

シリーズ「近年の土砂災害」

誌名	水利科学
ISSN	00394858
著者名	黒川,潮 小川,泰浩 岡部,宏秋 阿部,和時
発行元	水利科学研究所
巻/号	54巻1号
掲載ページ	p. 63-79
発行年月	2010年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



シリーズ「近年の土砂災害」
——2000年三宅島噴火災害とその後の復旧——

黒 川 潮
小 川 泰 浩
岡 部 宏 秋
阿 部 和 時

目 次

- I. はじめに
- II. 噴火活動の概要
 - 1. 三宅島について
 - 2. 2000年噴火以前の活動概要
 - 3. 2000年噴火活動の概要
- III. 三宅島森林復旧に向けた取り組み
 - 1. 土砂流出調査
 - 2. 荒廢地緑化試験
- IV. おわりに

I. はじめに

2000年6月より始まった三宅島雄山の噴火活動は、それ以前まで約20年周期で活動してきた形態と異なり、約2,500年ぶりとなるカルデラを形成する活動となった。8月末までの7回の噴火により約1,100万 m³の火山灰を噴出し（中田ら, 2001）、現在でも噴火口から二酸化硫黄（SO₂）を主成分とする火山ガスを放出している（風早ら, 2001）。そのため、三宅島の住民約3,800名は9月2日の避難指示を受けて全島避難し、その避難生活は2005年2月まで4年5ヶ月の長期間に及んだ。全島避難中、山頂付近を中心として大量の樹木が枯死し、三宅島の森林面積4,000haのうち、およそ60%の2,500haに被害が生じた

(石原, 2006)。保水力を失った地表面に堆積した火山灰は年間約3,000mmもの降雨によって表面が侵食され現在でも泥流の発生源となっている。

このため復旧においては山腹付近における早期の緑化が求められたが、当時三宅島における緑化はいくつかの点において困難な状況であった。1つ目として激しい表面侵食によって種子が定着する前に流されてしまうこと。2つ目として火山ガスに耐性のある植物種を選定する必要があること。3つ目として三宅島は離島という隔離された環境にあるため、種子が大量に確保できる外来草本による緑化を行うことは島固有の生態系に影響を与えられられることである。

本稿では以上の問題点を踏まえ、著者らが2000年の三宅島噴火活動後からこれまでに実施してきた土砂生産・流出の実態調査及び植生回復に向けた復旧対策についてとりまとめたものを報告する。

II. 噴火活動の概要

1. 三宅島について

三宅島は東京から南へ直線距離にして約180km, 北緯34度5分, 東経139度



図1 三宅島位置図

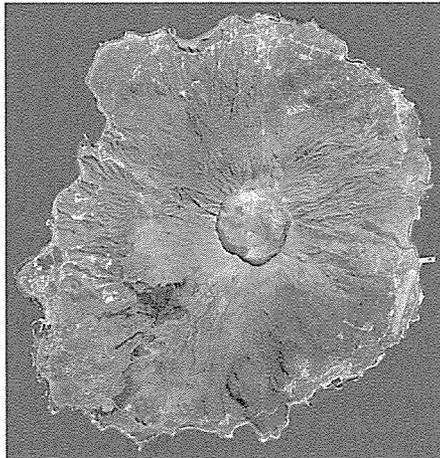


写真1 三宅島航空写真(2003年10月撮影)

31分に位置する伊豆諸島内の火山島である（図1）。面積55.5km²、島の周囲38.3kmで、ほぼ円形である。島の中央には雄山が位置する。2000年噴火前の標高は814mであったが、噴火活動により直径1.6kmのカルデラを形成し頂上部が約500m陥没したため、現在の標高は775mとなった（写真1）。三宅島の年間降水量は約2,907mm、年平均気温17.5℃、年平均風速は5.0m/sec.であり、東京都心と比較すると約2倍の雨が降り、温暖な気候であるが風が強いところである（東京都、2007）。

