

## 土木研究所資料

2000年噴火後の三宅島における土砂流出に関する現地観測・調査結果（Ⅰ）

—平成14年度の観測・調査結果—

平成15年12月

独立行政法人土木研究所  
土砂管理研究グループ  
火山・土石流チーム

Copyright © (2004) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

2000年噴火後の三宅島における土砂流出に関する現地観測・調査結果（Ⅰ）  
 ー平成14年度の観測・調査結果ー

|                          |   |   |       |       |
|--------------------------|---|---|-------|-------|
| 土木研究所土砂管理研究グループ火山・土石流チーム |   |   | 上席研究員 | 小山内信智 |
| 〃                        | 〃 | 〃 | 研究員   | 山越 隆雄 |
| 〃                        | 〃 | 〃 | 専門研究員 | 土井 康弘 |
| 〃                        | 〃 | 〃 | 交流研究員 | 若林 栄一 |

## 要 旨

本報は、2000 年に大量の火山灰噴出を伴う噴火をし、その後、泥流が発生し続けている三宅島において2002 年 3 月から開始した斜面の水文特性、侵食環境、そして、泥流の発生状況に関する集中的な観測、調査の結果を報告するものである。

キーワード：三宅島 2000年噴火 泥流 水文特性 土砂流出特性

|       |                                           |    |
|-------|-------------------------------------------|----|
| 1     | はじめに .....                                | 1  |
| 2     | 三宅島の概要 .....                              | 2  |
| 2.1   | 地形・地質 .....                               | 2  |
| 2.2   | 気象特性 .....                                | 3  |
| 2.2.1 | 気温 .....                                  | 3  |
| 2.2.2 | 降雨・積雪 .....                               | 4  |
| 2.2.3 | 風向・風速 .....                               | 5  |
| 2.2.4 | 日照 .....                                  | 7  |
| 2.3   | 植生 .....                                  | 8  |
| 2.4   | 噴火の歴史 .....                               | 8  |
| 2.5   | 過去の土砂災害事例 .....                           | 9  |
| 3     | 2000 年噴火の概要 .....                         | 10 |
| 3.1   | 噴火の経緯 .....                               | 10 |
| 3.2   | 火山灰の噴出と土石流の発生 .....                       | 11 |
| 3.3   | 火口の陥没 .....                               | 13 |
| 3.4   | 火山ガスの噴出 .....                             | 14 |
| 4     | 2000 年噴火による火山灰の特徴 .....                   | 15 |
| 4.1   | 三宅島 2000 年噴火火山灰に関する既往文献のレビュー .....        | 15 |
| 4.2   | 三宅島 2000 年噴火による火山灰の物理特性 .....             | 16 |
| 4.2.1 | 火山灰の粒径分布 .....                            | 16 |
| 4.2.2 | 火山灰の土粒子密度および単位体積重量 .....                  | 19 |
| 4.3   | 火山灰の堆積特性 .....                            | 20 |
| 4.3.1 | 噴火イベントによる区分 .....                         | 20 |
| 4.3.2 | 標高による違い（火口からの距離による違い） .....               | 21 |
| 4.3.3 | 火山灰の堆積構造<br>(CT スキャンによる不攪乱試料の断面撮影像) ..... | 21 |
| 4.4   | 火山灰の化学特性 .....                            | 24 |
| 4.4.1 | 火山灰の化学組成 .....                            | 24 |
| 4.4.2 | 火山灰の構成鉱物 .....                            | 26 |
| 4.4.3 | 火山灰に含まれる石膏成分と雨水浸透との関係について .....           | 28 |

|       |                             |    |
|-------|-----------------------------|----|
| 4.4.4 | まとめ                         | 30 |
| 4.5   | 火山灰土壌の水分特性                  | 31 |
| 4.5.1 | 土壌水分特性試験（不飽和三軸試験）の方法        | 31 |
| 4.5.2 | 試験結果                        | 32 |
| 4.5.3 | 森林土壌等の土壌水分特性曲線との比較          | 33 |
| 5     | 植生被害状況                      | 35 |
| 5.1   | 調査方法                        | 35 |
| 5.1.1 | 立木調査                        | 35 |
| 5.1.2 | 地被調査                        | 36 |
| 5.2   | 調査結果                        | 37 |
| 5.2.1 | 立木調査                        | 37 |
| 5.2.2 | 地被調査結果                      | 41 |
| 6     | 三宅島における降雨特性                 | 45 |
| 6.1   | 雨量観測の実施状況                   | 45 |
| 6.2   | 平成 14 年度の降雨概況               | 46 |
| 6.3   | 月降雨量に見る降雨の傾向                | 47 |
| 6.4   | 風上側雨量と風下側雨量との関係             | 51 |
| 6.5   | 日雨量に見る降雨の傾向                 | 53 |
| 6.6   | 時間雨量に見る降雨の傾向                | 57 |
| 6.7   | 短時間雨量に見る降雨の傾向               | 58 |
| 6.8   | まとめ                         | 59 |
| 7     | 火山灰堆積斜面からの降雨流出・土砂流出         | 60 |
| 7.1   | 現地観測の概要                     | 60 |
| 7.2   | 火山灰堆積斜面からの降雨流出              | 62 |
| 7.3   | 火山灰堆積斜面における土砂流出             | 64 |
| 7.4   | 火山灰堆積斜面における降雨流出・土砂流出の違いについて | 64 |
| 7.4.1 | 降雨流出の違いについて                 | 64 |
| 7.4.2 | 土砂流出の違いについて                 | 65 |
| 8     | 溪流河道における降雨流出・土砂流出           | 66 |
| 8.1   | 現地観測の概要                     | 66 |
| 8.2   | 降雨流出に関する観測及び調査結果            | 68 |

|             |                        |    |
|-------------|------------------------|----|
| 8.2.1       | カニガ沢 .....             | 68 |
| 8.2.2       | 立根沢 .....              | 73 |
| 8.2.3       | カニガ沢と立根沢の流出比較 .....    | 75 |
| 8.3         | 土砂流出に関する観測及び調査結果 ..... | 77 |
| 8.3.1       | カニガ沢における土砂流出 .....     | 77 |
| 8.3.2       | 立根沢における土砂流出 .....      | 77 |
| 8.3.3       | 島内溪流からの土砂流出 .....      | 85 |
| 9           | おわりに .....             | 89 |
| 参考・引用文献     | .....                  | 90 |
| 参考・引用ホームページ | .....                  | 92 |

#### 巻末資料

- 巻末資料 1 三宅島関連文献一覧
- 巻末資料 2 島内の状況の写真

#### 付録 CD-R

- 付録 1 植生調査票
- 付録 2 立木調査写真
- 付録 3 地被率画像解析シート
- 付録 4 地被調査写真
- 付録 5 火山灰堆積深模式図
- 付録 6 火山灰堆積深調査写真
- 付録 7 島内の状況の写真

## 1 はじめに

噴火後の火山では、泥流・土石流が頻発するようになることが知られている。そして、その状態は噴火活動の推移、噴火後の時間経過によって変化する。たとえば、1955 年から噴火し続けている桜島では、土石流の発生頻度は噴火活動の盛衰に応じて増減していた<sup>1)</sup>。また、1977～78 年の有珠山噴火では、噴火活動が治まった後も、数年間は土石流が発生し続けたが、その後は土石流の発生はほとんど見られなくなった<sup>2)</sup>。

噴火後の火山におけるこのような土石流発生状況の経時変化は、噴火活動の推移、およびその後の降雨に伴う侵食の進行によって、土石流の発生場である周辺溪流流域の水文特性、侵食環境が刻々と変化するためであると考えられる。

通常、土石流発生危険度やその規模の評価は、既往の土石流発生実績に基づいて行われることが多い。しかし、噴火後の火山では、土石流の発生場が著しく改変を受けているため、過去の発生事例に基づいて評価する場合、非常に大きな誤差が含まれることを覚悟しなければならない。そのため、噴火後の火山において効果的な土石流対策を行うためには、土石流の発生実績を必要としない土石流の発生危険度、規模の評価手法を開発する必要がある。

そのような評価手法を開発するための基礎データを得るため、2000 年に大量の火山灰噴出を伴う噴火をし、その後、泥流が発生し続けて大きな被害が生じている三宅島において、2002 年 3 月から、斜面の水文特性、侵食環境、そして、泥流の発生状況に関する集中的な観測、調査を開始した。以下、第 2 章で三宅島の概要を述べ、第 3 章～第 6 章で 2000 年噴火の概要、噴出・堆積した火山灰の特性、植生の被害状況、そして降雨特性に関するこれまでの文献調査、現地調査結果について述べる。第 7 章では、三宅島の火山灰堆積斜面における降雨流出、土砂流出特性について、第 8 章では、溪流河道における降雨流出、土砂流出特性について平成 14 年度に実施した観測、調査結果をとりまとめて示した。現地観測、調査は平成 15 年度も継続しており、ここで述べる結果は中間的なものである。

また、巻末には、これまでに三宅島島内で撮影した写真を選んで掲載した。

## 2 三宅島の概要

### 2.1 地形・地質

三宅島は、東京の南方約 180km の海上、北緯 34°、東経 139° に位置する、直径約 8km の円形をした火山島である。面積は 55.5km<sup>2</sup>、周長は 35km あり、伊豆諸島では大島、八丈島に次ぐ三番目に大きい島である。伊豆・小笠原弧の火山フロント上にあり、玄武岩―安山岩質の成層火山で、海底部分も含めると長径 25km のやや南北に延びた円錐形をしている。水深 300～400m の海底から立ち上がり、2000 年の噴火前は、標高 813.3m（2000 年噴火前）の雄山およびその周辺まで比高 1,100～1,200m の火山体を形成していた。

今回の噴火以前には、火山体山頂部に直径 4km の桑木平カルデラと直径 1.6km の八丁平カルデラからなる 2 重の環状構造が存在していた。八丁平カルデラ内には雄山火砕丘が成長し、2000 年噴火前には八丁平カルデラは雄山の火砕丘に埋積していたが、2000 年噴火での山頂陥没に伴い、その大部分は消滅した。

三宅島の火山噴火は、山腹の割れ目噴火も多く発生しており、この火山活動に伴う火口やスコリア丘が地形に与えた影響も大きい。スコリア丘として 1940 年、1967 年（昭和 37 年）の噴火で形成されたひょうたん山、三七山、噴火口の跡である新濤池、大路池や、坪田地区の三宅高校付近の「水溜まり」、三池浜の窪地などがある。

## 2.2 気象特性

三宅島は周囲を海に囲まれていることにより海洋性気候を示し、温暖多雨である。ここでは、気象庁三宅島測候所における観測値（気象庁東京管区気象台ホームページ 気象資料電子閲覧室）を用いて、三宅島の気象特性の概要をまとめた。

### 2.2.1 気温

三宅島の平均気温、最高気温、最低気温は、以下の通りである。

- ・ 年間の平均気温 …… 17.5℃（統計期間：1971 年～2000 年）
- ・ 最高気温 …………… 32.5℃（観測日：1942 年 8 月 2 日，統計期間：1942 年 1 月～2003 年 3 月）
- ・ 最低気温 …………… -1.4℃（観測日：1997 年 2 月 23 日，統計期間：1942 年 1 月～2003 年 3 月）

図-2.1 に、三宅島の平均気温をグラフとして示す。

また、真夏日（日最高気温が 30℃ 以上の日）と冬日（日最低気温が 0℃ 未満の日）については、以下の通りである。

- ・ 真夏日の平均年間日数 …………… 9.0 日（統計期間：1971 年～2000 年）
- ・ 冬日の平均年間日数 …………… 0.7 日（統計期間：1971 年～2000 年）

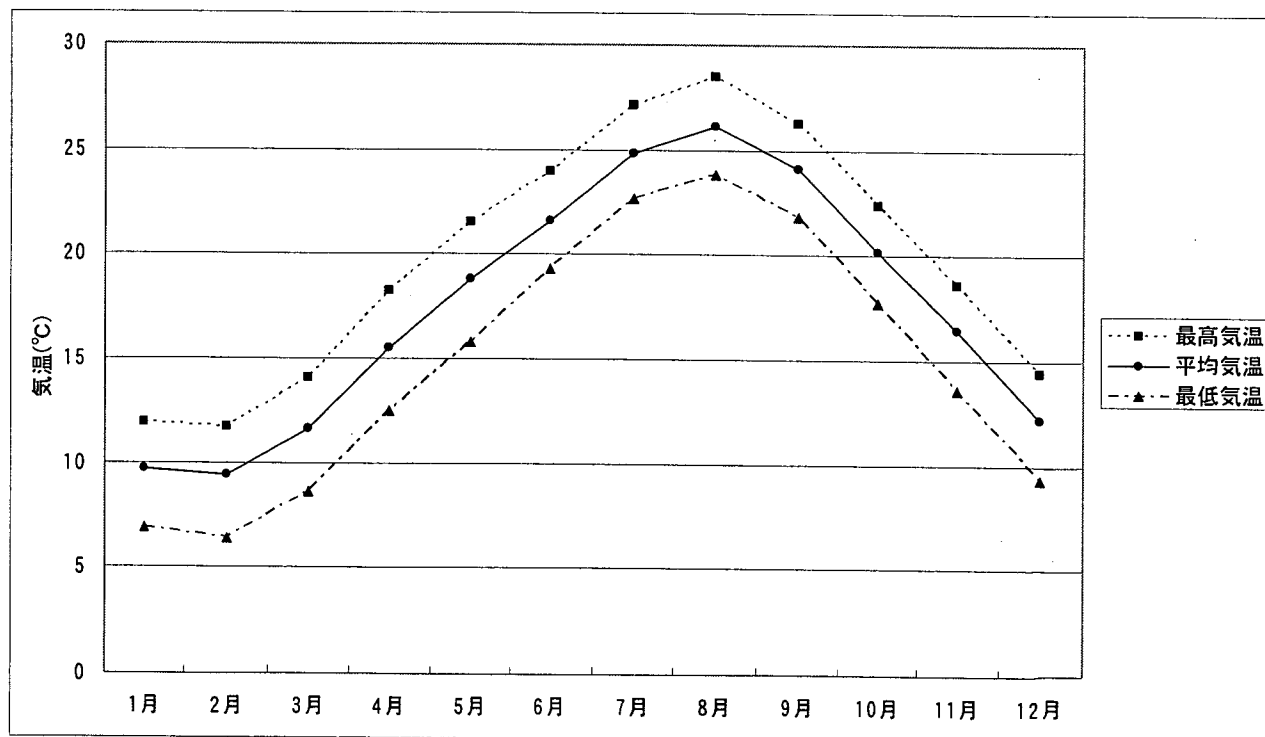


図-2.1 三宅島の気温（気象庁三宅島測候所，1971 年～2000 年の平均値）

## 2.2.2 降雨・積雪

三宅島の年間の降水量, 最大・最小年降水量, 最大・最小月降水量, 最大日降水量, 最大時間降水量, 最大積雪深は、以下の通りである。

- ・平均年降水量 ……2907.2mm (統計期間: 1971 年～2000 年)
- ・最大年降水量 ……4107.0mm (観測年: 1979 年, 統計期間: 1961 年～1999 年, 2002 年)
- ・最小年降水量 ……1899.5mm (観測年: 1997 年, 統計期間: 1961 年～1999 年, 2002 年)
- ・最大月降水量 ……998.7mm (観測月: 1957 年 9 月, 統計期間: 1942 年 1 月～2003 年 3 月)
- ・最小月降水量 ……9.0mm (観測月: 1995 年 8 月, 統計期間: 1942 年 1 月～2003 年 3 月)
- ・最大日降水量 ……392.3mm (観測日: 1957 年 9 月 16 日, 統計期間: 1942 年 1 月～2003 年 3 月)
- ・最大時間降水量 ……109.7mm (観測日: 1957 年 9 月 16 日, 統計期間: 1942 年 1 月～2003 年 3 月)
- ・最大積雪深 ……5cm (観測日: 1984 年 2 月 4 日, 統計期間: 1942 年 1 月～2003 年 3 月)

図-2.2 に各月の降水量の平均値をグラフとして示す。

梅雨, 台風の季節である 6 月, 9 月, 10 月に多いが、冬も日雨量 50mm を越える降雨は珍しくない。

また、気象庁三宅島測候所のホームページによると、積雪があることはまれだが、平均年 4 日は降雪があり、雄山ではほぼ毎年冠雪が見られる、との記述がある。

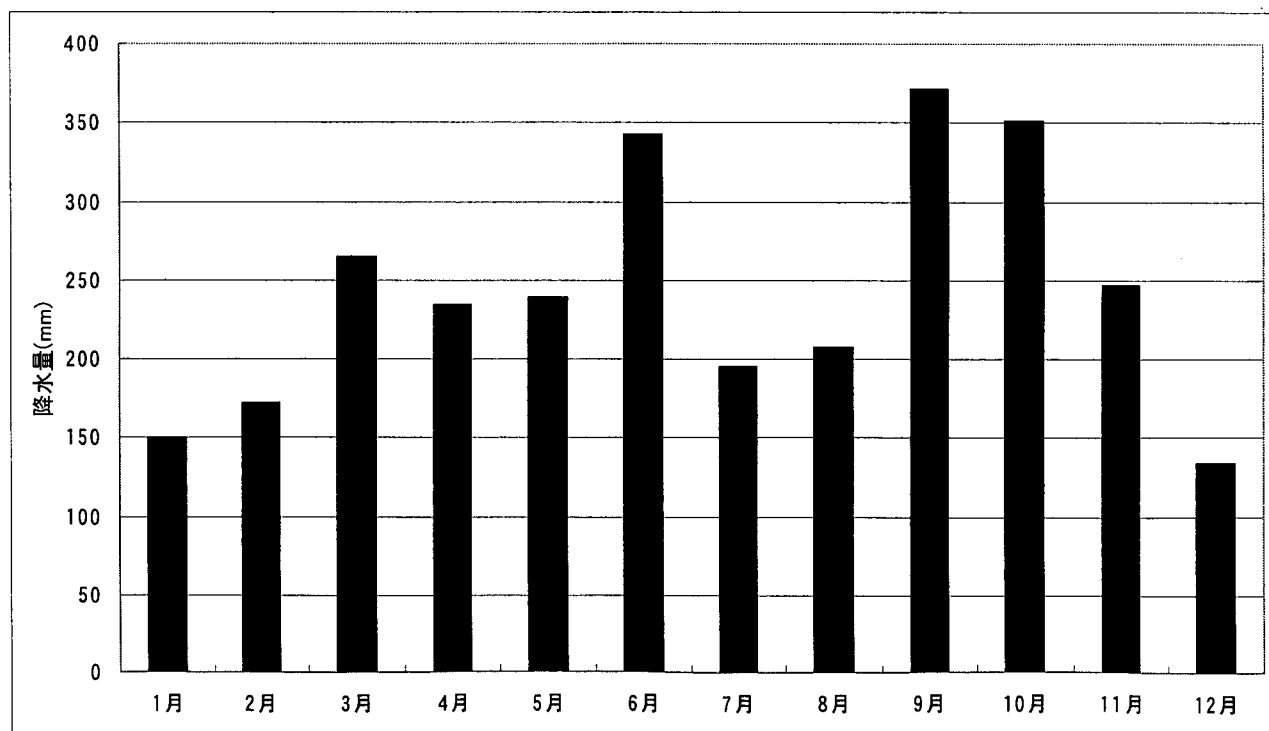


図-2.2 三宅島の降水量 (気象庁三宅島測候所, 1971 年～2000 年の平均値)

また、「伊豆諸島土砂災害対策検討委員会（土石流・泥流部会）」で決定された、砂防施設設計に用いる計画 24 時間雨量<sup>3)</sup>は、以下の通りである。

表－2.1 三宅島の確率降雨

| 超過確率年 | 24 時間雨量 |
|-------|---------|
| 200   | 475.9   |
| 100   | 436.0   |
| 50    | 396.1   |
| 30    | 366.4   |
| 10    | 301.5   |
| 5     | 258.5   |
| 2     | 193.6   |

### 2.2.3 風向・風速

三宅島の平均風速，最大風速，最大瞬間風速は、以下の通りである。

・平均風速 …………… 5.0m（統計期間：1975 年～2000 年）

・最大風速・風向 …………… 41.5m・北

（観測日：1949 年 10 月 28 日，統計期間：1942 年 1 月～2003 年 3 月）

・最大瞬間風速・風向 …………… 55.4m・欠測

（観測日：1995 年 9 月 17 日，統計期間：1942 年 1 月～2003 年 3 月）

図－2.3 に、月毎の最大風速，最大瞬間風速の平均値および平均風速をグラフとして示す。

また、図－2.4 には、各月の最大風速が記録された時の風向の出現頻度について、季節毎にまとめたものを示す。

年間を通して北東～北北東の風が吹く傾向がある。季節別に見れば、冬は西または北東の風、夏は南西または北東の風が吹く傾向が強い。風が強い時期は冬場の 1 月から 3 月にかけて、および、台風シーズンの 9 月、10 月であり、夏場の 7 月にもっとも弱くなる。

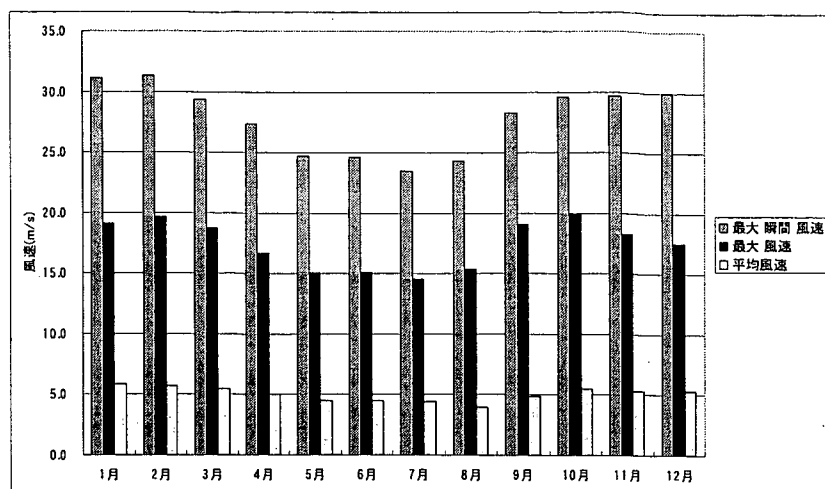
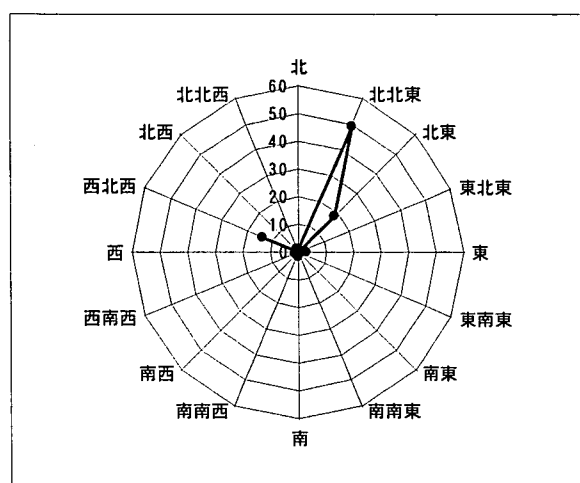
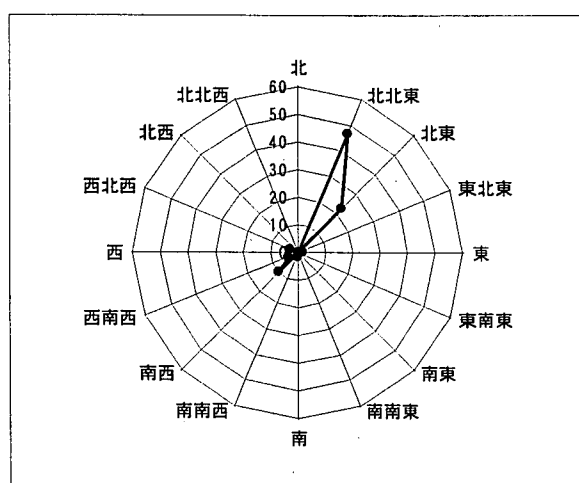


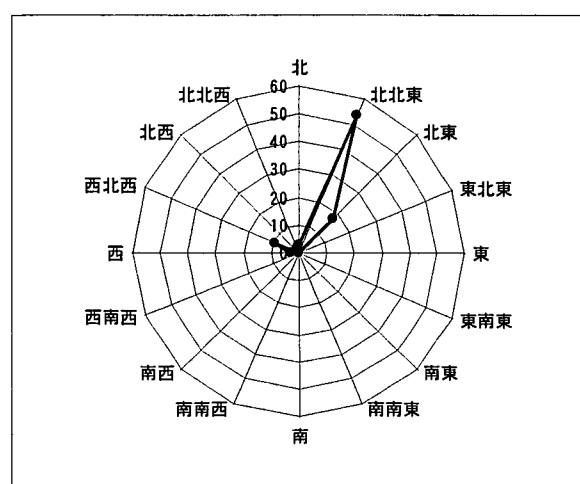
図-2.3 三宅島の風速(気象庁三宅島測候所, 最大風速・最大瞬間風速は 1971 年～2000 年の平均値, 平均風速は 1975 年～2000 年の平均値)



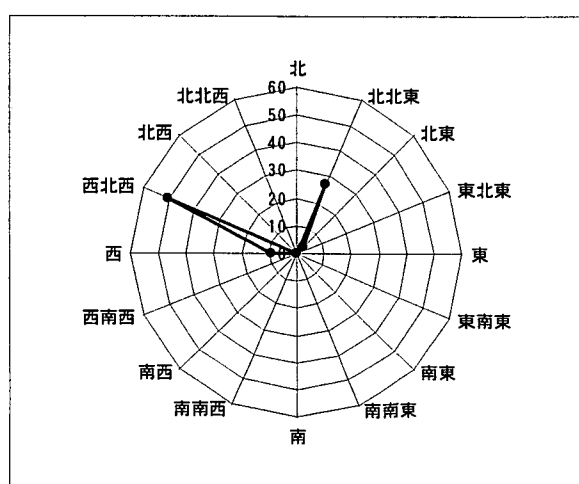
【春 (3～5 月)】



【夏 (6～8 月)】



【秋 (9～11 月)】



【冬 (12～2 月)】

図-2.4 最大風速の風向分布 (気象庁三宅島測候所, 1971 年～2000 年の出現頻度)

#### 2.2.4 日照

三宅島の年間の日照時間、最大・最小年日照時間、最大・最小月日照時間は、以下の通りである。

- ・平均年間日照時間 1714.0hr（統計期間：1971 年～2000 年）
- ・最大年日照時間 ……2105.1hr（観測年：1986 年，統計期間：1961 年～1999 年）
- ・最小年日照時間 ……1453.9hr（観測年：1998 年，統計期間：1961 年～1999 年）
- ・最大月日照時間 ……325.3hr（観測月：1995 年 8 月，統計期間：1942 年 1 月～2003 年 3 月）
- ・最小月日照時間 ……40.4hr（観測月：1967 年 11 月，統計期間：1942 年 1 月～2003 年 3 月）

図-2.5 に各月の日照時間の平均値をグラフとして示す。

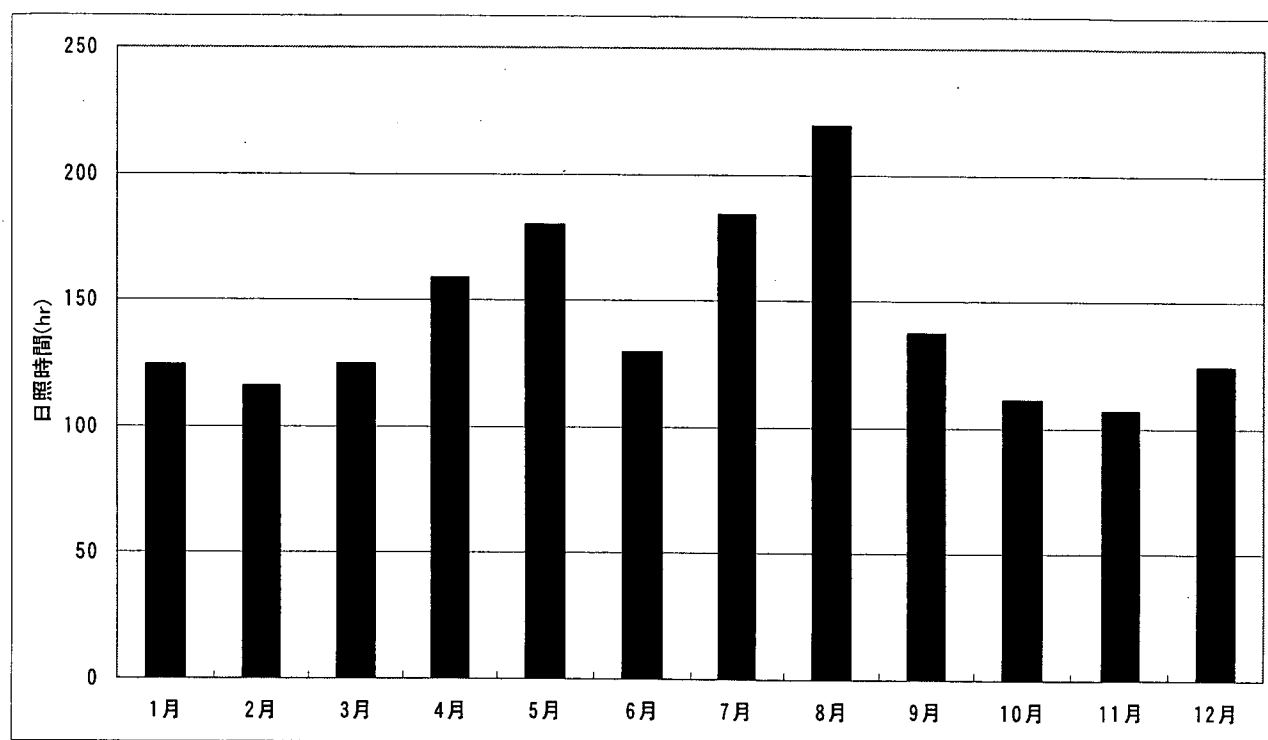


図-2.5 三宅島の日照時間（気象庁三宅島測候所，1971 年～2000 年の平均値）

6 月，10 月および 11 月は、梅雨と台風の影響から、日照時間は少ない。降雨量の少ない 7 月，8 月は、日照時間も多い。

### 2.3 植生

噴火前の三宅島はスダジイ、タブノキなどを中心とした常緑広葉樹林の成立する地域で、山麓部はやや亜熱帯的な植相を示していた。しかし、雄山山頂付近では低い気温と強い風衝の影響を受けて、落葉種が優先する低木林が発達していた。さらに低木林より上位には草原が発達していた。植物群落は、海岸部にハチジョウススキ草原、マサキ・トベラ林、山麓部にスダジイ・タブノキ林、山麓から山腹には緑萌芽林、山頂部にオオバヤシャブシ林という同心円上の分布となっていた。<sup>4) 5) 6)</sup>

山地の尾根部では、標高 350m 以上、谷部では 500m 以上に、ガクアジサイ・ラセイタタマアジサイ・イヌツゲ・オオバヤシャブシを主とする落葉広葉樹林（低木林）が発達していた。山地中腹の阿古側には放牧場が広がっており、ガクアジサイによって区画された牧草地が独特の景観をみせていた。また、スギ・ヒノキ植林が中腹一帯に散在する他は、スダジイ・タブ萌芽林が広い面積を占めていた。

山麓の自然植生は、スダジイ・タブ林であった。これらの森林が三宅島全島を広く覆っていた時期があったと考えられるが、火山と人為活動の影響により、一部残存していたにすぎない。一方、この地域に広く分布していた植生はオオバヤシャブシ植林、スダジイ・タブ萌芽林であり、このほかクロマツ・スギ植林が広い面積を占めていた。

海岸部では崖が発達し、砂浜海岸が少ないために、海浜植生は貧弱である。海食崖には風衝草原が帯状に発達し、その後方にはトベラ・マサキ・ヤブニッケイ・マルバシャリンバイを主とする風衝低木林が成立し、上層にはクロマツが突出している。またクロマツ植林地も見られる。

2000 年噴火の影響を受ける前の雄山山頂部には、ハチジョウススキ・イソギク群集、オオバヤシャブシ・ニオイウツギ群集が生育していたが、噴火活動中の山頂陥没により喪失した。

### 2.4 噴火の歴史

三宅島は有史以来、多くの噴火が記録されており、津久井らは過去 7000 年の三宅島噴火を、噴出物の層位調査と噴火記録によりまとめている<sup>7)</sup>。これによると、約 2500 年前に発生した八丁平噴火が、最近 1 万年間でもっとも大きな噴火であり、この噴火による噴出物量は  $0.4 \text{ km}^3$  であったとされている。火山の噴火規模を表す指標として用いられる火山爆発指数（VEI）によると、噴出物量が  $0.1 \text{ km}^3$  以上が大規模噴火と定義されている。この VEI によると、三宅島の大規模噴火は、八丁平噴火、7000～8000 年前の大船戸爆発の 2 回ある。ちなみに、今回の噴火による噴出物量は  $2.2 \times 10^{-2} \text{ km}^3$  であり、VEI は 3 である。

最近 100 年の噴火は、1940 年、1962 年、1983 年にあった。1940 年の噴火は山腹で発生し、11 名の島民が亡くなるという人的被害があった。1962 年も山腹の割れ目噴火で、噴火口がスコリア丘を形成し、この年は昭和 37 年にあたることから、このスコリア丘は三七山と名付けられた。1983 年も割れ目噴火で、流れ出した溶岩が南西部の阿古地区を襲い、400 棟近くの住居が埋まった。

近年の三宅島の噴火を時系列で眺めると、21～22 年程度の周期で噴火していることが特徴としてあげられる。1940 年以前の噴火は 1874 年だが、66 年の間隔であり、22 の倍数であることは興味深い。

表-2.2 に 11 世紀以降の噴火とその噴出物のタイプ・量を示した。噴火現象は三宅島測候所のホーム

ページから、噴出物については津久井らの調査記録<sup>7)</sup>から引用したものである。

2000 年以前の噴火は山腹の割れ目からスコリアを噴出し、溶岩が流出した後、比較的短期間で終焉するというタイプがほとんどであったのに対し、2000 年の噴火は山頂から大量の火山灰を噴出するタイプであった。

表-2.2 過去の噴火と噴出物

| 年    | 月日     | 現象                                                                 | 主な噴出物    | 噴出物量 (km <sup>3</sup> ) |
|------|--------|--------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------|
| 1983 | 10月3日  | 南西山腹割れ目噴火、マグマ水蒸気爆発。                                                | スコリアと溶岩  | 0.012                   |
| 1962 | 8月24日  | 22時過ぎ北東山腹割れ目噴火、溶岩噴泉。三七山形成。                                         | スコリアと溶岩  | 0.01                    |
| 1940 | 7月12日  | 1930 北東山腹より噴火、溶岩は北東部・赤場岬に達した。山腹噴火は13日でほぼ終了。14日朝から山頂噴火始まり、8月8日頃終わる。 | スコリアと溶岩  | 0.019                   |
| 1874 | 7月3日   | 北山腹で噴火。溶岩は北方に流れ、新しい陸地を生成。                                          | スコリアと溶岩  | 0.003                   |
| 1835 | 11月10日 | 西山腹で噴火。                                                            | 溶岩       | 0.0004                  |
| 1811 | 1月27日  | 北東山腹で噴火。                                                           | スコリア     | 0.01                    |
| 1763 | 8月17日  | 雄山山頂から噴火。新澤池はこの時できたと言われる。火山活動は1769年まで続く。                           | スコリアと溶岩  | 0.067                   |
| 1712 | 2月4日   | 山腹で噴火。溶岩は海中まで流出。翌年噴火が止む。                                           | 溶岩       | 0.0007                  |
| 1643 | 3月31日  | 当時の阿古村は焼失。噴火は約3週間継続。                                               | スコリア     | 0.017                   |
| 1595 | 11月    |                                                                    | 溶岩       | 0.001                   |
| 1535 | 3月     |                                                                    | 溶岩       | 0.003                   |
| 1469 | 12月    |                                                                    | 溶岩       | 0.002                   |
| 1154 | 11月    |                                                                    | 火山灰とスコリア | 0.078                   |
| 1085 |        |                                                                    | 溶岩       | 0.001                   |

\*三宅島測候所ホームページの記録に津久井らの論文データを加筆

三宅島の溪流は、出口が尻すばみ状態になっており、無降雨時は表流水が見られない。溪流出口に位置する都道周回道路での流末処理がなされていない溪流も多い。これはこれまで流域の浸透能が大きく、降った雨はすぐに地中に浸透していたことを示している。近年の噴火、例えば 1983 年の噴火における主な噴出物は溶岩とスコリアで、火山灰の堆積もあったがその粒径は粗く、土石流が発生するような浸透能の低下はなかった<sup>8)</sup>。今回の噴火では、放出された細粒火山灰がこれまで雨水を浸透させていた地表の空隙を埋め、その結果、浸透能が低下し土石流が頻発する危険な溪流に変貌したことになる。

## 2.5 過去の土砂災害事例

東京都では、三宅島における土砂災害の発生件数を調査している<sup>9)</sup>。その調査報告書によると、昭和 52 年から平成 6 年までの期間で、三宅島に発生した土砂災害は合計 7 件であり、その内訳は 4 件が山崩れ、3 件は不明となっている。山崩れはいずれも台風、もしくは集中豪雨により発生している。また、平成 6 年から平成 12 年（2000 年）7 月の噴火までの間に土砂災害があったとの報告はない。

### 3 2000年噴火の概要

#### 3.1 噴火の経緯

2000年6月下旬から微動地震、山腹膨張などの火山活動を始めた三宅島の雄山は、同年7月8日から噴火を繰り返し、8月29日までに島は大量の火山灰に覆われた。その結果、降雨の度に土石流が発生して道路が寸断され、流出した土砂は民家・農地を埋没させるなど大きな被害を出した。さらに8月18日の噴火後、雄山は大量の有毒な火山ガスを放出し続け<sup>10)</sup>、2003年3月現在、島民は2年半以上の島外避難生活を強いられている。

2000年6月下旬から9月2日、全島民に対する島外避難指示が発令されるまでの三宅島噴火活動を表-3.1に示す。

6月26日に急激な山体膨張が観測され、気象庁は緊急火山情報を発表し、噴火に備え厳重な警戒を呼びかけた。その後、火山性地震の震源が島西側の神津島方面に移動し始め、一旦設置された災害対策本部も廃止された。

しかし7月8日18時41分に山頂噴火し、翌日その噴火規模に見合わない、直径1km弱の陥没火口が確認された。

7月14、15日にはさらに規模の大きい噴火が相次いで発生し、大量の湿った火山灰が島の北東部に堆積した。火口の陥没と拡大はさらに進行し、7月22日には直径1.4km、深さ450mという規模になった。

7月26日には噴火後初めてまとまった降雨があり(東京管区気象台三宅島測候所:連続雨量52mm, 時間最大雨量17mm)、降灰のあった島北東部で土石流(泥流)が発生した。被害は主に道路の埋没や一部損壊であったが、釜の尻沢出口の空き家、建材工場、椎取神社、とんび沢付近の民宿などに被害が生じた(写真-3.1)。



写真-3.1 泥流により埋没した椎取神社の鳥居  
(2000年12月13日撮影)



写真-3.2 環状林道に落下した噴石によるクレーター (2000年8月27日撮影)

表-3.1 2000年の三宅島噴火活動  
(2000年6月26日～9月2日)

| 発生日   | 噴火活動                                        |
|-------|---------------------------------------------|
| 6月26日 | 18:00 山体膨張, 火山性地震群発                         |
| 6月27日 | 8:47 伊ヶ谷沖海面変色, その後震源が西側に移動始める               |
| 7月5日  | 17:15 山頂地震発生                                |
| 7月8日  | 18:41 山頂噴火                                  |
| 7月9日  | 山頂カルデラ陥没確認                                  |
| 7月14日 | 4:14 噴火                                     |
| 7月15日 | 12:20 山頂より大規模な降灰を伴う噴火                       |
| 7月26日 | 大雨による泥流被害                                   |
| 7月30日 | 地震発生                                        |
| 8月10日 | 6:59 噴火                                     |
|       | 8:50 地獄谷で泥流確認                               |
|       | 9:08 三七沢泥流発生                                |
|       | 9:15 再噴火                                    |
| 8月16日 | 地震多発                                        |
| 8月18日 | 17:02 雄山山頂噴火, 村役場・空港などで石が降り, 車のフロントガラス破損等被害 |
| 8月29日 | 4:35 山頂噴火, 火砕流発生<br>生徒・児童の島外避難              |
| 9月2日  | 一般島民へ島外避難指示                                 |

8月10日の朝、噴火があり噴煙高さは3,000mに達した。上昇した噴煙は積乱雲に発達して、その結果泥雨が狭い地域に集中して降った。この雨は泥流となって流下し、再び道路に氾濫して被害をもたらした。

8月18日には噴煙が成層圏(15,000m)に到達する、一連の火山活動で最大規模の噴火が発生した。山頂から1.5kmの距離にある雄山環状林道には、人頭大の噴石が多数落下し、家畜を直撃して死亡させるなどの被害が発生した(写真-3.2)。また4km離れた村役場、三宅空港、都道周回道路においても、火山礫が降下し、駐車していた車のフロントガラスを破壊する被害があった。

8月29日早朝には噴煙が8,000mに達する噴火があった(写真-3.3)。この噴火により火砕流が発生し(写真-3.4)、島北東の神着地区では海まで到達した。幸いこの火砕流は低温であったため人的被害はなかったが、非常に危険な状態であったことは間違いない。その後、山頂からは有毒な火山ガスが大量に放出され、9月2日に全島民に対する島外避難指示が発令されて以来、避難生活は2003年3月現在も続いている。

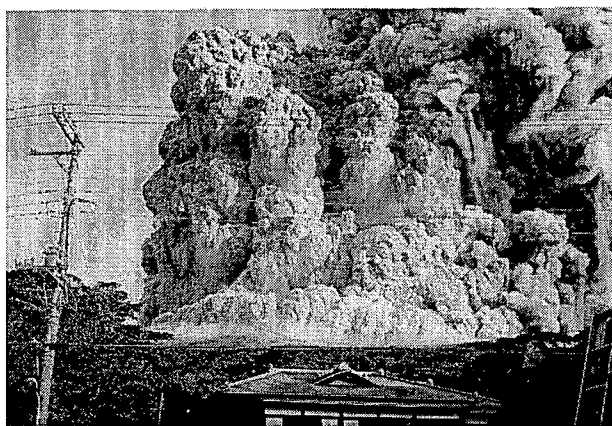


写真-3.3 8月29日早朝の噴火  
(坪田地区から雄山を望む)



写真-3.4 噴火直後の都道の状況  
(2000年8月29日撮影)

### 3.2 火山灰の噴出と土石流の発生

2000年の三宅島噴火はこれまでの山腹割れ目から溶岩・スコリアが噴出する様式と異なり、山頂から大量の火山灰を降らせて島を覆うタイプであった。第90回火山噴火予知連絡会資料<sup>11)</sup>より、一連の噴火による降灰分布を、図-3.1, 3.2に示す。

