

2003年7月集中豪雨による  
肥薩地域土砂災害の調査研究

2004年3月

鹿児島大学自然災害研究会

# もくじ

はじめに	
岩松 暉 .....	1
平成 15 年 7 月 20 日菱刈町の大雨の特徴	
海老原 智 .....	5
2003 年 7 月 20 日に菱刈町前目で発生した斜面災害の地形・地質学的研究	
井村隆介・岩松 暉・上野宏共 .....	9
菱刈鉦山周辺の斜面崩壊地の熱水変質について	
石井正博・麻草 憲・高橋信一 .....	17
斜面崩壊とその対策	
下川 悦郎・地頭菌 隆・寺本 行芳・北村 良介 .....	29
リモートセンシングによる二次災害地抽出の可能性	
石黒 悦爾・東郷 雄喜・石川 大太郎・黒岩 昇平・吉本 晋一郎・ 肥山 浩樹・灘波 博章・岡川 正臣 .....	37
2003 年 7 月 20 日肥薩集中豪雨による農地及び農業用施設の被害	
平 瑞樹・長 勝史・肥山浩樹 .....	43
水俣市宝川内集地区土石流により埋没した農地復旧方法について	
平 瑞樹・長 勝史・肥山浩樹・米村典洋 .....	47
平成 15 年 7 月 20 日菱刈町災害の被害概要	
鹿児島県伊佐郡菱刈町総務課 .....	51



## はじめに

鹿児島大学自然災害研究会 岩松 暉

日本列島は現在もプレートが沈み込んでいる若い変動帯に位置し、その上北西太平洋季節風帯にも当たっているから、わが国は自然災害を受けやすい国土である。中でも九州は活火山が多数分布して火山性堆積物も多く、かつ、台風銀座で梅雨前線の停滞しやすいところである。まさに災害アイランドといつてよい。しかも鹿児島県は九州・沖縄8県の中で一番自然災害の多いいわば災害常襲県である。ほぼ10年弱に1回は人命の犠牲を伴うような大災害に見舞われ、平均すると毎年500億円を越す物的被害を出している(図-1)。災害種別に見ると、大部分が梅雨末期の集中豪雨や台風による土砂災害である。

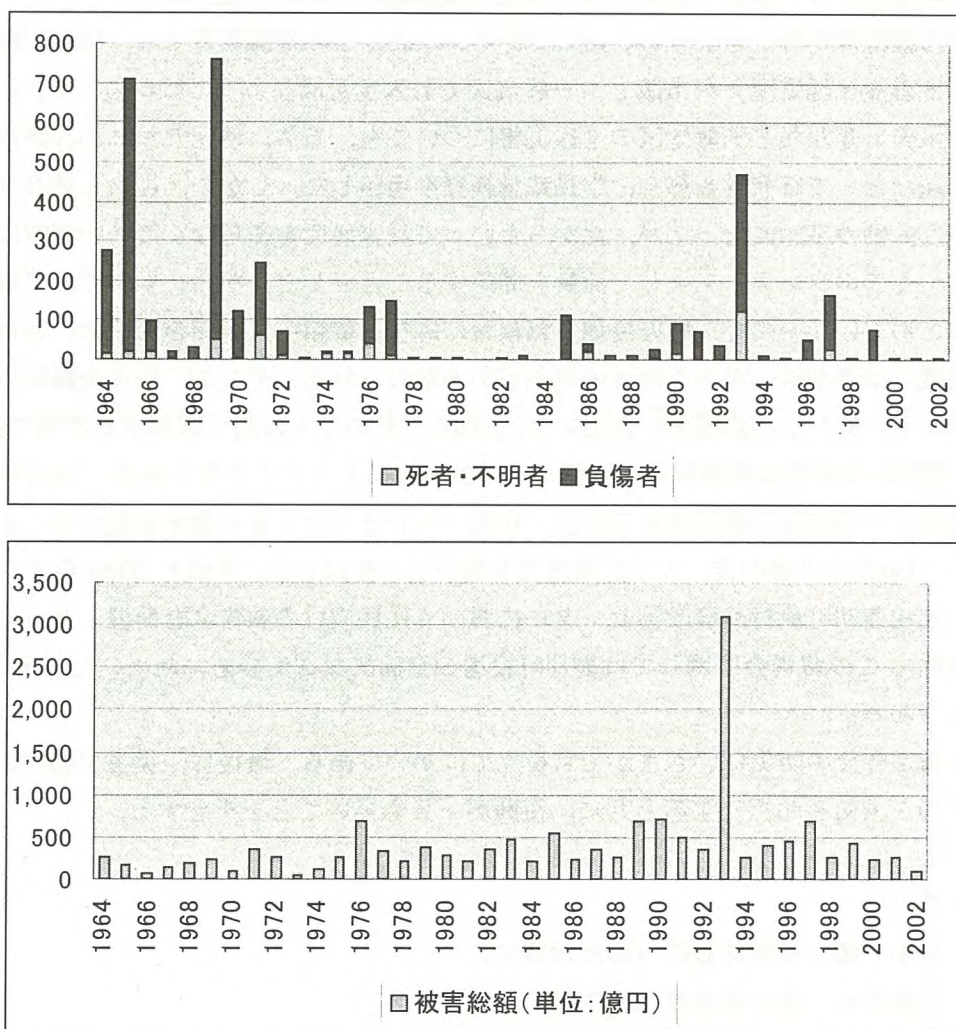


図-1 鹿児島県被害統計 (2002年は未確定数値)

わが鹿児島大学はこうした災害常襲県に立地する地方大学として、防災の研究に積極的に取り組み地域社会に貢献することは当然の責務と考える。そこで、創立以来、学部の壁を越えて災害研究に取り組んできた。その中心的役割を果たしたのが、文部省（当時）の自然災害科学総合研究班鹿大版であった。県内で発生した災害について、全国的な位置づけでも大きな災害については突発災害の文部省科学研究費補助金、中小規模の災害については教育研究学内特別経費など学長裁量経費により研究を行ってきた。鹿児島県や外郭団体の支援を得て行ったこともある。また、その学問的成果は、実地に役立ててもらおうべく、必ず調査研究成果報告書として刊行し、行政やマスメディア・住民に配布してきた。近年の報告書リストは末尾に列挙してある。

伊勢湾台風以来、特定研究・特別研究・重点領域研究等々と名称を変えて連綿と存続してきた総合班も改組される事態になったことに伴い、鹿児島県北西部地震を契機に、鹿児島大学自然災害研究会として自主的に行動することが申し合わされた。風水害か地震災害かなど災害種別により参加する専門家の構成は当然変化するが、鹿児島大学のグループとして活動の継続性を持たせようとしたのである。なお、この地震災害では、「1997 鹿児島県北西部地震震災地質図」を市販し、一般市民でも入手可能なようにはならなかった。

今回の水俣・菱刈など肥薩地区の土砂災害についても、当然、地元のわれわれが取り組むべき課題だとして研究者を募り、学長裁量経費を申請した。しかし、従来と異なり、不採択という異例の事態になったが、だからといって災害研究をやらなくてよい理由にはならない。全くのボランティアとして活動を開始することとした。なお、本学には気象の専門家がほとんどいないので、鹿児島地方気象台に応援を依頼し、快諾を受けた。さらに、菱刈の現地には菱刈鉦山があり地質の専門家が多数おられる。そこで、住友金属鉦山および住鉦コンサルタントの応援をいただいた。これら学外の方々に篤く感謝する次第である。

なお、学問的な研究成果報告書の刊行だけでは防災にとって不十分である。「自分の命は自分で守る」のが防災の鉄則である以上、住民一人ひとりに災害知識を普及することが欠かせない。1986年災害の後、大学公開講座を開いたのをはじめ、今回も2004年3月7日（日）に現地菱刈町農村環境改善センターにおいて住民向けの報告会を開催した（末尾新聞記事参照）。この報告会に関しては菱刈町役場の全面的なご支援をいただいた。篤く感謝する次第である。

本報告書が今後の防災にいささかでも役立てば幸いである。最後に、災害で犠牲になられた方々のご冥福をお祈りすると共に、復興が一日も早いことを祈念する。

#### 調査団メンバー

- 岩松 暉 理学部教授（応用地質学）
- 上野宏共 理学部教授（鉦床学）
- 井村隆介 理学部助教授（第四紀学）
- 下川悦郎 農学部教授（砂防工学）

- 地頭菌隆 農学部助教授（同上）
- 寺本行芳 農学部助手（同上）
- 長 勝史 農学部教授（農業土木工学）
- 肥山浩樹 農学部助教授（同上）
- 石黒悦爾 農学部助教授（同上）
- 平 瑞樹 農学部助手（同上）
- 北村良介 工学部教授（土木工学）
- 久留一郎 教育学部教授（臨床心理学）
- 海老原智 鹿児島地方気象台観測予報課長（気象学）
- 石井正博 住友金属鉱山(株)資源事業部菱刈鉱山探査課長（鉱床学）
- 麻草 憲 住友金属鉱山(株)資源事業部菱刈鉱山探査課主任（鉱床学）
- 高橋信一 住鉱コンサルタント(株)東日本支社仙台支店（応用地質学）

#### 近年の災害調査研究成果報告書

- 1986年梅雨末期集中豪雨による鹿児島市内のシラス災害に関する調査研究（研究代表者 鹿児島大学 露木利貞） 文部省科学研究費自然災害特別研究突発災害研究成果（課題番号61020038） 1987
- 平成5年8月豪雨による鹿児島災害の調査研究成果報告書（研究代表者 鹿児島大学 岩松 暉） 文部省科学研究費突発災害研究成果報告書（課題番号05306013） 1994
- 平成5年度教育研究学内特別経費「1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究」報告書（研究代表者 鹿児島大学 下川悦郎） 1993年豪雨災害鹿児島大学調査研究会 1994
- 「1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究」報告書 第2集（研究代表者 鹿児島大学 下川悦郎） 1993年豪雨災害鹿児島大学調査研究会 1995
- 平成9年度教育研究学内特別経費「1997鹿児島県北西部地震の総合的調査研究」報告書（研究代表者 鹿児島大学 岩松 暉）付「1997鹿児島県北西部地震震災地質図」 鹿児島大学自然災害研究会 1998
- 1997 鹿児島県北西部地震被害調査研究報告書（研究代表者 鹿児島大学 吉原進） 鹿児島大学県北西部地震被害調査研究会 1998
- 1997年7月梅雨前線停滞に伴う西日本の豪雨災害に関する調査研究（研究代表者 鹿児島大学 下川悦郎） 平成9年度科学研究費補助金（基盤研究(C)(1)）研究成果報告書（課題番号09600003） 1998

# 「山・川観察 平時から」

鹿大自然災害研究会

## 菱刈で03年豪雨調査報告

菱刈町前目で昨年七月に発生した豪雨災害について、調査研究を行ってきた鹿児島大学自然災害研究会は、同町農村環境改善センターで二〇〇三年菱刈町災害調査報告会を開き、斜面崩壊の特徴や対策などについて報告した。町内外の防災関係者ら約三百五十人が出席した。

同町前目の大山口集落では昨年七月二十日、豪雨による山崩れで二人の犠牲者を出すなど大きな被害を受けた。鹿児島大学理学部地球環境科学科の岩松暉教授らは、豪雨による斜面崩壊の仕組みや地質、地形、植生などを調査してきた。

七日の報告会では冒頭、犠牲者に黙とうがさされた後、鹿児島地方気象台観測予報課の海老原智課長が、大雨の特徴と防災気象情報の知識について報告。また五人の研究者が、菱刈町周辺の地質や、斜面崩壊とその対策、自然災害とのつき合い方など、分野ごとに報告を行った。

岩松教授は、地域防災力の向上のためには「地

質現象を社会現象としての災害にしないことが大切で、ハザードマップ(災

害危険個所分布図)やリスクマップ(被害予測図)の整備など事前の調査研

究が欠かせないと指摘。「住民は普段から裏山や川を見回り、平常の状態

を観察することが大事だ」などと述べた。



鹿児島大学自然災害研究会による災害報告会

## 平成15年7月20日菱刈町の大雨の特徴

鹿児島地方気象台 海老原 智

### 1. 概要

鹿児島県薩摩地方北部では平成15年7月20日未明から激しい雨が降り出し、雨の強い状態が昼過ぎまで続いた。伊佐郡菱刈町では日降水量555ミリ、8時までの1時間降水量80ミリの大雨となり、民家の裏山が崩れ2名の死者を出した。なお、一連の大雨により熊本県水俣市では大規模な土石流が発生し大きな被害を出している。

今回の大雨は「強い雨が狭い範囲にライン状に集中し継続時間が長かった」という特徴があり、その原因は薩摩地方北部の地形にあることが藤(2004)、馬場添(2004)により示された。

平成9年7月10日には出水市針原で土石流が発生し21名の死者を出している。これは甑島の地形の影響でその下流域に発生した降水ラインによるものであり、これが原因の大雨は数年毎に発現している(田代, 1999)。甑島の下流域に発生する降水ラインの形成過程等については中村他(2003)などで詳しく調査されている。今回の大雨についても、水俣市の大雨は同様に甑島下流域に発生した降水ラインによるものであったが、菱刈町の大雨についてはこれとは異なり、これまであまり着目されていなかった弁財天山の下流域に発生した降水ラインによるものであった。高橋(2004)はこれらの知見を基に「甑島と弁財天山の地形効果で発生するバンド状雲による薩摩地方北部の大雨」を概念モデルしてまとめた。

### 2. 降水の分布と菱刈町の降水状況

図1は7月20日の日降水量の分布である。データは気象庁のレーダー・アメダス解析雨量で2.5km格子毎に降水量を階級で示している。楕円はおよそ200mm以上の領域を示した。水俣市と菱刈町を中心とした2つの降水域があり、いずれも幅10km程度と非常に狭い幅でライン状に集中している。前者の降水域の延長線上には甑島が、後者の降水域の延長線上には弁財天山が位置している。



図1 7月20日の日降水量分布  
(レーダー・アメダス解析雨量)



図2は災害のあった菱刈町役場における7月20日の降水状況である。鹿児島県が設置している雨量計による1時間雨量の経過を示した。未明には雨が強まりだし、1時間に50mm前後の激しい雨の降る状況が2時から10時まで8時間も続いた。特に山崩れが発生する直前の8時には80mmと猛烈な雨を記録した。その後も夕方まで強い雨が降り続き、日降水量は555mmに達した。

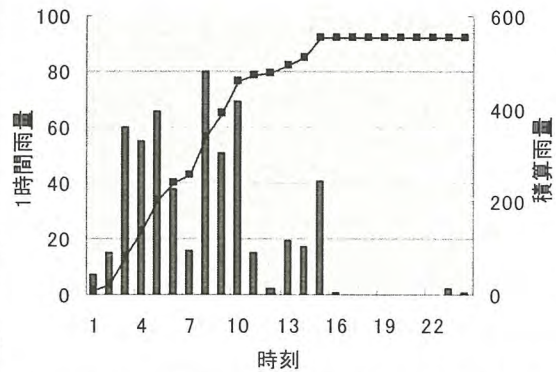


図2 菱刈町役場の1時間降水量の経過 (7月20日1-24時：県設置の雨量計)

### 3. 天気図と雲の状況

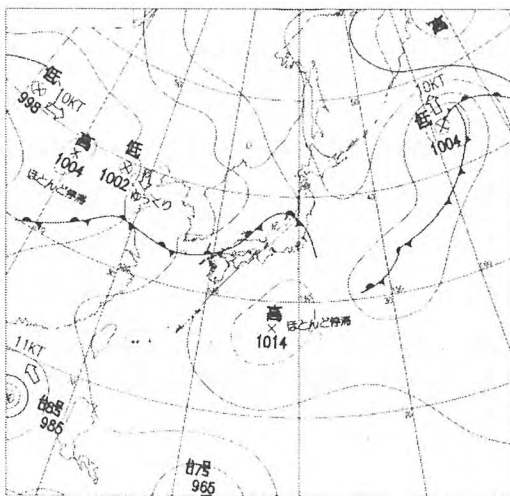


図3 7月20日9時の地上天気図

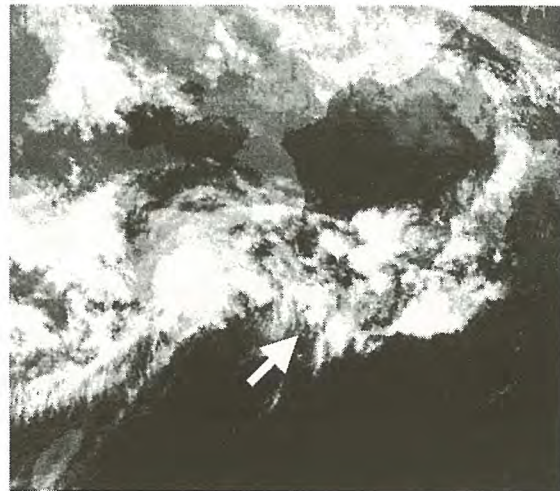


図4 7月20日8時の衛星画像(赤外)

図3は7月20日9時の地上天気図である。この大雨の期間中、梅雨前線は九州北部に停滞しており、鹿児島県付近は太平洋高気圧の周辺を回る湿った空気が流入する場が続いた。

図4は最も雨の激しかった8時の衛星画像である。中国大陸から日本列島沿いに東西に広がる雲は梅雨前線に対応している。九州南部には一際白く輝く積乱雲の塊があり(矢印)、これが菱刈町付近の大雨に対応している。

### 4. 高解像度数値予報モデルによる実験

今回、図1の降水量分布のように強い降水が非常に狭い範囲に集中した原因を調べるため、藤(2004)は実験用の高解像度数値予報モデルでシミュレーションを行った。実験は2kmの解像度で行った。ちなみに気象庁の現業数値予報モデルの解像度は一般予報用が20km、防災情報用で10kmである。高解像度モデルでも全ての時刻で実際どおりの大雨を再現できるわけではないが、図5に示した時刻には1時間に50mm以上の降水強度を持つ、

