

研究資料 (Research record)

積雪が2008年の岩手・宮城内陸地震によって ドゾウ沢源頭部で発生した深層崩壊に与えた影響

大丸 裕武^{1)*}、村上 亘¹⁾、小川 泰浩¹⁾、川浪 亜紀子²⁾

Effect of snow cover on the deep-seated landslide occurred on the head slope of Dozou-sawa River triggered by the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake

Hiromu DAIMARU^{1)*}, Wataru MURAKAMI¹⁾,
Yasuhiro OGAWA¹⁾ and Akiko KAWAKAMI²⁾

Abstract

We illustrated the deep-seated landslide occurrence on the eastern slope of Mt. Higashi-Kurikoma triggered by the 2008 June Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake based on field survey, interpretation of aerial photographs and DEM analysis using GIS. The landslide initiated on the east facing convex slope of Mt. Higashi-kurikoma at ca. 1300m asl. The remnant vegetation and snow pack indicate that the slope below 1250m was not subjected to significant erosion by the landslide because of the protection of snow cover. Many small organic debris consists of bush-covered topsoil and the trimmed *Sasa* grassland suggest that a full depth snow avalanche has occurred before the deep-seated landslide. Snow will be one of the important factor controlling the movement of deep-seated landslides in Japanese snowy mountains, where snow cover duration reach to half of a year.

Key words : deep-seated landslide, snow cover, snow avalanche, airborne LiDAR, DEM

要旨

2008年6月の岩手・宮城内陸地震によって東栗駒山東斜面で発生した崩壊の実態について、現地調査と空中写真判読、GISによるDEMの解析を元に考察を行った。その結果、崩壊は主として標高1300m付近の凸型斜面で発生したと推定された。標高1250m以下の斜面には崩壊前の植生や積雪層が残存した場所もみられることから、この領域は剝域ではなく土砂の流送域と思われる。崩壊地内には表層土壌に植生が付着した板状体や、先端が切断されて刈り込まれたようなササが多く見られることから、深層崩壊に先行して全層雪崩が発生したことが推定された。わが国の多雪山地には積雪期間が年間の半分以上に達する山地が多くみられるが、積雪はこのような山地における深層崩壊の移動メカニズムに大きな影響を与える要因の一つと考えられる。

キーワード : 深層崩壊、融雪、雪崩、航空機レーザー測量、DEM

1. はじめに

2008年6月14日に発生した岩手・宮城内陸地震によって、東栗駒山の東斜面では大規模な崩壊とともに土石流が発生した(図1;写真1)。土石流は対岸の斜面に乗り上げた後、ドゾウ沢を南東方向に流下して栗原市耕英地区の駒の湯温泉を襲い7名の尊い人命を奪った。この土石流災害については、これまでにいくつかの考察が行われている(大野ほか,2008;Yagi *et al.*, 2009;原ほか,

2010)。いずれの研究においても、この崩壊は冬季に多量の積雪が見られる奥羽山地の稜線付近から発生したことから、多量の融雪水が崩壊発生に影響したことが推定されているが、崩壊に対する積雪の影響については具体的に明らかにされていない。本論では崩壊後の現地調査と崩壊前後の地形データの解析結果から、この崩壊の発生に積雪が与えた影響について考察したい。

原稿受付:平成23年11月30日 Received 30 November 2012 原稿受理:平成24年11月12日 Accepted 12 November 2012

1) 森林総合研究所 水土保全研究領域 Department of Soil and Water Conservation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) 東北森林管理局 Tohoku Regional Forest Office

* 森林総合研究所 水土保全研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里1 Department of Soil and Water Conservation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan, e-mail: daimaru@affrc.go.jp

2. 調査地

崩壊が発生したドゾウ沢源頭部の斜面は、東栗駒山の東斜面に位置する（図1；写真1）。地質図（栗駒地熱地域地質図編集グループ，1986）によると、東栗駒山の周辺は第四紀の栗駒山安山岩から構成されており、崩壊は溶岩台地の縁辺部から発生したと考えられる（写真2）。

