

論文

# IKONOS画像を利用した1999年 ベネズエラ豪雨災害における斜 面崩壊の解析

柴山 卓史\*・恩田 裕一\*\*・安仁屋 政武\*\*・水越 博子\*\*\*

## A Landslide Analysis of 1999 Heavy Rainfall Disaster in Venezuela Using IKONOS Panchromatic Images

Takashi SHIBAYAMA\*, Yuichi ONDA\*\*, Masamu ANIYA\*\*  
and Hiroko MIZUKOSHI\*\*\*

### Abstract

In December 1999, a cold front off the Caribbean Sea brought a large amount of rain to the Caribbean coastal area of northern Venezuela. Landslides and debris flows caused by the heavy rainfall led to enormous loss of lives and properties in the Avila Mountain ranges. The purpose of this study is to analyze the characteristics of landslide distribution using high spatial resolution (1 m) satellite images of IKONOS. In the study area, Naiguata and Camuri Grande watersheds, landslides were categorized into two types through the field survey: 'rock slide' and 'debris slide'. Schist or gneiss of upper stream of the two watersheds underlies the rock slide, whereas phyllite with tuff near the coast underlies the debris slide. Comparing the landslide distribution to slope form and slope aspect using GIS (geographic information system), the following findings of landslide-prone slopes were obtained: 1) slope facing east or west in the schist region; 2) slope facing northeast or north and southwest or south in the gneiss region; and 3) convergent slope in the phyllite region. The slope plan form affects debris slide and the slope aspect of rock slide reflects the attitude of foliation of metamorphic rocks in the study area.

キーワード：IKONOS, 斜面崩壊, GIS (地理情報システム), ベネズエラ

Key words : IKONOS, landslide, GIS (geographic information systems), Venezuela

\* 筑波大学大学院環境科学研究科 (現・㈱パスコ)  
Master's Program in Environmental Sciences, University of  
Tsukuba (presently: PASCO Corporation)

\*\* 筑波大学地球科学系  
Institute of Geoscience, University of Tsukuba

\*\*\* 国土交通省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

Geography Information Analysis Research Division,  
Geography and Crustal Dynamics Research Center,  
Geographical Survey Institute, Ministry of Land,  
Infrastructure and Transport

本論文に対する討論は平成15年11月末日まで受け付ける。

## 1. はじめに

リモートセンシング画像（データ）から崩壊地の判読および抽出を行う際には、これまで空中写真が用いられる場合が多く（たとえば Aniya, 1985; Dhakal *et al.*, 2000 など）、衛星リモートセンシングデータを用いて、崩壊地の判別・抽出が行われた例（戎ほか, 2000; 河邑ほか, 2000; Dhakal *et al.*, 2002 など）は比較的少ない。その理由としては、衛星リモートセンシングでは同時に広い範囲（数 10 km<sup>2</sup>～数 1,000 km<sup>2</sup>）の情報を得られる反面、その地上分解能は最も細かいものでも 10 m 程度（たとえばフランスの SPOT HRV-P センサー）であったため、崩壊地の判別精度がよくなかったことが挙げられる。しかしながら、近年のリモートセンシング技術の進歩とともに、より分解能の高い衛星が打ち上げられるようになり、砂防分野での応用が期待されている（鈴木ほか, 2000）。

1999 年 12 月に南米・ベネズエラで発生した豪雨災害（以下、1999 年ベネズエラ豪雨災害と呼ぶ）では、斜面崩壊と土石流、また洪水などによって 30,000 人もの住民が死亡したと推測され

ており（Larsen *et al.*, 2001）、世界的にみても大きな被害となった。1999 年ベネズエラ豪雨災害に関しては、すでにいくつかの報告（Wieczorek *et al.*, 2001; Larsen *et al.*, 2001; Ishikawa, 2001 など）がなされているが、広域の崩壊分布を詳細に調べたものはない。そこで、高分解能衛星の 1 つである IKONOS（米・スペースイメージング社）のデータを用いて崩壊地の判読を行い、その結果に対して GIS 解析を行って、崩壊の分布特性と崩壊の発生しやすい地形・地質要因を議論する。

## 2. 対象地域

### 2.1 1999 ベネズエラ災害の概況

ベネズエラ北部では 1999 年 12 月の中旬から中旬にかけて例年よりも降雨量が多かった。とくに 14 日から 16 日にかけては、ベネズエラ北部のバルガス州（Fig. 1）を豪雨が襲い、アビラ山地の北側斜面に大きな被害をもたらした。14 日から 16 日にかけての 2 日間の降雨量は、もっとも多かったところで、およそ 400 mm と推定されている（Wieczorek *et al.*, 2001）が、これはこの地域における年降水量（800～1,000 mm）の

