

# 施業による災害防止機能への影響評価

戸田堅一郎・小山泰弘・山内仁人

森林施業が土壌侵食に与える影響を調査するため、松本市山辺の薄川流域寒沢小流域で土砂受け箱による調査を実施したところ、搬出間伐実施後3年目以降は実施前よりも土壌侵食が低下しているという結果が得られた。地形や地質構造が災害発生機構に与える影響を明らかにするため、地形判読を容易にする立体図法としてCS立体図を開発した。過去の災害事例調査として、2006年に岡谷市を中心に発生した豪雨災害と2012年に茅野市北山地区で発生した豪雨災害の発生機構を検討した。また同様の発生機構による災害が発生しやすい場所をGISの条件検索により長野県内から抽出した。

キーワード：土壌侵食，表層崩壊，CS立体図，地質構造，危険地抽出

## 1 緒言

長野県林務部が策定した「災害に強い森林づくり指針<sup>1)</sup>」では、土砂災害が発生しやすい森林や崩壊地等を抽出して、土砂災害防止機能が高い森林に誘導、あるいは造成するとしている。しかし、災害が発生しやすい場所を抽出することは難しく、その方法は確立してない。また、間伐等の森林施業を行うと、立木の根系が発達し土砂災害防止機能が高い森林に誘導されることが期待できるが、施業実施時の森林土壌の攪乱等の影響により土壌侵食が増えることが懸念される。

本研究では、間伐などの森林施業の実施が土壌侵食に与える影響を解明することと、過去に発生した災害の発生機構を解明し、同様の災害が発生する可能性の高い場所を抽出することで、より効果的な森林施業実施地を明らかにすることを目的とする。

本研究は県単課題（2010～2014年度）として実施した。なお、森林施業の実施が森林の土壌侵食に与える影響の調査では、2008年～2013年を調査期間とし、2008年～2009年のデータは県単課題「森林の洪水防止機能と施業効果に関する研究」によるデータを使用した。

## 2 搬出間伐が土壌侵食に与える影響調査

### 2.1 目的

間伐を実施し立木密度を適正に保つと、立木の根系が十分に発達することで、土壌緊縛力が増し、災害に強い森林の造成につながると期待できる。また、森林資源の有効活用を考えると、間伐木は搬出することが望ましい。しかし、搬出間伐を行

うと表土が攪乱され、さらに、間伐により一時的に樹冠が解放することから、雨滴による土壌への衝撃が増加し、土壌侵食量が増えることが懸念される。

本章では、下層植生が欠落したヒノキ人工林で搬出間伐を実施することで、施業が土壌侵食に与える影響を把握することを目的とし、土砂受け箱による土壌侵食量の調査を実施した。

### 2.2 調査地と調査方法

#### 2.2.1 試験地の概要

松本市山辺地積の薄川流域寒沢小流域の県営林内（32林班—は小班—3）に試験地を設定した。試験地の位置図を図-1に示した。試験地は小流域の谷頭部に位置し、地形は僅かな凹地形を呈する。国土地理院発行の数値地図50mメッシュ（標高）から算出した平均傾斜は29度であった。周辺の地質は、主として火砕岩からなる安山岩質の火山岩類とされている<sup>2)</sup>。年平均降水量<sup>3)</sup>は1359.7mmで、長野県内においては中庸な値といえる。植生は、1922年植栽（2008年現在で86年生）のヒノキ林で、試験地は1.6haのヒノキ林分の上端に位置している。ヒノキ林の周囲は、54年生のカラマツ林となっている。

試験地周辺では、松本地方事務所林務課の発注事業により、2008年12月～2009年2月にかけて搬出間伐を実施した。約0.1ha（33m×33m）の方形プロットを設けて、立木調査を行ったところ、調査地における本数間伐率は53%であった。ヒノキ林内では魚骨状に間伐し、林地で枝はらいを行った後、架線により全幹で地引集材を行った。

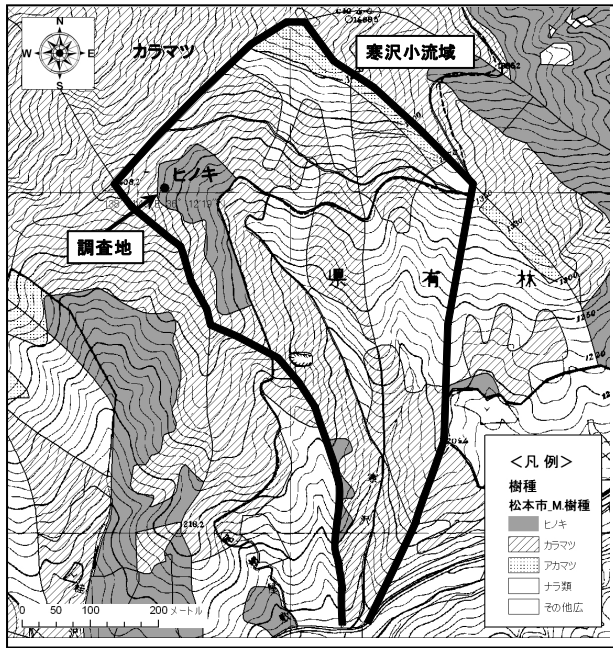


図-1 試験地位置図

### 2.2.2 調査方法

2008年6月から2012年11月の期間で、土砂受け箱による表土移動量の調査を実施した(写真-1)。間伐列をまたぎ、等高線に沿って土砂受け箱(幅25cm, 高さ15cm, 奥行き20cm)を10基設置した。冬季を除いて、2008年~2010年は月1回程度、2011年~2012年は年2回程度の間隔で土砂の回収を行った。また、搬出間伐実施期間中は、土砂受け箱を撤去し、施業終了後に再度同じ位置に土砂受け箱を設置した。

回収した土砂は、リターをとりどきの、105℃で24時間以上乾燥させ、乾燥重量を計測した。土壌侵食強度の評価単位として土砂移動レート<sup>4)</sup>を用いた。土砂移動レート( $g\ m^{-1}\ mm^{-1}$ )とは、降水量1mm当たりの土砂の移動量のことをいう。前回土砂を回収してから次の回収までの期間に、斜面上で等高線に沿う幅1mのラインを通過する土砂の重量を土砂移動量( $g\ m^{-1}$ )とし、回収した土砂の総量を箱数 $\times 0.25$ で除して算出する。さらに、土砂移動量を観測期間中の降水量(mm)で除して土砂移動レートを算出した。降水量データは、気象庁松本測候所の降水量データを用いた。なお、流域内においても雨量計による降水量の観測を行ったが、冬季の凍結や機器の故障による欠測があったため、同条件でデータが揃う気象庁の観測データを用いた。

また、下層植生の変化を把握するため、土砂受け箱10基の直上の位置に1×1mの方形枠を設置し、枠内の植生を調査した。間伐前の調査は、2008年8月22日に行い、間伐後の調査は、当年実生の発生がほぼ完了する時期を目安として、1年目は2009年6月29日、2年目は2010年6月8日に行った。



