

新潟県中越地震で生じた斜面崩壊と地質、積雪深等データの重ねあわせ  
Overlaying of Landslides Distribution on Geological, Snow Depth, and Other Data for the Mid Niigata  
Prefecture Earthquake in 2004

地理地殻活動研究センター 佐藤 浩・関口辰夫・神谷 泉・長谷川裕之  
Geography and Crustal Dynamics Research Center  
Hiroshi P. SATO, Tatsuo SEKIGUCHI, Izumi KAMIYA, Hiroyuki HASEGAWA  
日本建設情報総合センター 秋山 實  
Japan Construction Information Center Minoru AKIYAMA  
日本地図センター 小白井亮一  
Japan Map Center Ryoichi KOJIROI

## 要 旨

国土地理院の災害状況図に基づき、旧山古志村を中心とする東西約14 km、南北約18 kmについて、1,353カ所の斜面崩壊を抽出するとともに2列の崩壊多発帯を確認した。斜面崩壊の疎密は、本震のモデル断層面すべり量の大小と対応しなかった。地質との関連を調べるため、空中写真判読に基づき斜面崩壊を6分類したところ、表層崩壊が圧倒的に多かった。地震前の地形データから地震後の地形データを差し引いた結果、旧山古志村東竹沢、寺野、梶金、旧広神村一ツ峰沢の斜面崩壊（地すべり）において、見かけの土砂移動量は、それぞれ56万 $m^3$ 、22万 $m^3$ 、177万 $m^3$ 、69万 $m^3$ と見積もられた。

地震による斜面の不安定化に伴い、今後の融雪期には、土砂が雪崩に巻き込まれて斜面下方に移動する恐れがある。そこで、雪崩の発生に関わりが深いと考えられるデータ（積雪深、傾斜、土地被覆、雪崩地形）を重ね合わせ、雪崩の発生域ほど高得点となる図を作成した。その結果、集落どうしを結ぶ道路沿いには、高得点の斜面が存在することが判った。

## 1. はじめに

平成16年10月23日17時56分頃に、深さ約13 kmでM=6.8（暫定値、以下同様）の新潟県中越地震が発生し（気象庁、2004）、旧山古志村（現在、長岡市の一部）を中心に多数の斜面崩壊が発生した。

本稿では、国土地理院が作成した災害状況図（国土地理院、2004a）に示された斜面崩壊の分布を地質、震源、地形と重ね合わせたので、その結果から読み取れる地すべりの特徴を述べる。斜面崩壊により裸地化した斜面で生じる雪崩が、融雪期に新たな土砂移動を引き起こす可能性がある。航空レーザ測量により計測した積雪深データを用いて雪崩のハザードマップ基礎情報図を作成したので、その方法についても触れる。なお、本稿では岩、土あるいはその混合物の斜面下降運動という広い意味で「斜面崩壊」を用い、そのうち明瞭なすべり面を持つ大規模な斜

面崩壊を特に「地すべり」と呼ぶ。

## 2. 対象地域と斜面崩壊の分布

対象地域は、図-1の災害状況図に示すように、旧山古志村を中心とする東西約14 km、南北約18 kmの領域である。点線で囲んだ2つの楕円体の列は、災害状況図に加筆した斜面崩壊の多発帯である。後述の地質構造と照らし合わせると、芋川に沿った向斜軸と、背斜軸の西翼で信濃川へ西に緩く傾くケスタ地形に一致している。

本稿では、災害状況図に示された斜面崩壊の変動域（発生域・移送域・堆積域の全体を含む）の外縁を閉領域で囲んで数値化した。比較的大規模な地すべりについては変動域の中に滑落崖や副次崖、側方崖なども記載されているが、ここでは簡単のため変動域のみを数値化した。数値化に際しては、地形の成因を考えて、なるべく個々の斜面崩壊を区別するよう努めた。多数の斜面崩壊が多数連なって、個々の斜面崩壊を分け難いときは、複数の斜面崩壊をまとめて閉領域に囲んだ。

その結果、認定できた斜面崩壊は1,353箇所だった。災害状況図は、縮尺1/10,000~1/12,500の空中写真判読に基づき1/25,000地形図に描画できる程度のある程度の広さ（図上1 mm×1 mm以上）を持った斜面崩壊の分布を示しているため、より大縮尺の空中写真を判読し、より細かい斜面崩壊を抽出すれば、実際にはより多くの斜面崩壊を抽出できる可能性がある。

## 3. 斜面崩壊の分類

空中写真の判読と現地調査で確認できた斜面崩壊の特徴に基づけば、斜面崩壊は、表-1の凡例に従って2つのタイプ（非流動性と流動性）に分けられた。流動性の地すべりは、土砂が高速で長距離を運動し、人の生命や財産に対して著しい被害を及ぼす斜面崩壊として近年、注目されている（佐々、2000）。

