

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 21 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580222

研究課題名(和文)水みち上の樹木の特徴を用いた斜面崩壊発生場所の予測手法の開発

研究課題名(英文)New prediction method for mountainous collapse points by the characteristics of trees on the groundwater path

研究代表者

多田 泰之(Tada, Yasuyuki)

独立行政法人森林総合研究所・関西支所・主任研究員

研究者番号：40397518

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：崩壊箇所を精度よく予測するために、樹高を用いて地下水の多い場所を推定する手法を開発した。水みち上とそれ以外の場所のヒノキ林の樹高、直径を比較した。水みち上の樹木は、水みち以外の場所よりも樹高、直径が大きく、成長がよいことが明らかとなった。

次に、スギの人工林において高密度のレーザー測量を行い、樹高の高い林分と危険な地形の関係を比べた。結果として、崩壊しやすい0次谷や地すべり地形、断層地形などの一部で、周囲に比較して樹高が高く、地下水が豊富である場所を抽出することができた。本研究によって、山地の広域において樹高を指標として崩壊発生に關与する地下水の豊富な場所を推定できることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：A method to estimate the groundwater concentration points using the tree height was developed to accurately predict the mountainous collapse point. We compared the height and diameter of Japanese cypresses on and off the groundwater paths. The tree height and diameter on the groundwater paths were large compared to off the paths. Next, we conducted a high-density survey of laser system in artificial forest of cedar, and compared the relationship of the collapse risk terrain and height trees distribution. As a result, we have succeeded in extracting the location of tall trees and rich groundwater in part of the zero-order basin, landslide morphology, and fault topography. By this study, it is possible to extract specific point of rich groundwater in the wide mountains area by an index tree height.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学・森林科学

キーワード：崩壊 水みち 樹木 樹高

1. 研究開始当初の背景

降水量が多く、地形の急峻なわが国では土砂災害が毎年多く発生している。また、近年は未曾有の集中豪雨が度々発生し、土砂災害によって甚大な被害が生じている。崩壊の発生する場所を事前に予知できれば、豪雨が予測される場合に避難するなど、事前に危険を回避できる。そのため、従来、数値モデルから崩壊場所を推定する試みがなされてきた(沖村ら 1986 など)。しかし、これらの解析では崩壊場所を精度よく推定できていない。この原因は、不均一な山腹斜面を均一と仮定して解析がなされているためである。そのため、現在はより詳細なモデルによって現実を再現する試みが進められている(例えば、堤ら 2005)。一方で、これらの研究によって現実を再現できたとしても、詳細なモデルになるほど入力パラメータを集める労力が増大し、実務での応用は困難となる。そのため、更に詳細な研究を積み上げる一方で、過去の研究の中で見落とされてきた崩壊場所を予測するための重要な因子を見出す研究が必要である。

申請者は、崩壊地などで湧水が多数観察されることから、崩壊の場所を予測する重要な因子として、地中パイプや岩盤の亀裂などの「水みち」に着目している。すなわち、豪雨時に地下水が選択的に流れる「水みち」の位置を特定すれば、崩壊の発生位置を予測できないか?と考へた。この仮説を立証するため、まず、地下水が流れるときに発生する微弱な音波(以下、地下流水音)から水みち位置を推定する「地下流水音探査」を開発した(多田 2006)。この手法を用いて崩壊の多発する花崗岩地帯で、水みちの分布を調査した。結果として、崩壊箇所では地下流水音が高く、崩壊が水みちの位置で発生していることを明らかにした(多田ら 2007)。また、この技術を用いて崩壊する危険性が高い場所を予測したところ、その後の豪雨で実際に崩壊が生じ、本手法の有効性を確認できた(多田 2007)。このように、崩壊を予測する上で「水みち」の位置が重要な因子であるとの知見を得た。

次に、崩壊の発生する水みち上と、崩壊の発生しない水みち外の場所の降雨に対する地下水位の応答の違い、土層や岩盤構造の違いを調査した。

結果として、水みち上は降水量に関係なく、少ない雨量でも非常に鋭敏に地下水が応答することが明らかとなった。一方、水みち外の場所では、災害が発生するような大きな降水量でも、ほとんど地下水位が形成されないことが明らかになった。この降雨に対する地下水位の反応の違いが、水みちの位置と崩壊位置が合致する原因であることが明らかとなった。

