

2000年三宅島噴火による農地・農業施設災害現地調査

*A Field Survey of Disaster Stricken Agricultural Land and Facilities for
Miyake Island Volcano (in 2000)*

藤 森 新 作[†]
(FUJIMORI Shinsaku)

I. はじめに

2000年6月26日に発生した三宅島噴火は、群発地震に始まり、翌27日には三宅島西方沖1kmで海底噴火、島内では複数の地割れや海岸崖の崩壊が確認された。7月1日には神津島付近でM6.4の地震があり、神津島は震度6弱で斜面崩壊が多数発生した。7月8日には最初の山頂噴火が発生し、噴煙は1,500mに達した。

その後も噴火と地震が続き、7月14日の噴火では北東部で泥雨状の火山灰が降下堆積後、乾燥してモルタル状となり、さらに、15日の噴火では大量の細粒火山灰が降下し、海岸に近い一周道路上でも降灰厚5cmに達した。7月26日には豪雨による大規模な泥流の発生、7月30日には震度6弱の地震で土砂崩壊、8月18日には噴煙が14,000mに達する最大噴火が発生し、島史初の全島降灰、8月29日には噴煙が8,000mとなり、北部地域に降灰、火砕流も発生した。そして、同日には小中高生136名が島外避難、9月2日には一般島民に村長が島外避難指示、これ以降、今日に至るまで降灰や二酸化硫黄を含む有毒な火山ガスの放出が続き、島民(3,800人、1,800世帯)の避難生活は約2年に及んでいる。

三宅島における災害復旧事業は、現在までに砂防・治山ダム、流路工建設、道路復旧、住宅・宅地の屋根修理、港湾・漁港、水道、電気・通信等が行われている。農業関係の復旧・復興は、農地・農業施設や作物の状況のみならず、避難している耕作者の今後の経営動向等を把握しなければ無効投資となるおそれもあるため、貯水池の土砂撤去以外はほとんど行われていない。

農業土木学会では学会活動の一環として、①三宅島噴火に伴う降灰、泥流被害状況把握と評価、②降灰、泥流の被害拡散の予測と二次被害防止、③今後の復旧対策への提言を目的に、「三宅島噴火対策調査検討委員会」を設置した。

II. 三宅島火山と噴火

三宅島(東京都三宅村)は、東京都心から南方180kmに位置し、面積55.5km²、直径約9kmで、伊豆諸島では3番目に大きい(図-1)。

雄山は富士火山帯に属し、全島が火山帯(三宅島火山)で二重のカルデラをもつ成層火山であり、伊豆-小笠原海嶺の水深300~400mの海底からそびえ立ち、最高標高は今回噴火した雄山で、噴火前は814mであった。

1. 噴火の歴史

三宅島は後期更新世(約1万年~15万年前)に海底で噴火が始まり、先カルデラ成層火山ができ、約3千年前の大規模噴火で山頂部が陥没して旧期カルデラが形成された。その後1154年までに少なくとも13回の噴火が約200年間隔で発生しており、山腹と山頂火口からの火山灰放出が特徴的であった。1154~1469年まで315年

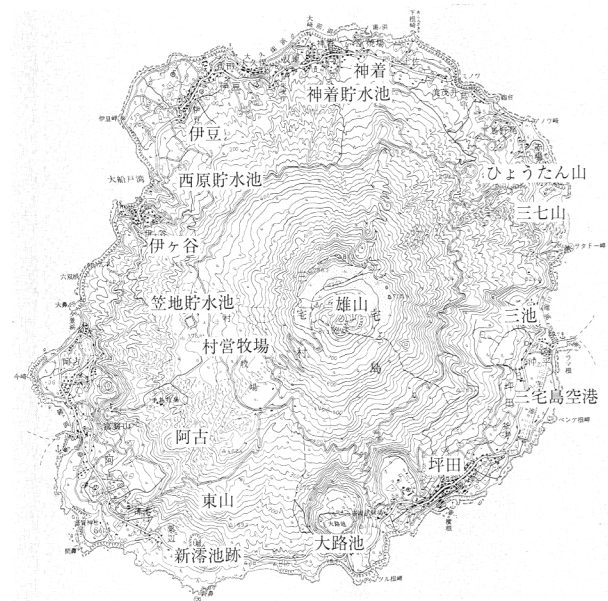


図-1 三宅島の地形図

[†]独立行政法人農業工学研究所



三宅島、火山噴火、土石流、泥流、農地災害、農業施設災害、災害復旧

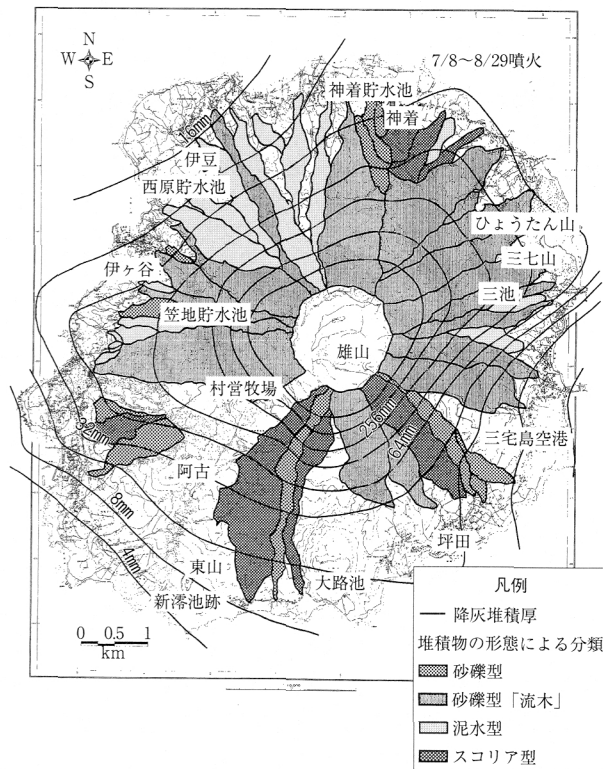


図-2 各溪流における堆積物の形態

間の休止期を経て、それ以降は約50年ごとに噴火している。明治以降の噴火は今回を含めて5回あり、1940年には25日間の山頂噴火によってスコリア（マグマが固まってできた多孔質の粒子で、色は黒っぽい）丘が形成され、また、北東山麓では23時間に1,900万 m^3 の噴出物があり「ひょうたん山」が形成された。

1962年には、ひょうたん山に隣接した山麓で約30時間に1,000万 m^3 の噴出物があり、これにより「三七山」が形成され、噴火後に激しい群発地震活動があったため島外避難が行われた。そして、1983年の噴火は15時間で約1,300万 m^3 の噴出物があり、南西山麓の村営牧場から南西方向に4kmの割れ目火口列が形成され、溶岩流の流下によって阿古集落の大半の家屋を埋没させた。また、新瀨池付近の河口から噴出したスコリアは島の南部から坪田地区にかけて厚く堆積した。