写真-1 土砂受け箱設置状況

### 2.3 結果と考察

#### 2.3.1 表土移動量調査

図-2に土砂移動レートの推移を示した。間伐実施前の2008年の土砂移動レートは、およそ $0.02\ g\ m^{-1}\ mm^{-1}$ 以下で推移しているが、間伐実施直後にあたる2009年は値が増大し、台風が通過した後の2009年10月7日の回収では $0.13\ g\ m^{-1}\ mm^{-1}$ となり、最高値となった。その後は減少し、施業後2年目となる2010年は、搬出間伐実施前と同様の $0.02\ g\ m^{-1}\ mm^{-1}$ 以下で推移した。3年目の2011年以降はさらに減少し、 $0.01\ g\ m^{-1}\ mm^{-1}$ 以下で推移している。

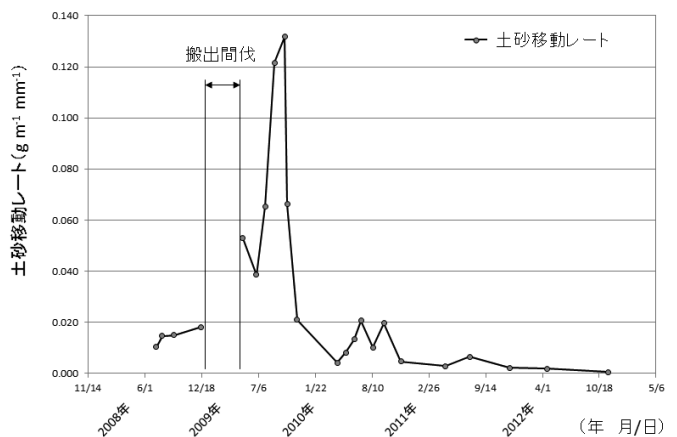


図-2 土砂移動レートの推移

### 2.3.2 林床植生の変化

下層植生調査の結果を表-1に示した。2008年の調査では、下層植生は欠落していた。2009年の調査では、下層植生は施業実施前に比べてわずかに増加し平均植被率で5%程度になったものの、高木性広葉樹はコナラやミズナラが0~1本/m<sup>2</sup>発生しただけであった。2010年は、平均植被率で50%まで回復していた。

表-1 下層植生の変化

調査日	2008/8/22	2009/6/29	2010/6/8
調査枚数	10	10	10
平均被覆率(%)	3.6	5.2	51.5
植生高(cm)	15.0	30.0	43.5
発生種数(種/m <sup>2</sup> )	2.8	5	11.7
高木性広葉樹			
発生本数(本/m <sup>2</sup> )	0.0	0.3	0.6

### 2.3.3 考察

以上から、試験地では搬出間伐後は施業による土壌の攪乱等の影響で一時的に土壌侵食の量が増えたが、その後は減少し、施業実施後の3年目以降は実施前よりも低い値で推移した。原因の一つとして間伐の効果により下層植生が回復したことが考えられた。

## 3 地質構造等が崩壊発生機構に与える影響

### 3.1 CS立体図の開発

#### 3.1.1 目的

広大な森林の中から土砂災害が発生しやすい森林を抽出するのは困難な作業である。その方法の1つとして、従来から地形判読による災害発生危険地抽出が行われており、関連する書籍も出版されている<sup>5)6)</sup>。従来は、森林基本図等の等高線による地形図や空中写真を用いて判読を行っていたが、この手法では判読者に経験と高度な技術が要求される。さらに、等高線による地形図には表現されていない微地形が存在することもある。また、空中写真では樹木下の微地形が写っていないこともあり、判読の精度には限界があった。一方で、近年の航空レーザ測量技術の発達により、樹木下の地表の形状を上空から正確に測量することが可能になった。長野県内においても、既に多くの地域で航空レーザ測量が実施されており、測量成果は容易に入手することができる。

そこで、本章では航空レーザ測量データを加工して地形判読を行いやすくする図法の開発を試みた。

### 3.1.2 方法

#### 3.1.2.1 使用するデータ

航空レーザ測量データは、国土交通省の各地方整備局から入手した(表-2)。このうち、北陸地方整備局が平成2006年~平成2007年に測量したデータは、地表面データと樹木や構造物などのデータを分けるフィルタリング作業が行われていないオリジナルデータであったため、入手後にフィルタリングを行い1mメッシュのDEM(Digital Elevation Model: 数値標高モデル)とした。フィルタリングには(米)EXELIS社製のE3De3.0を使用した。

表-2 使用した航空レーザ測量データ

データ提供者	測量地域	測量年
関東地方整備局	富士見町	2009年~2010年
中部地方整備局	諏訪管内(富士見町を除く)、上伊那管内、下伊那管内、木曾管内	2007年~2010年
北陸地方整備局	佐久管内、上小管内、長野管内、北信管内、松本管内(東部)	2006年~2007年
	北安曇管内、松本管内(西部)	2009年~2012年

#### 3.1.2.2 CS立体図の作製方法

航空レーザ測量データの多くは、1mメッシュのDEMで入手できる。このDEMを用いてGISソフトで解析し、標高図、曲率図、傾斜図を作成した。標高図は、標高値が低いところほど黒く、高いところほど白くなるように彩色した。曲率図は、DEMの平滑化処理を行った後に、中心のメッシュと近接する8メッシュの値から計算し、凸地形ほど赤く、凹地形ほど青く、平坦地は白くなるように彩色した。傾斜図は、近接するメッシュとの平均傾斜により計算し、急傾斜地ほど暗く、緩傾斜地ほど明るくなるように彩色した。これらの図を、色調、透過率を調整して重ね合わせることにより、立体的に見える図を作製した。図-3にCS立体図作製の手順をフロー図にして示した。なお、「CS」とは曲率(Curvature)と傾斜(Slope)の頭文字を意味する。計算には、(米)ESRI社製ArcView9.3またはArcGIS10及びSpatial Analystを用いた。

