

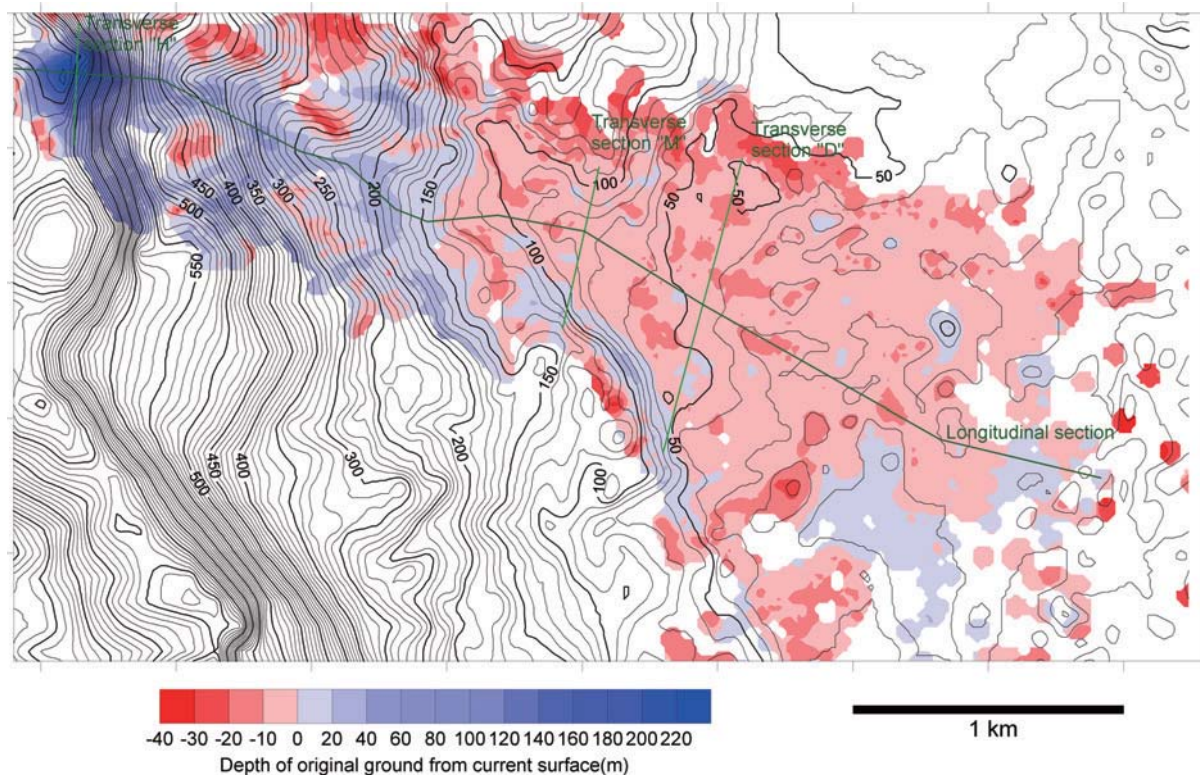


図-14 災害前後の標高の変化

それより下部で堆積域となっている。深度が200mを超す深い崩壊であったことがわかる。

図-15 には図-14 に示した縦断線上の地形変化を示す。最上部では出尾根のような形状のピークを越えて崩壊が発生していることが示されている。図-16 には図-14 に示した3つの横断面の地形変化を示す。崩壊域の横断面では、崩壊が横断方向に凸型斜面で生じていること、崩壊深が250m近いことが示されている。流送域の横断面では、南側では谷壁を浸食している一方、流路には若干の堆積を生じている程度で、元々の地形上を流送したものと考えられる。堆積域の横断面では、北側で堆積物が厚く、南側では薄い。南側には元々堤防状の地形があり、その地形が崩壊後も見られている。他の断面に比べて崩壊後の地形が起伏に富んでいるのは、流れ山地形による。

DEMの差分から崩壊土砂量を見積もると、源頭部の標高の減少した範囲の面積は0.85km²、体積減少量は $2.9 \times 10^7 \text{m}^3$ 、堆積域の面積は2.6km²、土砂増加量は $2.0 \times 10^7 \text{m}^3$ である。減少量と増加量が釣り合わないが、災害発生から時間がたっていることから土砂の崩壊地外への流出等が考えられ、堆積土砂量が崩壊土砂量より小さいのは、その影響が考えられる。従って、オーダー的には合っているので、実際の崩壊土砂量は両者の間で、かつ体積減少量の数値に近