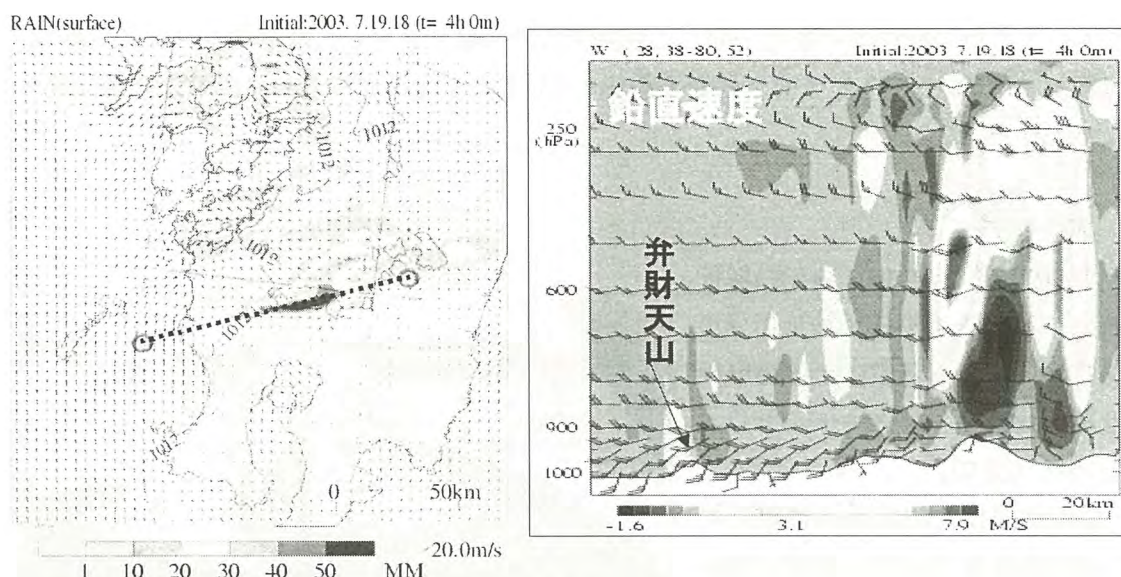


図5 実験用数値予報モデルによるシミュレーション。

20日03時を初期時刻とする4時間後(7時)の予想1時間雨量(左)と破線に沿った鉛直断面における上昇流(右)

実況に近い降水ラインが再現できた。図5左の降水ラインに沿った破線の鉛直断面図が図5右である。弁財天山を基点として上昇流と下降流がその高度と強さを増しながら下流に並んでいるのが分かる。別の実験では弁財天山を基点として下流に延びる渦度の分布が表現されている。また、馬場添(2004)の数値実験でも弁財天山の影響が確認されており、菱刈町付近に停滞した降水ラインは弁財天山に励起されたものであることが明らかにされた。それがライン状に長時間停滞し下流の菱刈町付近で最も強くなった原因は薩摩地方北部全体の地形や、北側の梅雨前線付近の広い降水域などいくつかの要因が影響していると見られ、今後の解明を待つ部分も多い。

### 5. 平成9年7月10日の出水市針原豪雨との対比

図6は平成9年7月10日に出水市針原で大規模な土石流が発生したときの24時間降水量である。データは5km格子の解析雨量である。濃淡が分かりにくい楕円で示した部分が最も降水量の多い地域である。甌島から延びる降水ラインが出水市付近で強度を増しており、これが針原の土石流につながった。これに比べると小規模だが南側にもライン状の強い降水域があり、最も強い部分は大口市付近で400mmを越えている。このときは針原で大きな災害が発生したため、南側の強雨は特に注目されな

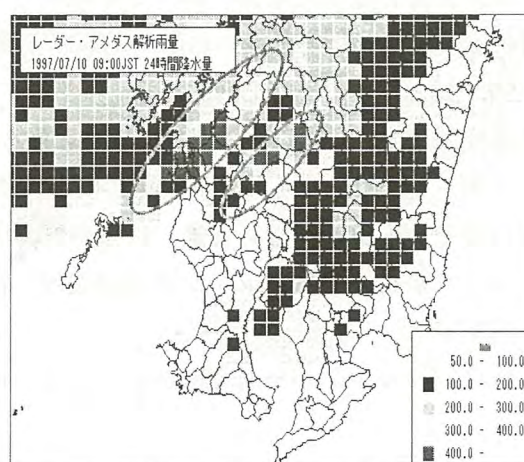


図6 24時間降水量(解析雨量)  
平成9年7月9日9時~10日9時

ったが、これは今回の菱刈豪雨と同じく弁財天山の影響で発生した降水ラインと見られる。針原豪雨では2つの降水ラインが菱刈豪雨に対してやや北に立っており大雨の発現位置が異なっていた。

## 6. 概念モデル

高橋（2004）は今回の事例の解析を基に、「甑島と弁財天山の地形効果で発生するバンド状雲による薩摩地方北部の大雨」を概念モデルとしてまとめた（図7）。

- ・ 梅雨前線は九州北部に停滞し九州中部以北では広い範囲で降水がある。
- ・ 400 hPa から 700 h Pa には乾燥した空気が入り、前線系の降水の蒸発による冷却で熊本県の地上に冷氣域ができる。
- ・ 薩摩半島北部の下層には太平洋高気圧周辺部を回る湿った南西風や南風が入る。
- ・ 甑島と弁財天山の影響で、それぞれを基点としたバンド状の雨雲が発生し下流域の阿久根～出水～水俣や、大口～菱刈などの地域で大雨となる。

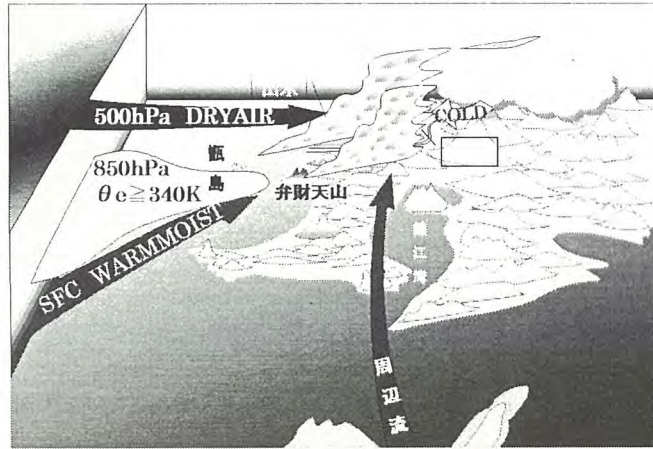


図7 甑島と弁財天山の地形効果で発生するバンド状雲による薩摩地方北部の大雨の概念モデル

## 参考文献

- 藤貴志, 2004: 平成15年7月20日の伊佐郡菱刈町付近を中心とした大雨の数値実験, 福岡管区気象研究会誌, 64, 286-287.
- 馬場添諭, 2004: 2003年7月20日の薩摩地方北部の豪雨(PC版NHMによる数値実験), 福岡管区気象研究会誌, 64, 284-285.
- 田代誠司, 1999: 薩摩地方北部の地形の影響を受けた大雨について, 福岡管区気象研究会誌, 59, 192-193.
- 高橋隆三, 2004: 甑島と弁財天山の地形効果で発生したバンド状雲による薩摩地方北部の大雨, 平成15年度全国予報技術検討会資料, 3-5
- 中村綾子, 上田博, 吉崎正憲, 田中恵信, 清水収司, X-BAIU-02 観測グループ, 2002: 降水セルからみた甑島ラインの形成過程, 名古屋大学地球水循環研究センター・気象学研究室のホームページ  
<http://www.rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/paperconf/pdf2003/03Aug28Report-Ayako.pdf>

# 2003年7月20日に菱刈町前目で発生した 斜面災害の地形・地質学的研究

鹿児島大学理学部 井村隆介・岩松 暉・上野宏共

## 1. はじめに

2003年7月20日朝、鹿児島県北部から熊本県南部の地域を豪雨が襲った。この豪雨によって、菱刈町前目の大山口では斜面崩壊が数箇所が発生し、2名の尊い命が奪われた。本報告では、今回被害があった地域の地形や地質の調査結果について紹介する。

## 2. 災害の概要

2003年7月20日未明、北部九州に停滞した梅雨前線に南から湿った風が吹き込み、南九州は厚い積乱雲に覆われ続けていた(図-1)<sup>1)</sup>。とりわけ、熊本県の水俣市と鹿児島県の菱刈町を中心とした地域では、地形的な効果から、狭い地域で時間雨量50mmを超える雨が降り続き<sup>2)</sup>、多数の被害を出すに至った。鹿児島県菱刈町前目の大山口地区では、7月20日08時15分ごろ民家の裏山で斜面崩壊が発生し、2名の方が亡くなった。水俣市の宝川内集地区および深川新屋敷地区では、7月20日04時過ぎに相次いで土石流が発生し、19名の命が奪われた。

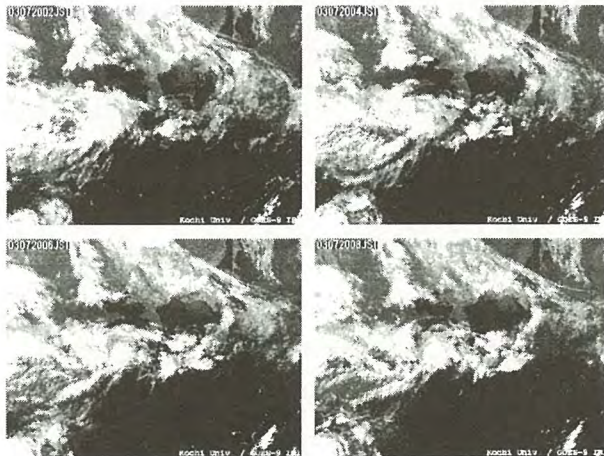


図-1 2003年7月20日02時～08時の  
水蒸気チャンネル画像<sup>1)</sup>

## 2. 菱刈町の被災地周辺の地形と地質

菱刈町で斜面崩壊が発生した前目大山口地区は菱刈町の東部に位置する。この地域は、標高400～300m程度の定高性を持った、肥薩火山岩類<sup>3)</sup>からなる丘陵が東北東から西南西方向に連なる地域である。その谷間にいくつかの谷底平野があり、大山口地区はそのうちの比較的広い谷底平野にある。大山口地区を含む谷底平野は、その南縁を流れる山田川によ

って作られたものと考えられる。この平地の西部には標高 250m 程度の定高性を持つ、いわゆるシラス台地が広がっており、山田川は平地西端で狭さく部を作っていて、この地域は他の谷底平野と異なり、盆地状の地形をなしているという特徴がある（図-2）。



図-2 菱刈町前目大  
山口地区を南南西上  
空から見る  
（国土地理院の数値  
情報を用いてカシミ  
ール 3D で作成）

今回の豪雨によって発生した斜面崩壊は、この谷底平野の周辺に集中している（図-3）が、比較的大きな崩壊は、323.5m の標高を持つ小山の山腹に集中していることがわかる。

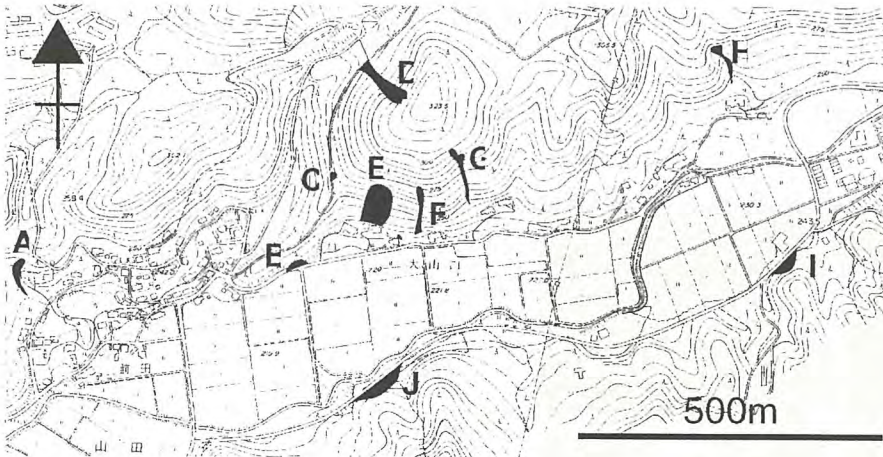


図-3 菱刈町前目  
大山口周辺におけ  
る斜面災害の分布  
（黒ヌリ部分）  
E は、2名の死者を  
出した斜面崩壊

図-3 に示したうち、B・C・I・J は道路法面部で発生した崩壊であるが、これほど集中して見られることは珍しいから、何らかの地学的条件が一致したために発生したものと推定される。それ以外の崩壊は自然斜面で発生したものであるが、いずれの斜面も傾斜はゆるく、おおむね 20~30° 程度であり、崩壊の最上部でも 30~35° 程度であった。

この地域の地質は、資源エネルギー庁、金属鉱業事業団、住友金属鉱山（株）などによって詳しい調査がなされており、図-4 は、それらの成果による地質図 4) の上に斜面崩壊の分布を示したものである。

この図-4 を見ると、図-3 の A の崩壊が加久藤溶結凝灰岩の分布地域で発生している他は、いわゆる肥薩火山岩類の分布域で発生していることが明らかである。また、多くの崩壊が

地質図上で地層の分布境界付近で発生していることがわかる。



図-4 菱刈町前目大山口周辺の地質<sup>4)</sup>と斜面崩壊分布

### 3. 崩壊地の地質

ここでは、2名の方が亡くなられた場所の斜面崩壊（図-3のE、写真-1）について詳しく見てみよう。

この崩壊の規模は、幅約30m、長さ約30m、深さ約4mであり、規模の割には崩壊深が大きい。総崩壊土砂量は、3000m<sup>3</sup>に達すると考えられている<sup>5)</sup>が、崩壊斜面の向かって右側部分には、多量の崩積土が残されていた。崩壊は、まず向かって左側で発生し、ついで右側が引きずられるようにして崩落するようにして起こったと考えられている<sup>5)</sup>。崩壊直後には、向かって左側の斜面から多量の湧水が認められた。

崩壊土砂は、流れながらやや右に向きを変え、民家を直撃した。民家の裏には土留めが施されていたが、崩土はそこを乗り越えるように流れ下ったらしい。崩壊土砂は流動性に富んでいたと考えられ、民家を押し流した後、下にある田に流れ込み、広く薄く広がった。

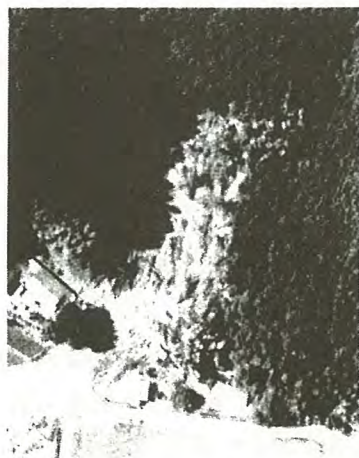


写真-1 崩壊現場の空中写真  
(2003年7月21日アジア航測撮影)

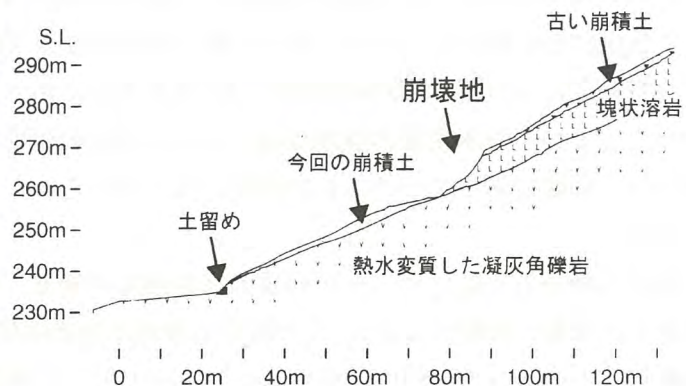


図-5 崩壊地の推定断面図

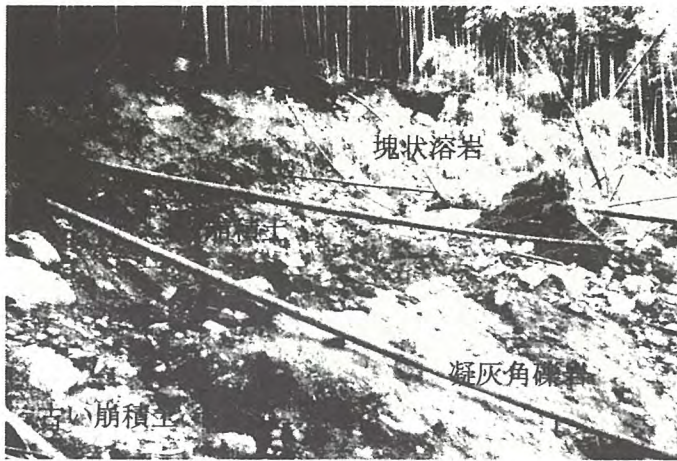


写真-2 崩壊地の地質

崩壊地には今回の崩壊に伴う崩積土のほか、古い崩壊堆積物、塊状溶岩と凝灰角礫岩が認められた（図-5、写真-2）。塊状溶岩と凝灰角礫岩の境界は明瞭でないが、おおよそ南に30°程度の傾斜を持っているものと考えられ、今回の崩壊は流れ盤で発生したといえる（図-5）。



写真-3 凝灰角礫岩中の石英脈

もっとも下位に見られる凝灰角礫岩は、菱刈下部安山岩類<sup>4)</sup>に属するもので、斜面の向かって左側に広く露出している。著しい熱水変質を受けており、一部には石英脈も認められた（写真-3）。石英脈の方向はほぼ北東-南西方向であり、菱刈鉱山の鉱脈と同じ方向性を持つ。上位ほど熱水変質の程度は弱くなるが風化の程度は強くなる。この凝灰角礫岩の表面には、崩壊に伴ってつけられた削痕が多く認められ、この面がすべり面であったことがわかる。

凝灰角礫岩の上位には、安山岩質の塊状溶岩が載る。風化が著しいために下位の凝灰角礫岩との境界は明瞭ではない。この溶岩も菱刈下部安山岩類<sup>4)</sup>に属するものと考えられる。崩壊斜面の向かって左側には赤色風化して粘土化した溶岩が露出している（写真-4）。この溶岩は著しく風化が進行しており、ハンマーのピックで容易に削ることができるほど脆くなっている。一方、向かって右側には、節理の発達した灰色の塊状溶岩が認められる（写

真-5)。この溶岩は一見新鮮そうに見えるが、節理に沿って風化が進行しており、一部は手で容易に崩せるほど脆くなっている。風化が進行している場所でも灰色の色調は残っている。赤色風化した溶岩と節理の発達した溶岩の境界は不明瞭であるが、節理の発達した溶岩の露出状態から判断すると、両者は1枚の溶岩ではなく、フローユニットの異なる2枚の溶岩である可能性が高い。



写真-4 赤色風化した安山岩質溶岩



写真-5 節理の発達した安山岩質溶岩

これらの岩石を古い崩積土が覆っている。崩壊斜面向かって左側中腹では、熱水変質した凝灰角礫岩を厚さ2m以上の古い崩積土が覆う。古い崩積土には、マトリックスのややしまったものと、そうでないものの、少なくとも2層が確認される。