崩壊発生斜面は冬季には北西方向から吹く季節風に対して風下側となるため、地吹雪によって厚い吹きだまりが形成される場所にあたる。地震前の1976年に国土地理院によって撮影された空中写真（図2）をみると、今回発生した崩壊地（図2の赤線で囲まれた範囲）の大部分は、崩壊前には緑色を示すチシマザサや匍匐性広葉樹の低木林に覆われていたと考えられるが、中には淡褐色を呈するパッチ状の草原が見られる。これは、多雪山地にしばしば見られる雪田草原であり、残雪がもたらす短い生育期間と湿性の土壌環境に適応した植物から構成されている。図2において雪田草原は溶岩台地縁辺部の1300m～1350m付近と沢沿いの1150m～1250m付近の二つの標高帯（図2のaとb）に分かれているように見えるが、これは稜線付近の遷急線直下に見られる吹きだまりによる残雪と沢沿いの谷地形の残雪に対応すると考えられる。

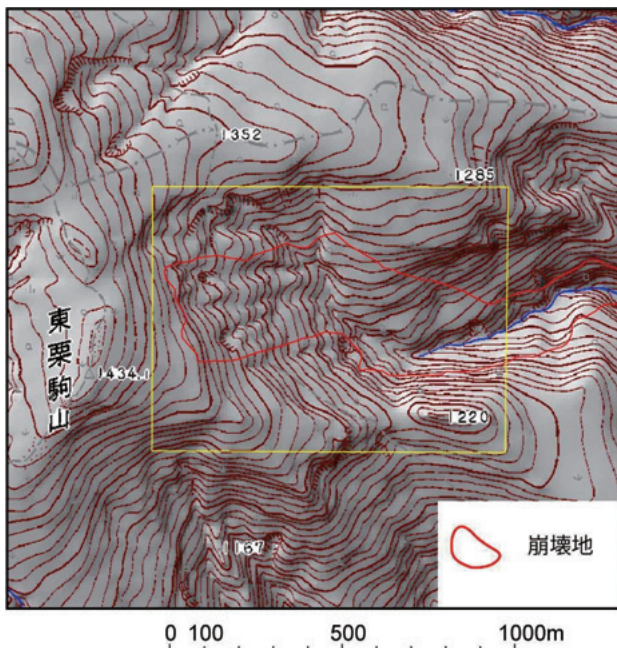


図1 崩壊前のドゾウ沢源頭部の地形
10mメッシュDEM（北海道地図社製 GISMAP Terrain）から作成した地形陰影図と国土地理院の地形図を重ね合わせた。

Fig. 1 Topography of the head slope of Dozousawa River Relief shade image derived from the 10 mesh DEM (GISMAP Terrain; Hokkaido-Chizu Co. Ltd.) was overlaid with the GSI 1/25000 map.

3. 研究方法

2009年6月と8月の2回にわたって現地調査を行い、崩壊発生斜面周辺の地質や植生と崩壊物質の特徴について観察した。崩壊が発生したドゾウ沢源頭部の斜面については、崩壊発生前の1976年に国土地理院によって作成された地形図から10mメッシュのDEM（北海道地図製，GISMAP Terrain）が作成されていた。また、崩壊発生後の2008年6月18日と2008年9月（撮影日不明）には、東北森林管理局によって航空機レーザー測量が行われDEM（メッシュサイズ1m）が作成された。本研究では、これらのDEMの差分を取ることで、地震前後と、地震後の崩壊地の高度変化を推定した。

地震後の2008年6月と9月の航空機レーザー測量によるDEMはいずれも地震後の電子基準点の座標を用いて作成されているため、オーバーレイによる差分計算が可能である。本研究では、この2時期の航空機レーザー測量によるDEMを用いて2008年6月から9月にかけての標高の変化量を推定した。

国土地理院（2008）によると、栗駒山南麓のいわかがみ平にある電子基準点（栗駒2）で地震によって南東方向に約1.5m、鉛直上方向に2m強の地盤変動が確認されている。このため、地震を挟む1976年のDEMと2008年のDEMの差分計算には地震による地殻変動の影響が含まれていることになる。したがって、両者の