次に、水みちとそれ以外の場所の土層・岩盤も風化状態の違いを調査した。結果として、水みち外の場所に比較し、水みち上では、土



写真1 斜面における人工林の違いの例



写真2 水みち上と水みち外のヒノキ

層と岩盤の風化が進んでおり、崩壊が発生しやすい場の条件となっていることが明らかとなった。

このように、水みち上では降雨に対して地下水位の応答がよいだけでなく、地下水の応答がよいために土層と岩盤が風化している。その結果、崩壊は水みち上で発生すると考えられた。

ところで、申請者らは崩壊地での現地調査を重ねた結果、崩壊の原因となる水みちの抽出には、斜面の立木の状態が指標になることに気付いた。

写真1は、植栽後10年程度経過した人工林地である。よく見ると、同年に植栽したにもかかわらず、樹高や緑の濃さに違いがみられる。これらの違いは、この斜面だけに見られる現象ではなく、ごく一般的なスギやヒノキの人工林地で見られる現象である。

写真2は、水みち経路上と経路外の場所で採取した同齡のヒノキである。水みち経路上のヒノキは経路外の場所に比べ成長が良く葉量も多い。図1は、写真2に示したヒノキの円盤を採取し、年輪解析の結果から算定したヒノキの樹高である。図のように、水みち

上のヒノキの方が水みち外のヒノキよりも成長量が大きく、樹高が高いことが分かる。このような差は、水みち上では、降雨に対して地下水の反応が良いことや、土層が風化し、粘土化することで土壌水分が高く、有機物も分解されやすいなどの環境条件に起因すると思われる。

このような、樹木の違いを定量化できれば、樹木の成長量の違いから水みちの位置を特定し、山地の崩壊の危険性が高い場所を特定できる可能性があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、斜面崩壊の原因となる水みちの位置を樹木の特徴を用いて特定し、広域における崩壊場所の予測精度を向上させる方法を開発することにある。そのために、①現地調査によって水みちの位置を明らかにし、水みち経路上とそれ以外の場所の樹木の成長量などの特徴の差異を明らかにする。そして、②空中写真や衛星画像、DSM、DTM差分値を用いて、①で明らかにした水みち経路上とそれ以外の場所の樹木の特徴を抽出し、広域における崩壊の発生する危険箇所を明らかにする。本研究は、従来地形・地質だけではうまく推定できなかった崩壊場所の予測手法に、水みちの情報を加えることで、予測精度を向上させる試みである。

3. 研究の方法

本研究では、従来予測精度の低い広域の崩壊発生場所の判定精度を向上させるために、花崗岩地帯で発生した崩壊を対象として、次の調査を実施した。

(1) 地形・崩壊位置の把握

空中写真・衛星画像・既に取得済みの25cmメッシュレーザープロファイラーデータを参考に試験流域を決定し、調査地の測量概査を行った。

(2) 水みち経路の推定

地下水が流れる際に発する微弱な音を集音し水みち位置を特定する地下流水音探査を実施する(図2)。これによって、流域内の地下水経路の大まかな概要が把握できる。

(3) 水みち経路の確認

(2)で推定した水みち経路から本当に地下水が湧出するかを確認するために雨量、地下水位観測を実施する(図2)。

(4) 水みち上とそれ以外の場所の樹木の測定

(1)~(3)の検討で特定された水みち経路を横断する測線を設け、その測線上周辺に位置する樹木について樹高、根元直径を測定した。

(5) 水みちを推定するための樹木の特徴の抽出

(4)で測定した樹木の特徴を表す数値を比較し、水みち経路上とそれ以外の場所の樹木に、どのような違いがあるかを明らかにする。また、水みち経路と最も相関関係の強い項目を明らかにする。