表1 三宅島における火山活動の歴史（気象庁編，2005を改変）

噴火年月日	主な出来事
1085年	噴火
1154年11月	噴火
1469年12月	噴火
1535年3月	噴火
1595年11月	噴火
1643年3月31日	20時に噴火、溶岩流出。阿古村全村焼失。火山灰・焼石により家屋へ被害。約3週間噴火活動継続。
1712年2月4日	20時頃、山腹噴火確認。溶岩流出。泥水の噴出により多くの家屋埋没。翌年まで噴火活動継続。
1763年8月17日	夜、雄山山頂から噴火し、阿古村薄木でも噴火。噴火口に水が溜まり新溜池形成。1769年まで火山活動継続。
1811年1月27日	夜、山頂付近から北東山腹で噴火。北西山麓に2つの割れ目が生じた。
1835年11月10日	西山腹の笠地付近で噴火。噴石、溶岩流。地震により崩壊、地割れ発生。
1874年7月3日	正午頃、神着村南方の山中で噴火。約2週間噴火活動継続。溶岩が海に達し5,000m ² の新しい陸地形成。人家45軒が溶岩に埋没。死者1名。噴出物総量1.6×10 ⁷ m ³ 。
1940年7月12日	19時30分頃、北東山腹より噴火。溶岩流出。14日朝より山頂噴火開始。8月8日頃活動終了。死者11名、負傷者20名。噴出物総量1.9×10 ⁷ m ³ 。
1962年8月24日	22時過ぎ、北東山腹の標高200～400m付近より噴火。割れ目噴火、溶岩噴泉・流出。噴石丘「三七山」生成。焼失家屋5棟。噴出物総量1×10 ⁷ m ³ （約2,000万t）。
1983年10月3日	15時23分頃、南西山腹に生じた割れ目から噴火。溶岩噴泉。3方向に溶岩流出。新溜池付近および新鼻海岸付近でマグマ水蒸気爆発発生。溶岩流出は翌日早朝にはほぼ停止。住宅の埋没・焼失約400棟。噴出物総量：溶岩流5～7×10 ⁶ m ³ 、火山灰等6×10 ⁶ m ³ 、計2,000万t。

2. 2000年噴火以前の活動概要

表1に2000年以前の三宅島における火山噴火活動をまとめた。記録に残るだけでも1983年までに14回の噴火を経験しており、伊豆諸島内では大島の次に噴火回数が多い。三宅島の噴火活動は、前兆現象として群発地震が発生した後、主に山腹から噴火してスコリアの放出や、玄武岩質の溶岩を流出するのが特徴であった。また、噴火活動はほとんどの場合1ヶ月以内の短期間で終了していた。

3. 2000年噴火活動の概要

2000年三宅島噴火活動の概要を表2にまとめた。噴火活動開始当初は群発地震が発生し、1983年の噴火から17年経過していたため、約20年周期で噴火してきたこれまでの活動と同様の現象が発生すると予測されていた。しかし雄山山頂から噴火した後、山頂部が陥没し、約2,500年ぶりとなるカルデラを形成する噴火活動となったことで、2000年三宅島噴火活動はこれまでとは異なる状況となった。噴火に伴う噴出物はこれまでのスコリアではなく、透水性の悪い火山灰であったため、雨によって泥流が頻発する原因となった。溶岩は流出しなかったものの、8月29日には低温火砕流が発生した。その後、噴火口からこれまでの噴火活動では見られなかった二酸化硫黄(SO₂)を主成分とする火山ガスの放出が始まった。その量はピーク時で1日に80,000tという世界でも類を見ない規模であった。噴火活動初期の群発地震により、三宅島だけでなく、周辺の神津島、新島においても山腹崩壊が発生し、神津島では1名の方が土砂崩れに巻き込まれ亡くなった。また家屋やライフラインにも甚大な被害を及ぼした(写真2,3)。

一連の噴火活動を受け、三宅村は9月2日に全島民に向けて避難を指示し、4日までに当時の島民約3,800人の避難を完了した。その後も噴火活動は継続しているが、火山ガス放出量の低下等の状況を踏まえ、2005年2月1日15時に4年5ヶ月に及んだ島民への避難指示を解除した。2009年11月時点での三宅村の人口は約2,800人で、約1,000の方が様々な事情により三宅島への帰島を果たせない状況にある。