写真-6 熱水変質した凝灰角礫岩を覆う古い崩積土

#### 4. 考察

崩壊斜面で観察された地層の分布状況や崩壊直後の湧水の状況から判断すると、今回、菱刈町前目で発生した斜面崩壊は、高い透水性を持つ節理の発達した塊状溶岩や古い崩壊堆積物と、その下に存在する透水性の低い風化した溶岩や熱水変質した凝灰角礫岩の水理的性質の違いによって発生したものと判断できる。すなわち、割れ目の発達した溶岩や古い崩壊堆積物の中を浸透してきた多量の雨水が、粘土化して透水性の低い溶岩や凝灰角礫岩の上部の間隙水圧を上昇させ、崩壊が発生したものと考えられる。



しかし、この付近には同様の地質条件を持つ地域が広く分布しており、「なぜ、この場所で大きな崩壊が発生したのか？」については、不明な点が残された。この崩壊地の上部には比較的傾斜の緩やかな斜面が広がっているが、そこから今回の崩壊地点に水を集中させるような地形は見つけれない。実際に、今回の崩壊地点以外にも崩壊直前であったと考えられる亀裂は、この周辺にたくさん認められ（写真-7）、もっとたくさんの場所で崩壊が発生してもおかしくない状況にあったといえる。今回はたまたま運が悪かっただけであろうか？崩壊前のこの地域の空中写真（写真-8）を見ても、今回の崩壊箇所を特定することは難しい。



写真-6 斜面中腹に見られたクラック 写真-7 林野庁によって1973年に撮影された空中写真

同じ日に水俣市宝川内集地区で土石流を発生させる原因となった大規模崩壊も肥薩火山岩類の分布域で発生したものであり、難透水性の地層の上に高透水性を持つ地層が分布するような地質構造のところでも発生したことが知られている<sup>6)</sup>。しかし、ここでも今回の崩壊地点を崩壊前の地形・地質情報から特定することは難しい。

これらのことは、肥薩火山岩類の分布地域において、崩壊地点の予測を地形や地質から行うことが、現在の状況ではきわめて難しいことを示している。鹿児島県の北部から熊本県の南西部にかけては、肥薩火山岩類が広く分布している。1997年7月に発生した出水市針原川での土石流災害も肥薩火山岩類の分布域で発生したものである。

以上のことから、肥薩火山岩の分布地域では、強い雨によって今回と同じように斜面災害が発生する可能性があることを示しており、これらの地域では、雨の降り方に十分注意し、早めに避難することが重要であるといえる。

## 謝辞

住友金属鉱山（株）には、地質に関しての多くの情報をいただいた。また、（株）日本地下技術、日本地研（株）には、ボーリングコアの観察、分析試料の採取について便宜を図

っていただいた。記して感謝いたします。

最後に、この災害でお亡くなりになられた方々に対して心からお悔やみ申し上げるとともに、被災地の一日も早い復興をお祈りします。

#### 参考文献

- 1)高知大学気象情報頁，気象衛星水蒸気チャンネル画像，<http://weather.is.kochi-u.ac.jp>，2003.
- 2)鹿児島地方気象台，災害時気象資料「平成15年7月29日から30日にかけての寒冷前線による薩摩・大隅地方の大雨」，2003.
- 3)山本 敬，肥薩火山区の火山地質学的並びに岩石学的研究，1960.
- 4)茨城謙三・鈴木良一，菱刈鉦山鉦床母岩の熱水変質について，鉦山地質，1990.
- 5)下川悦郎・地頭菌隆・寺本行芳，2003年7月20日大雨による鹿児島県菱刈町の斜面崩壊とその対策，自然災害研究協議会西部地区部会報，2004.
- 6)千木良雅弘・Sidle, Roy, C., 平成15年7月豪雨による水俣・菱刈地区の斜面崩壊発生メカニズム，自然災害研究協議会西部地区部会報，2004.



## 菱刈鉱山周辺の斜面崩壊地の熱水変質について

住友金属鉱山(株)資源事業部 菱刈鉱山探査課 石井正博・麻草 憲  
住鉱コンサルタント(株)仙台支店 高橋信一

### はじめに

菱刈鉱山は菱刈町大山口地区に位置する。菱刈鉱山は約100万年前の熱水活動により形成されたものと考えられている。この熱水活動は、含金石英脈とこれを胚胎する母岩に熱水変質をもたらした。

平成15年7月20日の豪雨災害により、大山口地区で斜面崩壊が数箇所が生じた。この崩壊の原因を探るため、斜面崩壊地の露出と同箇所で行った試錐より試料を採取し、X線回折試験による粘土鉱物等の構成鉱物の同定を実施した。この結果と既存地質調査結果に基づき、斜面崩壊地の熱水変質の特徴についてまとめ報告する。

### 1 地質鉱床の概要

#### 1.1 地質

菱刈鉱山は菱刈町東部・大山口地区に位置する。鉱山付近の地質は先新第三系の四万十累層群を基盤とし、これを不整合に覆う第四系の火山岩・火山砕屑岩類および沖積層からなる(図1)。

四万十累層群は頁岩・砂岩およびその互層からなる。鉱山周辺では露出しないが、これまでの試錐・坑道探鉱によって地表下100m(海拔120m)以深に伏在することが確かめられている。

この四万十累層群を不整合に覆って第四系の火山岩類が分布する。下位から上位へ菱刈下部安山岩類、黒園山石英安山岩類、菱刈中部安山岩類、獅子間野石英安山岩類および溶結凝灰岩類である。

菱刈下部安山岩類の上部は主として両輝石安山岩溶岩からなり、その下部では火山砕屑岩が卓越する。

黒園山石英安山岩類は黒雲母角閃石石英安山岩溶岩からなり、その分布は本鉱床北西部(前田地区)に限られている。

菱刈中部安山岩類は含カンラン石両輝石安山岩溶岩からなる。菱刈下部安山岩類を覆っており、獅子間野石英安山岩類に覆われている。その分布は鉱山の東部に限られる。

獅子間野石英安山岩類は本鉱床の南部に広く分布する。主として角閃石石英安山岩溶岩からなり、下底部に同質砕屑岩を伴う。

溶結凝灰岩とシラスは本地区西部の標高250m以下の低平地に分布する。

## 1.2 鉱床

菱刈鉱山の鉱床は浅熱水性含金銀石英氷長石脈で、本鉱床・山神鉱床・山田鉱床からなり、いくつかの単位脈から構成される鉱脈群および多数の細脈が分布する。本鉱床の主要な鉱脈群は瑞泉・芳泉・菱泉・大泉・錦泉の5脈群、山神鉱床は慶泉・祥泉脈群、山田鉱床は友泉・成泉脈群からなる。

主要な脈石鉱物は石英・氷長石・粘土鉱物である。粘土鉱物の90%以上はスメクタイトが占め、他に少量のセリサイト・緑泥石・カオリナイトを産する。主な金属鉱物はエレクトラム・黄鉄鉱・黄銅鉱・ナウマン鉱・濃紅銀鉱である。

K-Ar法による鉱脈の生成年代は1Ma(100万年前)前後に集中し、獅子間野石英安山岩類の活動時期にほぼ一致している。

## 1.3 変質

茨城・鈴木(1990)は、菱刈鉱山周辺の地表および試錐コアから採取した試料を用いてX線回折試験を実施し、地表および鉱床胚胎部において変質分帯を行っている。

変質鉱物の生成温度から、クリストバル石・石英の存否(約100°C)でI帯とII帯を区分し、混合層粘土鉱物の出現(約150°C)からIII帯、緑泥石またはセリサイトが連続して出現する部分(約220°C以上)をIV帯としている。この区分における変質分帯と鉱物組合せは以下の通りである(図2)。

I帯：クリストバル石帯(～100°C)

I a 帯：クリストバル石-スメクタイト帯

I b 帯：クリストバル石-ハロイサイト帯

II帯：石英-スメクタイト帯(100°C～150°C)

II a 帯：石英-スメクタイト帯

II b 帯：石英-カオリナイト帯

III帯：石英-混合層粘土鉱物帯(150°C～220°C)

IV帯：石英-緑泥石(またはセリサイト)帯(220°C以上)

図3に茨城・鈴木(1990)による地表の変質帯分布を示す。

本鉱床直上および東部の目倉沢下流にIII帯が分布する。このIII帯を中心にして外側に向かってII a 帯→I a 帯→非変質帯の累帯分布が認められる。III帯は山田川流域の低地に分布しており、削剥によって深部の変質相が現れたものと考えられる。

鉱床胚胎部での変質分布は、本鉱床付近では旧菱刈山田鉱山がIII帯に賦存するのを除いて鉱脈はすべてIV帯中に、山田鉱床付近では鉱脈はIII帯・IV帯の両方に賦存する。また、IV帯を中心に外側(上方)に向かってIII帯→II帯→I帯→非変質帯の累帯分布が認められる。

## 2 崩壊地の採取試料とX線回折試験

### 2.1 採取試料の概要

平成15年7月20日の集中豪雨によって、菱刈鉦山周辺では各所で斜面崩壊が発生した。特に、鉦山事務所前の町道（通称山際道路）南側斜面の北向の崩壊、および前田地区の崩壊は大規模なものであり、復旧工事のための調査試錐が実施された。

菱刈鉦山と住鉦コンサルタント(株)は、斜面崩壊と熱水変質の関係を調べるため、崩壊地内の露出から試料7個を採取し、調査試錐コア試料14個と合わせて計21試料でX線回折試験による鉦物の同定を実施した。なお、試錐コアは(株)日本地下技術および日本地研(株)から提供を受けた。試錐一覧を表1に、採取試料一覧を表2に示す。また、試料採取位置(含試錐)を図5に示す。

なお、本報告では、斜面崩壊地(試錐実施個所)を「前田東側」、「前田西側」、「山際道路」、「鉦山事務所前」と記す(図1)。

#### <前田東側>

崩壊地の先端露出の地質は風化変質を受けた石英安山岩である。前田地区における黒園山石英安山岩類の分布は図1で示されている範囲より東側へ広がっているものと考えられる。露出中央部(幅約12m)は灰褐色を呈し比較的新鮮であるが、その東西では褐色変色部が鉛直方向に分布(左右とも幅約10m)しており、石英安山岩中の割れ目に沿って風化変質が深部に達したのと考えられる。

崩壊地の外(上方)4箇所調査試錐が実施された。露出中央部の上方北側約10mで実施された試錐(BV-1;掘進長20m)では、孔底まで露出中央部と同様の石英安山岩を捉えている。BV-1の西側約20mの試錐(BV-4;掘進長13m)は孔底まで褐色の強風化石英安山岩であり、露出の観察結果と一致する。

崩壊地中段付近では、表層部が剥離・崩落した跡に灰褐色粘土化の石英安山岩が認められる。BV-1深度7m付近、およびBV-2(BV-1の上方北側約20m;掘進長10m)深度5.5m付近で、石英安山岩が粘土化した部分(厚さ20cm程度;灰褐色)を捉えている。BV-3(掘進長20m)はBV-1,2の東側約40m(地表に割れ目が認められた部分の下方南側約10m)の未崩壊箇所を実施され、褐色の強粘土化部分と暗灰色の比較的新鮮な石英安山岩が交互に繰り返しているのが認められる。

前田東側の露出の概観を図4に示す。

前田東側では、露出から3試料、試錐コアはBV-1から6試料、BV-4から1試料を採取した(表2)。

#### <前田西側>

露出は灰褐色の石英安山岩である。崩壊地の先端約5m上方北側で実施された調査試錐(3-1;掘進長14m)では、深度12m付近まで強く風化変質を受けており、上述のBV-4と同様に褐色に変色している。完全に粘土化した部分(孔長0.2~0.3m程度)

が数箇所挟在しているのが認められる。

前田西側では、試錐コア(3-1)から1試料を採取した(表2)。

#### <山際道路>

露出は強粘土化灰色～灰褐色の石英安山岩である。

調査試錐は、崩壊地内中央部(1-2;掘進長9m)、1-2の西側約20m(1-1;掘進長10m)、崩壊地上方南側約5m(1-3;掘進長17m)の3孔が実施された。1-1と1-2では孔底まで露出と同様に強粘土化しており、不明瞭であるが露出と同じ石英安山岩であると思われる。また、両孔の変質状況に大きな差は認められない。1-3では深度9～9.6m付近に比較的新鮮な暗灰色石英安山岩を捉えている。深度9m以浅、9.6m以深は1-1,2と同様に強く粘土化し、不明瞭ながら石英安山岩と思われる。

山際道路で観察される石英安山岩は山田川流域の南方に広く分布する獅子間野石英安山岩類と同様の岩相であった。山際道路付近では、獅子間野石英安山岩類は図-1で示される範囲より北側に伸びて分布している可能性がある。

山際道路では、露出から1試料、試錐(1-1)から2試料を採取した(表2)。

#### <鉦山事務所前>

崩壊地の先端付近の露出では強風化安山岩からなり、崩壊地中段の露出では白～灰白色に強く粘土化した安山岩からなる。

調査試錐は、崩壊地内中央部(2-2;掘進長17m)、崩壊地の上方南側約5m(2-1;掘進長12m)、2-2の西側約20m(2-3;掘進長13m)の3孔が実施された。2-1では孔底まで風化した淡褐灰色の安山岩を捉え、2-2では崩壊土砂の直下(深度5～16m)に灰白色の強粘土化安山岩、深度16m～孔底に暗灰色の珪化安山岩を捉えている。また、2-3では表層の風化安山岩の下部(深度9m以深)に比較的新鮮な暗灰色安山岩を捉え、この暗灰色安山岩には数条の石英細脈が認められた。2-2と2-3は孔口のレベルがほぼ同じで水平距離が20m程度しか離れていないにも関わらず、変質の状況が大きく異なることが確認された。

なお、この崩壊地は図1では火山碎屑岩と安山岩溶岩の境界付近に相当するが、露出および試錐コアで火山碎屑岩を確認することはできなかった。

鉦山事務所前では、露出から3試料、試錐コアは2-1,2-3から1試料ずつ、2-2から2試料を採取した(表2)。

## 2.2 X線回折試験の概要

採取した21試料を用いてX線回折試験を実施し、鉱物の同定を行った。

- ・ 試験先：住鉦コンサルタント(株)
- ・ 処理方法：バルク処理・水ひ処理・エチレングリコール処理・塩酸処理

試験結果を表3に示す。

### 3 大山口地区の変質

1.3 で述べたとおり、大山口地区では山田川流域を中心にⅢ帯→Ⅱ帯→Ⅰ帯→非変質部の累帯構造が認められている。今回のX線回折試験では、鉦山事務所前がⅢ帯、他の崩壊地がⅠ帯に区分され、茨城・鈴木（1990）の変質分帯と整合する結果であった。

#### <前田東側>

珪酸塩鉱物ではトリディマイトあるいはクリストバライトが、粘土鉱物ではスメクタイトがそれぞれ全試料で認められ、Ⅰ帯に区分した。

試錐コアの最浅部と崩壊地最上部の露出でハロイサイトが認められた。ハロイサイトと斜プチロル沸石の両方が認められる試料はなかった。BV-1では深度2~14mで針鉄鉱が同定され、それ以深では赤鉄鉱が確認された。崩壊地最上部の露出で針鉄鉱、その数m下部北側の露出では赤鉄鉱が確認された。針鉄鉱・赤鉄鉱の分布は露出と試錐で整合する。

#### <前田西側>

クリストバライト・スメクタイトが認められ、Ⅰ帯に区分した。

他に、斜長石・ホルンブレンドが認められた。

#### <山際道路>

露出・試錐コアともクリストバライト・トリディマイト・スメクタイトが認められ、Ⅰ帯に区分した。

露出でカリ長石、試錐で斜長石が認められた。1-1の深度9.8mの試料で斜プチロル石と赤鉄鉱が、露出試料でも赤鉄鉱が認められ、露出と試錐で同定鉱物に顕著な違いは認められなかった。

#### <鉦山事務所前>

石英・スメクタイトとともに緑泥石・スメクタイト混合層が認められ、Ⅲ帯に区分した。

スメクタイトは全試料で認められたが、試錐コア2-1の深度11.5mと2-2の深度7.6mでは石英・クリストバライト・トリディマイトとも認められなかった。また、試錐コア4試料とも濁沸石が認められたが、露出試料では確認されなかった。濁沸石は他の崩壊地でも確認されていない。他の崩壊地でみられなかった鉱物として、濁沸石以外に剥沸石や黄鉄鉱が認められた。

今回の調査では、前田東側・西側、山際道路では中性～アルカリ性のもとで生成するクリストバライトやスメクタイト、斜プチロル沸石などが認められた。また、鉦山事務所前では、中性～アルカリ性のもとで生成するスメクタイトや濁沸石が認められた。酸性の熱水変質作用の特徴であるハロイサイトは前田東側で認められたただけであったが、茨城・鈴



木(1990)では、酸性熱水変質作用の特徴であるハロイサイトやカオリンが山田川流域の東西に広く確認されている。

茨城・鈴木(1990)および今回の調査において、各試料で同定された主な鉱物を図5に示す。

#### 4 まとめと考察

前田東側・西側および山際道路の露出で石英安山岩の分布が確認された。鉱山事務所前の崩壊地露出で安山岩が観察された。崩壊地露出で観察される石英安山岩や安山岩は周辺の非崩壊部分にも分布している。したがって、岩種からは、今回の斜面崩壊が前田東側・西側、山際道路、鉱山事務所前で発生した理由(なぜここだったのか?)は不明である。

また、変質分帯では鉱山事務所前はⅢ帯、他の崩壊地はⅠ帯に区分され、変質鉱物の違いにかかわらず斜面崩壊が発生している。山田川流域では広い範囲で変質が認められており、崩壊部と非崩壊部で変質鉱物に顕著な違いは認められない。変質鉱物の観点からも、今回の斜面崩壊が前田東側・西側、山際道路、鉱山事務所前で発生した理由は不明である。

一般に、スメクタイトを主とする強粘土化変質は不透水層を形成する。岩石の割れ目から地下に浸透した地表水は、地表下の不透水層に達すると停滞・貯留して地下水となる。今回の集中豪雨のように多量の地表水が地下に浸透すると、地下水の貯水層が過飽和状態に達し、その強度の限界を超えて崩壊に至ることが斜面崩壊のメカニズムとして知られている。今回の調査では、規模や広がりには違いはあるものの4箇所の斜面崩壊地すべてでスメクタイトを主とする強粘土化変質を確認している。こうした強粘土化帯が斜面崩壊の一因になったと思われるが、このような粘土化帯は今回の崩壊地以外にも広く分布しており、事前に崩壊箇所を予想することは非常に困難である。むしろ、この地域全域が今回のような集中豪雨によって同様の災害をもたらす可能性を持った地域であると考えらるべきであろう。