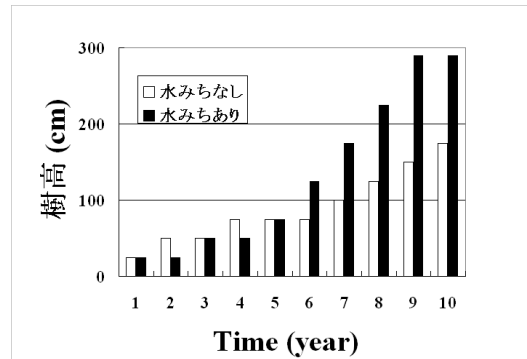


図1 ヒノキの樹高の違い

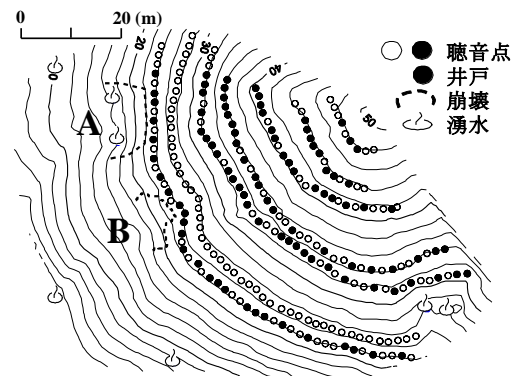


図2 調査斜面と測定位置

(6) 既に取得済みの25cmメッシュレーザープロファイラーデータからDSM、DTMを作成し、これらの差分値より樹木の樹高を算出する。そして、(5)で得られた現場の樹木の情報から、崩壊危険箇所を推定する。

4. 研究成果

(1) 水みち経路の推定結果

花崗岩地帯における幼齢ヒノキ林地において地下流水音探査を実施し、斜面内の水みち経路を推定した。推定結果を図3に示す。図中の破線は崩壊地を、青丸は湧水点を表す。また、赤色は、地下流水音の大きい場所を表し、地下水が集中して流れていることを意味している。

図より、崩壊頭部へつながる複数の水みちがあることが分かる。

(2) 地下水位観測結果

地下流水音の測定結果をもとに、100箇所井戸を設け、最高水位計を設置した。最高水位計は塩化ビニールパイプとその中にマイクロビーズを投入した簡易なものである。降雨によって地下水位が発生するとマイクロビーズが地下水面に浮くため地下水位とともに上昇する。地下水が減少すると、マイクロビーズが塩化ビニールパイプに静電気で付着し、最高水位が分かる仕組みとなっている。最高水位は、降雨イベント前後毎に測

定した。

地下水位の発生頻度を図4に示した。なお、図中の陰影は黒いほど地下水位が発生しやすいことを表している。

図より、地下水位は浸透計算などで得られるように均一な分布にはならず、偏りがある。この偏りが水みちと考えられる。また、地下流水音探査結果と地下水発生頻度はよく対応している。

崩壊地の頭部においては、30mm~250mm全ての降雨に対して地下水位の上昇が確認された。また、災害が発生するような200mmを超える降水量があっても、地下水位の全く上昇しない場所も存在した(図中白色部)。

これらのことから、崩壊へ地下水が供給される水みちが存在し、この水みち経路上で崩壊が発生していることが改めて確認された。

(3) 水みち経路上の幼齢ヒノキの特徴

地下流水音探査と地下水観測で推定した水みち経路上と経路外の幼齢ヒノキ(11年生)の樹高、根元直径を測定した。ヒノキの樹幹長分布を図5に、根元直径の分布を図6に示した。

ヒノキの樹幹長の分布を示した図5と地下水位発生頻度を示した図4を比較する。地下水発生頻度の高い場所で、ヒノキの樹幹長が長いことが分かる。また、地下水がほとんど発生しない図4白色部分では、樹幹長が低い傾向がある。

次に、ヒノキの根元直径の分布を示した図6と地下水位発生頻度を示した図4を比較する。地下水発生頻度の高い場所で、ヒノキの根元直径が太いことが分かる。また、地下水がほとんど発生しない図4白色部分では、根元直径が小さい傾向がある。

このように、水みち経路上のヒノキは、水みち外のヒノキよりも樹高が高く、根元直径も太い傾向があった。すなわち、ヒノキの成長量から水みちや地下水の湧出点を推定することが可能である。

これらの成長量の違いは、幼齢林であるから確認できる可能性がある。伐期を迎える50~60年生のヒノキにおいても成長量の差が維持されているのかを確認する必要がある。そこで、皆伐時に現地斜面に残存している切株の表面10cmをチェーンソーで切り取り、円盤を採取した。採取場所は、図2に示した井戸周辺の切株とし、水みち経路上とそれ以外の場所で合計100枚採取した。円盤は、実験室へ持ち帰り、年輪解析を行った。なお、100枚の円盤の年輪解析は非常に労力が必要となるため、円盤表面を電気カンナで研磨したした後、スケールを円盤上に静置し、デジタルカメラで撮影した。そして、撮影した円盤画像はデジタイザーを用いて年輪幅を読み取った。