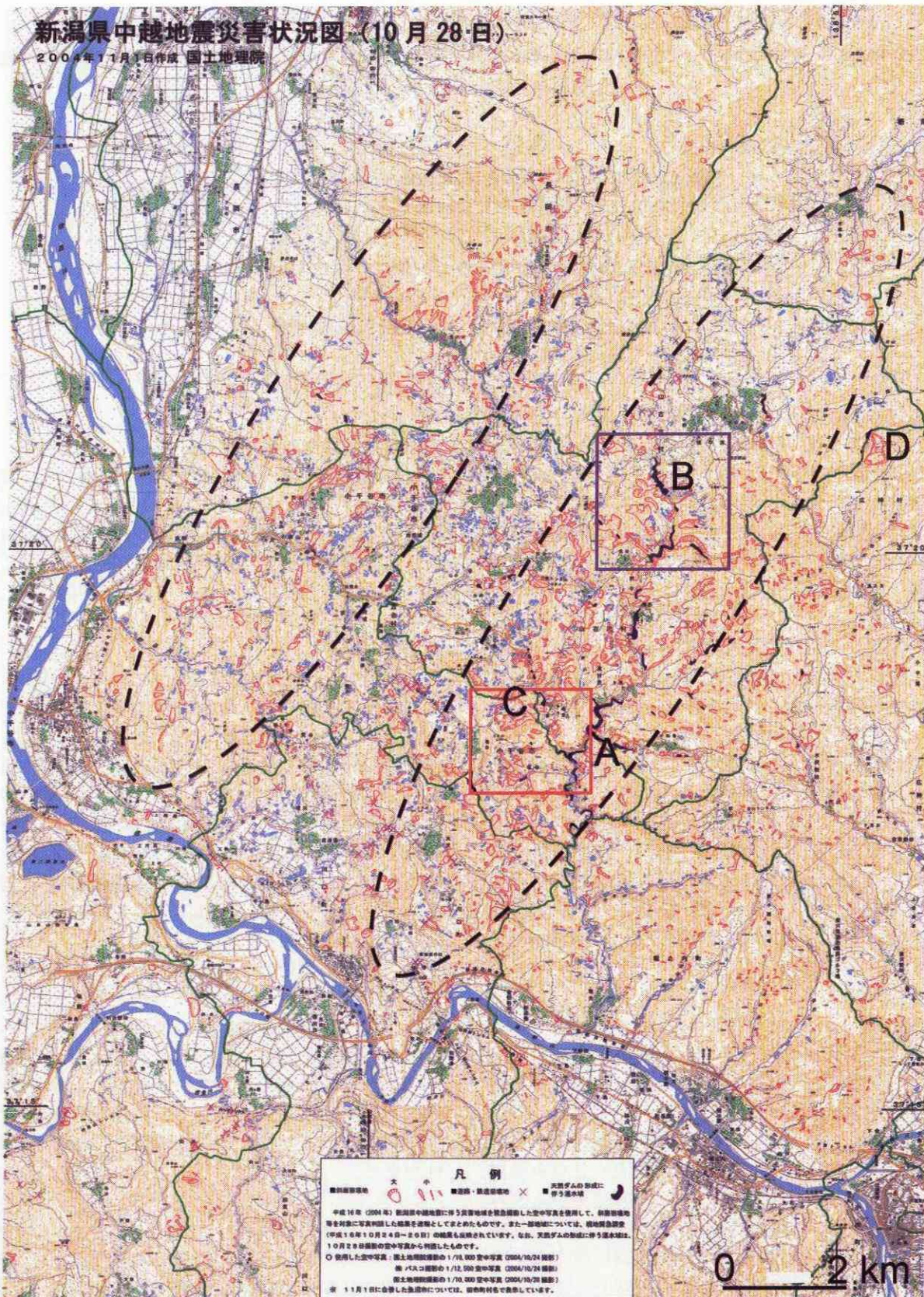


図-1 災害状況図に見られる2列の崩壊多発帯 (紫色と橙色の枠は図-11, 図-12の範囲をそれぞれ示す)

表-1 斜面崩壊分類の凡例

分類項目	判読による特徴	
崩壊A	比較的傾斜が急な箇所において、発生域の円弧～馬蹄形の崖が不明瞭で、崩落堆の判読が困難なもの。発生域・移送域・堆積域の判別が困難な表層崩壊。	
崩壊B	崩壊Aのうち、特に表層の薄層が植生とともにパッチ状にずり落ち、ずり落ちなかった植生もパッチ状に斜面に残存する場合。	
非流動性	崩壊C	崩壊Aのうち、比較的大規模で、崩落堆が明瞭に判読できる場合。
地すべりA	比較的傾斜が緩く、発生域の円弧～馬蹄形の崖が明瞭で、移動体が広範囲に認められるもの。移動体には副次崖等の内部構造が判読できる場合がある。傾斜の緩やかな層すべりも含める。	
地すべりB	比較的傾斜が急な箇所において、発生域の円弧～馬蹄形の崖が明瞭で、崩壊が基盤岩まで達していることが推測されるもの。	
流動性	流動性崩壊	発生域の傾斜の急緩を問わず、移動域が比較的緩やかで斜面長が長く、大量の水とともに流下した跡が明瞭に認められるもの。



写真-1 崩壊A

(旧堀之内町竜光 平成16年11月29日撮影)

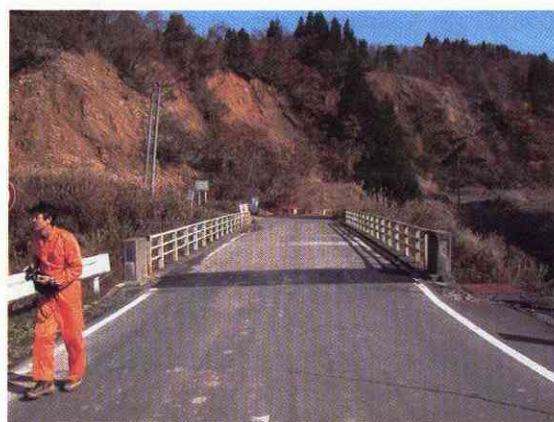


写真-3 崩壊C

(旧山古志村種芋原 平成16年11月7日撮影)



写真-2 崩壊B

(旧山古志村池谷 平成16年11月30日撮影)



写真-4 地すべりA

(旧山古志村東竹沢 平成16年10月中日本航空撮影)



写真-5 地すべりB  
(旧山古志村池谷 平成16年11月30日撮影)



写真-6 流動性崩壊  
(旧山古志村池谷 平成16年11月30日撮影)

非流動性の斜面崩壊を5つに細分類し、最終的に6つのタイプ(崩壊A, 崩壊B, 崩壊C, 地すべりA, 地すべりB, 流動性崩壊)に分類できた。写真-1~6には、その典型的な例を示すとともに、図-2には芋川流域における6つのタイプの分布を示す。

分類の結果、地すべりは個々の規模が大きく数は少ないが、崩壊A(表層崩壊)は小規模で数が多いという特徴を示す。

#### 4. 斜面崩壊分布と震源データの重ね合わせ

斜面崩壊分布データと重ね合わせるため、平成16年10月23日の本震から11月8日までの震度5弱以上を観測した地震(気象庁, 2004)の震源の位置を数値化した。

また、斜面崩壊の発生に最も影響を与えたと思われる本震について、齋藤ほか(2004)はモデル断層面を設定し、本震の強震波形に対してインバージョンを実行して、断層面上のすべり量分布を地表面上に投影した図をWeb上で明らかにした。その図を簡略化して数値化し、地すべりの分布と重ね合わせた。その結果を図-3に示す。