2. 今回の噴火に伴う堆積物の形態

東京都は現地調査結果をもとに、土砂流出が確認された各溪流の主な堆積土砂の種類と氾濫状況を4タイプ（砂礫型、砂礫型「流木」、泥水型、スコリア型）に分類している（図-2）。

対象溪流数は58であり、砂礫型が7溪流、砂礫型「流木」が21溪流、泥水型が17溪流、スコリア型が13溪流である。

砂礫型は最大礫径10cm～2mのものを含み、堆積は層状を呈さない構造である。流下先端に巨礫が集中して

直進性がある。なお、流木を含むものを砂礫型「流木」として再分類している。

泥水型は細粒物質の含有率が高く、一部溪床を浸食して生産された小礫（5cm以下）を含む。比較的導流しやすいと考えられている。

スコリア型は過去の火山活動によって堆積したスコリアが流水で浸食され下流に堆積している。比較的粒度がそろい、層状に堆積している。

III. 三宅島の農業概要

農地面積は、畑地156ha、樹園地15ha、牧草地77haで販売農家数は124戸である。農産物生産状況は海洋性の温暖な気候を活かして、南部地域では冬期の「きぬさやえんどう」、北部地域を中心とした「アシタバ」（38haで周年栽培が行われ、生産額は139百万円で国内最大の産地である、1999年度数値）、また、近年では島内全域で施設（ビニルハウス）を利用した「レーザーファン」（11ha、販売額161百万）等の花卉・観葉植物の栽培が盛んである。

畜産は、豚（160頭、2戸）、鶏（720羽、16戸）、肉用牛（11頭、4戸）、乳用牛（90頭、2戸）、村営牧場（総面積171ha、うち牧草地85ha）において多摩地区の酪農家から80余頭の乳牛後継牛を受託し飼育を行っている。

農業従事状況は、副業的農家が70%弱を占め、かつ、基幹的農業従事者172名における高齢者（65歳以上）率は73%であり、中核的農家の育成と新規就農の受け皿づくりが課題となっている。

IV. 農地、農業施設の被害状況と復旧対策

2002年2月26日に神津島、27日に三宅島の現地調査を実施した。三宅島については、すべての農地をみることは不可能であったが、東京都および三宅島村職員の案内によって代表的な個所の被害状況を調査した。

全島において、溪流筋はほぼすべて土砂流出による堆積物に覆われており、とくに村営牧場は1m程度の堆積があり、巨礫を含む火山礫と降灰がみられ、壊滅的な状態であった（写真-1）。

1. 土石流の堆積が著しい農地の復旧対策

(1) 村営牧場 本牧場を以前の状態に復旧する方法としては、土石の撤去、客土、土壌改良が考えられる。
①既存の表土まで土石を撤去し、これを他の場所へ搬出することは、捨土場所の確保上から困難を伴う。また、仮に溪流に堰堤を築き大量の土砂を集積した場合には、今後の降雨如何によっては再び泥流となり二次的な被害をもたらす危険性がある。築堤とここへの貯留は短絡的、応急的な対策であり、島民が一時も早く戻るための手段として必要であるが、至る所でコンクリートが剥き出しになり、威圧感と景観上からは好ましくない。②堆

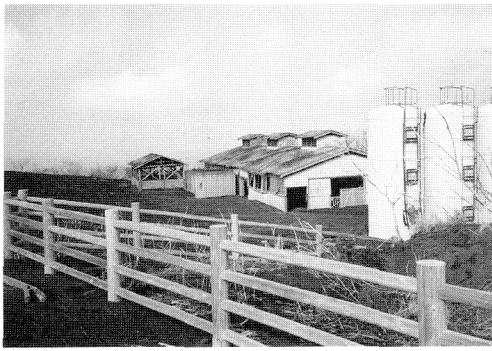


写真-1 村営牧場の畜産施設周辺の堆積状況（砂礫型「流木」）

積物上への客土も考えられるが、この場合には随所に低堰堤を築き、今後における土砂移動を防止する必要がある。また、島内に客土に適した土があるのかといった調査が必要である。③土壤改良についても客土に準じた対策を必要とする。④これら以外にバックホーやプラウによって、従前の表土と火山灰・土石を反転する方法もあるが、従前の表土そのものが薄く、また、水田のように均一ではないことから工法的に困難である。

上記の②、③に関して、現地の堆積した土砂を固化・ブロック化し、これを土石流防止堰堤等に利用する方法が考えられる。農業工学研究所では、軽焼マグネシアとリン酸肥料または炭酸塩およびクエン酸を原料とし、環境汚染の原因となる物質を含んでいない土壤硬化剤（マグホワイト）を開発し、実用化段階にある。本硬化剤による三宅島雄山火山灰の固化試験では、重量比で火山灰100に対し固化材を30添加し、水分量30程度で練り混ぜれば、凝結時間4時間で圧縮強さ25 N/mm²を得ることができた（表-1）。

(2) 土石流の堆積した畑地の復旧対策 坪田地区をはじめとする土石流が厚く堆積した畑地の大部分は、アシタバや里芋、観葉植物が栽培されてきた。これらの畑地においても、(1)と同様の理由から土砂を取り除くことは不可能である。

三宅島の畑地は地図上では一定のまとまりを持っているが、各筆は小区画で樹木によって囲われ、また、樹木

表-1 土壤硬化剤マグホワイトと三宅島雄山火山灰の固化物性

マグホワイト添加量 (%)	水量 (%)	凝結時間 (h)	圧縮強さ (N/mm ²)	比重	固化物の pH
20	27	16	12	1.92	8.2
30	29	4	25	1.88	8.3
40	31	3	28	1.83	8.4
50	34	3	34	1.79	8.5
セメント40%	29	7	13	1.84	14.0

火山灰を100重量部とした場合
圧縮の強さは材令7日

との混植がみられる（写真-2）。この独特な栽培技術は防風と適度な日照の確保のもとに形成されてきた。

土石流で厚く覆われてしまったこの畑地を旧来の状態に復旧することは困難である。なぜならば、1筆が小規模でかつ樹木との混植であるため、ブルドーザ等の重機による降灰の撤去や鋤込みが不可能なためである。

復旧対策としては、個々の農地を現況に戻すのではなく、山成に再造成し団地化する手法が考えられる。これは現状復旧よりも低コストであると考えられる。また、高齢化と過疎化が進み、さらには噴火後において基幹農作物であるアシタバやレーザーファンの市場を他産地に奪われており、団地化による省力化と用水利用型農業による高品質・多収を図らなければ、将来的に競争力を持った農業展開は不可能である。