最初の噴火が起こった7月8日には西の風が吹いており、火山灰は雄山の東斜面に堆積した。その堆積厚さは山頂付近で130mm、三宅村役場付近で1mmであり、噴出物量は約99万 $\text{m}^3$ であった。7月14, 15日の噴火時には南西の風で、火山灰は北東斜面に降灰し、その堆積厚さは山頂付近で1000mm程度、周回都道の三七山付近でも最大100mm程度の降灰があった。この2日間の噴出物量は、約1100万 $\text{m}^3$ であった。8月10日の噴火時も南西の風が吹いていたため降灰は北東部に限られ、その日の降雨により、土石流は前回と同じく北東の溪流で発生した。すなわちこの時点までの降灰は、島の北東部に集中していた。

噴火が継続している間、7月26日に降灰後はじめてまとまった雨（三宅支庁で日雨量53mm）が降り、島北東部の溪流で土石流が発生した。8月10日の噴火直後の降雨でも泥流は発生したが、北東の一部の溪流に限られるものであった。

8月18日の噴火は、一連の噴火で最大規模のものであり、島の全域が降灰に覆われた。8月29日の噴火でも、南西の一部を除く広範囲に降灰が降り、火砕流の流下した神着地区では周回都道に厚さ70mm近くの火山灰が堆積した。その結果、9月5日の降雨以降には、島内のほとんどすべての溪流で土石流が発生するようになった。

表-3.2 三宅島 2000 年噴火による噴出物量<sup>1)</sup>  
(第90回火山噴火予知連絡会資料, 2001より抜粋)

| 噴出日      | 噴出物量(m <sup>3</sup> ) |
|----------|-----------------------|
| 7月8日     | 99×10 <sup>4</sup>    |
| 7月14-15日 | 1100×10 <sup>4</sup>  |
| 8月10日    | 150×10 <sup>4</sup>   |
| 8月13日    | 31×10 <sup>4</sup>    |
| 8月14日    | 1.8×10 <sup>4</sup>   |
| 8月18日    | 1500×10 <sup>4</sup>  |
| 8月29日    | 530×10 <sup>4</sup>   |
| 合計       | 3300×10 <sup>4</sup>  |

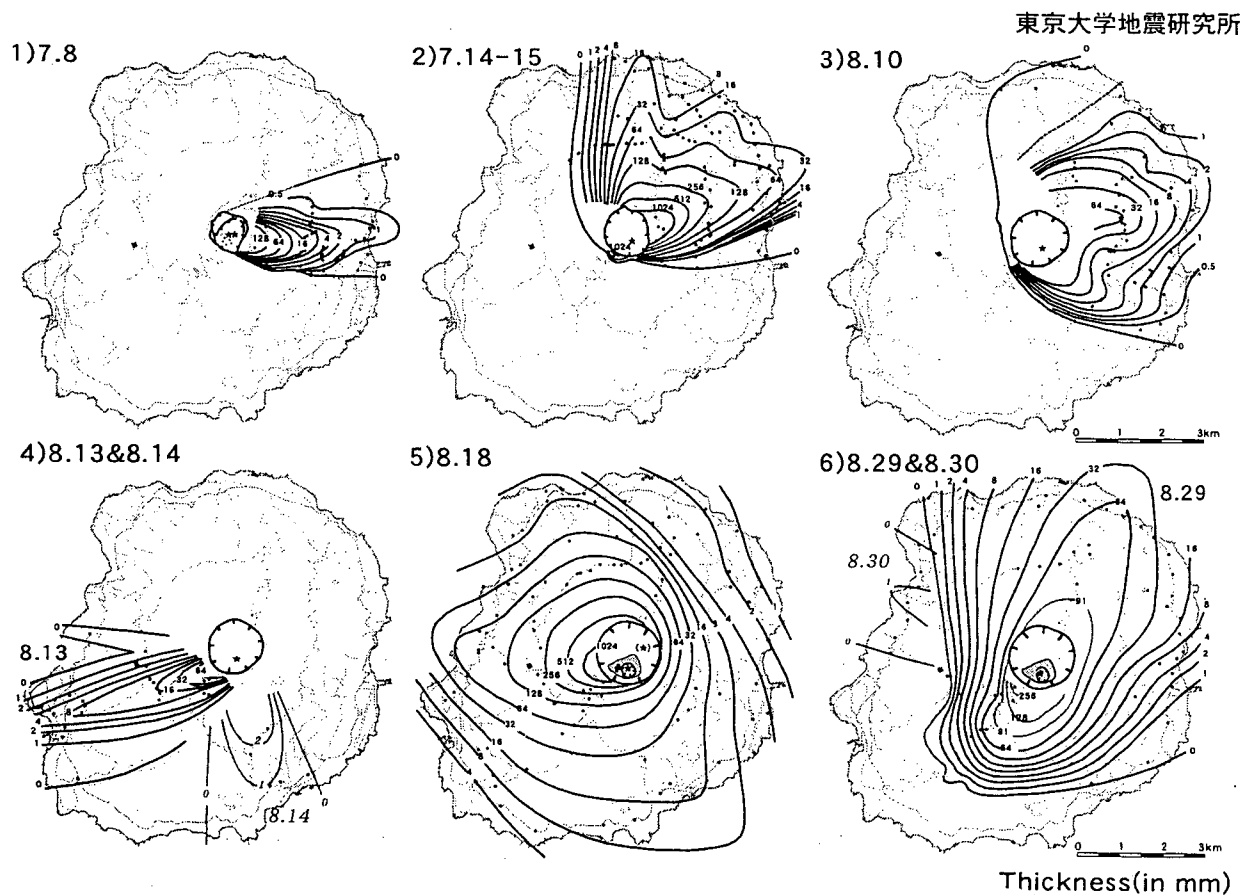
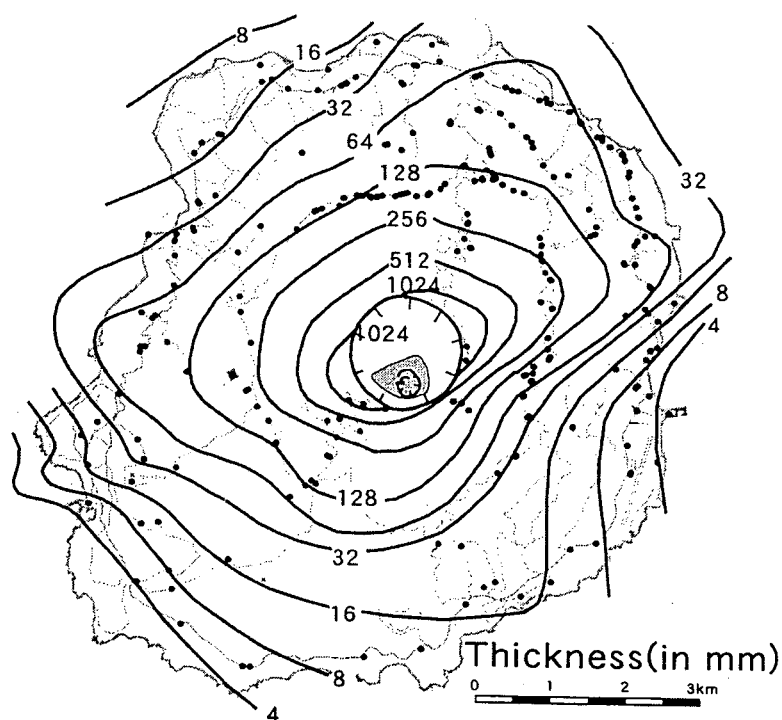


図-3.1 2000年の主要な噴火による降灰分布  
(第90回火山噴火予知連絡会資料より抜粋)



図－3.2 2000年7月8日～8月30日噴火による降灰分布  
(第90回火山噴火予知連絡会資料より抜粋)

### 3.3 火口の陥没

7月8日に最初の噴火があり、翌日の調査で火口が陥没していることが確認された。表－3.3は、国土地理院が主に空中写真のデータを元に作成した、火口の変化<sup>12)</sup>を表している。

表－3.3 三宅島山頂陥没地形計測結果（長谷川ほか，2001より抜粋）

|       | カルデラ直径(m) | カルデラ内最低<br>海拔標高(m,a.s.l.) | 陥没量(億 m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----------|---------------------------|------------------------|
| 7月9日  | 985       | 564                       | 0.56                   |
| 7月22日 | 1250      | 254                       | 2.65                   |
| 8月2日  | 1390      | 245                       | 4.26                   |
| 9月28日 | 1640      | 233                       | 6.00                   |

2003年3月現在、カルデラの拡大は停止しているが、カルデラの内壁は急峻で、崩壊が継続しているものと思われる。

### 3.4 火山ガスの噴出

2000年9月に全島民が避難して以来、現在（2003年3月）に至るまで、三宅島に戻れない最大の理由は火山ガスのためである。火山ガスは主に二酸化硫黄（ $\text{SO}_2$ ）であり、2000年8月18日の噴火以降、山頂からの噴煙は量的規模を増し、連続的になった。産業技術総合研究所の地質調査総合センターでは、2000年9月からCOSPECという $\text{SO}_2$ 濃度の遠隔観測装置をヘリに搭載し、1週間に2回観測を行っている。図-3.3は測定開始の2000年9月から2003年3月までの観測結果を表したグラフである。2000年9月～12月頃には日放出量が70,000トン近くを記録するなど、世界でも例を見ない大量の二酸化硫黄を放出した。その後、徐々に放出量は減少しているが、噴火後2年7ヶ月が経過した2003年3月においても、測定日によるばらつきや測定誤差があるものの、日放出量10,000トン近くを記録する日もまれではなく、島民の帰島を阻んでいる。

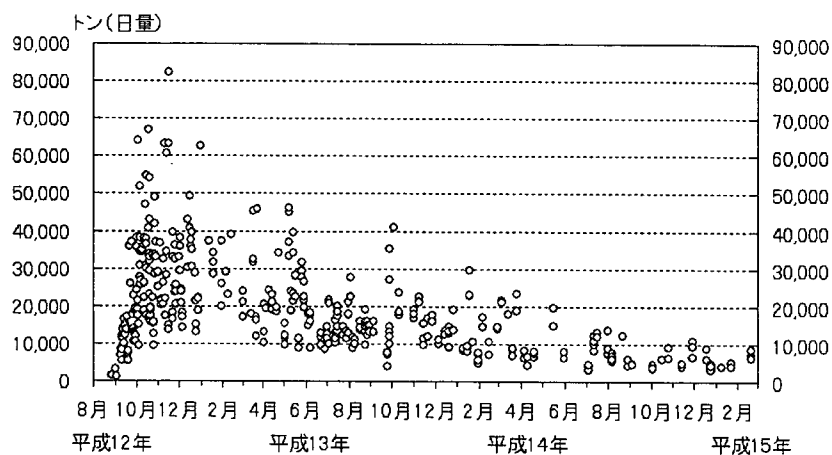


図-3.3 二酸化硫黄の日放出量変化（2000年8月～2003年3月）

（産業技術総合研究所 地質調査総合センター調べ）

#### 4 2000 年噴火による火山灰の特徴

噴火後の火山では、山腹斜面が火山灰に覆われるために、斜面の浸透特性、侵食特性が大きく変化し、その後の降雨で泥流・土石流が発生し易くなると考えられる。そのため、斜面を覆う新規火山灰の特性を、斜面の浸透特性、侵食特性に与える影響という観点から調べることは、その後の泥流・土石流の発生状況を理解する上で重要である。

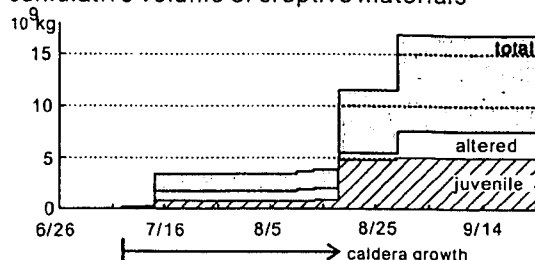
##### 4.1 三宅島 2000 年噴火火山灰に関する既往文献のレビュー

三宅島における 2000 年噴火の際の火山灰については、下司ほか (2002)<sup>13)</sup>において詳細に記述されている。以下、同文献から引用する。

2000 年 7 月～9 月にかけて雄山山頂から噴出した火山灰は、大きく分けて 3 種類の岩石の碎屑物から構成されている。一つ目は、黒色スコリア質岩片からなる本質物質である。このスコリア質岩片は、前回の 1983 年噴火の際に、噴火口周辺に大量に堆積した礫状のスコリアではなく、個々の粒径が数  $\mu\text{m}$ ～数十  $\mu\text{m}$  の岩片を指す。これは、今回の噴火活動に関わったマグマ起源のものと考えられている。二つ目は、石英、石膏、カオリン、黄鉄鉱等からなる熱水変質岩片である。そして三つ目は、様々な程度に風化、変質を受けた雑多な種類の溶岩片、火山碎屑物、スコリア粒子の混合物であり、これらは噴火前の雄山の山体構成物である。

そして、噴出物中におけるこれら 3 種類の岩石の碎屑物の構成比は噴火毎に異なっているため (図-4.1)、視覚的にその噴出物の識別が可能である。たとえば、8 月 18 日噴出物は本質スコリア質岩片を多く含むため暗灰色を呈する。そして、8 月 29 日噴出物は粘土化した変質岩片に富み、噴出物全体が黄褐色を呈する (写真-4.1)。

A: cumulative volume of eruptive materials



B: modal composition of the eruptive materials

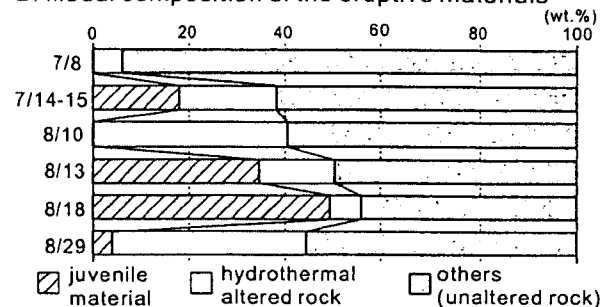


図-4.1 2000 年三宅島噴火時の累加噴出量 (A) と噴火イベント毎のマグマ本質物質等の構成比 (B) 下司ほか (2002)<sup>13)</sup>より引用

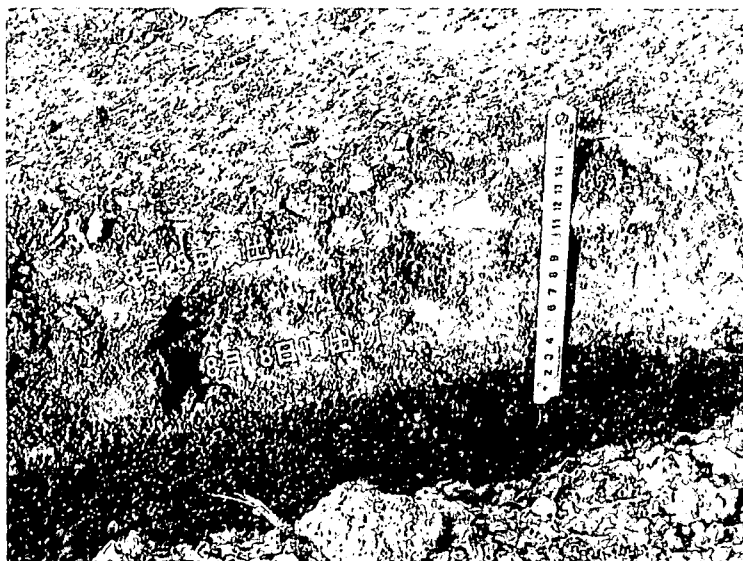


写真-4.1 村営牧場の堆積物の断面写真  
(写真中のスケールは 15cm)

## 4.2 三宅島 2000 年噴火による火山灰の物理特性

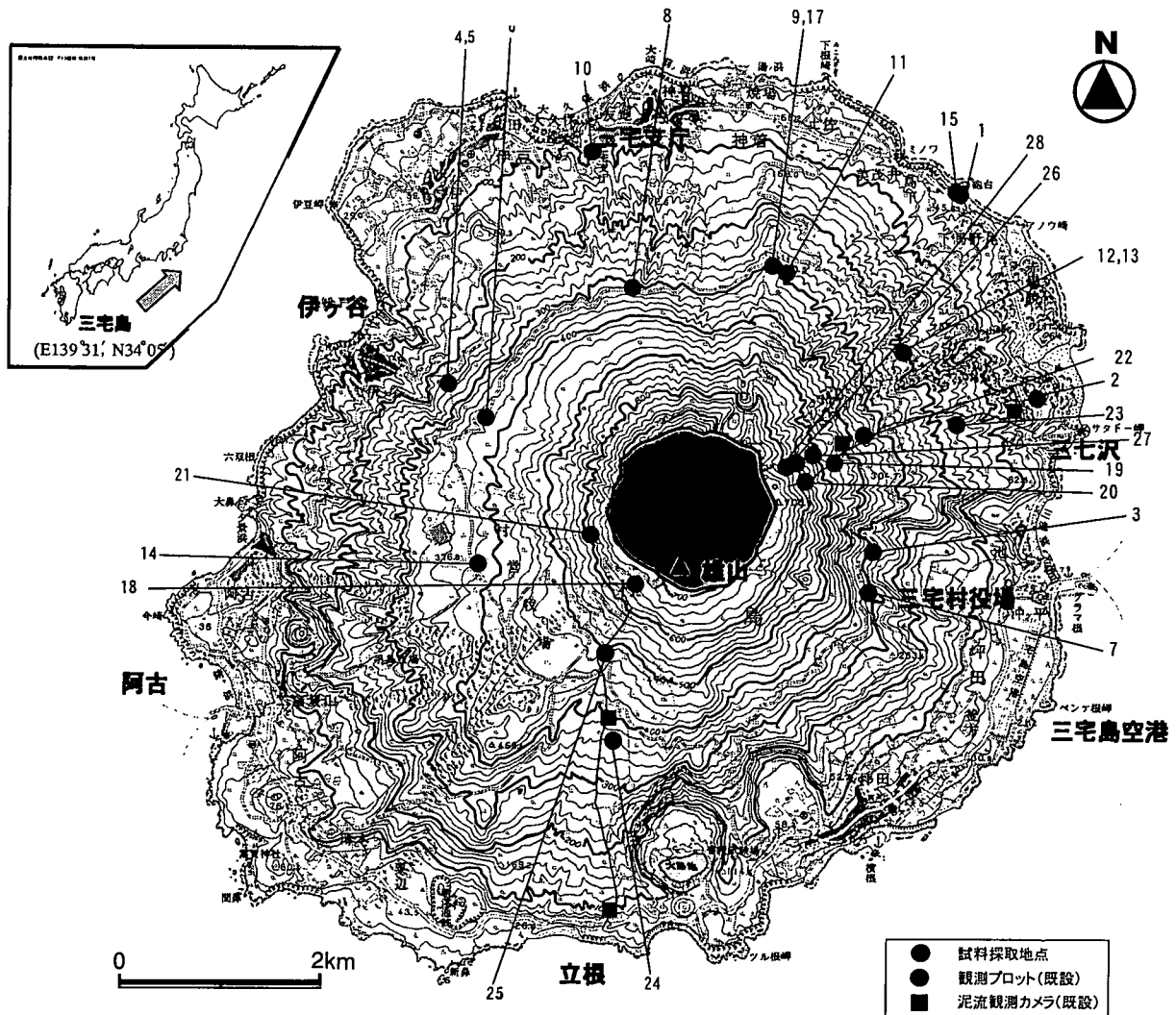
### 4.2.1 火山灰の粒径分布

2000 年噴火後からこれまでに採取した土壌試料の内、2000 年噴火による降下堆積物であると判断される試料に対して、JIS A 1204 に準拠した手法により、粒度分析を実施した。以下、その結果を記す。

#### (1) 火山灰全試料

噴火中の 2000 年 8 月～2002 年 9 月までの間、機会があるたびに火山灰試料を採取した。表－4.1 に採取した火山灰全試料のリストを示す。

採取した火山灰は概ね平均粒径 ( $D_{50}$ ) が  $0.01\sim0.2\text{mm}$  を示す。特徴としては、粒径  $0.01\sim0.06\text{mm}$  付近では殆どの試料が分級し、曲線が下方に落ち込んでいる。このことの原因については後述するがシルト・粘土成分が団粒化しているものと考えられる。



図－4.2 火山灰試料採取位置図  
(図中の番号は表－4.1 の地点番号に対応)

表-4.1 分析した火山灰等の一覧

| 試料<br>番号                                                                                                | 地点<br>番号 | 採取日       | 備考                         | 試料<br>番号 | 地点<br>番号 | 採取日    | 備考                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------------------------|----------|----------|--------|------------------------|
| No.1                                                                                                    | 1        | H12年7月31日 | 泥流                         | No.25    | 18       | H14年8月 | #829                   |
| No.2                                                                                                    | 2        | H12年7月31日 | #714                       | No.26    |          |        | #818                   |
| No.3                                                                                                    | 3        | H12年7月31日 | #714                       | No.27    | 19       |        | スコリア                   |
| No.4                                                                                                    | 4        | H12年8月27日 | #818                       | No.28    |          |        | スコリア                   |
| No.5                                                                                                    | 5        | H12年8月27日 | #818 No.4の表層部<br>(5mm)の雨撃層 | No.29    | 20       |        | #714?                  |
|                                                                                                         |          |           |                            | No.30    |          |        | #810?                  |
| No.6                                                                                                    | 6        | H12年8月27日 | #818                       | No.31    | 21       |        | #818?                  |
| No.7                                                                                                    | 7        | H12年8月27日 | #714, #810, #818?          | No.32    | 22       |        | #829, #818, #810, #714 |
| No.8                                                                                                    | 8        | H12年8月28日 | #818                       | No.33    |          |        |                        |
| No.9                                                                                                    | 9        | H12年8月28日 | #714, #818                 | No.34    | 23       |        | #714?                  |
| No.10                                                                                                   | 10       | H12年8月29日 | #829 降灰直後に採取               | No.35    |          |        |                        |
| No.11                                                                                                   | 11       | H13年8月    | #829?                      | No.36    | 24       |        | #818                   |
| No.12                                                                                                   | 12       | H13年8月    | #714?, #810?               | No.37    |          |        |                        |
| No.13                                                                                                   | 13       | H13年8月    | ?                          | No.38    | 25       |        | #829, #818?            |
| No.14                                                                                                   | 6        | H13年8月    | #818?                      | No.39    |          |        |                        |
| No.15                                                                                                   | 14       | H13年8月    | #818?                      | No.40    | 26       |        | #829, #818, #810, #714 |
| No.16                                                                                                   | 11       | H13年8月    | #829                       | No.41    |          |        |                        |
| No.17                                                                                                   | 12       | H13年8月    | #714?#810?                 | No.42    | 27       |        | #829, #818, #810, #714 |
| No.18                                                                                                   | 6        | H13年8月    | #818?                      | No.43    |          |        |                        |
| No.19                                                                                                   | 10       | H12年8月29日 | #829                       | No.44    | 28       |        | #714                   |
| No.20                                                                                                   | 15       | H12年8月29日 | #829                       | No.45    |          |        |                        |
| No.21                                                                                                   | 16       | 不明        | ?                          | No.46    | 28       |        | #714                   |
| No.22                                                                                                   | 6        | H13年8月    | #818?                      | No.47    |          |        |                        |
| No.23                                                                                                   | 17       | H13年8月    | #829?                      | No.48    | 28       |        | #714                   |
| No.24                                                                                                   | 11       | H13年8月    | #829, #818?                | No.49    |          |        |                        |
| #714: 7月14-15日噴火による火山灰<br>#810: 8月10日の噴火による火山灰<br>#818: 8月18日の噴火による火山灰<br>#829: 8月29日の噴火による火山灰<br>?: 不明 |          |           |                            | No.50    | 27       | H14年7月 | #714, #810, #818       |
|                                                                                                         |          |           |                            | No.51    | 27       | H14年9月 | —                      |
|                                                                                                         |          |           |                            | No.52    | 28       |        | #714                   |
|                                                                                                         |          |           |                            | No.53    |          |        | #714                   |
|                                                                                                         |          |           |                            | No.54    |          |        | #714                   |
|                                                                                                         |          |           |                            | No.55    |          |        | #810                   |
|                                                                                                         |          |           |                            | No.56    |          |        | #818                   |
|                                                                                                         |          |           |                            | No.57    |          |        | #829                   |

そのほか、2 試料について、50%粒径が 1mm を超える分布を示している。この 2 試料は、三宅島の西～南西斜面の火口付近で採取した試料である。

また、立根沢・カニガ沢砂礫試料同様に粒度の粗い試料を赤線で示した (No.34, 48, 50, 52, 54, 56 地点)。これらはカニガ沢試料上中流域での採取で、立根沢・カニガ沢砂礫試料と良く似た相似曲線を示す。赤線で示した試料も本来は砂礫試料のように粒径の粗い試料であり、その一部分を採取試験した可能性が高い。原因としては、堆積時の環境 (地形・風雨) による分級や試料採取時の分級が考えられる。

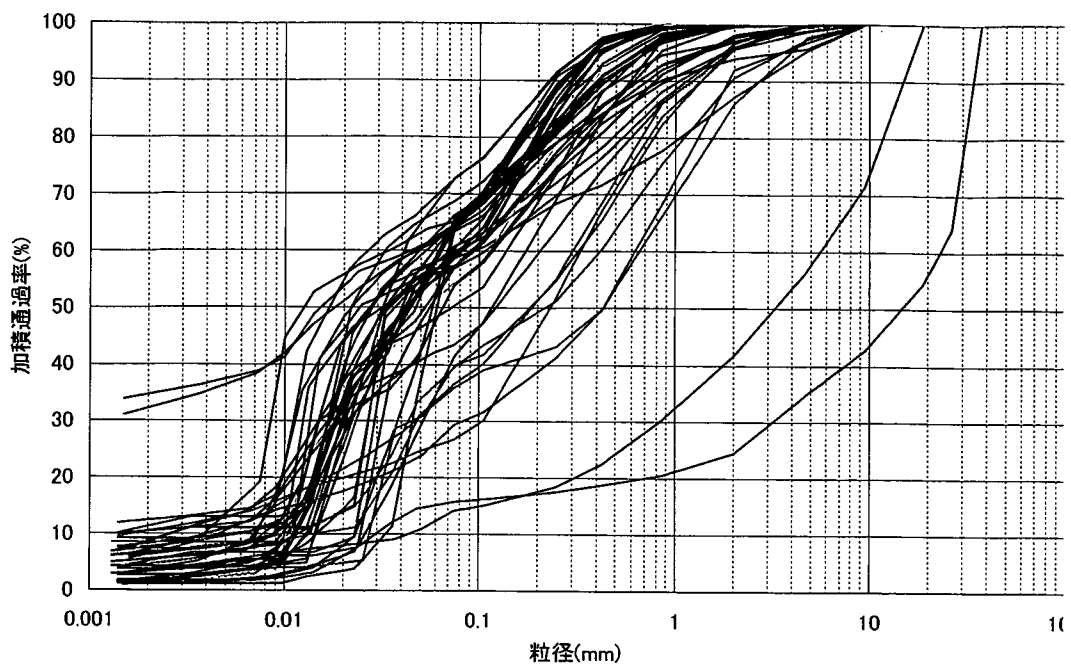


図-4.3 採取した全火山灰試料の粒径加積曲線

平均粒径  $D_{50}$  は、概ね  $0.02 \sim 0.25 \text{ mm}$  の範囲にあり、 $0.04 \sim 0.075 \text{ mm}$  が卓越する。平均値は  $0.513 \text{ mm}$  を示し、最大値は  $14 \text{ mm}$ 、最小値は  $0.012 \text{ mm}$  と幅広く分布する。

砂分含有率は、概ね  $30 \sim 60\%$  の範囲にあり、 $30 \sim 40\%$  が卓越する。平均値は  $39.9\%$  を示し、最大値は  $68.8\%$ 、最小値は  $8.7\%$  (スコリア) である。

細粒分 ( $0.075 \text{ mm}$  以下) は、 $50 \sim 70\%$  が卓越する。平均値は  $53.5\%$  を示し、最大値は  $72.7\%$ 、最小値は  $14.2\%$  を示した。

## (2) 団粒化について

三宅島の火山灰の粒度試験において、JIS規格による分散剤ヘキサメタリン酸を使用した、殆ど全ての試料で団粒化が認められ、粒径加積曲線が急激に変化する現象が生じた。その為、試料の煮沸や蒸留水のための試験を実施したが効果なく全て団粒化した。その為、分散剤として塩化ナトリウム (NaCl) や水酸化ナトリウム (NaOH)、メタノール、界面活性剤 2 種 (ポイズ 521、デモール EP) での比較試験を行った。その結果、界面活性剤 (デモール EP) で最も効

果が認められた。図-4.4 にその粒径加積曲線を示す。界面活性剤の使用により、曲線がなだらかに低下していて、ヘキサメタリン酸のように急激に変化する所は無い。0.01mm 付近は最もヘキサメタリン酸とデモール EP の差が著しい所で、0.01mm の通過質量はデモール EP が 7~30% 程度増加する。

なお、界面活性剤は花王株式会社製でデモール EP (特殊ポリカルボン酸型高分子界面活性剤) は商品名である。

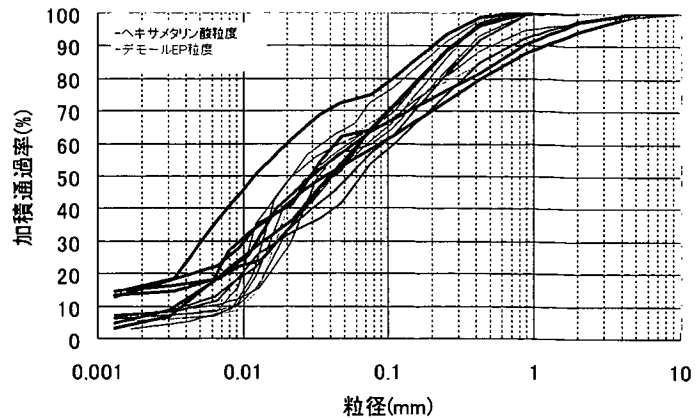


図-4.4 分散剤による粒径分布の違い (ヘキサメタリン酸とデモールEP)

## 4.2.2 火山灰の土粒子密度および単位体積重量

### (1) 土粒子密度

図-4.5 に火山灰全試料の頻度分布を示す。火山灰の土粒子密度は概ね  $2.84 \sim 2.92 \text{ g/cm}^3$  が卓越し、平均値は  $2.867 \text{ g/cm}^3$  を示す。

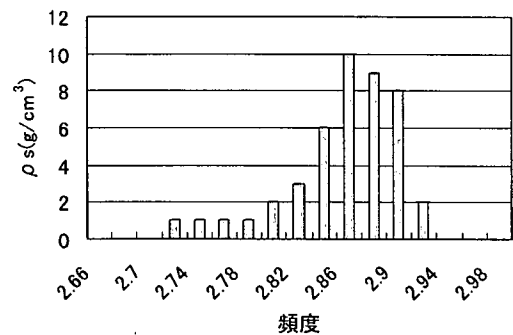


図-4.5 土粒子密度のヒストグラム (表-4.1 に示した全試料の値の分布)

### (2) 乾燥密度および間隙比

不攪乱試料による火山灰の乾燥密度  $\rho_d$  は  $1.107 \sim 1.479 \text{ g/cm}^3$  にあり、平均  $1.336 \text{ g/cm}^3$  を示す。また、間隙比は  $0.966 \sim 1.632$  の範囲で、平均  $1.187$  を示し、やや緩い状態の試料である。

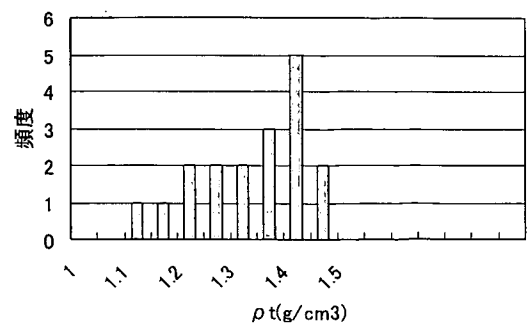


図-4.6 不攪乱試料の乾燥密度

## 4.3 火山灰の堆積特性

### 4.3.1 噴火イベントによる区分

第3章においてすでに示したように、2000年の三宅島噴火は、7回の火山灰噴出を伴う噴火があった。その中でも、噴出量の多かった7月14-15日、8月10日、8月18日、8月29日の4回の噴火イベントでは、約 $32.8 \times 10^6 \text{m}^3$ の火山灰が島内に堆積し、現在でも島内各所にその堆積物が残っている。また、写真-4.1に示したとおり、これらの堆積物は異なる外観を呈するため、現地において比較的容易に識別することが可能である。そこで、図-4.2の地点番号26番(SU)のやや上側斜面において、深さ80cmの穴を掘削し、その断面を観察した。この地点では、上記4回の主要な噴火イベントによる噴出物がすべて堆積している。この4回の噴火イベントによる堆積物を別個に採取し、粒度分析した結果を図-4.7に示す。なお、この地点においてもっとも厚く堆積していた7月14-15日の噴火イベント堆積物は、視覚的にさらに区分が可能と思われたため、3種類に分けてそれぞれ採取し、粒度分析を行った。

8月10日と8月29日の粒径加積曲線は殆ど同じ値を示す。8月18日の試料は6試料中最も粒径が粗く、7月14-15日の3つの試料の粒度はそれぞれに大きく異なっている。なお、2mm換算粒径の曲線でも同じ傾向を示す。この図より、2000年噴火の噴出物は、この地点では、粒度の細かいもの(8月10日、29日、そして、7月14-15日の一部)と粗いもの(7月14-15日の一部、8月18日)の二つに大別されることがわかる。また、7月14-15日の一連の噴火中であっても、同じ地点で降下する火山灰の粒径は10倍程度も大きく異なることを示している。

このほかに、噴火イベントを特定できた火山灰試料について、その粒度分布をまとめて示す(図-4.8)。8月10日と8月29日の粒径加積曲線はほぼ同じ値で分布域が狭い。また、8月18日は試料数が増え7月14日試料とほぼ同じ幅広い粒度分布域を示している。8月18日と7月14-15日の噴火イベントは2000年噴火の噴火イベントの中で1番目と2番目に規模の大きな噴火であり、イベント中に複数の爆発とそれに伴う降灰があったものと考えられる。そ

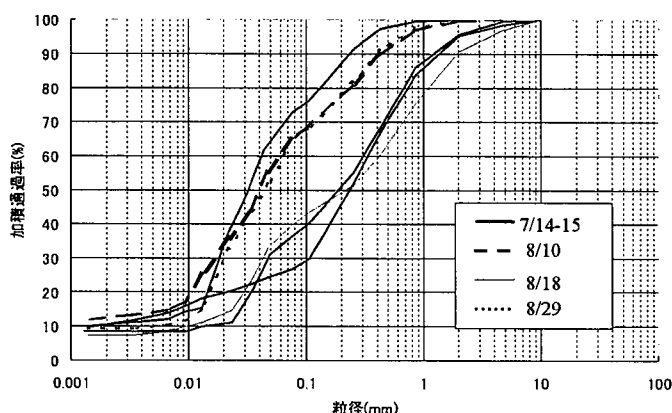


図-4.7 噴火イベント毎の火山灰の粒径分布  
(2003年3月SU斜面周辺にて採取)

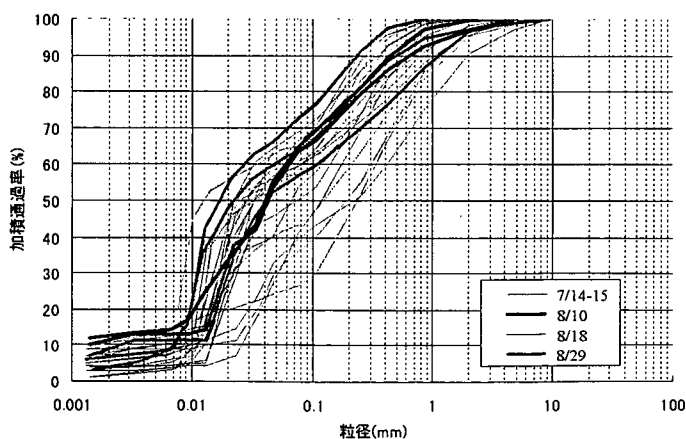


図-4.8 噴火イベント毎の火山灰の粒径分布

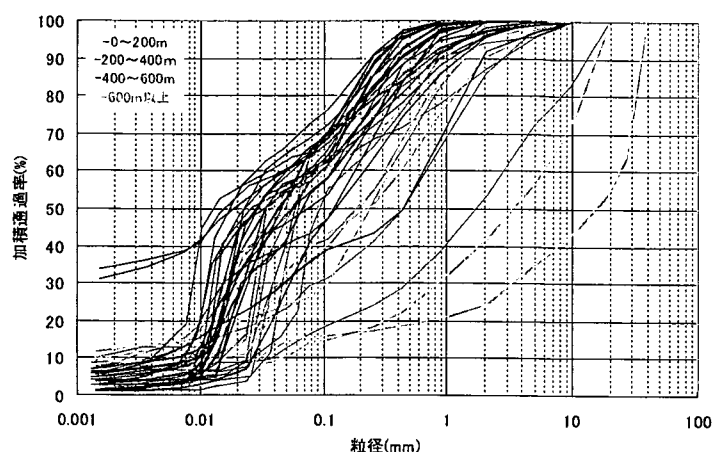
のため、このように粒径分布の幅が広がったものと考えられる。

### 4.3.2 標高による違い（火口からの距離による違い）

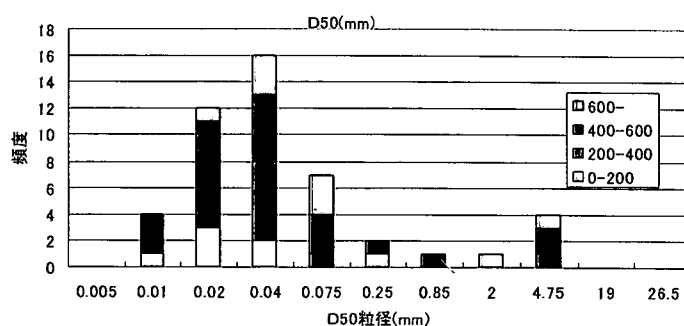
採取地点の標高を元に、採取した火山灰の粒径分布を区分した。三宅島雄山は円錐型であることから、標高が高いほど雄山中心に近くなる。既往の研究によると、火口から離れるほど火山灰の粒径は小さくなることが指摘されており、三宅島においてもこの知見があてはまるのかどうかを検証した。

標高区分別の粒径分布図（図－4.9）を概観すると、わずかではあるが、標高が高い試料ほど図右側に、低い標高ほど図左側に分布する傾向が見られる。雄山中心から離れるほど試料の粒径が小さくなっていると思われる。先の検討で、噴火規模の大きかった7月14－15日と8月18日の噴火イベントによる火山灰は幅広い粒径分布を示すことが明らかになっている。

0～200m の D50mm 平均値は 0.15mm、200～400m の平均値が 0.07mm、400～600m の平均値が 0.99mm、600m 以上の平均値が 2.00mm を示し標高が高いほど D50 の値が大きくなる傾向を示す。



図－4.9 標高区分別の粒径分布



図－4.10 標高区分別の D50 粒径頻度分布

### 4.3.3 火山灰の堆積構造（CT スキャンによる不攪乱試料の断面撮影像）

中村ほか(2002)<sup>14</sup>は医療によく用いられる CT スキャンを使用して、土層サンプルの内部構造を非破壊で調査した。ここでは、中村ほか(2002)にならい、三宅島火山灰堆積物の堆積構造を CT スキャンによって調べてみた。

使用した CT スキャンは、東芝製産業用 CT スキャナ(TOSCANER-20000AV シリーズ)である。供試体は、図－4.2 に示す地点番号 27 番 (SUM) 近傍で不攪乱のまま採取した。採取に用いた金属円筒の大きさはφ30cm 長さ 30cm である。

図－4.11 に撮影断面一覧図を示した。土層区分は 4 層に分割できる、下位を第 1 層、最上部を第 4 層とした。撮影断面図を観察し、その後サンプルを崩しながら観察した結果を以下に記す。

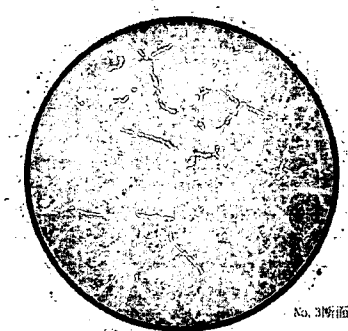
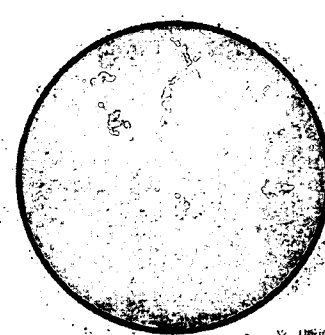
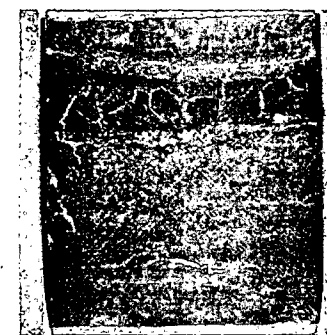
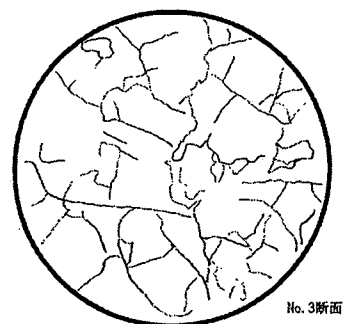
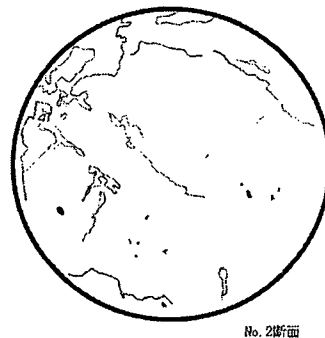
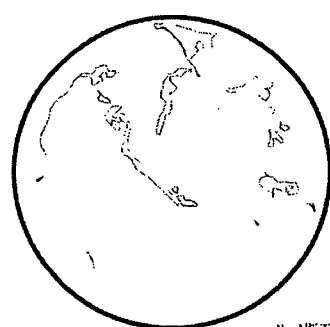
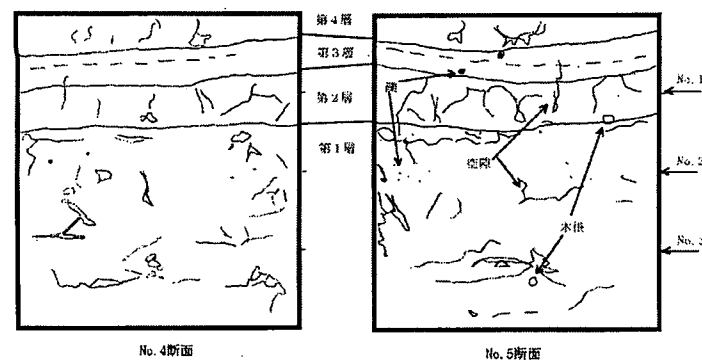


図-4.11 不攪乱試料撮影断面図

第1層は、概ね 10cm 以深に分布する。所々にクラック状の白い筋（低密度）が見られる。透水試験後の試料観察から一部は木根で有ることが確認できたが、落ち葉との区分は定かでない。深さ 15cm 付近（No.2 断面および No.5 断面参照）では、礫（黒く高密度）が多く点在する。7 月 14-15 日の噴火による堆積物であるものと考えられる。

第2層は、5cm から 10cm 付近に分布する。第1層と同じく空隙がクラック状に分布する。礫は見られない。8 月 10 日の噴火による堆積物であるものと考えられる。