#### 参考文献

- 茨城謙三・鈴木良一(1990)：菱刈鉱山鉱床母岩の熱水変質について、*鉱山地質*, 40(2), 97~106
- 浦島幸世・井澤英二(1982)：菱刈金鉱床の広域ボーリングにみられる熱水変質, *地下資源学協会合同秋季大会分科資料*, G13~16
- Izawa, E., Urashima, Y., Ibaraki, K., Suzuki, R., Yokoyama, T., Kawasaki, K., Koga, A. and Taguchi, S. (1990) : The Hishikari gold deposit : high-grade epithermal veins in Quaternary volcanics of Southern Kyushu, Japan. *Journal of Geochemical Exploration*, 36(4), 227~236

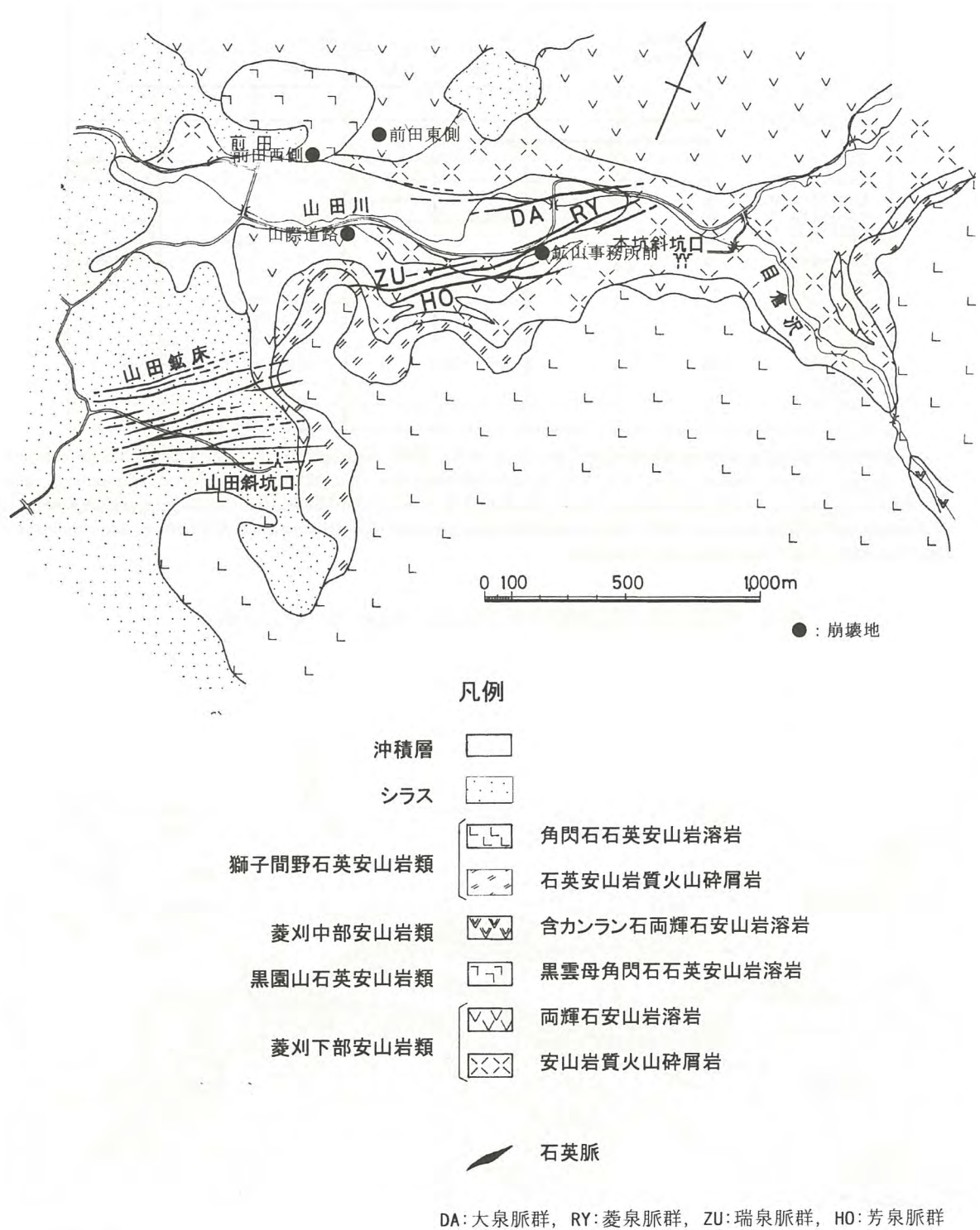
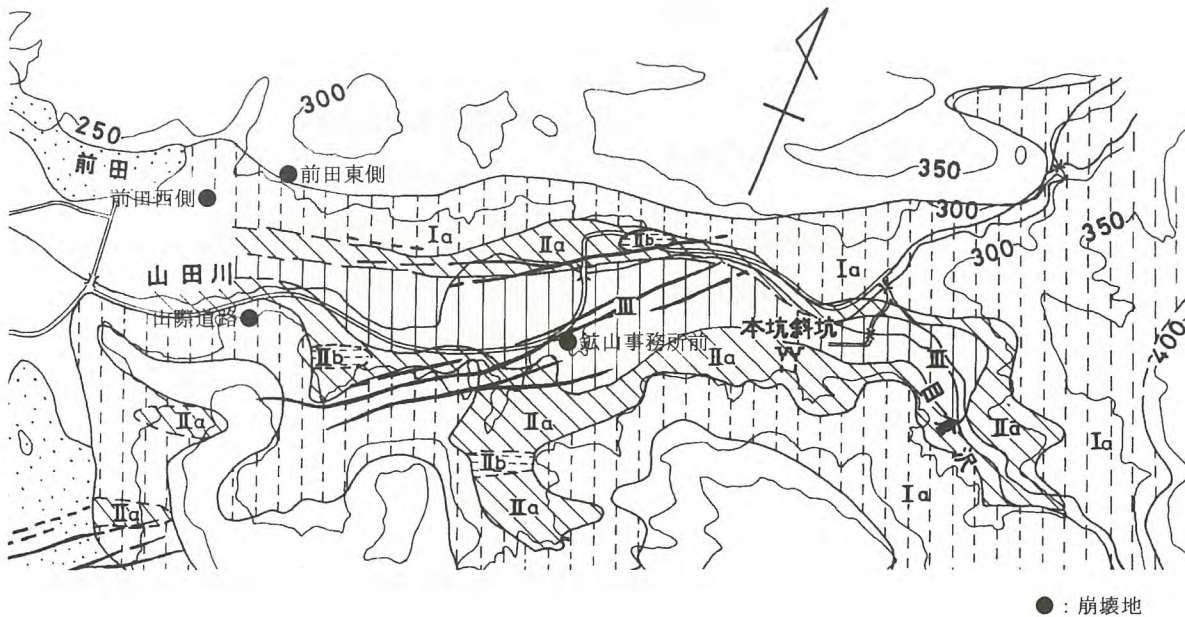


図1 菱刈鉦山周辺の地質 (茨城・鈴木, 1990)

	Least Altered	I Cr-Sm		II Qz-Sm		III Int. Clay	IV Ch-Se
		Ka	Sm	Ka	Sm		
Plagioclase	-----						
Cr, Tr	-----						
Quartz	-----						
K-feldspar	-----						
Kaolin min.	-----						
Smectite	-----						
C/S, M/S	-----						
Chlorite	-----						
Sericite	-----						
Cpt, Stl	-----						
Md, Eps	-----						
Lm, Ac	-----						
Calcite	-----						
Gypsum	-----						
Pyrite	-----						

Alteration zoning by mineral assemblage (after IZAWA et al., 1990). abbreviations; Cr-Sm=cristobalite-smectite subzone; Qz-Sm=quartz-smectite zone; Int. Clay=interstratified clay mineral zone; Ch-Se=chlorite-sericite zone; Ka=kaolin subzone; Sm=smectite subzone; Cr=cristobalite; Tr=tridymite; Kaolin min.=kaolinite and halloysite; C/S=interstratified chlorite/smectite; M/S=interstratified sericite/smectite; Cpt=clinoptilolite; Stl=stilbite; Md=mordenite; Esp=epistilbite; Lm=laumontite; Ac=analcite.

図2 変質分帯と鉱物組合せ (after Izawa et al., 1990)



\*沖積層を取り除いて図示

図3 菱刈鉱山周辺の変質分帯 (茨城・鈴木, 1990)

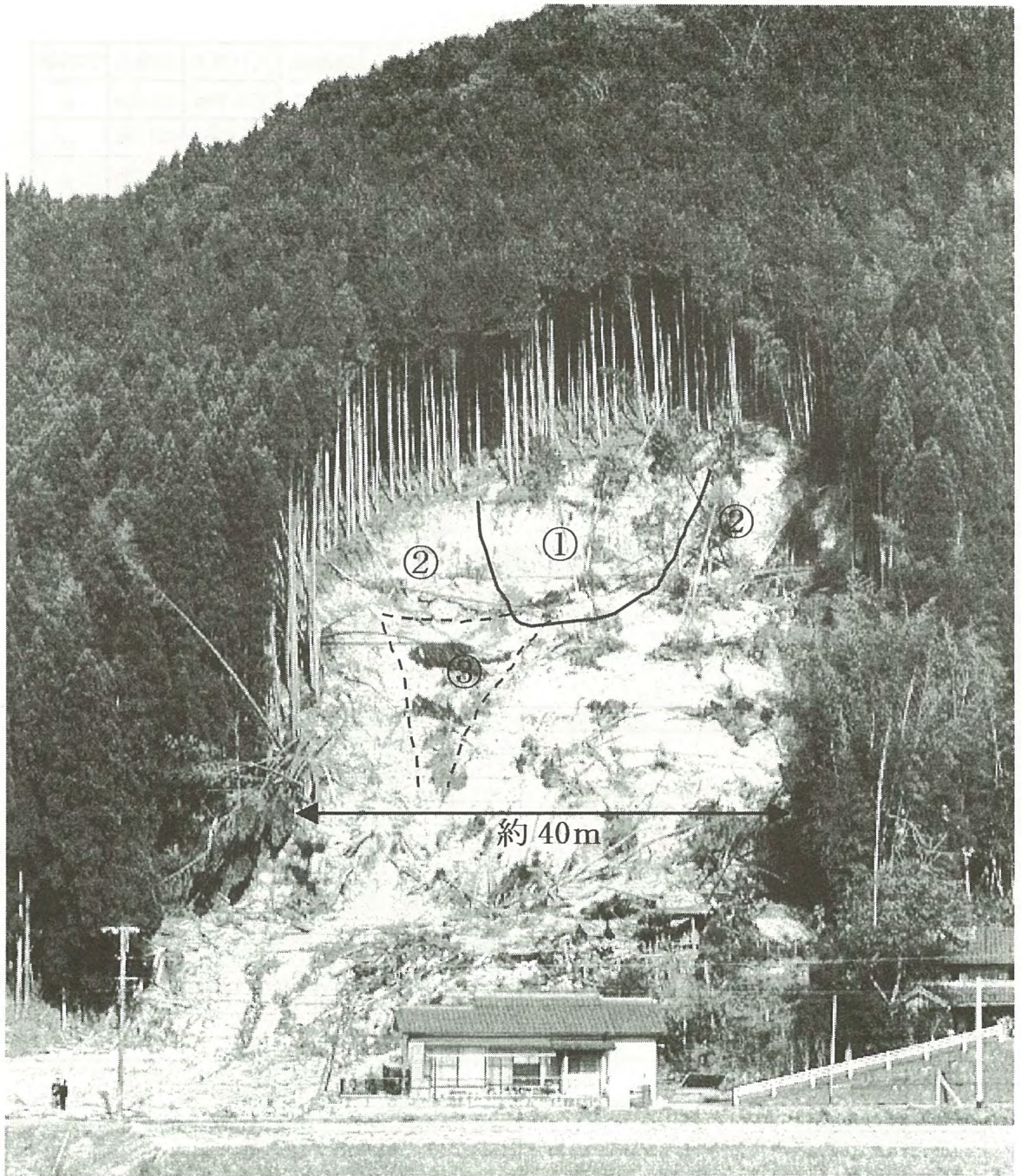


図4 前田東側崩壊地概観

- ①：風化石英安山岩（灰褐色）
- ②：強風化石英安山岩（褐色変色部）
- ③：灰褐色粘土化石英安山岩

2003年7月集中豪雨による肥薩地域土砂災害の調査研究

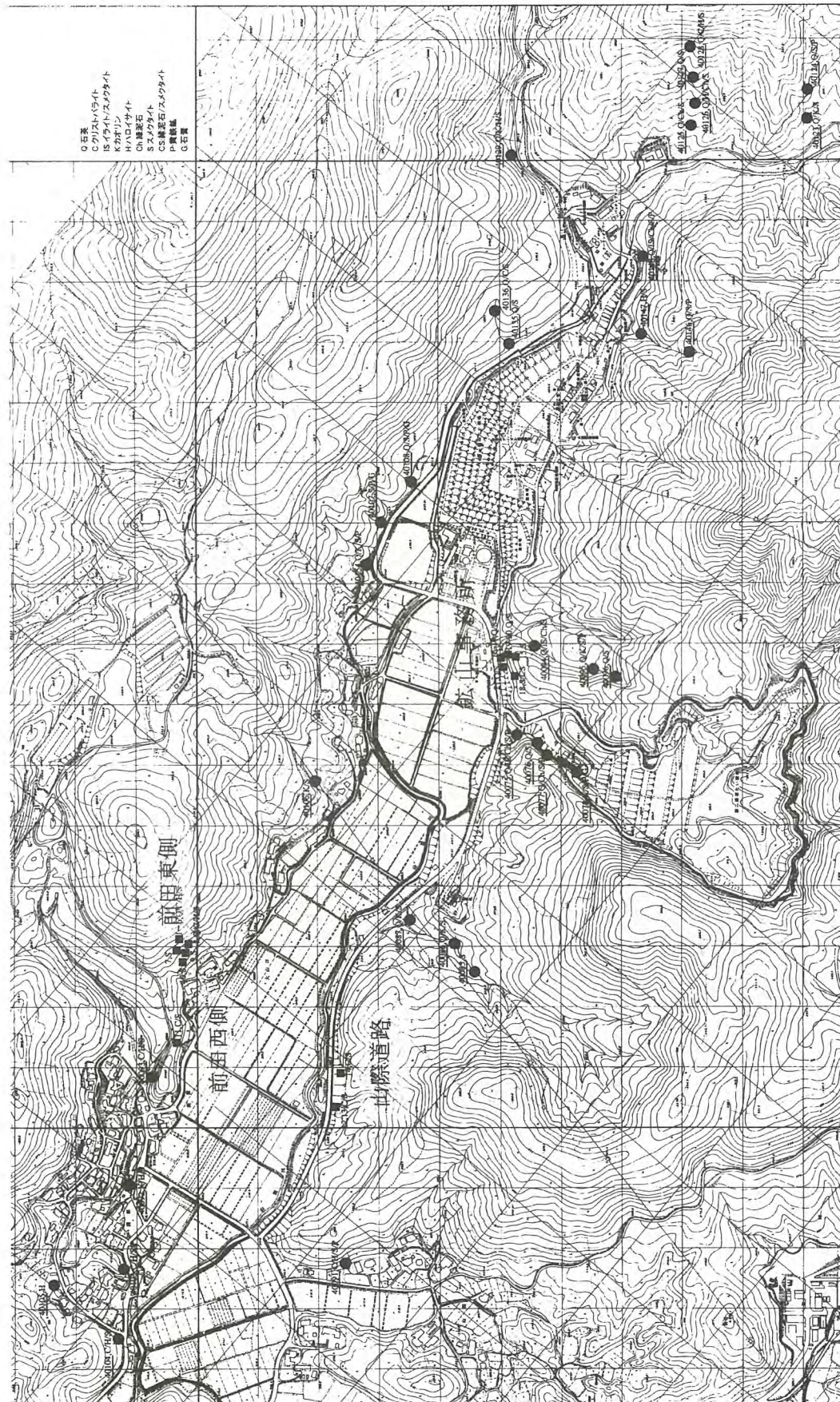
実施者	実施箇所	試錐No.	孔口標高	掘進長	試料数
(株) 日本地下技術	前田東側崩壊地の上方	BV-1	272.60m	20.00m	6
		BV-2	281.20m	10.00m	0
		BV-3	274.30m	20.00m	0
		BV-4	267.10m	13.00m	1
日本地研(株)	山際道路崩壊地の内部および上方	1-1	239.26m	10.00m	2
		1-2	236.07m	9.00m	0
		1-3	246.97m	17.00m	0
	鉦山事務所前崩壊地の内部および上方	2-1	270.56m	12.00m	1
		2-2	255.30m	17.00m	2
		2-3	256.87m	13.00m	1
	前田西側崩壊地の上方	3-1	244.89m	14.00m	1

表1 崩壊地調査試錐一覧

試料番号	試料名	位置	試錐/露頭	記載(コアの記載は各社の調査資料による)	備考
1	BV-1 2.0m	前田東側	日本地下技術試錐コア	淡灰褐色風化安山岩	黒圍山石英安山岩類?
2	BV-1 4.6m			弱風化安山岩、濃緑色	
3	BV-1 6.8m			淡灰色風化安山岩	
4	BV-1 14.0m			濃灰緑色安山岩	
5	BV-1 17.0m			濃紫灰色安山岩	
6	BV-1 19.8m			白色変質安山岩	
7	BV-4 10.4m			灰褐色風化安山岩	
8	031225-1		露頭	崩壊地最上部風化残りの石英安山岩	
9	031225-2		崩壊地上部の崩壊堆積物、強粘土化石英安山岩		
10	031225-3		灰褐色強粘土化石英安山岩		
11	3-1 13.9m	前田西側	日本地研試錐コア	強風化安山岩、淡緑灰色	黒圍山石英安山岩類
12	1-1 4.0m	山際道路	日本地研試錐コア	強風化安山岩、淡灰色	獅子間野石英安山岩類?
13	1-1 9.8m			濃灰褐色安山岩	
14	031225-4	鉦山事務所前	日本地研試錐コア	粘土化石英安山岩、灰~淡灰色	菱刈下部安山岩類
15	2-1 11.5m			強風化安山岩、淡褐色	
16	2-2 7.6m			淡緑灰~白色粘土化安山岩	
17	2-2 16.5m			淡灰珪化岩中に半透明白色石英	
18	2-3 11.5m		安山岩、弱変質淡緑灰色		
19	031225-5		露頭	強風化安山岩、灰緑色	
20	031225-6			濃灰緑色安山岩	
21	031225-7	淡灰白色粘土化安山岩			

表2 採取試料一覧





●：茨城・鈴木(1990) 試料採取箇所, ■：今年度試錐および試料採取箇所 (表 2)