震源と地表面上に投影したモデル断層面上のすべり量の分布を示す。今回の地震の発生機構は、北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型であり(気象庁, 2004)、齋藤ほか(2004)の用いたモデル断層面は、北西縁が12.9 kmの深さで、南東縁が0.2 kmの深さに設定されている(引間, 私信)。図-3から、下盤側ではあまり斜面崩壊は生じていないが、上盤側では多発していることが判った。断層のすべり量の大小と斜面崩壊の多寡に関連性は見出せないことが明らかになった。



崩壊 A  
崩壊 B  
崩壊 C  
流動性崩壊  
地すべり A  
地すべり B



図-2 斜面崩壊6タイプの分布

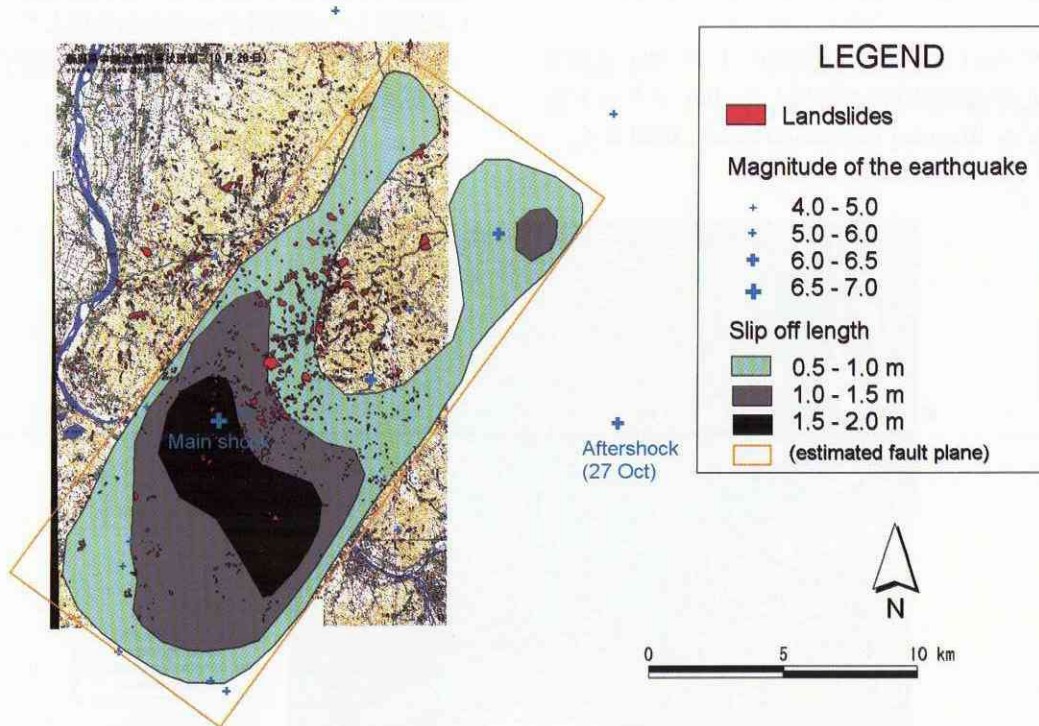


図-3 斜面崩壊の分布と震源データの重ね合わせ

### 5. 斜面崩壊分布と地質データの重ね合わせ

斜面崩壊の分布データと重ね合わせる地質データについては、斜面崩壊が多発した範囲を特に多く含み、しかも最新の地質情報を詳細に記載した小千谷地域の地質図幅（柳沢ほか、1986）に含まれる信濃川と魚野川より北側の範囲を数値化した。図-4に、数値化した地質データと地すべり分布を重ね合わせた図を示す。斜面崩壊分布の分類は、図を簡単にするため、表-1に示した2分類（非流動性と流動性の斜面崩壊）で表示している。また、表-2に、地質の年代と層相（柳沢ほか、1986）とともに、非流動性、流動性の斜面崩壊の各地質の個数を示す。総数は、前述の1,353カ所のうち、数値化した地質データが重なり合う827個である。表-2と図-4に示した各地質の記号は、一致している。

図-4のa-b-c地質断面で見ると、図-1に示した2列の崩壊多発帯は、荒谷層（鮮新統下部の暗灰色塊状泥岩；記号A）が分布する背斜軸よりも西側の、地層が西に傾斜してケスタ状の地形をなしている部分と、芋川を中心とする向斜軸に沿った部分に相当している。

表-2の斜面崩壊の個数を、各地質が占める面積で割って「斜面崩壊密度」を算出し、崩壊の流動性、非流動性の地質に応じた局在性を見出そうとした。その結果を図-5に示す。

図-5において、流動性の崩壊密度は川口層の砂岩（Ks）で1.64個/km<sup>2</sup>であるが、表-2を参照すると、もともと発生個数が2個と極めて少ない。それ以外の

地質では、発生個数が0個でない限り0.4個/km<sup>2</sup>前後であって、流動性の斜面崩壊がある地質で特異的に発生したと結論づけるのは難しい。

図-5において、非流動性崩壊の密度は川口層の砂質泥岩優勢の砂岩と砂質泥岩の互層（Ku2）で12.69個/km<sup>2</sup>、続いて和南津層の砂岩（W）の10.45個/km<sup>2</sup>で、白岩層の砂質泥岩（S）の9.59個/km<sup>2</sup>である。しかし、非流動性崩壊がこれらの地質で特異的に発生したとみなすよりも、これらの地質が、たまたま、荒谷層の分布する背斜軸よりも西側の、地層が西に傾斜してケスタ状の地形をなしている部分と、芋川を中心とする向斜軸に沿った部分に存在していたこと、すなわち、地質の層相ではなくて、流れ盤の層すべりが多数生じるような地質構造に依存していたと結論したほうがよさそうである。

### 6. 斜面崩壊分布と地形データの重ね合わせ

#### 6.1 東竹沢地すべり

図-1の「A」で示した旧山古志村東竹沢で河道を閉塞した地すべり（写真-4）は、流れ盤の層すべりである。現地調査の結果、すべり面（写真-7）には、白岩層の砂質泥岩（走向：N10°E；傾斜：18°W）の上に、斜面下部に移動した和南津層の砂岩（現地では、未固結で淘汰の良い砂層）による擦痕（方向：N60°W）が見られた。この地すべりは、古い地すべり地に生じた再活動型の地すべりであることが、すでに丸井・吉