第3層は、3cm から 5cm 付近に分布する。クラック状の空隙はないが、層中央深度付近に薄い空隙が一様に分布する。試料観察から粒径のやや粗い黒い火山灰が分布していた。8 月 18 日の噴火による堆積物であるものと考えられる。

第4層（表層）は、3cm 以浅に分布する。所々クラック状の空隙が分布している。8 月 29 日の噴火による堆積物であるものと考えられる。

図-4.12 に攪乱（再充填）試料の CT スキャン断面図を示した。不攪乱試料と比較すると、水平断面・垂直断面ともきわめて均一な試料であることがわかる。

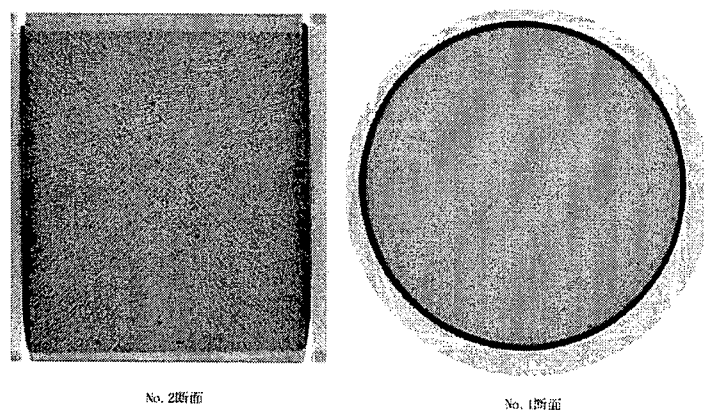


図-4.12 攪乱試料撮影断面図

## 4.4 火山灰の化学特性

### 4.4.1 火山灰の化学組成

#### (1) 全岩組成

表-4.2 に 2000 年三宅島噴火による火山灰の陽イオン交換容量等および全岩組成の分析結果一覧を示す。

表-4.2 2000 年三宅島噴火による火山灰の陽イオン交換容量、全岩組成等

| 試料<br>番号 | 地点<br>番号 | 陽イオン<br>交換<br>容量<br>meq/100g | Ca<br>meq/100g | Na<br>meq/100g | 交換性Na<br>の割合<br>(ESP)(%) | 全岩組成 (%)         |                  |                                |                                |      |      |      |      |                   |                  |                               |                         |                         |                                      |
|----------|----------|------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
|          |          |                              |                |                |                          | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | H <sub>2</sub> O<br>(-) | H <sub>2</sub> O<br>(+) | T-<br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| No.1     | 1        | 6.3                          | 46.5           | 1.2            | 19                       | 50.87            | 1.08             | 16.08                          | 5.69                           | 5.71 | 0.2  | 3.46 | 8.39 | 1.77              | 0.43             | 0.12                          | 1.88                    | 1.85                    | 12.04                                |
| No.2     | 2        | 7.7                          | 83.3           | 0.6            | 7.8                      | 50.64            | 1.09             | 16.14                          | 6.52                           | 5.07 | 0.19 | 3.21 | 9.11 | 1.56              | 0.39             | 0.11                          | 2.25                    | 1.42                    | 12.15                                |
| No.3     | 3        | 8                            | 98.8           | 0.6            | 7.5                      | 50.17            | 1.06             | 15.92                          | 6.7                            | 4.74 | 0.19 | 3.08 | 9.09 | 1.58              | 0.39             | 0.11                          | 2.48                    | 1.53                    | 11.97                                |
| No.4     | 4        | 5.2                          | 98.5           | 3.7            | 71.2                     | 50.42            | 1.07             | 16.64                          | 6.49                           | 4.83 | 0.19 | 3.29 | 9.56 | 1.92              | 0.43             | 0.12                          | 0.57                    | 1.71                    | 11.86                                |
| No.5     | 5        | 5.7                          | 80.81          |                | 17.5                     | -                | -                | -                              | -                              | -    | -    | -    | -    | -                 | -                | -                             | -                       | -                       | -                                    |
| No.6     | 6        | 5.3                          | 82.7           | 2.7            | 50.9                     | -                | -                | -                              | -                              | -    | -    | -    | -    | -                 | -                | -                             | -                       | -                       | -                                    |
| No.7     | 7        | 7                            | 102.4          | 4.4            | 62.9                     | -                | -                | -                              | -                              | -    | -    | -    | -    | -                 | -                | -                             | -                       | -                       | -                                    |
| No.8     | 8        | 21.3                         | 142.1          | 3.2            | 15                       | 47.24            | 0.87             | 15.21                          | 9.39                           | 2.11 | 0.13 | 2.51 | 8.63 | 1.14              | 0.25             | 0.1                           | 2.36                    | 6.32                    | 11.73                                |
| No.9     | 9        | 19.6                         | 150            | 0.28           | 1.4                      | -                | -                | -                              | -                              | -    | -    | -    | -    | -                 | -                | -                             | -                       | -                       | -                                    |
| No.10    | 10       | 12                           | 99             | 0.41           | 3.4                      | -                | -                | -                              | -                              | -    | -    | -    | -    | -                 | -                | -                             | -                       | -                       | -                                    |
| 最大値      |          | 21.3                         | 150            | 4.4            | 71.2                     | 50.87            | 1.09             | 16.64                          | 9.39                           | 5.71 | 0.2  | 3.46 | 9.56 | 1.92              | 0.43             | 0.12                          | 2.48                    | 6.32                    | 12.15                                |
| 最小値      |          | 5.2                          | 46.5           | 0.28           | 1.4                      | 47.24            | 0.87             | 15.21                          | 5.69                           | 2.11 | 0.13 | 2.51 | 8.39 | 1.14              | 0.25             | 0.1                           | 0.57                    | 1.42                    | 11.73                                |
| 平均値      |          | 9.8                          | 98.4           | 1.8            | 25.7                     | 49.87            | 1.03             | 16                             | 6.96                           | 4.49 | 0.18 | 3.11 | 8.96 | 1.59              | 0.38             | 0.11                          | 1.91                    | 2.57                    | 11.95                                |

図-4.13 は、火山灰のケイ酸成分 (SiO<sub>2</sub>) とトータル鉄成分 (T-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) の関係を示したものである。ここでは、比較対照のため、有珠山の 2000 年噴火に伴う火山灰とメラピ山における 1998 年の火砕流の堆積物のデータも分析した結果を併せて示す。三宅島は、有珠山、メラピ山と比較してケイ酸成分が多く、鉄成分が少ない。このことは、三宅島の火山灰はより鉄成分に富む玄武岩質であることがわかる。

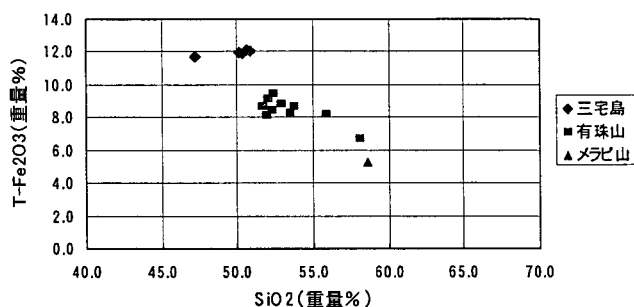


図-4.13 三宅島、有珠山、メラピ山の火山灰における二酸化珪素とトータル鉄成分

#### (2) 交換性イオン

図-4.14 は、三宅島、有珠山、雲仙普賢岳について、CEC (陽イオン交換容量)、交換性 Ca 量、交換性 Na 量、ESP (交換性 Na の割合) を比較したものである。なお、雲仙普賢岳のデータは恩田ほか(1996)<sup>15)</sup>が、表層 7cm までの火山灰を採取して行った測定結果をそのまま引用している。

ここで、ESP は、Exchangeable Sodium Percentage<sup>16)</sup>と呼ばれる陽イオン交換容量 (CEC) に対する交換性 Na 量の割合を百分率で表したもので、 $ESP = \text{交換性 Na} / \text{CEC} \times 100$  で表される。

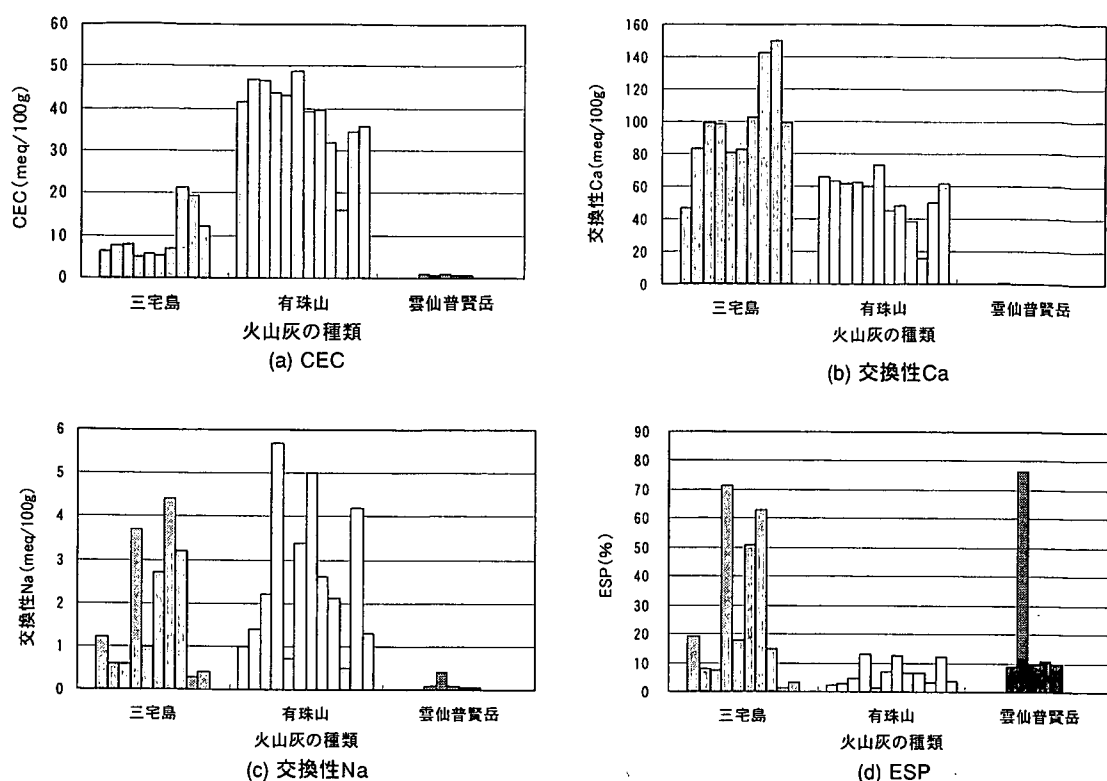


図-4.14 三宅島、有珠山(2000年噴火)、雲仙普賢岳の火山灰における化学的性質の比較  
雲仙普賢岳のデータは恩田ほか(1996)より引用

ESP が大きな火山灰は、水と反応することにより鉱物粒同士が凝集しやすくなり、浸透能低下を生じやすいことが指摘されている<sup>15)</sup>。

各火山灰の交換性イオンの特徴は、次のとおりである。

#### [CEC]

- ・三宅島は、およそ 10~20meq/100g で、有珠山 (30~50 meq/100g) の 1/2 以下である。
- ・雲仙普賢岳は最も小さく、概ね 1 meq/100g 以下である。

#### [交換性 Ca]

- ・三宅島は、およそ 80~150meq/100g で、有珠山 (40~70 meq/100g) の倍である。
- ・雲仙普賢岳は最も小さく、0.5 meq/100g 以下である。
- ・三宅島の交換性 Ca 量は CEC の 8 倍程度の高い値になっており、交換性以外の構成成分の Ca が溶出した可能性がある。

#### [交換性 Na]

- ・三宅島、有珠山ともバラツキはあるが、およそ 1~5meq/100g である。
- ・雲仙普賢岳は最も値が小さく 0.5 meq/100g 以下である。

#### [ESP]

- ・三宅島は、10~20%の小さいものと 50~70%の大きな値を示すものが混在している。

・有珠山は、全体的に 10%以下のものが多い。

・雲仙普賢岳は 70 %以上と、三宅島の大きな値を示すものと同程度の値を示すものもあるが、概ね 10%前後の値である。

図-4.15 は、三宅島の火山灰について、噴火日に着目して交換性イオンのパターンを示したものである。その特徴は次のとおりである。

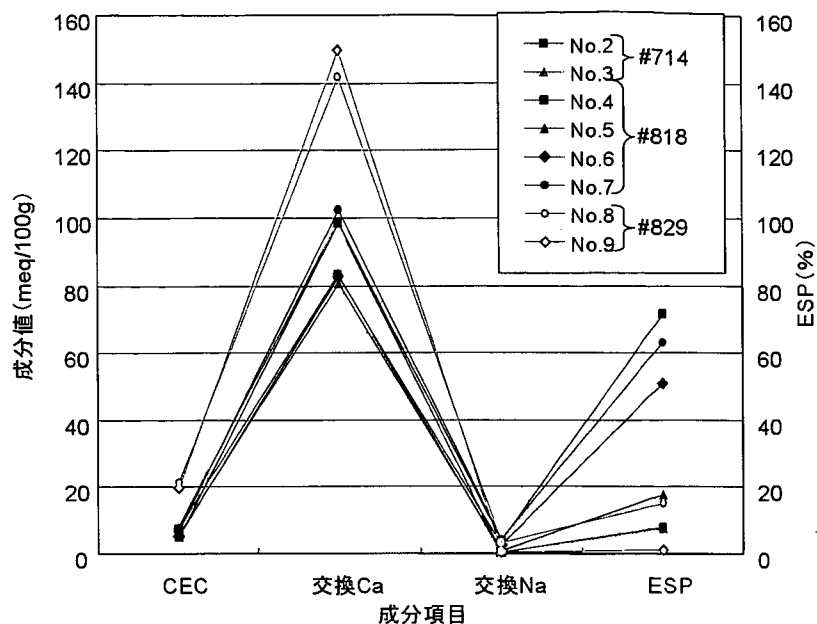


図-4.15 噴火イベントによる各成分項目の違い

・交換性 Ca 量は 7 月 14 日と 8 月 18 日の噴火日の火山灰については同程度である。

・8 月 29 日の噴火日の火山灰における交換性 Ca 量が最も大きい。

・ESP は交換性 Ca の変化と逆転傾向にあり、交換性 Ca 量が大きい 8 月 29 日の噴火日の火山灰では小さくなっており、8 月 18 日の噴火日の火山灰が最も大きい。

### (3) 化学組成からみた三宅島火山灰の特徴

以上の結果に基づき、化学組成から見た三宅島の火山灰の特徴は、次のとおりである。

①玄武岩質で鉄分に富むとともに、Ca 成分が多い。

②CEC が比較的小さいにもかかわらず交換性 Ca の値がその 8 倍程度あり、交換性 Ca 以外に Ca が溶出しやすい特徴がある。

③噴火の新しい 8 月 29 日の火山灰が最も交換性 Ca の値が大きい、ESP の値が大きくなるのは、交換性 Ca の値がより小さいそれ以前の 8 月 18 日の噴火日の火山灰に見られる。

時間とともに水との反応により Ca の溶出が進行して ESP が変化していると考えられる。

#### 4.4.2 火山灰の構成鉱物

三宅島の火山灰の構成鉱物種を同定するため、X 線回折分析を行った。X 線回折の方法は、まず、構成鉱物全体の同定を行うため、粉末試料を用いた不定方位法で行い、次に粘土鉱物の種類を確認するため、水ひ試料を用いる定方位法で行った<sup>17)</sup>。

X線回折結果により同定された三宅島火山灰の構成鉱物一覧を、表-4.3に示す。

石英が少なく主要な構成鉱物は長石であるが、それ以外に石膏類が比較的多く含まれる特徴が見られる。特に、8月29日の火山灰に多く含まれている傾向がある。

石膏が多く含まれる代表的な試料（No.16）のX線回折チャートを参考までに添付した。

化学組成の特徴の中で、交換性のCaの値が大きくなっているのは、この石膏の影響によるものが多いと考えられる。

表-4.3 X線回折結果に基づく構成鉱物一覧

| 構成鉱物 |        | シリカ鉱物 |        | 長石類  |     | 硫酸塩及び硫化物 |     |     | 粘土鉱物     |     |     |        | 噴火日       | 噴火堆積後採取した時期 | 備考       |
|------|--------|-------|--------|------|-----|----------|-----|-----|----------|-----|-----|--------|-----------|-------------|----------|
| 地点番号 | 試料番号   | 石英    | トリジマイト | カリ長石 | 斜長石 | 石膏       | 硬石膏 | 黄鉄鉱 | モンモリロナイト | 緑泥石 | 雲母類 | カオリナイト |           |             |          |
| 12   | No. 12 | ※     |        |      | ◎   | ○        |     |     | ○        | ※   |     | ※      | 714? 810? | 1年後         | 非結晶物質が多い |
| 6    | No. 18 | △     |        |      | ◎   | ○        |     |     | △        | ※   |     | ※      | 818       | 10日後        | 非結晶物質が多い |
| 11   | No. 16 | ※     |        |      | ○   | ◎        |     |     | ○        |     |     | ※      | 829       | 1年後         | 非結晶物質が多い |
| 10   | No. 19 | ※     |        |      | ●   | ○        |     | △   | △        |     |     | ?      | 829       | 直後          |          |
| 15   | No. 21 |       |        |      | ◎   | ※        | ◎   | △   | ○        |     |     |        | 829       | 直後          |          |

含有量の目安： ● 多量， ◎ 中量， ○ 少量， △ 少量～微量， ※ 微量～極微量  
非結晶物質：火山ガラス？

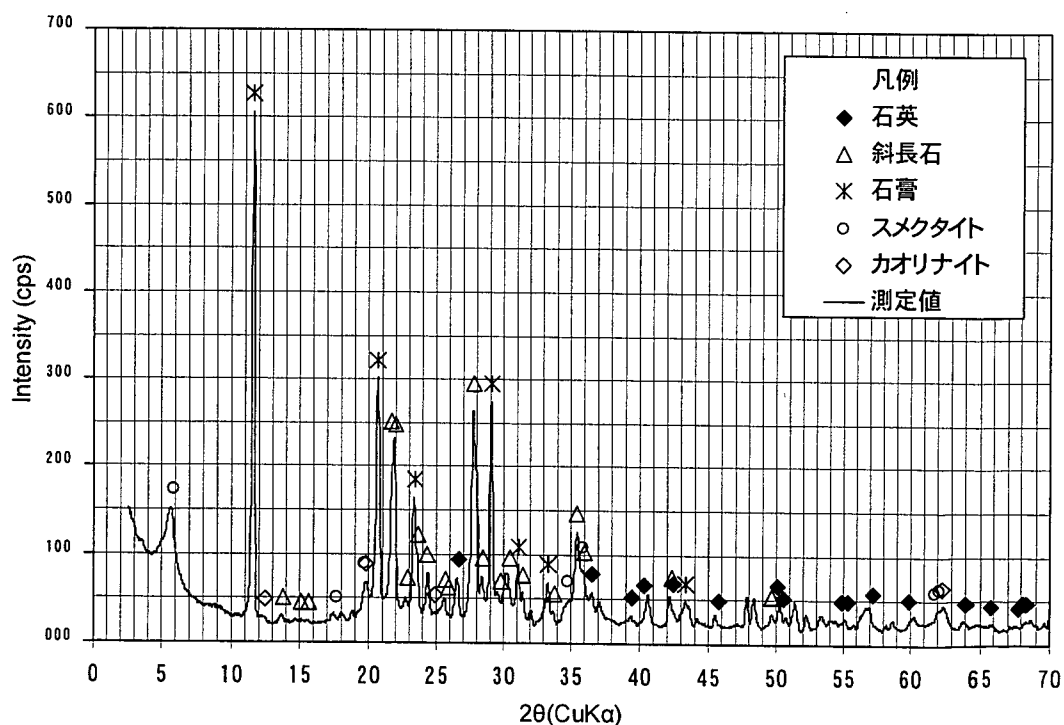


図-4.16 試料 No. 16 のX線回折チャート（不定方位法）

#### 4.4.3 火山灰に含まれる石膏成分と雨水浸透との関係について

前述のとおり、三宅島の火山灰の中には、大量の石膏を含むものがある。ここでは、三宅島の火山灰に含まれる石膏が雨水の浸透能に及ぼす影響について検討した。

##### (1) 検討方法

2001年8月、噴火からおおよそ1年が経過した三宅島において表層5cmまでの火山灰堆積物を採取した。火山灰の浸透能の経時変化を調べるために、浸透試験を実施した。試験装置は、陽イオン交換容量(CEC)測定用のカラム浸透装置( $\phi=14.1\text{mm}$ , 図-4.17)を用いた。10gの火山灰試料をカラムに充填し、飽和後に蒸留水を滴下して下部の容器に溜まる浸透液を用いて各種測定を行った。測定項目は、浸透量、浸透時間、電気伝導度(EC)、Caイオン濃度、 $\text{SO}_4$ イオン濃度である。そして、浸透に要する時間から浸透能を算出し、Caイオンや $\text{SO}_4$ イオンの濃度との関係を調べた。

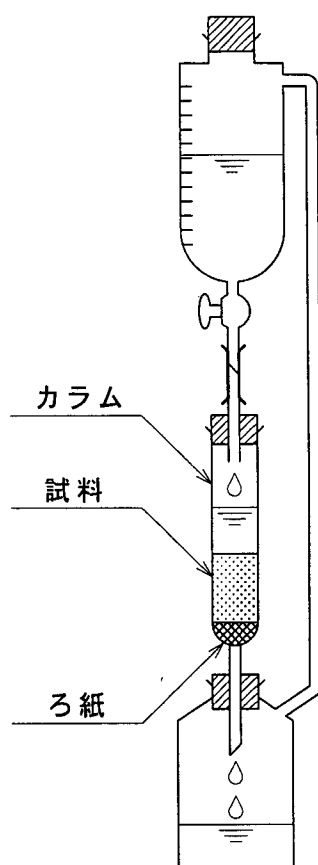


図-4.17 カラム浸透装置

## (2) カラム浸透実験結果

時間の経過とともに、浸透能は単調増加し、14,000 分ごろからほぼ一定となった。最終的な浸透能は初期値の約 2.7 倍であった(図-4.18)。また、浸透液の化学分析によって、浸透液中の EC, Ca イオン濃度,  $\text{SO}_4$  イオン濃度が経時的に減少してゆることが分かった(図-4.19)。質量比( $\text{Ca}/\text{SO}_4$ )は、5,000 分ごろから 0.4 前後の値をとる。これは、全ての Ca イオン(原子量 40)と  $\text{SO}_4$  イオン(分子量 96)が石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )から生じたと仮定した場合の質量比( $40/96 = 0.42$ )とほぼ同等であることから、これらはほとんどが石膏起源であると推定された。さらに、EC 値の経時変化とこれら両イオンの経時変化の傾向がよく似ていることから、浸透実験による溶出成分のほとんどが、石膏起源であるものと推測された。

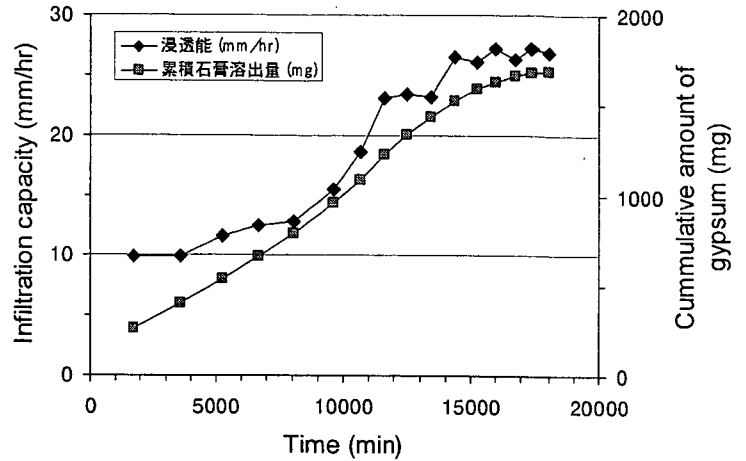


図-4.18 浸透能と累積石膏溶出量の経時変化

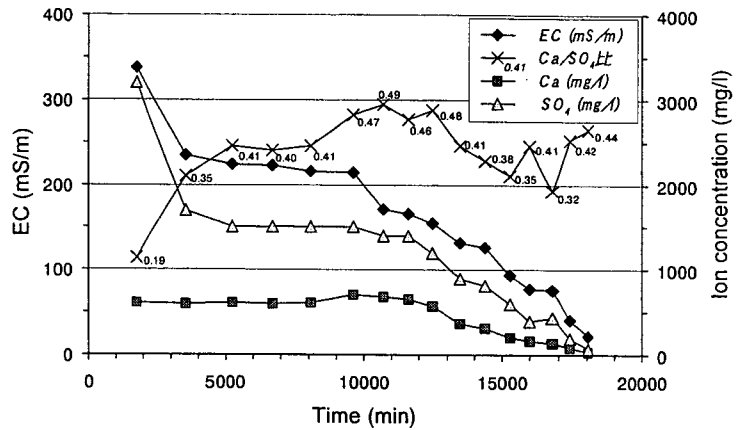


図-4.19 EC,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}/\text{SO}_4$  比の経時変化

### (3) 浸透能増大と石膏溶出の関係について

図-4.18 に、浸透能と累積石膏溶出量の経時変化を同時に示す。累積石膏溶出量は浸透液の  $\text{SO}_4$  イオン濃度から算出した。石膏の溶出とともに浸透能が増大し、石膏の溶出がおさまるとともに、浸透能の増大もおさまっていることが分かる。このことは、石膏の溶出と浸透能の増大の間に因果関係があることを示唆していると考えられる。

18,000 分(給水量約 5600mm)に及ぶ浸透実験の結果、約 1.7g の石膏がカラム中のサンプルから溶出した。そこで、サンプル内に空隙量が増加し(乾燥密度が減少し)、浸透能が増大した可能性を検討した。

図-4.20 に、実験中のカラム内サンプルの質量変化を示す。実験開始から約 17% も質量が減少していることが分かる。しかし、同時にサンプルの層厚の減少も観察されたため、図-4.20 に層厚の変化についても示す。この値も、実験開始から約 15% の減少を示している。結局、乾燥密度としては、質量変化分と体積変化分が相殺され、実験中を通じてほぼ一定に保たれていた。したがって、石膏の流出に伴って土層の間隙比の増加は認められなかった。今後は、土層内の空隙分布の変化等についても調査し、石膏の溶出に伴う浸透能増大機構に関して検討を進めて行きたい。

#### 4.4.4 まとめ

本検討の結果、三宅島で採取された火山灰には石膏が大量に含まれていると推定された。また、浸透能試験の結果、石膏の溶出量と浸透能の間には何らかの因果関係があることが示唆された。しかし、そのメカニズムの解明については今後の課題として残された。

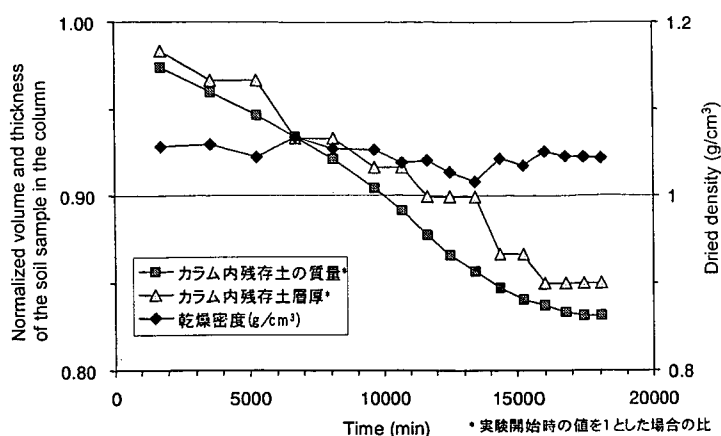


図-4.20 カラム内の土層状態の経時変化

## 4.5 火山灰土壌の水分特性

### 4.5.1 土壌水分特性試験（不飽和三軸試験）の方法

図-4.2 に示す地点番号 27 番 (SUM) 近傍において、表層の火山灰層を不攪乱の状態で採取し (図-4.21)、図-4.22 に示す不飽和三軸試験装置<sup>18)</sup>により、サクシヨンの載荷・除荷による間隙水の移動を測定し、飽和度 ( $S_r$ ) とサクシオン ( $\psi$ ) の関係を求めた。

現地で採取した火山灰層の不攪乱サンプル (直径 300mm×高さ 300mm) から、地盤工学会基準 JGS0520<sup>19)</sup> に示されているトリミング法により直径 50mm×高さ 100mm の供試体を成形した。試験は長期



図-4.21 不攪乱試料採取の状況

間に及ぶことから、セル水中の空気の進入を防ぐため、供試体には厚さ 0.5mm のゴムスリーブを被せた。また、セル水の蒸発を防ぐため、セル水上面にシリコンオイルを入れた。

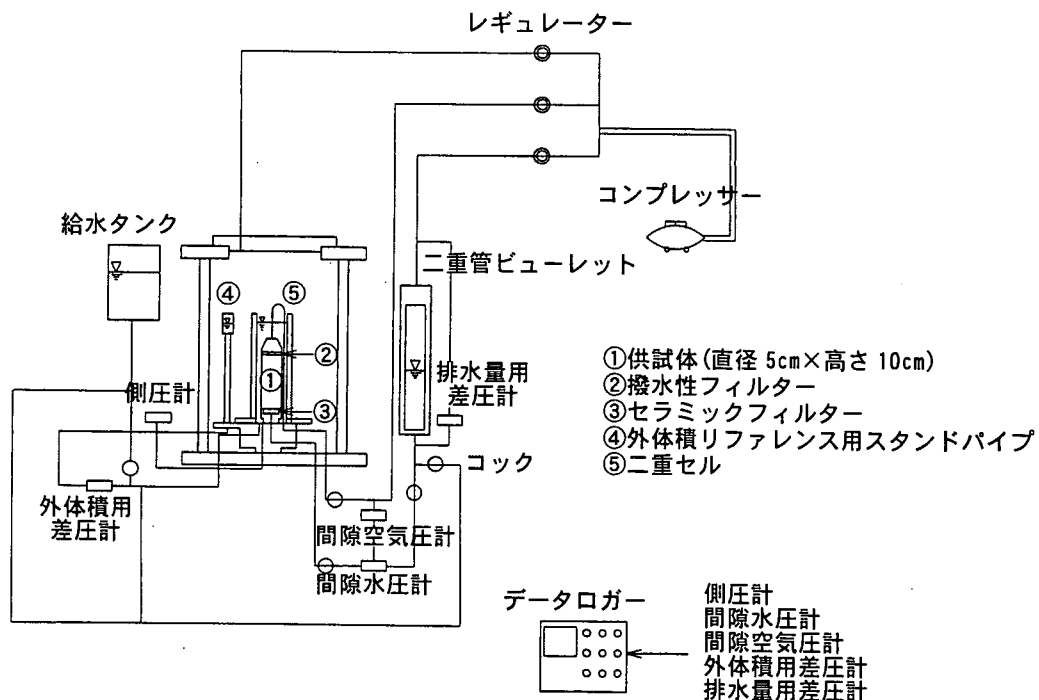


図-4.22 不飽和三軸試験装置概要

供試体内のサクシオンは、間隙空気圧 ( $U_a$ ) と間隙水圧 ( $U_w$ ) の差として定義される。図-4.22 の③に示された下部ベDESTALを大気圧に解放し、供試体内の間隙水圧 ( $U_w$ ) を 0 とし、図-4.22 の②に示された上部キャップから加える正の間隙空気圧 ( $U_a$ ) をサクシオンの値となるようにした。そのために上部キャップは撥水性の高いフィルターを用いて空気のみを出入りを許すとともに、下部ベDESTALにはセラミックフィルターを用いて間隙水だけを通過させるようにした。

試験条件は、拘束圧を  $9.8\text{kN/m}^2$  とし、サクシオンの載荷・除荷は  $0\sim 78.5\text{kN/m}^2$  間の 17 段階とした。

#### 4.5.2 試験結果

試料の物理特性を表-4.4 に示し、不飽和三軸試験の結果を表-4.5、図-4.23 に示す。

表-4.4 試料の物理特性

| 試験名      | 項目                                     | 結果    |
|----------|----------------------------------------|-------|
| 土粒子の密度試験 | 土粒子の密度 $\rho_s$ ( $\text{g/cm}^3$ )    | 2.903 |
| 土の粒度試験   | 礫 分 $2\sim 75\text{mm}$ (%)            | 3.4   |
|          | 砂 分 $75\mu\text{m}\sim 2\text{mm}$ (%) | 56.8  |
|          | シルト 分 $5\sim 75\mu\text{m}$ (%)        | 38.3  |
|          | 粘土 分 $5\mu\text{m}$ 未満 (%)             | 1.5   |
|          | 最大粒径 (mm)                              | 4.75  |
|          | 均等係数 $U_c$                             | 12.0  |
|          | 曲率係数 $U_{c'}$                          | 0.23  |

表-4.5 不飽和三軸試験結果

| step     | サクシオン                |                              | 乾燥密度<br>$\rho_d(\text{g/cm}^3)$ | 間隙比<br>$e$ | 含水比<br>$w(\%)$ | 飽和度<br>$S_r(\%)$ | 体積含水率<br>$\theta$ | 備考      |
|----------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|------------|----------------|------------------|-------------------|---------|
|          | $S_u(\text{kN/m}^2)$ | $\psi(\text{cmH}_2\text{O})$ |                                 |            |                |                  |                   |         |
| 初期状態     | —                    | —                            | 1.420                           | 1.044      | 22.5           | 62.6             | 0.320             | 供試体成型時  |
| サクシオン測定時 | 4.4                  | 44.90                        | 1.458                           | 0.991      | 22.5           | 65.9             | 0.328             |         |
| step1    | 0.0                  | 0.00                         | 1.490                           | 0.952      | 30.2           | 92.1             | 0.491             | 毛管飽和    |
| step2    | 2.0                  | 20.41                        | 1.498                           | 0.938      | 27.3           | 84.5             | 0.409             | サクシオン載荷 |
| step3    | 3.9                  | 39.80                        | 1.503                           | 0.931      | 23.8           | 74.2             | 0.358             |         |
| step4    | 5.9                  | 60.20                        | 1.505                           | 0.929      | 22.5           | 70.3             | 0.339             |         |
| step5    | 7.8                  | 79.59                        | 1.506                           | 0.928      | 21.8           | 68.2             | 0.328             |         |
| step6    | 9.8                  | 100.00                       | 1.507                           | 0.926      | 21.4           | 67.1             | 0.323             |         |
| step7    | 19.6                 | 200.00                       | 1.511                           | 0.921      | 20.4           | 64.3             | 0.308             |         |
| step8    | 39.2                 | 400.00                       | 1.518                           | 0.912      | 19.5           | 62.1             | 0.296             |         |
| step9    | 78.5                 | 801.02                       | 1.526                           | 0.902      | 18.4           | 59.2             | 0.281             | サクシオン除荷 |
| step10   | 39.2                 | 400.00                       | 1.528                           | 0.900      | 18.6           | 60.0             | 0.284             |         |
| step11   | 19.6                 | 200.00                       | 1.532                           | 0.895      | 19.3           | 62.6             | 0.296             |         |
| step12   | 9.8                  | 100.00                       | 1.535                           | 0.891      | 19.8           | 64.5             | 0.304             |         |
| step13   | 7.8                  | 79.59                        | 1.538                           | 0.888      | 20.3           | 66.4             | 0.312             |         |
| step14   | 5.9                  | 60.20                        | 1.540                           | 0.885      | 20.8           | 68.2             | 0.320             |         |
| step15   | 3.9                  | 39.80                        | 1.540                           | 0.885      | 21.3           | 69.9             | 0.328             |         |
| step16   | 2.0                  | 20.41                        | 1.540                           | 0.885      | 23.5           | 77.1             | 0.362             |         |
| step17   | 0.0                  | 0.00                         | 1.540                           | 0.885      | 28.1           | 92.2             | 0.433             |         |
| 試験後      | —                    | —                            | —                               | —          | 27.4           | —                | —                 |         |

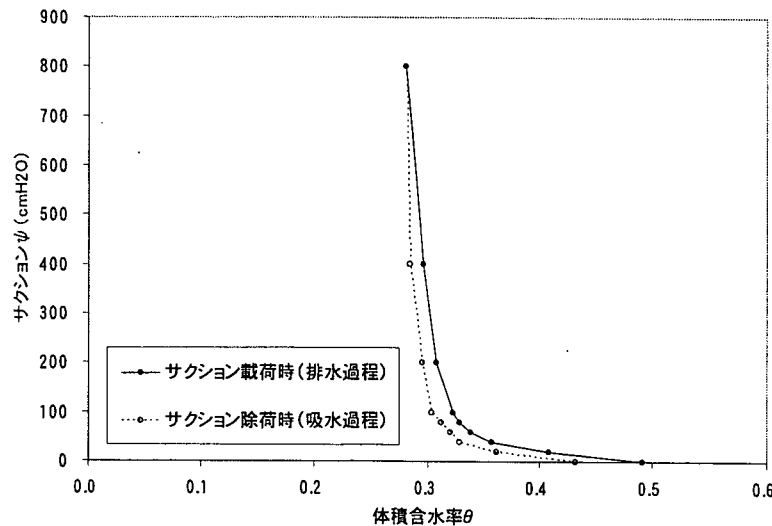


図-4.23 不飽和三軸試験結果 ( $\theta - \psi$  曲線)

#### 4.5.3 森林土壌等の土壌水分特性曲線との比較

試験結果より得られた土壌水分特性と森林土壌等の土壌水分特性との比較を行った。図-4.24 は、小杉の研究<sup>20)</sup>により得られた森林土壌、ローム質土壌、砂質土壌の典型的な土壌水分特性曲線を描いたものに本研究で得た実測値を重ね合わせたものである。グラフでは本研究の実測値 (○印; 不攪乱試料) のほか、攪乱した三宅島火山灰の実測値 (△印; 2001 年に実施した不飽和三軸試験結果より) もあわせて重ね合わせた。各グラフの●点は体積含水率  $\theta$  が飽和体積含水率  $\theta_s$  より小さくなり始める値(限界毛管水頭( $\psi_c$ ))、+点はグラフの変曲点である。

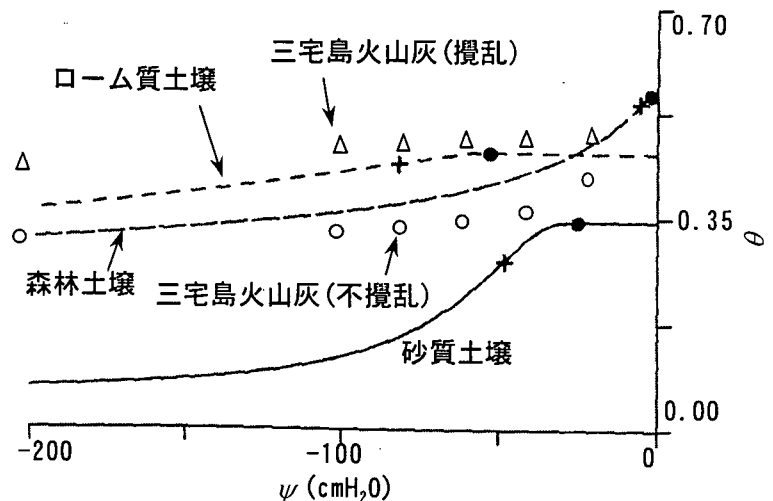


図-4.24 土壌水分特性曲線の比較  
(小杉(1996)の図 11 に加筆)

一般に土壌の最大孔隙径が大きいほど  $\psi_c$  が大きく、孔隙径分布の幅が大きいほど圧力水頭の低下に伴う含水率の減少が緩やかとなる傾向をもつ<sup>20)</sup>。森林土壌は非常に大きな孔隙をもつため  $\psi_c$  が大きく、孔隙径分布の幅が大きいので  $\psi < -30\text{cmH}_2\text{O}$  の範囲でも圧力水頭の低下に伴い含水率は減少し続ける特徴がある。また、ローム質土壌では最大孔隙径は小さいが孔隙分布の幅が大きいので  $\psi_c$  は小さく、含水率は  $\psi$  の減少に伴い緩やかに減少する。

グラフより判断すると、攪乱された三宅島の火山灰土壌は  $\psi_c$  は  $-50 \sim -80\text{cmH}_2\text{O}$  程度と考えられ、含水率は  $\psi$  の減少に伴い緩やかに減少することから、最大孔隙径は小さく孔隙分布の幅は大きいと予想される。一方、不攪乱の三宅島火山灰試料については、 $\psi < -60 \sim -70\text{cmH}_2\text{O}$  の範囲で含水率が  $\psi$  の減少に伴い緩やかに減少することから、孔隙分布の幅が大きいと考えられる。 $\psi_c$  については、実測値よ

り推定することはやや困難であるが、実測値最大値である $-20\sim 30\text{cmH}_2\text{O}$  よりも $\psi_c$  は大きいことが予想され、最大孔隙径が大きい可能性が示唆される。

## 5 植生被害状況

後述する観測斜面（図-5.1 参照）において植生被害状況等の調査を行った。調査は、三宅島雄山山腹斜面の植生被害状況を把握するために立木調査を行うとともに、降雨流出、土砂流出に影響を及ぼすと考えられる地被状態を調べるため地被調査を実施した。

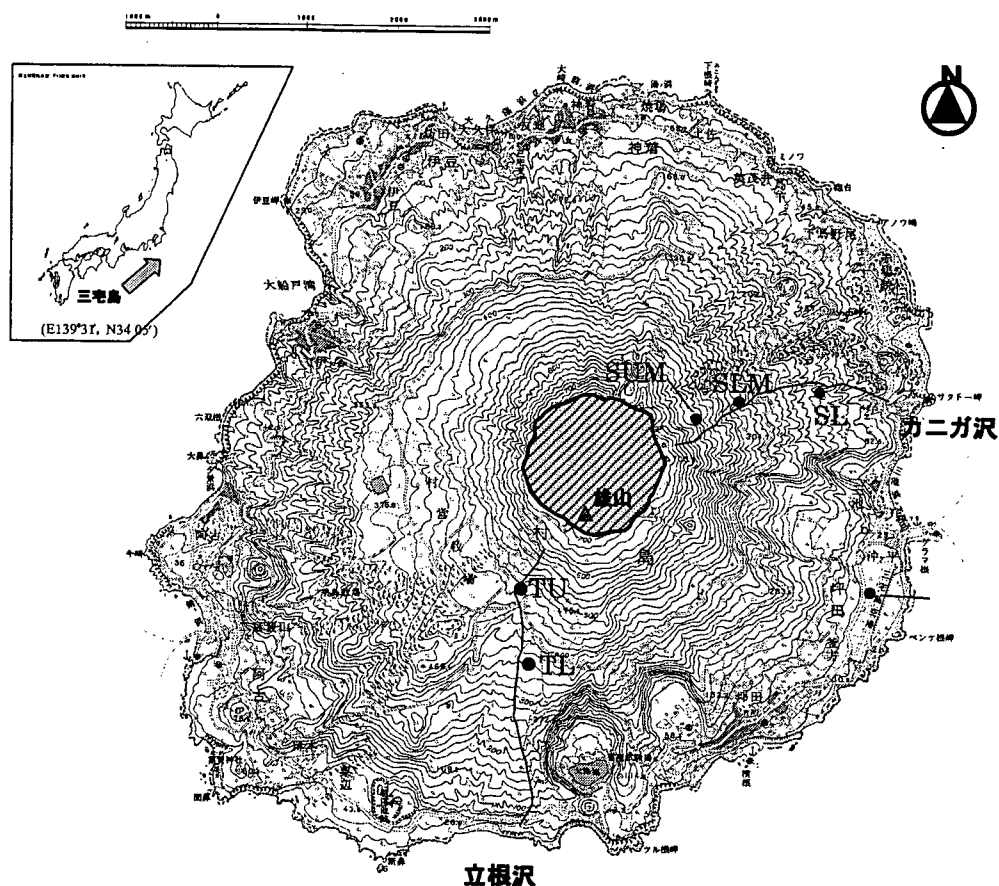


図-5.1 三宅島観測地点位置図

### 5.1 調査方法

#### 5.1.1 立木調査

観測斜面内のほぼ中心に、10m×10m の立木調査用のコドラートを設置した。観測斜面の幅が 10m 以下の場合は、流域をはずれた部分も含めて 10m×10m のコドラートを設置した。立木の配置、樹種、樹高、胸高直径、被災状況を記録した。また、この記録を基に、樹林密度、樹木の被災状況分類をおこなった。