図 5 試料採取位置と同定された主な鉱物

## 斜面崩壊とその対策

鹿児島大学農学部 下川 悦郎・地頭菌 隆・寺本 行芳  
 鹿児島大学工学部 北村 良介

### 1. はじめに

2003年7月20日、鹿児島県伊佐郡菱刈町前目一帯は大雨に見舞われて斜面崩壊が多発した。そのひとつの崩壊が住家を押つぶし、2名が亡くなった。また、斜面崩壊や河川氾濫によって、住家・農地・林地・道路・温泉の給湯パイプラインなどの被害も発生した。ここでは、人的被害が発生した斜面崩壊を中心に、災害発生状況、崩壊地の地形・地質・植生、崩壊発生のしくみと原因、およびその復旧と対策について報告する。

### 2. 降雨状況

鹿児島県が設置した菱刈町観測局における降水資料<sup>1)</sup>によると、7月19日朝7時頃から雨が降り始め、昼過ぎにいったん止んだが、20日未明再び降り始めて2時頃から激しくなり、2～5時の3時間に181mm、7～8時の1時間に80mmを記録した(図-1)。今回の大雨は雨域が狭く、菱刈町観測局における20日の日降水量は555mmであったが、そこから北西方向約10km離れた大口市のアメダス局<sup>2)</sup>では144mmであった(図-2)。

2名が犠牲となった斜面崩壊は、80mmの最大時間雨量を記録した直後の8時15分頃に発生しており、降り始めから災害発生時までの降水量は400mm程度である(図-1)。

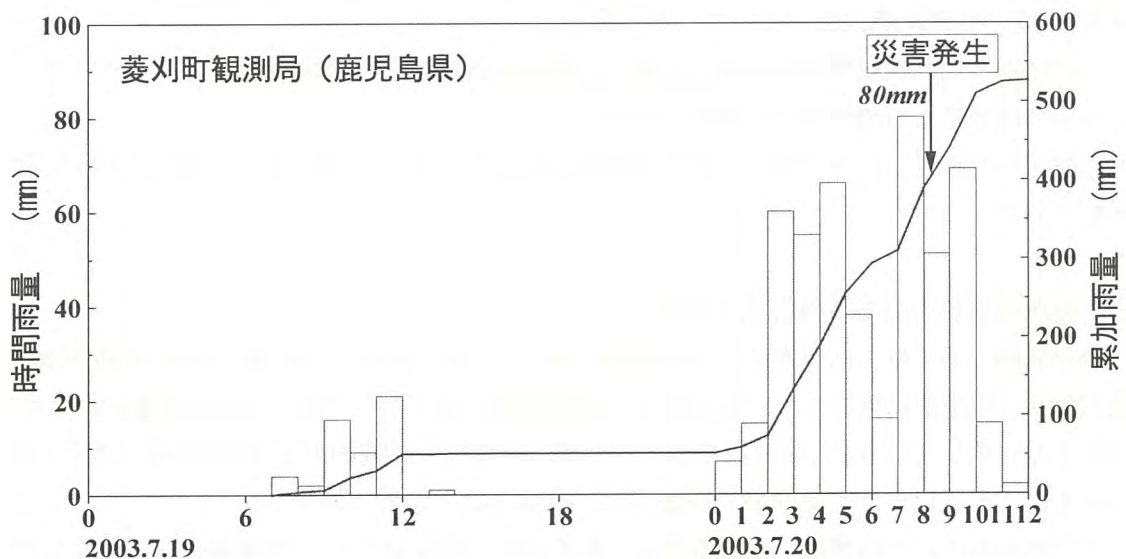


図-1 降雨状況



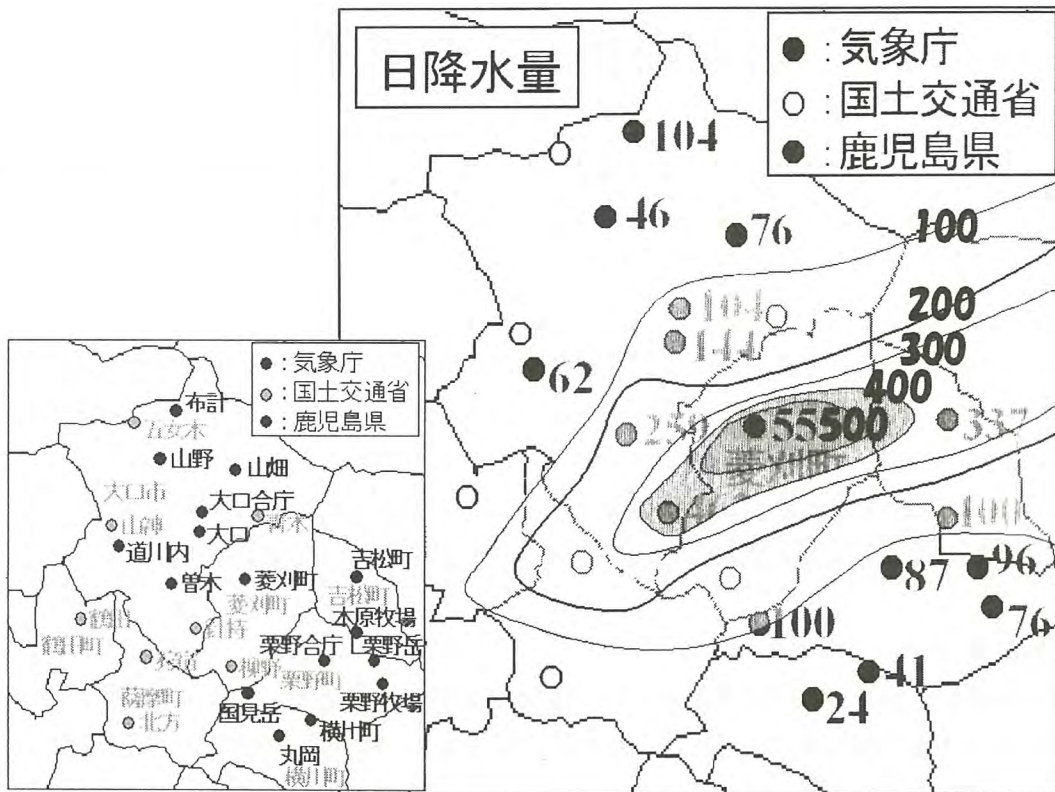


図-2 7月20日の日降水量分布<sup>3)</sup>

### 3. 崩壊地周辺域の地形・地質・植生

斜面崩壊が発生した場所は霧島の北西部であり、一帯には標高300～400mのなだらかな丘陵地が広がっている(図-3)。丘陵地周縁の斜面は20～30度の傾斜のところが多く、部分的に30～40度の急斜面となっている(図-4)。

この地域には第四紀更新世の安山岩質～石英安山岩質の火山岩類が広く分布している<sup>4)</sup>。これらは溶岩や火山砕屑岩から構成される。

丘陵地の人家近くはスギやヒノキの人工林になっているところが多く、それ以外は広葉樹林である。

### 4. 斜面崩壊地の分布と災害発生状況

斜面崩壊の多くは川内川支流山田川流域で発生し、特に山田川右岸側の丘陵(標高320m)南向斜面の中腹部に集中している(図-5)。斜面崩壊が発生した区域と大雨に見舞われた区域はよく一致している。人的被害を出した崩壊は崩壊深の比較的大きな深層崩壊(写真-1)であるが、それ以外は表層崩壊や斜面肩部の崩壊がほとんどであった。

人的被害を出した崩壊は、平均幅30m、長さ28m、面積840m<sup>2</sup>、平均崩壊深3.6m(最大崩壊深4.4m)の規模であり(図-6)、崩壊土砂量は3000m<sup>3</sup>である。なお、崩壊地内には崩土の約半分にあたる1500m<sup>3</sup>程度が残留している。崩壊は極めて接近した時間のなかで少なくと

も2回にわたって発生したようである。最初は崩壊斜面に向かって左側部分（写真-1のa付近）が崩れ、それで不安定になった右側部分（写真-1のb付近）の崩壊が続いた。最初の崩土はその斜面上にあったスギの立木を伴って移動、納屋を壊し、その先端は百数十m下方の平坦部の水田まで到達している。崩土は流動性が高かったとみられ、スギの流木と

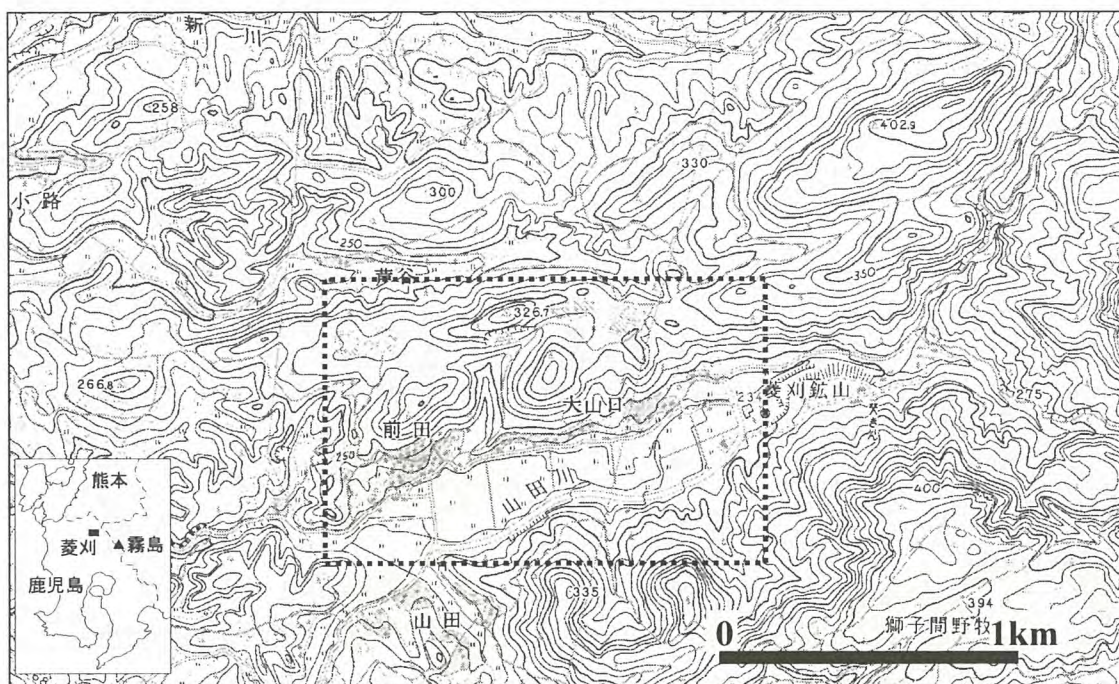


図-3 崩壊地周辺の地形

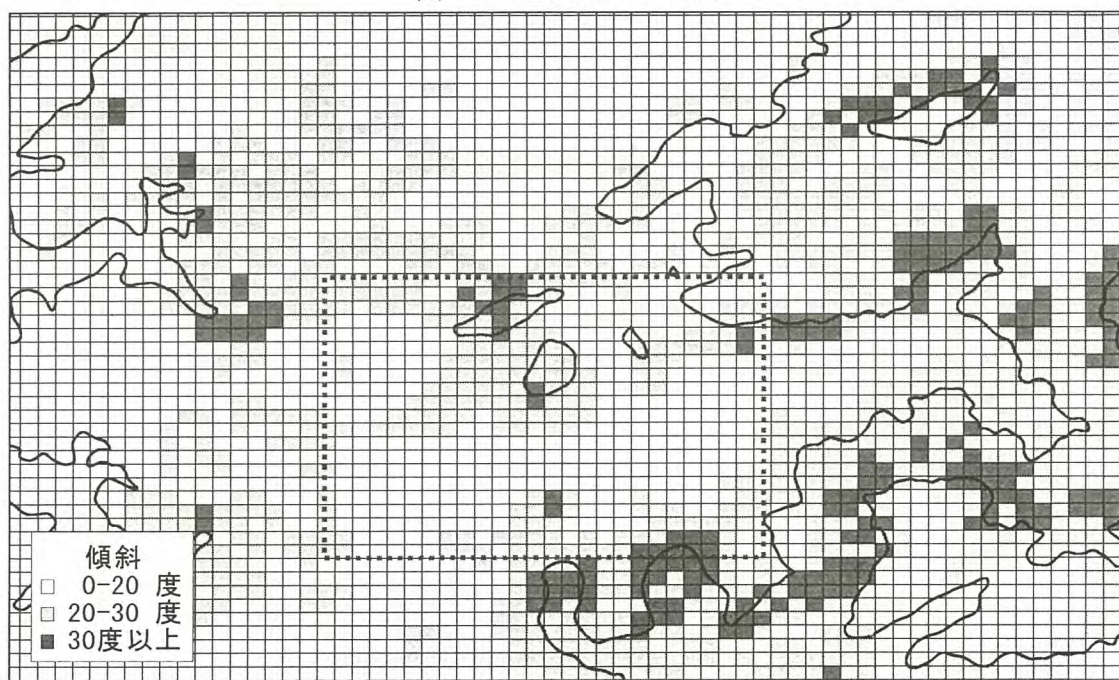


図-4 傾斜区分図（図-3と同じ範囲、実線は100mごとの等高線）

ともに拡散して堆積している。後続の崩土は前後・上下関係を保ちながらスギ・ヒノキの立木を伴って移動し、母屋(住家)を押しつぶして、そこで停止している。

崩れた斜面の下方、被害を受けた住宅地のがけ側には土留工が設置されていた(図-6)。この土留工はすべり面の下端よりさらに下方にあり、崩土がその上を乗り越えて移動した。

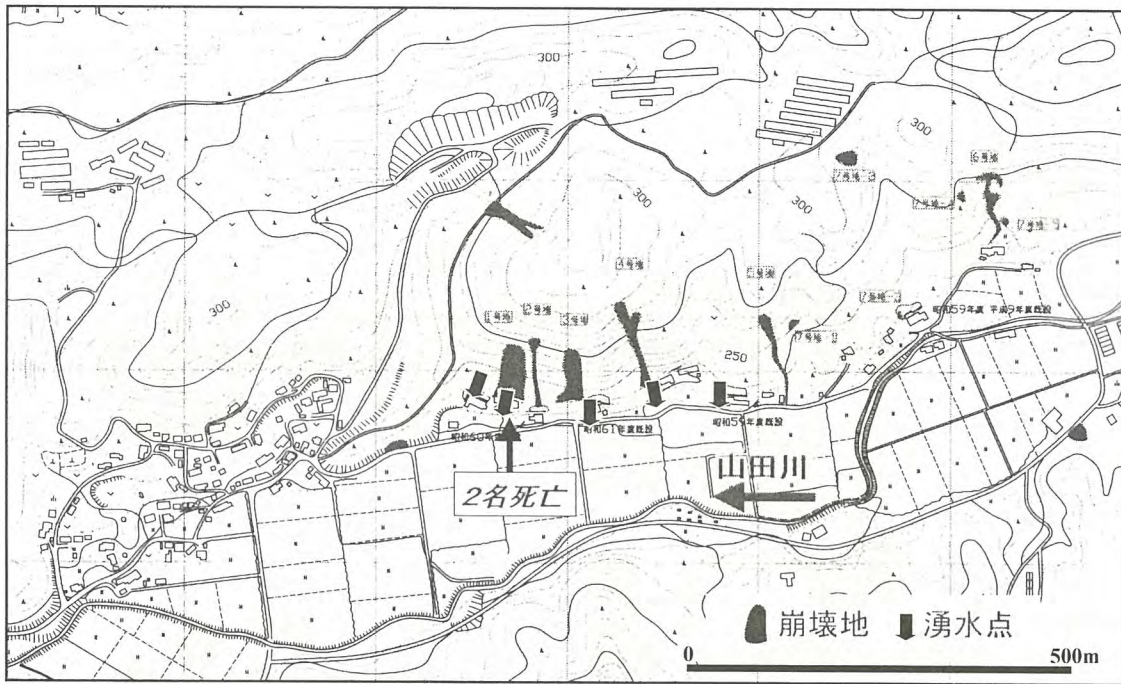


図-5 斜面崩壊地の分布および湧水の分布 (図-3 の破線枠部分)