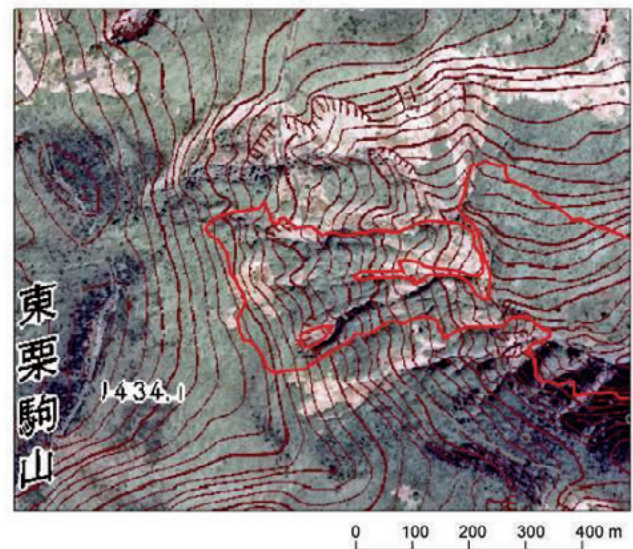


図2 崩壊前のドゾウ沢源頭部の空中写真
国土地理院が1976年に撮影した空中写真をオルソ化して地形図と重ね合わせた。赤色線は地震によって発生した裸地帯を示す。

Fig. 2 Aerial photograph of the head slope of Dozousawa River.

Aerial photograph taken by GSI in 1976 was orthorectified and overlaid with the GSI 1/25,000 map. The red lines indicate bare ground occurred by the earthquake.

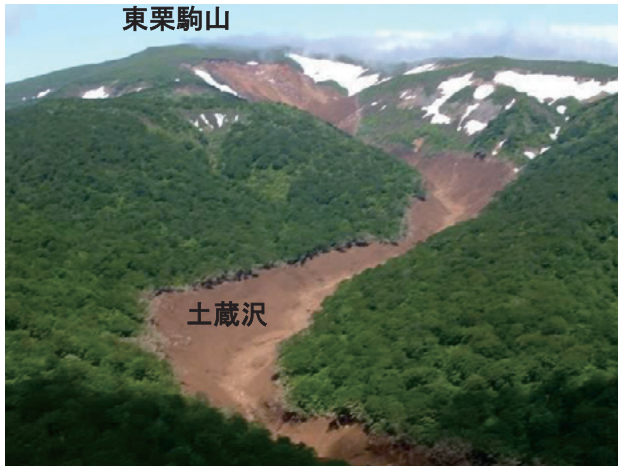


写真1 ドゾウ沢崩壊地の全景. 2008年6月15日に宮城県が撮影.

Photo 1 The landslide occurred on the head slope of Dozousawa River, taken by Miyagi Prefecture in 15 June 2008.

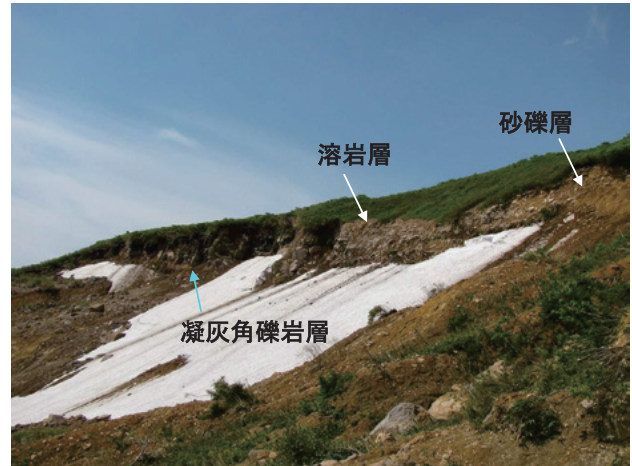


写真2 発生翌年夏のドゾウ沢崩壊地の状況. 2009年6月25日撮影.

Photo 2 The Dozousawa landslide on 25 June 2009.

差分計算から正確な崩壊体積を推定することは出来ないが、地殻変動の影響が2m程度であることを踏まえれば、10mオーダーの極端な地形変化の分布については把握できる可能性があると考えられる。そこで、本研究では、1976年と2008年9月のDEMの差分計算を行って、地震による標高低下量の大きな分布を推定した。

4. 結果と考察

4.1 崩壊地内部の状況

現地調査において崩壊地の滑落崖の露頭を観察すると、滑落崖の南部では柱状節理が発達し成層した溶岩層が見られ、その下位には凝灰角礫岩層が見られる(写真2)。また、滑落崖の北部では多数の巨礫を含む未固結の地層が見られ、その下位には、熱水変質によって一部が粘土化した安山岩が見られた(写真3)。