い方ではないかと推定される。ここでは、 $2 \sim 3 \times 10^7 \text{m}^3$ 程度と考えられる。この規模は、1984年長野県西部地震による御嶽山の崩壊($3.6 \times 10^7 \text{m}^3$)には及ばないものの非常に大規模である。崩壊土砂の堆積厚についても、図-14~16を見ると、4~10mの領域が広く分布するものと考えられる。

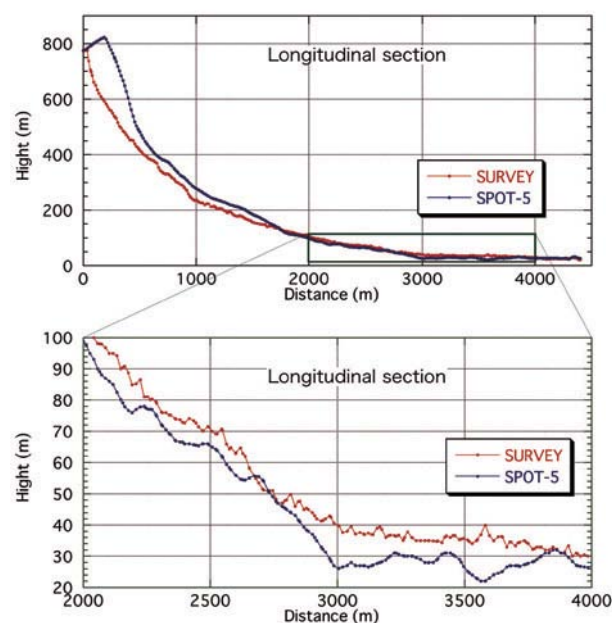


図-15 縦断形状の変化

横断面図

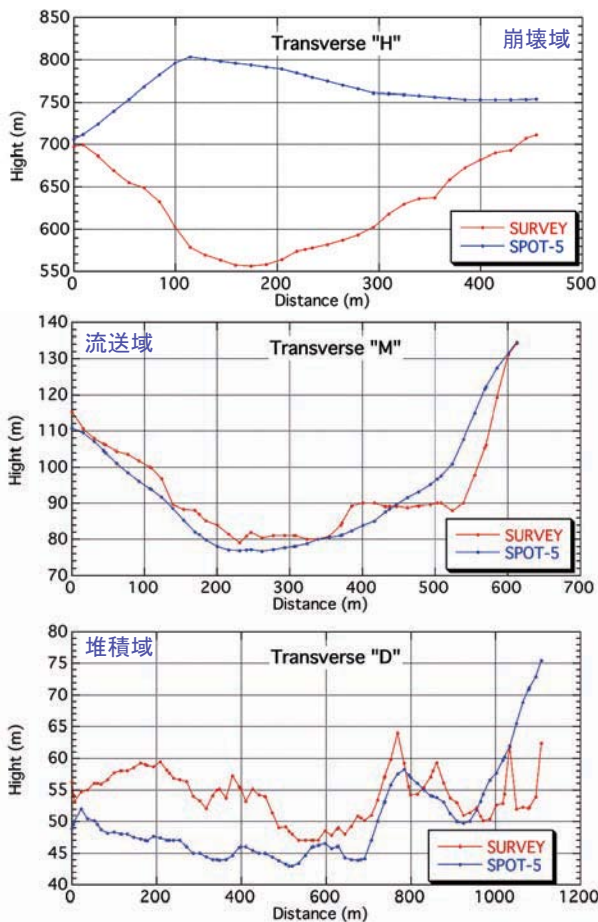


図-16 横断形状の変化

8. 流れ山の地形計測と解析

ALOS PRISM ステレオ画像を判読して、流れ山地形の図化を行った。本来であれば図化機にかけてステレオ図化するのが正確であるが、今回は実体視判読の結果を直下視の画像に直接移写した。そして、直下視の画像にGCPの座標値等を与えてGIS上で計測可能なようにして、画像に移写した判読結果をGIS上でトレースして流れ山地形のポリゴンデータを作成した。ALOS PRISMの直下視の画像に流れ山ポリゴンデータを表示したものを図-17に示すが、ステレオ画像のうち片方が雲に覆われていると実体視判読できない。従って、直下視の画像では流れ山が確認できていても、流れ山ポリゴンデータが取得できていない流れ山もある。今回ポリゴンデータが取得できたのは、流れ山堆積域の下流部にあたる。なお、流れ山については今後の解析のため、図-17に示すとおり1～6の6つのエリアに区分した。