松 (2004), 八木ほか (2004) などにより指摘されている。

この地すべりについて, 地震前の 1/25,000 地形図に基づき北海道地図(株)が生成した 10m グリッド数値地形モデル (Digital Elevation Model, DEM) から,

地震後の平成 16 年 10 月 28 日に朝日航空(株)が計測した航空レーザ測量データから生成した 10m グリッド DEM を差し引いて, 地震前後の標高変化を調べた。その結果を図-6 に示す。

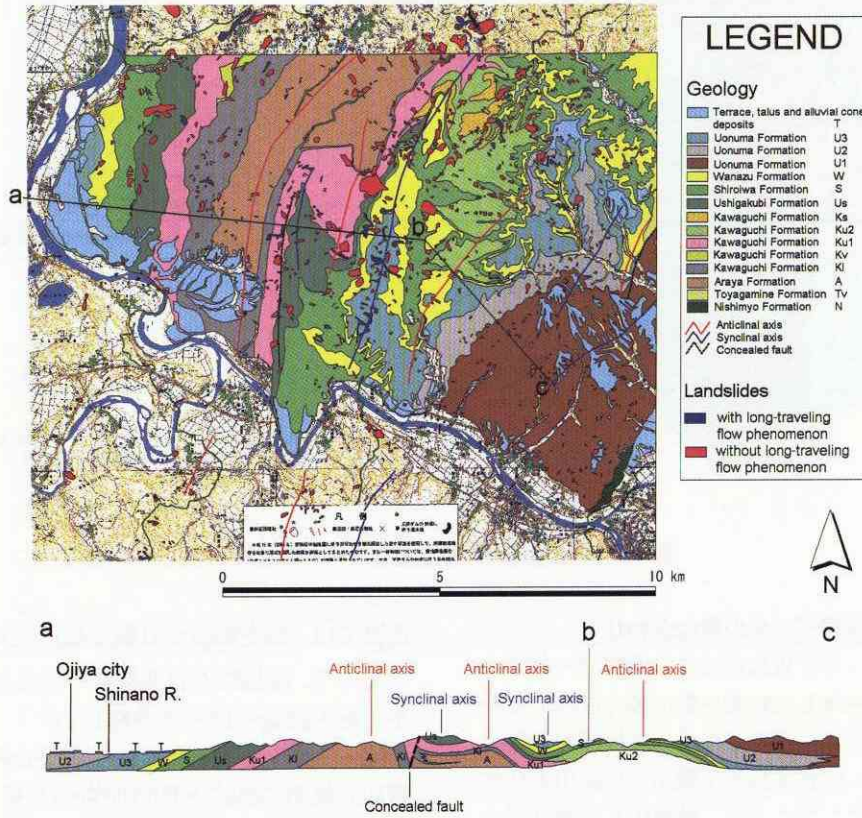


図-4 斜面崩壊分布と地質データの重ね合わせ

表-2 各地質の斜面崩壊の個数

時代	地質	層相	面積(km <sup>2</sup> )	地すべりの個数	
				非流動	流動
更新世～ 完新世	段丘堆積物 (河成層)		9.63	20	0
更新世	魚沼層	海成シルト砂層 (U3)	8.97	62	6
		砂シルト層 (U2)	4.36	29	0
		礫シルト層 (U1)	14.61	116	0
鮮新世	和南津層	砂岩 (W)	10.05	105	4
	白岩層	砂質泥岩 (S)	15.02	144	6
	牛ヶ首層	塊状泥岩 (Us)	6.68	44	3
	川口層	砂岩 (Ks)	1.22	10	2
		砂質泥岩優勢砂岩砂質泥岩互層 (Ku2)	5.28	67	3
		泥岩優勢砂岩泥岩互層 (Ku1)	8.90	76	4
		デイサイト質火山角礫岩 (Kv)	0.29	2	0
	荒谷層	砂岩優勢砂岩泥岩互層 (Kl)	6.33	54	2
		暗灰色塊状泥岩 (A)	10.25	68	0
		鳥屋ヶ峰層	デイサイト溶岩・安山岩質火山角礫岩及び安山岩溶岩 (Tv)	0.37	0
中新世	西名層	デイサイト質火砕岩・泥岩・デイサイト溶岩及び流紋岩溶岩 (N)	0.32	0	0
(合計)				797	30

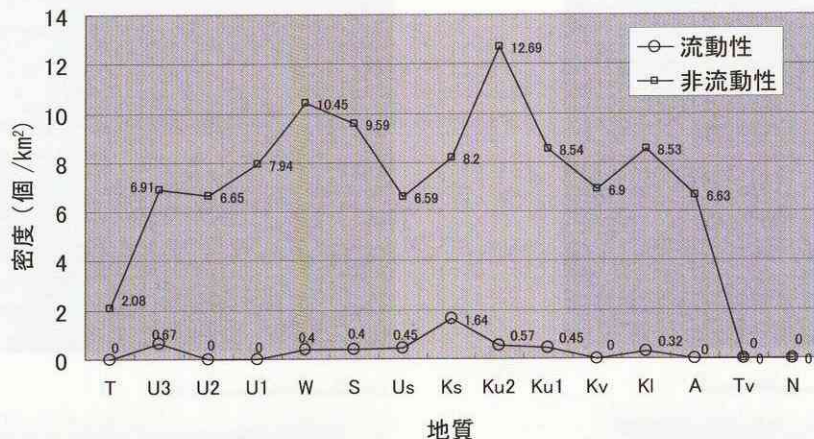


図-5 各地質の斜面崩壊密度



写真-7 東竹沢地すべりのすべり面

地すべりの発生域に相当する標高変化の減少域(図-6のS)では $-52.4$  万 $m^3$ , 堆積域に相当する増加域(同じくA)では $60.4$  万 $m^3$ の体積変化があった。 $60.4 - 52.4 = 8.0$  万 $m^3$ の余剰体積が生じるが、これはDEMが有する誤差と考えられる。つまり、地震前のDEMの計測精度は $5m$ の誤差、地震後は $0.15m$ の誤差がある。減少域と増加域の面積はともに約 $2.9$  万 $m^2$ なので、 $2.9$  万 $m^2 \times \pm 5m = \pm 14.5$  万 $m^3$ である。余剰体積はこの範囲内に収まっていると考えた。なお、地震前後の土の密度変化は考えていない。