崩壊発生直後の空中写真(図3a)では、崩壊地の大部分は基盤岩や堆積土砂に覆われていたが、崩壊発生から約3ヶ月が経過した2008年9月の空中写真では、崩壊地の北部やガリー底にはパッチ状の草本植生がみられた(図3c)。現地調査の結果、このようなパッチ状の草本植生は崩壊によって流下した土塊に付着したものではなく、攪乱を受けていない旧地表面の土壌層の上に成立していることが確認された(写真4)。このことから、これらのパッチ状の草本植生は崩壊直後には崩壊土砂に覆われていたものが、その後の土砂の流亡によって出現したと推定される。

4.2 埋没積雪層の分布と崩壊への影響

図3aを見ると発生直後の崩壊地の周辺には多くの残雪が見られるが、空中写真をよく見ると崩壊地(裸地域)の内部においても崩壊土砂の下に埋没した積雪層が確認できる(図3a右上の拡大図)。このような土砂の下に

埋没した積雪層の存在は、地震後の崩壊地内の標高変化からも推定される。図3dには、崩壊発生直後の2008年6月と、その約3ヶ月後の2008年9月の航空機レーザー測量によるDEMの差分を計算し、この間に1m以上の高度低下が見られた場所の分布を示した(淡褐色の部分)。これによると1m以上の標高低下が見られた場所の多くは崩壊地周辺の積雪域にあるが、一部は崩壊地の裸地域の内部にも分布しており、その多くは、2008年9月の段階ではパッチ状の草本植生の分布域と重なる。これらの場所では表面が草本植生で覆われていることやガリーなどの顕著な侵食の痕跡が見られないことから、1m以上の標高の低下が崩壊土砂の侵食で起きたとは考えにくい。崩壊地の外で1m以上の標高低下が見られた場所多くが残雪分布域に一致すること(図3c)を考えると、崩壊地の内部における標高の低下も積雪層の融解によって起きたことが考えられる。すなわち、これらの場所では崩壊地から流出した土砂が積雪層の上を流下し、薄い土砂の層が積雪層を覆う状態となっていたが、その後の積雪層の融解と薄い土砂の層の流出によって、旧地表面の草本植生が出現したと考えられる。言い換えれば、これらの場所では旧地表面の草本植生が積雪層で保護されて融雪後に再び出現したと考えることができる。このような草本植生が見られる場所は、崩壊地内部の細長い谷地形や(写真4のb)やドゾウ沢の谷壁斜面(写真4のc)である。これらの場所は周囲よりも地形的に窪んだ残雪が残りやすい場所であり、積雪層による保護によって土石流通過時の剝削を免れたと考えられることができる。写真5は地震の翌年の2009年5月にヘリから撮影されたドゾウ沢の崩壊地である。地震が発生した2008年6月14日の残雪域はこれよりも小さかったと思われるが、この写真からは崩壊発生斜面の残雪分布の傾向を知ることが出来る。これによると、写真4のb

