

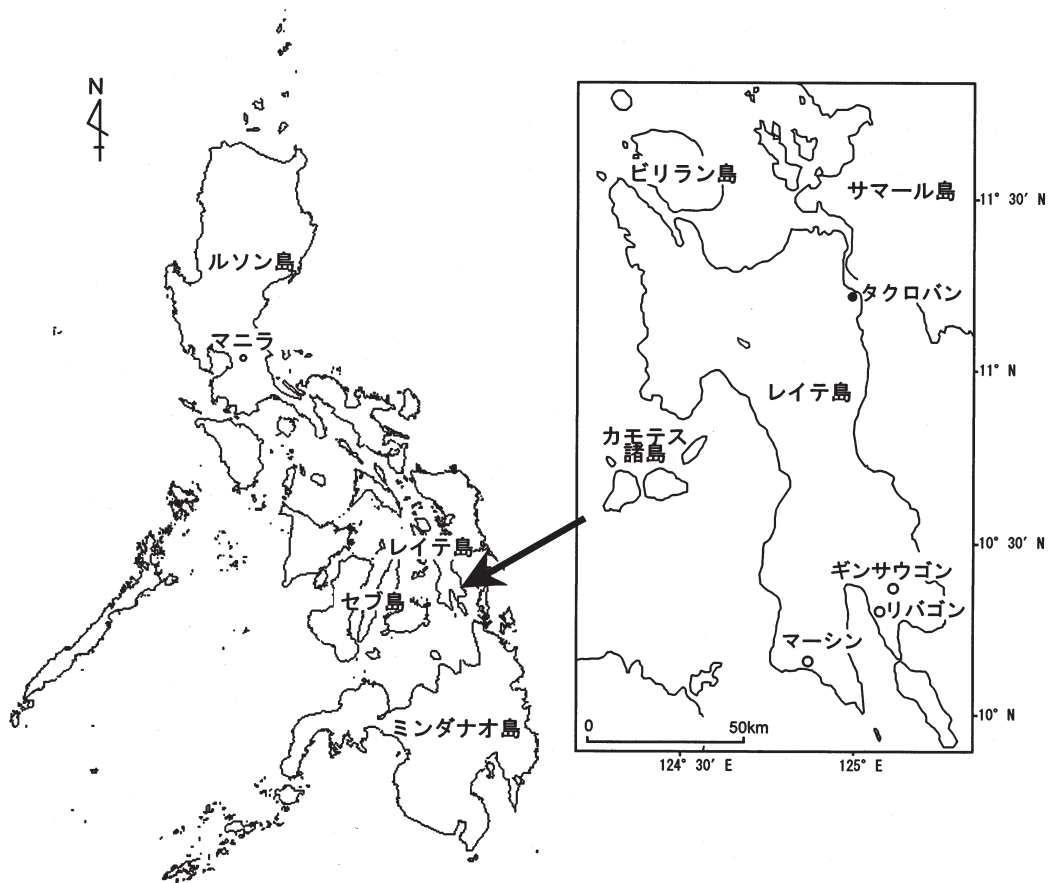
# フィリピン共和国レイテ島地すべりと地質

上野 宏共<sup>1)</sup>・地下まゆみ<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

2006年2月17日フィリピン共和国レイテ島で大規模な地すべりが発生した。現地はレイテ島南部のセントバーナード市の山村部で、多くの犠牲者がでた。

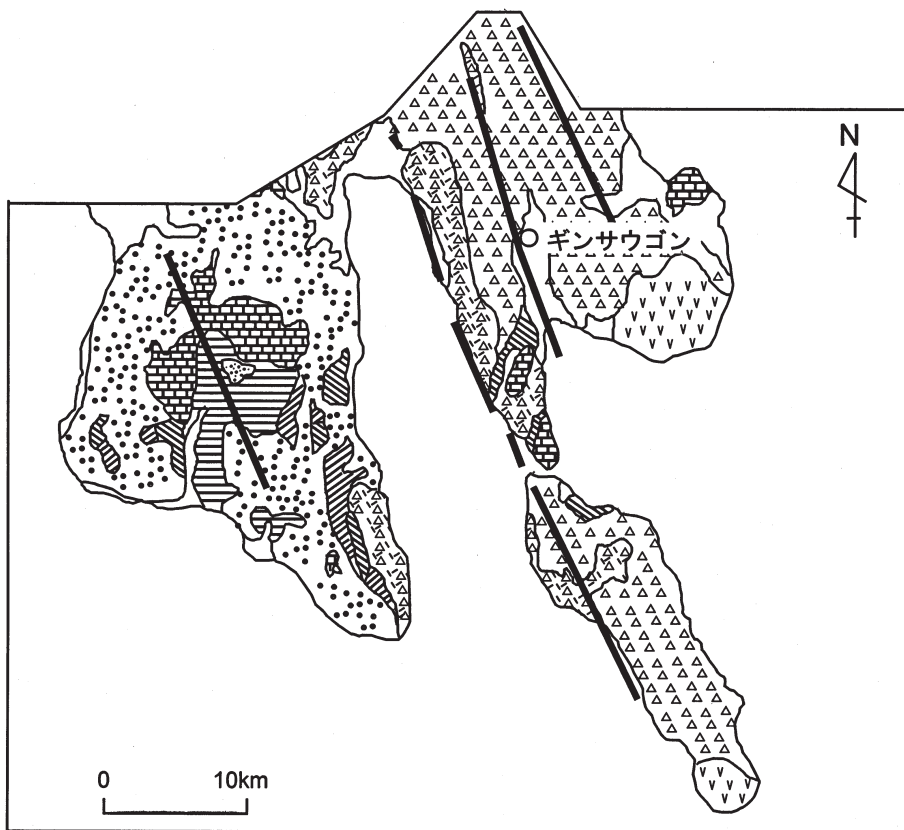
調査は被災から1ヶ月半経過後の3月23日から8日間であったが、被災現場では、厚い土砂で覆い隠された「嘗ての集落地」には土石と多少の流木以外は見当たらず、歩行困難な軟泥地も点在していた。調査は主に地形・地質の観点から行われた。採集した



第1図 フィリピン共和国レイテ島および災害地セントバーナード市ギンサウゴン村の位置図。




1) 千葉科学大学 危機管理学部 環境安全システム学科  
〒288-0025 銚子市潮見町3

キーワード：レイテ島, 地すべり, スメクタイト, 熱水変質作用, フィリピン断層, 降水量







< LEGEND >

QUATERNARY

-  Alluvium
-  Quaternary Volcanics (Andesitic lava flow)
