

論文の内容の要旨

森林科学専攻

平成 17 年度博士課程 進学

氏 名 梶浦 雅子

指導教員名 丹下 健

論文題目 湿潤気候下の森林流域における表層土壌の撥水性の時空間的変動

土壌の撥水性、すなわち「水をはじく現象」は、様々な立地や気象条件下の土壌で認められる一般的な現象である。本研究では、森林流域を対象とした水文モデルの精緻化という将来的目標に向け、湿潤気候下の森林流域内で時空間的に大きく変動する表層土壌の撥水性の発現状況（撥水箇所の広がりや強さのばらつき）の推定方法を確立することを目的とし、まず第 1 章において、過去の知見から本研究を行う意義と着目すべき撥水性発現状況の指標を述べ、その指標の推定方法を第 2、3 章において確立し、第 4 章で本研究成果を総括した。

第 1 章では、水文モデルを精緻化する上で撥水性発現状況を推定する意義、湿潤気候下の森林流域の表層土壌を対象とした根拠、水文モデルに組み込むことが可能な撥水性発現状況の指標について述べた。雨水の入り口となる表層土壌や地表面が水をはじくと、土壌中に水が浸透しにくく、地表流や選択流が増え、土壌中の水分貯留量が低下することが知られている。しかし、森林流域での水分動態を予測する従来の水文モデルは、撥水性の水分動態に対する影響を十分に考慮できていないのが現状である。水文モデルを精緻化するには、撥水性の水分動態に対する影響を定量的に評価する必要があり、そのためには撥水性発現状況を定量的に把握することが必須である。土壌の撥水強度は、土壌有機物量や水分環境に依存する。いずれも、森林流域においては空間変動性が大きく、また表層土壌では降雨に伴って水分環境が激しく変動する。そのため、湿潤気候下の森林流域の表層土壌では、撥水性の発現状況の時空間変動性が極めて大きく、実測によって広大な森林流域全域の撥水性発現状況を把握することは労力的に困難である。これが、撥

水性の水分動態に与える影響の定量評価、ひいては水文モデルの精緻化を阻む大きな要因となっている。植物の成長に適した湿潤気候下の森林流域の表層土壌は土壌有機量を多く含むため、強度の撥水性を発現しうる。このような場所では、降雨強度の強い降雨イベントの際の水分動態に対する撥水性の影響も大きく、従来の水文モデルの予測精度に多大な影響を及ぼすことが想定される。よって、本研究では、湿潤気候下の森林流域(主に東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林樹芸研究所青野研究林)を調査対象地として、撥水性発現状況の推定方法を検討した。将来的に、撥水性発現状況の情報を分布型水文モデルに組み込む場合、流域を区分した各領域(数 10 cm～数 100 m 程度のメッシュ)内の撥水性発現状況を集約し、数値化した指標が必要である。そのような指標として、1)「撥水強度の空間代表値(平均値や中央値)」と、2)「一定強度以上の撥水性を示す場所の面積割合」、その中でも撥水性を示した場所の面積割合(以下、撥水面積という。)に着目した。

第 2 章では、指標 1「撥水強度の空間代表値」の推定方法を確立することを目的とした。ある領域における撥水強度の空間代表値を推定するには、まず、任意の地点における撥水強度の推定方法を確立する必要がある。撥水強度は土壌水分量に大きく依存し、絶乾状態から水分量が増加するに従って撥水強度は増加し、ある水分量で最大撥水強度を示したのち、さらに水分量が増えるとある水分量のとき撥水性は消滅することが明らかになっている。この非線形的な土壌水分量-撥水強度の関係に加え、土壌水分量が既知であれば、撥水強度を推定することができる。そこで、まず 2.1 節では、水分量-撥水強度の関係の規定因子を検討した。その結果、水分量-撥水強度の関係は土壌によって異なるが、土壌有機物量と絶乾(風乾)時撥水強度(Potential Water Repellency (潜在的撥水強度)、以下 PWR という。)によっておおそ推定できることが明らかになった。ただし PWR は、試料を採取した時の水分量に影響され、湿っていて撥水しなかったときに土壌を採取した場合、PWR は過小評価されることが明らかとなった(2.2 節)。PWR が正確に推定できない場合、PWR に依存する水分量-撥水強度の関係、ひいては撥水強度の推定精度が低下する。そこで、2.3 節では、湿潤気候下の森林流域の表層土壌において、水分量-撥水強度の関係を精度良く推定できる採取時水分条件を模索した。その結果、表層土壌のマトリックポテンシャルが $pF3\sim3.4$ 程度、もしくは撥水性を示しているときに、撥水強度の推定誤差を抑える最適な採取時水分条件であることがわかった。以上より、任意の地点における撥水強度は、上記の水分条件のときに試料を採取し、その土壌有機物量と PWR から水分量-撥水強度の関係を推定し、さらに土壌水分量を観測することによって推定できることが明らかになった。しかし、撥水強度規定因子である、土壌有機物量、PWR や土壌水分量は空間的多様性が極めて大きい。ある領域の代表的な撥水強度を、領域内の多地点で推定した撥水強度の統計量として求めようとする場合、領域全域の多地点で土壌を採取する必要がある。このような破壊的な方法は、領域内の水分動態に多大な影響を及ぼすため不適切である。そこで 2.4 節では、より非破壊的な方法として、領域の撥水強度の空間代表値を、より少数地点で得た領域内の撥水強度規定因子の空間代表値(平均値)から推定することが可能であるか検証した。その結果、撥水強度規定因子が正規分布に従う数 10 cm 四方の区画内の表層土壌については推定可能であることが示された。一方、同