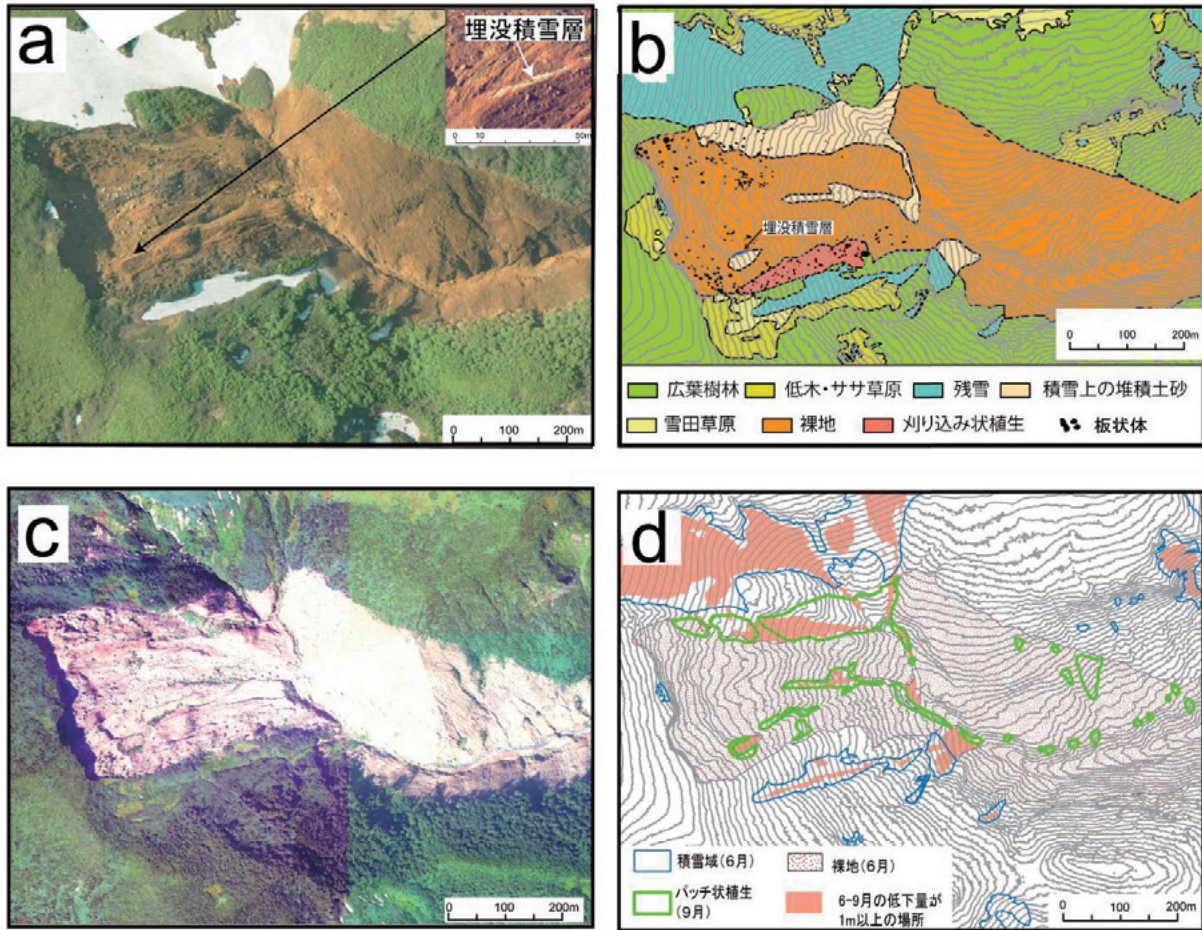


図3 ドゾウ沢源頭部の崩壊地の状況

a) 地震直後 (2008年6月15日撮影) のオルソ写真 (東北森林管理局撮影); b) 地震直後の崩壊地の状況 c) 2008年9月のオルソ写真; d) 2008年9月に確認されたパッチ状植生と6月~9月間の高度低下量が1m以上の場所

Fig. 3 Landslide occurred on the head slope of Dozousawa River

a) Ortho photo taken on 15 June 2008 (by Tohoku Regional Forest Office); b) Landscape at 15 June 2008; c) Ortho photo taken in September 2008; d) Distributions of the remnant snowpack, patchy vegetation and sites with lowering reached 1 m between



写真3 砂礫層の下位に見られる変質安山岩.
Photo 3 Altered andesite lava underlying the surface gravel layer.

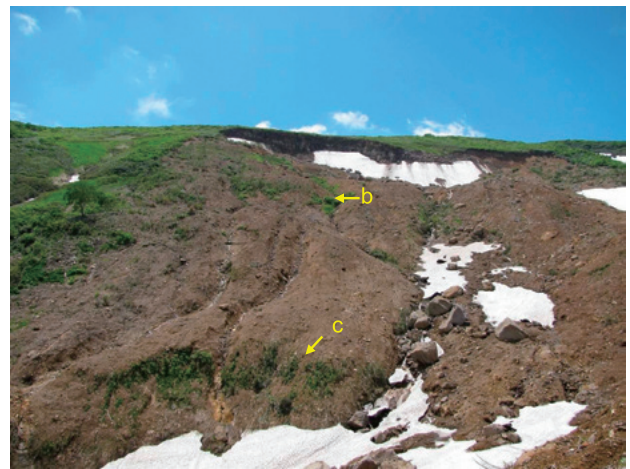


写真4 ドゾウ沢最上流部から冠頭部を望む。2009年6月25日撮影。
Photo 4 View upslope from the uppermost Dozousawa channel to the landslide scarp, taken on 25 June 2009.

