

速報

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

諏訪 浩*

Catastrophe caused by the 17 February 2006 Southern Leyte Landslide in Philippine

Hiroshi SUWA*

Abstract

The Barangay Guinsaugon, in a municipality of St. Bernard in Southern Leyte Province, Philippine was buried by a debris avalanche, which was triggered by the 17 February 2006 landslide. The main feature of the landslide is a gigantic rockslide. The hazard claimed 154 victims and 990 missing including 246 school children. The debris avalanche buried residential area and the paddy fields of totally $2.0 \times 10^6 \text{ m}^2$. Heavy rainfall before the slide including the rainfall of 751 mm in the early half of February, that is equivalent to three times of the mean rainfall amount for this period in the year, must have played a major role of the ultimate instability of the slope. The Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration (PAGASA) announced that rainstorm activity was very high due to the meteorological condition of La Nina and called the attention of people to rainstorm hazards prior to this landslide. Although the local residents noticed occurrence of crack on the slopes, tilting of trees on the slopes, small landslides and dry out of stream water in a small river flowing just beside the Guinsaugon, they haven't recognized them as the precursory phenomena that should connect to the significant hazards. The landslide was accompanied with a small earthquake of surface-wave magnitude ms 2.6 whose epicenter was determined 23 km westwards from the landslide slope by a seismograph network. It is not clarified so far either this earthquake played a role of the final trigger for the landslide or the landslide generated this ground tremor.

キーワード：地すべり，岩盤すべり，岩屑なだれ，レイテ島，フィリピン断層帯，地震

Key words: landslide, rockslide, debris avalanche, Leyte Island, Philippine Fault Zone, earthquake

* 京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

1. はじめに

2006年2月17日午前10時半頃、フィリピンのレイテ島セントバーナード市で地すべりが起き、麓の集落ギンサウゴンが被災した。人口1,800余りの集落で、死亡154名、行方不明990名を数えた。990名の中には小学生246名が含まれている。ギンサウゴン小学校を含めてこの集落全体と周りの田畑が面積 2 km^2 にわたり厚い土砂の下になった。悲惨な災害の様相と、大量の土砂のぬかるみに阻まれて遅々として進まない救援活動の様子がマスコミを通じて報道された。

地すべりは、この国を延長1,200 km にわたって縦断するフィリピン断層帯の断層崖で起きた。現場から西へ7 km 離れた雨量観測点では2月1日から16日までの間に751 mm の降雨を記録している。これは平年値のおよそ3倍の大雨だとのことである。地すべりと前後して地震があったとの情報がある。大雨や地震がこの地すべりの発生にどのように関与しただろう。筆者は、災害発生からおおよそ1ヶ月後に京都大学防災研究所の佐々教授を団長として実施された現地調査に参加した。この調査団の方々ならびに本稿末尾の謝辞に記す方々から数多くの示唆や情報を得た。本稿は現地調査とこれらの情報をとりまとめたものである。

2月17日の地すべりは、規模が大きな岩盤すべり (rockslide) が起き、岩屑なだれ (debris avalanche) となって急崖斜面を駆け下りて麓の平坦地におおよそ2千万 m^3 の岩屑を堆積したというものである。このような地すべりは日本語では巨大崩壊と称されることが多い。日本語の地すべりは英語の landslide と同義ではない。英語の landslide は日本語の崩壊、地すべり、岩屑なだれ、土石流など全てのマスマーブメントを包含する用語である。

2. 地質構造

フィリピン変動帯は、Fig. 1に示すように二つの沈み込み帯に挟まれている。フィリピン海プレートが東ルソン海溝およびフィリピン海溝のところで東側から沈み込む。ユーラシアプレートはマニラ・ネグロス・コタバト海溝のところで西側から沈み込む。このためフィリピン断層帯がフィ

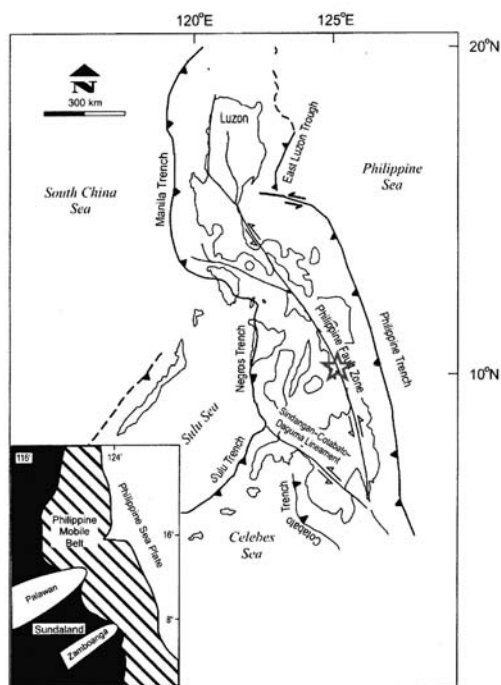


Fig. 1 Tectonic setting. Location of the landslide is shown by star mark. Modified from Yumul (2004).

リピン変動帯を縦に貫き、断層運動は左横ずれである。地すべりは Fig. 2に示すようにフィリピン断層帯の西側で断層帯に隣接して起きた。地すべり地の様子を Fig. 3に示す。岩盤すべりは断層崖の断層運動によって形成されてきたものである。断層帯西側の南北に伸びる山地の基盤はCalian 累層と称する新第三紀の堆積岩であり、その上にレイテ中央高地火山岩類と称する新第三紀末の火砕岩が載っている (Lagmay et al., 2006; Saturay et al., 2003)。岩盤すべりが起きた斜面はこの中央高地火山岩類の部分である。

3. 滑落崖の形状と地すべりの発生

くさび状の滑落崖は Fig. 4に示すように複数の急崖斜面からなっている。それらは今回の地すべりに際し、岩盤の節理に沿って分離して形成されたと考えられる。ただし、走向が $N30^\circ W$ の最も