じ区画について、撥水性発現状況の指標 2「一定強度以上の撥水性を示す場所の面積割合」を推定することはできなかった。ただし撥水面積は、土壤水分量に伴う変動範囲が、より強い撥水性を示す場所の面積より広く、撥水性発現状況をより細かく数値評価することができた。よって、撥水面積は、指標 2 の中でも、水文モデルのパラメータとして適した指標であることが示された。よって、撥水面積の推定法を次章で詳しく追究することとした。以上第 2 章の成果から、撥水強度の空間代表値の推定方法は以下のようにまとめられた。ある領域(水文モデルに用いるメッシュ)において、1)表層土壤のマトリックポテンシャルが $pF3\sim3.4$ 程度を示す、もしくは撥水性を広く発現しているとき、領域内の複数地点から試料を採取する、2)各試料の土壤有機物量と PWR を測定し、その平均値から領域を代表する水分量・撥水強度の関係を推定する、4)領域内の複数地点で観測した土壤水分量の平均値と、3)で得た領域代表の水分量・撥水強度の関係から、撥水強度の領域代表値を推定する。この空間代表的撥水強度の推定方法は、土壤有機物量や PWR の平均値を十分推定できる数の試料を領域から採取すればよいため、土壤の攪乱を抑えることができる。

第 3 章では、任意の小領域内における地表面の撥水面積の推定方法を確立することを目的とした。撥水性の有無は土壤水分環境に依存することから(2.1 節)、表層土壤の水分環境が、地表面の撥水面積の指標になりうると考えた。そこで、湿潤気候下の森林流域の立地や土壤理化学性が多様な数地点に数 10 cm 四方の区画を設置して現地観測したところ、区画内の地表面の撥水面積は、表層土壤(0~5 cm 深)の水分環境(体積含水率やマトリックポテンシャル(pF 価))の区画代表値とシグモイド関数的な関係にあることが明らかとなった(3.1 節)。体積含水率・撥水面積の関係は地点によってずれていたが、 pF 価・撥水面積の関係は地点に依らず共通だった。よって、この pF 価・撥水面積の関係式と、実測した pF 価の空間代表値によって、土壤理化学性や立地条件が多様な森林流域における地表面の撥水面積を推定可能であることが明らかとなった。ただし、湿潤気候下とはいえ、表層土壤は強度に乾燥することもある上、土壤水分の時間変動が激しいため、撥水面積の推定に必要な pF 価の情報を直接観測によって得ることは技術的に難しい。そこで、3.2 節では、入手容易な気象や立地情報を用いて表層土壤の pF 価を推定するサブモデルを考案し、3.1 節で示された pF 価による撥水面積の推定サブモデルと合わせて、撥水面積推定モデルを構築することを目的とした。表層土壤の pF 価の時間変動性は、主に中短期的(1 週間もしくは 1 ヶ月程度)な積算降雨量が、空間変動性は、水の集まりやすさを示す地形情報である Topographical Wetness Index によって説明づけることができた。この気象/立地条件・ pF 価の関係式を基に構築した撥水面積推定モデルは、実測した撥水面積の多様性の 8 割程度を再現することができた。

以上より、撥水性発現状況の指標である、撥水強度の空間代表値や撥水面積の推定方法が、それぞれ第 2 章と第 3 章で示された。第 4 章では、これらの成果を総括した。撥水強度の空間代表値の推定には、分布型水文モデルの計算単位である各メッシュ内における土壤情報(土壤有機物量と PWR)の空間代表値が必要であり、そのためには試料採取が伴う。しかし、撥水面積の方は、土壤を採取することなく、気象条件と立地条件によってある程度推定可能である。よって、

撥水面積の方がより容易に推定できる可能性がある。本研究では、(1)撥水強度規定要因についての知見を、水文モデルの精緻化という将来的目標に向けて収束させたこと、(2)PWR に対する試料採取時の水分条件の影響を明らかにしたこと、(3)撥水性発現状況に対する空間統計学的な解釈を行ったこと、(4)気象や立地条件と撥水性発現状況との関係を数式化したこと、など極めて新規性の高い成果が得られ、水文モデルへの撥水性発現の時空間的変動を組み込むための手法を提案することができた。