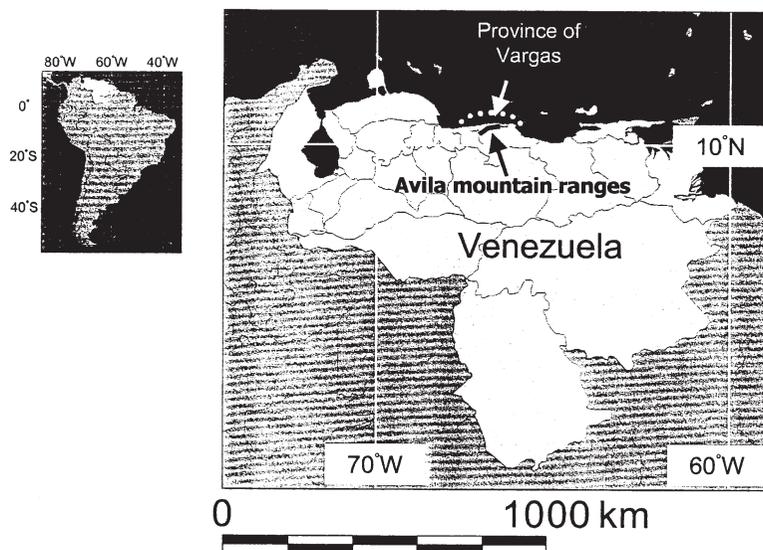


Fig. 1 Location map of the study area (The scale bar indicates approximate distance)

1/3~1/2 に匹敵する降雨量であり、再現周期が数 100 年のイベントと考えられている (CEPAL, 2000)。

### 2.2 対象流域の特徴

本研究の対象地域は、ナイグアタ流域とカムリグランデ流域 (Fig. 2) である。ナイグアタ (Naiguata) およびカムリグランデ (Camuri Grande) は河川の名称でもあり、かつ河口に位置する都市名でもある。この地域の IKONOS データは科学研究費 (No.11800020) によってすでに

取得されており、利用可能であった。流域の面積はそれぞれ 36.3 km<sup>2</sup>, 23.0 km<sup>2</sup> である。起伏比はナイグアタ流域がおよそ 0.26, カムリグランデ流域は 0.24 であるが、上流ほど河床の勾配は大きくなり、30° を超える箇所も多く存在する。

Fig. 3 は Ministry of Mines and Hydrocarbons of Venezuela (1969) から作成した対象流域周辺の地質図である。この地域の地質の境界はほぼ海岸線に平行しており、海岸線から約 1~2 km までは、凝灰岩を挟在する千枚岩 (phyllite) からなるタカグア層群、さらに内陸に

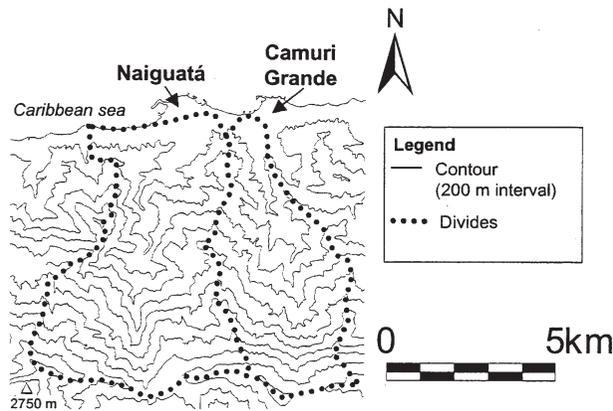


Fig. 2 Topography of the Naiguatá and the Camuri Grande watersheds

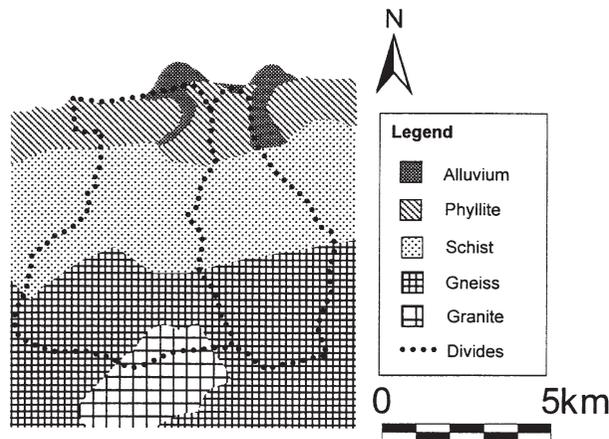


Fig. 3 The geology of the study area

2~3 km までは片岩 (schist) からなるラス・ブリーサス層群となっており、それより上流には片麻岩 (gneiss) と塩基性火成岩 (granite) が存在している。

### 3. データと方法

#### 3.1 崩壊分布図

##### (1) IKONOS について

地球観測衛星 IKONOS は 1999 年 9 月 25 日に打ち上げられ、パンクロマチック (0.45~0.90  $\mu\text{m}$ ), 青 (0.45~0.52  $\mu\text{m}$ ), 緑 (0.52~0.60  $\mu\text{m}$ ), 赤 (0.63~0.69  $\mu\text{m}$ ) および近赤外 (0.76~0.90  $\mu\text{m}$ ) のセンサーを積んでいる。地上分解能はパンクロマチックで約 1 m, マルチスペクトルは約 4 m である。従来の高分解能衛星画像 (たとえば IRS, ADEOS, SPOT など) の地上分解能はパンクロマチックで数 m~10 m である。それらに比べ IKONOS の地上分解能は大幅に向上しているため、かなり小さな地物でも判読が可能と考えられる。大塚ほか (2001) は IKONOS を利用して北海道の馬鈴薯圃場において、同一区画内での作物生育の不均一性を把握しており、崩壊地の判読にも十分に利用可能な精度 (地上分解能) を持っていることがわかる。今回用いた IKONOS 画像は、サイズが大きいため、対象地域全体の画像を掲載することは不可能と考え、Fig. 4 および Fig. 5 にその一部を示す。Fig. 4 の a は現地調査の際、ヘリコプターから撮影された崩壊地周辺の斜め空中写真であり、b は同じ崩壊地周辺の IKONOS 画像である。この図からも IKONOS 画像は崩壊地の判読に十分な地上分解能を持っていることがわかる。