-  Matalom Formation (Calcareous sandstone)



TERTIARY MIOCENE

-  Masonting Formation (Volvano clastics)
-  Dacao Limestone (Limesotone)
-  Dacao Formation (Sandstone, siltstone, mudstone, cgl.)
-  Central Highland Volcanics (Andesite, basalt, dacite flow breccia)

TERTIARY PALEOCENE

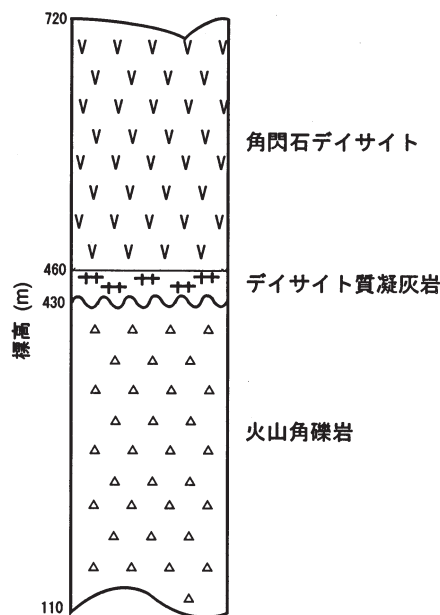
-  Amontay Sandstone (Sandstone, siltstone phyllic mudstone)

CRETACEOUS

-  Serpentinized Harzburgite (Harzburgite with minor green durite)
-  Lawagan Metabdiiorite (Homogenous metabdiiorite)

第2図 レイテ島南部の地質図.

JICA(1990), Dimalanta *et al.*(2006), Aurelio and Pena(2004), Balce, G.R.(Unpublished Data) からコンパイルした.