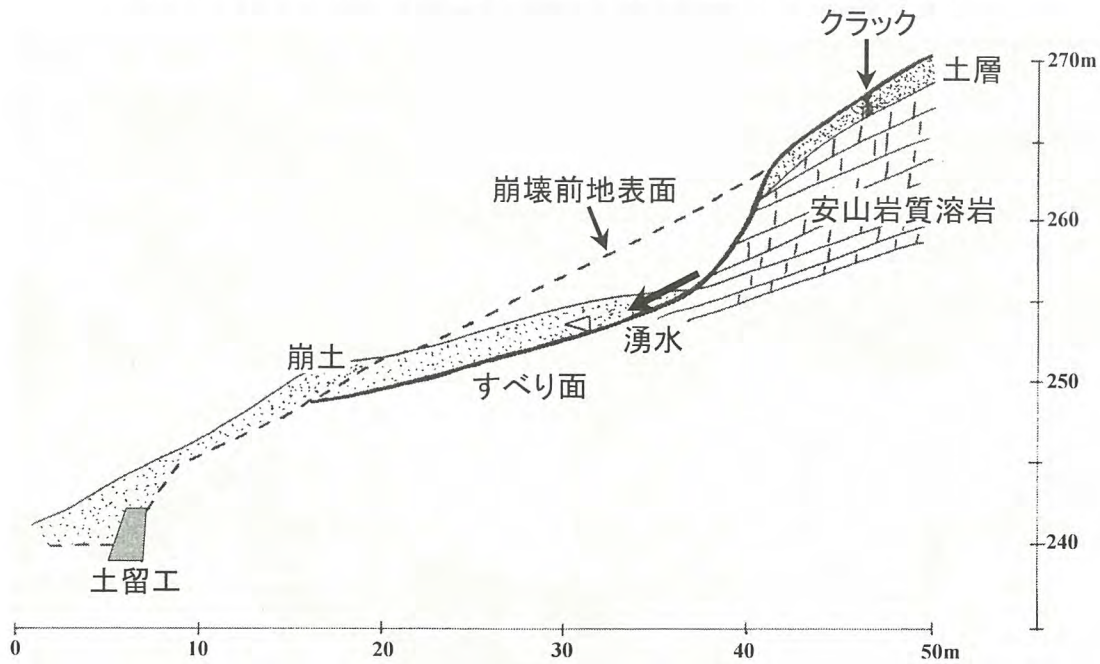


図-6 人的被害が出た崩壊地の縦断面図

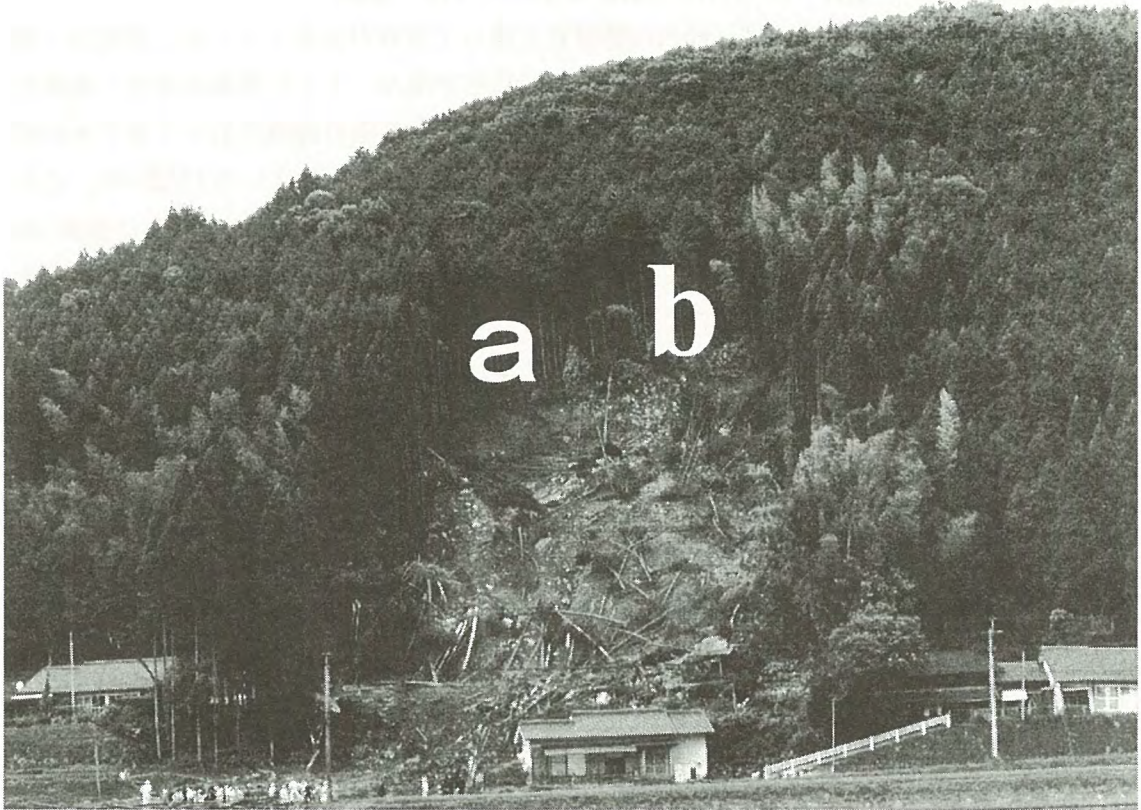


写真-1 人的被害が出た崩壊地

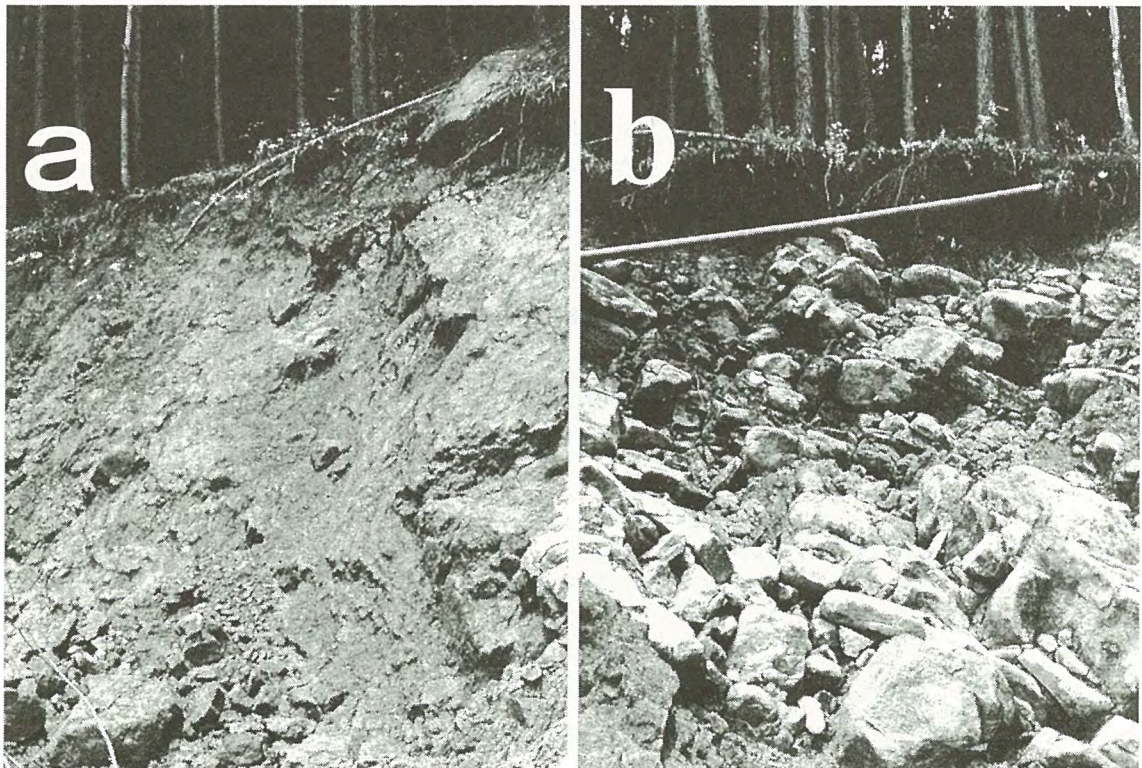


写真-2 滑落崖の風化状況 (写真-1のa, b付近)

## 5. 崩壊地の地形・地質・水文特性と崩壊発生のしくみ・原因

人的被害が発生した崩壊地付近は火山砕屑岩を覆って溶岩が分布している。溶岩は一部に原型を留めているところがあるが、全体として風化が進み、とくに表層は赤色～赤褐色の強風化を受けている(写真-2)。また、崩壊で現れたすべり面の露頭に沿って地下水が流れ出ている部分は灰白～乳白の色を呈し、還元状態で強風化を受けている(写真-3)。この露頭は難透水層をなしている。なお、溶岩には節理が発達し、その面はほぼ南に傾斜(約30度)しており、斜面は流盤をなしている。斜面の中・下腹部では過去の崩壊による崩土が分厚く堆積し、崖錐を形成している。

斜面形状は縦断方向で見ると、中～上腹部は凸型、中～下腹部は凹型をなす。傾斜は下腹部10～20度、中腹部25度、上腹部30～35度(頂上に近い斜面部位は15～20度)である。横断方向で見ると、中・下腹部は集水型、上腹部は散水型をなす。崩壊は斜面の中腹部で発生している(図-6)。

植生は樹齢40～50年生のスギ・ヒノキの人工林からなる。ヒノキは斜面の上腹部に、スギは中・下腹部に分布している。崩れた斜面の上部にはヒノキが分布していたようで、崩土とともに倒木となって崩壊地内に散在している。

崩壊斜面に向かって左側部分(写真-1のa付近)では、すべり面に沿って崩壊地上端の滑落崖方向から湧水がみられ(写真-4)、浸透した雨水がこの部分に集中、地下水圧が上昇し、崩壊を誘発させた、それで不安定になった向かって右側部分(写真-1のb付近)の斜面が続いて崩壊した、と考えられる。

斜面下腹部に位置する住宅地のがけ側からは湧水が常時湧出していた。この湧水は、崩壊した斜面の左側部分(写真-1のa付近)に集水した地下水から供給されているようである。崩壊が発生した斜面の上部には台地状のなだらかな地形が広がっており、地盤中には、こうした地形面から浸透した雨水が崩壊斜面の左側部分の地下に集まる地下水の通り道があるものと考えられる。



写真-3 すべり面の露頭

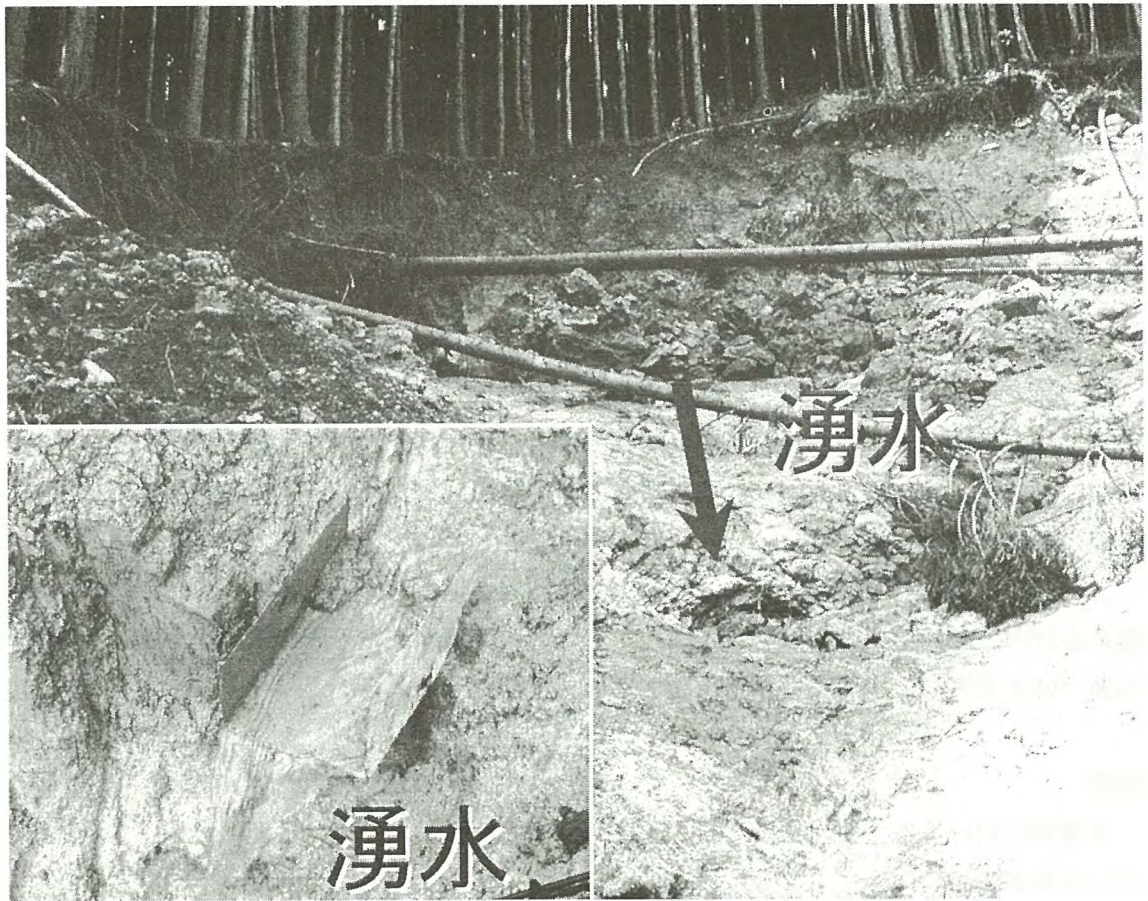


写真-4 崩壊地上端からの湧水

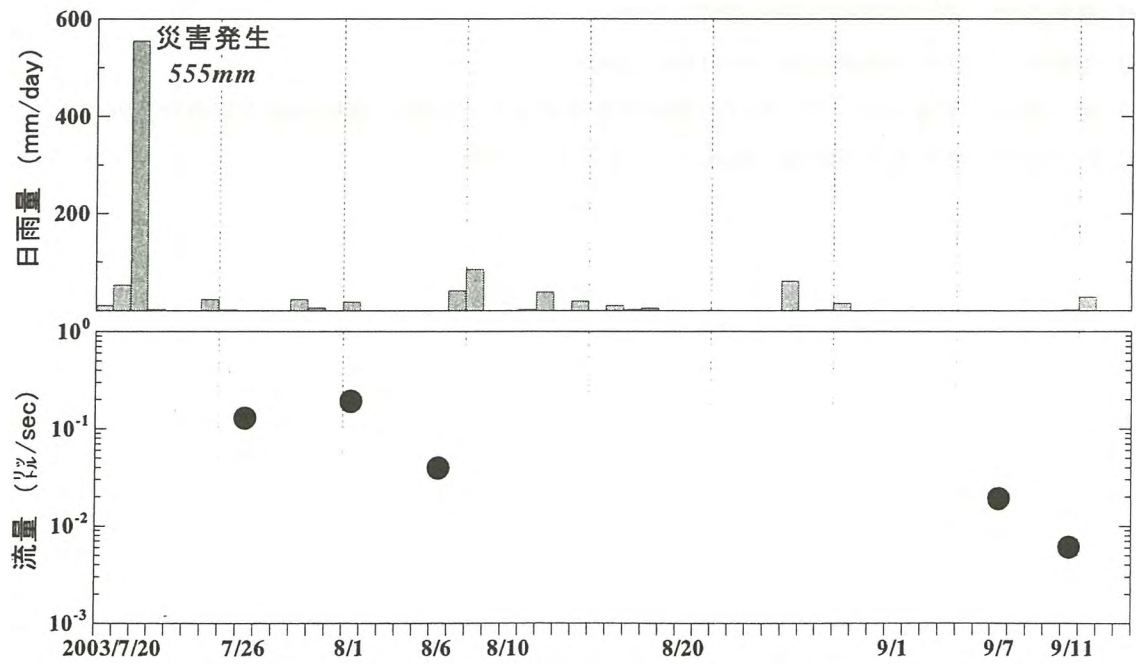


図-7 崩壊地源頭部からの湧水流量の変化

地下水の作用に加え、地盤が強風化を受け、分厚い崖錐を発達させていたことも、崩壊深の大きな崩壊が発生した原因である。

崩壊後、左側部分(写真-1のa付近)からの湧水流量を定期的に測定した結果(写真-4)、崩壊地内からは長期間にわたって湧水が流出している(図-7)。また、崩壊地周辺域の湧水の分布を調査した結果、湧水は丘陵地の南側斜面に集中している(図-5)。

## 6. 崩壊斜面の復旧と対策

人的被害が発生した深層崩壊地からは地下水の流出が続いており、また崩壊地の上部には数mの風化土層があり、その地表面には亀裂もみられる。したがって、崩壊地源頭部は、排水工により地下水処理を行い、風化土層の不安定な部分は切取って残りはアンカー工で固定、表面は吹付法砕工を施す。崩壊斜面の中下腹部はコンクリート土留工によって山腹の固定を図る計画である。

上記以外の表層崩壊や斜面肩部崩壊の発生箇所でも地下水の流出があるところは地下水処理を行い、斜面下部まで水路工で排水する。また深層崩壊地と同様に風化が進んでいる斜面では不安定な土層の切取りと山腹固定の処置が必要である。

## 謝辞

本調査においては、鹿児島県林務水産部、同土木部、および(社)鹿児島県治山林道協会に大変お世話になった。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 鹿児島県, 菱刈町観測局降水資料, 2003
- 2) 気象庁, アメダス降水資料(大口局), 2003
- 3) 藤 貴志, 平成15年7月20日の菱刈町を中心とした大雨, 鹿児島地方气象台, 2003
- 4) 鹿児島県, 鹿児島県地質図(縮尺10万分の1), 1990

# リモートセンシングによる 二次災害地抽出の可能性

鹿児島大学：石黒 悦爾・東郷 雄喜・石川 大太郎・

黒岩 昇平・吉本 晋一郎・肥山 浩樹

株式会社パスコ：灘波 博章・岡川 正臣

## 1. はじめに

九州西岸で平成15年7月20日00時頃から08時にかけて積乱雲が発達しながら九州南部付近に流れ込み、菱刈町役場付近を中心に日降水量555mmの局地的な豪雨となっていた。この豪雨により崩壊が想定されなかった箇所でも山林崩壊を生じ、菱刈町大山口地区では2名の、また水俣市宝川内地区では19名の犠牲者を生じた。現時点では、豪雨等による崩壊地抽出は困難であるが、第一段階として二次災害を引き起こす地域の抽出を検討した。

## 2. 実験方法

### 2.1 基礎実験

斜面の崩壊により地盤が変化し、二次災害を生じると仮定した。この時、山腹に生育する樹木は何らかの水ストレスを受けた状態となると考えられる。そこで、図1に示すように幹から切断したスギ樹冠の分光反射特性の経時変化が水ストレスのレベルに対応すると考え、実験を行った。携帯用分光反射率計(エルム社：KE-1、観測波長領域：400nm～1,100nm、3nm間隔)を用いて樹木と標準白色板を交互に測定し、分光反射特性を算出した。この時、反射率計と対象物・白色板の空間位置を常に一定とするとともに、レフランプとIntegration time機能を用いて照度を補正した。



図1.基礎実験風景

### 2.2 現地調査および画像解析

水俣市宝川内地区の災害前後の航空写真を図2に、豪雨直後の7月22日に撮影した菱刈町大山口地区の航空写真を図3に示す。筆者らは8月18日に水俣市を、さらに8月22日に水俣市と菱刈町の現地調査を行った。水俣市の現地は約1.5kmにわたって沢沿いに人身大の巨岩が点在する惨状であり(図4)、また、菱刈町は300mにわたって土砂が流れ落ちていた(図5)。

水俣市での分光反射特性の測定は、大崩壊地の測定が困難であったため、大崩壊が生じた始めた地点を観測地点とし、対岸の微小崩壊地の影響地(MP1とMP2)と非影響地(MP3)を設



定した。一方、菱刈町では図3に示すように災害地の左右近傍地点(HP1とHP2)と災害地の直上地点(HP3)をそれぞれ影響地と非影響地として設定した。現地調査では基礎実験と同様に携帯用分光反射率計を用いて生育しているスギ樹冠の分光反射特性を測定した。さらに、ビデオカメラにNDフィルタとバンドパスフィルタを装着して分光画像を撮影した。またバンドパスフィルタはLandsat/TMに対応させた中心波長が440nm、550nm、660nmと770nmの4つのフィルタ以外に、520nm、570nmと680nmのフィルタを用いた。これらのフィルタは中心波長に対して約±8nmの波長域を透過する特性である。画像解析はERDAS IMAGINEを用いて行った。