次いで、ArcGIS9.1についている解析機能を用いて、各流れ山の重心座標、面積、周長、長径、短径、長径の方向、流送距離等を求め、それぞれの関係を

検討した。流れ山の長径方向については、流れ山ポリゴンデータについて重心を通る任意の線を中心とする2次モーメントを計算し、モーメントが最小になる方向とした。それと直交する重心を通る線を短径とした。また、ALOS PRISM画像から崩壊地の最下端の位置を仮に求めて、そこから各流れ山ポリゴンの重心との距離を求めて流送距離とした。エリア毎に流れ山の平均計測値を整理したものを表-1に示す。ここで長径方向とは、東西方向から反時計回りの方向を示している。従って、45°が北東-南西方向を、90°が南北方向を、135°が北西-南東方向を示すことになる。

流れ山計測解析結果として、長径と短径の関係(図-18)、流送距離と面積の関係(図-19)、流送距離と長径の関係(図-20)、流送距離と長径短径比の関係(図-21)を示す。

一般には長径が大きくなると短径も大きくなるが、その値には多少のバラツキがある。長径短径比を見ると、50%～95%の範囲のものが多い。なお、流送距離との関係については、各エリア内で流送距離が大きいほど面積や長径が小さくなる傾向は見受けられるが、必ずしも明瞭な関係があるとはいえない。また、流送距離と長径短径比については、特段の関係は認められない。

6つのエリアの流れ山の計測値の平均値(表-1)を見てみると、流れ山の大きさについては各エリアでバラツキがあり、エリア1と2で比較的大きな流れ山が多く、平均長径が30mを、平均面積が500 m²を越えている。それに対してエリア3～6は、平均長径が21～24mで、平均面積が240～350 m²と明らかに小さい。長径短径比について見てみると、エリア2と5が約65%なのに対して、他の4つのエリアは約70%以上の値となっており、エリア2と5の流れ山がより扁平になっている。また流送距離との関係で見てみると、エリア2は流送距離が大きい割に流れ山の大きさも大きく、より扁平になっているという特徴がある。

長径方向については、各エリアの平均で80°～95°とほぼ南北の方向になるものが多いが、エリア1が76°と東に、エリア6が106°と西に、他のエリアと比べて多少平均卓越方向がずれている。各エリアの流れ山の長径方向の割合を算出したものを図-22に示す。ここでは、流れ山の長径の方向を30°刻みで構成比を求めて集約した。岩屑なだれが流下した方向をN70°Wとし、Fはその方向に対して±15°の範囲に長径方向が入る流れ山を集約したことになる。またCは、岩屑なだれの流下した方向に直交した方向(N20°E)に対して±15°の範囲に長径方向が入る流れ山を集約したことになる。