第3図 地すべり地域の模式地質柱状図.

岩石や鉱物は学内の装置を使って各種の分析がなされた。

短期間の慌ただしい現地調査と急いででの取り纏めではあったが、各位の献身的な協力もあって、地質・岩石・粘土鉱物などから得られた結果はすべて整合性のあることが判明し、地すべりの原因についても一応の説明が可能となった。

## 2. 地すべりと災害の概要

2006年2月17日午前10時30分頃(日本時間では午前11時30分頃)、セブ島の東に位置するレイテ島の最南端部近くで大規模な地すべりが発生した(第1図)。被災地は南レイテ州セントバーナード市(Municipality St. Bernard)の海拔36mのギンサウゴン村(Barangay Guinsaigon)である。地すべりは最高峰805mのカンアバグ山(10° 20.13' N, 125° 04.83' E)を含む南北に延びる尾根の東斜面海拔720mを冠頂として起こった。桜井ほか(2006)は大規模深層崩壊と言っており、表紙写真・口絵写真1・口絵写真2で見られるように単に表層部だけでないことは明らかである。7日前からの多量の降雨もあり、崩壊土砂は多分流動性に富む土石流となって沖積層分布域である4.5km先にま

で達したのであろう。埋め尽くされた堆積域の面積は1.6km<sup>2</sup>にも及ぶ(口絵写真5)。三百数十戸あったと言われているギンサウゴン村などの集落を崩積土が覆い隠した(口絵写真4)。この災害での死者は139名、行方不明者980名と報じられている。

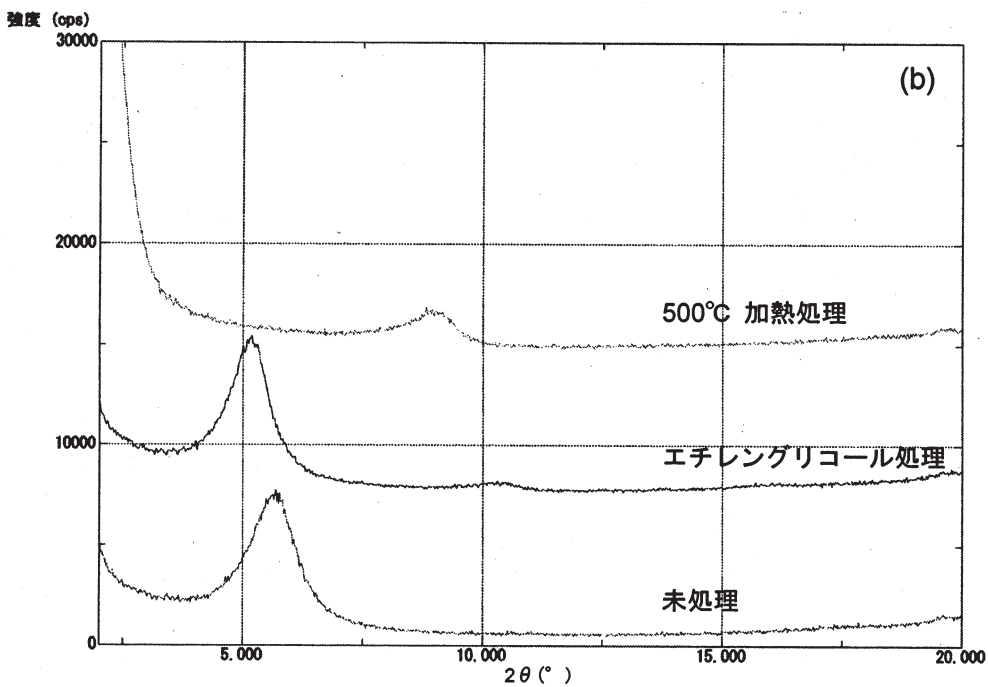
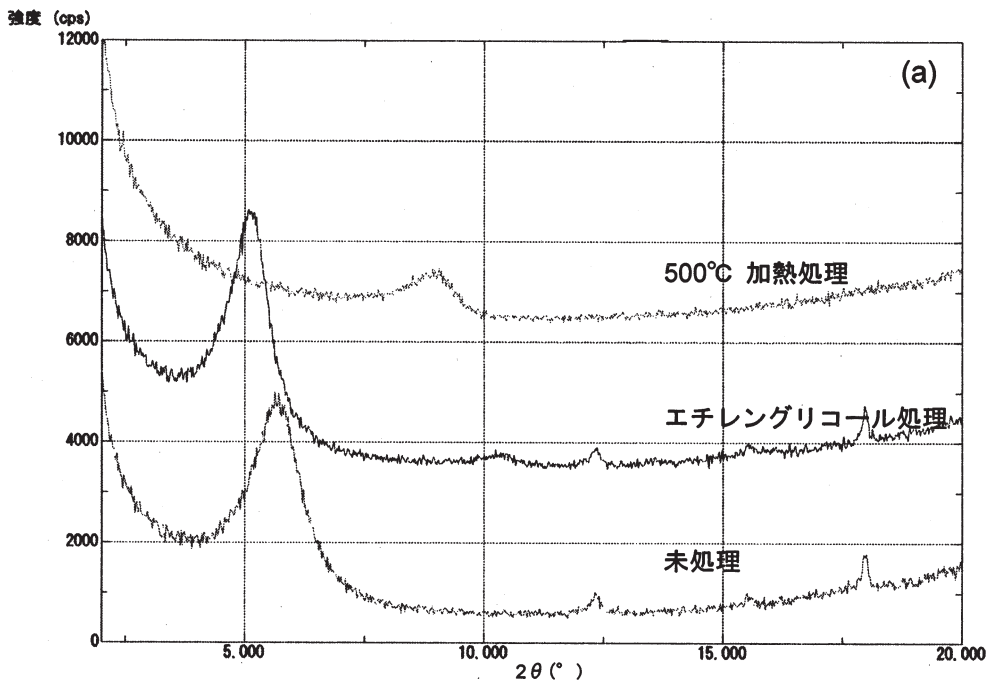
## 3. 地質、岩石および粘土鉱物