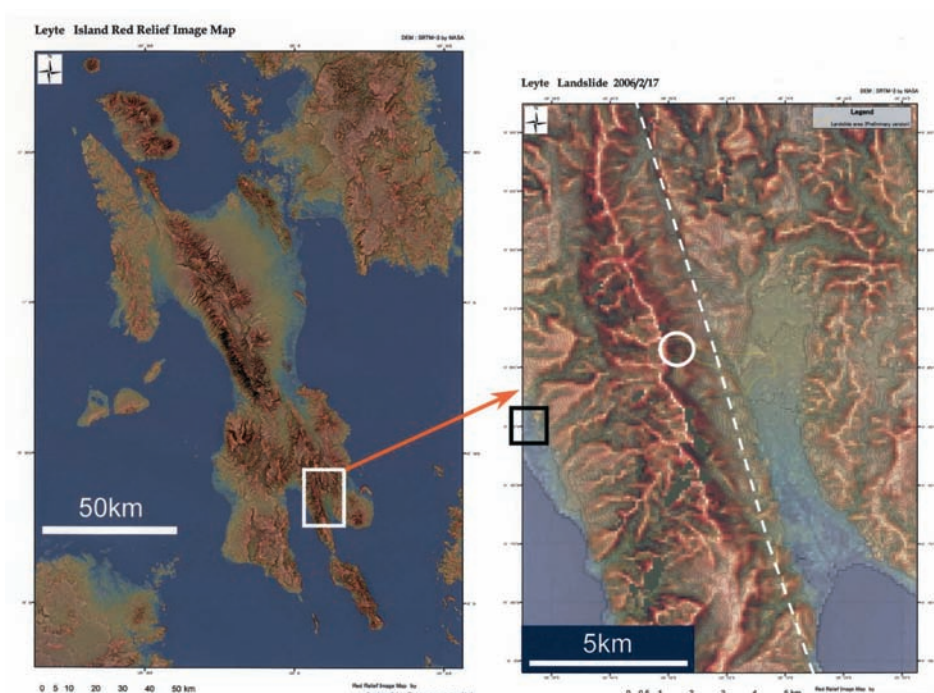


Fig. 2 Location of the landslide and topography around it. Open circle: location of the landslide scarp. Open rectangle: the location of rainfall observation site at Oticon of Libagon. Broken line shows the Philippine Fault Zone. Modified from the original red relief image map by Asia Air Survey Co., Ltd. (2006)

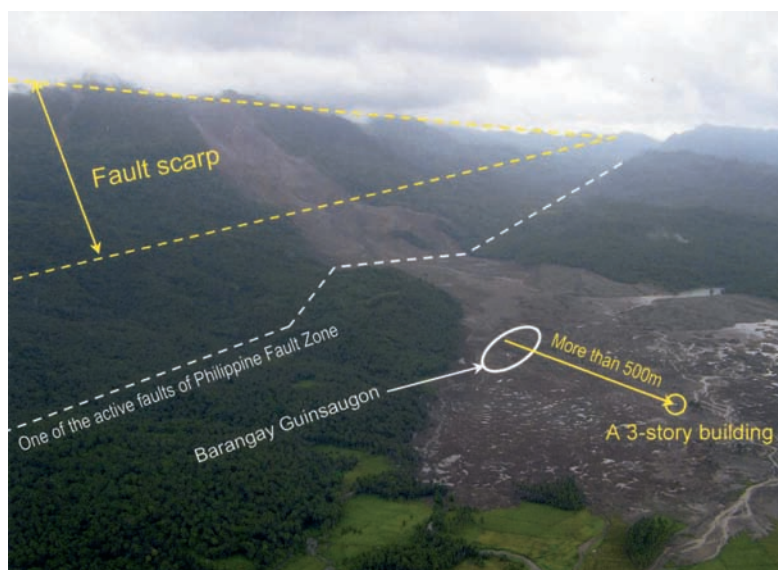


Fig. 3 Aerial photo showing the 17 February 2006 landslide. The data of the 3-story building movement is from Lagmay (2006). Photo taken on March 22, 2006 by Suwa, H.



Fig. 4 The landslide scarp. Joint planes were measured remotely. Dip of the joint plane indicated as N15°W, 50°E might be much steeper than 50°. Photo taken on March 24, 2006 by Suwa, H.

平滑な斜面は単なる節理面ではなく、断層であるかも知れない。筆者は露頭に到達して観察できなかったので断層であると断定することが難しいが、平滑な鏡肌は断層運動の結果だとする見方もある (Lagmay et al., 2006)。フィリピン断層帯の断層は横ずれ断層なので、高角度だと思われる。それと比べるとこの平滑な斜面の傾斜は東落ち55°とやや低角度であるが、走向を考慮すると、フィリピン断層帯と低角度で斜交する断層であるとするのが適切かも知れない。

Fig. 4に示す滑落崖の形状は国土地理院によって加筆された1/5万の地形図 (国土地理院, 2006, NAMRIA (National Mapping and Resource Information Authority of Philippineの省略形) 原図) に表されている該当箇所の地形と酷似している (Fig. 5)。古い滑落崖の存在は、この斜面では、今回と同じような岩盤すべりがこれまでに起きていたことを示唆する。

この斜面で同じような岩盤すべりが繰り返し発生していることは、麓の谷底平野を流れる

Himbungao川の川筋の平面形状に現れているようにも思われる。Himbungao川は谷底平野を全く自由に蛇行しているのではなく、側方斜面からの岩屑の供給状況にも影響を受けてその河道平面形が変化する。Himbungao川の平面形がそのような影響を反映しているとなると、前回の岩盤すべりの発生はそれほど古いことではないことになる。

ところで、Fig. 5では、旧滑落崖直下に巨大な崩積土塊が横たわっていることをうかがわせる地形が判読できる。今回の岩盤すべりで滑落崖から分離した岩体はこのような崩積土や、岩盤表層に形成されていた風化土層、土砂移動経路沿い斜面の表土層の岩屑を巻き込みつつ破碎しながら‘なだれ’下ったものと思われる。このため、移動経路沿いの斜面や谷底平地上の堆積物は大量の細粒材料を含むことになった。ただし、Fig. 4に示す滑落崖はどの露頭も凝灰角礫岩や、凝灰質砂岩などでできていて、層理面は低角度で西落ちである。このことは、この脊梁山地がケスタを呈していることと符合する。崩壊はケスタの急崖斜