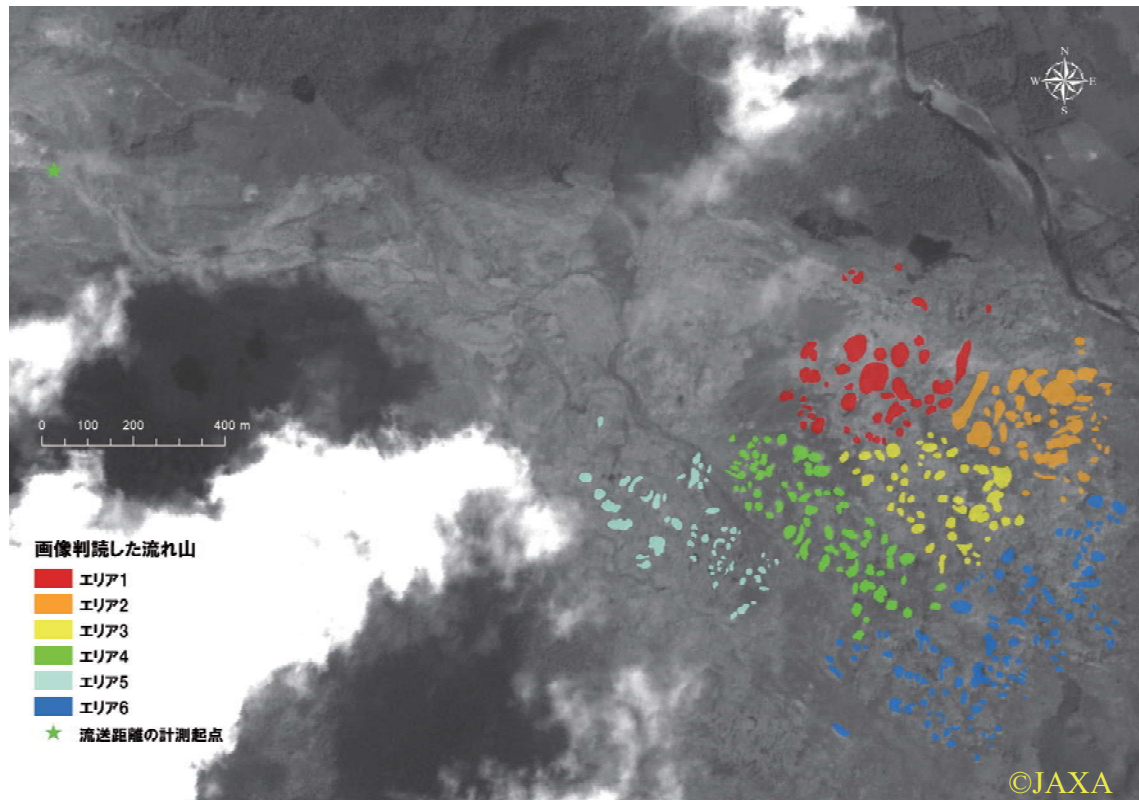


図-17 ステレオ画像判読した流れ山の分布（背景はALOS PRISM画像直下視）

表-1 各エリアの流れ山の地形形状計測結果の平均値

調査項目/計測地域	全域	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6
長径(m)	24.5	30.2	31.8	24.2	23.5	21.7	21.2
短径(m)	16.1	20.7	18.6	17.5	15.9	13.5	13.9
短径/長径×100	69.6	72.3	64.8	73.7	71.0	66.1	69.5
面積(m ²)	338.1	572.2	518.2	345.1	291.4	241.1	241.4
崩壊源からの距離(m)	2004.9	1813.1	2221.4	2031.8	1802.5	1604.4	2289.2
相関係数(長径と短径)	0.76	0.80	0.73	0.87	0.69	0.81	0.71
長径方向(°) X軸から左回転	92.3	76.4	86.9	86.3	94.8	82.5	106.1