##### (2) 崩壊地判読

今回、崩壊分布図作成にはパンクロマチック画像を用いた。撮影時 (2000 年 4 月 29 日, 5 月 29 日) の雲の影響などにより、IKONOS 画像のステレオペアから精度のよい DEM が得られなかったため、太陽光と地形との関係でできる影を取り除くことは出来なかった。また、マルチスペクトル画像のように NDVI などを用いて自動的に崩壊地

を抽出することはできなかったため、目視による判読を行った。判読に使用した画像は、画像処理ソフト画像処理ソフト (Adobe Photoshop) をもちいて、明るさやコントラスト等を補正した後、見えにくい部分は個別に PC の画面上でさらにコントラスト等を変化させて、森林 (植生部分) と区別した。また、雲に隠れて見えない部分は 2 枚の画像 (2000 年 4 月, 同 5 月撮影のもの) で互いに補完したため、ほとんど存在しなかった。

文献等を調査した結果、この地域では豪雨による大規模な災害は 1950 年代以降起きた記録は見つからず、また山地は 2000 年 3 月の現地調査によって森林に覆われていることが確認されたこと、調査中に撮影された斜め空中写真と IKONOS 画像との対応から判断して、山地における裸地は基本的に崩壊地と見なした。ただし、河床の裸地やガリーなど明らかに崩壊地とは異なるところは除いた。

Fig. 5 は今回用いた地上分解能 1 m の IKONOS 画像 (画像 B) と、SPOT HRV-P の画像に相当する分解能 (10 m) の画像 (画像 C) および LANDSAT TM と同等の分解能 (30 m) の画像 (画像 D) とを比較したものである。画像 C, D は画像 B を画像処理ソフト (Adobe Photoshop) を用いて解像度を下げたものであり、他の解析には用いられなかった。この図からわかるように、これまでの衛星画像からは判読が難しかった崩壊地が、IKONOS 画像からは明瞭に判読できることがわかる。本研究では、IKONOS 画像を PC の画面上で 1:5,000~1:2,500 の縮尺で表示し、目視による判読を行った。この縮尺で判読可能な最小の崩壊地の大きさは、面積でおおよそ 100 $\text{m}^2$  (長さ、幅それぞれ 10 m 以上) であった。この値 (100  $\text{m}^2$ ) は、1 m 分解能にしては大きいと感じられるが、高分解能であるために、崩壊地と植生部分の両方を含むようなあいまいなセルを含まないように、目視判読を行う際の限界値であると考えられる。

#### 3.2 C-BATM による地形解析

GIS で地形解析を行う場合、地形データとして

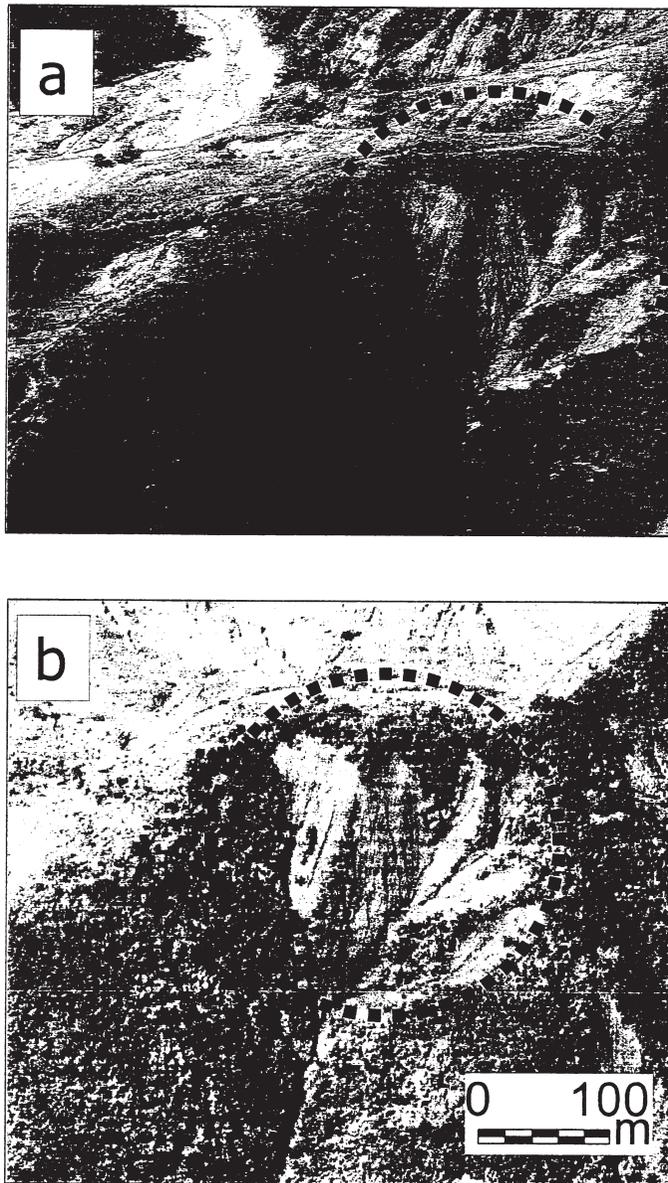


Fig. 4 The oblique aerial photo of landslides (a; March 14, 2000) and the IKONOS image (b; April 29, 2000) (The photograph was taken in the direction from north to south)