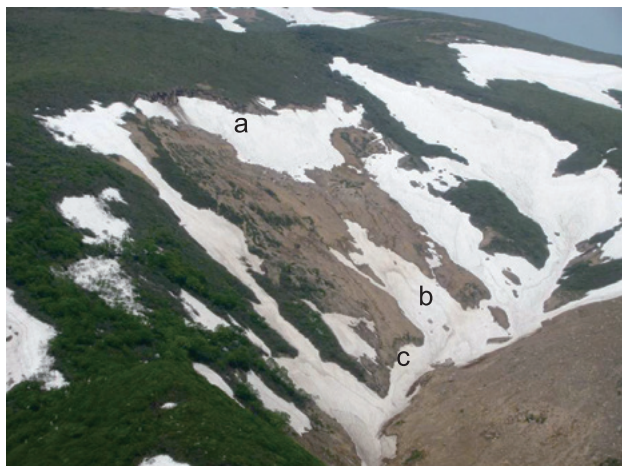


写真5 積雪期末期のドゾウ沢崩壊地の状況. 2009年5月14日撮影.

Photo 5 Remnant snow patches on the Dozousawa Landslide on 14 May 2009.

とcのパッチ状植生はいずれも積雪に覆われており(写真5のbとc)、もともと周囲に比べて積雪が堆積しやすく積雪深が大きい場所であったと考えられる。

以上のような崩壊地内部の積雪や植生の状況を考えると、崩壊で発生した裸地域の内部でも顕著な剝削を受けた場所はごく一部に限られると考えられる。図4は地震前の1976年の空中写真から作成された地形図をもとにした10mメッシュのDEMと地震後の2008年9月に計測された航空機レーザー測定のDEMの差分を示したものである。地震後のデータには地殻変動による水平・垂直方向の移動(栗駒山周辺で1~2m程度)を含んでいるため、差分計算から正確な侵食深を計算することは出来ないが、10mオーダーの地形変化が起きた場所を把握することは可能である。図4によると、高度低下量が20mを上回る顕著な地形変化が見られた場所が標高1300m~1350mのごく狭い範囲に集中している。これに対して標高1250m以下の斜面ではそれほど大きな高度低下が認められない。また、崩壊地の中央部の測線(図4のX-Y)に沿った地震による地形変化を示す断面図(図5)においても顕著な高度低下は標高1280m~1350m付近以外では発生していない。上述したように標高1250m以下の斜面では地震時にも残雪や旧地表面の植生が残存しており、顕著な剝削は生じなかったことを考えると、斜面の下半部は剝削域よりも、むしろ崩壊土砂の流送域としての性格が強いと考えられる。

以上のことから推定すると、今回の地震による崩壊で顕著な剝削が起きた場所は図4において水色の線で囲んだ裸地域上部の凸型斜面に限られると考えられる。また、崩壊土砂の流送域に粗度の小さな残雪や草原が存在していたことが、崩壊土砂が対岸斜面に乗り上げるほどの初速を伴っていたことに影響した可能性も指摘できる(写真6)。

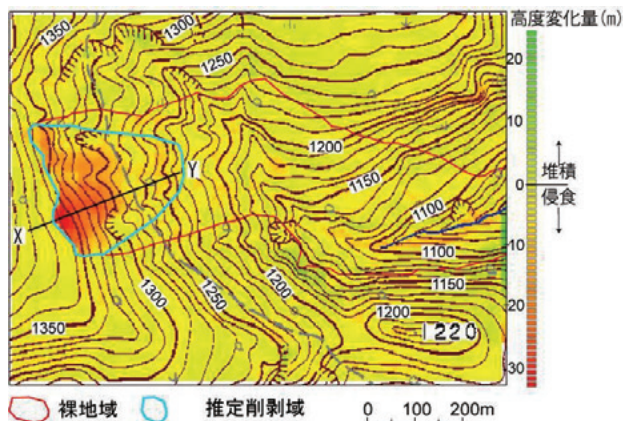


図4 1976年と2008年9月のDEMから計算されたドゾウ沢源頭部の高度低下量の分布
赤色の線は裸地域を、水色の線は推定剝削域を示す。X-Yは図5の地形断面の位置。

Fig. 4 Degradation between 1976 and September 2008 calculated from DEM

The red line marks the outline of the bare ground and the pale blue line indicates the estimated denudation area. The line X-Y is the location of the cross section (Fig. 5).