2. 施設園芸の復旧対策

ビニルハウスは、二酸化硫黄ガスと潮風によるパイプの錆が著しい（写真-3）。また、ビニルや寒冷遮で覆われていたものは、噴火による降灰の重みから折れ曲がった状態となっている。レーザーファン等の施設園芸は3年に1回程度の土の入れ替えを行っていることから、整地と客土によって植栽床の復旧は可能であるが、全面的



写真-2 アシタバの畑地。樹木との混植により日射量の調整が図られている（降灰による被害がみられる）



写真-3 降灰による重みと二酸化硫黄ガスによるパイプの錆で折れ曲がったビニルハウス



写真-4 笠地貯水池法面への火山礫降下によるゴムシートの破損状況

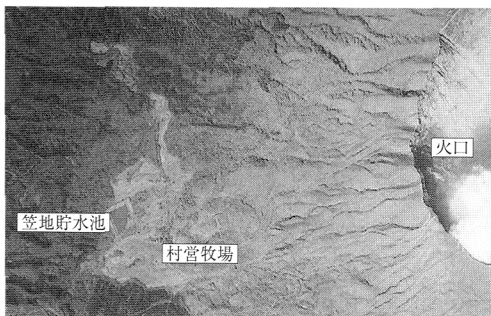


写真-5 水源地域の森林が火山灰で覆われた笠地貯水池

なビニルハウスの建て替えを必要とする。これら施設の復旧は災害復旧事業においては、補助の対象ではないため、融資に頼らざるを得ない。できれば、これを機会に団地化することが、今後の営農展開上有利と思われる。

なお、これらのビニルハウスは都営事業による貯水池を水源とした灌漑が行われてきた。レーザーファン栽培においては、灌水量の差が生育の良否を左右する要因となることから、一般的には、ハウスの天井中央に設置した塩ビ管にノズルを付け霧状で灌水している。芽立ちが多くなる3月から徐々に灌水量を増やし、4月～5月と高温時の8月～9月は2～3日に1回、最も少ない1月～2月においても7～10日に1回灌水する。

したがって、土砂で堆積した貯水池と寸断されたパイプラインの復旧を同時に実現する必要がある。

3. 用水施設の復旧対策

村営牧場に隣接する笠地貯水池は溪流からの大量の土砂流入および堤体を覆うゴムシートは火山礫の降下による破損がみられた(写真-4)。

神着貯水池についても土砂で埋まっている。また、西原貯水池は取水施設が泥流で破損している。これら施設の復旧は土砂の撤去やシートの張り替え等を行うことで

可能であるが、それ以前の問題として、貯水池水源林が降灰やガスで枯れ果て保水機能がなくなっていることがある(写真-5)。

一方、パイプラインは、受益農地が今後どのように復旧されるかによって路線が異なる。

III. ま と め

三宅島の火山ガスの放出は、世界的に見ても例がないほど長期化しており、住民の帰島に障害が生じている。一方で、泥流対策や帰島に備えてのライフライン等の復旧は進んでいるが、農業関係の施設や農地の整備については、耕作者の今後の動向を把握して適切な農業経営計画を踏まえたものとする必要があり、まだ始まっていない。

そこで、農地や農業施設を噴火前の状態に復旧するだけが妥当な手法であるかは検討を要する。

なぜならば、三宅島農業は温暖な気候を活かした林間・露地におけるアシタバ等の粗放的な生産と用水利用による施設園芸を基幹としていることにある。今回の噴火による降灰は全島に及び、大量の土砂が堆積した農地も多々あり、ビニルハウスは降灰と火山ガスによって崩壊している。さらに、大雨時の洪水防止、土石流の発生抑止、水源涵養機能を持っていた森林の大部分は降灰や二酸化硫黄ガスによって枯れ果て、その機能は著しく低下している。したがって、林間に点在する農地からの降灰撤去や土層改良は困難を極めるであろう。貯水施設は復旧を図ったとしても用水が安定的に確保されるまでには相当の期間を要する。

2年に及ぶ生産停止によってアシタバやレーザーファンなどの換金作物は市場を他産地に奪われており、生産再開までには多くの課題が山積している。また、都心に避難した農家が島内農業の今後の展開をどう考えているのか不明である。したがって、各農家に対して、①農業継続の意志と今後の展開方向、②農地の再整備水準に関する意向調査を行うべきである。これらの方向を踏まえ、農地・農業施設の復旧、復興を行うことにより効果的な投資となるものと考えらる。

[2003. 4. 2. 受稿]

藤森 新作



略 歴

1949年	三重県に生まれる
1991年	農業研究センタープロジェクト研究チーム主任研究官
1997年	農業工学研究所農地整備部主任研究官
1999年	同 水田整備研究室
	室長
	現在に至る

三宅島の新規火山灰土壌の物理性と今後の農業復興

*Soil Physical Properties of Fresh Volcanic Ash and Recovery of Agricultural Fields in Miyake Island*藤川 智紀[†] 望月 秀俊[†] 宮崎 毅^{††}
(FUJIKAWA Tomonori) (MOCHIZUKI Hidetoshi) (MIYAZAKI Tsuyoshi)

I. はじめに

2000年6月に始まった三宅島噴火とそれに伴う火山灰降灰、さらにその後続いた降雨による土石流、泥流の堆積は、三宅島全土をこれまでとは異なる新しい土壌で覆うことになった。もし仮に、近い将来三宅島島民全員の帰島が実現し、農業生産を再開するとしたら、まずはじめに農耕地を覆う新規土壌の取扱いが重要な課題になると考えられる。そこで、筆者らは、農業土木学会三宅島噴火対策検討委員会の依頼を受けて、2002年2月27日に現地入りし、短時間にできるだけ多くの現地情報を得よう作業し、さらに持ち帰った試料の分析を行った。

本報は、農耕地を中心とした現地の状況、新規土壌による表土の被覆状況、持ち帰った試料の物理的特性などを記述し、近い将来の農業復興に向けた参考資料とする目的で記述した。

II. 現地状況

東京都は現地調査結果を基に、三宅島噴火およびその後の流出土砂を4タイプ（流木を含まない砂礫型、流木を含む砂礫型、泥水型、スコリア型）に分類した。堆積のタイプおよび堆積厚は地形、噴火口からの距離、風向などに影響を受けるため、島内の場所によって大きく異なる。たとえば、火口に近い笠地地区の村営牧場では、粒径の大きな流木を含む砂礫型の堆積物が数10 cm~1 m以上見られたが、坪田地区の堆積はマグマの固結したスコリア型で、厚さは10~数10 cm、御子敷地区の堆積はさらに細かい泥水型で厚さは数 cm~10 数 cmであった（写真-1, 2）。