グリッド型DEMを用いることが多い。ところが、グリッド型DEMの場合、尾根や谷など地形の境界を含むセルの意味は不明瞭であることが指摘されている(水越・安仁屋, 2000)。そこで、本研究ではそのような問題が少ない、ベクター型DEM

を用いたC-BATM: Contour-Based Automatic Terrain Mapping(水越・安仁屋, 2000; Mizukoshi and Aniya, 2002)による斜面型分類法を採用し、崩壊箇所との対応を示すことにする。

C-BATMでは、ベクター型DEM, すなわち数

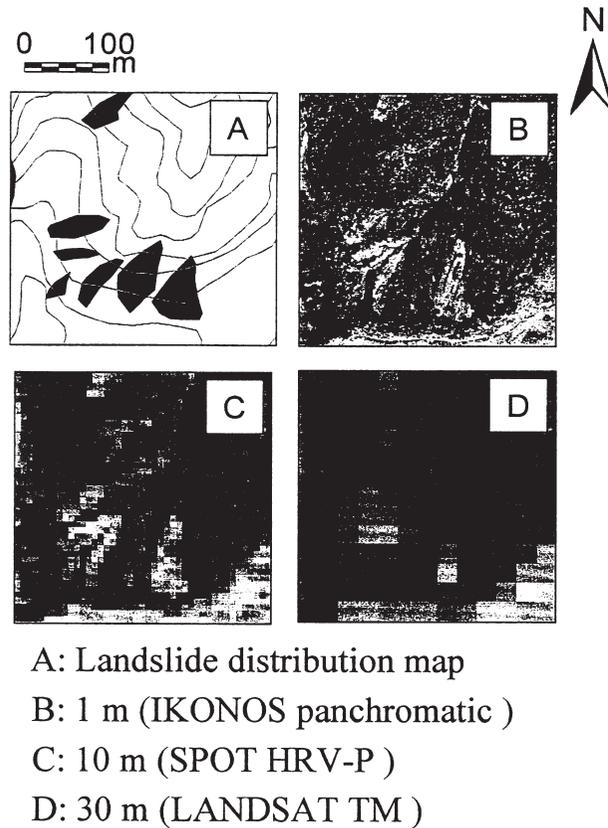


Fig. 5 Comparison of the landslide interpretation possibility among the satellite images with different spatial resolution

値化された等高線を用い、水平断面形はその等高線をもとに分類され、斜面方位は等高線から発生させた落水線（斜面の最大傾斜方向へ伸びる線分）の方向によって表される。この方法はこれまで手作業で行われてきた斜面型分類の定義に忠実であるだけでなく、結果をもとの等高線と同時に表示することもできるため、誤分類を見つけやすいという利点がある。本研究では、分類された等高線、落水線の長さを計測し、属性ごとの等高線、落水線の総延長から、崩壊と地形との関係を調べた。

地形データとして、Ministry of Atmosphere and Renewable Natural Resources (1979) の 1:25,000 地形図「LOS CHORROS」, 「CURUPAO」,

「EL CARIBE」, 「NAIGUATA」(等高線間隔 20 m) を使用した。これらの地形図の等高線を数値化し、C-BATM に対応するデータ形式 (Coverage 形式) に変換したのち、斜面型の分類を行った。

## 4. 結果

### 4.1 崩壊分布特性

崩壊分布図を Fig. 6 に示す。地質ごとの崩壊地の特徴をまとめると Table 1 のようになる。山地の稜線付近に分布する花崗岩地域では、今回の豪雨による崩壊が少なかったことが、崩壊面積比、崩壊頻度からわかる。片麻岩、片岩の地域では面