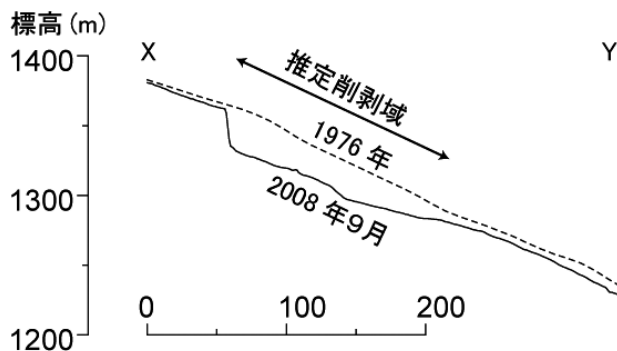


図5 ドゾウ沢源頭部の崩壊地の地震前後の断面の比較測線の位置は図4に示す。

Fig. 5 Cross section of the head slope of Dozousawa River before and after the earthquake
The location is shown in Fig. 4.



写真6 崩壊地对岸斜面の状況. 2009年6月25日撮影.
Photo 6 View of the opposite slope on 25 June 2009.

4.2 地震時に発生した全層雪崩の証拠

崩壊地の内部には植生を付けた表層土壌の板状のブロック(図3d、写真7)が点在していた(図3;写真7)。このようなブロックは北海道や東北地方の全層雪崩地に特徴的に見られる“板状体”(写真8;小野寺, 1974;大丸・大原, 2004)に相当すると考えられる。また、崩壊地南側の板状体密集域の斜面上方には、枝の先端部が揃って刈り取られたようなチシマザサや低木(写真9;以下、“刈り込み状植生”と呼ぶ)が多く見られた。従来の研究では、チシマザサをはじめとする多雪山地の倒伏性の植物は、積雪層中に挟まれた形で生活すると考えられている(Endo, 1983)。積雪期初期に積雪層に取り込まれた枝や葉は積雪グライドの進行とともに徐々に積雪層から抜け出すと考えられているが、圧密や焼結で固化した積雪層との間には強い摩擦が働いているため、全層雪崩が発生して積雪層の急激な移動が生じた場合には植物が積雪層から抜け出せずに土壌層が積雪層と一緒に剥離したり、植物の茎の部分が引きちぎられることがある。このため、全層雪崩の跡地には、上述したような板状体や刈り込み状の植生が見られることが多い。板状体は表層崩壊によっても発生することも多い(小出, 1955)ため、それだけでは全層雪崩発生証拠にはならないが、板状体とともに刈り込み状植生が見られることを考え併せると、少なくとも図3bの刈り込み状植生が見られる場所では地震時に全層雪崩が発生したことが推定される。崩壊発生の翌日に撮影された写真1では崩壊地内に積雪デブリが認められないことから、全層雪崩の発生は最後の土砂流出に先行して発生し、雪崩で発生した積雪デブリは崩壊土砂の下に埋没したか、土砂とともに流下した可能性が高い。また、板状体の分布が崩壊地の縁辺に限られており、崩壊地の中央部には少ないことも、全層雪崩の後に顕著な土砂移動が発生したと考えることで説明可能である。



写真8 2003年5月19日に八幡平嶮岨森東斜面で発生した雪崩の堆積域に見られた板状体。

Photo 8 Organic debris derived from vegetation root mat found on the east side slope of Mt. Kensomori, Hachimantai area.

5. まとめ

2008年6月の岩手・宮城内陸地震によって東栗駒山東斜面で発生した崩壊の実態について現地調査と空中写真判読、GIS解析によって明らかにした。崩壊は主として標高1250m以上の凸型斜面で発生したと考えられる。標高1250mより下の斜面は崩壊前の植生や積雪層の残存状態から、侵食はほとんど受けていないと考えられ、崩壊土砂の流送域と見なすことが出来る。また、崩壊地内の刈り込み状植生や板状体の存在からは、深層崩壊の発生に先行して全層雪崩が発生したことが推定された。図6には以上のような崩壊発生過程を模式的に示した。このように、2008年の岩手・宮城内陸地震によってドゾウ沢で発生した深層崩壊には積雪の存在が大きな影響を与えたことが明らかとなった。



写真7 崩壊地下部に見られる板状体。雪崩の堆積域であることを示す。2009年6月25日撮影。

Photo 7 Organic debris derived from vegetation root mat found on the toe slope of the landslide, indicating that the landslide was accompanied by full depth snow avalanche (taken on 25 June 2009).