この結果、標高の変化から計算できる東竹沢の地すべりの見かけの土砂移動量は、 $60.4$  万 $m^3$ と $52.4$  万 $m^3$ の平均値である、 $56$  万 $m^3$ 前後と考えている。

### 6.2 その他の地すべり

図-1の「B」、「C」、「D」で示す旧山古志村寺野、梶金、旧広神村一ツ峰沢の地すべりにおいて、空中写真判読により標高の減少域、増加域を認定した。そして、「6.1」と同様の手法で見かけの土砂移動量を見積もった。

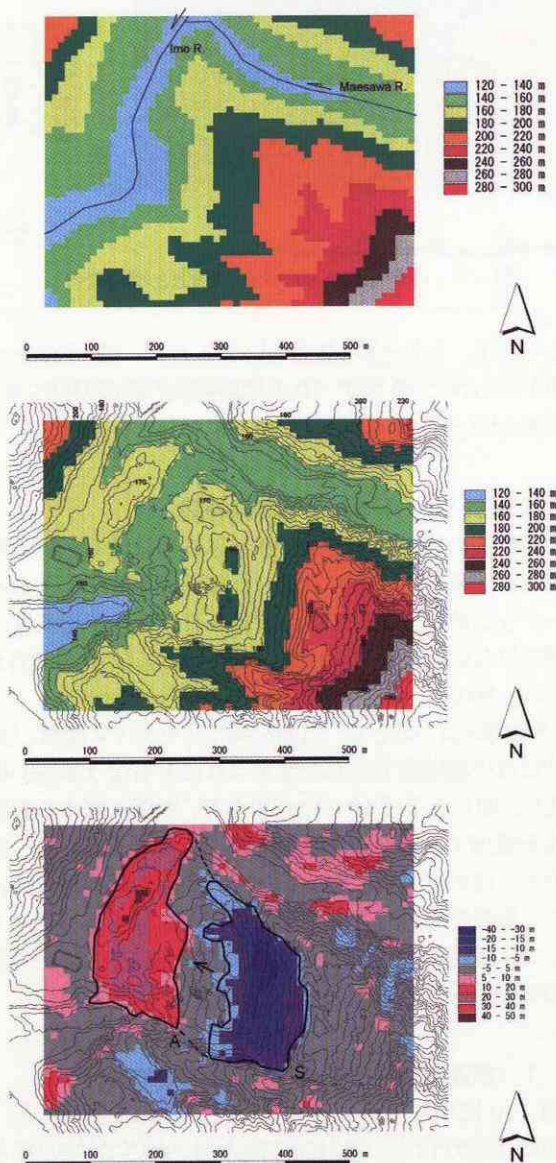


図-6 東竹沢地すべりの標高変化

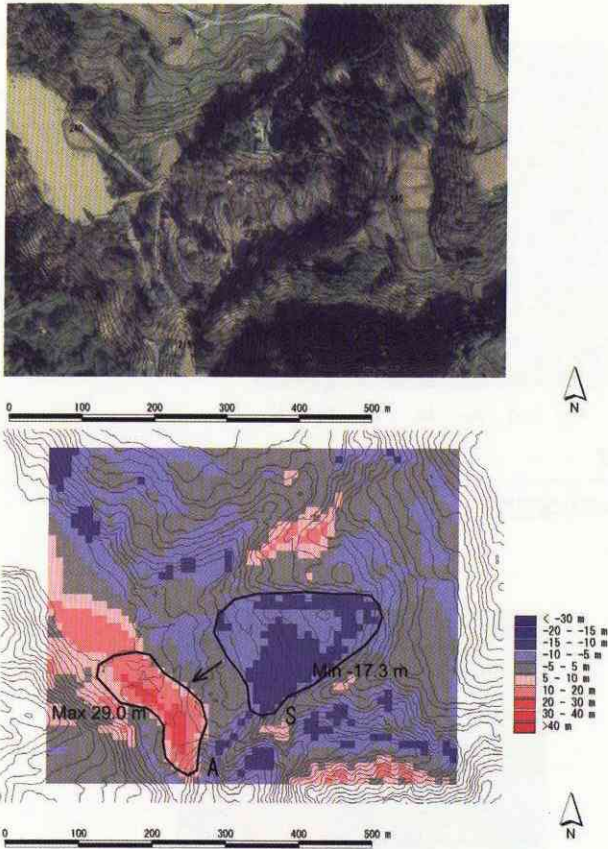


図-7 寺野地すべりのオルソ画像と標高変化



図-8 梶金地すべりのオルソ画像と標高変化

その結果、それぞれ 22 万 m<sup>3</sup>、177 万 m<sup>3</sup>、69 万 m<sup>3</sup> という値が得られた。各地すべりの地震前後の標高の減少域、増加域を図-7~9にそれぞれ示す。

7. 雪崩のハザードマップ基礎情報図

中越地震の被災地域では、19年ぶりの豪雪を記録した。航空レーザ測量によって計測した積雪深データによると、データを計測した平成17年2月14日現在、芋川流域の山地では3m以上(平均2.9m)の積雪深となった(国土地理院, 2005)。

例年の降雪に加えて、雪崩を発生させやすい条件(具体的には中越地震で生じた地すべりにともなう植生の裸地化)が増した平成16~17年の冬季、雪崩に関する基礎情報を整理することは重要な課題であった。そこで、被災地の今後の諸対策に資するため、標記の基礎情報図として、新潟県中越地方芋川流域の雪崩に関するハザードマップ基礎情報図(「雪崩の発生条件分級加点図」と「雪崩の発生条件地形分類図」の2枚組)を試作した。