結果として、水みち上のヒノキが、水みち外より成長がよい傾向は、円盤を採取できた60年生ヒノキにおいても確認できた。また、

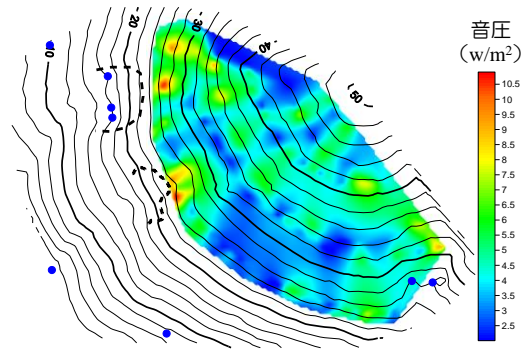


図3 地下流水音の測定結果

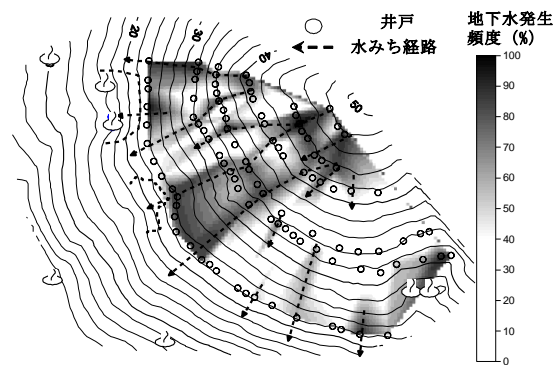


図4 降雨に対する地下水発生頻度

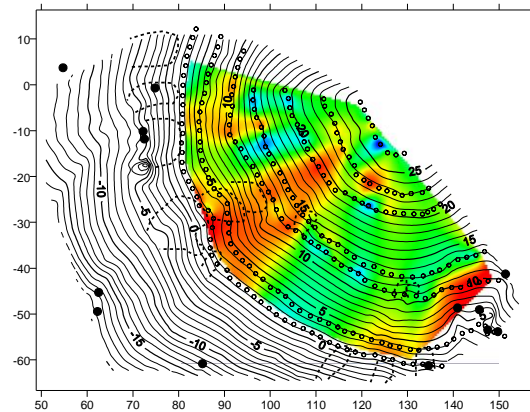


図5 樹幹長の分布

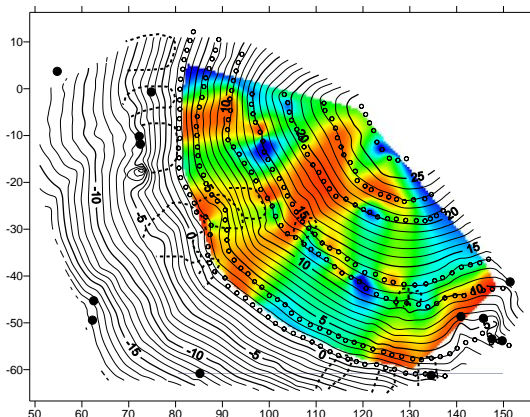


図6 根元直径の分布

現地を確認されたように植栽後の初期だけ水みち上のヒノキの成長が良いのではなく、その後の期間もこの傾向は維持されることが確認できた。

このように、水みち上のヒノキは、水みち外のヒノキよりも成長量が多い。従って、一斉人工林内の成長量の良い場所を抽出できれば、崩壊の発生原因となる水みちや地下水の湧出点を推定することが可能であることが明らかとなった。

(4) 広域における樹高の算定

調査地周辺において、レーザーによる点が 1m^2 内に20点以上の得られる条件で航空レーザー測量を実施した。また、航空画像も撮影した。

試験対象地は、図7に示したようにスギ林が植栽されており、概ね樹高20m前後となっている。得られレーザープロファイラーデータを25cmメッシュのラスターデータに変換し、DSM(樹冠高)、DTM(地表高)を作成した。

25cmメッシュのDTMデータから、長野県の開発したCS立体地図を作成した(図8)。CS立体地図は、曲率、傾斜、標高を組み合わせで作成する微地形図であり、現在のところ崩壊危険地判読に最も適した図法である。

図8に示したように、花崗岩地帯の侵食地形の詳細が明瞭に立体的に表現されている。この中で、青色で示された凹型地形の場所は、地下水の湧き出す場所(水みち)であることが、図4に示した地下水位発生頻度や湧水点の分布位置より理解できる。また、この凹型地形の上流側には遷急線があり、侵食前線となっている。すなわち、凹型地形の上流側には、今後崩壊する土層が存在することとなる。塚本は、これを0次谷と呼んでいる。

