

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25850109

研究課題名(和文) 表層崩壊の危険性を評価する上で土壌水分の空間的不均一性は考慮する必要があるのか？

研究課題名(英文) Should we consider spatial variability of soil moisture when evaluating the risk for landslide?

研究代表者

篠原 慶規 (Shinohara, Yoshinori)

九州大学・(連合)農学研究科(研究院)・助教

研究者番号：10615446

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、樹木により生み出される土壌水分の空間的ばらつきと斜面崩壊の関係に着目し下記の成果を得た。(1) 既往の研究を取りまとめた結果、現時点では、竹林で斜面崩壊の危険性が高いという事実は見当たらなかった。(2) 針葉樹人工林において、土壌への水分を供給する樹冠通過雨量、樹幹流量を推定するモデルを構築した。(3) ヒノキ人工林、モウソウチク林において、土壌水分の空間的ばらつきを把握することができた。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to verify relationships between landslides and spatial variations in the soil water content. The achievement of this study are as follow. (1) We did not find the evidence that possibility of landslides in bamboo forests are higher than that in other forest types. (2) We developed a model for estimating throughfall and stemflow in coniferous plantations. (3) We obtained data for spatial variations in the soil water content in moso-bamboo and Japanese cypress forests.

研究分野：砂防学

キーワード：土壌水分 表層崩壊

1. 研究開始当初の背景

豪雨に起因する森林斜面の崩壊は、過去から現在に至るまで、数多くの災害の要因となってきた。近年では、それに加え、気候変動に伴い、降水量並びに降水強度が増加し、斜面崩壊の危険性も高まるのではないかと懸念されている。斜面崩壊の危険性は、一般的には、斜面の力学的安定性を計算することで評価される。豪雨に起因する表層崩壊の要因として、地下水深の上昇や飽和度上昇に伴う土質強度低下が挙げられる。そのため、表層崩壊の危険性を評価するためには、森林斜面の水の流れを把握することは極めて重要である。

森林斜面の水の流れを解明しようとする研究は、これまでも盛んに行われてきたが、斜面の安定性を評価する際、森林斜面内の土壌水分の不均一性は、地形や土壌特性のみによって生み出されると仮定されてきた。その理由として、現実的には、樹幹流による雨水の集中などによって、土壌水分は極めて不均一な分布をすると考えられてきたが、計測値が十分には存在せず、その実態が明らかになっていなかったことが挙げられる。

2. 研究の目的

本研究では、森林タイプによる表層崩壊発生確率の違いを調べる際、土壌水分の空間的ばらつきを考慮する必要があるかどうか調べることを目的とした。目的を達するため、まず、(1) 森林タイプの違いが表層崩壊に与える影響について、既往の研究の取りまとめを行った。次に、(2) 森林内で土壌に水分を不均一にもたらす樹冠通過雨量と樹幹流量についてモデル化を試みた。最後に、(3) 実際に山地において、土壌水分の空間的ばらつきを把握することを試みた。

3. 研究の方法

本研究では、まず、森林タイプの違いが表層崩壊に与える影響について既往の研究を取りまとめた。これまで、針葉樹林、広葉樹林を対象とし、表層崩壊発生確率の違いを調べた研究は数多く存在する。そこで本研究では、近年、急速に拡大が報告されているものの表層崩壊について十分に研究が行われていないモウソウチク林での研究について取りまとめた。

次に、土壌への入力となる雨水配分についてモデル化を試みた。これまで、データが比較的蓄積されている針葉樹人工林を対象に、樹冠通過雨量と樹幹流量の成果を取りまとめ、立木密度から林分平均樹冠通過雨率と樹幹流率を予測できるモデルを構築した。さらに、間伐前後で、樹冠通過雨量と樹幹流量を計測した試験地のデータを用いて、林分平均樹冠通過雨率、樹幹流率が立木密度から推定

可能であるか検証すると共に、3つの遮断蒸発推定モデルの適用性を検証した。検証に用いた3つのモデルは、Mulderモデル、revised Gashモデル、Wimoモデルである。対象としたのは九州大学福岡演習林内のスギ林で、間伐前後で樹冠通過雨量、樹幹流量の計測が行われている。間伐前の立木密度は1300本/ha、間伐後の立木密度は600本/haであった。また、間伐前の平均直径は31cm、樹高は26mで、間伐後もほとんど変わらなかった。