7. 1 斜面崩壊分布と地形データの重ね合わせ

図-10に示すように、雪崩は、①積雪が深いほど、②傾斜が急なほど、③斜面に高木等の植生が無いほど、

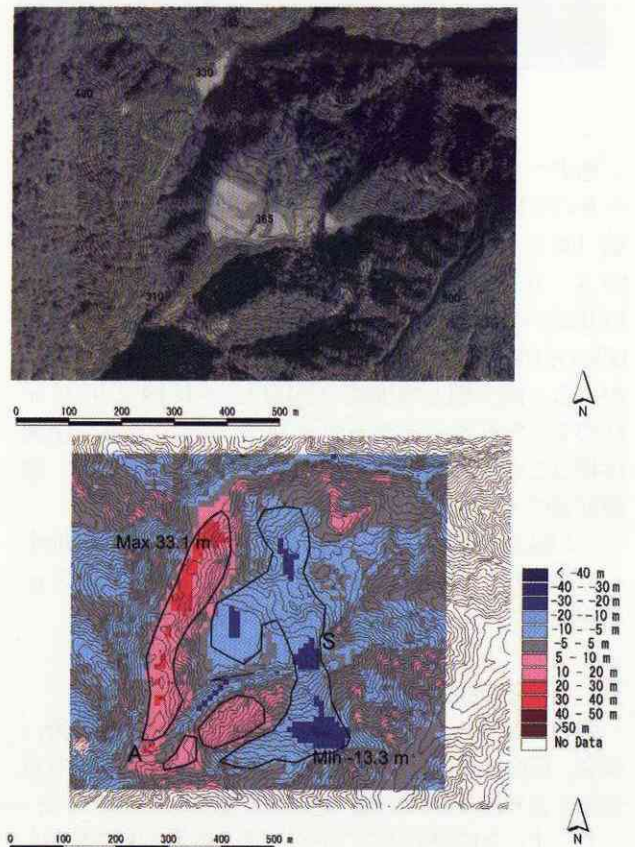


図-9 ーッ峰沢地すべりのオルソ画像と標高変化



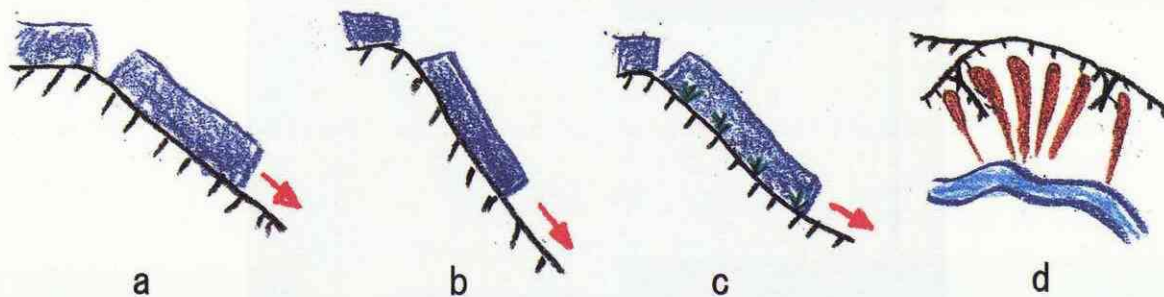


図-10 雪崩の発生に関わる要素. a 大量の積雪, b 急傾斜, c 植生等の障害物なし, d 雪崩地形

④雪崩地形 (過去の雪崩が岩盤に刻んだ筋状の凹地形. 筋状地形. 杉山ほか, 1987) が空中写真から明瞭に判読されるほど, 発生しやすいと考えられる. 本研究では, 近似的に, それぞれの要素を独立なものとし, GIS (地理情報システム) を用いて 5m メッシュの情報に点数づけを行い, 加点することで, 雪崩の発生域となる可能性を評価 (0~15 点) した.

1) 積雪深

国土地理院が航空レーザ測量により平成 17 年 2 月 18 日に取得した積雪表面の精密な標高から, 平成 16 年初旬 (無積雪期) に国際航業 (株) が同様に取得した標高を差し引いたデータ (国土地理院, 2005). 次のように得点を与えた.

1m 未満	: 0 点
1~2m	: 1 点
2~3m	: 2 点
3~4m	: 3 点
4m 超	: 4 点

2) 傾斜

朝日航洋 (株) が航空レーザ測量により取得した平成 16 年 10 月 28 日 (地震直後) の地表面の精密な標高から求めた傾斜. 次のように得点を与えた.

32.5° 未満	: 0 点
32.5~37.5°	: 1 点
37.5~42.5°	: 2 点
42.5~47.5°	: 3 点
47.5~52.5°	: 4 点
52.5~57.5°	: 5 点
57.5° 超	: 6 点

3) 土地被覆

国土地理院が平成 16 年 10 月 24 日, 28 日に撮影した空中写真から正射画像を作成 (国土地理院, 2004b) し, その画像から水域等, 森林, 灌木・草地, 裸地に土地被覆を教師無し分類してから画面上で誤分類を正したデータ. 次のように得点を与えた.

水域等	: 0 点
森林	: 1 点

灌木・草地	: 2 点
裸地	: 3 点
(水田・養鯉池・建物を含む)	

4) 雪崩地形

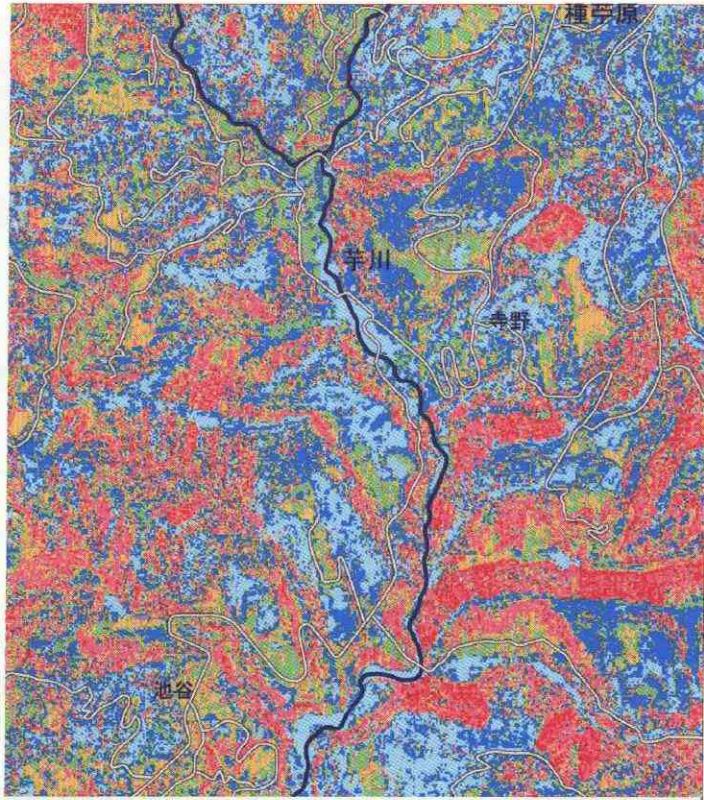
後述の「雪崩の発生条件地形分類図」のうち, 上の条件からは読み取れない情報 (すなわち「明瞭な雪崩地形」と「やや明瞭な雪崩地形」) を採用し, 以下のように得点を与えた.

