慮する必要があることが明らかになった。

以上のように、本研究における詳細な野外観測と数値実験を組み合わせることで、樹木の存在が斜面水文過程に与える影響が明らかになった。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、ヒメシャラ落葉樹林斜面における樹冠通過雨量、樹幹流から、樹木周辺の含水率分布、基岩面直上飽和帯の形成までを詳細に観測することにより、樹木の存在に起因する不均質な雨水浸透現象の特性を明らかにした。さらに、野外観測結果に基づき、樹幹流を考慮した3次元雨水浸透モデルを構築し、樹木の存在が土壤水分動態および斜面表層崩壊に与える影響を予測した。評価できる点は以下のとおりである。

1. 既往研究では、平地林における樹木の周辺で不均質な浸透現象を観測し定性的な記述を行っているが、山地斜面に生育する樹木を対象とした観測は行われていない。本論文では、山地斜面を対象として、樹木の尾根側と谷側に分離して降雨インプットの分布と土壤水分動態を観測することを計画しており、独創性がある。
2. ヒメシャラは樹幹流の割合が非常に多く、着葉期に比べて落葉期では樹幹流が減少することが観測された。落葉に伴って樹幹流が減少したことが新たな発見である。また、樹冠構造や樹木自体の傾斜から影響を受け、樹幹流が幹の谷側部に集中し、その後、根に沿って地中に導かれることが明らかになった。一方、尾根側では、土壤水分動態が浸潤前線のゆっくりした下降に基づくものであった。樹木周辺に不均質な浸透現象が生じることは既に知られていたが、樹木を中心として尾根側谷側それぞれで違う傾向が明らかになったのは初めてである。
3. このような観測結果は、これまで土壤物理学や水文学で扱われてきた平均的な雨水鉛直浸透の概念とはかなり違う。土壤水分動態と基岩面間隙水圧の上昇パターンが単に樹幹との距離だけではなく、樹幹の尾根側と谷側において大きな違いを示すという観測結果は、表層崩壊発生危険度の高い斜面位置を特定する上で、極めて重要な知見となる。平均的な浸透しか考慮していない従来の浸透モデルでは、飽和帯の形成時刻が遅く見積もられ、表層崩壊発生時刻の予測に大きな誤差を与えるが、本論文で構築した新たな3次元飽和・不飽和浸透モデルを用いることにより、樹木の存在に起因する局所的な飽和帯の形成が斜面表層崩壊に及ぼす影響をより正確に予測することができた。

以上のように、本論文は詳細な野外観測と数値実験を組み合わせることにより、樹木の存在が斜面水文過程に与える影響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21年2月6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。