最後に、実際に現地において、土壌水分の空間的ばらつきを把握することを試みた。現地観測は、ヒノキ人工林とモウソウチク林において行った。九州大学福岡演習林内の32年生ヒノキ人工林(樹高15m、平均直径59.9cm、密度2500本/ha)において、40地点の測定ポイントを設け、携帯型土壌水分計を用いて土壌水分の計測を10回行った。静岡県藤枝市滝沢のモウソウチク林においては、土壌の染色実験を行った。モウソウチク林(樹高15m、平均直径12.4cm、密度9077本/ha)の3箇所において、樹冠通過雨に見立てた青色染色液(Brilliant Blue溶液)を53~95mm h⁻¹で30分間散水した後、側面の断面を掘削し、鉛直方向と斜面方向の浸透過程を観察すると共に、選択流の存在の有無を確認した。

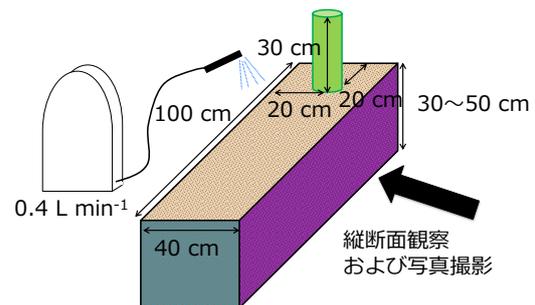


図1 染色実験の概要図

4. 研究成果

山本ら(2004, 土木学会論文集)は、山口県内で現地調査を行った竹林18地点中5地点で土石流跡が、10地点でがけ崩れ跡が見られたとしている。日浦ら(2004, 日本地すべり学会誌)は、高知市の豪雨において、がけ崩れの地点の3分1は竹林で発生していると報告している。さらにその崩壊を3つのタイプに分類し、ルートマットに雨水が集中し、斜面方向へ流下することが、崩壊発生に大きく関わっている可能性を指摘している。日浦ら(2004)は、目視で、高知市北部の山麓の約50%は竹林に覆われていると示しており、これが災害の発生地域の竹林割合と同程度だとすれば、竹林の災害発生確率は、他の森林タイプと比較し小さくなる。河邑ら(2004, 自然災害科学)は、東海豪雨における土地被覆別の土砂崩壊割合を調べたところ、竹林は、他の森林タイプ(人工林・天然林・未立木地)

よりも小さかったと報告している。このように、竹林とその他の森林タイプの表層崩壊発生確率を比較した研究は1例しかなく、この研究でも、竹林の方が、他の森林タイプと比較して、表層崩壊が起りやすいというという結果は示されていない。

図1には、既往の研究 (Onozawa et al., 2009, Journal of Forest Research; 篠原ら, 2010, 日本森林学会誌) で示された日本の針