判読されない	: 0 点
やや明瞭な雪崩地形	: 1 点
明瞭な雪崩地形	: 2 点

これらの加点結果をもとに, 図-11 に示すように, 雪崩発生の可能性が高いほど赤~ピンク色に, 低いほど青~水色に彩色した雪崩の発生条件分級加点図を試作した (国土地理院地理情報解析研究室, 2005). この図によれば,

- 1) 赤~ピンク色は急傾斜または雪崩地形を中心に, 青~水色は集落が多く立地する緩斜面に見られる.
  - 2) 赤~ピンク色の直下は谷底 (河川) であることが多い (例えば, 桂谷~梶金間の土留川左岸等).
  - 3) 例えば, 集落どうしをむすぶ道路が赤~ピンクを示す斜面の直下にある場合は, 雪崩に対する注意が必要である.
  - 4) 雪崩の発生条件地形分類図 (後述) で 4 つに区分された斜面と, 雪崩の発生条件分級加点図において赤~ピンクに彩色された斜面の分布は, 概ね一致する.
- また, 本図の利用上の注意事項としては, 以下が挙げられる.

- 1) 雪崩の発生域となる可能性を示しただけなので, 実際に雪崩が生じたとき, どこまで到達したかを示すものではない.
- 2) 傾斜は, 最も多い 6 段階で評価されている. 結果的に, 他のデータよりも傾斜に重みをつけている.
- 3) 積雪深を算出するために用いた無積雪期の標高データには, 建物の高さが含まれていない. 雪は, 実際には建物の屋上や屋根に積もる. そこで, 山古志村役場等のように, 建物の高さ分だけ過剰に積雪深を算出し



本図に示す分類結果の凡例は、積雪深、傾斜、土地被覆、雪崩地形を以下の区分で得点化し、加算方式で評価(0~15点)したものである。

- 【傾斜】  
 32.5°未満 : 0点  
 32.5~37.5° : 1点  
 37.5~42.5° : 2点  
 42.5~47.5° : 3点  
 47.5~52.5° : 4点  
 52.5~57.5° : 5点  
 57.5°超 : 6点

- 【雪崩地形】  
 (判断されない) : 0点  
 やや明瞭な雪崩斜面 : 1点  
 明瞭な雪崩斜面 : 2点

- 【積雪深】  
 1m未満 : 0点  
 1~2m : 1点  
 2~3m : 2点  
 3~4m : 3点  
 4m超 : 4点

- 【土地被覆】  
 水域等 : 0点  
 森林 : 1点  
 灌木・草地 : 2点  
 裸地 : 3点  
 (水田・養鰻池・建物を含む)

分類結果

- 0
- 1-3
- 4
- 5
- 6
- 7-9
- 10-15

道路

河川

等高線

100m

20m

GSI

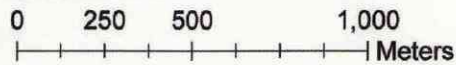


図-11 雪崩の発生条件分級加算図 (一部)

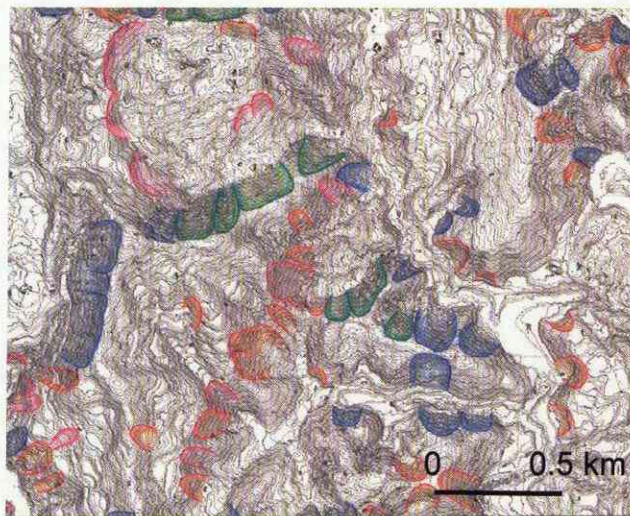


図-12 雪崩に関する地形分類図



写真-8 雪崩地形 (只見川流域の地上写真)



写真-9 雪崩地形 (同流域の空中写真)

表-3 地形分類図の凡例

種類	凡例	地形形態	平面形	断面形	
①	明瞭な雪崩地形 (筋状地形が明瞭)		筋状地形がみられる 斜面		
②	やや明瞭な雪崩地形 (筋状地形が やや明瞭)		やや不明瞭な筋状地 形、草地・低灌木の植 生、緩傾斜の斜面		
③	明瞭な崩壊地・地す べり滑落崖・急崖 (斜面が急傾斜・貧植 生)		地震によって崩壊した 斜面や地すべり滑落 崖の斜面、急崖で地 表の基盤や土砂が広 く露出した斜面		
④	やや明瞭な崩壊地・ 地すべり滑落崖・急 崖(崩壊地が緩傾斜・ 植生有・比高小)		地震によって形成され た崩壊斜面のうち植生 の存在、やや緩傾斜、 崩壊地の比高がやや 小さい斜面		

ている箇所があり、そのため、雪崩の発生条件分級加点図でもその影響を受けた、高得点を示している箇所が散在する。したがって、このような地点では、雪崩の発生の可能性が高いものではない。

4) 積雪深のデータは2月18日までのものであり、それ以後の降雪量は考慮されていない。

### 7.2 雪崩の発生条件地形分類図—空中写真判読による雪崩発生域となる可能性の評価—

平成16年10月28日に、国土地理院が撮影した空中写真、および同年10月28日に新潟県長岡地域振興局が撮影した縮尺1/5,000空中写真を判読し、地形分類とともに雪崩地形(写真-8, 写真-9)を抽出した(Sekiguchi and Sugiyama, 2003)。地形分類の結果を、朝日航洋(株)が平成16年10月28日に航空レーザ測量で計測したデータから作成した等高線図(縮尺1/5,000)に移写した。その結果を、図-12に示す。表-3に、図-12の凡例を示す。