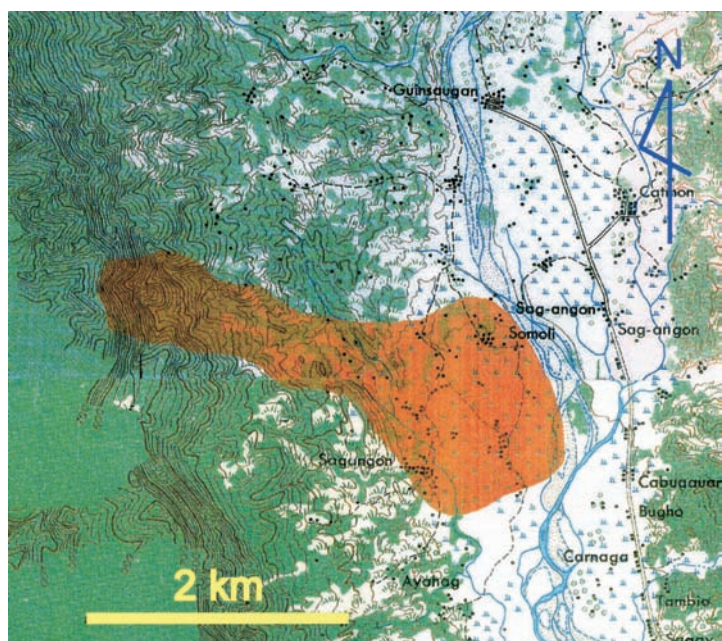


Fig. 5 Location of landslide. Modified from Geographical Survey Institute of Japan (2006, Original Map by NAMRIA)

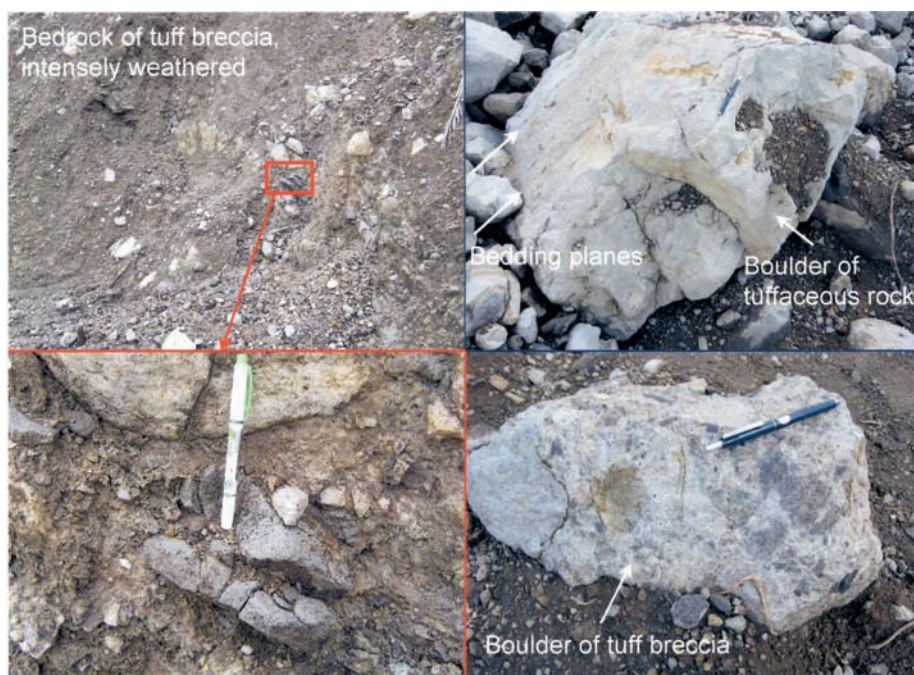


Fig. 6 Faces of weathered bedrock and boulders. Pens are 14 cm long. Photos taken on March 23, 2006 by Suwa, H.

面で起きた。流走経路沿いに見られる強風化した凝灰岩類からなる地山や、凝灰岩や凝灰角礫岩などからなる移動転石を Fig. 6に示す。なお、Fig. 5に示される今回の崩壊地の北隣の斜面にも、また南隣の斜面にも今回の崩壊と同様の滑落崖と崩積土塊の地形が読みとれる。南北に延びるこの脊梁山地の東側に位置するこの断層崖では、今回と同じような地すべりが比較的頻繁に起きていることを示す。

4. 地すべりの前兆

九死に一生を得た住民らに対して行った聞き取り調査などから、この地すべりに関しては相当以前から、次のような現象が前兆として起きていたことが分かる。まず、2005年5月には問題の斜面にクラックが生じているのが察知されていて、住民の中にはその様子を双眼鏡で見た者がいた。また、2005年12月17日に、今回の地すべりが起きた斜面の北端で崩壊があった。そのときの崩積土は今回の地すべりが起こるまではその崩壊斜面の直下に観察されていた。さらに、問題の斜面の北に隣接する斜面のココナツ林の木々が2005年の12月頃から傾き始め、幹の傾きが時間とともに増大する様子が観察されていた。また、断層崖の麓とギンサウゴンの間を流れる川で地すべりの二日前に水が干上がるということが起きている (Lagmay et al., 2006)。斜面の変形が相当に進行していて、岩盤や土層中にクラックが成長していったため、川を涵養する地下水や湧水の状態に異変を生じたか、あるいは既に局所的に崩壊が生じていて、崩土が水流を堰き止めていたのかも知れない。これらを重大なハザードに関連づけて、その前兆と認識できなかったために災害は起きた。

なお、10時半頃にこの地すべりによる災害が起きた後、午後になって3時頃に滑落崖の南端の部分が崩壊したという。規模が大きな崩壊であればあるほど、本崩壊の前に起きる前兆としての崩壊はより長い期間、またより高い頻度で起きることが知られているが、本崩壊の後に起きる崩壊についても同じような傾向が認められる (Suwa et al., 2005)。

5. 地すべりの原因

2月17日の地すべりの原因は素因と誘因に分けて検討することができる。地すべりが起きやすい条件を用意する地形条件や地質条件が素因であり、実際に地すべりの引き金となる事象を誘因という。素因として次の5点を挙げることができる。

1) 斜面の傾斜が大 問題の斜面はフィリピン断層帯の運動によって形成された断層崖に位置している。また脊梁山地は西向き斜面の傾斜が小さく、東向き斜面の傾斜が大きいというケスタ地形を呈しており、問題の斜面は急傾斜な側に位置していた。