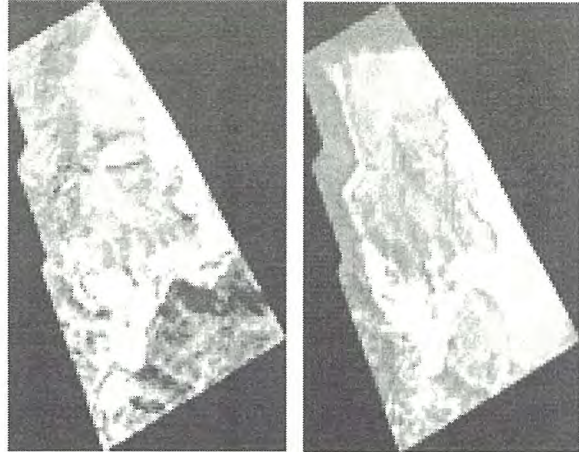


図2 災害前後の水俣の航空写真

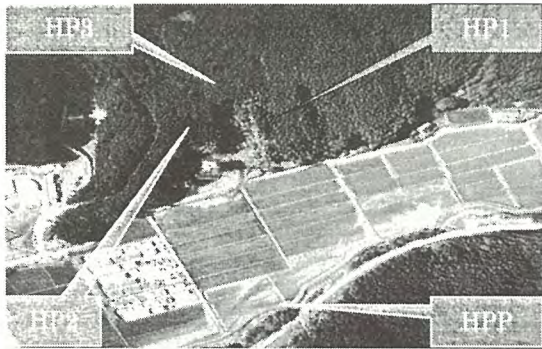


図3 災害後の菱刈の航空写真



図4 水俣現場



図5 菱刈現場

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 基礎実験

スギ樹冠の分光反射特性の経時変化を図6に示す。スギ樹冠部の葉の密度は粗であった。そこで後方に黒色板を設置し、後方散乱の影響を極力避けたため、各波長における分光反射率は一般の場合よりも低い値を示した。全ての測定波長域で経過日数が増すにつれて分光反射率は次第に低下する傾向を示した。ここで、経過日数が水ストレスの程度に対応すると考えると、これは分光反射特性を解析することにより樹木の水ストレスがリモートセンシングデータを用いて解析できる可能性を示唆している。

図7にLandsat/TMに対応した平均分光反射率と経過日数の関係を示す。経過日数が増すにつれてある程度の相関で全バンドの平均分光反射率は低下した。そこで複数のバンドを用いた樹冠の水ストレス指標を検討すると、図8に示すようにNDVIが最も水ストレスと相関が高い、また近赤外が使用できない航空写真を解析する場合でも図9に示すようにある程度高い相関を示したGreen (Band-2)とRed (Band-3)の比演算が有効であることが明

らかとなった。

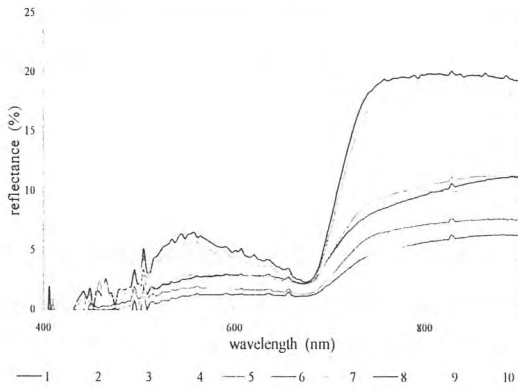


図6 樹冠の分光特性

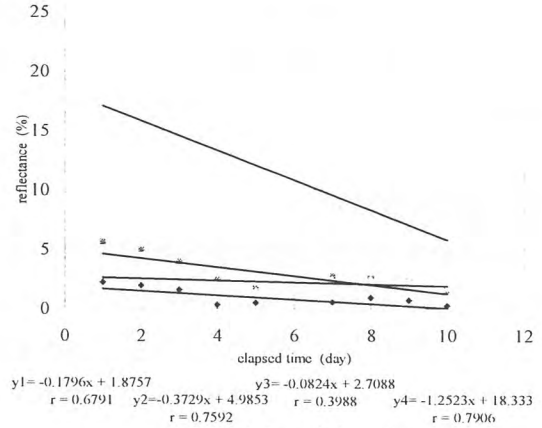


図7 平均分光反射特性

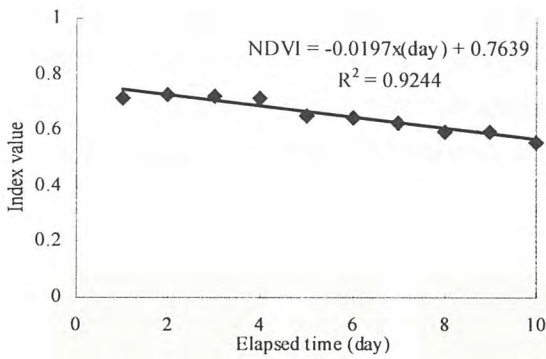


図8 NDVI と水ストレス

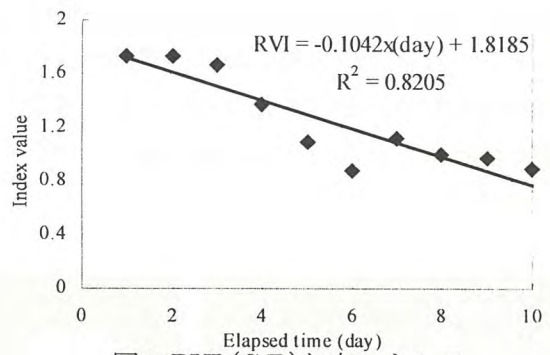


図9 RVI (G/R) と水ストレス

### 3.2 現地の分光反射特性

豪雨約一ヶ月経過後の8月22日に調査した菱刈町災害地の立木の分光反射特性を図10に示す。被災地に近接したHP1とHP2地点に生育しているスギの樹冠の近赤外域での分光反射率はHP3地点に生育しているスギの樹冠のそれに比べて低下した。同様に8月18日と8月22日の両日に調査した水俣市被災地での分光反射特性も図10と同様な傾向を示した。ここで災害近接地に生育しているスギ樹冠の近赤外域

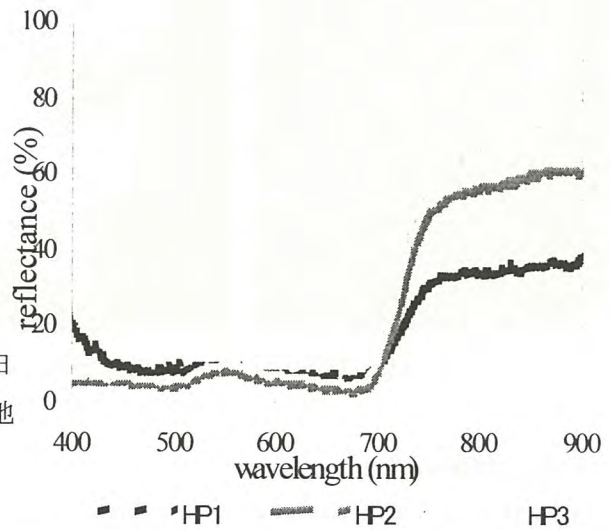


図10 現場の樹冠の分光特性

での分光反射率が災害の影響を受けていないと思われる地点に生育している樹冠の分光反射率よりも低くなったのは、筆者らが行った水ストレスを与えたスギ樹冠の分光反射特性の結果と良く一致した<sup>2,3)</sup>。災害の土石流の振動により被災地に近接した地点に生育しているスギは、根と土壌の間隙に変化を生じ一時的に水ストレスを受けたことによると推定される。

### 3.3 航空写真解析

災害前後の航空写真にRVI指標を適用した画像を図11に示す。さらに災害前後の水ストレスの変化を活性度(Activity)と定義し、以下の式で表示した $[Act=(RVI_B - RVI_A)/RVI_B]$ 。ここで、 $RVI_B$ および $RVI_A$ は災害前後のRVI値である。活性度の値が大きいと水ストレスの変化が大きくなる、すなわち災害前後で地盤の状態が大きく異なることとなる。災害前の航空写真は平成12年11月23日11:10に撮影し、災害後は平成15年7月21日15:40に撮影と撮影時刻が異なったため、両画像において日向と日陰の部分が異なる箇所が見られた。図12において上端から左端にかけての白色部は撮影時刻の差異による影響だと考えられるが、これ以外の地域における濃淡は活性度の差異を表示していると考えられる。本解析の実証を行うことはできなかったが、筆者らが地震崩壊に適用した結果では水ストレスを強く受けたところは二次災害を起こしていたことから本解析の有効性がある程度示されている<sup>2,3)</sup>。



図11 災害前後の水俣 RVI 画像

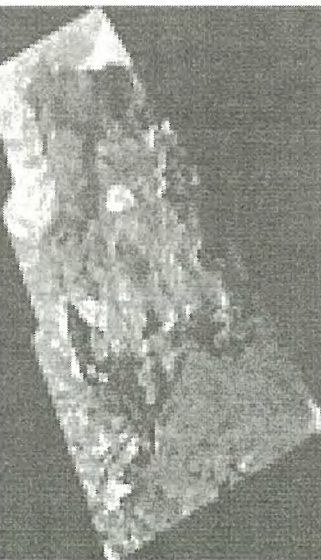


図12 活性度画像

### 3.4 簡易撮影画像

図13にデジタルビデオカメラで撮影した菱刈町の崩壊現場を示す。上段はカラー写真を、中段は分光画像より作成したNDVI画像を、下段はRVI画像を示す。航空写真に比べ

て詳細な画像であるため、2波長の画像の位置合わせが困難で、RMSEを0.2pixelに設定したにもかかわらず、樹冠間隙の影響を受けた。しかしながら、航空写真を解析するよりも局部的に詳細な解析が可能となっている。一方、NDVI画像はRVI画像に比べて濃淡輝度差がわずかに大きく、明確な画像となった。基礎実験で得られたように、水ストレスの解析に近赤外域の画像データの必要性が示された。以上の結果、災害直後の衛星データならびに航空写真の入手が困難な場合の補完的な画像として考えた簡易分光画像は、当初の予想を大きく超え、有効なデータ取得手段であることが明らかとなった。

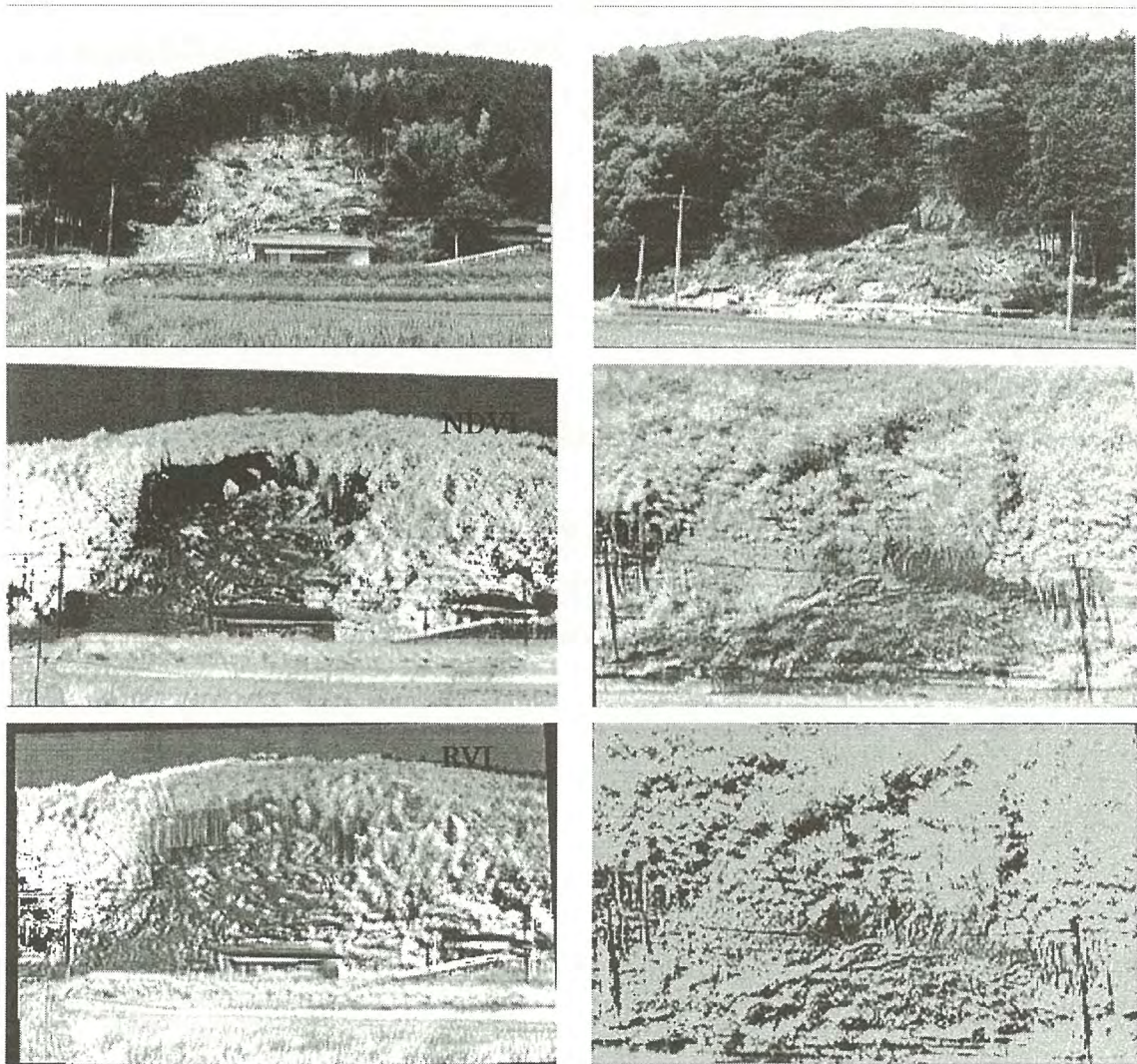


図13 菱刈ビデオ画像

#### 4. 結論

二次災害を引き起こす地域の検出を、基礎実験と現地調査で試み、以下の結果を得た。

- ①水ストレスを与えたスギ樹冠の分光反射特性から解析指標を考案した。
- ②地盤崩壊の影

響を受けていると思われる地点に生育している樹木の近赤外域の分光反射率は基礎実験と同様に非影響地の樹木のそれよりも低い値を示した。③ 二次災害地抽出には考案した水ストレスの変化を表示する活性度指標が一つの手法となる可能性が示された。④ タイムリーな航空写真や衛星データの取得ができない場合には、近赤外領域を含むデジタルビデオカメラで撮影した簡易分光画像は有効な解析データとなることが示唆された。

今後は、① 災害前後の **TM** データを解析し、水ストレスを受けた被災地域の崩壊の可能性を検討、② バンドパスフィルタをデジタルカメラに装着して撮影した分光画像および航空写真の解析法の開発・改良をする必要があると考えている。さらに水ストレスを受けた樹木が生育している地盤が二次崩壊地につながる可能性を何らかの方法で実証するとともに、これらのデータを蓄積することにより一次崩壊の予知につながることを希望している。

最後になりましたが、この災害で命を落とされた水俣市と菱刈町の方々のご冥福をお祈りします。

#### 引用文献

1. 藤 貴志(鹿児島地方気象台)：平成15年7月20日の菱刈町を中心とした大雨(私信)
2. 石黒悦爾・田畑智廣：衛星データによる地震崩壊危険区域抽出の可能性の検討. 九州の農業気象第Ⅱ輯 7:45-48, (1998)
3. E.ISHIGURO, T.TABATA, T.JITOUZONO, Y.TERAMOTO, J.SHOJI and E.T.KANEMASU: Development of Hazard Map by Earthquake using Satellite Data. *Proceedings on 1999 ASAE Annual International Meeting*. No.99-3122 (1999)

# 2003年7月20日肥薩集中豪雨による 農地及び農業用施設の被害

鹿児島大学農学部 平 瑞樹・長 勝史・肥山浩樹

## 1. はじめに

2003年7月梅雨明け直前に九州各地を襲った集中豪雨は、福岡市近郊と熊本県南部から鹿児島県北部一帯の肥薩地域で大きな被害を惹き起こした。特に、熊本県水俣市宝川内地区では土石流が発生し、15名の死者を出す大災害となった(図-1)。また、水俣市深川新屋敷山崩れ(死者4名)と鹿児島県菱刈町前目大山口山崩れ(死者2名)では、民家が土砂で下敷きになり、一家全員が亡くなった。梅雨末期の前線にともなう“湿舌現象”と地形的要因が重なり辺りに記録的な豪雨をもたらした。土砂災害地域では、自治体を中心に現場の復旧作業が続けられた。災害直後に「鹿児島大学自然災害研究会」が発足し、各専門分野の視点から調査が進められており、農業農村地域の被災状況について調査が開始された。詳細な原因究明については、今後も十分な検討が必要である。

本報告では、肥薩地域の農地及び農業用施設の被害について、現地調査と県耕地事務所の調査資料に基づく被害状況の把握を行った。

## 2. アメダス気象データ

九州北部に前線が停滞した19日は福岡県大宰府市で1時間に104ミリを記録し、日雨量は300ミリに達した<sup>1)</sup>。19~21日の総雨量では宮崎県えびの市加久藤が431ミリと極めて多い降水量であった。一方、熊本地方気象台<sup>2)</sup>によると、7月20日午前0時より、熊本県南部を中心に大雨となり水俣市では観測史上第1位の1時間に81ミリを記録した(図-2)。また、19日の朝の降り始めから20日午前7時までに251ミリ

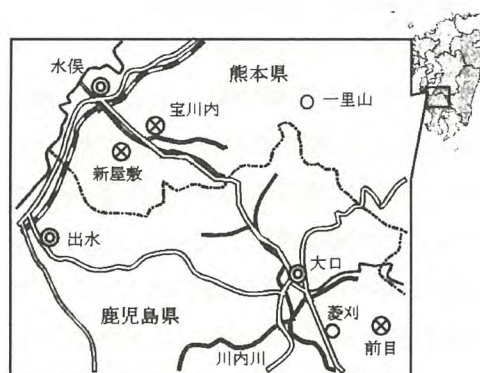


図-1 肥薩地域の主な土砂災害箇所

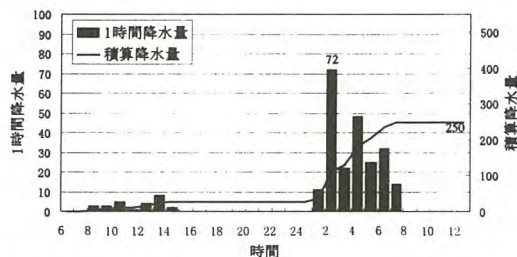


図-2 アメダス降水量時系列 (水俣市)

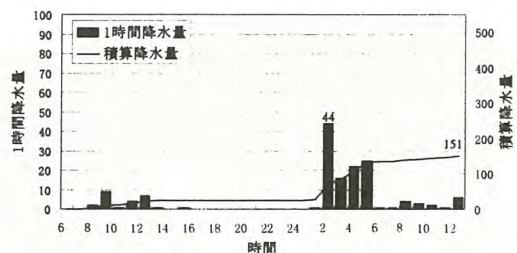


図-3 アメダス降水量時系列 (大口市)