### 5.1.2 地被調査

#### (1) 地被率の調査

流域内において、地被物が代表的とみられる箇所を選定して、コドラートを設置した。

コドラートは、2m×2m の大きさで、10cm 間隔のメッシュになっているナイロン製ネットを用いた。

コドラートを設置した場所で、垂直写真を撮影した。図-5.2のように、一脚等を用いて 3.8~4.0m の高さから地表面に対してほぼ垂直に、撮影を行った。

画像解析の方法は、以下のような手法を採用した。

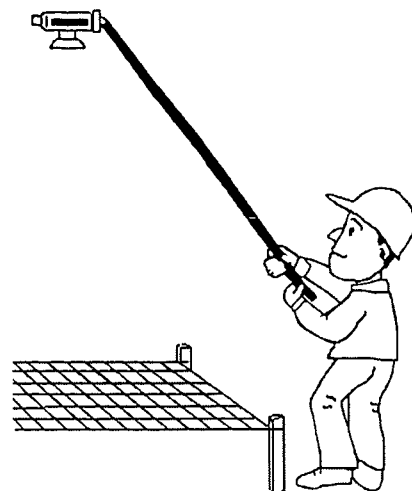


図-5.2 コドラート調査地点の垂直撮影

地被率の画像解析による測定方法

(ア) 地被率計測のために撮影したデジタル写真を用いる。

(イ) 画像解析ソフトは、Adobe Photoshop Ver.5.0 J を用いた。

(ウ) 画像の中で、コドラート（植生調査用の正方形枠、ここでは 2m×2m を用いた）内を選択する。

(エ) 選択した範囲内で、地被部分を色指定して抽出する。

(オ) 誤って地被以外の部分も抽出されているので、マニュアル操作で除外する。

(カ) 抽出した地被部分と地被以外の部分を、「2 階調化」によって黒（ピクセル部分）と白（ピクセルが無い部分）に塗り分ける。

(キ) (ウ) で選択した範囲全体を黒（ピクセル部分）に変えた場合を作成し、「ヒストグラム」機能によって、ピクセル数をカウントする。

(ク) (カ) で 2 階調化した場合について、「ヒストグラム」機能によってピクセル数をカウントする。

(ケ) (カ)、(キ) より、次式によって地被部分の比率（地被率）を算出する。

$$\text{地被率} = \frac{\text{地被部分のピクセル数}}{\text{コドラート内の全ピクセル数}} \times 100 (\%)$$

#### (2) 地被の採取

各土砂流出観測プロットの流域外で、その流域の地被状況の平均的な状況と同等な場所を選択し、地被の採取をおこなった。地被の採取は、1m×1m の正方形の枠を設置し、その中にある落葉、落枝、草本植物、などを全て採取して持ち帰った。天日乾燥後、各地被の乾燥重量を計測した。

#### (3) 根系の観察

各観測斜面で 3 箇所地面を掘削し、その断面で根系の張り具合をスケッチした。

## 5.2 調査結果

### 5.2.1 立木調査

立木調査の結果、以下のような結果を得た。

表-5.1 立木調査結果一覧

| 項 目            | TU                                          | TL                                                  | SU                              | SUM                                 | SLM                                  | SL                                                       |
|----------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 樹 種            | タブノキ<br>オオシマザ<br>クラ<br>ハゼノキ<br>オオバヤシ<br>ヤブシ | タブノキ<br>ヒサカキ<br>オオシマザ<br>クラ<br>イヌビワ<br>オオバヤシ<br>ヤブシ | オオシマザ<br>クラ                     | タブノキ                                | タブノキ<br>ヤブニッケ<br>イ<br>ヤブツバキ<br>ヒサカキ  | タブノキ<br>ヤブツバキ<br>ヤブニッケ<br>イ<br>オオシマザ<br>クラ<br>ヒメユズリ<br>ハ |
| 密度(生木)         | 7 本/100 m <sup>2</sup>                      | 19 本/100 m <sup>2</sup>                             | 1 本/100 m <sup>2</sup>          | 2 本/100 m <sup>2</sup>              | 8 本/100 m <sup>2</sup>               | 33 本/100 m <sup>2</sup>                                  |
| 密度(全木)         | 46 本/100 m <sup>2</sup>                     | 63 本/100 m <sup>2</sup>                             | 37 本/100 m <sup>2</sup>         | 42 本/100 m <sup>2</sup>             | 23 本/100 m <sup>2</sup>              | 38 本/100 m <sup>2</sup>                                  |
| 樹高(生木)平均       | 6.3m                                        | 5.4m                                                | 8m                              | 7m                                  | 7.3m                                 | 5.3m                                                     |
| 最高             | 8m                                          | 12m                                                 | 8m                              | 8m                                  | 12m                                  | 14m                                                      |
| 樹高(全木)平均       | 2.9m                                        | 4.8m                                                | 3.4m                            | 4.5m                                | 5.0m                                 | 5.0m                                                     |
| 最高             | 8m                                          | 12m                                                 | 8m                              | 9m                                  | 12m                                  | 14m                                                      |
| 胸高直径(生木)<br>平均 | 14.8cm 7                                    | .1cm                                                | 27cm                            | 21.5cm                              | 21.1cm                               | 9.3cm                                                    |
| 最大             | 19cm                                        | 22cm                                                | 27cm                            | 25cm                                | 45cm                                 | 48cm                                                     |
| 胸高直径(全木)<br>平均 | 6.0cm                                       | 7.3cm                                               | 8.8cm                           | 9.5cm 1                             | 3.2cm                                | 8.5cm                                                    |
| 最大             | 19cm                                        | 22cm                                                | 27cm                            | 25cm                                | 45cm                                 | 48cm                                                     |
| 被災状況           | 7本が萌芽して生存している。<br>幹折れは無いが、若干倒木がある。          | 1 / 3 程度は萌芽して復活しつつある。<br>樹木の傾倒はほとんどない。              | 1 本だけ萌芽して復活しつつある。<br>幹折れが非常に多い。 | 2 本だけ萌芽復活しつつある。<br>幹折れはS<br>Uより少ない。 | 半枯れと萌芽であわせて全体の35%が生存している。<br>傾倒は少ない。 | 正常なものが35%、生存しているものが85%。                                  |

全体的に、常緑広葉樹の高木タブノキ（タブノキ科）が優占する樹林であり、常緑広葉樹の低木ヤブツバキ（ツバキ科）、ヒサカキ（ツバキ科）が低木層を形成している。落葉広葉樹は高木のオオシマザクラ（バラ科）、垂高木のオオバヤシャブシ（カバノキ科）、低木のタニウツギ属 sp.（スイカズラ科）が比較的多く見られる。すなわち、常緑広葉樹に落葉広葉樹が混在している植生である。

本来伊豆七島は温暖で常緑広葉樹林が優占する樹林が発達するはずであるが、三宅島では噴火が約 20 年に 1 回発生しているため、そのたびに被災した樹林は林内が明るくなり、陽樹の落葉広葉樹が混在しやすくなったものと考えられる。

タブノキは標高が高いところでも低いところでも多くみられるが、低木層としては、標高が高い SUM、SLM にタニウツギ属 sp. が比較的多く、標高が低い TL、SLM、SL には常緑のヒサカキが多くみかけられた（SL にはヒサカキが記録されていないが、たまたま流域内になっただけで、周辺にはあった）。

タニウツギ属 sp. は、全て枯死しているため、種の同定はできなかったが、文献<sup>20)</sup>によるとニオイウツギ（ハコネウツギの変種）となっている。

#### (1) 樹木の被災状況

表-5.2 被災状況一覧

| プロット | 生育状況 |     |    |    | 傾倒状況 |    |    |     | 全体の木数 |
|------|------|-----|----|----|------|----|----|-----|-------|
|      | 正常   | 半枯れ | 萌芽 | 枯死 | 直立   | 傾斜 | 倒木 | 幹折れ |       |
| TU   | 0    | 0   | 7  | 39 | 44   | 0  | 2  | 0   | 46    |
| TL   | 0    | 1   | 18 | 44 | 62   | 1  | 0  | 0   | 63    |
| SU   | 0    | 0   | 1  | 36 | 21   | 1  | 0  | 15  | 37    |
| SUM  | 0    | 0   | 2  | 40 | 36   | 0  | 1  | 5   | 42    |
| SLM  | 0    | 2   | 6  | 15 | 20   | 0  | 2  | 1   | 23    |
| SL   | 13   | 13  | 7  | 5  | 33   | 0  | 2  | 3   | 38    |

正常 : 2/3 以上の葉が枯れずに残っている状態

半枯れ : 1/3 以上の葉が枯れている状態

萌芽 : 一度全ての葉が枯れた後に、萌芽している状態

枯死 : 全ての葉が枯れて、萌芽していない状態

直立 : 45~90°

傾斜 : 10~45°

倒木 : 0~10°

幹折れ : 幹が折れている状態（折れた先は倒木になっている）

（「正常」の中には、葉は茂っているが、樹林密度が低くなったために風で幹が湾曲しているものもあるが、幹の根本付近が 45° 以上であれば「直立」に含めた。）

樹木の生育状況を図-5.3 に、樹木の傾倒状況を図-5.4 にグラフにまとめた。

標高が高い SU、SUM、TU の被災状況が顕著である。

立根は幹折れや倒木が少ないが、カニガ沢は多いという傾向がみられた。

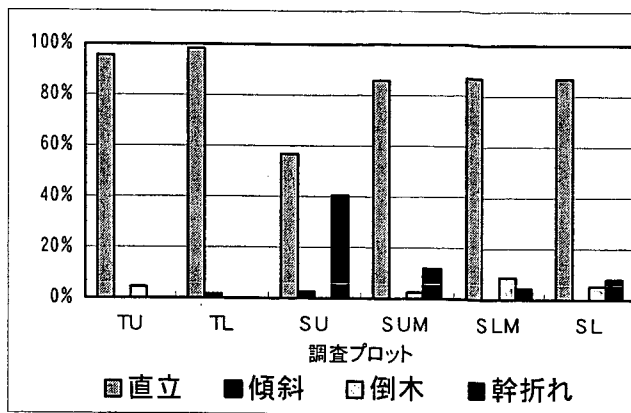
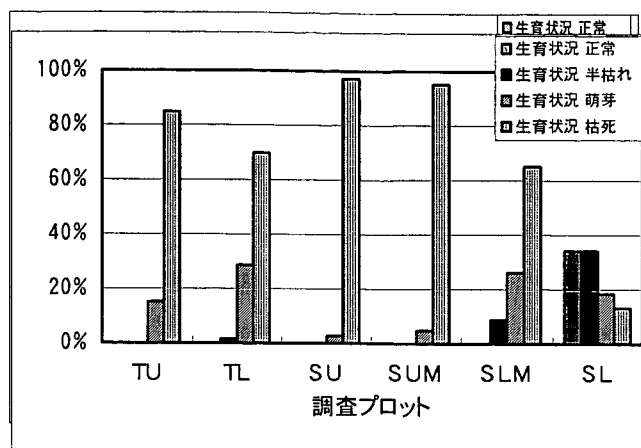


図-5.4 樹木の傾倒状況 (2002 年 7 月)

## (2) 樹木密度

生存している樹木（生木：被災後の樹木本数）と枯死した樹木も含めた樹木（全木：被災前の樹木本数と近いと考えられる）の密度を、100m<sup>2</sup>当たりの本数で示して図-5.5 にまとめた。

上流側ほど生存密度は低く、TU、SU、SUM、SLM は生木が 10 本/100 m<sup>2</sup> 以下であった。

被災前には、立根はカニガ沢より密度が高い傾向があった。これは樹高や胸高直径から、立根の方が比較的若い林相で、細く低い木が多く、繁茂している状態であったと考えられる。

カニガ沢 SLM の被災前の密度が低いのは、比較的胸高直径が太く、枝張りが広い樹木が占めていたために、被圧されて他の樹木が生えにくかったために樹木本数が少なかったと考えられる。

SL は被災前後で本数の減少が少なく、被災の影響が低いことがわかる。

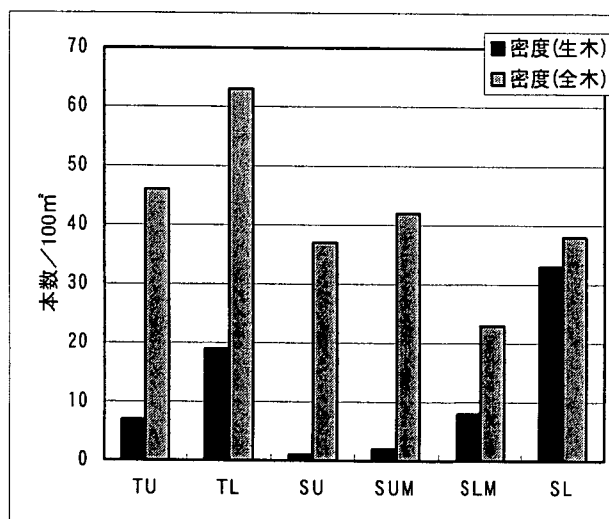


図-5.5 樹木密度 (2002 年 7 月)

## (3) 樹高

樹高は、被災前も被災後も標高が低いほど最高樹高が高いという傾向が表れている（図-5.6、図-5.7）。これに対して、平均樹高は、被災前は標高が低い方が高いが、被災後は標高が低い方が低いという傾向がみられる。これは、標高が高い場所ほど低木が枯死している比率が高く、標高が低い場所ほど、被災後に多くの低木が生き残っているからである。このため、低い標高の場所ほど低木が占める比率が高くなり、平均樹高としては低い数値となったものと考えられる。

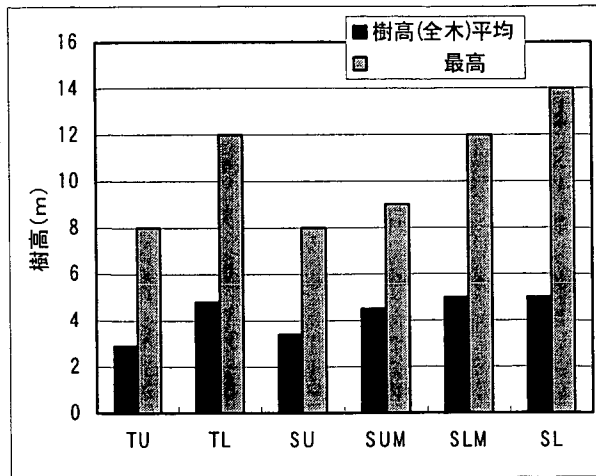


図-5.6 被災前の樹高

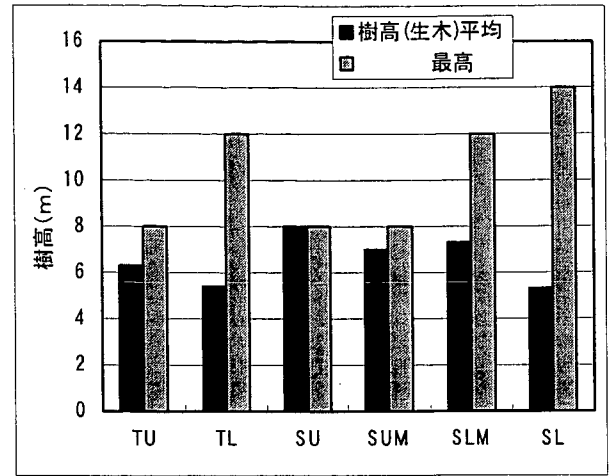


図-5.7 被災後の樹高

#### (4) 胸高直径

胸高直径最大値は、被災前も被災後もほとんど変わらないことから、幹直径が大きい樹木は枯死していないことを示している（図-5.8、図-5.9）。

標高が高いTU、SU、SUM、SLMで被災後に胸高直径平均値が高くなっているのは、低木が被災されて枯死してしまったために、相対的に胸高直径の平均値が高くなってしまったためである。

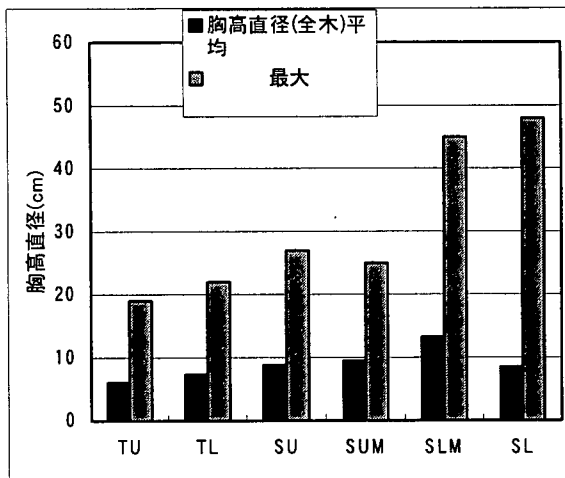


図-5.8 被災前の樹木胸高直径

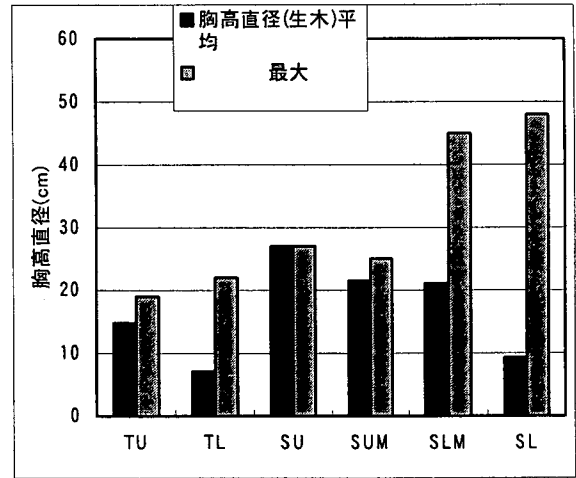


図-5.9 被災後の樹木胸高直径

#### (5) まとめ

立根は比較的若い林相で、樹幹は細く、樹高はあまり高くない。カニガ沢はやや成熟した林相で、太い木が多く樹高は高い。標高が高い地域では、低木層の被災度合いは高く、標高が低い地域では、低木層が多く残存している。高木は全体的に生き残りやすい傾向があり、標高が低い地域では高木の樹高は高い。

## 5.2.2 地被調査結果

### (1) 地被率

写真－5.1 に、各観測斜面において撮影した垂直写真を示す。写真撮影した地被を、画像解析法によって処理して地被率を求めた。表－5.3 に地被率を示す。この結果によると、SU がもっとも地被が少なく、次いで SUM、残りは 30% 程度以上の地被となっている。

いずれも標高が高い方が地被率は低い。その理由としては、火山灰堆積による地被の埋没、土砂流出に伴う地被の流出などの度合いが高いということが考えられる。

TL は草本類（オオシマカンスゲ）が一面を覆っており、高い植被率を示している。

SL は枯れ葉が多く堆積しており、ほぼ全面を敷き詰めているために高い地被率を示している。

表－5.3 各観測斜面の地被率

| SU    | SUM   | SLM   | SL    | TU    | TL    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 15.4% | 33.0% | 46.0% | 58.7% | 28.8% | 60.5% |

TU



TL



SU



SUM



SLM



SL

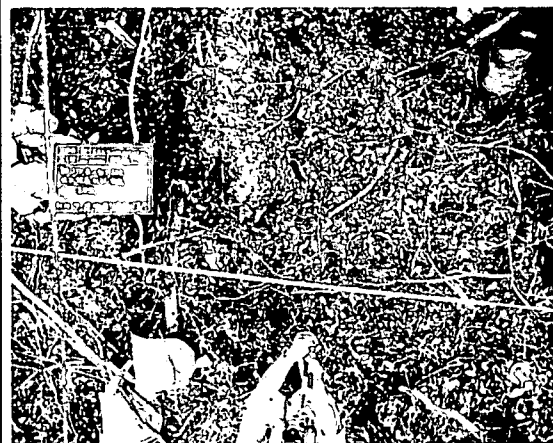


写真-5.1 各観測斜面の垂直写真

## (2) 地被量

採取した地被の乾燥重量の結果を、表-5.4 および図-5.10 に示した。TU が最も地被重量が多く、全て落枝によるものであった。TL は生きた草本類およびその枯れたものが重量の半分以上を占め、これに落枝が混在している。

SU、SUM も落枝のみが地被であった。SLM、SL と下流側に行くにしたがって落葉が占める比率が高くなり、落枝は少なくなっている。全体的にカニガ沢より立根沢のほうが落枝が多い。

上流部が落枝のみである理由としては、落葉が火山灰や土砂流で埋まってしまったこと、その後、樹木の復活程度が低いために落葉の供給がほとんど無いことが考えられる。TL に落葉が無いのかというとそうではなく、草本が枯れたもの（枯草）の根元に腐植状態で堆積しており、分別困難であったために、「草本、枯草」と一緒に計測したためである。量的には 10% 程度と考えられる。

表-5.4 採取した地被の乾燥重量

| プロット | 測定値(kg) | 袋重量(kg) | 地被重量(kg) |       |       |       |
|------|---------|---------|----------|-------|-------|-------|
|      |         |         | 落枝       | 落葉    | 草本、枯草 | 地被合計  |
| TU   | 2.26    | 0.068   | 2.192    | 0     | 0     | 2.192 |
| TL   | 2.02    | 0.034   | 0.738    | 0     | 1.248 | 1.986 |
| SU   | 0.94    | 0.034   | 0.974    | 0     | 0     | 0.906 |
| SUM  | 1.09    | 0.034   | 1.056    | 0     | 0     | 1.056 |
| SLM  | 1.55    | 0.034   | 1.052    | 0.464 | 0     | 1.516 |
| SL   | 1.97    | 0.034   | 0.247    | 1.689 | 0     | 1.936 |

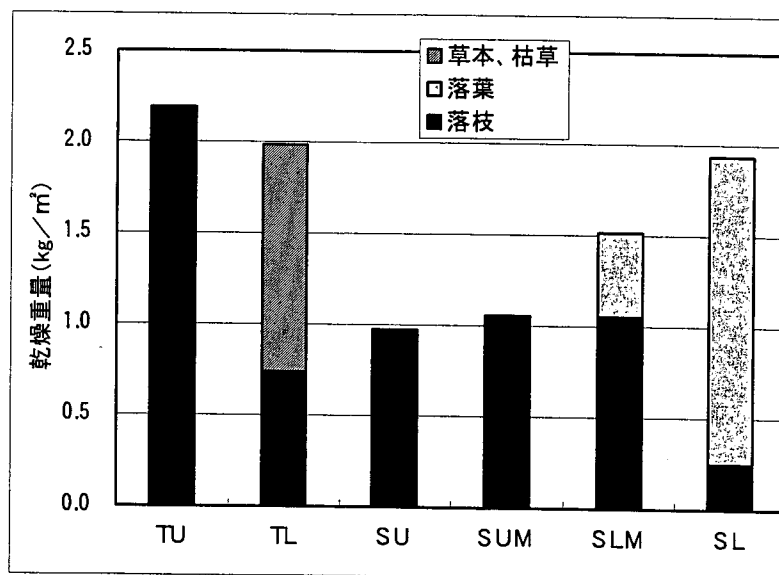


図-5.10 採取した地被の乾燥重量

### (3) 根系

全体的に新しい火山灰層にはまだ根系は見られない。旧火山灰層や、その下のスコリア層に根系が分布している。

TL は火山灰層が 2~3cm と薄く、草本植物の根元や腐植と混在している。そのため、新しい火山灰層にも根系が見られた。

表-5.5 根系の状況

| 水 系  | 調査プロット | 上 流 域                                            | 中 流 域                                             | 下 流 域                                             |
|------|--------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 立根沢  | TU     | 深さ 18~34cm 以下の旧火山灰層とスコリア層に分布                     | 深さ 9~15cm 以下の旧火山灰層とスコリア層に分布                       | 深さ 18~23cm 以下のスコリア層に分布                            |
|      | TL     | 地表面以下の、火山灰層、旧火山灰層に分布                             | 地表面以下の、火山灰層、旧火山灰層に分布                              | 地表面以下の、火山灰層、旧火山灰層に分布                              |
| カニガ沢 | SU     | 深さ 62~65cm 以下の旧火山灰層に分布                           | 深さ 58cm 以下の旧火山灰層に分布                               | 深さ 57~60cm 以下の火山灰層に分布                             |
|      | SUM    | 深さ 57~62cm 以下の旧火山灰層に分布<br>深さ 40~57cm の火山灰層にも若干分布 | 深さ 48~50cm 以下の旧火山灰層に分布<br>深さ 40~48cm の火山灰層にも若干分布  | 深さ 27~34cm 以下の旧火山灰層に分布<br>深さ 25~30cm の火山灰層にも若干分布  |
|      | SLM    | 深さ 22~26cm 以下の旧火山灰層に分布<br>深さ 10~22cm の火山灰層にも若干分布 | 深さ 25~27cm 以下の旧火山灰層に分布<br>深さ 10~25cm の火山灰層にも若干分布  | 深さ 28~30cm 以下の旧火山灰層に分布<br>深さ 0~28cm の火山灰層にも若干分布   |
|      | SL     | 深さ 6~8cm 以下の旧火山堆積物層に分布                           | 深さ 15~18cm 以下の旧火山堆積物層に分布<br>深さ 5~15cm の火山灰層にも若干分布 | 深さ 12~18cm 以下の旧火山堆積物層に分布<br>深さ 3~18cm の火山灰層にも若干分布 |

## 6 三宅島における降雨特性

### 6.1 雨量観測の実施状況

流量観測を行っているカニガ沢および立根沢において、雨量観測を行った。雨量計データは、キャリブレーションにより検定済みである。各観測点の概要、位置を表-6.1, 図-6.1 に示す。各観測点では、0.254mm 転倒ます式雨量計により観測を行った。三宅島では、筆者らが設置した表-6.1 に示す観測点の他に、気象庁、東京都等により雨量観測施設が設置されている。これらのうち、当報告で解析に利用した観測点についても、その位置を図-6.1 に示した。

表-6.1 雨量観測点の概要

| 名称  | 流域名称 | 標高 (m) | 観測期間    |
|-----|------|--------|---------|
| SUM | カニガ沢 | 510    | 2002.6～ |
| SLM | カニガ沢 | 360    | 2002.5～ |
| SL  | カニガ沢 | 160    | 2002.5～ |
| TU  | 立根沢  | 480    | 2002.6～ |
| TL  | 立根沢  | 360    | 2002.6～ |

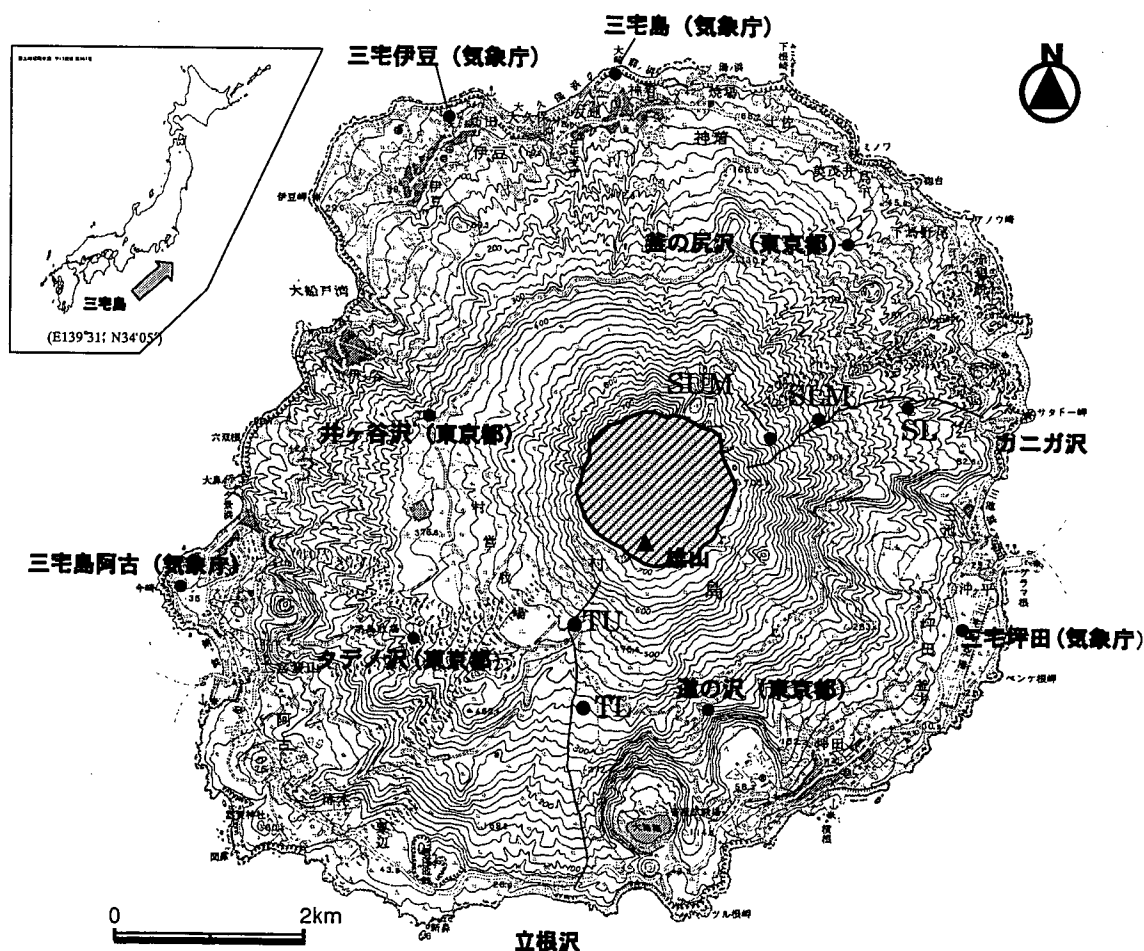


図-6.1 雨量観測点位置図

## 6.2 平成 14 年度の降雨概況

三宅島での平成 14 年度の降雨の概況を示すため、気象庁三宅島測候所における 2002 年 4 月 1 日から 2003 年 3 月 31 日までの日雨量について、図-6.2 に示した。

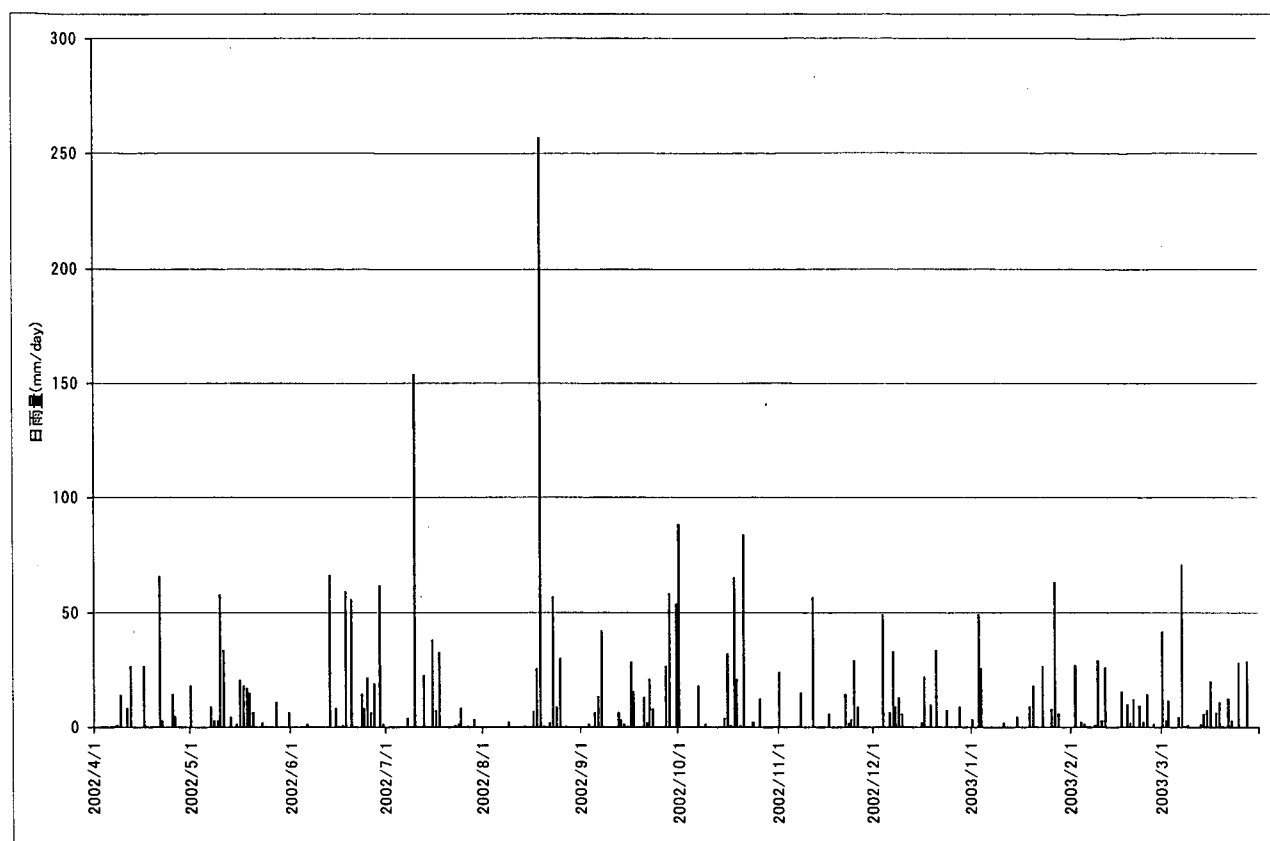


図-6.2 気象庁三宅島測候所における日雨量 (2002.04.01~2003.03.31)

表-6.2 日雨量 50mm 以上の降雨日 (気象庁三宅島測候所)

| 日付         | 日雨量(mm/day) | 日付         | 日雨量(mm/day) |
|------------|-------------|------------|-------------|
| 2002/04/21 | 66.0        | 2002/09/28 | 58.5        |
| 05/10      | 58.0        | 09/30      | 54.0        |
| 06/13      | 66.5        | 10/01      | 88.5        |
| 06/18      | 59.5        | 10/18      | 65.5        |
| 06/20      | 56.0        | 10/21      | 84.0        |
| 06/29      | 62.0        | 11/12      | 57.0        |
| 07/10      | 154.0       | 2003/01/27 | 63.5        |
| 08/19      | 257.0       | 03/07      | 71.0        |
| 08/23      | 57.0        |            |             |

平成 14 年度（2002 年 4 月 1 日～2003 年 3 月 31 日）には、ほぼ毎月、日雨量 50mm を越える降雨が観測されている。表－6.2 に示すとおり、この期間に日雨量 50mm 以上の降雨日は 17 回発生している。日雨量 100mm 以上の降雨は、7 月 10 日および 8 月 19 日の 2 日であり、いずれも台風に伴う降雨である。

### 6.3 月降雨量に見る降雨の傾向

各観測点での月降雨量を表－6.3、図－6.3 に示す。なお、表－6.3 においてカッコ内の数値は、欠測を含む値であることを示す。

参考のため、気象庁三宅島測候所、三宅坪田観測点での観測値についても示す。

表－6.3 各観測点での月降雨量（単位：mm）

|                             | SUM      | SLM      | SL       | TU       | TL       | 気象庁<br>三宅島 | 気象庁<br>三宅坪田 |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|-------------|
| 2002.5                      | —        | 309.9    | 215.1    | —        | —        | 227.5      | 139.0       |
| 6                           | 669.9    | (245.3)  | 402.9    | 447.6    | 338.1    | 327.0      | 430.0       |
| 7                           | 230.3    | (36.9)   | 143.4    | 175.9    | 142.1    | 274.0      | 125.0       |
| 8                           | (115.1)  | ( 77.8)  | (243.0)  | (300.7)  | (76.1)   | 391.5      | 295.0       |
| 9                           | 383.6    | 378.7    | 315.5    | 287.0    | 270.7    | 303.0      | 308.0       |
| 10                          | 466.3    | 345.4    | 261.7    | 272.5    | 214.6    | 332.5      | (190.0)     |
| 11                          | 280.6    | 234.0    | 222.9    | 259.3    | 232.4    | 160.5      | 229.0       |
| 12                          | 494.2    | 410.6    | 346.0    | 475.1    | (269.0)  | (202.5)    | 298.0       |
| 2003.1                      | (105.1)  | 246.7    | 232.7    | 238.1    | (95.9)   | 216.5      | 187.0       |
| 2                           | 316.0    | 265.1    | 275.7    | 336.8    | 271.8    | 157.5      | 227.0       |
| 3                           | 304.5    | 309.4    | 290.2    | 313.9    | 276.4    | 258.5      | 267.0       |
|                             |          |          |          |          |          |            |             |
| 2002.6<br>～<br>2003.3<br>合計 | (3365.6) | (2549.9) | (2734.0) | (3106.9) | (2187.1) | (2623.5)   | (2556.0)    |

注）カッコ内の数値は、欠測を含む値であることを示す

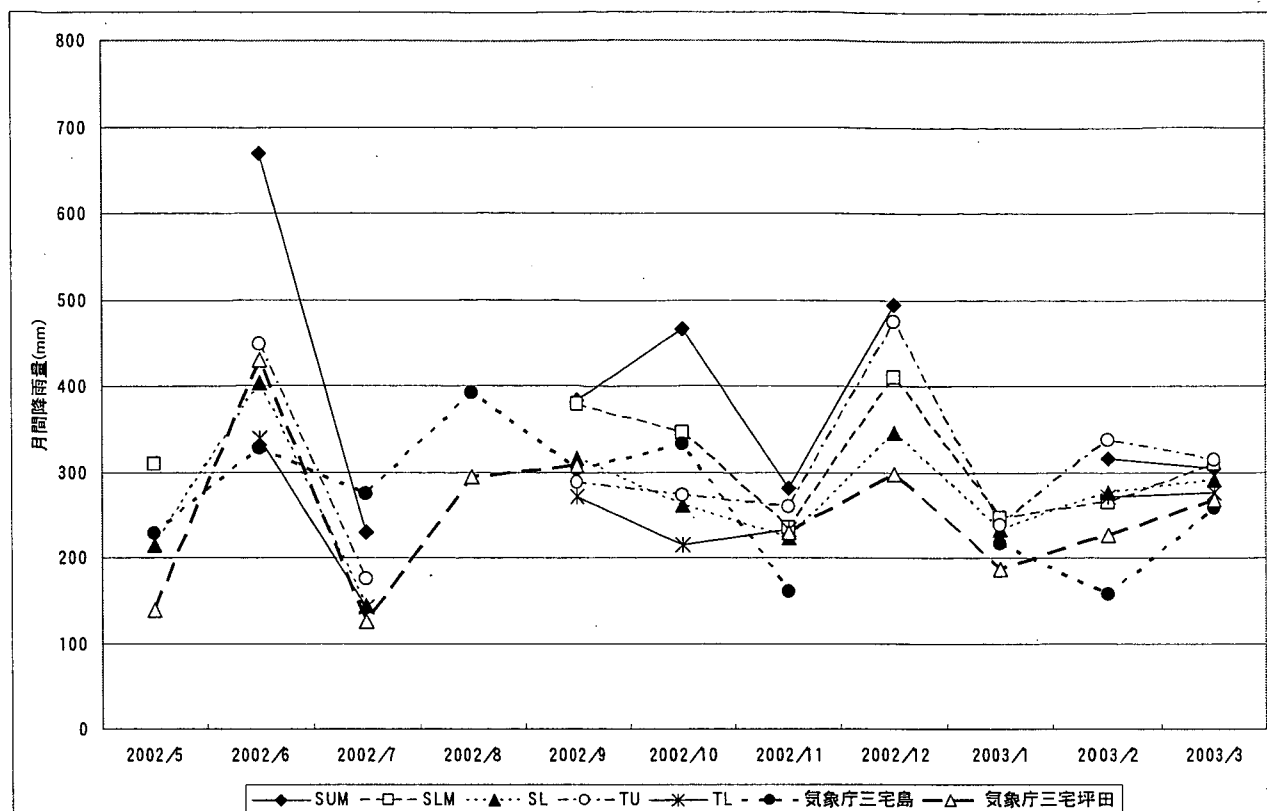


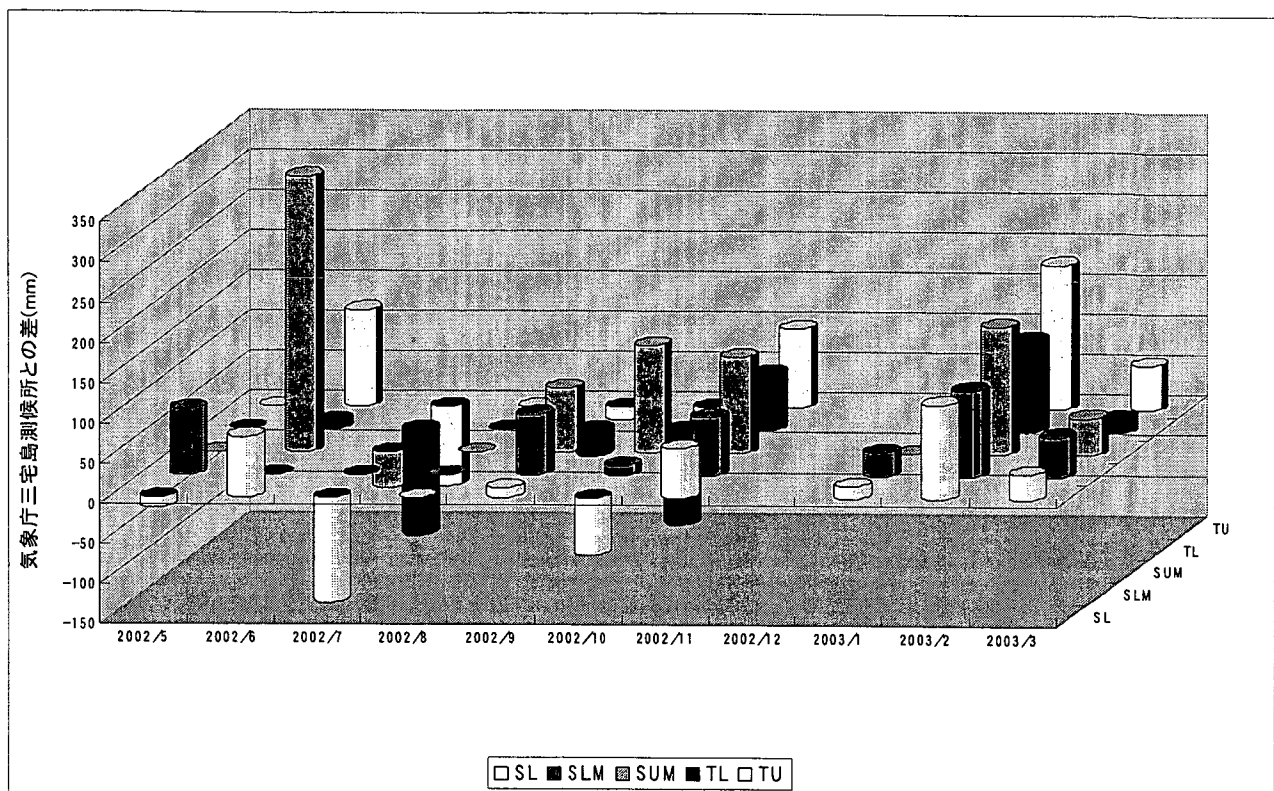
図-6.3 各観測点での月降雨量

各観測点での月降雨量は、最大で 670mm 程度の値を示す。6 月、12 月は前線の影響による降雨、8 月は台風による降雨が多かった。

また、島内の 2002 年 6 月から 2003 年 3 月までの 10 ヶ月間の降雨量は、欠測があるため正確にはわからないが、2100mm～3400mm 程度であると推測できる。