写真9 雪崩発生斜面の刈り込み状植生。2009年6月25日撮影。

Photo 9 Snow-clipped bushland found on snow avalanche field on 25 June 2009.

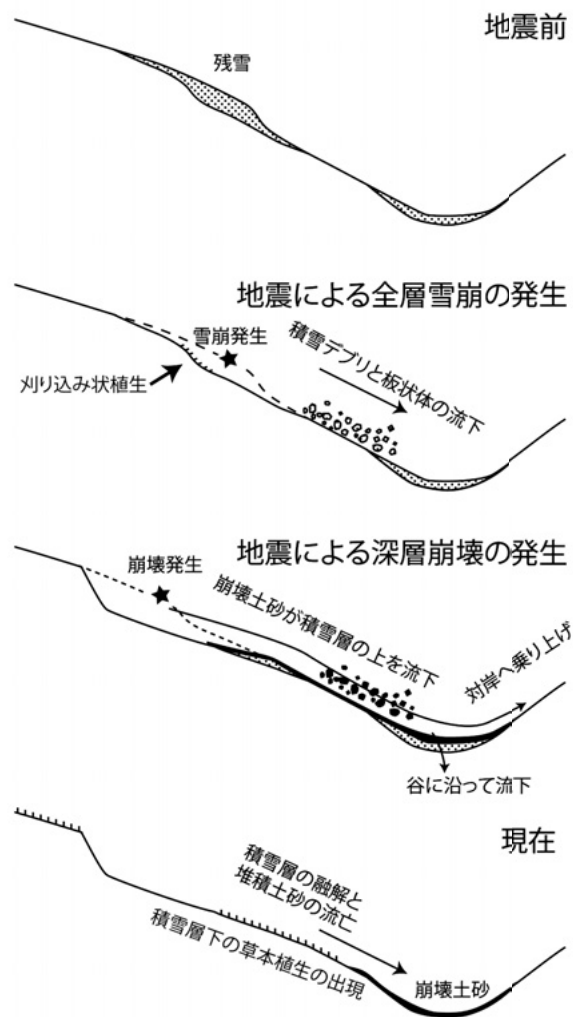


図6 ドゾウ沢崩壊地の発生過程の模式図
Fig. 6 Development of the Dozousawa Landslide.

引用文献

大丸裕武・大原偉樹 (2004) 八幡平におけるパッチ状雪食地の形成過程. 地形, **25**, 341-358.

Endo, Y. (1983) Glide pressure of a snow cover as a release mechanism of an avalanche on a slope covered with bamboo bushes. Contr. Inst. Low Temp. Sci., Hokkaido Univ., **A32**, 39-68.

原 義文・田村圭司・山越隆雄・内田太郎・武澤永純・松本直樹・松岡 暁・吉野弘祐・藤沢和範・千田容嗣・小原嬢子・九田敬行・奥田慎吾・窪塚大輔・千葉伸一・石井靖雄・丸山清輝・Hasbaator・寺田秀樹 (2010) 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震による土砂災害に関する報告. 土木研究所報告, **47**, 1-39.

小出 博 (1955) 山崩れ. 古今書院, 205pp.

国土地理院 (2008) 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震による地殻変動(最終解). <http://www.gsi.go.jp/johosystem/johosystem40099.html>

栗駒地熱地域地質図編集グループ (1986) 10万分の1栗駒地熱地域地質図説明書. 地質調査所.

小野寺弘道 (1974) 北海道の積雪寒冷山地にみられる土砂移動形態の一特徴. 新砂防, **26**, 5-8.

大野裕幸・石井 宏・中島最郎・高橋 祥・渡部金一郎 (2008) 平成20年(2008年)岩手・宮城内陸地震災害正射写真及び写真測量により判読した土砂災害の発生状況. 国土地理院時報, **117**, 39-47.

Yagi, H., Sato, G. Higaki, D. Yamamoto, M. and Yamasaki, T. (2009) Distribution and characteristics of landslides induced by the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008 in Tohoku District, Northeast Japan. Landslides, **6(4)**, 335-344.