現在でも三宅島の噴火活動は継続しており、2009年においても4回の小規模噴火を観測した。また火山ガスの放出も1日あたり1,000~3,000tと、減少傾向ながら続いている。

表2 2000年三宅島噴火活動の概要（気象庁編，2005を改変，加筆）

月日	出来事
6月26日	18時頃より三宅島に設置した傾斜計が変化を観測。 三宅島島内で地震活動が始まり，地殻変動も伴う。 震源は徐々に三宅島西方沖へ移動。
6月27日	午前，三宅島の西方海域で海底噴火に伴う変色水域確認。震源はさらに西方沖へ移動し，新島—神津島近海で活発な活動を継続。
7月1日	16時02分，M6.1の地震発生（神津島で死者1名）。 震度6弱：神津島，震度5弱：新島，震度4：三宅島神着，阿古。
7月4日	この頃より雄山山頂直下を震源とする地震活動に移行。
7月7日 ～8日	台風3号が伊豆諸島付近を通過。 総降雨量：大島416mm，神津島285mm，三宅島227mm。 最大瞬間風速：八丈島49.3m/s，三宅島41.4m/s
7月8日	18時41分，三宅島雄山山頂で噴火。火山灰の噴出を確認。 噴煙の高さ800m，10分ほどで消える。山頂部陥没開始。 （約2,500年ぶりとなるカルデラを形成する噴火活動）
7月9日	3時57分，M6.0の地震発生。 震度6弱：神津島，震度5弱：新島，三宅島阿古。
7月14日	4時14分，山頂噴火。噴煙の高さ1,500m，硫黄臭を確認。 15時50分，山頂噴火。噴煙の高さ1,500m，噴石の放出。
7月15日	10時30分，M6.2の地震発生。 震度6弱：新島，大島，震度4：神津島。
7月26日	8時20分，大雨により初めて泥流発生。
8月10日	6時30分，三宅島噴火。噴煙の高さ最高3,000m。
8月18日	17時02分，山頂噴火。噴煙の高さ14,000m，山麓まで噴石降下。
8月29日	4時35分，山頂噴火。噴煙の高さ5,000m以上，低温火砕流発生。 14時53分，山頂噴火。朝からの噴火が断続的に9月1日まで続く。
9月2日	全島民に避難指示。4日までに防災関係者を除き避難完了。
9月3日	16時25分，山頂噴火。黒灰色の噴煙。 この後小規模の噴火は続くが，黒灰色の噴煙は見られなくなる。
2005年 2月1日	15時，避難指示解除。島民帰島開始。