島内では、幹線道路などの堆積物の除去作業が進んでいるが、もともと圃場であった地域に関しては、未だに作業の入っていない場所も多く見られた。これらの堆積

写真-1 堆積物に埋もれた村営牧場
(流木を含む砂礫型, 笠地地区)

写真-2 堆積物に埋もれた圃場 (泥水型)

物およびその流出は、農業施設（牧場、ダム、ビニルハウスなど）に大きな損害を与えていた（写真-3, 4）。

一方、地表の堆積物は降雨や土石流によって流出、移動するため、一部の建築物や栽培用ハウスの上などに見られる火山灰を除いて、降り積もったまま火山灰（降灰）と土砂流出による堆積物を区別することはできなかった。

[†]鳥取大学乾燥地研究センター^{††}東京大学大学院農学生命科学研究科

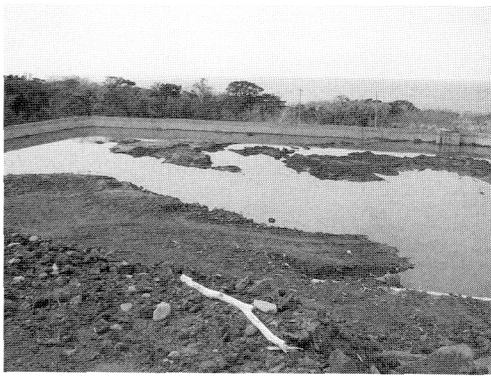


写真-3 土砂に埋もれたダム (神着ダム)

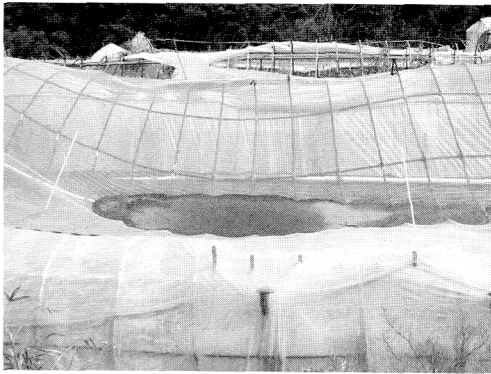
写真-6 調査対象圃場2 御子敷
(サトイモ畑, 御子敷地区)

写真-4 ビニルハウス上に堆積した火山灰

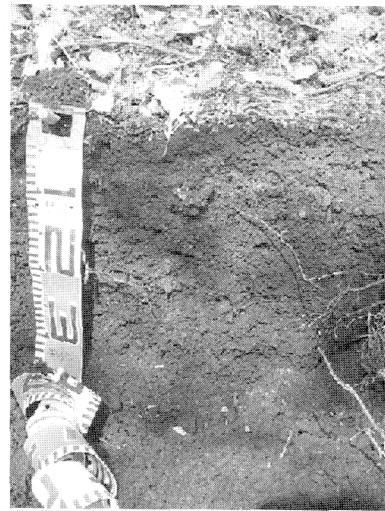


写真-7 土壌断面1 坪田

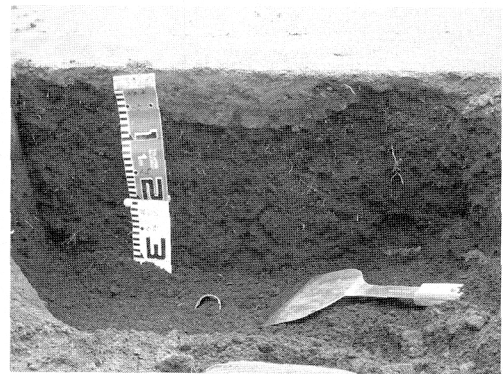
写真-5 調査対象圃場1 坪田
(アシタバ畑, 坪田地区)

写真-8 土壌断面2 御子敷

III. 試料採取地点の選定と試料採取方法

外観から、代表的なスコリア型堆積の観察された坪田地区のアシタバ畑 (以下、「坪田」; 写真-5) と、泥水型堆積の観察された御子敷地区のサトイモ畑 (以下「御子敷」; 写真-6) で試料を採取した。

東京都の調査の結果、土砂流出の生じた溪流 54 カ所のうち、スコリア型と泥水型の堆積は合計 30 カ所 (それぞれ 13, 17 カ所) に及び、今後の農地回復のために

も、その物理的特性を知ることは重要であると考えられる。

試料採取に際して、幅 1 m, 奥行き 1 m, 深さ 50 cm の採取孔を採掘した。それぞれの採取孔で観察した土壌断面から、噴火以前の表土 (以下、「地山層」) と噴火による堆積 (以下、「堆積層」) を判断した。坪田の堆積層

は 10 cm, 御子敷の堆積層は 3~10 cm であった (写真-7, 8)。

御子敷の堆積厚の変動は, 地山の畝立てに起因する。御子敷の堆積層と地山層の区別は, 土色, 手触り(粒径)の点から容易に行うことができたが, 坪田は堆積層と地山層の土色が近く, 層の判断が困難であった。坪田では, 土色の他に, 断面内に存在する植物遺体の層(噴火以前の植生)を判断基準とした。

地山層と堆積層の物理性を測定するために, 100 cc コアサンプラーを用いた不攪乱試料および攪乱試料を採取した。不攪乱試料の採取深さは, 坪田では 0~5, 5~10, 10~15 cm, 御子敷では 0~5, 5~10, 10~15, 15~20 cm とした。不攪乱試料は, 0~5 cm からは坪田では 2 試料を, 御子敷では 3 試料を, その他の深さからは 1 試料を採取した。坪田は, 堆積層に粒径の大きな試料(最大 9.6 mm)が存在するため, 特に堆積層の不攪乱試料の採取は, 構造を破壊しないように慎重に行った。攪乱試料は各層の土壌が混合しないように, 坪田で 0~5 cm (堆積), 10~15 cm (地山), 御子敷で 0~5 cm (堆積), 5~10 cm (地山) から採取した。

IV. 室内試験方法

採取試料の物理性として, ①乾燥密度, ②飽和透水係数, ③土粒子密度, ④粒径分布を測定した。①, ②の測定には不攪乱試料を, ③, ④の測定には攪乱試料を用いた。それぞれの測定は一般的な土壌の物理性の測定に従い, ①坩乾法, ②変水頭法, ③ピクノメーター法, ④比重計法と篩い分け法¹⁾で測定した。

飽和透水係数試験は, 1 試料について 3 回行い, 平均値を計算した。土粒子密度の測定は, 1 試料について 3 回行った。篩い分け法では, 通常の畑地土壌に比べ礫分が多く, 2 mm 篩い残留分についても, 最大粒径の測定および 2.5, 4.75, 5.00 mm 篩いを用いて篩い分けした。