レイテ島南部の地質は超塩基性岩などからなる白亜系が基盤をなし、古第三紀には暁新統の堆積岩と始新統の火成岩類がある。新第三紀中新世には火成岩類が広く東部を覆ってくる。この時代の堆積岩としては砂岩、泥岩、石灰岩が卓越する(第2図)。

ギンサウゴン村の位置していた場所は沖積層であったが、崩壊した西側の山は新第三紀中新世の火山性複合岩体から構成されている。崩壊によって生じた凹地は崩積土に覆われている所もあるが上部ではとくに露出もよく、詳しく観察できる。第3図の柱状図に示すように下位から火山角礫岩、デイサイト質凝灰岩、角閃石デイサイトである。

火山角礫岩はここでは一般に固結していて塊状である。礫質は多様でデイサイト、安山岩、玄武岩、凝灰岩、堆積岩に及ぶがデイサイト質のものが多く、デイサイト質凝灰岩はわずかながらレイヤーをなしており、それに垂直に柱状節理が発達している。層厚は約30mである。岩石は優白色で比重は2.0である。顕微鏡下では斜長石、普通角閃石、単斜輝石が多くわずかながら斜方輝石も含まれる。弱変質を受けた試料の全岩粉末X線解析結果では粘土鉱物の一種スメクタイトが含まれることが判明した。角閃石デイサイトは崩壊斜面のすべり面を構成している岩石である。灰白色で多少多孔質の部分もある。比重は2.3である。新鮮な部分は顕微鏡下では斑晶として斜長石と普通角閃石があり、石基は結晶質で両鉱物から構成されている。これに加え単斜輝石や斜方輝石を含有することもある。このデイサイトには変質を蒙った部分も広くあるらしく、その部分では全岩粉末X線回折でスメクタイトが検出される。変質した岩石の比重は2.2で新鮮部よりいくぶん軽くなっている。

蛍光X線装置(Rigaku, ZSX100e)による岩石の化学分析値の一例を第1表に示す。ここで挙げた新鮮な角閃石デイサイトはSiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>Oなどデイサイト領域によく符号している。



第4図 水簾処理試料粉末X線回折図.