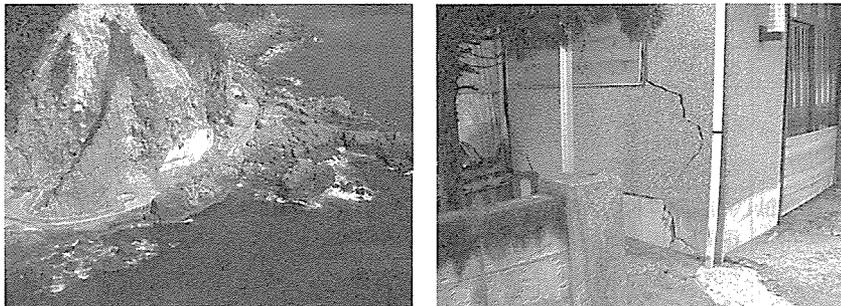


写真2 神津島における被災状況（2000年7月撮影）

左：前浜地区北部の山腹崩壊，右：地震による家屋への被害

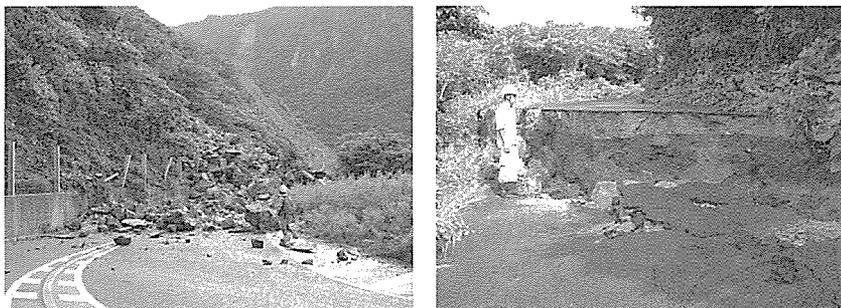


写真3 新島における被災状況（2000年9月撮影）

左：若郷地区の山腹崩壊，右：地すべりにより道路が陥没

Ⅲ. 三宅島森林復旧に向けた取り組み

2002～2005年まで、(独)森林総合研究所は東京都三宅支庁からの委託により、三宅島森林復旧対策調査を実施した。調査項目は、土砂流出調査及び植生調査、遺伝調査、土壌調査、森林微生物調査の4つであり、これに加え荒廃地緑化試験を実施した。

土砂流出調査及び植生調査では、火山灰が多量に堆積した斜面や流域における土砂生産・流出の実態を明らかにするとともに、緑化の可能性を明らかにすることを目的とした。遺伝調査は、治山緑化で利用可能な郷土植物種（地域性系統）について、三宅島、近隣諸島、及び本土との間の遺伝的分化の状態を明らかにすることを目的とした。土壌調査は、堆積した火山灰と、その下に埋没

した土壌層の物理性、化学性に関する調査、及び降水に含まれる化学成分のモニタリングを実施し、その実態を定量的に明らかにして治山緑化に適した土壌環境条件の抽出を行うことを目的とした。森林微生物調査では、荒廃地における植生回復において、特に根系の生育に関わる共生微生物を始めとする微生物群が有用な働きをするとされるため、降灰堆積地域における土壌微生物の実態を明らかにし、その活用技術の開発を目的とした。荒廃地緑化試験は、4項目の調査結果を踏まえ、採種、養苗、緑化工法の開発に取り組み、災害地における森林復旧対策を試みた。

本稿ではこのうち土砂流出調査、及び荒廃地緑化試験について述べる。

1. 土砂流出調査

1) 浸食ピンによる調査

三宅島に堆積した火山灰がどの程度減少しているか、実態を把握するため、火山灰が堆積した降灰裸地斜面において浸食ピンを用いた調査を行った。試験地の平均斜面勾配は6°である。

調査方法は、長さ50cm、太さ4mmのステンレス製の棒を地中に40cmほど挿入し、地表面からステンレス棒先端までの長さを測定する。測定した値から2002年6月試験開始時点の測定値を差し引き、この値を土砂浸食深とした。

測定結果を図2に示す。約5年間で9~18cmの火山灰堆積厚の減少が見られ、年平均18~36mmの割合で表面が浸食されていることが分かった。この

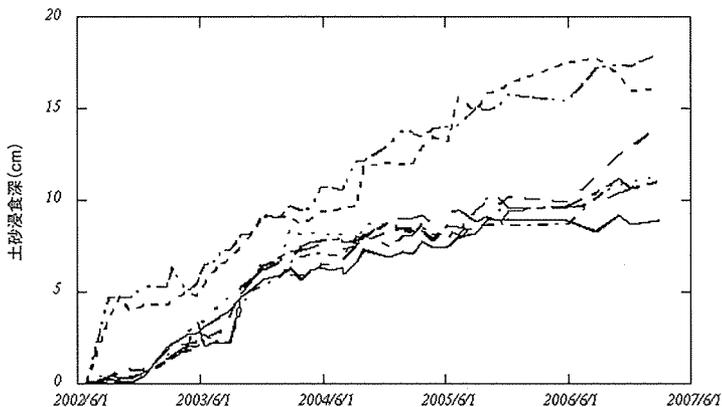


図2 浸食ピンによる土砂浸食深測定結果

値は裸地斜面での土砂流出量 1～10mm/年より大きく、崩壊跡地や火山ガリ一斜面のような荒廃地での土砂流出量 10～100mm/年に相当し（塚本，1998），三宅島の降灰裸地における表面浸食量は非常に大きいことが確認された。