次に、観測点間の降雨量の較差を示すために、気象庁三宅島測候所と各観測点での月降雨量の差を図-6.4 に示す。

三宅島測候所と各観測点との月降雨量の差は、最も大きいもので 340mm 程度であった。その他の場合においても、毎月数十 mm から 100mm 程度の差がある。月降雨量そのものの値が 150mm から 500mm 程度であることを考えると、観測点間の月降雨量の差は、小さくないと言える。



図－6.4 気象庁三宅島測候所と各観測点との月降雨量の差

次に、各観測点での降雨量について、その分布の傾向を把握するため、月降雨量の分布図を示す（図－6.5）。作成に用いた観測点は、表－6.1 に示した 5 箇所の他に、以下に示す 8 箇所である。

表－6.4 降雨分布図作成に用いた観測点の概要

| 名称     | 所管  | 標高   |
|--------|-----|------|
| 三宅島測候所 | 気象庁 | 36m  |
| 三宅伊豆   | 気象庁 | 50m  |
| 三宅坪田   | 気象庁 | 20m  |
| 三宅島阿古  | 気象庁 | 30m  |
| 釜の尻沢   | 東京都 | 110m |
| 井ヶ谷沢   | 東京都 | 330m |
| タデノ沢   | 東京都 | 350m |
| 道の沢    | 東京都 | 250m |

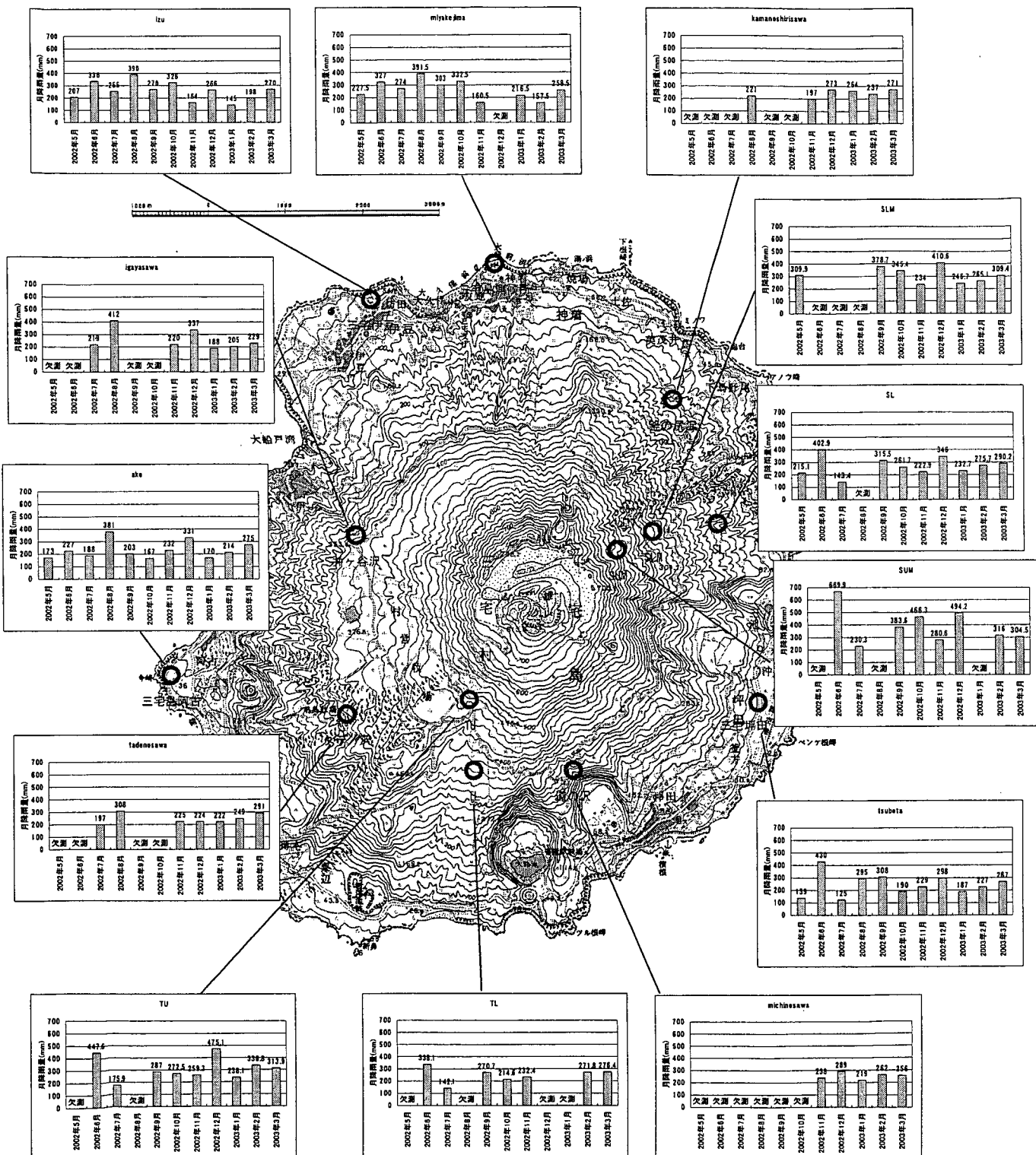


図-6.5 月降雨量の分布 (2002年5月~2003年3月)

各月の降雨量は、SUM、TU で、他の箇所より多い。雄山山頂を頂点として、高標高部での降雨が多くなっている可能性がある。

そこで、カニガ沢流域の各観測点（SUM、SLM、SL）について、標高と降雨量の関係について、さらに詳しく考察を行った。これらの観測点はすべて、雄山の東斜面にあり、風向はほぼ同一であると考えられる。

図-6.6 は、表-6.3 に示した各観測点の月降雨量のうち、SUM、SLM、SL において、欠測のなかった 2002 年 9 月～12 月および、2003 年 2 月～3 月の値をグラフにしたものである。各観測点の標高は、表-6.1 に示したとおり、SUM：510m、SLM：360m、SL：160m である。グラフでは、2003 年 2 月、3 月では逆転が見られるが、それ以外の月については標高の最も高い SUM で最も降雨量が多く、標高の最も低い SL で最も降雨量が少ないことが示されている。

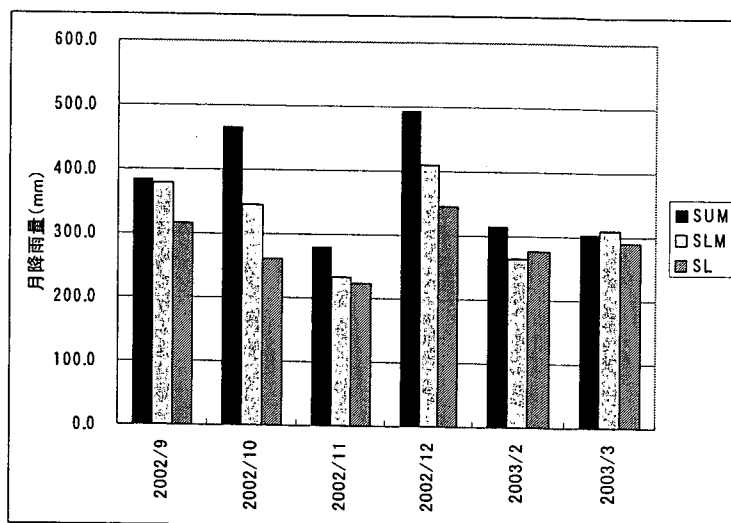


図-6.6 カニガ沢流域の観測点での月降雨量

表-6.5 カニガ沢流域の観測点での月降雨量と比率（比率は、SUM を 100%とした場合の値）

|         | SUM      |       | SLM      |       | SL       |       |
|---------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
|         | 月降雨量(mm) | 比率(%) | 月降雨量(mm) | 比率(%) | 月降雨量(mm) | 比率(%) |
| 2002/09 | 383.6    | 100   | 378.7    | 99    | 315.5    | 82    |
| 2002/10 | 466.3    | 100   | 345.4    | 74    | 261.7    | 56    |
| 2002/11 | 280.6    | 100   | 234.0    | 83    | 222.9    | 79    |
| 2002/12 | 494.2    | 100   | 410.6    | 83    | 346.0    | 70    |
| 2003/02 | 316.0    | 100   | 265.1    | 84    | 275.7    | 87    |
| 2003/03 | 304.5    | 100   | 309.4    | 102   | 290.2    | 95    |

表-6.5 は、SUM の月降雨量に対する、その他の観測点の月降雨量を比率として示したものである。

表より、SUM に比べて SLM の月降雨量は、2003 年 3 月を除くと、74%～99%の割合となり、同じく SL の月降雨量は、56%～95%の割合となる。

#### 6.4 風上側雨量と風下側雨量との関係

三宅島のような円錐形をした孤立峰について、その雨量分布と風向との関係を研究したものに、脇水ほか（1992）<sup>22)</sup>、高原ほか（2002）<sup>23)</sup>などがある。これらの中で、円錐形をした孤立峰では、風上側より風下側で雨量が多いことが指摘されている。

ここでは、三宅島について同様に、風上側と風下側で雨量に差があるかについて検討した。

先に示したように、三宅島では北東もしくは南西の風が多く吹く傾向があるため、雄山山頂を挟んで、

北東に位置する観測点として SUM と SLM、南西に位置する観測点として TU と TL を選び、これらの観測点の 10mm 以上でかつ、欠測のない日の日雨量を検討の対象とした。なお、観測点間の標高差により雨量に差が出る可能性を少しでも排除するため、北東方向と南西方向で同一程度と見なせる標高の地点間で雨量を比較した。すなわち、標高の高い地点として SUM（北東、標高 510m）と TU（南西、標高 480m）とを、標高の低い地点として SLM（北東、標高 360m）と TL（南西、標高 360m）とを比較した。

風向は、これらの 4 地点では観測されていないため、気象庁三宅島測候所の観測値を用いた。測候所では毎正時の風向として、その前 10 分間の平均値を記録している。このため、一日の毎正時の風向のうち、もっとも頻度が高く現れる風向をその日を代表する風向とし、検討に用いた。風向は、西南西、南西、南南西を「南西方向」とし、東北東、北東、北北東を「北東方向」とした。

表-6.6, 6.7 に結果を示す。

表-6.6 風上と風下での雨量差（風向：南西方向）

| 年月日        | 気象庁三宅島<br>卓越風向 | 雨量(mm/day)  |            | 雨量差(mm/day)<br>〔風下-風上〕 | 雨量(mm/day)  |            | 雨量差(mm/day)<br>〔風下-風上〕 |
|------------|----------------|-------------|------------|------------------------|-------------|------------|------------------------|
|            |                | SUM<br>〔風下〕 | TU<br>〔風上〕 |                        | SLM<br>〔風下〕 | TL<br>〔風上〕 |                        |
| 2002/6/15  | WSW            | 35.8        | 29.3       | 6.4                    | 32.5        | 33.0       | -0.5                   |
| 2002/6/18  | SSW            | 86.4        | 60.8       | 25.6                   | 90.8        | 51.6       | 39.1                   |
| 2002/7/18  | SW             | 42.7        | 25.0       | 17.7                   | 0.0         | 20.3       | -20.3                  |
| 2002/9/7   | SW             | 37.9        | 21.3       | 16.6                   | 34.4        | 24.8       | 9.6                    |
| 2002/9/13  | WSW            | 11.8        | 0.3        | 11.5                   | 23.4        | 0.0        | 23.4                   |
| 2002/9/17  | SW             | 32.4        | 18.8       | 13.6                   | 28.1        | 17.5       | 10.6                   |
| 2002/9/28  | SSW            | 79.1        | 38.7       | 40.3                   | 76.2        | 42.0       | 34.2                   |
| 2002/10/7  | WSW            | 18.2        | 11.8       | 6.3                    | 12.7        | 12.7       | 0.0                    |
| 2002/11/1  | SSW            | 33.9        | 27.4       | 6.5                    | 30.2        | 24.8       | 5.4                    |
| 2002/11/8  | WSW            | 16.7        | 10.8       | 5.9                    | 15.7        | 10.4       | 5.2                    |
| 2002/11/12 | SW             | 87.3        | 74.5       | 12.8                   | 85.8        | 90.5       | -4.7                   |
| 2002/12/4  | SSW            | 37.9        | 34.2       | 3.7                    | 39.3        | 26.2       | 13.1                   |
| 2003/2/11  | SW             | 43.9        | 38.7       | 5.2                    | 40.7        | 34.1       | 6.6                    |
| 2003/3/3   | WSW            | 13.3        | 5.6        | 7.7                    | 12.1        | 5.9        | 6.2                    |
| 2003/3/25  | SW             | 32.4        | 23.1       | 9.3                    | 30.2        | 22.8       | 7.4                    |
| 2003/3/28  | WSW            | 34.8        | 31.7       | 3.1                    | 31.6        | 25.7       | 6.0                    |
|            |                |             |            | 雨量差平均値<br>12.0         |             |            | 雨量差平均値<br>8.8          |

表-6.7 風上と風下での雨量差 (風向: 北東方向)

| 年月日        | 気象庁三宅島<br>卓越風向 | 雨量(mm/day)   |             | 雨量差(mm/day)<br>〔風下-風上〕 |  | 雨量(mm/day)   |             | 雨量差(mm/day)<br>〔風下-風上〕 |
|------------|----------------|--------------|-------------|------------------------|--|--------------|-------------|------------------------|
|            |                | SUM<br>〔風上〕  | TU<br>〔風下〕  |                        |  | SLM<br>〔風上〕  | TL<br>〔風下〕  |                        |
| 2002/7/29  | NE             | <b>22.4</b>  | 13.2        | -9.2                   |  | <b>20.4</b>  | 6.8         | -13.6                  |
| 2002/8/17  | NE             | 7.0          | <b>14.8</b> | 7.8                    |  | 6.3          | <b>11.3</b> | 5.0                    |
| 2002/8/18  | NE             | 30.6         | <b>31.2</b> | 0.6                    |  | 27.8         | <b>62.5</b> | 34.8                   |
| 2002/9/10  | NNE            | 8.5          | <b>12.9</b> | 4.4                    |  | 2.2          | <b>18.3</b> | 16.1                   |
| 2002/9/14  | NE             | 0.0          | <b>11.6</b> | 11.6                   |  | <b>10.7</b>  | 6.2         | -4.5                   |
| 2002/9/16  | NNE            | 0.0          | <b>8.1</b>  | 8.1                    |  | <b>16.5</b>  | 4.5         | -12.0                  |
| 2002/9/20  | NE             | 0.0          | <b>0.5</b>  | 0.5                    |  | 0.0          | 0.0         | 0.0                    |
| 2002/9/22  | NNE            | 27.3         | <b>36.6</b> | 9.3                    |  | 15.1         | <b>28.5</b> | 13.4                   |
| 2002/9/30  | NNE            | <b>108.8</b> | 49.2        | -59.5                  |  | <b>98.7</b>  | 51.3        | -47.4                  |
| 2002/10/20 | NNE            | 7.9          | <b>19.4</b> | 11.5                   |  | 2.5          | <b>10.2</b> | 7.7                    |
| 2002/10/21 | NNE            | <b>146.0</b> | 75.1        | -71.0                  |  | <b>118.3</b> | 38.1        | -80.2                  |
| 2002/10/24 | NNE            | <b>12.1</b>  | 7.3         | -4.9                   |  | <b>5.8</b>   | 3.9         | -1.8                   |
| 2002/10/26 | NNE            | <b>35.1</b>  | 11.3        | -23.9                  |  | <b>24.5</b>  | 7.9         | -16.6                  |
| 2002/11/17 | NNE            | 14.5         | <b>22.6</b> | 8.1                    |  | 12.1         | <b>18.3</b> | 6.2                    |
| 2002/11/22 | NE             | 52.7         | <b>54.1</b> | 1.3                    |  | 33.8         | <b>42.9</b> | 9.0                    |
| 2002/11/23 | NNE            | 17.6         | <b>26.9</b> | 9.3                    |  | 10.7         | <b>16.4</b> | 5.6                    |
| 2002/11/24 | NNE            | 11.5         | <b>12.1</b> | 0.6                    |  | 7.7          | <b>8.2</b>  | 0.5                    |
| 2002/11/25 | NNE            | <b>33.3</b>  | 23.4        | -9.9                   |  | <b>25.9</b>  | 14.1        | -11.8                  |
| 2002/12/6  | NE             | 11.8         | <b>21.5</b> | 9.7                    |  | <b>7.7</b>   | 6.5         | -1.2                   |
| 2002/12/7  | NNE            | <b>74.5</b>  | 64.8        | -9.7                   |  | <b>55.3</b>  | 41.2        | -14.1                  |
| 2002/12/8  | NE             | 27.3         | <b>54.9</b> | 27.6                   |  | 16.2         | <b>27.4</b> | 11.1                   |
| 2002/12/9  | NNE            | 18.5         | <b>22.6</b> | 4.1                    |  | <b>12.1</b>  | 11.0        | -1.1                   |
| 2002/12/19 | NNE            | <b>28.2</b>  | 21.0        | -7.2                   |  | <b>22.8</b>  | 16.1        | -6.8                   |
| 2002/12/22 | NNE            | 3.6          | <b>10.5</b> | 6.9                    |  | 1.9          | <b>6.5</b>  | 4.6                    |
| 2003/2/2   | NNE            | 23.9         | <b>43.3</b> | 19.4                   |  | 22.0         | <b>55.6</b> | 33.6                   |
| 2003/2/3   | NNE            | 0.0          | <b>15.3</b> | 15.3                   |  | 0.0          | <b>2.8</b>  | 2.8                    |
| 2003/2/16  | NNE            | <b>41.8</b>  | 30.4        | -11.4                  |  | <b>35.7</b>  | 28.2        | -7.5                   |
| 2003/2/18  | NNE            | <b>33.6</b>  | 30.1        | -3.5                   |  | <b>25.0</b>  | 22.6        | -2.5                   |
| 2003/2/20  | NNE            | 17.9         | <b>27.4</b> | 9.6                    |  | 14.0         | <b>24.0</b> | 9.9                    |
| 2003/2/23  | NNE            | 10.9         | <b>26.9</b> | 16.0                   |  | 6.1          | <b>17.2</b> | 11.2                   |
| 2003/2/24  | NNE            | 56.4         | <b>57.8</b> | 1.5                    |  | <b>41.5</b>  | 34.7        | -6.8                   |
| 2003/3/15  | NNE            | 9.4          | <b>10.8</b> | 1.4                    |  | <b>10.5</b>  | 9.0         | -1.4                   |
| 2003/3/18  | NE             | <b>10.3</b>  | 5.9         | -4.4                   |  | <b>9.1</b>   | 5.4         | -3.7                   |
| 2003/3/19  | NE             | 28.2         | <b>46.3</b> | 18.1                   |  | 25.3         | <b>44.8</b> | 19.5                   |
|            |                |              |             | 雨量差平均値                 |  |              |             | 雨量差平均値                 |
|            |                |              |             | 0.1                    |  |              |             | -1.7                   |

※雨量のゴシック太字は、風上と風下のうち雨量の多いものを示す

表-6.6, 6.7 から比較すると、風向が南西の場合は、風下側の雨量が多くなる傾向が見られる。しかし、風向が北東の場合には風上と風下での雨量の多寡の傾向にはばらつきが見られ、雨量差の平均値を見ると、風下側と風上側の雨量差はほとんどないように見える。これは、北東方向に位置する SUM, SLM では、雨量の多寡に対して、風下、風上という要素以外の何らかの要素が強く働いているためであると考えられる。

## 6.5 日雨量に見る降雨の傾向

図-6.7 および図-6.8 に、各観測地点における日雨量 50mm 以上でかつ、欠測のない日の日雨量について、グラフとして示す。グラフでは、カニガ沢流域 (SL, SLM, SUM) および立根沢 (TL, TU) の 5 箇所の観測点の内、一箇所でも日雨量 50mm を越えた場合について示した。

また、図-6.9 には、カニガ沢流域内における各観測地点間の日雨量の較差を示すため、もっとも標高の低い SL を基準として、SUM と SL との差、および SLM と SL との差をグラフとして示す。同様に、図-6.10 には、立根沢流域内における各観測地点間の日雨量の較差を TU と TL の差として示す。

これらを見ると、同一の日の降雨量は概ね、カニガ沢流域内では標高の高い SUM でもっとも多く、SLM、SL と標高が低くなるにつれて少なくなるように見える。

立根沢流域内では、標高と降雨量の間に関連はないように見える。

カニガ沢流域内に限ってみると、図-6.9 に示すとおり、観測地点間での差が最も大きかった 2002 年 10 月 21 日の日雨量は、SUM で 146mm、SLM で 118mm、SL で 87mm と、SUM と SL との間には 60mm 程度の差があることがわかる。

表-6.8 は、SUM の日雨量に対する、その他の観測点の日雨量を比率として示したものである。2002 年 6 月 18 日、12 月 21 日、2002 年 2 月 2 日および 3 月 7 日は、標高と雨量の関係が逆転しているが、それ以外では、SUM に比べて SLM の日雨量は、59%~98%の割合となり、同じく SL の月降雨量は、43%~97%の割合となる。

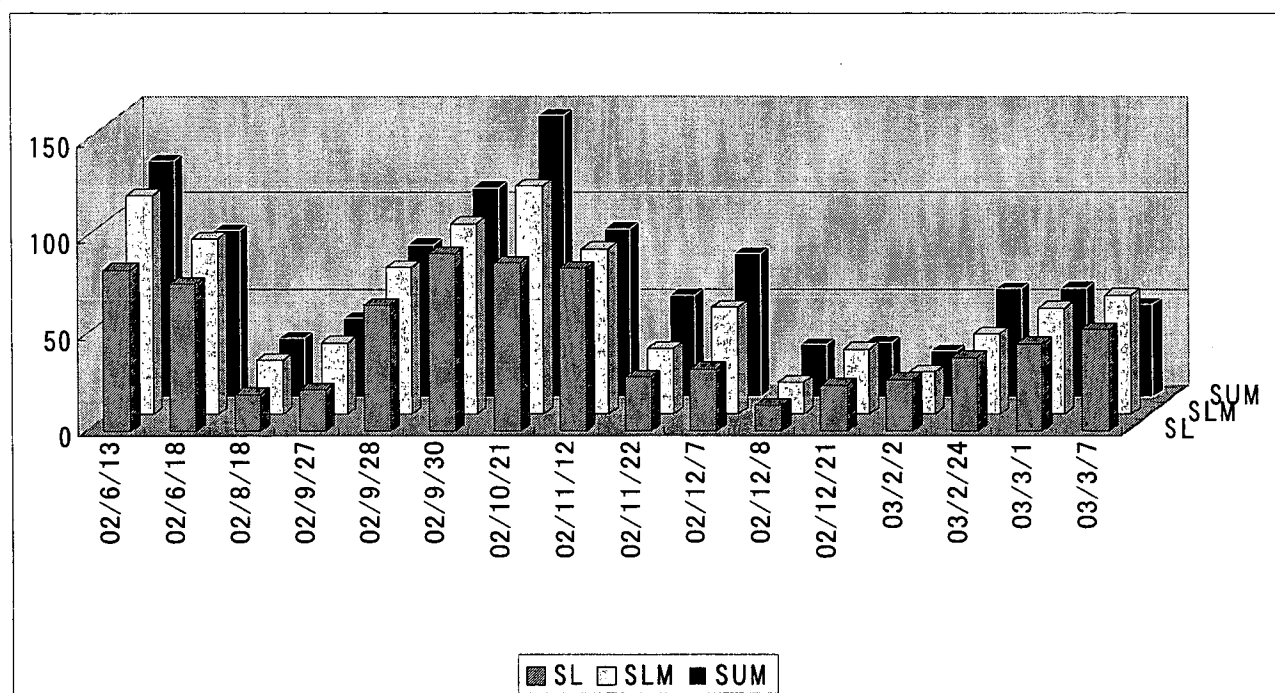


図-6.7 各観測地点での日雨量（日雨量 50mm 以上，カニガ沢流域内）

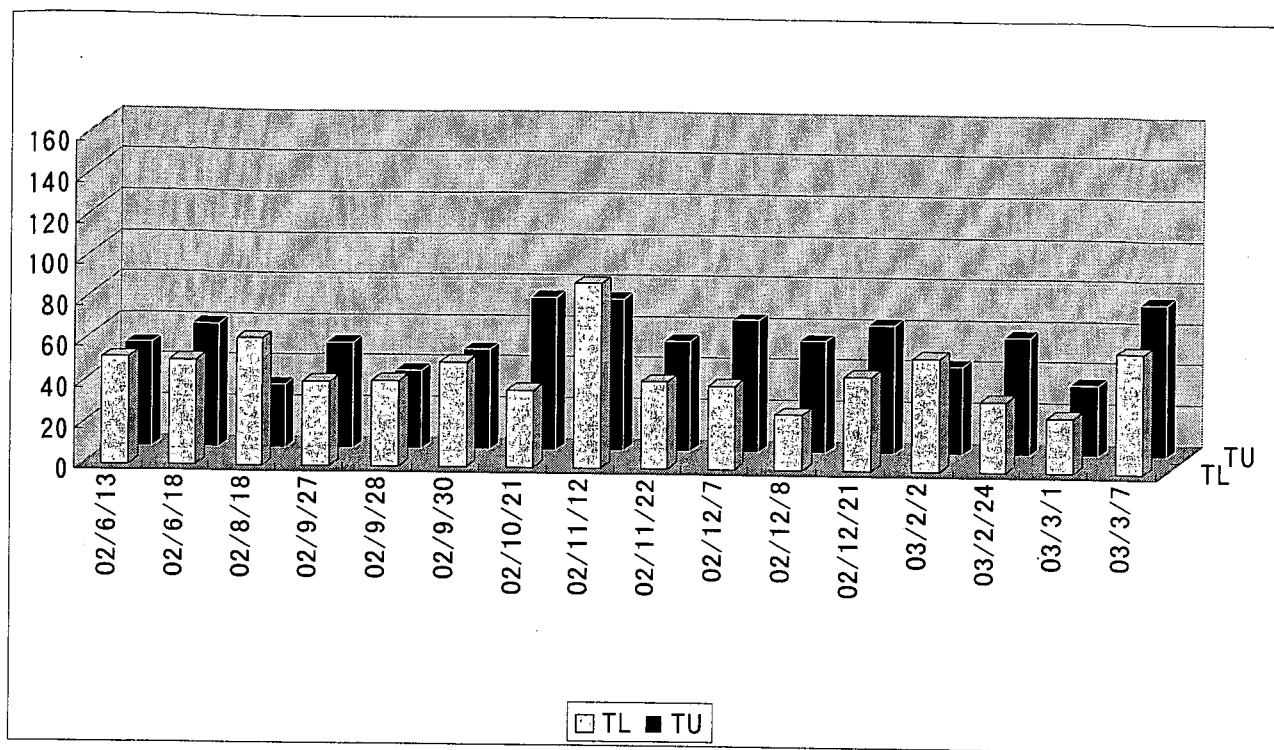


図-6.8 各観測地点での日雨量（日雨量 50mm 以上，立根沢流域内）

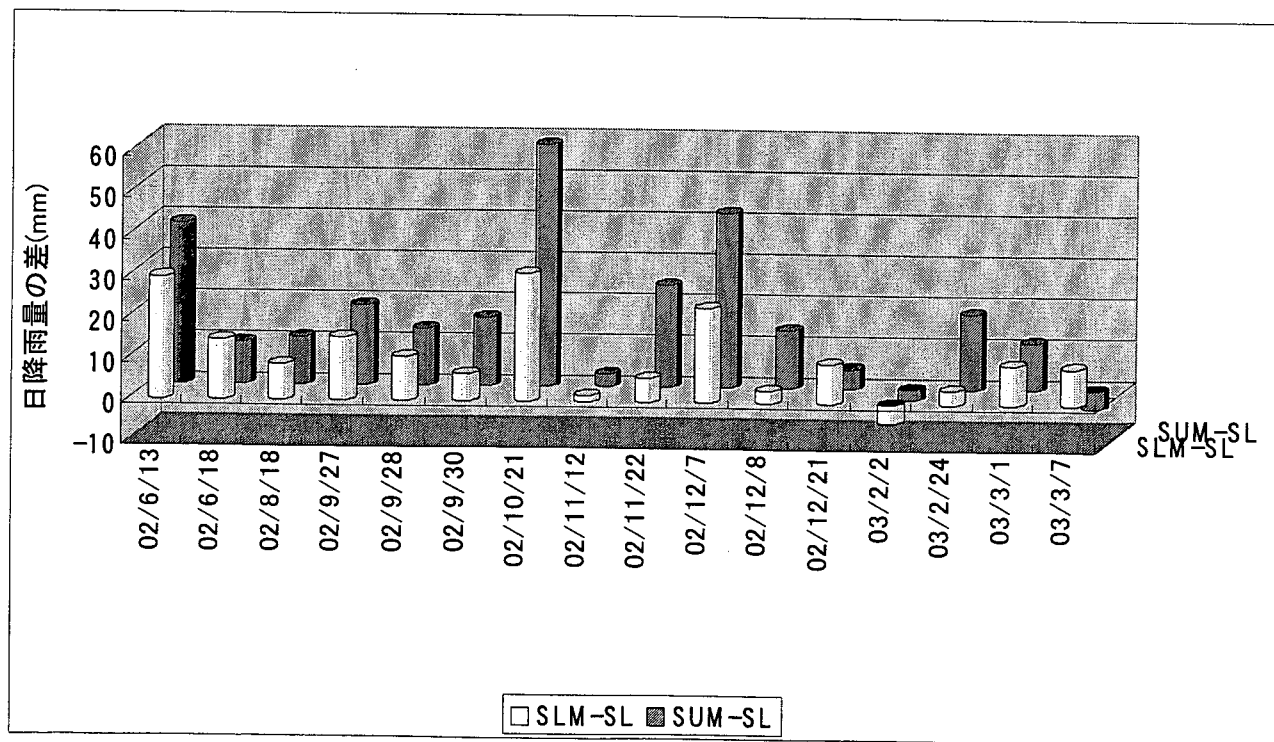


図-6.9 各観測地点での降雨量の差（カニガ沢流域内）

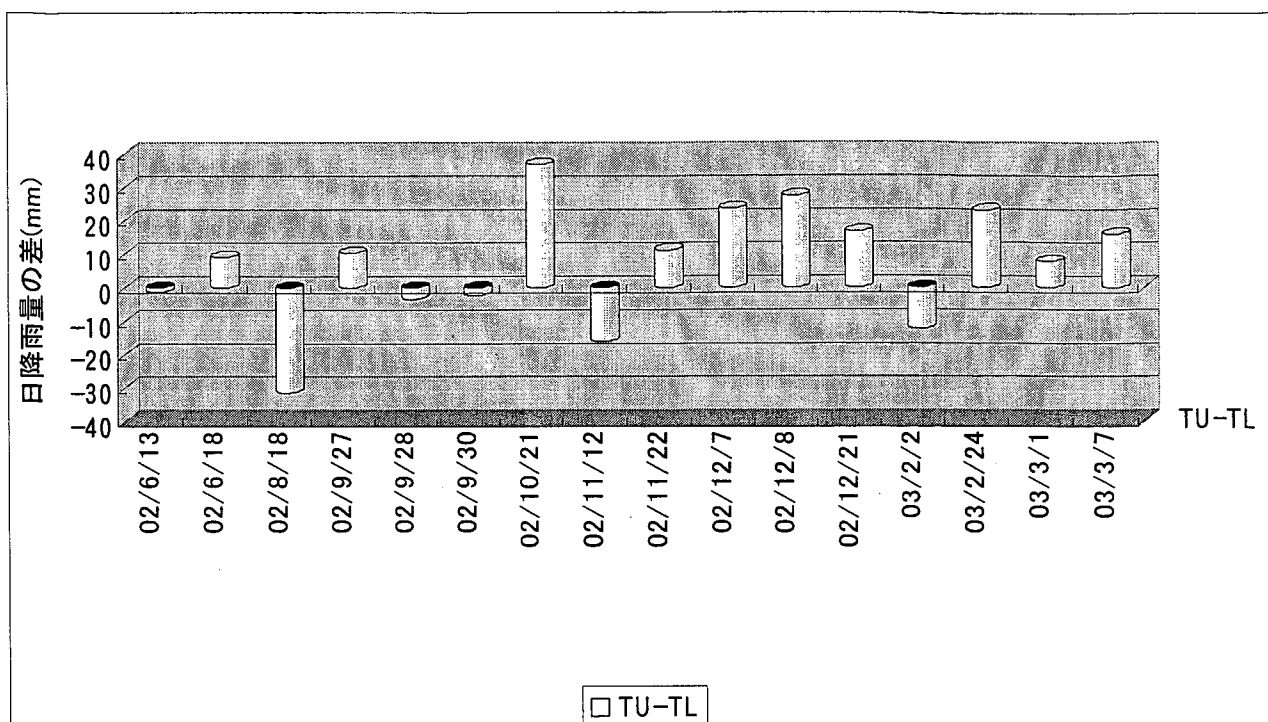


図-6.10 各観測地点での降雨量の差（立根沢流域内）

表-6.8 カニガ沢流域の観測点での日雨量と比率（比率は SUM を 100%とした場合の値）

|          | SUM     |       | SLM     |       | SL      |       |
|----------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
|          | 日雨量(mm) | 比率(%) | 日雨量(mm) | 比率(%) | 日雨量(mm) | 比率(%) |
| 02/06/13 | 122.7   | 100   | 113.3   | 92    | 83.4    | 68    |
| 02/06/18 | 86.4    | 100   | 90.8    | 05    | 76.2    | 88    |
| 02/08/18 | 30.6    | 100   | 27.8    | 91    | 19.0    | 62    |
| 02/09/27 | 40.9    | 100   | 36.8    | 90    | 21.5    | 53    |
| 02/09/30 | 108.8   | 100   | 98.7    | 91    | 92.1    | 85    |
| 02/10/21 | 146.0   | 100   | 118.3   | 81    | 87.0    | 60    |
| 02/11/12 | 87.3    | 100   | 85.8    | 98    | 84.3    | 97    |
| 02/11/22 | 52.7    | 100   | 33.8    | 64    | 27.9    | 53    |
| 02/12/07 | 74.5    | 100   | 55.3    | 74    | 32.1    | 43    |
| 02/12/08 | 27.3    | 100   | 16.2    | 59    | 13.1    | 48    |
| 02/12/21 | 28.5    | 100   | 33.5    | 18    | 23.7    | 83    |
| 03/02/02 | 23.9    | 100   | 22.0    | 92    | 26.5    | 111   |
| 03/02/24 | 56.4    | 100   | 41.5    | 74    | 37.9    | 67    |
| 03/03/01 | 56.7    | 100   | 55.0    | 97    | 45.2    | 80    |
| 03/03/07 | 48.2    | 100   | 61.6    | 28    | 52.5    | 109   |

## 6.6 時間雨量に見る降雨の傾向

各観測点での月最大時間雨量を表-6.9 および図-6.11 に示す。

表-6.9 各観測点での月最大時間雨量 (単位: mm/hr)

|        | SUM  | SLM  | SL   | TU   | TL   |
|--------|------|------|------|------|------|
| 2002.5 |      | 16.8 | 15.9 |      |      |
| 6      | 27.9 | 25.3 | 24.6 | 20.7 | 22.6 |
| 7      | 21.2 | 7.2  | 17.0 | 19.4 | 16.6 |
| 8      | 39.4 | 14.0 | 26.8 | 49.8 | 49.1 |
| 9      | 25.1 | 32.5 | 29.6 | 19.9 | 19.7 |
| 10     | 31.2 | 32.2 | 28.5 | 22.6 | 22.3 |
| 11     | 23.0 | 20.6 | 19.8 | 19.4 | 27.6 |
| 12     | 45.8 | 42.9 | 53.3 | 23.4 | 12.7 |
| 2003.1 | 25.8 | 25.3 | 23.7 | 18.8 | 15.2 |
| 2      | 28.8 | 23.9 | 24.8 | 19.6 | 15.5 |
| 3      | 23.9 | 22.8 | 23.4 | 21.8 | 18.0 |
| 全期間    | 45.8 | 42.9 | 53.3 | 49.8 | 49.1 |

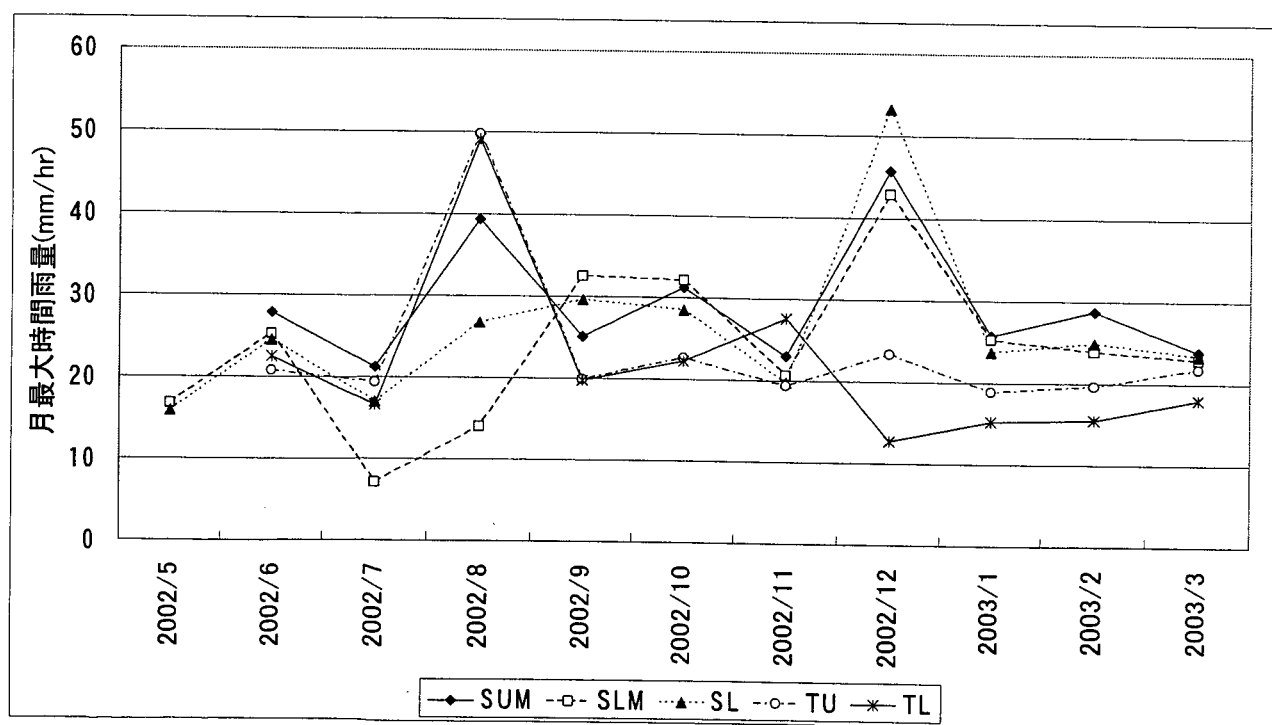


図-6.11 各観測点での月最大時間雨量

これらより、時間雨量の最大値は53.3mmであり、2002年12月1日にSLで観測された。これら以外にも、ほぼ毎月、時間雨量20mmを越すような降雨が観測されている。

### 6.7 短時間雨量に見る降雨の傾向

各観測点での短時間降雨について、10 分間雨量を用いて検討した。観測点毎の月最大 10 分間雨量を表-6.10 および図-6.12 に示す。

表-6.10 各観測点での月最大 10 分間雨量 (単位 : mm/10min)

|        | SUM  | SLM  | SL   | TU   | TL   |
|--------|------|------|------|------|------|
| 2002.5 |      | 7.2  | 7.0  |      |      |
| 6      | 14.5 | 10.2 | 8.6  | 11.8 | 13.8 |
| 7      | 12.7 | 3.0  | 10.3 | 8.9  | 6.8  |
| 8      | 3.9  | 5.0  | 10.6 | 13.5 | 3.1  |
| 9      | 10.0 | 11.0 | 13.7 | 7.5  | 12.1 |
| 10     | 10.0 | 12.9 | 10.6 | 10.0 | 9.3  |
| 11     | 10.9 | 7.2  | 10.0 | 6.7  | 7.9  |
| 12     | 12.4 | 14.0 | 14.8 | 8.3  | 7.1  |
| 2003.1 | 11.2 | 10.5 | 8.4  | 9.7  | 5.4  |
| 2      | 13.9 | 9.6  | 10.6 | 10.2 | 8.7  |
| 3      | 7.6  | 9.1  | 7.8  | 7.0  | 7.1  |
| 全期間    | 14.5 | 14.0 | 14.8 | 13.5 | 13.8 |