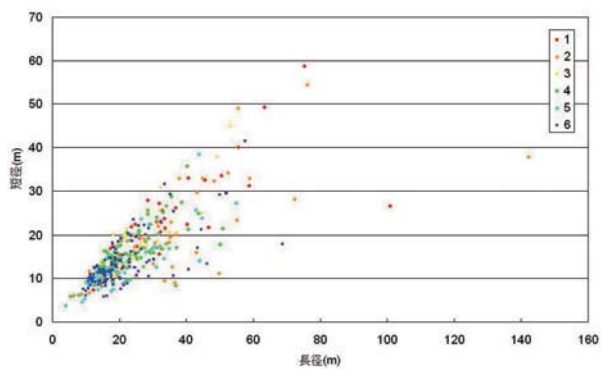


図-18 長径と短径の関係

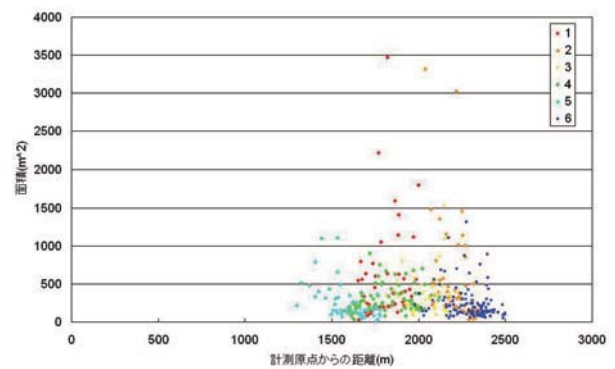


図-19 流送距離と面積の関係

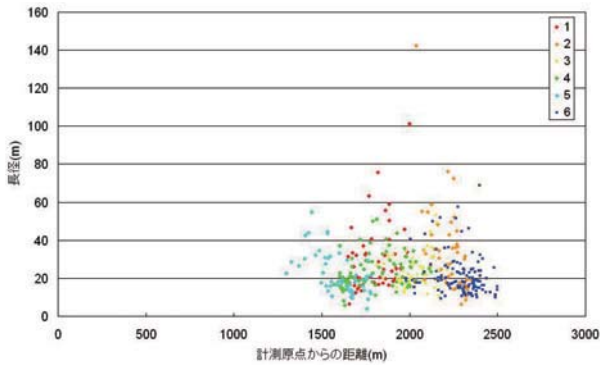


図-20 流送距離と長径の関係

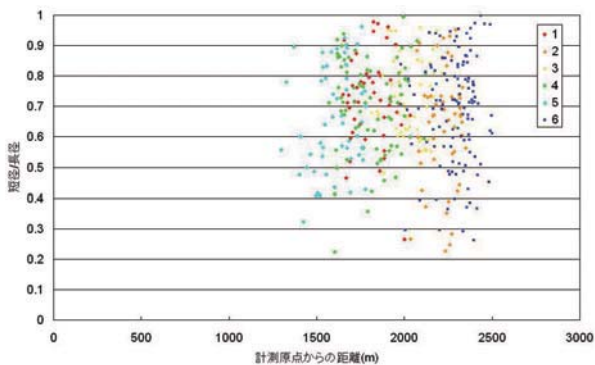


図-21 流送距離と長径短径比の関係

図-22を見ると、エリア1で流下方向に対して直交した流れ山の割合が多いこと、エリア6で流下方向に対して平行な流れ山が多いことがわかる。その他でも、エリア3、4、5で流下方向に対して直交する流れ山が、エリア2で流下方向に平行な流れ山の割合がやや高いように見受けられる。その理由については不明であるが、エリア1が最も崩壊源に近くエリア6が最も遠いことから、流下方向に直交する流れ山の方が抵抗が大きく、比較的流送距離が短くなったという解釈が可能かもしれない。

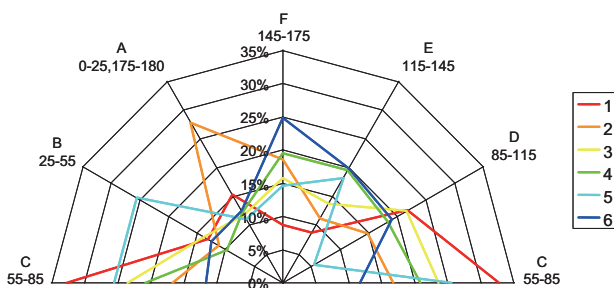


図-22 各エリア毎の流れ山の長径方向の構成比

9. その他の大規模山体崩壊との比較

図-23は、荒牧・宇井（1981）による日本の代表

的な山体崩壊を対象にしてH（落差）とL（流送距離）をグラフにプロットしたものに、今回のレイテ島の山体崩壊と米国セントヘレンズ火山の山体崩壊を追加でプロットしたものである。レイテ島の山体崩壊については、図-3の5万分1地形図から数値を読み取り、滑落崖の縁の標高を780m、堆積域の先端の標高を20m、その間の距離を3880mとした。レイテ島の山体崩壊は、日本の代表的な山体崩壊と比べて規模（落差、流送距離）が小さく、落差に比べて流送距離が短い、摩擦係数が大きいタイプの山体崩壊である。

この図からも、この土砂災害が地すべりではなく山体崩壊に該当することを示しているが、ほぼ同規模の山体崩壊である御岳崩れと比べてH、L共に小さかったのは、崩壊源の高さが約800mと低く必ずしも崩壊土砂の位置エネルギーが大きくなかったことや、流送域以下の地形が平らで、岩屑なだれの運動エネルギーが急速に失われたことなどが考えられる。