2) 浸食プロット試験

植生回復による土砂生産抑止・土砂流出抑止効果を定量的に計測・評価し、治山緑化事業の効果を示す基礎的データを収集するため、浸食プロット試験を実施した。三宅島島内に 3ヶ所の試験地を設け、勾配 10～14°の斜面に、2×5 m の浸食プロット試験地を 2 個ずつ設置した。1ヶ所は火山灰の堆積した地表面に被覆物のない場所（降灰裸地試験地）、1ヶ所は火山灰の堆積があるものの、枯損木が地表面を覆っている場所（枯損落葉試験地）、もう 1ヶ所は火山灰の堆積が少なく、かつ火山ガスの影響を受けにくい場所（枯損常緑試験地）である。2003年に一方のプロットには緑化工を実施して植生を導入（以下緑化区とする）し、他方のプロットは比較のため設置時点の状況を保持（以下無処理区とする）した。

写真 4 に各試験地での測定状況を示す。本測定装置による観測は 2004 年の 5 月末より開始した。プロットから流出してきた水をまず 1 段目タンクに蓄え、大きな礫などはそこに堆積させる。次に 1 段目タンクからあふれた濁水をすべて 2 段目タンクに流す。1 段目と 2 段目のタンクの間には 1 転倒 500ml の転倒



写真 4 浸食プロット試験地の測定機器設置状況

ますを設置しており、1 段目タンクから流出した流量は転倒ますの転倒回数としてデータロガーに記録される。流出土砂量は、1 段目タンクに堆積した土砂量に加え、2 段目タンクの濁水を採水して土砂濃度を測定し、これに流量を掛け合わせるにより推定した。

各試験地において流量を測定し、流出土砂量の推定を行った結果を示す。なお、降灰裸地試験地の緑化区では、転倒ますの流量を測定するデータロガーの不具合により、2004年は信頼しうる値の測定ができなかったため測定結果がない。また測定結果の処理に当たって、2004年は観測期間が約7ヶ月間のため、