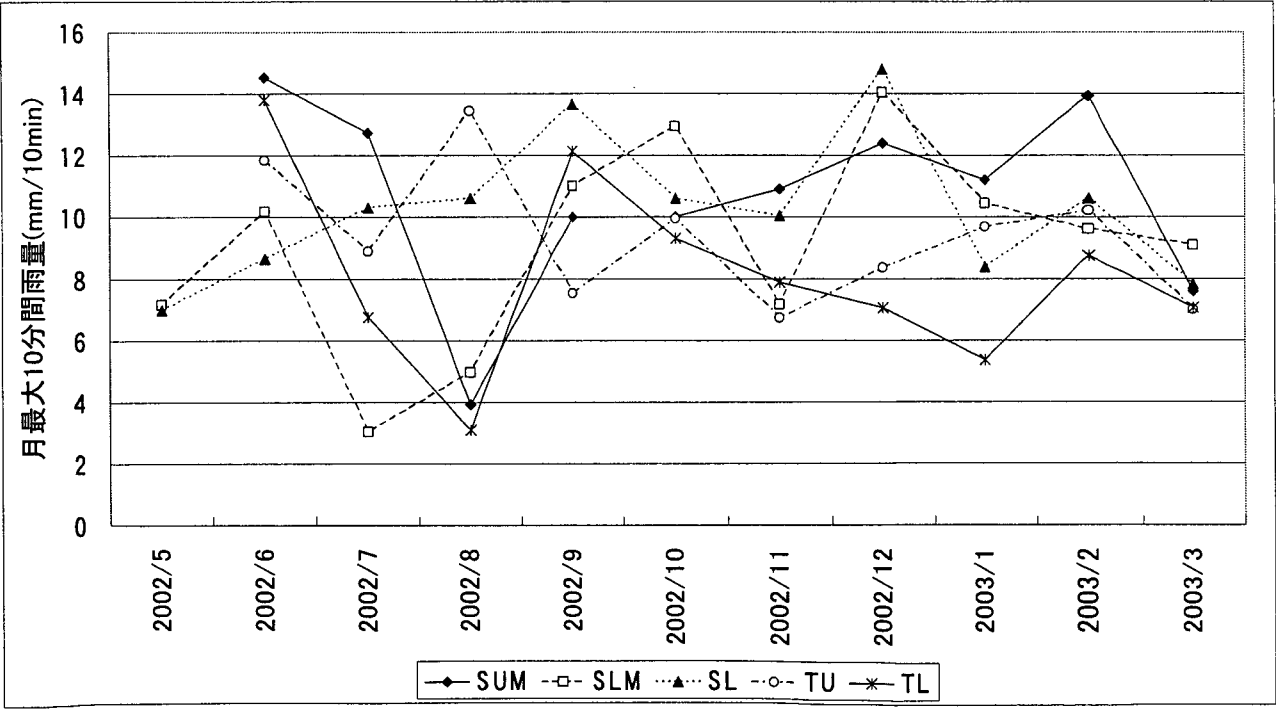


図-6.12 各観測点での月最大 10 分間雨量

これらより、10 分間雨量の最大値は 14.8mm であり、2002 年 12 月 1 日に SL で観測された。

また、2002 年 5 月を除く、ほぼ毎月、いずれかの観測点で 10mm/10min を越えるような強い雨が観測されている。

## 6.8 まとめ

以上の通り本章では、三宅島において約 1 年間の降雨観測を行った結果について、考察を行った。得られた結果等を以下にまとめる。

- (1) 月降雨量の最大値は、670mm 程度である。
- (2) 2002 年 6 月～2003 年 3 月の 10 ヶ月間の降雨量は、2100mm～3400mm 程度である。
- (3) 観測点間の月降雨量の較差は数十 mm～340mm 程度である。月降雨量そのものが 150mm～500mm 程度であることを考えると、観測点間の較差は小さくないと言える。
- (4) カニガ沢流域では、標高が高いほど降雨量が多くなり、月降雨量で比較すると SUM に比較して SL では、最も差のある月では 56%の降雨量である。同様に日雨量で比較すると、43%の降雨量である。また、最も差のある場合、SUM と SL では日雨量で 60mm 程度の差がある。
- (5) 一方、立根沢流域内では、標高と降雨量との間に関連は見いだせなかった。
- (6) 他の孤立峰周辺での研究で指摘されている風上側と風下側での降雨量の差については、今回の検討でははっきりとした傾向はつかめなかった。対象とした観測点が限られており、これらの観測点周辺の、微地形等の他の要因が強く影響を与えた可能性がある。
- (7) 時間雨量の最大値は、53.3mm である。また、10 分間雨量の最大値は 14.8mm である。

## 7 火山灰堆積斜面からの降雨流出・土砂流出

### 7.1 現地観測の概要

観測は、三宅島において、火山灰の噴出を伴う主な噴火が終わってからおよそ2年が経過した2002年3月から開始した。観測斜面の位置は図-7.1に示すとおりである。4箇所がカニガ沢の流域内に、2箇所が立根沢の流域内に位置する。最も火山灰堆積厚の大きな斜面で60cm、小さな斜面で5cmの堆積厚を有している。観測斜面は、合計6箇所である。各観測斜面の諸元を表-7.1に示す。どの斜面も厚さは異なるが、ほぼ全面が、細粒成分含有率(2mm以下の粒径の土砂に占めるシルト粒径以下の細粒成分の含有率)が49%~65%という細粒の火山灰によって覆われている。

それぞれの観測斜面において、雨量と流量を観測した。雨量は、斜面毎に設置した雨量計(Unidata社製転倒マス雨量計TE525, 0.01inch転倒)によって計測した。計測間隔は30秒である。また、流量は各観測斜面の下流端に設置した量水堰によって観測した。量水堰は、寸法が幅50cm、長さ80cm、高さ40cmであり、90°三角ノッチ、ノッチ深さ20cmを有するステンレス製のノッチボックスである。その上流側には、出水の度に流出する土砂によってノッチボックスが埋まることを防ぐために土砂溜を設置した。ノッチボックス中にUnidata社製の静電容量式水位計(Model 6521)を取り付け、水位を計測した。水位は降雨時30秒間、無降雨時3分間の間隔でデータロガー(Campbell社製CR10X-2M)に記録した。雨量と堰の水位が同じロガーに記録されるため、両者は完全に同期したデータとして扱うことができる。

なお、水位から流量への換算を行うための換算式は、別途室内で検定を行ったところ、沼知・黒川・淵沢の公式<sup>24) 25) 26)</sup>がほぼよく適合することを確認したので、これを用いることとした。

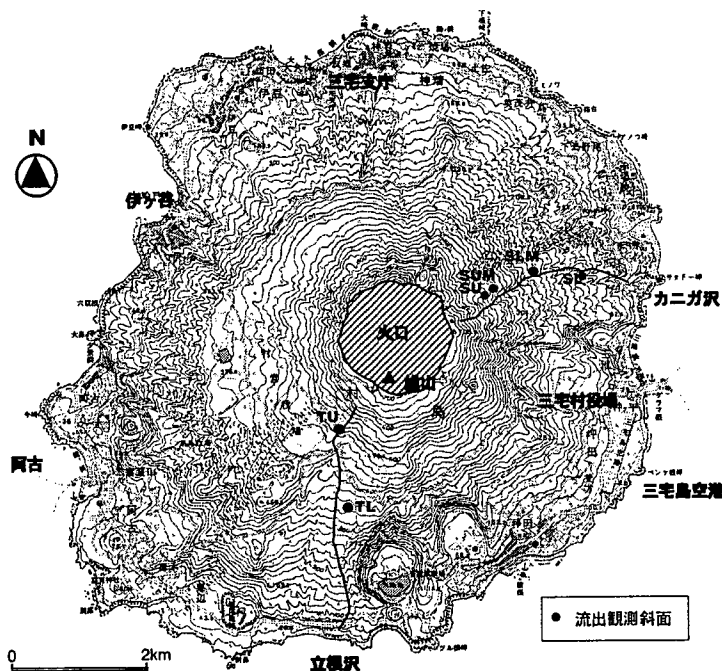


図-7.1 観測斜面位置図(2002年5月時点)

表-7.1 観測斜面の諸元

|     | 集水面積<br>(m <sup>2</sup> ) | 平均傾斜角<br>(°) | 火山灰堆積厚<br>(cm) | 火山灰の細粒<br>成分含有率(%) |
|-----|---------------------------|--------------|----------------|--------------------|
| SU  | 82                        | 28           | 60             | 56                 |
| SUM | 36                        | 21           | 46             | 56                 |
| SLM | 475                       | 14           | 26             | 49                 |
| SL  | 138                       | 19           | 11             | 58                 |
| TU  | 204                       | 20           | 15             | 65                 |
| TL  | 455                       | 10           | 5              | 50                 |

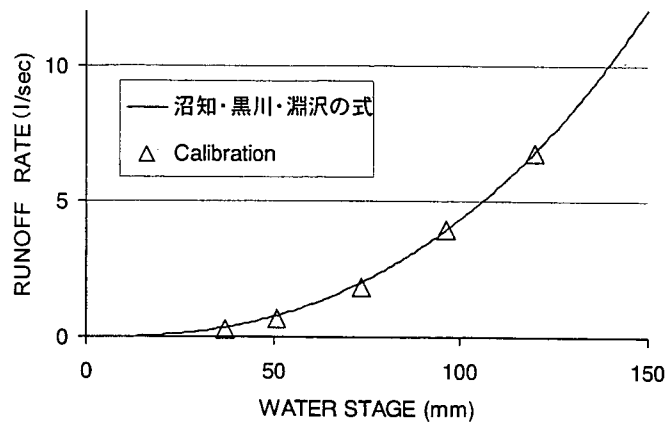


図-7.2 量水堰の検定結果

$$Q = \left\{ 1.353 + \frac{0.004}{H} + \left( 0.14 + \frac{0.2}{\sqrt{H_d}} \right) \left( \frac{H}{W} - 0.09 \right)^2 \right\} H^{\frac{5}{2}}$$

ここに、 $Q$ ：流量( $\text{m}^3/\text{sec}$ )、 $H$ ：越流水深( $\text{m}$ )、 $H_d$ ：堰底面からノッチ先端までの高さ( $\text{m}$ )  $W$ ：堰幅( $\text{m}$ )である。

また、降雨時の土壌水分状態を調べるために、SUMの観測斜面の近傍に2002年3月からテンシオメータを2本設置した。ポアラスカップの直径は1.5cm、設置深度は5cmと20cmである。使用した圧力計は大起理化社製 DIK-3022-12 (計測可能範囲  $0 \sim 98 \text{ kN/m}^2$ ) である。

土砂溜の土砂は、ほぼ満砂するたびに浚渫し、その量を計測した。計測は、以下の手順で行った。まず、土砂溜内の水を全てかき出す。次に、水で飽和した堆積土砂を容積の定まった器(バケツ等)によって汲み出し、器何杯分であるかを記録する。汲み出した土砂のうち、一杯分だけを持ち帰り、炉乾させて乾燥重量を計測する。この値に汲み出しに要した杯数を乗じることによって、堆積土砂量を計測した。



写真-7.1 量水堰等の設置例 (SU, 2002年3月)

## 7.2 火山灰堆積斜面からの降雨流出

計測機器のトラブルや、大量の土砂流出のため、欠測となることがしばしばあった。図-7.3 に、観測の結果得られた各観測斜面におけるハイトーハイドログラフの一例を示す。TL を除くどの斜面においても、流出は降雨に即応して発生し、降雨終了とともに速やかに終了していることが分かる。このような応答の速い流出は地表流による流出と考えられる。また、前述の通り本研究の観測斜面は、透水性の悪い細粒火山灰によって表面が覆われている。最上層に難透水性土層が堆積している場合には、側方浸透・復帰流による飽和地表流が発生していることは考え難く、火山灰堆積物の浸透能を超過した雨水（浸透余剰水）が地表面を流下するホートン地表流が発生しているものと考えられる。

図-7.4 に、2003 年 3 月 27 日の降雨に対する SUM の観測データを示す。この斜面では、2002 年 3 月から新たにテンシオメータによる観測を始めていた。テンシオメータは地表から約 5cm と 20cm の深さに埋設してある。降雨が始まり、まず、5cm の深さに設置したテンシオメータのサクション値が鋭敏に反応し、次いで 20cm の深さに設置したテンシオメータのサクション値が徐々に減少し始め、およそ 5 時間かけてゆっくりと最低値まで到達した。図-7.4 でははっきりとは分からないが、詳細にデータを検討すると、表面流出の開始時点と、テンシオメータの値が飽和状態に到達した時点では、前者の方が先である。すなわち、SUM 斜面では、5cm の深さが飽和する前に表面流出が始まっていることになる。このことは、ここで観測している流出が、飽和地表流であるというよりは、ホートン地表流であることを示していると言える。

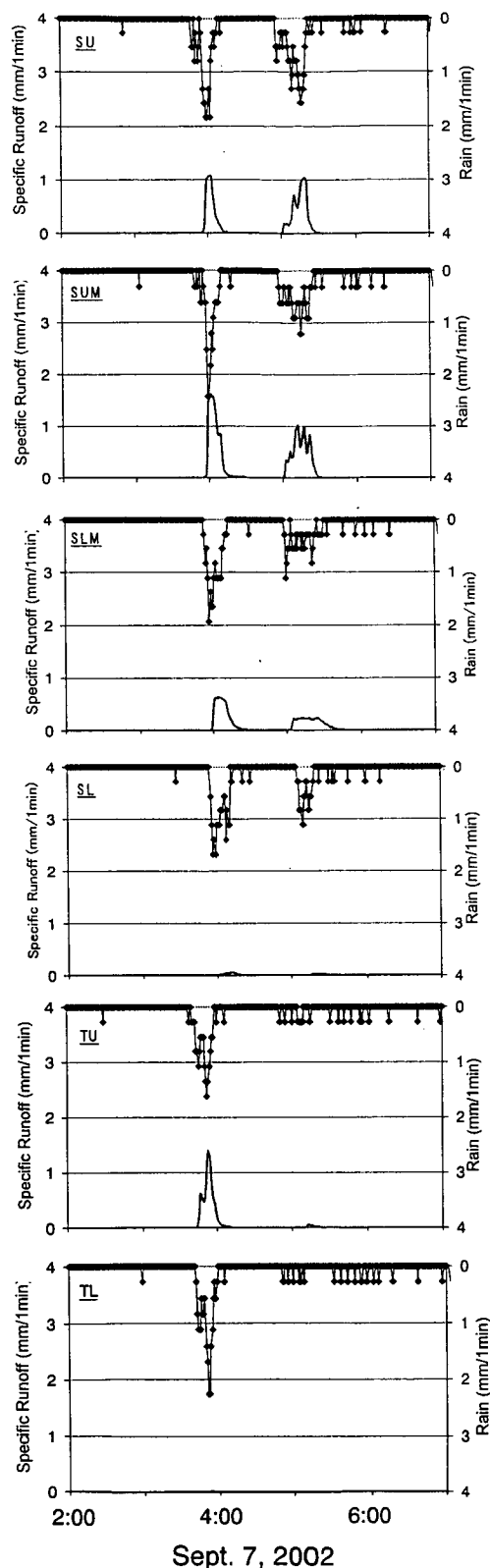


図-7.3 2002 年 9 月 7 日の各観測斜面におけるハイトーハイドログラフ

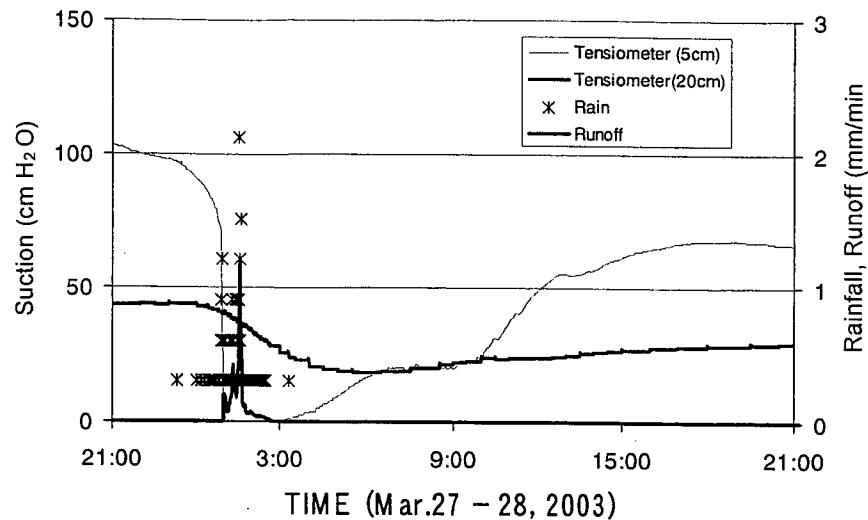


図-7.4 降雨時のサクション値の挙動(2003年3月27日の降雨流出事例(SUM))

2002年9月7日、27日、30日の降雨流出事例における各観測斜面における流出率を求め、表-7.2に示した。流出率は、総流出高を一連の降雨(無降雨時間6時間で区切られた降雨)による総雨量で除すことによって求めた。6箇所の観測斜面で得られた観測結果によると、流出率が高いグループと低いグループの大きく二つのグループに分けられることが分かった。すなわち、SU、SUM、SLM、TUの4斜面ではほぼ37%~80%という高い流出率を示している。一方、SLでは、3~5%と際立って少なく、TLでは流出率はゼロである。

表-7.2 2002年9月の主な降雨に対する各観測斜面の流出率

| Name of Slope | Date      | Total Rainfall (mm) | Total Runoff (mm) | Runoff Ratio |
|---------------|-----------|---------------------|-------------------|--------------|
| SU            | 2002/9/7  | 39.7                | 20.0              | 50%          |
|               | 2002/9/27 | 103.9               | 56.1              | 54%          |
|               | 2002/9/30 | 203.3               | 77.3              | 38%          |
| SUM           | 2002/9/7  | 37.9                | 30.1              | 80%          |
|               | 2002/9/27 | -                   | -                 | -            |
|               | 2002/9/30 | -                   | -                 | -            |
| SLM           | 2002/9/7  | 34.4                | 15.0              | 44%          |
|               | 2002/9/27 | 80.3                | 44.1              | 55%          |
|               | 2002/9/30 | 203.2               | 78.4              | 39%          |
| SL            | 2002/9/7  | 29.3                | 0.8               | 3%           |
|               | 2002/9/27 | 86.8                | 4.0               | 5%           |
|               | 2002/9/30 | 166.6               | 6.6               | 4%           |
| TU            | 2002/9/7  | 21.0                | 11.0              | 52%          |
|               | 2002/9/27 | 90.9                | 35.7              | 39%          |
|               | 2002/9/30 | 122.1               | 45.5              | 37%          |
| TL            | 2002/9/7  | 24.8                | 0                 | 0%           |
|               | 2002/9/27 | 83.8                | 0                 | 0%           |
|               | 2002/9/30 | 115.1               | 0                 | 0%           |

### 7.3 火山灰堆積斜面における土砂流出

各観測斜面において、観測開始(2002年5月)から2003年3月までに、場所によっては1トン以上の土砂流出が観測された地点もあった。沈砂池に堆積した乾燥土砂量を各斜面の集水面積で除した値を図-7.5に示す。土砂は、地表面を薄く広く覆うようにして流れる水流によって面状に侵食されたり、リルと呼ばれる細溝が発達することにより局所的に溝状に侵食されたりすることによって流出したものと考えられる。こ

の間、TUの雨量データによれば、3080mmの降雨が記録されている。なお、斜面から、降雨出水に伴って流出する土砂は、掃流砂のみでなく、浮流砂としても流出すると考えられるため、土砂溜だけでは完全にそれらを採取することはできていないと考えるべきである。したがって、ここに示す土砂流出量は、これらの斜面から流出した土砂量の最低値を示すものである。

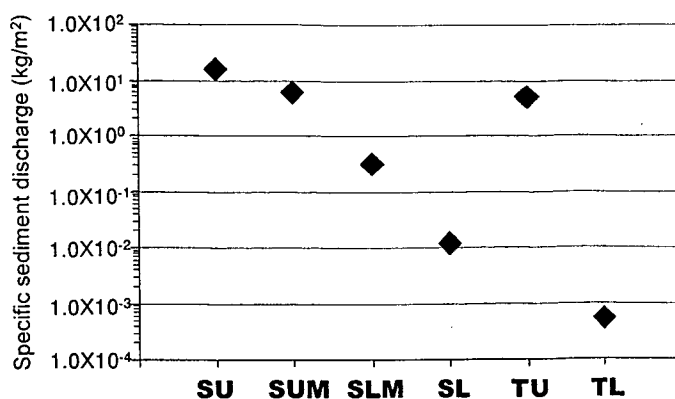


図-7.5 観測斜面土砂溜における堆積土砂量  
(2002年5月-2003年3月)

### 7.4 火山灰堆積斜面における降雨流出・土砂流出の違いについて

#### 7.4.1 降雨流出の違いについて

全ての観測斜面は、厚い薄いの違いはあったが、火山灰で全面が覆われていた。しかし、図-7.6等 to 示すように、降雨流出には大きな違いが生じた。降雨流出は、SU, SUM, SLM, TUで多く、SLでは少なく、そしてTLでは全く観測されなかった。火山灰堆積厚という点で整理すると、15cm以上の堆積厚を有する斜面では流出が多いが、それ以下の斜面では流出が少ないということが出来る(図-7.6)。

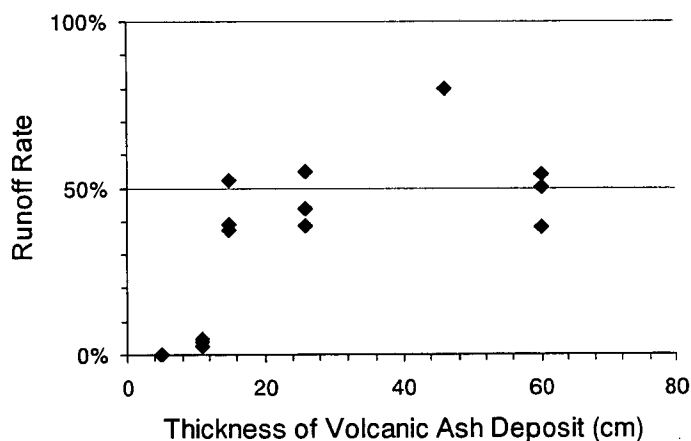


図-7.6 火山灰堆積厚による流出率の違い

火山灰堆積厚と降雨流出の因果関係については現時点では不明であるが、火山灰が厚く堆積している斜面ほど、植生被害の程度が大きい(表-5.2 参照)ことから、植生の被害状況の違いが流出の差となって現れている可能性もある。この点については、今後の重要な研究課題としたい。

#### 7.4.2 土砂流出の違いについて

SU, SUM, TU において  $10^0 \sim 10^1 \text{ kg/m}^2$  と最も高い水準の土砂流出が観測されているが、SLM の水準はこれらに比べて 1 オーダー低く、SL ではさらに 1 オーダー低い。そして、TL ではほとんど土砂流出は観測されなかった。土砂流出が最も多い SU, SUM, TU の 3 斜面は、7.2 節で示したとおり降雨時の流出が多い斜面であり、また、第 5 章で示した通り、植生被害も著しく、落葉層の形成が全く見られない斜面である。一方、土砂流出が極めて少ない SL 及び TL の 2 斜面は、降雨流出、植生被害が少なく、落葉層が形成されている斜面である。そして、降雨流出は多いものの、斜面勾配が SU, SUM, TU などと比べて緩やかであり、かつ、SL, TL と同様に落葉層が形成されている SLM における土砂流出量は、土砂流出の多いグループ (SU, SUM, TU) と少ないグループ (SL, TL) の中間的な数値を示している。降雨流出量、斜面勾配、そして、地被状態は、土砂流出量を決定する重要な因子であるが、ここで観測した範囲では、どれか一つの因子の影響が突出して大きいということは無く、土砂流出特性に対してそれぞれ無視できない影響を与えているものと考えられる。これらの因果関係については今後さらに研究を進めて行く必要がある。

## 8 溪流河道における降雨流出・土砂流出

### 8.1 現地観測の概要

火山灰の堆積が顕著な溪流（カニガ沢）とそれほどではない溪流（立根沢）の中流部と溪流出口に、泥流観測カメラを設置し、2002年5月から降雨時の流出状況の観測を開始した。観測カメラ（映測サイエンス株式会社製）は、ビデオカメラ本体（Canon社製 IXY DV2）・コントロールユニット・ソーラーパネル（GT463）・バッテリー（YUASA社製 NPH 12-12）・支柱で構成されており、指定した時間間隔で、ビデオテープが終了するまで自動的に撮影を繰り返す仕組みになっている。ビデオカメラ・コントロールユニットは、密封状態で鉄製の容器に入っている（写真-8.1）。観測カメラは定期的に動作状況の点検・撮影日時確認を行い、ビデオテープを回収・交換した。照明施設は設置されていないため、夜間の流出は記録できない。

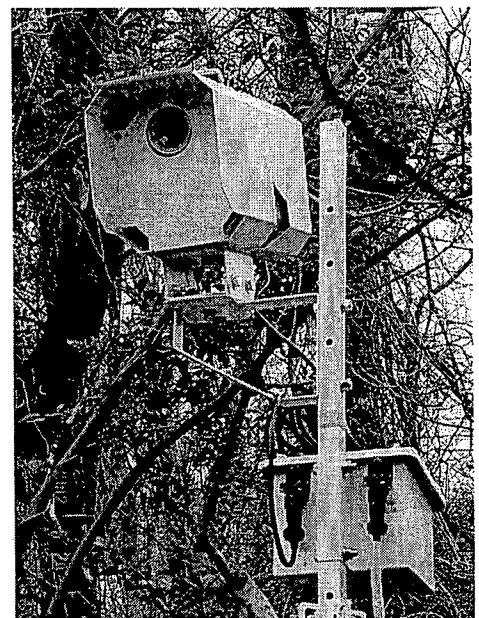
流出が撮影された場合、その水位から通水断面積・流速を求め、これらに乗じて流量を算出した。通水断面積は、あらかじめ流下断面を測量し、水位と通水断面積の関係求めておいた。流速は、マニング式により計算した。マニングの粗度係数は、ビデオカメラで撮影された映像より流速を読みとり、逆算して求めた。

2002年度の観測ビデオカメラ稼働期間と撮影間隔を、表-8.1に示す。今年度は観測カメラシステムの不具合が頻繁に発生し、回収できたデータは限られたものになってしまった。また、ビデオカメラは稼働していたにもかかわらず、霧の発生やレンズの曇りなどで、解析不可能な時間帯もあった。少ない観測事例であるが、カニガ沢の中流（SV2）と下流（SV1）、立根沢の中流（TV2）と下流（TV1）、カニガ沢と立根沢の溪流出口（SV1とTV1）における流出形態の違いを解析した。

土砂流出については、現地で流出に遭遇したときの観測データ、撮影されたビデオテープの映像、土砂流出の顕著な立根沢については溪床の定点写真撮影を行い、その変動の概要を解析した。また、2000年7月の噴火以降、三宅島現地災害対策本部が公開している日報より、土砂の流出に関する記述を抜粋し、日雨量とともに表示して、土砂流出の経年変化を把握する資料とした。



a) 観測カメラ全景



b) 観測カメラ近景

写真-8.1 観測カメラ

表-8.1 流出観測ビデオカメラ稼働期間（2002 年度）

| カメラ | 年    | 稼働期間                | 撮影間隔           |
|-----|------|---------------------|----------------|
| SV1 | 2002 | 5 月 24 日～6 月 12 日   | 3 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     |      | 7 月 15 日～7 月 20 日   | 3 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     |      | 8 月 22 日～9 月 18 日   | 3 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     |      | 11 月 20 日～12 月 2 日  | 5 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     | 2003 | 3 月 13 日～3 月 31 日   | 5 分間隔（1 秒間撮影）  |
| SV2 | 2002 | 7 月 21 日～7 月 30 日   | 3 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     |      | 9 月 18 日～10 月 23 日  | 5 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     | 2003 | 3 月 13 日～3 月 31 日   | 3 分間隔（1 秒間撮影）  |
| TV1 | 2002 | 6 月 26 日～7 月 1 日    | 3 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     |      | 7 月 15 日～7 月 30 日   | 3 分間隔（2 秒間撮影）* |
|     |      | 8 月 29 日～9 月 17 日   | 3 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     |      | 9 月 17 日～10 月 23 日  | 5 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     |      | 11 月 19 日～11 月 28 日 | 5 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     | 2003 | 3 月 15 日～3 月 31 日   | 5 分間隔（1 秒間撮影）  |
| TV2 | 2002 | 5 月 25 日～6 月 5 日    | 3 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     |      | 7 月 2 日～7 月 10 日    | 3 分間隔（2 秒間撮影）  |
|     |      | 7 月 30 日～8 月 2 日    | 3 分間隔（1 秒間撮影）  |
|     |      | 9 月 18 日～10 月 22 日  | 5 分間隔（1 秒間撮影）  |

\* TV1： 2002 年 7 月 16 日は、1 分間隔で 3 秒間撮影した。

## 8.2 降雨流出に関する観測及び調査結果

### 8.2.1 カニガ沢

カニガ沢流域の流出特性を把握する目的で、中流の標高 300m 地点 (SV2) と下流の標高 70m 地点 (SV1) に、2つのビデオカメラを設置した。上流側の SUM 観測プロットから SV2 までの距離は 400m で平均勾配 27.1%、SV2 から SV1 までの距離は 1,600m で平均勾配 15.6%である。距離は 1/5,000 地形図上でスケールをあてて測定した。勾配は同じく 1/5,000 地形図上の、5m 間隔の等高線を読みとり計算した。カニガ沢の平面図を図-8.1、縦断面図を図-8.2 に示す。

2002 年 5 月 24 日に SV1、同年 7 月 21 日に SV2 の観測を開始したが、火山ガス・酸性雨による影響のためか機材の不調が多く、また特に SV2 においては、霧の発生がしばしば撮影されたビデオテープの解析を困難にした。

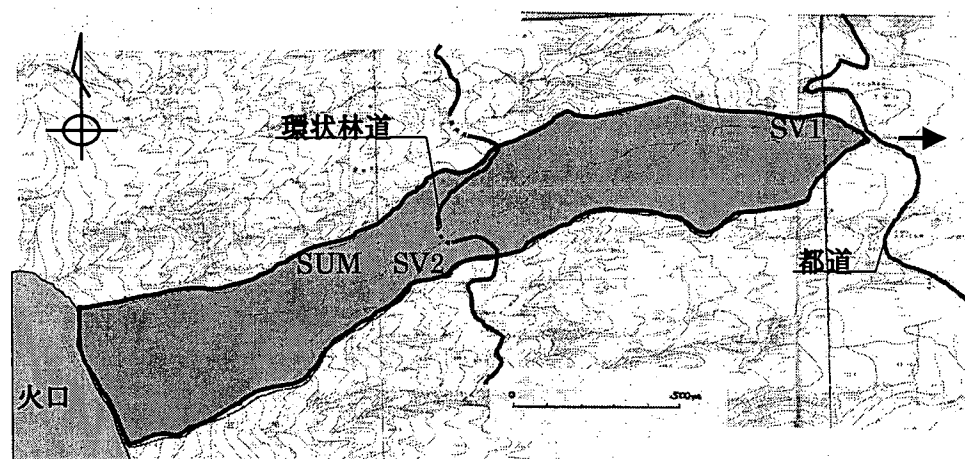


図-8.1 カニガ沢平面図

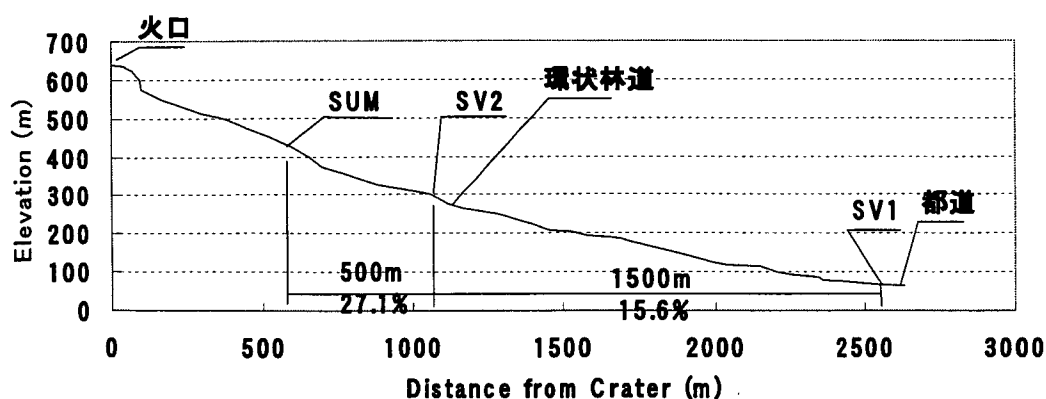


図-8.2 カニガ沢縦断面図

#### (1) 流出の到達時間

今年度取得できたデータを基に、流出観測時刻、SUM 地点の降雨とその関係を整理したのが表-8.2

である。降雨は、対象となるピーク流出を発生させたと考えられる、10 分間降雨が記録された時刻である。10 分間降雨とはその時間前の 10 分間雨量で、例えば SV1 における 7 月 16 日の降雨発生時刻 8:30 は、8:20～8:30 の 10 分間雨量である。表-8.2 には、SUM 観測プロットにおける 10 分降雨発生時刻と、流出ピーク発生時刻の遅れ時間を挿入した。ピーク流出に関与したと考えられる SUM の降雨が、流域最遠点に降ったものと仮定すると、ここで言う流出ピークの遅れ時間は、洪水到達時間と言える。さらに、SV1・SV2 両地点の距離の違いによる遅れ時間の差を消す目的で、流域最遠点からの距離をピークの遅れ時間（洪水到達時間）で除した値も挿入した。この値は、速度の次元を持つので、ここでは「洪水到達速度」と表現する。表-8.2 の流出時刻で「不明」となっているのは、日没、霧やガスの発生により流出が判読不能だったものであり、「継続」は 1 回の流出でピークが複数回現れた流出のデータである。

表-8.2 SV1 および SV2 地点の流出時刻と降雨強度の関係（2002 年度）

| No. | 観測日    | 流出観測時刻 |       |       | ピーク流出に<br>関与した降<br>雨発生時刻 <sup>1)</sup> | ピーク流出に関与<br>した降雨強度<br>(mm/10min) | ピークの<br>遅れ時間<br>(min) | 洪水<br>到達速度 <sup>2)</sup><br>(m/s) |
|-----|--------|--------|-------|-------|----------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
|     |        | 開始     | ピーク   | 終了    |                                        |                                  |                       |                                   |
| SV1 |        |        |       |       |                                        |                                  |                       |                                   |
| 1   | 7月16日  | 8:33   | 8:45  | 13:20 | 8:30                                   | 6.36                             | 15                    | 3.02                              |
| 2   | 9月7日   | 5:58   | 6:16  | 継続    | 6:00                                   | 8.79                             | 16                    | 2.83                              |
| 3   | 同上     | 継続     | 7:34  | 9:49  | 7:20                                   | 7.27                             | 14                    | 3.23                              |
| 4   | 11月22日 | 8:51   | 10:36 | 16:31 | 10:10                                  | 2.12                             | 26                    | 1.74                              |
| 5   | 12月1日  | 12:11  | 13:51 | 継続    | 13:30                                  | 7.27                             | 21                    | 2.15                              |
| 6   | 同上     | 継続     | 14:46 | 不明    | 14:30                                  | 8.18                             | 16                    | 2.83                              |
| 7   | 3月19日  | 10:19  | 10:49 | 15:04 | 10:20                                  | 2.12                             | 29                    | 1.56                              |
| 8   | 3月25日  | 12:28  | 12:43 | 継続    | 12:00                                  | 1.52                             | 43                    | 1.05                              |
| 9   | 同上     | 継続     | 13:43 | 18:08 | 13:20                                  | 4.85                             | 23                    | 1.97                              |
| SV2 |        |        |       |       |                                        |                                  |                       |                                   |
| 1   | 9月27日  | 10:28  | 11:08 | 継続    | 10:10                                  | 1.21                             | 58                    | 0.33                              |
| 2   | 同上     | 継続     | 12:48 | 不明    | 12:40                                  | 0.91                             | 8                     | 2.56                              |
| 3   | 9月28日  | 7:03   | 7:08  | 不明    | 7:00                                   | 8.18                             | 8                     | 2.56                              |
| 4   | 3月19日  | 10:09  | 10:34 | 15:34 | 10:20                                  | 2.12                             | 14                    | 1.46                              |
| 5   | 3月25日  | 11:13  | 12:23 | 継続    | 12:00                                  | 1.52                             | 23                    | 0.89                              |
| 6   | 同上     | 継続     | 13:33 | 17:28 | 13:20                                  | 4.85                             | 13                    | 1.58                              |

1) 降雨発生時刻は、SUM の雨量計データに基づく。

- 2) (洪水到達速度) = (流域最遠点からの距離) / (ピークの遅れ時間)。流域最遠点からの距離は SV1 までが 2,715 m、SV2 までが 1,130 m。ただし SV2 のカメラは、2003 年 3 月 12 日に観測位置を下流側へ 100m ずらしたため、それ以降の距離は 1,230 m。

洪水到達時間は、治水・砂防計画に必須のピーク流量を推算するために必要なデータである。その推定式はいくつか紹介されているが、ここでは建設省土木研究所で整理した式<sup>27)</sup>を用いて、カニガ沢における事例の検討を試みた。洪水到達時間を推定する式は、以下のようである。

$$\text{自然流域: } T_p = 1.67 \times 10^{-3} \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.7}$$

$$\text{都市流域: } T_p = 2.40 \times 10^{-4} \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.7}$$

ここで、 $T_p$ : 洪水到達時間(h),  $L$ : 流域最遠点から観測地点までの流路長(m),  $S$ : 平均勾配、である。これらの式を用いて、SV1 までの流路長 2,715 m、平均勾配 21.3 %を代入すると、自然流域を対象とした計算式を用いた結果 44 分、都市流域を対象とした計算式の結果で 6 分となった。SV2 までの流路長 1,230 m、平均勾配 30.3 %を代入して到達時間を同様に求めると、自然流域式で 21 分、都市流域式で 3 分であった。

表-8.2 より、SUM 降雨ピーク時刻から SV1 流出ピーク時刻までの遅れは 14~43 分、SUM 降雨ピークから SV2 流出ピークの遅れは 8~58 分である。いずれの結果も、都市流域を対象とした式では洪水到達時間が短すぎて、あてはまらないと言える。

しかし、SV1 でピークの遅れ時間が最大の 43 分を記録したのは、最大 10 分降雨強度が 2mm 以下の弱い雨であり、これを除外すると、洪水到達時間は 14~29 分で、自然流域を対象とした式の結果 44 分は、大きすぎる。周回林道より上流域は、立木はあるものの枝葉は落ち、火山灰に覆われた地表面がむき出しの状態である。このような流域からの洪水到達時間を推算するためには、独自の計算式を開発する必要があるものと考ええる。

図-8.3 は、SUM における 10 分間最大降雨強度を横軸に、SV1・SV2 における洪水到達速度を縦軸にプロットしたものである。SV1、SV2 とともに、10 分最大降雨強度と洪水到達速度の間に正の相関が認められる。すなわち降雨強度が大きいほど、流出は短い時間で下流に到達する。また、SV1 と SV2 における洪水の到達速度は、ほとんど差がないように見える。

ただ、入手できた観測データが少なく、この傾向について言及するには、今後より多く

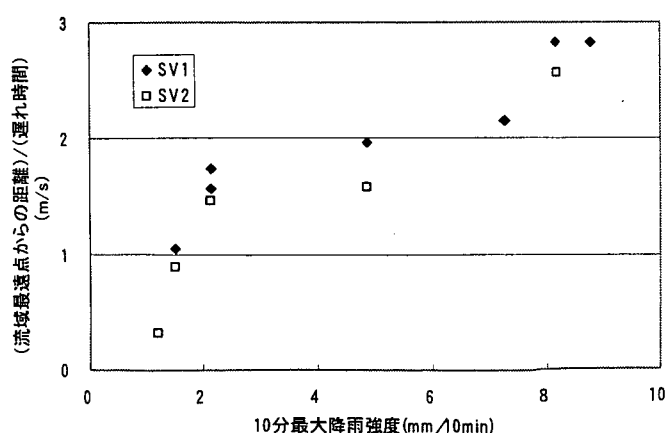


図-8.3 降雨強度と洪水の到達速度  
(カニガ沢)

のデータを蓄積する必要がある。

## (2) 降雨流出量

SV1 地点で撮影された流出映像のうち、1 洪水の開始と終了がすべて撮影された流出について作成した、ハイエト・ハイドログラフを図-8.4、8.5、8.6、8.7 に示す。図の横軸は時間軸で、午前 6 時から午後 6 時までの 12 時間を示している。ただし、図-8.5 の 2002 年 9 月 7 日の出水については、出水に参与した降雨ピークがちょうど朝 6 時に発生しており見づらいため、午前 3 時から午後 6 時までの 15 時間を示した。左縦軸は、流量であり、右縦軸は 1 分間の降雨量である。2003 年 3 月の 2 事例(図-8.6、8.7) は、SV1 と SV2 同時撮影が成功したため、同じグラフ上に表示した。

4 事例のうち、図-8.4、8.5 の出水は、降雨ピーク後、すぐに流出ピークが発生していることが明確である。特に 9 月 7 日(図-8.5)の流出は、2 回の降雨ピーク直後に流出応答があり、その後すみやかに終了している。これは、前章の図-7.3 に示された観測斜面のハイエト・ハイドログラフと同じ日のものであり、応答特性が流域上流に位置する SU、SUM 観測斜面と酷似している。

図-8.6、8.7 は、観測開始後はじめて SV2 と SV1 の 2 つの地点で流出が同時に撮影された事例である。図-8.4、8.5 の流出に比較し、流量が小さかったため、縦軸の流量を小さく取って、見やすく引き延ばしている。2 地点の流出を比較すると、以下のことが言える。

- 1) SV2 におけるピーク流量は、SV1 における流量の約 2 倍である。
- 2) SV1 における流出は、SV2 に比べ遅く始まり、早く終了する。
- 3) 流出開始時刻について、3 月 19 日には、SV2 地点で 10:09、SV1 地点で 10:19 と、10 分の遅れが

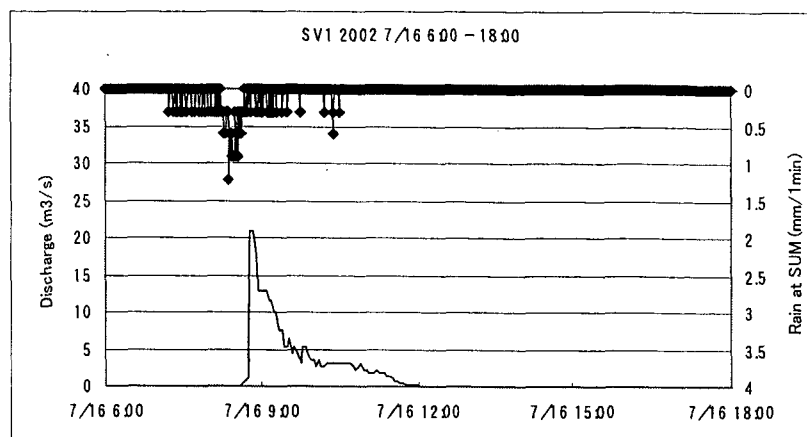


図-8.4 SV1 におけるハイエト・ハイドログラフ  
(2002 年 7 月 16 日 6:00 - 18:00)

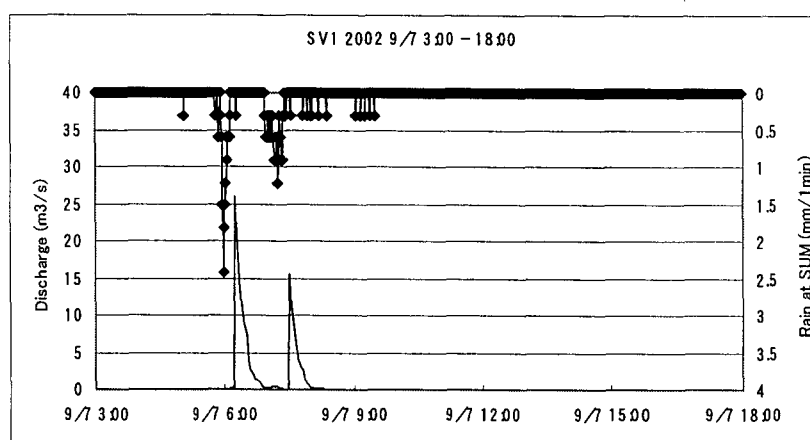


図-8.5 SV1 におけるハイエト・ハイドログラフ  
(2002 年 9 月 7 日 3:00 - 18:00)

あり、3月25日にはSV2で11:13、SV1で12:28と、75分の遅れがあった。

- 4) 流出ピークの発生時刻は、3月19日はSV2で10:34、SV1で10:44であり10分の遅れ、3月25日の最初のピークはSV2で12:23、SV1で12:43であり20分、2回目のピークではSV2で13:28、SV1で13:43と15分の遅れがあった。