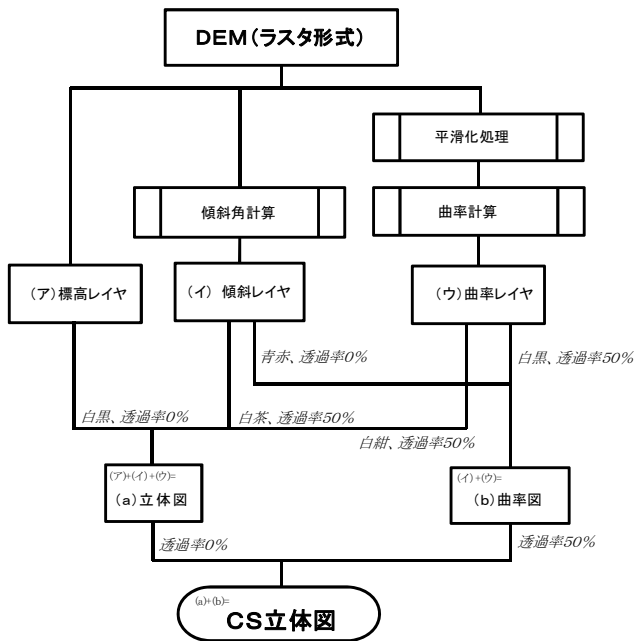


図-3 CS 立体図の作成手順

### 3.1.2.3 現地調査による判読結果の検証

作製した CS 立体図により地形判読を行い、湧水地形、侵食地形、地すべり地形などの視認性を確認した。

地形判読を行った後は、現地調査により確認を行う必要がある。そこで、GIS ソフトにより作製した CS 立体図のワールドファイル(図の位置情報を記載したファイル)を加工し、フリーソフトのカシミール3Dの背景図とした。カシミール3Dはハンディ GPS との親和性が高く、マップカッター機能によりハンディ GPS ((米) GRAMIN 社製 Oregon シリーズ等で使用可)の背景図を作成することができる。CS 立体図をハンディ GPS の背景図に設定し、ナビゲーション機能を用いて、湧水があると判読した場所へ行き、実際に湧水の有無を確認した。

### 3.1.3 結果と考察

#### 3.1.3.1 CS 立体図の作製

図-4 に CS 立体図を作製した範囲を示した。白色で示した範囲は、国土交通省が航空レーザ測量を実施していない等の理由により、1mメッシュの DEM が入手できなかった地域である。作製範囲は、県内民有林面積の 81%となった。作製した CS 立体図はワールドファイル付きの JPEG 形式画像に変換し、森林政策課森林計画係に提供した。現

在、同係が森林情報資産の CS 立体(図第1版)として管理している。長野県森林 GIS 第2世代(専用端末)では、マップウィンドウに CS 立体図の画像ファイルをドラッグ&ドロップすることにより、森林計画図等の背景として使用できる。

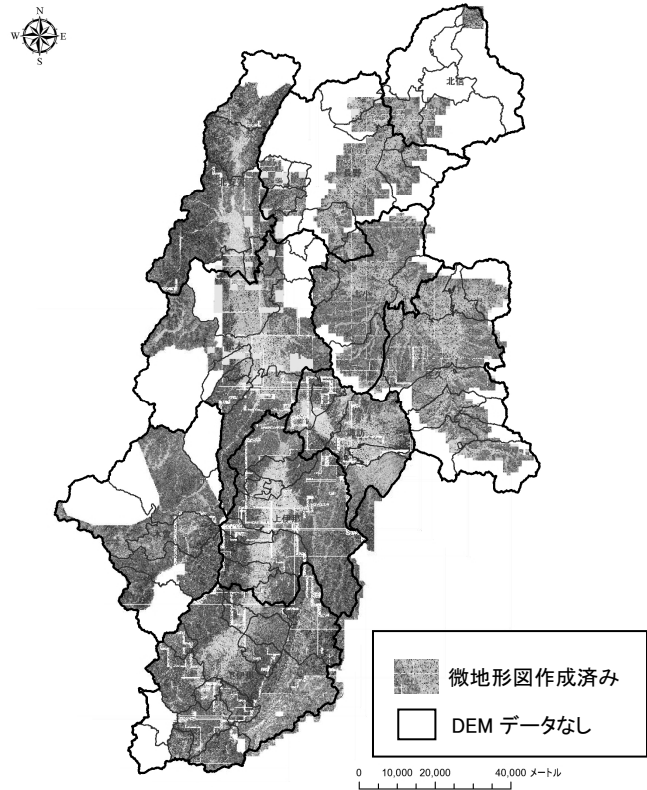


図-4 CS 立体図の作製範囲

#### 3.1.3.2 CS 立体図を用いた地形判読

地形判読の例として、岡谷市横川山の森林基本図を図-5 に、同じ範囲で作製した CS 立体図を図-6 に示した。また、CS 立体図からの地形判読結果を図-7 に示した。当該地では、図中の左上から右下に向けて溪流があり、その右岸側には幅約 300 m、法長約 500mの大規模な崩壊の跡がある。崩壊土砂により河道は埋塞されて平坦地形をなし、その下流端は急勾配で河床の洗掘が進んでいる。溪流には左右から合流する支流があるが、右岸側から合流する支流には扇状地が形成されていないのに対し、左岸側から合流する支流には扇状地が形成されている。このことから、左岸側の支流の上流域には、現在も土砂生産をする崩壊地が存在すると推測できる。以上のことは、CS 立体図からは容易に判読することができるが、森林基本図から判読するのは難しい。



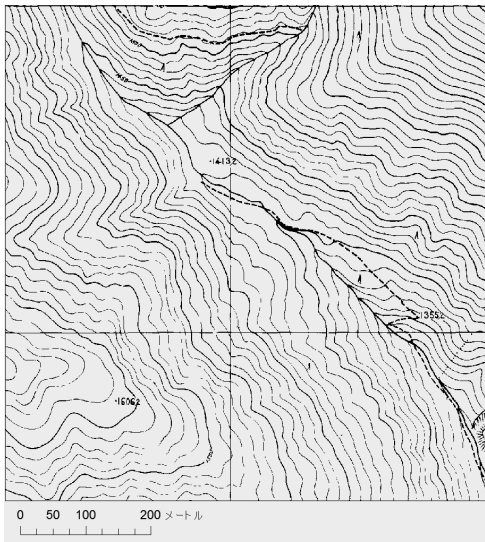
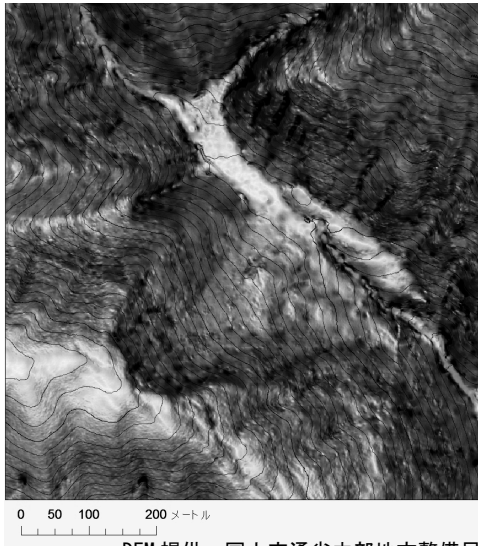