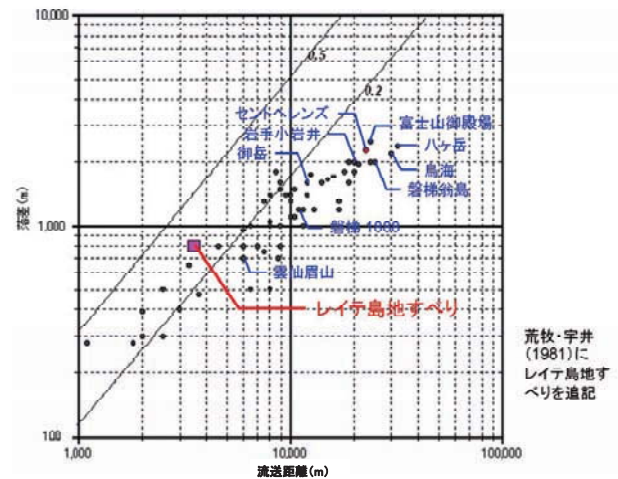


図-23 レイテ島山体崩壊のH/L図

10. まとめ

災害から2ヶ月後に撮影された約1m分解能の高分解能衛星単画像を購入し、災害状況の判読を行った。1m分解能であれば、比較的詳細に災害状況や地形変化状況を判読することが可能である。また、災害後半年以上後に撮影された2.5m分解能ステレオ画像により、災害状況の把握を試みた。分解能が粗い判読特性は良くないが、実体視が可能であるために、高低感のある地形の判読には有利であり、流れ山の判読と計測を行うことが出来た。

流れ山地形が存在することから、当初から地すべりよりは岩屑なだれに近いのではないかと推察されたが、現地調査により流れ山の断面を観察し、元の火山体の構造を保存しており、ジグソークラック構

造等が認められたことから、今回の土砂災害は大規模山体崩壊に伴う岩屑なだれが発生したものと判断した。

また、衛星リモートセンシングデータの他、地形図や空中写真等を活用し、災害前の地形について、等高線や空中写真の判読やDEMによる地形解析を行った。その結果、今回の崩壊と同規模の崩壊跡地が判読でき、平野部に古い流れ山地形が確認できることから、過去に何回か大規模な山体崩壊を繰り返していた可能性が指摘できる。また、大規模山体崩壊を起こした斜面の基部には、明瞭な活断層地形が連続しており、その延長部にはかなり脆弱な破碎帯が確認できた。今回の大規模山体崩壊に断層のテクトニックな動きが影響したかどうかは不明であるが、素因的に断層破碎帯の存在が影響を与えた可能性は考えられる。

いずれにしても、衛星リモートセンシングデータのみならず、地形図や空中写真の情報を活用することにより、今回の大規模山体崩壊に伴う土砂災害について、その地形的な特徴を把握することが出来た。また、衛星リモートセンシングデータにより、流れ

山に着目して地形計測を行い、様々な視点から地形解析を行うことが出来た。

謝 辞

フィリピン測量局 (NAMRIA) の鈴木平三氏 (JICA 専門家: 現国土地理院測地観測センター) にはフィリピンでの資料収集で大変お世話になった。フィリピン公共事業道路省 (DPWH) 治水砂防技術センターの光永健男氏 (JICA 専門家)、数理設計研究所の玉置晴朗氏、名倉裕氏、矢澤正人氏、笹澤好文氏とは、現地調査を一緒に行った。また現地に入るにあたっては、日本大使館の坂井康一氏をはじめとする大使館職員にお世話になった。国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター砂防研究室の清水孝一主任研究官には SPOT5 の DEM の関係でお世話になった。地形計測結果の GIS 解析のアルゴリズム開発には、国土地理院地理地殻活動研究センター地理情報解析研究室の長谷川裕之主任研究官に、データ解析結果の集約には同室の村上弘明氏にお世話になった。ここに記して、心から感謝します。

参 考 文 献

- 荒牧重雄・宇井忠英(1981): 噴火のメカニズムと Debris avalanche (土石なだれ) と軽石流, 研究代表者 下鶴大輔, セントヘレンズ火山の噴火活動とそれに伴う災害の研究, 文部省科学研究費自然災害特別研究突発災害研究成果, 42-57.
- 上野宏共・地下まゆみ(2006): フィリピン共和国レイテ島地すべり調査報告書, 千葉科学大学危機管理学部, 1-23.
- 佐々恭二ほか(2006): フィリピンレイテ島大規模地すべり日比合同学術調査団による調査結果の概要, 同調査団速報会資料.
- 諏訪浩(2006): フィリピン・レイテ島で 2006 年 2 月 17 日に起きた地すべり災害, 自然災害科学, Vol. 25, No. 1, 83-87.