2) 節理系の発達 岩盤すべりはくさび形の崩壊として起きた。この結果、滑落崖は Fig. 4に示すような形態を呈している。3つないし4つの節理が認められる。これらのうちN30°W、55°Eで示す節理が主要なすべり面となったことが分かる。フィリピン断層の左横ずれ運動の影響で断層と低角度で斜交する節理系が発達しやすいことが考えられるが、この節理系はそうにして形成されたものと考えられる (Takahashi & Hanatani, 2006)。しかしこの面は前節でもふれたようにフィリピン断層の運動の影響で形成された断層である可能性もある。

3) 断層崖斜面の起伏が大 問題の断層崖の斜面は起伏が大きい。この起伏は前項に述べた節理のうち走向がN30°Wであるものに大きく支配されている。断層崖が滑らかである場合に比べて、このように起伏が大きいと局所的に不安定な斜面が多数現れることになる。

4) 大量の崩積土の存在 古い滑落崖の直下には巨大な崩積土塊や崩積土が大量に存在していた。これらは過去に同じ場所で起きた岩盤崩壊によってもたらされたものである。これらの崩積土は変形しやすく、したがって不安定化し易い。

5) 風化速度が大 気温が高く降雨量が多い熱帯気候下では、岩石の風化速度が速く、また風化は岩石の表面だけでなく、節理やクラックや断層が多い条件と相まって岩盤の奥深くまで作用しやすい。

一方誘因として次の3点が考えられる。

1) 岩盤クリープ 前節に述べたように問題の岩盤斜面は8ヶ月も前から様々な前兆現象を呈するようになっていた。すなわち斜面はいわゆる岩盤クリープを進行させていたものと考えられる。これらの前兆現象を勘案すると、2005年の末には斎藤ほか(1966)が言うところの、クリープの歪み速度が一定である2次クリープから、歪み速度が時間と共に増大する3次クリープへと突き進んでいったものとみられる。崩壊の規模が大きいことを考えると3次クリープの期間は相当に長かったことが考えられる(諏訪ほか, 1991)。

2) 豪雨 住民に尋ねると、地すべりが起きる前1箇月間は異常に雨の日が多く、雨の量も多かったと言う。セントバーナードには降雨観測点はないが、ギンサウゴンから西へ7 kmのところ、PAGASA (Philippin Atmospheric, Geophysical and Astronomical Administration) の雨量観測点がある。その観測点の日雨量の推移を Fig. 7に示す。2月に入って16日までに751 mmの降雨を記録している。当地は貿易風すなわち偏東風が卓越する地域に位置する。観測点が脊梁山地の西側にあることを考えると、脊梁山地の東側に位置する

問題の斜面では降雨量はさらに多かったことが考えられる。大量の降雨はすべり面付近の間隙水圧を増大させ、クリープ速度の増大とクリープ量の増大に拍車をかけて崩壊時期を早める効果を果たしたものと考えられる。

3) 地震 10時36分に地すべり地点付近を震源とする地震が、次節で述べるように観測されている。この地震は構造的な地震であり、この地震が地すべりの原因であるかも知れないとする意見がある(Lagmay et al., 2006)。そうではなくて、地すべりが起きて、これに伴う地盤振動が観測されたという可能性もある。崩壊によって地盤振動が起きることが知られており、地震観測網で検出される例も多い。例えば、2001年3月に岡山県総社市にある採石場で切羽斜面が崩壊土量80万 m^3 の規模で崩壊した。このとき、防災科学技術研究所の高感度地震観測網Hi-netで検出されたデータによると、この崩壊にともなう弾性波のうちP波は振動源から130 kmほど離れた地点まで、S波あるいは表面波は200 km以上離れていても検出されている(水野ほか, 2001; Suwa et al., 2005)。また、2004年8月には奈良県五條市大塔(当時は奈良県大塔村)で国道脇の斜面が崩壊土量20万 m^3 の

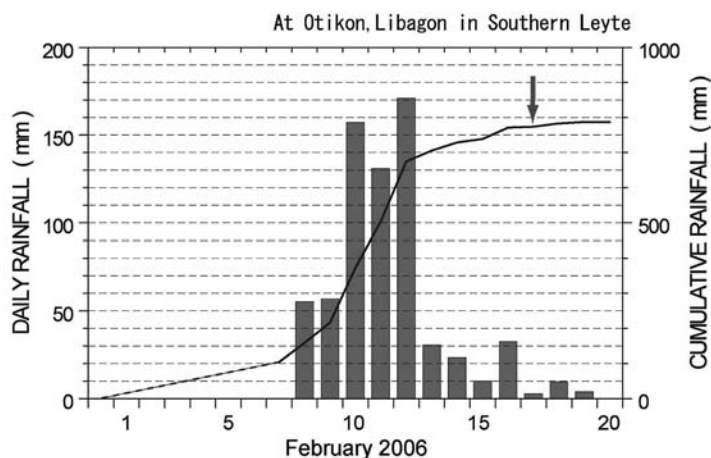


Fig. 7 Daily rainfall at the observation point of Otikon, Libagon 7 km westwards from the Guinsaugon Landslide scarp. The arrow shows the time of the slide. Rainfall data from the Office of Civil Defense (2006, Original data by PAGASA).

規模で崩壊した。大角ら（2005）は Hi-net で検出されたこの崩壊にともなう地震動のデータを解析して、崩壊の発生位置を精度良く推定できることを報告している。また、諏訪ほか（2006）は京都大学防災研究所の臨時稠密地震観測点が記録した、同じ奈良県大塔村の崩壊による振動波形を解析して、崩壊の発生と運動過程が推定できることを報告している。レイテ島で起きた今回の地すべりについては、次節で述べるような検討が必要である。

6. 地すべりと地震の関係

1) 地すべり発生時刻 地すべりは当日の朝10時半頃に起きたというだけで正確な時刻は不明である。

2) 地震動と轟音 滑落崖から東南東へ4.2km 程のところにタンビス国立中学校がある。その教師 Bibat 氏は授業を終えて、まだ教卓のところに座っているとき地震の揺れを感じ、次ぎ