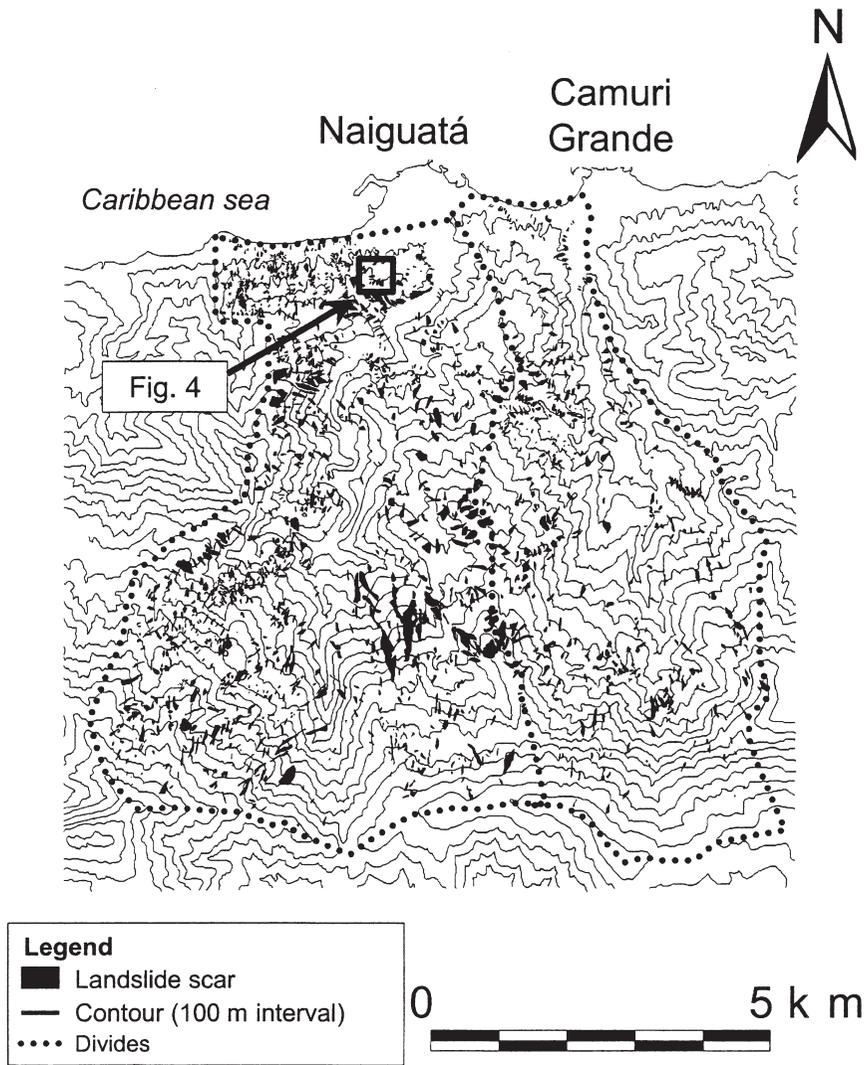


Fig. 6 Landslide distribution map

Table 1 Characteristics of landslides with different geology

Geology	Area (km <sup>2</sup> )	Total area of landslides (km <sup>2</sup> )	Area ratio (%)	Number of landslides	Landslide frequency (No./km <sup>2</sup> )	Average slope angle of landslides (°)	Average area of landslide (m <sup>2</sup> )
	(A)	(B)	(B/A)	(C)	(C/A)		(B/C)
Granite	5.6	0.24	4.3	94	16.7	30.4	2,570
Gneiss	28.5	2.23	7.9	625	22.0	34.9	3,580
Schist	17.2	1.59	9.2	503	29.2	35.8	3,160
Phyllite	7.6	0.59	7.7	399	52.5	30.2	1,470
<b>Total/ Average</b>	<b>58.9</b>	<b>4.65</b>	<b>7.9</b>	<b>1,621</b>	<b>27.5</b>	<b>34.5</b>	<b>2,870</b>

積比、頻度ともに大きいものに対し、千枚岩地域では面積比の割に頻度が大きい。崩壊箇所の平均傾斜の値は、C-BATM で求められた値を算術平均したものであり、崩壊の規模とは一致せず、崩壊地内部において数ヶ所～数10ヶ所で傾斜の計測を行い、平均化することに相当する処理を行ったことになる。t検定を行った結果、花崗岩地域の平均傾斜と千枚岩地域の平均傾斜には有意な差がみられなかったが、片麻岩、片岩地域の平均傾斜に対しては1%水準で有意な差がみられた。また、片麻岩、片岩、千枚岩地域の平均傾斜は互いに1%水準で有意な差がみられた。

Fig. 7 は横軸にひとつあたりの崩壊の面積を、縦軸には相対頻度をとった図であり、花崗岩や片麻岩、片岩地域における崩壊が1,000 m<sup>2</sup>以上の比較的規模の大きなものであったのに対し、千枚岩地域の崩壊にはより小規模なものが多かったことを示している。ただし、片岩に関しては、崩壊地判読の際に滑落崖の異なる複数の崩壊地が複合して1つの崩壊地に見える場合も多かった。そのため、滑落崖の異なるものをひとつひとつの崩壊とみなせば、片岩地域には小規模な崩壊地の割合が多くなり、片麻岩と千枚岩との中間的な頻度分布を示すと考えられる。このように、崩壊の特徴

は地質によって異なることが明らかとなった。

## 4.2 崩壊と地形

C-BATM で分類される単位である一本のラインデータをひとつの斜面と定義すると、地質ごとに崩壊と斜面の水平断面形や斜面方位との関係は Fig. 8, 9 のようになる。水平断面形では、千枚岩地域では尾根型 (divergent) と谷型 (convergent) の斜面に崩壊が多く発生したが、ほかのすべての地質においては、尾根型の斜面に最も多く崩壊が多く発生した。

また、片岩地域では、東向きの斜面に崩壊が多かったが、それ以外の地質では、おもに北ないしは北東向きの斜面に崩壊が集中した。

## 5. 考察

### 5.1 崩壊分布特性

過去の報告 (Chigira, 2001; Onda and Shibayama, 2001など) から、下流の千枚岩地域でいわゆる表層崩壊が発生し、それより上流の片岩、片麻岩地域では岩盤すべりが発生したことが明らかになっている。Table 1 や Fig. 7 では千枚岩地域の崩壊は他の地質に比べ小規模であることを示したが、そのような違いは崩壊の種類 (表層