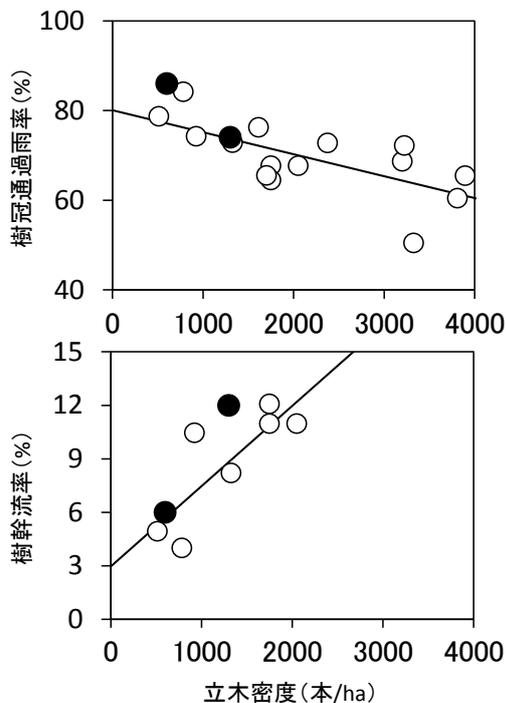


図2 日本の針葉樹林における立木密度と樹冠通過雨率、樹幹流率の関係。●は比較検証に用いたスギ人工林のデータを示す

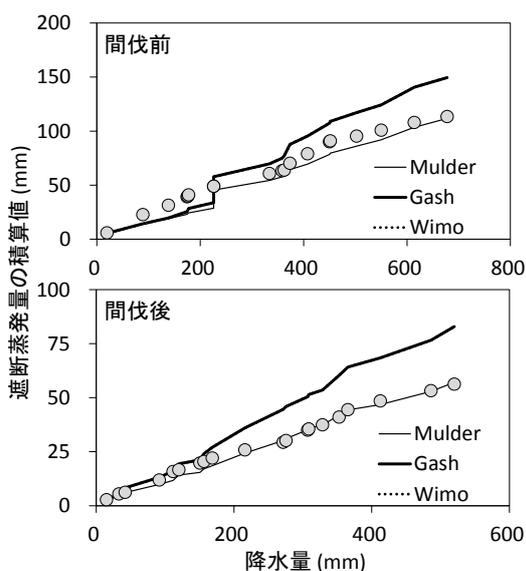


図3 Mulder モデル, revised Gash モデル, Wimo モデルの適用性の検証結果

葉樹人工林のデータを用い、立木密度と樹冠通過雨率 (樹冠通過雨量 / 降水量)、樹幹流率 (樹幹流量 / 降水量) の関係を調べた結果を示した。立木密度と樹冠通過雨率には負の関係が、樹幹流率には正の関係が見られた。これまで、日本の針葉樹人工林において、遮断蒸発率 (遮断蒸発量 / 降水量) は、立木密度との関係が指摘されていたが、樹冠通過雨率と樹幹流率も、立木密度から推定できることが示唆された。

図2を間伐が行われたスギ人工林のデータで検証したところ、概ねデータのばらつきの範囲内にスギ人工林のデータはプロットされた。今後さらなる検証は必要不可欠であるものの、間伐前後の樹冠通過雨率、樹幹流率の変化も図1で得られた直線から推定できる可能性があることがわかった。

Mulder モデル, revised Gash モデル, Wimo モデルの適用性を間伐前後で検証したところ (図3), 間伐前後共に、世界的に最も多くの研究で用いられている revised Gash モデルでは遮断蒸発量を過大評価することがわかった。また, revised Gash モデルに、風速の大小により樹冠に付着できる水分量に変化する過程を組み込んだ Wimo モデルを用いた場合でも精度は向上しなかった。一方で, Mulder モデルを用いた場合は、パラメータを適切に決めさえすれば、遮断蒸発量を的確に再現できることがわかった。

ヒノキ人工林で計測した土壌水分の体積含水率の平均は最大 25.0%, 最小 15.0%, 平均 20.6%であった。土壌水分の大小は、湿潤・乾燥状態によらず、常に同じであった。図4には、比較的乾燥していた6月23日と比較的湿潤だった7月23日の体積含水率を比較した結果を示した。両者には、正の相関が見られた。すべての計測日の相関を調べたところ、相関係数は 0.53~0.94 であり、すべて