V. 土壌の物理性

1. 乾燥密度, 飽和透水係数

乾燥密度と飽和透水係数の分布を, 図-1 に示す。坪田の乾燥密度は, 堆積層(深さ 0~5 cm)で若干大きいものの, 深さ方向の変化がほとんど見られないのに対し, 御子敷では堆積層の乾燥密度が地山より大きいことが明らかになった。地山の乾燥密度が低い原因として, 農作業による土壌の攪拌や植物の生育が挙げられる。

御子敷では, 堆積層(泥水型堆積)だけでなく, 堆積層の直下(5~10 cm)の乾燥密度が大きくなったが, こ

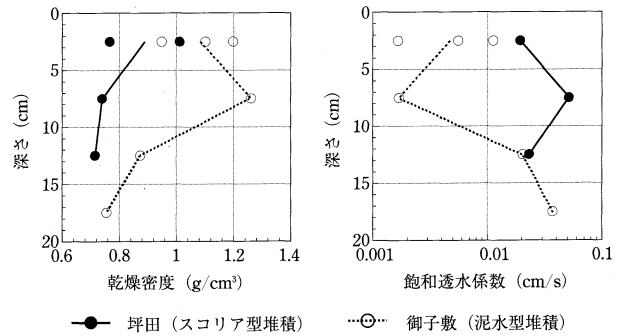


図-1 乾燥密度分布と飽和透水係数分布

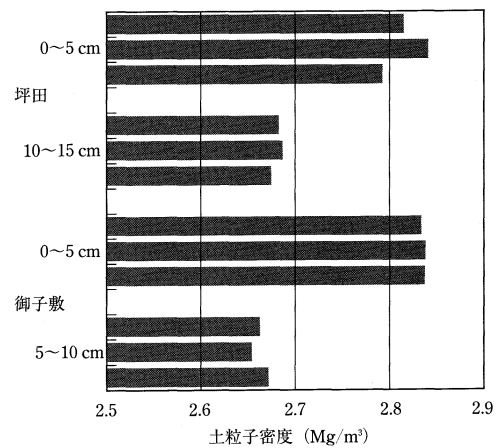


図-2 土粒子密度

れは泥水の堆積やその後の降雨によって, 土壌圧縮の影響を受けたためである。

一方坪田では, このような堆積による地山層の乾燥密度上昇は見られなかった。飽和透水係数は, 乾燥密度の変化の影響を受け, 特に御子敷の深さ 0~10 cm で小さく, 地山層の 1/10 以下となった。

2. 土粒子密度

それぞれの試料の土粒子密度を, 図-2 に示す。同じ場所, 深さから採取した 3 試料の測定値は, ほぼ同じ値であった。土粒子密度は, 坪田, 御子敷ともに堆積層では 2.8 Mg/m³ 以上となるのに対して, 地山では 2.7 Mg/m³ より低くなった。一般に, 火山灰土壌の土粒子密度は 2.6~2.7 Mg/m³ の値を取ることが多いので, 2.8 Mg/m³ 以上の値はかなり高い値といえる。たとえば, ガラスの密度は, 2.4~2.6 Mg/m³, 透明な石英ガラスは 2.22 Mg/m³, 花崗岩は 2.6~2.7 Mg/m³ などであるから, 堆積層は密度の高い金属類をより多く含んでいるものと推定される。地山の土粒子密度が堆積層よりも小さくなった原因として, 植物の栽培による有機物の増加や, 降雨や灌漑に伴う金属類の溶脱が挙げられる。

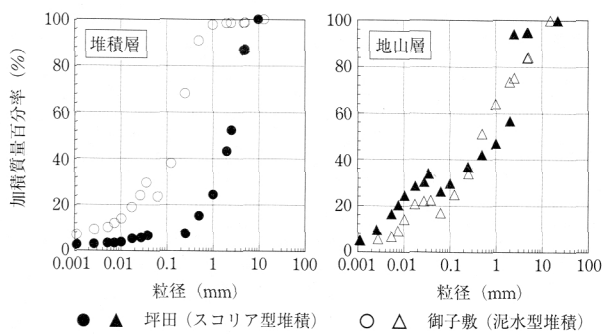


図-3 粒径加積曲線

3. 粒径分布

試料の粒径加積曲線を、図-3に示す。堆積層の粒径は、坪田(スコリア型堆積)では粗く、御子敷(泥水型堆積)では細かいという顕著な違いが現れた。これは、火山灰土が風や土石流によって運搬される間に土粒子の分級が起り、より細かい粒子が低平地に多量に運搬され、堆積したことを意味する。より粗い粒子は、運搬途中で沈積し、低平地まで運搬される比率が小さいと考えられる。このような分級・分離の結果、泥水型、スコリア型堆積が現れたと考えられる。

ところで、地形条件から見て、過去の噴火、堆積過程においても同様のプロセスがあったといえるので、堆積層の下に埋まっている地山層でも粒径組成に違いが表れる可能性が高い。しかし、坪田、御子敷両地区の地山層試料の粒径過積曲線はほぼ一致した。噴火直後の火山灰土の粒径は場所によって異なるが、時間の経過とともに土壌が攪拌され、さまざまな堆積物が混合することによって、一定の分布に近づいたと推定された。

VI. 今後の農業復旧に向けて

三宅島では、流木を含まない砂礫型、流木を含む砂礫型、スコリア型、泥水型の4タイプの流出土砂があった。これらのうち、流木を含まない砂礫型、流木を含む砂礫型については修復が困難なため、早期に生産圃場として回復させることは難しい。当面は防災的処置を優先すべきであろう。

一方、スコリア型堆積物と泥水型堆積物とでは、その物理性が著しく異なり、したがって、対策も同一でない方が好ましいことが分かった。坪田地区に代表されるスコリア型堆積物は、乾燥密度、透水係数ともにもとものと土壌に近く、保水性、透水性、物理性も良好なので、下層土との攪拌混入により従来どおりの農業生産が期待される。

しかし、御子敷地区に代表される泥水型堆積物は、も

ともとの土壌に比べ透水性が悪く、また、堆積による土壌圧縮もみられた。そのままの状態では、湿害や地表流発生による土壌侵食などが懸念され、できるだけ早く有機物混入など土壌改良を施す必要がある。さらに農作業を再開する場合には、農耕地の堆積物の除去作業を行うか、またはそのまま土壌改良を進めるかを決定し、効率的な作業を行うことが今後の復興に有効と考えられる。

謝辞 (独) 農業工学研究所室長 藤森新作氏、農林水産省農村振興局整備部防災課災害査定官 新田夏一郎氏、農林水産省関東農政局整備部防災課災害査定官 山下茂氏、三宅村産業観光課農林水産基盤担当 長谷川亘氏、東京都産業労働局農林水産部農地緑生課 兼子真典氏に本調査にご同行いただき、また作業にもご協力いただきました。ここに謹んで、深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 中野政詩・宮崎 毅・塩沢 昌・西村 拓: 土壌物理環境測定法, 東京大学出版会, pp.25~64, 98~114 (1995)