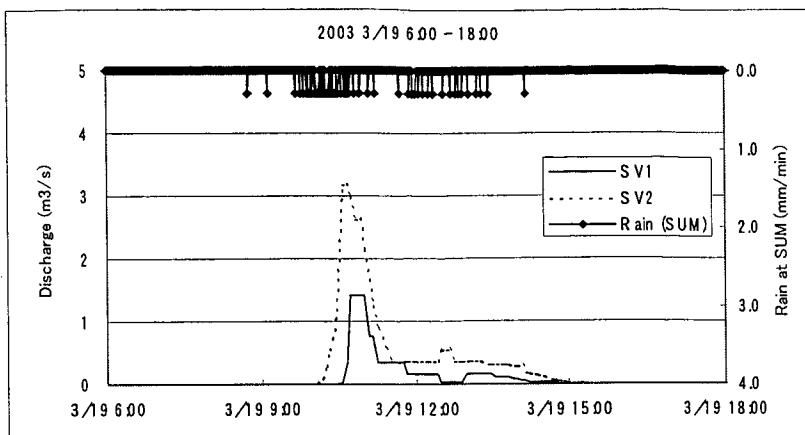


図-8.6 SV1・SV2におけるハイト・ハイドログラフ  
(2003年3月19日 6:00 - 18:00)

SV2における3月19日の流出ピークは、流出開始30分後であるのに対し、3月25日の最初の流出ピークは75分遅れで発生している。図-8.6、8.7のSV2流出波形に着目すると、3月19日の流出立ち上がりが急であるのに対し、3月25日は最初0.3 m³/s程度の流出が1時間ほど続き、この間、SV1において流出は発生していない。

一方、SV2のピーク流量はSV1の2倍ある。流域内で均等に降雨が

あったと仮定すると、通常下流地点の方が上流地点より流域面積が大きいため、流量が大きくなる。しかし、この流域では逆の現象が発生している。流量を算出するときの過程で、あらかじめ設定した粗度係数や水深・通水断面の推定精度に起因する誤差、ビデオ解析時の水位読みとり誤差、などが含まれていることを考慮しても、この2地点での差は大きい。下流側に位置するSV1の流出が、上流側のSV2より早く終了してしまうこと、SV2で流出が小さいときは、SV1で流出が現れないことを考え合わせると、SV2とSV1間の河床区間においては一見透水性の悪そうな溶岩が露出しているが、実際には流下損失が生じていることがわかる。

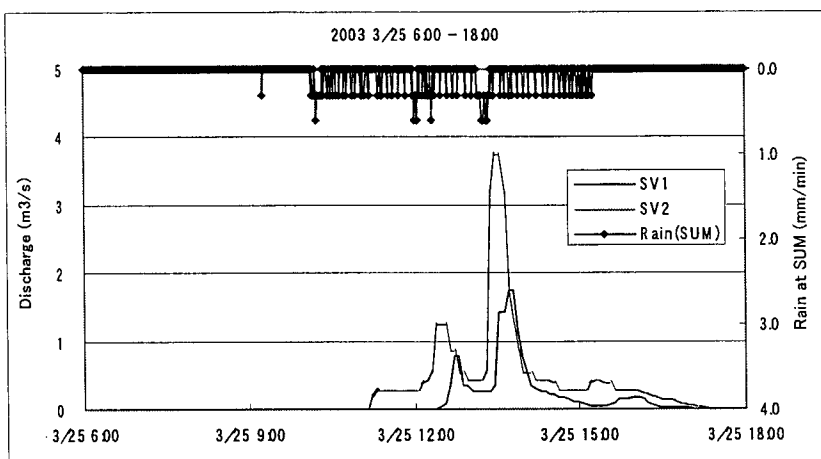


図-8.7 SV1・SV2におけるハイト・ハイドログラフ  
(2003年3月25日 6:00 - 18:00)



写真-8.2 カニガ沢中流の溶岩が露出した河床（標高320m付近）

### 8.2.2 立根沢

立根沢では、中流の標高 375m 地点 (TV2) と下流の標高 80m 地点 (TV1) に、2 つのビデオカメラを設置し観測した。上流側の TU 観測プロットから TV2 までの距離は 800m で平均勾配 13.2%、TV2 から TV1 までの距離は 1,800m で平均勾配 15.9%である。立根沢の平面図を図-8.8、縦断図を図-8.9 に示す。

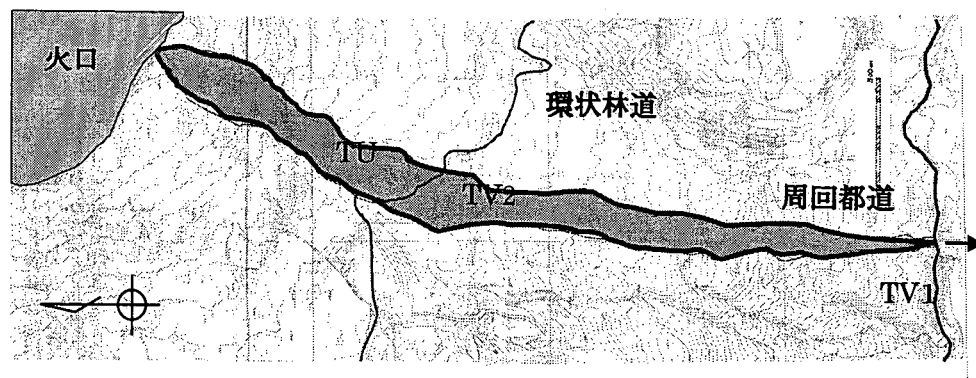


図-8.8 立根沢平面図

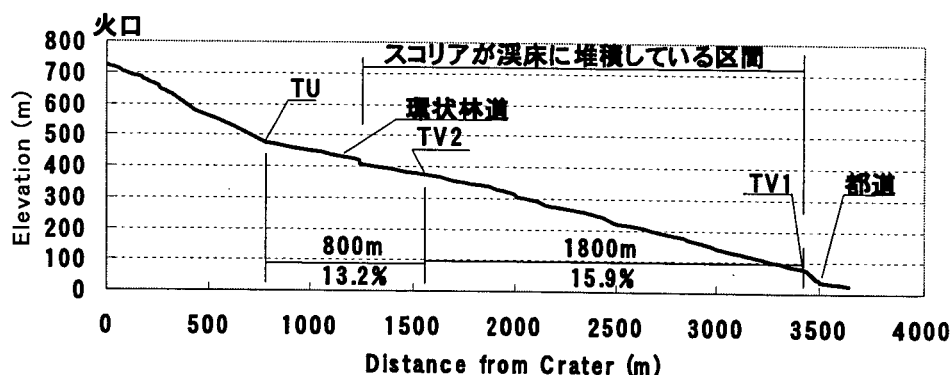


図-8.9 立根沢縦断図

立根沢においてもカニガ沢同様、観測機器の不調により TV2 と TV1 地点で同時に流出観測が行われていた期間は限られていた。2 地点で同時撮影が可能だったのは、2002 年 9 月 18 日から 10 月 22 日までの 1 ヶ月強であったが、10 月 1 日に三宅島を襲った台風 21 号の強風により、TV1 のビデオカメラ台座が折れ曲がってしまったため、実際に同時撮影ができたのは 13 日間である。この期間、まとまった降雨はあったものの、2 地点で同時に流出が観測されることはなかった。TV2 では、9 月 27 日、28 日、30 日、10 月 1 日と、4 日間流出が撮影されたが、TV1 では、流出が撮影されることはなかった。しかし、9 月 27 日の日没時と 28 日の早朝に撮影されたビデオ画像を比較すると、明らかな河床上昇が確認でき、また 9 月 30 日と 10 月 1 日の画像を比較すると、侵食が確認できた。

また、11 月 22 日 14:55 に現地調査をしていたところ、TV1 撮影地点において表面流はなかったが、撮影地点下流 20m 付近で堆積したスコリアの下部から出水しており、その流量は 15 l/s であった。さらに 11 月 26 日には同じ地点で 8:55 にスコリア下部から流量 1 l/s で出水しており、15:00 まで出水が

継続した。観測ビデオカメラはスコリアの堆積した沢出口をねらって撮影しており、スコリアの下から出水する場合は流出が記録されない。

表-8.3 に、前節のカニガ沢（表-8.2）同様、流出観測時刻、TU 観測プロットにおける降雨、流出ピークの遅れ時間、流域最遠点からの距離を遅れ時間で除した値（洪水到達速度）を示す。6 月 27 日に TV1 で撮影された画像からは、ピーク流出時刻を読みとることができなかったので、この流出に関しては、流出開始時刻と降雨発生時刻の差を、遅れ時間とした。

表-8.3 TV1 および TV2 地点の流出時刻と降雨強度の関係（2002 年度）

| No. | 観測日       | 流出観測時刻 |       |       | ピーク流出に<br>関与した降雨<br>発生時刻 <sup>1)</sup> | ピーク流出に関与<br>した降雨強度<br>(mm/10min) | ピークの<br>遅れ時間<br>(min) | 洪水<br>到達速度 <sup>2)</sup><br>(m/s) |
|-----|-----------|--------|-------|-------|----------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
|     |           | 開始     | ピーク   | 終了    |                                        |                                  |                       |                                   |
| TV1 |           |        |       |       |                                        |                                  |                       |                                   |
| 1   | 6 月 27 日  | 17:51  | 不明    | 不明    | 10:20                                  | 2.42                             | 451 <sup>3)</sup>     | 0.13                              |
| 2   | 7 月 16 日  | 12:05  | 12:45 | 不明    | 8:40                                   | 5.11                             | 245                   | 0.23                              |
| TV2 |           |        |       |       |                                        |                                  |                       |                                   |
| 1   | 9 月 27 日  | 16:43  | 16:48 | 不明    | 16:30                                  | 4.30                             | 18                    | 1.48                              |
| 2   | 9 月 28 日  | 7:18   | 7:23  | 8:43  | 7:00                                   | 2.42                             | 23                    | 1.16                              |
| 3   | 9 月 30 日  | 16:03  | 16:08 | 不明    | 15:50                                  | 3.50                             | 18                    | 1.48                              |
| 4   | 10 月 1 日  | 11:53  | 11:58 | 12:38 | 11:20                                  | 1.61                             | 38                    | 0.70                              |
| 5   | 10 月 1 日  | 13:18  | 13:38 | 継続    | 13:10                                  | 2.42                             | 28                    | 0.95                              |
| 6   | 同上        | 継続     | 15:03 | 16:08 | 14:40                                  | 2.69                             | 23                    | 1.16                              |
| 7   | 10 月 19 日 | 13:04  | 13:34 | 15:09 | 13:20                                  | 4.57                             | 14                    | 1.90                              |

- 1) 降雨ピーク発生時刻は、TU 観測プロットにおける雨量計データに基づく。
- 2) (洪水到達速度) = (流域最遠点からの距離) / (ピークの遅れ時間)。流域最遠点からの距離は TV1 までが 3,400 m、TV2 までが 1,600 m。
- 3) 流出ピーク時刻が不明のため、流出開始時刻と降雨ピーク時刻の差で計算した。

表-8.3 の TV1 における遅れ時間を見ると、降雨から 4~7.5 時間 (245~451 分) 遅れて流出しているのに対し、TV2 における遅れ時間は、14~38 分である。また、TV1 で 9 月 27 日から 28 日に発生した河床上昇、9 月 30 日から 10 月 1 日にかけて発生した河床侵食が、表-8.3 における TV2 の観測番号 1

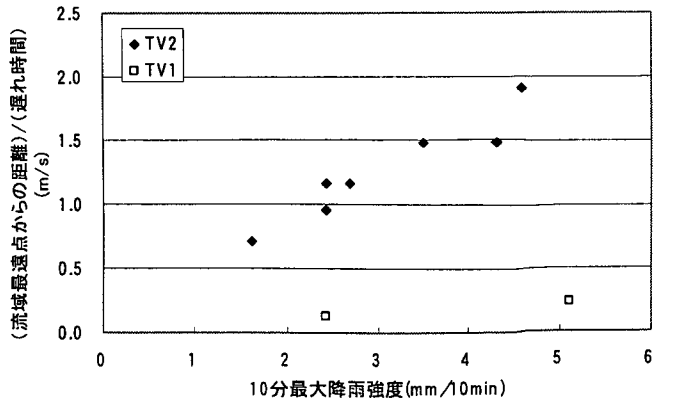


図-8.10 降雨強度と流出ピークの到達速度（立根沢）

と4に対応するものと考え、日没時間を17:30として、少なくともTV1において、9月27日は60分、30日は100分以上の流出遅れがあったものと思われる。TV1地点における遅れ時間は、TV2に比べ非常に大きいと言える。

図-8.10は、TV1、TV2における10分間最大降雨強度発生時刻と流出ピーク時刻の遅れ時間をプロットしたものである。このようにTV1の流出ピークの遅れ時間は、観測事例が2回しかないが、流出が非常に遅いという特徴がある。一方、TV2については、降雨強度が大きいほど流出ピークの到達速度は大きい、という正の相関があり、またカニガ沢における降雨強度と到達速度の関係(図-8.3)に近い。

### 8.2.3 カニガ沢と立根沢の流出比較

カニガ沢(SV1)と立根沢(TV1)の河口部に設置した泥流観測カメラで撮影した画像より求めた、2002年7月16日のハイエト・ハイドログラフを図-8.11に示す。

今年度、この2つの地点で同時に観測できたのは、この7月16日の流出だけであった。降雨はそれぞれの流域で上流に位置するカニガ沢SUM観測プロット、立根沢TU観測プロットの10分間雨量であり、流出は流量をそれぞれの集水面積で除して、10分間当たりの流出高にそろえてある。集水面積はカニガ沢SV1で0.883 km<sup>2</sup>、立根沢TV1で0.638 km<sup>2</sup>である。立根沢での流出は、溪流出口付近に設置した観測ビデオカメラ撮影記録と現地での直接観測により測定した。

この日の降雨はカニガ沢SUM観測プロット、立根沢TU観測プロット、いずれも午前8時半に降雨ピークを迎え、降雨パターンは似通っている。しかし流出発生時刻について見ると、カニガ沢出口では降雨のピークから15分後に流出ピークを迎え、12時に終了しているのに対し、立根沢では降雨ピークの4時間後に流出が始まり、日没で観測不能となる午後7時以降も継続していた。

この他、立根沢の特徴として、流出量が降雨量に比較し非常に少ないこと、2度流出ピークが現れていることがあげられる。観測されたケースでは、立根沢の流出量はカニガ沢と比べてわずかであり、比流出高がカニガ沢の数百分の1以下である。立根沢の流出が小さいのは、スコリア上に現れた表流水を流出として測定したためで、測定地点より下流ではスコリア下部から浸透してきた出水と合流して流出していた。2

度のピークを示したのは、1度目の流出ピーク後、流量測定地点上流で表流水により運ばれたスコリアが天然ダムを形成し、一旦表流水がせき止められ、その後ダムが崩壊して再びピークに到達したことによる。

2002年9月7日の流出では、カニガ沢出口で出水が観測されたものの、立根沢出口のビデオカメラ

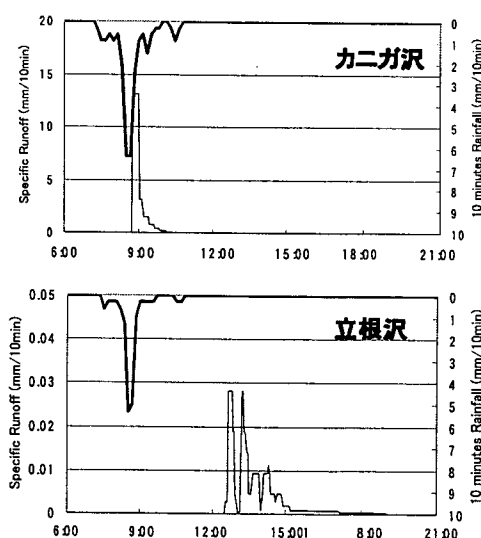


図-8.11 カニガ沢・立根沢出口での流出比較  
(2002年7月16日)

では記録されていない。11月22日の降雨においてもビデオカメラに表流水は写っていなかったが、その直下流でスコリア内部を浸透した出水を現地で確認した。

雨量観測点から2000m離れた流域出口(SV1)で、降雨ピーク後10~30分で流出ピークが発生するカニガ沢の流出と比較し、4~8時間後に流出が現れる立根沢の違いは、TV2とTV1地点間の溪床にスコリアが厚く堆積していることに原因があるものと考えられる。

7章でも示したとおり、上流域斜面(例えばSUとTUなど)における降雨流出は、カニガ沢も立根沢もほぼ同様であるが、溪流出口の流出が大きく異なっている。これは、流下過程で流出に差異が生じていることを意味していると考えられる。カニガ沢では、上流から下流にかけて溶岩が露出しているのに対し、立根沢では、中流から下流部にかけてスコリアが溪床に厚く堆積している(写真-8.3 a)及び写真-8.3 b)参照)。このような違いが流出過程に影響しているのかの検証が、今後の重要な検討課題である(図-8.12)。



a) カニガ沢 (標高 80m 付近)

b) 立根沢 (標高 130m 付近)

写真-8.3 カニガ沢・立根沢下流部の溪床比較

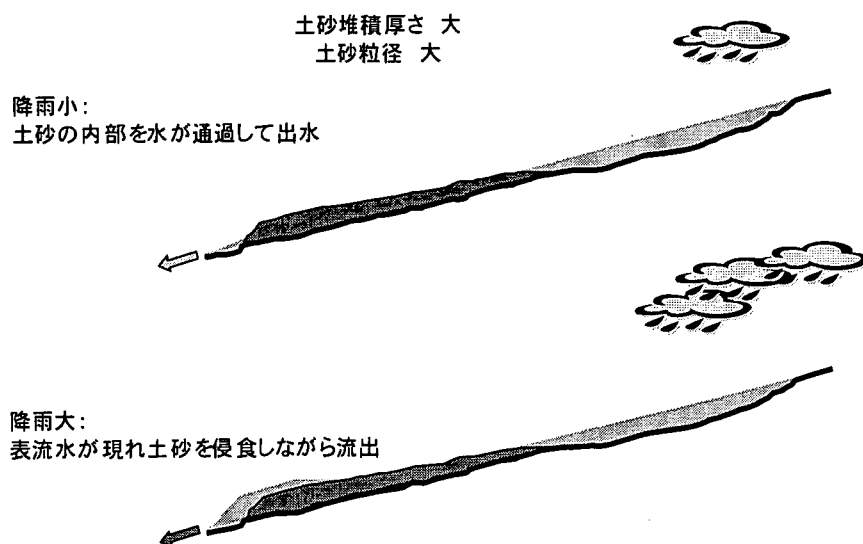


図-8.12 立根沢からの土砂流出機構(推測図)

### 8.3 土砂流出に関する観測及び調査結果

#### 8.3.1 カニガ沢における土砂流出

5月に本格的な観測を開始して以降、現地での流出観測、観測カメラによる流出状況を観察した限りでは、観測期間中のカニガ沢の流出は、ほとんど清水に近い泥水であった。2002年6月18日の出水時、流出水を採取したが、このサンプルに含まれていた土砂の絶対乾燥重量は、泥水430g中7gであった。2002年8月19日には、台風13号によりこの2年間で最大の日雨量が記録されたが、その直後に調査したときも、顕著な土砂流出の痕跡は確認されなかった。カニガ沢では溪床に溶岩が露出している区間が多く見られ、溪床不安定土砂がほとんどない。ただし、大規模な溪岸・谷頭崩壊が発生したり、溪床を構成する溶岩層が削られて破られるようなことがあると、今後下流に影響を及ぼすような大量の土砂流出が発生する可能性がある。

#### 8.3.2 立根沢における土砂流出

##### (1) 土砂の流出と河床変動

立根沢では、降雨後スコリアが谷出口の床固工工事現場に徐々に流出し工事の障害となっている。以下、立根沢におけるスコリア流出についてこれまでの調査結果を示す。

2002年7月1日から2003年3月31日までの日雨量(TU)と立根沢出口の工事現場に流出したスコリア量の関係を、図-8.13に示した。

この9ヶ月間に沢出口にスコリアが流出したのは5回である。図中には流出発生日と流出量を挿入した。図中( )内の数字は、工事従事者の証言による推定流出量である。2003年1月23日の流出後、工事関係者が、沢出口から上流600mの区間に5基の土堰堤を構築し、流出対策をとって以降3月31日まで、顕著な土砂流出はない。

日雨量と流出量の間には正の相関が見られるようだが、流出の発生した雨量より大きな日雨量が記録されたにも拘わらず、流出が発生しなかった事例も多い。

写真-8.4は、立根沢の標高380m付近に設置したTV2観測地点の定点観測写真で、沢の左岸側から下流に向かって撮影している。また写真-8.5は、標高160m付近の左岸から下流に向かって撮影した定点写真で、この2カ所は互いに約1.2km離れている。それぞれ7枚の写真は、2002年7月から2003年3月までの期間中、ほぼ同時期に撮影されたものである。

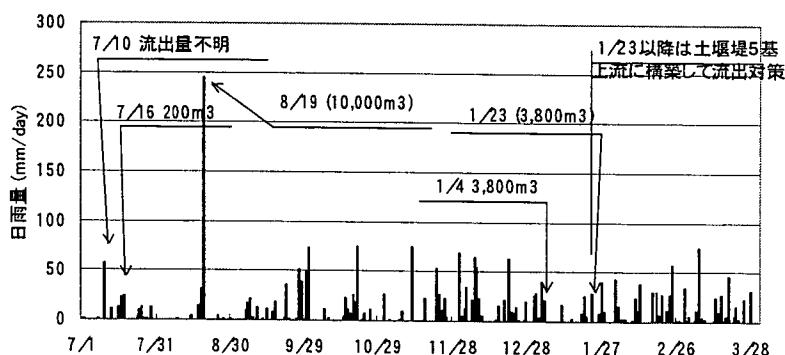


図-8.13 日雨量(TU)と立根沢出口からのスコリア流出  
(2002年7月1日～2003年3月31日)

8月19日には、観測期間中最大規模の、10,000m<sup>3</sup>のスコリアが沢出口から流出した。写真-8.4、8.5の9月に撮影された2枚目において大きな侵食が確認できる。観測期間を通してみると、標高380mのTV2における撮影は7月から9月は侵食、9月から10月には堆積、11月19日から27日は侵食、1月から3月は堆積と、顕著な変動を繰り返している。

一方、標高160m付近を撮影した写真-8.5は、7月から9月にかけて大きな侵食が確認できるが、撮影距離が遠いこと、撮影場所が微妙にずれていることなども原因となり細かい点は見にくい。そこで、より細かな変動を把握する目的で、9月から溪床内でも定点写真を撮影し始めた。

写真-8.6は出口から300m上流、写真-8.5の撮影地点から200m下流、標高およそ140m地点で、上流から下流に向かって2002年9月19日、10月24日、11月20日、11月26日に撮影したものである。9月19日から10月24日の間に溪床は約3m上昇、11月20日に1.4m低下、26日には1.4m上昇し、この期間の雨量はそれぞれ445mm、149mm、121mmであった。期間中、出口でスコリアの流出は認められなかったが、立根沢では降雨の度にこのような河床変動が繰り返されている。また、新規の溪岸崩壊の発生、侵食の進行もあり、新たなスコリアがさらに溪床に供給されている。

9ヶ月の観測期間中、沢出口における土砂（スコリア）流出は5回であったが、流出がなかった期間においても流域内での土砂移動は顕著であったことがわかる。



10 July, 2002



27 November, 2002



19 September, 2002



13 January, 2003



20 October, 2002



13 March, 2003



19 November, 2002

写真-8.4 立根沢（標高 380m 付近）の河床変動状況



15 July, 2002



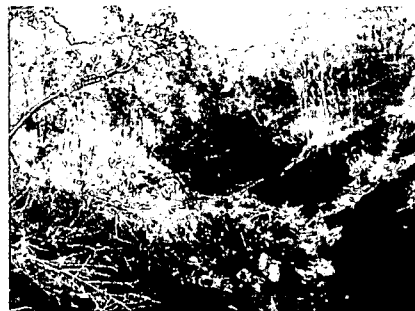
27 November, 2002



19 September, 2002



14 January, 2003



24 October, 2002

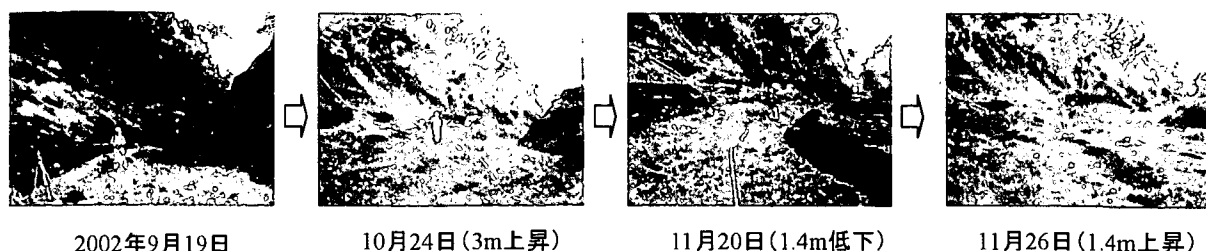


17 March, 2003



20 November, 2002

写真-8.5 立根沢（標高 160m 付近）の河床変動状況



写真－8.6 立根沢出口から上流 300m 地点での溪床変動状況（上流から下流に向かって撮影）

## （2）土砂流出の観測事例

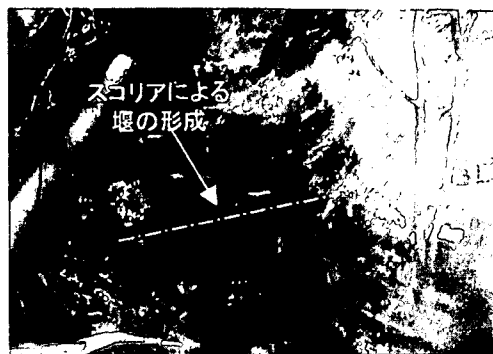
2002年7月16日の土砂流出を沢出口で目撃し、ビデオカメラに撮影する機会があった。沢出口に建設中の砂防堰堤直上流には仮排水路として直径 1.2m、長さ 8m のフレキシブルパイプが敷設され、埋め戻されて工事用道路となっていた。同年7月10日の台風6号による出水でスコリアが流下しこの排水パイプを閉塞させたため、パイプ上流側 20m 区間のスコリアを撤去したばかりであり、そのさらに上流側は幅 6m、厚さ約 2m でスコリアが溪床全面にわたって堆積していた。

TU 観測プロットの雨量計によると、この日の総雨量は 13 mm であり、雨は 8:00 から 9:00 の 1 時間に集中して降った。東京管区気象台の発表資料によると、立根から西約 3km の三宅島阿古における風速は 9 時に 23m/s であり、この風による影響で雨量は少な目に記録された可能性がある。

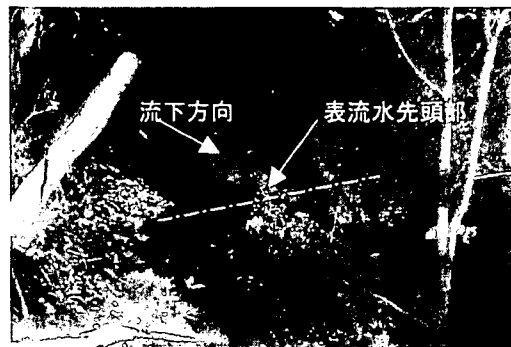
降雨ピークから 4 時間経過後の、12:10 に表流水が現れ、スコリアが移動を始めた。その時の状況を下流から上流に向かって撮影したのが写真－8.7（①～⑦）である。表－8.4 に経過時間とその時の状況を記述した。表の番号は写真番号に対応している。写真－8.7⑧は、スコリア移動がほぼ終了した後（16:00）の状況である。



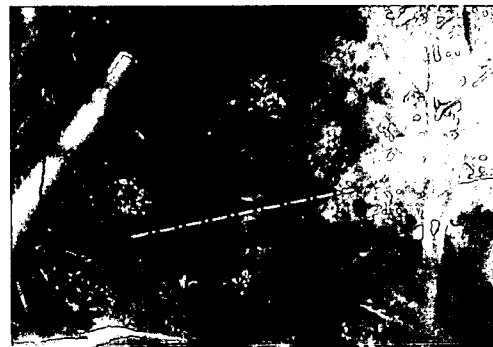
①7月16日 12:00



⑤7月16日 13:03



②7月16日 12:10



⑥7月16日 13:12



③7月16日 12:20



⑦7月16日 13:17



④7月16日 12:39



⑧7月16日 16:00

写真-8.7 2002年7月16日立根出口でのスコリア移動状況

表-8.4 2002年7月16日のスコリアの移動状況（立根沢出口）

| 番号 | 時刻    | 状況                                                                                                                    |
|----|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ①  | 12:00 | まだ表面流は発生しておらず、スコリアも移動していない。                                                                                           |
| ②  | 12:10 | 表流水が仮設パイプ上流 30m 地点のスコリア上に現れる。表流水の先頭部はスコリアに浸透しながらも、徐々に下流方向に移動する。表流水が少しずつスコリアを運搬し仮設パイプ上流 22m 付近で堤防を築き、水たまりのように集積して停滞する。 |
| ③  | 12:20 | スコリア堤防の一部が決壊し、表流水が右岸下流方向に流出する。この流れに引きずられるようにスコリアも小規模な土石流のように移動するが、3m ほど流下した後勾配の緩くなったところで堆積する。                         |
| —  | 12:27 | スコリアは徐々に堆積遡上し、新たな堤防を築いて表流水が再びスコリア上で水たまりをつくる。                                                                          |
| ④  | 12:39 | スコリア堤防の中央部が崩壊し、表流水がスコリアを侵食しながら流下し始める。スコリアが通過すると流路が形成され、表面流の最初の流出ピークとなる。（スコリア先頭部が仮設パイプ上流端に到達する。）                       |
| ⑤  | 13:03 | スコリアは徐々に堆積遡上を始め、元の位置に新たな堤防を築いて表流水がスコリア上で停滞する。堆積したスコリア先端部からの表面流流出が止まると同時にスコリアも停止する。                                    |
| ⑥  | 13:12 | スコリア堤防の中央部が崩壊し、表流水がスコリアを侵食しながら流下する。再び表面流の流出ピークとなる。                                                                    |
| ⑦  | 13:17 | 堤防を形成していたスコリアが、表流水の侵食により深くなった中央部へ崩れては表流水に下流へ運ばれる。この後スコリアが流路途中で堆積しては侵食されるという過程を繰り返す。                                   |
| —  | 14:00 | スコリアが直径 1.2m の仮設パイプを閉塞したため、パワーショベルでパイプ上流側のスコリア除去が始まる。                                                                 |

図-8.14 は、図-8.11 と同じ立根沢のハイト・ハイドログラフ（6:00～21:00）であり、表-8.4 と写真-8.7 に対応する番号が入っている。ハイドログラフは仮設パイプ上流 20m 地点における表流水の流量である。雨量・流量とも 10 分ごとのデータであり、流量は立根沢の流域面積で除して比流出高に換算している。表流水のピーク流量は 30 l/s 程度であったが、仮設パイプの下流側ではこれより流量が大きかった。これはスコリア内部を浸透して沢出口に到達した分が合流したことを示している。

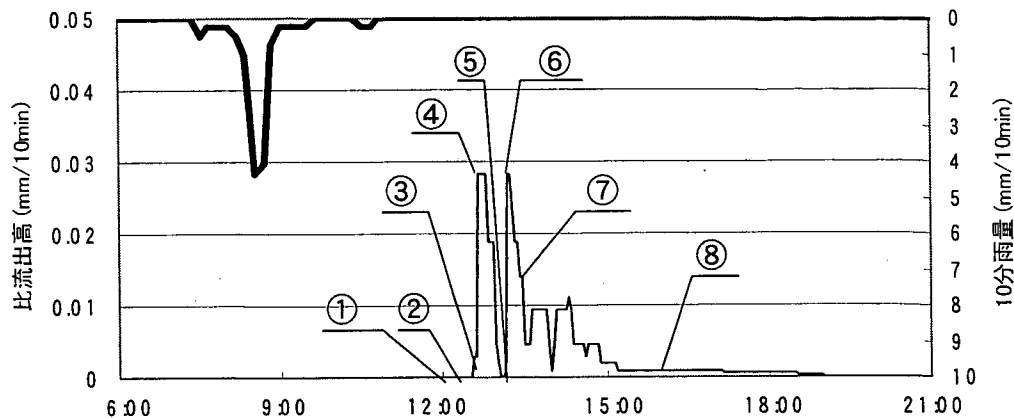


図-8.14 立根沢出口でのハイレート・ハイドログラフ (2002年7月16日)

ハイドログラフにおいて最初のピークに達した後、流量がゼロになっているのは、表流水に運ばれたスコリアが堰を形成し、そのため水たまり状に停滞したからであり、その後決壊して再びピーク流量に達した。その後も流量が減少したり増加したりしているのは、表流水がスコリアを侵食して流路を形成し、流路が深く掘れたところでスコリアが内側に崩壊して表流水を堰止め、それがまた侵食される、という過程を繰り返しながら移動したためである。スコリアの移動は 15:00 頃にほぼ終了し、仮設パイプまで到達したスコリア量は、およそ 200 m<sup>3</sup>であった。表流水は徐々に減少しながらも日没で観測不能になる 19:00 以降も続き、翌朝には消滅していた。

スコリア先頭部が移動を始め (12:10)、20 m 下流の仮設パイプに到達 (12:39) するまで、30 分を要した。表流水の流れに伴い移動・停滞を繰り返しながらではあるが、その平均移動速度は約 1 cm/s と計算できる。この区間の河床勾配 (スコリア流出後) は 10° であった。一般的に知られている土石流の流下速度<sup>28)</sup>などと比較し非常に遅く、またその流出形態は異なる。

水深 10cm の表流水に手を差し入れると、底を転がりながら移動するスコリアが指先にコツコツ当たる感触があった。また水底のスコリア表面から 10cm 程度なら、簡単に手を差し入れることができた。仮設パイプ上流側に堆積したスコリアを採取して粒度試験を実施した結果、最大粒径 40 mm, 60%粒径 12 mm, 均等係数は 2.9 であった。また採取したスコリアを 3 日間日陰で放置して自然乾燥させた後、1 リットル容器に入れて重量を計測したところ 700 g であった。すなわち自然乾燥状態の単位体積重量は 700 kg/m<sup>3</sup>と換算できる。測定方法に違いはあるが、これは土石流を直接採取して計測された単位体積重量、1,300~2,530 kg/m<sup>3</sup><sup>28)</sup>と比較し非常に軽い。

今回総雨量 13mm という比較的小規模の雨にもかかわらずスコリアが立根出口に流出し、床固工工事に支障を来した。他の溪流では泥水の出水はあったものの、道路が通行止めになるような土砂流出による被害は報告されていない。これはスコリアが通常の石礫に比較し軽く、同じ流体力を受けても移動しやすいと推測される。また流体力として働く表流水はスコリア内部を飽和しながらゆっくり流下しているものと考えられ、スコリアの堆積量と出水の関係についても興味のあるところである。

三宅島北北東に位置する美茂井の沢出口では、都道に隣接する家屋が半分スコリアに埋没したが、柱

や壁は破壊されずスコリアは窓や入り口から侵入していた(写真-8.8)。被災家屋上流側の勾配は $14^{\circ}$  (25%)あるにもかかわらず家屋を破壊するような衝撃力が働いていないのは、今回目撃した流出と同じメカニズムであったと考えれば説明がつく。

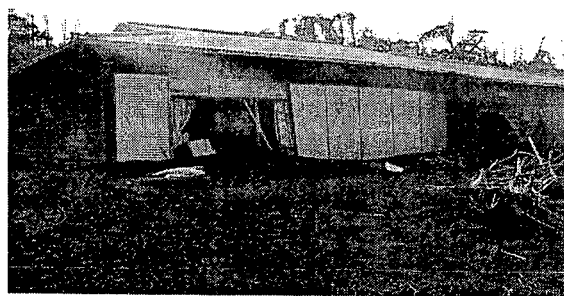


写真-8.8 スコリアに埋没した家屋  
(美茂井)

### 8.3.3 島内溪流からの土砂流出

2000年7月の噴火は、細粒火山灰が三宅島全土を覆い、その後の降雨で土砂が流出し多くの被害をもたらした。東京都三宅島現地災害対策本部では、気象庁が緊急火山情報を発表した2000年6月26日から、対応記録(日報)を残している。図-8.15(1)、(2)、(3)に、この記録から、土砂流出に関する記述を抜粋し、日雨量と対比させて紹介した。なお、日雨量は気象庁三宅島気象台(北緯 $34^{\circ}07.4'$ 、東経 $139^{\circ}31.3'$ )のものを示しているが、2000年9月4日から2001年10月31日までは欠測のため、東京都三宅支庁(神着)の雨量データを代用している。

噴火後、初めてのまとまった降雨(時間最大雨量20mm、日雨量52mm)は2000年7月26日に発生し、降灰に覆われていた島北東部の溪流で、土石流(泥流)が発生し、都道や家屋に多くの被害をもたらした。8月の噴火により、島全域が降灰に覆われ、その後9月からは、ほぼ全ての溪流から土石流が発生するようになった。

2000年11月以降、2001年5月頃まで記録が少ないのは、噴火の再発や有毒火山ガスにより、島内への立ち入り及び調査が難しかったためである。

2000年7月の噴火後、2002年夏までの2年間、三宅島(気象庁測候所)に日雨量100mmを越えるような降雨は、ほとんど記録されなかった。2001年10月18日には、総雨量199mmの降雨があったが、車が通行止めになるほどの土砂流出はなかったとの報告がある。

2002年8月19日に、台風13号により257mmの降雨がもたらされた。8月19日の雨は、2000年噴火後初めて経験する規模の降雨であったが、噴火直後に比べると、被害の規模は非常に小さかった。土砂(スコリア)の流出で通行不能になった鉄砲沢の出口も、上流側で実施されていた砂防堰堤工事の工事用道路の盛土が流出したものであり、人為的要因が大きかった。

三宅島の溪流における土砂流出の経年変化を把握することは、今後の土砂流出対策計画を立案する上で重要である。火山噴火後の土砂流出現象は、時間の経過とともに大きく変化することが予想され、今後も注意深く観測を継続する予定である。

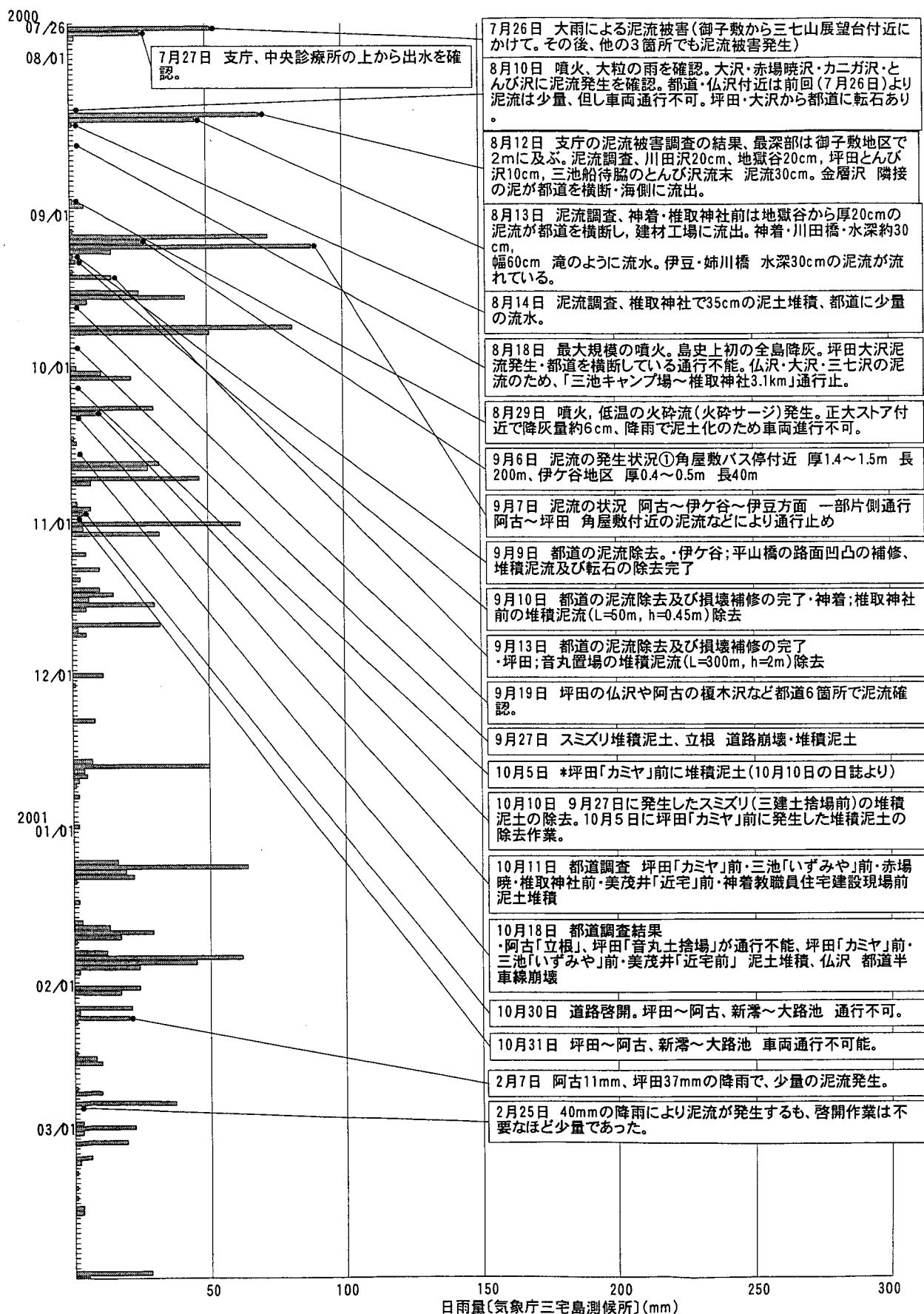


図-8.15(1) 日雨量と土砂流出に関する記録：2000年度

(三宅島現地災害対策本部の日報より)