図-5 森林基本図（岡谷市横川山）



DEM 提供：国土交通省中部地方整備局

図-6 CS 立体図（図-2 と同範囲）

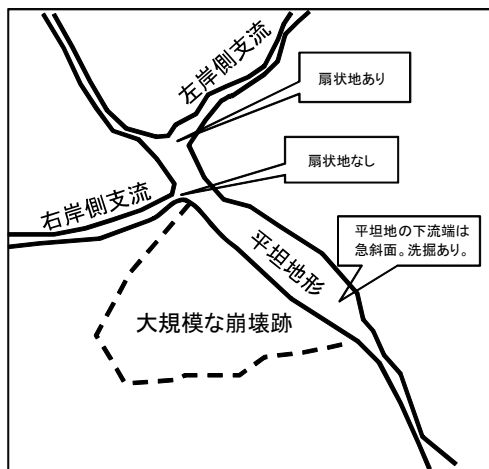
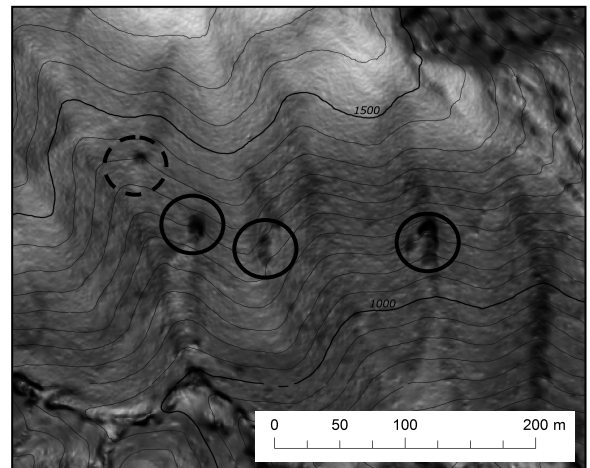


図-7 CS 立体図からの地形判読結果

### 3.1.3.3 現地調査による判読結果の検証

CS 立体図では、凸地形は赤く凹地形は青く、急傾斜地は暗く緩傾斜地は明るく彩色されている。このため、地形が立体的に見え、かつ水の流れや重力の作用により生じた凹地形が青く強調されて見える。岡谷市横川山の地形判読では、斜面の中にある青い円形を湧水により生じた地形であると仮定して CS 立体図から判読し、湧水がある可能性の高い場所として4箇所を抽出した（図-8）。CS 立体図をハンディ GPS の背景図に設定して（写真-2）、ナビゲーション機能により現地に行ったところ、抽出した場所に容易に到達することが出来た。このうち、3箇所からは湧水を確認することができ（写真-3）、1箇所は調査時には湧水がなかったが、下方には土砂の堆積があり、豪雨時には湧水があった形跡が見られ、CS 立体図を用いた地形判読結果と現地との整合性が確認できた。



DEM 提供：国土交通省中部地方整備局

図-8 CS 立体図による湧水の判読

破線の個所では調査時は湧水が見られなかったが、過去に湧水があった形跡が見られた。



写真-2 CS 立体図を背景図に設定したハンディ GPS



写真-3 現地調査による湧水の確認

### 3.1.3.4 考察

航空レーザ測量データを用いて作製した CS 立体図では、従来の等高線による地形図では判読が難しかった地すべり跡地形、深層崩壊跡地形、扇状地などの地形判読が容易に行えた。また、湧水と判読した場所では、現地でも湧水やその痕跡を確認でき、地形判読結果と現地との整合性が確認できた。

## 3.2 2006年に岡谷市を中心に発生した豪雨災害

### 3.2.1 目的

2006年7月15日から19日にかけて、県中央部を中心に記録的な豪雨（5日間の累積雨量 391.5 mm：諏訪特別地域気象観測所）となり、各地で土砂災害が発生した。

既往の研究によれば、ローム質の表層土が多量の降雨により飽和したところに、大量の地下水が噴出し、表層土が流動化して土石流化した<sup>7)</sup>と推定している。また、流下した土砂量から推定されるピーク流量値に対して、集水面積と降水量から計算されるピーク流量値は1/20程度であり<sup>8)</sup>、土石流発生溪流の水収支に不整合があった指摘されている。さらに、崩壊発生位置は谷頭部に集中するとともに、特定の標高に偏る傾向がみられた<sup>9)</sup>。本章では、これらの現象について地質構造的な面から考察を加え、災害発生機構の検討を行った。

### 3.2.2 方法

#### 3.2.2.1 対象地

対象地の位置、および周辺で発生した主な土石流災害の被災地を図-9に示した。この内、破線で示した志平川上流から本沢川上流域の山体を本研究の対象地とした。

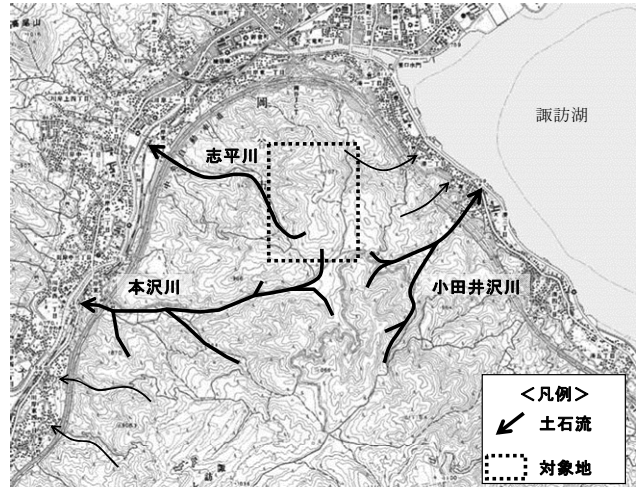


図-9 対象地および主な土石流発生位置

文献<sup>10)</sup>によると、対象地の基盤岩は塩嶺累層とよばれる主に安山岩質溶岩および火砕岩からなる。塩嶺累層は下位から順に A1~A5, B1~B11, C1~C3, D1~D4 に区分できる。対象地域は主に B4 及び B9 に属する。本来は B4 と B9 の間に、B5~B8 が存在するはずだが、対象地内では確認されていない。B9 が堆積する前には風化作用があったとされており、対象地における B4 と B9 の層界には透水性が異なる風化層を介在している可能性を示している。対象地の地質境界面は、ゆるやかに南東に傾斜する。表層土は御岳・乗鞍を起源とする伊那谷型信州ローム層と呼ばれる火山灰質土であり、塩嶺累層の形成期以降に形成されている。近隣の作業道の法面等を観察したところ(写真-4)、表層土の堆積厚は数 cm~数 m と場所により異なるが、基盤岩の谷地形を埋め厚く堆積していた。

#### 3.2.2.2 調査方法

土石流の発生源となる崩壊発生位置と地質区分の関係性を調査するため、既存の地質図<sup>10)</sup>をスキャナで読み取りトレースして GIS データ化した。現地踏査による露頭の確認と、CS 立体図による地形変化点の判読から、地質境界線に修正を加えて詳細な地質図を作製した。作製した地質図に崩壊地の分布を重ね、崩壊発生機構に関する地質構造の影響を検討した。



写真-4 作業道法面で観察した地質構造

### 3.2.3 結果と考察

#### 3.2.3.1 崩壊発生位置と地質境界

CS 立体図に、作製した詳細な地質図と 2006 年災害の崩壊地を重ねて図-10 に示した。2006 年災害の崩壊地は、B4 と B9 の地質境界線付近に分布していた。