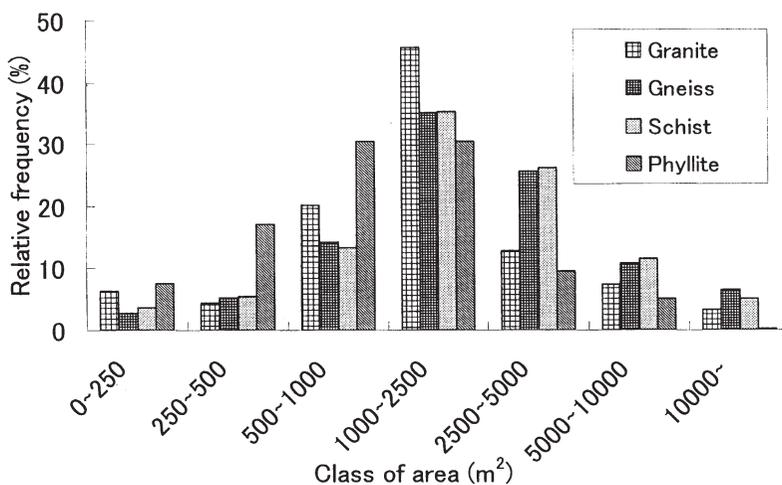


Fig. 7 The classification of landslide area among underlying geology

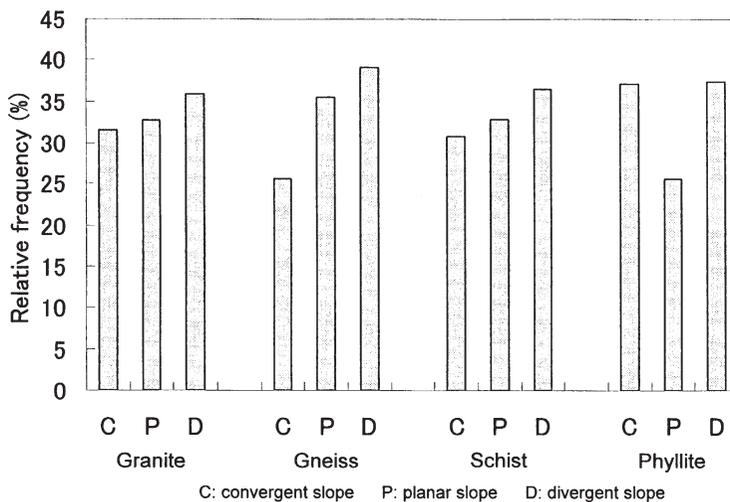


Fig. 8 Distribution of slope plan form of landslides

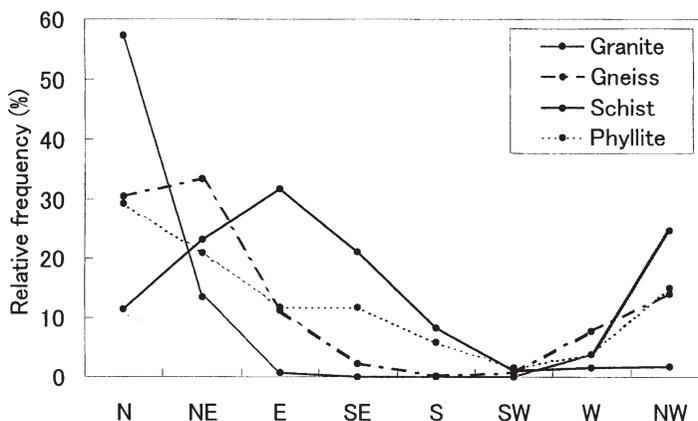


Fig. 9 Distribution of slope aspect of landslides

崩壊／岩盤すべり)による違いを示していると考えられる。また、花崗岩地域で崩壊が少なかったのは、山地の稜線付近であり、全体的に斜面勾配の緩いところが多かったためと考えられる。

次に、崩壊の発生しやすい斜面の条件を考えるために、崩壊率：failure rate (Aniya, 1985; 以下,  $FR$ ) を求めた。崩壊の解析には、 $FR$  のほか

に、数量化解析が用いられることもある (Dhakal *et al.*, 2000) が、本研究で用いたデータでは、属性間の相関が低いことと数量化解析を適用できないデータ構造であることなどから、 $FR$  解析が妥当と考えた。 $FR$  はたとえば、斜面全体の尾根型斜面の割合 (相対頻度： $R_p$ ) と、崩壊地内に占める尾根型斜面の相対頻度： $R_{pd}$  との比をとったも

ので；

$$FR_p = \frac{R_{pd}}{R_p}$$

で表される。花崗岩, 2,673；片麻岩, 26,981；片岩, 17,008；千枚岩, 4,889 のデータをもとに計算した  $FR$  を Fig. 10 (水平断面型), Fig. 11 (斜面方位) に示す。具体的には, たとえば花崗岩の尾根型斜面における  $FR$  は  $R_{pd}$  に (崩壊地に含まれ