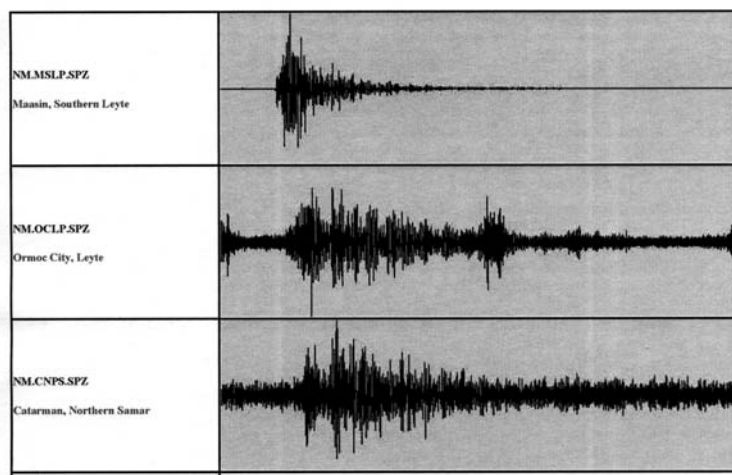
に轟音を聴いた。教室から北西のほうを見ると山が崩れていたという。ギンサウゴン村の周辺にいた人々は多くがこのように先ず地面の揺れを感じ、次ぎにヘリコプターの音を至近距離で聴くような轟音を聴いている。弾性波は毎秒2～3 km で伝播するのに対し、音速は秒速340m 余りである。地すべりが起きて弾性波と轟音がほぼ同時に発せられたとしても3～4 km 離れた地点では地面の揺れを先ず感じ、それから10秒ほどして轟音を聞くことになる。目撃者らの証言はおおむねそのようなものである。

3) 観測された構造性地震 フィリピン火山地震研究所の地震観測網は当日10時36分に表面波マグニチュード ms2.6 の構造性地震を観測している。震源はギンサウゴンの西23km の位置で深さ8 km である（PHIVOLCS, 2006）。地震波形を Fig. 8 に示す。いっぽう、アメリカ合衆国地質調査所は同じ地震を観測していて、実体波マグニチュード mb が4.3で、震源は地すべり発生地点

Unmanned Satellite-telemetered Seismic Stations

Recorded Short-period Waveforms (Vertical Component)

2006-02-17 02:35:30.99 UTC - 2006-02-17 02:45:31.01 UTC



http://www.phivolcs.dost.gov.ph/Earthquake/LatestEQ/2006/20060217_0236.htm

Fig. 8 The particle velocities of the 10:36 earthquake on February 17, 2006 detected by the unmanned satellite-telemetered seismic stations of PHIVOLCS. Modified from the wave signal data at the website (PHIVOLCS, 2006)

にぴったり一致する位置で、深さ35kmと発表している (US Geological Survey, 2006)。しかし、地震の規模が小さいことと、観測網の密度が高くないことから、震源の位置決定は必ずしも精度の高いものではないと思われる (澁谷, 2006)。震源を求める際に仮定される地盤の地震波速度構造に大きく依存することも考えなくてはならないようである (水野, 2006)。

4) 日本の広帯域地震観測網で見えた地震動 山中 (2006a) は防災科学技術研究所の広帯域地震観測網 F-net のデータから Fig. 9 に示す図を得た。観測された変位記録に20–50秒のバンドパスフィルターをかけ、その波形をレイテ島からの距離に応じて縦方向に並べて示したものである。矢印に示す位置に一直線に並ぶフェイズが認められる。山中はこれはレイテ島で起きた地すべりが起こした振動であり、そのレーリー波であるとし、

震源では現地時間の10時37分頃に起きたものであるとしている。msが2.6とかmbが4.3などという規模が小さな地震では断層の破壊時間がせいぜい1秒程度であり、観測される地震波の周期帯20–50秒に比べて小さすぎると考えられ、振動の励起源として構造的な地震ではなく、地すべりを想定するのが妥当であるとの考えである (山中, 2006b; 澁谷, 2006; 水野, 2006)。

5) 携帯電話の通話が10時26分に途切れた セントバーナード市長の Lim 氏から筆者は次のような証言を得た。当日たまたまギンサウゴンへ出向いていた市職員5名のうちの一人 S 氏から、異常を知らせる電話を10時26分と10時28分の二度受けたがすぐに途切れてしまったとのことである。これが事実だとすると10時26分頃に地すべりによる異常に人々が気づき始めたことになる。そうすると、地すべりによって励起された振動が10時26

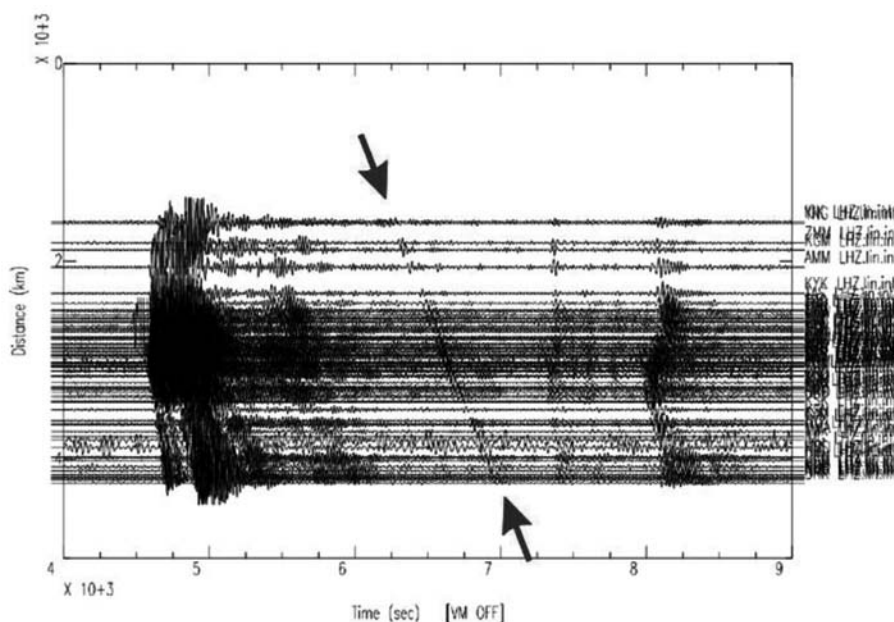


Fig. 9 Arrival of Rayleigh wave detected by Yamanaka (2006a). Diagram shows the record sections arrayed at the distance to the wave source at Leyte. Waveforms were obtained through the band pass filter of the range from 20 seconds through 50 seconds. The set of original seismic records was obtained from the broadband seismograph network of F-net which network was established and operated by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention.