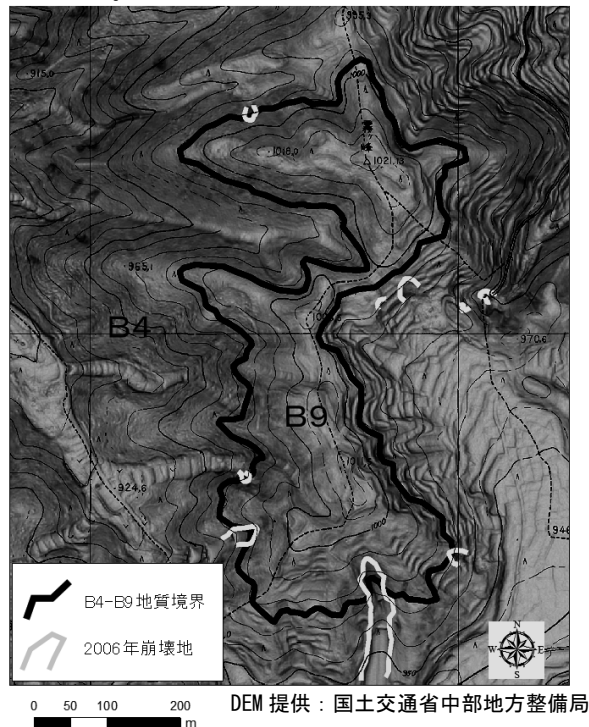


図-10 崩壊発生位置と地質境界

#### 3.2.3.2 崩壊発生機構の検討

B4, B9 は安山岩質溶岩で透水性が高いが、B9 の下位に風化を受けた難透水層が存在する可能性がある。作成した地質図の地質境界線は南東側の標高が 20~30m 程度低く、これは文献調査の地

質境界面傾斜の記述<sup>10)</sup>と一致する。崩壊地は地質境界面傾斜の下方側である山体南東側に多く分布していた。以上のことから、2006 年災害の崩壊発生機構を以下の様に推測し、図-11 に模式図を示した。

- ① B9 は比較的透水性が高く、その下位に難透水層があった。
- ② 豪雨が火山灰質の表層土に浸透し、飽和状態となった。
- ③ B9 内に浸透した多量の水が、ゆるやかに南東側に傾斜する地質境界面に沿って移動し、B4-B9 境界付近から噴出することで、地表を覆う表層土が崩壊し流下した。

この崩壊発生機構によれば、2006 年災害における水収支の不整合は基盤岩からの水供給で説明され、崩壊位置が同じ高さでそろったことは、基盤岩の積層構造により水の噴出位置が水平に並んだと説明できる。

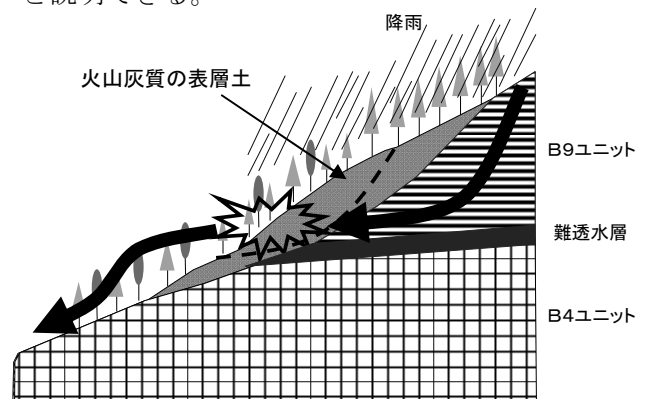


図-11 地質構造を考慮した災害発生機構(模式図)

#### 3.2.3.3 考察

対象地においては、基盤岩の地質構造が災害発生機構に大きく影響していたと推測された。2006 年災害は県中央部を中心に豪雨となったが、他の地域でも、同じ地質条件であれば、同様の降雨が降ると同じ機構による災害が発生することが考えられる。

### 3.3 2012 年に茅野市北山で発生した豪雨災害

#### 3.3.1 目的

2012 年 7 月 28 日から 29 日にかけて、茅野市北部の北山地区で豪雨による土砂災害が発生した。直近の蓼科ダム雨量観測施設では連続雨量 140mm (28 日 19:00~29 日 1:00)、最大時間雨量 62mm

(28日 21:00~22:00)を記録しており、短時間に激しい降雨があった。また、被災地では数km四方程度の極狭い範囲で山地崩壊が多数発生しており、狭い雨域の集中豪雨型であったといえる。この災害では、範囲は狭いものの多数の崩壊が発生したため、踏査により正確な崩壊件数を調べるのが困難であった。また、災害復旧方法を検討するうえで崩壊土砂量を把握することは重要であるが、崩壊発生後の地形測量のみでは正確な土量を算出することはできない。このため、従来は周辺の地形等から元の地形を推測することで崩壊土砂量を推定していた。そこで、山地崩壊の発生位置と崩壊深を正確に把握することを目的として、災害発生前後の2時期の航空レーザ測量データによる差分解析を行った。また、植生と崩壊発生機構との関係を調べるため各種調査を行った。これらの解析結果を基に災害発生機構の検討を行った。

### 3.3.2 方法

#### 3.3.2.1 対象地の概要

対象地は白樺湖から流れる音無川と、持栗沢に挟まれた南北に延びる尾根地形である。図-12に10mメッシュDEMで作製した広域のCS立体図に対象地の位置図を示した。対象地の西側斜面は緩傾斜であるのに対して東側斜面は急傾斜である。西側斜面では地すべり地に見られる滑落崖、頭部の平坦地、沢の湾曲といった、特徴的な地形を呈しているのに対し、東側斜面にはこれらの特徴は見られない。地質は安山岩質溶岩で、周辺には複数の火山が存在することから、性質の異なる複数の火山砕屑物が積層している可能性がある。



図-12 対象地位置図

#### 3.3.2.2 2時期の航空レーザ測量データの差分解析による崩壊発生位置の推定

対象地では、災害発生前と発生後の、2時期の航空レーザ測量データによるDEMを入手できたため、これらを用いて山地崩壊の発生位置と崩壊深の算出を行った。災害発生前のデータは、2009年に国土交通省中部地方整備局が航空レーザ測量により作成した1mメッシュのDEMを使用した。災害発生後のデータは、2012年11月に諏訪地方事務所が計測した航空レーザ測量データを使用した。このデータは、地表面データと樹木や構造物などのデータが混在するオリジナルデータであったため、これらのデータを分離するフィルタリングを行い1mメッシュのDEMを作成した。フィルタリング作業は(米)EXELIS社製のENVI LiDARを使用した。

2時期のDEMから、災害発生前後のCS立体図を作製し、地形判読により新生または拡大した崩壊地を判読して、崩壊地ポリゴンを作製した。次に、2時期のDEMの標高値の差から地形の変化量を算出し、崩壊地ポリゴン内での標高低下量の最大値を崩壊深とした。なお、解析には(米)ESRI社製ArcGIS10及びSpatial Analystを用いた。