る尾根型と分類されたラインデータの総延長／崩壊地に含まれるラインデータの総延長) を,  $R_p$  に (斜面全体における尾根型と分類されたラインデータの総延長／斜面全体のラインデータの総延長) を代入して求めている。

$FR$  解析では  $FR$  が 1 を上回るか下回るかで, 崩壊の起こりやすさを判断するため, 片麻岩地域の崩壊 (Fig. 10) は, 斜面型にほとんど影響を受けず, 片岩の地域では尾根型斜面には崩壊が発生

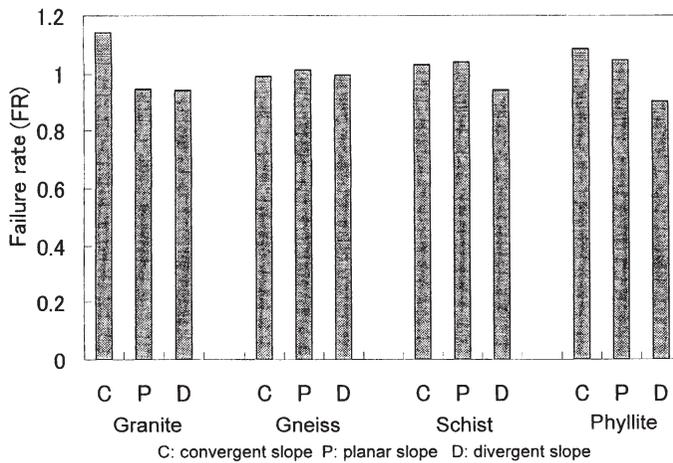


Fig. 10 The failure rate for various slope plan forms among underlying geology

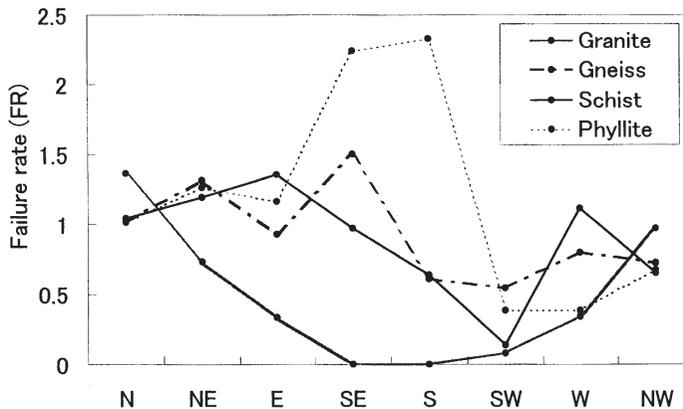


Fig. 11 The failure rate for various slope aspects among underlying geology

しにくかったと判定される。また、千枚岩や花崗岩で谷型斜面が崩壊しやすかったこと解釈できる。斜面方位で見ると、花崗岩地域では Fig. 9 の頻度分布とほぼ同じく、北を中心として崩壊が起きやすかったが、片麻岩や千枚岩の地域では北や北東向き斜面のほか、南東や南向きの斜面で  $FR > 1$  となった。片岩地域では、東向きと西向きの斜面が  $FR > 1$  となった。これらの方向は、片理の走向方向にほぼ一致しており、変成岩の岩盤すべりは地表面の形態よりも、基盤岩内部の片理や節理といった弱面に影響を受けるということを示唆していると考えられる。また、水平断面形と併せて考えると、花崗岩地域では表層崩壊が多く発生した可能性も考えられる。

## 5.2 砂防研究への IKONOS の利用可能性

本研究の対象地域では、災害後の空中写真が手に入らず、現地調査も部分的であったが、IKONOS 画像は、1:10,000 の空中写真程度の地上分解能を持っており、表層崩壊や土石流の流下跡などがはっきりと判読できることが知られており(清水ほか, 2001)、今回用いた IKONOS パンクロマチック画像でも、面積でおおよそ 100 m<sup>2</sup> 以上(長さ、幅それぞれ 10 m 以上)の崩壊地であれば、ほぼ判読可能であった。また、河邑ほか(2000)は、赤外域の衛星画像(SPOT HRV XS, LANDSAT TM など)とウェーブレット変換(Yocky, 1996)を用いて崩壊地を自動検出すると、2 画素(400 m<sup>2</sup>~900 m<sup>2</sup>)以上の崩壊地をほぼ 100%の精度で検出可能としており、この手法を IKONOS のマルチスペクトル画像(地上分解能: 4 m)に適用すれば、2 画素(約 32 m<sup>2</sup>)以上の崩壊地を自動的に検出できる可能性があるため、今後、迅速に災害の状況を詳細に捉えることが可能になる。ただし、本研究では SPOT などの画像は得られなかったため、この手法を用いた検討は行わなかった。

今後、他の地域でも同様の解析を行うことにより、崩壊の発生しやすい地形、地質条件が明らかになれば、ハザードマップ等の形で、地域住民に対して適切な防災情報の提供ができると考えられ

る。

## 6. まとめ

本研究では、崩壊地判読における高分解能衛星 IKONOS 画像の利用法について、1999 年 12 月にベネズエラで発生した豪雨災害を例に、検討を行った。また、豪雨により発生した崩壊がどのような地形・地質要因に支配されるかという点について考察した。