分頃に観測されていてもよいことになる。そのような目で Fig. 9 を見ても10時36分の10分ほど前にそのような振動波形の位相は認められない。10時26分頃の異変は震動を励起するようなものでなかったか、あるいは10時26分という時刻が正しくなかったかのどちらかであるように思われる。

6) 揺れの感じ方の違い 安藤氏らは3月3日から5日の間に現地調査を行った(安藤, 2006; Besana, 2006)。そのときギンサウゴンの住人で遭難を免れた人や隣接する集落の人々20名ほどに対して聞き取り調査を行っている。そのうちの一人は10時30分頃の揺れ以外に、6時頃にも地震の揺れを感じたと話した。そのときも店に吊してある商品がゆっくり揺れ、彼女は目眩がしたかのような揺れを感じたとのことである。しかし、6時頃の揺れを証言するものはほかにはいなかったようである。フィリピン火山地震研究所によるとギンサウゴンの北西約9 km 地点を震央として小さな地震が6時7分に起きているとのことである。また10時半頃の地震の揺れを感じたかどうかについてセントバーナードの町中で尋ねたところ、その人がいた場所と、そのとき何をしていたかによって、地震を感じた人とそうでない人に別れるとの結果を得ている。セントバーナードの町中の地震の揺れが、ギンサウゴンの周辺に比べて小さかったことによるのではないかとと思われる。

7) まとめるとどうなるか? 以上のことを考慮すると、問題の地すべりと地震の関係について次のようなシナリオが可能である。すなわち、震源で10時36分に観測された地震は構造性地震ではなく、問題の地すべりが励起した地盤振動である。またその3時間半前の6時7分に観測されたマグニチュードがさらに小さな地震は問題の地すべりが起きた斜面で前駆的に起きた崩壊の一つによるものであるかも知れない。崩壊は規模が大きければ大きいほど、その前兆現象としての前駆的な崩壊や崩落の頻度と規模が大きいことが知られており、また本崩壊の後の余崩壊についても同じような特性のあることが知られている。地震に準じて崩壊についても前崩壊、本崩壊、余崩壊という用語を用いることが可能であることを筆者は提

案している (Suwa et al., 2005)。

もちろん次のようなシナリオも可能である。すなわち、10時36分の地震が問題の岩盤すべりの最終的な引き金になった。岩盤すべりによって振動が励起された。地震観測網は構造性地震と地すべりにともなう地震動が重なり合った波形を記録したというものである。筆者は現在のところ、一つ目のシナリオのようであったのではないかと印象を抱いている。

どちらであったかは、地震の震源過程の解析結果がダブルカップルとなるか、あるいはそうでないかで決着がつく(山中, 2006b)。前者であれば構造性地震が存在したことになり、後者であれば存在しなかったということになる。これらの点も検討すべく地震観測網のデータの提供をフィリピン火山地震研究所に依頼しているが、現在のところ提供してもらえていない。残念な状況である。

7. 岩屑なだれの特徴

岩盤すべりは滑落崖直下の崩積土塊や移動経路となった斜面の崩積土や風化土層を巻き込みつつ破碎しながら斜面下部へとなだれ下り、谷底低地に大量の土砂を堆積した。その特徴を記すと以下のようなものである。

1) 高速の土砂移動 滑落崖直下で移動土塊は既に大きな速度を有していたようで、移動土塊の一部は勢い余って北隣の流域の谷へめがけて溢流している。同じような状況は1984年長野県西部地震で御岳が大規模な崩壊を起こし、岩屑なだれの一部が隣の鈴ヶ沢に流れ込んだ状況と似ている (Fig. 10)。Lagmay et al. (2006) は、なだれの運動速度を100~140 km/h と推定している。目撃者の証言に基づいて推定した現象の継続時間と移動距離から求められた値である。

2) 移動土砂の水分量 堆積地の堆積物の多くは水分量の少ない状態で堆積したようである。地すべり発生から3日ほど後になると、堆積地の窪みに水が滲み出してきて小さな池がたくさん形成されたそうである (Lagmay, 2006)。移動岩屑の本体部分は水分量の少ない状態で堆積地点に到達したようであるが、地下水が上昇してくるの

に、あるいは堆積物下部の液状化層から水が上昇滲透してきて堆積物の窪地表面に到達するのに3日程度の時間を要したことになる。

3) 流れ山 堆積地には無数の流れ山 (Hummock) が形成された (Fig. 11)。流れ山は、

岩屑なだれの移動の際に岩体や土塊が破碎しきらず、差し渡しが十数メートルから数十メートルのサイズで堆積地に大きな起伏を作るものであり、一つ一つの流れ山が崩壊源での地質の構造をそのまま保存していることに特徴がある。流れ山は規



Fig. 10 A portion of debris mass rushing into the neighboring catchment. Left: the 17 February 2006 Leyte slide. Photo taken on March 22, 2006 by Suwa, H. Right: the 14 September 1984 Ontake slide. Modified from the photo taken on a day of October, 1984 by Pasco Co. Ltd.



Fig. 11 Numerous hummocks were scattered on the paddy field. Photo taken on March 21, 2006 by Suwa, H.

模が大きな多くの岩屑なだれに共通する堆積地形である。また、堆積地の末端部分にはFig. 12に示すような皺状の起伏が形成されていて、低所に水が溜まった状況を呈していた。これも岩屑なだれの末端付近に特徴的な地形として知られている。土砂の移動方向に作用する圧縮力によって形成されるプレッシャーリッジと呼ばれる地形である。

岩屑なだれの構造は多くの場合Fig. 13のように描くことができる。岩屑なだれは本体部分と尾部からなる。本体部分の後を尾部である土石流が追

いかけてくるというものである。本体部分も尾部も単一のサージからなるとは限らない、規模が大きな場合には複数のサージで形成されることが多い。とくに後続の土石流は多数のサージとして出現するのが普通である。本体部分の上部は水で飽和していないが下部は水で飽和していて最下層は大きな剪断力で破碎されつづけるため液状化層を形成する。したがって本体の上部は大きな速度を勝ち得てより高速でなだれ下ることになるが、斜面との境界に位置する液状化層の、斜面下方へ向



Fig. 12 Surface features consisting of numerous arrays of pressure ridges. Top: the 17 February 2006 Leyte slide. Bottom: the 14 September 1984 Ontake slide. Photos taken by Suwa, H.