#### 3.3.2.3 森林GISデータによる林層調査

崩壊発生位置と森林植生の関係を調べるため、長野県森林GISデータから、対象地全体と崩壊発生地の樹種構成、および林齢を集計した。崩壊発生地が複数の施業班にまたがる場合は、最も面積の大きい施業班の値とした。また、同一施業班内に複数の樹種が存在する場合は、第1樹種の値を採用した。

#### 3.3.2.4 地下流水音探査による水みち調査

崩壊発生位置と地下水の関係进行调查するため、地下流水音探査<sup>11)</sup>を実施した。地下流水音探査とは、地表にセンサーを固定し、地下水が流れるときに発する音の強さを計測することで、地中の水みちの位置を推定する装置であり、森林総合研究所の多田泰之氏により考案された。計測には(株)拓和社製GAS-03を使用し、同一地点で3回計測した平均値とした。また、ハンディGPS((米)GARMIN社製OREGON650)で計測位置を測位し、CS立体図上

にプロットした。

### 3.3.3 結果と考察

#### 3.3.3.1 2 時期の航空レーザ測量データの差分解析による崩壊発生位置の推定

図-13 に、災害発生後航空レーザ測量データから作製した CS 立体図上に、崩壊の分布および崩壊深を重ねて示した。表-3 に斜面方向別の崩壊箇所数および崩壊深を示した。対象地全体では 113 箇所を崩壊地として判読し、崩壊深の平均値は 2.9m であった。このうち東側斜面には 55 箇所の崩壊があり、崩壊深の平均は 1.3m と浅く、崩壊発生位置が等高線方向に列状に並ぶ傾向がみられた。西側斜面には 58 箇所の崩壊があり、崩壊深の平均は 4.3m と深く、列状に並ぶ傾向はみられなかった。このことは、東側斜面では透水性の異なる地層の積層構造が素因となり、不透水層から噴出した湧水により薄い表層土が崩壊したことを示し、西側斜面では古い地すべりにより基岩の風化が進み、厚く堆積した表層土が崩壊したという、災害発生機構の違いを示唆している。

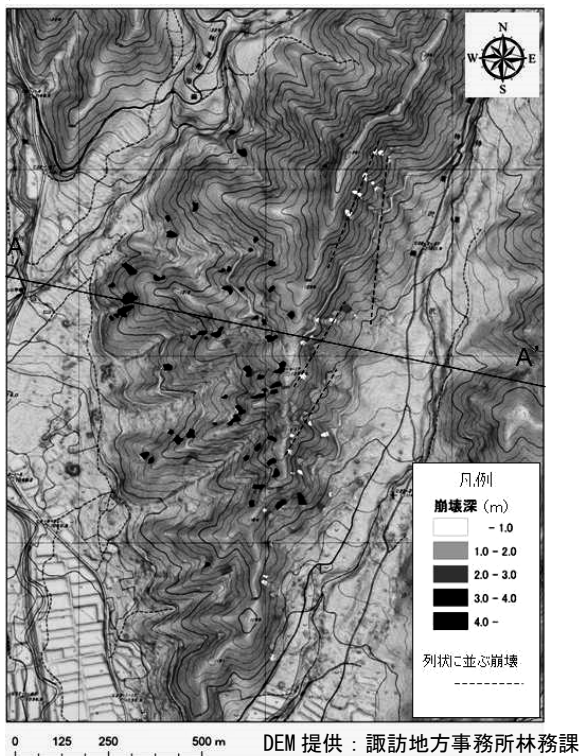


図-13 崩壊の分布と崩壊深

表-3 斜面方向別の崩壊箇所数と崩壊深

	崩壊箇所数	崩壊深(m)		
		最大値	最小値	平均
対象地全体	113	6.5	0.1	2.9
東側斜面	55	4.6	0.1	1.3
西側斜面	58	6.5	1.7	4.3

#### 3.3.3.2 森林 GIS データによる林層調査

表-4 に樹種と林齢の集計結果を示した。崩壊発生率では、針葉樹が 1.1% に対して、広葉樹が 2.0% と高かった。また、林齢別の集計では対象地全体の平均が 55.5 年に対し、崩壊地の平均が 56.0 年であった。一般的に言われている針葉樹林または若齢林の方が崩壊しやすいという傾向は、対象地ではみられなかった。

表-4 樹種別、林齢別の集計

	樹種		合計	林齢
	針葉樹	広葉樹		
対象地全体	104.2ha	78.7ha	182.9ha	55.5年
崩壊発生地	1.1ha	1.5ha	2.6ha	56.0年
崩壊発生率	1.1%	1.9%	1.4%	

#### 3.3.3.3 地下流水音探査による水みち調査

図-14 に地下流水音探査の結果を示した。地下流水音の値が大きいほど大きな円で示しており、崩壊発生が並ぶ列上では地下流水音が大きく、常時の地下水位が高いことを示した。これは、地層境界などが原因になり地下水位が高い場所が直線状に並んでいる可能性を示しており、2012 年の災害ではこれらの場所からの湧水により崩壊が発生したと考えられる。

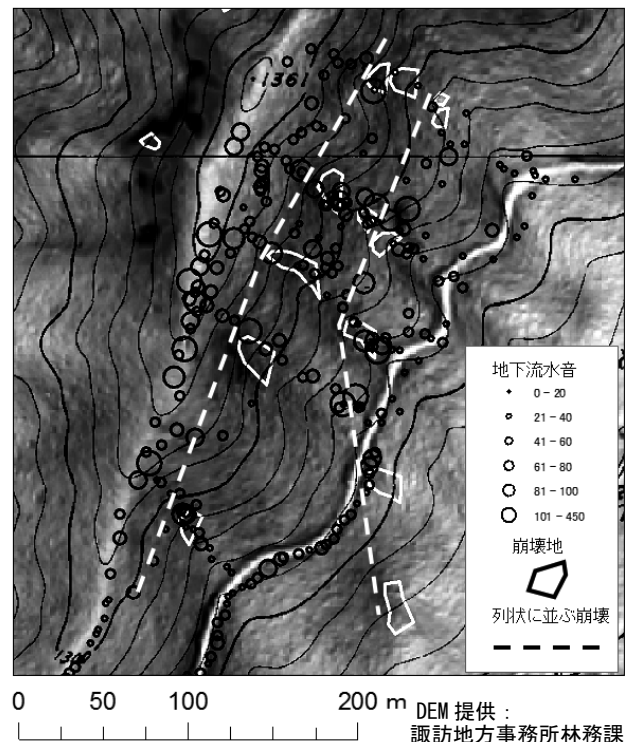


図-14 地下流水音探査結果



### 3.3.3.4 崩壊発生機構の検討

図-12と図-13内のA-A'断面に地質構造の模式図を図-15に示し、崩壊発生機構を検討した。

- ・対象地内の西側斜面は地形傾斜が緩く、地すべり跡地形を呈している。このため、基盤岩の風化が激しく、2012年災害で発生した崩壊の深さも深い。
- ・対象地内の東側斜面は傾斜が急で、地すべり地形は見られない。崩壊の深さは浅く、列状に並ぶ傾向がある。これは、安山岩質溶岩の地層境界から噴出した地下水により、表層土が流下したものと考えられる。