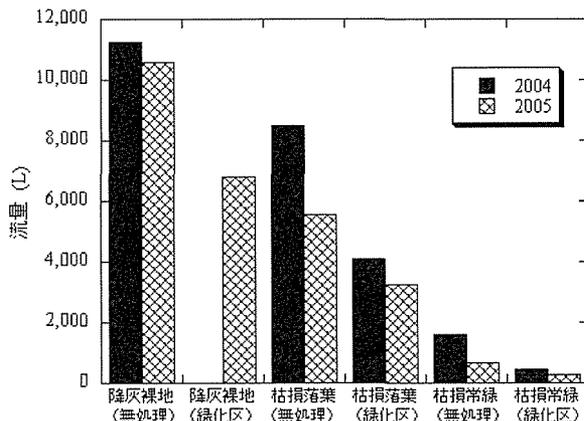


図3 各浸食プロットにおける流出流量

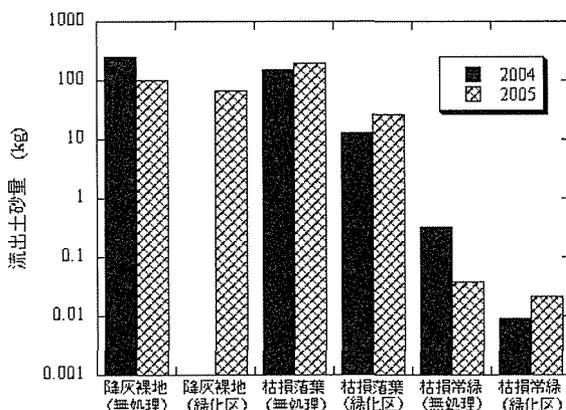


図4 各浸食プロットにおける流出土砂量

1年間の値に換算している。図3に各浸食プロットからの流量の測定結果を示す。傾向として2004年、2005年ともに降灰裸地>枯損落葉>枯損常緑の順で流量が減少し、かつ緑化区プロットの方が無処理プロットより少ない傾向が見られた。流量と土砂濃度より算出した各浸食プロットからの流出土砂量の測定結果を図4に示す。降灰裸地、枯損落葉試験地からは $10^1 \sim 10^3$ kg オーダーの流出土砂量であるのに対して、枯損常緑試験地では $10^{-3} \sim 10^{-1}$ kg オーダーの流出土砂量しかなかった。この結果は、表面被覆の違いにより土砂流出が大きく変化することを示している。年ごとの比較では、2004年は流量と同じ傾向が見られたものの、2005年の結果では枯損落葉試験地の無処理プロットがもっとも流出土砂量が多くなった。この理由としては、降灰裸地試験地の地表面にあった火山灰が激しい表面浸食により、なくなりつつあるのに対し、枯損落葉試験地においては、2004年当時は地表面に存在している落葉、枯枝が表面浸食により流出する火山灰をせき止め、土砂移動の抑制や表面流速の減少など、一定の土砂流出抑止効果が働いていたが、浸食プロット内の流出流量が非常に大きく、落葉落枝ごと土砂が流出したために、時間がたつにつれて土砂流出抑止効果が徐々に失われたと考えられる。また、枯損常緑の無処理プロットでは流出土砂量が約1/10になり、緑化区プロットの流出土砂量に近い値まで減少した。この理由として、緑化区プロットの緑化に用いたススキが成長し、そこから風によって周辺に散布された種子が無処理プロットにも定着し成長したことで、無処理プロットの植生の回復が緑化区プロットと同程度まで進んできており、この結果、流出土砂量が大きく減少したと考えられる。

3) 流域侵食量測定試験

2)の浸食プロット試験に加え、流域レベルでの流出土砂量の実態把握と、治山緑化の効果や植生の自然回復が浸食を抑制する効果などの評価を目的として、流域侵食量測定試験を実施した。

調査対象流域は火口から北西に向かって流下する平山沢とした。平山沢は危険地区にあるものの、風向きの関係で火山ガスの影響を受けにくく、2003年当時、植生が入り始めていたためである。平山沢に設置された治山堰堤上に観測機器を設置し流出水量・流出土砂量の計測を行った。流域面積については、平山沢の流域面積に関する資料がなかったので、GIS（地理情報システム）を用いた流域面積計算結果より30haと推定した。

流出水量・流出土砂量の測定は以下のように行う。治山堰堤に超音波式の水

位センサーを設置して、常時水位を計測する。水位観測結果と放水路断面形状をもとに流量を求める。土砂量は流水の中に含まれる土砂濃度を計測し、流量に土砂濃度を掛けて求める。土砂濃度は設定した水位を超えたときに自動的に採水を行うポンプ（自動採水器）で採水し、その中に含まれる土砂量を計測して土砂濃度を求める。土砂量濃度は流出の始まりに多いので、出水の開始直後は頻度高く採水するように設定してある。降水量は、治山堰堤の脇に設置した雨量計で観測している。写真5に本流域試験地の測定機器設置状況を示した。

試験地で観測した降雨量は、2003年：5,245mm（2～12月）、2004年：4,158.5mmで、気象庁三宅島測候所における同期間の観測値（2003年：3,775.5mm、2004年：3,162mm）と比較して、三宅島中腹では非常に多くの雨が降っていることが分かる。試験地での流出の特徴として、日雨量が約20mm以上にならないと流出が生じないこと、流出は非常に短時間で終わってしまうこと、日雨量とピーク流量は比例関係にはないこと、無降雨日に流出は発生しないことが確認された。また時間雨量に関しても5mm以下になるとほとんど流出は見られなくなり、10mm以上になると明確に流出が発生している。図5は自動採水機によって採水した流水中の土砂濃度とそのときの流量の関係を示している。高い相関性はないが流量が増えるにしたがって土砂濃度も高くなる傾向がみられる。流量と土砂濃度の相関式は（土砂濃度）