(a) デイサイトからなる崩落崖の表面から採集した乳白色粘土.

(b) 同崩落崖の表面に付着していた黄褐色粘土.

各々, 下から未処理定方位試料, エチレングリコール処理後, 500°C1時間加熱処理後.

第1表 角閃石デイサイトの化学分析値.

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Total
角閃石デイサイト	64.05	0.33	16.86	2.74	0.06	2.04	3.93	4.58	2.69	0.16	97.44
	(wt%)										

粘土鉱物については各所で採集したものについて回転対陰極型X線回折装置 (Rigaku, RINT2500H/PC) で詳しく調べた。実験条件はCuK $\alpha$ , 40KV, 200 mAである。代表的な粉末X線解析結果を第4図に示す。各種処理の結果からスメクタイトであると結論できる。このように滑落面上に付着したもの、あるいは、その近傍の粘土鉱物はスメクタイトである。一方、変質を蒙った岩石からもスメクタイトが検出されていることについては先に述べた。

#### 4. 降水量

レイテ島を含むこの地域では、例年晩秋から初春にかけて東からの貿易風により局所的に大雨になっている。1991年11月5日にはレイテ島北部のオルモック市 (10° 58' N, 124° 38' E) で死者4,922人行方不明者3,000人を出す大洪水を蒙っている (加藤, 1998)。2005年12月から多雨傾向になっていた模様である (気象庁, 2006a)。National Climatic Data Centerから得たフィリピン中南部における2006年2月の降水量を第5図に示す。この図から東側のサマル島、レイテ島、ミンダナオ島北部では降水量が多く、西側の地域では少ないことが分かる。東側の地域でも図中の北方の島々や、南ではミンダナオ島南部のダバオで少なくなっている。即ち、この期間の降水量の多い地域はフィリピン海に近い東側で、北はサマル島から南はミンダナオ島北部に限定されている。