本研究の対象地域では、斜面の水平断面形で見ると、表層崩壊の起きた千枚岩地域では谷型に崩壊が多く、岩盤すべりの発生した片岩、片麻岩地域ではとくに斜面型による差異は見られなかった。すなわち;

- 変成岩類を地質とする地域では、表層崩壊は地表面の形状(水平断面形)に影響を受けるが、岩盤すべりは内部構造(片理、節理など)の異方性の影響を受ける可能性が示唆された。

また、IKONOS パンクロマチック画像(地上分解能約 1 m)に関しては;

- 小規模な地物(崩壊地)の判読が可能であり、空中写真を得ることの難しい国や地域などでも、詳細な地理情報を得ることができ、マルチスペクトルデータを用いれば、さらに高精度の崩壊地の自動抽出を行える可能性がある。

このように、今後、IKONOS データ(画像)が砂防、防災分野への研究・調査に利用できる可能性が示された。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、科学研究費(No.11800020)の補助を受けた。京都大学防災研究所高橋保教授、中川一教授および千木良雅弘教授には IKONOS データ、地質図等の貴重な資料を提供していただいたことをここに記して感謝する。

## 参考文献

- 1) Aniya, M.: Landslide-susceptibility mapping in the Amahata river basin, Japan, *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 75,

- No. 1, pp. 102-114, 1985.
- 2) Dhakal, A.S., T. Amada, and M. Aniya: Application of aerial photographs and GIS to slope instability analysis and reliability of hazard maps, *Journal of the Japan Remote Sensing Society*, Vol.20, No.2, pp.3-16, 2000.
  - 3) 戎 信宏・村瀬 悠・丸谷知己：衛星データとGISを用いた崩壊地の判読に関する研究－市房山崩壊地群を例として－, *砂防学会誌*, Vol. 53, No. 1, pp. 3-9, 2000.
  - 4) 河邑 眞・辻野和彦・辻子裕二：複数のセンサーによる衛星データを用いた斜面崩壊検出手法, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 39, No. 6, pp. 13-21, 2000.
  - 5) Dhakal, A.S., T. Amada, M. Aniya and R.R. Sharma: Detection of areas associated with flood and erosion caused by a heavy rainfall using multitemporal Landsat TM data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 68, No. 3, pp. 233-239, 2002.
  - 6) Larsen, M.C., G.F. Wiezorek, L.S. Eaton and H. Torres-Sierra: Natural hazards on alluvial fans: the debris flow and flash flood disaster of December 1999, Vargas state, Venezuela, *Proceedings of Sixth Caribbean Islands Water Resources Congress*, Feb. pp. 21-23, Mayagüez, Puerto Rico, 2001.
  - 7) Wiczorek, G.F., M.C. Larsen, L.S. Eaton, B.A. Morgan and J.L. Blair: Debris-flow and flooding hazards caused by the December 1999 storm in coastal Venezuela, U.S. Geological Survey Open File Report 01-144, 40 p, 2001.
  - 8) Ishikawa, Y.: Flood-deposition characteristics of debris flows and runoff sediment volume on coastal alluvial fans (Debris flow disasters in the Province of Vargas, Republic of Venezuela in 1999), *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, Vol. 54, No. 3, pp. 23-31, 2001.
  - 9) CEPAL: Los Efectos Socioeconómicos de las Inundaciones y Deslizamientos en Venezuela en 1999, Del Proyecto VEN/00/008/A/08/52, CEPAL, 98 p, 2000. (in Spanish)
  - 10) Minesirterio de Minas e Hidrocarburos of Venezuela: Mapa geologico de la region Colonia Tavor-Guatire, 1969.
  - 11) 鈴木 崇・池田暁彦・森田真一：砂防分野への高分解能衛星の活用, *砂防学会誌*, Vol. 53, No. 2, pp. 76-79, 2000.
  - 12) 水越博子・安仁屋政武：数値等高線データを用いた斜面型の自動分類, *地形*, Vol. 21, No. 3, pp. 307-328, 2000.
  - 13) Mizukoshi, H. and M. Aniya: Use of contour-based DEMs for deriving and mapping topographic attributes, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 68, No. 1, pp. 83-93, 2002.
  - 14) Chigira, M.: 1999 landslide disasters in Venezuela, Research report of natural disasters, supported by the Japanese Ministry of Education, Science, Sports and Culture (Grant No.11800020), pp. 7-15, 2001.
  - 15) Onda, Y. and T. Shibayama: Rainfall and landslide distribution on Naiguata river and Camuri Grande on the 1999 disaster in Venezuela, Research report of natural disasters, supported by the Japanese Ministry of Education, Science, Sports and Culture (Grant No.11800020), pp. 1-6, 2001.
  - 16) 清水孝一・青山浩志・山越隆雄・仲野公章：IKONOS 画像の土砂災害調査への適用性の検討, *土木技術資料*, Vol. 43, No. 8, pp.38-43, 2001.
  - 17) Yocky, D.A.: Multi-resolution wavelet decomposition image merger of LANDSAT Thematic Mapper and SPOT Panchromatic data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 62, No. 9, pp. 1067-1074, 1996.

(投稿受理：平成14年5月13日)

訂正稿受理：平成15年3月5日)