写真5 流域侵食量測定試験地の測定機器設置状況

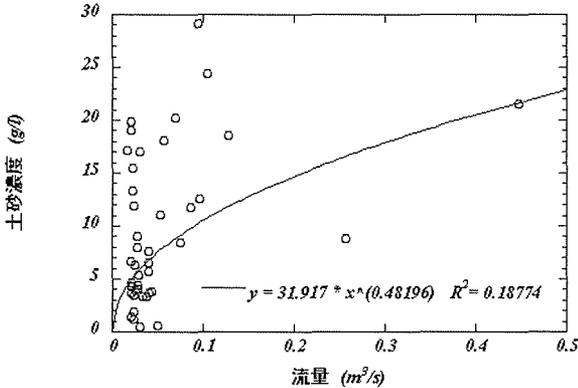


図5 観測された流量と土砂濃度の関係

= $31.917 \times (\text{流量})^{0.48196}$ となった。本相関式を基に算出した測定期間中の流出土砂量の総量は2003年：165t（7ヶ月間）、2004年：253t（11ヶ月間）であった。これにより流域侵食量測定試験地における1ha当たりの年間の流出土砂量は、2003年：9.4t、2004年：9.2tとなり、この期間内において、ほぼ同様の値となった。比較のため、宮崎県にある森林総合研究所九州支所去川森林理水試験地（面積6.6ha、平均傾斜34°）で測定された流出土砂量は、最も多くて年間1haあたり約3tであり（竹下ら、1985）、本試験流域で測定された値はかなり大きなものであることが分かった。この期間内に流出土砂量がほとんど変化しなかった理由として、治山堰堤に近い場所においては植生が回復してきたものの、上流においては依然として植生が回復せず、流域全体としては土砂の流出が続いていたと思われる。また、土砂の流路上には大量の不安定土砂が堆積しており大雨のたびに下流へ土砂が流されていたため、結果として観測期間内における流出土砂量が変化しなかったものとする。

2. 荒地緑化試験

三宅島では、火山活動による火山ガスの放出とともに、多量の火山灰が雄山山頂から中腹にかけて堆積し、森林植生が壊滅的な被害を受けた。火山灰の降灰地域では地表面の浸透性が悪く、降雨は容易に地表流となってリル・ガリーを形成し、浸食された土砂は泥流を引き起こし、下流の人家や公共施設、道路を始め、各ライフラインに甚大な被害をもたらした。泥流の発生を抑制するた

めには、壊滅した森林植生を回復させ、植物の根系網により表面浸食に対する抵抗性を高めるとともに、浸食性を増して泥流の原因となる地表流の発生を防ぐことが、最も重要で根本的な対策である。そのため早期の緑化が求められた。

しかし、三宅島の緑化にあたっては先に挙げた自然条件の他にも島嶼生態系を守るという観点から、様々な制約の下で新たな試みをする必要があった。ここでは三宅島の緑化にあたり、実施した工法を以下に紹介する。

1) バンカー工法

図6にバンカー工法の模式図を示した。バンカー工法は、火山灰が降り積もった地表面を掘削し凹地状の地形を作成し、養分や土壌微生物群が比較的豊富に存在する噴火前地表だった土壌面（以下、旧土壌とする）を露出させ、植物

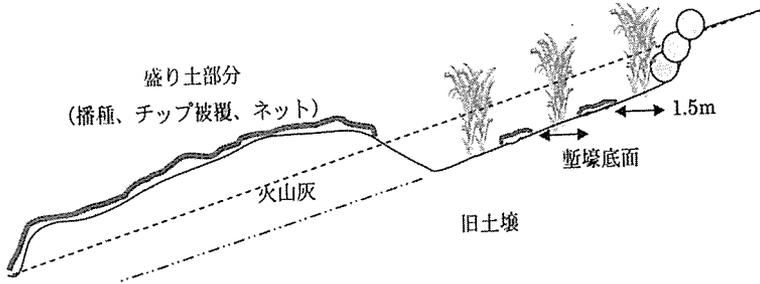


図6 バンカー工法の模式図



写真6 施工したバンカー工法

の生育基盤を確保する工法である（写真6）。掘削した火山灰は凹地の外側に盛土として積み上げた。

露出させた旧土壌面には後述する播種工・植栽工を施工して植物を導入した。盛り土部分にも播種工とチップ・ネット被覆工を施工し植物の導入を図った。

2) チップ・ネット被覆工

播種した種子と発芽後間もない小さな芽を風雨による侵食から守り、土壌流出を防ぐための被覆工で、今回の火山活動で枯死した広葉樹枯損木から作成した木材チップとヤシの繊維を編んだネットを用いて施工した。