の大雨となった。また、鹿児島県側においては、大口市のアメダス雨量データ（図-3）からだけでは判断できない局地的な集中豪雨であったことが明らかになった。菱刈町役場の雨量データ（図-4）によると、7～8時の時間最大雨量が90ミリ、20日の24時間最大雨量が529ミリと役場観測史上1位の豪雨による災害であったことから、今後の土砂災害対策に向けたさらなる分析が必要である。また、水俣市深川の観測所でも91ミリを記録しており、避難勧告発令のための地域住民への自治体の判断手段としては、さらなる気象観測網の細かな整備が急がれる。

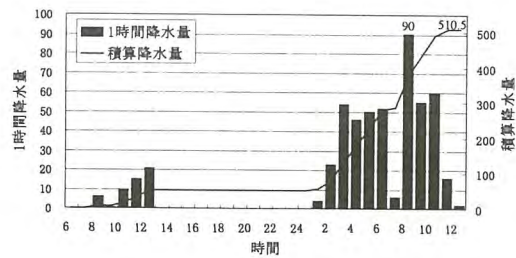


図-4 菱刈町役場雨量計による降水量時系列

### 3. 現地調査による被害状況

#### 3-1 水俣市宝川内地区

図-1に示す肥薩地域における土砂災害箇所を中心に現地調査を行った。写真-1に示す水俣市宝川内地区の土石流災害現場では、3.54haの水田が埋没している。途中の棚田も土石流に挟まれ原型を留めていない。集川では通常はほとんど水が無く、天水にたよる水田が土石流により消失している（写真-2）。



写真-1 水俣市宝川内集川の土石流跡

現地調査より、今後の土石流に備えた河川対策が検討されると、集川下流域での農地復旧面積はかなり減少すると考えられるが、周囲の美しい棚田と同様に、石を積み上げた擁壁の復旧が望まれる。辺りに散乱する石の搬出作業や処分場所の確保も困難であるため、再利用の検討も必要である。

#### 3-2 菱刈町前目地区

鹿児島県北部の菱刈町は世界的にも有名な金鉱があり、採掘現場に隣接した地域である。不幸にも山崩れにより一軒が土砂に押し潰された（写真-3）。河川の増水のため農地に土砂が流入している場所や護岸が崩れたため農地の側面が部分的に流失している箇所が見受けられた。いたるところで道路斜面や水田の土坡が崩壊している。また、擁壁のはらみ出



写真-2 水俣市宝川内集集落の土石流経路と被災状況



写真-3 菱刈町前目大山口の山崩れ

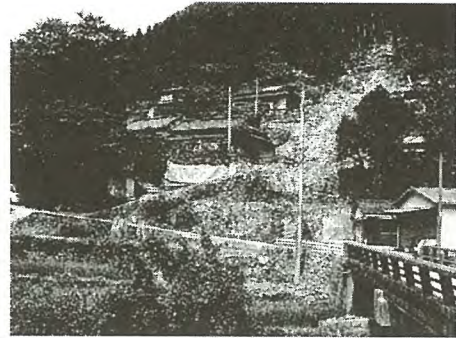


写真-4 水俣市深川新屋敷の山崩れ

しや落石している場所も多数存在した。

### 3-3 水俣市深川新屋敷地区

宝川内地区の南西部の新屋敷地区でも豪雨による山崩れにより一家が亡くなった。急峻な裏山が崩れたため直下の一軒が被害にあった(写真-4)。菱刈と同様、被災現場の下方には水田が広がり、土砂の流入を免れた稲が青々と茂っていた。表-1は被害集計の概要(熊本県調査資料)である。

表-1 農業関係被害(水俣市, 芦北町, 津奈木町)

農地	農地の流失・埋没	353 箇所	45.23ha
農業用施設	農道・用排水路の崩壊	235	—
農業施設	ビニルハウス損傷	19	—
農作物	大葉・いちご苗冠水	—	6.55

## 4. 農地及び農業用施設の被害

### 4-1 農地の被害

鹿児島県大口市耕地事務所管内での耕地関係の被害箇所数を表-2に示す。菱刈町では、川内川の両岸の水田が81箇所の被害を受けている。また、大口市では南部の川内川左岸に被害が21箇所点している(図-5, 図-6)。低平地の水田域であり予想を超える豪雨の場合、民家の浸水や農作物の被害には十分な注意が必要である。農地の被害箇所のプロットより、菱刈町の役場を中心に多く集中していることが確認できる。

### 4-2 農業用施設の被害

図-7と図-8には、それぞれ菱刈町と大口市の農業用施設(農道, 水路, ため池)の被害箇所を示す。局地的集中豪雨のために支流や水路の急激な増水が、水田畦畔や施設被害を大きくしている。菱刈町役場を中心とする付近が雨量からも明らかなように被害が甚大であることがわかる。川内川周辺の平野部より山間部の川内川支流に被害が多いことから、山に降った表面流出が一気に小河川に流れ許容限界を超えたためと考えられる。施設改修や設計においては、今回の降水量を加味した確率雨量などの見直し、許容計算が取り入れられる必要がある。

表-2 耕地関係の被害(菱刈町, 大口市)

菱刈町	農地	81 箇所	
	農業用施設 (123 箇所)	農道	42
		水路	81
大口市	農地	21 箇所	
	農業用施設 (59 箇所)	農道	34
		水路	24
ため池		1	



## 5. 今後の課題

本報では、現地調査の概要と耕地関係の被害状況を中心に報告したが、今後は農地や農業用施設の復旧対策や修復技術に関する調査・研究を進める予定である。宝川内地区においては、集川下流の農地（棚田）の埋没や河川敷の畑地流失が発生したため、現地の石材を利用した原型復旧に寄与する石積の安定問題について実験的に検討する。同様な事例に、長崎県雲仙普賢岳の土石流災害があり、現在もなお農地の復旧が検討されている。火山による土砂災害が原因で、土石流による大きな砂礫の処分場所が問題となったことと、景観上においても周囲の農村地域と相応しい復元が妥当と判断されたことによる。さらには、風化安山岩の土質力学的性質についても実験により調べていくことが、含水比（雨量）との関係、斜面の安定性や山崩れ危険度判定、危険個所での非難勧告の判断に寄与すると思われる。

## 6. おわりに

2003年は鹿児島豪雨災害から10年の節目であり、鹿児島の各地で避難訓練や基調講演等の企画が開催された。過去の教訓を忘れることなく日頃の自主防災意識を高める契機にもなった。梅雨による長雨や末期の集中豪雨、台風による風水害が原因で、土砂災害が発生する危険個所は農山村集落に数多く存在するため、農作物被害や河川流域の水田流失・埋没の可能性が非常に高い。今後も災害に強い農山村地域の防災技術の確立と人的被害軽減のための災害非難情報システムの構築が望まれる。

### 謝辞

熊本県芦北地域振興局の高田輝雄氏、鹿児島県大口市耕地事務所の前村洋作氏には、被災農地及び農業用施設に関する資料提供を頂いた。ここに感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 熊本地方気象台：平成15年7月20日の梅雨前線による大雨，災害時気象資料，2003
- 2) 気象庁電子閲覧室HP：<http://www.data.kishou.go.jp/>



図-5 農地の被害（菱刈町）



図-6 農地の被害（大口市）

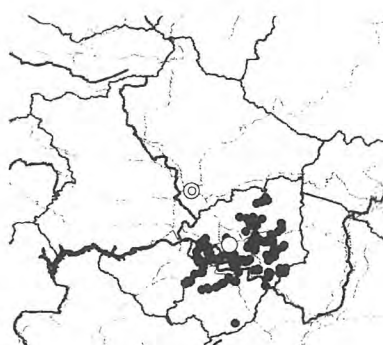


図-7 農業用施設の被害（菱刈町）

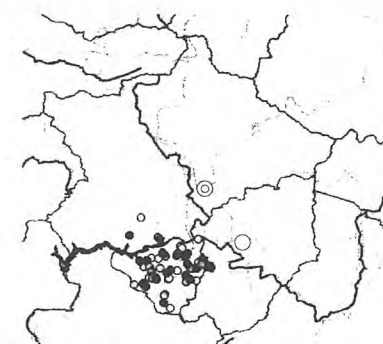


図-8 農業用施設の被害（大口市）

# 水俣市宝川内集地区土石流により埋没した 農地復旧方法について

鹿児島大学農学部 平 瑞樹・長 勝史・肥山浩樹・米村典洋

## 1. はじめに

平成15年7月20日午前4時20分頃、熊本県水俣市宝川内集地区で大規模な土石流が発生した。長閑な中山間地域では死者15名、負傷者6名を出す大災害となった。集地区周辺は美しい石積みを有する棚畑・棚田地帯であるが、土石流により集川全体が挟られ、宝川内川との合流付近には多くの土砂が堆積したため原型を留めていない。本報告は、周囲の景観や環境に配慮した農地復旧方法として、現地の石材を利用した石積み擁壁の安定性について検討した。

## 2. 土石流災害による概況

土石流は集落より約1,500m離れた山腹斜面で発生した大規模な崩壊が引き金となり河床に溜まった土砂を取り込みながら流下したものである。約10万 $m^3$ の流出土砂により、下流側の集落に5~7万 $m^3$ の土砂が堆積したと想定され、住宅全壊17棟、住宅半壊1棟、被災農地は3.52ha、道路336m、水路115m、揚水機1個所となっている。図-1に集地区の土石流被災地と埋没農地、図-2に被災前の農地の概況を示す。

## 3. 棚田保全と農地復旧

棚田地域は、日本の原風景としての伝統的・自然的景観を有し、食糧生産の場であると同時に、「緑のダム」としての水資源涵養や国土保全、洪水防止等の多面的機能が評価されている。特に美しい石積み擁壁は、農山村地域の景観の重要な構成要素となっている。近年、石積み擁壁の崩壊個所が、コンクリートブロックで部分的に改修されていることが少なくない。土地所有者の経済的負担、過疎化や高齢化にともなう後継者不足、石工の不足等が原因であるが、先人達が守り受け継いできた文化遺産でもあり、永年修復を繰り返しながら利用されてきたことを考慮すると、原形復旧のための力学的手法に基づく擁壁の安定条件や計算方法を取り入れた修復技術の検討が必要である。



図-1 土石流による埋没農地



図-2 被災前の農地の概況

### 3. 現地調査による石積み擁壁

崩壊した棚田の復旧計画において、元の状態に復旧するだけでなく、災害に強く、景観上美しい里山づくりを目指し、恒久的な地域防災も視野に入れた設計が重要である。現地を調査すると、棚田法面には、現地の自然石を積み上げた「野面積み」が多く用いられている。これは、盛土の侵食を抑制し、有限である土地面積を有効利用するための元来の手法である。崩壊現場の住民も可能な限りこの施工法による復旧を望んでいる場合が多い。図-3に一般的な石積み擁壁の模式図、図-4には石積み擁壁の断面図を示す。

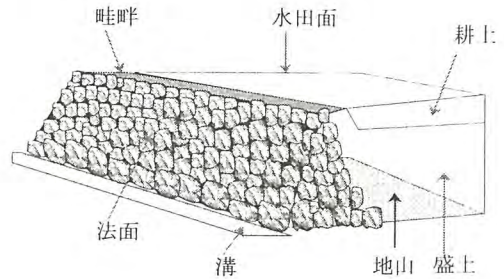


図-3 石積み擁壁の模式図

盛土斜面では、降雨の際に土壌侵食が起こり易く、棚田斜面の安定性については少なからず問題がある。そこで、土の侵食性も考慮した石積み擁壁を構築する必要がある。また、自然石積み擁壁の安定性については、土と構造物(擁壁)の相互作用と構造物が土から受ける圧力、地盤の飽和状態を加味した土圧計算や用いる材料定数の適宜の選択が必要である。

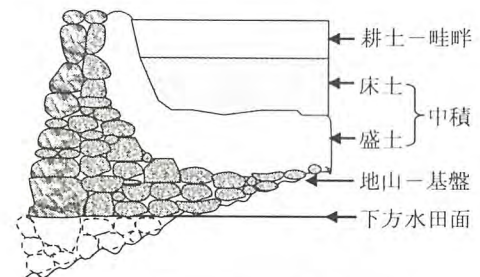


図-4 石積み擁壁の断面図

### 4. 石積み擁壁の安定性と示力線法

石積み擁壁の設計は、経験に基づくものが主である。石材やコンクリートブロック等を組み合わせる組積擁壁の安定計算の手法としては、示力線法が合理的であるとされている。自然石積み擁壁の場合には、関知石やコンクリートブロックと異なり、面や控え長などの形状・寸法が揃っておらず、数理的な計算を行っても必ずしも適合するとはいえないが、ここでは、示力線法に基づいた擁壁の安定性を検討する。

クーロンの土圧理論は、壁面と土の摩擦を考慮することができ、壁面や地表面が傾斜している場合でも土圧が求められることから、汎用性の高いクーロンの土圧係数を用いる。主働土圧係数  $K_a$  は(1)式となる。

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi)}{\sin^2 \sin(\theta - \delta) \left[ 1 + \frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi + i)}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta - i)} \right]^2} \dots (1)$$

ここに、 $\theta$ ：擁壁が水平面となす角、 $i$ ：地表面が水平面となす角、 $\phi$ ：土の内部摩擦角、 $\delta$ ：壁面摩擦角 ( $2/3\phi$ ) である。

示力線法とは、石積み擁壁の天端から任意の深さ  $y$  での水平断面を考え、この断面より上方の主働土圧と擁壁自重との合力  $R$  の作用線が、この水平断面との交点を連ねてできる線の位置により転倒に対する安定性を検討する。

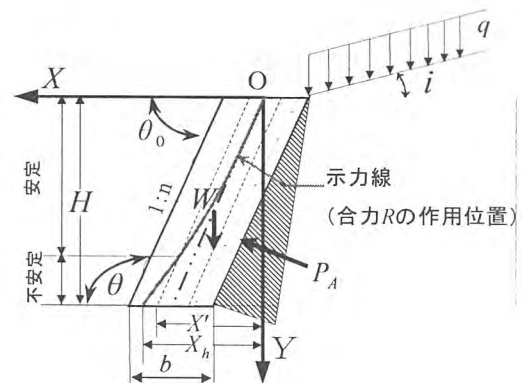


図-5 示力線法の模式図

図-5に示すような擁壁高さ $H$ の示力線の位置 $x_h$ は(2)式で与えられる。擁壁断面の1/3であるミドルサードまでの位置は、(3)式で示され、先端位置の転倒に対し、 $x' > x_h$ の場合を安全側と判断する。

$$x_h = \frac{K_A \cdot \gamma}{6\gamma_b \cdot b \cdot \text{cosec}\theta_0} H^2 + \left( \frac{K_A \cdot q_w \cdot \sin\theta}{2\gamma_b \cdot b \cdot \text{cosec}\theta_0} + \frac{\cot\theta_0}{2} \right) H \dots (2)$$

ここに、 $b$ ：壁体幅、 $\gamma$ ：土の単位体積重量、 $\gamma_b$ ：壁体の単位体積重量（石材）、 $q_w$ は盛土荷重の換算等分布荷重である。壁体幅（控え長）は現地の石材の大きさであり、土石流により運ばれた大きな巨礫を利用する場合はその加工が問題となる。土の内部摩擦角 $\phi$ 、土の単位体積重量 $\gamma$ や石材の単位体積重量 $\gamma_b$ については、室内試験により求める。上載圧については、トラクター、コンバイン等の農業機械を使用する場合、その大きさや利用頻度を予め調査しておく必要がある。

$$x' = H \cdot \cot\theta_0 + \frac{b \cdot \text{cosec}\theta_0}{6} \dots (3)$$

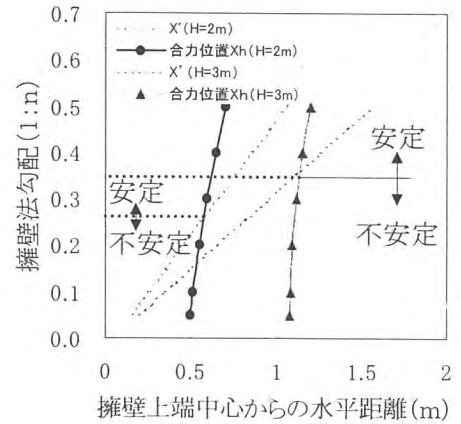


図-6 示力線法の計算例 ( $H=2m, 3m$ )

図-6は擁壁上端中心からの水平距離と擁壁の勾配の関係である。2通りの擁壁高さで示力線法による計算例を示した。たとえば擁壁高さ2mの石積みの場合、約0.26勾配以上であればミドルサードよりも内側にあり、力学的に安定となるため転倒しない。

### 5. 鹿児島県伊佐地区の被災地復旧状況

鹿児島県伊佐郡菱刈町や大口市の農地・農業用施設の復旧は順調に行われおり、死者を伴った土砂災害地域については、現在もなお工事が行われている。耕地関係の被害は、年度内の完了を目指している。農道脇の斜面工事（写真-1）、水田畦畔が流失した地点での河川護岸の改修（写真-2）状況である。



写真-1 農道脇の法面工

### 6. おわりに

土砂災害により埋没した農地の復元や崩壊した石積みの棚田を保全していくためには、修復方法や施工技術を検討しておくことが重要である。示力線法による安定計算は、ブロック積みの擁壁の転倒に対する安定性を目的とするものであり、詳細な判断には多少問題も残されているが、比較的容易に擁壁高さや勾配の決定、擁壁の力学的安定性の評価が可能である。今後、二次災害を含む土石流発生を想定した河川改修計画が進められるが、中山間地域における有効な土地利用計画と環境に配慮した農地復元が望まれる。



写真-2 河川護岸の改修



## 平成15年7月20日菱刈町災害の被害概要

鹿児島県伊佐郡菱刈町総務課

被害状況総括表

区分	工種等	細区分	箇所数等	単位	被害額	備考
住宅の被害	全壊		1	棟	3,000,000	
	半壊		1	棟	1,000,000	
	床上		4	件		
	床下		10	件		
	小計		16	件	4,000,000	
非住家の被害	全壊		1	棟	1,900,000	
	小計		1	棟	1,900,000	
土木災害	国道		1	件	1,700,000	
	県道		3	件	23,500,000	
	町道		106	件	357,600,000	
	河川		33	件	434,800,000	
	小計		143	件	817,600,000	
耕地災害	農業用施設		232	件	250,950,000	
	農地		197	件	115,400,000	
				ha		
小計		429	件	366,350,000		
その他	農産物		327	ha	51,724,000	水稲 301・ネギ 26・タバコ 1

2003年7月集中豪雨による肥薩地域土砂災害の調査研究

	小計		327	ha	51,724,000	
がけ崩れ	宅地		63	件	18,900,000	
	山林		63	箇所	366,500,000	
	林道		3	箇所	13,341,000	
	小計		129	箇所	398,741,000	
合計			718	件	1,640,315,000	