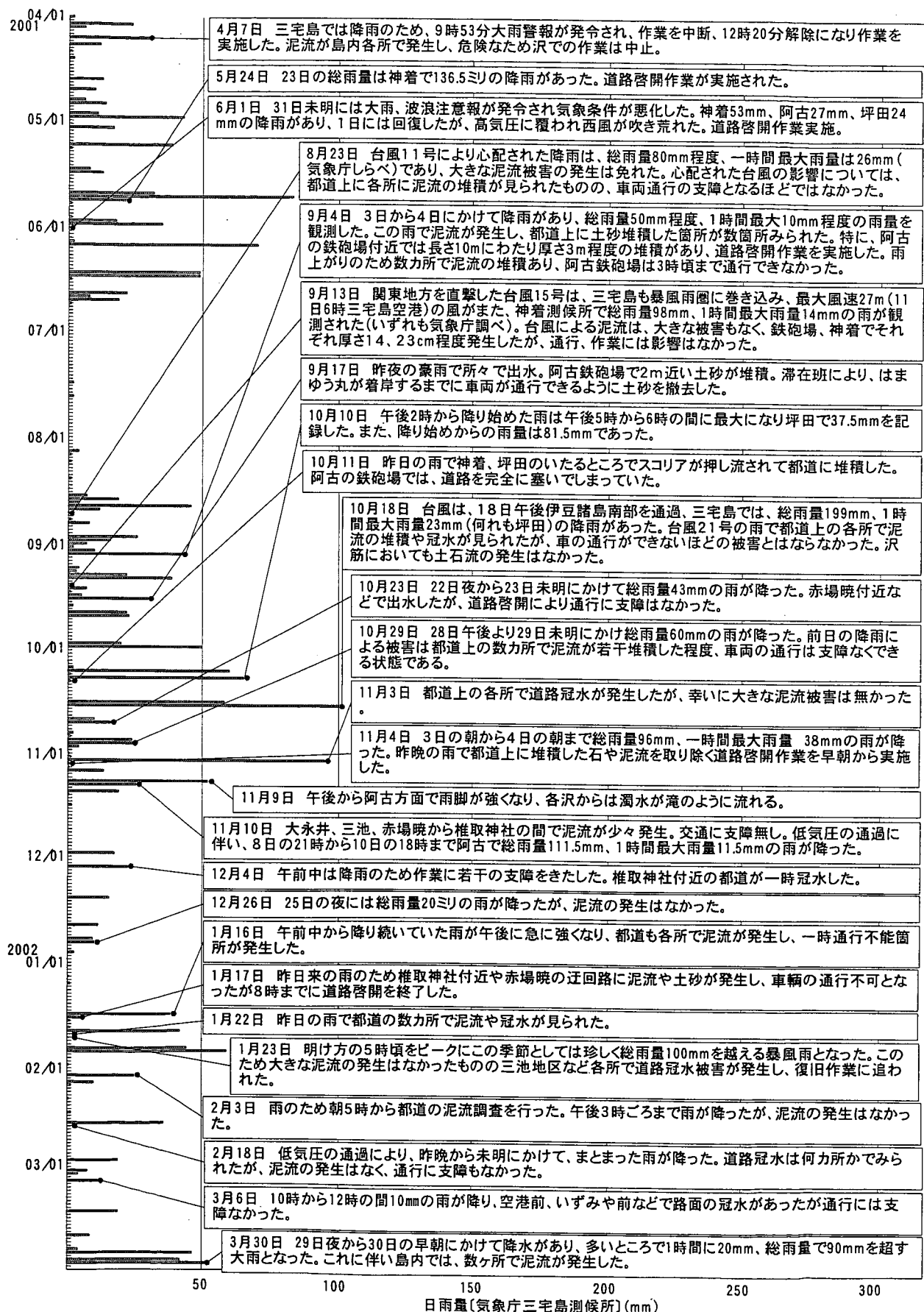


図-8.15(2) 日雨量と土砂流出に関する記録：2001年度

(三宅島現地災害対策本部の日報より)

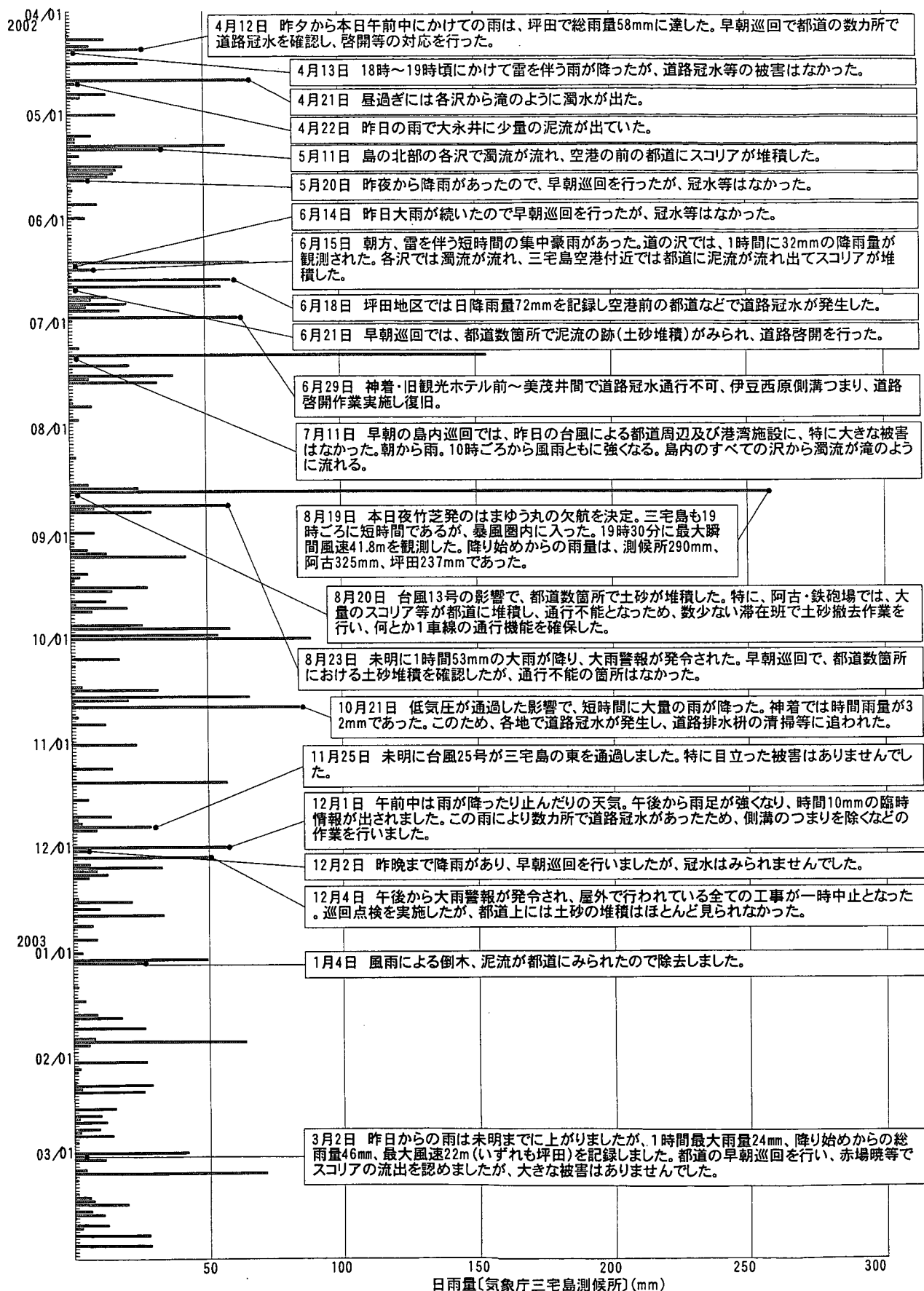


図-8.15(3) 日雨量と土砂流出に関する記録：2002年度

(三宅島現地災害対策本部の日報より)

## 9 おわりに

三宅島における現地観測および調査を行うにあたり、東京都三宅支庁には、資料を提供していただくとともに、現地観測を行う上で諸々の便宜を提供いただいた。また、三宅村には、現地観測用地を貸与していただいた。(財)砂防・地すべり技術センターには、資料収集、情報収集の便宜を図っていただいた。東京大学大学院の長井雅史氏には、現地において火山灰堆積物の堆積層序について詳細にご教示いただいた。そして、当研究グループ火山土石流チームの交流研究員である杉浦英二氏そして元交流研究員である竹島秀大氏（現八千代エンジニアリング(株)）には、三宅島における現地調査、観測作業にあたって多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

## 参考・引用文献

### 第1章

- 1) 地頭蘭隆, 下川悦郎: 桜島における火山活動が土石流・泥流の発生や流出に及ぼす影響, 砂防学会誌, Vol.43, No.6, pp.9-15, 1991
- 2) Kadomura, H., Imagawa, T. & Yamamoto, H.: Eruption-induced rapid erosion and mass movements on Usu Volcano, Hokkaido, Zeit. Geomorph. N. F., Suppl.-Bd.46, pp.123-142, 1983

### 第2章

- 3) 第3回 平成13年度伊豆諸島土砂災害対策検討委員会(土石流・泥流部会)討議資料, 東京都
- 4) 環境庁: 現存植生図 東京都 17・18・19 神津島・三宅島・御蔵島, 1988
- 5) 上條隆志, 星野義延, 袴田伯領, 菅原綾: 三宅島 2000 年噴火前の森林植生とその被害, 東京都委託 平成13年三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.45-54, 2002
- 6) 星野義延: 伊豆諸島の植生と三宅島, 植生学会公開シンポジウム「よみがえれ三宅島の緑」-植生回復への試みと課題- 資料, pp.1-2, 2003
- 7) 津久井雅志, 鈴木裕一: 三宅島火山最近 7000 年間の噴火史, 火山, Vol.43, No.4, pp.149-166, 1998
- 8) 池谷浩, 水山高久: 昭和 58 年三宅島噴火後の土砂流出予測調査, 新砂防, Vol.36, No.4, pp.29-33, 1984
- 9) 東京都建設局河川部計画課: 大島・三宅島火山噴火警戒避難対策施設検討報告書, pp. 5-5 - 5-6, 1996

### 第3章

- 10) 風早康平, 平林順一, 森博一, 尾台正信, 中堀康弘, 野上健治, 中田節也, 篠原宏志, 宇都浩三: 三宅島火山 2000 年噴火における火山ガス -火山灰の付着ガス成分および SO<sub>2</sub> 放出量から推測される脱ガス環境-, 地学雑誌, Vol.110, No.2, pp.271-279, 2001
- 11) 東京大学地震研究所: 第 90 回火山噴火予知連絡会資料, 資料番号 30, 2001
- 12) 長谷川裕之, 村上亮, 政春尋志, 松尾馨, 小荒井衛: 三宅島山頂の陥没地形の計測, 国土地理院時報, No.95, pp.121-128, 2001

### 第4章

- 13) 下司信夫, 嶋野岳人, 長井雅史, 中田節也: 三宅島火山 2000 年噴火のマグマ供給系, 火山, Vol.47, No.5, pp.419-434, 2002
- 14) 中村浩之, 鷺尾洋一: X線 CT スキャナを利用した土塊の構造解析とその応用, 平成 14 年度砂防地すべり技術研究成果報告会資料, 財団法人砂防・地すべり技術センター, pp.65-87, 2002

- 15) 恩田裕一, 竹中千里, 水山高久: 雲仙火山灰が浸透能低下を引き起こす原因, 砂防学会誌, Vol.49, No.1, pp.25-30, 1996
- 16) Agassi, M., Shainburg, I., & Morin, J.: Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation, Soil Science, Vol.45, pp.848-851, 1981
- 17) 土質工学会: 岩の調査と試験, pp.506-515, 1990
- 18) 笹原克夫, 海老原和重: 不飽和砂質土の強度特性とそれに基づく急勾配斜面崩壊機構に関する研究, 砂防学会誌, Vol.50, No.2, pp.5-13, 1997
- 19) 地盤工学会: 土質試験の方法と解説 [第1回改訂版], pp.443-448, 2000
- 20) 小杉賢一郎: 土壌の水分特性の測定とそのモデル化, 水文地形学—山地の水循環と地形変化の相互作用—, 古今書院, pp.34-43, 1996

## 第5章

- 21) 宮脇昭 編: 日本植生誌 関東, 至文堂, 1986

## 第6章

- 22) 脇水健次, 小林哲夫, 林 静夫: 孤立した円錐山における雨量分布特性について, 九州大学農学部学芸雑誌, Vol.46, No.3.4, pp.237-242, 1992
- 23) 高原宏明, 松本 淳: 屋久島の降水量分布に関する気候学的研究, 地学雑誌, Vol.111, No.5, pp.726-746, 2002

## 第7章

- 24) 水理公式集 平成11年版: 社団法人 土木学会, pp.243, 2001
- 25) 沼知福三郎, 黒川恒勝, 淵澤定敏: 三角堰の流量公式 (第1報), 機械学会論文集, Vol.6, No.22, pp.Ⅲ-10-Ⅲ-14, 1940
- 26) 沼知福三郎, 淵澤定敏: 三角堰の流量公式 (第2報), 機械学会論文集, Vol.7, No.27, pp.Ⅲ-5-Ⅲ-9, 1941

## 第8章

- 27) 改訂新版建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説 調査編: 山海堂, pp.89, 1997
- 28) 池谷浩: 土石流の分類, 土木技術資料, Vol.20, No.3, pp.150-155, 1978

## 参考・引用ホームページ

### 第2章

- 1) 気象庁東京管区气象台 気象資料電子閲覧室 <http://www.data.kishou.go.jp/index44.htm>
- 2) 気象庁東京管区气象台 三宅島測候所 <http://www.tokyo-jma.go.jp/home/miyakejima/index.htm>

### 第3章

- 3) 産業技術総合研究所 三宅島火山 SO<sub>2</sub> 観測のページ  
<http://staff.aist.go.jp/kazahaya-k/vindex.html>

### 第6章

- 4) 気象庁東京管区气象台 気象資料電子閲覧室 <http://www.data.kishou.go.jp/index44.htm>

### 第8章

- 5) 三宅島現地災害対策本部情報 <http://www.miyakemura.com/honbu.htm>

## 卷末資料 1 三宅島関連文献一覧

| 番号 | タイトル                                                                                                | 著者1               | 著者2               | 著者3          | 著者4                | 著者5          | 著者6  | 著者7  | 著者8  | 著者9    | 出典                                                                                                                                                                     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------------|--------------|------|------|------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 2002年三宅島における現地降雨流出観測結果                                                                              | 山越隆雄              | 土井廣弘              |              |                    |              |      |      |      |        | 土木技術資料, Vol.44, No.12, pp.2-3, 2002                                                                                                                                    |
| 2  | 三宅島2000年大噴火の噴火への影響                                                                                  | 上條隆志              |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 通信, Vol.56, No.5, pp.27-30, 2002                                                                                                                                       |
| 3  | 三宅島2000年噴火が植生に与える影響                                                                                 | 上條隆志              |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 植生情報, No.5, pp.9-12, 2001                                                                                                                                              |
| 4  | 三宅島2000年噴火火山灰の噴火回復への影響に関する調査                                                                        | 石丸仁               | 服部憲一              | 松岡寿          | 黒羽公明               | 北野茂夫         |      |      |      |        | 平成13年度東京都市土木技術研究所年報, 2001                                                                                                                                              |
| 5  | 三宅島2000年噴火火山灰試料の化学的および鉱物学的諸性質について                                                                   | 佐藤雄               | 東照雄               | 上條隆志         | 田村憲司               |              |      |      |      |        | ペトロジスト, Vol.46, No.1, pp.14-21, 2002                                                                                                                                   |
| 6  | 三宅島における現地流出観測                                                                                       | 山越隆雄              |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 土木技術資料, Vol.44, No.6, 2002                                                                                                                                             |
| 7  | 三宅島火山2000年噴火のマグマ供給系                                                                                 | 下司信夫              | 嶋野昌人              | 長井雅史         | 中田節也               |              |      |      |      |        | 火山, Vol.47, No.2, pp.419-434, 2002                                                                                                                                     |
| 8  | 三宅島火山噴火帯の土壌侵食実験に関する実験的研究                                                                            | 阿部和時              | 黒川潮               | 浅野志穂         | 岡本隆                | 松山康治         | 落合博貴 | 寺嶋智巳 | 島田和則 | 野口宏典ほか | 日本緑化学会誌, Vol.28, No.1, pp.91-96, 2002                                                                                                                                  |
| 9  | 三宅島火山噴火帯の土壌侵食実験報告                                                                                   | 阿部和時              | 大倉陽一              |              |                    |              |      |      |      |        | 治山, pp.122-126                                                                                                                                                         |
| 10 | 三宅島噴火における酸性化した噴火堆積物の実態                                                                              | 小川泰浩              | 阿部和時              | 黒川潮          | 趙炳鳳                | 大丸裕武         |      |      |      |        | 日本緑化学会誌, Vol.29, No.1, pp.204-207, 2003                                                                                                                                |
| 11 | 大踏池における降雨イベント時の水収支 - 三宅島2000年噴火に関連して -                                                              | 佐藤努               | 高橋誠               | 松本則夫         | 中村太郎               |              |      |      |      |        | 日本水文学会誌, Vol.32, No.3, pp.83-91, 2002                                                                                                                                  |
| 12 | 2000 - 2002年噴火活動が三宅島の植生に与えている影響                                                                     | 上條隆志              | 樋口広芳              | 加藤拓          | 島田和則               |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.1-40, 2002                                                                                                                               |
| 13 | 三宅島のスダジイ自然林におけるスダジイの落下種子量                                                                           | 上條隆志              | 加藤拓               | 島田和則         |                    |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.41-44, 2002                                                                                                                              |
| 14 | 三宅島2000年噴火前の森林植生とその被害                                                                               | 上條隆志              | 豊野義延              | 持田伯領         | 菅原綾                |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.45-54, 2002                                                                                                                              |
| 15 | 2000年噴火後の三宅島の鳥類群集                                                                                   | 加藤和弘              | 山本裕               | 樋口広芳         |                    |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.55-73, 2002                                                                                                                              |
| 16 | 鳥類の捕獲計画調査                                                                                           | 藤田薫               | 西海功               | 樋口広芳         |                    |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.74-78, 2002                                                                                                                              |
| 17 | 三宅島における鳥類の遺伝的多様性                                                                                    | 西海功               | 藤田薫               | 樋口広芳         |                    |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.79-87, 2002                                                                                                                              |
| 18 | 三宅島における噴火後のコウモリ類の生息状況調査                                                                             | 上條隆志              | 島田和則              | 安井さち子        |                    |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.88-90, 2002                                                                                                                              |
| 19 | 三宅島における無脊椎動物、両生爬虫類及びホトトギスの生息状況 - 2000-2001年噴火の前後比較から -                                              | 長谷川雅美             | 樋口広芳              |              |                    |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.91-97, 2002                                                                                                                              |
| 20 | 三宅島2000年噴火火山灰試料の化学的および鉱物学的諸性質について                                                                   | 加藤拓               | 東照雄               | 上條隆志         | 田村憲司               |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.98-113, 2002                                                                                                                             |
| 21 | 三宅島噴火後の海洋生物の生息状況調査                                                                                  | 五十嵐健志             | 海野義明              | 余吾豊          |                    |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.114-115, 2002                                                                                                                            |
| 22 | 噴火後の三宅島造礁サンゴの生息状況                                                                                   | 五十嵐健志             |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.116-128, 2002                                                                                                                            |
| 23 | 三宅島噴火後の沿岸性魚類の生息状況                                                                                   | 余吾豊               | 海野義明              |              |                    |              |      |      |      |        | 平成13年度三宅島動植物現況調査報告 日本動物学会, pp.129-136, 2002                                                                                                                            |
| 24 | 噴火後の火山における泥流ハザードマップ作成のための新たな取り組み                                                                    | 山越隆雄              |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 土木技術資料, 44-5, pp.6-7, 2002                                                                                                                                             |
| 25 | 平成12年度富士箱根伊豆国立公園三宅島噴火に伴う自然環境等緊急調査報告書                                                                | アジア航測株式会社         |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 平成12年度富士箱根伊豆国立公園三宅島噴火に伴う自然環境等緊急調査報告書, 2001                                                                                                                             |
| 26 | Primary Succession of the Warm-Temperate Broad-Leaved Forest on a Volcanic Island Miyakejima, Japan | Takashi Kanjo     | Kanehiro Kitayama | Aya Sugawara | Shinya Urushimichi | Kanako Sasai |      |      |      |        | Folia Geobotanica, 37, pp.71-91, 2002                                                                                                                                  |
| 27 | 2000年三宅島火山噴火の活動予測の試み - 噴火に先立つ山体のふくらみの検知                                                             | 山越隆雄              | 関信明               | 片嶋隆介         | 平川泰之               | 千葉達朗         | 浜田美鈴 | 島山勘治 |      |        | 火山, Vol.48, No.1, pp.35-42, 2003                                                                                                                                       |
| 28 | 2000年三宅島噴火後の泥流発生と地形状況について                                                                           | 池田繁盛              | 津久井雅志             | 新堀賢志         | 水山高久               | 千葉達朗         |      |      |      |        | 平成13年度砂防学会研究発表会要集, pp.434-435, 2001                                                                                                                                    |
| 29 | 2000年三宅島噴火後の火山灰斜面におけるガリ形成特性                                                                         | 山越隆雄              | 仲野公章              | 山田孝          | 小川紀一郎              | 千葉達朗         |      |      |      |        | 砂防学会誌, Vol.55, No.5, pp.40-48, 2003                                                                                                                                    |
| 30 | 2000年三宅島噴火後の噴火斜面におけるガリ形成特性                                                                          | 山越隆雄              | 仲野公章              | 山田孝          | 小川紀一郎              | 千葉達朗         |      |      |      |        | 平成13年度砂防学会研究発表会要集, pp.436-437, 2001                                                                                                                                    |
| 31 | 2000年三宅島噴火後の三宅島の気候(1) - 降水量の季節変化と空間分布 -                                                             | 根本学               | 飯島慈裕              | 根本学          | 中野智子               | 木村圭司         |      |      |      |        | 日本地理学会研究発表会要集, pp.267, 2002                                                                                                                                            |
| 32 | 2000年噴火以降の三宅島の気候(2) - 温度データに示された火山ガスの変動 -                                                           | 飯島慈裕              | 根本学               | 中野智子         | 木村圭司               |              |      |      |      |        | 日本地理学会研究発表会要集, pp.268, 2002                                                                                                                                            |
| 33 | 三宅島・有珠山・桜島の火山灰の物理特性の比較検討 - 火山灰の物理特性が泥流発生に与える影響に関する一考察 -                                             | 野村康裕              | 小杉賢一朗             | 水山高久         |                    |              |      |      |      |        | 砂防学会誌, Vol.55, No.6, pp.3-12, 2003                                                                                                                                     |
| 34 | 三宅島2000年火山灰粒子の特徴と本質物の特定                                                                             | 宮城健治              | 東宮昭彦              |              |                    |              |      |      |      |        | 火山, Vol.47, No.1, pp.27-31, 2002                                                                                                                                       |
| 35 | 三宅島2000年大噴火の鳥類への影響                                                                                  | 加藤和弘              | 樋口広芳              |              |                    |              |      |      |      |        | 通信, Vol.56, No.5, pp.31-36, 2002                                                                                                                                       |
| 36 | 三宅島2000年大噴火の特徴と人間社会への影響                                                                             | 濱田隆士              |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 通信, Vol.56, No.5, pp.37-42, 2002                                                                                                                                       |
| 37 | 三宅島の噴火後の二次泥流発生条件                                                                                    | 平川泰之              | 安養寺信夫             | 鈴木崇          | 今野雄信               |              |      |      |      |        | 平成14年度砂防学会研究発表会要集, pp.16-17, 2002                                                                                                                                      |
| 38 | 三宅島火山2000年噴火における火山ガス - 火山灰の付着成分およびSO <sub>2</sub> 放出量から推測される脱ガス環境 -                                 | 風早康平              | 平林順一              | 森博一          | 尾台正信               | 中堀康弘         | 野上健治 | 中田節也 | 篠原宏志 | 宇都浩三   | 地学雑誌, Vol.110, No.2, pp.271-279, 2001                                                                                                                                  |
| 39 | 三宅島火山の形成史                                                                                           | 津久井雅志             | 新堀賢志              | 川辺慎久         | 鈴木裕一               |              |      |      |      |        | 地学雑誌, Vol.110, No.2, pp.158-167, 2001                                                                                                                                  |
| 40 | 三宅島火山最近7000年間の噴火史                                                                                   | 津久井雅志             | 鈴木裕一              |              |                    |              |      |      |      |        | 火山, Vol.43, No.4, pp.149-166, 1998                                                                                                                                     |
| 41 | 三宅島火山噴火災害における泥流対策の取り組み                                                                              | 池田繁盛              |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 河川, 2月号, pp.39-43, 2002                                                                                                                                                |
| 42 | 三宅島火山噴出物の <sup>14</sup> C年代                                                                         | 鈴木裕一              | 津久井雅志             |              |                    |              |      |      |      |        | 火山, Vol.42, No.4, pp.307-311, 1997                                                                                                                                     |
| 43 | 三宅島噴火1年間の火山灰堆積斜面の浸透能と土砂流出の変化                                                                        | 山越隆雄              | 水山高久              | 内田太郎         | 野村康裕               | 安養寺信夫        | 伊木敏仁 |      |      |        | 砂防学会誌, Vol.55, No.2, pp.36-42, 2002                                                                                                                                    |
| 44 | 三宅島噴火災害と泥流対策                                                                                        | 相澤達朗              |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 土木学会誌, Vol.88, No.2, pp.50-53, 2003                                                                                                                                    |
| 45 | Debris-flow occurrence after the 2000 eruption of Miyakejima volcano                                | T.Yamakoshi       | M.Nakano          | M.Watari     | T.Mizuyama         | T.Chiba      |      |      |      |        | Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Rickenmann & Chen(eds)                                                                          |
| 46 | The 2000 Eruption of Miyakejima Volcano                                                             | Hidefumi Watanabe | Setuya Nakada     |              |                    |              |      |      |      |        | Reports on Volcanic Activities and Volcanological Studies in Japan for the Period from 1993 to 2002. Prepared for IUGG 2003. The 23rd General Assembly, pp.12-18, 2003 |
| 47 | 高解像度衛星画像を用いた三宅島2000 - 2002年の地形変化解析                                                                  | 石浜佐栄子             | 関口辰夫              |              |                    |              |      |      |      |        | 日本地理学会研究発表会要集, pp.258, 2002                                                                                                                                            |
| 48 | 昭和58年三宅島噴火後の土砂流出予測調査                                                                                | 池谷浩               | 水山高久              |              |                    |              |      |      |      |        | 新砂防, Vol.36, No.4, pp.29-33, 1984                                                                                                                                      |
| 49 | 東京都三宅島における降時の観測安定同位体比時間変化                                                                           | 町田功               |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 水文・水資源学会誌, Vol.13, No.2, pp.103-113, 2000                                                                                                                              |
| 50 | イタダ放散と噴火の両生爬虫類への影響                                                                                  | 長谷川雅美             |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 通信, Vol.56, No.5, pp.48-50, 2002                                                                                                                                       |
| 51 | 遺灰子汚染に配慮した緑化への取り組み                                                                                  | 津村義彦              | 岩田洋佳              |              |                    |              |      |      |      |        | 通信, Vol.56, No.5, pp.51-52, 2002                                                                                                                                       |
| 52 | 火山灰堆積層中の微生物相                                                                                        | 太田寛行              |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 通信, Vol.56, No.5, pp.43-45, 2002                                                                                                                                       |
| 53 | 火山噴火の観測と予知の重要性                                                                                      | 青山伸               |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 火山, Vol.48, No.1, pp.127-131, 2003                                                                                                                                     |
| 54 | 三宅島の火山砂防対策について                                                                                      | 廣木良司              |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 砂防と治水, Vol.35, No.5, pp.18-20, 2002                                                                                                                                    |
| 55 | 沼沢地の緑化への影響                                                                                          | 加藤和弘              |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 通信, Vol.56, No.5, pp.46-47, 2002                                                                                                                                       |
| 56 | 日本各地の火山噴出物に含まれる粘土鉱物と噴火活動様式の考究                                                                       | 小坂文子              |                   |              |                    |              |      |      |      |        | 火山, Vol.48, No.1, pp.43-61, 2003                                                                                                                                       |

| 番号 | タイトル                                                                                                                                                                                     | 著者1            | 著者2             | 著者3  | 著者4   | 著者5  | 著者6  | 著者7  | 著者8  | 著者9    | 出典                                                        |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|------|-------|------|------|------|------|--------|-----------------------------------------------------------|
| 57 | 火山噴火の噴火が土砂流出発生に与える影響—三宅島・有珠山・鹿島火山灰の比                                                                                                                                                     | 野村康裕           | 小杉良一朗           | 水山昌久 |       |      |      |      |      |        | 平成13年度砂防学会研究発表会要集, pp.440-441, 2001                       |
| 58 | 2000年三宅島噴火によって火山灰が堆積した斜面からの土砂流出の経年変化(第2)                                                                                                                                                 | 山越隆雄           | 土井康弘            | 渡正昭  | 仲野公章  |      |      |      |      |        | 地球惑星科学国際学会2003年合同大会発表要集, 2003                             |
| 59 | 伊豆諸島の植生と三宅島                                                                                                                                                                              | 星野義延           |                 |      |       |      |      |      |      |        | 植生学会公開シンポジウム「よみがえれ三宅島の緑」— 植生回復への試みと課題— 資料, pp.1-2, 2003   |
| 60 | 緑回復の行政からのアプローチ                                                                                                                                                                           | 市村邦之           |                 |      |       |      |      |      |      |        | 植生学会公開シンポジウム「よみがえれ三宅島の緑」— 植生回復への試みと課題— 資料, pp.3-4, 2003   |
| 61 | 土砂生産の現状とその対策                                                                                                                                                                             | 阿部和時           |                 |      |       |      |      |      |      |        | 植生学会公開シンポジウム「よみがえれ三宅島の緑」— 植生回復への試みと課題— 資料, pp.5-10, 2003  |
| 62 | 植生の現状と自然回復                                                                                                                                                                               | 上條隆志           |                 |      |       |      |      |      |      |        | 植生学会公開シンポジウム「よみがえれ三宅島の緑」— 植生回復への試みと課題— 資料, pp.11-15, 2003 |
| 63 | 植物の遺伝的な固有性を守る                                                                                                                                                                            | 津村義彦           |                 |      |       |      |      |      |      |        | 植生学会公開シンポジウム「よみがえれ三宅島の緑」— 植生回復への試みと課題— 資料, pp.16-17, 2003 |
| 64 | 三宅島新規火山灰堆積斜面における降雨流出特性                                                                                                                                                                   | 山越隆雄           | 土井康弘            | 渡正昭  | 仲野公章  |      |      |      |      |        | 平成15年度砂防学会研究発表会要集, pp.228-229, 2003                       |
| 65 | 三宅島立根におけるスコリア移動の実態                                                                                                                                                                       | 土井康弘           | 山越隆雄            | 渡正昭  |       |      |      |      |      |        | 平成15年度砂防学会研究発表会要集, pp.230-231, 2003                       |
| 66 | 2000年に噴出した三宅島での堆積火山灰の土壌水分特性                                                                                                                                                              | 竹島秀大           | 石田哲也            | 山越隆雄 | 渡正昭   |      |      |      |      |        | 平成15年度砂防学会研究発表会要集, pp.232-233, 2003                       |
| 67 | 三宅島の新規傾斜火山灰堆積物における雨水浸透過程モデル化の試み                                                                                                                                                          | 山越隆雄           | 石田哲也            | 竹島秀大 |       |      |      |      |      |        | 土木学会第58回年次学術講演会要集, pp.353-354, 2003                       |
| 68 | 2000年の三宅島噴火における土砂災害                                                                                                                                                                      | 土井康弘           |                 |      |       |      |      |      |      |        | 自然災害に対する危機管理ワークショップ発表資料, 2003                             |
| 69 | 2002年7月16日の三宅島立根におけるスコリア流出                                                                                                                                                               | 土井康弘           | 山越隆雄            | 渡正昭  |       |      |      |      |      |        | 砂防学会誌, Vol.56, No.2, pp.32-36, 2003                       |
| 70 | 三宅島火山砂防事業の取り組みについて                                                                                                                                                                       | 峰岸正孝           | 足立健             |      |       |      |      |      |      |        | 砂防学会誌, Vol.56, No.2, pp.37-41, 2003                       |
| 71 | 東京都の土砂災害への取り組み～三宅島災害復旧の経緯と現状                                                                                                                                                             | 相澤洋司           |                 |      |       |      |      |      |      |        | APERIFシンポジウム, pp.35-45, 2002                              |
| 72 | 三宅島山頂の陥没地形の計測                                                                                                                                                                            | 長谷川裕之          | 村上亮             | 政春昌志 | 松尾健   | 小荒井衛 |      |      |      |        | 国土地理院時報, No.95, pp.121-128, 2001                          |
| 73 | ヘリ観測による三宅島2000年カルデラの様子                                                                                                                                                                   | 川邊祐久           | 中野俊             | 東宮昭彦 | 伊藤順一  |      |      |      |      |        | 地質ニュース, No.574, グラビアpp.1-2, 2002                          |
| 74 | 全島避難から1年半が経過した三宅島                                                                                                                                                                        | 佐藤努            | 東宮昭彦            |      |       |      |      |      |      |        | 地質ニュース, No.574, グラビアpp.3-4, 2002                          |
| 75 | 三宅島2000年噴火—ヘリ観測編—                                                                                                                                                                        | 川邊祐久           | 宮城誠治            | 東宮昭彦 | 伊藤順一  | 中野俊  | 高田亮  | 宇都浩三 | 松島喜雄 | 山元孝広ほか | 地質ニュース, No.574, pp.10-15, 2002                            |
| 76 | 三宅島2000年噴火—酸性雨編—                                                                                                                                                                         | 佐藤努            | 中村太郎            | 伊藤順一 | 高橋誠   |      |      |      |      |        | 地質ニュース, No.574, pp.16-23, 2002                            |
| 77 | 「地盤工学会三宅島災害調査団」報告会ならびに調査報告                                                                                                                                                               | 地盤工学会三宅島調査団    |                 |      |       |      |      |      |      |        | 土と基礎, Vol.50, No.7, pp.44-46, 2002                        |
| 78 | 三宅島の噴火と被害—三宅島の噴火と植生への影響                                                                                                                                                                  |                |                 |      |       |      |      |      |      |        | 生物科学, Vol.53, No.2, グラビア, 2001                            |
| 79 | 学術講演会「どうなる、三宅島の自然?」開催について                                                                                                                                                                | 窪川かおる          |                 |      |       |      |      |      |      |        | 生物科学, Vol.53, No.2, pp.65, 2001                           |
| 80 | Seedling establishment of <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i> and <i>Persea thunbergii</i> on lava and scoria of the 1982 eruption on Miyake-jima Island, the Izu Islands | Takashi Kamijo | Kiyoshi Okutani |      |       |      |      |      |      |        | Ecological Research, 10, pp.235-242, 1995                 |
| 81 | 三宅島火山灰降灰堆積地における緑化試験                                                                                                                                                                      | 阿部和時           | 小川泰浩            | 黒川潮  | 吉永秀一郎 | 岡本透  | 松山康治 | 精炳薫  |      |        | 日本緑化工学会誌, Vol.29, No.1, pp.208-211, 2003                  |
| 82 | 第90回火山噴火予知連絡会資料(資料番号30)                                                                                                                                                                  | 東京大学地盤研究所      |                 |      |       |      |      |      |      |        | 第90回火山噴火予知連絡会資料                                           |
| 83 | 三宅島噴火による沿岸漁場の被害                                                                                                                                                                          | 米山純夫           | 杉野隆             | 滝尾健二 | 工藤真弘  |      |      |      |      |        | 平成13年度東京都産業労働局農林水産部 試験・研究の成果発表(ホームページ)                    |
| 84 | 三宅島2000年噴火火山灰の化学性と火山灰からの水溶性成分溶出                                                                                                                                                          | 矢沢宏太           | 加藤哲郎            | 野呂孝史 | 森永和久  | 丸田里江 |      |      |      |        | 日本土壌肥科学雑誌, Vol.73, No.6, pp.773-775, 2002                 |
| 85 | 三宅島2000年噴火火山灰から溶出する水溶性成分の定量                                                                                                                                                              | 矢沢宏太           | 加藤哲郎            | 野呂孝史 | 森永和久  | 丸田里江 |      |      |      |        | 日本土壌肥科学雑誌, Vol.74, No.1, pp.61-63, 2003                   |

## 卷末資料 2 島内の状況の写真



金曾沢における流木とスコリア  
2002 年 11 月 23 日



カニガ沢における出水状況  
2002 年 6 月 18 日



立根沢 TU から下流方向の様子  
2002 年 5 月 25 日



立根沢のスコリア  
2002 年 7 月 15 日



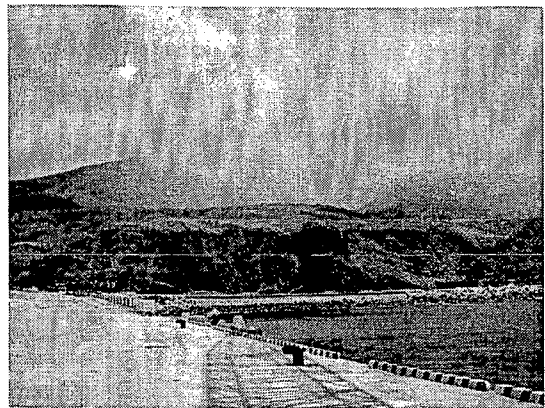
カニガ沢の出水状況  
2002 年 6 月 18 日



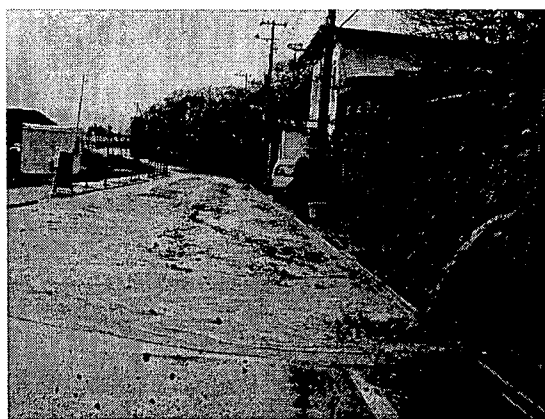
立根沢の側岸崩壊とスコリア  
2002 年 11 月 20 日



立根沢の河床の状況  
2002年11月24日



火山ガスを噴出する雄山  
2002年7月2日



金曽沢から都道への流出  
2002年6月18日



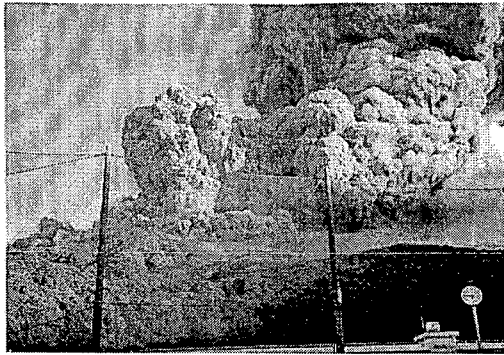
泥流による被害(平成モータース)  
2000年7月31日



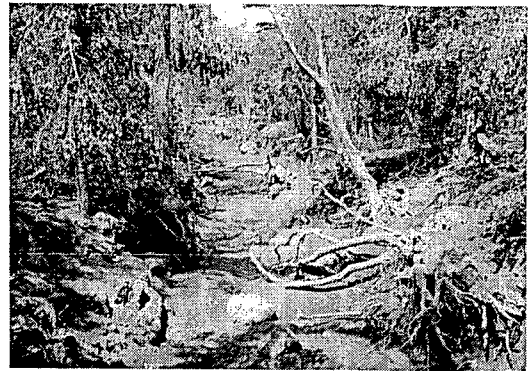
赤場暁沢林道付近  
2002年7月14日



立根沢に堆積するスコリア  
2002年11月20日



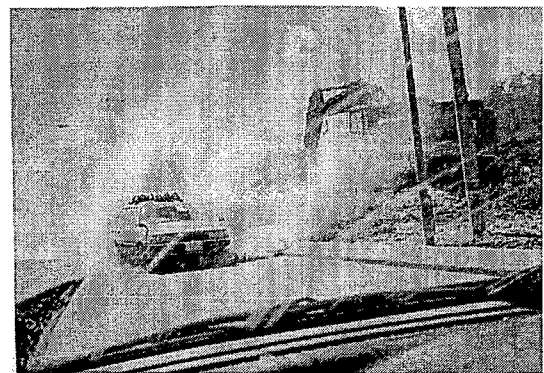
三宅高校（坪田）から見た噴火  
2000年8月29日



降灰後の伊ヶ谷沢の状況  
2000年8月28日



環状林道に落下した噴石  
2000年8月28日



降灰直後の都道  
2000年8月29日



避難する島民  
2000年8月29日



泥流による被害  
2000年7月31日



地点名: SU  
場所: 力二ガ沢上流  
集水面積:  $81.5 \text{ m}^2$   
平均勾配:  $27.9^\circ$   
火山灰堆積厚: 60 cm



地点名: SL  
場所: 力二ガ沢下流  
集水面積:  $137.9 \text{ m}^2$   
平均勾配:  $18.6^\circ$   
火山灰堆積厚: 11 cm



地点名: TU

場所: 立根上流

集水面積: 203.6 m<sup>2</sup>

平均勾配: 20.2°

火山灰堆積厚: 15 cm



地点名: TL

場所: 立根下流

集水面積: 455.3 m<sup>2</sup>

平均勾配: 9.7°

火山灰堆積厚: 5 cm



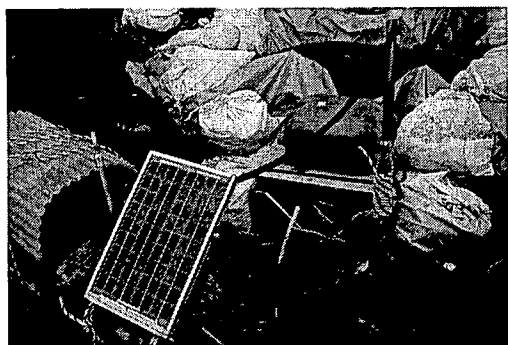
地点名: SUM

場所: 力二ガ沢中上流

集水面積: 35 m<sup>2</sup>

平均勾配: 20°

火山灰堆積厚: 55 cm



地点名: SLM

場所: 力二ガ沢中下流

集水面積: 475 m<sup>2</sup>

平均勾配: 10°

火山灰堆積厚: 23 cm



地点名: SV1

場所: カニガ沢下流ビデオカメラ

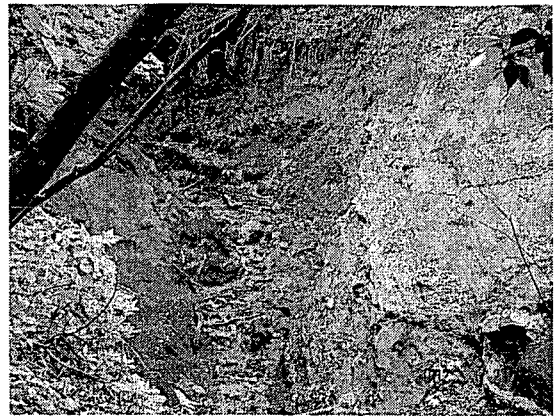
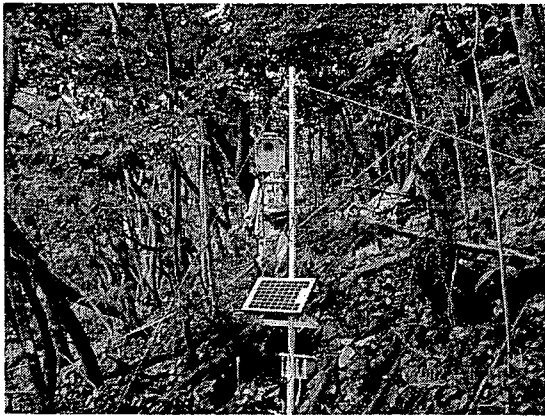
集水面積: 0.882 km<sup>2</sup>



地点名: SV2

場所: カニガ沢上流ビデオカメラ

集水面積: 0.390 km<sup>2</sup>



地点名: TV1

場所: 立根沢下流ビデオカメラ

集水面積:  $0.638 \text{ km}^2$



地点名: TV2

場所: 立根沢上流ビデオカメラ

集水面積:  $0.207 \text{ km}^2$