けての速度は相対的に小さい。このため岩屑などれの背後に大量の液状化した岩屑の流れ、すなわち土石流の材料が取り残され、これらが土石流のサージとなって流れ下ることになる。今回の地すべりでもこのようなマスマーブメントが出現したものと考えられる。滑落崖から下部に続く谷の中や堆積地の中に、明らかに土石流が流れた痕跡と土石流の堆積物が広い範囲で認められた。

4) 岩屑などれの移動し易さ この岩屑などれに対して等価摩擦係数を求めると0.21となる。等価摩擦係数は H/L で定義され、岩屑などれの移動し易さを表す指標（易動度という用語が用いられることもある。英語では *mobility*）である。ここに H は岩屑の鉛直移動距離の最大値、 L は水平移動距離の最大値である。この地すべりの場合、 H と L はそれぞれ760m、3,500mである。移動岩屑の体積が大きいほど等価摩擦係数は小さくなる傾向にあることが知られている。Araiba et al. (2006)によると、今回の地すべりによる侵食量は $2,100\text{万 m}^3$ と見積もられており、Lagmay et al. (2006)が堆積地の堆積土砂量から見積もった体積 $1,500\sim 2,000\text{万 m}^3$ と調和的である。そこでこの体積 $2,100\text{万 m}^3$ を用いて等価摩擦係数と体積の関係を既往データに重ねてプロットするとFig. 14のようになる。今回の地すべりによる土砂移動はHsu (1975)によって整理されたデータの分布と

調和的であることが分かる。しかし、細かく見ると、移動岩屑の体積にしては、やや移動し易いタイプであるようにも見える。いくつかの要因が考えられるが、その一つは移動岩体と移動土塊が大量の水を抱え込んでいて、斜面との境界付近に液状化層をしっかりと形成した状態で岩屑などれが移動したことにあるものと考えられる。

8. まとめ

2006年2月17日にフィリピン南レイテ州セントバーナード市で規模が大きな地すべりが起きて、麓の集落ギンサウゴンが土砂の下になり、多くの人命が失われた。中新世の堆積岩の上に載る中新世後期の火山砕屑岩の部分が岩盤すべりを起こし、これが岩屑などれとなって急崖斜面をかけ下って麓の谷底低地をおよそ 2千万 m^3 という大量の土砂で埋め尽くした。フィリピン変動帯を南北に1200kmに渡って縦断するフィリピン断層帯の断層運動が形成した断層崖で地すべりは起きた。

地質条件と地形条件から、この断層崖は今回と同じような、規模が大きな地すべりを繰り返してきたことが認められるが、この断層崖は今後も地すべりを発生させる斜面である。今回の地すべりではかなり前から岩盤や土層のクリープが進んでいたと見られる。8ヶ月前頃からは地元住民にも

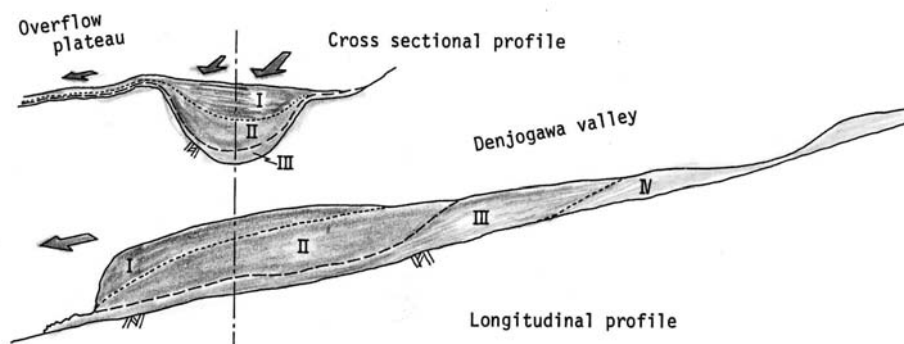


Fig. 13 Conceptual structure of debris avalanche rushing down the Denjogawa gully. I: Rock blocks and debris unsaturated with water, II: Rock blocks and debris saturated with water, III: Sheared layer of debris liquefied and its products, IV: Multiple debris flows that follow the debris avalanche. Modified from Suwa et al. (1985).

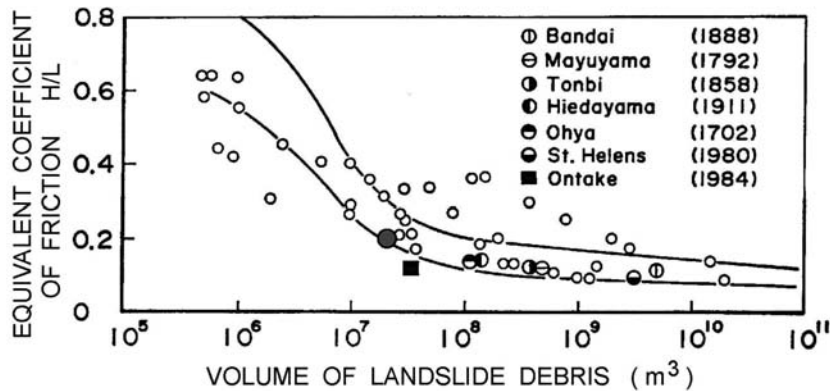


Fig. 14 Relationship between equivalent coefficient of friction and volume of landslide debris. A big solid circle indicates the data point of the 17 February 2006 Leyte slide. Modified from Ashida et al. (1985).