地形分類にあたっては、まず、地震による斜面

崩壊なのかそうで無いのかを判断し、次に、前者については斜面崩壊が明瞭に判読できるのか、やや明瞭に判読できるのか判断した。不明瞭な斜面崩壊はマッピングしなかった。次に、後者については雪崩地形が明瞭に判読できるのか、やや明瞭に判読できるのか判断した。不明瞭な雪崩地形はマッピングしなかった。

雪崩地形の判読においては、以下を基準とした。

- 1) 最大積雪深の平均が概ね2m以上の斜面
- 2) 主に山地で傾斜勾配が35~50°の斜面
- 3) 空中写真で針先で引っ搔いたような筋状地形(杉山ほか, 1987)が見られる斜面
- 4) 地表が露岩や草地・低灌木で高木などに乏しい植生の斜面

### 8. まとめ

本研究では、空中写真の判読という地形学的手法で地すべりを抽出するとともに、斜面崩壊を分類した。また、GIS (Geographical Information

System: 地理情報システム) を用いて、震源、地質、地形データと斜面崩壊の分布を重ね合わせ、斜面崩壊の特徴を見出すため定量的な解析を行った。

判読した斜面崩壊をマッピングすることにより、斜面崩壊の2列の多発帯を見出した。

震源データの重ね合わせでは、モデル断層面上の断層すべり量が大きいほど震動が大きく、その結果、斜面崩壊が多発するのではないかと考えたが、必ずしもそうではなかった。地形の起伏に応じた地震動の伝播まで考慮しなければならないことを示唆している。

斜面崩壊密度と地質の関係については、たまたま、荒谷層の分布する背斜軸よりも西側の、地層が西に傾斜してケスタ状の地形をなしている部分と、芋川を中心とする向斜軸に沿った部分(すなわち、2列の地すべり多発帯)に存在していた地質で地すべり密度が高かったことから、この高密度の原因は、地質の層相自体に関連しているのではなくて、流れ盤の層すべりが多数生じるような地質構造に依存していたと結論した。

斜面崩壊と地形データの重ね合わせについては、誤差の大きい地震前のDEMを使うことによって斜面崩壊による体積変化が検出できるか疑問であった

が、旧山古志村東竹沢の地すべりのように規模が大きいと、地震前のDEMでも、地震後の航空レーザ測量DEMと十分対比できることが判った。そして、標高の変化だけから計算される見かけの土砂移動量は、約56万m<sup>3</sup>だった。さらに、旧山古志村寺野、梶金、旧広神村の地すべりにおける見かけの土砂移動量も推定した。

本研究の成果を一部利用して作成した雪崩のハザードマップ基礎情報図を、地元自治体の防災対策に資することができた。地震による不安定化した斜面や、地震時に未崩落あるいは亀裂のある斜面では、今後の豪雨や繰り返す降雪・融雪のため地すべりが起きるおそれもある。今後とも、空中写真や航空レーザ測量データ等を用いたモニタリングが必要である。

## 謝 辞

本研究は、文部省科学省科学技術振興調整費平成16年(2004年)新潟県中越地震に関する緊急研究の一環として行くとともに、国土地理院の事業として行った成果や取得データを組み合わせて実施した。また、現地立ち入り調査に際しては、復旧対策に多忙の中、旧山古志村災害対策本部に便宜を図っていただいた。

## 参考文献

- 気象庁(2004):平成16年(2004年)新潟県中越地震について一速報一。  
[http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2004\\_10\\_23\\_niigata/sokuho/index.html](http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/2004_10_23_niigata/sokuho/index.html)
- 織瀬一起,引間和人,三宅弘恵,田中康久(2004):2004年新潟県中越地震—強震動と震源過程—。  
<http://taro.eri.u-tokyo.ac.jp/saigai/chuetsu/chuetsu.html>
- 国土地理院(2004a):平成16年10月29日14:00記者発表資料。  
<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2004/1029-2.htm>
- 国土地理院(2004b):「平成16年(2004年)新潟県中越地震」正射写真図(オルソフォトマップ)。  
[http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/NIIGATAJISIN/ortho\\_chuetsu/16or\\_chuetsu.htm](http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/NIIGATAJISIN/ortho_chuetsu/16or_chuetsu.htm)
- 国土地理院(2005):平成17年3月4日14:00記者発表資料。  
<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2005/0304.htm>
- 国土地理院地理情報解析研究室(2005):新潟県中越地方芋川流域の雪崩に関するハザードマップ基礎情報図。  
<http://cais.gsi.go.jp/Research/topics/topic041023/snow/index.html>
- 丸井英明,吉松弘行(2004):芋川流域に形成された地すべりダムの状況(速報)。  
[http://japan.landslide-soc.org/2004tyuuetu/member/imokawa\\_dam.pdf](http://japan.landslide-soc.org/2004tyuuetu/member/imokawa_dam.pdf)
- 佐々恭二(2000):流動性崩壊の発生メカニズム,流動性崩壊の発生・運動および予測,日本地すべり学会関西支部シンポジウム,1-26。
- Sekiguchi, T., Sugiyama, M. (2003): Geomorphological features and distribution of avalanche furrows in heavy snowfall regions in Japan, *Zeit für Geomorphologie*.N.F.,130, 117-128。
- 杉山正憲,関口辰夫,保谷忠雄(1987):地形要素となだれ発生度の解明に関する研究,国土地理院技術資料 D・1-No.278, 50-59。
- 八木浩司,山崎孝成,守岩 勉,山科真一(2004):2004年新潟県中越地震にともなう地すべり・崩壊分布図—その特徴と詳細判読事例—。  
[http://japan.landslide-soc.org/2004tyuuetu/member/yagi\\_team.pdf](http://japan.landslide-soc.org/2004tyuuetu/member/yagi_team.pdf)
- 柳沢幸夫,小林巖雄,竹内圭史,立石雅昭,茅原一也,加藤碩一(1986):「小千谷地域の地質」,地域地質研究報告(5万分の1地質図幅),産業技術総合研究所(旧地質調査所)。