[2003. 2. 6. 受稿]

藤川 智紀



略 歴
1974年 兵庫県に生まれる
1997年 東京大学農学部農業工学科卒業
1999年 東京大学大学院農学生命科学研究科修士課程修了
2002年 東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了
鳥取大学乾燥地研究センター講師(研究機関研究員)
現在に至る

望月 秀俊



1971年 静岡県に生まれる
1995年 東京大学農学部農業工学科卒業
1997年 東京大学大学院農学生命科学研究科修士課程修了
2002年 東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程修了
鳥取大学乾燥地研究センター講師(研究機関研究員)
現在に至る

宮崎 毅



1947年 東京都に生まれる
1971年 東京大学農学部農業工学科卒業
1976年 東京大学大学院農学系研究科農業工学専門課程博士課程修了
1977年 四国農業試験場
1981年 カリフォルニア大学デイビス校客員研究員
1986年 農業土木試験場室長
1987年 東京大学農学部助教授
1998年 東京大学農学部教授
現在に至る

リモートセンシングによる三宅島農地の噴火被害の把握

*Availability of Remote Sensed Image Interpretation for Monitoring the Damaged Agricultural Land by the Erupted Mt. Oyama in Miyake Island*吉野 邦彦[†]

(YOSHINO Kunihiko)

I. はじめに

2000年7月8日に三宅島の雄山山頂から噴火し、同年9月1日に全島民が島外に避難してから丸2年が経ったが、火山性有毒ガス噴出のために島民の長期間の帰島の目処は未だ立っていない¹⁾。現在、島には復旧作業にあたる作業員が500人以上駐留し、道路、水道、電気等のライフラインの復旧に当たっているが、ライフライン以外の農地などの復旧はまだ開始されていない²⁾。しかし、三宅村農林水産整備担当課は島民帰島後に円滑な農業生産活動ができるようにと、平成14年7月末には農業復旧・復興計画メニュー案を作成した³⁾。

さて、こうした農業復旧案、復旧希望をより具体的な復旧・復興計画とするには、早期に農地、貯水池、農業用水用パイプライン等農業関連施設の噴火被害状況を正確に把握しておくと同時に、ハザードマップ、復旧難易度マップ等も災害GISとして整備しておく必要がある。災害GIS整備が急務との認識は、1995年に起こった阪神・淡路大震災の復旧対策立案の際に高まり、神戸市とその周辺自治体でGIS整備が進められた⁴⁾。しかし、本三宅島噴火災害においては、未だ農地の復旧計画図が描けるような泥流被害を含めた詳細な噴火被害調査は、火山性有毒ガス噴出による入島規制により行われていない(東京都災害対策課)。今後、農地生産基盤の火山被害状況の早急な調査が望まれる。

農業土木学会では、2001年に大学および(独)農業工学研究所、農林水産省構造改善局、東京都農林水産部から構成される三宅島噴火被害対策検討委員会(以下、「検討委員会」という)を発足させた。同委員会では、現地調査が行えない状況下で現地の噴火被害状況を把握する手段として、リモートセンシングの応用の可能性について検討することとした。

本報では、現地調査の代わりに空中写真判読を含む衛星リモートセンシング技術を用いて農地の火山噴火被害

状況を把握するために、①原理的な可能性(火山灰の分光反射特性、被害地の空間特性から見た被害状況の把握の可能性)、②データ取得の可能性(使用可能な衛星データ、空中写真の有無、センサー特性)、③被害状況把握の実務上における技術的側面(地形データや地図データ等のリモートセンシングデータ処理のために必要な情報)について検討し、④最後に、より詳細かつ正確な現地災害状況把握を前提とした災害復旧・復興計画策定に役立つためのリモートセンシング技術応用の可能性について、インターネット上で公開されている資料(国土地理院⁵⁾、東京都⁶⁾、三宅島⁷⁾、東京大学地震研究所⁸⁾などの関連ホームページ)や検討委員会資料⁹⁾など、2002年9月時点の資料を用いて検討した結果を報告する。

II. 把握すべき農地被害

1. 噴火前の三宅島の農業と農地の特徴

関東農政局東京統計情報事務所¹⁰⁾によると、三宅島の農家戸数は124戸であり、農家1戸当たりの経営面積は、厳しい耕地条件がゆえに平均6,100m²と零細であった。都市計画図を見ると、農地は、主に山腹中ほどの林道の下側から海岸にかけて多く分布し、また、集団化されていることが見て取れる。林道の上側の林間には、農地は存在しない(2002年9月実施の三宅島農協ヒアリングより)。

表-1は、1999年度の三宅島の農業生産高統計である¹¹⁾。アシタバとレザーファンの生産額が突出している。畑地面積の広い順でみると、アシタバ畑、その他の野菜畑、レザーファン以外の切葉用の畑、次いでレザーファン畑となっている。

2. 噴火災害と検出すべき被害箇所

2002年2月末に、検討委員会の一部の委員によって行われた現地調査報告⁹⁾によれば、周囲を林に囲まれたアシタバ畑は火山灰で覆われており、また、比較的平坦部の畑地では畑地全体をシート状に覆う泥流被害が目

[†]筑波大学社会工学系

衛星リモートセンシング、航空写真判読、三宅島噴火、農地被害把握、災害GIS

表-1 三宅島の農業生産高(1999年度)¹¹⁾

作目		栽培面積 (ha)	生産額 (千円)	
作物類	かんしょ	7	16,926	
	ばれいしょ	6	13,500	
	野菜類	さといも	14	55,633
		アシタバ	38	138,852
		キヌサヤ	4	21,072
		その他	38	62,260
小計	107	308,243		
花き類	レザーファン	11	161,280	
	その他切葉	15	45,150	
	その他	6	40,004	
	小計	32	246,434	
茶		8		
果樹		7	6,550	
畜産物		—	9,886	
合計		154	571,113	

立った、と報告されている。また、東京都の報告⁹⁾では、ビニルハウス等の農業施設は火山灰によりハウスが潰れていたり、パイプの腐食が進んでいた。さらに、農業用溜池、用排水路等は土砂で埋もれており、パイプラインは損壊されていたと報告されている。また、上条ら¹²⁾の噴火直後の植生被害の現地調査によれば、雄山中腹部以上の個所の植生が著しい被害を受けていると報告されている。

以上のような現地調査で確認された農地や農業関連施設への噴火被害を考えると、リモートセンシングを利用して面的に被害分布状況を捉える必要がある被害は、具体的には次のようであると考えられる。