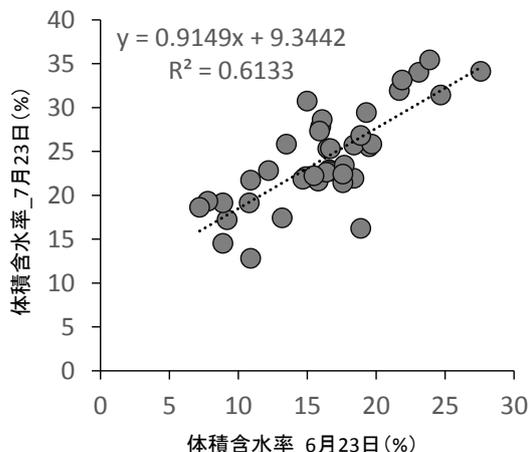


図4 6月23日と7月23日の土壌水分(体積含水率)の比較

の計測日間で有意な正の相関が見られた ($p < 0.001$)。

図5は、モウソウチク林において染色実験後に撮影した写真を示している。モウソウチク林の地表は、厚さ5 cm程度のルートマットで覆われており、鉛直浸透より斜面方向の水移動が卓越していた。ルートマットより下層の土壌についても、一部、染色域が見られたが、深さ30 cmまでに点在した地下茎の位置とは対応していなかった。このことから、ルートマット内を斜面方向に流れる水の一部は、ルートマット内の切れ目等から土壌下層へ浸透するものの、地下茎が主たる浸透経路とはなっていないことが推察された。

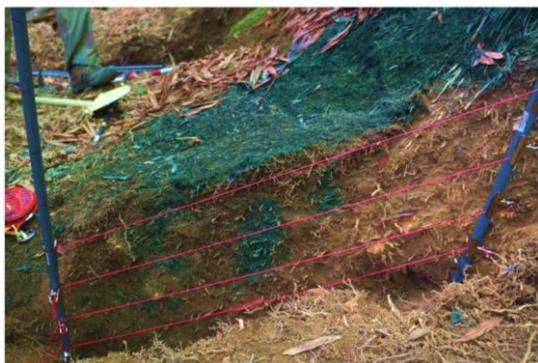


図5 モウソウチク林で染色実験を行った後の断面。ピンク色の線は10 cmおきに張られている

本研究によって、針葉樹人工林に関しては、土壌への降雨の入力となる平均的な樹冠通過雨量、樹幹流量は立木密度から推定可能であることが明らかとなった。各降雨イベントにおける遮断蒸発量は Mulder モデルによって推定可能なが示唆されたが、Mulder モデルでは、樹冠通過雨量と樹幹流量を区別せず取り扱っている。そのため、土壌水分への入力を考えた場合は、更なる改良が必要であると考えられる。また、本研究によって、土壌水分の空間的ばらつきについてその実態を把握することができた。特に研究例が無かったモウソウチク林において、土壌水分の動態を初めて明らかにすることができた。今後は、これらの成果を統合し、土壌への入力となる樹冠通過雨、樹幹流から土壌水分の空間的ばらつき、斜面の安全率まで一体となって扱えるモデルの構築が望まれる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

①Shinohara, Y., Levia, D. F., Komatsu, H., Nogata, M., Otsuki K., Comparative modeling of the effects of intensive thinning on canopy interception loss in a

Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) forest of western Japan. *Agricultural and Forest Meteorology*, 査読有, 第214-215巻, 2015年, 148-156.

DOI: 10.1016/j.agrformet.2015.08.257

②Shinohara, Y., Otsuki, K., Comparisons of soil water content between a Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forest and a natural broadleaved forest in western Japan, *Plant Species Biology*, 査読有, 第30巻, 2015年, 96-103.

DOI: 10.1111/1442-1984.12076

③篠原 慶規、久米 朋宣、市橋 隆自、小松 光、大槻 恭一、モウソウチク林の拡大が林地の公益的機能に与える影響：総合的理解に向けて、*日本森林学会誌*、査読有、第95巻、2014年、321-331

DOI: 10.4005/jjfs.96.351

[学会発表] (計3件)

①篠原 慶規、平岡 真合乃、五味 高志、モウソウチク林における土壌染色実験－浸透過程の可視化－、*日本森林学会大会*、査読無、2016年

②Yoshinori Shinohara, Deiphis F Levia, Hikaru Komatsu, Mari Nogata, Kyoichi Otsuki, Application of Three Canopy Interception Models in a Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) Forest Before and After Intensive Thinning, *AGU Fall Meeting*, 査読無, 2015年

③篠原 慶規、小松 光、鶴田 健二、野方 麻里、大槻 恭一、スギ人工林における間伐後の蒸散量と遮断蒸発量の変化、*水文・水資源学会大会*、査読無、2015年

[その他]

篠原 慶規のウェブページ

<http://ffpsc.agr.kyushu-u.ac.jp/shinohara/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

篠原 慶規 (SHINOHARA, Yoshinori)
九州大学・大学院農学研究院・助教
研究者番号：10615446