気づかれる形で、すなわち斜面にクラックが入る、林の木々が傾き出す、小崩壊が起こる、川の水が涸れるなどの前兆現象を露わにしつつクリープが進行していたが、地元住民はこれらを重大な異変が起こる前兆だとは認識することがなかった。その結果が痛ましい災害につながった。

ギンサウゴン村のような集落が断層崖の麓に同じように点在している。そこは過去に同様な地すべりが起きた場所である。それらはいずれも地すべりさえ無ければ、集落の立地条件としては至極良好である。生活用水が安定して得られる。谷底低地を流れる Himbungao 川が大雨で氾濫するようなことがあっても、そのような場所から離れているので安全である。そして Himbungao 川の氾濫原に広がる田圃へ出て行くのも、山側の畑や山仕事に出てゆくものにも大変便利な場所である。そのような利点を活かし、その土地の持つハザードに関する潜在的な危険度を認識し、ハザードの前兆が現れれば、事の重大性を認識して避難するということができるのであれば、今回のような悲惨な事態は避けられる。それを支援するのは国や自治体であるが、それだけでは不十分だ。住民自身とそのコミュニティが日々自然に対する認識を深め、自然とうまく付き合う知恵を育み、防災に関して高い意識を持ち続けることができるかどうかの問題である。

謝 辞

この災害調査にあたり次の方々に貴重な示唆や支援を賜った。ここに記して感謝の意を表したい。フィリピン大学地学研究所の Mahar A. Lagmay 博士、神戸県立大学の前田保夫客員教授、断層資料研究センターの藤田 崇博士、神戸女子大学の波田重熙教授、元大阪教育大学の石井孝行教授、シュルンベルジェ株式会社の水野高志博士、京都大学防災研究所の澁谷拓郎博士、名古屋大学の安藤雅孝教授ならびにフィリピン火山地震研究所の Glenda M. Besana 博士、東京大学地震研究所の山中佳子博士の方々、ならびに京都大学防災研究所の佐々恭二教授を団長とするレイテ島地すべり災害調査団に参加された日本とフィリピンの方々である。とくに調査団に参加された日本工営株式会社の高橋信也氏には現地調査に際して、地質構造の解釈に関して重要な示唆を賜った。

参考文献

- Araiba, K., Jeong, B., Nagura, H., Tamaki, H., Sasazawa, Y. and Yazawa M.: Preliminary report of the ground laser scanner survey at St. Bernard landslide, in the interim report of field survey of the 17 February 2006 Southern Leyte Landslide by the survey team organized by Sassa, K., 3pages, 2006.

- Asia Air Survey Co., Ltd.: フィリピンレイテ島の地滑り, 2006年2月27日閲覧・入手, <http://www.ajiko.co.jp/service/space/rrim/leyte.htm>, 日本語で表記, 2006.
- 安藤雅孝: 私信, 2006.
- 芦田和男・江頭進治: 長野県西部地震による御岳くずれの挙動, 京都大学防災研究所年報, 28 (B2), 263-281, 1985.
- Besana, G. M.: Personal communication, 2006.
- Hsu, K. J.: Catastrophic debris stream (sturzstroms) generated by rockfalls, Geological Society of America Bulletin, 86 (1), 129-140, 1975.
- Lagmay, A. M.: Personal communication, 2006.
- Lagmay, A. M. et al.: Scientist Investigate Recent Philippine Landslide, Trans. American Geophysical Union, 87 (12), 121 & 124, 2006.
- 水野高志・伊藤 潔・諏訪 浩: 岡山県総社市における斜面崩壊にともなう地震動, 日本地震学会ニュースレター, 13 (1), 16-17, 2001.
- 水野高志: 私信, 2006.
- PHIVOLCS: Earthquake wave data displayed at the website "Latest Earthquake Information", http://www.phivolcs.dost.gov.ph/Earthquake/LatestEQ/2006/20060217_0236.htm, Data obtained on February 22, 2006.
- Office of Civil Defense: A ppt presentation on "Southern Leyte Fast Facts", Original rainfall data were obtained by PAGASA, 2006.
- 斎藤勉孝・上沢 弘: 斜面崩壊時期の予知, 地すべり, 2 (2), 7-12, 1966.
- 澁谷拓郎: 私信, 2006.
- Saturay, R. M. Jr., Tamayo, R. A. Jr.: Southern Leyte field and structural evidence for Major Cenozoic tectonic events in the Philippines, unpublished report in National Institute of Geological Sciences, University of Philippine, 13 pages, 2003.
- 諏訪 浩・奥西一夫・奥田節夫・高橋秀樹・長谷川博幸・高田 衛・高谷精二: 1984年御岳山岩屑なだれ堆積物の諸特性, 京大防災研年報, 第28号 B-1, 505-518, 1985.
- 諏訪 浩・平野昌繁・奥西一夫: 九州四万十帯切取り斜面の岩盤崩壊過程, 京大防災研年報, 第34号 B-1, pp.139-151, 1991.
- Suwa, H. Mizuno, T., Suzuki, S., Yamamoto, Y. and Ito, K.: Restoration of sequential processes of a landslide hazard at a quarry of slate in Okayama, Japan, In submission to Natural Hazards, 2005.
- 諏訪 浩・水野高志・石井孝行: 道路際斜面崩壊過程の復元 (口頭発表要旨), 地形, 27 (3), 印刷中, 2006.
- Takahashi, S. and Hanatani, S.: The Geological and Geomorphological Observation of the Leyte Landslide, in the interim report of field survey of the 17 February 2006 Southern Leyte Landslide by the survey team organized by Sassa, K, 11 pages, 2006.
- 大角恒雄・浅原 裕・下川悦郎: 2004年8月10日奈良県大塔村斜面崩壊時の Hi-net データ解析——斜面崩壊検知への応用, 自然災害科学, 24 (3), 267-277, 2005.
- US Geological Survey (2006) Website of Earthquake Data Base "NEIC: Earthquake Search Result", <http://eqint.cr.usgs.gov/neic/cgi-bin/epic/epic.cgi?SEARCHMETHOD=1&FILEFO...>, Viewed on March 29, 2006.
- 山中佳子: 東京大学地震研究所の Website EIC 地震学ノート "2006年2月17日フィリピン レイテ島での地滑り", http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/060217.html, 2006年2月23日閲覧, 2006a.
- 山中佳子: 私信, 2006b.
- Yumul, Graciano P., JR et al.: Geology of the Zamboanga Peninsula, Mindanao, Philippines: an enigmatic South China continental fragment? In Malpas, J. et al. (eds): Aspects of the Tectonic Evolution of China. Geol. Soc., London, Spec. Pub., 226, 289-312, 2004.

(投稿受理: 平成18年5月8日
訂正稿受理: 平成18年5月22日)