この0次谷の中で水分の多い場所が今後崩壊リスクの高い場所と考えられる。すなわち、0次谷の中で水分の多い場所であるスギ林の樹高の高い場所が崩壊の発生しやすい場所と考えられる。

DSMとDTMの差分(=樹高)結果を算出し、図9に示した。図中の赤色は樹高が高いことを、青色は樹高が低いことを表す。谷部の水分の多い条件の場所で樹高が高い。加えて、標高が高く、水分条件が乾燥しており樹高が低くなると考えられる尾根部でも、樹高の高い場所が散在している。

地形と樹高の分布を照合し、図10に示した。0次谷や崩壊跡地、断層地形、地すべり地形などにおいて尾根部でも樹高が高い場所がみられる。これらの場所は、崩壊危険度が高い素因と水分条件の多い誘因の揃う場所で、崩壊のリスクが高いと考えられる。

従来の斜面危険度の評価では、斜面勾配や遷急線などの地形情報や地質・地質構造の情報が重要視されてきた。これらの情報に、樹木の樹高を指標として地下水の豊富な位置情報を加えることで、危険度評価を高精度化できることが確認できた。



図7 スギ林の ortho 画像

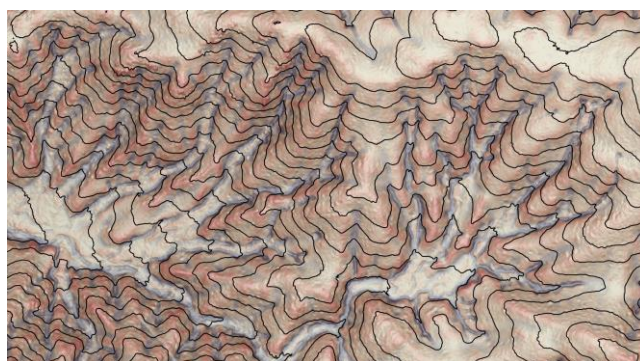


図8 DTMより作成したCS立体地図(長野県提供)

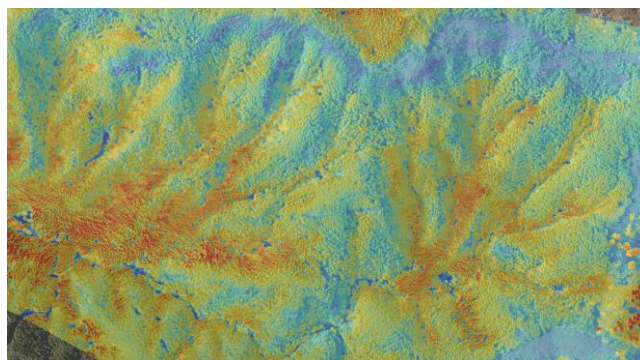


図9 DSMとDTMより作成したスギ林の樹高分布

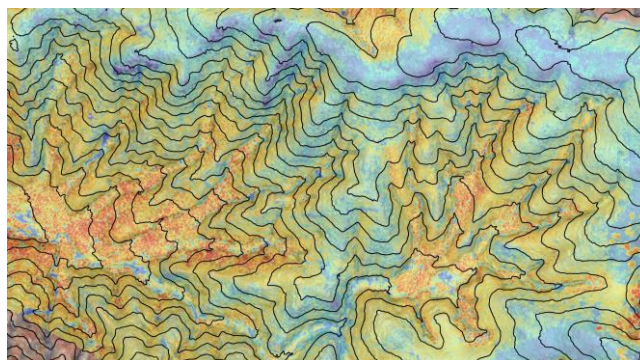


図10 地形と樹高分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計2件）

①多田泰之，大丸裕武，三森利昭：古今近畿水害の特徴とその差異，砂防学会誌，Vol. 65, No. 5, p. 58-64, 2013. 1（査読有）

②多田泰之：地下流水音による斜面崩壊発生場所の予測，平成24年度（社）地すべり学会関西支部シンポジウム論文集「表層崩壊予測の可能性」，p. 49-66, 2012. 4（査読有）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

多田 泰之 (TADA YASUYUKI)

独立行政法人森林総合研究所・関西支所・主任研究員

研究者番号：40397518