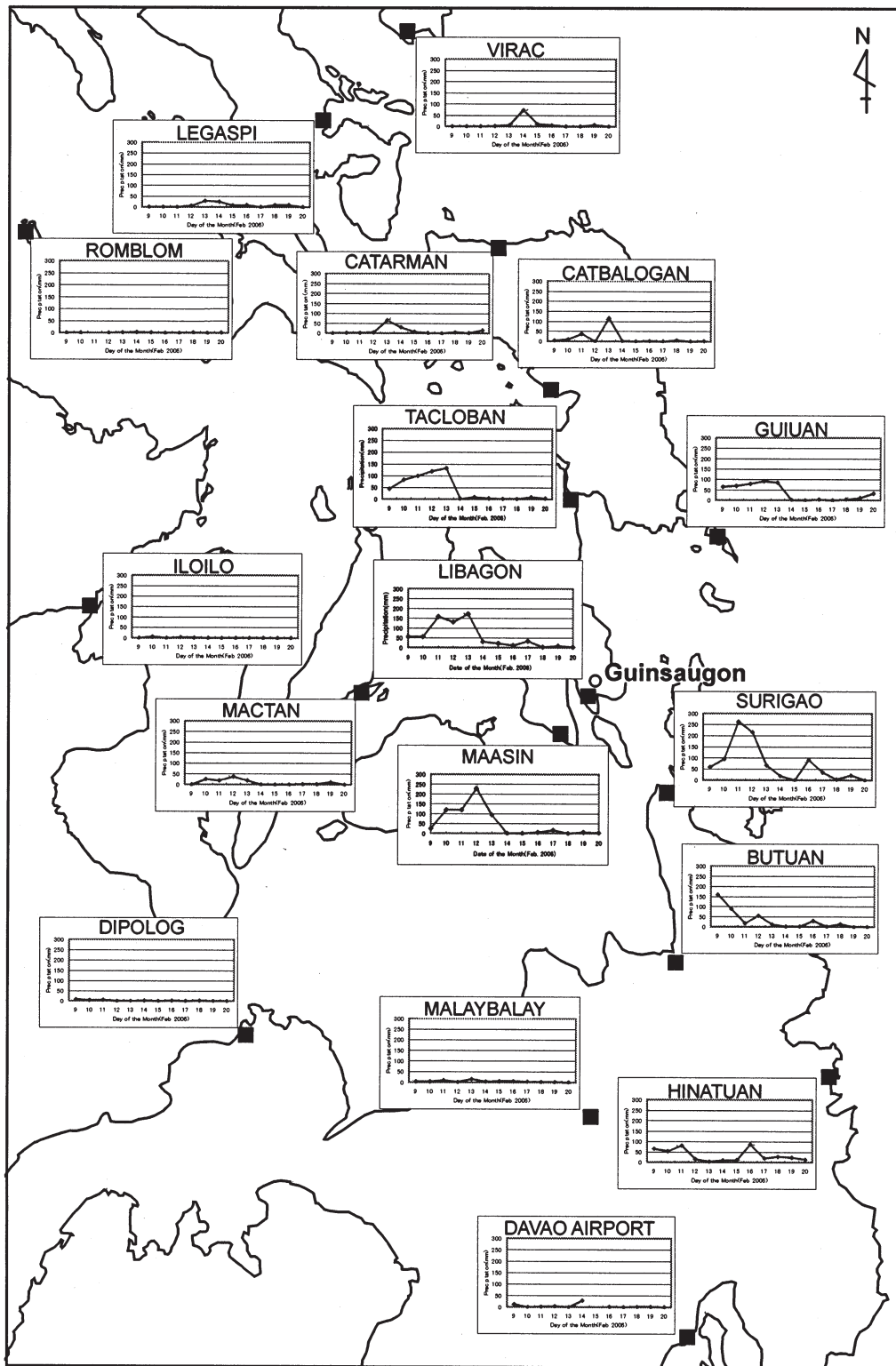
レイテ島内およびレイテ島近傍だけの降水量を注意して見ると、いずれも2月10日から13日にかけて大雨となっている。西南西9kmで被災地に一番近い観測点リバゴン・オチコンでの2月8日からの総降水量は787mmと平年のこの期間の降水量272mmの約3倍に達している。レイテ島内で災害地の南西37kmのマーシンで678mm、北方105kmのタクロバンでは565mm、南南東70kmのミンダナオ島スリガオで963mmと著しい総降水量となっている。気象庁 (2006b) によれば「2月8日から13日にかけて大陸方面から吹き出す北よりの風と、平年より強い太平洋から湿つ

た東からの貿易風がレイテ島付近で合流したことが大雨の要因となり、さらに地形的なことも影響した」とされている。カンアバグ山のある南北に延びる尾根が東からの風を受け災害地を含む尾根の東側に、降水量の観測値は無いが、リバゴン・オチコンの787mmより多い降水をもたらしたとする推測は成り立つ。

#### 5. 考察

地すべりの原因究明には種々の観点からのアプローチが必要である。地質学的には第一にフィリピン断層の存在が挙げられる。フィリピン断層は北はルソン島から延々と伸びレイテ島の南ミンダナオ島までフィリピントレンチに平行にフィリピン全土に横たわっている。N30° ~ 40° Wの右横ずれ断層で、断層帯を伴っている。年間3cmもの移動があると言われている。レイテ島南部にも第2図に見られるようにこの断層帯があり、被災地もその真ん中に位置している。崩壊現場の表紙写真および口絵写真2などに写っているすべり面はここでの断層と一致しており、走向N30° W、傾斜55° Eとなっている。すべり面の手前にあったデイサイト岩体は崩落してなくなっており、海拔300~100mの斜面にはデイサイトの大小の岩片が多く見られる。また、この断層の南への延長部では地すべり地形と地割れが見られ、北への延長部では断層地形の典型である三角末端面が観察される。さらには、2005年12月17日に小規模の地すべりがここで起きたことが現地案内人や地元の住民の話から分かっており、そのときの崩積土も現地で確認した。崩壊箇所の北側のなだらかな山 (海拔170m) は山全体が古い崩積土からなっており、この崩積土が表面から土壌化した所にヤシ林が立っている (口絵写真3)。このようにこの地区では中小規模の地すべりが何度も起きており、他の斜面災害とも類似している (井村ほか, 2004)。