- ① 火山性降下物（火山灰、軽石）により1次被害を受け、破損したり埋没した農業関連施設（ビニルハウスや貯水池）、あるいは、山林、畑地。
- ② 泥流^{12~14)}、侵食等による2次的土砂災害を被り、埋没した農地。あるいは埋没ないしは損壊した用排水路、農業溜池。
- ③ 火山性有毒ガスにより被害を受けた自然植生¹²⁾（森林、草地の植生の枯死）や農作物（アシタバ、園芸作物）。あるいは、火山性ガスで腐食したハウス等の施設。

III. 判読可能性の検討

1. 被害の判読可能性

ところで、これらの降灰被害、泥流被害地点を大きさの観点から見てみると、それらの被害の空間的規模や特徴を考えて、航空写真や衛星リモートセンシング画像

データによる災害個所と被害レベルの推定の可能性は、以下のようにまとめられる。

- ① 火山灰による植生被害地域の判読は可能である。三宅島の噴火前から噴火半年後までに撮影されたASTER衛星の可視近赤外放射計(VNIR)のフォーカスカラー画像（赤色に近赤外バンドデータ、緑色に可視赤バンドデータ、青色に可視緑バンドデータを割り付け表示した画像で、植生があると赤色が強調されるように表示される）が、時系列的に(財)資源・環境観測解析センターのHP¹⁵⁾上に公開されている。それらの画像を見ると、山頂付近は噴火後半年経過しても植生の復活は観測されていないが、雄山中腹より下方の部分では植生が回復しているのが明らかに観測できる。これより、火山灰あるいは火山性ガスによる植生の被害領域は衛星リモートセンシング画像からも判読できると期待できる。
- ② センサーの空間解像度と検出可能な対象面積との関係から、泥流被害地の判読、検出は、被害面積が衛星リモートセンシングのセンサーの地上解像度よりも数倍広い被害個所は、衛星リモートセンシングにより十分把握可能であろう。しかし、センサーの解像度と同程度あるいはそれよりも小さい被害個所は困難と考えられる。
- ③ 火山灰と泥流の分光反射特性の違いは、現在、試料が入手できないので、厳密には議論できない。アジア航測HP¹⁶⁾上に掲載されている降下火山灰現地カラー写真と加藤ら¹³⁾の報告を見る限り、今回の噴火では、明らかに色の異なる何種類かの火山灰が降下しているので、衛星リモートセンシングデータの分光反射データを用いての火山灰と泥流の判別の可能性は否定できない。今後、十分なサンプル数を用いて火山灰組成の違い、さらには土壌水分量や泥流土壌内の火山灰割合等も考慮して判別可能性を議論すべきだと考えられる。

2. 利用可能な衛星リモートセンシング画像とカラー航空写真

前節で整理した観測すべき農地被害状況を、光学センサー搭載の衛星リモートセンシングデータによる観測可能性を考えると、航空機カラー空中写真のほかには次の2つの高空間解像度を有する衛星データが利用可能で有効だと考えられる。本島の農地の零細な経営面積を考慮すると、地上解像度10数m以上のセンサーにより観測された衛星リモートセンシングデータでは、より精細な被害状況の把握には限界があると考えられるからである。

(1) 超高空間解像度衛星リモートセンシング画像

噴火後、各種のリモートセンシング画像が撮影されているが、噴煙が地表面を覆っている画像も多い。前述の ASTER 衛星¹²⁾の VNIR 画像, SAR 画像が撮影されている。他に Landsat 7号による ETM+データも撮影されている¹⁷⁾。いずれの画像データも空間解像度が 10 数 m ~ 数 10 m 程度であり, 1/2,500~1/5,000 程度の大縮尺の各種主題図とオーバーレイする必要があるので, 精密な位置情報を保持させる必要があるが, これらの画像は可視近赤外領域のマルチバンドの観測波長帯で観測しているため, 広範囲の植生被害状況調査等への利用が期待できる。

一方, 泥流被害農地の検出において, 超高空間解像度画像データの利用が考えられる。ここでいう超高空間解像度画像とは, 航空写真の他に高解像度リモートセンシングデータとして特色のある, 民間の会社により運営されている衛星, IKONOS⁸⁾と QuickBird¹⁹⁾の画像データのことである。IKONOS データの配信会社に問い合わせたところ, 噴火後, 2000 年 8 月 19 日, 2001 年 4 月 15 日, 9 月 27 日, 10 月 2 日, 2002 年 5 月 26 日の 5 シーンの画像が撮影されていることが判明した。また, 噴火直前の 2000 年 7 月 3 日に撮影されたシーンもある。

ところで, IKONOS, QuickBird 衛星画像データの地表物体の判別性能は, 鉛直下の公称空間解像度がそれぞれ, 白黒画像で 82×82 cm, 61×61 cm なので, 画像データのサンプリング理論より, 周辺とコントラストが十分にある地表物体で, 面積が約 1.6 m 四方, 1.2 m 四方以上の場合には, 理論的には形状の認識が可能と考えられる。ただし, 両衛星とも可視近赤外バンドの画像の場合には, それぞれ公称空間解像度は鉛直下約 3.3×3.3 m, 2.4×2.4 m である。これらの衛星画像から火山灰による植生被害地, 大規模泥流被害地以外の被害のうちで, 具体的に判読可能な農地被害の形態は現地調査が不可能なため不明である。

(2) 航空写真 噴火後のカラー航空写真は, 以下の日時に撮影されていることが確認されている。

- ① 国土地理院⁵⁾: 2000.11.8, 2000.11.30, 2001.2.18, 2001.10.2
- ② アジア航測^{16,20)}: 2000.7月から 2000.9月にかけて数回
- ③ 砂防地すべり技術センター(著作権所有者三宅村): 島の東側の空中写真としては, 2000.8.2(縮尺 1/8,000), 2000.9.9(縮尺 1/7,000), 2000.9.18(縮尺 1/4,000)など

以上の航空写真による大きな泥流発生箇所や他の具体

表-2 各種リモートセンシングデータと航空写真による被害判読の可能性と有効性

画像	マルチスペクトラル衛星リモートセンシング画像	超高解像度衛星リモートセンシング画像	カラー航空写真
衛星例とデータの国内入手先	Landsat-7 (リモートセンシング技術センター) ASTER ((財)資源・環境観測解析センター)	IKONOS (Space Imaging 社) QuickBird (日立 GIIS)	日本地図センター
農業施設の微細な被害判読	不可能	判読は期待できない。	空間解像度数 10 cm 以上の被害なら, 判読が期待できる。
農地一筆単位での被害判読	不可能	判読は可能であろう。	判読可能
広範な被害の判読	可能 (植生への被害判読に有効)	判読可能	判読可能
火山灰・泥流被害の区別	広い範囲での判読の可能性は大きい。	ある程度広い範囲での判読の可能性は否定できない。	判読の可能性は否定できない。
その他(特徴)	・可視近赤外の多重分光バンドで観測。空間解像度は 10~30 m と 高くはない。 ・分光反射特性の違いによる判別が可能。 ・時系列データ解析が可能。	・やや高価。時系列データ解析は経費がかかる。 ・可視近赤外領域と白黒の 4 バンドで観測。 ・空間解像度は, 白黒バンドで 60~80 cm。マルチバンドでは, 3~4 m 程度。	・撮影時期が古い。 ・空間解像度 20~30 cm が期待できる。 ・青, 緑, 赤バンドで観測。 ・撮影回数は少ない。