施工は、播種後に地表面が隠れる程度の量のチップを播き、チップが風や地表流で移動するのを防ぐためにネットで覆い、さらにネットをピンで固定する順序で実施した。播種工後には必ずチップ・ネット被覆工を施工した。写真7に、バンカー内に施工したチップ・ネット被覆工を示した。

3) チップ丸太筋工

広葉樹枯損木から作成したチップをヤシネットで包み、直径約30cmの円柱形に整形したものをチップ丸太と呼ぶことにする。写真8に示すように、この丸太チップを土壌侵食が発生しやすい凹地や急な斜面に筋状に設置する工法である。



写真7 バンカー内に施工したチップ・ネット被覆工（矢印部分）



写真8 緑化斜面に施工したチップ丸太筋工（矢印部分）



写真9 バンカー内に実施した植栽工
（奥がハチジョウススキ，手前がオオシマカンスゲ）

4) 播種工

種子から植物群落の再生を図り、短期間に広大な面積を緑化できる方法である。使用した植物種子は島内に生育するハチジョウススキ、オオシマカンスゲ、ハチジョウイタドリ、オオバヤシャブシ等から採取した種子を用いた。

5) 植栽工

三宅島島内に生育するハチジョウススキ、オオシマカンスゲ、ハチジョウイ



写真10 2009年4月における荒廃地緑化試験地の様子

タドリの株や地下茎を採取し植栽する工法で、植物群落を短期間で再生することができる工法である。ハチジョウススキは株直径20cm, オオシマカンズゲは株直径10cm以上のものを使用し、ハチジョウイタドリは根茎約5本を一株とみなし植栽する。写真9に示すように、バンカー工法では旧土壤に植栽した。

これらの緑化工を施工した結果、荒廃地緑化試験地においては植生が回復し(写真10)、土砂の流出量が減少する傾向にあると考えられる。しかし火山ガスの影響を受けやすい場所では植生の回復が遅い傾向にある。三宅島の植生が完全に回復するためには、雄山から流出する火山ガスの濃度がもう少し低下しなければ現時点では困難であると思われる。

IV. おわりに

三宅島の火山ガスは噴火後9年以上経った現在も放出が続いており、緑化に対する取り組みは現在でも続いている。三宅島では緑化ツアーを企画し、島外から多くの参加者を受け入れるなど、復興に向けた新たな取り組みも見られる。本稿では三宅島における土砂流出の実態と緑化工による森林復旧対策について述べたが、今後同様の事例が発生した際の参考となれば幸いである。

本研究は、東京都三宅支庁委託費「三宅島森林復旧対策調査」の一部において実施した。また、株式会社伊豆緑産においては現地調査にあたり、さまざま

な御協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- 石原肇 (2006)：三宅島緑化ガイドラインの策定について，植生情報，No. 10，pp. 1-10
- 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 (2001)：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 SO₂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
- 気象庁編 (2005)：日本活火山総覧 (第3版)，気象業務支援センター，635p.
- 中田節也・長井雅史・安田敦・嶋野岳人・下司信夫・大野希一・秋政貴子・金子隆之・
藤井敏嗣 (2001)：三宅島2000年噴火の経緯——山頂陥没口と噴出物の特徴，地学
雑誌，Vol. 110，No. 2，pp. 168-180
- 竹下幸・大谷義一・河合英二 (1985)：去川森林理水試験地における流出土砂量の経年
変化，日本林学会論文集，No. 96，pp. 589-590，1985
- 東京都 (2007)：平成12年 (2000年) 三宅島噴火災害誌，東京都総務局，262p.
- 塚本良則 (1998)：森林・水・土の保全——湿润変動帯の水文地形学，朝倉書店，138p.

〔黒川・小川：森林総合研究所水土保全研究領域 主任研究員〕
〔岡部：森林総合研究所森林微生物研究領域 契約職員〕
〔阿部：日本大学生物資源科学部生物資源科学科 教授〕

(原稿受付2009年12月28日，原稿受理2010年1月19日)