第二には粘土鉱物の存在がある。今回調査したすべり面上には粘土鉱物の一種スメクタイトが表面に残っていた。この面に沿って断層が存在し、この粘土が



第5図 レイテ島周辺の各地点での降水量。



狭在されていたことは明らかである。スメクタイトは膨潤性粘土鉱物で板状の微細な結晶で水と共存するとすべり易くなる。一般に、スメクタイトの存在は地すべりや崩壊の要因となっている。

第三には熱水変質作用に関してである。第3図の崩落地の柱状図で中位のデイサイト質凝灰岩の大部分と最上位の角閃岩デイサイトのある部分は明らかに熱水変質作用を受けており、全岩の粉末X線回析結果ではスメクタイトが検出される。スメクタイトは中性ないしアルカリ性の低温の熱水変質作用で生成されることが知られている(吉村, 2001)。Dimalanta *et al.* (2006)は、ここの地すべりの要因の一つとして「熱水変質作用と粘土鉱物の生成」を挙げている。岩体生成後のある時期に、崩壊地を含む一帯が低温の熱水変質作用を蒙り岩石全体が弱いスメクタイト化を受けると同時に、断層面や岩体の弱線に沿ってスメクタイトが局所的に濃集したと考えられる。熱水変質作用を受けると岩石は軽くなりいく分なりともルーズとなる(Ueno *et al.*, 2003)。海拔170m付近の北側から採集した古い崩積土には、粘土鉱物としてはスメクタイトでなく風化変質産物と考えられるカオリン鉱物が含まれている。このことからスメクタイトは風化変質作用ではなく、熱水変質作用により生成した可能性が高いことが窺える。地下・北川(2003)は地すべり地帯での熱水変質作用によるスメクタイトを報告している。このように今回の地すべりには熱水変質作用が大きく関わっていることが示されたが、レイテ島に限らず日本国内各所の地すべりをも含めて熱水変質作用と地すべりとの関係を探ることも必要であろう。

次に大雨の件であるが、先の項で述べたように、災害の起こる2週間前からの降水量は例年のこの期間の量の3倍にも達しており、さらに短期間に集中していることは前述の膨潤性粘土鉱物の存在と相まって重要な要因となっている。

地すべり発生と前後して起きたマグニチュード2.6の地震が、地すべりの直接の誘因との説もある(神戸新聞, 2006)。Philippine Institute of Volcanology and Seismologyのデータによると2月17日午前10時36分、 $10^{\circ} 18' N$ ,  $124^{\circ} 54' E$ 、深さ6km、マグニチュード2.6 Ms(長周期地震計のみ稼働のとき得られる表面波マグニチュード)の記録がある。USGSのNational Earthquake Centerによると同じ地震を次のように記している。2月17日午前10時36分32秒、 $10^{\circ} 22.2' N, 125^{\circ}$

$04.8' E$ 、深さ35km、マグニチュード4.30mb(実体波マグニチュード)。ここでより震源の浅い前者での揺れを検討した。マグニチュード2.6の地震とは、ごく浅い数kmそこそこの場所で発生したとき真上に居た場合でも有感となる程度の地震である(後藤和彦氏談話)。また、災害直後フィリピン当局者は災害を起こすほどの揺れではなかったとの見方を示していた(Channel News Asia, 2006)。

前述のような地震を直接の誘因と推定する説もあるが、地すべりの発生は次の事柄が相まった結果であろう。崩壊域がこれまで中小規模の地すべりを繰り返していた断層帯に位置していた。周辺の岩石は熱水変質作用を受けて膨潤性粘土鉱物スメクタイトが生成していて脆くなっていた。そこに著しい降水が重なった。