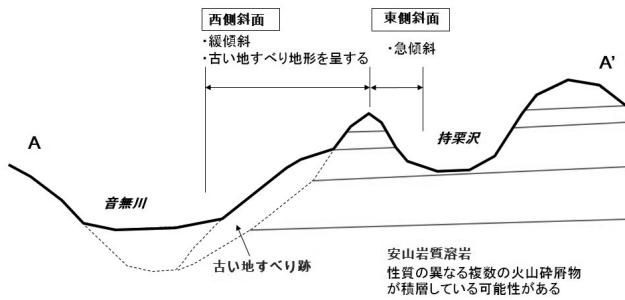


図-15 A-A'の地形断面および地質構造の推定

### 3.3.3.5 考察

対象地での崩壊発生位置は、樹種や樹齢等の立木の影響よりも、地質構造の影響を大きく受けていると考えられた。なお、対象地内東側斜面の崩壊発生地では、地質構造により常時の地下水位が高いことから、対象地における崩壊地の復旧事業では、崩壊が並ぶ列上では崩壊を防止する対策工を施工し、これより下方には湿潤な土壌環境を好む樹種を植栽するなど、立地条件に合った施工を行うことを提案する。

## 3.4 GISデータによる類似災害の発生危険地域の抽出

### 3.4.1 目的

3章の2006年岡谷災害と、4章の2012年茅野災害の解析事例では、ともに地質構造が崩壊発生機構に影響していることが示唆された。両地区とも崩壊発生位置が列状に並ぶ傾向があり、地質境界付近からの湧水により、火山灰質の表層土が崩壊するという類似した傾向がみられた。地域が異なっても、同じ立地条件であれば、同様の災害が発生する可能性があると考え、長野県内において同様

の機構による災害が発生する危険性の高い地域の抽出を行うことを目的に、GISデータによる条件抽出を試みた。

### 3.4.2 方法

地質図、年平均降水量分布図、火山灰分布図データを用いて、GISにより2006年岡谷災害と2012年茅野災害と共通の特性を持つ場所を長野県全域から抽出した。両災害被災地の共通点から、抽出条件は以下の3項目とした。

(1) 表層地質：両地区に共通する地質として安山岩質凝灰角礫岩の地域を抽出した。地質データは、20万分の1スケールの長野県地質図<sup>2)</sup>をスキャナで読み取り、GIS上でトレースしてポリゴン化した。

(2) 火山灰質の表層土：両地区とも、地下水の噴出により地質境界線付近で火山灰質の表層土が崩壊していることから、火山灰の堆積厚が20cm以上の地域を抽出した。火山灰データは、火山灰アトラス<sup>12)</sup>に掲載されている火山ごとのテフラの等層厚線図をスキャナで読み取り、GIS上でトレースしてポリゴン化した後に、層厚の合計値を火山灰の堆積厚とした。

(3) 寡雨地域：火山灰が堆積しても常時の降水量が多い地域ではすでに流送されて山腹に残っていない可能性がある。逆に、寡雨地域では堆積した火山灰が山腹に残っている可能性が高いため年平均降水量が1400mm未満の地域を抽出した。この年平均降水量データはメッシュ気候値2000(平成14年気象庁)を用い、3次メッシュレベルで年平均降水量の分布図を作成した。

### 3.4.3 結果

(1) 表層地質：図-16に長野県内の安山岩質凝灰角礫岩の分布地域を示した。松本管内、諏訪管内のほか、北安曇管内、長野管内、北信管内、佐久管内、上小管内に点在していた。