的な被害の把握可能性については, 未購入, あるいは入手不可能なため, 未だ不明である。

表-2 に, 上記で述べた衛星リモートセンシングデータと航空写真による農地の噴火被害状況判読の可能性と有効性について簡単にまとめた。

IV. 被害農地特定のための農地公図, 地形などの補完的条件・データ

以上の画像のほかに被害状況判読を補助する情報として, 農地の位置を示す情報や標高値を示す情報, 農地への復旧作業の容易性を考える上での農道, 道路図等の情報が必要であろう。特に, 火山灰や泥流で広く埋没したであろう農地を筆単位で判読していくには, 農地の位置を示す別の情報が必要不可欠である。

検討委員会で確認した限りでは, 東京都が 2001 年度民間コンサルタント会社に委託し, 農地台帳(公図)をもとに農地情報を GIS データベースとして作成した「三宅島農地情報システム」がある。このデータベースには, 農地の区画形状, 位置を示す地図座標情報が収められているが, 現時点では個人情報保護の理由によりそのデー

データベースは公開されていない。また、公開できる情報においても GIS システムの不具合により、一般の利用は難しい（東京都産業労働局農林水産部農業基盤整備室計画調整係佐々本浩次氏より）。しかし、農地のおおよその位置は都市計画図からも判読できるので、作業労力は掛かるが図面上の農地のデジタル入力化により別途、作成可能であろう。

他に、衛星リモートセンシングデータと航空写真判読に必要な情報として、デジタル地形情報、地形図が考えられるが、国土地理院⁵⁾から入手可能であることが確認されている。

V. リモートセンシング、航空写真による被害状況判読可能性についての検討結果

以上、現地報告による被害個所の空間特性と衛星リモートセンシングデータの能力、航空写真の解像度を考えると、シート状に覆われた泥流被害地は比較的容易にリモートセンシング技術による判別が可能であろう。また、火山灰による植生被害地域の判読も可能であろう。

さらに、リモートセンシング画像の空間解像度と検出可能な対象面積との関係から、泥流被害地の判読、検出は、被害個所の周囲との分光的コントラストが十分大きく、かつ被害面積が衛星リモートセンシングのセンサーの地上解像度よりも数倍広い被害個所は、衛星リモートセンシングにより十分、把握可能であろう。しかし、センサーの解像度と同程度あるいはそれよりも小さい被害個所、ないしは、周囲との分光的コントラストが小さい個所の把握は困難と考えられる。

しかしながら、分光反射データを用いての火山灰と泥流被害地の判別の可能性は否定できない。今後、火山灰と泥流の分光反射特性の違いに基づく判別の可能性については、十分なサンプル数による試料の分析結果から判断する必要があるだろう。

また、被害個所が小さいビニルハウスの判読、用排水路の被害個所、小規模なガリやリルの発生個所の検出は、空間解像度 20~30 cm 以下の解像度が期待できるカラー空中写真を利用するのが良いと考えられる。しかし、航空写真は撮影時期からかなりの時間が経過しており、泥流被害等最新の 2 次的被害の正確な把握の目的のためには、情報としての利用価値が低くなっているおそれがある。

参 考 資 料

- 1) 気象庁：火山観測情報第 485 号，火山活動解説資料 (2002.8)

- 2) Mainichi INTERACTIVE (三宅島火山活動 HP) : <http://www.mainichi.co.jp/eye/feature/article/miyake/index.html>
- 3) 三宅島村 HP 三宅島復興構想 URL : <http://www.miyakemura.com/pr/fukkou/kousou.htm>
- 4) 村井俊治ら：「GISに関するQ&A」，(社)日本測量協会，p.101(2001)
- 5) 国土地理院 HP : <http://www.gsi.go.jp/WNEW/LATEST/MIYAKE/index.html> および <http://www.gsi.go.jp/WNEW/LATEST/MIYAKE/miyalink.htm>
- 6) 東京都 HP : <http://www.metro.tokyo.jp/SAIGAI/miyatop.htm>
- 7) 三宅島 HP : <http://www.miyakemura.com/>
- 8) 東京大学地震研究所 HP : <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/MIYAKE/index.shtml>
- 9) 平成 13 年度，14 年度，農業土木学会三宅島噴火被害対策検討委員会資料(2001, 2002)
- 10) 「平成 13 年度 私のまちの農業，東京都の区市町村別農業指標」，関東農政局東京統計情報事務所 (2002.3)
- 11) 農林水産省統計情報部『生産農業所得統計平成 11 年』農林水産省統計情報部(2001.4)
- 12) 上条隆志：三宅島 2000 年噴火が植生に与える影響，植生情報第 5 号，pp.9~12(2001)
- 13) 加藤 拓・東 照雄・上条隆志・田村憲司：三宅島 2000 年噴火火山灰試料の科学のおよび鉱物学的諸性質について，ペドロジスト Vol.46(1)，pp.14~21(2002)
- 14) 阿部和時・大倉陽一：三宅島火山災害緊急調査報告，治山，No.45，pp.4~8(2000)
- 15) (財)資源・環境観測解析センター(ERSDAC) HP : http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www/2002/gallery_j/image_miyake_j/set_image_miyake_j.html
- 16) アジア航測 HP : <http://www.ajiko.co.jp/topics/ct/miyake/>
- 17) リモートセンシング技術センター HP : http://www.restec.or.jp/restec_1.html
- 18) スペースイメージング社 HP (IKONOS image) : <http://www.spaceimaging.co.jp/main.html>
- 19) 日立 GIS HP (QuickBird image) : http://www.hgiis.com/index_jp.html
- 20) 近藤 剛・藤田浩司・千葉達朗：写真測量とリモートセンシング，Vol.39(5)，p.2(2000)

[2003.2.6. 受稿]

吉野 邦彦

略 歴



- 1985年 東京大学大学院農学研究科博士課程中退
東京大学農学部助手
1996年 筑波大学社会学系講師
2002年 筑波大学社会学系助教授
現在に至る