**謝辞:**宮林正恭千葉科学大学副学長の発案でレイテ島現地調査の検討がなされたのは2月下旬で、同大学危機管理学部の坂本尚史教授の判断もあって、直ちに、3月中に現地調査を実施することに決定しました。フィリピン大学客員教授も歴任したことのある東京女学館大学国際教養学部の小浪博英教授によって現地調査実現に向けての具体的アレンジがなされました。これらの方々の迅速な判断と援助によってこの調査が実現したことに鑑み、心からお礼申し上げます。フィリピン国内での情報収集の段階では在フィリピン日本大使館坂井康一 二等書記官、JICAフィリピン事務所松浦正三所長、エネルギー省次官Dr. Guillermo R. Balceの各氏から貴重な情報を頂きました。九州大学大学院工学研究院今井 亮助教授、今井研究室のフィリピンからの留学大学院生Leilanie O. Suerteさん、鹿児島大学理学部井村隆介助教授、鹿児島大学南西島弧地震火山観測所後藤和彦助教授、千葉科学大学危機管理学部安藤生大助教授、山根省三助教授並びに栗田勝実助教授には調査前から取りまとめの段階まで教示・助言して頂きました。Pasco-Certeza Co.の出口一郎アドバイザーには、各種手配にとどまらず自らも現地に行って頂き地図作成の技を発揮して頂きました。また、同社のAlbert T. Tanching マネージャーには現地で厄介になりました。これらの方々にお礼申し上げます。本調査には平成17年度千葉科学大学教育研究経費を使用しました。平野敏右学長をはじめ関係各位に謝意を表します。

## 文 献

- Aurelio, M. A. and Pena, R. E. (Eds.) (2004) : *Geology and Mineral Resources of the Philippines, Volume 1 Geology (Revised Ed.)*, Mines and Geosciences Bureau (Manila).
- Channel News Asia (2006) : 200 dead, 1500 missing in Philippines landslide, Posted 17 Feb. 2006.  
[http://www.channelnewsasia.com/stories/afp\\_asiapacific/view/193689/1/.html](http://www.channelnewsasia.com/stories/afp_asiapacific/view/193689/1/.html)
- Dimalanta, C. B., Tamayo, R. A., Yumul, G. P., Payat, B.D., Ramos, E.G. L. and Ramos, N.T. (2006) : *Geology of southern Leyte: Contribution to the understanding of the St. Bernard landslide, southern Leyte*, Presented at the Conference on the February 17, 2006 St. Bernard Landslide and Related Phenomena, held at University of the Philippines, Diliman, April 17, 2006.
- 井村隆介・岩松 暉・上野宏共 (2004) : 2003年7月20日に菱刈町で発生した斜面災害, 鹿児島県地学会誌, 89, 1-7.
- JICA (1990) : *The mineral exploration - Mineral deposits and tectonics of two contrasting geological environments in the Republic of the Philippines, Consolidated Report on Leyte and Dinagad-Siargao Areas*.
- 地下まゆみ・北川隆司 (2003) : 花崗岩の自然斜面の崩壊予知に関する研究; 粘土細脈に注目して, 平成14年度深田研究助成報告書, 1-18.
- 加藤 薫 (1998) : *大洪水で消えた街; レイテ島死者八千人の大災害*, 草思社 (東京).
- 気象庁 (2006a) : エルニーニョ/ラニーニャ現象と世界の天気および台風の活動, 異常気象レポート2005.  
[http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinf/climate\\_change/2005/1.5.3.html](http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinf/climate_change/2005/1.5.3.html)
- 気象庁 (2006b) : フィリピン・レイテ島における地すべり発生前後の天候について, 世界の気候の情報.  
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/monitor/index.html>
- 神戸新聞 (2006) : 比の地滑り「地震が誘因と推定」専門官が報告会, 2006年3月31日付.  
<http://www.kobe-np.co.jp/kobenews/sg/0000013610.shtml>
- 桜井 亘・徳永良雄・Felizardo (2006) : フィリピン共和国南レイテ州で発生した大規模深層崩壊災害について, 砂防学会誌, 58, 39-43.
- Ueno, H., Kitazono, S. and Takeda, T. (2003) : *Opaque mineralogy in the alteration zones of ore deposits*, In Eliopoulos (Ed.) *Mineral Exploration and Sustainable Developments*, 1035-1038, Millpress (Rotterdam).
- 吉村尚久 (2001) : *粘土鉱物と変質作用*, 地学団体研究会 (東京).
- UENO Hiroto and JIGE Mayumi (2006) : *Landslide and geology in southern Leyte Island*.

---

< 受付 : 2006年4月17日 >