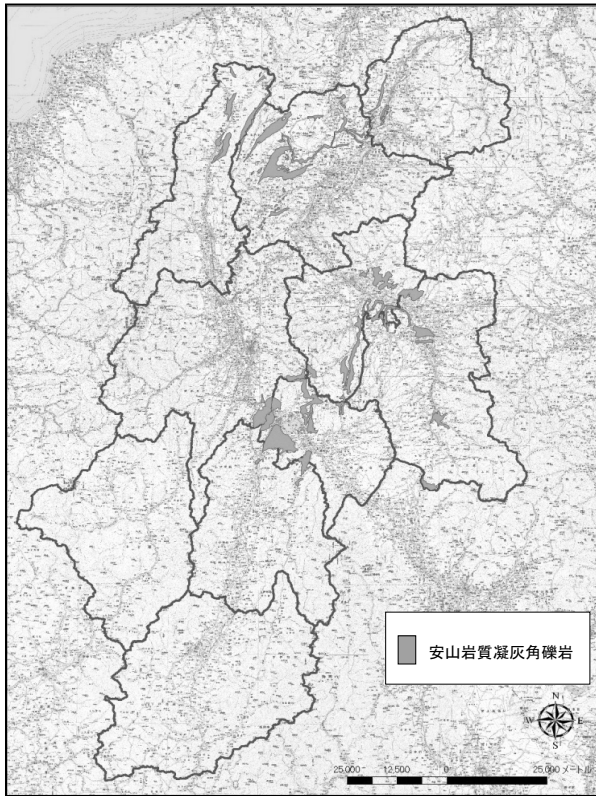


図-16 安山岩質凝灰角礫岩の分布地域

(2) 火山灰質の表層土：図-17 に火山灰の堆積厚が 20cm 以上の分布域を示した。御嶽山，浅間山，立山，八ヶ岳等の火山の東側山麓に多く分布していた。

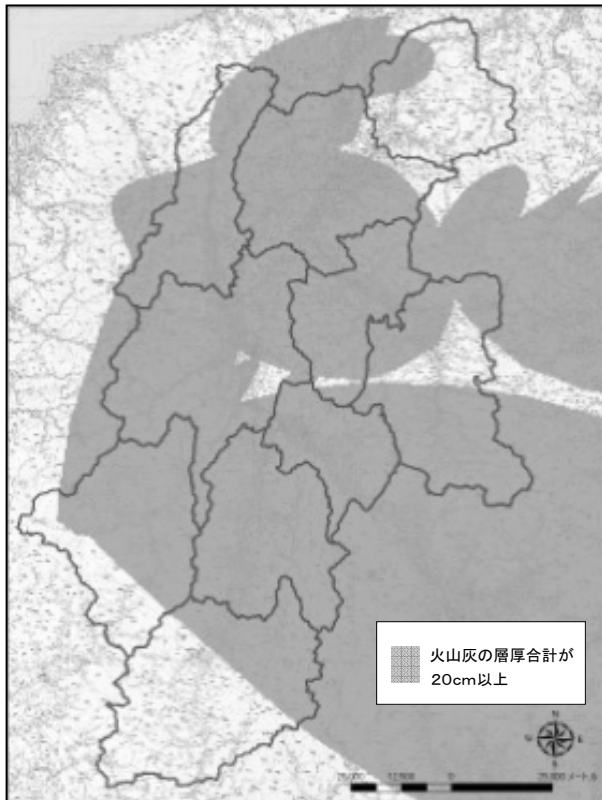


図-17 火山灰の層厚 20cm 以上の地域

3) 寡雨地域：図-18 に年平均降水量が 1400mm 未満の地域を示した。県北部，中部，東部に分布していた。

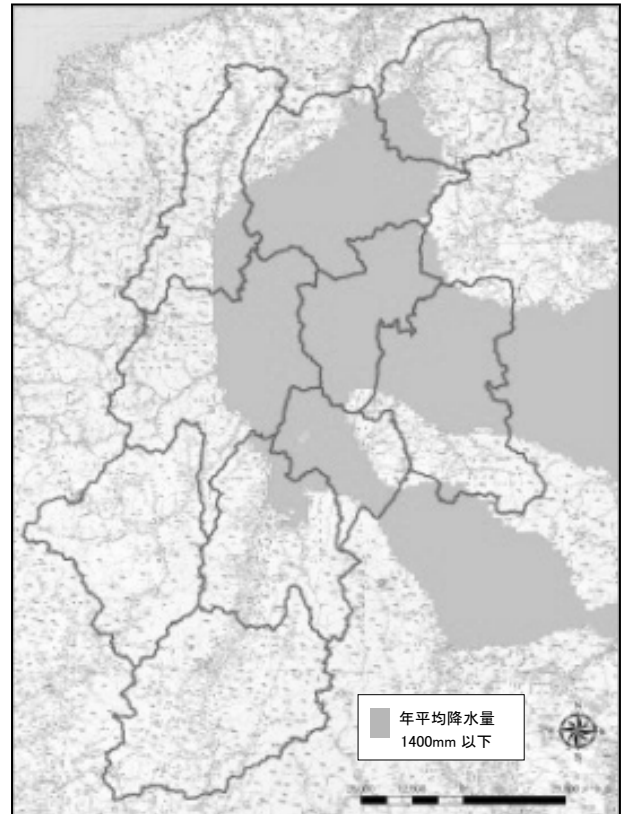


図-18 年平均降水量が 1400mm 未満の地域

(1) ~ (3) の抽出条件全てに該当する地域を図-19 に示した。岡谷市のある諏訪湖周辺と茅野市北山地区のほかに，上小管内，佐久管内，長野管内の一部の地域が該当した。これらの地域のうち，2012 年には長野市信更地区で豪雨災害が発生しており，集水面積に対して崩壊規模が大きく，列状に崩壊発生位置が並ぶなど，2006 年岡谷災害 2012 年茅野災害と類似した特徴がみられた。



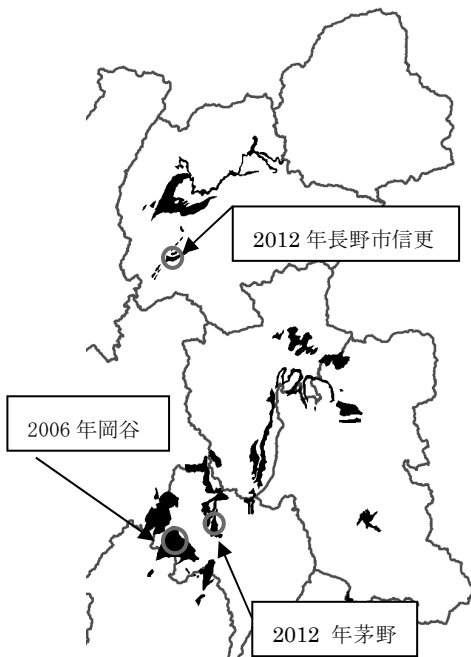


図-19 3条件すべてに該当する地域と近年の災害発生状況

#### 4 結言

松本市山辺の薄川流域寒沢小流域試験地では、搬出間伐土壌侵食に与える影響を調査し、施業実施後3年目以降は実施前よりも土壌侵食が低下しているという結果が得られた。

災害に強い森林づくりを進めるためには、土砂災害が発生しやすい森林や崩壊地等を抽出して、土砂災害防止機能が高い森林に誘導、あるいは土砂災害防止機能が高い森林を造成することが重要である。災害は同じ場所で繰り返し発生するという性質があることから、CS立体図を用いた地形判読や現地調査により、地形・地質を注意深く観察することで、災害発生機構を推察し、異なる地域であっても同様の発生機構による災害危険地を抽出できる可能性が示唆された。

今後は、地質などが異なる様々な立地条件において発生した災害について機構解析を進め、地域毎に発生しやすい災害の形態を明らかにし、適切な予防対策をとることで、長野県の減災に向けた取り組みに寄与出来れば幸いである。

#### 謝辞

本研究にあたり、CS立体図の開発および災害発生地の調査においてご協力をいただいた、森林総合研究所の皆様、間伐事業の工事資料をご提供い

ただいた松本地方事務所林務課林産係、現地調査、資料整理にあたりご協力を頂いた、育林部の皆様、その他、研究に関わった全ての皆様にお礼を申し上げます。

#### 引用文献

- 1) 森林の土砂災害防止機能に関する検討委員会 (2008) 長野県「災害に強い森林づくり指針」解説、長野県林務部、275pp
- 2) 富沢恒雄編著(1976) 長野県の地質、信濃教育会出版部
- 3) 気象庁編集 財団法人気象業務支援センター発行メッシュ気象地 2000)
- 4) Satoru Miura, Kenzo Hirai, Tsuyoshi Yamada(2002) Transport rates of surface materials on steep forested slopes induced by raindrop splash erosion. J For Res, 7, 201-211.
- 5) 鈴木隆介(2004) 建設技術者のための地形判読入門、古今書院、1322pp
- 6) 大八木則夫(2007) 地すべり地形の判読法—空中写真をどう読み解くか—、近未来社、316pp.
- 7) 片倉正行・小山泰弘・山内仁人(2009) 平成18年7月豪雨により岡谷市等で発生した土石流の発生状況と自然環境要因、長野県林業総合センター研究報告第23号、37-47
- 8) 平松晋也・水野秀明・池田暁彦・加藤誠章(2006) 2006年7月豪雨による土砂災害—長野県岡谷市で発生した土石流災害—、砂防学会誌 59(3)、51-56
- 9) 清水靖久・向山繁幸・戸田堅一郎(2009) ゼロ次谷における水分環境・林相と災害発生の関係について、砂防学会誌 61(6)、47-53
- 10) 窪田安打(1999) 長野県諏訪湖南西方における塩嶺累層の火山層序と地質構造—島弧会合部における後期鮮新世～前期更新世の火山活動史—、地質学雑誌 105(1)、25-44
- 11) 多田泰之・藤田正治・堤大三・小山敢・河合隆行(2005) 地下流水音による地中水みち経路の推定、水工学論文集 No50、283-288
- 12) 町田洋・新井房夫(1992) 火山灰アトラス—日本列島とその周辺—、東京大学出版会、276pp